



Title	天空光の実態とその利用に関する研究
Author(s)	大野, 治代
Citation	大阪大学, 1980, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2737
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

天空光の実態とその利用に 関する研究

1979年11月

大 野 治 代

目 次

序 論	1
第 1 章 屋光光源に関する従来の研究	4
1.1 概 要	4
1.2 長期測定による研究	4
1.2.1 小木曾氏の研究	4
1.2.2 田渕氏の研究	6
1.2.3 中村，沖氏の研究	7
1.3 理想的な天気状態に関する研究	8
1.3.1 完全曇天空	8
1.3.2 完全晴天空	9
参 考 文 献	10
第 2 章 全天空照度の測定	12
2.1 概 要	12
2.2 測定計画	12
2.2.1 測定場所	12
2.2.2 測定期間	13
2.2.3 測定方法及び装置	13
2.3 測定日数	14
2.3.1 天空照度の測定日数	14
2.3.2 日照観測の日数	14
2.4 測定結果の検討	15
2.4.1 日照計記録と天空照度記録との対応	15
2.4.2 天気分類	15
2.4.3 季節区分	17
2.4.4 測定値の読みとり	17
2.5 測定期間と平年との天気状態の検討	18
2.5.1 雲量による検討	18
1) 雲量 7.5 以上の日数について	18

2) 雲量 2.5 以下の日数について	20
3) 雲量について	20
2.5.2 日照率による検討	20
参考文献	21
第3章 太陽高度と全天空照度	23
3.1 概要	23
3.2 年間における太陽高度別累積出現率	23
3.3 各季節における太陽高度別累積出現率	24
3.4 年間における天気分類と全天空照度	27
3.5 各季節における天気分類と全天空照度	28
参考文献	35
第4章 昼光利用昼間における全天空照度の累積出現率	36
4.1 概要	36
4.2 昼光利用昼間における各年の全天空照度の出現率と累積出現率 ..	36
4.3 標準全天空照度累積出現率	39
参考文献	41
第5章 全天空照度出現率の地域別，緯度別推定	42
5.1 概要	42
5.2 緯度別太陽高度の累積出現率	42
5.3 気象資料と天気分類	50
5.4 推定1－緯度と天候による補正	53
5.5 推定2－緯度のみにによる補正	70
5.6 推定値の比較，検討	74
参考文献	75
第6章 就業時間帯における全天空照度の累積出現率	76
6.1 概要	76
6.2 年間の就業時間帯における全天空照度の累積出現率	76
6.3 冷房期，暖房期の就業時間帯における全天空照度の累積出現率 ..	80

6.4	年間の就業時間帯と昼光利用昼間における全天空照度累積 出現率の比較	82
	参考文献	84
第7章	就業時間帯における消灯率と点滅頻度	85
7.1	概要	85
7.2	実測値からの読みとり	86
7.3	年間の就業時間帯についての消灯率と点滅回数	88
7.3.1	設定照度，照度幅と消灯率	88
7.3.2	設定照度，照度幅と1日の平均点滅回数	91
7.3.3	点滅回数の出現率と累積出現率	93
7.4	冷房期，暖房期の就業時間帯についての消灯率と点滅回数	96
7.4.1	設定照度，照度幅と消灯率	96
7.4.2	設定照度，照度幅と1日の平均点滅回数	98
7.4.3	点滅回数の出現率と累積出現率	99
	参考文献	103
第8章	昼光利用照明の設計法	104
8.1	概要	104
8.2	昼光利用照明設計法	104
8.3	作業面照度	107
8.4	昼光利用照明の設計法	111
8.4.1	消灯率から消灯域（消灯ライン）を求める場合	112
8.4.2	消灯ラインにおける消灯率を求める場合	112
	参考文献	113
第9章	昼光，人工光併用照明の視作業性に関する研究	114
9.1	概要	114
9.2	標準視作業による見やすさの評価法	114
9.3	人工照明による照度分布ならびに標準作業の視方向への 輝度および輝度分布	115

9.3.1	灯器による照度ならびに標準作業の輝度	115
9.3.2	人工照明時の照度分布ならびに標準作業の輝度および 輝度対比	118
9.4	昼光による作業面上の照度ならびに標準作業の視方向への 輝度	119
9.5	昼光による見やすさへの影響	121
9.6	昼光利用照明に関する問題点	121
	参考文献	122
総 括	.....	124
あとがき	.....	126

序

論

室内照明設計をするにあたり，設計の対象となる室の照度が十分満足されているかどうかはまず問題となる。作業面照度は，照明器具による人工光と窓からの昼光との両者より得られる。従来から，室内照明設計は人工光のみを対象とした夜間の状態を設定条件として照明設計を行ってきており，照度の上からは窓からの直射光を除いた天空光は室内照度を高めるため安全設計と考えられていた。

窓からの昼光は気象条件によって常に変動するため，その取扱いが至って困難であるため従来これを無視してきたというのがその実態である。照明設計上，室内における窓は無視した方が量的ならびに質的に安定した状態を保ちやすく，かつ照明設計も行いやすいためであるにすぎない。

しかし，現実には窓の無い建物は極めて少なく，またこのような室の作業者への心理的影響を考えると好ましくなく，室には窓のあるのが一般的である。このような室に対して窓を無視することは全く現実と遊離した照明設計を行っていることになり，照明の質的な面を重視する今日の照明設計の考え方よりして決して許されるべきものではない。現実には即した人工光，昼光の両者を考慮した併用照明設計により，視覚にかなった良好な視環境の得られる照明設計技術の確立が今後の最大の課題といわねばならない。

近年，このような考えから併用照明による視環境の低下改善を目標に，また近時は昼光利用による省エネルギーの観点から，両者併用による照度，輝度，窓面のグレアなど全天空照度あるいは天空輝度の実態を知らなければ解決できない事項が照明設計の大きな課題となってきた。

他方，従来の採光設計では，昼光の変動性を無視しうよう昼光による明るさは全て昼光率を用いて表わされている。昼光率によれば，昼光による相対的な明るさは示すことができるけれども，人工光との加算あるいはこれを視覚に結びつけた真の視環境設計に役立てることはできず，これを測光量で把握することは不可欠である。従って，全天空による水平面照度の実態を長期にわたり測定した結果から設計用の全天空水平面照度の設定が不可欠である。

天空状態は，太陽高度，天気状態，季節などにより変動し，それらの条件と天空輝度あるいは全天空照度との関係を詳細に追究することも，その変動の実

態を把握するという面からは必要であろうが、照明設計資料としては、このような詳細な資料は役立つものではない。照明設計は、これらの個々の天気状態に対して設計することは無意味であるからである。設計に必要なデータはあらゆる条件を総合した全天空照度の年間にわたる出現頻度である。

現在まで行われている昼光光源に関する研究は少なく、しかもそれらの研究はこうした目的をもって行われたものでなく、その結果を併用照明の設計用資料として役立てることは出来ない。

こうした観点より、本研究では昼間あるいは作業時間帯における全天空照度の累積出現率にその研究目標の焦点を絞って、長期間にわたる全天空水平照度の実測を行い、これより照明設計用資料を得ることを最大の目的にしたものである。

実際の設計にあたっては、全天空照度の変動が人工照明の点滅と密接な関連をもