OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	周辺気候特性と調和した住環境計画に関する研究
Author(s)	鳴海, 大典
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2424
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

工乙 869

周辺気候特性と調和した住環境計画に関する研究

2003年4月

鳴 海 大 典

周辺気候特性と調和した住環境計画に関する研究

2003年4月

鳴 海 大 典

目　次

第１章　緒論
1.1　序論
1.1.1　研究背景 …… 1
1.1.2　環境共生開発の現状 …… 3
1.1.3　地方自治体の環境情報整備状況 …… 5
1.1.3.1　アンケート調査方法 …… 5
1.1.3.2　調査結果 …… 6
1.1.3.3　環境情報整備状況に関するアンケート調査のまとめ …… 8
1.2　本研究の目的 …… 8
1.3　本研究に関連する既往研究の概要 …… 10
1.3.1　地域の気候環境特性が周辺居住者に及ぼす影響に関する検討事例 …… 10
1.3.2　地域の気候環境特性の実態把握に関する検討事例 …… 11
1.3.3　気候環境資源の住環境計画への活用可能性に関する検討事例 …… 12
1.3.4　地域気候環境特性に関する図面情報の作成事例 …… 12
1.3.5　傾斜地における住環境計画指針の在り方に関する検討事例 …… 14
1.4　本研究の特徴 …… 14
1.5　本論文の構成 …… 15
参考文献 …… 17

第２章　調査対象地の概要
2.1　序論 …… 23
2.2　研究対象地の概況 …… 23
2.2.1　K地区の概要 …… 24
2.2.2　土地利用形態 …… 25
2.2.3　地形 …… 27

2.2.4　気象条件 …… 27
2.3　まとめ …… 28

第３章　丘陵地の気候環境特性が居住者の心理・生活面に及ぼす影響
3.1　序論 …… 29
3.2　調査概要 …… 29
3.2.1　調査対象地域の概要 …… 29
3.2.2　アンケート調査方法 …… 31
3.2.3　屋外温熱環境調査方法 …… 31
3.2.3.1　気温分布調査方法 …… 31
3.2.3.2　風環境調査方法 …… 31
3.3　アンケート調査対象地域の気候環境特性 …… 32
3.3.1　風環境の特性 …… 32
3.3.2　気温分布の特性 …… 33
3.4　アンケート調査結果 …… 33
3.4.1　アンケート回答者の属性 …… 33
3.4.2　居住者が知覚する丘陵地の気候環境特性 …… 34
3.4.2.1　居住者が認識する丘陵地の気候的特徴 …… 34
3.4.2.2　居住者が認識する自宅周辺の屋外における熱的快適感 …… 35
3.4.2.3　風環境に対する居住者の認識 …… 36
3.4.3　冷房用電力消費量に関する検討 …… 38
3.4.3.1　冷房用電力消費量の地域比較 …… 38
3.4.3.2　冷房用電力消費量に影響を与える屋外環境要因 …… 40
3.5　まとめ …… 43
参考文献 …… 44

第４章　複雑な地形を有する丘陵地における屋外温熱環境の成因
4.1　序論 …… 47
4.2　調査概要 …… 47
4.2.1　調査対象地域の概要 …… 47
4.2.2　調査方法 …… 49
4.3　調査対象地区内の気温分布 …… 50
4.3.1　気温分布測定結果 …… 50
4.3.2　各土地利用率と気温の関係 …… 55
4.3.3　局所的な風場が気温分布に与える影響 …… 56
4.3.4　斜面下降流による低温域の発生 …… 57
4.4　重回帰分析による周辺土地利用状況と気温の関係に関する検討 …… 58
4.4.1　クラスター分析を用いた測定日のグループ化 …… 58
4.4.2　各グループに対する重回帰分析結果 …… 59
4.4.3　土地利用形態を説明変数とした重回帰分析の効用と限界 …… 62

4.5 まとめ …… 62
参考文献 …… 63

第５章　複雑地形上の風環境～実測及び風洞実験による検討～
5.1 序論 …… 65
5.2 実測調査の概要 …… 66
5.2.1 調査対象地域および測定方法の概要 …… 66
5.2.1.1 長期固定点観測 …… 66
5.2.1.2 短期移動観測 …… 68
5.3 実測結果から判断される調査対象地区内の風環境 …… 69
5.3.1 対象地区を広域的に支配する風 …… 69
5.3.2 対象地域内の地表面付近の風（観測ステーションおよび移動観測による結果） …… 71
5.4 風洞実験による複雑地形上の風環境変化の予測 …… 79
5.4.1 実験の概要 …… 80
5.4.1.1 実験理論 …… 80
5.4.1.2 実験装置 …… 80
5.4.1.3 測定方法 …… 81
5.4.1.4 実験条件 …… 81
5.4.2 実験結果および考察 …… 81
5.4.2.1 実現象の再現性に関する検討 …… 81
5.4.2.2 地形が風環境に及ぼす影響 …… 83
5.5 まとめ …… 86
参考文献 …… 87

第６章　斜面冷気流の特性把握を目的とした実測調査
6.1 序論 …… 89
6.2 既存研究から推察される冷気流の基本特性 …… 90
6.3 冷気流の構造把握を主目的とした実測調査（第Ⅰ期） …… 91
6.3.1 実測方法（第Ⅰ期） …… 91
6.3.1.1 対象地域 …… 91
6.3.1.2 測定項目および測定装置 …… 91
6.3.1.3 測定日時 …… 92
6.3.2 実測調査結果および考察（第Ⅰ期） …… 92
6.3.2.1 測定期間中の代表的な時間帯における観測結果 …… 92
6.3.2.2 固定観測ステーションの結果から推察される冷気流厚さ …… 94
6.4 冷気流の構造把握を主目的とした実測調査（第Ⅱ期） …… 95
6.4.1 実測方法（第Ⅱ期） …… 95
6.4.1.1 対象地域 …… 95
6.4.1.2 測定装置 …… 96

6.4.1.3　測定日時 …… 97
6.4.2　実測調査結果および考察（第Ⅱ期） …… 98
6.4.2.1　測定期間中の各測定要素に関する経時変化 …… 98
6.4.2.2　代表的な時間帯における風環境と気温鉛直分布の関係 …… 99
6.4.2.3　冷気流の熱源に関する考察 …… 101
6.5　冷気流の影響範囲に関する実測調査 …… 103
6.5.1　実測方法 …… 104
6.5.1.1　対象地域 …… 104
6.5.1.2　測定項目と測定装置 …… 104
6.5.1.3　測定日時 …… 105
6.5.2　実測調査結果および考察（影響範囲に関する実測） …… 105
6.5.2.1　気温の変化範囲から判断した冷気流影響範囲 …… 105
6.5.2.2　風場の変化範囲から判断した冷気流影響範囲 …… 106
6.6　まとめ …… 106
参考文献 …… 107

第７章　住環境計画への適用を目的とした冷気流のモデル化
7.1　序論 …… 109
7.2　冷気流モデルの概要 …… 110
7.2.1　モデル化の目的 …… 110
7.2.2　モデルの概要 …… 110
7.2.3　斜面下部への流出冷熱量 …… 114
7.3　冷気流モデルを用いた計算結果および考察 …… 115
7.3.1　鉛直等温加熱平板上の自然対流境界層の再現 …… 115
7.3.2　単純斜面を想定した基本結果 …… 115
7.3.3　分布型の影響に関する考察 …… 116
7.3.4　実測結果との比較 …… 117
7.4　冷気流の基本的特性に関するパラメータ解析 …… 118
7.4.1　植生量の影響 …… 118
7.4.2　斜面形状の影響 …… 120
7.4.3　人工排熱の影響 …… 120
7.4.4　抵抗係数 C_{HG} の影響 …… 121
7.5　CFDモデルによる住宅地域への影響に関する検討 …… 122
7.5.1　解析モデルの概要 …… 122
7.5.2　計算方法 …… 123
7.5.2.1　計算対象 …… 123
7.5.2.2　計算条件および境界条件 …… 124
7.5.2.3　乱流モデル …… 125
7.5.3　計算結果 …… 125
7.5.3.1　住宅想定障害物通過後の気流減衰状況 …… 125

7.5.3.2　各条件下で期待される自然通風効果 …… 127
7.6　まとめ …… 132
参考文献 …… 133
記号一覧 …… 135

第８章　住環境計画への適用を目的とした気候環境情報活用フレームの構築
8.1　序論 …… 137
8.2　気候環境情報活用フレーム構築の意義 …… 137
8.2.1　近接公共データを用いた簡易評価による誤差 …… 137
8.2.2　気候要素と設計・生活行為との係わり …… 139
8.2.3　気候環境情報活用フレームの必要性 …… 143
8.3　気候環境情報活用フレームの提案 …… 143
8.3.1　情報スケールの区分 …… 143
8.3.2　フレームの全体概要 …… 145
8.3.3　『都市レベル情報』の詳細 …… 147
8.3.4　『建築レベル情報』の詳細 …… 151
8.4　気候環境情報の作成方法 …… 154
8.4.1　『都市レベル情報』のデータソース …… 154
8.4.2　『建築レベル情報』のデータソース …… 156
8.5　まとめ …… 158
参考文献 …… 159

第９章　周辺気候特性に配慮した住環境計画指針に関する検討
9.1　序論 …… 161
9.2　調査対象領域および評価データの概要 …… 162
9.2.1　調査対象領域 …… 162
9.2.2　対象領域における気候環境評価手順 …… 162
9.2.3　評価データの収集を目的とした実測調査 …… 162
9.2.3.1　気温空間分布の把握を目的とした短期移動観測 …… 163
9.2.3.2　地域気候の季節変化の把握を目的とした長期固定点観測 …… 163
9.2.3.3　冷気流発生構造の把握を目的とした短期固定点観測 …… 163
9.2.3.4　冷気流影響範囲の把握を目的とした短期移動観測 …… 163
9.3　計画基礎図面による評価 …… 163
9.4　住環境計画への適用を目的とした地域気候特性図面 …… 168
9.5　周辺気候特性に配慮した住環境計画指針 …… 174
9.6　まとめ …… 177
参考文献 …… 178

第１０章　総括
10.1　各章のまとめ …… 179

10.2　研究の総括と将来展望 …… 184
10.3　今後の課題 …… 185

Appendix.A　ドイツにおける気候環境情報作成事例
A.1　序論 …… 187
A.2　ドイツにおける都市計画システム …… 187
A.3　VDIによる気候解析図面作成ガイドライン …… 188
A.4　気候解析図面の作成事例 …… 190
　　参考文献 …… 196

本論文に関連する既発表文献 …… 197

謝辞 …… 201

第1章
緒論

1.1 序論

1.1.1 研究背景

【地球環境問題の顕在化】 地球温暖化などの地球環境問題やヒートアイランド現象に代表される地域環境問題を契機として、従来の非更新性資源・エネルギーに支えられた都市の在り方が頻繁に論じられるようになってきた。18世紀の産業革命以降から現在にかけて、大気中の二酸化炭素濃度は280ppmから360ppmに著しく増加し、過去100年間では地球表面の平均気温が約0.6℃、海面水位が最大で25cm程度上昇したと言われている[1.1)]。1995年に報告されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）第2次評価報告書によると、地球温暖化に対する抜本的な対策が将来的に実施されなかった場合には、2100年の段階で地球の平均気温は現在よりも最大3.5℃、海面水位は最大95cm上昇し、干ばつや洪水などの異常気象や災害の他、熱帯伝染病発生地域の拡大、植生や食糧生産への影響などが重大な問題として顕在化してくることを予想している[1.1)]。こうした事態を避けるために、日本における温室効果ガスの排出量を2012年までに1990年比で6%削減するという数値目標を設定した気候変動枠組条約京都会議（COP3）が1997年に開催されたのも記憶に新しいところである。日本の場合、地球温暖化の主要因である二酸化炭素排出量の約3分の1が建設関連分野からの排出によると推計され、近年もその排出量は漸増傾向にある[1.2)]。従って、地球温暖化をはじめとする諸問題を回避する上で建設関連分野の責任は極めて重く、環境負荷削減努力が一層必要な状況にあると言えよう。

【アクティブ手法とパッシブ手法】 われわれは建築というシェルターを作り、建築内部の環境を多様な方法でコントロールすることによって、寒冷地や暑熱地に関わらず快適な居住空間を構築してきた。この点に関して、J. Fitchは建築内部の温熱環境制御手法には大きく分けて3つの方法があることを指摘している[1.3)]。第1は外界から熱を遮断する方法であり、現在では断熱・気密化として省エネルギー技術の主流となりつつある。第2は外界の気候要因を取捨選択して制御する方法であり、日本の伝統的民家に見受けられる数々の工夫がこのカテゴリーの代表例として挙げられる。第3は室内に人為的な熱源を持ち込む方法であり、

旧来からの温熱源のみならず、近年では冷熱源を用いた環境制御手法が特に温暖地域を対象として普遍化しつつある。この温熱環境制御手法に関する分類は、現在では「アクティブ手法」と「パッシブ手法」という用語によって広く認識されているところである。前者のアクティブ手法は、基本的に外界空間と室内空間を切り離し、一般的には化石燃料を駆動力とする各種空調設備機器によって環境をコントロールする、つまりJ.Fitchの言うところの第1および第3の方法を連成する手法である。後者のパッシブ手法は、太陽熱・光や風、温度変化などの自然エネルギーを駆動力として環境をコントロールする、つまり第2の方法を主体とする手法である。前者を「設備的手法」、後者を「建築的手法」と呼ぶこともある。

【室内温熱環境制御手法の変遷】　日本では伝統的にもっぱら後者の手法が使われ、それが建築および周辺外構形態を大きく規定してきた。蒸発冷却を促進する勾配の大きな茅葺屋根や日中の強い日差しを回避する深い軒の出、自然通風を確保する大開口、冬季の強風から住宅を保護する防風林など、現在の住宅では見られない伝統的な知見に基づく多様な工夫が施されていた。しかし、近年では電力・都市ガス・石油等のエネルギー供給インフラが整備され、エネルギーの入手が容易かつ安価となると、前者のアクティブ手法が主流となった。この変化はエネルギーの大量供給が始まった1960年代から徐々に拡大し始めたが、このわずか半世紀ほどの間に主流化し、現在の新規建築はそのほとんどがアクティブ手法を旨として設計されていると言っても過言ではない。この手法は外部環境の影響を如何に遮断するかが計画の最重要課題として挙げられることから、言い換えると、これは外部環境を全く意識することなく建築計画のみに専念することが可能な技術とも言えよう。しかし、エネルギーをふんだんに使い、一般的にはエクセルギー効率の低いこれらの方法は、大量のエネルギー消費が資源枯渇を招くばかりではなく、冒頭で指摘した地球環境問題の顕在化につながっていることには異論の無いところである。従って、将来的にこの体制を持続することは困難であり、ライフスタイルの変更を含む根本的な対応が不可欠な状況にあると言える。

【環境共生建築の出現】　1970年初頭、ローマクラブによる「成長の限界」[1.4)]が報告されて以来、等比級数的な成長のあり方を否定し、それに代替する循環・安定的な開発像を模索する動きが活発化し、1980年代には「持続可能な開発（Sustainable Development)」という言葉が国際的に定着し始める所となった。日本では1989年に“地球環境保全に関する関係閣僚会議”において「地球温暖化防止行動計画」が策定され、様々な分野を対象として省エネルギー化の推進、二酸化炭素排出の少ないライフスタイルの実現等の措置を講ずることとなった。建築分野ではこの動きに応じて、1989年に建設省（当時）の呼びかけによって「環境共生住宅研究会」が発足された。「環境共生建築」とは地域に賦与された環境のポテンシャルを活かすことを目指した建築を指し、建築的手法による環境制御の可能性に糸口を見出さんとするものである。「環境共生建築」では建物内部から周辺環境までを含む広範囲を制御の対象としており、上述のパッシブ手法（建築）の上位概念として位置付けられる。なお、現在ではこれらの「環境共生建築」の中でも、特に地域の気候を読み取りそれに適合した建築的工夫を施すデザインのことを「バイオクリマティックデザイン」と称している。

【外界環境との連係】　この「環境共生建築（バイオクリマティックデザイン)」を計画していく上で大切なことは、アクティブ手法の出現によってここ半世紀の間に失われた外界環境と室内環境との関係を修復し、地域の環境特性に融合しようとする姿勢を再構築することである。日本の伝統的な集落では、一般的に周辺環境特性に関する知見が過去から代々蓄積さ

れており、経験的にそれらの情報に習うことで地域の環境特性に適合した生活を営むことが可能であった。しかし、アクティブ手法の出現によって、周辺環境特性を把握する必要性自体が失われることとなった。このような状況の中で、地域の環境特性に適合した地域・建築形態を模索していくためには、地域の周辺環境に関する新たな情報システムを再構築する必要性が生まれてきた。

【周辺環境に関する情報システムの必要性】 周辺環境は地域によってその特徴を異にすることから、地域の環境特性に応じて採用要素を取捨選択していくためには、周辺環境に関する情報システムの存在が重要な役割を果たすものと予想される。この点に関してドイツでは、景観生態学（Landschafts okologie）を礎とする自然地域区分（エコトープ）が都市計画に応用され始めて久しい[1.5]。エコトープは自然要素として、生物（ビオトープ）、土壌（ペドトープ）、水文（ハイドロトープ）、気候（クリマトープ）、地形（モルフォトープ）の各空間区分を統合したものである。ドイツでは、生態的配慮を主な目的として、グリーンベルトの保全などエコトープに応じた地域計画を進めているが、このような配慮がなされるのも、生活環境の悪化や自然環境の減少に対する危機感を国民が有しているからであろう。このうちクリマトープについては、大気汚染やヒートアイランド現象の緩和をも視野に入れ、“クリマアトラス”と呼ばれる気候解析図に気候環境区分を定義することで、都市計画者や一般市民に気候環境特性に関する情報伝達を図っている（詳細はAppendix. Aを参照されたい）。この“クリマアトラス”は1970年代にルール地方市町村連合（KVR）のデュイスブルグを対象として作成されて以降、現在では約25の州・都市で整備が進められており、実際に地域の気候環境保護を目的として、建築や周辺外構形態の変更に関する指導を行った事例も存在する。事前にこのような情報を整備することによって、計画者や行政関係者が周辺気候特性の把握に苦慮することなく周辺環境への配慮が可能となる点で、ドイツの取り組みは大いに参考になる。日本では1.1.3で後述するように、一般的に閲覧が可能な情報は水や大気質などの公害関連情報や、用途指定地域などの都市計画関連情報が主であり、近年生態系への配慮から植生や昆虫などの分布状況を記した生態情報が整備されつつあるが、特に気候環境情報に関しては、日本ではほとんど整備されていないことが明らかとなっている。従って、計画者は地域の気候特性を把握するのに苦慮し、十分な配慮が為されないままに計画を進展させてしまう現状がある。

1.1.2 環境共生開発の現状

前節で述べたように、持続可能な開発が求められる中、建設省（当時）では1990年に産官学が連携した研究会を組織し、「環境共生住宅市街地モデル事業（1993年）」を創設することによって、各地で環境共生開発の普及に力を注いだ。このモデル事業により1993年度には8地区、1994年度には17地区において、実際に開発が進められている[1.6]。また「環境政策大綱（1994年）」においては“環境を創造し、保全することが建設行政の本来的使命であると認識すること、すなわち環境を建設行政において内部目的化すること”を基本的な考え方とし、環境共生開発事業をリーディング7事業の一つとして位置づけた。こうした歴史を経て、自然・未利用エネルギーを有効に活用した省エネルギー対策や、周辺環境との調和への取り組みが日本各地で行われ始めている。

環境共生開発の概念は、図1.1に示す様に「地球環境保全（Low Impact）」、「環境親和性（High Contact）」、「居住環境の健康・快適性（Health & Amenity）」の3つの要素に整理

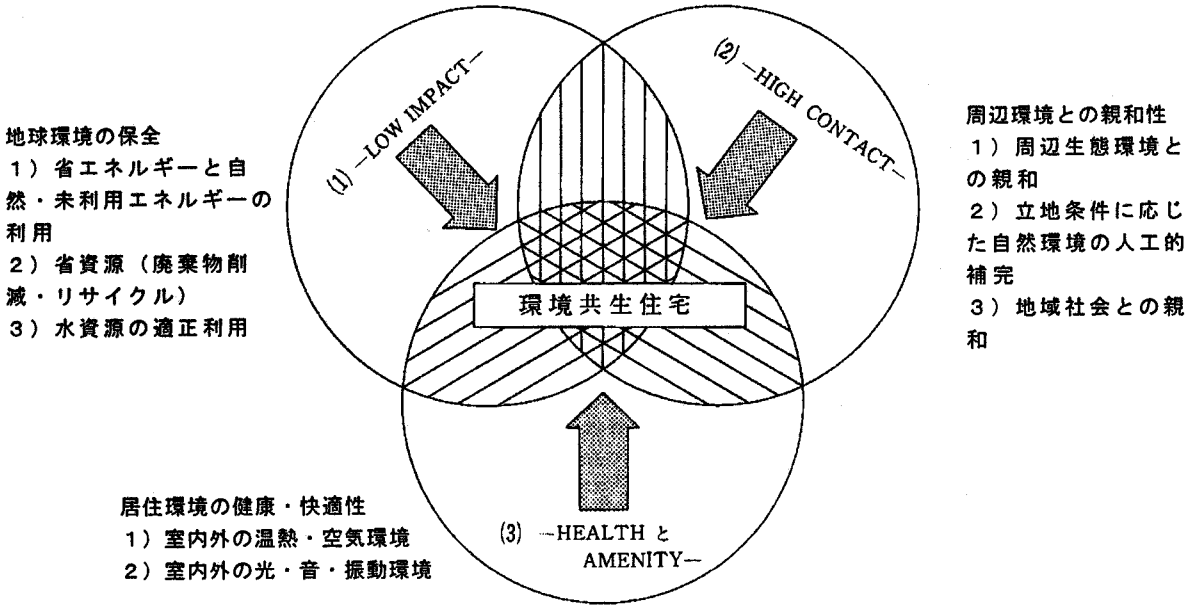


図1.1　環境共生住宅の計画概念（文献[1.7]より引用）

表1.1　環境共生開発における導入技術の一覧（文献[1.8]を基に加筆修正）

			多摩ニュータウン	松元ニュータウン	百合が丘ニュータウン	木戸住宅	ルミナス武蔵小金井	マテール穴生
			東京都稲城市	鹿児島県松元町	茨城県水戸市	大阪府河内長野市	東京都小金井市	福岡県北九州市
			8.9ha	37ha	13.7ha	0.4ha	0.36ha	0.74ha
		手法	944戸	640戸	150戸	470戸	43戸	173戸
建築計画スケール	1	日射の調節と遮熱				○		
	2	建物配置の工夫	○	○				○
	3	パッシブソーラーシステム	○					
	4	太陽熱利用給湯システム	○	○			○	○
	5	太陽光発電機器・システム	○	○	○	○	○	○
	6	風力用機器・システム				○	○	○
	7	地下水熱利用				○		
	8	雨水利用システム		○	○	○	○	○
	9	リサイクル資源、再生部品の採用	○			○	○	○
	10	ゴミの分別化		○				○
	11	コンポスト		○			○	○
地区計画スケール	12	ビオトープ		○		○	○	
	13	建物緑化	○			○	○	
	14	地域の水循環への配慮	○		○		○	○
	15	緑の保全・再生	○	○	○	○		○
	16	地域の気候や微気象との調和	○	○			○	○
	17	建物設計の工夫	○	○				○

される[1.7]。本論文で構築を目指す、地域気候特性に調和した外部環境連係型居住空間（定義に関しては1.2で後述する）の基本概念も、Low Impactとして自然エネルギー利用による省エネルギー効果、High Contactとして立地環境条件に応じた気候要素の取捨選択、Health & Amenityとして快適性や健康性を重視した屋外公共空間・室内空間の形成を目的としており、目指すべき概念はまさにこの図に示すところにある。

表1.1に、日本でこれまで実施された代表的な環境共生開発事例における各種環境共生技

術の導入一覧を示す。導入技術は大きく分けて、建築計画スケールと地区計画スケールに分類される。

建築計画スケールでは、太陽光発電や雨水利用システムが多く導入される傾向にある。しかし、例えば太陽光発電の多くは公共スペースの表示灯や誘導灯程度のものに使用されていることが多いなど、居住者の環境共生意識を高めるためのツールとして設置されており、環境や経済面に対する実益を追求した事例は非常に少ないのが現状である。

地区計画スケールでは、緑の保全や地域気候との調和を目指した事例が見受けられる。しかし、計画に際して独自に計画地域の気候調査を行った事例は稀であり、そのほとんどが近隣の公共気象測定データによる検討にとどまっているため、例えば地形などの影響によって発生する局所的な微気象を考慮した事例や建設後の環境変化に関する調査を行った事例は非常に少ないのが現状である。

以上のように、現状の環境共生開発における技術導入計画は技術の総花的導入による理念先行、宣伝・啓発上の付加価値としての感が否めず、省エネルギー等の効果を十分に検討しているとは言い難い状況にある。この背景には、設計タイムスケジュールや調査費用の問題から十分な調査を行い得ないことに加え、建築内部の設計に重きが置かれ、未だ周辺環境との調和に対する配慮が軽視されていることが挙げられよう。真の意味で環境共生的な住環境を創造するためには、住宅敷地内や建物内部のみを視野に入れた発想には限界があり、周辺環境と連係した開発の発想が必要である。

1.1.3 地方自治体の環境情報整備状況

住環境計画の際に周辺環境特性を適切に把握するためには、1.1.1で述べたように計画者への周辺環境に関する情報伝達が重要な役割を果たす。この点に関してドイツでは“クリマアトラス”と呼ばれる気候解析図面が都市内環境の現況把握や地域計画指針として有効に活用されているが、このシステムが有効に活用されている理由として、地方自治体がクリマアトラスを保有し、一般に公開・頒布することで、開発者や地域住民が地域の環境情報を得ることが可能な状況に置かれていることにある。地区の環境管理・制御に対する責任も考慮に入れると、自治体の果たすべき役割は非常に大きく、自治体の協力いかんが、環境情報整備の成否を左右することは間違いない。

ここでは、都市計画の当事者であり、地域の環境管理・制御に多大な責務を有する地方自治体における、環境情報図面の作成・整備状況、地域の気候環境情報に対する認識に関する現状を調査することを目的として、大阪府下全市町村の環境関連部署を対象としたアンケート調査を行った。

1.1.3.1 アンケート調査方法

大阪府下全市町村（44自治体）の環境関連部署を対象としてアンケート調査票を送付し、郵送で回収を行った。以下に設問項目を示す。

設問Ⅰ．環境情報の整備・活用状況
　　A．名称　　B．内容　　C．作成手法（データ収集方法）
　　D．活用状況　　E．公開状況
設問Ⅱ．将来整備を予定している情報、今後自治体で整備すべき情報の内容
設問Ⅲ．気候環境情報に対する意識、自治体における気候環境情報の整備可能性

以上の設問に関して、調査者側からは環境情報の定義を明確に提示せずに、回答者側が環境情報とみなした情報の内容について回答を受けた。但し、集計の際には、明らかに環境情報とみなされない回答（農作物生産状況や観光ガイドなど）は調査者によって削除した。

1.1.3.2　調査結果

調査の結果、36の自治体（82%）から回答を得た。そのうち設問Ⅰで環境情報を整備していると回答とした自治体は17自治体（39%）であった。また、設問Ⅱの回答数は9自治体（20%）、設問Ⅲの回答数は8自治体（18%）であった。

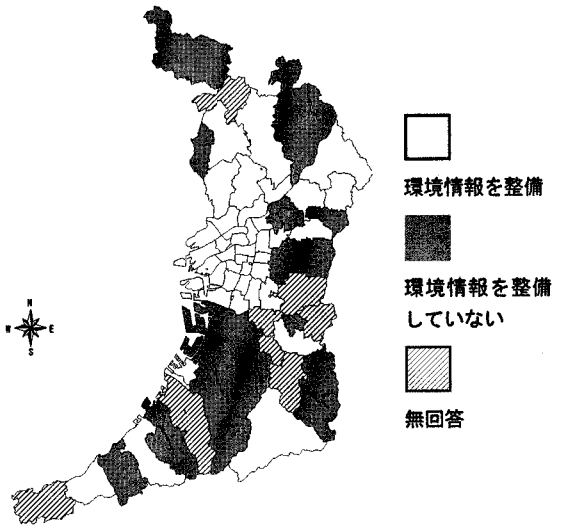


図1.2　環境情報整備状況

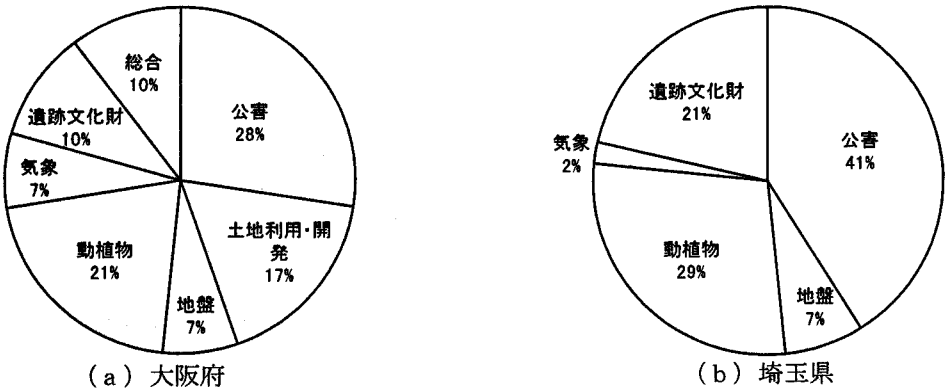
表1.3　気候関連情報整備状況

	枚方市	大阪市
図面内容	風配図	気温、風速分布
活用状況	現況把握	現況把握、アセスメント
公開状況	環境白書にて閲覧可	大阪市関連施設で閲覧可

「環境情報の整備・活用状況（設問Ⅰ）」

図1.2および表1.2に環境情報の整備状況を示す。特に小規模な市町村では環境情報が整備されていない傾向があり、後述のように財政や手間が影響していると推察される。相対的に環境が悪い地域にも未整備地区がみられ、現状の環境状態と情報整備状況に明確な関連性はない。図1.3（a）に示す大阪府の整備情報の種類に関しては、公害情報が最も多く見受けられており、土地利用・開発や動植物に関連した情報についても比較的多く整備されている。大橋ら[1.9]による埼玉県の結果と比較すると、両府県における整備情報の種類はほぼ似た傾向を示した。

本研究において主たる対象とする気候環境情報を整備していたのは枚方市と大阪市のみであった。2市が整備している情報の内容を表1.3に示す。両市で整備している情報は風配図や気温分布図などの“1次的な情報”であり、先述の“クリマアトラス”に代表される何らかの目的に応じてアレンジされた総合的な情報は全く作成されていなかった。両市ともに情報は一般公開されているが、主たる活用目的は現況把握であり、情報が地区や建築計画に活用されているとは言い難い状況にある。



（a）大阪府　　（b）埼玉県

図1.3　大阪府および埼玉県の各市町村における環境情報図面整備状況

表1.2 大阪府下各市町村における環境情報図面整備状況

大分類	分類	市町村	名称	内容
社会環境	公害（水・大気・騒音）	泉大津市	二酸化窒素濃度分布図	年4回、7日間NO2の濃度分布
			市民意向調査結果	空気のきれいさ等の市民の意向を5段階に調査
		大東市	大東の環境	大気、河川採水等の地点
		忠岡町	大津川水域自然マップ	大津川の水質状況
		泉佐野市	二酸化窒素濃度分布図	年四回の二酸化窒素の濃度分布
		羽曳野市	環境騒音マップ	市内の環境騒音分布状況(予想)
			二酸化窒素汚染状況マップ	市内環境大気中の二酸化窒素濃度分布状況
		阪南市	窒素酸化物(NO2)汚染濃度分布図	四季の濃度分布
			環境水質調査測定地点	市内河川の水質調査結果
		交野市	NOx分布図	市内のNOx濃度分布
		大阪市	大気汚染(発生源)分布	大気汚染物質排出量の全市メッシュ分布図
			大気汚染測定値分布図	常時監視データの濃度分布図
			水質汚濁測定値分布図	常時監視データの濃度分布図
			環境騒音分布図	年間平均の騒音分布図
	土地利用・開発	茨木市	基礎的な社会条件	人口分布・土地利用状況
		豊中市	市街地形成過程図	年代順に形成の経過を表す。
			大規模開発位置図	旧村落、耕地整理・区画整理、民間開発、公的開発の別
		吹田市	地形図	地形の状況
			地域地区	生産緑地地区を除く地域地区の指定状況把握
			施設配置図	都市計画施設の指定状況把握
			道路網図	都市計画道路の指定状況把握
			土地利用状況図	市域の土地利用現況
			都市施設状況図	市域の都市施設現況
			建物用途別現況図	市域の建物用途現況
			農地転用状況分布図	市域の農地転用現況
			宅地開発状況分布図	市域の民間宅地開発現況
			建物新築状況分布図	市域の建物新築現況
			都市公園の配置図	市域の都市公園の配置状況
		寝屋川市	都市計画図	現況の地形。都市計画に関する事項
			都市施設図	都市計画施設
			都市計画図(地形図)	現況の地形
		大阪市	自然環境データ建物分布図	市内の棟数、延べ床面積の分布図
			自然環境データ人口分布図	市内の人口、世帯数の分布図
			自然環境データ土地利用分布図	市内の道路面積、緑地面積の分布図
			自然環境データ事業所分布図	市内の事業所数、従業者数の分布図
自然環境	地盤・地質	豊中市	豊中土地条件図	地形分類、人工改変地形、地盤高等
			豊中地質図	沖積層、段丘、大阪層群、神戸層群等
			豊中地盤図	豊中市内全域の地層、地盤の断面、区画別地盤概況図
		枚方市	大阪府水準点位置図及び地盤沈下変動量	市内7地点の地盤沈下変動量
	動植物（緑地）	茨木市	自然環境	地形・地質・動植物・両生類・昆虫・淡水魚等の分布
			身近な生き物調査	動植物の確認状況
		豊中市	緑の分布図	草地、自然度の低い緑地、自然度の高い緑地、
		箕面市	みのお みどり・生きものガイドマップ	みどりや生きもの、セミのぬけがらの種類や分布など
		摂津市	自然環境マップ	緑の分布、昆虫、小動物、鳥類などの分布
		吹田市	都市公園の配置図	市域の都市公園の配置状況
			ため池マップ	市域の主要なため池で見られる動植物等の状況
			つばめの巣マップ	市域のつばめの巣の分布状況
		寝屋川市	生産緑地図	生産緑地の分布状況など
	気象	枚方市	風配図	市内各観測局における風配図(平成9年)
		大阪市	気象(気温、風速)分布図	常時監視データ、アメダスデータの気象分布図
文化環境	遺跡文化財	豊中市	歴史的資源分布図	国・府・市指定文化財、史跡、古文書、考古資料の分布
		阪南市	遺跡地図	遺跡の分布・範囲を記載
		大阪市	大阪市文化財地図	市内の国宝、文化財の地図
その他	総合	大東市	大東のかんきょう	小学校4年生向けの環境マップ
			防災マップ	災害時の心得と避難所
		忠岡町	大阪湾環境マップ	大阪湾岸の公園等の施設状況
		茨木市	快適環境	公園・文化財等の分布状況

「整備予定および整備すべき情報（設問Ⅱ）」

表1.4に情報整備を予定、または今後自治体で整備すべきと考えている情報内容を示す。動植物や公害に関するものがほとんどであり、特に生態系に配慮する動きが大きい。しかし、気候環境の情報化を予定している自治体は皆無であった。また、情報のデジタル化を目指す自治体も多いが、現状でGIS化されているのは大阪市のみであり、情報公開の容易性からも早急なGIS化が望まれる。

表1.4　整備予定および整備すべき情報

市町村名	整備予定、整備すべき情報
茨木市	植物分布・自然との共生度
熊取町	公害関係法令に基づく届け出必要施設の配置図
豊中市	動植物の生息調査による生物分布マップ
堺市	生き物分布図。GISによる図面管理を予定。
高槻市	大気、水質、騒音等に係る環境データ
吹田市	ヒメボタルマップ。GISによる図面管理を予定。
河内長野市	カワセミマップ
交野市	環境情報を市民に分かり易い形式で公表する
寝屋川市	保有図面のGIS化を予定

表1.5　気候環境情報に関するニーズ、整備可能性

市町村名	気候情報に関するニーズ、整備可能性
茨木市	地方自治体による個別整備ではなく、国の調査が必要
門真市	広域的な街づくりの検討に利用可能
太子町	ニーズはあるが財政的に整備は困難
四条畷市	必要性は理解できるが、コストや手間の点でメリットが少ない。
箕面市	自然を利用した街づくりに利用可能
高槻市	災害時の避難誘導などにも利用可能
池田市	意義はあるが、小規模自治体での必要性には疑問

「気候環境情報に対する意識（設問Ⅲ）」

表1.5に情報の有用性や整備の可能性といった気候環境情報に対する地方自治体の意識を示す。地方自治体としては、気候環境情報が整備されれば、自然と調和した住環境計画に有効と考える一方で、情報の整備主体については、財政や手間の面で市町村レベルで整備することは現実的ではなく、メリットが少ないとの意見が聞かれた。

1.1.3.3　環境情報整備状況に関するアンケート調査のまとめ

地方自治体における環境情報図面の作成・整備状況、気候環境情報に対する意識を調査することを目的として、大阪府下全市町村の環境関連部署を対象とするアンケート調査を実施した。その結果、現在保有する環境情報図面の多くが、公害や土地利用・開発、動植物に関するものであり、気候環境情報の図面化を行っている市町村は2市にとどまった。作成されている図面に関しても、1次的な図面情報が多く、何らかの計画指針図のような総合図面の整備例は皆無であった。気候環境情報に対する意識に関しては、地区（地域）や建築計画上有効と考える一方で、特に小規模の自治体では財政や手間の面で現実性がないとの回答が寄せられた。

1.2　本研究の目的

本研究では、1.1で解説した研究背景や環境共生型開発の現状、地方自治体における環境情報整備状況から、特に以下の点に課題を見出して検討を行うものとする。

a)　地域の環境特性に適合した地域・建築形態を模索していくためには、周辺環境に関する新たな情報システムを再構築する必要性がある。

b)　日本の地方自治体において、近年生態系への配慮から植生や昆虫などの分布状況を記した情報が整備されつつあるが、特に気候環境情報に関してはほとんど整備されていない。作成されている図面についても、1次的な情報図面が多く、何らかの計画指針を与える総合図面の整備例は皆無である。

c)　現状の環境共生開発における技術導入計画は、技術の総花的導入による理念先行、宣伝・啓発上の付加価値としての感が否めず、省エネルギー等の効果を十分に検討しているとは言い難い。また、建築内部の設計に重きが置かれ、未だ周辺環境との調和に対する配慮が軽視されている。

本研究は、地域気候特性に調和した外部環境連係型居住空間の計画プロセスを確立することを最上位の目的とし、実存する大規模な開発計画地区を対象として、周辺住宅地の居住者に対する意識・消費エネルギー調査によって気候環境特性と人間生活との関連性を把握し、対象地域の気候環境特性に関する詳細な実態把握によって気候環境資源の住環境計画への活用可能性を検討した後に、一連の解析結果を踏まえて計画関係者や居住者などを対象とする地域気候情報や情報システムの枠組みを提案することによって、上述の課題を解決しようとするものである。なお、本論文では地域に賦与された自然エネルギーのポテンシャルを有効に取捨選択することによって、計画対象における省エネルギー効果や環境負荷の軽減、快適性のみならず健康性を重視した屋内外環境の形成、さらには計画対象周辺地域の環境変化に配慮した開発計画を目指す開発のことを、「外部環境連係型開発」と呼ぶ。

本研究では、研究の全般を通して都心周辺に位置する丘陵地域をケーススタディーの対象として、環境調査から計画指針策定までの一連のプロセスを試行するものとする（対象地域の詳細は第２章を参照されたい）。丘陵地域のような傾斜地は、近年住宅地として新たに開発されることも多い上に、平坦な地域とは異なり多様な微気候現象が発生する可能性を秘めている。なお、本研究はケーススタディーとして、ある限定された対象地域における検討を試みるが、本研究の検討プロセスは、気候環境情報の整備方法や活用形態等を定義した気候環境情報活用フレームに関する提案としてシステム化（一般化）を試みており、気候現象が比較的単純であると予想される都市域や郊外平野部においても、そのフレームは十分に活用可能であると考えられる。

以下に、本研究で実施する具体的な検討項目を記す。

（１）地域の気候環境特性が周辺居住者に及ぼす影響に関する検討

住環境計画に対して気候環境資源を活用していくためのインセンティブを高めていくためには、実際に居住者がどのように周辺気候環境を認識し、そこからどのような影響を受けているかを把握しておく必要がある。つまり、地域気候特性と居住者の生活実感やエネルギー消費量等の関係を明確化し、より居住者に影響を与えやすい気候現象を明らかにすれば、気候環境に配慮した住環境計画指針がより具体化するだけでなく、指針を策定すること自体の重要性を示すことが可能となる。また、居住者は居住地域周辺の気候環境特性に関する知見を有する可能性が高いことから、定性的かつ主観的ではあるものの、それらの知見を収集することによって、その後の物理量に関する実態調査を効率的に実施することが可能になる。また、収集された知見自体も重要な情報となり得る。そこで本研究では、地域の気候環境特性が居住者の心理・生活面（環境認識や消費エネルギー等）に及ぼす影響についてアンケート調査の実施を試みる。

（２）気候環境特性の実態把握

ケーススタディー対象地域内の詳細な気候環境特性を把握することを目的として、計６種の実測調査および風洞実験を実施し、気温分布や風環境、さらには日射環境の特性について検討を行う。特に、本研究は丘陵地域を主たる検討対象としていることから、地域の斜面を下降する冷気流が発達し、地域の気温分布に多大な影響を及ぼしていることが居住者に対するアンケート調査や各種実測調査から明らかとなっている。従って、この冷気流については

特に詳細な検討を行うものとする。

（3）気候環境資源の住環境計画への活用可能性に関する検討

（2）で実施する実測調査によって現地の特性を把握することが可能ではあるが、現実的にはある限定条件でしか実測調査を行い得ないことや、実測結果のみでは計画後の効果や周辺影響に関して予測を行うことが困難であることから、任意条件下における特性の把握や開発後の効果・周辺影響を推定することが可能なツールを構築する必要がある。対象地域では様々な環境資源が賦存しているものと推測されるが、本研究では特に冷気流の資源価値に着目し、住宅開発が冷気流の減衰過程に及ぼす影響や住宅室内への自然通風効果について数値モデルを用いた検討を行う。その他には、（5）で実施する気候環境情報の図面化によって、対象領域内の太陽エネルギーや気温変化に伴う空調用エネルギーの分布状況に関する評価を試みる。

（4）気候環境情報活用フレームに関する提案

現状の環境共生開発における共生技術導入計画は、技術の導入に伴う省エネルギーや経済効果を十分に検討しているとは言い難い状況にあるが、この背景には周辺の環境特性に関する情報が十分に整備されていないことに加え、気候環境資源の抽出から評価までの一連の手順が確立されていないことが影響していると推察される。そこで、地域気候特性に調和した外部環境連係型居住空間の計画プロセスを確立することを視野に入れ、（1）から（3）までの検討プロセスを基に、気候環境情報の整備方法や活用形態等を定義した気候環境情報活用フレームに関する提案としてシステム化を試みる。

（5）地域気候環境特性に関する図面情報の作成

気温分布や風環境の状況などの1次的な情報である調査結果から、設計関係者自らが直接的に設計関連事象を読み取ることは困難である。従って、計画時の判断を適切に行うためには、気候環境特性に関する平易な表現やある種の計画指針にまで踏み込んだ、高次情報を事前に整備しておくことが望ましい。そこで、（4）で構築した気候環境情報活用フレームの検討結果を踏まえて、設計関係者や居住者を対象とする比較的平易な形式で表現された情報図面の作成を試みる。

1.3　本研究に関連する既往研究の概要

ここでは、本研究に関連する既往研究の概要を日本国内の検討事例を中心として項目別に列挙することによって、現状で抱えている問題点を明確化することを試みる。

1.3.1　地域の気候環境特性が周辺居住者に及ぼす影響に関する検討事例

石原ら[1.10]は密集住宅地に存在する小公園を対象として、周辺の気温や風向風速を測定し、公園の有する暑熱緩和効果に対する周辺住民へのアンケート調査を併せて実施している。上野ら[1.11]は熊本市内5ヶ所における居住者を対象として、快適性や電力消費量に関するアンケート調査を実施し、周辺の街区形態とそれらの関係について検討を行っている。しかし、石原らの調査はある緑地が周辺の居住者に与える影響を検討したものであり、多様な気候特性を対象としていないことやエネルギー消費量への影響を検討していないこと、井村らの調査は熱環境の実測調査を行っていないことやアンケートのサンプル数が少ないことな

どの問題が挙げられる。また、本項目に関する絶対的な検討数が非常に少ない状況にあることから、さらなる基礎資料収集の余地が残されている段階にある。

1.3.2　地域の気候環境特性の実態把握に関する検討事例

ここでは、以下の各項目別に、主として市街地域や住宅地域の気候環境特性に及ぼす各種変化要因の影響を実測調査によって明らかにしようとした事例を概観する。

【緑地の影響】　下田ら[1.12]は「国際花と緑の博覧会」会場において気温分布観測を実施した結果から、測定点周辺の土地利用状況と気温との重回帰分析を行い、緑地の気温低減効果を評価する一方、様々な評価半径での重回帰分析を実施することで土地利用スケールと気温制御の可能性について検討している。成田ら[1.13]は都市内緑地の環境調節効果に関して、緑地から周辺市街地までの測線で気温や風速、熱流に関する測定を行い、緑地の気温低下効果を示している。片山ら[1.14]は大小の都市内公園緑地を対象として緑被面積と気温との関係を検討し、緑被面積が大きいほど公園内部の気温が低下することを示している。その他、宮本ら[1.15]、丸田[1.16]、内藤ら[1.17]、清田ら[1.18]、高ら[1.19]、宮田ら[1.20]、千葉[1.21]、浜田ら[1.22]、本條ら[1.23]も気温分布に関する同様の検討を行っている。神田ら[1.24]は東京の明治神宮内で夏季晴天日の夕刻に明治神宮から周辺都市部へ、成田ら[1.25]は東京の新宿御苑から周辺都市部への発散風をそれぞれ観測しており、風場への影響を検討した貴重な事例と言える。

【水面の影響】　片山ら[1.26]は大きな池を有する市街地の夏季昼間の地表面温度分布や係留気球による風速と気温の鉛直分布に関して測定を行い、密集市街地と水面上に形成される熱環境の比較を行っている。また、片山ら[1.27]は海岸線に対してほぼ直角に都心部を流れる幅100mの河川上と、それに並行する幅30m程度の街路上の気温および風向・風速を測定し、河川に沿う風の流れを確認するとともに、気温が2℃から4℃低下することを示している。村川ら[1.28]は河川が周辺市街地に及ぼす影響を把握することを目的として、河川に直交する街路に沿って気温分布の実測を行い、河川上の気温は周辺市街地と比較して4℃以上低温になること、建物密度が低いほど、直交する街路幅が広いほど影響範囲が広がることを示している。その他、橋本ら[1.29]、成田ら[1.30]も主として気温や風場の影響に関する同様の検討を行っている。

【都市化の影響】　都市化の影響に関しては、ヒートアイランド現象の解明と関連して、建築環境工学分野のみならず気象学や地理学分野において非常に数多くの観測事例が存在する。例えば、北山ら[1.31]、水野ら[1.32]、梅干野ら[1.33]、石田ら[1.34]、渡辺[1.35]、堀越ら[1.36]、吉田[1.37]、清田ら[1.38]、岩井ら[1.39]、三上ら[1.40]、藤野ら[1.41]、福岡ら[1.42]、西尾[1.43]が代表的な事例として挙げられる。

なお、国外においては18世紀後半にHann[1.44]が都市と郊外間での気候差を指摘して以来、数多くの事例について検討が為されてきた。代表的な研究者としては、Howard[1.45]やGeiger[1.46]、Kratzer[1.47]らが挙げられる。1930年代以降には多くの都市気候研究がヨーロッパのみならず、アメリカやカナダなどでも実施されている。ここでは各検討事例に関する詳しい紹介は省略するが、世界の都市気候学の発展状況に関しては、吉野[1.48]によって詳細に整理されている。

本研究で対象とする傾斜地では、平坦地域とは異なり、地形や多様な土地利用の影響を受けて比較的狭い範囲内で大きな気候環境特性の変化を生じる可能性を秘めているものの、傾斜地やその周辺に位置する市街地（住宅地）を対象とする気候特性の検討を行っている事例

は、国内では三上ら[1.40]や竹林ら[1.49]に見受けられる程度である。

なお、傾斜地の気候環境特性に関する検討は、主として気象学や農業気象学分野において、物理気象学的な興味や霜害対策などの農学的興味を原動力として研究が進められている。例えば日本気象学会では、1980年代半ばに近藤ら[1.50]が複雑多様な地表面における地表面熱収支理論から局地風などの微気象を理論的に解明しようと試みている。その他の事例として、岡本ら[1.51]や加藤ら[1.52]による地形変化に伴う一般風の変化状況、鳥谷ら[1.53]や森ら[1.54]による局所的な密度流の解析が挙げられる。特に、本研究でも詳細に検討を進める斜面冷気流については、各地域での観測事例が近年でもいくつか報告されている。また、農業気象学会では、古くは1950年代半ばに吉野[1.55][1.56]が傾斜地の気候環境特性について霜害対策や農業生産性の向上を目的とする検討を行っている。その他の事例として、山本ら[1.57]による傾斜方位に伴う環境条件の差異に関する検討、今岡[1.58]による谷風に関する検討、黒瀬ら[1.59]による斜面温暖帯に関する検討等が挙げられる。特に冷気流に関しては、1980年代に局地気象研究部会研究会[1.60]が開催され、斜面冷気流は農作物にとって温風であるか冷風であるかの議論がなされており、霜害対策として冷気流を阻害すべきか、活用すべきかに関して白熱した議論が展開されている。以上のように、気象学分野や農業気象学分野では傾斜地における気候環境特性に関する検討が進められている一方で、住環境計画を視野に入れて傾斜地の気候環境特性を検討している事例は非常に少ないのが現状である。

1.3.3　気候環境資源の住環境計画への活用可能性に関する検討事例

地域・建築スケールでの熱環境制御手法としては、緑地の適切な配置や“風の道”の確保などによって地域気温や風、放射熱を調整する努力が進められており、国内においてもいくつかの具体的な事例が検討されている。例えば、足永ら[1.61]は河川周辺の集合住宅地を対象として、CFD解析によって川風を居住区内に積極的に導入する試みを行っている。向井ら[1.62]は名古屋市内を流れる運河において気温および風向・風速を測定した結果から、運河を風の道として効果的に利用することを提言している。片山ら[1.63]は福岡市内における一連の研究結果から、市内の代表河川流域を整備し、沿岸を並木道とすることによって風を通りやすくすることを提案している。その他、成田[1.64]は風洞実験を用いて河川周辺の建物配列が河川効果の拡がりに及ぼす影響について検討を行っている。梅干野ら[1.65]は住棟配置パターンの違いが単位敷地面積当たりの顕熱流量に及ぼす影響について検討を行っている。山村ら[1.66]はデザインを考慮した熱放射環境を予測評価する手法を開発している。以上のように、特に国内では海風起因の河川風を有効に活用しようとする事例が比較的多く見受けられる一方で、本研究で主たる対象とする斜面冷気流に関しては、先述のように竹林ら[1.49]が住宅地に及ぼす影響を検討している程度であり、住環境計画への積極的な活用可能性を検討した事例は見受けられない。

1.3.4　地域気候環境特性に関する図面情報の作成事例

森山ら[1.67]は、ランドサットによるリモートセンシングデータと一次元熱収支モデルを用いて、神戸市周辺における小気候分類図（クリマトープ）の作成を試みている。この事例では地域気候を小気候分類図（クリマトープ）という形で表現する手法を試みている点で重要な意味を持つが、気温や風場に関する情報が欠如していることや、計画指針に関する方針は提案されていない。

日本建築学会環境工学委員会環境設計小委員会「クリマアトラスの実用化WG」では、「地

域の気候環境特性に配慮した街づくりを推進するための気候環境情報の整備」を試みている[1.68]。委員会には日本各地の気候研究者が参加し、それぞれの地域における気候解析を進めているが、気候環境特性は地域によって異なることが予想されるため、様々な地域における検討を積み重ねることによって、計画提言の一般化が進められることが期待される。なお、2001年には神戸市、2002年には北九州市を対象として、各委員や地元の都市計画者、行政関係者が一同に会して気候解析図面や計画指針図面の作成を試みるワークショップを開催しており、今後の発展が期待できるところではあるが、未だ解析図面を作成するための客観的資料が不足していることや、ワークショップ形式で策定された指針の持つ意味付けが不十分であるなど現段階では発展途上な印象は拭えない。

飯野ら[1.69]は土地利用・土地被覆に着目した都市熱環境評価のための街区の類型化を行い、熱環境の観点から改善が必要な街区を抽出するとともに、具体的な改善案の提案を試みている。なお、この事例では評価指標としてHIP（ヒートアイランドポテンシャル）を提案しHIPの分布状況を図面化しているが、HIPの大小を決定するのは建物等の被覆材質や幾何学形状であり、地域の風や気温分布情報は図面情報として示されていない。

李ら[1.70]は地理情報システムを用いて熱環境評価データベースの作成から数値シミュレーションまでを実施するシステムを構築し、北九州学術研究都市を対象とする熱環境評価を実施している。ここで構築されたシステムは、GISベースで各種地域情報や熱環境シミュレーション結果を表示できるものであり、システム面で充実している一方、シミュレーションの精度や地域気象に関する詳細な観測を実施していないことに問題があり、得られた結果に対する信頼性の面で課題が残されている。

石原ら[1.71]は九州全域における100ヶ所のAMeDASと37ヶ所のSDPデータを用いて、九州全域を対象とする250mメッシュ気象データを作成し、自然エネルギーポテンシャル分布図を作成している。これらの分布図を使用することで、設計者が自然エネルギーの利用可能性を判断できるとしている。但し、137ヶ所のデータで九州全域に対する250mメッシュの精度で分布データを作成するというかなり大胆な手法を用いており、結果に対する精度の面で課題が残されている。

1.1.1で若干紹介したように、ドイツでは多くの都市で“クリマアトラス”と呼ばれる気候解析図面を作成し、気候学者や自然地理学者の気候環境特性に関する見解を、地域・建築計画者や地域住民にわかりやすく伝えるツールとして重要な役割を果たしている。ドイツで住環境計画に対する気候学的配慮が発展し、実際に計画面に適用されてきた最大の要因は大気汚染の悪化であり、健康に対する深刻な問題が原動力となっている。日本の現状に着目すると、大気汚染に関する問題は一部の盆地都市を除きそれほど深刻な状況下にはない一方で、多くの都市では夏季のサーマルストレスが重要な問題となっており、エネルギー消費量の増大や快適性の低下のみならず、熱中症発症者の増加など健康面の問題、都市生態系の変化など様々な問題が顕在化しつつある。このように日本とドイツでは問題が顕在化している主題が大きく異なることから、日本において同様の図面情報を作成する際には、日本独自の問題点に適合した情報内容を検討する必要がある。また、ドイツのクリマアトラスは地域気候特性の概略を表現することを主眼におき、ある季節・時間断面の空間分布情報のみを作成しているが、各種省エネルギー技術の評価を始めとする建築（設備）技術導入計画には時系列情報の整備が不可欠である。従って、住環境計画への適用を目的とした気候環境情報を整

備するためには、住環境と環境情報の関係を体系的に整理し、計画の際に必要な情報の枠組みを構築しておく必要がある。

いずれにせよ、日本では近年その概念が認識され始めた段階であり、実際に計画指針にまで踏み込んだ事例も稀である。

1.3.5　傾斜地における住環境計画指針の在り方に関する検討事例

古くは池原ら[1.72]が「傾斜地開発の基礎的研究」と題して、傾斜地特性を生かした住居計画のあり方について検討を行っている。その中で、斜面の自然的要素として気温や風などを採り上げているが、それらの要素を如何に活用するかについては何も指摘されていない。その他には、瀬尾ら[1.73]が「傾斜地開発におけるエコロジカル・プランニング」と題して、建築スケールで傾斜地における自然環境の仕組みを理解し、建築物と自然環境との関連性を把握し、開発計画の工夫を試みている。その中で、傾斜地を取り巻く環境として日射や風などの気象場を挙げているが、「室内気候向上のため、自然環境の持つポテンシャルを積極的に利用する」、「気象場に応じて建築の目的を考慮すべき」などと指摘するにとどまっている。新田ら[1.74]は、自然地理的立地と微気象の一般的特徴を挙げ、その中で丘陵地域や山腹を「良好な住宅地」と評価している。近年では、日本建築学会[1.75]がヒルサイドレジデンス構想と題して、「傾斜地は生活環境として変化に富んだ魅力的な空間を演出する」、「眺望・展望・見晴しといった景観的効果が優れている」、「災害の防止や生態系の保全に関して重要な役割を担っている」、「景観や日照などの点で優れたポテンシャルを有している」などと評価している。しかし、いずれの研究も計画の方法やその効果に関しては定性的な記述にとどまっていることや、基本的には自然保護や防災、効率的な街づくり等を目的とした土地利用計画に重きを置いており、地域気候特性を住環境計画に応用しようとする研究は現段階においても非常に少ないのが現状である。

1.4　本研究の特徴

1.3において、本研究に関連する既往研究を概観した結果、現状では地域の気候環境特性を地区（地域）計画や建築計画に適用することを目的として、環境特性に関する現地調査から計画指針の策定までに至る体系的な評価を行った事例は非常に少ないことが示された。本研究では1.2で示したように、ケーススタディー対象地区周辺の気候環境特性が周辺居住者に及ぼす影響を把握した上で、その詳細な解析や気候環境資源の住環境計画への適用可能性に関する検討を行い、計画関連者や周辺居住者を対象とする地域気候情報の作成を試みるという、一連の過程を体系的に実施するものであり、既存の検討事例とは大きく異なるスタンスを取っている。

また、1.2で示した個々の検討項目に関しても、地域の気候環境特性が周辺居住者に及ぼす影響に関する検討では、これまで地域気候と居住者の関係について検討した事例はごくわずかであり、調査結果を計画指針へ応用することのみならず、基礎的な資料としても有用になると考えられる。特に、本研究では居住者のエネルギー消費量について解析を進めるが、地域の気候環境特性とエネルギー消費との関係が明確になれば、地域の気候環境を制御することによるエネルギー消費の削減も現実的な試みとして位置付けることが可能となろう。地域の気候環境特性に関する実態把握では、これまで傾斜地を対象に傾斜地特有の気候環境特性が周辺住宅地域に及ぼす影響を検討した事例は非常に少ないことから、本項目で得られる

成果は気候解析に関する基礎的な資料としても有用になると考えられる。気候環境資源の住環境計画への活用可能性に関する検討では、地域の熱環境特性に大きな影響を与えるにも関わらず、未だ十分な検討が行われていない冷気流に関して、その構造把握や周辺住宅地に及ぼす影響に関する詳細な調査のみならず、冷気流を再現するモデルを新たに構築し、冷気流の特性について様々な検討を行うことは非常に新規性の高い検討になると考えられる。最後に、地域気候環境特性に関する図面情報の作成では、日本では近年地域環境情報の概念自体が認識され始めた段階にあり、気候環境情報の整備方法・活用形態に関するシステムの枠組みを構築した上で、住環境計画を視野に入れた図面情報の作成から具体的な計画指針の検討にまで踏み込んだ事例はこれまで見られないのが現状である。

以上のように、本研究で対象とする各検討項目の試みは、都市縁辺に位置する丘陵地というある限定された対象地域における検討ではあるものの、パイロット研究的な事例として新規性が高く新たな分野を開拓するものと考えられる。

1.5　本論文の構成

本論文は、1.4までに記した目的意識のもとに、緒論、総括の他に8つの章で構成される検討を試みる。以下にその概要を記す。

第1章「緒論」では、まず本研究の背景と目的を述べることによって現状の問題点を整理した後に、既往の研究を概観することによって本研究の特徴や位置付けを明確化する。

第2章「調査対象地の概要」では、本研究の全般を通して対象とする都市郊外の丘陵地（兵庫県川西市K地区）の概況を説明する。

第3章「丘陵地の気候環境特性が居住者の心理・生活面に及ぼす影響」では、第2章でその概要を述べた丘陵地（K地区）とその近傍の市街地（川西市中心部）を対象として、周辺居住者に対するアンケート調査により地域の熱環境特性が居住者の心理・生活面（環境認識や消費エネルギー等）に及ぼす影響を検討する。この調査で居住者に影響を与えやすい気候現象を明らかにすることによって、第9章で検討する計画指針の方針を具体化するだけでなく、指針を策定すること自体の意義を示そうとするものである。

第4章「複雑な地形を有する丘陵地における屋外温熱環境の成因」では、第9章で検討する地域気候に配慮した住環境計画指針を策定していく上で必要となる地域気候特性に関する基礎情報を得ることを目的として、第2章で述べた都市郊外の丘陵地を対象とする気温分布観測調査を行い、地形の変化が顕著な地域の局所気温分布の把握を試みる。また、地域の風場と気温分布状況との関連や周辺土地利用状況を説明変数とする重回帰分析を用いて地域気温分布の成因に関する検討を行う。

第5章「複雑地形上の風環境～実測および風洞実験による検討～」では、第4章で対象地域の気候環境特性には局所的な風場が大きく寄与していることが示唆された結果を受け、地形因子と風環境の変化に関する基礎情報を得ることを目的として、実測調査および風洞実験の両面から複雑地形上の風環境特性に関して把握を試みる。

第6章「斜面冷気流の特性把握を目的とした実測調査」では、第5章の検討結果から調査対象領域内の斜面を流下する冷気流が夜間の気温低下に多大な影響を及ぼしていることが示唆された結果を受け、冷気流が有する気候環境資源としての価値に着目し、冷気流の発生構造を把握するための実測調査を行う。この調査によって、冷気流の卓越時間や風向風速の安

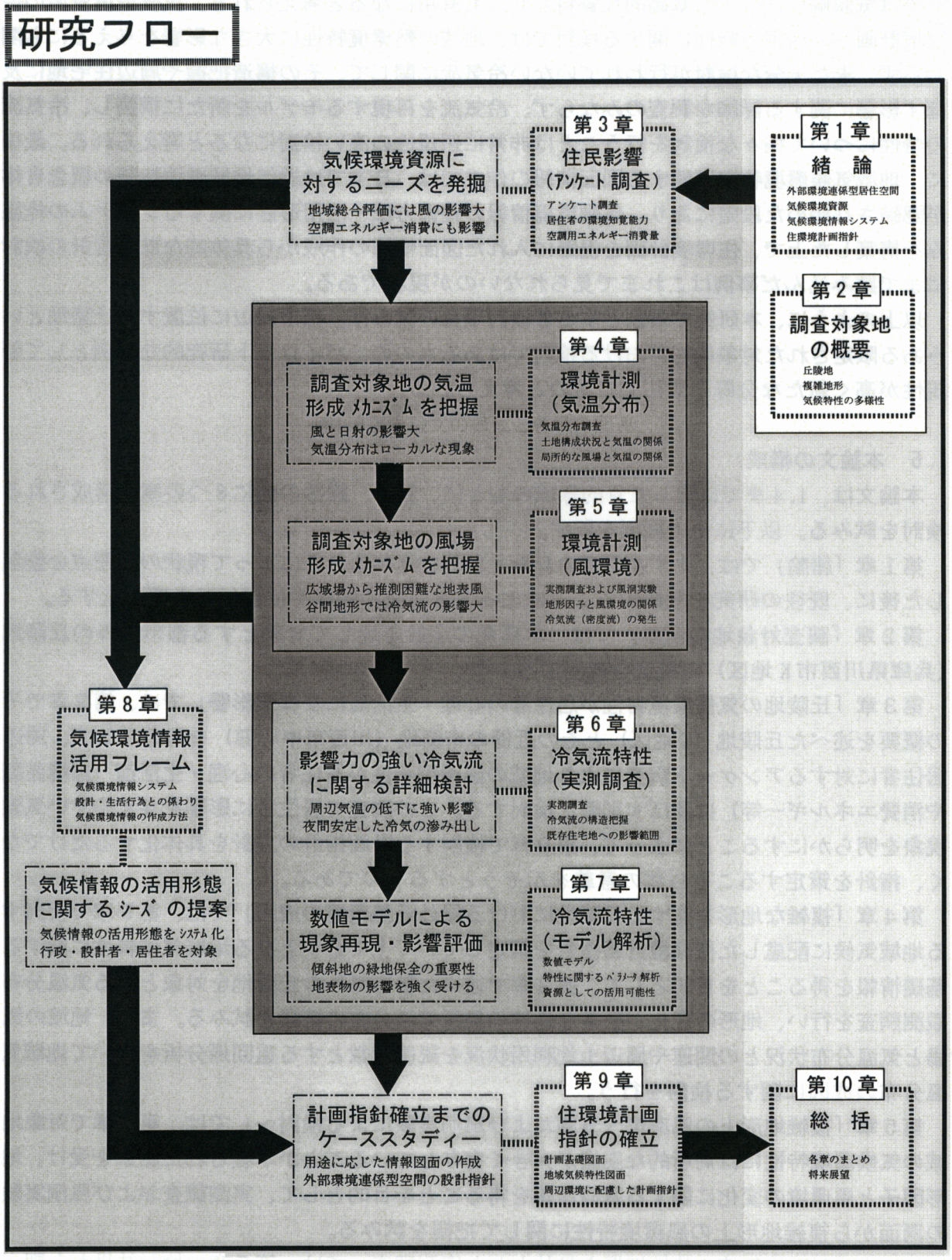


図1.4　本論文の構成と各章の関連

定性などの特性を始めとして、冷気流と気温変動の関係や冷気流熱源の特定、周辺市街地への影響範囲について検討を行うことで、住環境計画への適用可能性について検討するための基礎的な知見を収集する。

第７章「住環境計画への適用を目的とした冷気流のモデル化」では、斜面特性・土地利用などの情報から冷気流の規模や斜面下部へ運搬される冷気生成量を簡易に予測することを目的として、斜面直角方向への相似分布を前提とする積分方程式をベースとした冷気流モデルを作成し、冷気流の基本的な特性に関して再現を試みる。また、冷気流モデルで作成した鉛直プロファイルを境界条件とするCFDモデルを用いて、建物配置形状や配置密度等が住宅における自然通風利用可能量に及ぼす影響や建物後流域での冷気流減衰状況に関する評価を試みる。

第８章「住環境計画への適用を目的とした気候環境情報活用フレームの構築」では、気候環境資源の抽出から評価までの一連の手順が確立されていないことを鑑み、周辺気候特性に配慮した住環境計画を進展させることを視野に入れて、気候環境情報の整備や活用形態等をシステム化した気候環境情報活用フレームに関する提案を行う。その際には、第３章から第７章までの各種調査で得られた知見や問題点に配慮したフレームの構築を目指すものとする。また、通常実施されることが多い簡易的な気候環境評価を調査対象地域において実施した際に生じ得る誤差について評価を試みる。

第９章「周辺気候特性に配慮した住環境計画指針に関する検討」では、第８章で構築した一連の評価フレームに則り、実測調査や居住者アンケート調査を実施した都市郊外の丘陵地を対象として、計画基礎図面および地域気候特性図面の作成から周辺気候特性に配慮した住環境計画指針の立案までを試みる。

第１０章「総括」では、各章で得られた知見をまとめ、本論文の結論および総括とする。

図1.4に本論文の構成を示す。

参考文献

1.1) ＩＰＣＣ：気候変動に関する政府間パネル　第二次評価報告書、1995
1.2) 日本建築学会地球環境委員会：気候温暖化への建築研究分野での対応、1997
1.3) J.Fitch：American BUilding、The Environmental Forces that shape it、1972
1.4) ローマクラブ（監訳　大来佐武郎）：成長の限界、ダイヤモンド社、1972
1.5) 横山秀司：景観生態学、古今書院、1995
1.6) 環境共生住宅推進協議会：環境共生住宅A-Z、㈱ビオシティ、1998
1.7) 地球環境・住まい研究会：環境共生住宅宣言、ケイブン出版、1992
1.8) 住宅・建築省エネルギー機構：環境共生住宅事例集、1995
1.9) 大橋三千夫・三浦昌生・久保田徹・宮原亨典：県下の市町村における環境マップの整備状況に関する実態調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1047-1048、1999
1.10) 石原　修・斎藤郁雄：都市内緑地の都市気候緩和効果に関する実測調査、日本建築学会中国・九州支部研究報告、第８号、pp.57-60、1989
1.11) 上野賢仁・谷川寛樹・井村秀文：都市熱環境解析用地図の作成とその応用～街区規模での熱環境特性とエネルギー消費の解析～、環境システム研究、Vol.25、pp.183-189、1997
1.12) 下田吉之・水野　稔：博覧会会場における屋外気温分布調査とその成因に関する解析、

日本建築学会計画系論文報告集、No.475、pp.67-74、1995
1.13) 成田健一・清田誠良：都市内緑地の環境調節効果に関する実測研究、環境情報科学論文集、No.12、pp.269-274、1998
1.14) T.Katayama, A.Ishii, J.Tsutsumi, et al.:Field Survey on Cooling Effects of Vegetation in an Urban Area、J.of thermal Biology、No.5/6、pp.571-576、1993
1.15) 宮本 敦・橘本 剛・鄭 椙元・堀越哲美：水面及び緑地が都市内の熱環境形成に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.575-578、1995
1.16) 丸田頼一：公園緑地の都市自然環境に及ぼす影響、都市計画、No.69、pp.70、1972
1.17) 内藤和夫・水野 稔・山分弘史：局所熱環境に及ぼす周辺土地構成の影響、空気調和・衛生工学会論文集、No.25、pp.29-40、1984
1.18) 清田 信・伊藤孝美・高浦裕司：都市域（大阪）の熱環境と緑地の熱環境緩和、環境情報科学論文集、No.8、pp.9-14、1995
1.19) 高 偉俊・三浦秀一・尾島俊雄：東京江東区における緑地、河川のクールアイランド形成のための実態調査研究－都市環境における緑地オープンスペースによる熱的効果－、日本建築学会計画系論文集、No.456、pp.75-83、1994
1.20) 宮田敏雄・佐々木澄・持田 灯・吉野 博・渡辺浩文：都市内公園緑地の暑熱緩和効果に関する研究(その1) －夏季晴天時の公園緑地内外の温熱環境の実測調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.901-904、2001
1.21) 千葉 晃：小規模緑地とその周辺における気温観測、法政地理、No.23、pp.71-76、1995
1.22) 浜田 嵩・三上岳彦：都市内緑地のクールアイランド現象－明治神宮・代々木公園を事例として－、地理学評論、No.67A、pp.518-529、1994
1.23) 本條 毅・高倉 直：リモートセンシングによる都市内緑地の温度分布の解析、造園雑誌、Vol.49、No.5、pp.299-304、1986
1.24) 神田 学・森脇 亮・高柳百合子・横山 仁・浜田 崇：明治神宮の森の気候緩和機能・大気浄化機能の評価、天気、pp.713-722、1997
1.25) 成田健一・三上岳彦・本條 毅・菅原広史・木村圭司：新宿御苑におけるクールアイランド現象の実測、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.731-732、2001
1.26) 片山忠久・石井昭夫・西田 勝・堤純一郎・森川明夫・橘田光明：水面を有する市街地の熱環境に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.372、pp.21-29、1987
1.27) 片山忠久・石井昭夫・西田 勝・堤純一郎：海岸都市における河川の暑熱緩和効果に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.418、pp.1-9、1990
1.28) 村川三郎・関根 毅・成田健一・西名大作・千田勝也：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.415、pp.9-19、1990
1.29) 橘本 剛・船橋恭子・堀越哲美：海風の遡河遡上による都市暑熱環境の緩和効果－名古屋市の堀川および新堀川における事例－、日本建築学会計画系論文報告集、No.545、pp.65-70、2001
1.30) 成田健一・植村明子・三坂育正：都市気候に及ぼす河川水の熱的影響に関する実測研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.545、pp.9-19、2001

1.31) 北山広樹・片山忠久・他４名：都市における土地利用と気温分布に関する調査研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1397-1404、1992
1.32) M.Mizuno, Y.Nakamura, H.Murakami and S.Yamamoto：Effects of Land Use on Urban Horizontal Atmospheric Temperature Distributions、Energy and Buildings、15-2、pp.165-176、1990/1991
1.33) 梅干野晃・浦野良美・小田健一・浜口典茂：住宅地における夏季・冬季の熱環境実態および土地被覆率との関係－リモートセンシングによる住宅地の熱環境解析－、日本建築学会論文報告集、No.331、pp.115-126、1983
1.34) 石田秀樹・勝元則雄：積雪寒冷都市旭川の都市気候調査、日本建築学会北海道支部研究報告集、No.72、pp.213-216、1999
1.35) 渡辺浩文：仙台都市域における気温分布測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999
1.36) 堀越哲美・辻本信子・土井　正：大阪における夏期の気温分布と住宅の環境調整法、環境の管理1、pp.53-56、1988
1.37) 吉田篤正：岡山・倉敷市内の気温と湿度の実測、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.657-658、1998
1.38) 清田誠良・山本真一郎：市街地における街路空間の幾何学形状が都市気候に及ぼす影響、日本建築学会中国支部研究報告集、1999
1.39) 岩井一博・高木直樹・浅野良晴：地方都市における気象マップの作成と都市気候の実態に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No.526、pp.83-90、1999
1.40) 三上岳彦：大都市の地域経済構造と都市環境－住宅団地の都市気候環境　多摩ニュータウン南大沢地区の事例－、総合都市研究、No.53、pp.83-98、1994
1.41) 藤野　毅・浅枝　隆・和気亜紀夫・孟　岩：埼玉県南地方を対象にした郊外型ヒートアイランドの特徴、水工学論文集、No.37、pp.591-596、1993
1.42) 福岡義隆・高橋日出男・渡辺誠一・増野　茂：都市規模の増大に伴うヒートアイランドの変化、日本地理学会予稿集、No.44、pp.98-99、1993
1.43) 西尾美徳：豊橋市におけるヒートアイランドについて、地理科学、Vol.52、No.4、pp.207-221、1995
1.44) Hann,J.：Handbuch der Klimatologie、2 Aufl.、Stuttgart、1897
1.45) Howard,L.：Climate of London deduced from meteorologival observations. 3rd ed.、in 3 Vols.、Harvey & Darton、1833
1.46) Geiger,R.：Das Klima der bodennahen Luftschicht、1927
1.47) Kratzer,A.：Das Stadtklima. 2nd ed. Friedr、Vieweg & Sohn、Braunschweig、1956
1.48) 吉野正敏：都市気候と都市気候学の発展、都市環境学辞典、朝倉書店、1998
1.49) 竹林英樹・森山正和・糸川文崇：夏季夜間における山麓冷気流の出現頻度と市街地における影響距離、日本建築学会計画系論文集、NO.542、pp.99-106、2002
1.50) 近藤純正ほか：地形と地表面性質が夜間の斜面風・山風・盆地大気の冷却に及ぼす効果、天気、Vol.31、No.10、pp.625-632、1984
1.51) 岡本眞一ほか：複雑地形上におけるエアトレーサー拡散実験と山谷風の観測、天気、Vol.31、No.5、pp.293-303、1984

1.52）加藤真規子ほか：複雑地形上の気流の乱流特性－野外観測と風洞実験の比較－、天気、Vol.37、No.3、pp.171-183、1990
1.53）鳥谷 均：斜面下降風吹走時における斜面上の風と気温の時間変化について、天気、Vol.32、No.6、pp.311-319、1985
1.54）森 牧人・薦田宏章・小林哲夫・野田美香・武政剛弘：久住山南麓で観測された斜面下降流（冷気流）の特徴、天気、Vol.46、No.4、pp.281-288、1999
1.55）吉野正敏・福宿光一：谷をはさむ南北斜面の気温－小地域内の気温日変化の比較－、農業気象、Vol.8、No.1、pp.33-36、1953
1.56）吉野正敏・西沢利栄：冷気の流出と霜道の形成－下伊那郡松川町付近における予察的観測の結果－、農業気象、Vol.15、No.4、pp.133-138、1959
1.57）山本健吾・大泉久一：傾斜地利用に関する研究－第1報　傾斜方位による環境条件差異－、農業気象、Vol.4、pp.7-13、1948
1.58）今岡円七：斜面下降風と一般風との関係について、農業気象、Vol.20、No.2、pp.41-45、1964
1.59）黒瀬義孝・真木太一：赤外線放射温度計による大麻山の斜面温暖帯の測定、農業気象、Vol.43、No.4、pp.275-283、1987
1.60）局地気象研究部会：第13回局地気象研究部会研究会「局地風（2）冷気の流れ」、農業気象、Vol.53、No.4、1997
1.61）足永靖信・村上周三・森川泰成・持田 灯・大岡龍三・吉田伸治・大黒雅之・小野浩史：CFDによる川風の熱空気環境改善効果の解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.879-882、2002
1.62）向井 愛・堀越哲美：名古屋市中川運河における海風遡上が体感気候に及ぼす影響－笹島地区における「風の道」を活かした都市計画への提案－、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1、pp.689-690、1998
1.63）片山忠久・依田浩敏（日本建築学会編）：都市環境のクリマアトラス、海陸風を活かした都市づくり、ぎょうせい、pp.93-104、2000
1.64）成田健一：都市内河川の微気象的影響範囲に及ぼす周辺建物配列の影響に関する風洞実験、日本建築学会計画系論文集、No.442、pp.27-35、1992
1.65）梅干野晃・飯野秋成・小野幹治・谷口 新：集合住宅地における街区の空間形態および構成材料と全表面からの顕熱流量との関係の考察、日本建築学会計画系論文集、No.502、pp.57-64、1997
1.66）山村真司・梅干野晃・浅輪貴史：建築外部空間デザインの設計支援を目的とした熱放射環境の予測手法の開発、日本建築学会計画系論文集、No.554、pp.85-92、2002
1.67）森山正和・竹林英樹：正規化植生指標（NVI）と一次元熱収支モデルに基づいたクリマトープ図の作成手法に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No.518、pp.61-65、1999
1.68）日本建築学会環境工学委員会環境設計小委員会クリマアトラスの実用化WG・クリマアトラス研究会：クリマアトラスの実用化に関する研究－ワークショップによる計画指針図作成の試み－、日本建築学会技術報告集、No.14、pp.207-210、2001
1.69）飯野秋成・梅干野晃・尹 聖皖・塚本健二・円井基史：土地利用・土地被覆に着目した都市熱環境評価のための街区の類型化－熱帯モンスーン気候地域における都市の熱環境評

価に関する研究　第1報ー、日本建築学会計画系論文集、No.554、pp.55-62、2002
1.70）李 海峰・高 偉俊・吉田公夫・湯屋博史・尾島俊雄：地理情報を用いた地域の熱環境評価システムに関する研究、日本建築学会計画系論文集、No.518、pp.67-73、1999
1.71）石原 修・斉藤郁雄・西川邦彦：自然エネルギー活用のための気象データの整備と気候マップの作成、日本建築学会計画系論文集、No.509、pp.15-20、1998
1.72）池原義郎・森 義純・野出木貴夫・川井由寛：傾斜地開発の基礎的研究　その1　傾斜地に関する基本的要素、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.475-476、1973
1.73）瀬尾文彰・安立 植：傾斜地開発におけるエコロジカル・プランニング　その1　基礎的考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.877-878、1981.9
1.74）新田伸三・東 集成・石井昭夫：環境緑化における微気象の設計、鹿島出版会、1981
1.75）日本建築学会編：ヒルサイドレジデンス構想、技報堂、1990

第２章
調査対象地の概要

2.1 序論

第１章において、現状では地域の気候環境特性を地区（地域）計画や建築計画に適用することを目的として、環境特性に関する現地調査から計画指針の策定までに至る体系的な評価を行った事例は非常に少ないことが示された。特に、オンサイトの気候環境資源を有効に活用する外部環境連係型開発を実施するためには、現地における環境特性の把握が不可欠であるが、これまでは情報の欠如から定性的・経験的な判断にとどまっているのが現状であることを第１章で指摘した。このような状況を鑑み、本研究では気候環境特性に関する詳細な解析や周辺居住者に及ぼす影響を把握した上で、計画関係者や周辺居住者を主たる対象とする地域気候情報の作成を試みる。本章では、研究の全般を通して対象とする都心周辺に位置する丘陵地の概要について述べる。なお、気候資源の活用形態は対象とする地域の気候特性に応じて変化することが予想されるが、本研究ではある限定されたケーススタディー対象地域における現地での具体的な検討過程から一般性を抽出し、今後計画指針に関する一般論を確立するための基礎的検討を行うことを想定している。

2.2 研究対象地の概況

本研究では以下の理由から、都市周辺に位置する丘陵地を対象として検討を行う。

○日本では、都市平野部における過密化のため住宅開発が都市郊外に拡大しつつある。
○日本は国土の70%が山岳地域であり、都市部も周囲を山で囲われている場合が多い。従って、新規開発計画の対象は必然的にそれまで開発が困難・不経済であった都市周辺の丘陵地に移行するケースが目立つ。
○丘陵地は一般的に夏季の暑熱緩和に対して有利な気候環境特性を示すことや、自然が豊富に残されている地域が多い貴重な空間でもある。従って、丘陵地を住宅地として利用する際には、対象地域の自然環境を十分に把握した上で、個々の資源に対する人為的インパクトを最小限に抑えつつ、最大限にその資源の有効性を享受する環境調和型の開発

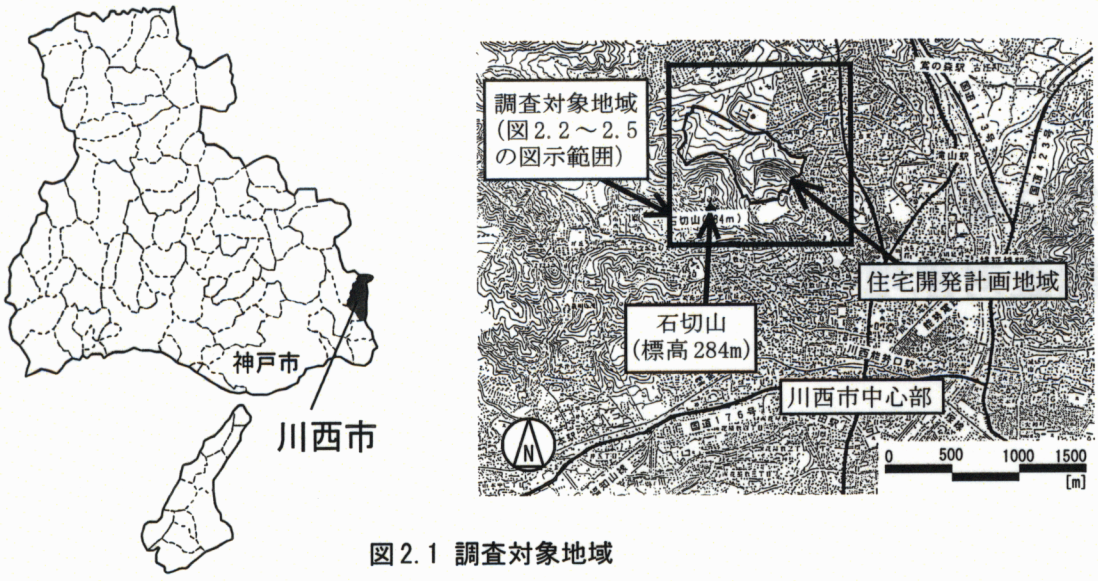


図2.1 調査対象地域

を推進する必要がある。

○比較的狭い範囲内での多様な地形特性や土地利用状況の変化が、多様な気候特性を発生させる可能性を秘めている。従って、ある一つの限定された対象における検討であるにも関わらず、一般的な平坦地と比較してより多くの指針が提案できる可能性が高い。

以上で列挙した状況を鑑み、本研究では都市郊外の丘陵地においてその気候環境特性を明確にした上で、活用可能な気候環境資源を住環境計画に活用する一方で、可能な限り既存の有効資源を保全することを目的として研究を進めることを基本方針として掲げるものとする。

2.2.1　K地区の概要

本研究の全般を通して対象とするケーススタディー地区には、実際に住宅開発が計画されている兵庫県川西市のK地区（地区面積約55ha）を選定した。K地区の位置を図2.1に示す。なお、図中には図2.2から図2.5における図示範囲を併せて示している。この地区は、大阪平野から1.5km北方に立上がった丘陵地域である。対象地域の北側には標高300m前後の山が連なる一方で、南側には大阪湾までほぼ平坦な地形が続いており、K地区はその境界部に位置する。この地域一帯では近年住宅地開発が進行中であるが、未だ多くの自然が残されており、今後の開発に対する指針を得る意義は大きい。川西市の市街中心部が約2km南方にあり、密集市街地と近接した場所に位置している。大阪の都心部までは約1時間程の場所にあり、大阪府のベッドタウンとしての役割を担っている。



写真2.1　住宅開発計画地域の現況

図2.1に示す「住宅開発計画地域」では面積約55haの住宅地開発が進行中であり、現在は一部で造成が始まった段階である（1999年当時）。

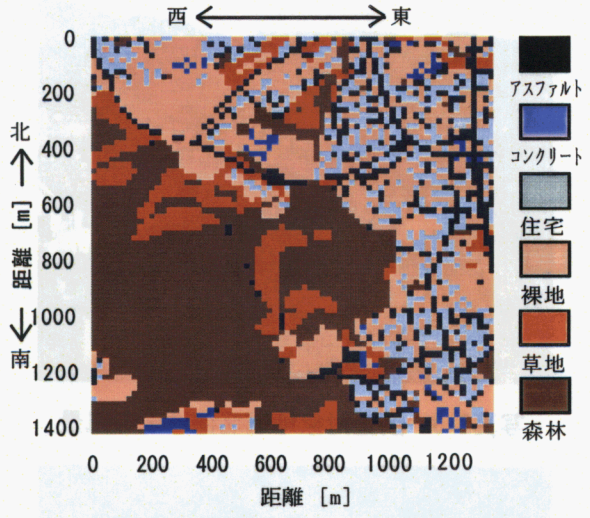


図2.2　調査対象地域の土地利用形態

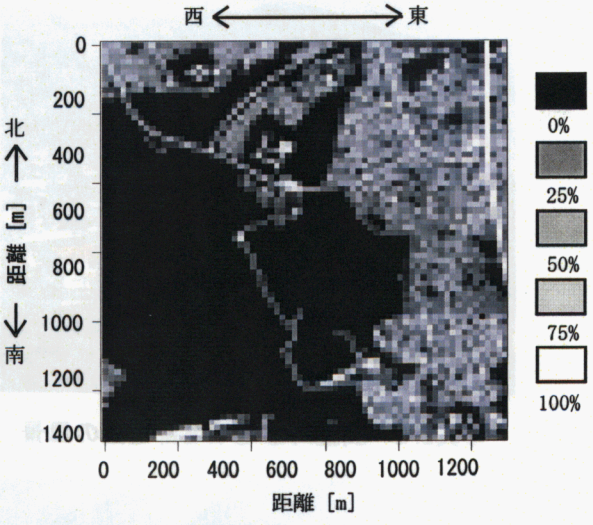


図2.3　調査対象地域の人工地表率分布

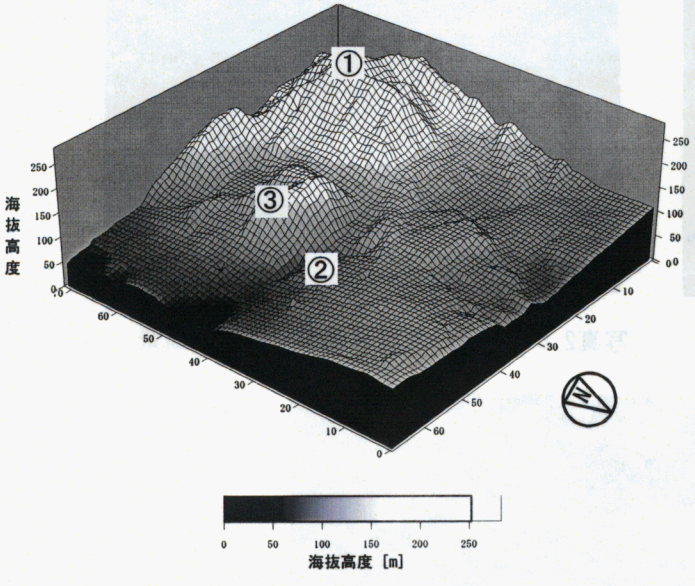


図2.4 調査対象地域の鳥瞰図

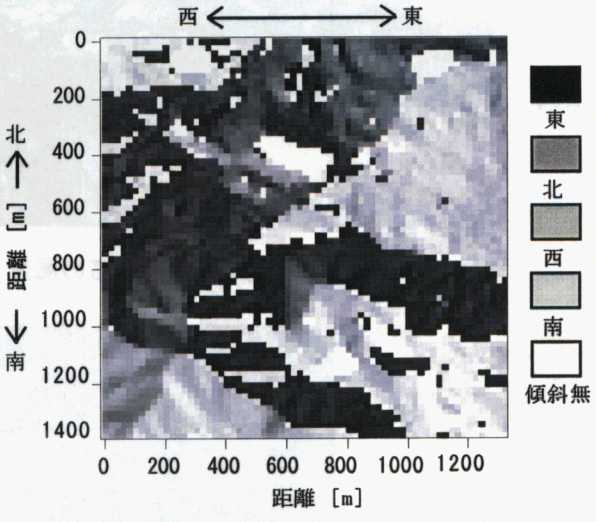


図2.5　調査対象地域内の斜面方位角

「住宅開発計画地域」北部の現況を写真2.1に示す。初期計画として約1,840戸（戸建住宅760戸、中高層住居1,080戸）の宅地建設が予定されている。計画人口は6,826人であり、近年ではかなり大規模な開発計画の部類に入るものと考えられる。写真2.2から写真2.5に対象地域の特徴的な風景を、図2.6に各写真の撮影範囲を示す。

2.2.2　土地利用形態

調査対象地域における現状の土地利用形態を図2.2に、人工地表率の分布状況を図2.3に示す。図示範囲は図2.1に示す通りである。土地利用形態に関する情報は、航空写真や住宅地図、現地調査を基にデジタイザーを用いて6種類（アスファルト、コンクリート、住宅、裸地、草地、森林）の区分でデジタルデータ化した後に、このデジタルデータが1ドット1.25m四方のドットデータであることを活かして、20m四方のメッシュデータとして集計した結果から、各メッシュにおける最大占有土地利用形態を各メッシュにおける代表土地利用形態として定義した。人工地表率は同様の手法によって、アスファルト、コンクリート、住

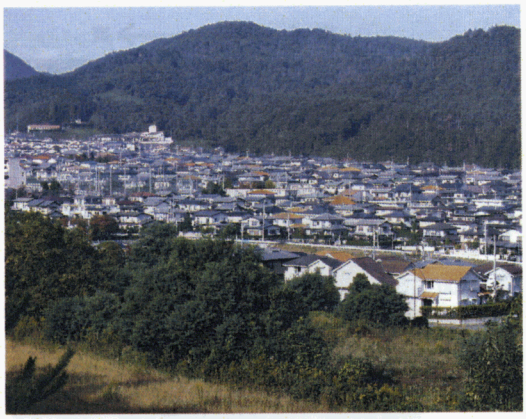


写真2.2　調査対象地域北部地区の風景



写真2.3　調査対象地域北部地区の風景



写真2.4　調査対象地域南東部地区の風景

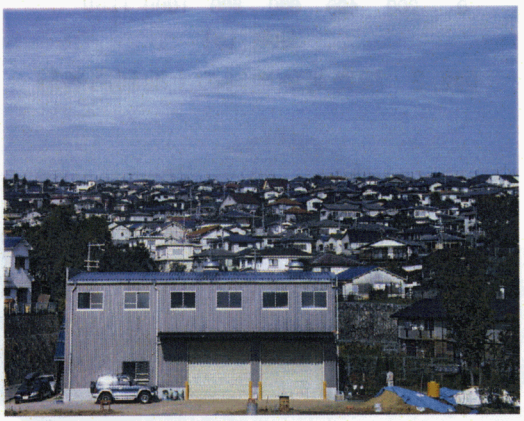


写真2.5　調査対象地域北東部地区の風景

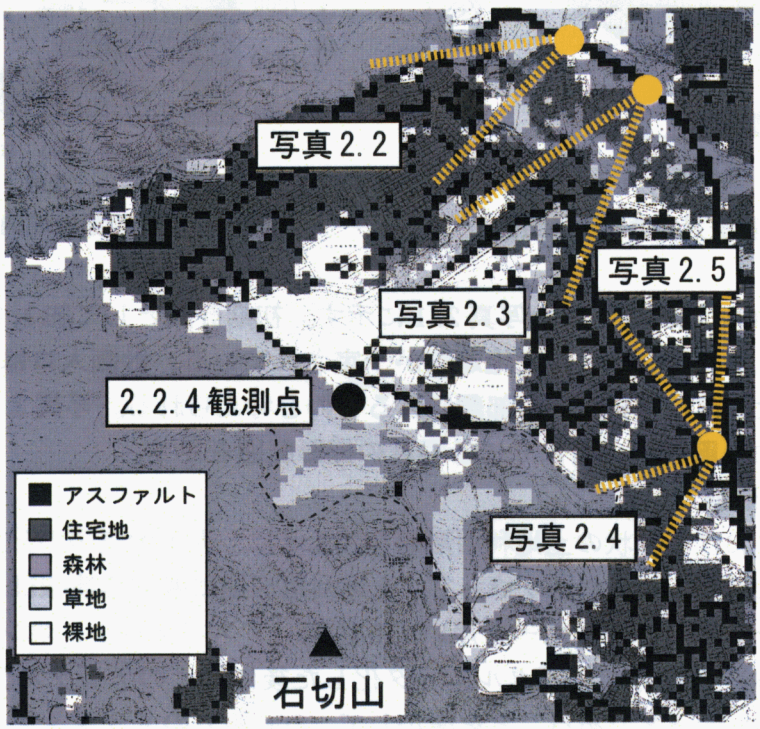


図2.6　各写真の撮影位置および範囲

宅に区分されるドット数を20m四方のメッシュデータとして集計した結果から求めた。

図2.1に示す「住宅開発計画地域」は、一部で既に造成が開始されているものの、現状はほぼ自然地である。地域内の植生としては、当地域は従前にゴルフ場として利用されているなど、人為的な影響を受けているため、自然植生はほとんど消滅し、2次的な森林が形成されている。住宅開発計画地域よりも斜面上部（南側）にはアカマツ林や、コナラやクヌギなどの落葉広葉樹林が広がっており、この地域一帯の代表的な植生となっている。

調査対象地域の北部から東部にかけては、既存の戸建住宅が広がっており、大部分が人工地表である。なお、用途地域区分としては、地域一帯は第1種低層住居専用地域に区分されている。西部から南部にかけては、地域一帯の地形的なシンボルである石切山の山並みに囲まれた自然の豊富なエリアである。既存の東側住宅地から北側住宅地にかけては、片側2車線の幹線道路（川西猪名川線）があり、特に昼間は非常に交通量が多い状況下にある。

2.2.3　地形

調査対象地域の鳥瞰図を図2.4に、地域内の斜面方位角を図2.5に示す。これらのデータは調査対象地域を20m四方のメッシュに区分した後に、各メッシュにおける平均的な標高を地形図から読み取ることによって作成している。斜面方位角については、隣接4メッシュの標高差から求めている。

地区全体は概ね、地区南西部の石切山①（標高284m）から北東方向へ続く緩やかな傾斜地である。石切山北東部には深い谷②が形成され、東部には小高い丘③を有するなど、地区内には多くの起伏が存在する。

2.2.4　気象条件

次章以降で対象地域の詳細な気候特性を検討する前に、対象地域と周辺市街地との気候特性の違いについて以下に検討を行う。

表2.1に検討に用いたデータの種類や測定場所等の情報を示す。各地域間ではデータの提供元が異なっており、測器の違いや測定場所に対する配慮などの違いから、地域間の比較の際には注意する必要がある。なお、K地区の観測データは図2.6に示す測定点で観測された結果である。観測方法等の詳細については第5章を参照されたい。

図2.7に周辺市街地および対象地域における5月の平均気温を示す。なお、5月のデータを用いて比較を行った理由については、最も晴天確率が高く、また欠測期間も短かかったことによる。その結果、最高気温時に最も気温が高い値を示すのは「大阪市中心部」である一方で、最も低い値を示すのは「能勢町」であり、その差は約2℃であった。図2.7の結果に示されているように、最低気温時にはより大きな違いを生じており、その違いから地域の気

表2.1　検討に用いたデータの概要

	測定場所	大阪湾からの直線距離	使用データ
大阪市中心部	大阪市中央区	5km	AMeDAS
尼崎中心部	尼崎市東難波町	3.5km	尼崎公害監視センター提供
宝塚市中心部	宝塚市売布東の町	9km	兵庫県環境局提供
川西市中心部	川西市火打	13.5km	川西市消防署提供
K地区	川西市K地区	15km	独自測定データ(第5章)
能勢町	大阪府能勢町	25km	AMeDAS

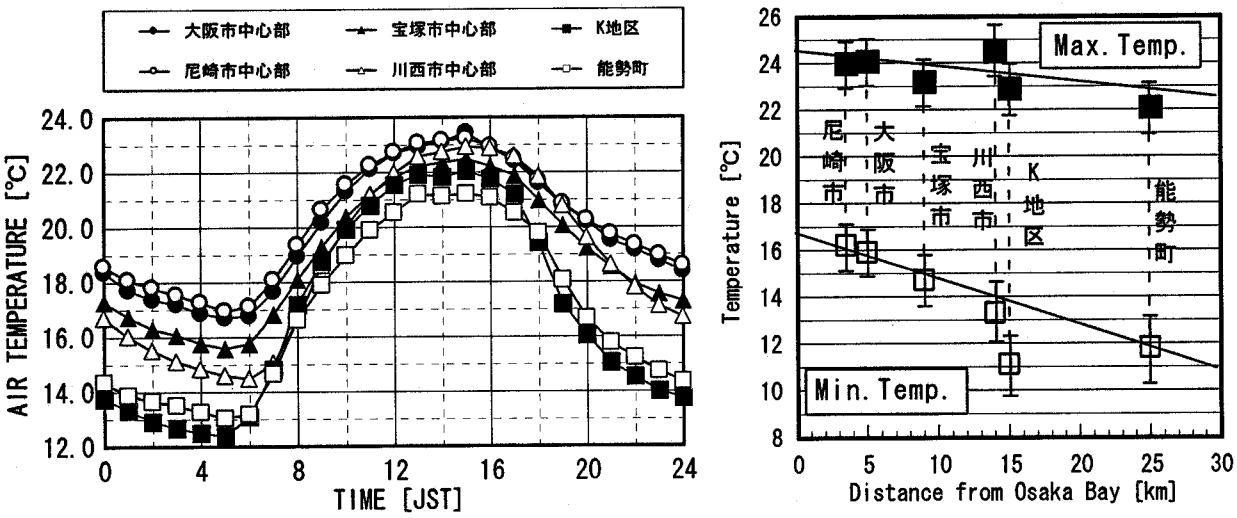


図2.7　対象地域周辺市街地との気温差（1997年5月：月平均）

象特性は概ね次の3グループに分類された。第1は「能勢町」と「K地区」が含まれる自然が豊富に残存する地域であり、第2は「宝塚市中心部」および「川西市中心部」の内陸部に位置する郊外住宅地区、第3は「大阪市中心部」および「尼崎市中心部」の臨海人口密集地域である。それぞれのグループ間の気温差は約2℃である。表2.1に示した大阪湾からの直線距離によると、海岸から離れるに従って夜間気温が低下する傾向が顕著に見受けられるが、海岸線から25km離れた「能勢町」と比較して、15km離れた「K地区」ではより夜間気温が低下していることがわかる。「能勢町」の標高は概ね450m程度である一方で、「K地区」では100m程度であり、それぞれ平野部と比較して2.5℃、0.5℃程度低下するものと考えられ、この点からも「K地区」における気温低下幅が非常に大きいことがわかる。以上の結果に関して、各々の気温測定点周辺における土地利用状況等の局所的な影響を受けている可能性も大いに考えられるが、「K地区」は少なくとも「川西市中心部」や「宝塚市中心部」などの平野部にある周辺市街地とは大きく異なった気象特性を示していることが予想される。

2.3　まとめ

本章では、本研究の全般を通して対象とするケーススタディー地区（K地区）の概況について説明を行った。

第３章
丘陵地の気候環境特性が居住者の心理・生活面に及ぼす影響

3.1 序論

設計関係者が住環境計画を行う際に、気候環境資源を活用していくためのインセンティブを高めていくには、実際に居住者がどのように周辺気候環境を認識し、気候環境からどのような影響を受けているかを把握しておく必要がある。つまり、地域気候特性と居住者の生活実感やエネルギー消費量等の関係を明確化し、より居住者に影響を与えやすい気候現象を明らかにすれば、気候環境に配慮した住環境計画指針がより具体化するだけでなく、指針を策定すること自体の意義を示すことが可能となる。また、周辺居住者は居住地域周辺の気候環境特性に関する知見を有している可能性があることから、定性的かつ主観的な知見ではあるものの、それらの知見を収集することによって、その後の物理量に関する実態調査を効率的に実施することも可能になる。また、収集された知見自体も重要な情報源となり得よう。

地域の気候環境特性が周辺居住者に及ぼす影響に関しては、石原ら[3.1)]は都市内小公園が周辺居住者に与える影響を検討した。また、上野ら[3.2)]は街区規模での熱環境特性と居住者の環境認識やエネルギー消費量の差について検討した。しかし、石原らの調査はある緑地が周辺の居住者に与える影響を検討したものであり多様な気候特性を対象としていないことやエネルギー消費量への影響を検討していないこと、上野らの調査は熱環境の実測調査を行っていないことやアンケートのサンプル数が少ないことなどの問題が残されている。従って、地域の気候特性が居住者の意識や生活面に与える影響については、さらなる基礎資料収集の余地が残されている段階にあると言えよう。

そこで本章では、第２章でその概要を述べた丘陵地（K地区）とその近傍の市街地（川西市中心部）を対象として、地域の気候環境特性が居住者の心理・生活面（環境認識や消費エネルギー等）に及ぼす影響についてアンケート調査を行った。

3.2 調査概要

3.2.1 調査対象地域の概要

第２章でその概要を述べたように、複雑な地形変化により比較的狭い範囲内に多様な微気



写真3.1 対象地域の地理的状況

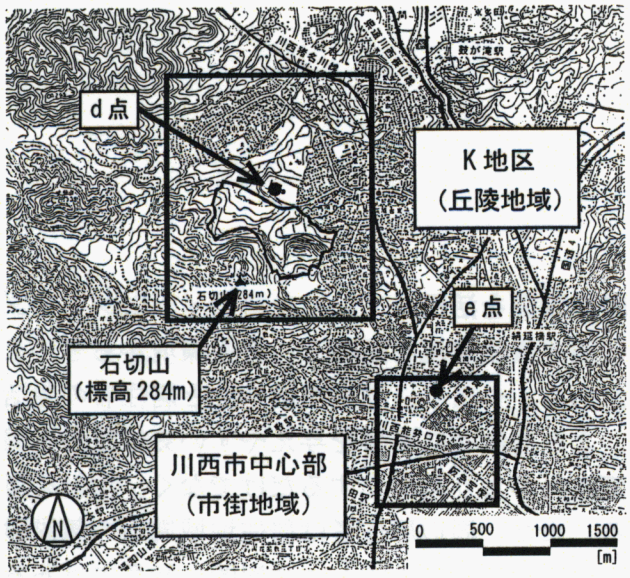


図3.1 対象地域の位置関係

象の発生が予想される兵庫県川西市K地区一帯を調査対象地区として選定した。また、比較対象として、平野部に位置するK地区に隣接した川西市中心市街地においても同様の調査を行った。両地区の位置関係を図3.1および写真3.1に示す。両地区間は水平距離で約1.5km離れている一方で、両地区間には丘陵地帯と平野部の境界を挟むために約100mの高度差がある。両地点は水平距離の面では非常に近接しており、両地点間の気候差は微・小気候上の違いに相当する[3.3)]。本章の本文中以降では、K地区を“丘陵地域”、川西市中心部を“市街地域”と表記する。図3.2に“丘陵地域”

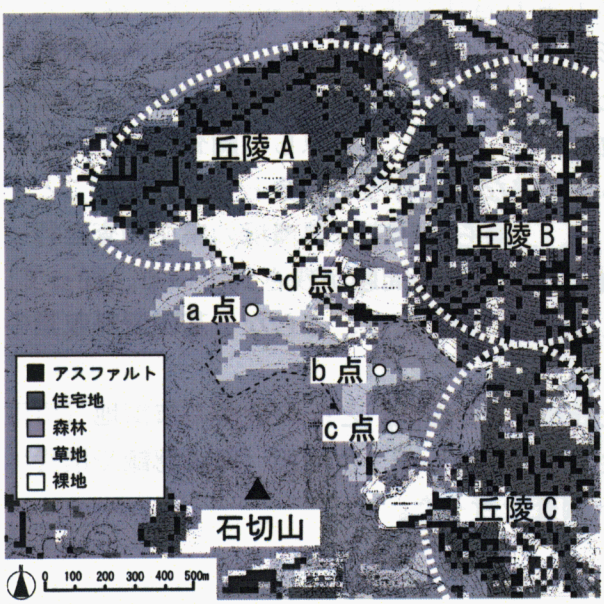


図3.2　調査対象地域の土地利用概況

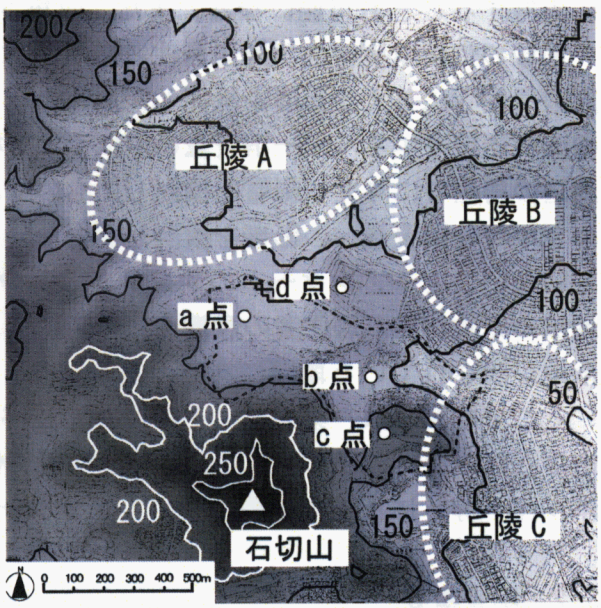


図3.3　調査対象地域の地形概況

の土地利用概況を示す。“丘陵地域”は周囲に森林などの自然が豊富に残存する、第1種低層住居専用地域を中心とした住宅地区である一方、“市街地域”は第2種住居地域や商業地域を中心とした複合開発地区である。図3.3に“丘陵地域”の地形概況を示す。地区全体は概ね、地区南西部の石切山を中心とした傾斜地であり、地区内には多くの起伏が存在する。“市街地域”はほぼ全域で平坦である。

“丘陵地域”内には多くの起伏があるため、地区内での微気象発生状況に変化が予想される。そこで、“丘陵地域”を地形の特性に応じて“丘陵A”、“丘陵B”、“丘陵C”の3地区に区分した。区分状況を図3.2および図3.3に示す。“丘陵A”は3方を山や尾根に囲まれた盆地に位置し、地区全体はわずかに北東方向に傾斜している。地区内はそのほとんどが戸建住宅である。“丘陵B”は石切山から北東方向に連なる尾根上に位置し、地区全体は主として南東方向に傾斜している。地区内はそのほとんどが戸建住宅であるが、いくつかの商業地域を有する。“丘陵C”は石切山の東斜面に位置し、地区北部には非常に深い谷を有する。地区北部は北方向に、地区南部は南東方向に傾斜する。地区内はそのほとんどが戸建住宅である。

3.2.2 アンケート調査方法

先述の“丘陵地域”および“市街地域”在住の居住者に対して、1998年の10～11月にアンケート調査を実施した。アンケート調査の設問は、①「回答者の属性」、②「自宅周辺の屋外温熱環境に対する意識」、③「自宅内の冷房や通風の状況」、④「月間電力消費量」の4項目、総質問数42とした。調査は申告票の訪問配布ならびに郵送回収の方法で行った結果、“丘陵地域”と“市街地域”を合わせて794の有効回答を得た（詳細は表3.1を参照）。なお、両地域間で調査対象者の属性をできる限り統一するために、戸建住宅に在住の居住者に限定して配布を行った。なお、「月間電力消費量」に関する有効回答数は373（47.0%）であった。

表3.1 アンケートの配布・回収結果

	配布数	回収数	回収率
丘陵地域	912	703	77.1%
市街地域	110	91	82.7%
全体	1022	794	77.7%

3.2.3 屋外温熱環境調査方法

3.2.2で述べたアンケート調査と並行して、アンケート調査で得られる各種心理量やエネルギー消費量との相関関係を検討するために、周辺地域の気温分布や風環境特性に関する実測調査を実施している。これら実測調査結果の詳細については、第4章や第5章に詳しく記述しているが、本章ではアンケート調査結果との対応を目的として取りまとめた一部の結果について報告する。以下に、各実測調査に関する測定方法の概略を述べる。

3.2.3.1 気温分布調査方法

調査は1997年から1999年にかけて、各季節を通して計17回実施された（日中10回、夜間7回）。先述の対象地域を5つのゾーン（“丘陵地域”：3ゾーン、“市街地域”：2ゾーン）に分割し、各ゾーン毎に移動観測を行った。測定方法や装置等の詳細については第4章を参照のこと。なお、本調査結果の詳細は第4章に記述している。

3.2.3.2 風環境調査方法

調査は1997年の1年間を通して実施された。“丘陵地域”内にaからdまで4点の観測ステーションを設け、10分間隔で継続的にデータを記録した。測定方法や装置等の詳細については第5章を参照のこと。a点は石切山北部の斜面上、b点は石切山北東部の谷部、c点は石

切山北東部の中腹部分、d点は石切山北部に位置する教育施設の屋上にそれぞれ設置した。なお、ポイント名称が第5章とは若干異なっていることに注意されたい。観測ステーションの設置場所を図3.2および図3.3に示す。測定高さは、aからc点については地上6m、d点については地上20mとした。d点は主として“丘陵地域”周辺の広域的な風環境の観測を目的としている。“市街地域”のデータには、アンケート対象地区内のやや北部に位置する川西消防署における測定データを使用した。以降ではこれをe点とする。測定高さは地上15m程であることや周囲に局所的な外乱を生じるような地物が無いことを確認しており、d点と同様に広域的な状況を示すと推測される。

3.3　アンケート調査対象地域の気候環境特性

3.3.1　風環境の特性

図3.4に両地域における1997年10月の月間風配図（日中：10時～16時、夜間：20時～翌6時）を、図3.5に1997年10月の月平均風速変化をそれぞれ示す。なお、風速はべき法則（べき指数：0.2）を用いて両地点の測定値を地上1.5mに変換した値によって比較した。風向の結果については、日中はd点とe点の結果から両地域を含む広域的な風場がやや不明瞭である一方で、“丘陵地域”内のb点とc点では明確な主風向が確認されている。b点では石切山から東北東に続く谷間に測定点があることから（図3.3参照）、この谷間に沿った風向を示した。c点では石切山と石切山東部の小丘（標高150m程度）に挟まれた場所に位置することから風向が明確に限定された。このように、複雑地形を有する地域では地形の影響を受けた局所的な風が地表面付近を支配しており、地域の風環境を評価する際には十分に注意する必要がある（詳細については第5章を参照のこと）。市街地域では地形に起伏が無いため、全域でほぼ同様の風向が卓越していると推測される。夜間はd点とe点の結果から、北寄りの風が両地域を広域的に支配しており、その風向頻度が昼間と比較して明瞭になる様子

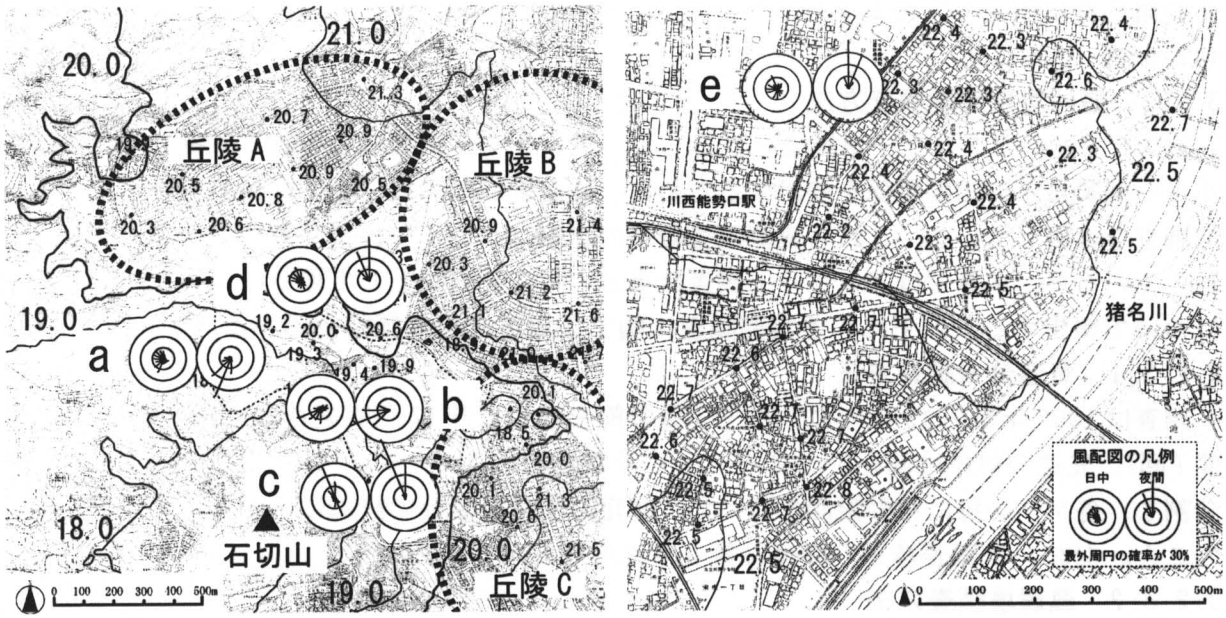


図3.4　温熱環境調査結果（気温分布：1998年10月19日16時、
風配：1997年10月：日中10時～16時・夜間20時～6時）

が伺える。その一方で、a点とb点では広域風の風向とは全く異なる、斜面傾斜方向のかなり明確な主風向が確認された。図3.5に示す風速の結果に関しては、両地域ともに昼間に風速が増加する一方で、夜間には風速がほぼ半減した。両地域間の差に関しては、全時間帯を通して“市街地域”の方がわずか0.5m/s程度であるが強い値を示した。

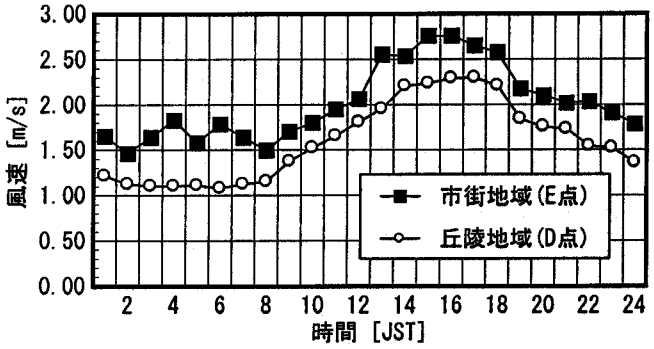


図3.5　両地域における風速経時変化
(1997年10月の平均値)

3.3.2　気温分布の特性

図3.4に全17回の測定結果の代表例として、1998年10月19日16時の結果を示す。両地域の気温分布特性として、10月19日はやや曇りがちな天候であったにも関わらず、“丘陵地域”内の気温レンジは3.2℃（森林などの自然地域のデータを除いて）とやや大きめの値を示す一方で、“市街地域”については0.6℃と極端に小さい値を示した。平均値に関しては、“丘陵地域”の20.6℃に対して“市街地域”では22.5℃と、約2℃の差を生じていた。“市街地域”内には比較的規模の大きい猪名川がエリア内に存在しているにも関わらず、この影響はほとんど確認することができなかった。この結果から、“市街地域”内の熱環境はほぼ一様であり、変化に乏しいことが伺える。

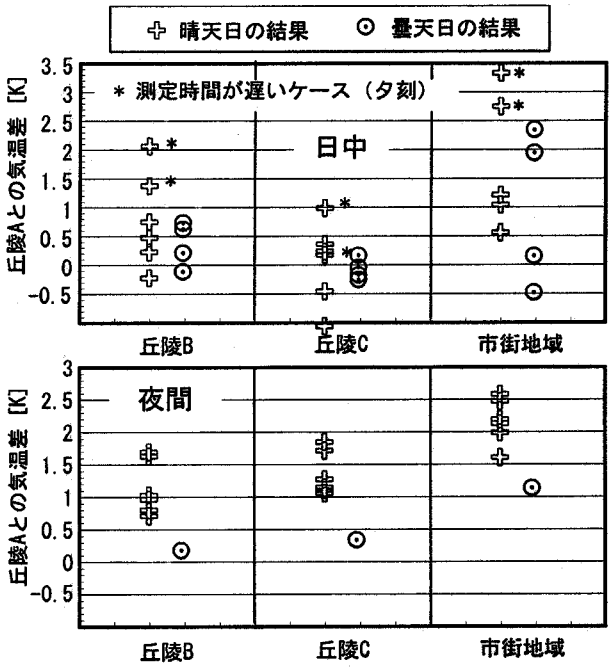


図3.6　“丘陵A”を基準とした各地域間の気温差

図3.6に各地域間の平均気温差（“丘陵A”を基準）を示す。図3.6の結果から、日中は“丘陵C”で“丘陵A”と同程度のやや低い値を示すが、日中には一般的に接地境界層の大気が不安定な状態であることが影響して各地域間の気温差には大きなばらつきが見受けられる。夕刻には“丘陵A”の気温が急速に低下し、“丘陵B”との間には2℃程度、“市街地域”との間には3℃程度の明確な気温差が認められた。夜間には大気が安定するために日中に比べて明確な差を示した。図3.6の結果は、“丘陵地域”および“市街地域”ともに測定点周辺の土地利用状況が住宅地域に属する測定点でのデータを用いて比較しているにも関わらず、“丘陵A”と“市街地域”間では2℃程度の気温差が認められた。なお、曇天時には両地域間の差が若干減少する傾向が見受けられる。

3.4　アンケート調査結果

3.4.1　アンケート回答者の属性

アンケート回答者の属性を表3.2に示す。本調査では申告票の配布時に最も自宅滞在時間

が長い居住者による回答を依頼したために、比較的高齢の女性が多く回答した。敷地面積および床面積において危険率5%未満で“丘陵地域”が有意に大きい結果を示したが、“丘陵地域”と“市街地域”間ではその他の属性に大差は認められなかった。

表3.2　アンケート回答者の属性

項目	選択肢	丘陵地域［%］	市街地域［%］
性別	男性	27.4	29.5
	女性	72.6	70.5
年齢［才］	-19	0.3	1.1
	20-29	3.5	6.8
	30-39	10.7	9.1
	40-49	14.9	12.5
	50-59	30.8	18.5
	60-	39.9	52.3
世帯人数［人］	1	2.5	3.4
	2	32.2	30.7
	3	23.0	30.7
	4	25.9	18.2
	5	11.4	11.4
	6-	4.9	5.7
居住年数［年］	-1	2.7	2.3
	1-3	7.1	8.0
	3-5	7.2	5.7
	5-10	12.3	4.6
	10-20	28.5	18.4
	20-	42.2	60.9
住宅面積［m^2］	敷地面積	216.1	171.3
	床面積	130.7	114.1

3.4.2　居住者が知覚する丘陵地の気候環境特性

3.4.2.1　居住者が認識する丘陵地の気候的特徴

“丘陵地域”の居住者のみを対象として「丘陵地の気候環境特性で特に意識する現象」を自由回答で質問した結果、表3.3に示す回答を得た。回答率は76.5%（回答数538）であった。表3.3の各項目の記述は、回答を代表的なカテゴリー別に区分し、例示した結果である。その結果、『市中心部との温度差』、『朝夕の涼しさ』を挙げた居住者の割合は54%を占め、「市の中心部と比べて2～3℃低く感じる」、「明け方、夜間は気温が下がり、涼しく感じる」との回答が得られた。図3.6の各地域間の気温差に関する結果から、晴天日の夜間には“丘陵A”と“市街地域”で常に2℃程度の気温差を生じていることや、夕刻には急激に温度差が増大することが示されており、過半数の居住者は気温の変化に良く対応した心理影響を受けているものと推察される。また、『特徴的な風』を挙げた居住者は14%を占めており、「夕方になると山からひんやりとした風を感じる」等の回答が得られた。図3.4の風配図から、a点やb点では斜面傾斜方向の風の流れを観測しており、この斜面上方からの風の流れを周辺居住者は認識しているものと考えられる。その他、丘陵地の気候環境

表3.3　丘陵地域の気候的特徴

市中心部との温度差　（回答数１５９）
- 都心部より２～３℃低く感じる
- 能勢口駅周辺にいくと気温が3℃ほど上がる
- 行き帰りで温度や空気の味の変化がわかる
- 能勢口から帰宅するとき地形に応じて二回温度変化を感じる。
- 大阪市内から帰ってくると３～４℃低く気持ちが良い。
- 市街地からのバスを降りたときひんやりと感じる。

朝夕の涼しさ　（回答数１３２）
- 昼蒸し暑くても２２時頃気温が下がり過ごしやすくなる
- 夜がふけると急に涼しく感じる
- 特に夜の気温の違いを肌で感じる。
- 日によって明け方肌寒く思う事がある。
- 夜、窓を開けると涼しいので快適な睡眠が得られる。
- 夜は窓を開けるとクーラー必要なしで快適である。

特徴的な風　（回答数７６）
- 西側が小高い山なので吹き下ろす風を良く感じる
- 夜は北西又は西から涼風が吹く（山を渡ってくる風）。
- 夕方の凪のあと、決まって山手から北西の風が吹く。
- 夕方になると山の方からひんやりした風を感じる。
- 山から冷たい空気が下りてくるので快適。
- 常に高所より空気の流れがあり、日没後は急に涼しくなる。

冬の寒さの厳しさ　（回答数４４）
- 都心部と比べると冬季は冷え込む
- 冬の寒さが厳しい。
- 冬の間は風の冷たさを感じる。
- 夏の暑さよりも冬の寒さが都心部に比べて顕著

空気の清涼感　（回答数４１）
- 多少涼しく空気もきれいなように感じられる。
- 風の肌に感じるさわやかさが違う
- 駅前から帰ってくる時、徐々に空気が変わる。
- 山から吹いてくる風はとても涼しく新鮮でおいしい。

気候の多様性　（回答数２４）
- 気候の変化が多いように思う。
- にわか雨が多いように思う
- 降雨、降雪の頻度が高い。
- 気象の変化が激しい。

気候の経年変化　（回答数１３）
- １７，８年前はクーラーが必要なかったが、５，６年前から必要になった。
- 雪が積もるほどだった２０年前頃よりは寒くなくなった。
- ４，５年前から、涼しさを感じなくなった
- 住宅開発のためか丘陵気候の特徴を感じることが少なくなった。

日照環境　（回答数１３）
- 西側に山があり日が暮れるのが早い
- 住宅地は南斜面に造成され日当たりは良好。
- 空気がきれい、紫外線が強い。
- 紫外線が強く、朝８時ごろでも洗濯物を干すのに帽子がいる

特性をネガティブに感じている回答として『冬の寒さの厳しさ』が挙げられるが、このような意見を持つ居住者は1割に満たないことが分かる。また、2%の居住者が『気候の経年変化』について回答しており、近年夏季の居住環境が悪化しつつあることを知覚しているようである。

以上の結果から、“丘陵地域”の居住者は「丘陵地の気候環境特性」に関して“市街地域”との気温差を最も強く感じており、2から3℃程度の気温差があれば過半数の居住者によって知覚される可能性があることが示された[注3.1)]。

3.4.2.2 居住者が認識する自宅周辺の屋外における熱的快適感

図3.7に「自宅周辺屋外における夏季の熱的快適感」に関する回答結果を示す。その結果、昼夜ともに“丘陵地域”（“丘陵A”、“丘陵B”、“丘陵C”）と“市街地域”の間には顕著な差が認められた。“丘陵地域”内の平均値と“市街地域”間で比較を行うと、日中には“丘陵地域”で40%の居住者が「快適」もしくは「やや快適」と回答しているのに対して、“市街地域”では23%の回答にとどまった。夜間に関して、“丘陵地域”では55%が快適寄りの回答を行っているのに対して、“市街地域”では30%にとどまった。“丘陵地域”内の相違に着目すると、日中には“丘陵C”で明確に他の地域との差が認められ、快適寄りの回答が目立った。一方で、夜間には“丘陵A”のみで快適側の比率が他の地域に比較して顕著に増加した。

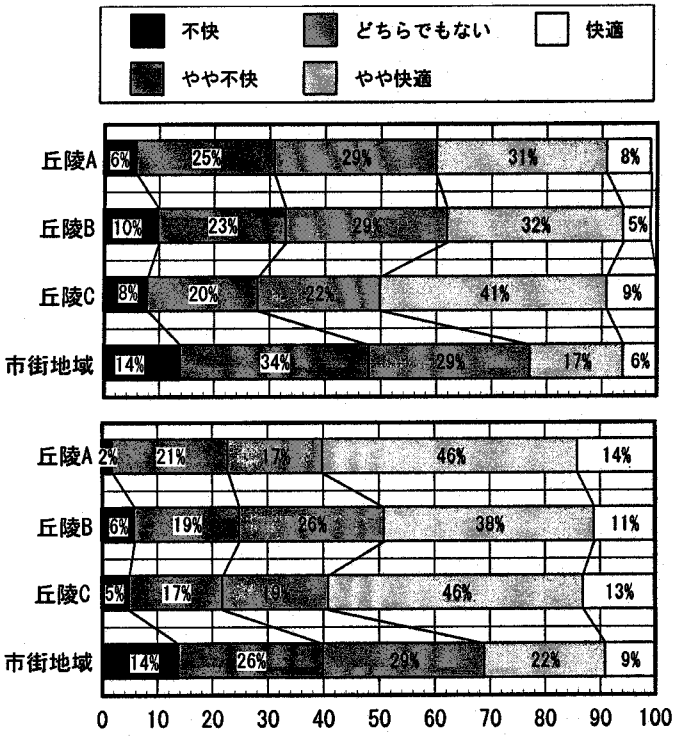


図3.7 自宅周辺屋外における夏季の熱的快適感（上図：日中、下図：夜間）

表3.4に自宅周辺の屋外における熱的快適感に関して、快適側に感じる理由を自由記述形式で質問した結果を、代表的なカテゴリー別に整理した結果として示す。その結果、昼夜ともに地域の風環境の良さを挙げている居住者が非常に多く見受けられることから、図3.7の結果には風環境に対する評価が強く反映されていることが予想される。

ここで、自宅周辺の屋外における熱的快適感に関連することが予想される各種申告値について昼夜別に相関分析を行っ

表3.4 熱的快適感の回答理由

	快適な理由（昼間）		快適な理由（夜間）	
丘陵地域	風環境の良さ	26	風環境の良さ	33
	地形効果	18	夜間の低温化	26
	自然・緑の豊かさ	16	地形効果	25
	都心部との比較	6	都心部との比較	10
	心理的な清涼感	5	心理的な清涼感	9

注3.1) 以上の回答には、一般的な知見や開発業者などの伝聞を基に形成された意見も含むと推測されるが、多くの回答には定量的な違いや時空間の変化など具体的な指摘事項が表現されており、実際に住民が周辺の地域環境を体感して得られた結果も多く含まれているものと推測される。

表3.5　相関分析結果

日中

順位	項目	相関係数
1	温度環境	0.467
2	屋外の風の強さ	0.342
3	空気質	0.322
4	緑環境	0.302
5	騒音環境	0.269

夜間

順位	項目	相関係数
1	温度環境	0.385
2	屋外の風の強さ	0.369
3	騒音環境	0.286
4	空気質	0.281
5	緑環境	0.254

表3.6　重回帰分析結果

日中

説明変数	偏回帰係数	標準化係数
温度環境	0.325	0.362
屋外の風の強さ	0.298	0.237
空気質	0.146	0.182

除外された変数
・緑環境
・騒音環境
自由度調整済み決定係数
0.920

夜間

説明変数	偏回帰係数	標準化係数
屋外の風の強さ	0.409	0.309
温度環境	0.220	0.225
騒音環境	0.125	0.133
空気質	0.074	0.084

除外された変数
・緑環境

自由度調整済み決定係数
0.929

たところ、表3.5に示す上位5因子が挙げられた。日中には「温度環境に関する満足度」の相関が最も強く、ついで「屋外の風の強さ」、「空気質に関する満足度」、「緑環境に関する満足度」、「騒音環境に関する満足度」の順に続いた。また、夜間には「温度環境に関する満足度」の相関が最も強く、ついで「屋外の風の強さ」、「騒音環境に関する満足度」、「空気質に関する満足度」、「緑環境に関する満足度」の順に続いた。この結果を受けて、昼夜ともにこれらの5因子を説明変数、熱的快適感に関する申告値を従属変数とする重回帰分析を行うことによって熱的快適感に影響を与える因子の抽出を試みた。なお、説明変数に関してはステップワイズ法（変数増減法）を用いることによって、説明力の弱い説明変数については除外した。その結果を昼夜別に表3.6に示す。日中に関して、モデルの第一説明変数には「温度環境に対する満足度」が採用された。以下、「屋外の風の強さ」、「空気質に関する満足度」が採用された。いずれもアンケート調査による申告値である。夜間に関して、モデルの第一説明変数には「屋外の風の強さ」が採用された。以下、「温度環境に対する満足度」、「騒音環境に関する満足度」、「空気質に関する満足度」が採用されており、上位2番目までの採択因子は昼夜間で違いが認められなかった。

以上の結果から、昼夜を通して自宅周辺の屋外における熱的な快適感には、地域の風環境特性や温度環境特性が強い影響を及ぼしており、特に温度環境の差異が著しい“丘陵地域”と“市街地域”間で熱的快適感の申告に大きな違いが生じたものと推測される。また、図3.5の結果から、地域の代表風速としては“市街地域”の方でむしろ強い値を示しているものの、次節で後述するように、“市街地域”では密集した開発が進むことによって居住者の滞在する地表面付近では風の減衰が予想されることや、空気質や騒音環境の悪化により窓を開放することが困難な状況下に曝されるために、“丘陵地域”でより快適な申告結果が得られたものと推測される。

3.4.2.3　風環境に対する居住者の認識

前節の結果から、地域の風環境特性が居住者の認識する地域の熱的な快適感に与える影響は温度環境特性の次に大きいことが示唆された。この結果は、地域の気温状況のみならず、風の強弱に関しても地域の熱環境評価に大きく影響していることを示すものである。本節では、この屋外風環境に対する居住者の認識度について検討を行うことによって、居住者が自宅周辺の風環境を正しく認識しているかどうかについて評価を試みた。

まず、居住者が認識する「自宅周辺の夏季における屋外の風の強さ」に対する回答結果を

図3.8に示す。図3.5に示した両地域間の風速比較結果（実測値）から、両地点の風速はほぼ同程度であり、若干ではあるが“市街地域”の方で強い値を示すことがわかる。なお、図3.5に示した結果は、両地点ともに周囲に局所的な外乱を生じるような地物（建物等）が無く、3階もしくは4階の建物屋上で計測された結果であり、地域の代表的な風環境を示すものである。これに対して、風の強さに関する意識については、昼夜ともに“丘陵地域”の方が「適度」の回答割合が多く、両地域間には危険率1%未満の統計的な有意差が認められた。また、図3.5によると、両地点ともに夜間には風速がほぼ半減しているにも関わらず、両地域ともに「弱い」側の申告割合が若干ではあるが減少し、「適度」の回答割合が増加していることがわかる。この結果は、すなわち、実際の環境においては風速が弱くなるにも関わらず、居住者の意識上では風が日中と比較して強く吹いているように体感されている訳であり、これは、表3.6で示すように、夜間に「屋外の風の強さ」が地域の熱的快適感に対する最重要因子となった事実とも一致しており、興味深い結果である。

次に、居住者が認識する「自宅周辺の屋外における夏季の風向」に対する回答結果を図3.9に示す。また、実測データに基づく8月の昼夜別風配図を図3.10に示す。先述のように、図3.10で得られた結果は地域の代表的な風環境を示すものである。日中の“丘陵地域”では、「南」方向から風を感じる人の割合が最も多く、「南東」および「南西」方向を加えると約6割の人が南寄りであると申告しており、図3.10に示す実測結果とほぼ類似した傾向を示した。一方で“市街地域”では、実測結果より「南西」の風が卓越していることがわかるが、申告結果では「西」から「南東」方向からの回答が多く見受けられており、“丘陵地域”と比較して若干居住者の意識と実現象との間に乖離が認められるものの、概ね類似した傾向を示している。夜間には、実測結果によると“丘陵地域”では「北」および「北北西」、“市街地域”では「北北東」および「北東」の風が卓越する結果が得られた。しかし、居住者の意識に関しては、日中と比べて若干北寄りの申告割合が増加しているものの、両地域ともに非常にばらついた結果が認められた。

以上の結果から、3.4.2.2でも示したように、地域の熱的な快適感には周辺の風環境が重要な役割を果たすことが予想される一方で、

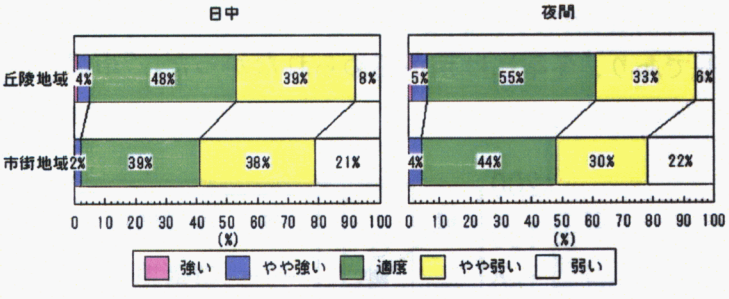


図3.8　居住者の認識する夏季屋外の風の強さ

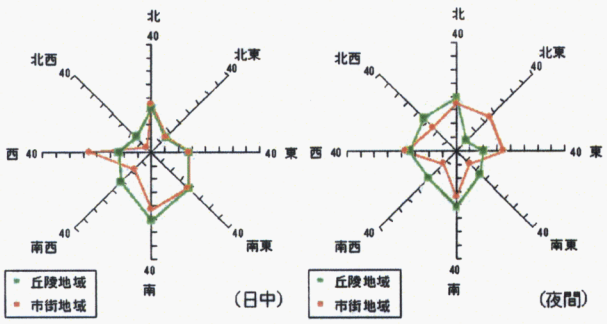


図3.9　居住者の認識する夏季の屋外風向

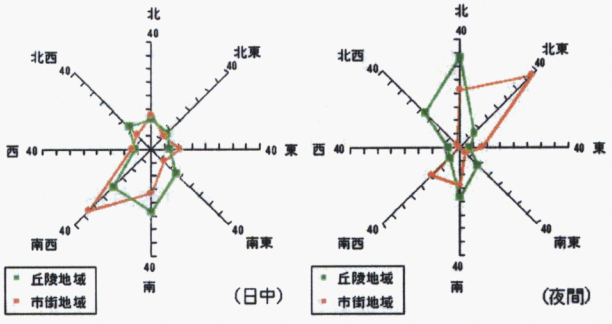


図3.10　実測結果に基づく夏季の屋外風向

居住者は特に夜間における地域の風場を充分には認識していないと考えられる。但し、特に“丘陵地域”では複雑な地形の影響を受けて、地域の代表的な風場からは判断することが困難な局所的な風場が発生している可能性があり、居住者の認識を弱めている可能性も考えられる。いずれにせよ、室内の自然通風利用等には地域の風場を十分に理解しておくことが重要になると考えられるが、現段階では充分に理解されていない状況が伺えたことからも、今後地域情報としての気候環境情報の有効な活用が望まれるところである。

3.4.3　冷房用電力消費量に関する検討

3.4.3.1　冷房用電力消費量の地域比較

前節までの結果から、“丘陵地域”の居住者の多くは丘陵地特有の様々な気候現象を知覚し、環境変化に対応した心理影響を受けていることが示された。また、住宅周辺の熱的な快適感には地域の気温状況のみならず風環境の影響が強いことが推察された。ここでは、居住者が受容する心理影響が生活面にどのような影響を及ぼしているかを検討するために、各世帯の電力消費量（主に冷房用電力消費量）を指標とした検討を行った。なお、「月間電力消費量」に関する有効回答数373のうち、過去1年間の全データが揃う326世帯のデータを使用して、以降の解析を行った。

両地域における月間平均電力消費量を図3.11に示す。ここでは各世帯の規模（住宅面積や世帯人数）の影響を可能な限り排除するために月間ベース電力消費量に対する比で表示した。ベース電力消費量とは冷房や暖房用エネルギー需要の少ない中間期の電力消費量を指す。本研究では各世帯の5月と6月の平均電力消費量を各世帯のベース消費量とした[注3.2)]。ここで、住宅規模の影響を排除するためには床面積や冷房機器台数、世帯人数当たりで原単位化する方法が一般的に用いられているが、部屋や冷房機器の使用状況によっては適切な数値が得られない可能性があるため、ここでは住宅規模を総合的に表現する指標として月間ベース電力消費量に対する比を使用した。図3.11の結果によると、両地域間の差は特に夏季に顕著であり、冬季には差が認められなかった。“市街地域”では最寒月および最暑月ともにベー

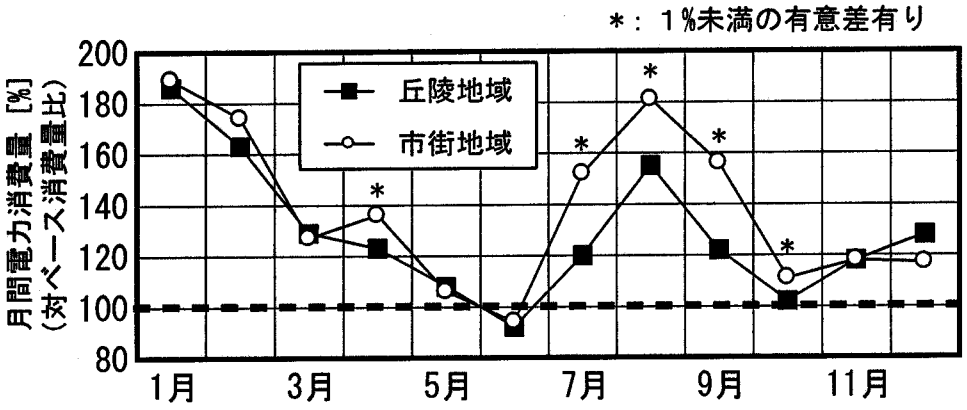


図3.11 月間電力消費量（対月間ベース電力消費量比）

注3.2) 対象地区では検針日が各月の中旬であるため、例えば6月の電力消費量は5月中旬から6月中旬までの期間を示す。従って、各世帯のベース電力消費量は、厳密には4月中旬から6月中旬までの平均値を示すことになる。

ス消費量に対して80%程度の増加を示すが、“丘陵地域”では最寒月で80%程度の増加に対して最暑月で50%程度の増加にとどまった。なお、“丘陵地域”と“市街地域”間でT検定を行ったところ、4月および7月から10月の間で危険率1%未満の有意差が認められた[注3.3)]。例外的に4月には有意差が生じているものの、主として冷房期に両地域間で大きな差が認められた。ここで、暖房期には地域間差が全く認められなかった原因に関しては、暖房期には達成目標室温と外気温の差が一般的に大きくなる傾向があるために、室内外温度差に対する地域間気温差の割合が冷房期と比較して小さくなることが挙げられる。また、冬季には外気温が快適性許容範囲（24から25℃付近）から著しく外れるために、外界に対して閉鎖せざるを得ないことも一要因として考えられる。以上のことからも、冬季には一般的に外界に対して閉じる工夫が重要である一方で（太陽エネルギーに関しては受容する工夫が重要であるが）、夏季には外部環境との連係が重要な役割を果たすことが予想される。

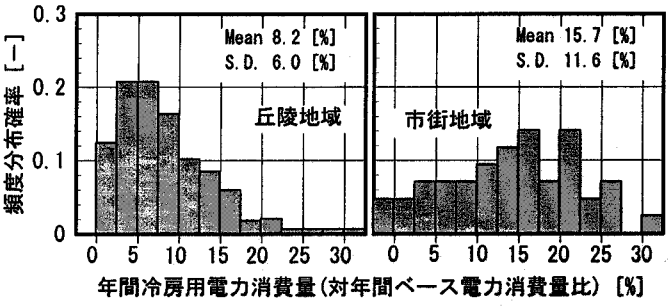


図3.12 年間冷房用電力消費量
（対年間ベース電力消費量比）

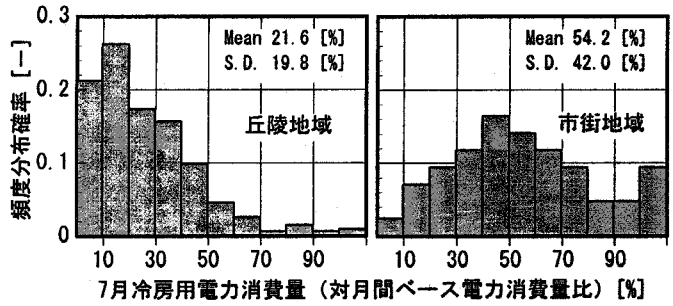


図3.13 7月冷房用電力消費量
（対月間ベース電力消費量比）

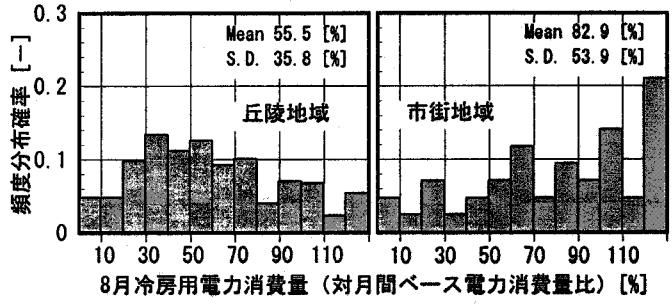


図3.14 8月冷房用電力消費量
（対月間ベース電力消費量比）

図3.12に両地域の年間冷房用電力消費量（年間ベース消費量に対する比）を示す。冷房用電力消費量の推計には冷房期間の月間電力消費量から季節変動の小さいベース消費量を差し引くことによって推計する「差し引き法」を用いた。その結果、“丘陵地域”では5%前後が最頻値であるのに対して、“市街地域”では15%程度と非常に大きな差が認められた。両地域間でT検定を行ったところ、危険率1%未満の有意差が認められた。月別の冷房用電力消費量（月間ベース消費量に対する比）を図3.13および図3.14に7月、8月をそれぞれ示すと、その差は特に7月に大きく、“丘

注3.3) 表3.2に示すように、“丘陵地域”では居住後10年以上経過した世帯が約7割を、“市街地域”に関しても約8割を占めており、両地域ともに最新の断熱・気密性能を有していない住宅が多数を占めていると推測される。その一方で、両地域ともに比較的新しい住宅もアンケート対象に含まれていることから、個々の住宅に着目すれば熱性能の違いが冷房用電力消費量に違いを生じさせていると考えられるが（各地域内でのばらつきに表現）、“丘陵地域”と“市街地域”間の居住年数に統計的有意差がない状況を鑑みると、冷房用電力消費量の地域間の平均的な違いに影響を及ぼす程ではないと考えられる。

陵地域”の平均値で21.6%、“市街地域”の平均値で54.2%と2倍以上の差を示した。阪神地区の一般住宅を対象とした亀谷ら[3.4]の結果によると、7月の冷房用電力消費量は55.2%であり、本調査の“丘陵地域”における7月の冷房用電力消費量が顕著に少ないことがわかる。図は省略するが、9月における冷房用電力消費量は7月とほぼ同様の傾向を示した。8月については、“丘陵地域”の平均値で55.5%と、“市街地域”の7月とほぼ同じ値を示しており、両地域における冷房の使用状況には約1ヶ月のずれがあると言えよう。但し、8月には両地域ともに消費量のばらつき（標準偏差）が大きくなり、地域間の差は7月ほど明確ではない。なお、両地域間でT検定を行ったところ、7月から9月の各月で危険率1%未満の有意差が認められた。

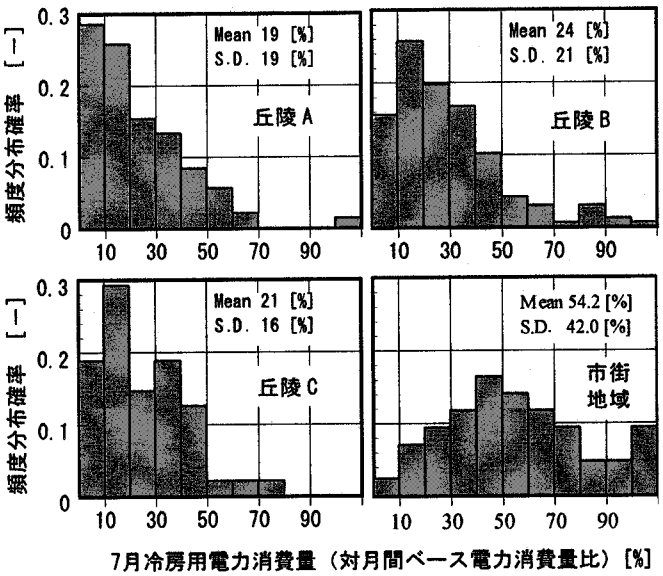


図3.15　丘陵地域内の冷房用電力消費量の違い（7月）

図3.15に“丘陵地域”における各エリアの7月冷房用電力消費量（月間ベース消費量に対する比）を示す。なお、参考として“市街地域”における結果についても表示している。その結果、その差はわずかであるが、“丘陵A”で電力消費量が減少し、“丘陵B”で増加する傾向が認められた。図3.6に示したように、“丘陵A”では特に夜間に外気温が顕著に低下するなど、昼夜を通して外気温が低い値を示しており、この影響が冷房用電力消費量に表現されたと推察される。但し、“丘陵A”と“丘陵B”の間には、危険率5%未満の有意差が認められたが、“丘陵A”と“丘陵C”の間および“丘陵B”と“丘陵C”の間には統計的な有意差が認められなかった。

以上の“丘陵地域”と“市街地域”間の比較や“丘陵地域”内での比較結果に関して、冷房用電力消費量はCOPなどの機器性能や設定温度などの機器の使い方、その他にも住宅の熱的性能に大きな影響を受けているため、電力消費量の相違が熱環境特性の違いのみによって形成されたと言い切ることは困難であるが、熱環境の緩和による冷房負荷の減少に加え、「空気の清涼感」や「隣棟間隔の広さ」などがもたらす「周囲環境を積極的に受容する意識（ライフスタイル面での変化）」が総合的に影響した結果が表現されていると推察される。

3.4.3.2　冷房用電力消費量に影響を与える屋外環境要因

図3.16に各地区の冷房用電力消費量と“丘陵A”を基準とした相対温度差との関係を示す。日中および夜間を含めた17例の測定結果を平均すると、“丘陵A”と“市街地域”の間には約2℃の気温差があり、先述のように冷房用電力消費量には32%の差を生じた。一方で“丘陵B”や“丘陵C”に関しては“丘陵A”との間に約1℃の気温差があるものの、冷房用電力消費量の差はそれぞれ5%、2%とごくわずかであり、“市街地域”と比較してより多くの冷房用電力消費量の減少が確認された。そこで、外気温が冷房用電力消費量に与える影響の検討を主眼におき、住宅用熱負荷シミュレーションプログラム（SMASH）[3.5]を使用した感度分析を行い、実測結果との関係について検討した。

計算対象は日本建築学会の標準問題において提案されている木造住宅[3.6]とし、気象データには標準気象データ（大阪）を使用し、標準気象データの毎時気温を低下したケースとの比較を行った。ここでは標準気象データをそのまま使用したケースを“標準①”、毎時気温を1℃低下させたケースを“標準②”、2℃低下させたケースを“標準③”とする。なお、詳細な計算条件については注3.4を参照されたい。

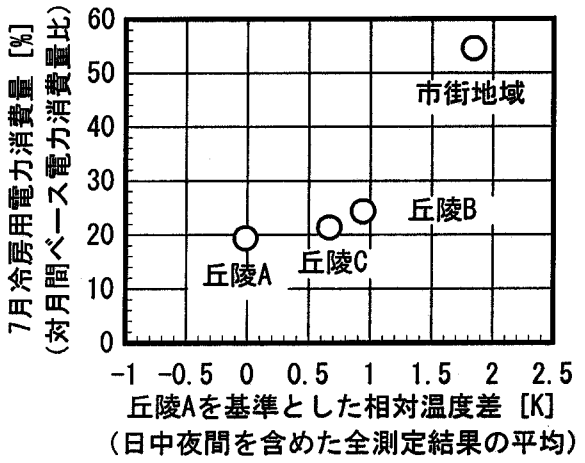


図3.16 冷房消費クラスと戸外気温の関係

図3.17に7月の冷房用電力消費量の計算結果とアンケート調査による実測結果を示す[注3.5]。“標準③”は“標準①”と比較してほぼ半減し、また、“標準②”についても気温差に比例して冷房用電力消費量が減少しており、理論上は外気温が冷房用電力消費量に与える影響が大きく、上述の計算範囲内では熱負荷が線形的な挙動を示すものと考えられる。しかし、実測結果によれば、“丘陵A”と“丘陵B”や“丘陵C”との間には最大で1℃近く気温差があるにも関わらず、冷房用電力消費量の差はごくわずかであった。図3.18に示すように“丘陵地域”内では冷房機器の所有台数に差が認められないことや、図3.16で示した結果はベース電力消費量に対する比で表示していることから、以上の事実を説明するためには、“丘陵地域”内の各エリアで外気温以上に寄与の大きい要因が冷房用電力消費量に影響を与えているものと推察される。

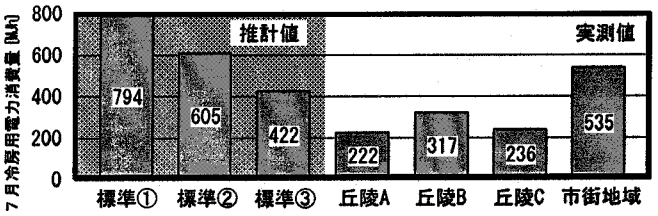


図3.17　熱負荷計算プログラムによる冷房用電力消費量の推定結果と実測値との比較

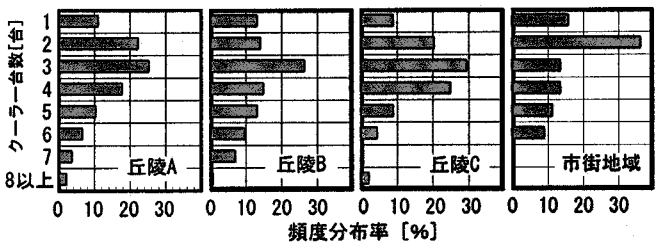


図3.18　冷房機器の所有台数

注3.4）負荷計算の計算条件として、家族構成は夫婦・子2人の4人家族とした。室内発熱パターンはSCHEDULE[3.7]を用いて作成した。冷房の設定温度は26℃とした。換気回数は0.5回とした。冷房用電力消費量の計算条件として、日平均外気温が24℃以上の日に冷房を行うものと仮定した。冷房機器の定格COPはメーカー発行カタログの各社平均値（2000年）を採用した（例えば6畳用で4.3）。また、カタログ値から負荷率による補正式を作成した。外気温度によるCOPの変化を考慮するために、事務所用空調エネルギー消費量計算プログラムのPEACS[3.8]から空気熱源ヒートポンプのCOP外気補正式を使用した。

注3.5）このシミュレーションはあくまでも気温が冷房用電力消費量に与える影響を感度分析的に検討するために行ったものである。従って、図3.17においてシミュレーションによる推定結果と実測値を絶対量で比較することには意味がない。

表3.7　各因子が冷房用電力消費量に与える影響

決定係数	説明変数1	標準化係数	説明変数2	標準化係数	説明変数3	標準化係数
0.66	所有台数	0.46	世帯人数	0.33	風の強さ（日中）	-0.09
		＊＊＊		＊＊＊		＊＊

＊＊＊：有意水準1%未満
＊＊：有意水準5%未満

従属変数：7月冷房用電力消費量　（月間ベース電力消費量に対する比）
説明変数：自宅周辺の3因子（空気質、緑環境、騒音環境）に関する満足度
自宅周辺の風の強さ（日中・夜間）、
自宅周辺の外気温（無次元化温度）
住宅床面積、クーラー所有台数、世帯人数
ステップワイズ法（変数増減法）を用いることによって、説明力の無い変数を除外した。

そこで、アンケート調査による「自宅周辺の3因子（空気質、緑環境、騒音環境）に関する満足度」、アンケート調査による「自宅周辺の風の強さ（日中・夜間）[注3.6)]」、実測調査による「自宅周辺の外気温（無次元化温度[注3.7)]）」「冷房機器所有台数」、「住宅床面積」、「世帯人数」の9因子を説明変数、7月冷房用電力消費量（月間ベース電力消費量に対する比）を従属変数とした重回帰分析を行い、冷房用電力消費量に影響を与える因子の抽出を試みた。なお、解析の対象は“丘陵地域”内の「月間電力消費量」に関する有効回答者（336世帯）のみに限定した。

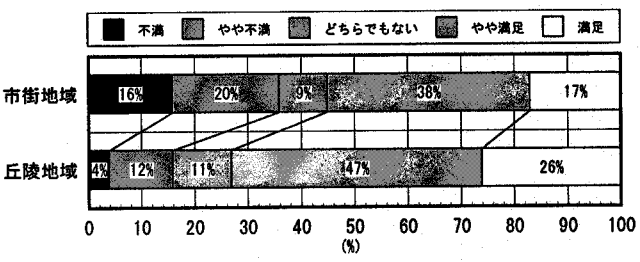


図3.19　住宅内通風状況の満足度

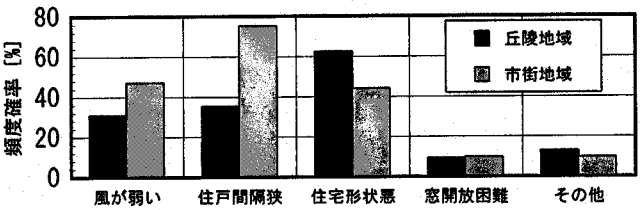


図3.20　通風環境に満足できない理由

また、説明変数の選択にはステップワイズ法（変数増減法）を用いることによって、説明力の弱い説明変数を除外した。表3.7に作成された重回帰モデルを示す。結果として、モデルの第一説明変数には「冷房機器の所有台数」が、第二説明変数には「世帯人数」が採用されているが、これらの変数は「ベース消費量に対する比」による表現では説明し切れない「世帯規模」に関する指標であり、これらの説明変数が冷房用電力消費量に影響を及ぼすのは自明の結果である。これに対して、第三説明変数には「自宅周辺の風の強さ（日中）」が採用された。「自宅周辺の外気温」や「自宅周辺の3因子（空気質、緑環境、騒音環境）に関する満足度」については説明変数として採用されなかった。以上の結果は、自宅周辺の風が強

注3.6) 外気温に関しては説明変数として実測値を採用していることから、風環境に関しても実測値を使用すべきだが、風環境の地域分布を実測するのは非常に困難な状況を鑑み、本研究ではやむなく「アンケート調査による自宅周辺の風の強さ」を説明変数として採用した。「自宅周辺の風の強さ」に関する意識には、自宅周辺に卓越している風に加えて、街路形態や周辺建物との位置関係、通風習慣やプライバシーへの対処等の住まい方が影響していると推察される。

注3.7) 無次元化気温とは全測定点の平均値で各測定点の気温を無次元化した値を指す。全17回の測定事例の無次元値を平均した値を説明変数として採用した。

い、すなわち自宅内の通風環境条件が良好な住宅では自然通風効果を活用することによって、冷房用電力消費量を削減することが可能であることを示唆している。

図3.19に“丘陵地域”と“市街地域”における自宅内の通風環境に関する満足度を、図3.20に図3.19において「不満」もしくは「やや不満」と回答した居住者の現状の通風環境に満足できない理由を示す。通風環境の満足度に関しては、“丘陵地域”において満足側（満足・やや満足）に回答した居住者の割合が73%を占める一方で、“市街地域”では55%と2割程度減少した。通風環境に満足できない理由については、“丘陵地域”では「住宅の形状が悪いため」と回答した居住者が最も多く（62%）を占め、「自宅周辺の風が弱い」と回答した居住者は31%であった。一方“市街地域”では、「隣棟間隔が狭いため」と回答した居住者が最も多く（75%）を占め、「自宅周辺の風が弱い」と回答した居住者も47%を占めた。但し、地域を代表する風速を地域間で比較すると、図3.5に示すように“丘陵地域”の風速は“市街地域”よりもむしろ弱いことから、住宅内の通風機能には実際の卓越風速よりは、隣棟間隔等の街路計画や建築計画の良否が大きく影響していると推察される。上述の冷房用電力消費量に関しても、自宅周辺の温度環境や風環境が冷房用電力消費量に与える影響はベースとして存在するものの、街路計画や建築計画の良否によって開口を開放できるか否かの違いについても、非常に大きく影響しているものと考えられる。従って、通風効果を有効に活用し、エネルギー消費の削減につなげていく為には、適切な風の道の確保や容積率の制限、さらには、地域の主風向に対応した窓や通風口を設置するなどの対応が有効になると考えられる。

3.5 まとめ

本章では、第2章でその概要を述べた丘陵地とその近傍の市街地を対象として、地域の気候環境特性を実測調査によって把握するとともに、地域の気候環境特性が居住者の心理・生活面（環境認識やエネルギー消費量）に及ぼす影響についてアンケート調査を行うことによって、以下の知見を得た。

＜居住者の環境知覚状況＞

1）“丘陵地域”の居住者の多くは温度環境や風環境の特異性などの丘陵地特有の気候現象を知覚し、環境変化に対応した心理影響を受けていることが示された。特に、“市街地域”との気温差を最も強く意識しており、2から3℃程度の気温差があれば多くの居住者に知覚される可能性があることが示された。

2）“丘陵地域”と“市街地域”との間の大きなスケールだけではなく、“丘陵地域”内という約500m程度の小さなスケールにおいても、気候環境特性の違いによる居住者の環境知覚状況には差が認められた。

3）昼夜を通して自宅周辺の屋外における熱的快適感には、地域の風環境や温度環境が強い影響を及ぼしているものと推測された。

4）実環境では夜間に風速が弱まるにも関わらず、居住者の意識上では風が日中と比較して強く吹いているように体感されていることが示された。また、特に夜間の風向に関して、実測値との乖離が大きいことが示された。

＜冷房用電力消費量＞

1）“丘陵地域”における冷房用電力消費量は“市街地域”と比較して顕著に少ないことが示された。また、その差は特に7月や9月の移行期に明確であった。

2）“丘陵地域”内では気温差に応じた冷房用電力消費量の差が認められなかった。熱負荷計算による冷房用電力消費量の推定結果からも、“丘陵地域”では外気温以上に寄与の大きい要因が冷房用電力消費量に影響を与えていると推察された。

3）重回帰分析の結果から、「自宅周辺の風の強さ」に関する居住者の意識が冷房用電力消費量に影響を与えていることが示された。

4）冷房用電力消費量への影響が示唆された住宅内の通風機能には、実際の地域卓越風速よりも隣棟間隔等の街路計画や建築計画の良否、すなわち、開口を開放できるか否かの違いが大きく影響しているものと推察された。

居住者の環境知覚状況に関して、居住者は小気候スケール上の違いのみならず、微気候スケール上の違いをも認識している可能性が示唆されたことは、今後地域の気候環境資源を有効に活用した住環境計画を実施した場合に、居住者が効果を実感できる程度のメリットが得られる可能性があることを示すものである。また、屋外の熱的快適感には地域の風環境特性が影響を及ぼす一方で、物理量との対応結果から地域を支配する広域風の強弱と地域の風環境評価結果との関係を明確に読み取ることはできなかった。この結果には、広域風とは異なる局所風の影響や建物の密集度、プライバシー、騒音環境や空気質等の様々な要因が影響している可能性も考えられるが、未だ居住者において自宅周辺の熱環境に対する理解が十分ではないことも一要因として考えられる。室内の自然通風利用等には地域の気候特性を十分に理解しておくことが重要になることから、今後地域情報としての気候環境情報の有効な活用が望まれるところである。

冷房用電力消費量に関して、熱負荷計算による感度分析や“丘陵地域”と“市街地域”間の比較から、自宅周辺の外気温が冷房用電力消費量に与える影響はベースとして存在するが、自宅周辺の風環境を有効に活用すれば冷房用電力消費量を削減できる可能性があることが示された。原理的に周辺の風が存在しないと通風効果は期待できないため、街路計画の際に可能な限り地域に風を導入するような設計が必要条件であるが、通風効果を効率的に利用するためには建築計画時の配慮が不可欠である。

本章での解析結果から、外部環境と連係した居住空間を構築していくためには、温度環境に対する配慮はもちろんのこと、風環境に対する配慮も重要であることが示された。また、これらの環境が良好な場合には、地域としての熱的な快適性が向上するのみならず、エネルギー消費量が低減されることが示された点で意義のある結果が得られたものと考えられる。本章での解析結果を受けて、本研究では地域の温度環境のみならず風環境にも着目した解析を進めていくものとし、ここで得られた知見を、以降の実態把握に関する各種調査や気候環境情報活用フレームの構築に活かしていくものとする。

参考文献

3.1）石原　修・斎藤郁雄：都市内緑地の都市気候緩和効果に関する実測調査、日本建築学会中国・九州支部研究報告、第8号、pp.57-60、1989

3.2) 上野賢仁・谷川寛樹・井村秀文：都市熱環境解析用地図の作成とその応用～街区規模での熱環境特性とエネルギー消費の解析～、環境システム研究、Vol.25、pp.183-189、1997
3.3) 吉野正敏：新版 小気候、地人書館、p1、1986
3.4) 亀谷茂樹：都市熱環境負荷源としての空調システムの評価に関する研究、大阪大学博士論文、1998
3.5) 坂本雄三：暖冷房消費エネルギープログラム・SMASH、IBEC、No.49、pp.25-29、1988
3.6) 宇田川光弘：標準問題の提案、日本建築学会第15回熱シンポジウム、1985
3.7) 石田健一：生活行為に伴う室内発熱パターンプログラム、空気調和・衛生工学会・空気調和設備委員会・住宅の消費エネルギー計算法小委員会シンポジウム「住宅のエネルギー計算用設定条件のモデル化」、pp.101-112、1996
3.8) 水野 稔：空調システム性能評価ソフトウェアの開発、第16回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、pp.29-32、2000

第４章
複雑な地形を有する丘陵地における屋外温熱環境の成因

4.1 序論

前章のアンケート調査結果から、第２章でその概要を述べた丘陵地に在住する居住者の多くは温度環境や風環境の特異性などの丘陵地特有の気候現象を知覚していることが示された。また、丘陵地の各世帯における冷房用電力消費量は近傍の密集市街地と比較して顕著に少ないことや、自宅内外における風環境が冷房用電力消費量に影響を及ぼしていることが示唆された。これらの結果は、今後地域の気候環境資源を有効に活用した住環境計画を実施した場合に、居住者が効果を実感できる程度のメリットが得られる可能性がある、すなわち住環境計画に対して気候環境資源を活用していくための意義が示されたものと換言できよう。但し、居住者が知覚している気候特性はあくまでも定性的かつ主観的な申告によるものであり、実際にどのような環境が形成されているかについては不明な点が多いのも事実である。また、本研究では第９章において、地域気候環境特性に関する図面情報の作成を試みるが、その際には基礎的な情報として気温や風環境などの空間分布情報を必要とする。そこで、本章以降では対象地域内で発生している気候現象の詳細な把握を目的として、いくつかの実測調査や風洞実験を実施し、気温分布や風環境、さらには日射環境に関する検討を試みる。その際には、前章のアンケート調査結果から得られた知見を有効に活用することによって、実態調査を効率的に実施することが可能となろう。

以上の状況を鑑み、本章では、第２章でその概要を述べた都市郊外の丘陵地に位置する住宅開発予定地域を対象とした気温分布に関する実測調査を行い、地形の変化が顕著な地域の局所気温の分布とその成因に関する検討を行った。

4.2 調査概要

4.2.1 調査対象地域の概要

調査対象地域には、第２章にてその概要を述べた兵庫県川西市のＫ地区（地区面積約55ha）一帯を選定した。Ｋ地区の位置を図4.1に示す。

調査対象地域における現状の土地利用形態を図4.2に示す。図4.2の図示範囲は図4.1に

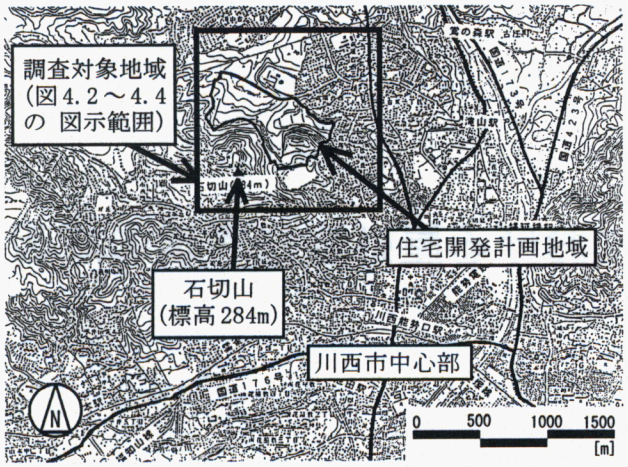


図4.1　調査対象地域

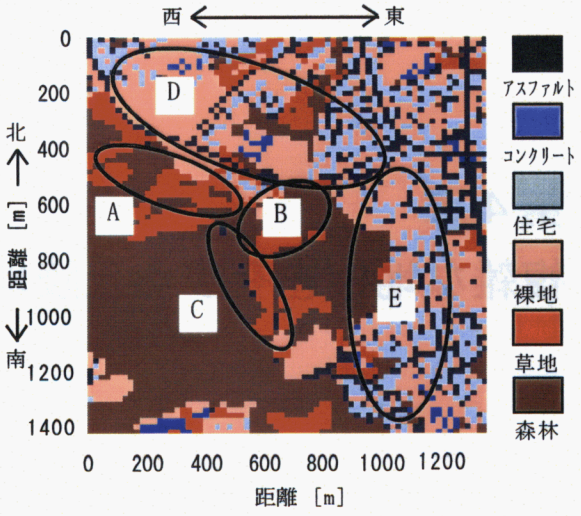


図4.2　調査対象地域の土地利用形態

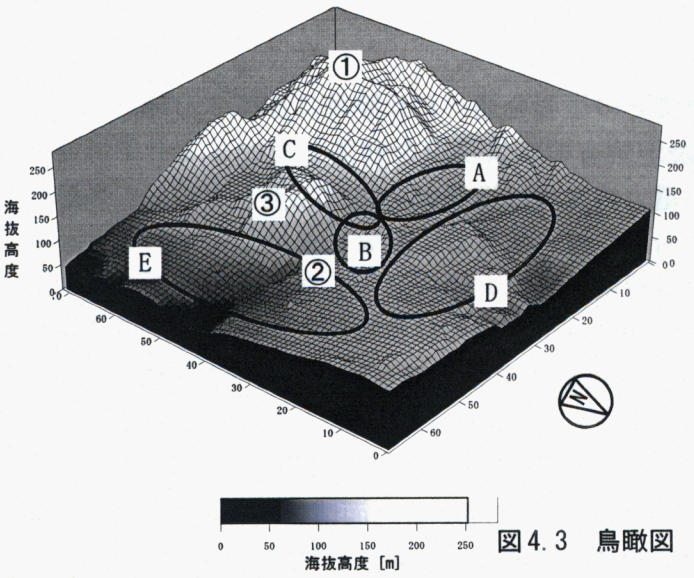


図4.3　鳥瞰図

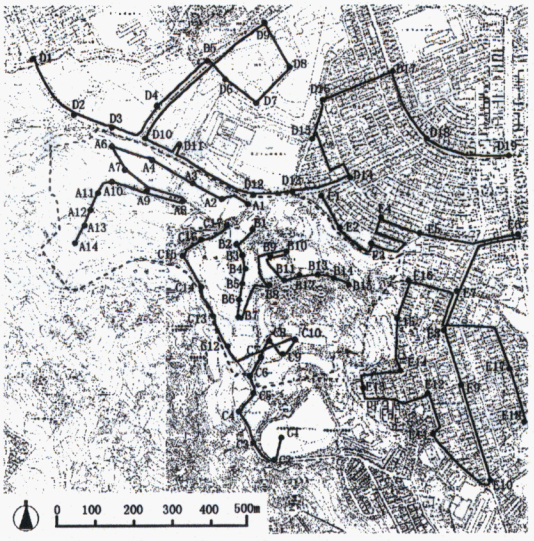


図4.4　気温測定点および移動観測経路

示す通りである。なお、土地利用形態に関する情報は、航空写真や住宅地図、現地調査を基に、デジタイザーを用いて6種類（アスファルト、コンクリート、住宅、裸地、草地、森林）の区分でデジタルデータ化した後に、このデジタルデータが1ドット1.25m四方のドットデータであることを活かして、20m四方のメッシュデータ（つまり256ドット）として集計した結果から、各メッシュにおける最大占有土地利用形態を各メッシュにおける代表土地利用形態として定義した。図4.1に示す「住宅開発計画地域」は、一部で既に造成が開始されているものの、現状はそのほとんどが自然地域に属する。「住宅開発計画地域」よりも北部や東部にかけては、大部分が人工地表域に属する。逆に、西部や南部にかけては森林が広がる。なお、図中のAからEは後述の移動観測ゾーンを示している。

調査対象地域の鳥瞰図を図4.3に示す。地区全体は概ね、地区南西部の石切山①（標高284m）から北東方向へ続く緩やかな傾斜地である。石切山北東部には深い谷②が形成され、東部には小高い丘③を有するなど、地区内には多くの起伏が存在する。

4.2.2 調査方法

調査対象領域をAからEゾーンに分割し、領域内の気温分布に関する移動観測を行った。測定地点と移動観測経路を図4.4に示す。Aゾーンは石切山北部の自然地域と既開発地域の境界付近、Bゾーンは石切山北東部の深い谷間、Cゾーンは石切山東部の小丘を中心とした地域であり、これらのゾーンは主に自然地域に属する。DゾーンはAゾーン北部の緩やかな北東向き斜面、EゾーンはB,Cゾーン東部の地域であり、これらのゾーンは主に住宅地域内に属する。各ゾーンの概要ならびに測定時の移動手段を表4.1に示す。各ゾーンを合わせた総測定点数は計83点であった。各測定点の概要を表4.2に示す。表中の方位角は斜面の向きを東向き0°として反時計回りで示している。D･Eゾーンは測定エリアが広いために原動機付自転車を用いて移動を行ったが、測定点に到着する際にはエンジンを停止するように指示したことや、可能な限り風向に注意を払うことによって原動機付自転車自身からの排熱による影響を受けないように考慮した。

気温の測定装置を図4.5に、徒歩観測時の観測風景の一例を写真4.1に示す。放射の影響を排除するために2重の円管内（アルミ被覆、空気吸引装置付）に白金測温抵抗体センサー(CHINO社、DSPt1)を設置し、データロガー(コーナー札幌社、DS64K)を用いて10秒間隔で気温

表4.1 測定ゾーンの概要

ゾーン	主たる土地利用形態	測定点数	移動方法
A	自然地域	14	徒歩
B	自然地域	15	徒歩
C	自然地域	17	徒歩
D	住宅地域	19	原動機付自転車
E	住宅地域	18	原動機付自転車

表4.2 各測定点の概要

地点	高度[m]	方位角		傾斜角	土地利用
A1	121	169	西北西	7.3	草地
A2	119	180	西	1.4	住宅
A3	115	90	北	1.4	裸地
A4	100	243	南南西	3.2	裸地
A6	100	90	北	1.4	裸地
A7	105	90	北	7.1	裸地
A8	106	214	西南西	5.2	草地
A9	107	82	北	10.0	森林
A10	109	51	北東	9.1	草地
A11	117	45	北東	8.0	草地
A12	128	50	北東	11.0	草地
A13	134	51	北東	9.1	草地
A14	110	45	北東	10.0	森林
B1	131	297	南南東	3.2	裸地
B2	130	34	東北東	5.2	裸地
B3	124	315	南東	21.3	森林
B4	117	18	東北東	9.0	草地
B5	126	49	北東	13.0	草地
B6	134	54	北東	12.1	草地
B7	141	23	東北東	10.8	草地
B8	126	102	北北西	25.9	森林
B9	111	360	東	12.7	草地
B10	105	300	南南東	11.4	森林
B11	120	90	北	35.9	森林
B12	124	90	北	37.8	森林
B13	113	75	北北東	29.7	森林
B14	105	62	北北東	28.2	森林
B15	108	41	北東	26.4	森林
C1	123	なし	なし	0.0	裸地
C2	130	65	北北東	30.2	森林
C3	135	343	東南東	18.8	森林
C4	146	349	東南東	14.3	森林
C5	149	270	南	11.3	森林
C6	153	207	西南西	9.5	アスファルト
C7	154	171	西	16.9	草地
C8	163	270	南	9.9	草地
C9	161	324	南東	12.1	草地
C10	160	270	南	20.6	草地
C12	154	30	東北東	21.4	森林
C13	153	11	東北東	27.0	森林
C14	147	21	東北東	23.1	森林
C15	143	63	北北東	6.4	アスファルト
C16	137	83	北	23.2	森林
C17	126	113	北北西	18.0	森林
D1	105	346	東南東	5.9	アスファルト
D2	104	45	北東	4.0	アスファルト
D3	103	252	南南西	4.5	裸地
D4	100	90	北	4.3	アスファルト
D5	92	360	東	4.3	裸地
D6	105	112	北北西	22.0	裸地
D7	106	77	北北東	13.0	森林
D8	93	72	北北東	4.5	住宅
D9	81	108	北北西	9.0	草地
D10	102	225	南西	2.0	アスファルト
D11	105	149	西北西	8.3	裸地
D12	123	180	西	5.7	アスファルト
D13	114	304	南南東	5.2	アスファルト
D14	124	74	北北東	10.3	森林
D15	113	36	北東	2.9	裸地
D16	107	153	西北西	5.9	アスファルト
D17	120	153	西北西	3.2	アスファルト
D18	110	297	南南東	3.2	アスファルト
D19	92	270	南	4.3	アスファルト
E1	107	319	南東	13.0	アスファルト
E2	100	256	南南西	11.6	森林
E3	89	338	東南東	7.7	アスファルト
E4	102	270	南	4.3	アスファルト
E5	90	297	南南東	9.5	アスファルト
E6	78	270	南	4.3	アスファルト
E7	65	360	東	2.9	アスファルト
E8	75	61	北北東	14.4	アスファルト
E9	80	22	東北東	7.7	アスファルト
E10	69	315	南東	6.1	アスファルト
E11	84	338	東南東	7.7	アスファルト
E12	89	360	東	7.1	アスファルト
E13	115	344	東南東	23.9	コンクリート
E14	100	9	東	8.6	アスファルト
E15	89	18	東北東	17.5	裸地
E16	70	169	西北西	7.3	アスファルト
E17	68	79	北北東	7.3	アスファルト
E18	65	288	南南東	9.0	アスファルト

と観測時刻を自動記録した。観測者は各々のゾーン内で図4.4の観測経路に従って移動し、各測定点で1分30秒間の気温測定ならびに到達時刻の記入を行った。測定者が記録した到達時刻データはデータロガーに記録している時刻データとの照合に使用した。センサーの時定数を考慮し、解析には後半1分間のデータを使用した。また、測定コースを往復して各測定点で2回の測定を行い、往路復路それぞれのデータを平均することで、測定時間差による誤差を排除した。なお、各コースとも往復には約1時間を要した。測定高さは地上1.5mとした。

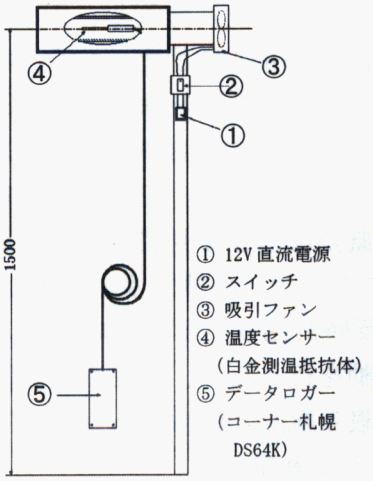


図4.5　気温測定装置



写真4.1　観測風景

4.3　調査対象地区内の気温分布

4.3.1　気温分布測定結果

季節変化が気温分布形状に与える影響について検討するために、移動観測は1997年9月から12月にかけて、晩夏、秋、初冬の各季節毎に2回づつ実施した。表4.3に実測条件と全測定の実測結果に関する基本統計データを示す。測定はできる限り晴天時に行うように努めたが、12月15日の日中は雲量4、夜間は6程度の曇りとなった。また、12月11日の夜間は強い季節風の支配下にあった。

図4.6から図4.8に各測定日の気温分布を示す。なお、気温分布の表示に関して、対象領域内を20m四方の格子メッシュに分割し、各メッシュの気温を近接する3つの気温測定点のデータで内挿することによって、測定点以外の領域における気温情報を作成している。

全体的な気温分布形状に関して、昼夜間には大きな傾向の違いが認められるが、季節間の違いはわずかであった。昼の分布形状の特徴として、自然地域と周辺住宅地域の気温差が非常に大きいことが挙げられる。例えば、9月10日には5℃の気温差を生じており、両地点間

表4.3　移動観測による気温分布測定結果一覧

	DAY	測定時刻	天候	風向	風速[m/s]	MAX[℃]	発生地点	MIN.[℃]	発生地点	Mean[℃]	S.D.[℃]	ﾚﾝｼﾞ[℃]
	9月1日	14:30	晴	SE	2.2	33.0	E6	29.0	C1	31.0	1.0	4.0
	9月10日	14:25	晴	N	2.3	31.3	E6	24.3	C2	28.5	1.8	7.0
日	10月6日	15:10	晴	WNW	1.7	22.5	D19	15.7	C4	18.7	2.0	6.9
中	10月13日	15:20	晴	NW	1.9	19.2	D18	13.1	A11	16.0	1.7	6.1
	12月11日	14:40	晴	SSE	2.1	7.8	D19	4.7	C2	6.3	0.7	3.1
	12月15日	14:30	曇	W	3.6	13.2	E6	11.0	C13,14	12.2	0.5	2.2
	9月1日	0:30	晴	N	1.3	23.6	E10	19.9	A8	21.9	0.8	3.8
	9月10日	1:50	晴	N	0.8	20.4	D19	17.1	A8	18.8	0.8	3.3
夜	10月6日	23:50	晴	NNW	1.0	13.9	E10	10.0	A8	12.1	1.0	4.0
間	10月13日	23:50	晴	N	1.0	10.9	E11	7.1	A8	9.2	0.8	3.8
	12月11日	23:30	晴	WNW	3.5	2.7	E10	-0.5	B2	1.3	0.8	3.2
	12月15日	23:50	曇	N	1.3	6.8	E12	2.6	A8	5.0	0.9	4.2

*風向・風速は、Dゾーン内の高校屋上に設置した常時観測点のデータを使用しており、地域の大局場の概況を示す

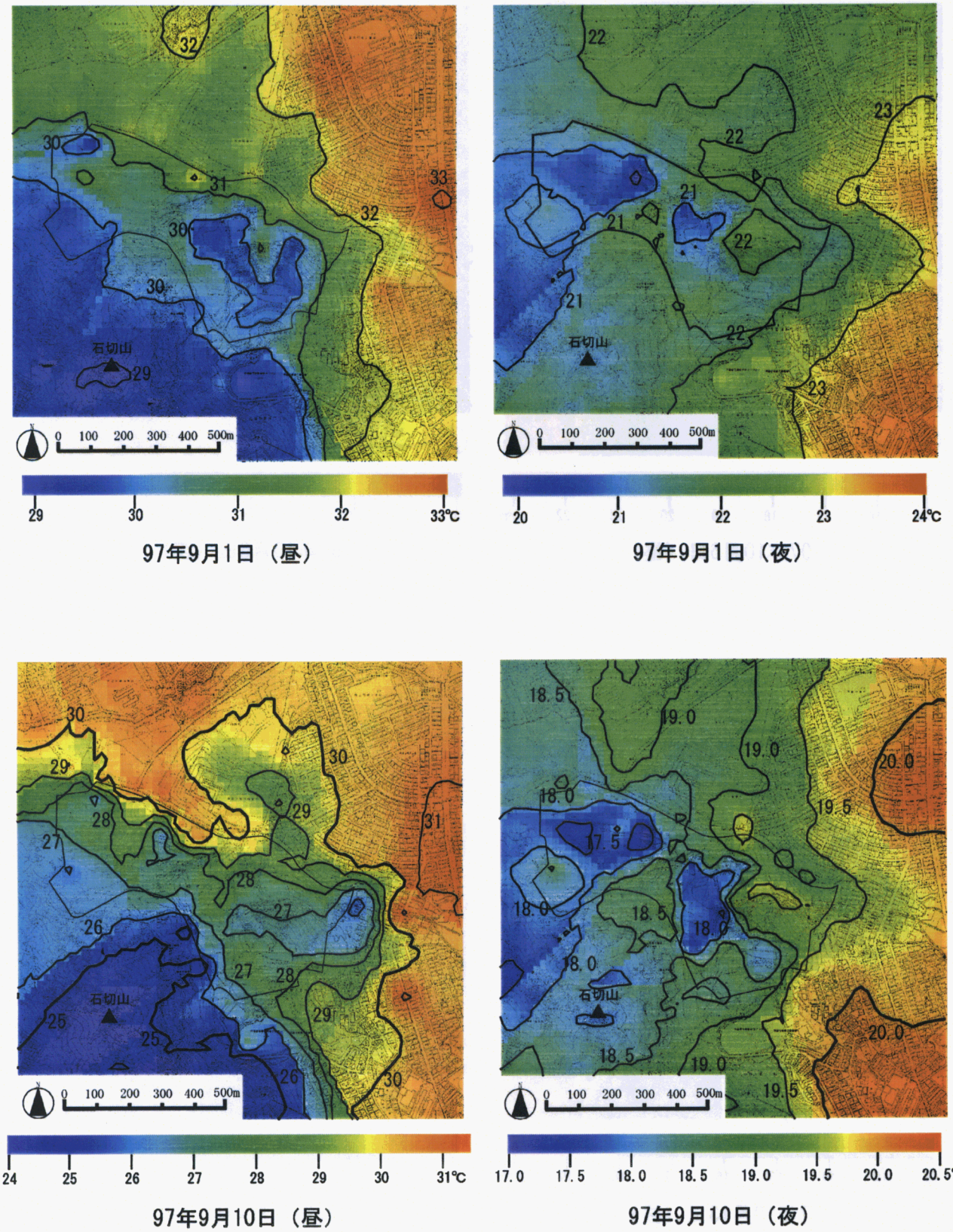


図4.6　夏季（晩夏）の観測結果

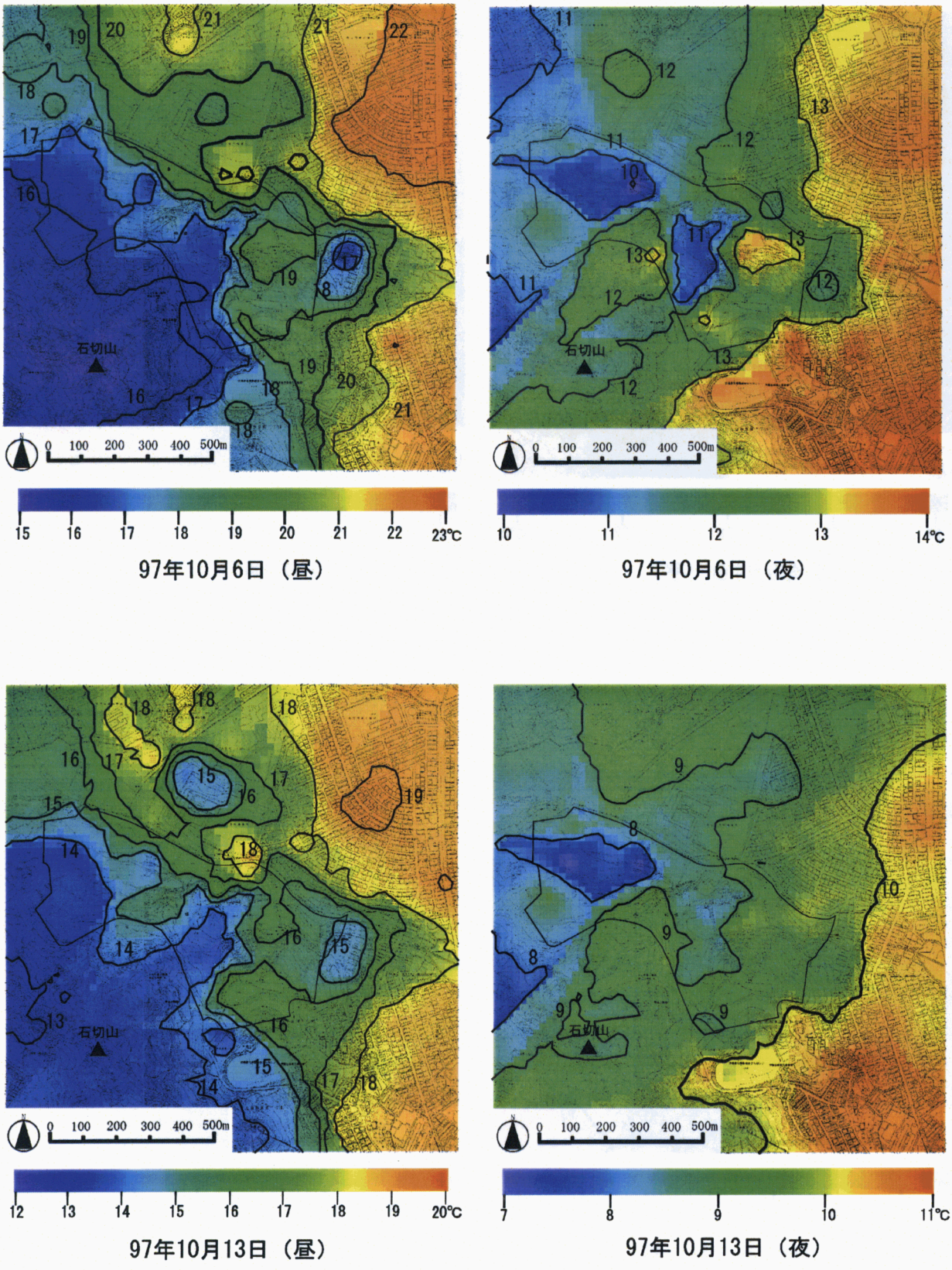
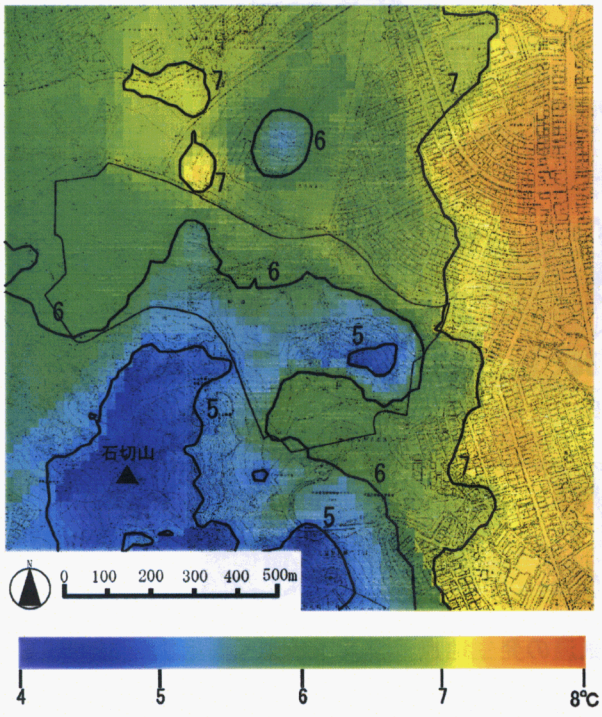
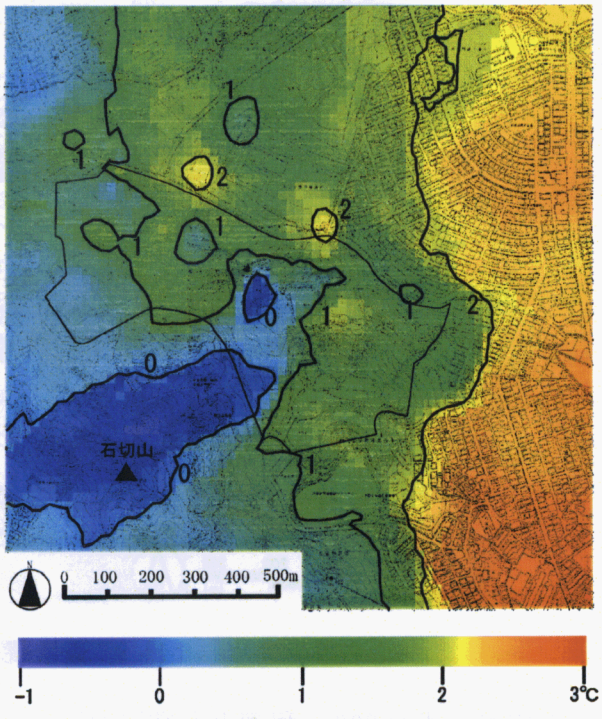

石切山
0 100 200 300 400 500m
15 16 17 18 19 20 21 22 23℃
97年10月6日（昼）
石切山
0 100 200 300 400 500m
10 11 12 13 14℃
97年10月6日（夜）
石切山
0 100 200 300 400 500m
12 13 14 15 16 17 18 19 20℃
97年10月13日（昼）
石切山
0 100 200 300 400 500m
7 8 9 10 11℃
97年10月13日（夜）

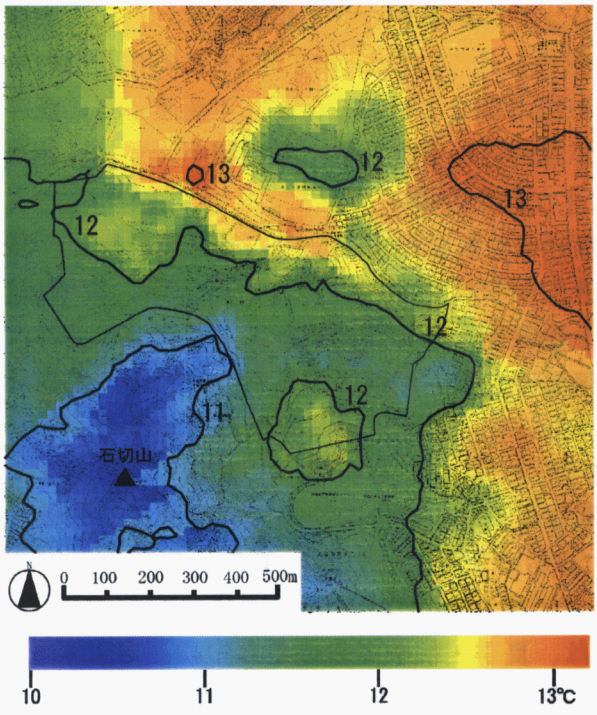
図4.7　秋季の観測結果



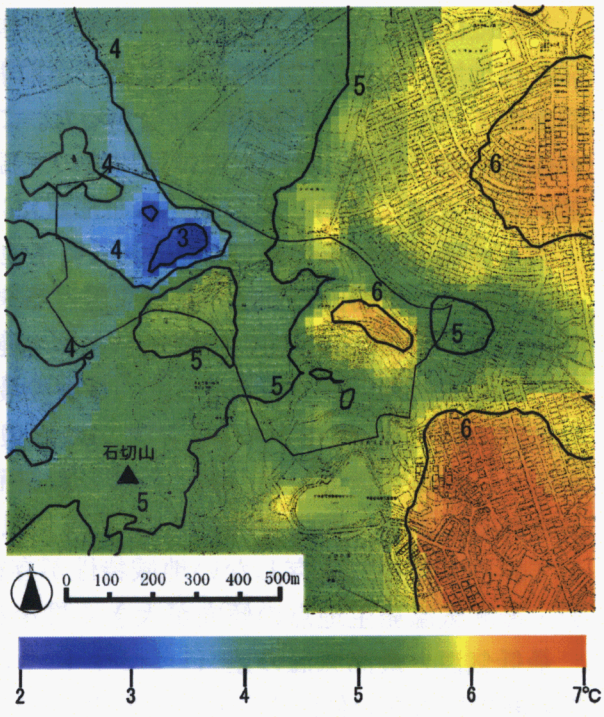
97年12月11日（昼）



97年12月11日（夜）



97年12月15日（昼）



97年12月15日（夜）

図4.8　冬季（初冬）の観測結果

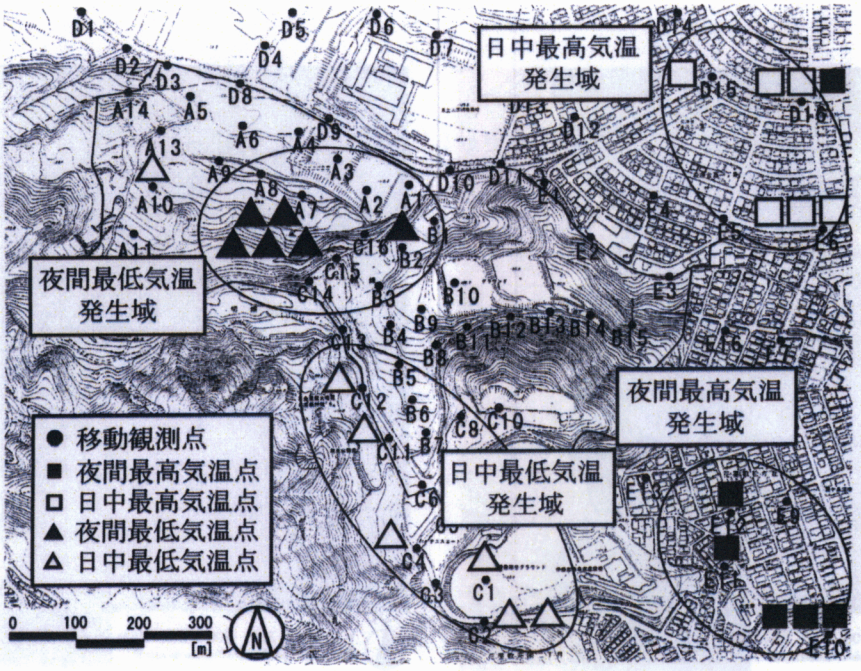


図4.9　最低･最高気温の発生地点

の距離がわずか200 m程度と非常に近接していることを考えれば、かなり大きな温度差と言える。既存の住宅地域内では、自然地域との対比ではわずかであるが、特に対象地区北部地域と北東部地域間で1～2℃程度の気温差が確認された。住宅開発計画地域内に関しては、現状は自然地域に属するために概ね低温域に入っていた。

夜間には昼間と比較して全体の気温分布幅（レンジ）が小さくなる傾向を示した。住宅開発計画地域内の西部では特に気温低下が顕著に認められる。なお、12月11日の夜間にのみ同地域での気温低下が認められなかった。この原因に関しては、4.3.3にて後述する。既存の住宅地域内では、昼間とほぼ同程度の気温差が確認されるが、特に高温域が対象地区北東部から南東部に移動しており、分布形状には大きな違いが認められた。

図4.9に昼夜各々の最低･最高気温発生地点の分布状況を示す。日中の最低気温は、午後の時間帯には石切山の日陰の影響を受ける東向き斜面の自然地域内（Cゾーン：C2，12周辺）で生じた。夜間は、石切山山頂から北側へ連なる緩斜面上の自然地域と人工地表域の境界付近（Aゾーン：A8周辺）で生じた。日中の最高気温は、南向き斜面で日中の日当たりが良好な地域の住宅地（D･Eゾーン：D19，E6周辺）で生じた。夜間は、対象地域内では最も標高が低く、川西市街地の中心部に隣接した住宅地（Eゾーン：E10周辺）で生じた。図4.9に示されるように、調査地域の最低･最高気温発生地点の分布は各季節間でほぼ同じ結果を示しており、季節に依存しない地域特性が存在するものと考えられる。また、昼夜間では最低・最高気温発生地点の傾向が大きく異なることが明らかとなった。

最低気温と最高気温の差（レンジ）については、夏季・秋季における日中の測定で4～7℃と非常に大きい値が得られた。夜間は、3～4℃程度で季節を問わずほぼ一定であった。地域気温のレンジに関して、都市平野部における大規模な公園緑地である鶴見緑地を対象とした下田ら[4.1]による実測結果と比較すると、図4.10に示すように本研究の対象地域では2倍近いレンジを示す場合もあることが明らかとなった。従って、都市平野部の公園緑地と対象

地域の自然緑地におけるそれぞれの気温変化幅には明確な違いがあるといえる。これは、人工的な緑地と自然緑地との違いに加えて、日中の最高気温が南西向き斜面の住宅地域で発生している一方で、最低気温は主として東向き斜面の自然地域で発生していることから、斜面特性による気候の変化についても大きく影響していると推測される。

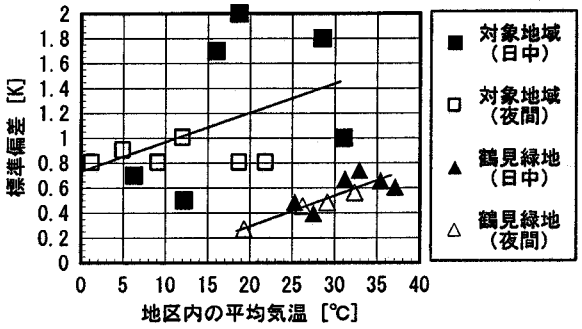


図4.10 移動観測結果の平均気温と標準偏差

4.3.2 各土地利用率と気温の関係

気温分布に影響を及ぼす程度に関して、「測定点間の違い」と「測定日間の違い」のどちらが有意であるかを分散分析によって検定した。なお、以降は季節変化に伴う地域平均気温の違いを排除するために、次式により各測定日毎に無次元化した値を用いて検討する。

$$\theta^* = (\theta_a - \theta_m) / \sigma$$

θ^*：無次元気温

θ_a：気温実測値

θ_m：全データ（83点）の平均値

σ：全データの標準偏差

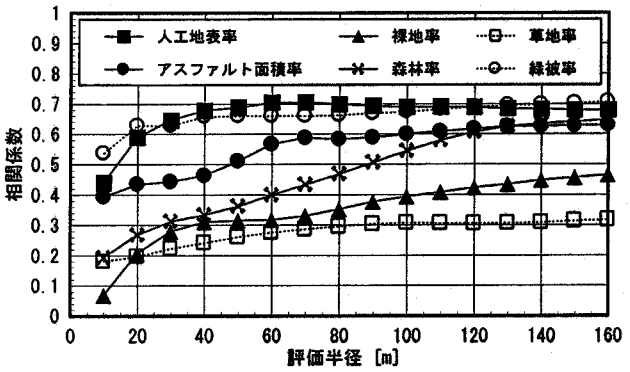


図4.11 評価半径と相関係数の関係

その結果、「測定点間の違い」が危険率1%未満で有意となった。すなわち、これは季節変化よりも周辺土地利用状況の相違が気温分布形状により強く影響を与えることを示唆している。そこで、各測定点まわりの土地利用率と気温との単回帰分析を行った。土地利用形態に関する情報は、デジタイザーを用いて対象地域全域をアスファルト、コンクリート、住宅、森林、草地、裸地の6区分でデジタルデータ化（1ドット1.25m）した後に、測定点を中心とする評価半径円内の各区分ドット数を集計することによって作成した。ここで、各区分の内、アスファルト、コンクリート、住宅のドット数を加算したものを「人工地表」、森林および草地のドット数を加算したものを「緑被」とし、それぞれの評価円の面積で除した値を「人工地表率」、「緑被率」として定義した。測定点の中心から10m～160m（10m毎）まで評価半径を変化させた場合の、各種土地利用率と昼間の気温との相関係数の変化を図4.11に示す。相関が比較的良好な説明変数は、ほぼ60m付近までにピークを迎えた。なお、内藤らによる平地での万博記念公園（大阪府吹田市）[4.2]や水野らによる千里中央地区（大阪府豊中市）[4.3]における同様の検討結果では、評価半径が100m程度の土地利用率と気温の相関が最も良くなると報告されている。

比較的相関の良好な人工地表率および緑被率と気温との関係（評価半径60 m）を図4.12に示す。昼間の結果に関しては、気温と人工地表率との間には正の相関があり、人工地表率が20%増加すると気温が約0.7℃上昇することが確認された。また、気温と緑被率との間には負の相関があり、緑被率が20%増加すると気温が約0.4℃低下することが確認された。この増減率は、片山ら[4.4]による福岡市内各所の気温移動観測結果から導き出した結果とほぼ

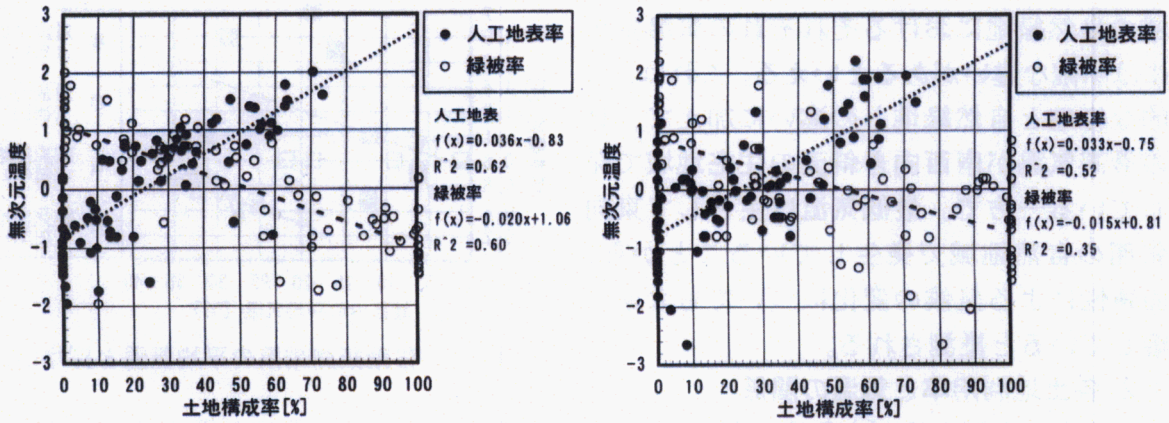


図4.12 土地利用率と気温の関係（9月1日：左図・昼、右図・夜）

一致する値である。一方で、夜間には各地表率と気温の相関における正負の関係は昼間と同様であるが、両者ともに傾きの減少や相関関係が悪化する傾向がみられた。特に、緑被率との関係でその傾向は強く認められる。大気が安定する夜間には、土地利用形態と気温との相関関係が良くなることが一般的な知見として認識されているが、本対象地域ではこれと相反する結果が得られた。この結果から、夜間には土地利用形態に依存しない何らかの要因が気温分布に影響を及ぼしていると推測される。この点については、後述の重回帰分析で詳細に取り扱うものとする。

4.3.3 局所的な風場が気温分布に与える影響

地域の日最低気温が発生するAゾーンにおける夜間の気温分布を図4.13に示す。また、移動観測時間帯のA7点付近における風況の変化を図4.14に示す。図4.14では、気温の測定開始時刻を時間軸（横軸）の0と表示している。なお、風場の測定装置には、風向風速測定器（ヤング社、KYG-05305)を用いた。測定高さは地上6.0mとした。その結果、図4.13に示すとおり、12月11日の結果を除いてA7やA9～10周辺での急激な気温低下が確認された。12月11日には他の測定日と傾向が異なり、裸地や草地のようなオープンスペースでは通常よりも高い気温を示した。この点に関して、図4.14に示すように12月11日以外の測定日には、地域の斜面傾斜方向に一致する安定した南西風がA7点周辺で観測されている一方で、12月11日には強い北西風が対象地全域を支配していたため、特にオープンスペースでAゾー

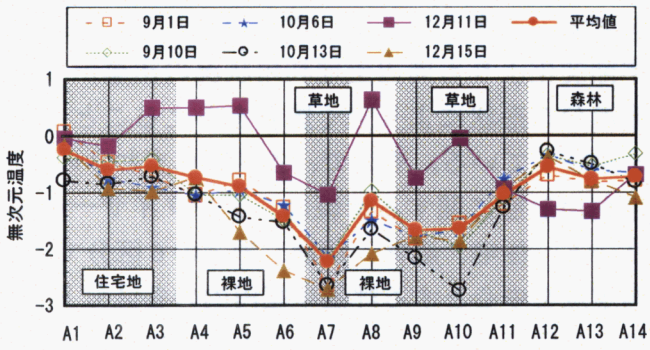


図4.13　Aゾーンの無次元気温分布（夜間）

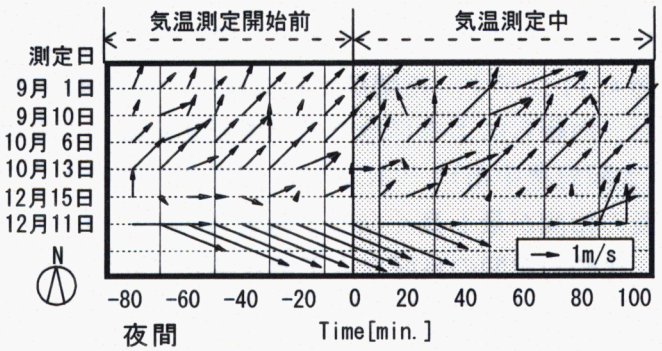


図4.14 気温観測中のA7点付近における風環境変化（夜間）



図4.15 無次元温度の昼夜間の差

ン北側の住宅地からの影響を強く受けたものと考えられる。以上の結果から、自然地表と人工地表の境界域では広域場の風向によって気温分布形状に明確な変化を生じ、特にその傾向はオープンスペースで顕著となることが明らかとなった。また、Aゾーン周辺の冷却効果には、斜面下降方向の安定した南西風が影響を与えていると推測された。

4.3.4 斜面下降流による低温域の発生

前節で確認された、安定した南西風が周辺住宅地に与える影響について検討するために、各測定点で夜間の平均無次元気温と昼間の平均無次元気温との差をとり、その大小の地域分布に関する評価を行った。この昼夜間の無次元気温差は夜間冷気生成ポテンシャル[4.5]のような性格を有する指標と考えられる。なお、平均値の算出には、季節風の支配下にあり安定した南西風が観測されなかった12月11日夜間のデータは除外した。図4.15に無次元温度の昼夜差に関する分布を示す。図中に●印でプロットされている地点は、夜間に冷気を生成するポテンシャルが大きく、○印の地点はその逆の特性を示している。その結果、ポテンシャルが大きな地域は、石切山北部のAゾーンを中心とした地域に集中し、逆にポテンシャルが小さな地域は、石切山東部のCゾーンを中心とした地域に集中した。Cゾーン周辺で冷気生成ポテンシャルが小さくなる理由は、主に石切山の日陰の影響や森林内に位置するために、昼間には気温が低いものの、夜間には放射冷却が妨げられることによって、相対的に高い気温を示すためである。ポテンシャルが大きな地域は、そのほとんどが図4.14で観測された南西風の風向方向にあり、この南西風が冷却効果の主要因になっていると考えられる。

以上に述べた南西風に関しては、斜面傾斜方向に安定して卓越していることや周辺の気温低下に影響を及ぼすなどの特性から、主として気象学や農業気象学の分野で検討が進められている[4.6] [4.7]「斜面下降流（冷気流）」が観測された結果と推察される。建築環境工学分野においては、糸川ら[4.8]や鳴海ら[4.9]により検討が始められつつあるが、未だ十分な検討が

進められていない。この斜面冷気流の特性については、丘陵地の気候特性を把握する上で重要な課題であり、第5章において年間を通した継続的な観測や、第6章から第7章において斜面下降流に関する発生構造の把握を目的とした観測や数値計算による予測モデルの作成によって詳細な検討を行うものとする。

4.4 重回帰分析による周辺土地利用状況と気温の関係に関する検討

気温分布の地域特性は、地表面や住宅等からの顕熱放出量の差や拡散力の違いによって形成されている。しかし、地形が複雑な場合には、局所的に発生する微気象によってそのメカニズムはより一層複雑化することが予想される。本節では、各地表面の顕熱熱収支を土地利用形態のカテゴリーデータに代表させ、土地利用率を説明変数、気温分布を従属変数とする重回帰分析を行い、複雑地形上における気温分布の成因に関する検討を行った。

4.4.1 クラスター分析を用いた測定日のグループ化

対象地域における気温分布を測定した結果、無次元気温の分布形状に目立った季節変化は認められないが、主に測定時間帯や卓越する風場の違いによって測定日間での変化が見受けられた。そこで、各測定日の全測定点における無次元気温を基準データとするクラスター分析を行うことによって、測定日のグループ化を行い、各グループの平均データに対して重回帰分析を行うものとした。

クラスター分析の結果、図4.16および表4.4に示すように、昼夜ともに2グループに大別された。ここでは、各グループをDAY1･DAY2、NIGHT1･NIGHT2と名付けることとする。各測定日の気温分布形状や卓越する風場の違いから、各グループは表4.4に示すような特徴を有すると判断された。日中にも関わらずDAY2で斜面下降流を観測したのは、気温の測定時刻がDAY1より若干遅く、ほぼ夕刻にかけて測定を行ったためである。第6章の観測結果によると、静穏な晴天日には午後3時頃に斜面下降流の発生を確認していることから、DAY1は斜面下降流が発生する前の日中の典型的な状況を、DAY2は斜面下降流が生じ始めた夕刻の時間帯を代表する状況と考えられる。一方で夜間には、前節でも述べたように広域場の風況の相違による斜面下降流の発生が分類に大きく影響した。NIGHT1は斜面下降流が観測された日の状況を、NIGHT2は強い季節風が卓越していたために斜面下降流が観測されなかった日の状況を示している。なお、夜間には6回の測定中で5回の斜面下降流を観測していることから、静穏な夜間の典型的な状況を示しているのはNIGHT1であると推測される。

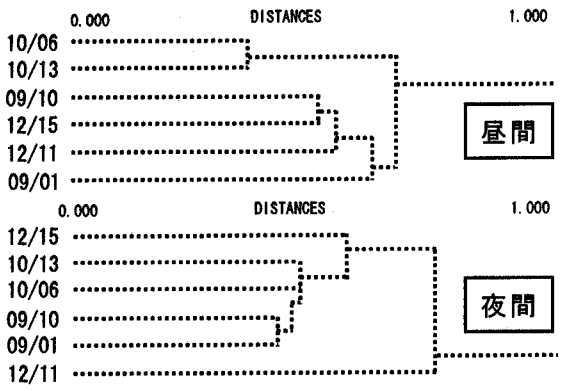


図4.16 クラスター分析の結果

表4.4　グループ化された各ケースの特徴

ケース	測定日	概況
DAY1	9/01、 9/10、 12/11、12/15	日中の典型的な気温分布 風速は2～3m/s程度
DAY2	10/06、10/13	夕刻に近く、斜面下降流や 地形による日射遮蔽が発生
NIGHT1	9/01、9/10、10/06、 10/13、12/15	夜間の典型的な気温分布 静穏状況下で斜面下降流が発生
NIGHT2	12/11	強い季節風の支配下 斜面下降流は発生せず

（ユークリッドの平方距離を尺度とした最短連結法による分類）

4.4.2 各グループに対する重回帰分析結果

各種土地利用率として「建蔽率」、「アスファルト」、「森林」、「草地」、「裸地」の5種、それに「森林キャノピーによる遮蔽の有無」を加えた6変数を説明変数に、各測定点の無次元気温を従属変数に用いた重回帰分析を行った。各測定点の気温には、クラスター分析で分類された各グループ毎の平均値を使用した。なお、各種土地利用率の算出方法は4.3.2で述べたとおりであり、「建蔽率」とは住宅区分のドットに関する占有率を示している。円の評価半径については、10m刻みで10mから200mまでの予備計算を行ったところ、10mから60mまでは回帰精度の向上が認められたが、60m以降ではほとんど変化しなかったため、以降では全て60mのデータを用いて解析を行った。

表4.5に、各グループ毎の決定係数（自由度調整済み）およびF検定を用いた各予測結果の有意性、各説明変数の標準化偏回帰係数およびt検定を用いた回帰係数の有意性をそれぞれ示す。その結果、各ケースともに危険率1%未満で有意であるという予測結果を得た。最も予測精度が良い値を示したのは、日中の典型的な気温分布状況を示すDAY1であり、予測精度が悪い値を示したのは、強い季節風の支配下にある夜間強風時の気温分布状況を示すNIGHT2であった。昼夜の典型的なグループ間で比較を行うと、決定係数に関してDAY1は0.76、NIGHT1は0.57であり、日中により良い予測精度を示した。都市平野部における既存の検討事例[4.2) 4.3) 4.4)]では、大気が安定する夜間により良い相関を得ており、これと相反する結果を示した。これは、都市の平野部に比較して複雑な地形を有する丘陵地域では、大気が安定する夜間に地形の変化に伴う微気象が発生しやすく、予測精度に影響を与えたものと考えられる。偏回帰係数の有意性に関する結果から、強風時の夜間に有意な説明変数が減る傾向があることが分かる。偏回帰係数の大小から、各説明変数が気温に与える影響の度合いについて検討すると、日中（DAY1）の気温低下に寄与する因子は森林や草地であり、特に森林キャノピー内ではその影響が一層強いことがわかる。夕刻（DAY2）にはAゾーン周辺の草地域で斜面下降流が観測され始めるために、草地の気温低下寄与率が増加している。夜間（NIGHT1）には裸地が気温低下に寄与しているが、裸地域が関与する理由はAゾーン周辺の裸地域にまで斜面下降流の影響が卓越することによる。夜間は、森林キャノピー内で大気放射が遮られるため、逆に気温上昇に寄与する結果が得られた。

予測結果の一例として、図4.17にAゾーン（自然地域）とDゾーン（住宅地域）のDAY1、図4.18にNIGHT1の実測による平均気温と重回帰モデルによる予測気温を比較した結果を示

表4.5 クラスター分析によって分類された各グループ毎の重回帰分析結果

DAY1	決定係数	有意性	DAY2	決定係数	有意性	NIGHT1	決定係数	有意性	NIGHT2	決定係数	有意性
	0.76	**		0.64	**		0.57	**		0.46	**
説明変数	回帰係数	有意性	説明変数	回帰係数	有意性	説明変数	回帰係数	有意性	説明変数	回帰係数	有意性
ｱｽﾌｧﾙﾄ率	+0.34	**	ｱｽﾌｧﾙﾄ率	+0.47	**	ｱｽﾌｧﾙﾄ率	+0.41	**	ｱｽﾌｧﾙﾄ率	+0.17	×
裸地率	+0.14	×	裸地率	-0.13	×	裸地率	-0.40	**	裸地率	+0.02	×
森林ｷｬﾉﾋﾟｰ	-0.24	**	森林ｷｬﾉﾋﾟｰ	+0.03	×	森林ｷｬﾉﾋﾟｰ	+0.33	**	森林ｷｬﾉﾋﾟｰ	+0.08	×
森林率	-0.41	**	森林率	-0.37	**	森林率	-0.15	×	森林率	-0.29	*
草地率	-0.22	**	草地率	-0.36	**	草地率	-0.50	**	草地率	-0.37	**
建蔽率	+0.29	**	建蔽率	+0.36	**	建蔽率	+0.44	**	建蔽率	+0.42	**

注：決定係数は自由度調整済み、回帰係数は標準化偏回帰係数　　**：危険率1%で有意、 *：5%で有意、 ×：統計的有意性無し

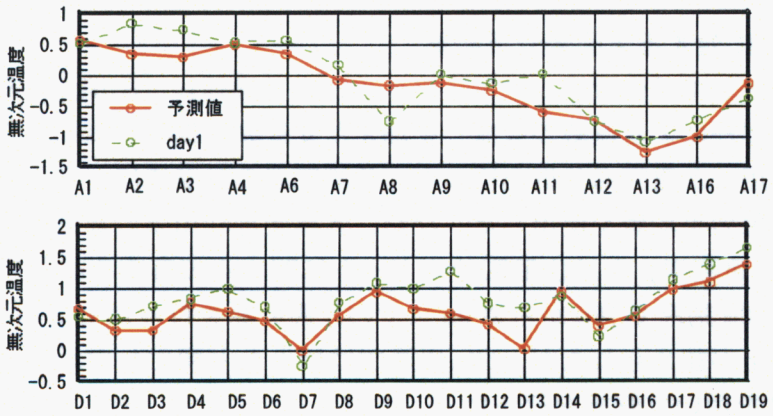


図4.17 A・Dゾーンにおける予測値と実測値（DAY1）

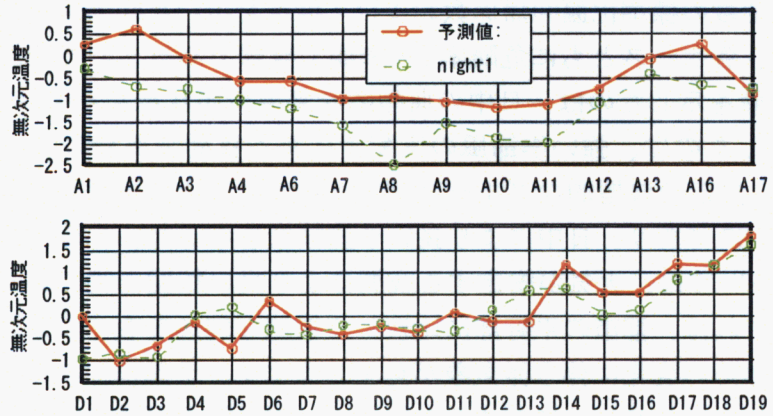


図4.18 A・Dゾーンにおける予測値と実測値（NIGHT1）

す。先述したようにDAY1では非常に良い予測を行っており、実測値との大きな乖離は認められない。一方で、NIGHT1では特にAゾーンで大きく実測値と予測値が乖離しており、土地利用形態では説明できない因子、すなわち斜面下降流の影響を予測因子に組み込まなければ正確に説明できないことがわかる。

重回帰分析による残差の分布を、日中に関して図4.19に、夜間に関して図4.21にそれぞれ示す。図中に◉印でプロットされている地点は実測値が予測値よりも低く、その差（残差）が0.5（無次元気温）よりも大きい地点を示す。▣印の地点はその逆を示している。

まず日中に関しては、83点中の14点で残差の絶対値が0.5よりも大きい値を示した。実測値が予測値よりも低い値を示す地域は、石切山東部の東向き斜面に集中した。この石切山東部地区については、図4.20に示すように、特に午後の時間帯には石切山による日陰が広範囲に発生するため、この影響が大きな誤差の発生に強く寄与したものと考えられる。実測値が予測値よりも高い値を示す地域に関しては、自然地域と人工地表域の境界付近で発生する傾向が認められたが、前述の日陰の影響のように顕著なものではなかった。

一方、夜間に関しては、日中の倍近くにあたる83点中の25点で残差の絶対値が0.5よりも大きい値を示した。実測値が予測値よりも低い値を示す地域は、4.3.4で示した斜面下降流が発生する石切山北部の緩斜面に集中した。その差についても非常に大きい値を示しており、斜面下降流の効果が顕著であることがわかる。実測値が予測値よりも高い値を示す地域に関しては、対象地域内では比較的高度の高い場所であるC9点周辺の測定点に集中した。図

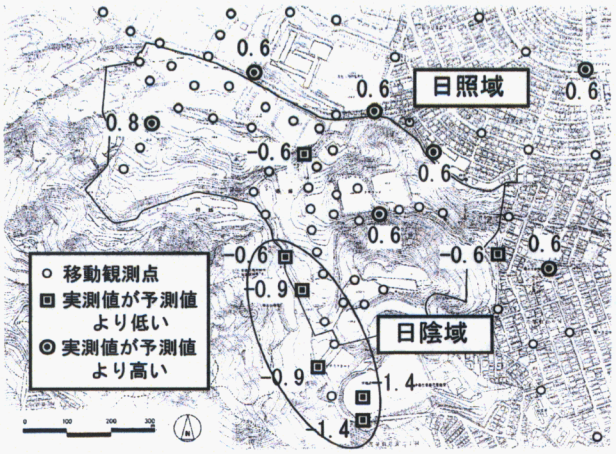


図 4.19 残差の地域分布（DAY1）
（残差の絶対値が 0.5 よりも大きい地点）

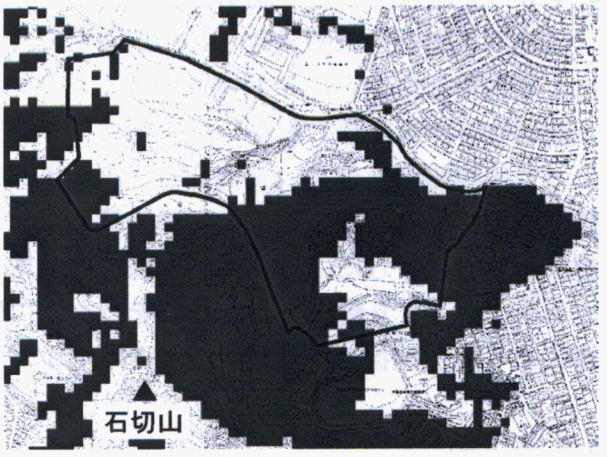


図 4.20　地形による日射遮蔽
（10 月 20 日：夕刻 16 時）

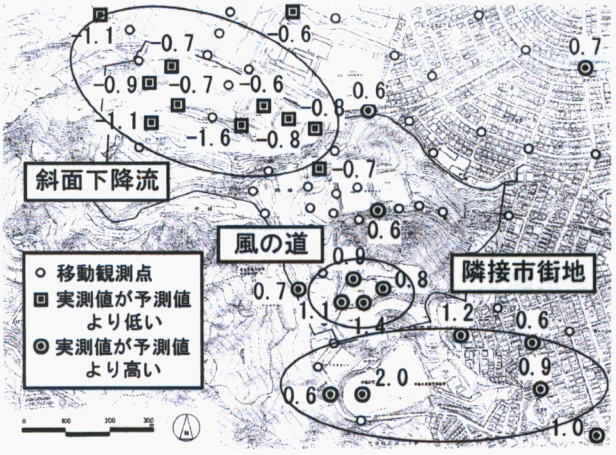


図 4.21 残差の地域分布（NIGHT1）
（残差の絶対値が 0.5 よりも大きい地点）

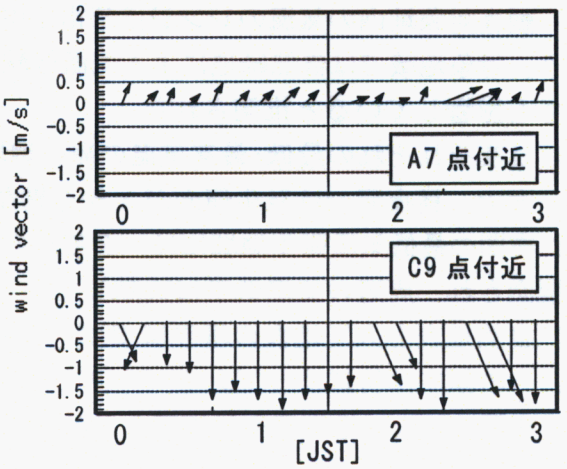


図 4.22 実測期間中の風環境変化（9/1NIGHT）
（上図：A7 点周辺、下図：C9 点周辺）

4.22 に 9 月 1 日の夜間における実測期間中の風環境の変化を示すと、斜面下降流が発生する A7 点周辺と比較して、C9 点周辺では風向および風速ともに大きな違いが認められ、測定点周辺を支配する風場が全く異なっている様子が伺える。詳細は第 5 章に譲るが、対象地域周辺の教育施設屋上（地上 20m 程度）で同様に風場を測定した結果と比較すると、C9 点周辺の風場とほぼ同様の傾向を示すことから、C9 点周辺では広域的な風場の影響を強く受けていることが予想される。なお、C9 点における風環境の測定方法については、4.3.3 に先述した A7 点周辺における測定方法と同様である。その他、川西市の中心地区に隣接する地域に関しても、大きな誤差が発生する傾向が認められた。これらの地域では局所的な地表面の影響ではなく、広域風や隣接市街地など広域的な場の影響を受けた結果と考えられる。

以上の残差分布に関する検討結果から、気温分布の主形状は土地利用形態の影響を受けて形成されていることは自明の結果であるが、日中には地形の変化に伴う日射環境の違いが、夜間には斜面下降流に代表される局所風、さらには広域風や隣接市街地域等の広域場の影響が示されていることから、これらが対象地域の気温分布状況の特異性に大きな影響を与えているものと推察される。

4.4.3　土地利用形態を説明変数とした重回帰分析の効用と限界

土地利用形態を説明変数とした重回帰分析を行った場合、理論的には大気の安定する夜間に土地利用と気温との相関関係が向上するものと考えられる。本章での解析結果によると、丘陵地特有の微気象の影響が弱い地域においては、土地利用を説明変数とした重回帰分析によって比較的精度の良い気温分布予測結果が得られた。しかし、上空広域風の影響、地形の影響によって生じる日射量の相違や傾斜に伴う温度場による風が発生する地域では、予測精度が大きく低下した。これらの地域では土地利用形態で表現することが困難な要因が支配的であるため、より精度の良い予測を行なうには、局所的な風環境や日射環境、さらには温度場による風を把握し、それらを説明要因に組み込む必要がある。

4.5 まとめ

本章では、第2章でその概要を述べた都市郊外の丘陵地に位置する住宅開発予定地域を対象とした気温分布に関する実測調査を行うことによって、以下の知見を得た。

1）調査対象地内の気温のレンジは都市平野部の公園緑地[4.1)]より2倍近い値を示すこともあり、対象地域では自然緑地による気温低減効果に加えて、斜面特性による気候の変化についても影響していると推測された。

2）日夜それぞれの最低･最高気温の発生地域には、季節に依存しない地域特性が認められる一方で、昼夜間では発生傾向が大きく異なることが明らかとなった。

3）夜間の最低気温発生地域には、夕刻から夜間にかけて地域一帯の斜面を流下する安定流が観測され、周辺の気温低下に貢献していることが明らかとなった。

4）自然地表と人工地表の境界域では、大局場の風向によって影響方向に変化が生じており、その傾向は特にオープンスペースで大きいことが明らかとなった。

5）夜間には人工地表率や緑被率などの土地利用形態と気温との相関関係が日中と比較して悪化する傾向にあり、都市平野部における既存の検討事例と相反する結果を示した。

6）重回帰分析で気温分布の形成因子を抽出した結果、気温分布の主形状は土地利用形態によるものであるが、日中には地形の変化に伴う日射環境の違いが、夜間には斜面下降流に代表される局所的な風場の違いが気温分布形状に影響する重要な因子として挙げられた。

7）複雑な地形を有する地域を対象として、重回帰分析を用いて地域の気温分布を精度良く推定するためには、局所的な風環境や日射環境を把握し、それらを説明要因に組み込む必要があることが示された。

本章での解析結果から、対象地域の斜面を流下する斜面下降流の存在が明らかとなり、夜間には地域気温の低下に大きく影響していることが示された。また、前章のアンケート調査結果から、「山から吹き降ろす風」を一部の居住者は体感し、結果として生ずる平野部との気温差について定量的に認識している居住者の存在も明らかとなっている。従って、この斜面下降流は地域の気候資源の中でも比較的居住者に認識されやすい重要な気候現象であると推測される。一方で、日中には地形の変化に伴う日射環境の相違が地域の気温分布形状に大きな影響を及ぼしていることが示された。これらの結果から、地域の気温分布形状を支配する気候要素としては、風環境及び日射環境の影響が重要となることが予想される。後者の影響については、周辺地形ならびに土地利用形態に関する情報を用いることによって比較的容

易に推測可能であるのに対して、前者の影響については、本対象地域では斜面下降流のような密度流が発生していることもあり、その構造は非常に複雑である。従って、次章以降では検討対象領域の全体を支配する風環境を把握することを目的とした実測調査や風洞実験、冷気流の構造把握を目的とした実測調査やモデル解析を行い、風環境に関する検討を中心的に実施していくものとする。

参考文献

4.1) 下田吉之・水野 稔：博覧会会場における屋外気温分布調査とその成因に関する解析、日本建築学会計画系論文集、No.475、pp.67-74、1995

4.2) 内藤和夫・水野 稔・山分弘之：局所熱環境に及ぼす周辺土地構成の影響、空気調和・衛生工学会論文集、No.25、pp.29-40、1984

4.3) Minoru MIZUNO・Yasuhiro NAKAMURA・Hiroaki MURAKAMI・Seiji Yamamoto：Effects of Land Use on Urban Horizontal Atmospheric Temperature、Energy and Buildings、No.15-16、pp.165-176、1990

4.4) 片山忠久他：都市における土地利用と気温分布に関する調査研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1397-1404、1992

4.5) 浦野良美編著：住宅のパッシブクーリング、森北出版、1992

4.6) 日本農業気象学会局地気象研究部会：局地風（その2）冷気の流れ、局地気象研究会講演論文集、No.13、1997

4.7) 吉野正敏：小気候、地人書館、1986

4.8) 糸川文崇・竹林英樹・森山正和：夏季夜間の冷気流による市街地冷却効果に関する実測研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、第39号、pp.77-80、1999

4.9) 鳴海大典・水野 稔・中村安弘・比嘉 博・上久保聡・原田幸平：丘陵地域の気候特性とその活用に関する研究 その5 丘陵地域における屋外熱環境が居住者に与える影響、日本建築学会近畿支部研究報告集、第39号、pp.13-16、1999

第５章
複雑地形上の風環境 ～実測及び風洞実験による検討～

5.1 序論

前章の解析結果から、地域の気温分布形状を支配する気候要素としては、風環境や日射環境の影響が重要となることが予想された。この内、後者の影響については、周辺地形ならびに土地利用形態に関する情報を用いることによって比較的容易に推測可能であるのに対して、前者の影響については、本対象地域では斜面下降流のような密度流が発生していることもあり、その構造は非常に複雑である。従って、本章以降では検討対象領域の全体を支配する風環境を把握することを目的とした実測調査や風洞実験、冷気流の構造把握を目的とした実測調査やモデル解析を行い、風環境に関する検討を中心的に実施していくものとする。

これまで、屋外の風環境評価に関する検討は、例えば勝田ら[5.1)]や片山ら[5.2)]の事例のように、平坦な市街地域を対象としたものがほとんどであった。このような市街地域では高層建物の建設や大規模開発に伴う広範囲な地表面性状の変化によって、周辺地域の風環境に変化を生じるケースが考えられるが、基本的には地域で広範囲に卓越する広域風が周辺環境に影響を及ぼす結果であり（つまり流入境界条件が広範囲に変化しない）、その影響に関する評価構造は比較的単純なものである。一方、本研究で検討の対象としている複雑地形上では、平坦地域とは異なり、比較的狭い範囲内で風環境の変化を生じる可能性を秘めている。また、前章の結果からも示唆されるように、傾斜に伴う密度流の発生によってその評価構造はより複雑化することが予想される。従って、このような複雑地形を有する地域を対象として、地域気候特性に配慮した住環境計画を行っていくためには、その地形特有の気候現象をいかに見極めるかが計画の成否を左右すると考えられる。特に、風環境に関する問題については、建設後に住棟配置等の修正を行うことはほぼ不可能であることから、計画段階でその状況を充分に把握し対策を講じておくことが重要である。第３章のアンケート調査に関する解析結果から、居住者の風環境に対する意識は自宅周辺の広域的な風場によって形成されているのではなく、地形や住宅配置などの影響を受けた地表面付近における局所的な風場によって形成されていることが推察されたことからも、地表付近の風場を把握することの重要性が伺えよう。また、風環境に対する配慮は、地域や屋内の快適性のみならず、省エネル

ギーにまで関わる問題であることも、アンケート調査の結果から示されている。

そこで本章では、地形因子と風環境の変化に関する基礎的データを得ることを目的として、実測調査および風洞実験の両面から複雑地形上の風環境特性に関して把握を試みた。

5.2　実測調査の概要

地域の気象特性を把握するためには、長期的な視野に立ち、季節や天候の影響を考慮に入れたデータを収集する必要がある。特に“風の道”などは季節変化する可能性があるため、その意義は大きい。しかし費用や労力の問題から、長期にわたり多点の測定を行うことは困難である。第２章でその概要を述べたように、対象地域は谷や尾根が複雑に入り組んでいることもあり、多点観測の必要性はより一層強まるものと考えられる。そこで本研究では、長期的な観測で得られないデータを補完するために移動観測を併せて行うことによって、地域の面的な風環境を把握することを目指した。

5.2.1　調査対象地域および測定方法の概要

5.2.1.1　長期固定点観測

第２章でその概要を述べた住宅開発計画地域内とその周辺に、6点の固定観測ステーションを設置した。各ステーションの位置を図5.1に、各観測ステーションの設置状況を写真5.1から写真5.4に示す。測定点A～Dはそれぞれ図5.1内に示す住宅開発計画地域内に設置した。A点は石切山北側の麓部である自然地と既開発地域の境界に位置する。測定点南側にはなだらかな斜面が山頂まで続く。A点近辺では既に宅地開発が始まっており、直下の土地利用は裸地となる。B点は石切山北東部の深い谷間に位置する。周辺はほぼ自然状態である。直下の土地利用は草地や低木が主である。B点の位置する谷間は石切山からB点を通り、東側の既存



写真5.1　観測ステーション設置状況（A点）



写真5.2　観測ステーション設置状況（B点）

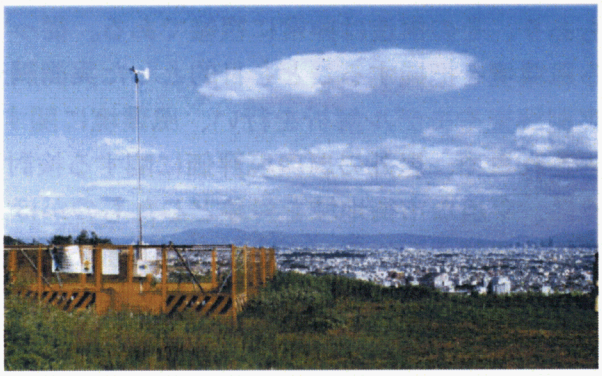


写真5.3　観測ステーション設置状況（C点）



写真5.4　観測ステーション設置状況（D点）

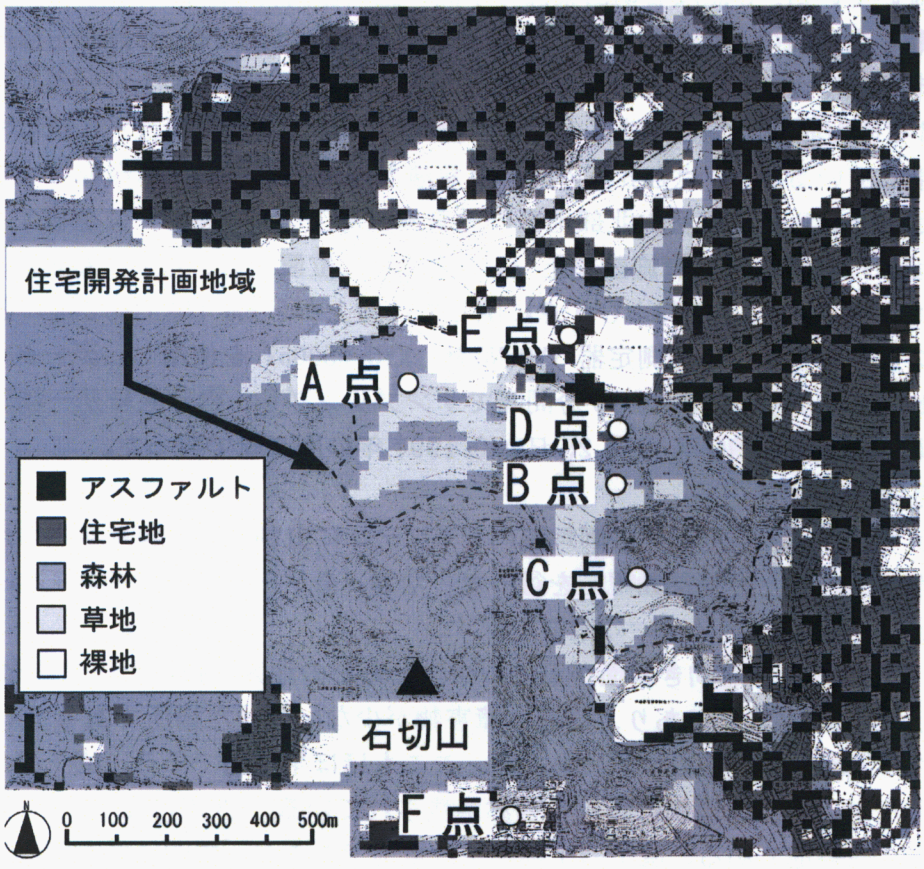


図5.1　固定観測ステーションの設置位置（長期固定点観測）

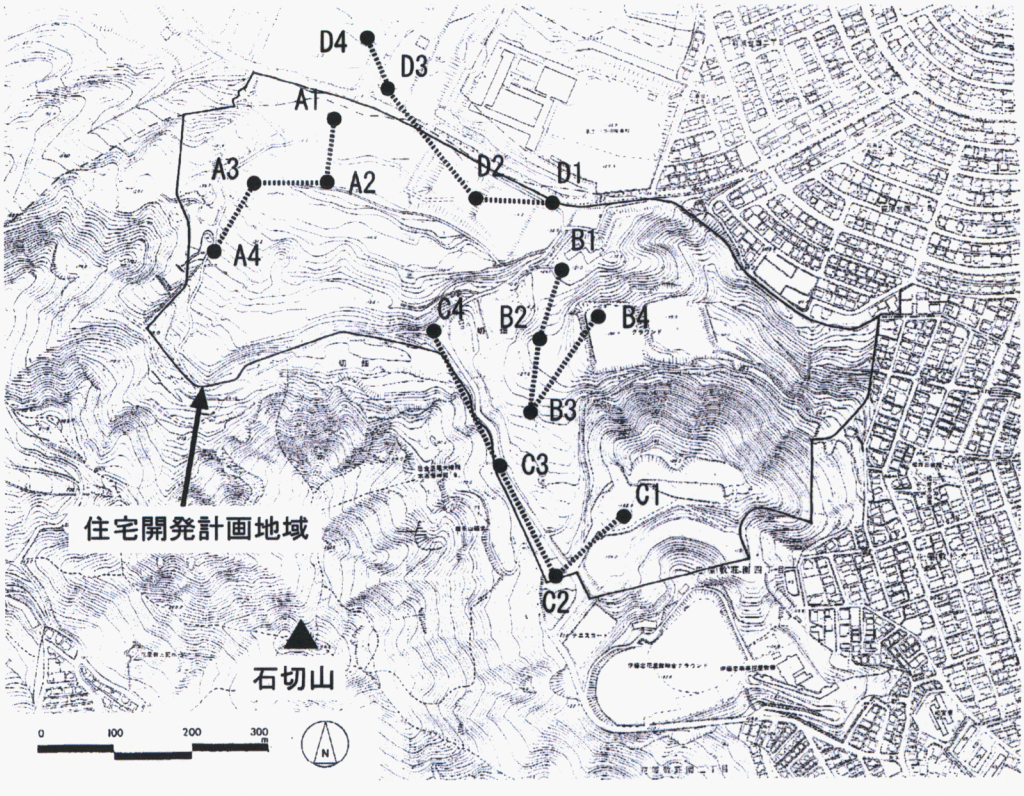


図5.2　移動観測点の分布状況（短期移動観測）

市街地へと続いている。C点は石切山東部の小高い丘（標高約160 m）の上に位置する。対象地内では最も広域風の影響を受けやすい地点であると推測される。C点からは南方向に隣接する川西市街地や大阪市方面を一望することが可能である。直下の土地利用は草地が主である。D点は石切山北東部の阪神淡路大震災仮設住宅地内（1997年現在）に位置する。位置はB点に近接しているが、D点とB点の間には急峻な崖があるため、風環境は大きく異なることが予想される。E点は石切山北部地区の教育施設屋上（4階建て）に位置する。F点についても石切山南部地区の教育施設屋上（4階建て）に位置する。なお、観測高さはA～D点に関しては地上6mとし、EおよびF点に関しては屋上から6m（地上約20m）とした。

測定にはプロペラ型風向風速測定器（YOUNG社、KYG-05305）を使用し、データロガー（コーナーシステム社、KADEC-KAZE）を用いて10分間隔でサンプリングし、内部メモリーにデータを記録した。なお、測定は1996年12月25日から1997年の同日まで行った。

5.2.1.2　短期移動観測

図5.2に示すように、住宅開発計画地域内を4ゾーンに分割し、対象地域内の風環境分布状況の把握を目的とした短期移動観測を行った。なお、各ゾーン内にはそれぞれ4点の観測点を設けた。以下に各測定ゾーンの概要を記す。

○ Aゾーン：なだらかな北向き斜面が石切山山頂からこの地区一帯にかけて連なっている。A1点は裸地上のほぼ平坦面にあり、周囲に障害物が少ない開けた場所である。A2点は山頂から続く自然地と既開発地域の境界にあたり、ここもほぼ平坦面である。直下の土地利用はアスファルトだが、特に山頂側に多くの自然が残されている。A3点はA2点から山頂側に斜面を少し上った傾斜地である。直下の土地利用は草地であるが、周囲に低木が若干見受けられる。A4点はA3点から山頂方向に150m程度上った斜面上にあたる。この地点での傾斜角は10°程である。この地点より斜面上方には山頂まで森林が続いている。第4章の気温分布観測結果から、このゾーン一帯では特に夜間気温が大きく低下することが確認されている。

○ Bゾーン：石切山北東部の谷間にあたり、自然が多く残されている地域である。場所によって異なるが、傾斜がかなり急峻なところも存在する。B1点の直下の土地利用は砂利や砂礫であり、傾斜の無い平坦な場所である。B1点南側には先述の谷間へと続く急峻な崖がある。B2点はその崖下に位置する。この地点での傾斜角は20°程であり、かなりの急勾配斜面である。直下の土地利用は草地である。B3点はB2点から南北方向の谷間を100m上った斜面上の地点である。この地点での傾斜角は10°強である。直下の土地利用は草地である。B4点はB2点から東西方向の谷間を100m下った斜面上の地点である。直下の土地利用は草地である。第4章の気温分布観測結果から、このゾーン一帯では昼夜を通して比較的気温が低下することが確認されている。

○ Cゾーン：このゾーンは比較的標高の高い場所に位置している。C1点は石切山東部の小高い丘の上の平坦面に位置する。この地点は南側に大きく開けており市街地が一望できる。直下の土地利用は草地である。C2点はC1点の丘と石切山に挟まれた谷間に位置する。直下の土地利用は草地である。C3点はC2点を谷筋に沿って北側に150m移動した点に位置する。測定点は若干木に覆われている。C3点から石切山の山頂方向にはかなりの傾斜がある。C4点はC3点からさらに北側へ150m程移動した地点に位置する。第4章の気温分布観測結果から、C1やC2点付近では昼夜を通して比較的高温、C3やC4点付近では昼夜を通して比較的

低温を示すことが確認されている。

○ Dゾーン：住宅開発計画地域北部に位置するが、この地域では既に宅地開発が進んでおり、住戸の建設が終了している地域も一部存在する。D1 点は地域の主要道路沿いに位置する。直下の土地利用はアスファルトである。D2 点はD1 点から 80m 西に移動した点に位置する。この地点は未舗装の道路上であり、直下の土地利用は砂利である。D3 点はA ゾーンと主要道路を挟んだ地域に位置する。この地点では既に住宅の建設が終了している。直下の土地利用はアスファルトである。D4 点はD3 点から若干北側に移動した場所に位置する。D4 点ではごく僅かであるが北側に下るように傾斜している。この地点での傾斜角は5° 程である。第４章の気温分布観測結果から、このゾーン一帯では昼夜を通して比較的高い気温を示すことが確認されている。

調査内容および調査位置、使用機器は以下の通りである。

○風速（平均、最高、最低）	地上1.5ｍ	熱線風速計（カノマックス社、MODEL6061）
○風向	地上1.5ｍ	スモークテスター

風向の測定方法に関しては、スモークテスターの煙と方位磁石の方位を照らし合わせ、卓越風向を決定した。但し、卓越風向が変動する場合には、最頻方向とその変化幅についても記録を行っている。

測定の手順に関して、各ゾーンともに毎正時に第１ポイントから順に第４ポイントまで移動して計測を行なった。各ポイントにおける測定時間は３分間とした。各ゾーンとも全てのポイントで実測を終了するのに20 分程度の時間を要した。

測定回数に関して、季節の特性を把握するために、以下に示すように各季節毎に測定を行った（夏季のみ２回実施）。

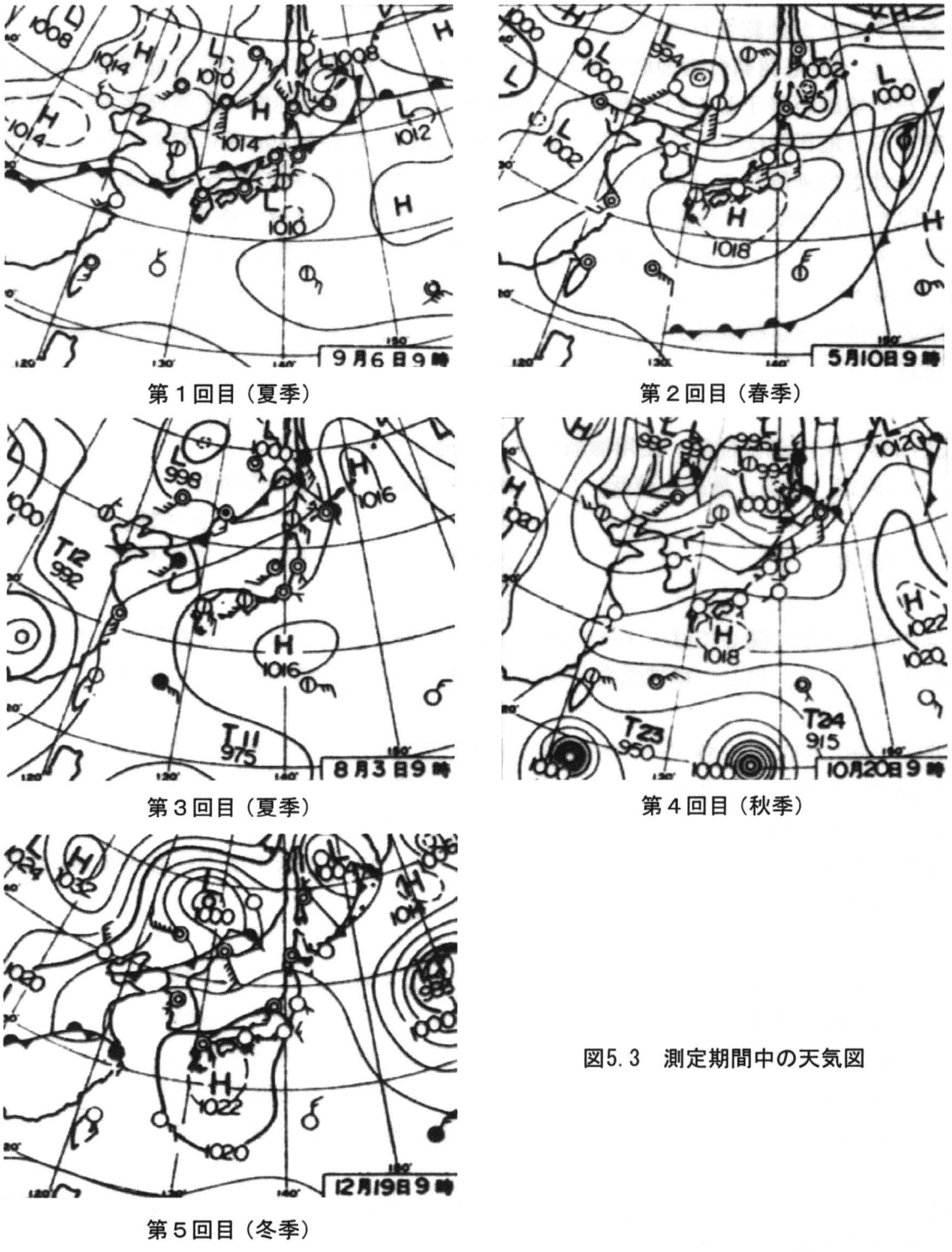
第１回（夏季）：１９９６年　９月　６日１４時～　７日　８時
第２回（春季）：１９９７年　５月　９日２１時～１０日１９時
第３回（夏季）：１９９７年　８月　２日２２時～　３日１７時
第４回（秋季）：１９９７年１０月１９日２２時～２０日２０時
第５回（冬季）：１９９７年１２月１８日２２時～１９日２０時

測定日の天候については、可能な限り典型的な晴天日に行なうように配慮した。参考までに、測定期間中の天気図を図5.3 に示す。１回の測定期間における測定回数は測定日によって多少異なるが、昼夜を併せて10 回前後を目安とした。なお、本章では夏季と冬季に関する考察のみを行ない、他の季節に関する結果は割愛した。

5.3 実測結果から判断される調査対象地区内の風環境

5.3.1 対象地区を広域的に支配する風

長期固定点観測のＥ点における年間風向変化について、昼夜の結果をそれぞれ図5.4 に示す。Ｅ点は計画地北側の教育施設屋上に設置しているため測定高さが地上20m と高く、また



第１回目（夏季）　　第２回目（春季）

第３回目（夏季）　　第４回目（秋季）

第５回目（冬季）

図5.3　測定期間中の天気図

周囲に障害物となる地物や建物が無いために、地域を広域的に支配する風を観測していると考えられる。

昼間に関して、冬季は北～北北西の風が卓越しているが、これは冬型の気圧配置時に発生する季節風の影響を受けた結果である。３～６月にかけて徐々に風向が変化しはじめ、夏季には南風が支配的になる様子が伺える。この傾向は８月まで続き、９月以降には冬季に向けて再度北風に変化している。夏季の南風については、太平洋高気圧の影響（季節風）に加え

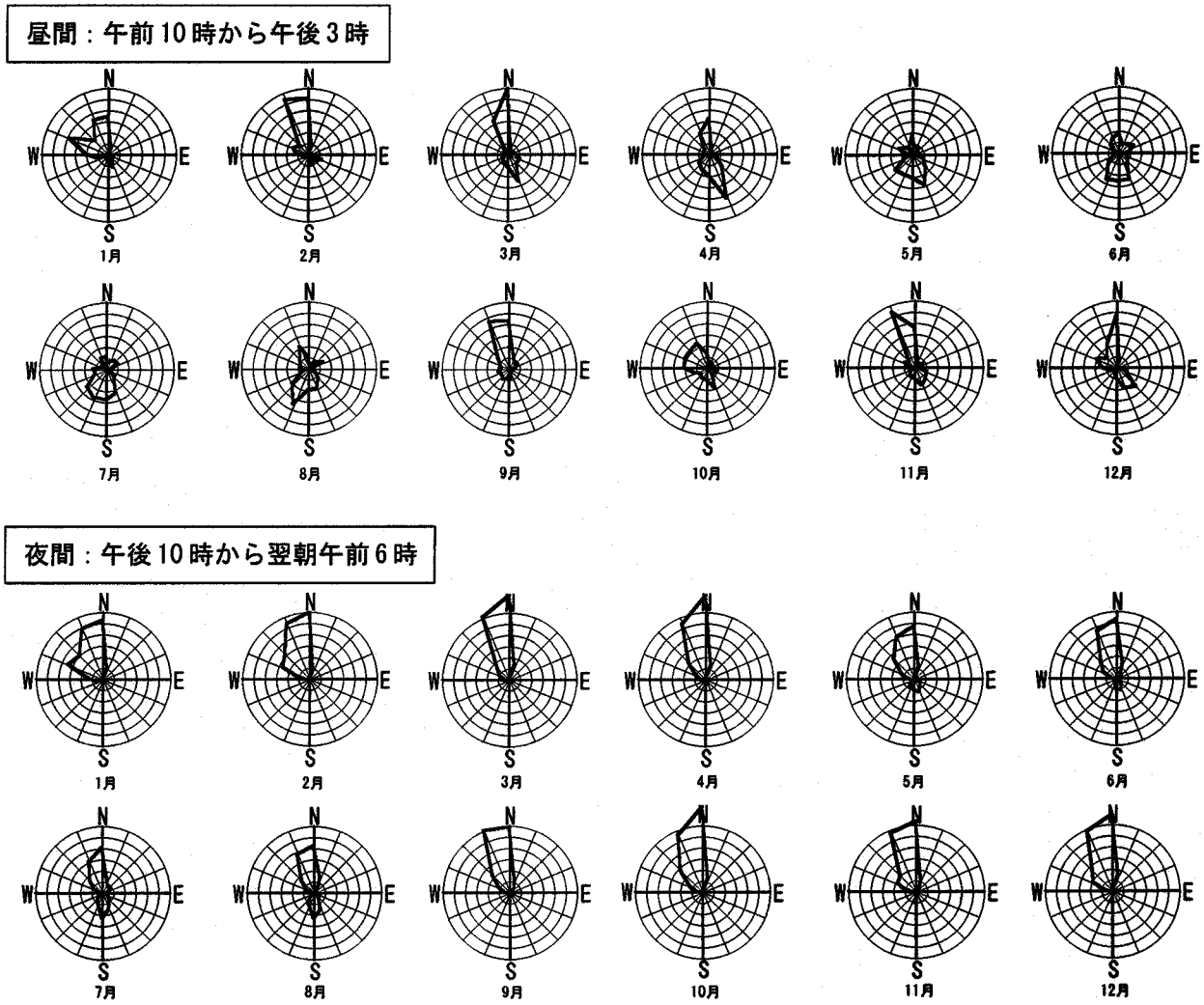


図5.4　E点における年間風向変動（上図：昼間、下図：夜間）

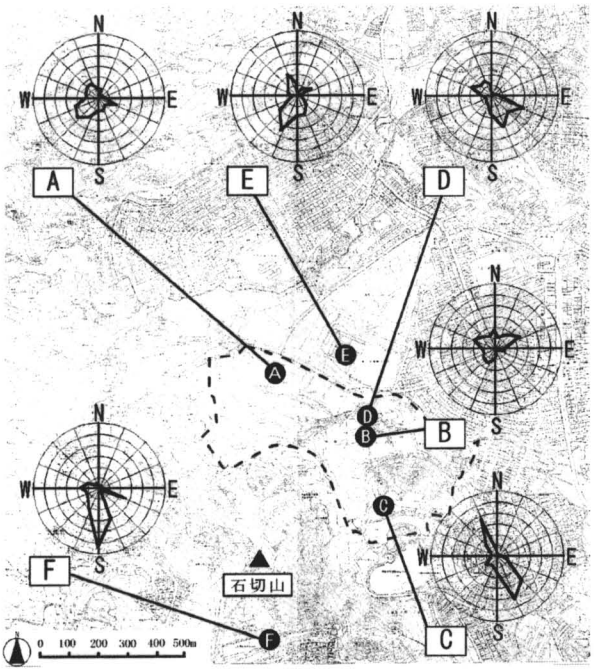
て、大阪湾からの海風の影響も受けている[5.3)]。

一方、夜間に関しては、年間を通して北よりの風向頻度が高く、冬季にその傾向はより顕著となる。年間を通して北風の頻度が高くなる理由に関しては、冬季には季節風の影響を受けることに加えて、夏季には昼間と異なり陸風（山風）の影響を受けることによる。

5.3.2 対象地域内の地表面付近の風（観測ステーションおよび移動観測による結果）

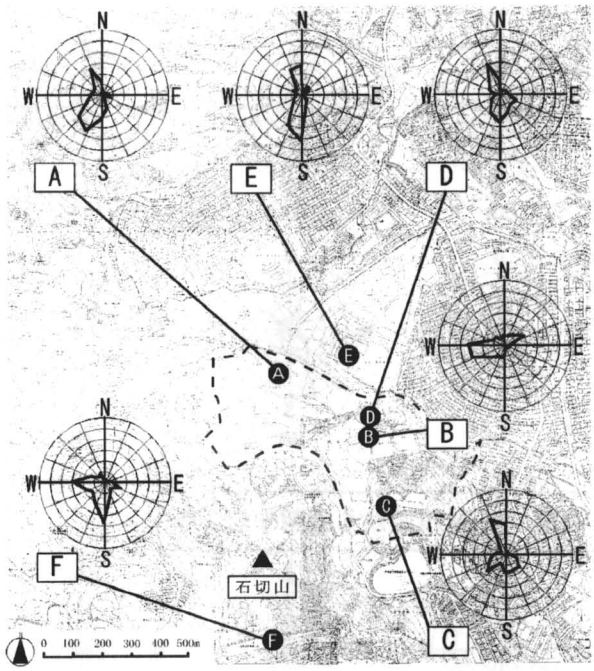
各観測ステーションにおける月間の風配図に関して、8月の結果を図5.5に、12月の結果を図5.6にそれぞれ示す。また、風速段階別に作成した風配図ならびに風速頻度図に関して、8月昼間の結果を図5.7に、8月夜間の結果を図5.8に、12月昼間の結果を図5.9に、12月夜間の結果を図5.10にそれぞれ示す。

昼間の結果に関して、A点では夏季には石切山やC点のある小丘が広域風（南風）を遮蔽するために、A点付近はその後流域にあたることから、風速が低下し風向も安定していない。その一方で、冬季には広域風（北風）と障害となる地物（石切山等）の位置関係が正反対となるため、2m/s以上の強風が吹く確率が約2倍ほどに高くなり、特に1m/s以上の風速段階では風向が明瞭になる傾向を示した。このようなA点の状況に対して、F点では石切山との位置関係がA点に対して正反対となるため、夏季に風向が安定する一方で、冬季にはやや不



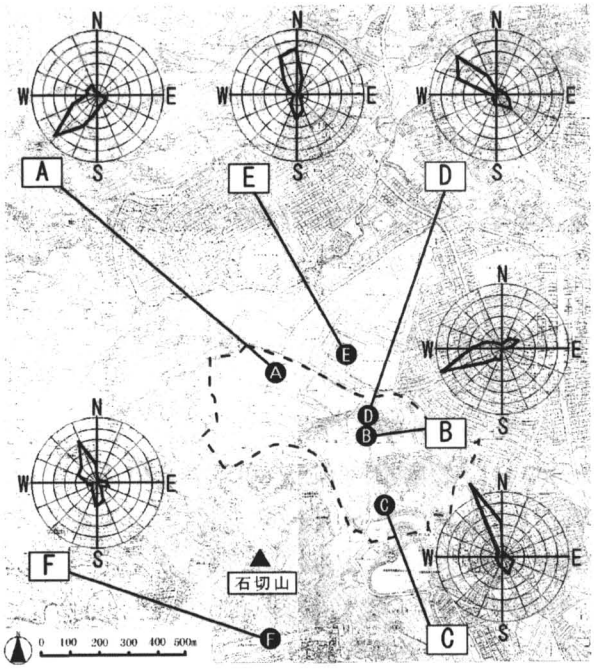
(a) 昼間

（午前10時から午後3時）



(b) 夕方

（午後4時から午後7時）



(c) 夜間

（午後10時から翌朝午前6時）

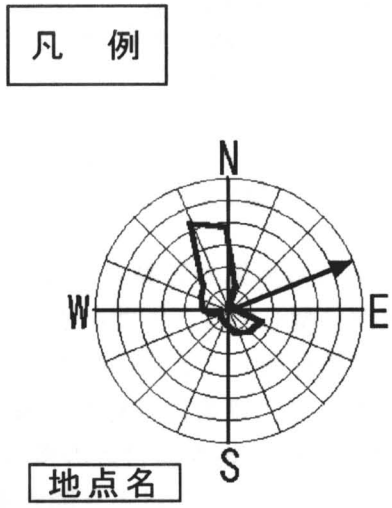
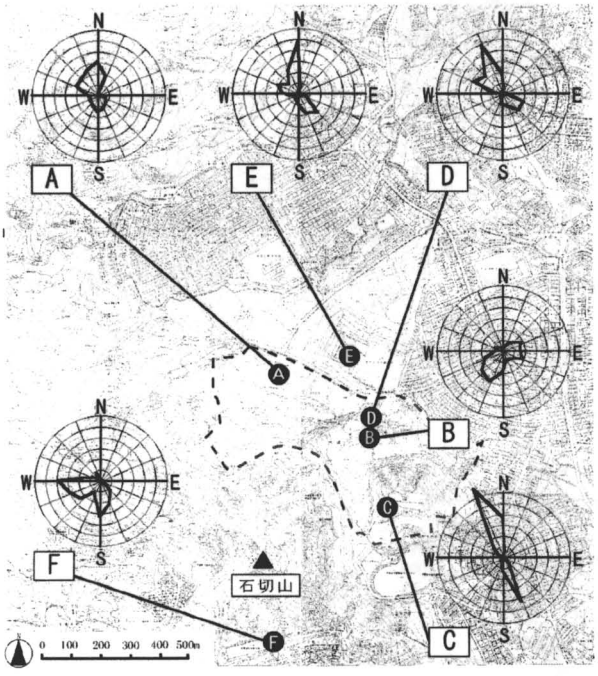
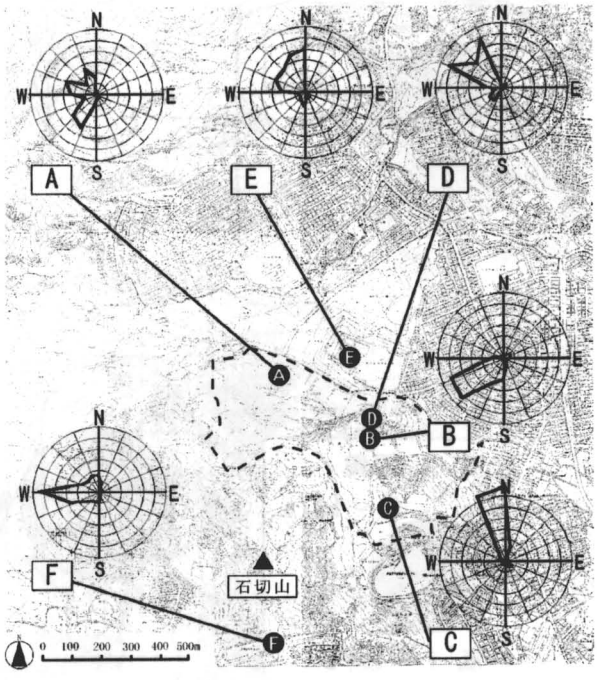


図5.5　各固定観測ステーションにおける８月の風配図



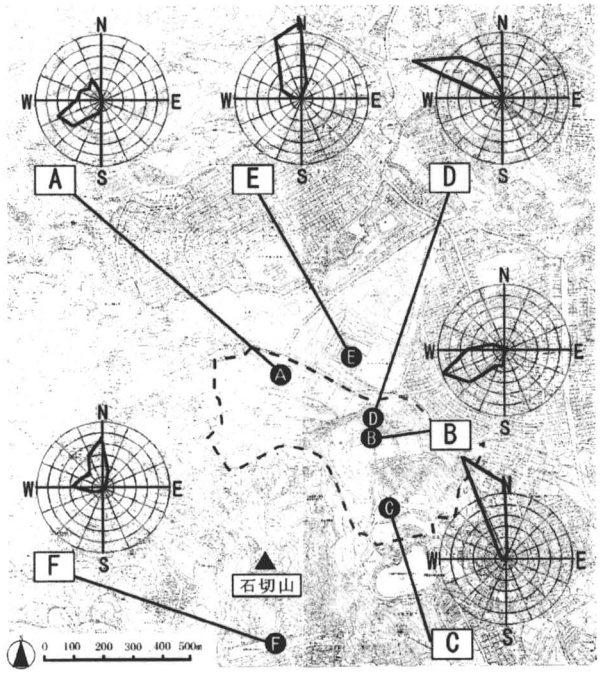
(a) 昼間

(午前10時から午後3時)



(b) 夕方

(午後4時から午後7時)



(c) 夜間

(午後10時から翌朝午前6時)

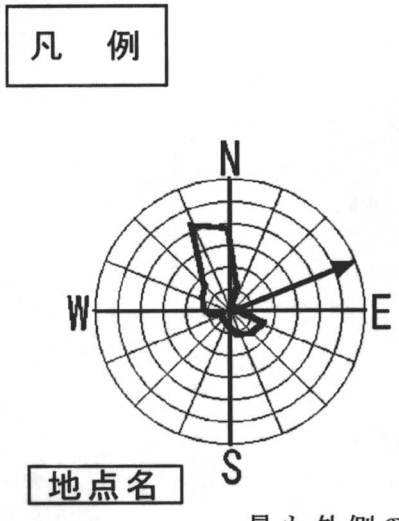


図5.6　各固定観測ステーションにおける１２月の風配図

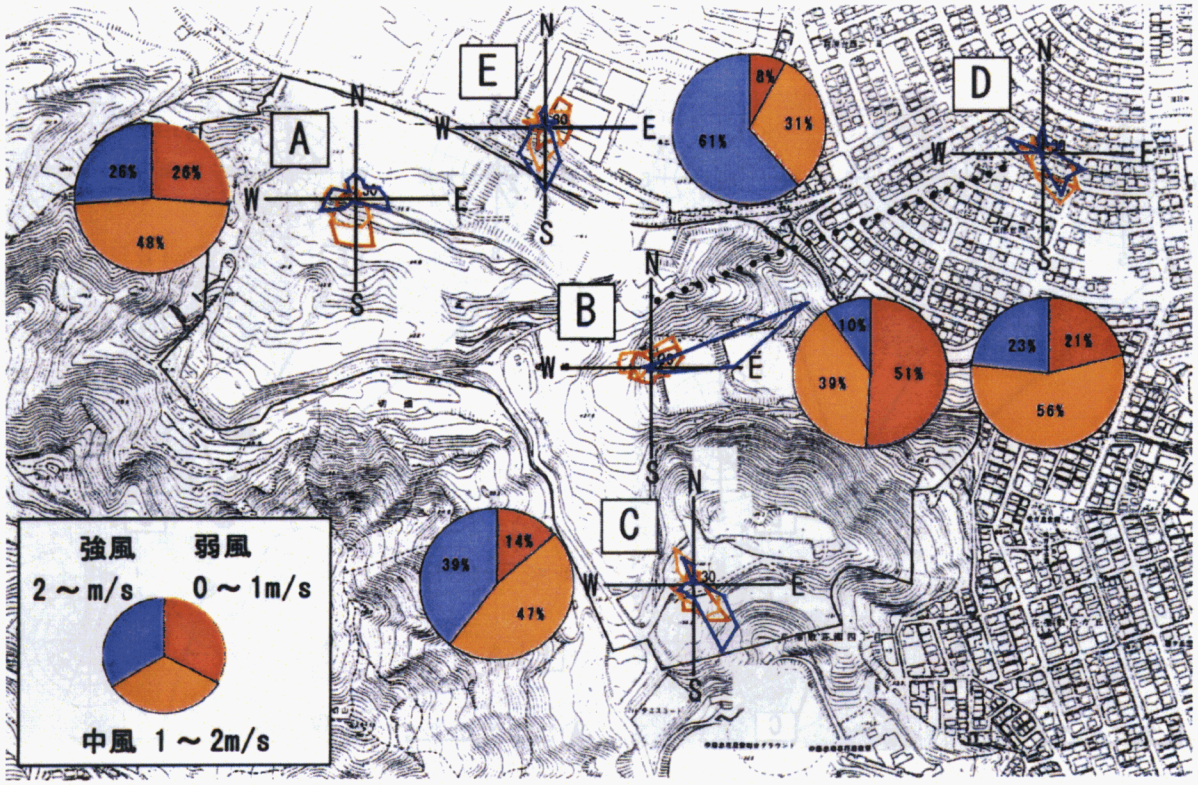


図5.7　各固定観測ステーションにおける（F点を除く）８月昼間の風速段階別風配図
（図中の円グラフは各風速段階の支配率を示している）

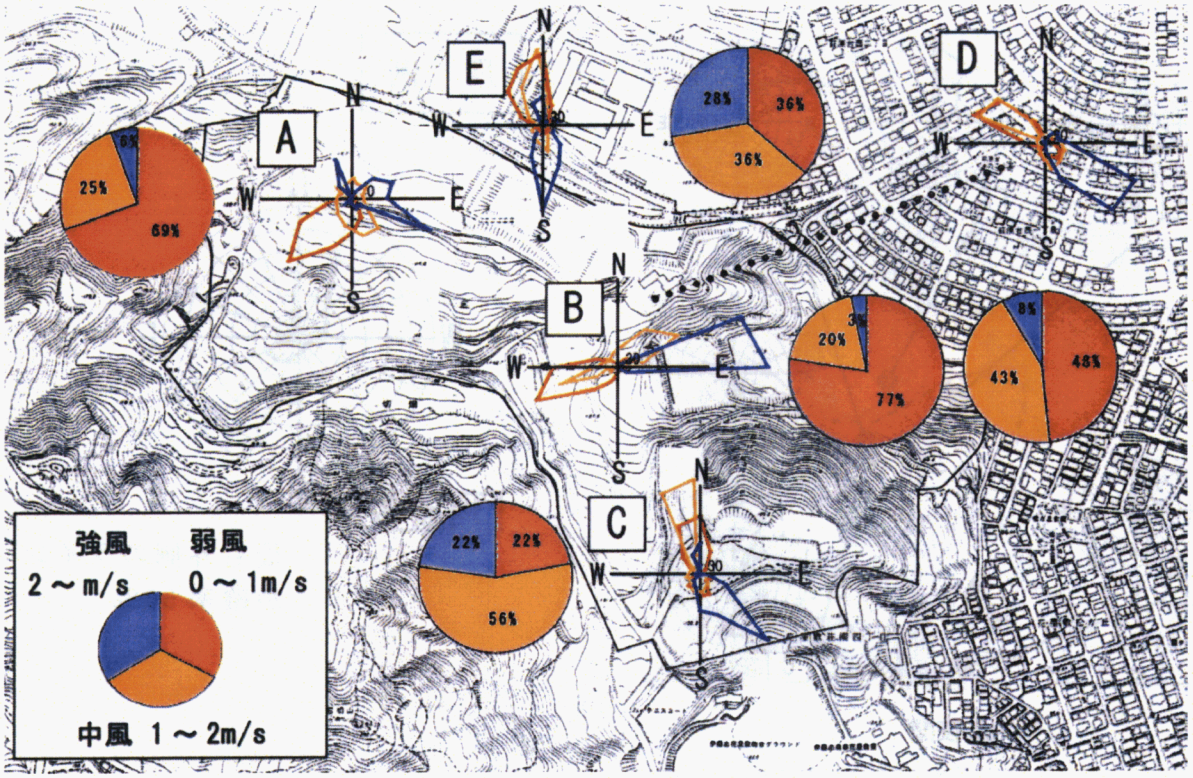


図5.8　各固定観測ステーションにおける（F点を除く）８月夜間の風速段階別風配図
（図中の円グラフは各風速段階の支配率を示している）

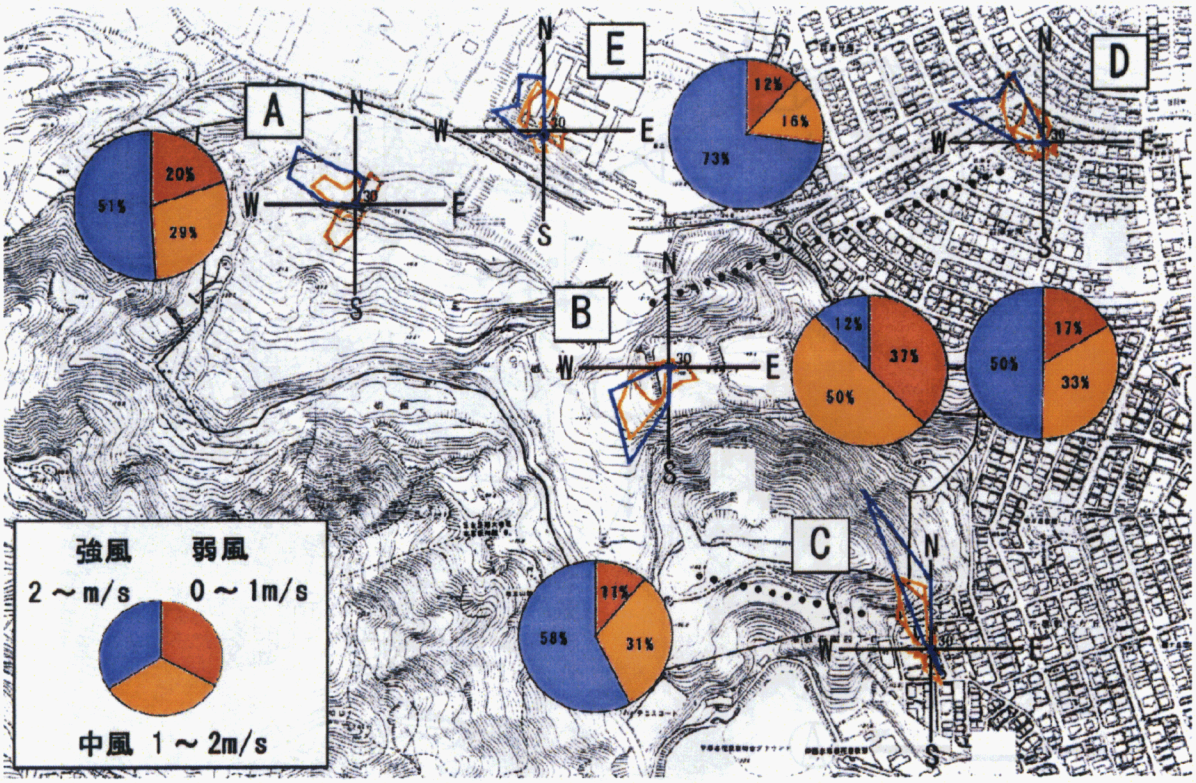


図5.9　各固定観測ステーションにおける（F点を除く）１２月昼間の風速段階別風配図
（図中の円グラフは各風速段階の支配率を示している）

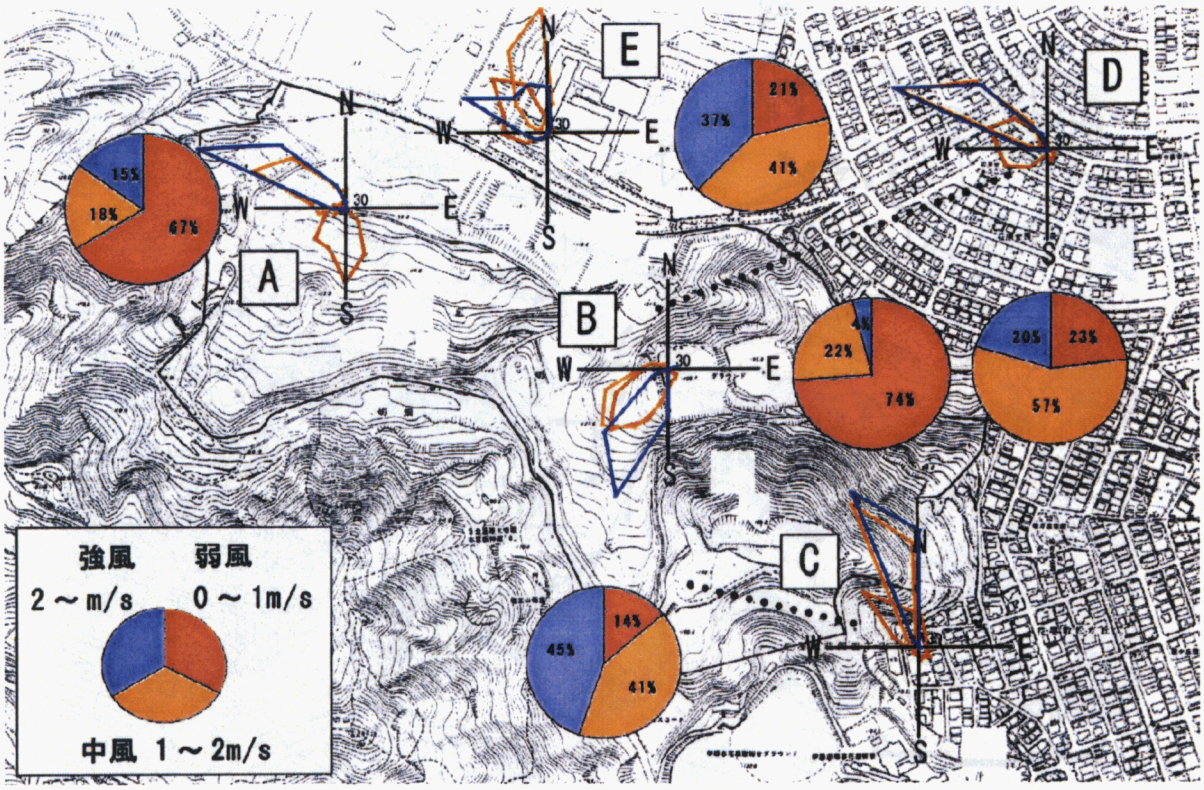


図5.10　各固定観測ステーションにおける（F点を除く）１２月夜間の風速段階別風配図
（図中の円グラフは各風速段階の支配率を示している）

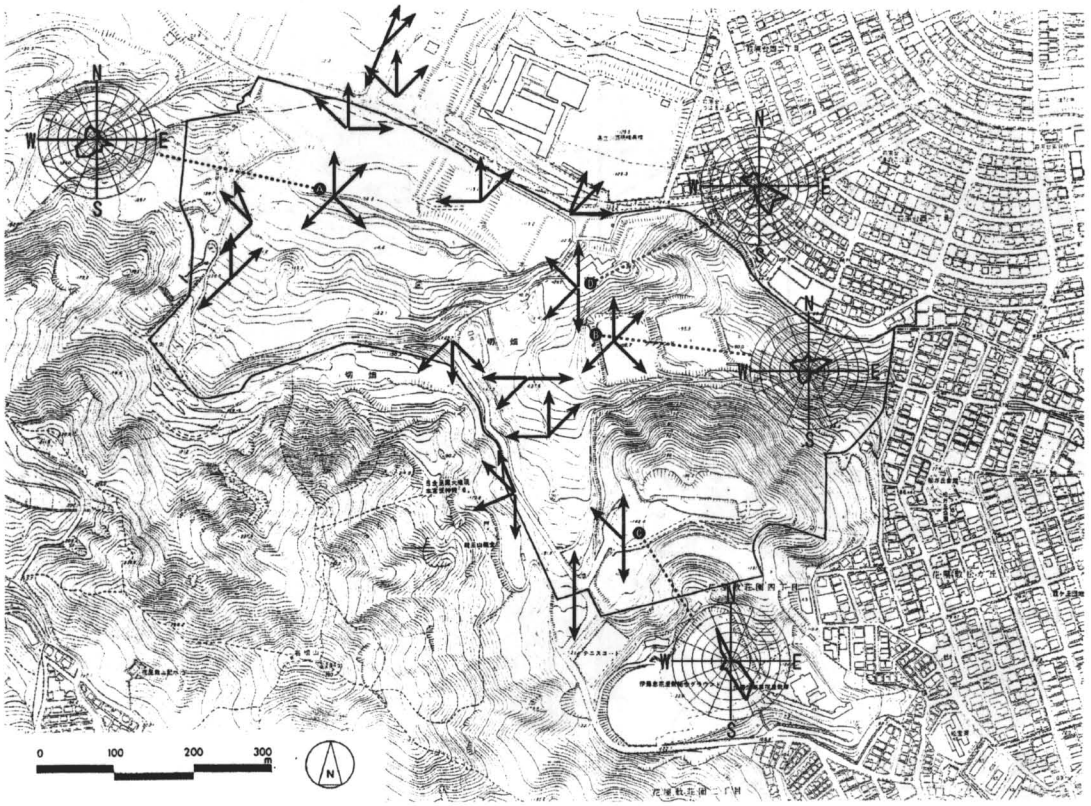


図5.11　移動測定による夏季・昼間の風向（1997年8月3日）

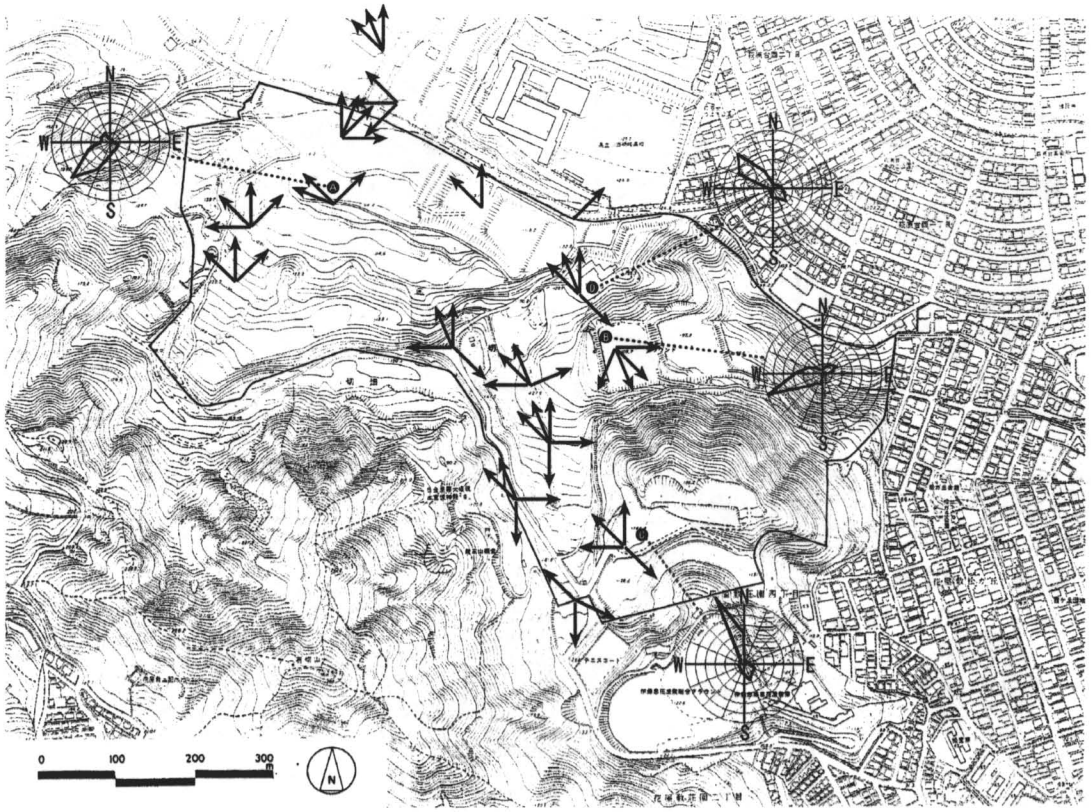


図5.12　移動測定による夏季・夜間の風向（1997年8月3日）

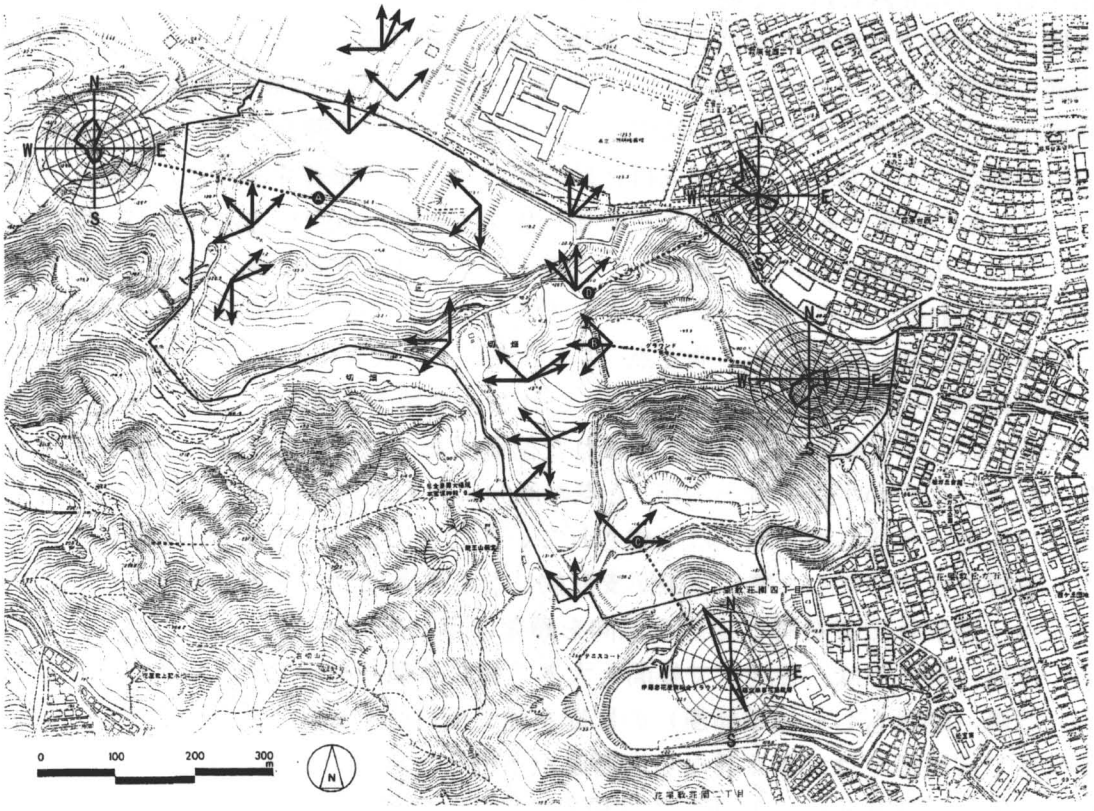


図 5.13　移動測定による冬季・昼間の風向（1997 年 12 月 18 日）

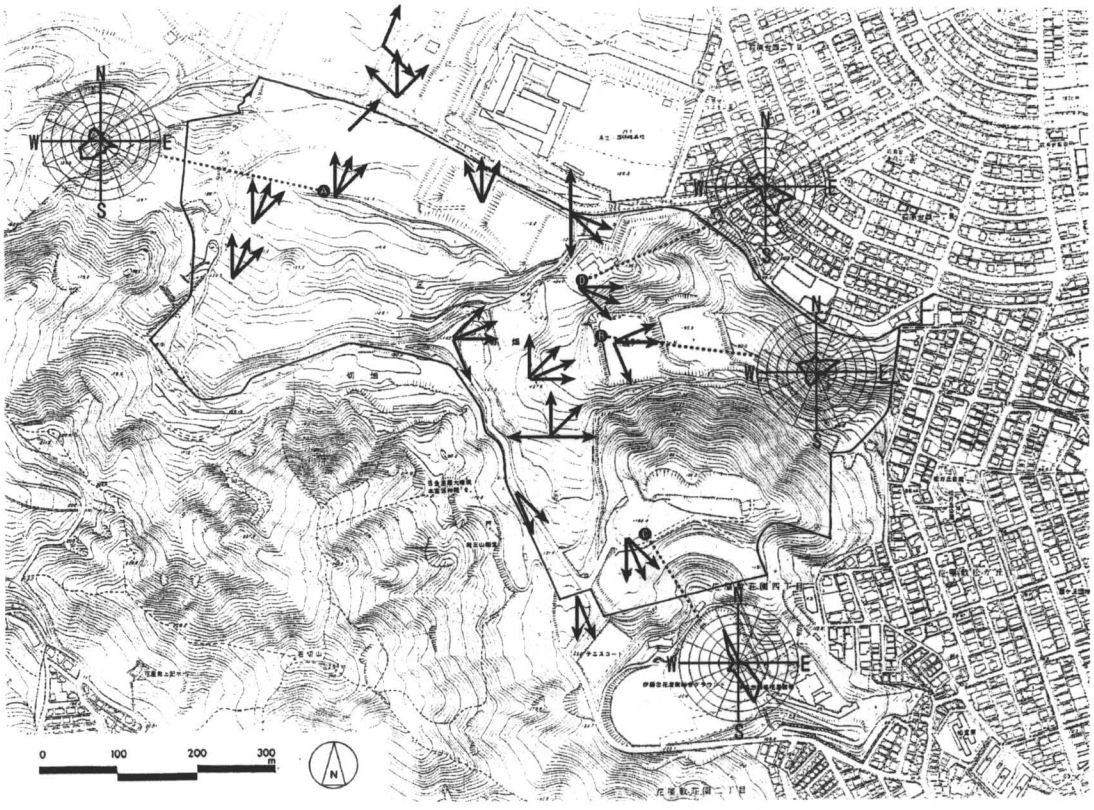


図 5.14　移動測定による冬季・夜間の風向（1997 年 12 月 18 日）

安定化するようにA点とは全く逆の傾向が見られた。以上のA点およびF点の結果から、山の風上側と風下側では明確に形成される環境に違いを生じることが示された。B点では深い谷の底部に位置することから、夏季および冬季ともに地域内では最も風速が弱く、2m/s以上の強風が吹く可能性は10%前後の時間にとどまった。風向に関しては、ほぼ谷筋に沿った方向のみが確認されており、その傾向は比較的風の強い日に顕著であった。南風が卓越する夏季には、C点の位置する小丘を避けて東側の既存住宅地から回り込んだ風が、北風が卓越する冬季には、広域風が谷内部に衝突し、南側の谷からB点方向に流れ込む反流的な流れがそれぞれ確認された。C点では、季節に依らず概ねE点、つまり広域場の風向とほぼ一致する傾向が認められた。風速も他の測定点（A～D点）より大きい値を示し、1m/s未満の弱風が吹く時間は10～20%程度にとどまった。これは、地域の広域風向である南北に風を遮る障害物がないことや、石切山と小丘に挟まれた位置にあることから縮流の影響を受けるためと推測される。ごくわずかではあるが、E点の風向よりも東西側に傾くのは、石切山と小丘の谷間方向に沿った流れがC点では形成されていることによる。D点ではA点と比較すると広域場の影響を受けやすく、特に北風が支配的になる冬季には、広域風がE点の位置する高台と石切山に挟まれた谷を駆け上がる風向を顕著に示している。

夜間の結果に関しては、各地点で昼間と大きく異なる傾向を示した。D点では北寄りの風である広域風（陸風もしくは季節風）の影響を強く受けるものの、A点では特に1m/s以下の風速段階で広域風とは大きく異なる南西風が卓越した。谷の底部にあるB点に関しても、広域風とは異なる西風が1m/s以下の風速段階で顕著に卓越した。これらA、B点の風向は各地点の斜面傾斜方向と一致していることから、第4章で指摘した「斜面下降流」が観測された結果と考えられる。観測された「斜面下降流」の風速は、A、B点ともに70～80%程度の時間で1.0m/s未満となっており、体感的にはわずかに気流を感じる程度である。しかし、第4章の気温分布に関する観測結果では、AおよびB点付近で顕著な気温低下が確認されており、斜面下降流は冷熱の運搬媒体として重要な価値を有していると考えられる。なお、「斜面下降流」は季節に依らずA、B点で観測されている。A点やB点に近接しているD点については、測定点が尾根上に位置していることから斜面下降流は全く確認されず、日中と同様にE点の位置する高台と石切山に挟まれた谷を駆け上がる風向方向の風を明確に示した。C点に関しても、季節に依らず概ねE点、つまり広域場の風向と一致する傾向が認められた。AおよびB点で観測された斜面下降流は、両地点ともに1m/s以下の風速段階で顕著に確認されており、1m/s以上の風速段階を示した場合には広域風の影響を受けた状況にあると推測される。地域の広域風を観測するE点の風速頻度と対応すると、E点の風速段階が2m/s以上の場合にはAおよびB点で下降流を観測しないことが推測されるが、このような状況は悪天候時や強度の季節風が卓越した場合であると考えられる。いずれにせよ、A点およびB点では夏季・冬季ともに70%前後の時間確率で下降流を確認していることから、地区の熱環境特性に重要な役割を果たしていることが推測される。なお、表5.1に地形因子と風環境の関係について、以上の内容を整理した結果を示している。

短期移動観測結果に関して、夏季（第3回目）の昼間の結果を図5.11に、夜間の結果を図5.12に、冬季（第5回目）の昼間の結果を図5.13に、夜間の結果を図5.14にそれぞれ示す。なお、図中には上述の固定観測ステーションにおける測定結果を参考データとして示している。移動観測の結果からは、固定観測ステーションでは捉えきれない面的な風場の状

表5.1　固定観測ステーションにおける観測結果から推察される地形因子と風環境の関係

ポイント	風に影響を与える地形（原因）	風況（結果）
A点	・周辺は石切山から連なる緩斜面	・夜間は季節を問わず斜面下降流が流れている ・斜面下降流の発生確率は夏季夜間で50%程度 ・風速は70%程度の時間帯で1m/s以下の微風
	・南側には石切山	・南風の卓越する夏季昼間は風向安定せず、風速も弱まる
	・北側には緩斜面が500m以上続く	・北風の卓越する冬季昼間は北寄りの風が安定し、風速も増加
B点	・周辺は東西方向に傾斜を有する深い谷底	・夜間は季節を問わず斜面下降流が流れている ・斜面下降流の発生確率は夏季夜間で50%程度 ・風速は80%程度の時間帯で1m/s以下の微風
	・北側にはD点のある尾根 ・南側にはC点のある小高い丘	・日中の特に強風時には谷方向の風向に限定 ・日中の弱風時には、季節を問わず風向安定せず ・日中は90%程度の時間帯で2m/s以下の弱い風が支配 ・夜間は斜面下降流の影響により、ほぼ全時間帯で谷方向の風向に限定
C点	・周辺は小高い丘の頂上 ・南北側には遮蔽となる地物がない	・昼夜季節を問わず、地域を支配する広域場とほぼ同じ状況 ・日中夏季の風速は40%の時間帯で2m/s以上の強風 ・日中冬季の風速は60%の時間帯で2m/s以上の強風 ・丘の頂上にあるため、夜間は斜面下降流が観測されず
D点	・周辺は起伏の小さい尾根上	・夕刻以降は斜面下降流が観測されず ・A点と異なり斜面下降流の影響を受けないため、夜間は広域場の影響が大 ・日中はA点とほぼ同様の傾向
	・南側にはB点のある深い谷へ続く崖	・水平距離で100mも離れていないが、B点とは風況が全く異なる

況を把握することが可能となった。固定観測ステーションと同一個所で測定した結果に関しては、概ね似た傾向を示している。長期間を通してこのような面的なデータを捉えることは現実的に困難であるため、各季節ごとの代表的な静穏日を対象として短期移動観測によるデータを収集し、長期固定点観測による情報の補間を行うことが重要である。

5.4　風洞実験による複雑地形上の風環境変化の予測

建築・土木分野において風洞実験を用いた研究は数多く行われているが、建築環境工学的な研究では、建物表面の熱伝達特性、圧力分布、近傍気流分布などの建物単体を扱った事例が多く、広域的な風環境を扱った事例は比較的数が限られる。例えば、大規模建物の建設に伴う周辺影響の予測を目的とした風洞実験の例として村上ら[5.4]やドイツにおける事例[5.5]などが、風通しの良い地域計画を目指した検討事例として成田[5.6]や久保田ら[5.7]の研究が挙げられる。しかし、これらの検討事例はいずれも平坦地形を対象としており、複雑地形と比較してその影響評価構造は比較的単純なものである。地形に起伏を有する地域を対象とした検討事例として、加藤ら[5.8]は地形が風環境に及ぼす影響を検討することを目的として、複雑地形上の乱流統計量の分布に関する検討を実施している。しかしこの検討は物理気象学的な解明を目的としている。また、宇都宮ら[5.9]は、地形の変化を伴う地域を対象として、大規模な道路建設による風況の変化を風洞実験によって予測している。この事例は、強風災害の可能性に関する検討を主な目的としており、居住地として計画する際に重要となる弱風域の発生等に関する評価は全く行われていない。従って、複雑な地形を対象として、その地形特性と風環境の関係を明らかにし、地域計画への知見として応用を図ることに関しては、未だ充分な検討が行われていない段階にある。

前節では、2種の実測調査で得られた結果を基にして、地形特性と風環境の関係に関する基本的な検討を行った。しかし、実測調査は基本的に立ち入り可能な地点においてのみ実施することが可能であり、例えば急峻な地形上のデータを収集することは現実的に困難であることから、何らかの方法で予測し補完する必要がある。また、実測データと風洞実験データの整合性についても未だ充分な検討が行われていないことから、それらの比較についても重要な意義があると思われる。そこで、本節ではこれらの課題を解決することを目的として、風洞実験による検討を実施した。なお、本風洞実験は等温環境状況下で実施していることから、地形の影響による広域風の変化状況に関する検討を主な目的としており、密度流の再現は想定していない。

5.4.1　実験の概要

5.4.1.1　実験理論

風洞実験を行う上で相似条件を保つべき物理量がいくつか考えられるが、全てのパラメータを相似化することは非常に困難である。そこで、実験の目的や風洞の性能などを考慮しながら、一致させるパラメータを適切に選択する必要がある[5.10]。

物体周りの流れに関する相似パラメータとしてレイノルズ数の一致が挙げられるが、乱流境界層中では、物体周りの流れの状態はレイノルズ数によって大きく変化しないことが知られている[5.11]。また、乱れのスケールや乱れの強さについても、平均風速の測定を主な目的としている場合には配慮する必要がない[5.11]。従って、地域的な風環境の把握に関する風洞実験の場合には、自然風と風洞内の風の形状に関する相似条件と実際の地形と模型形状の一致に関する幾何学的相似条件の2つを満たせば良い[5.11]。

ここで、自然風を風洞内で模擬するためには、鉛直風速分布を風洞内と実環境状態で一致させる手法が通常用いられる[5.11]。本実験においてもべき法則を採用し、アプローチフローのべき指数を実環境状態と一致させることによって、風の形状に関する相似条件を満たすものとした。べき法則の平均風速分布は下式で表される。

$$\frac{V_Z}{V_R}=\left\{\frac{Z}{Z_R}\right\}^{\alpha}$$

ここで、Z_R：基準高さ、Z：測定高さ、V_Z：Zにおける風速
V_R：基準風速、α：べき指数

幾何学的相似に関しては、模型の再現範囲、精度などの問題が考えられる。地表面付近では実験対象地周辺の地形も影響を及ぼすことが予想されるため、測定範囲よりも広い範囲の現況を再現する必要がある。この再現範囲と風洞断面のサイズから模型の縮尺を決定する。但し、模型の見付面積が風洞の断面積に比べ無視できない大きさになると、模型に作用する風力が増大し模型上の風速が大きくなる恐れがある（模型の閉塞効果）。また、森林や住宅地などの構成要素によって地表面の粗度が変化するため、模型上でも地表面要素による粗度の違いを表現する必要がある[5.12]。

5.4.1.2　実験装置

実験には大阪大学工学部研究用風洞棟の風洞実験装置を使用した。測定胴の大きさは1.8m×1.8m×9.5mであり、流路は回流型で実験を行った。風洞内風速2～20m/sにおける速度

偏差は±1.0%以下、気流偏向角は±1.0度以下、気流乱れ度は0.5%以下である。

必要な再現範囲と風洞断面のサイズを考慮して、対象地模型の縮尺は1/1000とした。また、対象地周辺では広範囲にわたって起伏の激しい地形が続いていることを考慮して、北北西側及び南南東側にそれぞれ1.6m×0.9mの補助模型を用意した。風洞断面に対する模型の見付け面積の比率は10%前後で、閉塞効果の影響は小さいと考えられる。模型は厚さ10mmの発泡スチロールで地形を再現した上、石膏で表面を平滑化した。粗度の違いは森林に関しては芝丈6mmの人工芝を張り付け、周辺住宅地は6×8×8mmのスタイロフォームで再現した。

5.4.1.3　測定方法

風速の測定には熱線風速計を用い、風洞内部に設置された3次元トラバースを用いて任意の測定点で計測を行った。風速測定時間は30秒とし、1秒ごとの瞬時値の平均を平均風速とした。地表面付近の風速の測定高さは地上から5mmとし、対象地を中心とする40mm間隔のメッシュデータを測定した。測定点の位置を図5.15に示す。風速鉛直分布は図5.15の■に示すポイントで、測定高さを5mm～50mmで15mm間隔、50mm～100mmで25mm間隔、100mm以上で50mm間隔として測定を行った。風向はタフトを測定点に固定してCCDカメラで撮影し、撮影時間1分間のうちの最頻風向を対象地点の主風向とした。

5.4.1.4　実験条件

アプローチフローの鉛直分布を市街地型にするために、測定胴の風上端に整流格子を設置し、風上から風下にかけて約6mにわたって大小2種類のラフネスブロックを配置した。その風下に補助模型と対象模型を設置した。設定風速は風洞内に模型やラフネスブロックを配置しない状態で、風洞断面中心部の風速が5.0m/sとなるように設定した。前節で示した実測調査結果より、対象地域を支配する広域風の主風向が北北西と南南東であると判断されたため、これらの風向を設定風向とした。実験時の模型配置平面図を図5.16に示す。写真5.5から5.6に模型配置の全体像や3次元トラバースを使用した測定風景を示す。

5.4.2　実験結果及び考察

5.4.2.1　実現象の再現性に関する検討

まず実現象の再現性を検討することを目的として、風洞実験によって得られた結果と固定観測ステーションの実測値との比較を行った。5.3で示した固定観測ステーションの実測データの内、最も広域的な流れを示すE点の風向が北北西～北及び南南東～南を示す時間帯のデータのみを対象として、風速を弱風時（0～1m/s）と強風時（2m/s以上）に分類した上で両者を比較した。各固定観測ステーションの風配図と風洞実験による風向を図5.17から図5.20に示す。風洞実験による風向は図中では矢印で示している。

実測結果から比較的広域風の影響を受けやすいと判断されたCおよびD点では、強風時、弱風時ともに風向が良く一致する結果が得られた。谷の底部に位置するために広域風の影響を受けにくいB点では、CおよびD点と比較して実測結果との整合性が悪く、特に主風向が南南東の時にずれが拡大する傾向を示した。実測結果の南南東強風時には、B点の風向は他点ほど明確ではなく、全く反対方向から風が吹く確率も比較的高い。風洞実験においても南からの風と谷内部に沿って流れる東からの風が合流することによって、B点周辺では複雑な気流が生じており（詳細は図5.24を参照）、この影響を受けてずれが生じたものと考えられる。一方、A点では強風時に比較的一致するが、弱風時には大きな違いが認められた。実測

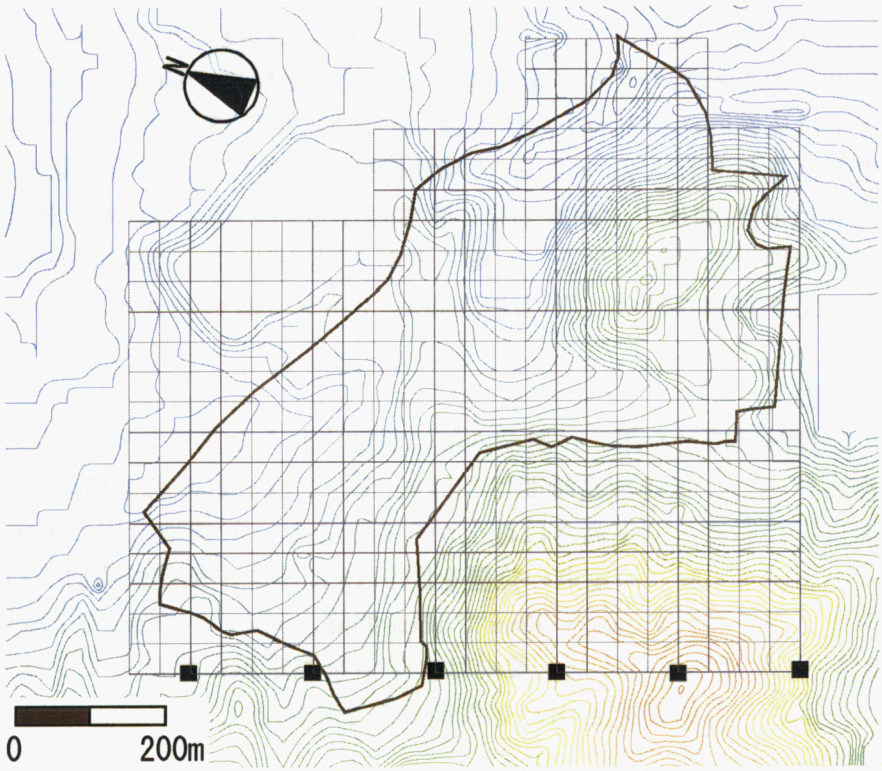


図5.15　風向・風速の測定点

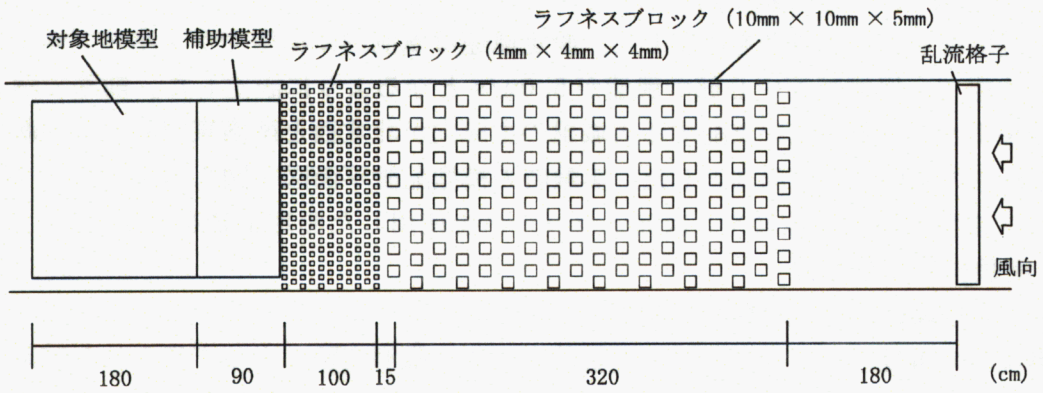


図5.16　模型配置平面図

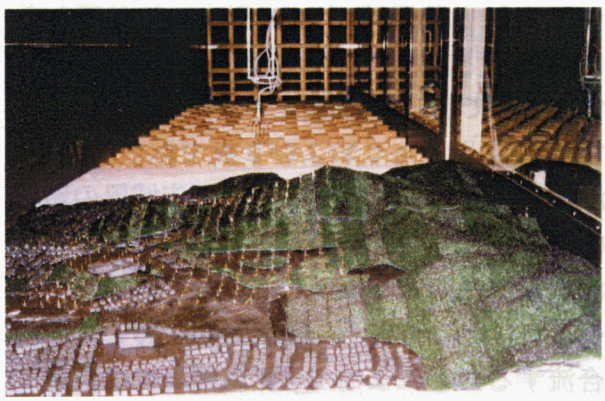


写真5.5　模型配置の全体像

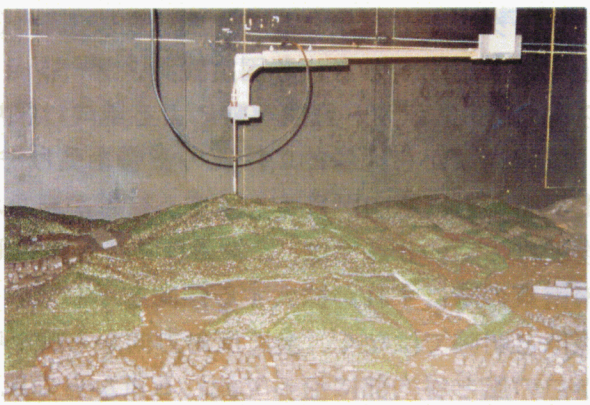


写真5.6　3次元トラバースを用いた測定風景

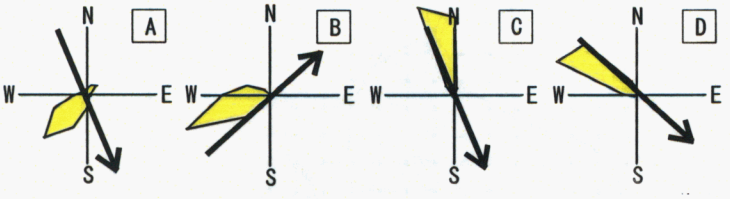


図5.17 風洞実験と実測の風向比較（北北西：弱風時）

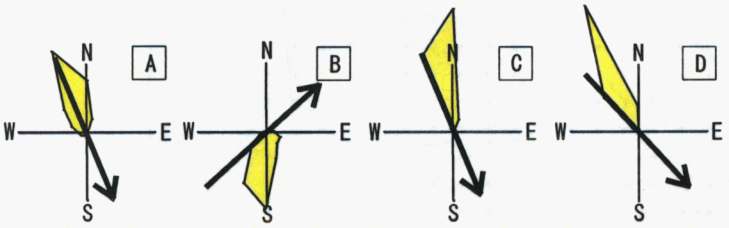


図5.18 風洞実験と実測の風向比較（北北西：強風時）

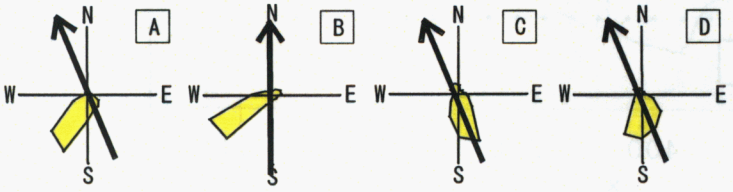


図5.19 風洞実験と実測の風向比較（南南東：弱風時）

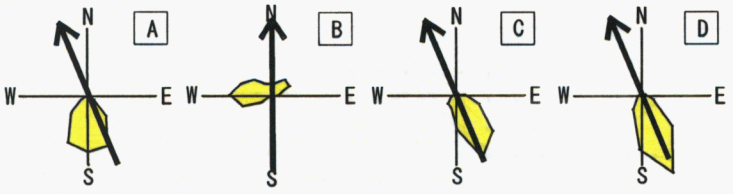


図5.20 風洞実験と実測の風向比較（南南東：強風時）

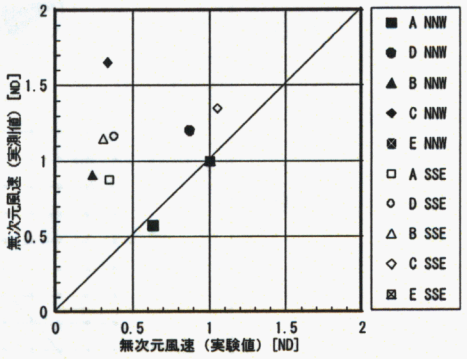


図5.21　風洞実験と実測の風速比較（弱風時）

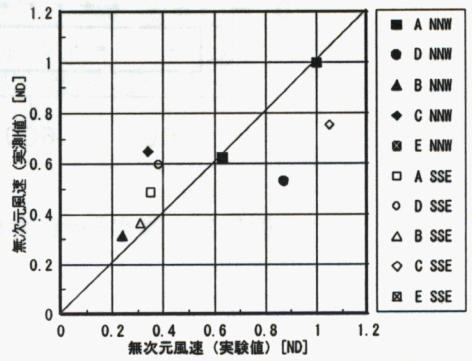


図5.22 風洞実験と実測の風速比較（強風時）

結果によると弱風時には南西からの風が卓越しており、特に主風向が北北西の時には強風時に比べて大幅に風向が異なる。これは前述の「斜面下降流」の影響と考えられる。本対象地のように複雑な地形を有する地域では、広域風の弱風時に温度場を成因とした風場が卓越するため、温度場を再現していない本実験との間に違いが生じたと考えられる。

次に、各点の風速比について固定観測ステーションによる実測値との比較を行なった。風洞実験による値、実測値ともE点に対する風速比で表した。結果に関して、E点の風速が1m/s以下の弱風時を図5.21に、1m/s以上の適度な風が吹いている場合を図5.22に示す。その結果、強風時には風洞実験値と実測値が良く対応する傾向が認められるが、弱風時には非常に誤差が大きくなる傾向を示した。この結果からも、本風洞実験の結果は日中等の比較的広域的な風が強く卓越している状況を良く再現している一方で、夜間などの静穏で密度流の発生が予想される状況下の様子については再現精度が悪化することが示された。

5.4.2.2　地形が風環境に及ぼす影響

地表面付近の風向・風速分布に関する結果として、広域風が北北西の場合に関する結果を図5.23に、南南東の場合に関する結果を図5.24にそれぞれ示す。その結果、広域風がどち

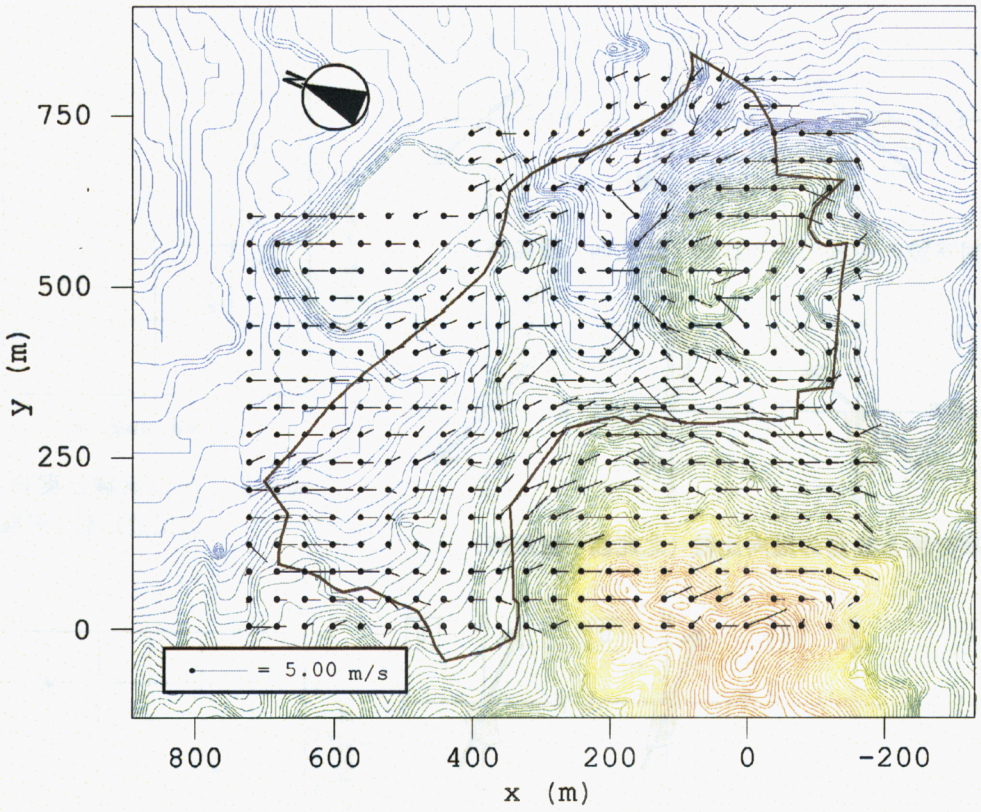


図5.23　高さ5mmにおける風向・風速分布（広域風が北北西の場合）

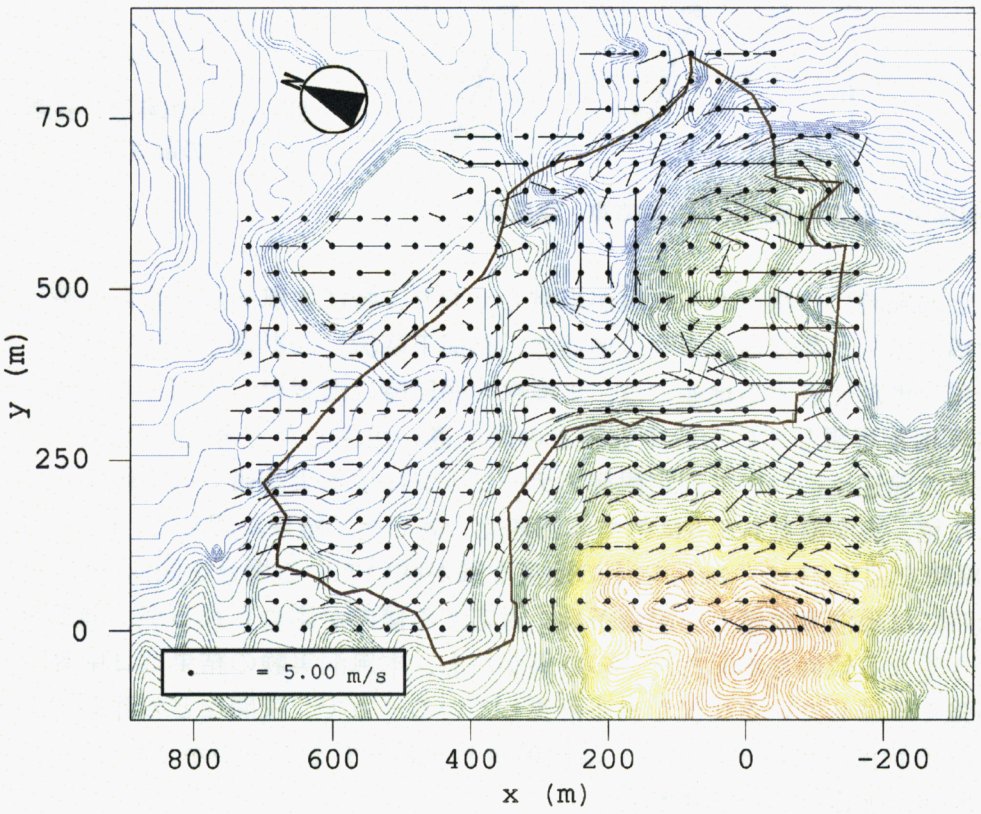


図5.24　高さ5mmにおける風向・風速分布（広域風が南南東の場合）

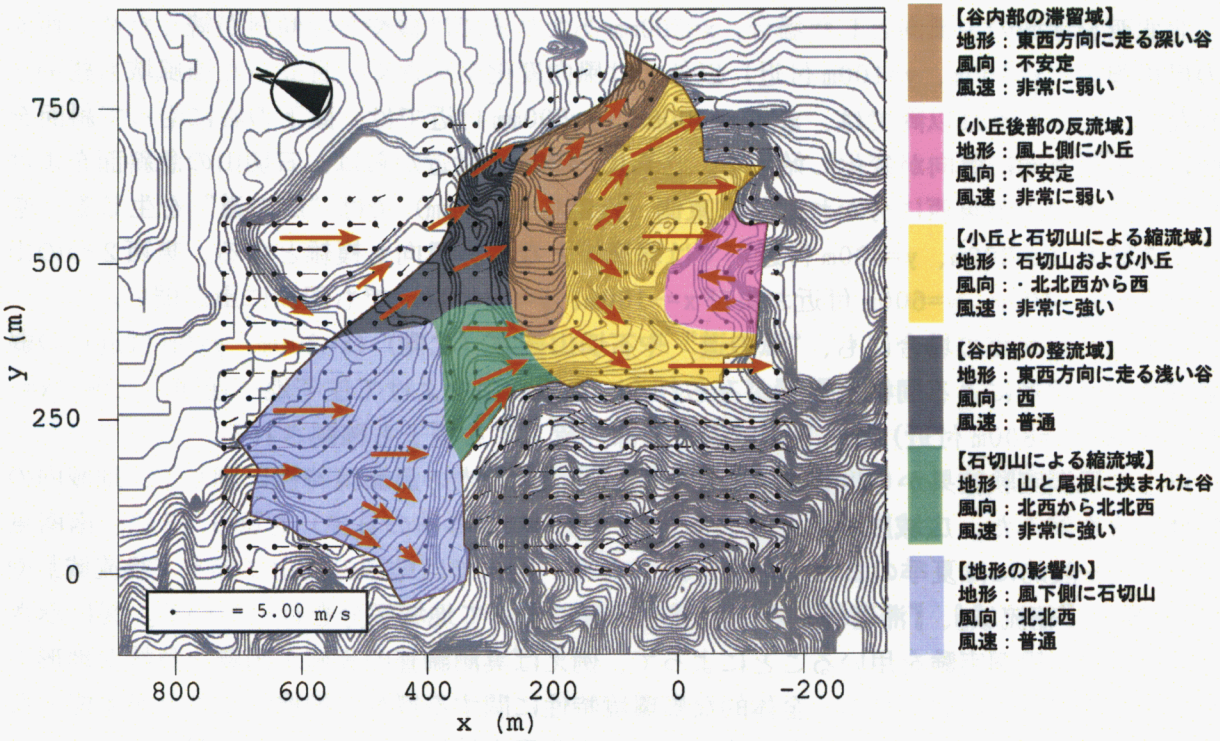


図5.25　風洞実験から推察される開発地域内の風環境特性(広域風が北北西の場合)

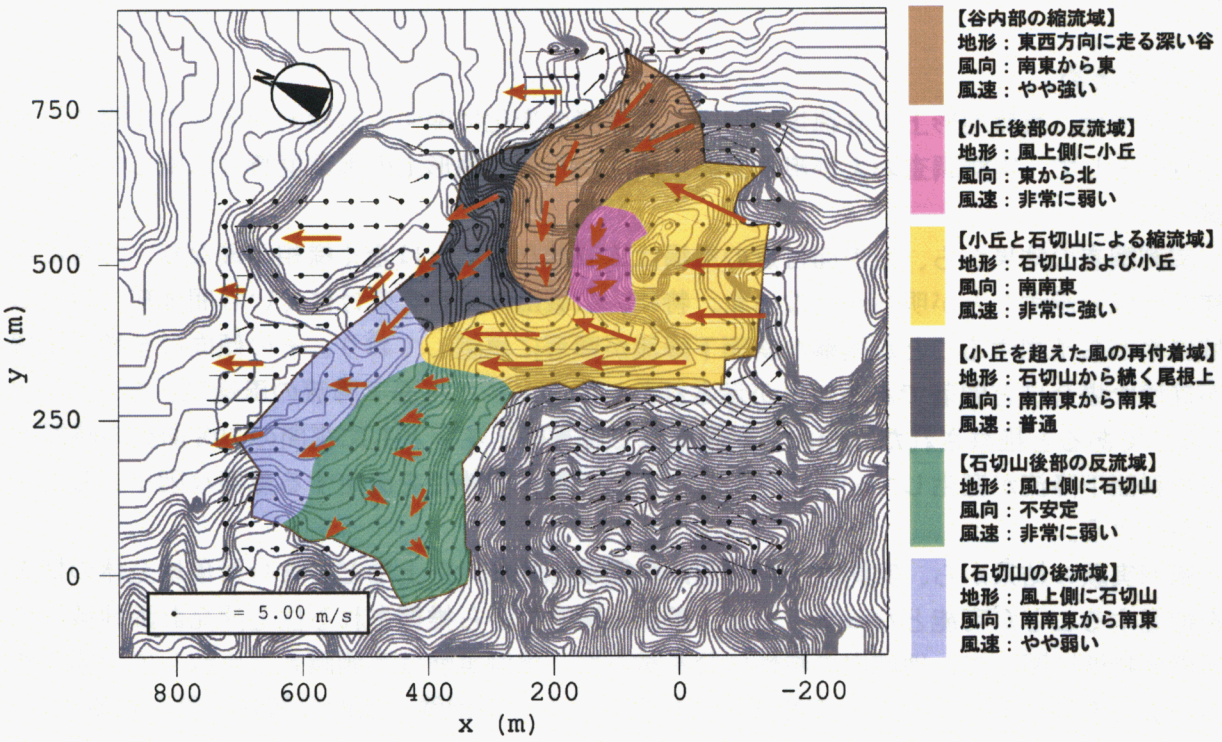


図5.26　風洞実験から推察される開発地域内の風環境特性(広域風が南南東の場合)

らの場合においても、石切山やその東側の小高い丘（C点付近）をはじめとして、複雑な地形の影響が顕著に現れている。

北北西を地域の主風向とした場合、x=500mmあたりまでは緩やかな傾斜が続くため、西側の尾根周辺（x=600m、y=100m付近）以外では風向変化が小さく、目立った強風域も認められない。しかしそれ以降では、まずx=400mm、y=500mm付近では、直下の谷に沿って斜面を駆け上がる方向に風向が変化し始める。さらにy=200mm付近からは、石切山の急斜面をよけて地上付近の風が東西に分かれ、特に東側（y=320～360mm）では“風の道”を生じる。逆にB点付近（x=200m、y=600m付近）では弱風域となり、風向も複雑となる。東西2つの山の後方（x=-100m、y=600m付近およびx=-100m、y=0m付近）でも同様に風が弱い。

主風向が南南東の場合にも、“風の道”や石切山後方（北側）（x=200m、y=0m付近）の弱風域など、地形による同様な影響がみられる。東側の山をよけて住宅地へ迂回した風（x=-40～80m、y=800m付近）が、B点付近の谷部へ流入する様子も確認される。

以上の風洞実験結果から推察される住宅開発計画地域内の風環境特性に関して、地域内の特性区分を試みた。広域風が北北西の場合（一般的には冬季の日中）を図5.25に、南南東の場合（一般的には夏季の日中）を図5.26に示す。図中では地形の変化に伴う『後流域』や『反流域』、『縮流域』、『滞留域』などの発生状況によって地域区分を行っている。図に示されるように、風洞実験を用いることによって、例えば実測調査の実施が困難な急峻な地形上や土地利用状況下においても、全体的な風環境特性に関する概況を把握することが可能となる。但し、これらの地域区分結果に関しては、実測調査結果からその存在が明らかとなった密度流（斜面下降流）に関する再現を行っていないことから、主として日中における広域風の影響が強い条件下に限定した特性を示していることに注意を払う必要がある。

5.5　まとめ

本章では、複雑地形上の各種地形因子と風環境の変化に関する基礎的なデータを得ることを目的として、実測調査および風洞実験の両面から複雑地形上の風環境特性に関して把握を試みた。

実測調査の結果から、地表面付近の風場は広域的な風場とは全く様相が異なり、非常に多様な状況を示すことが明らかとなった。特に、広域風の影響を受けにくい谷間地形では、広域風系から予測することが困難な斜面下降流が顕著に卓越しており、その傾向は全域の風場が静穏な場合ほど顕著であることが示された。観測された斜面下降流の風速は、概ね1.0m/s以下であると推察された。なお、対象地域では夏季・冬季ともに夜間の70%前後の時間確率で斜面下降流が発生していることから、地区の熱環境特性を決定する重要な因子として挙げられよう。

風洞実験の結果から、実測調査の実施が困難な急峻な地形上などを含む対象地全体の概況を把握することが可能となった。また、風洞実験結果から推察される住宅開発計画地域内の風環境特性に関して、地域内の特性区分を試みた。風洞実験は実測調査と比較して手間や費用の面で有利であることや、実測調査で把握することが困難な面的な情報が得られること、任意の風向や風速条件を設定することが可能であることなど、様々な面で利点が挙げられることから、風洞実験の有用性についても確かめられたものと考えられる。但し、本風洞実験は等温環境状況下で実施していることから、地形の影響に伴う広域風の変化状況を再現する

ことは可能であるが、温度場による風が卓越する静穏な夜間については実測値との大きな誤差を発生する可能性がある。この点に関して、実測結果との比較によると、風洞実験で得られた結果は強風時の風環境特性を非常に良く再現する一方で、静穏時には実測調査により斜面下降流の発生が確認された地域で特に大きな誤差を生じることが示された。従って、温度場を考慮していない本実験において、斜面下降流が発生する地域で大きな誤差を生じたことは、逆に実測での温度場による流れの存在を強く示唆するものと言える。

本章の実測調査結果から、斜面下降流が発生する地形の特性やその流れの特徴に関して、ある程度の概観を把握することが可能となったが、その発生構造や斜面下部に及ぼす影響については未だ不明な点が多いのが事実である。この点に関して、第６章では斜面下降流の特性把握を目的とした実測調査を、第７章では住環境計画への適用を目的とする斜面下降流のモデル化を試みることによって、より詳細な解析を行うものとする。

参考文献

5.1）勝田高司・土屋喬雄・村上周三：実在都市（スコピエ市）の市街地気流に関する風洞模型実験－市街地の気流に関する風洞模型実験（Ⅱ）－、日本建築学会論文報告集、No.156、pp.51-60、1969

5.2）片山忠久・出口清孝・村上周三：都市の風環境評価と計画－ビル風から適風環境まで－、第Ⅱ編　弱風を対象とした風環境計画、日本建築学会、pp.69-80、1993

5.3）河野　仁・鳴海大典・下田吉之：大阪－過密都市における気候改善－、都市環境のクリマアトラス－気候情報を活かした都市づくり－、ぎょうせい、pp.53-65、2000

5.4）村上周三・上原　清：市街地低層部における風の観測その２－超高層建物建設による周辺気流の変化－、日本建築学会論文報告集、No.279、pp.127-135、1979

5.5）Barden-Wurttemberg：Stadtebauliche Klimafibel、1998

5.6）成田健一：都市内河川の微気象的影響範囲に及ぼす周辺建物配列の影響に関する風洞実験、日本建築学会計画系論文報告集、No.442、pp.27-35、1993

5.7）久保田徹・三浦昌生・富永禎秀・持田　灯：風通しを考慮した住宅地計画のための全国主要都市におけるグロス建ぺい率の基準値－建物群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響　その２－、日本建築学会計画系論文集、No.529、pp.109-116、2002

5.8）加藤真規子：複雑地形上における乱流統計量の分布について（風洞実験）、第８回風工学シンポジウム論文集、1983

5.9）宇都宮英彦・長尾文明・平岡盾樹：局所風況の推定に関する基礎的研究、第９回風工学シンポジウム論文集、1984

5.10）日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドブック、1994

5.11）日本建築学会：建築物荷重指針・同解説

5.12）藤谷徳之助：風洞において所要の粗度長を生成する方法について、第10回風工学シンポジウム論文集、1988

第６章
斜面冷気流の特性把握を目的とした実測調査

6.1 序論

例えば丸田[6.1)]が指摘しているように、冷気の滲み出し現象により都市内緑地は周辺市街地の低温化に有効であると認識されてきた。しかし、冷気の滲み出し現象を明確に捉えた観測事例は乏しく、その定量的な効果については疑問が残るところである。この点に関して、下田ら[6.2)]は“国際花と緑の博覧会会場”における観測結果から、緑地周辺の人工地表域に冷気を供給するためには緑地側から市街地側への適当な風を必要とし、無風状態では周辺の温熱環境に実質的な影響を与えないことを明らかにした。また、成田ら[6.3)]は市街地側から公園緑地に向かう乱流輸送の存在を確認し、この乱流成分が逆に公園緑地側の昇温化に影響していることを指摘した。これらの結果は、都市内緑地からの自然対流的な冷気の滲み出しによる気温低減効果を期待することが困難であることを示唆していると言えよう。これに対して、緑地が傾斜面に存在する場合、周辺大気と緑地内低温大気との密度差に伴う下降流が生じるため、無風状態でも冷気の滲み出しを構造的に実現する。このような傾斜面における自然対流的な冷気の滲み出しは、気象学や農業気象学の分野で「斜面下降流」もしくは「冷気流」と定義されており、6.2で詳細を述べるように多くの検討事例が既に存在している。

この冷気流は、第４章で述べた気温分布調査結果からも、本研究の対象領域における温度低下に大きな影響を及ぼすことが示されており、冷気流が有する夏季の暑熱緩和作用には多大な期待が持てるものと考えられる。しかし、冷気流に関するこれまでの検討事例は、現象の解明といった物理学的興味を目的としたものや、農作物への霜害対策といった農学的興味を目的とした事例が多く、冷気流が周辺市街地に与える影響や自然通風時の室内環境への影響といった建築環境工学的興味を主目的としたものについては、未だ検討事例が少なく、基礎資料収集の余地が残されている。

以上の状況を鑑み、本章では冷気流が有する気候資源としての価値に着目し、主として都市熱環境の緩和を目的とした都市計画への適用可能性について検討することを視野に入れ、冷気流の発生構造を把握するための実測調査を行った。

6.2　既存研究から推察される冷気流の基本特性

冷気流は一般に、夜間に斜面上で生成された冷気塊が、重力流となって下降する現象のことを言う。「冷気流」という用語は比較的小規模なスケールで発生した気流を指す場合が多く、発生規模が大きくなると「山風」や「斜面下降流」、「カタバ風」などと呼ばれるが、必ずしもその区別は明確ではない。なお、本論文中の以降では、検討対象地域のスケールを鑑み、「冷気流」もしくは「斜面冷気流」を使用する。

冷気塊の発生源となるものは夜間の放射冷却現象であり、斜面では冷気流、盆地状の地形では冷気が堆積する冷気湖の熱源となる。なお、小林[6.4]は裸地と比較して、ほぼ地表面と断熱されていると見なすことが可能な植生の存在する地面の方が、冷却が行われやすいことを示している。

冷気流の発生条件としては、①雲量の少ない晴天時、②上空で卓越する広域風が弱い静穏な夜間である事が挙げられている[6.5]。①は上述の夜間放射の影響を考えると明らかである。②は上空広域風が強いと鉛直混合作用が強まり、地表付近でできた冷気の堆積を妨げるためである。後者に関して、今岡は[6.6]いかなる風向からの広域風が吹いても冷気流は弱められ、冷気流の風速と広域風の風速との関係は、負の勾配を持つ一次関数で表されることを実測結果から明らかにしている。

吉野[6.7]は、数多くの既存検討事例を整理した結果として、夜間を通した時系列的な冷気流速変化の特徴として、日没後から時間が進むに従って増大し、夜半前に最大流速を示すことを確認している。温位の変化も流速に対応しており、上空温位と比較したとき夜半前に最大の温位差を示すことを確認している。

大規模な山地斜面においては、冷気流は継続的に斜面を流出するというよりは、ある程度の間欠性を持った流れを示すことが、古くは20世紀初頭から数多くの検討事例によって確認されている[6.8) 6.9) 6.10) 6.11) 6.12)]。過去の観測例では夜間に3回から4回程度、強い冷気流が発生するという事例が多いが、立石[6.13]や大和田ら[6.14]は、この周期は季節などによっても変わることを示している。また、比較的小規模な傾斜面で安定層が薄くなる場合には、流出の間隔が短くなることが鳥谷[6.15]によって示されており、短い場合には10分から20分程度の脈動を示している事例も存在する[6.16]。また、この冷気流出の周期のほかに、中村[6.17]は、冷気流出中には流速の強さにも振動が見られることを明らかにしている。これらの変動や間欠性の原因については、地表面との摩擦に打ち勝つまでに冷気塊が成長する時間を必要とすることに原因を見出す事例や、広域風の影響、さらには雲の発生による放射冷却量の減少などのように広域的な環境変化に原因を見出す事例などがあるが、その詳細な原因については未だ明確な理論が展開されていない。

冷気流の厚さに関しては、今岡[6.18]はリフトバルーンによる観測結果から、斜面上部から下部へと徐々に厚さを増していることを明らかにしている。

その他の特性として、冷気流は地形のわずかなりとも低い所を重力に従って流下するために、例えば竹林ら[6.19]は冷気流出域内に位置する台地上では、冷気流が観測されないことを示している。竹林らは冷気流が多くの谷からの流れが集積され、規模を拡大するということを明らかにするとともに、冷気流の市街地冷却効果についても考察しており、都市熱環境の緩和を目的に検討を行っている唯一の事例である。

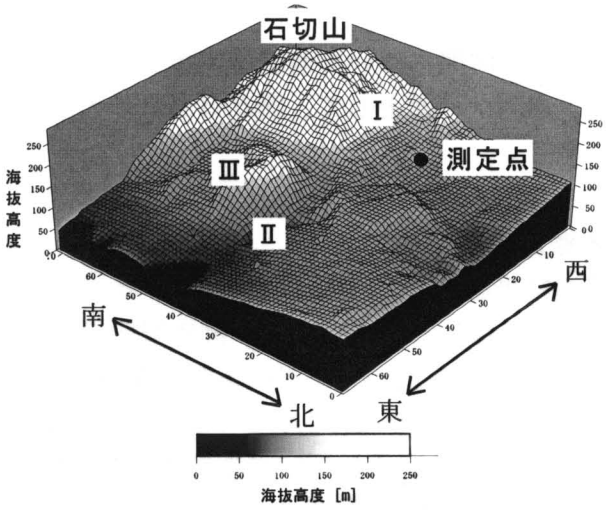


図6.1　対象地域の鳥瞰図

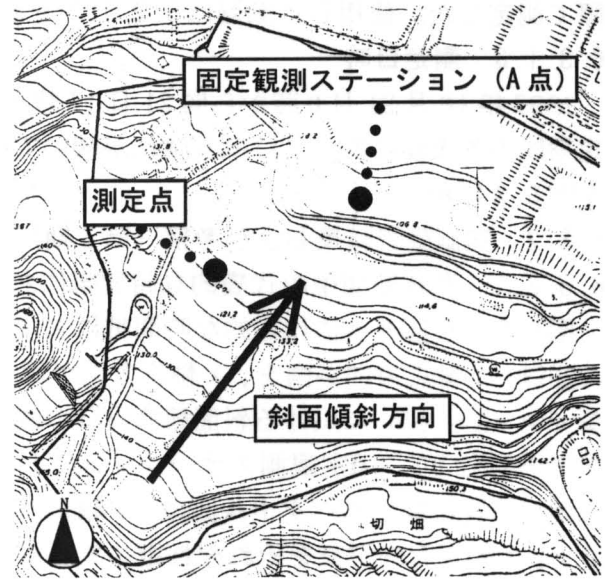


図6.2　斜面気流観測点

6.3　冷気流の構造把握を主目的とした実測調査（第Ⅰ期）

6.3.1　実測方法（第Ⅰ期）

6.3.1.1　対象地域

調査対象地域には、第2章にてその概要を述べた兵庫県川西市のK地区（地区面積約55ha）を選定した。対象地域の鳥瞰図を図6.1に示す。地区全体は概ね、地区南西部の石切山（標高284m）を中心とする傾斜地域である。石切山北東部には深い谷（Ⅱ）が形成され、東部には比較的高度の高い丘（Ⅲ）を有するなど、地区内には多くの起伏が存在する。

本章では、第4章の気温分布調査結果から最も気温低下が顕著であった北から北東方向への緩やかな傾斜地（Ⅰ）を対象として、冷気流の構造把握を目的とした実測調査を行った。図6.2に詳細な測定位置を示す。測定点の直下地表面は草地であり、測定点より斜面下部には裸地が広がる。なお、この斜面はさらに北側の既存住宅地域まで緩やかに続く。測定点より斜面上部には森林が広がる。なお、この森林は石切山山頂まで続く。測定点における傾斜角はおよそ8°である。測定点周辺には高さ1m程度の植生（主としてセイタカワダチソウ）が一様に分布していた。

6.3.1.2　測定項目および測定装置

表6.1に測定の概要を示す。測定点には地上1.5mの高さ（直下の植生層よりも上層）に気温および風向・風速の各測定機器を設置した。気温に関しては、放射等の外乱要因を排除するために、二重の円管で構成された強制通風装置内に白金測温抵抗体（CHINO社、DSPt1）を固定し、データロガー（コーナー札幌社、DS64K）を用いて10秒間隔でデータを記録する方法で測定を行った。風向・風速に関しては、3次元超音波風向風速計（海上電機社、WA-590）により0.1秒間隔でパーソナルコンピュータにデータを記録する方法で測定を行った。その他、第5章で述べた固定観測ステーションによる長期継続計測を同時期に行っており、図6.2に示す位置で地上6mおよび15mの気温ならびに風向風速を10分間

表6.1　測定項目、使用機器および測定高さ

測定項目	測定機器	測定高さ
気温	通風式温度計　（コーナー札幌社、DS-64）	1.5m
風向風速	超音波風速計　（海上電機社、WA-590）	1.5m

隔で測定した。使用した測器は5.2.1.1を参照のこと。

6.3.1.3　測定日時

1997年10月21日0時から同21日17時までの約17時間について連続測定を行った。測定期間中の天候に関しては概ね晴れが続いていた。参考データとして、測定日当日の天気図を図6.3に示す。

6.3.2　実測調査結果および考察（第Ⅰ期）

6.3.2.1　測定期間中の代表的な時間帯における観測結果

図6.5から図6.8に代表的な時間帯における観測結果を示す。風向・風速に関するベクトル図は、Y軸正方向が南を、X軸正方向が西をそれぞれ指している。また、固定観測ステーション（A・C点）における斜面観測当日の観測結果を図6.4に示す（C点の観測位置は図5.1を参照のこと）。固定観測ステーションにおける風向・風速に関するベクトル図は、Y軸正方向が北を、X軸正方向が東をそれぞれ指していることに注意されたい。なお、C点の結果は、第5章の風環境特性に関する解析結果から、ほぼ広域風と同様の状況を示すことが確認されている。



図6.3　測定日当日の天気図

図6.5は夜間の最低気温を記録する数時間前の深夜における結果である。この時間帯の広域風は、図6.4のC点における結果からほぼ北寄りの風が顕著に卓越していることがわかる。図6.5のベクトル図から、斜面近傍で測定された風には周

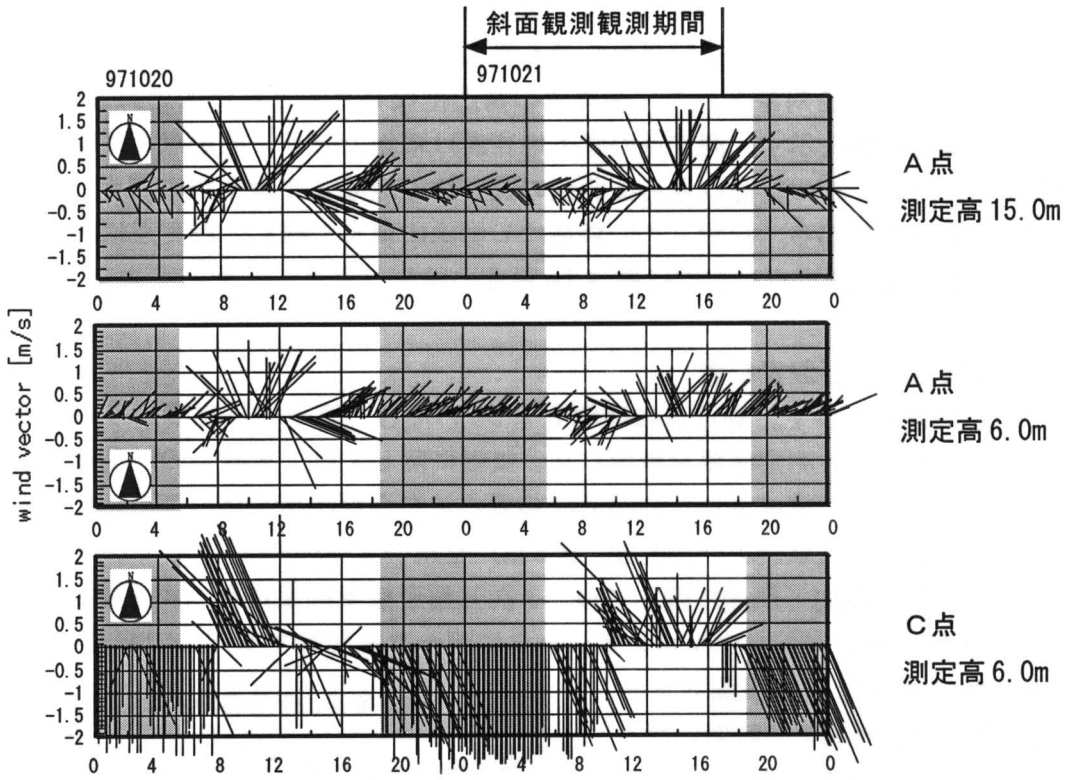


図6.4　斜面観測時の固定観測ステーションにおける観測結果（観測当日）

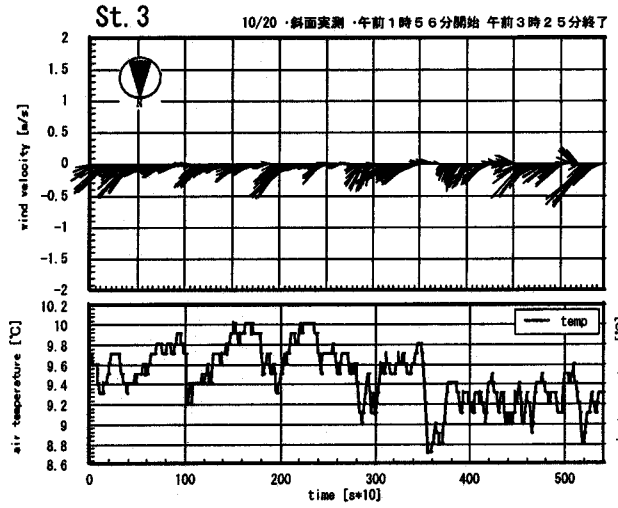


図6.5　対象斜面における風況と気温の関係
（深夜：2時－3時30分）

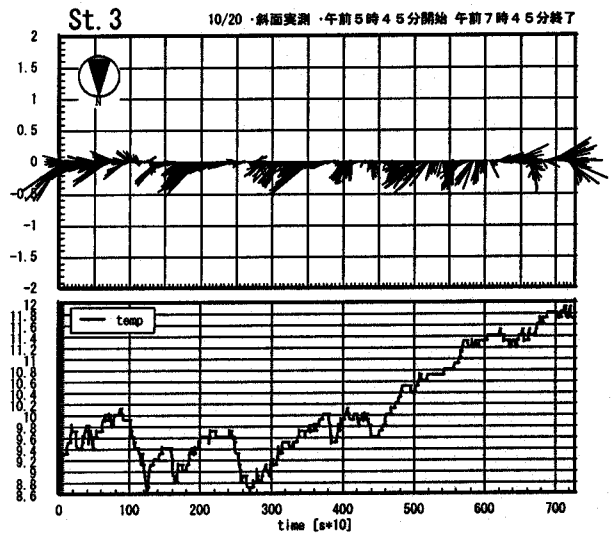


図6.6 対象斜面における風況と気温の関係
（明け方：5時45分－7時45分）

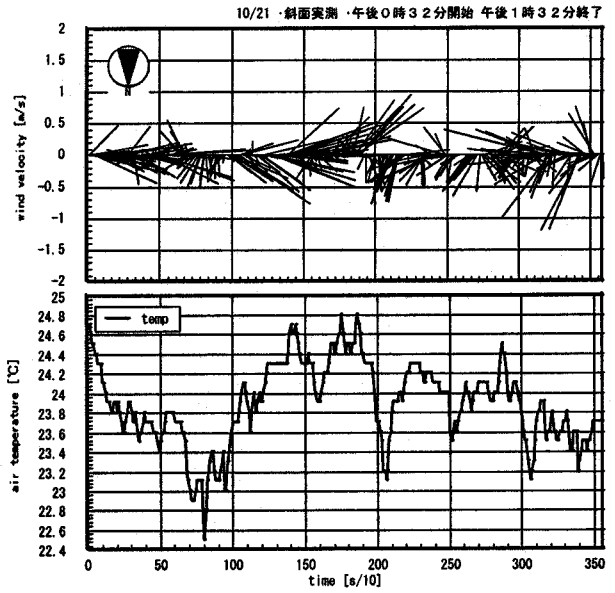


図6.7　対象斜面における風況と気温の関係
（日中：12時30分－13時30分）

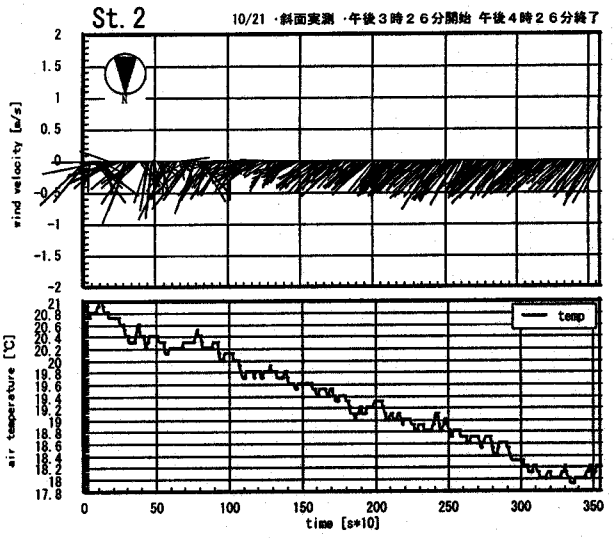


図6.8　対象斜面における風況と気温の関係
（夕方：15時30分－16時30分）

期が存在し、約10分おきに繰り返し吹き出していることがわかる。気温に関しても風の周期とほぼ等間隔の変動が認められ、その変動幅は約1.0℃である。冷気の吹き出しと気温変動の関連性については、風が吹き出すとともに温度が低下し、風が停止するとともに温度が上昇する様子が伺える。この周期性は6.2で紹介した既存の研究事例と同様の結果が得られたものと思われる。但し、対象斜面のスケールは比較的小規模なものであるため、風や気温の変動間隔も短い結果が得られたものと考えられる。風速は0.5m/sから1.0m/s程度であり、ごくわずかに体感できる程度の微風であった。図6.4の結果から、固定観測ステーションA点において、測定高さ6.0mでは顕著に斜面下降方向の気流が確認されているものの、測定高さ15.0mでは広域風方向の風向が優勢であることから、A点付近での冷気流厚さは6.0mから15.0mの範囲内にあるものと推察される。

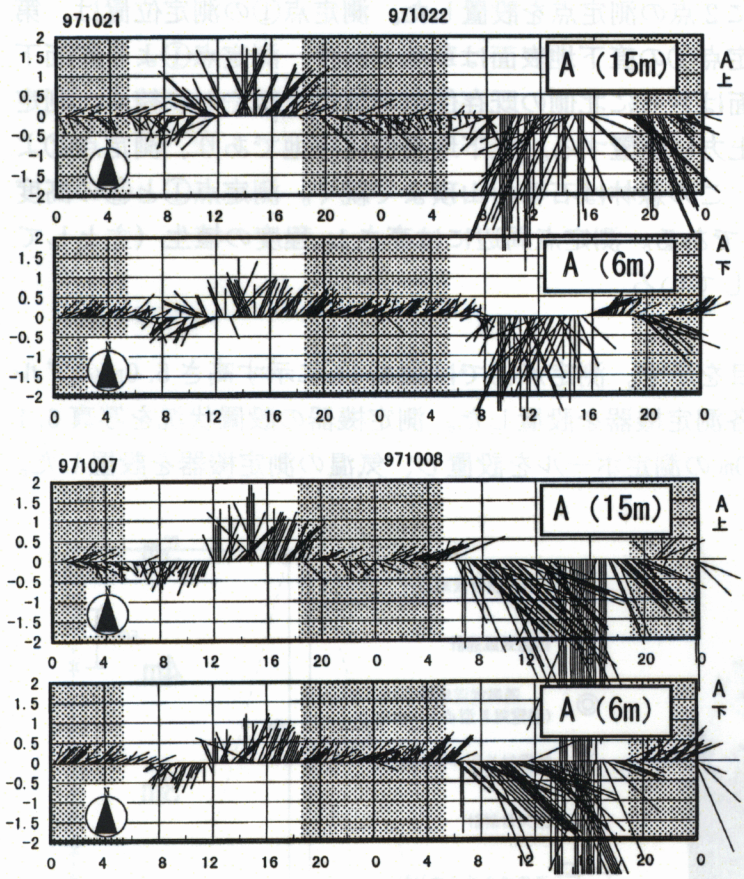
図6.6は日の出前後の時間帯に関する結果である。図6.4のC点における結果から、この時間帯の広域風はほぼ北寄りの風が卓越していることがわかる。なお、この期間の実測開始時には周囲は既に薄明るい状態に変化していた。図6.6の結果から、日の出とともに気温が上昇し始めるものの、しばらくの間は冷気流が観測され、冷気の吹き出しと連動した気温の低下も認められた。しかし、測定期間の終わり近くには既存の住宅地方向からの風が吹きはじめており、傾向に明確な変化が認められた。図6.4の結果から、固定観測ステーションA点では、測定高さ6.0mにおいて、測定期間の前半には顕著に斜面下降方向の気流が確認されているものの、測定期間の後半には広域風方向の風向が優勢となった。測定高さ15.0mにおいては、先述の期間とほぼ同様の傾向を示した。

図6.7はほぼ最高気温を記録する時間帯の結果である。図6.4のC点における結果から、この時間帯の広域風は南南西の風が卓越していることがわかる。図6.7のベクトル図から、全般的には南寄りの風が卓越しているが、その強さや方向に関しては夜間の冷気流に見られるような秩序が認められない。従って、この時間帯には広域風の影響を受けているものと考えられる。なお、地表面付近の気温が上昇する際には斜面上昇側の風が見られることから、斜面が暖められた結果として生じる浮力流の存在も考えられる。気温の変動も大きく非常に不安定な状態である。図6.4の結果から、固定観測ステーションA点では、測定高さ6.0mと測定高さ15.0mの風向変動は良く似た傾向を示しており、なおかつC点の変化とも良く対応する結果を示した。この結果からも、この時間帯のA点周辺では広域風の影響を受けていることが示唆される。

図6.8は夕刻に向け急激に気温が低下しはじめた時間帯の結果である。図6.4のC点における結果から、この時間帯の広域風は依然南南西の風が卓越していることがわかる。図6.8のベクトル図から、この期間の測定開始時には夜間のような斜面下降方向の安定風が確認される。その際には風向・風速のみならず、温度降下についてもほぼ一定であり、図6.5で見られたような変動は認められない。観測地点における斜面の方位角は北東であり、日射が遮られる時間が平地や南斜面と比較してかなり早いため、日没前には既に斜面の冷却が始まっているものと考えられる。図6.4の結果から、固定観測ステーションA点ではC点の変化と良く対応する結果を示しており、地上6.0mには冷気層が未だ達していないものと推察される。但し、C点の結果から広域風は17時頃に北寄りの風に変化しているのに対して、A点では南寄りの風から変化していないことから、16時から17時頃にかけて、冷気層が徐々に厚みを増している段階にあると推察される。

6.3.2.2　固定観測ステーションの結果から推察される冷気流厚さ

図6.9に、固定観測ステーションA点において冷気流を観測した日の典型的な風向・風速ベクトルとして、10月21日夜間ならびに10月7日夜間の結果を示す。図6.9の結果から、10月21日の夕方から22日の早朝にかけては、地上6.0mにおいて冷気流が顕著に確認されている一方で、地上15.0mにおいてはほとんどの時間帯で広域風と同一の風向を示しており、冷気流を確認することはできない。その一方で、10月7日の夕方から8日の早朝にかけては、地上6.0mにおいて冷気流が顕著に確認されており、かつ、地上15.0mでは特に20時付近や2時以降には冷気流方向の風を確認している時間帯も見受けられる。図6.4の結果に関しても、図6.9ほど顕著ではないものの、冷気流方向の風を一部確認することができることから、広域風の弱い日や、放射冷却強度が向上する乾燥した晴天日には冷気流の厚さがA点付近で



1997年10月21日および10月22日

1997年10月7日および10月8日

図6.9　固定観測ステーション（A点）における観測結果

15mを超えることが予想され、冷気流の厚さは総観場の影響を受けやすいものと推察される。

6.4　冷気流の構造把握を主目的とした実測調査（第Ⅱ期）

前節の第Ⅰ期観測では、第4章や第5章で確認された冷気流に関して、より詳細な流出経過を確認することを目的として、地上1.5mにおける風場や気温の変化状況に関する測定を試みた。その結果として、既存の検討事例においても確認されている冷気の変動や、代表的な時間帯における流出状況を把握することが可能となった。本節では、第Ⅰ期の観測結果を踏まえ、さらに鉛直構造や冷気流の生成過程に関する詳細な検討を行うことを目的として、葉面温度や地表面温度、純放射量などより多くの測定項目に関する測定を行った。

6.4.1　実測方法（第Ⅱ期）

6.4.1.1　対象地域

調査対象地域は第Ⅰ期と同様である。図6.10に詳細な測定位置と周辺の土地利用状況を示す。緩やかな斜面の傾斜方向（南南

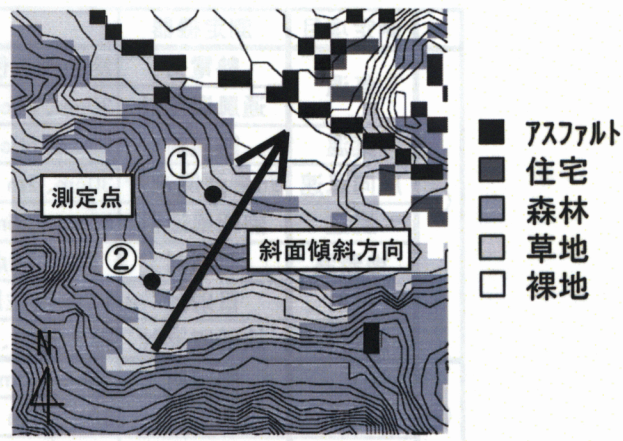


図6.10　測定点の詳細位置および土地利用状況

西から北北東方向に向かって傾斜）に2点の測定点を設置した。測定点①の測定位置は、第Ⅰ期測定点と同一の場所である。測定点①の直下地表面は草地であり、測定点①より斜面下部には裸地が広がる。なお、この斜面はさらに北側の既存住宅地域まで緩やかに続く。測定点②は測定点①から約80mほど斜面上方に位置する。直下地表面は草地であり、測定点②より斜面上部には森林が広がる。なお、この森林は石切山山頂まで続く。測定点①と②の高度差はおよそ10m、傾斜角はおよそ8°である。測定点周辺には高さ1m程度の植生（主としてセイタカワダチソウ）が一様に分布している。

6.4.1.2　測定装置

表6.2に両測定点における測定項目を示す。測定点①では図6.11に示す高さ5.0mのアルミ製のポールに気温・風向・風速の各測定機器を設置した。測定機器の設置状況を写真6.1に示す。測定点②においても高さ2.0mの測定ポールを設置し、気温の測定機器を設置した。



写真6.1　測定状況

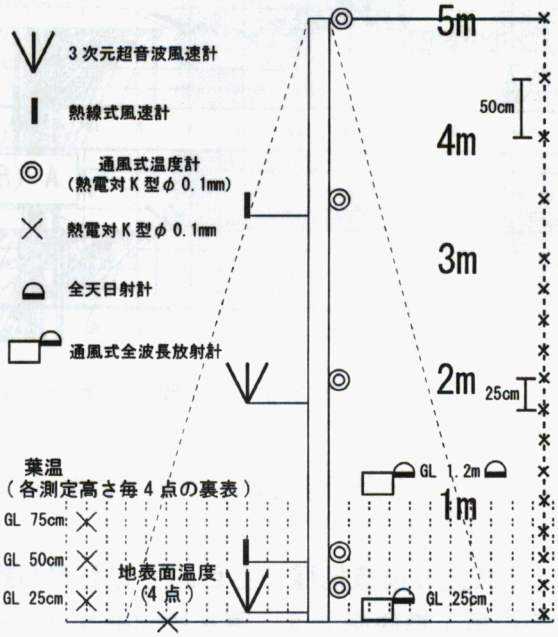


図6.11　測定に用いた測器

表6.2　両測定点における測定項目、使用機器

	測定項目	測定機器	測定高さ
①	気温	熱電対	地表面近傍～3m（25cm間隔）、3m～5m（50cm間隔）
		通風温度計	30cm、50cm、2m、3.5m、5m
	葉温	熱電対	25cm、50cm、75cm各4箇所の表裏
	風向風速	超音波風速計	30cm、2m
	風速	熱線風速計	50cm、3.5m
	地表温	熱電対	－（測定点周辺の4点）
	日射	日射計	1.2m(植生層より上)
	放射量	放射収支計	植生層内、植生層上
②	気温	熱電対	25cm～3m（25cm間隔）
		通風温度計	30cm、2m
	葉温	熱電対	25cm、50cm、75cm各4箇所の表裏

気温に関しては放射等の外乱要因を排除するために、二重の円管で構成された強制通風装置内に熱電対（K型：φ0.1mm）を固定した装置による方法（以後、通風温度計による測定と記す）と、詳細な鉛直分布を測定するために熱電対（K型：φ0.1mm）をポール上部から吊るした装置による方法（以後、熱電対による測定と記す）の2種類により測定を行った。後者では熱電対を地上3.0mまでは25cm間隔で、地上3.0m以上については50cm間隔で設置した。この方法では放射に対する配慮を行っていないが、通風温度計による測定値と比較を行ったところ、日射のある日中には測定誤差を生じたが、夜間には地上2.0mおよび3.5mともに±0.1℃の誤差に収まることを確認した。測定点①の風速に関しては、地上30cm（植生層内）と2.0m（植生層外）において3次元超音波風向風速計（海上電機社、WA-390およびWA-590）により風向風速を測定する方法と、地上50cm（植生層内）と3.5m（植生層外）において熱線風速計（カノマックス社、ANEMOMASTER MODEL1006）により風速のみを測定する方法の2種類を採用した。葉温は熱電対（K型：φ0.1mm）の測温部をアルミホイルで被覆することによって放射に対する考慮を行った上で、地上25cm、50cm、75cmの3高度について測定した。各測定高さともに同一葉面の表裏を4箇所、すなわち各測定高さの総計24箇所について測定した。地表温についても熱電対（K型：φ0.1mm）を用いて測定点①のポール周辺の4箇所で測定した。その他には測定点①の周辺において植生層内外の全天日射量（ネオ日射計：英弘精機社、MS-42）と全波長放射量（放射収支計：英弘精機社、MF-11A）を測定した。なお、以上の項目に関する測定インターバルは10秒とした。各測定項目ともに、2時間おきにデータの取り込みのための10分程度の欠測を生じた。

6.4.1.3　測定日時

1998年10月9日16時15分から同10日13時30分までの約21時間について連続測定を行った。なお、実測開始日までの数日間の天候は概ね晴れが続いていた。また、測定開始から2日目の明け方頃までは概ね晴れが続いていたが、2日目の午前9時以降から徐々に雲が発生し、午前10時以降は曇りに変化した。参考データとして、測定日当日の天気図を図6.12に示す。また、図6.13に実測対象地域に最も近接した公共気象データ測定機関である川西消防署における実測当日の風向変化を示す[注6.1)]。川西消防署における測定結果は、第3章の解析結

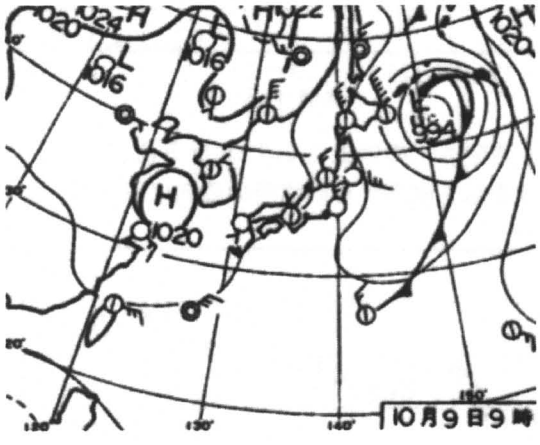


図6.12　測定日当日の天気図

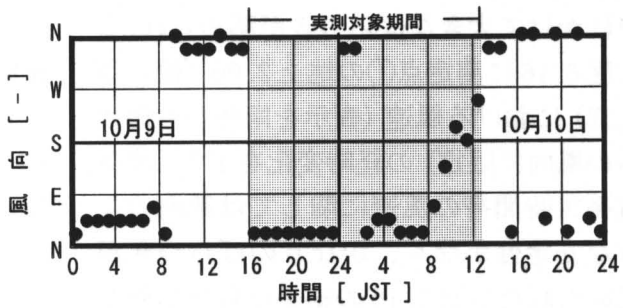


図6.13　対象地域周辺における広域風の経時変化
（川西消防署における観測結果）

注6.1）実測対象地域と川西消防署間の距離は約1.5kmで、約100mの高度差を有する。地表面付近の風場は地形の影響等による微気象の影響を顕著に受け大きく異なった傾向を示すものの、両地域における地上20m程度の広域的な風向はほぼ等しい傾向を示した。

果から、実測対象地域を含む広域的な風場を表現することを確認している。実測当日については、実測開始から翌朝にかけて主として北風が卓越していたものと推測される。

6.4.2　実測調査結果および考察（第Ⅱ期）

6.4.2.1　測定期間中の各測定要素に関する経時変化

図6.14に植生層よりも上部における全天日射量と純放射量の経時変化を示す。なお、図6.14から図6.17の結果については、10秒間隔で計測した結果を5分間平均値（風向のみ5分間最頻方向）としてリサンプリングした結果を表示している。日射量が0となる時刻は17時20分頃であり、純放射量は測定開始時から午前7時頃まで負の値を示した。図6.15に測定点①の地上2.0m（植生層上部）における風向の経時変化を示す。実測開始からすでに南南西から南西を主風向とした斜面下降方向の風が卓越している。この風向は図6.13から推定される実測対象地域周辺の広域風向とは全く異なる結果であり、卓越風向が斜面下降方向であることから冷気流が観測された結果と考えられる。この気流は夕方から翌朝にかけて、12時間以上に渡って風向を大きく変化することなく非常に安定した状況を示した。また、図6.15から推定される冷気流発生時間と図6.14の純放射量が負になる時間帯はほぼ一致した。なお、冷気流が消失する明け方以降の風向に関しては、南西から南、北東にかけて大きなばらつきが認められた。

図6.16に測定点①の地上2.0m（植生層上部）における風速（表示を南西から南南西の風向に限定）の経時変化を示す。冷気流発生時間帯の風速に関しては風向のような安定性がなく、かなりのばらつきが認められた。図6.16の結果からは明確な規則的変動は確認されないが、冷気の変動に関する考察について、6.4.2.2や6.4.2.3で詳細な検討を行っている。風速は常時1.0m/s未満であり、ごくわずかに体感できる程度の微風であった。

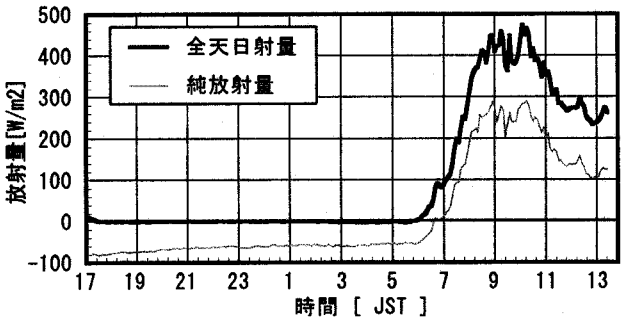


図6.14　測定中の日射量と純放射量の変化

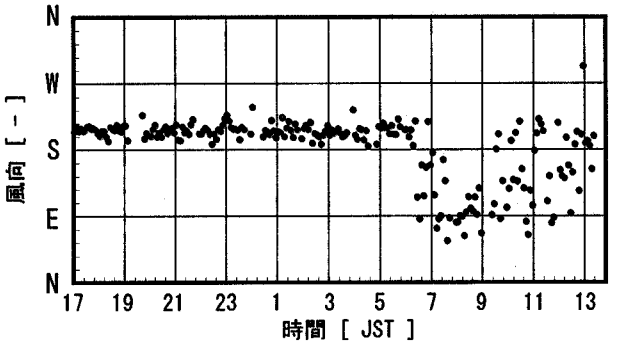


図6.15　測定点①の地上2.0mにおける風向変化

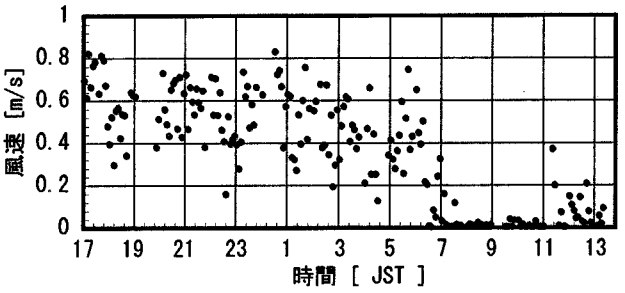


図6.16　測定点①の地上2.0mにおける風速変化
（表示を南西から南南西の風向に限定）

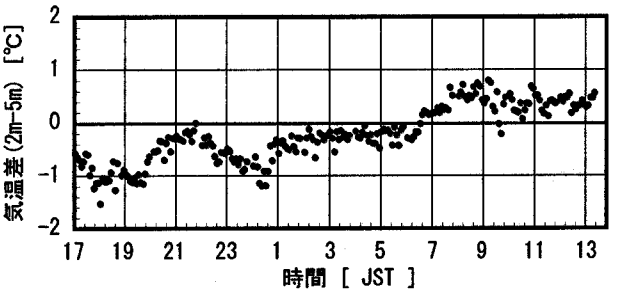


図6.17　測定点①の地上2.0mと5.0mの気温差
（通風式温度計による）

図6.17に通風式温度計による地上2.0mと5.0mの気温差を示す。冷気流発生時間帯には地上2.0mの気温が低くなる逆転層が形成されていた。全体的には夕方から翌朝にかけて時間の経過とともに気温差が小さくなる傾向を示したが、19時付近と0時付近に気温差のピークが認められた。17時から19時にかけての負の傾きは、地上2.0m付近に冷気が堆積し始め、冷気層の厚みが増し始めたために、上空との気温差が増加したことを示す。一方で、19時から22時にかけての正の傾きは、地上5.0m付近まで冷気層の堆積が完了したために、気温差が減少したことを示していると推測される。22時から0時にかけての負の傾きは、何らかの影響によって一時的に冷気流の上層部分が消失したために冷気層厚さが薄くなったか、最下層により冷却された冷気流が流入した結果と推察される。しかし、この時間帯には放射冷却量の変化や風向風速の変化は認められず、この現象の発生原因についてはさらなる検討が必要である。なお、明け方以降は、不安定な気流へ変化するとともに逆転層が解消された。

6.4.2.2 代表的な時間帯における風環境と気温鉛直分布の関係

図6.18に夕刻・深夜・明け方・日中の各時間帯を代表する期間（各1時間）の風向･風速と気温鉛直分布（通風式温度計による）、地表面温度、葉温（地上75cm）の変化を示す。なお、風向･風速の結果については10秒間隔で計測した結果をそのまま表示し、その他の結果については10秒間隔で計測したデータを1分間の平均値にリサンプリングした結果を表示した。葉温は各測定高さ毎に4箇所で測定を行ったが、測定場所の違いや裏表による違いは顕著には確認されなかったために、8点（4箇所の表裏）の平均値を表示した。以後、葉温の扱いは同様とする。

夕刻（17時00分から18時00分）には、地上2.0m（植生層上部）で風速1.0m/s程度の非常に安定した冷気流が観測された。この非常に安定した風況は、第Ⅰ期観測結果の図6.8と同様の傾向を示している。風向は斜面下降方向であり、斜面上昇方向への気流は期間中一度も観測されなかった。地上50cm（植生層内部）の結果は、密生した植生層の影響を受けて風速が0.2m/s程度に減衰したが、風向は地上2.0mと同様の傾向を示した。気温の鉛直分布については、日没は17時20分にあたるが、17時には既に植生層内と接地気層間に2℃程度の温度差を生じており、明確な逆転層が形成されていた。植生内や植生直上の気温は徐々に低下する傾向を示したが、地上3.5mや5.0mでは激しい変動を伴いながら低下する傾向を示した。この原因については、次の深夜における結果との対比で考察を行っている。

深夜（2時00分から3時00分）には、夕刻と異なり風向・風速に10分間隔程度のわずかな変動が認められた。この10分程度の変動は、第Ⅰ期観測結果の図6.5と同様の傾向を示している。植生層内部についても同様である。この風向・風速変動については、気温変動との同期と関連して6.4.2.3で詳しく考察する。風速は夕刻に比べると若干弱まる傾向がある。気温の鉛直分布については、夕刻と同様に逆転層を形成し、ほぼ同じ温度差を保ちながら安定した。夕刻には地上2.0m以上の測定点で激しい気温変動を確認したが、この時間帯には変動が収束するとともに、地上2.0m以上の温度差がごくわずかとなった。これは夕刻には冷気流厚さが未発達であるために、地上2.0m以上では冷気流の流下とその際に発生する上空大気の連行に伴って気温が上下変動するのに対して、深夜には地上5.0mまでの測器が全て冷気層内に入った状態にあるために、上空大気の影響が測器に影響を及ぼさない状況下にあるものと推察される。但し、地上2.0m未満の温度勾配は大きい状態を保っている。

明け方（6時00分から7時00分）には、地表温と葉温の上昇とともに風環境に大きな変

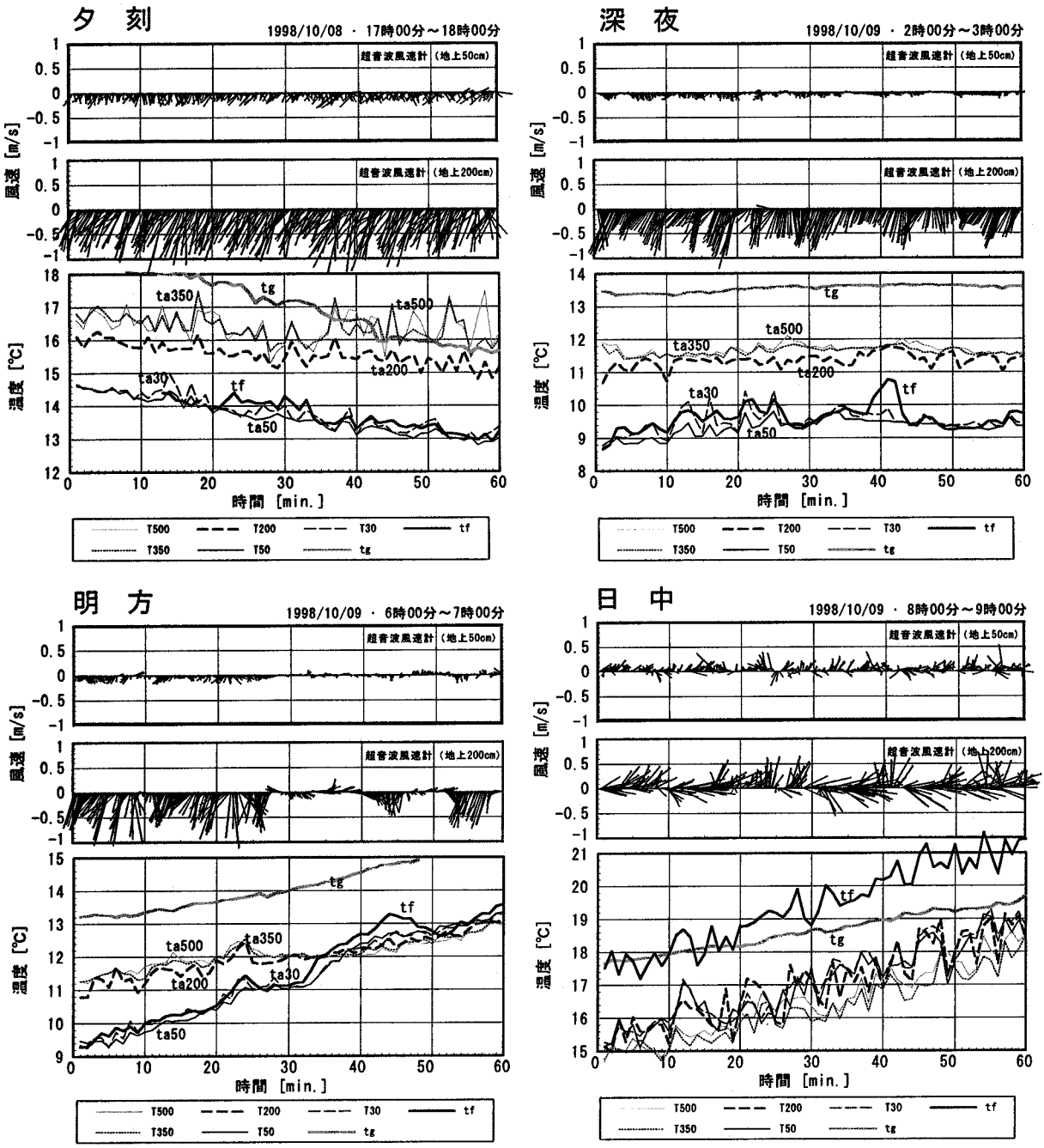


図6.18　各時間帯における風向･風速と気温鉛直分布（通風式温度計）の観測結果

化が起こり、夜間のような安定性が失われた。この安定性の解消は、第Ⅰ期観測結果の図6.6と同様の傾向を示している。測定対象斜面の日の出時刻はほぼ6時であったが、その後も引き続き冷気流が卓越し、逆転層が解消された6時35分にようやく凪の状態に変化した。凪への変化と、逆転層の解消がまさに同時刻に発生していることは非常に興味深い現象である。

日中（8時00分から9時00分）には[注6.2)]、夜間には全く観測されなかった斜面上昇方向の風も確認された。この斜面上昇方向の風の発生は、第Ⅰ期観測結果の図6.7と同様の傾向

注6.2）午前8時からのデータを日中の代表例としたのは、午前9時以降には天候が悪化し、良好なデータが得られなかったためである。

を示している。この時間帯には、接地気層よりも植生層内の気温が若干高く、植生や地表面が接地気層空気の温熱源として作用している。

6.4.2.3　冷気流の熱源に関する考察

小林は冷気流の生成機構に関して、「接地気層の冷却に最も寄与するのは、射出率が大きく、地中からの伝導熱供給が小さい地物、つまり葉面や地表面上の砂粒のような物体である（断熱突起冷却仮説）」と述べている[6.4)]。この仮説に基づけば、調査対象斜面では測定点周辺の植生（セイタカアワダチソウ）が主として冷気流の生成に寄与していると推察されることから、植生の葉温と冷気層の気温を比較することによって、植生が冷熱源として果たす役割について検討を行った。

図6.19に熱電対による詳細な気温鉛直分布と葉温、地表面温の測定結果を示す。各時刻の結果は前後30分間（計1時間）のデータを平均し、地表面近傍の気温を基準とした気温差で表示した。なお、図中では横軸の2時間が2℃の気温差を示す。6時以降の日中の気温鉛直分布の結果については、日射の影響による測定誤差を含んでいる可能性があるため、ここでは参考データとして表示する。

夕刻から翌朝にかけての冷気流発生時間帯には、植生の中層部にあたる地上50cmで最低気温が観測された。気温と葉温を高さごとに比較すると、地上75cmと50cmでは夜間は概ね等しい値、もしくは若干葉温が高い値を示した。なお、植生の最下層にあたる地上25cmでは気温が地表温の影響を受けて葉温よりも高い値を示した。これは、植生被覆によって地表面は放射冷却が妨げられるため、相対的に高い値を示すためであり、この高さでは植生は気温を下げていることになる。しかし意外なのは、植生の上方半分（地上50cm、75cm）の葉

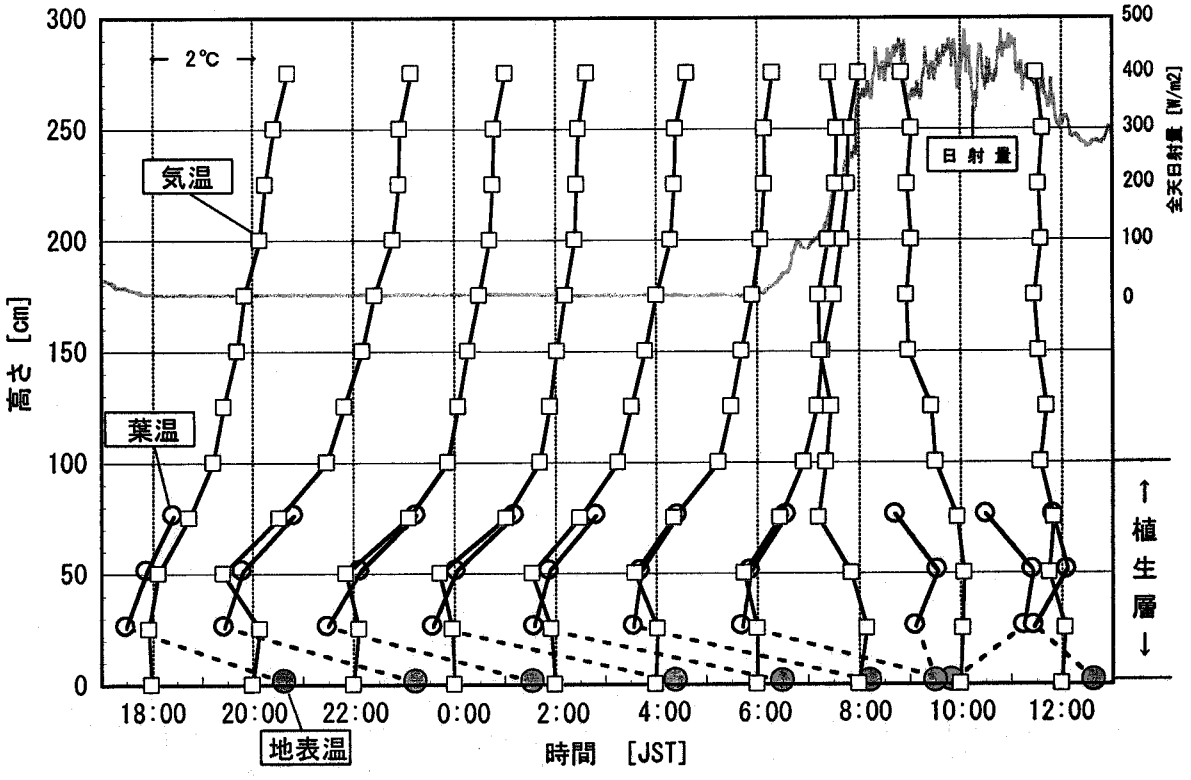


図6.19　熱電対による詳細気温鉛直分布と葉温・地表温・日射量の関係
（横軸の2時間が2℃の気温差に値する）

温と気温の関係である。当初の予想では、放射冷却で葉温が最も低くなり、冷熱源として機能するものと考えられたが、現実は逆である。この結果から、測定点周辺の植生（セイタカアワダチソウ）は冷気流の冷熱源として作用していないと推測される。

そこで、測定点より斜面上方の地形図をもとに、より詳細な現象の解明を行った。図6.20に斜面上方の地形図と冷気流の発生時間帯である18時から翌6時までの測定点①（地上2.0m）における風配図（卓越風向を5°ピッチで表示）を示す。風配図によると、主流方向である南南西成分に加えて、南西成分が3割程度確認される。その他の方角には全く風向が確認されない。この傾向を地形図と照らし合わせると、両方向には尾根に囲まれた谷が存在しており、2方向からの気流はこれらの谷筋から発生したと考えられる。図6.21に風向を南南西（南を0°とした時計回りで0°から22.5°の範囲）と南西（同様に22.5°から45°の範囲）に表示を分割した風速と気温鉛直分布の経時変化を、冷気流が安定して観測された時間帯である2時00分～2時30分について示す。風速の図によると2方向からの風が5～10分程度の短い周期で交互に吹いている様子が伺える。このように交互に吹くのは興味深い特性である。先述のように冷気流の間欠性は古くから検討されており、この結果も関連した現象と思われるが、原因などの詳細に関する検討は今後の課題である。

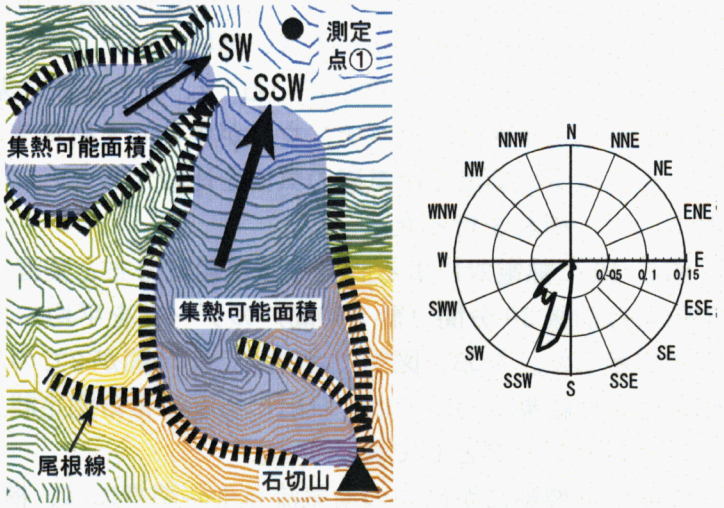


図6.20　夜間の風配図と周辺地形（冷熱源）の関係

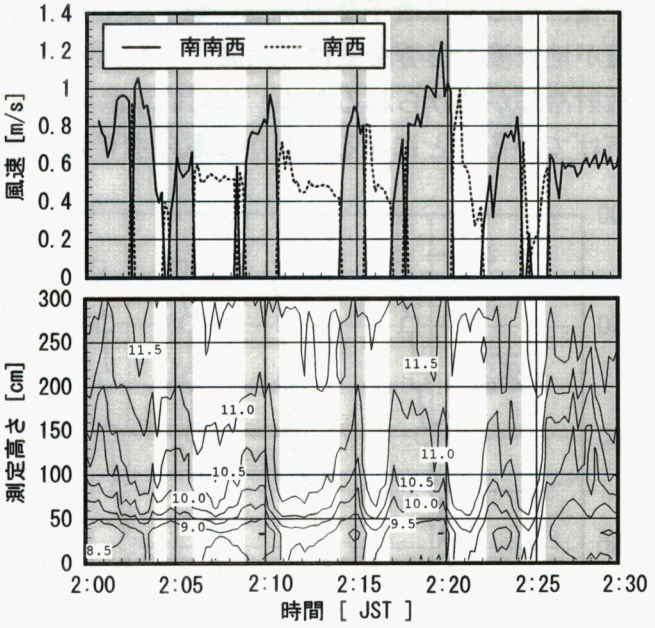


図6.21　冷気流方向からの風速および気温鉛直分布の経時変化

風速は主流方向である南南西の方がやや強い傾向がある。気温鉛直分布の図によると、南南西方向からの風が吹く時間帯には、地上2.0m付近までに低温域が急激に広がる。逆に、南西方向からの風は相対的に気温が高く、この方向からの風が吹くと地表付近の低温域が消失する。図6.22に各測定高さ毎に葉温と気温を比較した結果を示す。特に地上75cmでは、主流方向からの低温気流が吹くと、やや時間遅れを伴って葉温が低下する様子が伺える。従って、主流方向の冷気流に支配される時間帯では、測定点周辺の植生（セイタカアワダチソウ）は明らかに冷熱源として作用していないと判断される。一方で、南西方向からの冷気流に支

配される時間帯では、測定点周辺の植生は冷熱源として作用している。

このように風向によって冷気流の特性に変化が生じるのは、図6.20に示す地形特性が大きく影響している。すなわち、主流方向である南南西には石切山の山頂から続く地域の主要な谷が存在する一方で、南西方向には主要な谷と比較して高低差や放射冷却による集熱可能面積（すなわち尾根に囲まれた領域）が狭い、比較的小規模な谷が存在する。両方の谷はほぼ森林に覆われて土地利用状況に大きな違いがないことから、集熱可能面積や高度差が冷気温や風速、冷気流が卓越する頻度に大きく影響すると考えられる。

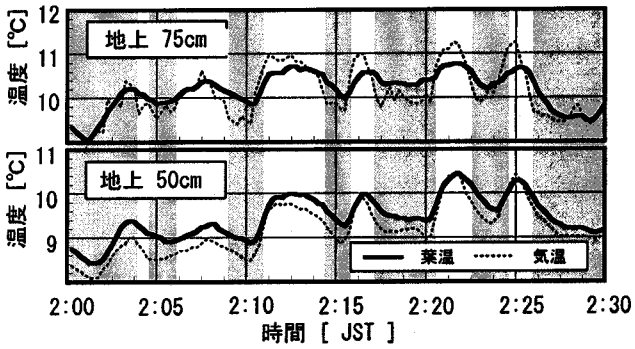


図6.22　葉温と同高度の植生層内気温との差

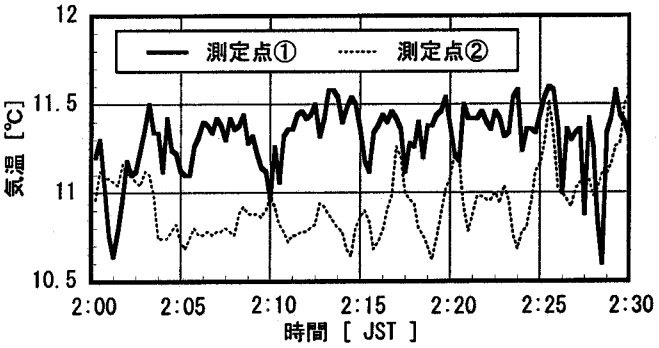


図6.23　測定点間の気温差

以上の結果から、測定点周辺では測定点より斜面上方の森林域で生成された、より低温の気流（主流方向）が流れていることが明らかとなった。従って、測定点周辺の植生は主流方向の冷気流に対して加温効果があると言えるが、この点に関して主流方向の冷気流が斜面を流下する際の冷気温変化を調べるために、図6.10に示す流線方向に設置した2つの測定点の気温を比較した。図6.23に地上2.0mにおける両地点の結果を示す。斜面上方の測定点②では、測定点①と比較して顕著に低い値を示した。測定点②から①への気温上昇幅は約0.5℃であった。この結果からも、上記の推察の正しさが確認できる。一方で、主流方向ではない弱い冷気流に対しては、測定点周辺の植生は冷熱源として作用しており、両方向ともに同じ冷気流が発生している状況に変わりないが、風上の地形特性により植生の冷熱源として果たす役割が変化する。但し、いずれのケースにおいても、植生は裸地や人工地表などと比較して低温に保たれていることは明白であり、冷気流の冷熱量を保持する役割を果たしていることには違いない。

地形の特性以外に植生の規模や種類も冷気流の規模や性質を変化させる要因と推測される。測定点より斜面上方の植生はアカマツやクヌギ・コナラ等のキャノピーを有する樹木類が主であるのに対して、測定点周辺の植生はセイタカアワダチソウやススキ等の草類である。樹木類の場合は葉面積指数（群落の葉面積を成立する土地面積に対する比で表した数値）が7程度[6.20]と非常に大きいが、草類の場合は4程度[6.20]に減少するため、森林よりも単位面積当りの放射熱交換量が減少し、より低温の熱源になりにくいと推測される。このような植生形態と地形特性が複合的に影響して、冷気流の特性を変化させていると推測される。

6.5　冷気流の影響範囲に関する実測調査

前節までに、自然地域内での詳細な冷気流流出経過や生成過程に関する解析を行い、その構造を概ね把握することが可能となった。本研究では、冷気流が有する気候環境資源としての価値に着目し、住宅地域での活用可能性や住宅地域に侵入した際の影響について検討する

ことを視野に入れている。そこで、本節では斜面上方の森林域で生成された冷気流が前節の詳細観測点付近を経て、どの程度の範囲で周辺住宅地域に影響を及ぼしているのかを把握することを目的として、第2章でその概要を述べた住宅開発予定地域を取り囲む既存の住宅地域において、移動観測による気温や風場などの実測調査を行った。

6.5.1　実測方法

6.5.1.1　対象地域

図6.10に示した第Ⅱ期観測点付近から斜面傾斜方向に下った既存住宅地域を含む地域を対象として移動観測を行った。図6.24に対象地域と測定点を示す。斜面傾斜方向に測線を設置し、測線上の10観測点で測定を行った。なお、各測定点の直下土地利用はⅠおよびⅡが森林、ⅢおよびⅣが草地、Ⅴが裸地である。その他は全て典型的な戸建住宅地内にある。

6.5.1.2　測定項目と測定装置

対象地域では、既に第5章や前節までの実測結果から冷気流の存在が明らかであることから、ここでは気温ならびに風向風速を測定することによって、気温の影響範囲と風場の影響範囲の両面について特定を試みた。気温の測定方法に関して、センサーには白金測温抵抗体

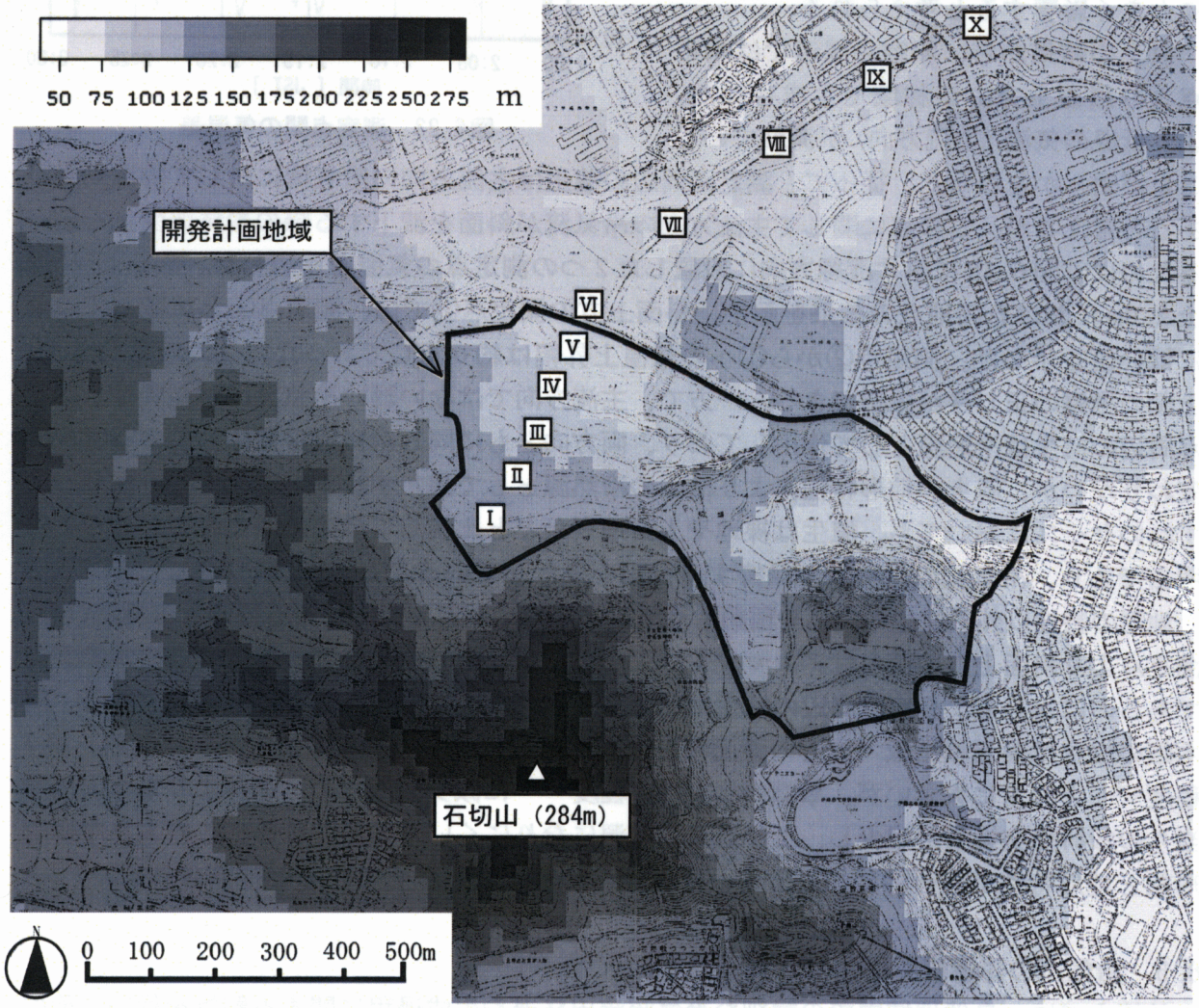


図6.24　対象地域および測定点の分布状況

(CHINO社、DSPt1）を使用し、データロガー（コーナー札幌社、DS64K）を用いて10秒間隔で気温と観測時刻の自動記録を行った。測定装置の受感部に対する放射の影響を排除するために、アルミ箔で外側を覆った2重の塩化ビニールパイプで遮蔽を行い、パイプ内に大気が流入するように強制通風装置を取り付けた。風速の測定にはポータブル型の熱線式風速計(KONOMAX社、CLIMOMASTER MODEL6511）を使用した。風向についてはスモークテスターを用いて、スモークテスターの煙と方位磁石の方位を照らし合わせ、卓越風向を決定した。但し、卓越風向が変動する場合には、最頻方向とその変化幅についても記録を行っている。

測定点をⅠからⅤとⅥからⅩの2ルートに分け、徒歩（Ⅰ～Ⅴ）および原動機付自転車（Ⅵ～Ⅹ）による移動観測を行った。観測者は予め設定された観測経路に従って移動し、各測定点で2分間の気温測定ならびに到達時刻の記入を行った。測定者が記録した到達時刻データはデータロガーに記録している時刻データとの照合に使用した。また、測定コースを往復して各測定点で2回の測定を行い、往路復路それぞれのデータを平均することで、測定時間差による誤差を排除した。

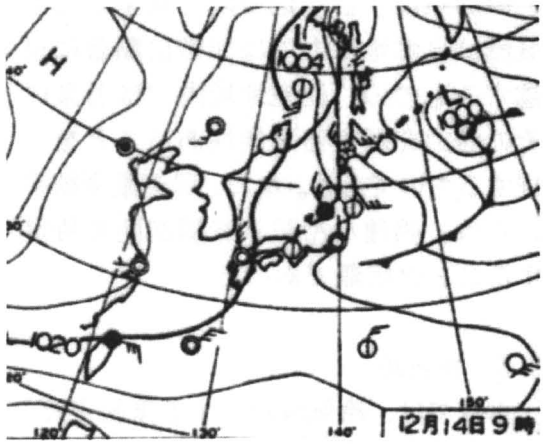


図6.25　測定日当日の天気図

6.5.1.3　測定日時

測定は1999年12月14日15時30分から同21時の間に1時間間隔で行った。なお、一回の測定に費やした時間は20分程度である。なお、測定開始前の天候は曇りであり一時的に雨を観測したが、測定開始時には概ね晴れに変化した。しかし20時頃からは若干雲が発生した。参考データとして、測定日当日の天気図を図6.25に示す。

6.5.2　実測調査結果および考察（影響範囲に関する実測）

6.5.2.1　気温の変化範囲から判断した冷気流影響範囲

図6.26に気温の測定結果を示す。15時30分には森林内の測定点で若干気温が低い値を示すものの、各測定ポイント間でそれほど明確な気温差は見られない。16時30分にはⅢおよびⅣポイントで気温低下が始まり、17時30分には住宅開発計画地域内の森林域以外の測定点（Ⅲ～Ⅴ）で急激な気温の低下が確認された。また、既存住宅地域内では、18時30分まで住宅開発計画地域に最も近いⅥから最も離れたⅩまでの間の気温差はほとんど見られない。しかし、19時30分からは住宅開発計画地域内の自然地に近いポイントから順に気温が低い値を示した。以上の結果から、16時30分から17時30分の間に住宅開発計画地域内で冷気流が発生し始め、2～3時間のタイムラグの後に、19時30分

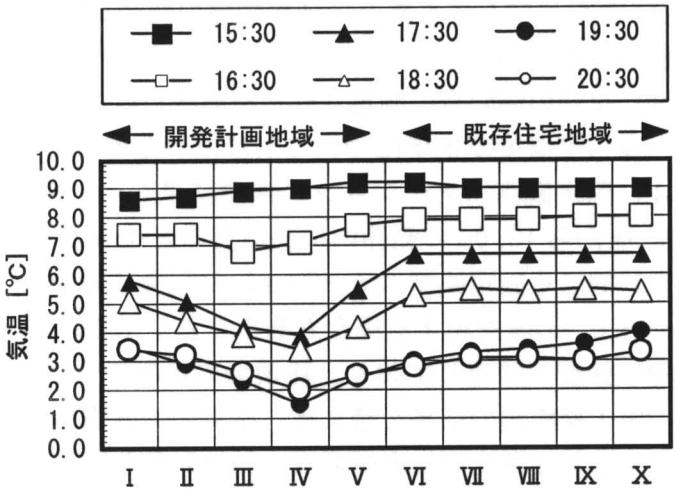


図6.26　気温観測結果を基にした冷気流の影響範囲

頃から既存住宅地域へ影響を及ぼし始めたものと考えられる。

6.5.2.2　風場の変化範囲から判断した冷気流影響範囲

図6.27に風向の測定結果を示す。16時30分には、Ⅲで斜面傾斜方向の風向が観測されたが、住宅開発計画地域全体ではまだ風向が不安定な状況を示した。17時30分以降には、住宅開発計画地域内の全ポイントで斜面傾斜方向の風向が観測された。図は省略するが、住宅開発計画地域内の風速はほぼ0.5m/s以下で安定していることから、冷気流が卓越している状況と考えられる。一方で、ⅥからⅩの既存住宅地域では、19時30分以降にⅧ以外の観測点で斜面傾斜方向に近い風向が観測されているが、その風向はⅠからⅤに比較してやや不安定である。この結果は、自然地域内で発生した冷気流は自然地域内では非常に顕著に卓越するものの、住宅地域内では急激にその勢力を弱める可能性あることを示唆するものである。なお、風速観測結果からは、明確な冷気流影響範囲を特定することは困難であった。

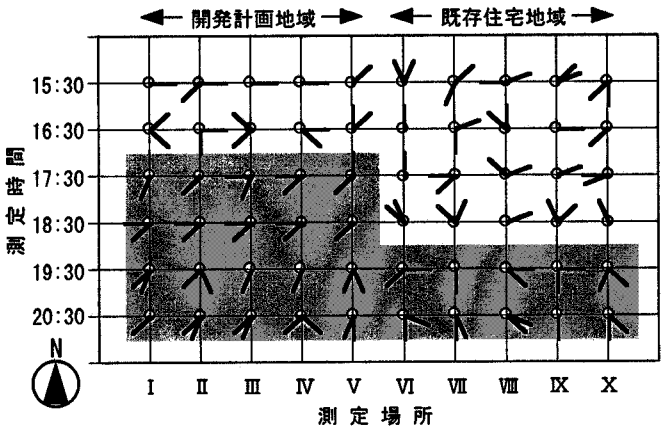


図6.27　風向観測結果を基にした冷気流の影響範囲

＊図中のハッチ部は冷気流の影響を受けていると推測される範囲

6.6　まとめ

本章では、冷気流が有する気候資源としての価値に着目し、主として都市熱環境の緩和を目的とした都市計画への活用可能性について検討することを視野に入れ、それぞれ目的の異なる3種類の実測調査を実施した。

第4章や第5章で確認された冷気流に関して、より詳細な流出経過を確認することを目的として、地上1.5mにおける風場や気温の変化状況に関する測定を行った（第Ⅰ期観測）。その結果、以下の知見を得た。

1）深夜の時間帯に測定された冷気流には、約10分おきに繰り返し吹き出す周期が確認された。

2）気温に関しても風とほぼ等間隔の変動が認められ、風が吹き出すとともに温度が低下し、風が停止するとともに温度が上昇する様子が確認された。

3）夕刻の時間帯に測定された冷気流には、深夜のような変動が確認されず、風向・風速のみならず温度変化率についてもほぼ一定の値を示した。

4）固定観測ステーションの観測結果から、観測当日の観測点周辺における冷気流厚さは6.0mから15.0mの範囲内にあるものと推察された。

5）同じく固定観測ステーションの観測結果から、冷気流厚さが15mに満たない場合がある一方で、15mを超える場合もあることが示された。冷気流厚さには、広域風の強弱や放射冷却の強度が関連しており、総観場の影響を受けやすいものと推察された。

第Ⅰ期観測の結果を踏まえ、冷気の鉛直構造や生成過程に関する検討を行うことを目的として、葉面温度や地表面温度、純放射量など、より多くの項目に関する測定を行った（第Ⅱ期観測）。その結果、以下の知見を得た。

1）調査対象地域では夕方から翌朝にかけて一晩中卓越する冷気流を観測した。冷気流発生時間と地表面の純放射量が負になる時間帯はほぼ一致した。
2）冷気流の風速は常時1.0m/s未満の微風である一方で、冷気層の気温は周辺大気よりも2℃ほど低く、気温低下による体感温度の低減効果の方が優勢であることが示された。
3）冷気流の風向は、夕方から翌朝にかけて12時間以上に渡って大きく変化することなく、非常に安定して流出を続けた。
4）冷気流が消失し、凪の状態に変化した時刻は、逆転層が解消された時刻とほぼ同時刻であった。
5）冷気流強度（降下温度や風速）には放射冷却による集熱可能面積や高低差などの地形特性が影響することが明確に示された。
6）冷気流を作り出す2方向からの谷筋がある場合には、両方からの気流が交互に吹くなど、間欠性が認められることが明らかとなった。
7）植生の冷熱源としての役割は、斜面上方の状況（地形や土地利用）によって変化し、同種の植生でも冷温熱源のどちらにも成り得ることが示された。
8）植生の種類や規模についても冷気流の特性に変化を与える要因と推察され、キャノピーを有する樹木はより多くの冷気を生成する可能性があることが示された。

続いて、斜面上方の森林域で生成された冷気流が上述の詳細観測点付近を経て、どの程度の範囲で周辺住宅地域に影響を及ぼしているのかを把握することを目的として、第2章でその概要を述べた住宅開発予定地域を取り囲む既存の住宅地域において、移動観測による気温や風場などの実測調査を行った。その結果として、自然地域内で発生した冷気流は、自然地域内では顕著に卓越するものの、住宅地域内では急激にその勢力を弱める可能性があることが示唆された。

本章の検討によって、都市内公園とは異なり傾斜地の植生からは一晩中安定した冷気が滲み出していることが確認された。この冷気の滲み出しは地域の低温域の形成に影響を与えていることが第4章の検討結果から確認されており、傾斜地域の緑地は夏季の都市熱環境の制御に対して非常に有効な環境資源と言える。冷気流は冷気が斜面を流下する単純な現象であり、冷気が滲み出す方向をある程度容易に推測することができることや、静穏な夜間には安定した効果を期待できることから、比較的都市計画に適用しやすい現象と言えよう。これまで傾斜地域の緑地は、景観や防災面での機能に優れていると認識されてきたが、都市熱環境保全効果という新たな機能についても、今後より認識が深まることが期待される。

参考文献

6.1）丸田頼一：公園緑地内の気象、造園雑誌、No.37、pp.33-55、1973
6.2）下田吉之・水野 稔：博覧会会場における屋外気温分布調査とその成因に関する解析、建築学会計画系論文集、No.475、pp.67-74、1995.9
6.3）成田健一・清田誠良：都市内緑地の環境調節効果に関する実測研究、第12回環境情報科学論文集、No.12、pp.269-274、1998.11
6.4）小林哲夫：冷気流が作り出す斜面温暖帯、局地気象研究会講演論文集、No.13、pp.23-30、1997
6.5）Lawrence,E.N.：Nocturnal winds、Prof.Notes Ⅲ、pp.1-13、1954

6.6) 今岡円七：斜面下降風と一般風との関係について、農業気象、Vol.20、pp.41-45、1964
6.7) 吉野正敏：冷気流と冷気湖に関する最近の研究、農業気象、Vol.15、pp.161-164、1960
6.8) Nitze,F.W. :Untersuchung der nachtlichen Zirkulationsstromung am berghang durch stereophotogrammetrisch vermessene Ballonbahnen.、Biokl.B.、Vol.3、pp.125-127、1936
6.9) Kuttner :Periodische luftlawinen.、Met.Rdsch.、Vol.2、pp.183-184、1949
6.10) Geiger,R. :Das Klima der bodennahen Luftshicht、Friedrich Vieweg & Shon、Braunschweick、460S、1951
6.11) 間野 浩：盆地形における夜間気温の急昇について、研究時報、No.5、pp.525-545、1953
6.12) 鳥谷 均：長野県菅平盆地における冷気湖の形成と冷気流、地理学評論、58A、pp.67-79、1985
6.13) 立石由己：菅平における冷気の流出、天気、Vol.8、pp.366-371、1961
6.14) 大和田道雄・石川由紀・中村達博：上川盆地の西側斜面における冷気の流出周期、農業気象、Vol.54、No.6、pp.329-334、1995
6.15) 鳥谷 均：斜面下降風吹走時における斜面上の風と気温の時間変化について、天気、Vol.32、No.6、pp.23-31、1985.6
6.16) 田中夕美子：台地と谷筋の夜間冷却について、農業気象、Vol.38、pp.245-251、1982
6.17) 中村圭三：夜間の緩斜面上の冷気流と気温分布について、地理学評論、No.49、pp.525-545、1976
6.18) 今岡円七：晴夜における小丘状地形上の冷気層と降霜分布、農業気象、Vol.20、pp.113-118、1965
6.19) 竹林英樹・森山正和・糸川文崇：夏季夜間の冷気流による市街地冷却効果に関する研究　その2　浅水方程式モデルによる検討、空気調和衛生工学会近畿支部学術研究発表会、Vol.28、pp.65 -68、1999
6.20) Montieth J.L., Szeicz G. and Waggoner P.E. :Measurement and control of stmatal resistance in the field、J.Appl.Ecol.、Vol.2、pp.345-355、1965

第7章
住環境計画への適用を目的とした冷気流のモデル化

7.1 序論

前章までの実測調査結果で明らかにしたように、夜間に対象地域の斜面を下降する冷気流は周辺地域の気温低下に影響を及ぼしていることから、冷気流は夏季の暑熱緩和に期待が持てる有効な気候環境資源として位置付けられる。第5章の冒頭で述べたように、風環境に関する問題については、建設後に住棟配置等の修正を行うことはほぼ不可能であり、この冷気流を有効に活用していくためには、宅地造成や住宅建設などの地表面に対する改変が冷気流の有する気温低減効果や住宅後流域へ及ぼす影響を計画段階で予測し、対策を講じておく必要がある。その際の予測手法としては、風洞実験や数値解析モデルなどが挙げられるが、前者の風洞実験については、冷気流を再現するために温度場を考慮した場合、温度成層型の風洞施設を必要とすることや相似則の問題からやや技術的に困難となることが予想される。そこで、本章では後者の数値解析モデルを用いて地表面の改変が冷気流に及ぼす影響について検討を試みる。

冷気流に関するいくつかの分析的・数学的モデルが過去に報告されているが、Nappo ら[7.1]は既存の冷気流モデルが以下に示す2種類に大別されることを指摘している。

1）無限斜面上の冷気流鉛直構造を計算するモデル

2）有限斜面傾斜方向の冷気流変化構造を計算するモデル

前者は静力学的、後者は動力学的な数値解析モデルと位置付けられる。前者の代表例としては、Prandtl[7.2]による鉛直1次元モデルが挙げられる。Prandtl モデルによる風速・気温鉛直分布予測結果については、多くの観測結果（例えばDefant[7.3]、Lettau[7.4]、Kondo ら[7.5]）と一致することが明らかとなっている。しかし、Plandtl モデルは尾根や谷から離れた一様な無限長さ（と見なすことが可能な）の斜面上を流れる定常流に対してのみ、満足な結果が得られるものと指摘されている[7.6]。後者の代表例としては、Ellison ら[7.7]によるモデルが挙げられる。彼らはFleagle ら[7.8]による水理モデル（hydraulic model）を拡張し、冷気流に対する周囲大気からの連行過程を考慮することによって、冷気流の斜面下降方向への発達状況を再現した。Manins ら[7.9]やBriggs[7.10]はこのEllison モデルをさらに拡張することによって、

大気に開放された有限斜面上を流れる冷気流を再現した。近年では、McNiderら[7.11]やYamadaら[7.12]、Schadlerら[7.13]が冷気流モデルを3次元的に取り扱い、冷気流が複雑な斜面を流下して谷に集積され、例えば平野部に流れていく様子を再現することも可能となった。

以上、既存の冷気流モデルを概観したが、これらのモデルの大半は気象学や地理学の分野における検討であり、冷気流の現象再現や発展過程等の理論的解明を主目的として作成されている。本研究は冒頭で述べたように、斜面上部からの冷気流の規模を事前に予測し、斜面下部へ与える影響を定量的に把握することを主な目的としている。また、斜面方位や傾斜角、さらには土地利用状況の違いが冷気流の規模に与える影響を原単位的な情報として整備することが可能になれば、地域計画に対しても有用な資料となり得るであろう。

そこで本章では、まず第1段階として、斜面特性や土地利用状況などの情報から、冷気流の規模や斜面下部へ運搬される冷気生成量を簡易に予測することを目的として、斜面直角方向への相似分布を前提とする積分方程式をベースとした冷気流モデルを作成し、冷気流の基本的な特性に関する考察を行った。但し、ここで作成するモデルは斜面直角方向の相似分布を前提とする、いわば1次元的なモデルであるため、本研究の最終的な目標である地域計画への適用を視野に入れた場合、例えば建物配列の相違が冷気流へ及ぼす影響等を推定することは困難である。そこで次のステップとして、上述の冷気流モデルで作成した鉛直プロファイルを流入境界条件とするCFDモデルを用いて、建物の配置状況が冷気流に及ぼす影響について試行的な評価を試みた。

7.2　冷気流モデルの概要

7.2.1　モデル化の目的

冷気流は夜間の放射冷却によって地表面付近で生成された冷気塊が、密度差を駆動力として斜面を下降する現象である。従って、冷気の流れは基本的な自然対流モデルで推定することが可能と考える。本研究では、冷気流が斜面を滑降する際に地表面付近の地物と熱や運動量を交換し、上空大気を連行しながら厚さを増してゆく自然対流モデルの構築を試みた。

冷気流の冷熱供給源は主として地表面付近の地物であるが、この点に関して小林は「接地気層の冷却に最も寄与するのは、射出率が大きく、地中からの伝導熱供給量が小さい地物、つまり葉面のような物体である」と述べている（断熱突起冷却仮説）[7.14]。また、第6章の冷気流の構造把握を主目的とした実測結果（第Ⅱ期）からも、植生の規模や種類が冷気流の規模を変化させることが示唆された。そこで本研究では、自然対流モデルにDeardorffの植生・地表面熱収支モデル[7.15]を組み込むことによって、植生の影響について検討可能なモデルの構築を目指した。

7.2.2　モデルの概要

本モデルは冷気流の斜面下降方向への変化について検討することを主な目的としていることから、斜面傾斜方向にのみｎ個のコントロールボリューム（以下ＣＶ）を設定し、斜面直角方向への相似分布を前提とする積分方程式を構築した。後述するように各ＣＶに対して熱収支式・運動方程式・連続式を設定し、各ＣＶの冷気温・流速・冷気層厚さを計算した。なお、温度境界層と速度境界層の厚さが同じであると仮定した上で、それらを併せて「冷気層」と定義した。また、境界層内での完全拡散を前提とした。

まず、地表から冷気層外縁まで（厚さH_N）の体積要素（奥行き1m、斜面長さ方向dx）に対

して、これに流出入するエネルギーと運動量の釣り合いから、自然対流における積分方程式式（1）・（2）が得られる。なお、熱収支式では冷熱を、運動方程式では斜面下降方向に働く力を、それぞれ正としている。

$$\frac{d}{dx}\int_0^{H_N}(T_a-T)\cdot u\,dy=\frac{q_w}{\rho_n\cdot c_p} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\frac{d}{dx}\int_0^{H_N}u^2dy=\frac{g\sin\alpha}{T_a}\int_0^{H_N}(T_a-T)dy-\frac{\tau_w}{\rho_n} \quad \cdots\cdots(2)$$

冷気層内では山頂からの距離とは無関係に、速度uおよび温度Tは式（3）・（4）で表されるような相似分布を保つものと仮定する。

$$u=u_x\cdot F_1(\eta) \quad \cdots\cdots(3)$$

$$T_a-T=(T_a-T_G)\cdot F_2(\eta) \quad \cdots\cdots(4)$$

但し、

$$\eta=\frac{y}{H_N} \quad \cdots\cdots(5)$$

式（1）・（2）に式（3）・（4）をそれぞれ代入すれば、次式が得られる。

$$A_3\left\{\frac{d}{dx}\left(H_N\cdot u_x\right)\right\}\left(T_a-T_G\right)=\frac{q_w}{\rho_n\cdot c_p} \quad \cdots\cdots(6)$$

$$A_1\frac{d}{dx}\left(H_N\cdot u_x^{\,2}\right)=A_2\cdot H_N\cdot g\cdot\frac{(T_a-T_G)}{T_a}\cdot\sin\alpha-\frac{\tau_w}{\rho_n} \quad \cdots\cdots(7)$$

式（6）・（7）中のA_1からA_3は$F_1(\eta)$および$F_2(\eta)$の関数形によって定まる定数である。

$$A_1=\int_0^1\{F_1(\eta)\}^2d\eta \quad \cdots\cdots(8)$$

$$A_2=\int_0^1F_2(\eta)d\eta \quad \cdots\cdots(9)$$

$$A_3=\int_0^1F_1(\eta)F_2(\eta)d\eta \quad \cdots\cdots(10)$$

本モデルで求める冷気温と冷気流速は、結果として以下のように示される。

$$T_N=\frac{1}{H_N}\int_0^{H_N}Tdy=T_a+\left(T_G-T_a\right)A_2 \quad \cdots\cdots(11)$$

$$U_N=\frac{1}{H_N}\int_0^{H_N}udy=A_4u_x \quad \cdots\cdots(12)$$

但し、

$$A_4=\int_0^1F_1(\eta)d\eta \quad \cdots\cdots(13)$$

以上より、式（1）・（2）の基礎式は以下のように示される。

$$\frac{A_3}{A_2A_4}\left\{\frac{d}{dx}\left(H_N\cdot U_N\right)\right\}\left(T_a-T_N\right)=\frac{q_w}{\rho_n\cdot c_p} \quad \cdots\cdots(14)$$

$$\frac{A_1}{A_4^2}\frac{d}{dx}\left(H_N\cdot U_N^2\right)=\frac{g\sin\alpha}{T_a}\cdot H_N(T_a-T_N)-\frac{\tau_w}{\rho_n} \quad \cdots\cdots(15)$$

地表面に働くせん断応力τ_wには、平板に沿う乱流境界層におけるBlasius[7.16]の式を適用する。

$$\frac{\tau_w}{\rho_n}=0.0225\cdot u_x^2\cdot\left(\frac{\nu}{u_x H_N}\right)^{1/4}=\frac{0.0225}{A_4^2}\cdot U_N^2\cdot\left(\frac{A_4\nu}{U_N H_N}\right) \quad \cdots\cdots(16)$$

また、伝熱面流束q_wについては、熱伝達と流体摩擦との間にコルバーンのアナロジが成り立つものと仮定し、次式で定義する。

$$\frac{q_w}{\rho_n\cdot c_p}=\frac{0.0225\,\mathrm{Pr}^{-2/3}\cdot}{(1-A_2)A_4}\cdot U_N\cdot\left(\frac{A_4\nu}{U_N H_N}\right)^{1/4}(T_N-T_G) \quad \cdots\cdots(17)$$

先述したように、冷気流の規模や性質には植生が多大な影響を与えている。そこで、上記の熱収支式・運動方程式に植生に係る項を追加することによって、植生が冷気流に与える影響を加味した。具体的には、熱収支式と運動方程式に植生を起源とする熱量・せん断応力を付加している。なお、地表面と同様に、植生と冷気層の熱・運動量交換過程に関してもコルバーンのアナロジを適用した。但し、植生に関しては、熱・運動量交換面積が植生量に応じて増加することから、地表面と比較して熱伝達量や摩擦応力が増加するものと推測される。そこで、これらの増分をモデル中に反映させるため、鉛直方向への植生量を表現するLAI（葉面積指数）と水平方向への植生量を表現するσ_f（植生被覆率）を地表面での値に乗じた。

式（16）・（17）で定義されたせん断応力や伝熱面流束は平滑面状態を想定した値である。従って、住宅地域など地表面に凹凸が存在することによって地表面が粗面状態に変移した場合には、せん断応力や伝熱面流束の値も変化すると推測される。これらの値に関する真値は、今後実測等によってさらなる検討を行う必要があることから、本モデルでは係数X_gをパラメータとして用いることによって暫定的な表現を試みた。植生の場合も同様の問題が考えられるため、地表面と同様の概念の基に、係数X_fをパラメータとして設定した。

以上の仮定によって、地表面の熱輸送係数・抵抗係数C_{HG}、f_Gと植生の熱輸送係数・抵抗係数C_{HF}、f_Fは次式で定義される。

$$C_{HG}=X_g\cdot\frac{0.0225\,\mathrm{Pr}^{-2/3}}{(1-A_2)A_4}\left(\frac{A_4\nu}{U_N H_N}\right)^{1/4} \quad \cdots\cdots(18)$$

$$f_G=X_g\cdot\frac{0.0225}{A_4^2}\left(\frac{A_4\nu}{U_N H_N}\right)^{1/4} \quad \cdots\cdots(19)$$

$$C_{HF}=X_f\cdot LAI\cdot\sigma_f\cdot\frac{0.0225\,\mathrm{Pr}^{-2/3}}{(1-A_2)A_4}\left(\frac{A_4\nu}{U_N H_N}\right)^{1/4} \quad \cdots\cdots(20)$$

$$f_F=X_f\cdot LAI\cdot\sigma_f\cdot\frac{0.0225}{A_4^2}\left(\frac{A_4\nu}{U_N H_N}\right)^{1/4} \quad \cdots\cdots(21)$$

よって、式（14）・（15）に式（16）から（21）を代入する事により熱収支式、運動方程式は次式で表現される。

$$\frac{A_3}{A_2A_4}\left\{\frac{d}{dx}(U_NH_N)\right\}(T_a-T_N)=C_{HG}U_N(T_N-T_G)+C_{HF}U_N(T_N-T_F) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

$$\frac{A_1}{A_4^{\,2}}\frac{d}{dx}(H_N\cdot U_N^{\,2})=\frac{g\sin\alpha}{T_a}\cdot H_N(T_a-T_N)-(f_F+f_G)U_N^{\,2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

また、連続の式は単位底面積あたりの周囲大気層から冷気層への連行量Eを用いて、以下のように表現される。

$$\frac{d}{dx}(U_NH_N)=E \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(24)$$

但し、x方向の連続式だけでは、連行量は未知数である。そこで、本モデルでは等温加熱平板の熱伝達における理論式を実際に求めることによって、連行量の式を導いた。

$$E=1.2A_4^{\,3/5}\left(\frac{0.01875}{A_3}\nu^{\frac{1}{4}}\mathrm{Pr}^{-\frac{2}{3}}\right)^{4/5}\left\{\frac{(X_g+X_fLAI\sigma_f)^2g\sin\alpha|T_N-T_a|}{1.7A_1+1.2A_3\mathrm{Pr}^{2/3}}\right\}^{1/5}U_N^{\,2/5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(25)$$

密度差を駆動力とする自然対流系では、流体中の水蒸気量が変化することによる浮力への影響についても配慮が必要となる。特に、蒸散効果を有する植生を対象とする場合には、その影響がより重要になると考えられる。そこで、本モデルでは運動方程式中の浮力項と連行量式中の気温を以下に示す仮温度に置き換えることによって、水蒸気量が密度に与える影響を考慮した。

$$T_{Va}=T_a(1+0.608q_a) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

$$T_{VN}=T_N(1+0.608q_n) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

式（22）から（24）をそれぞれ空間及び時間について離散化し、T_N、U_N、H_Nを求める式に変換すると、以下のように表現される。

$$T_N^{new}=\frac{\frac{HoT_N^{old}}{\Delta t}+\frac{A_3}{A_2A_4\Delta x}\{H_{N-1}U_{N-1}T_{N-1}+T_a(H_NU_N-H_{N-1}U_{N-1})+(X_gT_G+X_fLAI\sigma_fT_F)C_{H0}\}}{\frac{H_o}{\Delta t}+\frac{A_3}{A_2A_4\Delta x}H_NU_N+(X_g+X_fLAI\sigma_f)C_{H0}} \quad \cdots\cdots(28)$$

$$C_{H0}=\frac{0.0225\,\mathrm{Pr}^{-2/3}}{(1-A_2)A_4}\left(\frac{A_4\nu}{U_NH_N}\right)^{1/4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

$$U_N^{new}=\{\frac{A_1}{A_4^{\,2}}\frac{H_{N-1}U_{N-1}^{\,2}}{\Delta x}+H_o\frac{T_{Va}-T_{VN}}{T_{Va}}g\sin\alpha-(X_fLAI\sigma_f+X_g)\frac{0.0225}{2}\frac{U_o}{A_4^{\,2}}\left(\frac{A_4\nu}{U_oH_o}\right)^{1/4}U_{N-1}+\frac{H_o}{2\Delta t}U_N^{old}\}\div\left\{\frac{H_o}{2\Delta t}+\frac{A_1}{A_4^{\,2}}\frac{H_NU_N}{\Delta x}+(X_fLAI\sigma_f+X_g)\frac{0.0225}{2}\frac{U_o}{A_4^{\,2}}\left(\frac{A_4\nu}{U_oH_o}\right)^{1/4}\right\} \quad \cdots\cdots(30)$$

$$H_N^{new}=\frac{U_{N-1}H_{N-1}\Delta t+\frac{\Delta x}{2}H_N^{old}+E}{\frac{\Delta x}{2}+U_N\Delta t} \quad \cdots\cdots(31)$$

但し、

$$U_o=\frac{U_{N-1}+U_N}{2} \quad \cdots\cdots(32)$$

$$H_o=\frac{H_{N-1}+H_N}{2} \quad \cdots\cdots(33)$$

先述のように、各式中のA_1からA_4は冷気温と冷気流速の鉛直分布形状により決定される係数である。この分布形の仮定によって、鉛直方向に関する考慮を簡略化した。なお、本研究では冷気温と冷気流速の鉛直分布を表現する$F_1(\eta)$、$F_2(\eta)$には、原則として次式に示す平板の乱流境界層に関する分布形（1/7乗則）を使用し、A_1からA_4の値をそれぞれ決定した。

$$F_1(\eta)=1.8643\eta^{1/7}\cdot(1-\eta)^4 \quad \cdots\cdots(34)$$

$$F_2(\eta)=1-\eta^{1/7} \quad \cdots\cdots(35)$$

本研究では乱流型の分布形状を採用するが、これはあくまでも鉛直分布形状の仮定であり、分布形状の仮定が冷気流の特性に与える影響について検討を行う必要がある。この点に関しては、7.3.3において一様分布形状を仮定した場合の計算を行った。また、乱流型の鉛直分布形状（1/7乗則）が理論上、地表面付近で最大流速を生ずることから、地表面に凹凸が存在する場合、本モデルでは地表付近の詳細な状況の再現が困難である。従って、鉛直形状を正確に表現するためには、地表付近の微妙な凹凸や植生形状を反映させる必要があるが、この点に関しては今後の課題とする。

植生を考慮する際の葉温は先述の通りDeardorffの植生・地表面熱収支モデル[7.15]、地表温はForce Restore法[7.17]によってそれぞれ計算した。冷気層内の比湿については、周囲大気比湿および地表面比湿、葉面比湿の按分によって求めた（按分係数はDeardorff[7.15]による）。なお、本モデルでは植生が完全に冷気層内に収まる形で熱・運動量交換が行われるものと仮定している。樹林などでは冷気層より高い位置に葉層（熱交換層）が存在するケースも考えられるが、葉層で生成された冷気が密度差によって地表面付近に集積された後に斜面下部へ流出するものと仮定して、鉛直方向の考慮を簡略化した。

7.2.3　斜面下部への流出冷熱量

冷気流が斜面下部へ与える効果を評価する際に、流速や気温を評価指標として使用することが第一に考えられる。しかし、気温が低下しても風速が弱い場合や、冷気層の厚さが薄い場合には、斜面下部への影響を弱く見積もってしまう可能性がある。そこで、本研究では冷気温・冷気流速・冷気層厚さを総合的に評価する指標として、次式で示される斜面下部への流出冷熱量を定義した。

$$Q=\frac{A_3}{A_2A_4}\rho_n c_p U_N H_N(T_a-T_N) \quad \cdots\cdots(36)$$

7.3　冷気流モデルを用いた計算結果および考察

7.3.1　鉛直等温加熱平板上の自然対流境界層の再現

鉛直等温加熱平板上の自然対流境界層を冷気流モデルによって再現し、理論解（乱流境界層の1/7乗則）と比較することでモデルの合理性に関する検証を行った。計算条件として平板温度を32.0℃、周辺温度を30.0℃に設定した。周囲大気風速は無風状態を仮定した。ＣＶの平板方向の長さは1.0mとした。熱輸送係数C_{HG}や抵抗係数f_Gに関連するパラメータX_gは1とし平滑面状態を想定した。

図7.1に周期定常状態の境界層内平均流速と境界層厚さに関する結果を示す。モデルによって得られた計算解は、流速・厚さともにほぼ理論解と一致した。

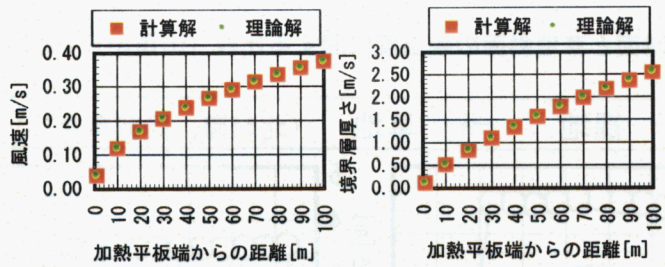


図7.1　等温加熱平板上の境界層に関する計算結果

7.3.2　単純斜面を想定した基本結果

冷気流の基本性状を把握することを目的として、裸地（σ_f=0.0, LAI=0.0）および草地（σ_f=0.9, LAI=4.0[注7.1)]）状態[7.18)]の単純な斜面を想定し、冷気流の再現を試みた。計算対象として斜面上の土地利用や傾斜角が一定の、山頂から斜辺長100ｍまでの区間を設定した。傾斜角は7°、斜面方位は北向きとした。日射量は8月上旬における理論解（雲量0と仮定）を計算によって求め、周囲大気温度には第６章で冷気流の詳細観測を行った斜面における、地上15ｍの８月平均気温（1997年）を与えた。なお、上空風速は北風0.5m/sで一定の状態が続くものと仮定した。各ＣＶの斜面方向長さは1.0m、計算タイムステップは１分とした。冷気層の流速・厚さの初期値はそれぞれU_N=0.1m/s、H_N=0.1mとした。冷気温の初期値には周囲大気温度と等しい値を与えた。熱輸送係数や抵抗係数に関連するパラメータX_gおよびX_fは1とし平滑面状態を想定した。正午から2日間の助走計算を行った後の3日目の結果を計算結果として採用した。

斜面中腹（山頂から50m）における各温度の計算結果を図7.2に示す。冷気流の発生時刻は裸地斜面で20:08～7:07、草地斜面で18:17～6:03という予測結果を得た。対象斜面では17:20から地表面の放射冷却が開始されるが、草地斜面では約１時間後に冷気が流出し始めるのに対して、裸地斜面では地盤面の熱容量の影響を受けて、冷気流の開始時刻が大きく遅れた。冷気層内平均温度については草地斜面で0.7℃程度低い値が得られた。同地点における冷気流速と冷気層厚さの経時変化を図7.3に示す。ここで、冷気流速とは冷気層内の平均流速を意味

注7.1）鉛直方向の植生量についてはLAI（群落の葉面積を成立する土地面積に対する比で表した数値）を、水平方向の植生量についてはσ_f（上空から見た被覆率）を用いて植生規模や種類を表現する。なお、LAIが4.0は草原を、LAIが7.0は落葉樹林の葉が十分に生い茂った状態に相当する[7.18)]。

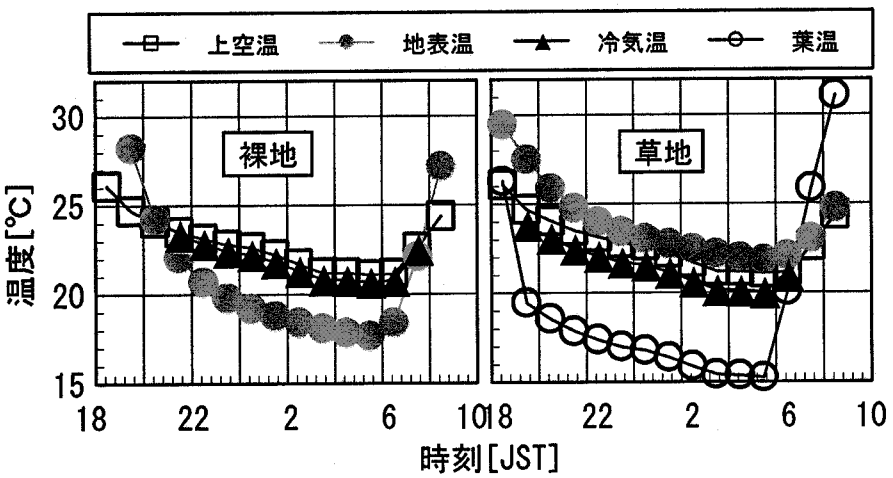


図7.2　裸地斜面と草地斜面の各温度に関する比較（山頂から50m地点）

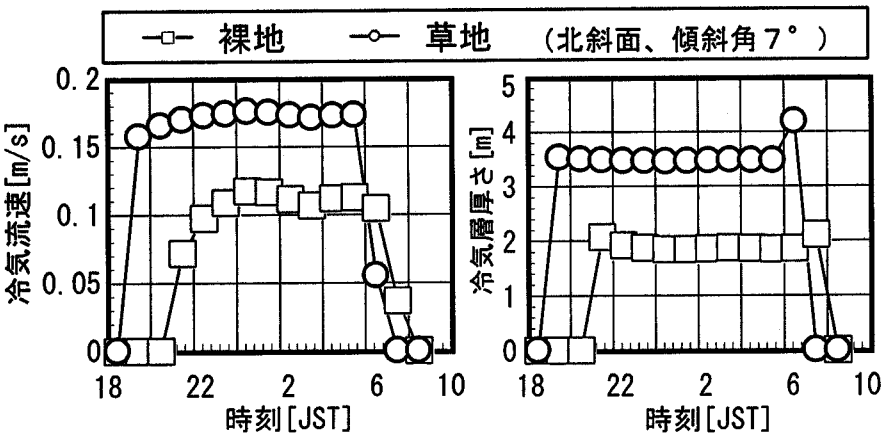


図7.3　裸地斜面と草地斜面の流速・冷気層厚さ比較（山頂から50m地点）

する。結果として、冷気流速および厚さともに草地斜面で裸地斜面を大きく上回る結果が得られた。以上のように、草地斜面では冷気流の吹走時間が長い上に、冷気流の規模（冷気温・流速・厚さ）も増大していることから、植生斜面の冷気生成能力は裸地斜面に比較して非常に大きくなることが予想される。

7.3.3　分布型の影響に関する考察

7.2.1で述べたように、本研究では原則として乱流型の分布形状を採用している。これはあくまでも計算の簡略化を目的として鉛直方向の分布形状を仮定するものであり、分布形状の仮定が冷気流の特性に与える影響について検討を行う必要がある。そこで、式(37)・(38)で示される一様分布型を用いて同様の計算を行い、乱流型の結果と比較した。なお、分布形状以外の計算条件については、7.3.2での単純斜面（裸地）を想定した基本計算と同様である。

$$F_1(\eta)=1 \qquad \cdots\cdots (37)$$

$$F_2(\eta)=1-\eta \qquad \cdots\cdots (38)$$

図7.4に斜面中腹（山頂から50m）における斜面下部への流出冷熱量を示す。分布形状が異なるため、冷気流速や厚さに違いが生じるのは明白であるが、図7.4に示されるように各時刻

の流出冷熱量はほぼ同じ値を示した。夜間を通した積算流出冷熱量は、乱流型の約7,700W/mに対して、一様型は6%減の約7,200W/mであった。このように斜面下部への流出熱量としての違いはごくわずかであることから、冷気流の熱的な効果について評価を行うのであれば、分布型の仮定は評価結果に大きな影響を及ぼさないと考えられる。

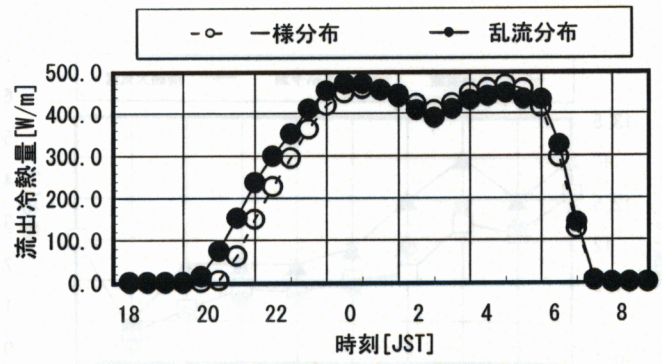


図7.4　鉛直分布形状の仮定が斜面下部への流出冷熱量に与える影響（山頂から50m地点）

7.3.4　実測結果との比較

図7.5や図7.6に示す対象地域における冷気流の再現を試みた。計算条件として、斜面の傾斜方向は北北東とし、傾斜角度は一様に12°であると仮定した[注7.2)]。土地利用に関しては、山頂から373mまでの区間を森林（σ_f=0.9, LAI=7.0）とし、それ以降については草地（σ_f=0.9, LAI=4.0）で一様に設定した。日射量は10月9日における理論解（雲量0と仮定）を計算によって求めた。上空温には対象地域における地上15mの値を与えた[注7.3)]。その他の計算条件は7.3.2と同様である。

実測地点における冷気流発生時間帯の予測結果を図7.7に示す。冷気温の予測値（地上

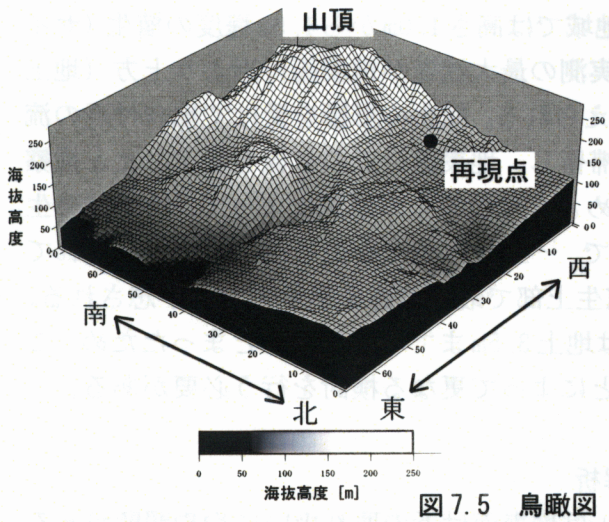


図7.5　鳥瞰図

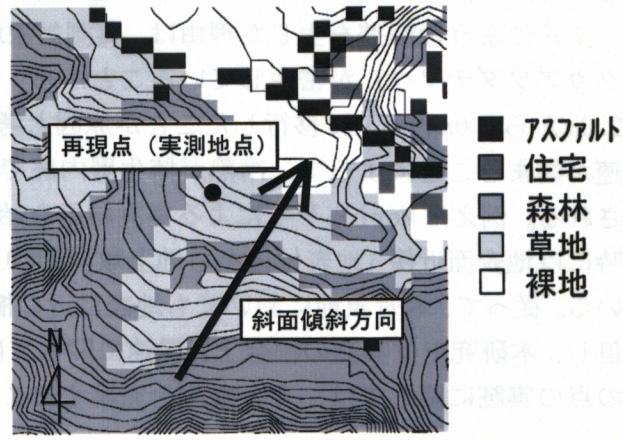


図7.6　測定ポイントの詳細位置および土地利用状況

注7.2) 実斜面では山頂に近づくに連れて傾斜が急に変化するが、再現計算では山頂と実測地点を直線で結んだ一様角度の斜面を仮定した。また、裾野付近の谷の拡がりなどによって、現実的には3次元的な流れが生じていると推測されるが、本モデルでは2次元的な流れが続くものと仮定した。この点に関して、本モデルでは簡易に冷気流規模のオーダーを把握することを目的として2次元モデルを適用したが、複雑な地形上の詳細な流れ場を検討するのであれば、3次元モデルへの展開を必要とする。

注7.3) 第6章の観測では地上5.0mで気温を測定していたが、地上5.0mは冷気流の影響を受けていると推測される。そこで、1997年の年間を通した地上15.0mと5.0mにおける長期観測結果から平均気温差（10月上旬）を計算し、第6章で観測された地上5.0mの気温に加算することによって、斜面詳細実測当日の上空温度（地上15.0m）を再現した。

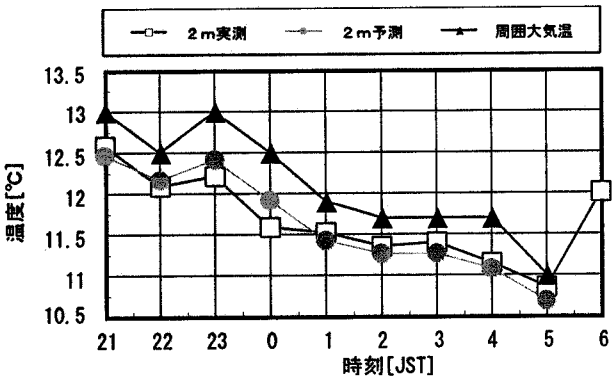


図7.7　実測値との比較結果

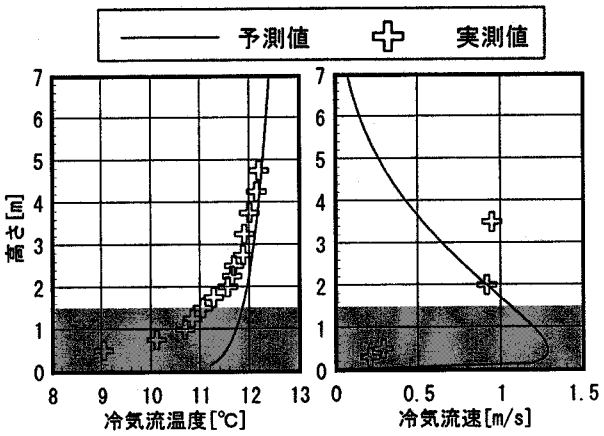


図7.8 午前0時における比較結果
（左：冷気温、右：流速）
（図中の網掛け部分は植生層を示す）

2.0m）は実測値（地上2.0m）とほぼ同じ値を示した。周囲大気温度（地上15m）と比較すると、冷気温は常に0.5℃程度低い値を示した。図7.8に午前0時における実測値と予測値の鉛直分布比較結果を示す。冷気温に関しては、図7.7で示されたように地上2.0m付近で良い予測を行うが、実測値の方が地表付近での勾配が強く、特に植生層内部では最大2℃程度の誤差を生じた。流速に関しても同様に植生層内部では大きな誤差を生じた。

上述のような誤差を生じた理由は、実測対象地域では高さ1.0mから1.5m程度の植生（セイタカアワダチソウ）が密生していることから、実測の最大流速が地表面付近より上方（地上2.0mから3.0m付近）に移行したことが原因と考えられる。植生の影響を受けて地表付近の流速が弱まることによって、冷熱が植生層内部で滞留し、地表面付近の気温も低下したと推察される。例えばMoriら[7.19]による実測結果を始めとして数多くの観測によって、冷気流発生時には地表面近傍（地表付近から地上数m程度）で、一旦最大流速を生じることが実証されている。従って、本対象地においても地表付近の植生上部で最大流速を示すことが予想される。但し、本研究では実測の都合上、風速に関しては地上3.5mまでの観測にとどまったため、この点の実証に関しては、今後観測を充実することによって更なる検討を行う必要がある。

7.4　冷気流の基本的特性に関するパラメータ解析

前節までの結果から、本研究で作成したモデルは地表面付近の取り扱いにやや問題があるものの、冷気流の再現が可能であること、斜面上の土地被覆の影響に関する検討が可能であることを確認した。本節では、冷気流モデルを用いた応用計算として、土地利用状況や斜面特性、人工地表域が冷気流に及ぼす影響に関してパラメータ解析を行った。

7.4.1　植生量の影響

植生量の違いが冷気流の規模に与える影響を検討することを目的として、葉面積指数LAIと植生被覆率σ_fに関するパラメータ解析を行なった。操作パラメータ以外の計算条件については、7.3.2の単純斜面（裸地）を想定した基本計算と同一である。

LAI=1.0，4.0，7.0，10.0に対してσ_f=0.0，0.3，0.6，0.9とした場合の、山頂から100mの地点における流出冷熱量を比較した結果を図7.9に示す。なお、σ_f=0.0は裸地状態を意味

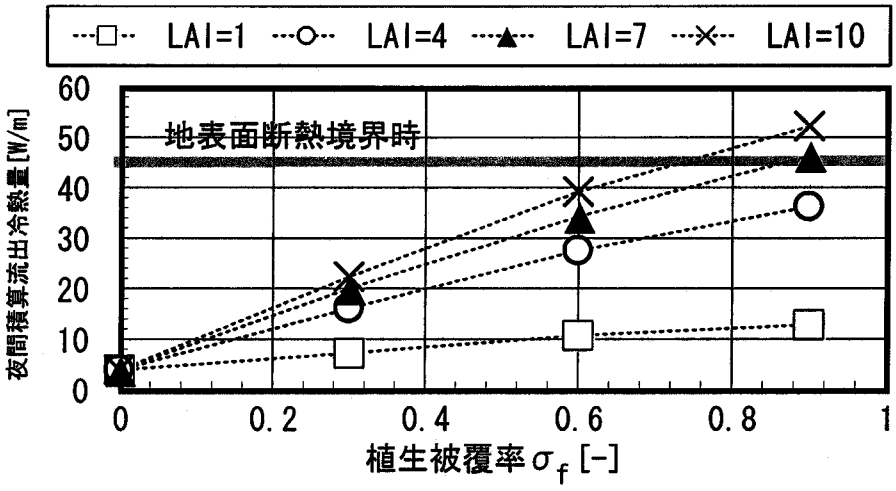


図7.9　植生規模の違いが流出冷熱量に与える影響

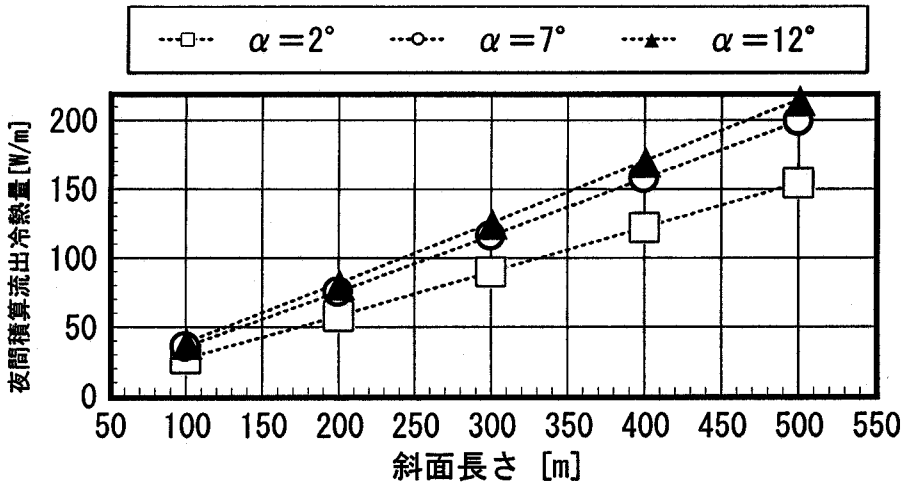


図7.10　斜面長・傾斜角の違いが流出冷熱量に与える影響

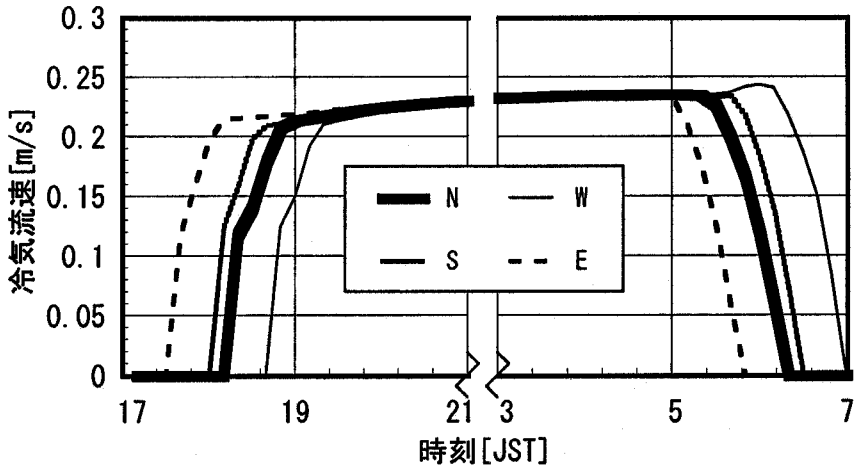


図7.11　傾斜方向の違いが冷気流発生時間に与える影響

する。参考として地表面を断熱境界面とし、地表面が受けた全放射冷却熱量が斜面下部に流出することを想定した結果を併せて示す。σ_f=0.9（植生被覆率90%）の場合、LAI=7.0程度で断熱境界状態とほぼ等しい冷気生成能力を有することが示された。この状態は落葉樹林の葉が充分茂った状態に相当する[7.18]。植生被覆率や葉面積指数が大きくなるに従って斜面下部への流出冷熱量は増加しているが、特に裸地に比べると草地（σ_f=0.9, LAI=4.0）[7.18]では約4倍、森林（σ_f=0.9, LAI= 7.0）[7.18]では10倍以上の流出冷熱量が期待できる。

7.4.2　斜面形状の影響

斜面形状の違いが冷気流の規模に与える影響を検討することを目的として、斜面長さと傾斜角、傾斜方向に関するパラメータ解析を行った。なお、ここでも操作パラメータ以外の計算条件については、7.3.2の単純斜面（草地）を想定した基本計算と同一である。

斜面長=100m, 200m, 300m, 400m, 500mに対して傾斜角=2°, 7°, 12°とした場合の、山頂から100mの地点における流出冷熱量を比較した結果を図7.10に示す。斜面長さについては流出冷熱量に対してリニアな関係が認められたが、傾斜角に関しては7°と12°の間に顕著な違いが認められなかった。これは、傾斜角が増加すると単位面積あたりの放射冷却量が減少するため、地表面（植生を含む）からの供給冷熱量が減少することによる。なお、冷気流の発生時間帯についてはわずかな違いにとどまった。

次に、傾斜方位の違いについて検討した結果を図7.11に示す。方位の影響は主として冷気流発生時間の違いに表れており、発生時刻に関しては東向きと西向きの間に約1時間の違い（東向き17:32、西向き18:47）が生じた。居住地域への冷熱源として冷気流を評価する場合には、この冷気流発生時刻に関しても重要な評価事項になると考えられる。但し、西向きでは消滅時刻が1時間ほど遅れるため、積算発生時間では発生時刻と相殺することによってほとんど違いが認められない。また、冷気流速や冷気層厚さについても差はごくわずかであるため、夜間の積算流出冷熱量に関しても、北向きに対して南向きは4%増、西向きは2%増、東向きは3%増とわずかな違いにとどまった。

7.4.3　人工排熱の影響

冷気流が自然地表域から人工地表域へ流出する際の各特性の変化に関しては、冷気流を気候資源として評価する際に重要な問題となる。ここでは単純な仮想斜面上を冷気流が滑降し、その後住宅地へ流出した場合の冷気流特性の変化について検討することを想定して、冷気層内に人工排熱を付加した場合の影響を検討した。

対象斜面の斜面方位は北向き、傾斜角は7°とした。表7.1に示すように、斜面上の土地利用は斜面上方から森林・草地・裸地・人工地表（コンクリート面）の順に設定した。なお、各

表7.1　計算条件

土地利用	森林	草地	裸地	人工地表
範囲 [m]	山頂～100	101～150	151～200	201～300
σf	0.9	0.9	0.1	0
LAI	7	4	4	-
Xg [-]	1	1	1	1～4
人工排熱 [W/㎡]	0	0	0	0～25

土地利用を表現するパラメータには表7.1に示す値を用いた。森林および草地については、90%の面積率においてそれぞれ樹木類および草類が、裸地については、10%の面積率において草類が生い茂っている状態を想定した。人工排熱に関しては、建物や交通からの排熱を想定して、単位面積あたり0Wから25Wの発熱を各CVの熱収支式に付加した。その他の計算条件については、7.3.2の単純斜面を想定した基本計算に関する計算条件と同一とした。

人工排熱を付加した場合の斜面下降方向の冷気流特性変化について、冷気層内平均温度分布を図7.12に、冷気層内平均流速分布を図7.13に示す。なお、いずれも午前0時の結果を示している。森林から流下してきた冷気流は、草地や裸地に到達すると摩擦応力の減少により流速が増加する。その後、人工地表域へ侵入する際に、人工排熱を付加することによって冷気層内の平均温度が急激に上昇した。午前0時の周囲大気温度は22.8℃であるが、人工排熱を25W/m²付加させた場合には住宅地境界から300m程度、人工排熱を付加しない場合でも500m程度で冷気流が消滅すると推測される[注7.4)]。なお、人工排熱の付加による冷気流速の変化はわずかであった。

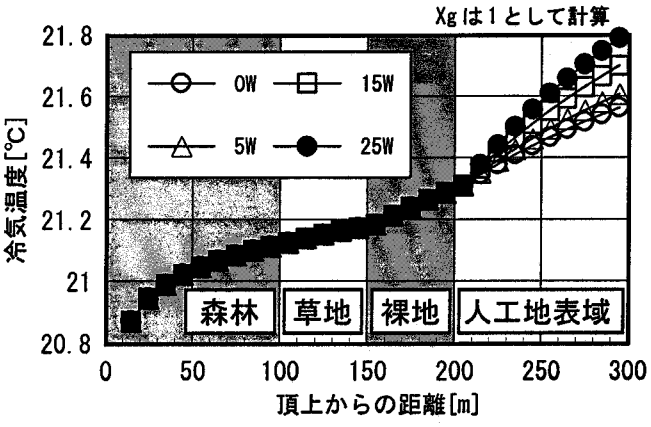


図7.12　人工排熱の付加が冷気温に及ぼす影響（午前0時）

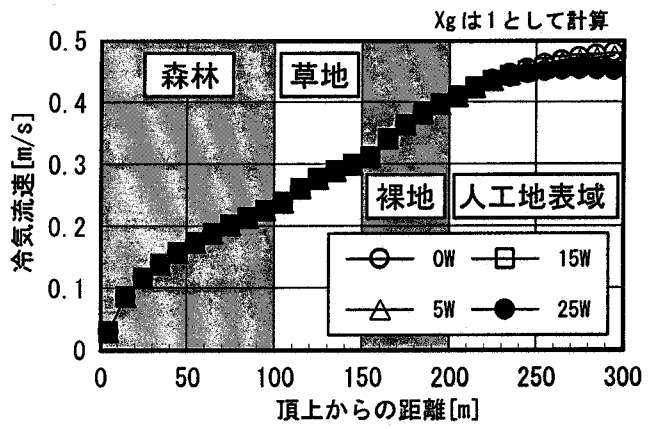


図7.13　人工排熱の付加が冷気流速に及ぼす影響（午前0時）

7.4.4　抵抗係数C_{HG}の影響

ここでは前節と同様、単純な仮想斜面上を冷気流が滑降し、その後住宅地へ流出した場合の冷気流特性の変化について検討することを想定して、地表面の粗滑状態を表現する抵抗係数を増加した場合の影響を検討した。例えば、住宅地など

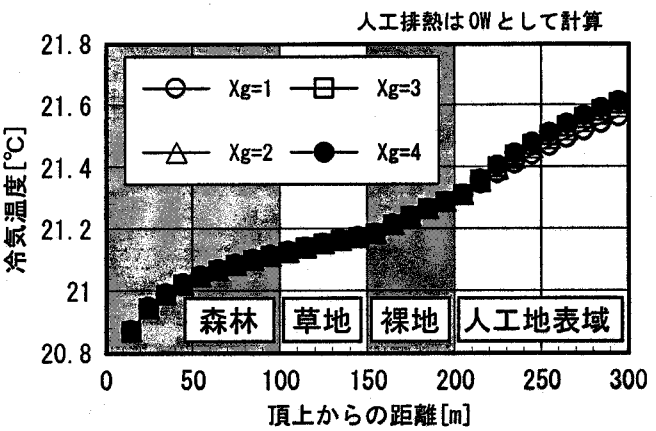


図7.14　抵抗係数の増加が冷気温に及ぼす影響（午前0時）

注7.4）人工地表域内を冷気流が流れると、徐々に冷気温度が上昇することによって、冷気温度が周囲大気温度（環境温度）よりも高くなる地点が必ず生じる。本モデルではその時点で冷気流が消滅したと判断し、その地点を冷気流消滅地点として定義している。

では、森林キャノピーと同様に地物周りで複雑な気流場が発生することが予想されるが、ここでは住宅などの地表地物による抵抗に関しては、X_gを1から4まで増加する、すなわち地表面における抵抗係数を平滑面状態から、その4倍まで段階的に増加させることによって表現した[注7.5]。対象斜面の斜面方位は北向き、傾斜角は7°とした。表7.1に示すように、斜面上の土地利用は斜面上方から森林・草地・裸地・人工地表（コンクリート面）の順に設定した。その他、操作パラメータ以外の計算条件については、7.3.2の単純斜面を想定した基本計算に関する計算条件と同一とした。

抵抗係数を増加した場合の斜面下降方向の冷気流特性変化について、冷気層内平均温度分布を図7.14に、冷気層内平均流速分布を図7.15に示す。なお、いずれも午前0時の結果を示している。抵抗係数を増加することによって、図7.15に示すように冷気流速が急速に弱まる傾向が見られた。なお、抵抗係数の増加による冷気温の変化はわずかであった。

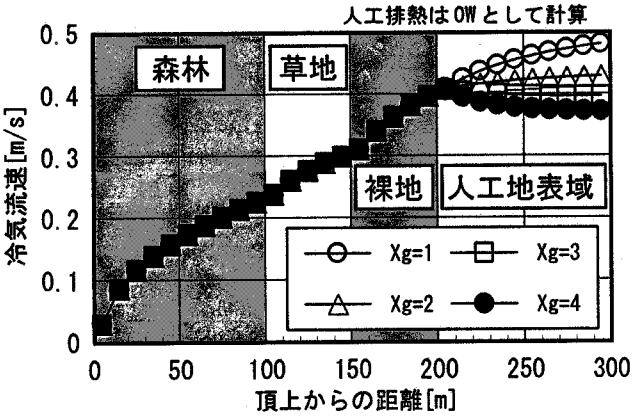


図7.15　抵抗係数の増加が冷気流速に及ぼす影響（午前0時）

7.5　CFDモデルによる住宅地域への影響に関する検討

前節までに構築した冷気流モデルによって、斜面方位や傾斜角、さらには土地利用状況の違いが冷気流の規模に与える影響を簡易に予測することが可能となった。但し、本モデルは斜面直角方向への相似分布を前提とする1次元的なモデルであるため、例えば建物配列の相違が冷気流へ及ぼす影響や室内における自然通風効果等を推定することは困難である。そこで本節では、上述の冷気流モデルで作成された鉛直プロファイルを流入境界条件とし、k-ε型の乱流モデルを採用したCFDモデルを用いて、建物の配置形態や隣棟間隔の違いが冷気流に及ぼす影響について試行的な評価を試みた[注7.6]。

7.5.1　解析モデルの概要

本研究では、大西ら[7.20]が開発した熱・気流解析コード「SCIENCE」をベースモデルとして採用する。「SCIENCE」は有限差分（体積）法、SIMPLEアルゴリズム、標準k-ε型乱流モデルを採用しており、壁面の境界条件として対数則に基づく壁関数を採用している。なお、「SCIENCE」は室内環境解析用として開発されたモデルであることから、本研究では建物周辺

注7.5）本研究では抵抗係数に関するパラメータ解析として、平滑面状態を示すXg=1から段階的にXg=4まで増加させた場合の影響を検討したが、この検討はあくまでもパラメータスタディーであり、それぞれの値が具体的にはどのような状態（人工地物の高さや密度）を示すかは未知である。これらの値の絶対値に関しては、今後更なる検討を行う必要がある。

注7.6）本節で実施するモデル解析では、比較的単純な建物配置形態を想定して、住宅地域通過後の冷気流の減衰状況や自然通風活用効果に関する検討を行う。建物のファサードに関する詳細な検討や現実的な住棟計画を対象とした解析も本モデルで実施することは十分に可能であるが、ここではあくまでも構築した連成モデル自身の評価を主たる目的としているため、単純な建物配置形態のみの解析にとどめるものとする。

気流の解析に適するようにいくつかの改良を行った（詳細は7.5.2を参照のこと）。

7.5.2 計算方法

7.5.2.1 計算対象

本研究では計算対象として、流入軸に対して正対する方向（図7.16中のX方向）に建物想定障害物（高さ6m×両幅8m）が3列配置された状況を想定しているが、計算領域の拡大（図7.16中のY方向への）は非常に多大の計算負荷を要することから、本研究では流入軸に対して直角方向（図7.16中のY方向）に3つ（千鳥配置条件では一部4つ）の建物を設定し、中央建物において通風可能量等の評価を行うものとした。なお、Y方向に5つの建物を設置した場合についても一部の条件で計算を行い、予測評価結果に大きな違いがないことを確認している。

配置条件として、流入軸方向（X方向）で建物配置にずれのない「整列配置」条件と2列目の建物のみ千鳥格子状に位置をずらした「千鳥配置」条件の2種類を設定した。また、隣棟間隔については、間隔が4mの場合および2mの場合の2種類を設定した。計算対象建物については、いずれの条件においても同一の形状・サイズとし、配置形態や建物間隔のみを変化させるものとした。表7.2に設定した計算条件を示す。隣棟間隔4mの場合の想定建蔽率は44%であり、概ね第1種低層住居専用地域並みの密度に相当する。隣棟間隔2mの場合の想定建蔽率

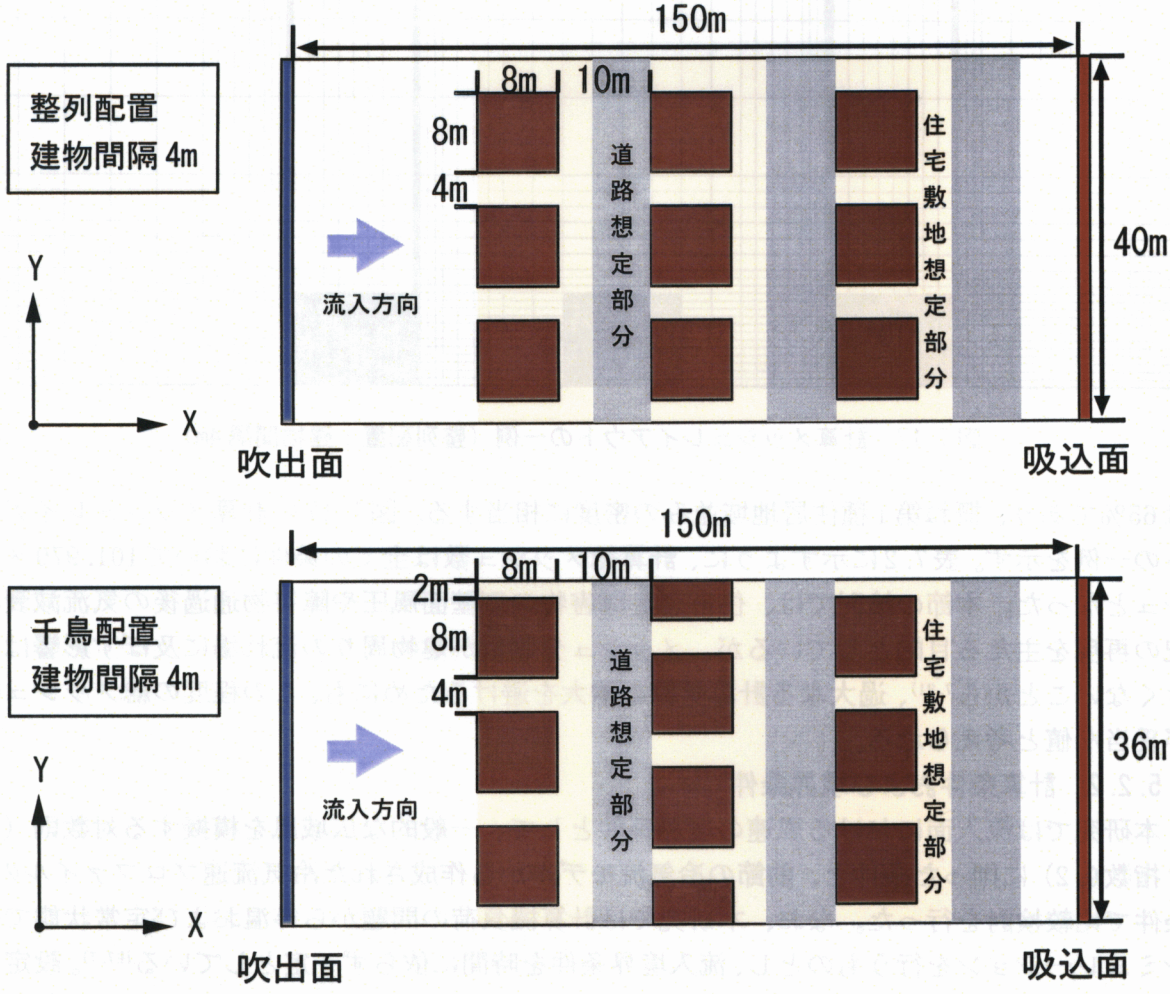


図7.16 計算対象の設定および計算領域の関係

表7.2　計算領域に関連する数値

配置条件	隣棟間隔	想定建蔽率	領域長さ	解析メッシュ数	総メッシュ数
整列	4m	44%	50m×150m×40m	33×103×30	101970
整列	2m	64%	50m×150m×32m	33×103×30	101970
千鳥	4m	44%	50m×150m×36m	33×103×30	101970
千鳥	2m	64%	50m×150m×30m	33×103×30	101970

方向は(高さ)×(主流軸)×(幅)

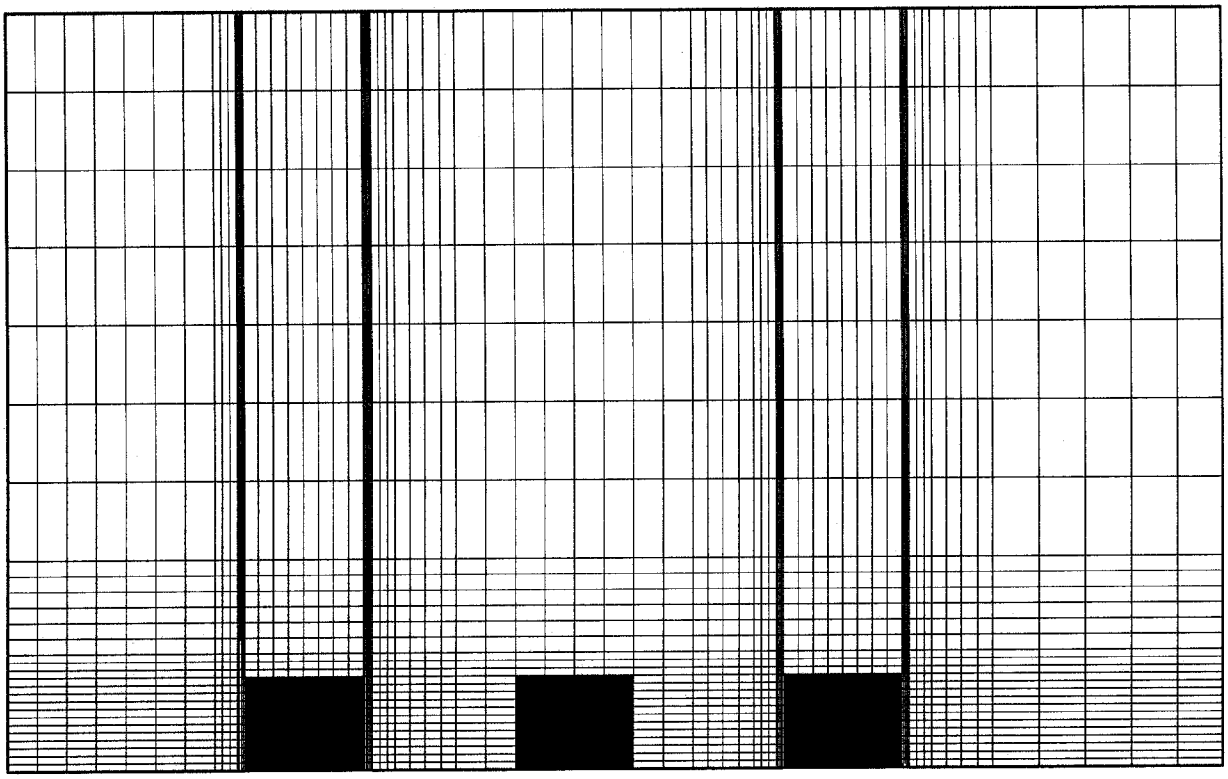


図7.17　計算メッシュレイアウトの一例（整列配置：建物間隔4m）

は65%であり、概ね第1種住居地域並みの密度に相当する。図7.17に計算メッシュレイアウトの一例を示す。表7.2に示すように、計算総メッシュ数は全ての条件において101,970メッシュとなった。本節の検討では、住宅想定障害物の側壁面風圧や障害物通過後の気流減衰状況の再現を主たる目的としているが、メッシュ分割数が建物周りの流れ場に及ぼす影響は大きくないことから[7.21]、過大なる計算負荷の増大を避けるためにも、この程度の総メッシュ数が妥当な値と考えられる。

7.5.2.2　計算条件および境界条件

本研究では流入面における風速の境界条件として、一般的な広域風を模擬する対数則（べき指数0.2）に則った条件と、前節の冷気流モデルから作成された冷気流速プロファイルの2条件で比較検討を行った。なお、本研究では計算機負荷の問題から等温および定常状態でのシミュレーションを行うものとし、流入境界条件を時間に依らず一定としている[注7.7]。設定風速に関して、対数則条件では基準高さ15mにおける風速を2.0mとした。また、冷気流条件で

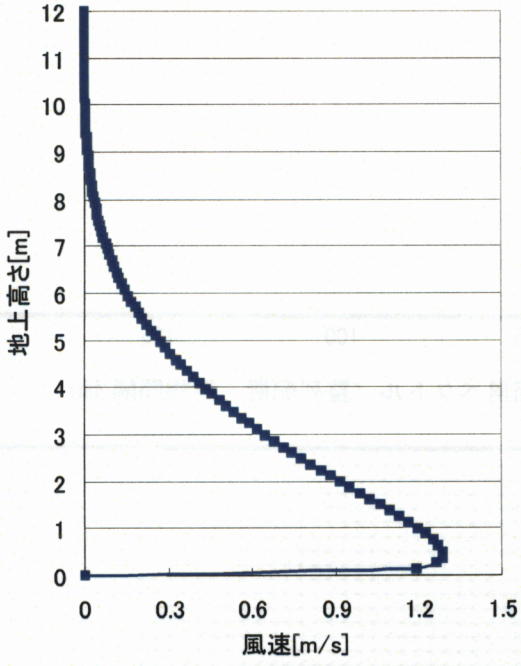


図7.18 冷気流速鉛直プロファイル

表7.3 各種境界条件

流入面	$u(Z)$: 計算値 $k(Z)$: 0.01 $l(Z)=(C_\mu k(Z))^{\frac{1}{2}}(\partial u_T/\partial Z)^{-1}$ $\varepsilon(Z)=C_\mu k(Z)^{\frac{3}{2}} l(Z)^{-1}$
流出面	$u,k,\varepsilon : \partial/\partial Z = 0$
壁面	壁面せん断応力 $\frac{u_p}{(\tau_w/\rho)} C_\mu^{\frac{1}{4}} k_p^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\kappa}\ln\left[Ey_p \frac{C_u^{\frac{1}{4}} k_p^{\frac{1}{2}}}{\nu}\right]$ 壁に接するセルの ε $\bar{\varepsilon} = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k_p^{\frac{3}{2}}}{\kappa y_p}\ln\left[Ey_p \frac{C_u^{\frac{3}{4}} k_p^{\frac{3}{2}}}{\nu}\right]$ k方程式中の ε $\varepsilon_p = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k_p^{\frac{3}{2}}}{\kappa y_p}$

は、7.4.3で再現したσ_fが0.9およびLAIが7.0の条件（森林状態を想定）において、冷気流強度がピークとなる時間帯の鉛直流速プロファイルを流入境界条件としてCFDモデルに与えた。図7.18に冷気流条件の鉛直流速プロファイルを示す。その他の各種境界条件は表7.3に示す通りである。時間ステップはクーラン数の安定条件[7.22]を考慮して0.01秒に決定した。なお、時間ステップ0.01秒で周期定常計算を行い、定常状態に至るまでには20,000回程度の時間ステップを必要とした。

7.5.2.3 乱流モデル

建物周辺気流に対して標準k-ε型の乱流モデルを適用する場合、建物風上側コーナー付近におけるkの過大生産により、特に屋根面付近の剥離域や逆流が小さくなることが知られており、様々な改良型乱流モデルが提案されている[7.23]。本研究で採用した「SCIENCE」は標準k-ε型の乱流モデルを使用していることから、代表的な改良モデルである村上ら[7.23]によるMMKモデルに変更を行った上で以降の各種検討を行った。

7.5.3 計算結果

7.5.3.1 住宅想定障害物通過後の気流減衰状況

図7.19に隣棟間隔4mで千鳥配置を行った場合の冷気流プロファイル時の中央断面風ベクトルを、図7.20に同様の条件下での対数則プロファイル時の中央断面風ベクトルをそれぞれ示す。冷気流プロファイルの結果から、第1列目の建物に衝突した冷気流は上空へ広く拡散する

注7.7) 例えば、冷気流プロファイルの千鳥配列（2m間隔）条件を対象として等温・定常計算を行うためには、Intel Xeonプロセッサー（2.40GHz）を用いてほぼ72時間の計算時間を要する。冷気流は密度流であることや、例えば住宅等からの人工排熱を考慮するためには非等温場での計算が、また、資源としての価値を評価するためには、住宅内での生活スケジュール等を考慮に入れた非定常計算を行うことが望ましい。この点に関しては、今後更なる検討を行う必要がある。

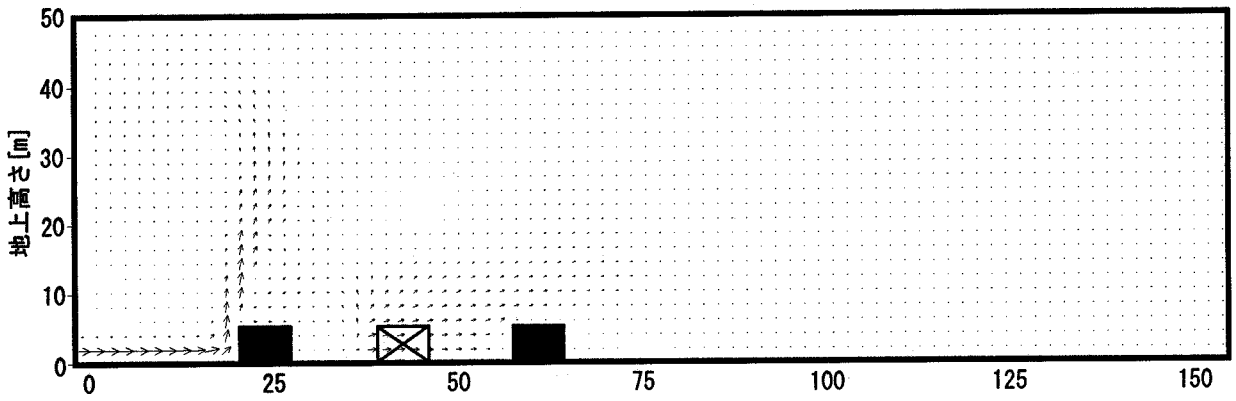


図7.19　冷気流プロファイル時の中央断面風ベクトル（整列配置：建物間隔4m）

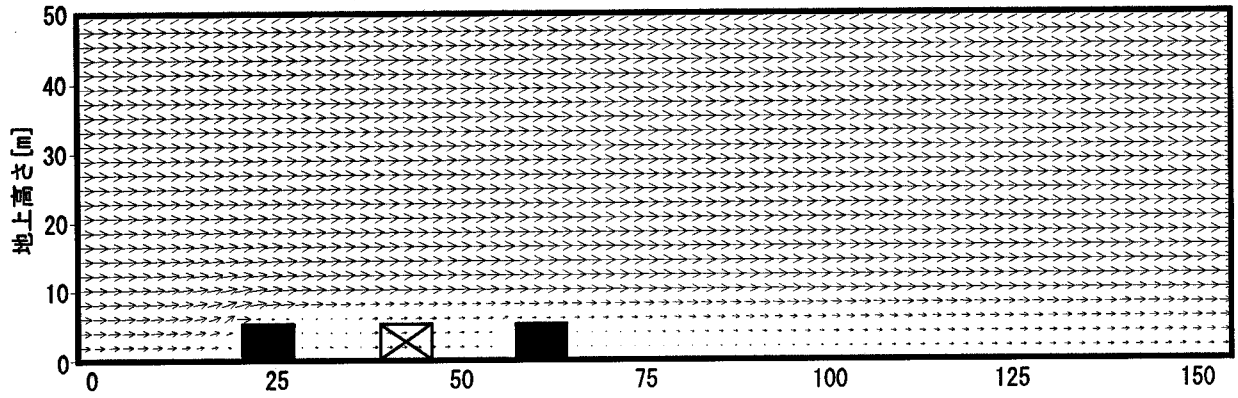


図7.20　対数則プロファイル時の中央断面風ベクトル（整列配置：建物間隔4m）

様子が伺える。第2列目の建物間を通り抜ける風に関しても、第3列目の建物に衝突することによって、第3列目以降の空間ではほとんど無風状態となることがわかる。一方で、対数則プロファイルの場合には、冷気流プロファイルと同様に第3列目以降の地表面近傍風速は建物の影響を受けて減衰しているが、流入面から125m付近で上空風が地表に再付着し、再度風速が強まる傾向が見受けれられる。

図7.21に各建物配置条件における冷気流プロファイル時の流入面および建物通過後（流入面から100mの位置）の風速分布を示す。流入面における結果から示されるように、冷気流は地表面近傍に最大流速を示す非常に薄い層で形成されていることから、地表上の地物（ここでは建物）の影響を受けて、各建物通過後にはほぼ減衰してしまうことがわかる。特に、千鳥配置の場合には顕著であり、流入面から100mの位置における流速はほぼ0に近い値を示す。整列配置の場合には、建物の隙間を通過した気流の影響を受けて、若干ではあるが建物通過後にも弱い風速を示しており、その傾向は建物間隔が広い条件で顕著である。

図7.22に対数則プロファイル時の流入面および建物通過後（流入面から100mの位置）の風速分布を示す。対数則条件においても、建物の影響を受けて建物通過後には地表面付近の風が弱まっている様子が伺える。但し、上空部分の風が強い勢力を保っているため、図7.20で示したように、次第に地表付近の減衰が抑えられるものと推測される。対数則条件においては、整列配置条件と千鳥配置条件間の差や、隣棟間隔による流出面風速の違いは顕著には見受けられなかった。

以上の結果から、冷気流プロファイル条件では対数則条件のように上空からの補償流（再

付着流）が期待できないため、建物などの地表面地物によって減衰された場合には再生することが非常に困難であることや、障害物を通過した後の気流性状には建物の配置条件や隣棟間隔が強く影響することが示された。以上の結果からも、冷気流が卓越している地域において、建物後流域への影響を最大限に抑える必要がある場合には、特に建物の配置形態や密度に対する考慮を必要とすることが示された。

7.5.3.2 各条件下で期待される自然通風効果

ここでは、各条件下において住宅想定障害物で期待される自然通風効果に着目した検討を行う。対象住宅については、図7.23に示すように流入軸に正対する2壁面の1階部分と2階部分のそれぞれ中央に2㎡の開口が設置された状況を想定した。通風量を計算する際の開口部流量係数は0.6とし、ベルヌーイの法則に従って建物の壁面圧力差から推定した。なお、壁面風圧は計算対象領域のY方向中央に位置する建物想定障害物での値を用いた。

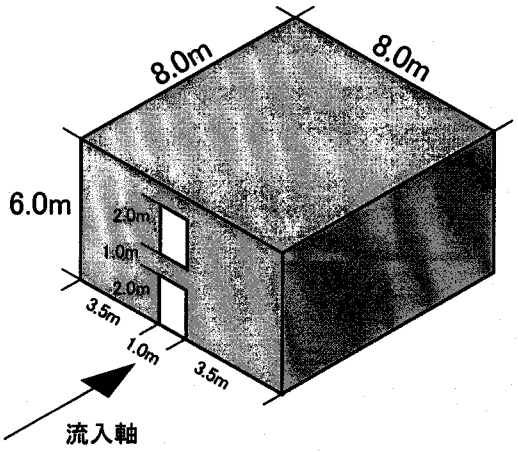


図7.23 自然通風量計算対象住宅

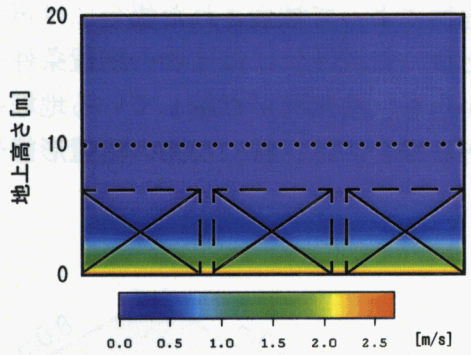
表7.4に各条件間の自然通風量を比較した結果を、図7.24に第1列目建物の自然通風量に対する第3列目建物の減衰率を各条件間で比較した結果を示す。その結果、同一配置条件であれば建物間隔を狭めた場合に減衰率が高くなること、千鳥配置条件ではやや減衰率を抑えることが可能であることが示された。冷気流条件と対数則条件間の比較に関しては、ほぼ全ての配列・隣棟間隔条件で冷気流条件の減衰率が高くなっており、先の建物後流域における風速の減衰状況と同様、建物の影響を強く受けやすいことが示された。2階部分の減衰率が大きいことも冷気流条件の特徴である。

図7.25に冷気流条件の建物壁面における風圧分布を、図7.26に対数則条件の結果をそれぞれ示す。表示の対象とする建物想定障害物は先述の通りである。第1列目建物における壁面風圧予測結果が配置条件および隣棟間隔条件によらず、いずれも同じ値を示すのは自明の結果であるが、第3列目建物における結果に関して、千鳥配置条件では第2列目の隙間を流出して

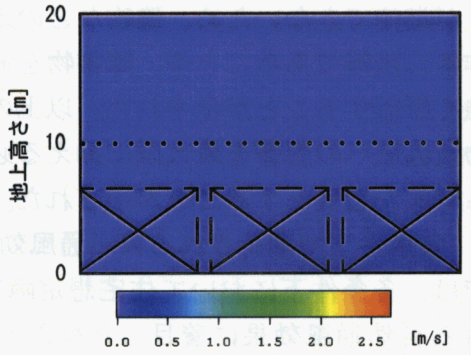
表7.4 各条件間の室内通風量比較結果

配置条件	隣棟間隔	冷気流プロファイル				対数則プロファイル			
		第1列目		第3列目		第1列目		第3列目	
		1F	2F	1F	2F	1F	2F	1F	2F
整列	4m	11.6	6.7	1.6	1.9	12.5	13.4	3.1	4.4
整列	2m	11.7	6.9	1.3	1.4	12.6	13.2	1.4	3.3
千鳥	4m	11.7	6.9	2.8	2.9	12.8	13.7	5.1	5.4
千鳥	2m	11.7	7	0.7	1.5	12.7	13.4	2.3	3.1

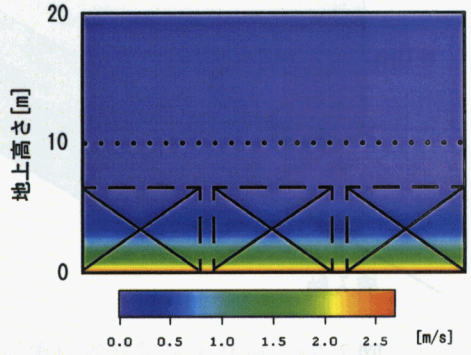
[単位：m^3/s]



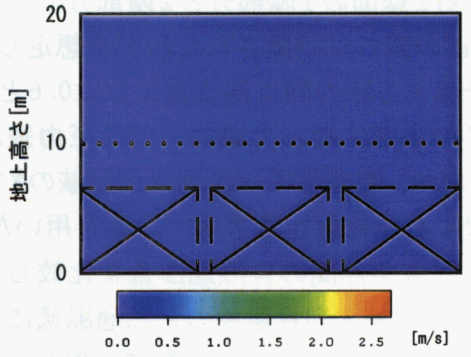
a)　流入面風速（千鳥：建物間隔 2m）



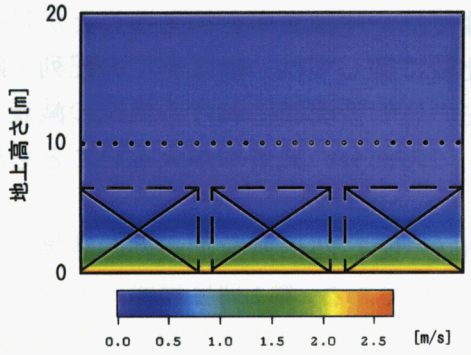
b)　建物通過後風速（千鳥：建物間隔 2m）



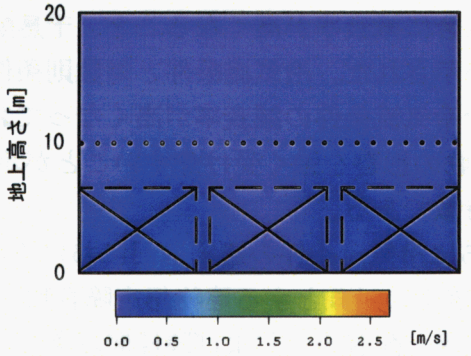
c)　流入面風速（千鳥：建物間隔 4m）



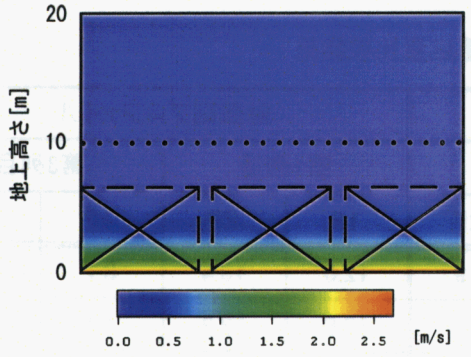
d)　建物通過後風速（千鳥：建物間隔 4m）



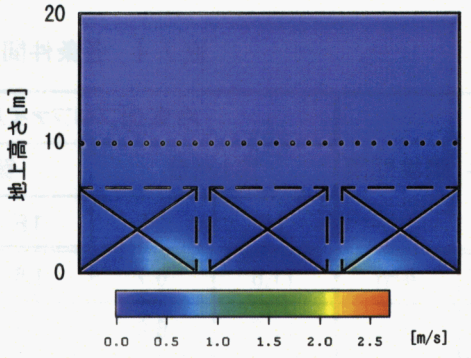
e)　流入面風速（整列：建物間隔 2m）



f)　建物通過後風速（整列：建物間隔 2m）

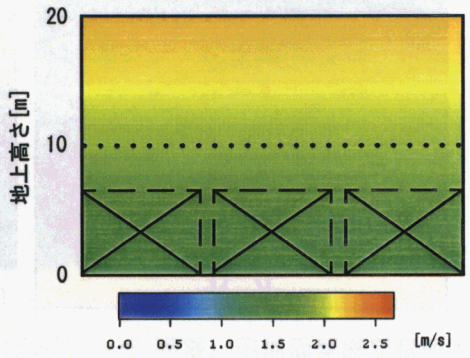


g)　流入面風速（整列：建物間隔 4m）

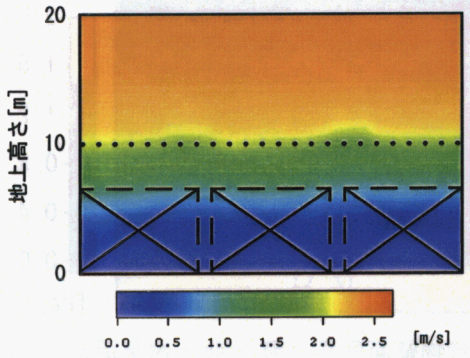


h)　建物通過後風速（整列：建物間隔 4m）

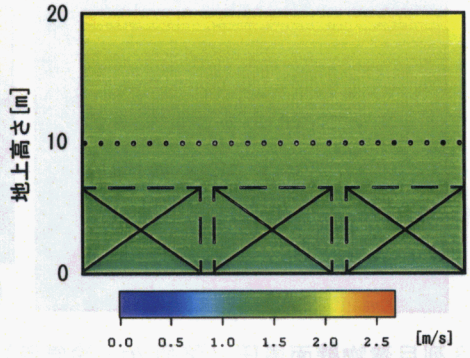
図 7.21　冷気流プロファイル時の流入および流出面風速分布



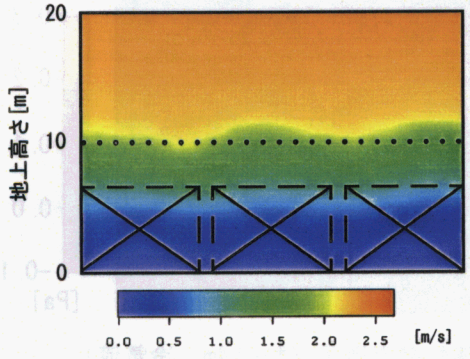
a)　流入面風速（千鳥：建物間隔 2m）



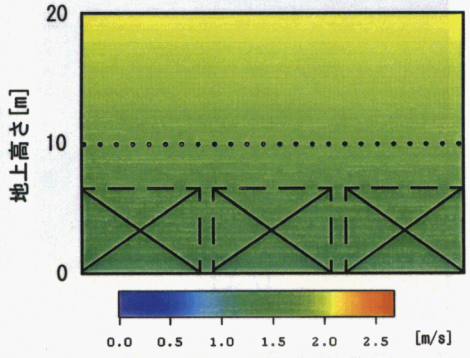
b)　建物通過後風速（千鳥：建物間隔 2m）



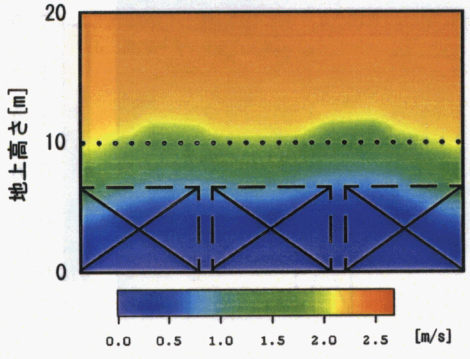
c)　流入面風速（千鳥：建物間隔 4m）



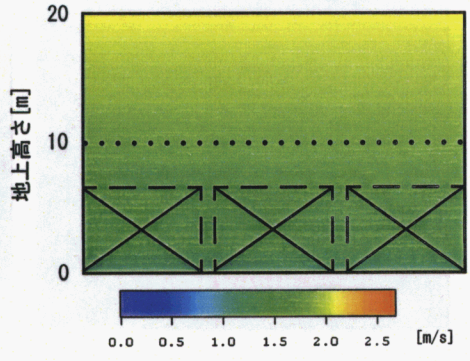
d)　建物通過後風速（千鳥：建物間隔 4m）



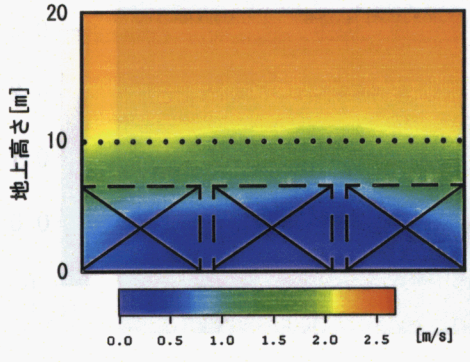
e)　流入面風速（整列：建物間隔 2m）



f)　建物通過後風速（整列：建物間隔 2m）



g)　流入面風速（整列：建物間隔 4m）



h)　建物通過後風速（整列：建物間隔 4m）

図 7.22　対数則プロファイル時の流入および流出面風速分布

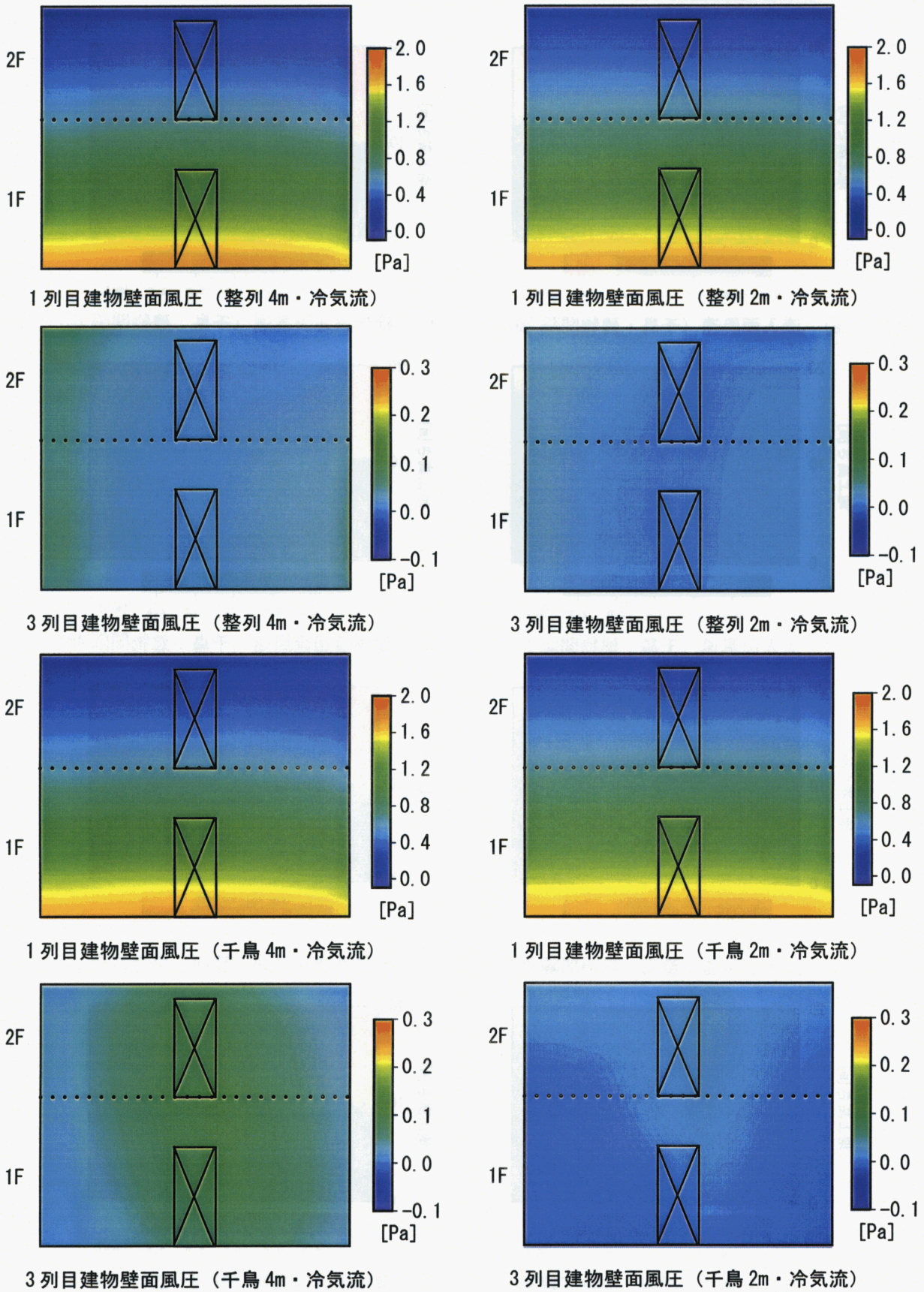


図7.26　冷気流プロファイル時の各壁面風圧分布

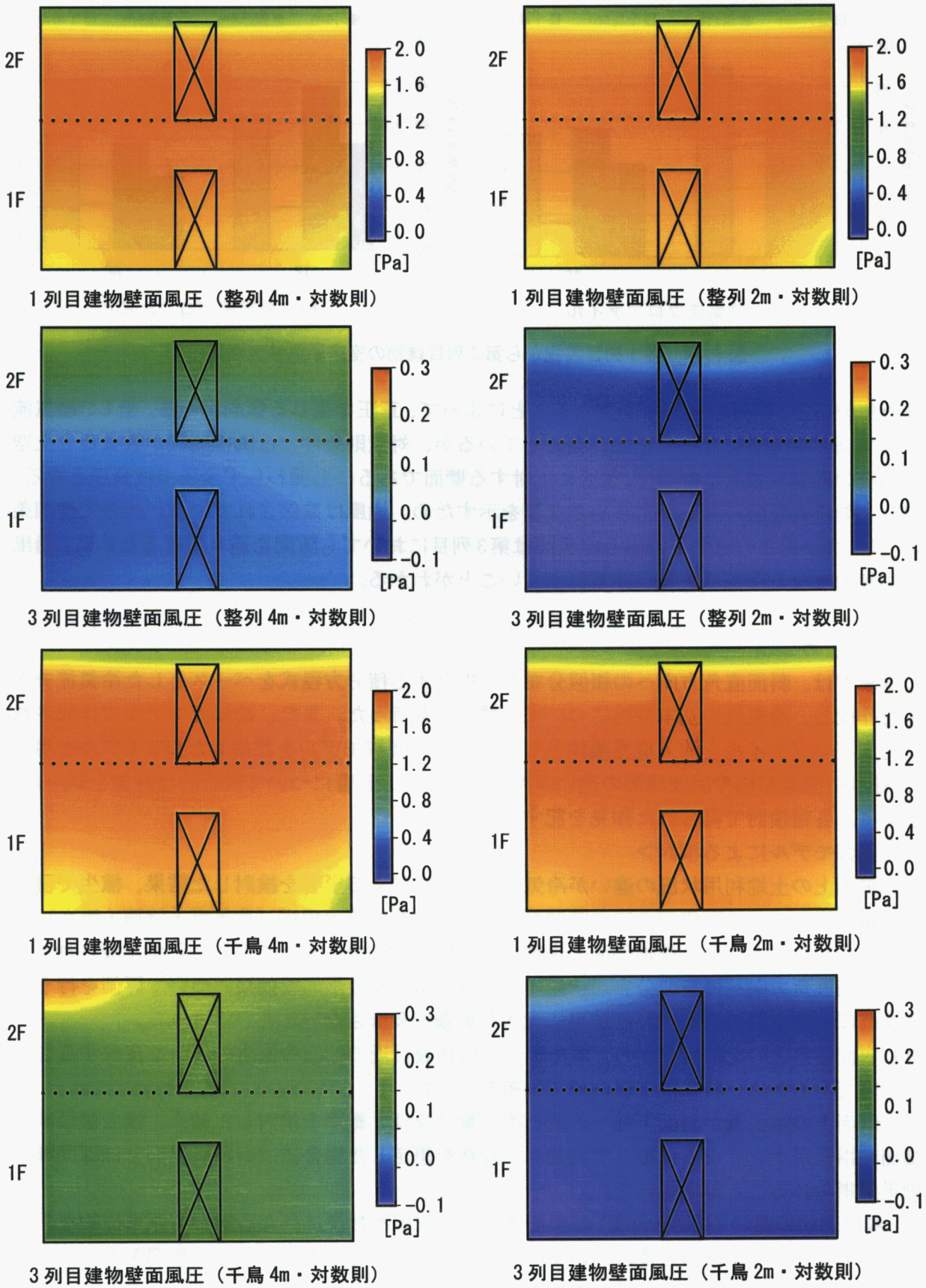
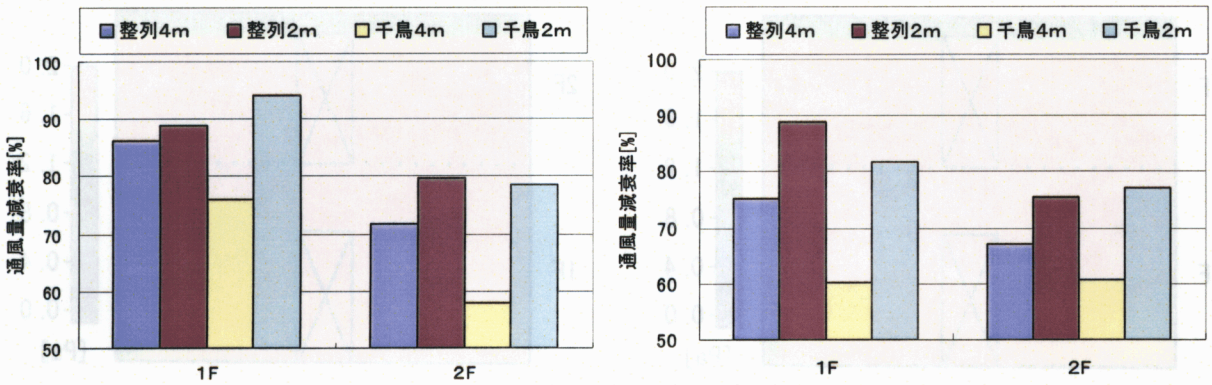


図7.27 対数則プロファイル時の各壁面風圧分布



a)　冷気流プロファイル　　b)　対数則プロファイル

図7.24　第1列目建物から第3列目建物の室内通風量減衰比率

きた気流が第3列目の壁面に衝突することによって、正圧を生じる傾向がある。但し、冷気流条件では隣棟間隔によらず正圧が発生しているが、対数則条件では隣棟間隔が狭まると上空剥離流の影響が強まる影響で、気流に正対する壁面であるにも関わらず全圧では負圧となる。但し、後流側壁面の全圧がより小さな値を示すため、通風は確保されている。一方で整列条件では、第2列目の隙間を流出した気流は第3列目においても隙間を通り抜けるために、通風の駆動力となる壁面風圧差が非常に小さいことがわかる。

7.6　まとめ

本章では、斜面直角方向への相似分布を前提とする積分方程式をベースとした冷気流モデルを作成し、冷気流の基本特性について各種検討を行った。また、冷気流モデルで作成された鉛直プロファイルを流入境界条件とし、k-ε型の乱流モデルを採用したCFDモデルを用いて、建物の配置形態や隣棟間隔の違いが冷気流に及ぼす影響について試行的な評価を試みた。以下に、各種検討で得られた知見を記す。

＜冷気流モデルによる検討＞

1）斜面上の土地利用状況の違いが冷気流の特性に与える影響を検討した結果、植生で覆われた斜面においては冷気流の吹走時間が長い上に、冷気流の規模（冷気温・流速・厚さ）も増大していることから、裸地斜面と比較して冷気生成能力に優れていることが示唆された。

2）斜面直角方向への相似分布形状については、冷気流の熱的な効果について評価を行うのであれば、分布型の仮定は評価結果に大きな影響を及ぼさないことが示された。

3）実測結果との比較結果から、本モデルでは地表付近の凹凸や植生の形状を反映することが困難であるため、特に植生層内部で誤差を生じた。

4）斜面上の植生量が斜面下部への流出冷熱量に及ぼす影響を検討した結果、植生被覆率や葉面積指数が大きくなるに従って増加し、森林を想定した場合には断熱境界面とほぼ同等の効果が得られることが示された。

5）斜面形状の違い（長さ・角度）が斜面下部への流出冷熱量に与える影響を原単位的なデータとして整備した。傾斜方位については、発生時間帯に変化を生じるが、夜間を通した積算冷熱量はわずかな違いにとどまることが示された。

6）冷気流が自然地表域から人工地表域へ流出する際の特性変化を想定して、人工排熱や抵

抗係数に関する感度分析を行った結果、人工排熱は冷気温度に対して、抵抗係数は冷気流速に対して強い影響を及ぼすことが示された。

＜CFDモデルによる検討＞

1）冷気流は非常に薄い層で形成されており、対数則プロファイル条件とは異なって上空からの補償流（再付着流）が期待できないことから、建物などの地表面地物によって減衰された場合には再生することが困難であることが示された。

2）建物配置を千鳥格子化することによって、建物内で得られる自然通風量を増加させることは可能であるが、その際には住宅後流域での気流が弱まることに注意を払う必要があり、その傾向は特に冷気流条件で強く当てはまることが示された。

本章での検討結果から、傾斜地における緑地保全の重要性を改めて示すことが可能となった。特にモデル解析の結果から、冷気流発生源の地表面状態が裸地や人工面に改変された場合には、冷気流の規模が顕著に縮小する（発生時間の遅れ、冷気温上昇、流速低下）ことが予測されており、冷気の源となる斜面上方の自然は可能な限り保全し、やむを得ない場合には可能な限り人工植栽を施すなどの配慮が望まれる。また、冷気流は自然地内で強く卓越する一方で、地表面上の地物の影響を強く受け、減衰された場合には再生することが非常に困難であることが予測されていることから、冷気流が卓越している地域において新たに住宅等を建設する場合には、特に建物の配置形態や密度に対する考慮を行うとともに、後流域への配慮を目的として冷気流流出方向のメインロードや緑道を設置する等の配慮が望まれる。

参考文献

7.1) C.J.Nappo and K.S.Rao : A model study of pure katabatic flows、Tellus、No.39A、pp.61-71、1987

7.2) Prandtl,L. : Fuhrer durch die Stromungslehre、Viehweg & Sohn、Braunschweig、pp.373-375、1942

7.3) Defant,F. : Zur theorie der hangwinde, nebst bemerkungen zur theorie der berg- und talwinde、Arch.Meteorol.Geophys.Biokl、Springer-Verlag、pp.421-450、1949

7.4) Lettau,H.H. : A case study of katabatic flow on the south polar plateau、Studies in antarctic meteorology, M.J.Rubin ed. Antarc.Res.Ser.9、Amer.Geophys.Union、pp.1-11、1966

7.5) Kondo,J and T.Sato : A simple model of drainage flow on a slope、Boundary Layer Meteorol.、43、pp.103-123、1988

7.6) Gutman,L.N. : Introduction to the nonlinear theory of mesoscale meteorological processes、TT 71-50132,NTIS,Springfield,VA、pp.224、1972

7.7)Ellison,T.H. and Turner,J.S. :Turbulent entrainment in stratified flows、J.Fluid Mech、No.6、pp.423-448、1959

7.8) Fleagle,R.G. : A theory of air drainage、J.Meteorol、No.7、pp.227-232、1950

7.9) Manins,P.C. and B.L.Sawford : A model for katabatic winds、J.Atmos.Sci、No.36、pp.619-630、1979

7.10) Briggs,G.A. : Canopy effects on predicted drainage flow characteristics and comparisons with observations、Proc.5th Symp.on Turb.and Diff.、

Atlanta. Amer. Meteorol. Soc、pp. 113-115、1981
7.11) McNider, R. T. and Pielke, R. A. : Numerical simulation of slope and mountain flows、J. Clim. Appl. Meteorol、No. 23、pp. 1441-1453、1984
7.12) Yamada, T. : A numerical simulation of nocturnal drainage flow、J. Meteorol. Soc. Japan、No. 59、pp. 108-122、1981
7.13) G. Schadler and A. Lohmeyer : Simulation of nocturnal drainage flow on personal computers、Meteorol Zeitschrift、N. F. 3、pp. 167-171、1994
7.14) 小林哲夫：冷気流が作り出す斜面温暖帯、局地気象研究会講演論文集、No. 13、pp. 23-30、1997
7.15) Deardorff J. W. : Efficient prediction of ground surface temperture and moisture with inclusion of a layer of vegetation、J. Geophys. Res、Vol. 83、pp. 1889-1903、1978
7.16) H. Schlichting : Boundary Layer Theory、Verlag G. Braun, Karlsruhe、p. 598、1968
7.17) Bhumralker C. M. : Numerical experiments on the computation of ground surface temperture in an atmospheric general circulation model、J. Appl. Meteorol、No. 14、pp. 1246-1258、1975
7.18)Montieth J. L., Szeicz G. and Waggoner P. E. :Measurement and control of stmatal resistance in the field、J. Appl. Ecol.、Vol. 2、pp. 345-355、1965
7.19) M. Mori and T. Kobayashi : Dynamic Interaction Between Observed Nocturnal Drainage Winds and a Cold Air Lake, Journal of the Meteorol. Soc. of Japan, Vol. 74, No. 2, pp. 247-258, 1996
7.20) 大西潤治・竹谷伸行・水野 稔：室内熱気流環境の数値予測手法に関する研究・第1報ー解析コードSCIENCEの概要と計算手法ー、空気調和・衛生工学会論文集、No. 58、pp. 23-34、1995
7.21) 日本建築学会環境工学委員会・流体数値解析による風環境評価ガイドライン検討WG：流体数値計算による風環境の予測に関するシンポジウム、シンポジウム配布資料、2003
7.22) S. V. Patankar : Numerical Heat Transfer and Fluid Flow、Chap. 7、McGraw-Hill、1980
7.23) 村上周三著：CFDによる建築・都市の環境設計工学、東京大学出版会、2000

記号一覧

C_{HF}：植生面の熱輸送係数　[-]
C_{HG}：地表面の熱輸送係数　[-]
C_p：空気の定圧比熱　[J/(kg･K)]
E：周囲大気から冷気層への連行量　[$m^3/(m^2 \cdot s)$]
f_F：植生面の抵抗係数　[-]
f_G：地表面の抵抗係数　[-]
$F_1(\eta)$：鉛直分布仮定関数（本研究では平板乱流境界分布）　[-]
$F_2(\eta)$：鉛直分布仮定関数（本研究では平板乱流境界分布）　[-]
g：重力加速度　[m/s^2]

H_N：冷気層厚さ　[m]
LAI：葉面積指数　[㎡ / ㎡]
Pr：プラントル数　[-]
Q：斜面下部への流出冷熱量　[W/m]
q_a：周囲大気の比湿　[kg/kg]
q_n：冷気層内の比湿　[kg/kg]
q_w：地表面からの熱フラックス　[W/m]
T：冷気温　[℃]
t：時刻　[s]
T_a：周囲大気温度　[℃]
T_G：地表面温度　[℃]
T_N：冷気層内平均温度　[℃]
T_{Va}：周囲大気の仮温度　[℃]
T_{VN}：冷気層の仮温度　[℃]
u：冷気流速　[m/s]
U_N：冷気層内平均流速　[m/s]
u_x：冷気層の主流速度　[m/s]
x：ＣＶ斜面方向長さ　[m]
X_g：地表面における熱輸送係数・抵抗係数変化パラメータ　[-]
X_f：葉面における熱輸送係数・抵抗係数変化パラメータ　[-]
α：傾斜角度　[°]
σ_f：植生被覆率　[-]
ρ_w：空気密度　[kg/m^3]
τ_w：地表面せん断応力　[Pa]
ν：動粘性係数　[m2/s]

第８章
住環境計画への適用を目的とした気候環境情報活用フレームの構築

8.1 序論

エネルギー消費量の削減や環境負荷の軽減のみならず、居住者の快適性や健康性を重視した外部環境連係型居住空間を構築していくためには、第１章で指摘したように計画関係者や居住者が周辺環境に対する意識を高め、有効な環境資源については積極的に活用していく姿勢が重要となる。計画関係者に関しては、第１章の地方自治体の環境情報整備状況に関するアンケート調査結果から、現状では各自治体から気候環境情報の提供を期待することは難しく、計画関係者自らが情報収集や環境特性の把握に努める必要があることが示された。しかし、実質的に計画関係者が周辺環境情報を収集することが可能な時間は非常に短いために、現状では比較的入手しやすいAMeDASや標準気象データ、市役所などの既存データを用いて、対象地域の気候特性評価を行うことが一般的である（評価を実施しない事例も非常に多い）。しかし、計画対象地域に近接する気象データが対象地域の気候特性を示すとは限らず、既存データを使用する際にはデータの特性に関して十分な吟味を必要とすることが、後述するように8.2の本対象地域における検討事例からも明らかとなっている。また、居住者に関しては、第３章のアンケート調査結果から、地域の熱的な快適感や冷房用エネルギー消費量には自宅周辺の温度環境や風環境が強い影響を及ぼすことが示されている一方で、未だ居住者において自宅周辺の熱環境に対する理解が十分ではない可能性も示されている。周辺環境は地域によってその特徴を異にすることから、地域の環境特性に応じた住環境（建築および地区）形態や住まい方を模索していくためには、周辺環境に関する情報システムの存在が重要な役割を果たすものと予想される。以上の状況を鑑み、本章では周辺気候特性に配慮した住環境計画を進展させることを視野に入れて、気候環境情報の整備や活用形態等をシステム化した気候環境情報活用フレームに関する提案を行う。

8.2 気候環境情報活用フレーム構築の意義

8.2.1 近接公共データを用いた簡易評価による誤差

本研究の対象地域において、比較的一般に入手しやすい既存の公共データを用いて気候特

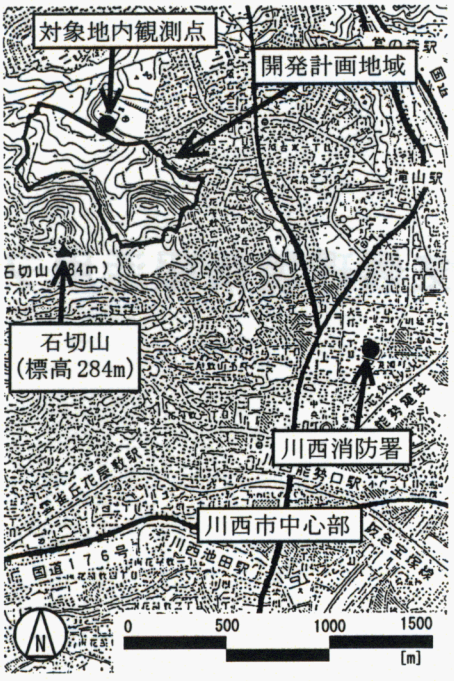


図8.1　K地区と近接公共気象観測施設との位置関係

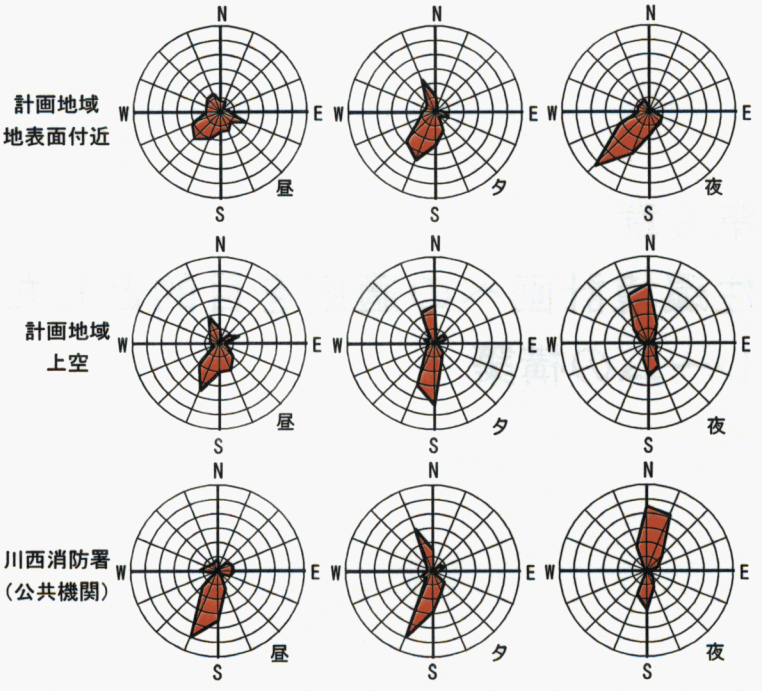


図8.3　既存公共データと現地実測の風配図の比較
(昼:10時-15時、夕:16時-20時、夜: 0時-5時
最外周円が風向確率30%に値する。)

性評価を行った場合に発生することが予想される誤差について評価を試みる。本研究の全般を通して対象としているK地区は、図8.1に示すように川西市中心部から北西へ約2km離れた丘陵地に位置する。なお、地域の詳細については第2章を参照されたい。

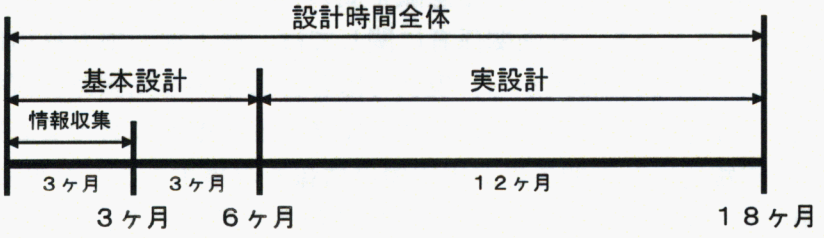


図8.2　一般的な建築設計タイムスケジュール
(2万㎡規模の建築物)

第1章の地方自治体の環境情報整備状況に関するアンケート調査結果から、現状では各自治体から気候環境情報の提供を期待することは難しいことが示された。しかし、一般的な建築設計スケジュールを考えた場合、基本設計には設計期間全体の3分の1、情報収集にはその半分程度を費やすことから、例えば図8.2に示すように、延べ床面積2万㎡程度の建築では情報収集可能期間は3ヶ月程の非常に短い期間となる[注8.1)]。従って、現状では比較的入手しやすい既存の公共データを用いて、対象地域の気候特性評価を行うことが一般的である。本研究で対象とするK地区では、川西市中心部から北へ1km弱離れた地点に位置する川西消防署におけるデータがそれに適合する。K地区と川西消防署との間の距離は約1.5kmで、約100mの高

注8.1) 建築設計スケジュールの実情については、大高氏および堀川氏（ともに㈱日建設計）に対するヒアリング調査結果を参考とした。本来、建築設計スケジュールは様々な実情から決定されるものであり、ここで示したスケジュールはあくまでも平均的な概算値であることに注意されたい。

度差を有する。

図8.3に1997年8月の風配図を両地域間で比較した結果を示す。なお、計画地域内の観測ステーションにおける測定方法は第5章を参照されたい。大阪府域全般の気象観測データ解析結果[8.1]によると、対象地域一帯は海陸風系の支配化にあると推測されるが、公共機関データ（川西消防署）や計画地域上空ではこれに対応した結果を示した。しかし、計画地域内地表面付近では、地物の影響や斜面冷気流の発生によって風環境が変化し、特に夜間には顕著な違いを生じた。この結果は、地域の一般風系から推定が困難な局地風系に注意を払う必要性を示している。

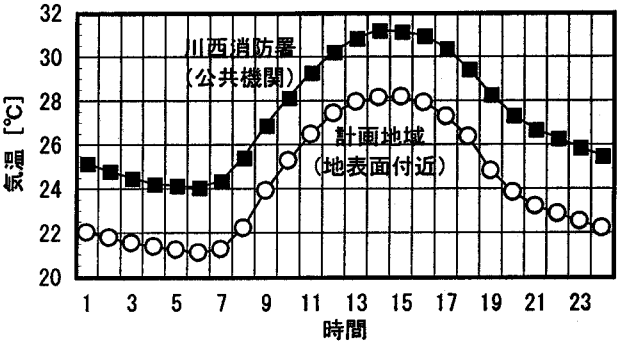


図8.4　公共データと現地実測の気温変化比較
（1997年8月の全期間を平均した結果）

図8.4に1997年8月の月平均気温の日変化を両地域間で比較した結果を示す。最大で4℃程度の差を生じるなど、一日を通して大きな違いが見受けられた。

このように、わずか1.5kmという非常に近接した地域間でも、地形や土地利用状況の違いによって大きく環境特性が変化する可能性があることから、K地区において気候環境特性を評価する際に既存の公共気象データを用いた場合には、地域の卓越風向・風速や気温差の面で誤った評価を行う可能性があると言える。以上の結果から、空間的に離散した場所に位置する既存の公共データを使用する際には、その特性に関して充分な吟味を必要とする。また、特に地形や土地利用状況の変化が大きい地区を開発計画の対象とする場合には、気候特性図面のような面情報の存在が重要な役割を果たす。

8.2.2　気候要素と設計・生活行為との係わり

ここでは、気候環境情報の活用フレームを構築するにあたり、気候要素と設計行為や生活行為との係わりについて検討することによって、フレーム構築の意義付けを試みる。

設計関係者の設計要素や居住者の生活面に影響を及ぼす可能性のある気候要素としては、気温および湿度、風、放射（短波・長波）の4要素が挙げられる。以下に、各要素ごとに各行為との係わりを検討する。

a）気温

気温はあらゆる空間スケールの気候特性を理解する上で、最も基本的な要素の一つである。特に人工地表率や人工廃熱量などの地域アクティビティーを示す指標との関連性が非常に強いことから、気候環境資源としての有効活用指標のみならず、開発後の影響評価指標として重要な役割を果たす。また、気温は居住者に比較的体感されやすい気候要素でもある。例えば、第3章のアンケート調査結果からは、表3.3に示されるように、最も多くの居住者が丘陵地の気候的特徴として指摘した要素であり、2℃から3℃程度の気温差を定量的に認識している居住者も存在している。さらには、図3.17に示されるように、例えば大阪標準気象データの気温を全時間帯で2℃低下させた場合には、一ヶ月間の冷房用電力消費量がほぼ半減することから、気温の制御は省エネルギーに直結する方法と言える。気温の低下は冬季の暖房エネルギーを増大させる側面も併せ持つことから、年間エネルギー消費量に関する見積もりが不可欠であるが、図3.11に示されるように、夏季には地域気温差が顕著にエネルギー消費量の相違に顕れるのに対して、冬季は不明確であり、特に夏季には外部環境との連係が重要な役

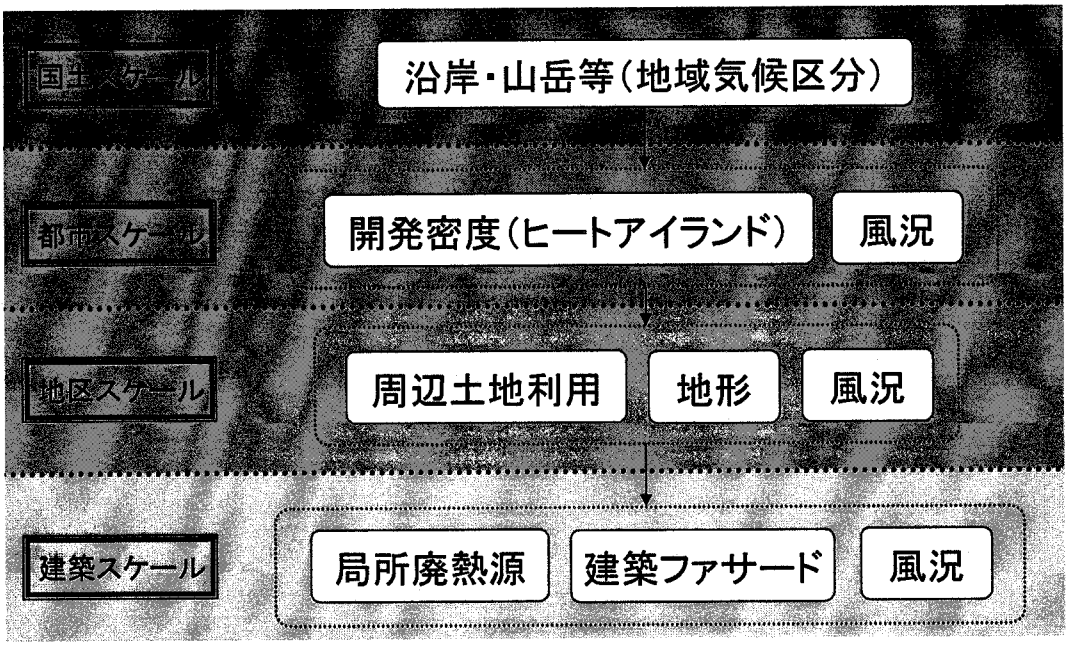


図8.5　検討スケールと気温変化要因の関係

割を果たすものと予想される。

図8.5に計画行為の検討スケールと気温変化要因の関係を示す。風況の影響を受ける点を除き、その構造は後述する風と比較して単純であり、基本的には地表面や建築物から大気中に放出される顕熱量で決定される。従って、地域の気温を低下させるためには、この顕熱量を可能な限り削減するような計画を実施すれば良い。住環境計画を想定する場合には、図8.5で示した地区スケールや建築スケールでの変化要因に関する対応が求められる。周辺計画として土地利用や建築構成材の適正な計画を必要とし、図4.12に示すように気温低下に直結する緑被率の確保はもちろんのこと、蒸発散効果を期待する保水性材質の採用や可能な限り昼間の日射エネルギーを蓄えない高反射、昼間の蓄熱影響を軽減する低熱容量系材質を用いた外構・建築ファサード計画が重要となる。但し、地表面状態の改修や建築物の改築など、既存開発を対象とした改善を行う場合には、以前の状況と比較して気温が低下するような計画を目標とする必要があるが、これまで未開発であった自然地域を新規に開発する場合には、いかなる配慮を行ったとしても気温の上昇を抑えることは困難であることから、その際には気温の上昇を最低限に抑えるといった視点で評価する必要がある。

生活行為との係わりに関して、居住者が冷房機器を使用し始める室内環境は、SET*換算で概ね27℃から28℃程度である[8.2)]。本州以南の都市平野部において、夏季日中の気温は30℃を優に超えることから、一般的には冷房機器と自然通風を併用せざるを得ない状況下にある。従って、日中には冷房機器使用時間を可能な限り短縮し、なおかつ空調負荷を低減させることを目的とした外構・建築ファサード計画を実施する必要がある。空調使用時間の短縮は単なる省エネルギー効果のみならず、空調室外機からの廃熱量を削減することによって、人工廃熱起因の大気顕熱負荷を削減し、結果として、地域の気温を低下させる効果も併せ持っている。特に、夕方から夜間にかけては、居住者の冷房使用状況は外気温に対して指数的に増加することや[8.3)]、人工廃熱の気温に及ぼす影響が強くなることから[8.4)]、住宅地区では特に周辺外気温を低下させる方策が重要となる。

b）湿度

湿度（絶対湿度）は一般的に空間分布がそれほど大きくないことから、居住者には比較的空間分布として認識され難く、生活面への影響が小さい気候要素と言えよう。変化としては天候などの影響による時間変化や季節変化が大きく、特に我が国においては梅雨期の多湿や冬季の低湿状態について一般的に居住者にも良く認識される現象である。このような時期においては、湿度は居住者に強い影響を及ぼすが、地区スケールや建築スケールでの計画的な対応によって湿度を制御することは非常に困難である。従って、湿度に関しては空間分布情報を密に整備するよりは、やや疎な情報空間密度でも、年間を通した時間変動を把握することが望ましいと考えられる。

c）風

風は夏季における体感の向上のみならず、各種熱負荷の発生によって高温化した室内空気や地表面から大気中に伝達される顕熱の速やかなる拡散によって、室内外を問わず熱の滞留を防ぐ重要な役割を果たす。第３章のアンケート調査結果から、風環境は気温環境と並んで地域の熱的な快適性に関する評価や冷房用エネルギー消費量に強い影響を及ぼす要素であることが示されており、非常に重要な気候環境資源として位置付けられる。但し、冬季や台風の接近時などには強風による住環境悪化の問題が生じる可能性もあることから、強風時の対応も視野に入れた計画を必要とする。

図8.6に計画行為の検討スケールと風環境変化要因の関係を示す。ある地域における風環境は、総観気圧傾度から建物形態の影響まで、各スケールの変化要因が複雑に影響した結果として発生しているものであり、特に地形変化が顕著な地域では広域風系から予測することが困難な局所風の影響を受けるために、評価構造はより複雑化することが第５章の検討結果から示されている。住環境計画を想定する場合には、図8.6で示した地区スケールや建築スケー

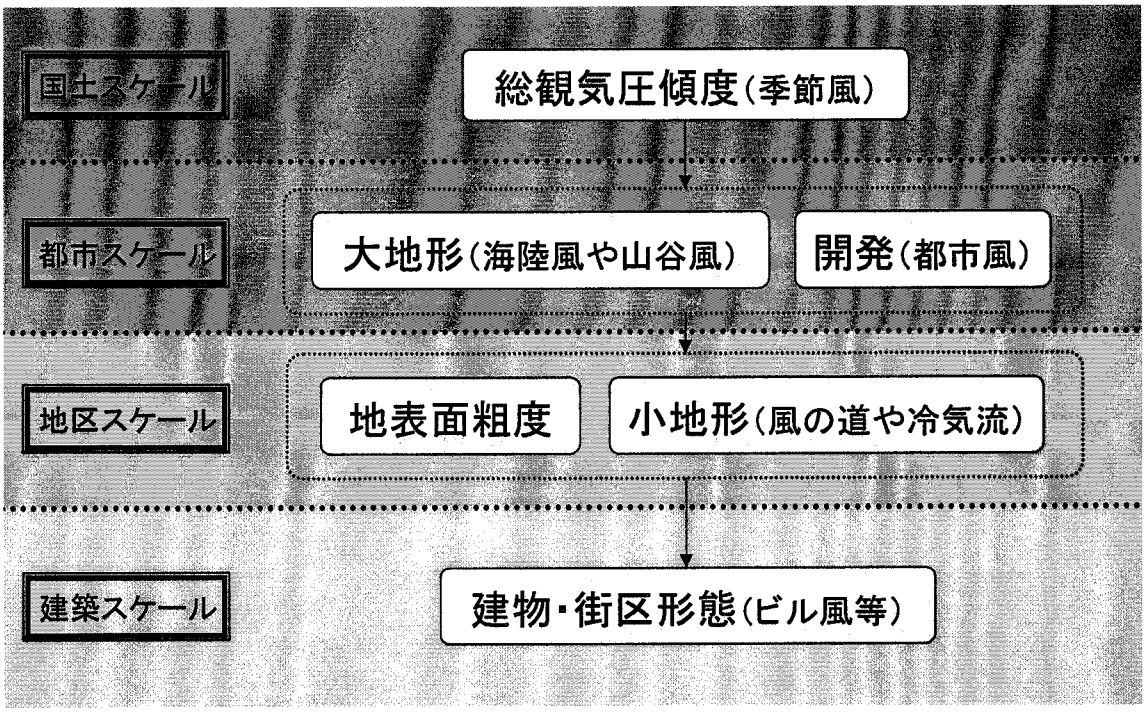


図8.6　検討スケールと風環境変化要因の関係

ルでの変化要因に関する対応が求められ、風通しに配慮した街区・建築計画が重要となる。街区計画の際に重要となるのは建物配置形態やその密度であり、表7.4に示すように建蔽率が高い場合には自然通風可能量が減少することが、第７章のCFDモデルによる検討結果からも示されている。特に、傾斜地で卓越する斜面冷気流に関しては、市街地域に清浄かつ冷涼な空気を導入する有効な環境資源として位置付けられるが、第７章で述べたように、一般的な対数則に則った広域風と比較して建物の配置形態により強い影響を受けることから、細心の配慮を必要とする。建築計画の際には、地域の主風向に対応した窓や通風口の設置や室内通風経路の確保が重要である。特に、近年は個室化の進展により室内通風経路の確保が困難となっていることから、例えば欄間や通風窓の設置といった工夫も今後は必要となる。強風対策に関しては、一般的には防風林の設置等で対応する場合が多いが、防風林の設置は夏季の通風効果を抑制する可能性も併せ持つことから、季節による主風向変化に対応した防風林の設置計画が必要とされる。防風林の設置は、気温低減効果をも期待される対応と言える。

生活行為との係わりに関して、風速と各種現象の対応についてはビューフォートの風力階級[8.5]が最も良く利用されているが、この風力階級は船の航海を主目的として定義されたものであり、実際の生活実感とは乖離している。生活実感と対応した評価指標としては、村上ら[8.6]による評価尺度が唯一確立されており、低温時には強風が、高温時には弱風が非適風域を拡大させることを定量的に指標化した。図8.7によると、日平均気温が35℃の場合、風速が1.5m/s以上あれば体感的な問題が生じないことを示している。前項で述べた気温緩和とともに、風環境に対する方策を実施することで、体感面での相乗的な改善効果が期待される。

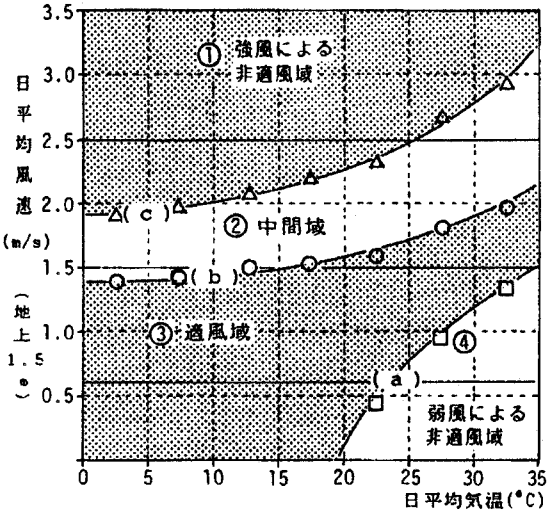


図8.7　村上らによる風環境評価尺度[8.6]

d）放射

日射や天空放射、地物からの長波長放射は、屋外における体感に非常に大きな影響を及ぼす要素である。図9.6では本研究の対象地域における体感温度（SET*）分布図を作成しているが、気温分布とは大きく異なる様相を示している。これは、特に日中には土地利用状況の相違によって人体に対する平均放射温度が空間的に変化することによるものである。本研究の対象地域のように複雑な地形を有する場合、平均放射温度は地形の変化にも支配される。屋外における夏季の快適性を向上させるためには、この平均放射温度を可能な限り抑制する外構・建築計画が重要となる。具体的な方策としては、直接的に日射を回避するキャノピー型の樹木やパーゴラの設置を始めとして、表面温度を抑制する保水性や低熱容量材質の活用が挙げられる。気温の項で述べた高反射系材質については、反射日射の影響により実質的には体感温度が上昇する可能性も秘めていることから、滞在空間近傍への採用は控えることが望ましい。その他の影響としては、図9.9や図9.10に示すように、太陽エネルギーの利用可能量に関しても大きな空間分布を生じている。

以上で述べた体感温度や太陽エネルギー利用可能量の変化は、土地利用状況の相違に伴う

地表面熱収支の変化や周辺地形による日陰の発生が影響しているものであり、地域に入射する日射量や天空放射量、つまり天空からのソースに関しては地域間で大きな違いは生じていない。湿度と同様に、変化としては天候などの影響による時間変化や季節変化が大きいことから、日射や天空放射量に関しては空間分布情報を密に整備するよりも、年間を通した時間軸での変化状況を把握することが望ましい。また、体感温度やエネルギー活用の面では、地表面の構成状況や地形の影響が非常に大きいことから、これらの要素に関する情報の整備は不可欠である。

e) 複合影響

人間の暑さ寒さの感覚に影響を与える温熱環境要素は、上述のように気温、湿度、風、放射の4要素である。これら一つ一つの要素は、それ自体が理論的に裏付けられた熱環境評価指標であるが、これら4要素が複合的に作用して人間の熱的な感覚は非線形的に決定されているため、要素個別の条件で人間の温熱感覚を評価することは、現実的にはあまり意味が無い。すなわち、これら4要素の複合的な効果について、非線形的な評価が可能な指標を用いることが望ましい。この点に配慮した様々な温熱感覚指標が既に提案されているが、中でも代表的な指標としてFanger[8.7]によるPMVやGaggeら[8.8]によるSET*が挙げられる。なお、本研究においても、第9章でSET*を用いた屋外温熱環境評価を試みている。但し、SET*など上述の指標で評価される快適性は定常安定的なものであり、自然エネルギーの活用によって得られる非定常変動的な快適性とは別次元のものであることから、この点に配慮した指標を用いて快適性の評価を行うことが望ましい。

8.2.3 気候環境情報活用フレームの必要性

8.2.1で述べたように、比較的一般に入手しやすい既存の公共気象データを用いて気候特性評価を行った際に、特に地形や土地利用状況の変化が大きい地区を開発計画の対象とする場合には、地域の卓越風向・風速や気温差の面で誤った評価を行う可能性があることを指摘した。また、8.2.2で述べたように、特に風や気温は局所性（地域性）の強い気候要素であることから、気候特性図面のような面情報の存在が重要な役割を果たすことを指摘した。一方で、第1章で指摘したように、大阪府の各市町村に対するアンケート調査結果から、現状では各自治体から気候環境情報の提供を期待することは難しく、計画関係者や居住者自らが情報収集や環境特性の把握に努める必要がある。しかし、計画関係者については、周辺環境に関する情報収集可能期間は実質的に非常に短いことや、居住者については、地域の環境特性を定量的に把握する術を持たないことから、これらの問題点を解決するためにも、周辺環境に関する情報システムの存在が重要な役割を果たすものと予想される。以上の状況を鑑み、次節以降では、周辺気候特性に配慮した住環境計画を進展させることを視野に入れて、気候環境情報の整備や活用形態等をシステム化した気候環境情報活用フレームに関する提案を行うものとする。

8.3 気候環境情報活用フレームの提案

8.3.1 情報スケールの区分

気候環境情報の活用フレームを構築するにあたり、整備する情報の空間および時間スケールを整理しておく必要がある。空間スケールに関しては、例えば大阪と神戸の8月の平均気温は地形的な要因やヒートアイランド強度の違いなどから、大阪の方が1℃程度高い値を示す

[8.9]。その一方で、例えば大阪市内の鶴橋駅周辺とわずか700mほど離れた都市内小公園との間には、4℃以上の気温差を生じることもあり[8.10]、上述の大阪と神戸の気温差以上の違いを生じている。この様に、捉える空間スケールによって確認し得る現象は異なり、なおかつ必ずしも空間スケールの大きさに比例した環境の差異が生じているとは限らない。時間スケールに関しては、例えば情報を年間平均で捉えるか月・季節平均で捉えるか、さらには時間断面情報として捉えるか時系列情報として捉えるかによって、情報内容や形態は大きく変化することになる。

以上のように、空間や時間スケールの違いによって認識される気候環境は大きく変化することから、実際に情報として表現する際には、利用者のニーズに応じた情報形態で表現することが望ましい。例えば、都市計画をターゲットとする場合には、数kmから数十km規模の情報スケールで、年間や季節平均レベル程度の情報を整理することによって、地区の全般的な気候特性を概観できるようにする必要がある。一方で、個別の建築計画（設備計画を含む）をターゲットとする場合には、さらに詳細な空間および時間スケールの気候情報を必要とする。例えば、建築の空調熱負荷計算に一般的に使用されている標準気象データは、10年間程の気象観測データから「標準年」の気象データを作成し、計算に必要な気候要素（気温、湿度、日射量、雲量、風）を1時間間隔の年間データとして整理している。このようなデータを詳細な空間スケールに関して整備することは非現実的であるが、建築（設備）計画をターゲットとする場合の情報形態に関する一つの目標として設定されよう。特に、気温や風環境に関しては他の要素と比較して空間分布が大きく、なおかつ省エネルギーや快適性評価の際に重要な要素であることから、これらに関しては可能な限り詳細な時空間データを整備することが望ましい。

表8.1に気象学分野における大気・気候現象の空間・時間スケール区分を示す[8.11]。なお、図8.5や図8.6のスケール区分との対応としては、「国土スケール」と「大気候」が、「都市スケール」と「中気候」が、「地区スケール」と「小気候」が、「建築スケール」と「微気候」が

表8.1　大気・気候現象のスケール[8.11]

名称	水平の広がり m	垂直の広がり m	寿命 sec	大気現象の例	地理的気候因子	形成される天候、気候現象	名称
大気象	地球規模	$1\sim3\cdot10^4$ (10km～30km)	$10^5\sim10^7$	偏西風、ジェット気流	南半球、北半球、緯度	気候帯、大陸気候、海洋気候	大気候
	10^7 (数万km程度)			季節風、偏西風長波、太平洋高気圧、アリューシャン低気圧など	大規模な海陸分布、巨視的な地面状態(海面、大氷結海面、砂漠、大積雪面など)、大地形(チベット山塊、ロッキー山脈など)	東岸気候、西岸気候、季節風気候など、四季の変化、1週間以上の天候、冷害、干害	
	10^6 (数千km程度)			温帯低気圧、移動性高気圧、低気圧家族、台風前線など		1～3日の天気変化、広範囲の大雨、強風などの気象災害	
中気象	10^5 (数百km程度)	$1\sim9\cdot10^3$ (1km～9km)	$10^4\sim10^5$	局地前線、局地的高・低気圧、スコール・ライン、雷雨活動域	中小規模の地形(山、谷、個々の小山脈、地面の起伏、湖、内海、川など)暖・寒流の支流、冷気塊の存在、潮目、都市と郊外、森林地帯と耕作地の相違など	盆地気候、局地的大雨、強風害、都市気候、1日以内の天気変化	中気候
	10^4 (数十km程度)			個々の雷雲、海陸風、山谷風、フェーンなど		傾斜地の気候(山腹温暖帯)、冷気湖、霧道、霧穴、数時間内の天気変化	
小気象	10^3 (数km程度)	$10^{-1}\sim10^3$ (数cm～数百m)	$10\sim10^4$	トルネード、塵せん風、竜巻、耕地の冷気流	細かい地面起伏、斜面の向き、傾斜草地と裸地の相違、個々の、林、家屋の配置など	水田の気候、霧道、霧穴、防風林の効果、室内気候	小気候
	10^2 (数百m程度)						
微気象	10^1 (数十m程度)	$10^{-2}\sim2$ (数mm～2m)	$10^{-1}\sim10$	風の息、すきま風、舞台風、室内対流			微気候
	10^0 (数m以下)			室内微風		室内気候、衣服内気候	



図8.8 『都市レベル情報』の概念図

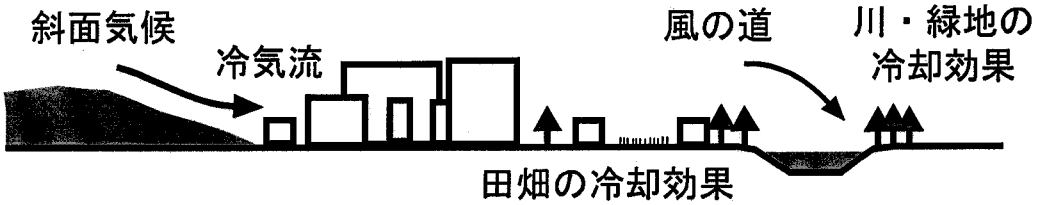


図8.9 『建築レベル情報』の概念図

それぞれ対応している。住環境計画を想定する場合には、8.2.2でも述べたように「都市スケール」から「建築スケール」の範囲内における現象が関連すると予想される。本研究ではこれらのスケールに対して、『都市レベル』と『建築レベル』に空間スケールを大別して情報の整備形態や整備方法を検討する。図8.8に『都市レベル』、図8.9に『建築レベル』の空間スケールに関する概念図をそれぞれ示す。『都市レベル』は中気候から小気候程度の現象を対象とするレベルであり、具体的には都市気候や盆地気候あるいは海陸風などのスケールに相当する現象が情報の対象範囲となる。『建築レベル』は小気候から微気候程度の現象を対象とするレベルであり、具体的には小規模の地形変化による冷気流、小規模緑地や河川の影響などのスケールに相当する現象が情報の対象範囲となる。

8.3.2　フレームの全体概要

8.3.1で住環境計画を想定した場合に必要とされる情報の空間および時間スケールを検討した結果を踏まえ、本研究で構築した気候環境情報活用フレームの概要を図8.10に示す。本研究では、情報の内容やその対象範囲、活用目的に応じて『都市レベル情報』および『建築レベル情報』の2段階に情報レベルを区分した。以下に各情報レベルの概要を記す。なお、各情報の内容や活用方法等の詳細は次節以降に述べる。

『都市レベル情報』の空間スケールとしては、各都道府県レベルの範囲を一つの単位としてそれぞれの全域を網羅する数百mメッシュサイズを想定する。時間スケールとしては、全域を対象とする月間平均的な時間断面データ、特徴的および代表的な地域を対象とする標準年的な時系列データを想定する。利用対象には行政機関・計画者・居住者が挙げられる。行政機関は各地域における環境管理や熱・大気汚染の緩和を主対象とした環境制御指針として使用する。計画者は後述する『建築レベル情報』収集の実施判断基準として使用する。居住者は居住地域の気候認識を深めることで、外部空間連係型ライフスタイルへの転換を支援する。『都市レベル情報』は活用目的や利用対象が多様であるため、公的な色合いが強く、行政機関で整備されることが望ましい。また、利用者の利便性を考慮すると、Web等で容易に抽出可能な形式で情報が整備されるべきである。

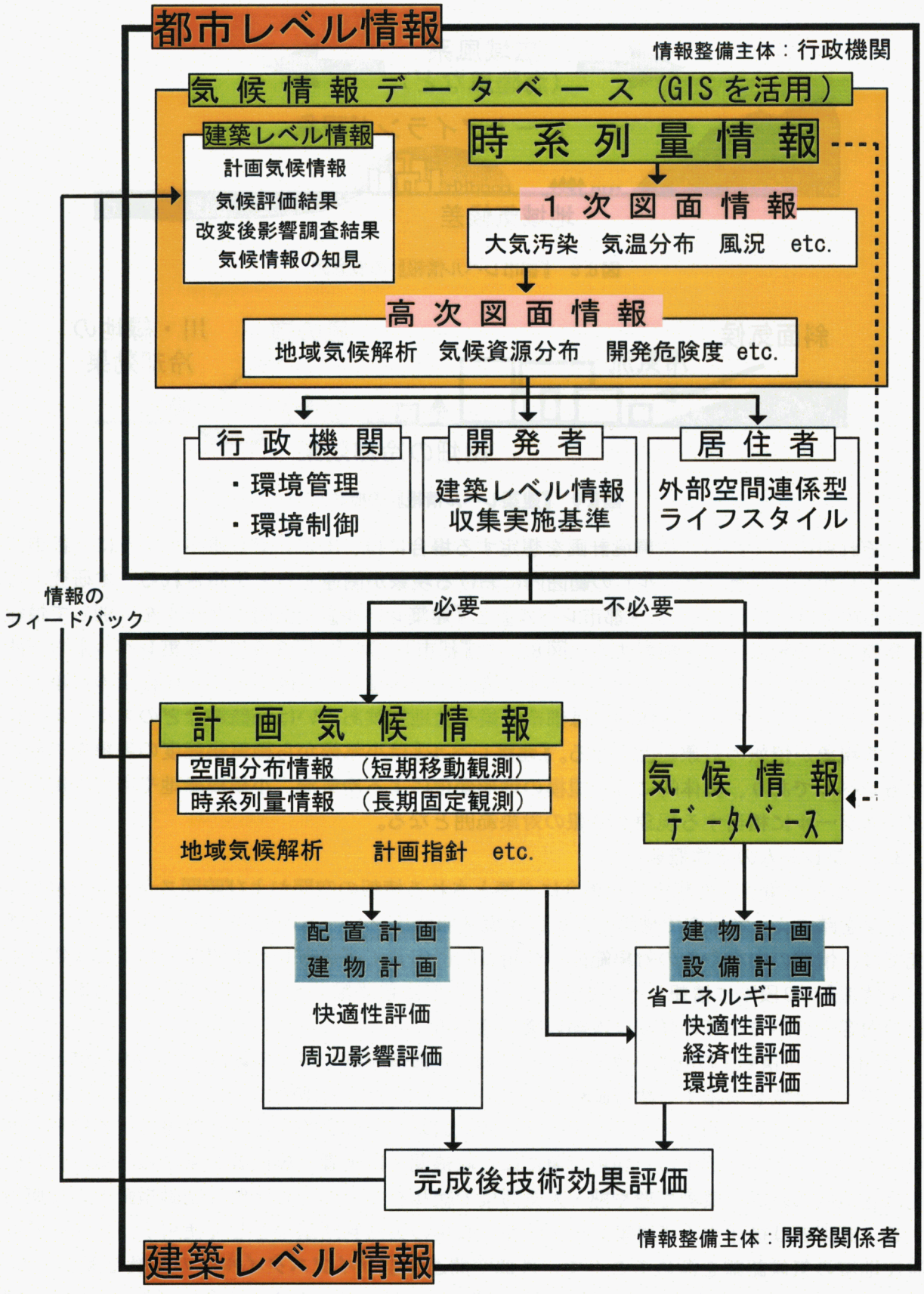


図8.10　気候環境情報活用フレーム

以上で示した『都市レベル情報』ではヒートアイランド現象に代表される都市気候や海陸風などの広域風系の影響を把握することが可能だが、ローカルな現象（緑地や河川の局所冷却効果、風の道、冷気流など）の把握は困難である。従って、より詳細なスケールに対しては、以下の『建築レベル情報』を適用する。

『建築レベル情報』は具体的な住環境計画に対して適用することを目的としている。情報の空間スケールとしては、計画対象地域とその周辺を含む数kmから数百m程度のサイズを想定する。但し、このレベルでは計画案の実施に伴う周辺影響を検討することが可能な範囲を設定することが望ましい。時間スケールとしては、季節や昼夜などの特徴的な時間断面データを想定する。利用対象には主として計画者が挙げられる。このレベルでは詳細な空間スケールの情報作成を必要とすることから、開発者自身（もしくはその委託業者）によって整備されることが望ましい。但し、全ての計画に対して『建築レベル情報』を収集することは現実的ではない。従って、表8.3で後述するような情報収集の実施基準を設定し、基準に抵触する場合には情報収集を行うことが望ましい。

各利用者毎に整理した本フレームにおける情報活用フローを図8.11に示す。『都市レベル情報』は行政機関が所管するサーバー内に『気候情報データベース』として管理することを想定する。GISをベースとするデジタルデータによって情報整備を行うことで、各気候要素などの分布情報を、行政機関内部の端末から容易にアウトプットすることが可能である。また、視覚的に分かりやすい表現で表示した気候特性図面などの高次情報をWeb上に公開することで、住民や開発関係者が容易に地域の気候環境を把握することが可能となる。開発関係者は『建築レベル情報』の収集を実施するか否かの判断材料として『気候情報データベース』を活用することも可能である。開発関係者によって整備された『建築レベル情報』や改変後の事後評価結果は『計画気候情報』として行政機関所管の『気候情報データベース』にフィードバックされ、居住者や周辺での開発を計画している開発関係者に公開されることも想定している。

8.3.3 『都市レベル情報』の詳細

『都市レベル情報』の中核を為すのが『気候情報データベース』である。このデータベースは、気候環境情報の活用を促す観点から、公共情報として行政機関が作成・保有し、利用者が自由にその情報を入手・活用できる状態に配置されることが望ましい。但し、第1章の地方自治体の環境情報整備状況に関するアンケート調査結果から示されたように、コストや労力の関係上、小規模な自治体では整備が現実的ではないことから、都道府県レベルの行政機関で、各都道府県範囲を網羅する情報の整備が望ましい。図8.10に示すように、データベースの内容には数値データとして整備される時系列情報を始めとして、図面情報化された『1次図面情報』、特定用途への使用を意図した『高次図面情報』、後述する『建築レベル情報』からのフィードバック情報が挙げられる。図8.12に『都市レベル情報』の作成フローを、表8.2に『気候情報データベース』において整備が望まれる情報の一覧を示す。情報内容としては、気温、風向風速、湿度、日射量の各気象要素に加え、大気汚染源や大気汚染量などの大気汚染情報、熱汚染源や熱汚染量などの熱汚染情報、土地被覆率や容積率、人口分布などの土地開発情報が挙げられる。

情報の形態については、情報の引き出しや加工のしやすさ、社会的に電子情報網が整備されつつある事を考慮に入れれば、ネットワーク上での扱いが容易な数値メッシュデータとして揃えることが望ましい。数値メッシュデータによる整備は、GISを活用する際にも適合しや

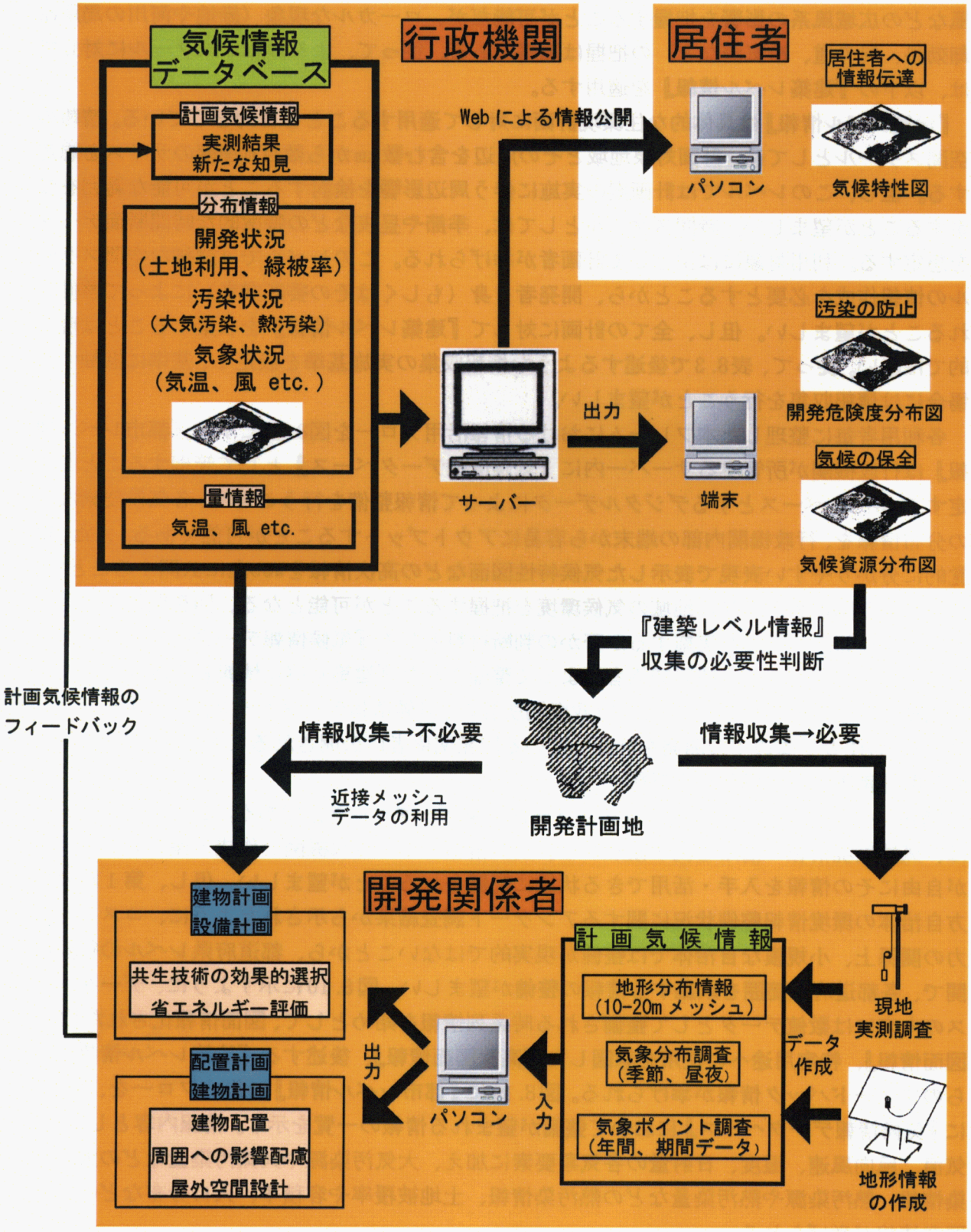


図8.11　各利用者毎に整理した情報活用フロー

すい形態である。情報のスケールに関しては、可能な限り詳細に、なおかつ広範囲にデータを揃えることが理想的である。しかし、詳細な情報を整備するには多大な労力・費用・時間を必要とすることから、気候環境情報がほとんど整備されていない現状を鑑みると、少々の精度を犠牲にしても当面は情報整備自体を目標とすることが望ましい。但し、将来的には500mメッシュ程度の情報を整備することが望ましい。この程度の情報精度を有すると、比較的規模の大きな緑地や河川などの冷却効果やヒートアイランド現象の影響範囲などを把握することが可能になる。風系に関しても、海陸風程度の規模を有する現象の把握には十分なスケー

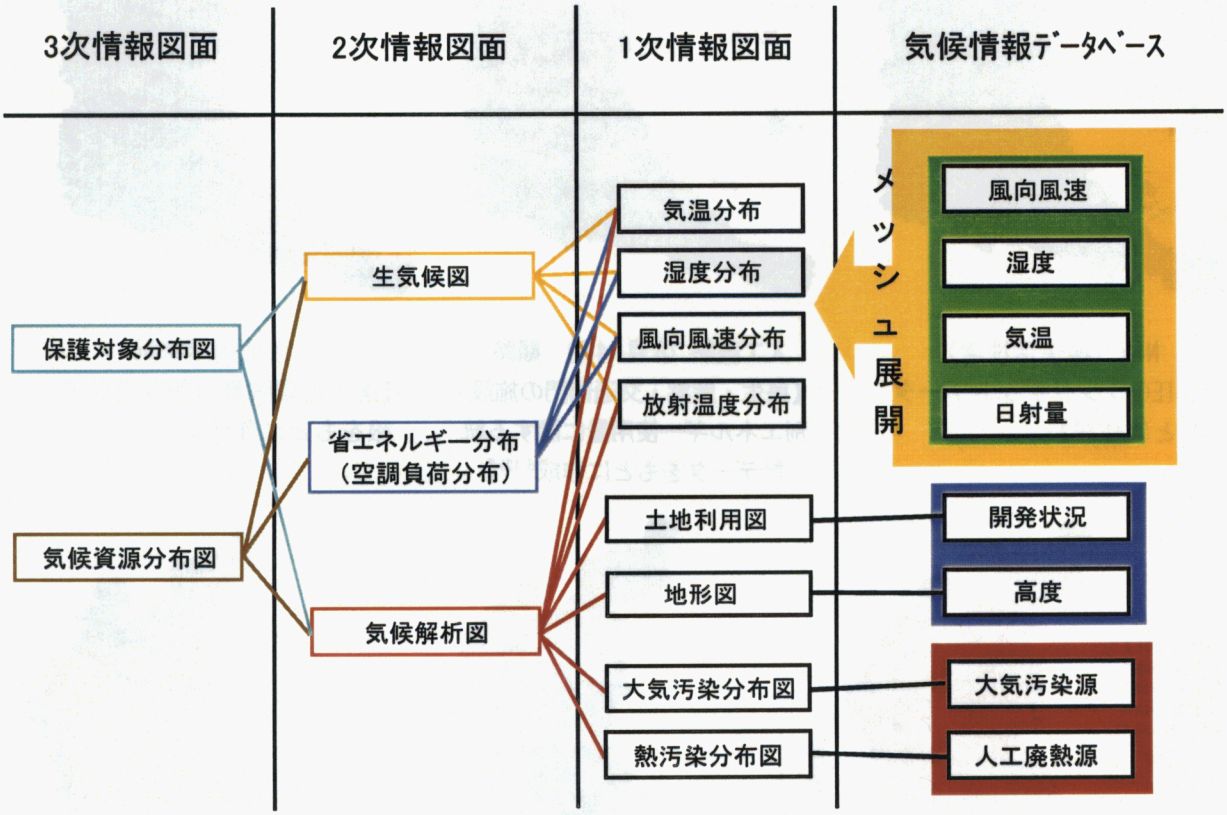
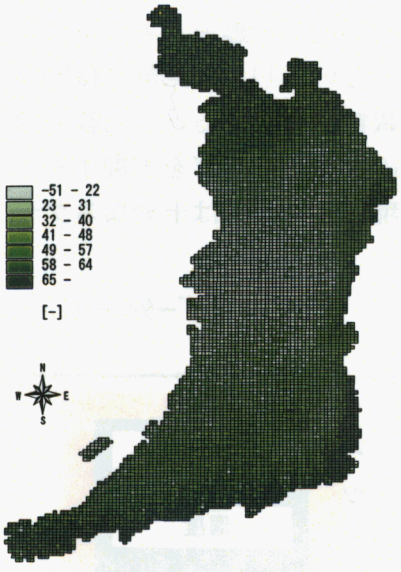


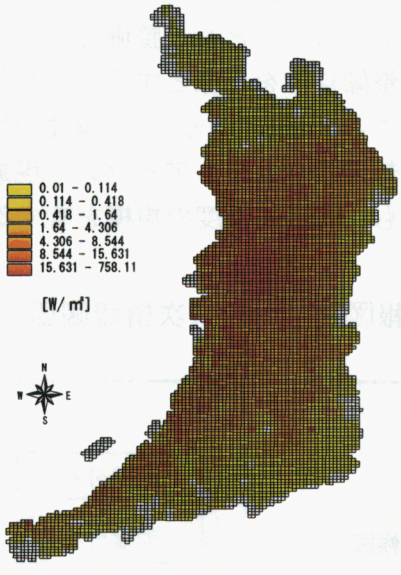
図8.12　都市レベル情報の作成フロー

表8.2 『気候情報データベース』において整備が望まれる情報の一覧

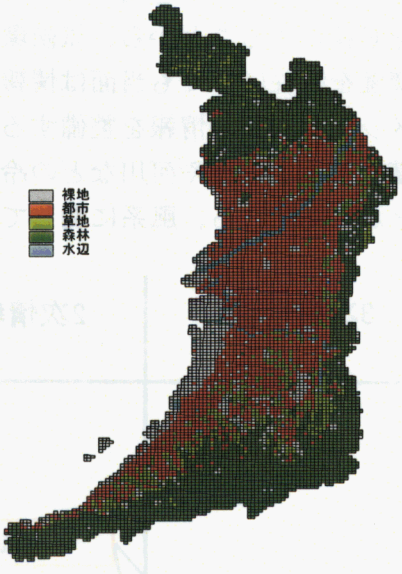
要素	項目	データ内容
気候情報	気温	1時間毎の標準年時系列データ、代表時間帯の全域メッシュ分布データ
	風速	1時間毎の標準年時系列データ、代表時間帯の全域メッシュ分布データ
	風向	1時間毎の標準年時系列データ(代表点における)
	湿度	1時間毎の標準年時系列データ(代表点における)
	日射量	1時間毎の標準年時系列データ(代表点における)
地形・開発状況	土地利用	土地被覆率、容積率、人口などの全域メッシュ分布データ
	高度	全域メッシュ分布データ
熱汚染	熱汚染量	人工廃熱量、地表面放出熱量の全域メッシュ分布データ(部門別：顕熱・潜熱)
	熱汚染源	排出源のラスタデータ
大気汚染	大気汚染量	大気汚染量の全域メッシュ分布データ
	大気汚染源	排出源のラスタデータ



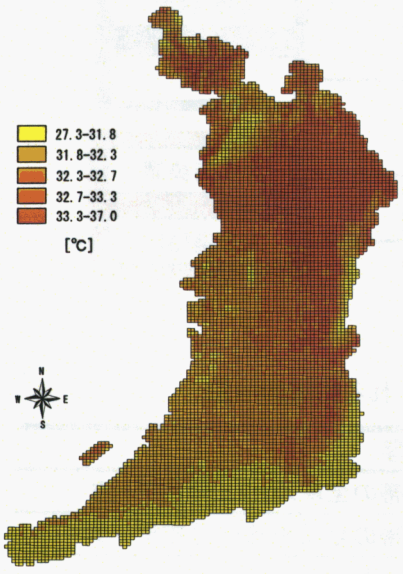
NIV（植生活性度）
【RESTEC ランドサットデータをもとに作成】



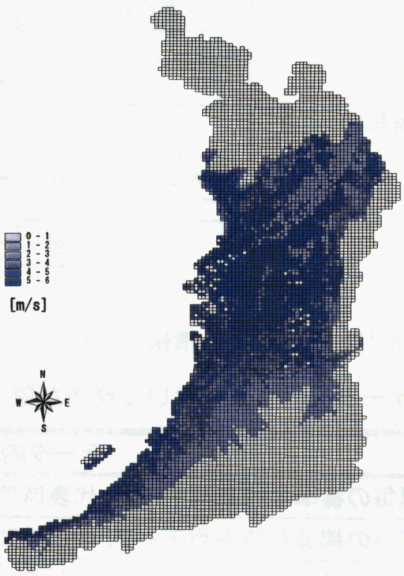
人工廃熱（8月14時：顕熱）
【民生・産業・交通部門の施設別エネルギー使用量に関する統計データをもとに作成[8.12)]】



土地利用状況
【国土地理院発行細密数値情報をもとに作成】



気温（8月14時：晴天日）
【大阪府大気汚染常時監視測定局データを重回帰分析によりメッシュ展開して作成】



風速（8月14時：晴天日）
【大阪府大気汚染常時監視測定局データをﾆｭｰﾗﾙﾈｯﾄﾜｰｸによりメッシュ展開して作成】



風向（8月9時：晴天日）
【大阪府大気汚染常時監視測定局データをもとに作成】

図8.13　都市レベル情報（分布情報）の作成事例（1次情報図面）

ルと考えられる。

図8.13に大阪府域を対象とする『都市レベル情報』の試作結果の一例を示す。表8.2で示した『気候情報データベース』において整備が望まれる情報一覧の内、風向や湿度、日射量に関する情報を除き、500mメッシュの分布情報としての整備を試みた。風向については8.2.2で指摘したように、局所性の強い気候要素であることから面情報への展開が困難である。また、日射量や湿度に関しても8.2.2で指摘したように明確な空間分布を示さないことから、分布情報としての整備は行っていない。なお、これらの情報を使用して、図8.12に示すような生気候図や気候解析図などの高次情報を作成することとなるが、本研究では1次情報の作成事例を示すにとどめる。

8.3.4 『建築レベル情報』の詳細

『建築レベル情報』の主要な収集目的は、具体的な開発計画に対して気候環境情報を適用することによって、外部環境連係型開発の進展を支援することにある。そのためには、街区計画や建築計画スケールに適合した情報形態が必要とされる。先述した『都市レベル情報』は公共機関などで収集されている気象データや行政機関等で整備している開発現況データなどを基に作成することを想定しているが、『建築レベル情報』では計画対象地域周辺のローカルな現象を把握する必要があることから、開発者自身（もしくは委託業者）によって整備・作成することを想定している。本研究では、このような具体的な開発計画に伴ってアセスメント的に収集・活用される情報を『計画気候情報』と呼ぶ。『計画気候情報』の空間スケールとしては、数kmから数百m程度の範囲を詳細な精度でカバーする必要がある。

図8.14に時系列・量データによる『計画気候情報』の作成・活用フローを、図8.15に時間断面・分布データによる『計画気候情報』の作成・活用フローをそれぞれ示す。整備すべき情報としては『都市レベル情報』における『気候情報データベース』とほぼ同様の内容を必要とする。図8.14に示すように、各種の期間時系列データを用いることで、例えば太陽光発電の可能量や自然通風効果のポテンシャルを推計することが可能となり、各種の環境共生技術を導入する際に定量的な評価が可能となる。図8.15に示す時間断面・分布データからは、計画対象地域周辺の詳細な気象情報を基にして、気温分布や風況等の1次図面情報や、ある主題としての意味を有する2次図面情報を作成することが可能となる。さらに、これらの情報を総合的に評価した、ある目的を有する人にとって理解しやすい形式でまとめられた高次情報の作成が可能となる。なお、本研究では、第2章でその概要を述べた丘陵地を対象として、地域気候に関する様々な解析結果を基にした『建築レベル情報』の作成を第9章において試みており、作成される情報のイメージに関してはそちらを参照されたい。

図8.16に『建築レベル情報』の作成から評価までの流れを示す。情報ソースに関して、気象観測は時間変化の把握を目的とした長期固定観測と空間分布の把握を目的とした短期移動観測の2種類を実施することが望ましい。なお、測定方法のイメージは第5章を参照されたい。両測定結果をリンクすることによって、年間の空間分布変動を推定することも可能となる。これらの実測データを始めとして、地形や土地利用状況に関する情報を活用することによって、計画対象地の『気候解析図』や『計画指針図』を作成し、建物配置計画や土地利用計画を行う。但し、ここでは重回帰分析などの統計的手法や数値シミュレーションなどを用いて、計画地内外の環境変動を予測することによって、可能な限り最適な建物配置案を探索することが望ましい。配置・土地利用計画が完了した段階で、建築・設備計画において有望

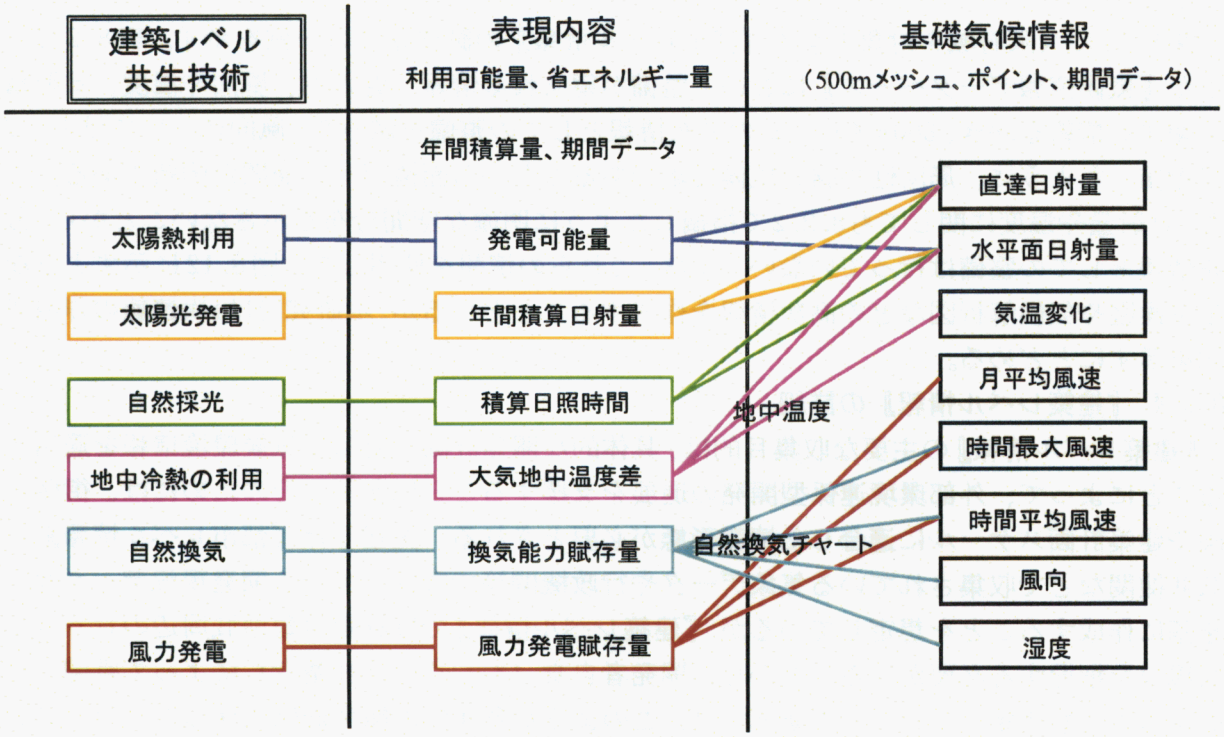


図8.14　時系列・量情報による『計画気候情報』の作成フロー

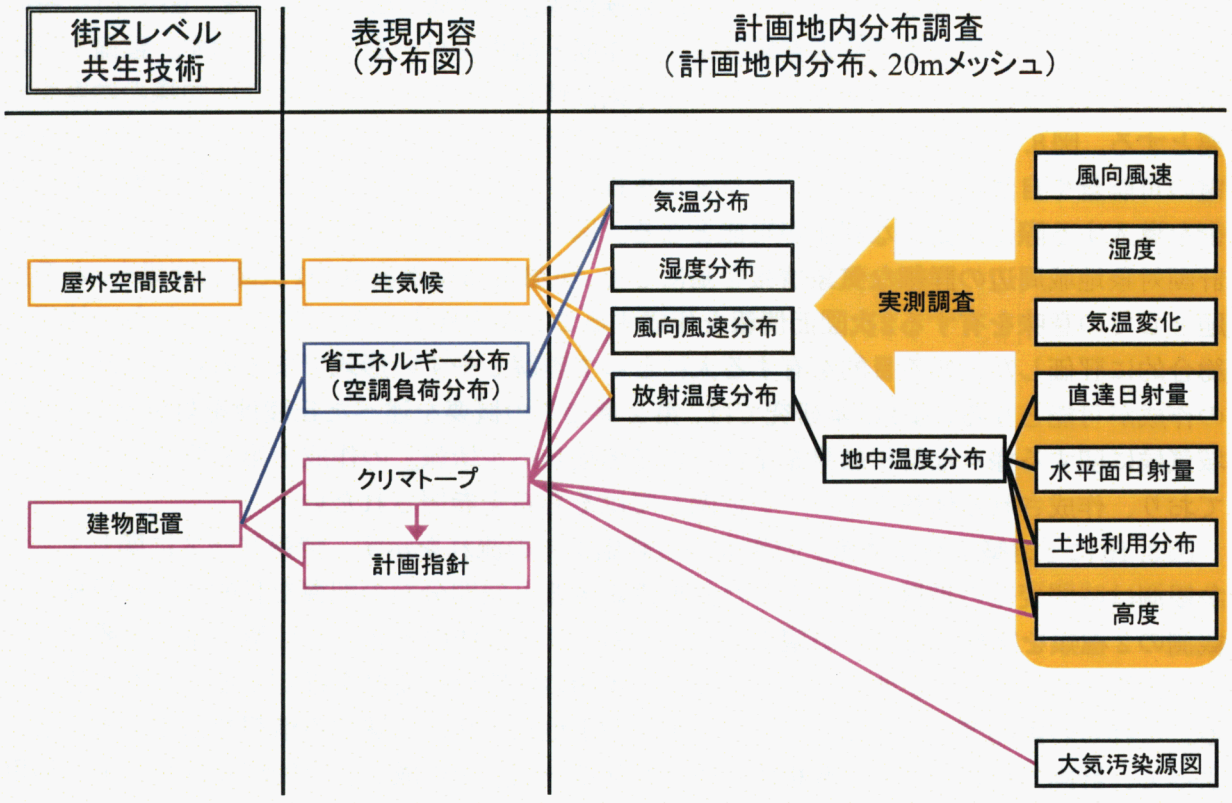


図8.15　時間断面・分布情報による『計画気候情報』の作成フロー

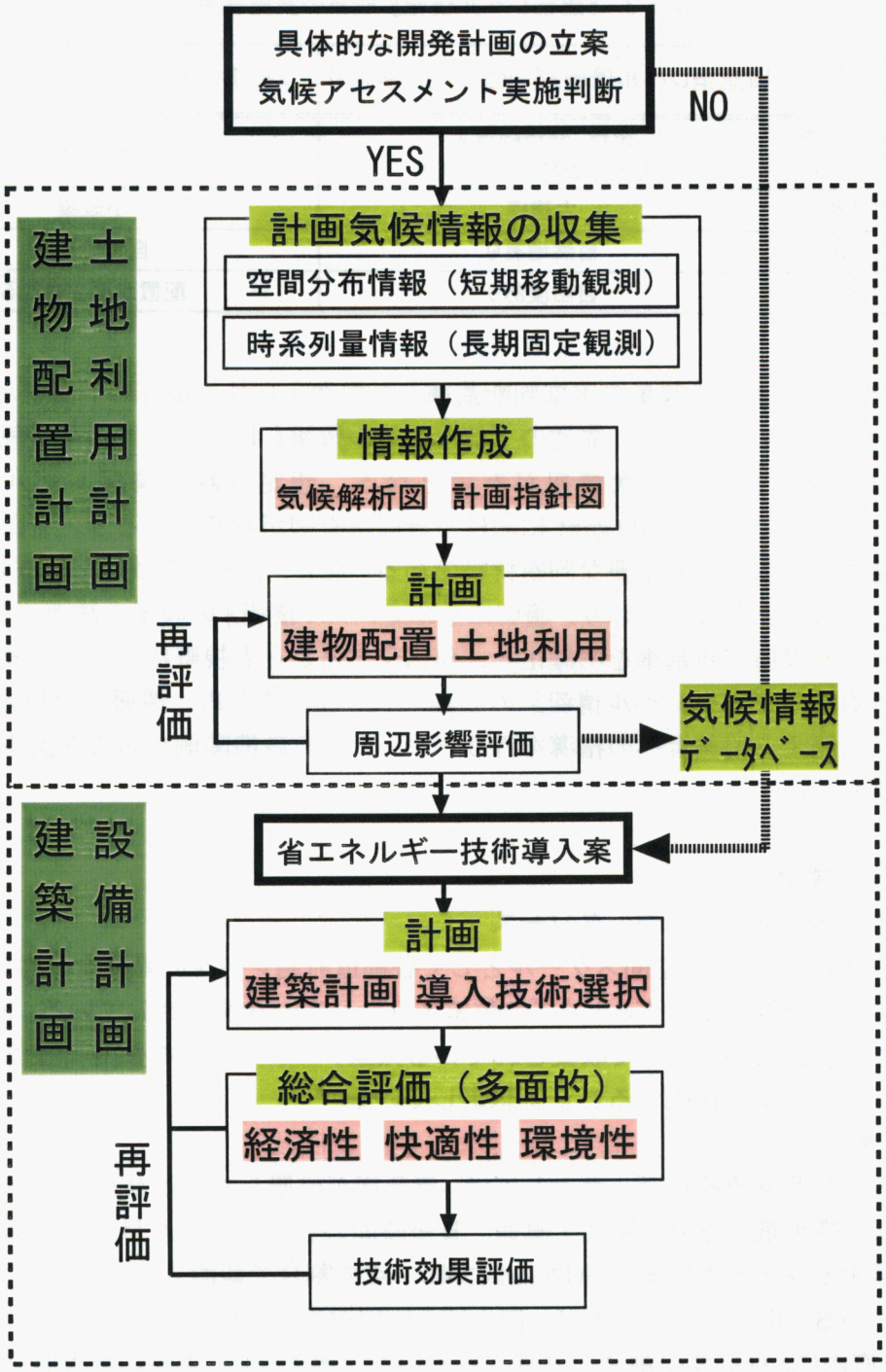


図 8.16　『建築レベル情報』の活用フロー

と考えられる各種環境共生技術の導入効果を評価する。その際には、省エネルギー性のみならず、快適性や経済性、環境性を含めた総合評価を行うことが望ましい。最終段階では『計画気候情報』や周辺影響評価結果、解析によって得られた知見などを、行政機関が管理する『気候情報データベース』にフィードバックさせることが望ましい。

ここで、全ての開発計画に対して『建築レベル情報』を整備することは時間や費用の制約上、現実的とは言えない。従って、開発計画が発生した場合には、その必要性を判断し、必要であると判断された場合にのみ、『建築レベル情報』の収集を実施することが現実的である。

表8.3 『建築レベル情報』収集の実施基準

評価方法 / 項目	『建築レベル情報』を収集する必要あり	『都市レベル情報』での評価が可能
計画地の周辺概況（土地利用、地形）	多様、複雑地形上（地形、公園、川、森林）	一様、平野部
計画地の規模	大規模	小規模
自然地を含む開発	自然地有り	自然地無し
配置計画の自由度	自由度あり	配置が限定される

表8.3に『建築レベル情報』収集の実施判断基準として考えられる項目の一覧を示す。必要性の判断に使用する情報としては、先述の『都市レベル情報』における『保護対象分布図』や『気候資源分布図』などの高次情報が有用となる。想定される情報レベルとしては、Appendix.Aの図A.6に示すStuttgartにおける計画指針図が参考となろう。また、開発計画の規模や開発内容に関しても重要な判断材料である。但し、表8.3で挙げた実施判断基準は、未だ定性的な表現にとどまっており、適切に『建築レベル情報』の収集を誘導するためには、行政機関等により実施判断基準を明確化し、義務化することも視野に入れる必要がある。これらの情報の集積は『都市レベル情報』の充実にもつながるため、情報の収集方法や内容・フォーマットに関する開発者への指導を行うといった、行政機関側からの支援体制の整備も重要な課題である。

8.4 気候環境情報の作成方法

8.4.1 『都市レベル情報』のデータソース

『都市レベル情報』では、空間スケールとして各都道府県レベルの範囲を一つの単位とし、それぞれの全域を網羅する数百mサイズの数値メッシュデータを想定している。また、データソースとしては、公共機関などで収集されている気象データや行政機関等で整備している開発現況データなどを基に作成することを想定している。

a) 気象データ

最も代表的な公共気象観測データとしては、気象庁が設置しているAMeDASデータが挙げられる。これは、降水量、気温、風向・風速、日照時間の各測定項目を自動的に観測してオンラインで収録するシステムであり、約20km四方に一点の割合で観測ステーションが全国に840点設置されている。但し、20km四方は、例えば大阪府の面積（約1,890k㎡）の21%を占めることになり、府内に5点程度の割合で設置されているに過ぎない。実際に都道府県レベルの範囲を網羅する情報を整備することを考えると、その他の公共機関等で測定している観測データで空間補間を行う必要性が生じてくる。一部の大都市域に限られる可能性が高いが、例えば、各地方自治体が独自に設置している公害監視ステーションなどの測定データを利用することが可能である。大阪府の場合を例に挙げると、大阪府公害監視センターの全体管轄の下で、府内33点に気温・湿度観測ステーション、91点に風向・風速観測ステーション、97点にNOx観測ステーションがそれぞれ設置されている。この観測データとAMeDASデータを合わせて使用すると、平均的には比較的規模の大きい市町村内に1点の割合で気温観測ステーションが設置されることになる。但し、これらの観測ステーションの設置目的は大気汚染状況の把

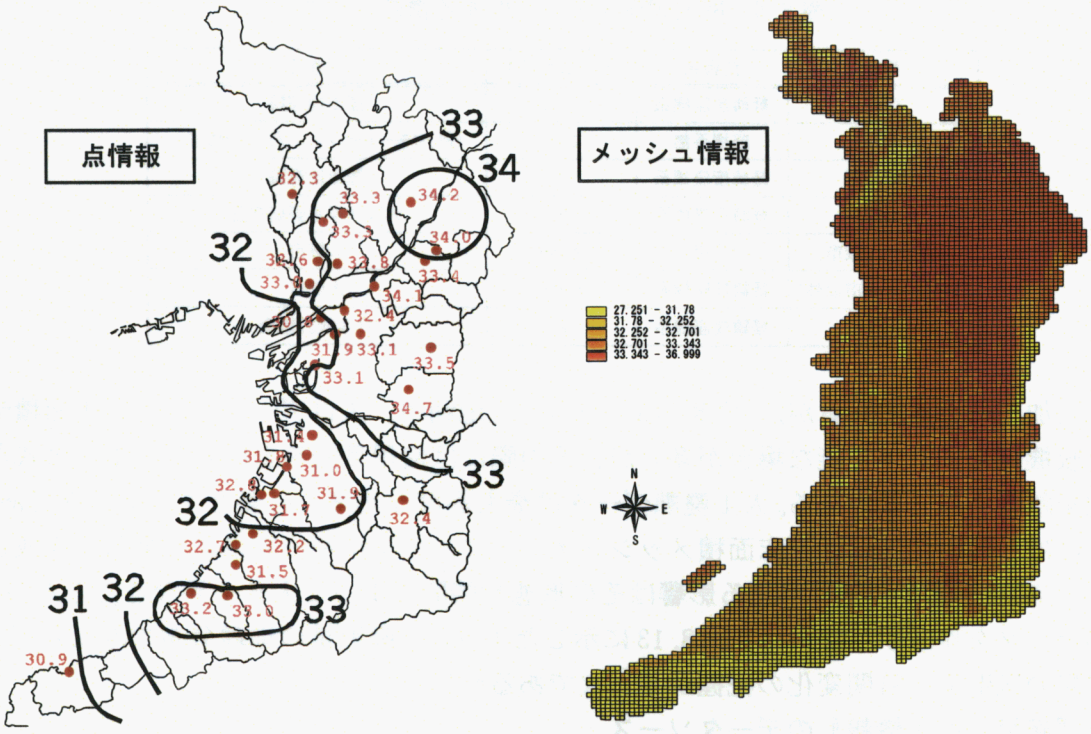


図 8.17　気温分布に関する点情報のメッシュ展開例（7 月 14 時）

握および監視にあるため、気温の観測ステーションは未だ絶対数が少ないことや、必ずしも熱環境を把握・監視するために適切な場所に設置されていないなどの問題を抱えており、今後都市の熱環境管理を目的とした集中的な観測ステーションの設置を進めるなどの対応が望まれるところである。その他のデータソースとしては、消防機関や教育施設、公立研究機関などで気象観測を実施している場合がある。これらの機関で測定されたデータは測定機関の観測に対する姿勢により、特にデータの質が大きく変化するので、必ずしも安定的なデータが記録されているとは限らないことに注意を払う必要がある。

以上の各種機関から得られる気象データは、全てある測定点における情報に過ぎず、各地域全般にわたる状況を把握するためには、空間離散的に分布している点情報を面的な情報に展開することが望ましい。ここで、点情報を面情報に展開するためには、気候情報の既知点における気候環境と各種気候関連情報との関係を分析し、気候情報の未知点における各種気候関連情報から気候環境を推測する必要がある。展開手法としては、重回帰分析やニューラルネットワークが主として活用されているが、絶対的な手法は未だ確立されていない。図8.17に気温分布に関する点情報をメッシュ情報として展開した一例を示す。府内30地点の気温分布データおよび各地点の標高、NVI、海岸距離、人工排熱の各気候関連情報を用いて府内全域の気温分布に関する推定を行った。このようなメッシュ情報を作成することによって、地域全体の気候環境をより視覚的に捉えることが可能となる。ここでは一例として、ある時間断面情報の予測・表示を行ったが、時系列的な方向へ情報を拡張し、ある季節毎・代表的時間毎のデータを整備し、1年を通した全体的な気候特性を捉えることが望ましい。

b）開発現況データ

開発現況データに関しては、基本的には行政機関等で整備されているデータなどを基に作成することを想定している。表8.4に情報ソースの一例を示す。表中で一般に市販されている

表8.4　開発現況データに関する情報ソース

要素	座標系	メッシュサイズ	所管元
標高	経緯度座標系	50m	国土地理院
NVI	座標系無	30m	(財)リモートセンシング技術センター
土地利用	経緯度座標系	10m	国土地理院
人工廃熱	経緯度座標系	1km	大阪大学水野研究室
床面積(大阪市)	19座標系	250m	大阪市
床面積(大阪市以外)	経緯度座標系	500m	大阪府
人口	経緯度座標系	1km	日本統計協会

情報は（加工の必要はあるが)、標高およびNVI、土地利用、人口データである。床面積データは行政機関等で入手可能な場合が多いが、その際には使用目的等を明記した上で公式な申請手順を踏まえる必要がある。人工廃熱データは最も高度な処理を必要とするデータである。一般的には、建物用途別延べ床面積メッシュデータに、エネルギー原単位を乗じて作成される。但し、廃熱が都市大気に与える影響はその形態や時間によって大きく異なることから、人工廃熱データを作成する際には、図8.13に示したように、廃熱量の地理分布のみならず、顕熱と潜熱の区別や、時間変化の把握が不可欠である[8.12)]。

8.4.2 『建築レベル情報』のデータソース

『建築レベル情報』は計画対象地域周辺のローカルな現象を把握する必要があることから、開発者自身（もしくはその委託業者）によって整備・作成することを想定している。情報の空間スケールとしては、計画案の実施に伴う周辺影響を検討することが可能な範囲設定を必要とすることから、計画対象地域とその周辺を含む数kmから数百m程度のサイズを想定する。時間スケールとしては、季節や昼夜などの特徴的な時間断面データを想定する。

以下、各要素別に情報作成上の留意点を示す。

a) 気温

第4章の実測調査結果や図8.4で示したように、気温は風と並んで比較的空間分布が大きい気候要素であることから、数kmから数百m程度の範囲内における詳細な面的情報を把握するためには独自の観測が欠かせない要素である。測定方法に関しては、一般的にはアスマン通風型乾湿球温度計（以下アスマン温度計と表記）やデータロガーを併用してのサーミスタや熱電対を用いることが多い。屋外における気温測定で特に留意しなければならないのは、長波および短波ともに放射による影響を除去することである。その工夫としては、測定器受感部をアルミ板で作成した2重の通風円筒で覆い、さらに日射遮蔽板を付けることが理想的である。但し、これらの放射シェルターを設置した場合、厳密には温度計が測定している気温はシェルター内の気温ということになる。従って、シェルターには強制的に通風を行えるファンを設置し、周囲空気との気流交換を促進することが不可欠である。本研究においても、図4.5に示すように放射シェルターや強制通風装置を設置した上で気温の観測を実施している。

計画対象地区内の分布状態を把握するために、多数点において固定式の観測装置を設置することは費用や労力の面から非現実的であり、短期的な移動観測による方法が不可欠となる。この移動観測を行う際に、最も注意すべき点は測定時間のずれであり、移動時間が長くなる場合には測定時間中の気温変動に伴う補正が必要となる。時刻補正の方法としては、測定コースを往復して2回の測定データを平均化する方法や、地域の代表地点において固定点観測を並

行して実施し、固定点における時系列データを用いて補正することが一般的である。第4章の気温分布に関する移動観測では前者の方法を採用した。但し、日中に測定を行う場合には、接地層大気が不安定な影響を受けて時間変動が非常に激しくなることから、移動観測による方法では観測された空間分布形状が不明瞭になる可能性が高い。地域の気温分布を明確に把握したい場合には、接地層大気の安定する夜間に観測を実施することが望ましい。その他、広範囲の移動観測を行う際には、自動車や原動機付自転車等を利用した観測が有効であるが、その場合には測器の応答速度に留意する必要がある。また、先行車両の排熱や測定車自身の排熱などの熱的な外乱を受けないように配慮する必要がある。

b) 湿度

湿度は比較的空間分布が小さい気候要素であることから、場合によっては近接する公共機関等で測定されたデータを代用することも可能である。測器には様々なものが用いられるが、アスマン温度計を用いて算出するのが一般的である。アスマン温度計には気温を測定する乾球と、蒸発気化熱による温度低下量を測定するための湿球から構成されており、両者の温度差からSprungの式等で水蒸気圧に変換する。湿度は空間分布が小さいとは言え、池や河川などの水面周辺や森林内部では若干絶対湿度が高くなることから、例えば気温を測定する場合にアスマン温度計を用いることによって、両要素を同時に把握しておくと効率的である。測定上の注意点としては、湿球の受感部を湿らすガーゼの付け方や通風速度に注意が必要である。その他の測器としては、近年は電気的に湿度を計測するセラミック湿度センサーや静電容量式高分子膜湿度センサーが普及しつつある。これらの機器の開発によって、比較的容易に連続的な測定が容易になったが、精度の面で課題が残されている測器も多く、得られたデータの解析には注意が必要である。

c) 風向・風速

風は局所性や時間変動が非常に激しいことに特徴があり、移動観測による空間分布の把握が難しい気候要素といえる。従って、風環境の変化が予測される地点や評価対象の代表地点に可能な限り多数の固定観測ステーションを設置し、分布および時間変化状況を測定する方法を取らざるを得ない。図5.11や図5.12で示した移動観測による調査結果は、あくまでも観測ステーションで得られたデータを空間補間するためのものであり、移動観測で得られた結果に時間代表性を求めるのは困難である。但し、観測ステーションの設置位置を決定するにあたり、ポータブル型の風速計などを用いてこのような予備調査を事前に実施することによって、より効果的な観測を行うことが可能となる。一般的に長期間の測定に用いられる測器としては、プロペラ型風向風速計、超音波式風向風速計などが挙げられる。前者の特徴としては、比較的安価であるが、初動風速に限界があるために微風速の測定には不向きであることが挙げられる。後者の特徴としては、比較的価格が高価であるが、理論的には初動風速が0であること、時間応答が良いことなどが挙げられる。

以上で述べた実測調査は、基本的に立ち入り可能な地点においてのみ実施することが可能であり、例えば急峻な地形上のデータを収集することは現実的に困難である。また、費用や労力の問題から設置可能な観測ステーションの数は限定されるのが通常であることから、第5章で実施したような地形模型による風洞実験も地域の風環境を把握するために有用な方法の一つとして挙げられる。但し、比較的実施の容易な等温環境での実験を実施した場合には、第6章や第7章で詳細に述べた斜面冷気流などの密度差流を評価することは不可能であり、こ

の点に関しては実測調査や数値モデルを用いた評価を行う必要がある。

d) その他

日射量や天空放射量、降水量については、『建築レベル情報』で取り扱う空間スケールで地域的な分布を生じることは稀であり、代表的な固定点における連続測定や場合によっては近接する公共機関で測定されたデータを代用することも可能である。但し、地形に起伏がある場合や地表面の土地利用状況が異なる場合には、実質的に地表面に入射する日射量や天空放射量が変化し、地表面温度や人間の体感温度が変化することに注意を払う必要がある。従って、放射環境の評価を行う上で、土地利用状況に関する情報や、地形に起伏を生じている場合には標高に関する情報の整備は不可欠である。なお、標高や土地利用、大気汚染物質や人工廃熱の排出源などに関する情報は、基本的には住宅地図や地形図、航空写真を基に作成することとなるが、状況によっては現地調査が必要となる場合もある。

その他の情報ソースとしては、開発対象地域周辺に在住する居住者の知見が挙げられる。本研究においても、第3章の周辺居住者に対するアンケート調査結果から、様々な環境特性を居住者が認識していることを確認している。特に、日本の伝統的な集落では周辺環境特性に関する知見が過去から代々蓄積されている場合が多く、過去には経験的にそれらの情報に習うことで地域の環境特性に適合した生活を営むことが可能であった。中でも、農業に従事する人々は、生産効率の向上や冷害対策の観点から、地域の風や日射の特性、さらには土質までも深く理解している。これまでは周辺居住者の有用なる知見を吸い上げる術がなく、住環境計画に活かされることは稀であったが、効率的かつ詳細なる情報収集方法として情報システム内に組み込まれるべきである。

8.5　まとめ

本章では、周辺気候特性に配慮した住環境計画を進展させることを視野に入れて、気候環境情報の整備や活用形態等をシステム化した気候環境情報活用フレームに関する提案を行った。本フレームでは、情報の内容や対象範囲、活用目的に応じて2段階に情報レベルを区分した。まず、『都市レベル情報』では各都道府県レベルの範囲を一つの単位としてそれぞれの全域を網羅する数百mメッシュサイズを想定するものであり、利用対象には行政機関・計画者・居住者を想定している。なお、本章では大阪府域を対象とする『都市レベル情報』の試作を行った。この『都市レベル情報』は解像度が粗いことから、ある条件下ではさらに詳細なレベルの情報を必要とする場合が生じる。これに対応するのが『建築レベル情報』であり、この情報は具体的な開発計画に対して適用することを目的としている。情報の空間スケールとしては、計画対象地域とその周辺を含む数kmから数百m程度のサイズを想定している。なお、本研究では、第2章でその概要を述べた丘陵地を対象として、地域気候に関する様々な解析結果を基にした『建築レベル情報』の作成を第9章において試みており、作成される情報のイメージに関してはそちらを参照されたい。

ここで提案したフレームでは、情報作成・管理・更新や開発者への指導など、非常に多くの役割を行政機関に依存している。ドイツの一部の都市では気候解析図面や計画指針図を官学一体となって作成し、気候の持つ環境調整能力を活用した住環境計画を実施している。このドイツの取り組みは日本においても多いに参考になる所であるが、第1章でも述べたように日本の行政機関において気候環境に対する意識は低く、ドイツの現状とは程遠い状況にあ

る。環境情報の必要性という点においては、環境共生型開発の推進という潮流の中で、計画者側からのニーズは大きいことが予想される。しかし、情報整備の実現性という点では、行政機関および開発関係者の両者で、時間やコスト面などに問題を抱えている。このような現状で環境情報の整備を進展させるためには、新たなシーズとしての気候環境情報の有効性について各方面に提案していくことが必要であり、それと共に、本章で提案したフレームのような根本の枠組みを構築することが不可欠である。

参考文献

8.1) 河野 仁・鳴海大典・下田吉之：大阪－過密都市における気候改善－、都市環境のクリマアトラス－気候情報を活かした都市づくり－、ぎょうせい、pp.53-65、2000

8.2) 小林誠治・水野 稔・下田吉之・鳴海大典・羽原宏美・添田晴生・大西潤治：大阪府域を対象とした自然通風の利用可能性に関する検討、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、pp.15-18、2003

8.3) 森藤奈央・水野 稔・下田吉之・鳴海大典：戸建住宅の夜間冷房利用率に関する実態調査、日本建築学会近畿支部研究報告集、第43号（環境系）、2003

8.4) 鳴海大典・大谷文人・近藤 明・下田吉之・水野 稔：都市における人工廃熱が都市熱環境に及ぼす影響－都市熱環境評価モデルを用いたヒートアイランド現象の改善策に関する検討　その１－、日本建築学会計画系論文集、No.562、pp.97-104、2002

8.5) Shaw, W.N. : Forecasting Weather、1913

8.6) 村上周三・森川泰成：気温の影響を考慮した風環境評価尺度に関する研究－日平均風速と日平均気温に基づく適風、非適風環境の設定－、日本建築学会計画系論文報告集、No.358、pp.9-17、1985

8.7) Fanger, P.O. : Thermal Comfort、Danish Technical Press、1970

8.8) Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J., & Nishi, Y. : An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response、ASHRAE Transactions、77、pp.247-262、1971

8.9) 国立天文台編：理科年表、丸善株式会社、2001

8.10) 大阪府環境農林水産部環境管理課・大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻水野研究室：ヒートアイランド対策に係わる気温等調査等業務報告書、2003

8.11) 根本順吉他：気象－地球科学講座第３巻－、共立出版株式会社、1982

8.12) 下田吉之・高原洋介・亀谷茂樹・鳴海大典・水野 稔：大阪府におけるエネルギーフローの推定と評価－都市における物質・エネルギー代謝と建築の位置づけ　その２－、日本建築学会計画系論文集、No.555、pp.99-106、2002

第９章
周辺気候特性に配慮した住環境計画指針に関する検討

9.1 序論

本研究では、第２章にてその概要を述べた都市近郊の丘陵地を対象として、居住者に対するアンケート調査や屋外温熱環境調査を実施することによって、気温分布や風環境の成因など各気候要素に関する地域特性の把握を始めとして、それらが居住者に与える影響に関しても評価を行ってきた。その結果として、日射や風環境の局所的な変化が地域気温分布に影響を与えていること、特に住宅地域周辺に残存する自然や対象地付近の斜面を流下する冷気流が地域一帯の気温を低下させていることが示された。また、周辺居住者も心理面や冷房用エネルギー消費量に関して、気候環境の変化に対応する影響を受けていることが示された。これら一連の解析によって、周辺気候の制御・活用による屋外・室内熱環境の改善や空調用エネルギー消費量を削減する可能性があることが示唆された。

ここで、省エネルギー効果や環境負荷の軽減、快適性のみならず健康性をも重視した住環境計画指針を立案するにあたり、１次的な情報である気温や風環境の各種調査結果から設計関係者自らが直接的に設計関連事象を読み取ることは困難である。この点に関して、第８章で示したように、ユーザが容易に目的を遂行できるような、ある主題としての意味を有する高次図面情報が重要な役割を果たすものと考えられる。そこで本章では、前章で構築した一連の評価フレームに則り、第２章でその概要を述べた兵庫県川西市Ｋ地区一帯を対象とする計画基礎図面（１次・２次情報）および地域気候特性図面（高次情報）の作成から、周辺気候特性に配慮した住環境計画指針の立案までを実施し、気候特性配慮型計画の計画プロセスに関する一般論を確立するための基礎的な検討を行った[注9.1)]。

注9.1) 一般論は複数の事例に対する検討を通して確立されるものであり、地域気候特性と住環境計画の係わりに関する検討事例が非常に少ない現状では、一般論を確立することは非常に困難である。本研究の試みは、一般論を確立するための前段階として、ある限定された地区を対象とする事例検討を行ったものであり、より多くの事例を今後集積する必要が残されている。

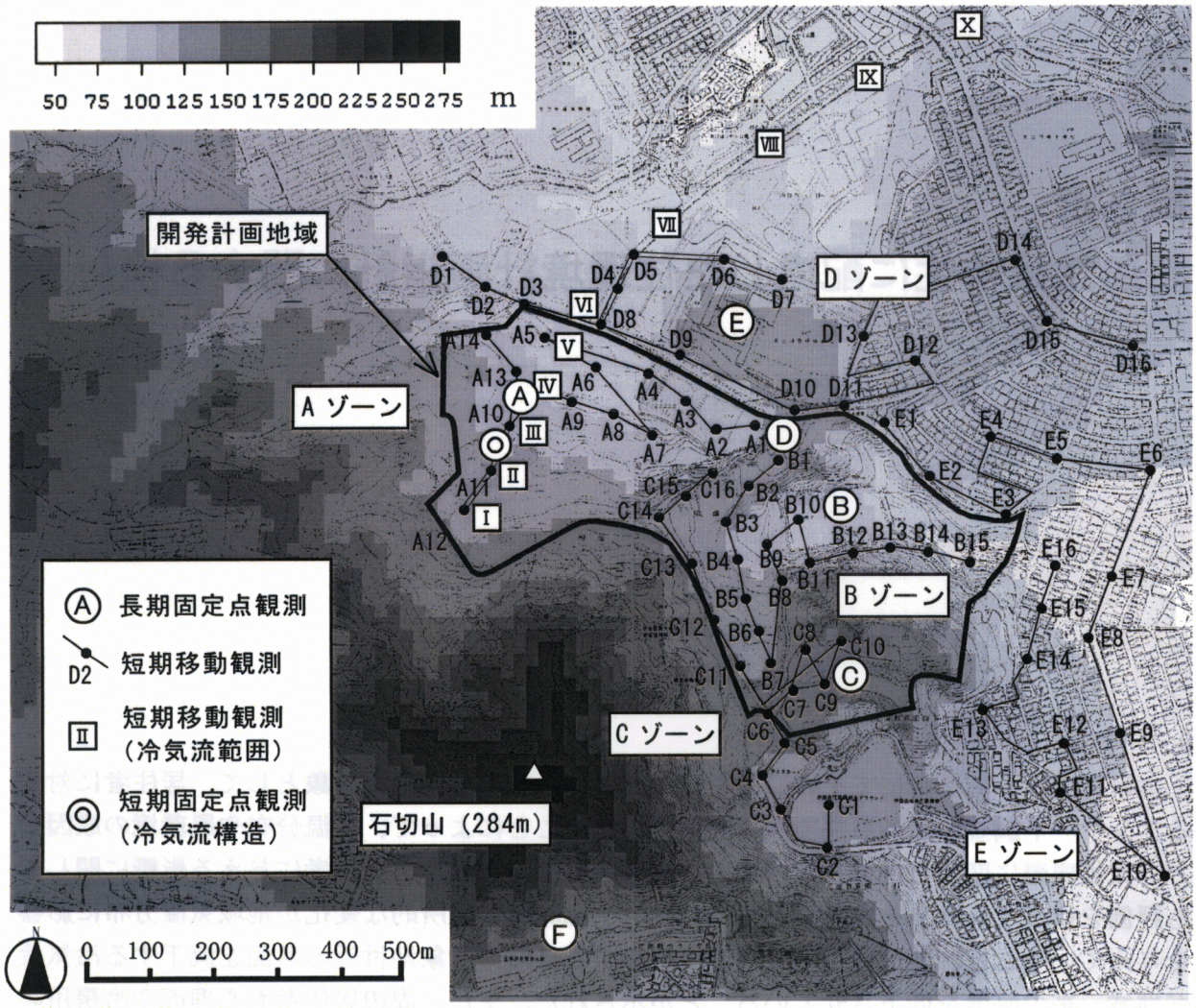


図9.1　本章で評価に用いた各種データの測定点と調査対象領域の地形概況

9.2　調査対象領域および評価データの概要

9.2.1　調査対象領域

図9.1に調査対象領域と開発計画地域の位置関係を示す。K地区は大阪平野から1.5km北方に立ち上がった丘陵地域である。開発計画地域は概ね、地域南西部の石切山（標高284m）から北東方向へ続く緩やかな傾斜地である。但し、領域内にはいくつかの谷や丘が形成され、やや複雑な様相を呈している。

9.2.2　対象領域における気候環境評価手順

第2章でその概要を詳細に述べたように、K地区の開発計画は55ha規模の比較的大規模な開発計画であること、また、計画地には自然が豊富に残されていること、さらには地形も複雑なことにより地区内の気候環境が大いに変化することが予想されるため、表8.3で示した『建築レベル情報』収集の実施基準の多くに当てはまる開発計画と判断される。従って、第8章で提案した気候環境情報活用フレームの内、『建築レベル情報』収集の手順に従い、情報の作成から計画指針の検討までを実施していくものとする。

9.2.3　評価データの収集を目的とした実測調査

地域の気候特性を把握するためには、季節や天候の影響を考慮した長期的なデータの収集

が重要となる一方で、本対象領域のように複雑な地形を有する丘陵地の場合、多様な微気象を呈することが予想されるため、可能な限り数多くの測定点を設ける必要がある。そこで、領域内外の代表点における長期観測に加えて、様々な目的に応じた3種の短期観測を実施した。以下に各観測の概要を示す。

9.2.3.1 気温空間分布の把握を目的とした短期移動観測

調査は1997年から1999年にかけて、各季節を通して日中10回、夜間7回の計17回実施された。調査対象領域周辺をAからEの5ゾーンに分割し、各ゾーン毎に気温分布に関する移動観測を行った。測定点と移動経路の一例[注9.2)]を図9.1に示す。各ゾーンの概要ならびに詳細な計測方法については第4章を参照されたい。

9.2.3.2 地域気候の季節変化の把握を目的とした長期固定点観測

調査対象領域内とその周辺に6点の観測ステーションを設け、1997年の1月から年間を通して、気温と風環境に関する長期観測を行った。測定は10分間隔で継続的にデータを記録した。AからD点は9.2.3.1の短期移動観測における各ゾーンの代表点（地上6m）に、E･F点は教育施設屋上（地上約20m）に設置した。各観測ステーションの設置位置や計測方法等の詳細に関しては第5章を参照されたい。

9.2.3.3 冷気流発生構造の把握を目的とした短期固定点観測

第4章の解析結果から、調査対象領域内で最も気温の低下が顕著であった石切山北部の北東方向への緩やかな傾斜地を対象として、冷気流発生構造の把握を目的とした短期固定点観測を行い、鉛直方向の気温や風速分布を始めとして、冷気流の主な冷熱源である植生の温度や地表温など多くの要素を測定した。測定点を図9.1に示す。計測方法や観測結果等の詳細に関しては第6章を参照されたい。

9.2.3.4 冷気流影響範囲の把握を目的とした短期移動観測

冷気流が周辺住宅地域へ及ぼす影響を明らかにすることを目的として、開発計画地域北部の既存住宅地を広範囲に含む地域を対象とする移動観測を実施した。斜面傾斜方向に測線を設置し、測線上の10点で気温および風向風速に関する測定を行った。測定点を図9.1に示す。計測方法や観測結果等の詳細に関しては第6章を参照されたい。

9.3 計画基礎図面による評価

計画基礎図面とは地域気候特性図面や計画指針を作成する際のベースとなる1次もしくは2次的な情報であり、地形や開発状況、各気候要素など様々な情報が対象として挙げられる。本章では計画基礎図面の一例として、図9.1から図9.5に調査対象領域の地形、開発現況（土地利用）、気温、風および日射に関する情報を示す。

対象領域周辺の気温分布測定結果に関して、結果の詳細は第4章に述べているが、日夜の最高・最低気温発生地域には季節に依存しない地域特性があり、この傾向は年間を通して変化しないことや、図9.3に示すように昼夜では最高・最低気温発生地域の傾向が大きく異なることが明らかとなっている。図9.4の風環境測定結果によると、夕刻から夜間には夜間最

注9.2) 9.2.3.1でその概要を述べた短期移動観測は3年間で17回もの計測を行っているため、計測点や移動経路が変化している場合もある。特に観測後期には図9.3に結果を示すように、開発計画地域から既存住宅地域にかけて測定範囲を大幅に拡大した。図9.1に示した測定点と移動経路は観測初期のパターンである。

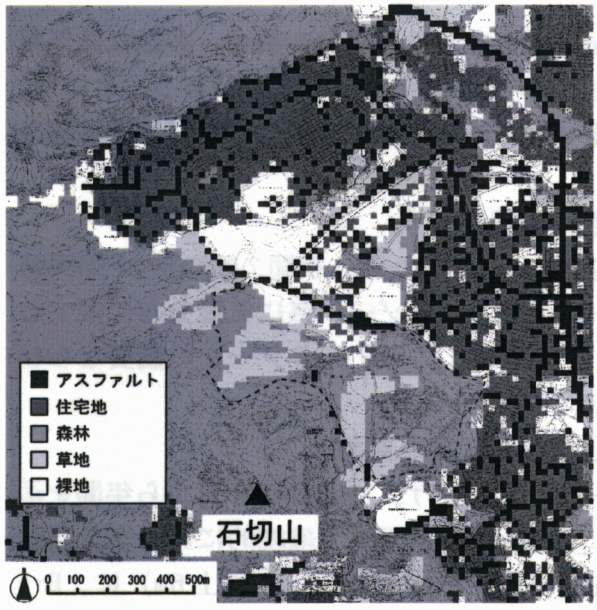


図9.2　対象地域の土地利用分布

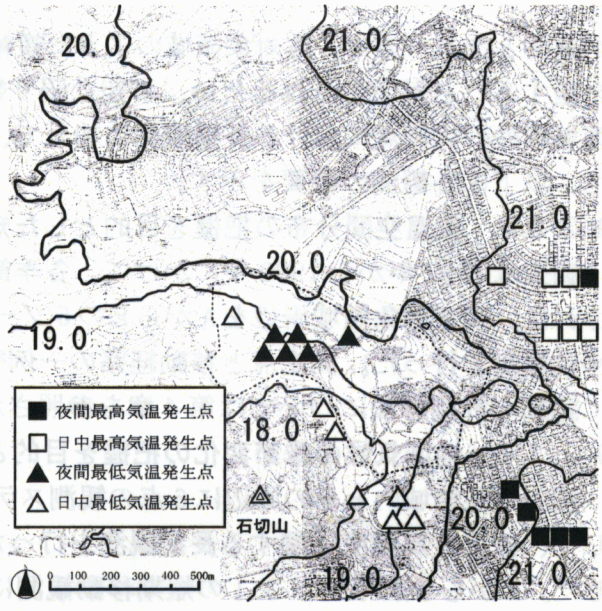


図9.3　移動観測による気温空間分布測定結果
＊等温線は観測結果の一例

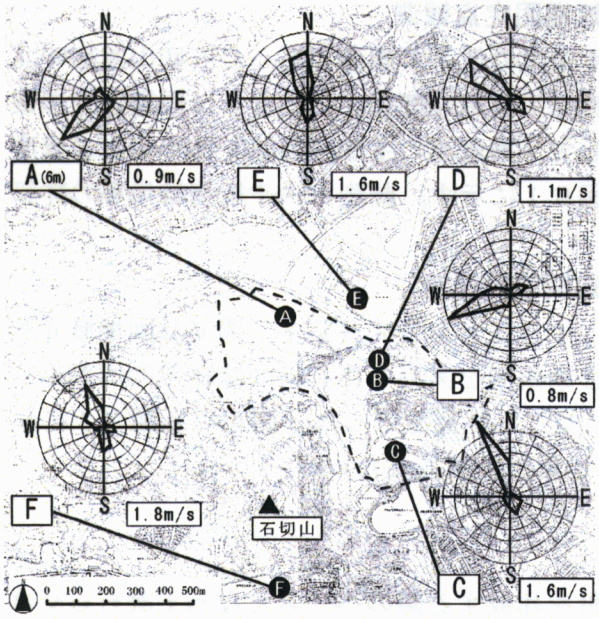


図9.4　長期固定点観測による風環境測定結果
＊風配図等は観測結果の一例

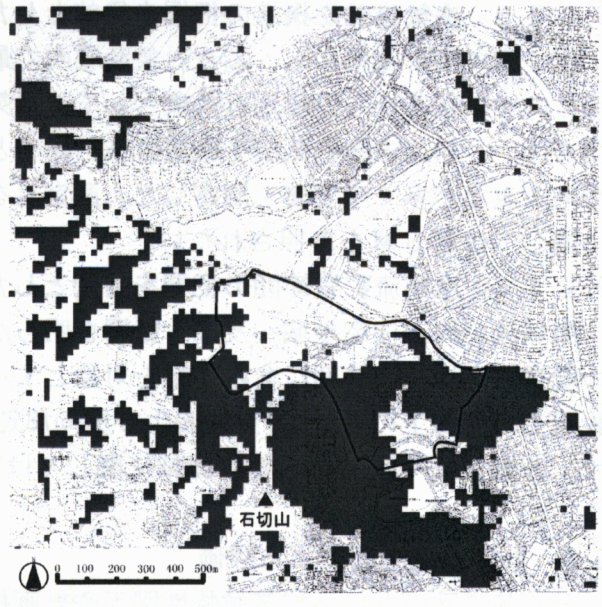


図9.5　地形による日射遮蔽
（10月20日：夕刻16時）

低気温発生地域周辺である観測点Aや観測点Bにおいて、領域を支配する広域的な風場を示す観測点Eとは90°以上も風向の異なる風が観測されている。これは、第6章でその発生構造を詳細に検討した冷気流が観測された結果である。なお、第4章で重回帰分析を用いて対象領域周辺の気温分布形成因子を抽出した結果、気温分布は主として土地利用形態（図9.2）によって形成されているが、日中は地形の変化に伴う日射環境の違い（図9.5）、夜間には冷気流などの局所風（図9.4）が重要な因子として抽出されていることから、これらの因子に関する情報整備は不可欠と考えられる。

さらには、8.2.2で述べたように、各気候要素は居住者に対して複合的な影響を与えるた

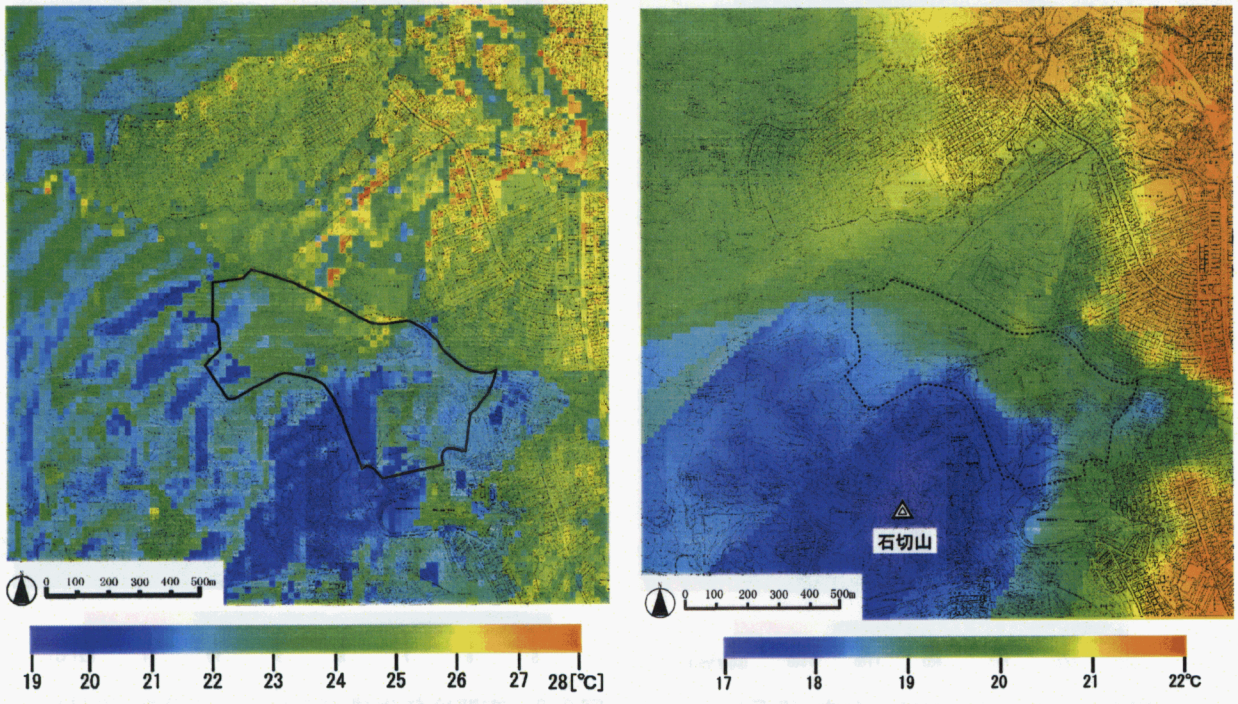


図9.6　SET*分布状況（秋季：夕刻）　*右に参考として同時刻の気温分布状況を示す

め、計画基礎図面の各要素を活用して屋外熱環境に関する体感評価や空調負荷、太陽熱・光利用可能量などを始めとする各種エネルギー消費量に関する情報を整備すれば、より居住者の感覚・意識に近い表現が可能になる。本章ではこのような2次的な情報の一例として、図9.6から図9.10に屋外のSET*、デグリーアワー、夜間冷気生成ポテンシャル、太陽熱利用可能量、昼光照明の減少に伴う必要照明費用の各分布状況を示す。

図9.6に示すSET*とは、気温、風速、湿度、放射の各種温熱要素、さらには代謝量、着衣量の人体要素に関して、人体と環境との熱収支式を基に、ある特定された空間の気温（湿度50%、気温＝平均放射温度、静穏気流）の値に換算した指標である[9.1)]。図9.6の結果によると、開発計画地域内は自然地が多く残されていることから、体感的にも既存の周辺住宅地域と比べて昼は5℃程度低く、かなり大きな差を示している。参考として示した同時刻の気温分布図と比較すると、気温とSET*の分布形状は一致していないが、これは、特に日中には放射温度の影響がSET*に対して支配的になり、その放射温度が土地利用状況や方位などの斜面特性によって大きく変化するためである。このような総合温熱環境指標を用いることで、温度環境だけでは把握できない、体感的な気候の影響を把握することが可能となる。開発計画地域と周辺住宅地域を気温の面で比較するとその差は2℃程度であるが、体感的にはより大きな差があることを示している。しかし、その一方で、開発後には大きくSET*の値が変わることが予想される。特に、体感温度の低下に大きな効果を有する森林の減少は、体感温度の急激な悪化を意味する。従って、このような図面を計画関係者に提示する際には、体感温度の決定構造についても知見的な情報を付記することで、可能な限り体感温度の変化を抑える開発を誘導する必要がある。

図9.7に示すデグリーアワーとは、デグリーデイと同様の概念である。デグリーデイは空調負荷の年間見積もりに用いられる指標で、一日の平均気温と室内空調設定温度の差を、空

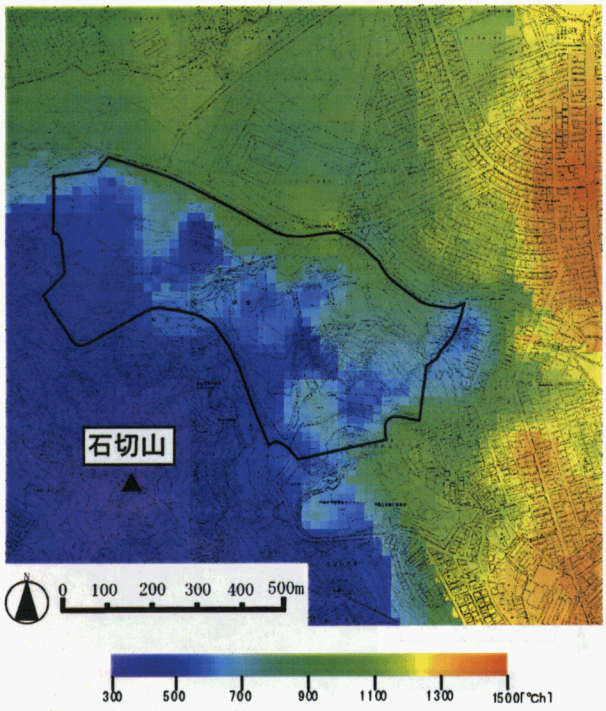


図9.7　デグリーアワー分布（8月）

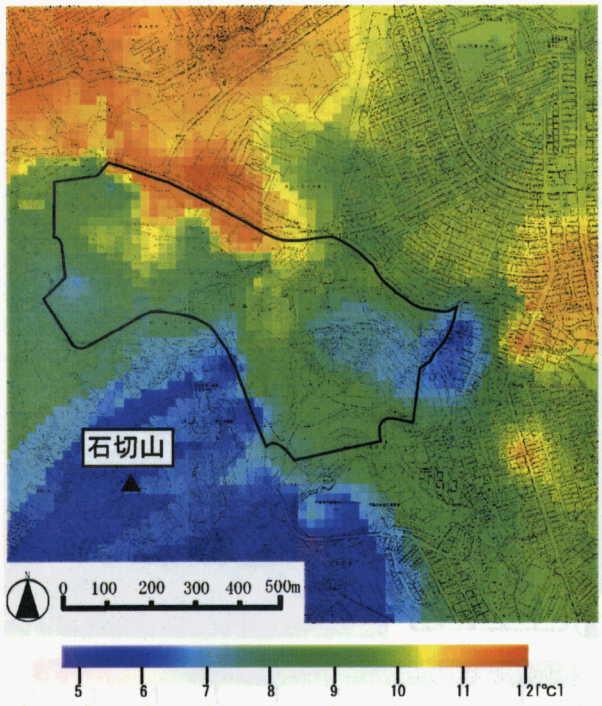


図9.8　夜間冷気生成ポテンシャル分布（8月）

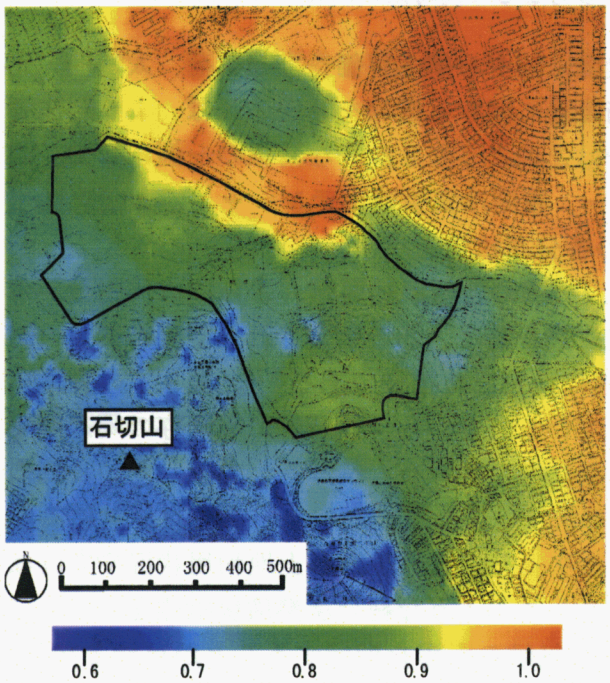


図9.9　太陽熱利用可能量分布（10月）
（平地基準の比率による表示）

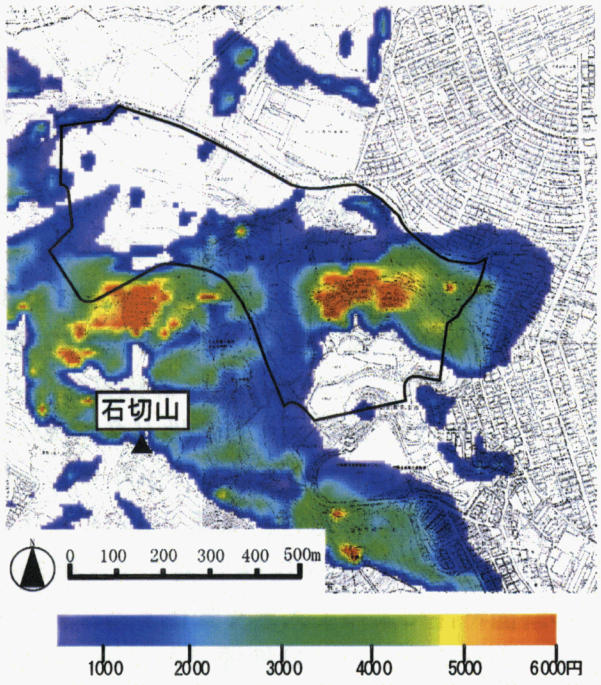


図9.10　昼光照明減少に伴う照明費用（12月）
（平地基準の増分による表示）

調期間で積分した値である。すなわち建物の熱貫流率がわかれば、期間トータルの外部負荷が推定できる。従って、デグリーデイが大きければ空調負荷が大きくなることを示す。デグリーアワーは1時間の平均値と室内設定温度の差を1日24時間積算し、それをある期間についてさらに積分した値である。なお、室内の設定温度は26℃に設定した。図9.8に示す夜間冷気生成ポテンシャルとは、気温日較差の月平均値を意味しており、夜間気温の冷え込み

が強いとポテンシャルは大きい値を示す。すなわち、夜間気温が低いことから、例えば団らん時や就寝時の自然通風（外気冷房）効果が増し、夏季の冷房用空調エネルギー消費量にも好影響を与えることが期待される。

これらの指標について推計を行った結果から、デグリーアワーに関しては、現状では自然地域内で既存の住宅地内と比較して半減されることが示された。また、基本的な分布の傾向として、昼間と夜間の気温分布特性をそれぞれ重ね合わせたような形状を示した。このような積算データは、地域環境の日特性を代表する指標に成り得る。デグリーアワーの値が小さい地域では、空調機の成績係数（COP）の向上など、副次的な効果も期待される。夜間冷気生成ポテンシャルについては、特に冷気流の影響を受ける地域一帯で大きな値を示した。この結果からも、冷気流は地域気候資源として重要な役割を果たしており、特に保全すべき対象であることが伺える。しかし、これらの指標は気温特性のみを考慮したものであるため、開発後の土地利用状況の変更や人工排熱の増加に伴い、その分布形状は大幅に変化することが予想される。従って、この指標の利用方法として、資源賦存量の多い地区をターゲットに開発を進めるのではなく、可能な限り気温の上昇を招かない開発を進める、地域内の重点ポイントとして扱うことが重要になると考えられる。

図9.9に示す太陽熱利用可能量や昼光照明の減少に伴う照明費用に関する情報は、日射量、地形、気温分布の各1次情報を基に推計した結果である。なお、推計方法に関しては注9.3および注9.4をそれぞれ参照されたい。これらの太陽エネルギー関する空間分布を検討した結果、既存周辺市街地と比較して顕著に地域内分布が大きいことが示された。特に、開発計画地域内の石切山北東部地区では資源賦存量に乏しい様子が伺える。必要照明費用の試算では1ヶ月あたり5,000円近くの出費を強いられることが予想されており、この地域に居住空間を設置した場合に、何らかの問題が発生するのは明らかであろう。このような日射環境を把握することによって、太陽熱・光利用可能賦存量や昼光照明の利用による照明エネルギー削減効果を定量化することはもちろん、例えば地表面温度の推計も可能となる。環境共生手

注9.3) 太陽熱利用可能量の推計には数値計算による太陽熱集熱モデルを用いた。本研究では集熱器（2.84 m²）、蓄熱槽（250 ﾘｯﾄﾙ：完全混合モデル）、配管（径5cm、配管長さ10m）の3つの機器群からなる単純なシステムを想定した。集熱器は傾度南面30度で設置し、熱媒流量は0.5m/sとした。計算タイムステップは2分とし、陰解法により蓄熱槽に流入する熱量を計算した。日没時に集熱は終了するものとし、ここで定義する集熱可能量は日出から日没までの総取得熱量から総熱損失量を引いたものとした。計算の際に考慮した気候条件は、地形による影と気温である。地形の影響で影になった場合には、拡散日射量のみを与えた。なお、図9.9では傾斜が無く周辺地形による日射遮蔽の影響が少ない教育施設のグランド（住宅開発計画地のすぐ北側）上の予測値を基準にした比率で表示している。

注9.4) 昼光照明による仮想室内空間の照度を予測し、照度不足の際の人工照明に必要になるエネルギー量をコストにより試算した。仮想室内空間は1m×1mの窓面を有し、窓面から法線距離で2mの位置における床面の照度を推計した。必要最低照度を500lx（読書や軽作業に必要な照度）とし、必要照度に不足した場合30Wの電灯をつけ、電灯により消費した電力量を料金に換算した。フラット地域を基準とした点灯時間の差を、地形の影響による必要照明エネルギー量とした。料金は1kWh＝18.48円（関西電力料金）とし、1ヶ月間の電気料金を算出した。一部大胆な仮定を基に推計を行っているために、必要照明エネルギー量の絶対値はそれ程意味を持たないが、分布形状の判断、照明エネルギー必要性の地域特性を判断することは可能である。

法の一つであるクールチューブの適用を考えた場合、その効果に地表・地中温の影響が大きく作用するため、日射量の分布情報が指標の一部を構成すると考えられる。また、生気候分布（体感気温分布）の把握に関しても、直達日射の有無は体感温度に与える影響が強いことから、日射量分布の把握が不可欠であり、太陽エネルギーの評価は気候環境情報の一分野として重要な役割を果たすものと思われる。

9.4　住環境計画への適用を目的とした地域気候特性図面

前節では計画基礎図面として、実測等の調査結果を単独要素で表現する1次情報や、各種目的に応じて複合要素で表現した2次情報を作成することによって、対象領域内で発生する様々な気候現象やその影響を評価することが可能となった。住環境計画の際には、これらの情報を基にして気候面への配慮や活用方法を検討することになるが、計画要素を判断するのは設計関係者であることが一般的である。従って、計画時の判断を適切に行うためには、気候特性に対するある種の計画方法の提言にまで踏み込んだ、さらなる高次情報を事前に整備しておくことが望ましい。また、居住者に対して外部環境連係型ライフスタイルを推進していくためには、一目で地域の環境特性を把握することが可能な平易表現による総合図面情報を整備しておくことが望ましい。そこで、本節では前節で作成した各種情報や9.2で解説した各調査の解析結果をベースとして、設計関係者や居住者を対象に比較的平易な形式で表現された「地域気候特性図面」の作成を試みた。

まず、対象領域内の地形や開発状況、年間を通じた気候特性により、領域内を『森林気候』、『草地気候』、『公園緑地気候』、『裸地気候』、『郊外住宅気候』、『山間住宅気候』の6気候区に分類した[注9.5)]。各気候区分の特徴を以下に記す。

≪森林気候≫・・日中は森林の樹冠部で日射が遮られるために気温が低下する一方で、夜間は天空の放射冷却を遮るために気温がやや高い値を示すことから、一日を通じては気温変動の小さい安定した環境を示す。日中に気温が低く保たれることから、傾斜を有する場合には夕刻から夜間にかけての冷気流の発生源になるため、斜面下部の住宅地への冷却効果や新鮮空気の産出が期待される。

≪草地気候≫・・背丈の低い植生のため通風環境が良く、森林地域からの冷気流や新鮮空気を住宅地に取り入れる“風の道”として機能している。森林とは異なり放射冷却の影響を受けることから、夜間は特に体感温度が低下する一方で、日中には日射の影響により体感温度が上昇するために、森林気候と比較すると一日を通じてやや気温変動の大きい環境を示す。

≪公園緑地気候≫・・公園緑地内の植生は背丈の高い樹木や芝生など様々である。図9.11に示すように、気温は草地気候に近い変動を示すが、気温は緑地の規模に影響を受けるため、気温の低減効果を期待するには、ある程度大きな規模を有することが必要である。小規模な公園緑地の場合には、気温低減効果よりも、樹木の日射遮蔽による体感温度の低減効果を期待する方が賢明である。

≪裸地気候≫・・日射の影響を強く受け、人工地表面以外の地域では日中に最も気温が高い

注9.5）ここで定義された気候区分は、あくまでも本研究の対象領域における区分結果であり、対象地域が変われば地域の土地利用状況に応じて区分基準も変化する。例えば、本研究の対象領域には水面や商業施設、工場等の施設は含まれないが、これらが含まれる場合には新たな定義を行う必要がある。

値を示す。夜間は放射冷却の影響を受けるため、一日を通じて気温の日変化が大きい環境を示す。風に対する障害物が少ないため、草地と同様に“風の道”となり得る。地表面付近に熱容量の小さい葉面が存在しないため、冷気流の発生源としての機能は草地や森林と比較して顕著に劣る。

≪郊外住宅気候≫・・主として戸建住宅が立ち並び、商業や業務施設の割合が少ない地区である。後述の山間住宅気候と比較して、地形変化の影響をあまり受けない。建物高さは全体的に低く、建蔽率もそれほど高くないため、概して風通しが良い。1日を通して他の気候区よりも気温が高く、人工地表面の密度が上昇するにつれて気温も上昇する。研究対象領域東端の幹線道路に隣接した地区では、K地区に隣接する中心市街地の業務商業地区と同程度まで気温上昇が認められる。

≪山間住宅気候≫・・郊外住宅気候と同様に、その土地利用構成のほとんどが戸建住宅であるが、地形変化による微気候の影響を受けやすい。周囲を山で囲まれているため、日中は主に日照環境の影響を、夜間には周囲の自然地域からの冷気流の影響を受ける。この影響を受けて、日中には、特に東向き斜面で郊外住宅気候に比較して気温が低下し、夕刻には直達日射も遮られる為、体感温度が低下する。夜間には冷気流の影響を受けて郊外住宅気候と比較して1℃から2℃程度気温が低下している。

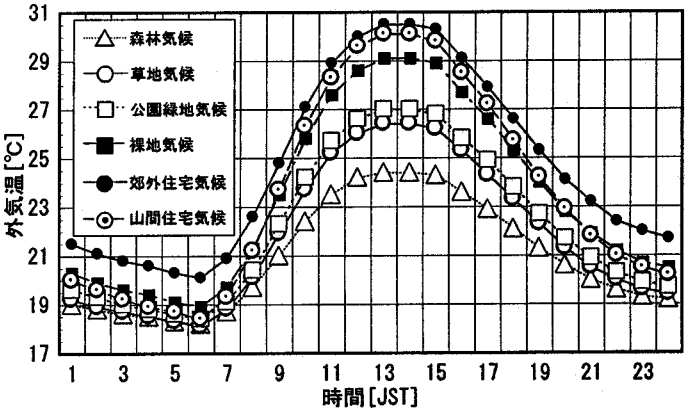


図9.11　各気候区分代表メッシュの気温日変化（8月平均）注9.6)

なお、気候区のスケール（面積）については、9.2.3.1で解説した短期移動観測による気温分布データと各測定点の土地利用形態との単回帰分析を行った結果から、図9.12に示すように、建蔽率や緑被率等の各種土地利用率と気温の相関係数が安定化する評価半径60mを最小単位とした。すなわち、1ha程度の面積を有する一様な土地利用塊は、局所的な地域熱環境に確実な影響を及ぼすと考えた。その他、広域的な風の特徴、地表面付近の気流の流れや日射の局所性等に関して、可能な限り平易な表現を試みた。以上の方法

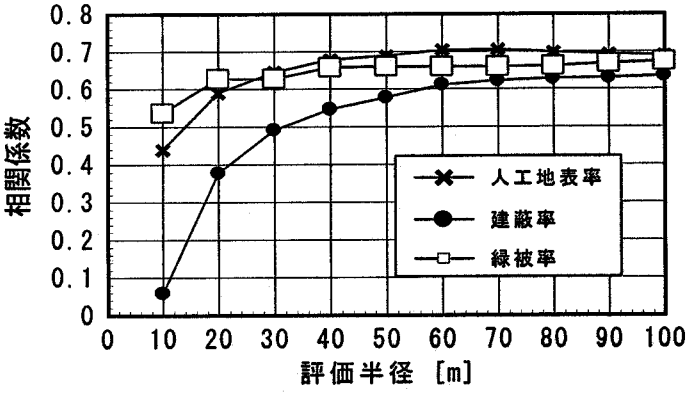


図9.12　移動観測による気温測定結果と測定点周辺の各土地利用率との相関関係

注9.6) 気温分布測定範囲を20m×20mのメッシュに分割し、69×72=4968メッシュを対象に9.2.3.2で解説した固定観測ステーションによる気温データ（8月）と9.2.3.1で解説した移動観測による気温分布データをリンクすることによって、各メッシュにおける時系列データを作成した。気温日変化の推定には宇田川[9.2)]による手法を用いた。

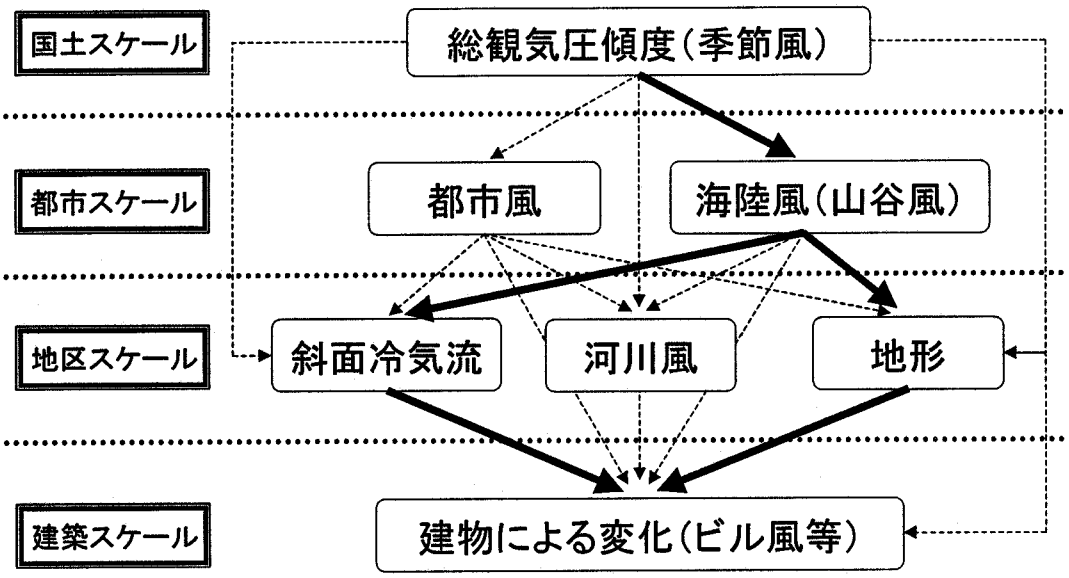


図9.16　本研究の対象地域における風環境評価フレーム

で作成した調査対象領域の地域気候特性図面を、夏季の昼間に関して図9.13、冬季の昼間に関して図9.14、夏季および冬季の夜間に関して図9.15にそれぞれ示す。また、本研究の対象地域における風環境評価の概念図を図9.16に示す。考慮すべき風の種類は対象とする地域の特性によって大きく変化する。本研究の対象地域において、都市スケールでは海陸風の影響を、地区スケールでは地形による風の変化や斜面冷気流の影響をそれぞれ受けており、上述の気候特性図面にはこれらの影響が反映されることとなる[注9.7)]。

≪昼間≫・・図9.11に示すように、各気候区分間の気温差が最も顕著になる時間帯である。最も気温が高い『郊外および山間住宅気候』と『森林気候』との間には6℃程の気温差を生じている。この時間帯には『郊外住宅気候』と『山間住宅気候』間の気温差はごくわずかである。なお、図9.3に示すように、領域内の最高気温は『郊外住宅気候』に含まれる領域東部を南北に走る幹線道路の主要交差点付近で生じており、周辺住宅地域と比較して1℃程高い値を示している。領域内の最低気温は石切山による日射遮蔽の影響を受けて『森林気候』に含まれる石切山東部のCゾーン（短期移動観測）付近で生じている。領域を支配する広域的な風環境に関しては、夏季には約15km離れた大阪湾を起源とする海風の影響により南から南東を示す一方で、冬季には季節風の影響により北から北北西を示す。但し、日中は大気が不安定であるために、広域主風向は夜間ほど明瞭には現れない。地表面付近の風に関しては、広域風が石切山等の地形の影響を受けて変化したと推測される流れが支配的であり、後述する密度差に伴う流れは卓越していない。

≪夜間≫・・主として冷気流の影響を強く受ける時間帯である。9.2.3.3でその概要を述べた短期固定点観測の結果によると、冷気流は夕方から翌朝にかけて12時間以上風向を変化

注9.7) 例えば、対象地域に河川が含まれる場合には河川風の影響が反映される。極端な例としては地表面に何も存在しない場合には総観気圧傾度による風のみを対象とすれば良い。このように、風環境を評価する場合には、対象とする地域において、どのような風の種類を対象とするかを、図9.16に示すようなフレームを用いて決定する必要がある。

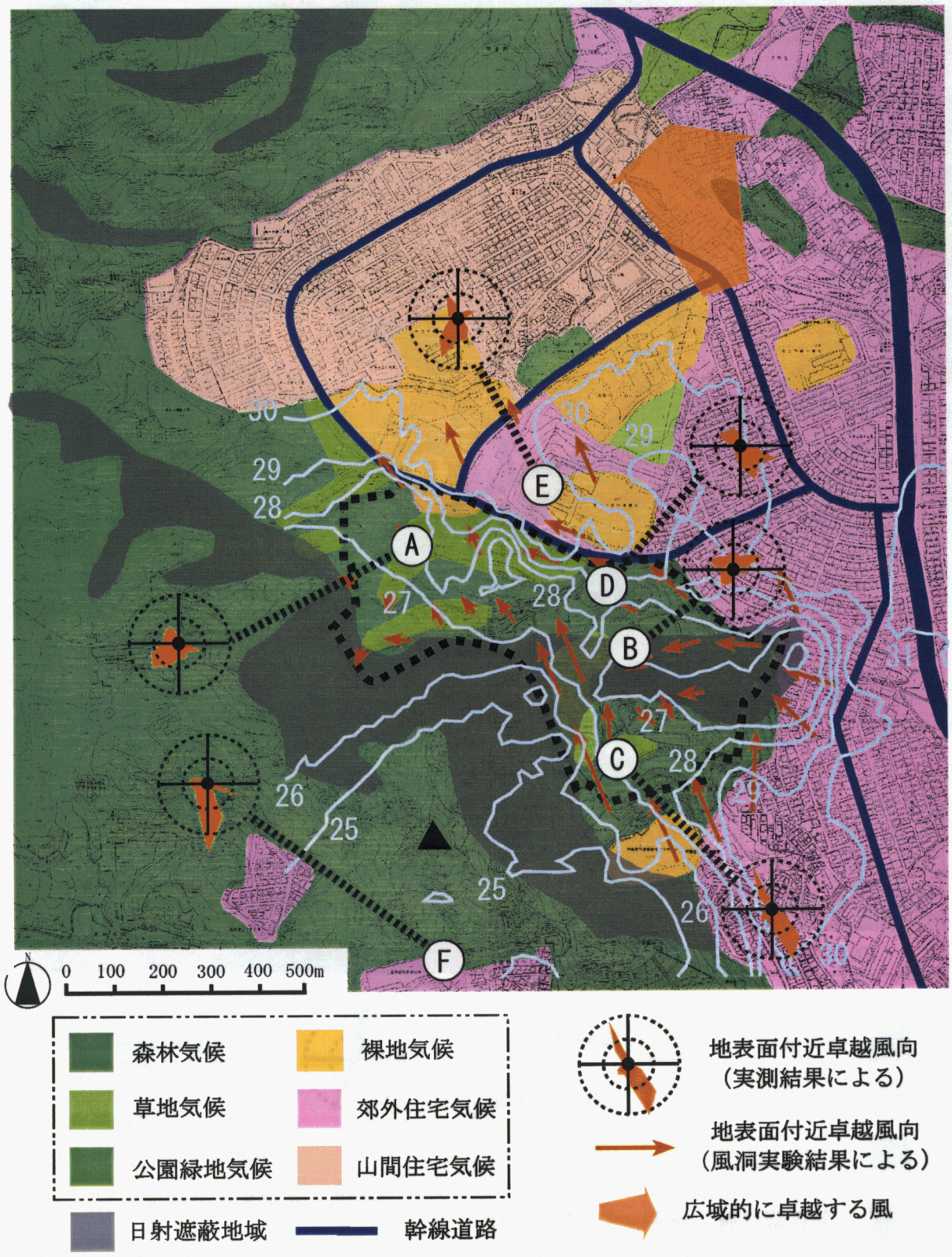


図9.13　対象地域の気候特性図面（夏季：昼間）

＊図中の等温線は観測結果の一例（1997年9月10日15時）

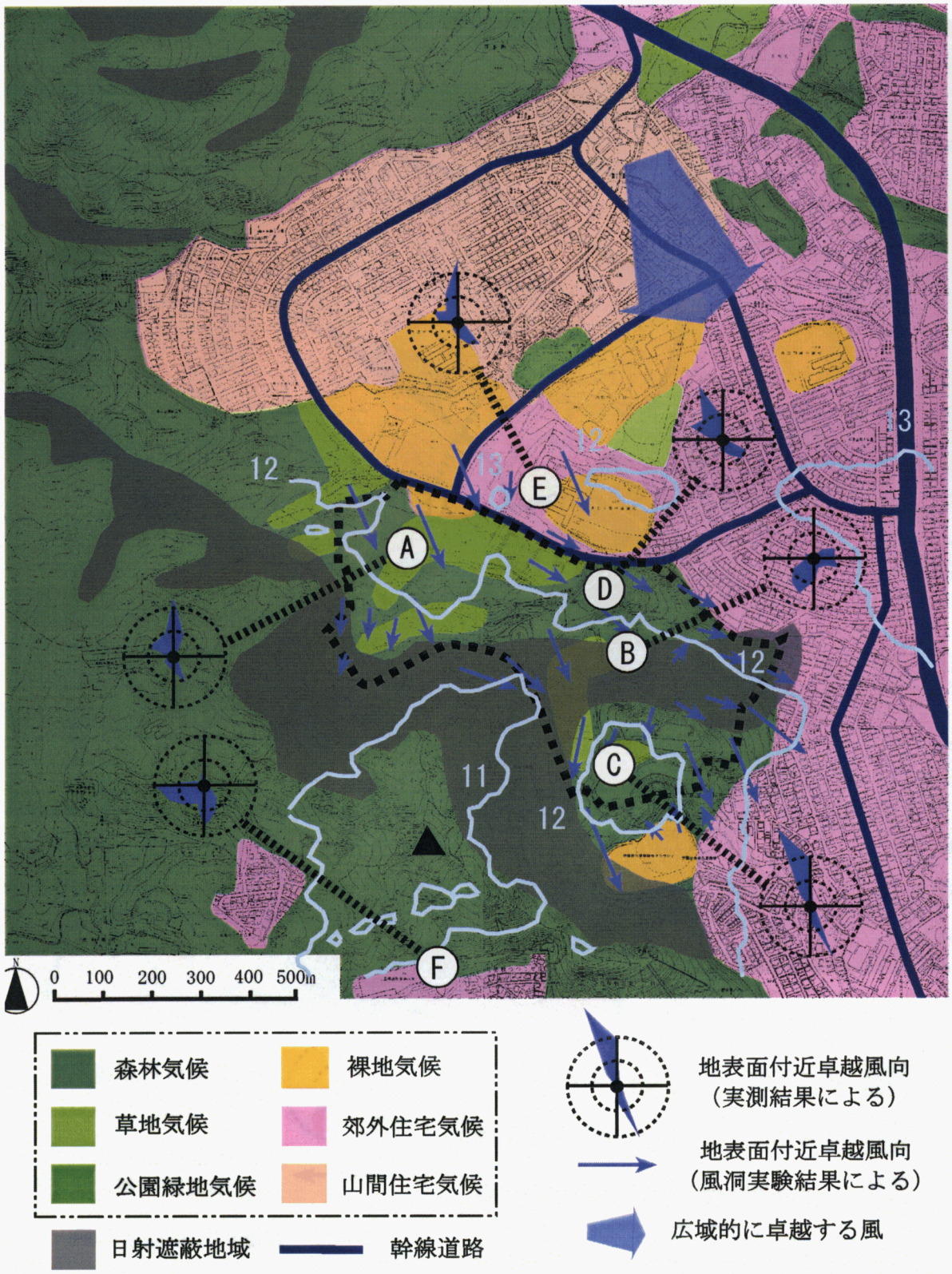


図9.14　対象地域の気候特性図面（冬季：昼間）

＊図中の等温線は観測結果の一例（1997年12月15日0時）

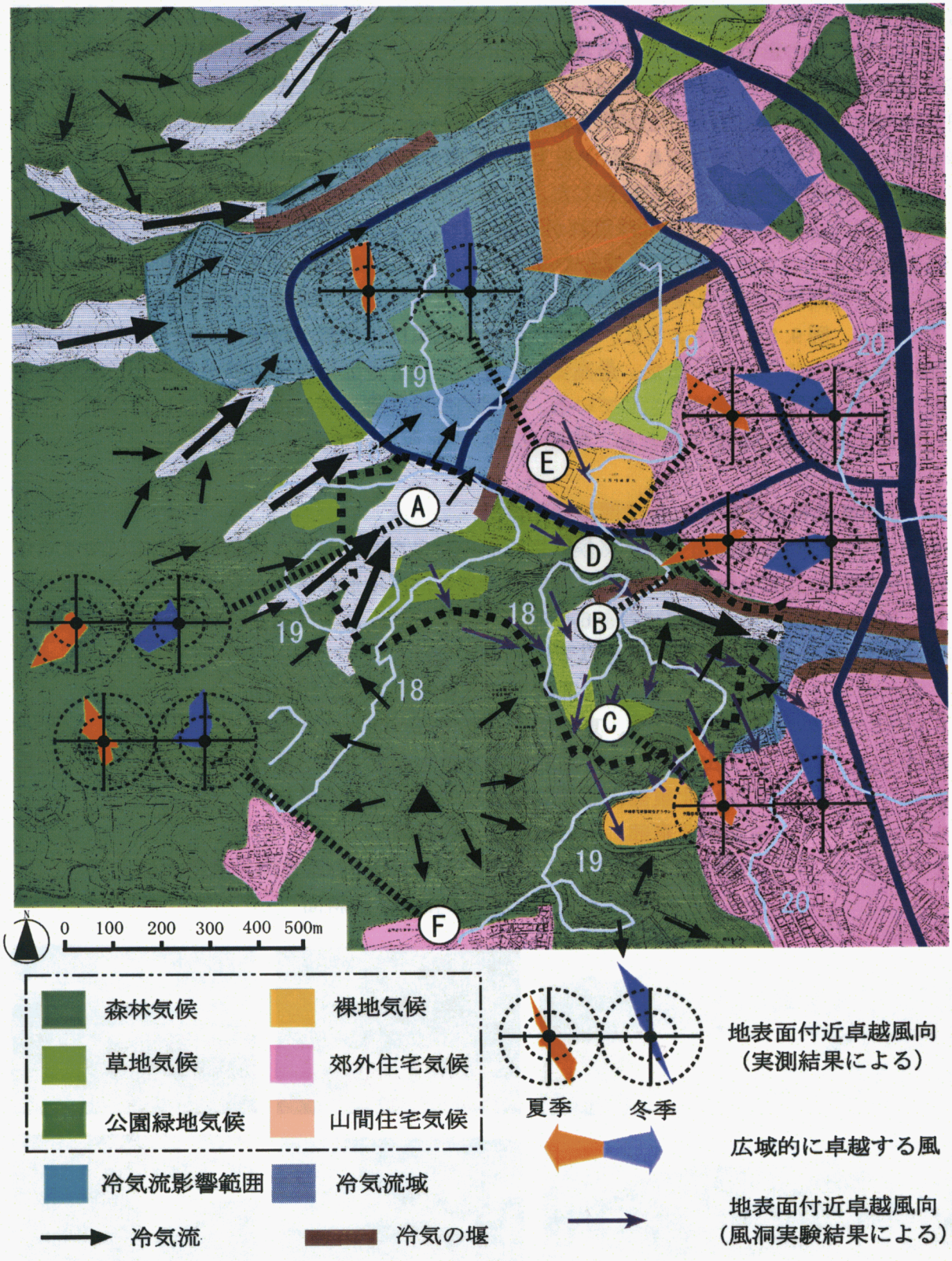


図9.15　対象地域の気候特性図面（夏季・冬季：夜間）

＊図中の等温線は観測結果の一例（1997年9月11日2時）

することなく、非常に安定して卓越することが明らかとなっている。なお、冷気流の風速は常時1.0m/s未満であり、ごくわずかに体感できる程度の微風である。9.2.3.4でその概要を述べた冷気流の影響範囲に関する実測結果によると、夕方には自然の残存する開発計画地域周辺のみで確認されていた冷気流が、夜間に移行するにつれて影響範囲を拡大し、既存の周辺住宅地域内へ流出することが明らかとなっている。なお、気候特性図面では冷気流の影響を受けない地域と比較して0.5℃から1.0℃程度の気温低下が確認された約500mまでの範囲を「冷気流影響範囲」として定義した。なお、冷気流はあくまでも密度差に伴う気流であるため、斜面を上昇する方向には流れが確認されない。『山間住宅気候』はこの冷気流の影響を顕著に受けるため、『森林気候』や『草地気候』などの自然地域とほぼ同程度まで気温が低下し、昼間にはほとんど差が認められなかった『郊外住宅気候』との気温差が拡大している。なお、図9.3に示すように、領域内の最低気温は冷気流が顕著に卓越する石切山北部の緩斜面上で生じている。また、最高気温に関してはK地区南東部に拡がる中心市街地の業務商業施設に隣接した地域で生じている。広域的な風環境に関しては、夏季には陸風、冬季には季節風の影響が卓越するため、年間を通して北西方向で安定している。

9.5　周辺気候特性に配慮した住環境計画指針

前節までの計画基礎図面や地域気候解析図面の結果を基にして、開発計画地域に対する住環境計画指針の立案を試みた。なお、開発計画地域内は地形に多様な変化が生じていることから、地形の状況に応じて地域内を6つのゾーンに分割した。決定された計画指針の概要を図9.17に示す。各ゾーンの概況を以下に記す。

Uゾーン　　：石切山北部　、北部既存住宅地域へ向かう緩斜面
Vゾーン　　：石切山東部　、東部既存住宅地域へ向かう谷底部
Wゾーン　　：石切山東部　、計画地域内で最も高度が高い高台
Xゾーン　　：石切山北東部、北部既存住宅地域へ向かう尾根
Yゾーン　　：石切山北東部、石切山中腹の急斜面
Zゾーン　　：石切山北東部、VおよびWゾーンの間にある北向き急斜面および
　　Vゾーン北側の南向き急斜面



写真9.1　各ゾーンの概要（左上：Uゾーン、中上：Vゾーン、
右上・左下：Wゾーン、中下：Xゾーン、右下：Yゾーン）

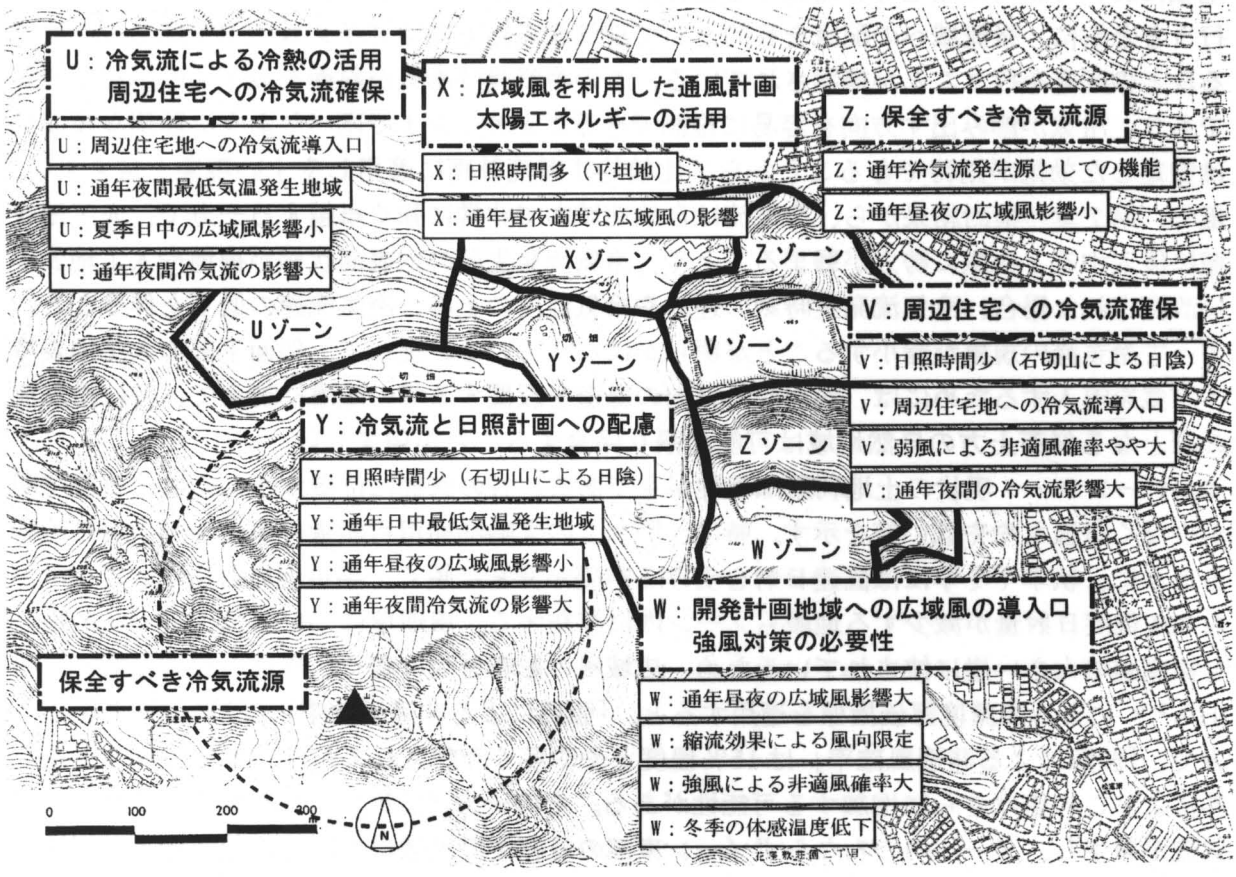


図9.17　対象地域における住環境計画指針の概要

≪Uゾーン≫・・現状の土地利用は裸地や草地が主であり、比較的風が通りやすい環境にあるが、ゾーン南側に石切山が存在しているため、図9.18に示すように広域風として南風が卓越する夏季の日中には石切山による障壁効果によって風速が弱く、地域の主風向も安定しない。なお、風上に位置するF点では風速が増加することが図9.18の結果から伺える。北風が卓越する冬季の日中には、石切山に対して風上側に変化するため、夏季よりも風速が増加する。従って、自然通風や地域の熱環境緩和効果を意図する際には、一般的には夏季に風速が増加することが望ましいことから、Uゾーンにおける日中の風環境は決して良いとは言い難い。一方で、午後3時から4時頃には地形による日射遮蔽の影響を受けたゾーン上方の谷間から冷気流が流出し、徐々に周辺地域の気温が低下し始める。開発計画地域内では最も夜間気温が低下するゾーンであることからも示唆されるように、この冷気流は地域の気温低下に多大な影響を及ぼすことから、Uゾーンでは冷気を建物に導入し、かつ北部の既存周辺住宅地域に対して冷気流流れを阻害しない地域・建築計画を行う必要がある。第7章の検討結果から、冷気流が卓越している

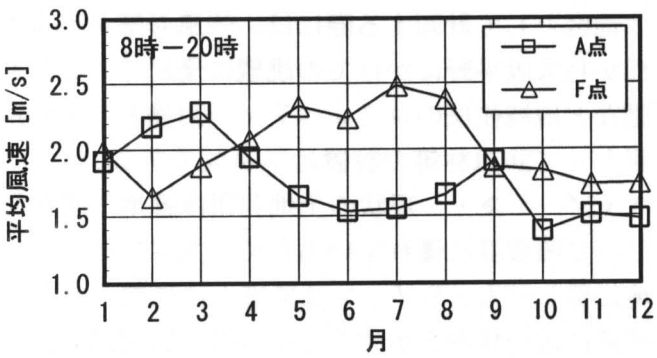


図9.18　石切山の影響に伴う風速変化（日中）
＊9.2.3.2で解説した長期固定点観測結果による

地域において新たに住宅等を建設する場合には、特に建物の配置形態や密度に対する考慮を行うとともに、後流域への配慮を目的として冷気流流出方向のメインロードや緑道を設置するなどの配慮を行うことが提案されている。この冷気流は冷気が斜面を流下する単純な現象であり、冷気が滲み出す方向を容易に推測できることや、9.4で述べたように静穏な夜間には安定した効果が期待できることから、比較的住環境計画に適用しやすい現象と言えよう。但し、第7章の検討結果から、冷気流は自然地域内で非常に強く卓越する一方で、人工地表域に侵入すると急激に勢力が弱まることや、冷気流発生源の地表面状態が裸地や人工地表面に改変された場合、冷気流発生時刻の遅れや冷気温度の上昇、冷気流速の低下を伴うことによって冷気流の規模が縮小することが明らかになっている。従って、斜面下部の人工地表域へ冷気を導入するためには、斜面傾斜方向の緑道を設置する等の配慮に加えて、特に冷気流の源となる斜面上方の自然地域は可能な限り保全することが望ましい。

≪Vゾーン≫・・現状の土地利用は草地が主である。谷の底部に位置するために、日照時間が少なく気温もやや低い値を示す。特に、図9.9の太陽熱利用可能量の急激な減少からも判るように、秋季や冬季には直達日射を受ける時間が非常に短く、平坦地域と比較して20%から30%程度日射量が減少する地域もゾーン内に存在する。風環境については、ゾーンの南北を標高差の大きい崖に挟まれているため、広域風の影響を受け難く、風速も非常に弱い。村上ら[9.3)]による風環境評価指標を適用すると、「強風による非適風確率」は5%未満である一方で、「弱風による非適風確率」は15%程度とやや多く予想されており、開発に伴う気温上昇によりこの値はさらに増加する可能性がある。その一方で、Uゾーンと同様に夕方から冷気流が発生し、ゾーン内のみならずゾーン東部の既存住宅地域にかけての気温低下に影響を与えている。従って、以上の日射環境と温熱環境を考慮すると、住宅や教育施設等の用途よりは、グラウンドや公園などのオープンスペースとして利用することが望ましい。これらの用途は“風の道”の役割を果たし、開発計画地東側の既存住宅地域に対する冷気流の導入もスムーズになる。

≪Wゾーン≫・・現状の土地利用は草地が主である。開発計画地域内で最も標高が高く、東西を石切山および隣接する小丘に挟まれ、南北軸に障害となる地物が存在しないことから、広域風の影響を直接的に受ける非常に風の通りやすい地域である。特に、夏季の日中には開発計画地域に風を導入する“風の道”として機能している。また、石切山と小丘による縮流によってゾーン内の風向は明確に限定されている。このような風の通りやすい空間は、夏季には体感温度の面からは望ましいが、冬季には逆に問題が発生する危険性がある。先述の風環境評価指標[9.3)]では、「強風による非適風確率」が60%と非常に高い値を示しており、居住地区として計画する際には、強風対策が不可欠である。このゾーンは高台に位置し地域南部から大阪平野にかけての眺望に優れていることからも、居住用途として利用するよりは公園など地域住民のコミュニティー用途として利用することが望ましい。但し、冬季や強風対策として防風林等の設置は不可欠である。

≪Xゾーン≫・・現状の土地利用は裸地や既存住宅が主である。比較的平坦な尾根上に位置し、日照環境に優れているために気温は他ゾーンと比較してやや高い値を示している。風環境に関しても、Xゾーンは尾根上に位置するため、隣接するUゾーンやVゾーンと異なり広域風に近い状況を示すことや、冷気流の影響をほとんど受けないことが明らかとなっている。第5章で解説した調査対象領域の風環境に関する風洞実験結果によると、Wゾーンの小丘で

剥離した広域風が、Xゾーン付近に向けて最付着する風の流れが形成されるために、図9.4に示されるようにWゾーンほどではないがUゾーンよりも強い風が吹くことが確認されている。以上を勘案すると、Xゾーンは居住用途として適した空間であり、特に広域風を利用した通風計画が効果的に機能すると考えられる。また、Xゾーンの地形は平坦面もしくは西向き斜面が主であるため、図9.9に示すように太陽エネルギーの賦存量も他ゾーンと比較して豊富であることから、これらの活用に関しても効果が期待される。

≪Yゾーン≫・・現状の土地利用は森林が主である。標高はXゾーンとほぼ同じであるが、石切山により近接した場所に位置し、正午過ぎから石切山による日陰が発生するために、開発計画地域内では最も日中の気温が低下するゾーンである。なお、夕刻には冷気流の発生源として機能し始める。風環境に関して、夏季の日中にはWゾーンを通り抜けた広域風の剥離域にあたるため、隣接するWゾーンやXゾーンと比較してやや広域風の影響が弱くなる一方で、夜間には冷気流の影響が顕著となる。以上の特性から、UおよびVゾーンと同様に冷気流への配慮が不可欠である。なお、現状の森林を伐採すると、エリア内のみならず、Vゾーンから東部既存住宅地域にかけて流出する冷気流が減少する恐れがあることから、可能な限り植栽を保全する配慮が望まれる。また、住宅地として活用する際には、比較的早い時間帯から直達日光が遮られるため照明エネルギーの増加が見込まれることから、居室の配置もしくはトップライトの活用など採光に対する配慮が必要である。なお、日中の気温が低いことから、夏季には冷房用エネルギー消費量の削減が期待できる一方で、冬季には暖房用エネルギー消費量の増加が見込まれることに注意を払う必要がある。

≪Zゾーン≫・・現状の土地利用は森林が主である。Zゾーンは急斜面であり、建築空間としては不適である。このような自然斜面は冷気流の供給源として有効に機能しているため、積極的に保全すべきである。

9.6　まとめ

本章では、第8章で構築した一連の評価フレームに則り、第2章でその概要を述べた兵庫県川西市K地区一帯を対象とする計画基礎図面（1次・2次情報）および地域気候特性図面（高次情報）の作成から、周辺気候特性に配慮した住環境計画指針の立案までを実施した。

現在のところ、計画関係者が開発対象地域の気候特性を評価する際には、比較的入手しやすいAMeDASデータや代表都市単位で整備されている標準気象データを用いるケースが殆どである。本研究の対象領域では約1.5km離れた場所の公共気象データ（気温・風向・風速）を入手することが可能であるが、第8章の検討結果から示唆されたように、気温や風環境が開発対象領域と大きく異なる傾向を示すことを確認している。特に、地形の変化が複雑で多様な土地利用分布を有する地域では、冷気流や日射遮蔽等の影響を受けて局所的な微気象が発生するために、その傾向は特に顕著になっているものと推察される。従って、本研究の対象領域ではAMeDASデータや標準気象データはもちろんのこと、近接する公共気象データを用いて評価を行うことも困難である。また、居住者に関しても、地域の気候特性を知り得る情報は現在のところ皆無と言って過言ではない。このような状況に対して、本章で作成した、気候特性に対するある種の計画方法の提言にまで踏み込みつつ、一目で地域の環境特性を把握することが可能な平易表現による総合図面情報を作成することによって、より外部環境に連係した住環境の形成が推進されるものと考えられる。

参考文献

9.1) Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J., & Nishi, Y. : An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response、ASHRAE Transactions、77、pp.247-262、1971

9.2) 宇田川光弘・小林英明：空調負荷シミュレーション用気象データの簡易作成法、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.703-704、1986

9.3) 村上周三・森川泰成：気温の影響を考慮した風環境評価尺度に関する研究－日平均風速と日平均気温に基づく適風、非適風環境の設定－、日本建築学会計画系論文報告集、第358号、pp.9-17、1985

第１０章
総括

10.1 各章のまとめ

本研究は、地域気候特性に調和した外部環境連係型居住空間の計画プロセスを確立することを最上位の目的として設定し、実存する大規模な開発計画地区を対象として、周辺住宅地の居住者に対する意識・消費エネルギー調査によって気候環境特性と人間生活との関連性を把握し、対象地域の気候環境特性に関する実態把握によって気候環境資源の住環境計画への活用可能性を検討した後に、一連の解析結果を踏まえて計画関係者や居住者などを対象とする地域気候情報や情報システムの枠組みに関する提案を行った。近年、わが国でも環境との共生を標榜した開発が数多く見受けられるが、周辺環境特性に関する十分な評価データを基にして計画された事例は非常に少ないのが現状であった。この点に関して、本研究では環境調査から情報作成までの一連のプロセスを踏まえて、既存の評価方法では把握が困難であった局地環境特性の影響に配慮した住環境計画指針を提案することが可能となった。

本研究の成果を各章毎に要約すると以下のようになる。

第１章「緒論」では、まず本研究の背景として建設関連分野における地球・地域環境問題への早急なる対応の必要性、環境共生開発に関する最近の傾向、地方自治体における環境情報整備状況から、地域気候特性に調和した外部環境連係型居住空間の計画プロセスを確立することの必要性について述べ、以下の具体的な検討項目を実施するものとした。

１）地域の気候環境特性が周辺居住者に及ぼす影響に関する検討
２）気候環境特性の実態把握
３）気候環境資源の住環境計画への活用可能性に関する検討
４）気候環境情報活用フレームに関する提案
５）地域気候環境特性に関する図面情報の作成

以上の検討項目に関する既往の研究事例を概観した結果、現状では地域の気候環境特性を地区（地域）計画や建築計画に適用することを目的として、環境特性の把握から計画指針の検討にまで至る体系的な評価を行った事例は非常に少ないことが示された。

第２章「調査対象地の概要」では、本研究の全般を通して対象とするケーススタディー地区（K 地区）の概況について述べた。

第３章「丘陵地の気候環境特性が居住者の心理・生活面に及ぼす影響」では、第２章でその概要を述べた丘陵地とその近傍の市街地を対象として、地域の気候環境特性が居住者の心理・生活面（環境認識やエネルギー消費量）に及ぼす影響についてアンケート調査を行った。以下に、得られた知見を記す。

まず、居住者の環境知覚状況に関して、

1）“丘陵地域”の居住者の多くは温度環境や風環境の特異性などの丘陵地特有の気候現象を知覚し、環境変化に対応した心理影響を受けていることが示された。特に、“市街地域”との気温差を最も強く意識しており、2℃から3℃程度の気温差があれば多くの居住者に知覚される可能性があることが示された。

2）“丘陵地域”と“市街地域”との間の大きなスケールだけではなく、“丘陵地域”内という約500 m程度の小さなスケールにおいても、気候環境特性の違いによる居住者の環境知覚状況には差が認められた。

3）昼夜を通して自宅周辺の屋外における熱的快適感には、地域の風環境や温度環境が強い影響を及ぼしているものと推測された。

4）実環境では夜間に風速が弱まるにも関わらず、居住者の意識上では風が日中と比較して強く吹いているように体感されていることが示された。また、特に夜間の風向に関して、実測値との乖離が大きいことが示された。

さらには、各世帯の冷房用電力消費量に関して、

1）“丘陵地域”における冷房用電力消費量は“市街地域”と比較して顕著に少ないことが示された。また、その差は特に７月や９月の移行期に明確であった。

2）“丘陵地域”内では気温差に応じた冷房用電力消費量の差が認められなかった。熱負荷計算による冷房用電力消費量の推定結果からも、“丘陵地域”では外気温以上に寄与の大きい要因が冷房用電力消費量に影響を与えていると推察された。

3）重回帰分析の結果から、「自宅周辺の風の強さ」に関する居住者の意識が冷房用電力消費量に影響を与えていることが示された。

4）冷房用電力消費量への影響が示唆された住宅内の通風機能には、実際の地域卓越風速よりも隣棟間隔等の街路計画や建築計画の良否、すなわち、開口を開放できるか否かの違いが大きく影響しているものと推察された。

第４章「複雑な地形を有する丘陵地における屋外温熱環境の成因」では、丘陵地における地域気候特性に調和した住環境を計画する上での基礎的資料を得ることを目的として、第２章でその概要を述べた住宅開発予定地域を対象とする気温分布の実測調査を行い、地形の変化が顕著な地域の局所気温の分布とその成因に関する検討を行った。以下に、得られた知見を記す。

1）調査対象地内の気温のレンジは都市平野部の公園緑地と比較して２倍近い値を示すこともあり、対象地域では自然緑地による気温低減効果に加えて、斜面特性による気候の変化についても影響していると推測された。

2）日夜それぞれの最低･最高気温の発生地域には、季節に依存しない地域特性が認められる一方で、昼夜間では発生傾向が大きく異なることが明らかとなった。
3）夜間の最低気温発生地域には、夕刻から夜間にかけて地域一帯の斜面を流下する安定流が観測され、周辺の気温低下に貢献していることが明らかとなった。
4）自然地表と人工地表の境界域では、広域風系の風向によって気温分布形状に変化が生じており、その傾向は特にオープンスペースで大きいことが明らかとなった。
5）夜間には人工地表率や緑被率などの土地利用形態と気温との相関関係が日中と比較して悪化する傾向にあり、都市平野部における既存の検討事例と相反する結果を示した。
6）重回帰分析で気温分布の形成因子を抽出した結果、気温分布の主形状は土地利用形態によるものであるが、日中には地形の変化に伴う日射環境の違いが、夜間には斜面下降流に代表される局所的な風場の違いが気温分布形状に影響する重要な因子として挙げられた。
7）複雑な地形を有する地域を対象として、重回帰分析を用いて地域の気温分布を精度良く推定するためには、局所的な風環境や日射環境を把握し、それらを説明要因に組み込む必要があることが示された。

第５章「複雑地形上の風環境～実測および風洞実験による検討～」では、地形因子と風環境変化の関係に関する基礎資料を得ることを目的として、実測調査および風洞実験の両面から複雑地形上の風環境に関する把握を行った。以下に、得られた知見を記す。
まず、実測調査の結果から、
1）地表面付近の風場は広域的な風場とは全く様相が異なり、非常に多様な状況を示すことが示された。
2）広域風の影響を受けにくい谷間地形では、広域風系から予測することが困難な斜面下降流が顕著に卓越しており、その傾向は広域風系の風場が静穏な場合ほど顕著であることが示された。
3）対象地域では夏季・冬季ともに夜間の70%前後の時間確率で斜面下降流が発生していることから、この斜面下降流が地区の熱環境特性を決定する重要な因子として挙げられた。
さらには、風洞実験の結果から、
1）実測調査で把握することが困難な面的な情報が得られること、任意の風向や風速条件を設定することが可能であることなど、様々な面で利点が挙げられることから、地域的な風環境の把握に関しても風洞実験の有用性が確かめられた。
2）実測結果との比較によると、風洞実験で得られた結果は強風時の風環境特性を非常に良く再現する一方で、静穏時には実測調査により斜面下降流の発生が確認された地域で特に大きな誤差を生じた。
3）温度場を考慮していない本実験において、斜面下降流が発生する地域で大きな誤差を生じたことは、逆に実測での温度場による流れの存在を強く示唆するものであった。

第６章「斜面冷気流の特性把握を目的とした実測調査」では、冷気流が有する気候資源としての価値に着目し、主として地区内熱環境の緩和を目的とした住環境計画への適用可能性について検討することを視野に入れ、冷気流の発生構造を把握するための３種の実測調査（第Ⅰ期、第Ⅱ期、影響範囲に関する実測）を行った。以下に、得られた知見を記す。

まず、第Ⅰ期実測調査の結果から、

1）深夜の時間帯に測定された冷気流には、約10分おきに繰り返し吹き出す周期が確認された。

2）気温に関しても風とほぼ等間隔の変動が認められ、風が吹き出すとともに温度が低下し、風が停止するとともに温度が上昇する様子が確認された。

3）夕刻の時間帯に測定された冷気流には、深夜のような変動が確認されず、風向・風速のみならず温度変化率についてもほぼ一定の値を示した。

4）固定観測ステーションの観測結果から、観測当日の観測点周辺における冷気流厚さは6.0mから15.0mの範囲内にあるものと推察された。

5）同じく固定観測ステーションの観測結果から、冷気流厚さが15mに満たない場合がある一方で、15mを超える場合もあることが示された。冷気流厚さには、広域風の強弱や放射冷却の強度が関連しており、総観場の影響を受けやすいものと推察された。

続いて、第Ⅱ期実測調査の結果から、

1）調査対象地域では夕方から翌朝にかけて一晩中卓越する冷気流を観測した。冷気流発生時間と地表面の純放射量が負になる時間帯はほぼ一致した。

2）冷気流の風速は常時1.0m/s未満の微風である一方で、冷気層の気温は周辺大気よりも2℃ほど低く、気温低下による体感温度の低減効果の方が優勢であることが示された。

3）冷気流の風向は、夕方から翌朝にかけて12時間以上に渡って大きく変化することなく、非常に安定して流出を続けた。

4）冷気流が消失し、凪の状態に変化した時刻は、逆転層が解消された時刻とほぼ同時刻であった。

5）冷気流強度（降下温度や風速）には放射冷却による集熱可能面積や高低差などの地形特性が影響することが明確に示された。

6）冷気流を作り出す2方向からの谷筋がある場合には、両方からの気流が交互に吹くなど、間欠性が認められることが明らかとなった。

7）植生の冷熱源としての役割は、斜面上方の状況（地形や土地利用）によって変化し、同種の植生でも冷温熱源のどちらにも成り得ることが示された。

8）植生の種類や規模についても冷気流の特性に変化を与える要因と推察され、キャノピーを有する樹木はより多くの冷気を生成する可能性があることが示された。

さらには、影響範囲に関する実測調査の結果から、

1）自然地域内で発生した冷気流は、自然地域内では顕著に卓越するものの、住宅地域内では急激にその勢力を弱める可能性があることが示唆された。

第7章「住環境計画への適用を目的とした冷気流のモデル化」では、斜面特性や土地利用状況などの情報から冷気流の規模や斜面下部へ運搬される冷気生成量を簡易に予測することを目的として、斜面直角方向への相似分布を前提とする積分方程式をベースとした冷気流モデルを作成し、冷気流の基本的な特性に関する検討を行った。また、冷気流モデルで作成された鉛直プロファイルを流入境界条件とし、k-ε型の乱流モデルを採用したCFDモデルを用いて建物の配置形態や隣棟間隔の違いが冷気流に及ぼす影響について試行的な評価を試みた。以下に、得られた知見を記す。

まず、冷気流モデルによる検討結果から、
1）斜面上の土地利用状況の違いが冷気流の特性に与える影響を検討した結果、植生で覆われた斜面においては冷気流の吹走時間が長い上に、冷気流の規模（冷気温・流速・厚さ）も増大していることから、裸地斜面と比較して冷気生成能力に優れていることが示唆された。
2）斜面直角方向への相似分布形状については、冷気流の熱的な効果について評価を行うのであれば、分布型の仮定は評価結果に大きな影響を及ぼさないことが示された。
3）実測結果との比較結果から、本モデルでは地表付近の凹凸や植生の形状を反映することが困難であるため、特に植生層内部で誤差を生じた。
4）斜面上の植生量が斜面下部への流出冷熱量に与える影響を検討した結果、植生被覆率や葉面積指数が大きくなるに従って増加し、森林を想定した場合には断熱境界面とほぼ同等の効果が得られることが示された。
5）斜面形状の違い（長さ・角度）が斜面下部への流出冷熱量に与える影響を原単位的なデータとして整備した。傾斜方位については、発生時間帯に変化を生じるが、夜間を通した積算冷熱量はわずかな違いにとどまることが示された。
6）冷気流が自然地表域から人工地表域へ流出する際の特性変化を想定して、人工排熱や抵抗係数に関する感度分析を行った結果、人工排熱は冷気温度に対して、抵抗係数は冷気流速に対して強い影響を及ぼすことが示された。
続いて、CFDモデルによる検討結果から、
1）冷気流は非常に薄い層で形成されており、対数則プロファイル条件とは異なって上空からの補償流（再付着流）が期待できないことから、建物などの地表面地物によって減衰された場合には再生することが困難であることが示された。
2）建物配置を千鳥格子化することによって、建物内で得られる自然通風量を増加させることは可能であるが、その際には住宅後流域での気流が弱まることに注意を払う必要があり、その傾向は特に冷気流条件で強く当てはまることが示された。

第８章「住環境計画への適用を目的とした気候環境情報活用フレームの構築」では、周辺気候特性に配慮した住環境計画を進展させることを視野に入れて、気候環境情報の整備や活用形態等をシステム化した気候環境情報活用フレームに関する提案を行った。
本フレームでは、情報の内容や対象範囲、活用目的に応じて２段階に情報レベルを区分した。まず、『都市レベル情報』では各都道府県レベルの範囲を一つの単位としてそれぞれの全域を網羅する数百ｍメッシュサイズを想定し、利用対象には行政機関・計画者・居住者を想定した。また、この『都市レベル情報』よりも詳細な情報レベルとして『建築レベル情報』を設定した。この情報では具体的な開発計画に対して適用することを想定した。利用対象には主として計画者を想定した。情報の空間スケールとしては、計画対象地域とその周辺を含む数kmから数百ｍ程度のサイズを想定した。

第９章「周辺気候特性に配慮した住環境計画指針に関する検討」では、第８章で構築した一連の評価フレームに則り、第２章でその概要を述べた兵庫県川西市Ｋ地区一帯を対象とする計画基礎図面（１次・２次情報）および地域気候特性図面（高次情報）の作成から、周辺気候特性に配慮した住環境計画指針の立案までを実施した。

10.2　研究の総括と将来展望

本研究では10.1で示した一連の解析を通して、地域気候特性に調和した外部環境連係型居住空間の計画プロセスを確立することを目標として検討を進めてきた。最終的に第9章で作成を試みた各種図面情報を用いることによって、数値による効果の提示までには至らずとも、これまで近隣地域の環境特性を把握する術を持たなかった設計関係者や居住者に対して、視覚的に理解しやすい手法で気候環境情報を提供し、周辺の気候特性に配慮した住環境計画指針を提案することが可能となった。

個々の解析においても、多くの意義のある知見が得られたものと考えられる。地域の気候特性が周辺居住者に及ぼす影響については、検討事例が絶対的に少ない状況にあったが、本研究の解析結果から、居住者は微気候スケール上の違いを認識し、エネルギー消費状況にも違いを生じ得ることが確認された。これらの結果は、今後地域の気候環境資源を有効に活用した住環境計画を実施した場合に、居住者が効果を実感できる程度のメリットが得られる可能性を示唆するものである。この結果は、今後開発関係者が住環境計画を行う際に、気候環境資源を活用していくためのインセンティブと成り得よう。気候環境特性に関する実態把握においては、本研究では冷気流に関する検討を中心的に進めた結果として、冷気流が地域の気温分布に及ぼす影響、広域風系との相違、さらにはその発生メカニズムや住宅地内の影響範囲などを明らかにした。これら一連の解析結果から、傾斜地の自然地からは一晩中安定して冷気が滲み出し、地域の低温化に多大なる影響を与えていることが確認され、傾斜地の緑地は夏季の都市熱環境の制御に対して非常に有効な環境資源に成り得ることが示唆された。数値モデルを用いて冷気流の住環境計画への適用可能性について検討した結果からは、冷気流を気候環境資源として活用する場合には、広域風系などの一般的な風場と比較して、より建物の配置形態や密度に対する配慮を必要とすることや、冷気の源となる斜面上方の緑地は可能な限り保全し、やむを得ない場合には人工植栽を施すなどの配慮が望まれることが指摘された。これまで傾斜地の緑地は、景観や防災面での機能に優れていると認識されてきたが、都市熱環境保全効果という新たな機能についても、今後より認識が深まることが期待される。

本研究で検討を進めた住環境計画に対する気候環境面からの配慮については、ドイツにおいてクリマアトラスを基にしたいくつかの事例が実現されている（詳細はAppendix.Aを参照のこと）。ドイツで作成されているクリマアトラスは、主としてゾーニングや開発に対する規制を行うためのツールであり、計画や事業の初期段階で検討の枠組みを与えるための都市気象学的知見の一般化として定義されている。一方で、本研究で作成および提案を行った一連の情報は、クリマアトラスと同じ目的を有する図面情報もフレームの一部として構成するが（例えば図9.13）、最終的には個々の建築形状までを定義可能とするスケールのデータ整備を提案している。本論文では提案にとどまっているが、気候環境情報の整備や活用形態等をシステム化した気候環境情報活用フレームを構築することによって、都市レベルから建築レベルの情報まで、時間断面的な面情報や時系列的な点情報を各種用途に合わせて整備することを提案しており、この点がドイツのクリマアトラスとは大きく異なる点である。ここで、本研究で提案したフレームでは、情報作成・管理・更新や開発者への指導など、非常に多くの役割を行政機関に期待している。上述のようにドイツで実際に気候面からの配慮が為されているのは、官学一体となって情報の作成や都市計画上の調整を行っていることが大き

く影響している。第１章で指摘したように、日本の行政機関において気候面に対する意識は低く、ドイツとは程遠い状況にある。環境情報の必要性という点では、現在の環境共生型開発の推進という潮流の中で、計画者側からのニーズは大きいと考えられる。しかし、情報整備の実現性という点では、行政機関および開発関係者の両者で、時間や労力などに問題を抱えており、もし可能であったとしても地域の気候特性を自ら深く解析することは困難であろう。このような現状で環境面への配慮を進展させるためには、新たなシーズとしての気候環境情報の有効性について各方面に提案していくことが必要であり、それと共に、本研究で提案したフレームのような根本の枠組みを官産学一体となって構築していくことが不可欠である。但し、都市計画は排他的な性格を有しており、気候面からの配慮についても環境影響評価項目の一部として評価されるべきであり、温熱環境のみに注視した計画を進めることには問題がある。本研究で構築した評価プロセスにより、QOL（Quality of Life）や$LCCO_2$（Life Cycle CO_2）などの評価尺度を用いた上で、他の物理要素や社会的配慮などを含めた総合的な評価を行いながら住環境計画は実施されるべきである。

10.3　今後の課題

本研究の今後の課題を各章毎に整理して、以下に記す。

第３章「丘陵地の気候環境特性が居住者の心理・生活面に及ぼす影響」

１）居住者の多くは丘陵地特有の気候特性に影響を受けていることが示唆されたが、全ての居住者が気候資源の恩恵を受けている訳ではなく、一部には隣接市街地よりもエネルギーを消費する居住者が存在した。この原因は周辺環境に対する認識の不足によるものなのか、単なるばらつきにより発生したものか、さらに掘り下げた解析が必要である。

２）丘陵地や市街地を問わず、ほんの20年程前には、居住者は冷房を使用することなく過ごしてきたが、現状は不可欠なものとなっている。自然通風で生活することが困難になった理由を追求することで、外部環境連係型居住空間を設計するために必要とされる本質が見えてくる可能性がある。

３）本研究では、主として地域の熱的な快適性とエネルギー消費量の２種の評価指標を用いて、気候環境資源の活用効果に関する評価を行ったが、外部環境との連係においては、自然共生生活の楽しさのような必ずしも数値だけでは測ることが困難なメリットも得られるはずであり、10.2で指摘したように、QOL（Quality of Life）などの評価尺度を用いた総合的な評価を行う必要がある。

第４章「複雑な地形を有する丘陵地における屋外温熱環境の成因」

本研究では統計モデルを用いて、土地利用状況から説明することが困難な残差発生地域の特徴を基に気候特性の成因に関する解析を行ったが（逆論的な解析）、本来気温分布は地表面からの顕熱放出量やその拡散の度合いに応じて決定されるものであり、地表面熱収支モデルに基づいた正論的な方法で整合性について確認を取る必要がある。

第５章「複雑地形上の風環境～実測及び風洞実験による検討～」

地表面付近の面的な風場の把握を目的として移動観測による実測調査を行ったが、風は時

空間の変動が激しく、必ずしも同一時間断面での風場を把握するには至らなかった。気温の移動観測方法は確立されているものの、風については統一的な評価方法が確立されていないことから、測定方法に関する検討も重要な課題として挙げられる。

第６章「斜面冷気流の特性把握を目的とした実測調査」

冷気流の構造把握を主目的とした実測調査（第Ⅱ期）では、地上高さ5mまでの気温および風速に関する鉛直分布の測定を行った。しかし、固定観測ステーションにおける観測結果から、冷気流厚さは地上15mにまで達することが示されており、最も重要となる地表面付近の急激な温度および速度勾配を有する領域の検討は可能であったが、全体像を把握するまでには至らなかった。この点に関して、リフトバルーンなどを用いることによって、より鉛直方向に拡張した観測の実施が望まれる。

第７章「住環境計画への適用を目的とした冷気流のモデル化」

１）本研究で作成した冷気流モデルでは、鉛直方向の分布形状を固定化していることから、地表面に凹凸が存在する場合には地表付近での詳細な再現が困難である。この影響を受けて、実測結果との比較においても、地表付近で実測値との誤差を生じることとなった。更なる精度を追求するためには、この点について改善を要する。

２）CFDモデルに関して、本研究では計算負荷の問題から等温および定常状態での解析にとどまったが、冷気流は本来密度流であることや、住宅等からの人工廃熱等の影響を考慮するためには非等温場での計算が必要である。また、気候資源として評価するためには、生活スケジュール等を考慮に入れた非定常計算を行うことが望ましい。

第８章「住環境計画への適用を目的とした気候環境情報活用フレームの構築」

都市スケールに関する展開について、本研究では１次的な情報の作成事例を示すにとどめているが、今後、都市スケールでの高次情報に関するデータベースを構築し、GISをベースとした情報システムが運用されることによって、各ユーザにおいてどのような展開が予想されるのか、ある程度リアルなシナリオを研究者側で準備しておく必要がある。

第９章「周辺気候特性に配慮した住環境計画指針に関する検討」

１）本研究では一連のプロセスを試行錯誤的に検討したこともあり、最終評価に至るまでに多くの時間と労力を費やした。この検討プロセスをトレースするのであれば、アセスメントの一項目としては負荷が過大となる印象は拭えない。従って、今後一連のプロセスを一般化および簡易化し、例えば政策の一部として活用可能なレベルまで落とし込む必要がある。

２）第９章の検討では土地利用や建物配置計画を提言するにとどまった。本研究では実際の開発地区を対象とすることを特長として一連の検討を進めてきたが、残念ながら開発は中途で頓挫し、計画案が日の目を見ることは無かった。具体的に周辺気候特性に配慮した場合に、周辺の既存建築と比較してどのような効果が得られるのかについては、非常に興味深い所であっただけに、残念な結果である。今後、実際に気候面での配慮を行った建築について調査を行うことによって、定量的な効果を確認することが、気候配慮を行う上でのインセンティブを確立するためには必須である。

Appendix. A
ドイツにおける気候環境情報作成事例

A.1 序論

住環境計画の際に周囲の環境特性を適切に把握するためには、1.1.1で述べたように計画者への周囲環境に関する情報伝達が重要な役割を果たすことが予想される。この点に関して、ドイツでは多くの都市で“クリマアトラス”と呼ばれる気候解析図面を作成し、気候学者や自然地理学者が気候環境に関する見解を、都市や建築計画者、さらには地域住民にわかりやすく伝えるツールとして重要な役割を果たしている。ここでは、現段階で最も先進的な気候環境活用システムを構築しているドイツの事例をいくつか紹介する。

A.2 ドイツにおける都市計画システム

ドイツは連邦政府と16の州政府からなる連邦制を採っており、州は独自の憲法を持ち、権限も有している。地域計画の権限も州が所有しているために、地域特性を考慮した都市計画システムを構築することが可能である。

都市計画上の法的な問題に対して中心的な役割を果たしているのは『建設法典』である。建設法典は計画に関する全ての重要な法的問題を、連邦全土に対する統一的な規定として定めたものである。Fプラン（土地利用計画）とBプラン（地区詳細計画）の内容及び策定手続き、土地の収用、住宅地の開発費用の分担についても、ここに定められている。気候面への配慮に関する記述としては以下の条項が挙げられ、都市計画の際に気候に対する配慮（特に風の通り道に対して）を怠らないようにするために、都市計画者がBプランを策定する際に気候情報を参照し、その内容をBプランに反映させることが推奨されている。

『建設法典　第1章・第5条・第7項』

建設誘導計画の作成に当たっては、特に次の点を考慮する必要がある。

環境保護、および自然保護、自然地保全の持つ重要性、特に自然収支、および水、大気、原料資源を含む土地の持つ重要性、ならびに気候

さらには、連邦自然保護法において以下の記述が見受けられる。

『連邦自然保護法　第1章・第2条・第8項』
気候、とくに地域気候への侵害は避けるものとし、不可避の悪影響は自然地維持の対策によって相殺あるいは低減するものとする。

ドイツにおいて一つの州は広大で、州レベルにおける地域計画の目標は一般的なものにとどまる。そこで州をいくつかに分割した州行政区内の計画局が、より具体化した計画を担当する。そして州行政区がFプランの認可を行う。州行政区は一つまたは複数の都市を中心として、その周辺を含めた範囲の計画を作成している。Fプランの目的は、10～15年の期間について土地利用の現状と将来像を示す点にある。Fプランに示された内容は、各地方自治体と公共機関を拘束するが、個々の土地所有者は拘束しない。これはFプランの縮尺が1：10,000と詳細ではないためであり、個人への拘束はBプランの段階で発生する。Bプランの縮尺は1：1,000から1：500であり、敷地毎に詳細に内容を示すもので、建物の位置や高さをほぼ10cm単位まで定めることができる。

以上で示したような法的な枠組みが充実していることが、ドイツで多くの自治体において気候解析図を作成し、実際に住環境計画に活用していることの原動力になっていることは容易に推測できよう。

A.3　VDIによる気候解析図面作成ガイドライン

前節で述べたように、ドイツでは都市や建築計画に対して気候面の配慮を行うことが、法律上に明文化されていることもあり、多くの都市で気候学者の協力のもと地域の気候解析が進められている。この一連の過程については、ドイツ外ではあまり知られることがなかった。この一連の過程をまとめた文献としてはBaden-Wurttemberg州がJ.Baumullerを始めとする気候学者の協力の下に作成した『Stadtebauliche Klimafibel[A.1)]』が最も著名であり、都市気候学者の知見を都市・建築計画者や地域住民にわかりやすく伝える目的で書かれた唯一の文献である。各都市ではそれぞれ独自の規格で作成されていた気候解析図面であるが、近年ではVDI（VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE）によって気候解析から情報作成までの手順が標準化され、特に作成すべき図面の種類やその表記方法に関して詳細な解説を行っている。ここではそのガイドラインである『環境気象学—都市と地域にむけた気候と大気汚染地図（Umweltmeteorologie - Klima und Lufthygienekarten fur Stadte und Regionen）[A.2)]』の概要を紹介する。

このガイドラインでは、気候や大気汚染のような地域的な広がりを持つ要素については、都市計画者など専門知識を有しない人々に対して専門家が情報を分かりやすく伝える情報伝達ツールとして、情報の図面化は非常に有用であるとして、気候図や大気汚染図の表現内容、図面の役割を事例を含めて図面化の意義からその表現すべき内容について説明している。

ガイドラインでは地図の果たす役割を基準として、作成すべき地図の種類を3種類（計画基礎地図、計画最終決定地図、参加型計画地図）に分類している。

『計画基礎地図』(Planungsgrundlagenkarten)は、現状の各種情報（例えば、地形、土地利用分布、気候や大気汚染など）の1次的な主題地図を意味する。

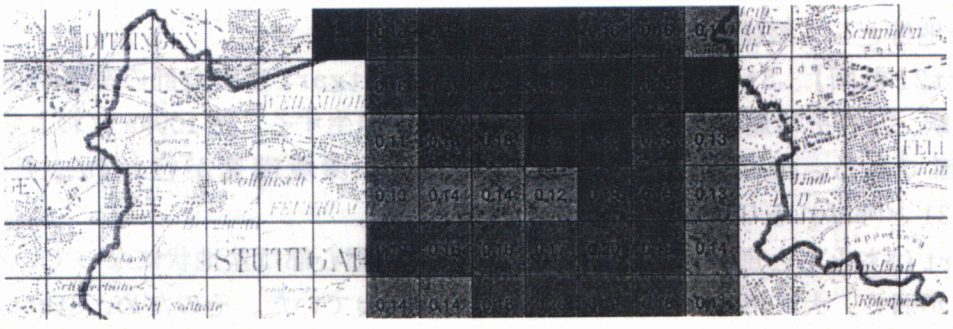
『計画最終決定地図』(Plaungsfestlegungskarten)は、『計画基礎地図』からいくつかの情報を統合し、法規制を含めた都市開発、地域開発を指示する図面を意味する。

『参加型計画地図』(Planungsbeteiligungskarten)は、『計画最終決定地図』を生み出す前段階において、法規制を決める意志決定者に対し、各方面の専門家が『計画基礎地図』を基に分かりやすく情報や問題点を伝え、議論のたたき台として活用できる図面を意味する。

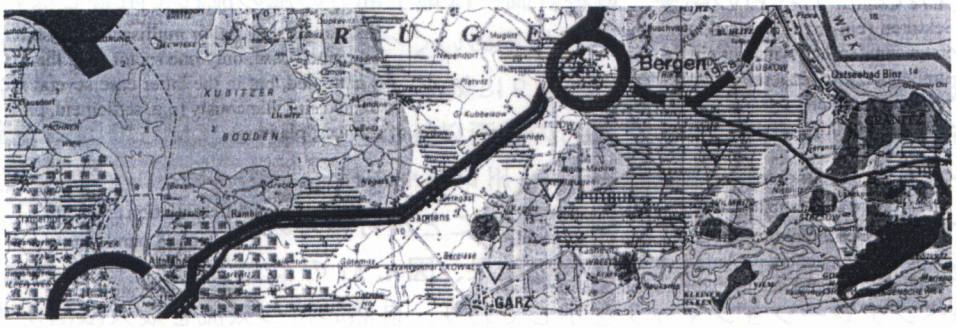
『計画基礎地図』の一例として、Stuttgart地区のSO_2による汚染地図（1990）を図A.1に、『計画最終決定地図』の一例として、Mecklenburg-Vorpommernにおける土壌適合型地域開発計画（1992）を図A.2にそれぞれ示す。『計画基礎地図』は地域の状況を示す記録としての意味合いが強い一方で、『計画最終決定地図』は各自治体の法制度上の規制を表現するものとしての意味合いが強い。また、『参加型計画地図』は主として説明することに大きな目的を有しており、計画のコンセプトやアイデアを伝えることにある。すなわち、達成すべき目標について、建設的な協力関係を作り出すことを促す意図をもって作成されている。

従来の気候図は、例えば気温や湿度といった、個々の気候要素に関する空間分布表現に限られていた。しかし、計画時において気候環境への適合性を検討する場合には、いくつかの気候要素の組み合わせによる複合影響が興味の対象となる場合がほとんどである。このような問題に対しては、気候学者が各単一要素の分析図を総合的に判断した、“総合図(synthetische Karten)”を書くことが重要になる。

以上に解説した図面を作成する際の表記方法に関して、ガイドラインではそれまで標準化されていなかった表記を統一することを提案している。モデル表記を作成することによって、使用者の理解を助けるとともに、地図編集者の仕事を可能な限り簡略化することを意図している。



図A.1 『計画基礎地図』の代表例



図A.2 『計画最終決定地図』の代表例

A.4　気候解析図面の作成事例

本節では、現在ドイツで作成されている気候解析図面の内、代表的な事例のいくつかを紹介する。

【Stuttgart】　Stuttgartにおける気候解析図面の作成事例[A.1)]を図A.3に示す。また、この気候解析図面を基に作成された地域計画指針図を図A.4に示す。図A.3では大きな分類として気候区分（クリマトープ）、空気の交換、冷気の発生域、地形の特徴、大気汚染や騒音負荷の発生域などが色やパターン、絵文字などを使用して分類されており、容易に地域の気候特性の概要を知ることが可能である。図A.4では、気候に関して配慮すべき都市計画事項について分かりやすく表現されている。地域区分としては空開地と居住地に大別され、空開地は有益な気候作用がある地域で基本的には保全されるべき地域であることを示している。また、気候作用の程度によりさらに詳細に区分され、保全への優先度を知ることが可能となる。居住地は基本的に気候的な改善が必要な地域であり、その密集の度合いなどから改善への重要度を知ることが可能となる。但し、この図面では、密集地はできる限り再編し、なおかつ重要な気候作用を有する地区は保全すべき程度、つまり建築規制程度の情報しか得られず、例えばある地域において開発計画が立ち上がった場合に、地域の気候特性を有効に活用した住環境計画を行うための計画指針を提示してくれるものではない。この点については、以下のBプランによる検討で対応しているものと思われる。

Stuttgartにおける地区詳細計画（Bプラン）の一部分[A.3)]を図A.5に示す。ある教育施設の建設計画が図A.6に示す南斜面地域に立ち上がった。計画予定地の北側は森林であり、斜面下部の市街地域への冷気供給源として機能していることが予想された。このことに配慮して、当初の原案である図A.5(a)に示す幅の狭いアクセス通路が、斜面上方からの冷気流を阻害しないように、図A.5(b)に示す幅50mから60mの緑地に広げられた。写真A.1は建物がセットバックし緑地化された部分を示しているが（北側から南側を望む）、下り斜面が幅の広い緑地帯として整備されていることがわかる。

【Stuttgart21計画】　Stuttgart21計画とは、Stuttgart市中心部の主要鉄道駅であるStuttgart駅、及びその周辺線路の地下化工事に伴い発生する、約100haにおよぶ地上部分の開発計画である。この計画に際し計画地周辺の環境調査が行われ、その結果がStuttgart21と呼ばれるCD-ROM[A.4)]により公表された。

Stuttgartはもともと風が弱い地域にあり、さらに都心部は盆地状になっているために、大気の交換が弱く、大気汚染物濃度の上昇が問題となっていた。そのため、Stuttgart21計画では、気候や空気質に関連した情報を整備するために、実測やシミュレーションにより気候解析が行われた。それらの結果、最終計画では地上部分の風の流れを阻害しないような配慮が為された。CD-ROMに納められている情報のいくつかを図に示す。図A.7にStuttgart21の計画地概要を、図A.8に平均気温、図A.9に気流（夜間冷気流）、図A.10に体感気温（夕方）の分布状況をそれぞれ示す。これらの図面以外にも、熱的ストレスの図や騒音分布図、大気汚染分布図などをBaden-Wurttemberg州レベルやStuttgart地区レベルなど、多様な地区スケール情報としてCD-ROMから読み取ることが可能である。

なお、Stuttgart21計画では各種解析の結果、図A.11のような提言が為された。この図は、地区のベンチレーションマップを示しており、自然の持つ気流を最大限活かすために、建物を建てることが可能な地区や緑地として保全すべき地区、高層建物を建てることが許さ



図 A. 3　Stuttgart 地域の気候解析図

気候域区分

水面気候域：熱的に一様で湿度が高く、風が通り易い

空開地気候域：温度、湿度のはっきりとした日変化、風が通り易い、新鮮な空気と冷気を産出

森林気候域：温度、湿度の変化が少ないフィルター機能、新鮮な空気と冷気を産出

公園緑地気候域：温度、湿度のはっきりとした日変化、建物地域の気候緩和

田園都市気候域：温度、湿度、風への影響は少ない

郊外気候域：温度、湿度、風への影響が大きい

都市気候域：空開地に比べ、様々な気候要素への影響が大、ヒートアイランドの形成、大気汚染

都心気候域：より強いヒートアイランド、湿度が低い、風場への影響大、大気汚染

中小工場気候域：様々な気候要素への影響大、ヒートアイランドの形成、部分的に大気汚染負荷が大

工場気候域：強いヒートアイランドの形成、風場への影響大、空気交換に問題あり、広範囲で大気汚染負荷が大

軌道施設気候域：極端な気温の日変化、乾燥している、風が通り易い、空気の誘導路

冷気の領域、地形の特徴

冷気発生領域：空開地で夜間、新鮮な冷気が発生

冷気の集まる領域：谷状の地形における冷気の蓄積、冷気の誘導路

冷気の堰（せき）：建物、ダム、森による冷気湖

谷の狭まった場所：冷気の流れの障害物となる

空気の交換

斜面流

山谷風系：集中的な冷気流

空気誘導路（汚染負荷なし）

空気誘導路（汚染負荷あり）

交通排出による大気汚染・騒音負荷

大気・騒音公害が最もひどい

大気・騒音公害がよりひどい

大気・騒音公害がひどい

大気汚染負荷

強い負荷

中間の負荷

少ない負荷

測定できないほどない

スモッグ地帯

スモッグ封鎖区域

絵文字

住居：比較的大きな住居による燃焼排気

交通：比較的大きな平面状に広がった交通機関による排出

中小工場：比較的大きな汚染排出

工場：広域的に影響を及ぼす大きな汚染排出

採掘場：粉塵汚染

大気汚染：接地逆転層による高い負荷

地表面・谷における霧の発生：接地逆転層によって頻繁に発生する霧

上昇気流による空気交換：ヒートアイランドによる上昇気流

風場の変化：高層建築物などによる影響

風配図：風向の頻度分布

汚染大気の風配図：汚染大気の風向の頻度分布



図 A. 4 Stuttgart 地域の計画指針図

空開地（オープンスペース）

重要な気候作用あり
住宅地に直接作用する機構作用のある開空地
土地改変には非常に慎重な考慮が必要

あまり重要でない気候作用あり
直接人間活動領域に影響を与えない
土地改変の取り扱いはあまり慎重でなくて良い

気候作用が小さい
人間活動領域や気候作用地域に影響を与えない
土地改変にはあまり注意する必要なし

居住地

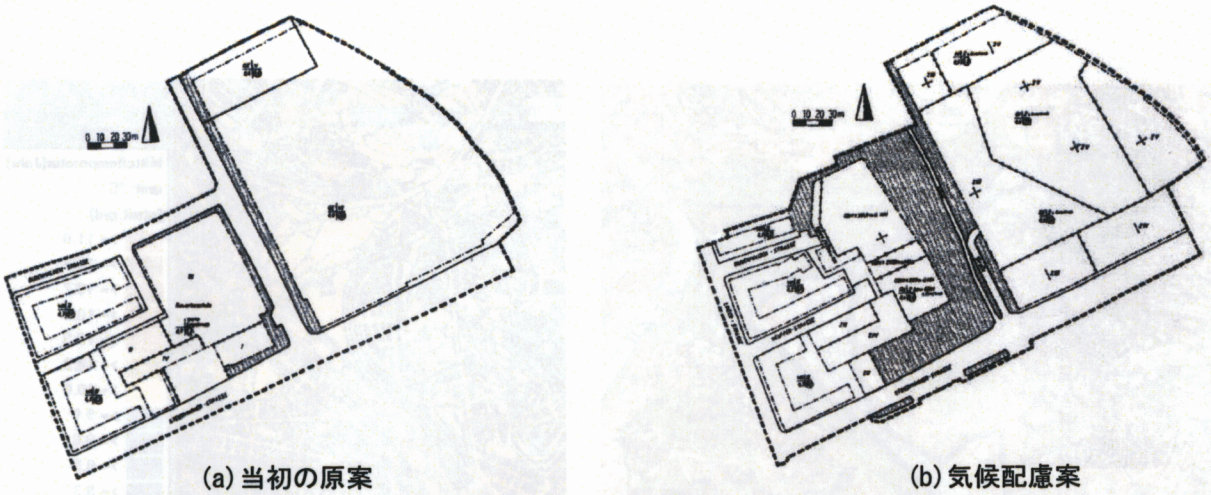
気候機能がほとんどない密集地
気候的観点からビル密集に考慮する必要なし

気候機能がすこしある密集地
気候的観点からビル密集に少し考慮する必要あり

重要な気候機能のある密集地
気候的観点からビル密集に対し比較的考慮する必要あり

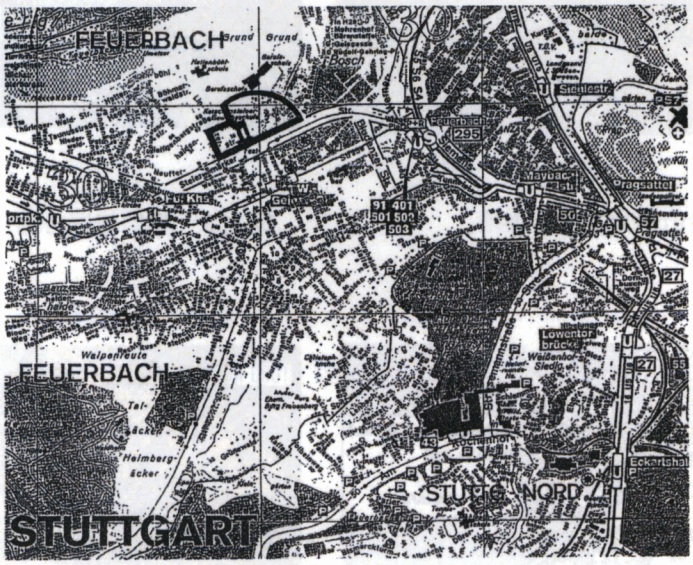
気候、大気汚染に対し問題のある密集地
高密集地域、拡散を乱すビル群
気候的観点から再編の必要有り

高い汚染と騒音のある道路



(a) 当初の原案　　(b) 気候配慮案

図A.5　教育関連施設建設計画のBプラン　(図中網掛部が斜面上方からの風の通り道)



図A.6　教育関連施設の建設予定地



写真A.1　整備された緑地帯

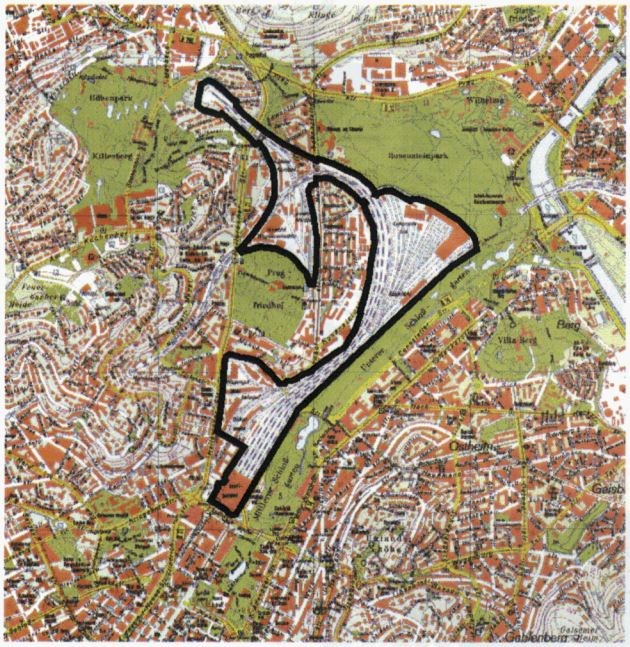


図 A. 7　Stuttgart21 計画地

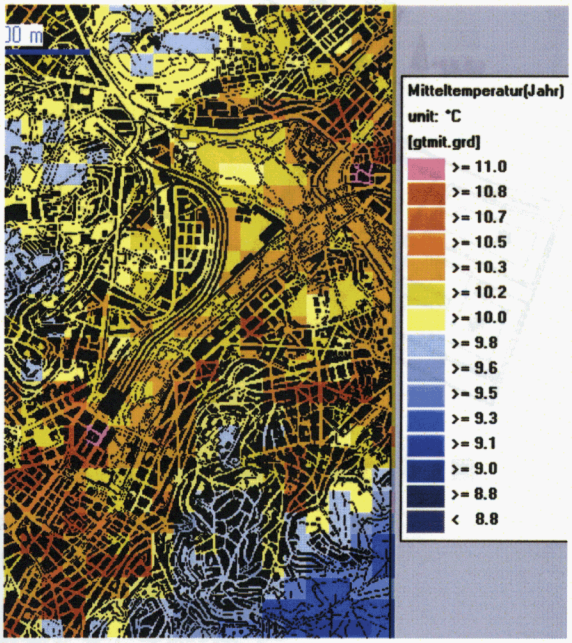


図 A. 8　平均気温分布（Stuttgart21 計画）

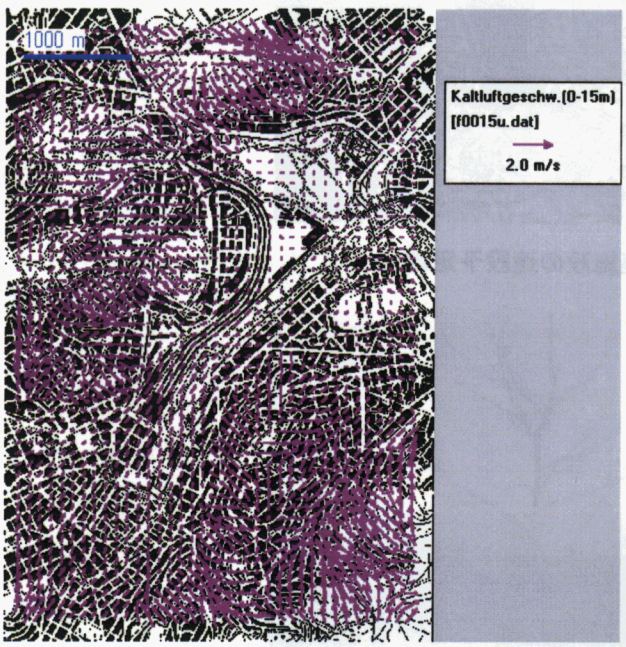


図 A. 9　気流分布（Stuttgart21 計画）

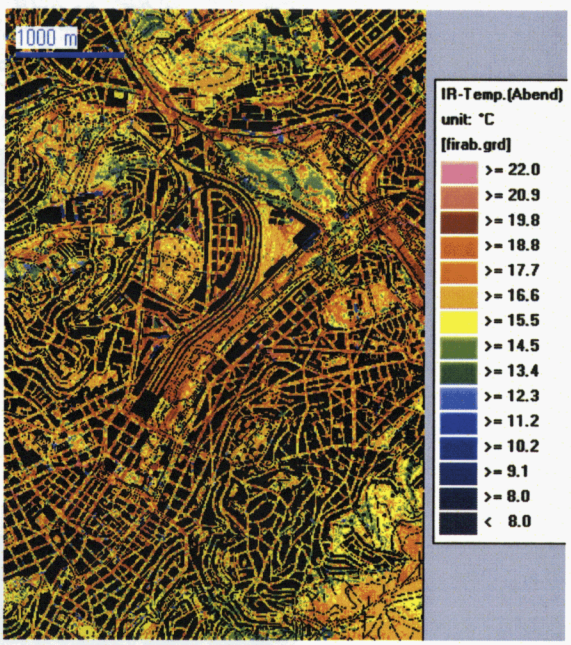
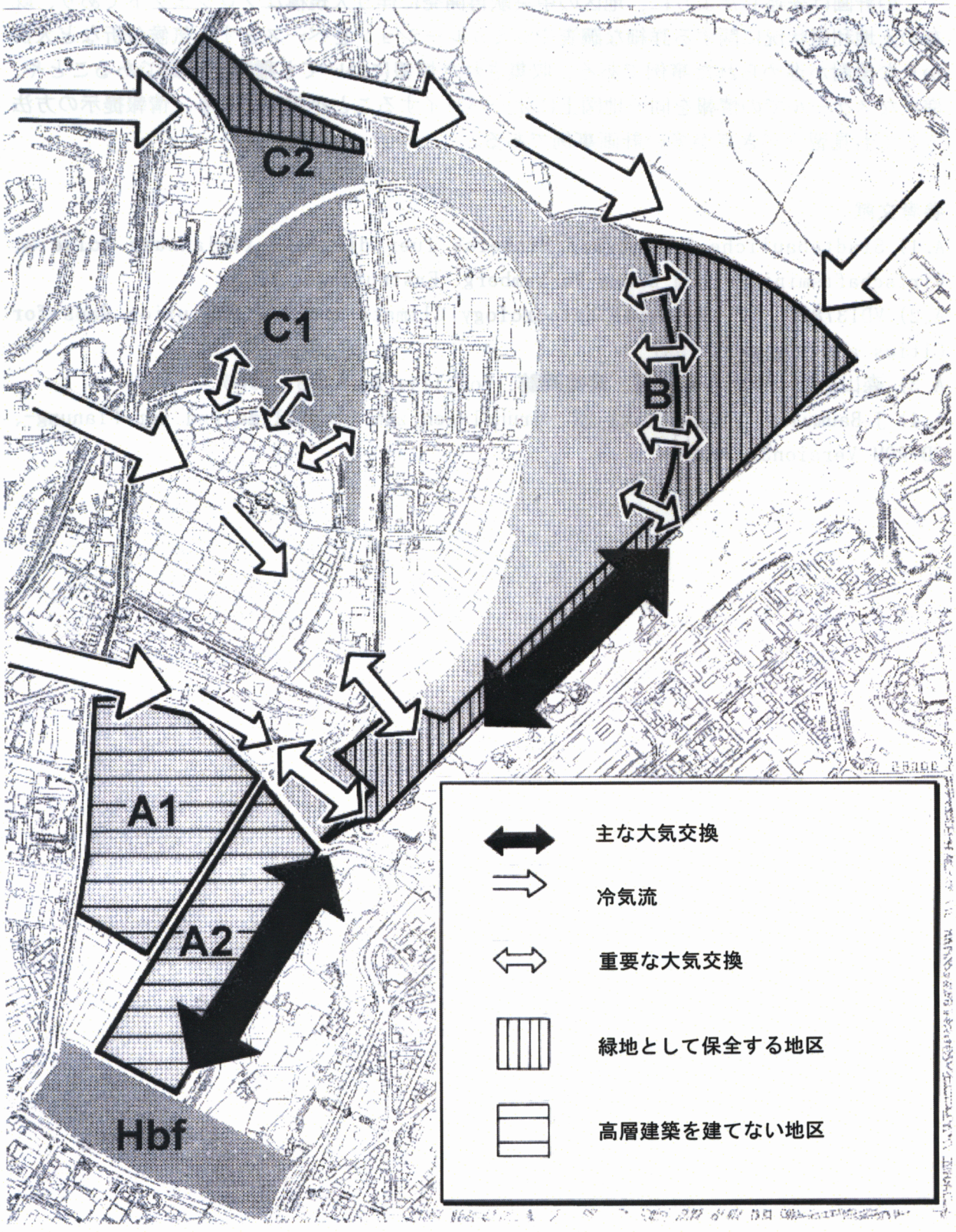


図 A. 10　体感気温分布（Stuttgart21 計画）



図A.11　Stuttgart21計画に対する気候面からの提言

れない地区を指定している。

この計画は先述したように、地区の中央駅再開発に伴う大規模なプロジェクトであり、既存の土地利用状況に関する詳細な調査やシミュレーションをベースとする気候分析など大掛かりな検討が進められた事例である。収集された情報についても種類が多様であることや、様々なスケールでの情報を同一地図上にオーバレイすることが可能であり、情報提示の方法としても見習うべき点が多い計画事例である。

参考文献

A.1) Stadtebauliche Klimafibel Hinweise fuer die Bauleitplannung Folge 2、Wirtschaftsministerium Baden-Wurtemberg、Erstauflage、1993

A.2) VDI3787、Environmental Meteorology Climate and Air Pollution Maps for Cities and Regions、1997

A.3) 森山正和：都市の風の道、建築雑誌、Vol.111、No.1398、1996

A.4) J.Baumuller：STADTKLIMA 21 -Grundlagen zum Stadtklima und zur Planung-、CD-ROM Version3、2000

本論文に関連する既発表文献

【審査付原著論文】

1）鳴海大典・水野 稔・下田吉之：地域気候特性に配慮した地域・建築計画指針に関する検討－都市周辺の丘陵地を対象とする気候解析を通して－、日本建築学会計画系論文集、No.561、pp.93-100、2002年11月

2）鳴海大典・水野 稔・下田吉之：地域計画への適用を目的とした冷気流のモデル化に関する検討－丘陵地周辺の住宅地域に及ぼす冷気流の影響・その２－、日本建築学会計画系論文集、No.557、pp.111-118、2002年7月

3）鳴海大典・水野 稔・下田吉之：地域の熱環境特性が冷房用エネルギー消費量に及ぼす影響－地域の熱環境特性が居住者の心理・生活面に及ぼす影響・その１－、日本建築学会計画系論文集、No.551、pp.77-84、2002年1月

4）鳴海大典・水野 稔・中村安弘・下田吉之・比嘉 博：冷気流の発生構造把握のための実測調査研究－丘陵地周辺の住宅地域に及ぼす冷気流の影響・その１－、日本建築学会計画系論文集、No.543、pp.85-91、2001年5月

5）鳴海大典・水野 稔・下田吉之：都市・建築計画への適用を目的とした気候情報活用システムの構築に関する研究、No.14、環境情報科学論文集、pp.37-42、2000年11月

6）鳴海大典・水野 稔・中村安弘：複雑な地形を有する丘陵地域における屋外気温分布の成因、日本建築学会計画系論文集、No.527、pp.77-83、2000年1月

【著書】

1）分担執筆：都市環境のクリマアトラス－気候情報を活かした都市づくり－　大阪－過密都市における気候改善、㈱ぎょうせい、pp.53-66、2000年9月

【国際学術会議講演論文集】

1）Daisuke NARUMI, Yoshiyuki SHIMODA and Minoru MIZUNO:Utilization of Climate Information in Japanese local Governments and Proposal concerning Preparation and Utilization of Climate Informatio、3rd Japanese-German Symposium on Urban Climatology、

pp. 10-11、2000
2)Daisuke NARUMI, Yoshiyuki SHIMODA and Minoru MIZUNO:Characteristic of the Outdoor Thermal Environment on the Hillside District around the Urban Area and the Influence of the Outdoor Environment upon the Resident's Life、International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology、1999 (アブストラクト審査)
3)Daisuke NARUMI, Minoru MIZUNO, Yasuhiro NAKAMURA and Yoshiyuki SHIMODA:Analysis of the distribution of air temperature and wind field on the hillside area 、REPORT OF RESEARCH CENTER FOR URBAN SAFETY AND SECURITY, KOBE UNIVERSITY、SPECIAL REPORT No. 1、pp. 257-263、1998

【国内学術会議講演論文集、各種会議録等】

1）小林誠治・水野 稔・下田吉之・鳴海大典・羽原宏美・添田晴生・大西潤治：大阪府域を対象とした自然通風の利用可能性に関する検討、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、第32回、pp. 15-18、2003年3月
2）鳴海大典：周辺気候と調和した地域・建築計画指針に関する基礎的検討－都市周辺の丘陵地を対象とする気候解析を通して－、日本建築学会近畿支部・第4回近畿環境工学シンポジウム、pp. 13-18、2002年9月
3）羽原宏美・添田晴生・鳴海大典・甲谷寿史・山中俊夫・下田吉之・大西潤治・水野 稔：越屋根を有する建物を対象とした自然通風量の予測に関する検討－CFD解析と風洞実験との比較結果－、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 813-816、2002年9月
4）鳴海大典・水野 稔・山中俊夫・下田吉之・甲谷寿史・羽原宏美・丸橋靖明・池上悌介・前田龍紀：越屋根を有するコテージの通風特性および室内熱環境に関する研究－通風量および室内熱環境に関する実測調査・その1－、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、第31回、pp. 79-82、2002年3月
5）羽原宏美・鳴海大典・下田吉之・水野 稔：気候資源活用型住宅の総合評価に関する研究－気候資源活用型住宅のLCA評価・その1－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（関東)、環境工学D-1、pp. 417-418、2001年9月
6）鳴海大典：地域自治体における気候情報の活用状況と気候情報整備・活用に関する提案、日本建築学会大会（東北）環境工学部門（2）地球環境部門研究協議会資料、pp. 53-58、2000年9月
7）鳴海大典・水野 稔・比嘉 博：斜面冷気流の特性と住宅地計画への活用可能性に関する研究－数値計算による冷気流のモデル化・その2－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集(東北)、環境工学D-1、pp. 1155-1156、2000年9月
8）仲西大輔・水野 稔・鳴海大典：気候情報図面の整備状況に関するアンケート調査－大阪府下の全市町村を対象として－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（東北)、環境工学D-1、pp. 1075-1076、2000年9月
9）大谷文人・水野 稔・鳴海大典：大阪府域を対象とした気温分布の成因に関する研究、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（東北)、環境工学D-1、pp. 1113-1114、2000年9月
10）鳴海大典：気候情報の整備状況に関するアンケート調査－大阪府下の全市町村を対象として－、都市気候研究からの都市・建築計画への提言、日本建築学会地球環境委員会都市

気候小委員会合同シンポジウム資料、pp. 56-59、2000年6月
１１）原田幸平・鳴海大典・水野 稔：住宅周辺の屋外温熱環境が居住者に与える影響、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、第29回、pp. 77-80、2000年3月
１２）鳴海大典：都市周辺部の丘陵地域における気候特性が居住者に及ぼす影響、環境工学研究、No. 22、pp. 9-16、1999年12月
１３）鳴海大典・水野 稔・中村安弘：住宅周辺の屋外温熱環境が冷房用エネルギー消費量に与える影響－未利用資源としての気候環境の活用に向けて－、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、Ⅲ、pp. 1389-1392、1999年9月
１４）比嘉 博・水野 稔・中村安弘・鳴海大典・上久保聡：斜面冷気流の特性と住宅地計画への活用可能性に関する研究、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（中国）、環境工学D-1、pp. 923-924、1999年9月
１５）上久保聡・水野 稔・中村安弘・鳴海大典・比嘉 博：丘陵地の気候特性とその活用に関する研究－SET*分布図による丘陵地の温熱環境把握・その４－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（中国）、環境工学D-1、pp. 925-926、1999年9月
１６）鳴海大典・水野 稔・中村安弘・比嘉 博・上久保聡：丘陵地の気候特性とその活用に関する研究－丘陵地域における屋外温熱環境が居住者に与える影響・その５－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（中国）、環境工学D-1、pp. 927-928、1999年9月
１７）鳴海大典・水野 稔・中村安弘：冷気流が周辺住宅地に及ぼす影響とその発生機構に関する考察、CUTE12-UCN28、1999年2月
１８）鳴海大典・水野 稔・中村安弘：都市周辺部の丘陵地域における屋外気温分布の成因に関する研究、環境工学研究、No. 214、pp. 19-24、1998年
１９）比嘉 博・水野 稔・中村安弘・鳴海大典・上久保聡：丘陵地の気象特性とその活用に関する研究－実測対象地域の概要と風環境実測結果・その１－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（九州）、環境工学D-1、pp. 681-682、1998年9月
２０）上久保聡・水野 稔・中村安弘・鳴海大典・比嘉 博：丘陵地の気象特性とその活用に関する研究－気温分布と周辺土地利用との関係・その２－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（九州）、環境工学D-1、pp. 683-684、1998年9月
２１）鳴海大典・水野 稔・中村安弘・比嘉 博・上久保聡：丘陵地の気象特性とその活用に関する研究－土地利用を説明変数とした重回帰分析による気温分布予測・その３－、日本建築学会大会大会学術講演梗概集（九州）、環境工学D-1、pp. 685-686、1998年9月
２２）上久保聡・水野 稔・中村安弘・鳴海大典・比嘉 博：丘陵地の気象特性とその活用に関する研究－丘陵地の気温分布と周辺土地利用の関係－、日本建築学会近畿支部研究報告集、第38号(環境系)、pp. 157-160、1998年6月
２３）比嘉 博・水野 稔・中村安弘・鳴海大典・上久保聡：丘陵地の気象特性とその活用に関する研究－実測と風洞実験を用いた風環境把握－、日本建築学会近畿支部研究報告集、第38号(環境系)、pp. 153-156、1998年6月
２４）鳴海大典・水野 稔・中村安弘・比嘉 博・上久保聡：丘陵地の気象特性とその活用に関する研究－丘陵地の気候特性と調査概要について－、日本建築学会近畿支部研究報告集、第38号(環境系)、pp. 149-152、1998年6月

謝辞

本論文は、著者の大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻における、約5年間の研究成果をとりまとめたものです。

大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻　水野 稔教授には、本研究の着手より論文の作成に至るまで終始一貫して懇切なるご指導と激励のお言葉を賜りました。先生の高いご見識の下に生み出される数々の独創的なご発想は、私をただ驚かせるばかりであり、必ずしもそれらが論文に反映されていないのは、私の力不足以外の何ものでもありません。このことをお詫びすると共に、ここに記して深甚なる謝意を表します。

本論文をとりまとめるにあたり、大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻　笹田 剛史教授、ならびに大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻　山口克人教授、東洋大学工学部環境建設学科　藤田 壮教授には、論文発表会や幾度かのディスカッションを通じて、数々の貴重なご教授を賜りました。ここに厚く感謝の意を表します。

大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻　下田吉之助教授には、研究の過程において数多くの示唆と有益なご助言を頂き、また本論文の校閲の労をお採り下さりました。一向に筆の進まない状況に叱咤激励を頂いたことや、公私にわたる様々なアドバイスを頂いたことが、特に深く印象に残っております。また、私が後期課程に在学していた頃より、学会委員会等に出席する機会を与えて頂き、様々な研究者と交流する機会をお創り下さいました。現在も私が多くの委員会に出席し、研究者の端くれとして活動できているのも、真に先生のお陰であります。ここに厚く感謝の意を表します。

山口大学工学部感性デザイン工学科　中村安弘教授、ならびに大阪電気通信大学工学部第2部機械工学科　大西潤治教授には、先生方が水野研究室に教官として在籍しておられた際に、研究室会議を通じて数多くの示唆と有益なご助言を頂きました。ここに厚く感謝の意を表します。

大阪大学工学部環境工学科　西川誠行技官には、実測のたびに測定器の選定や製作に関してご指導頂くと共に、数多くのご迷惑をお掛けしました。このことをお詫びすると共に、ここに厚く感謝の意を表します。

京都府立大学人間環境学部環境デザイン学科　松原斎樹教授、ならびに京都府立大学人間環境学部環境デザイン学科　藏澄美仁助教授には、私が京都府立大学在籍時に卒業研究および修士研究を進めるにあたり、数多くのご指導を頂きました。当時の研究テーマは人間の温熱感覚に関する研究であり、本研究の分野とは大きく異なりますが、研究に関する魅力をお示し頂きました。心より感謝の意を表します。

神戸大学工学部建設工学科　森山正和教授を始めとして、日本建築学会環境工学委員会クリマアトラスの実用化WGの各先生方には、都市環境に関する研究を始めて間もない頃から私を委員として受け入れて下さり、数々の勉強をさせて頂く機会を与えて頂きました。心より感謝の意を表します。

㈱日建設計大阪本社設備設計室　大高一博氏、ならびに堀川 晋氏には、本研究で提案した気候情報活用フレームに関して、実務の観点から数多くの貴重なご意見を賜りました。心

より感謝の意を表します。

私と同世代の研究者として、九州芸術工科大学工学部工業設計学科　長野和雄助手には、京都府立大学在籍時から同級生として常に暖かい励ましの言葉を頂きました。岐阜大学地域科学部　合掌 顕助手には、同じく研究室の先輩として常に暖かい励ましの言葉を頂きました。神戸大学工学部建設工学科　竹林英樹助手には、非常に研究分野が近いこともあり、多くの鋭いご意見を頂戴しました。大阪電気通信大学工学部第2部機械工学科　添田晴生講師には、本論文でCFD解析を行う際に、数多くの細かな質問に対して常に懇切丁寧にご回答下さいました。また、水野研究室在籍時から現在にかけて、研究はもとよりプライベートに関してもいろいろとお世話になりました。以上の皆様のご協力に対して、心より感謝の意を表します。

本研究期間中に在籍されていた水野研究室の学生の皆さんには、実測調査やアンケート調査を実施するにあたり多大なるご協力を頂きました。特に、以下の諸氏には“気候資源グループ”の一員として、修士論文や卒業論文の作成を通じて、昼夜を問わず惜しみないご協力を頂きました。中でも、上久保氏および比嘉氏には、“気候資源グループ”第1期生として、共に苦しい日々を過ごしたことが懐かしく思われます。心より感謝の意を表します。

上久保聡氏、比嘉 博氏、原田幸平氏、大谷文人氏、仲西大輔氏、服部麻友子氏、
羽原宏美氏、前田龍紀氏、小林誠治氏、岸本卓也氏、森藤奈央氏

環境情報の整備状況に関するアンケート調査を実施するにあたり、大阪府各市町村の環境関連部局職員の方々には、懇切丁寧なご説明や資料のご提供を賜りました。また、実測調査を行うに当たり、住宅都市整備公団関西支社震災復興事業本部（当時）の皆様には、貴重なる実地での実測の機会を与えて頂きました。さらには、兵庫県川西市K地区の居住者の皆様には、実測調査やアンケート調査を実施するにあたり、多大なるご協力を頂きました。心より感謝の意を表します。

最後に私事ではありますが、妻　真弓には論文公聴会に向けての聴衆役や本論文の最終校閲をお願いするなど、本研究の遂行に積極的に協力してくれました。特に、本論文をまとめる最終1年間は育児が非常に大変であった時期であるにも関わらず、数多くのわがままを聞き入れ、長男　裕大とともによく辛抱してくれたものと思います。私の研究生活を暖かく見守ってくれた家族に、心から感謝の念を捧げたいと思います。

2003年4月

鳴海 大典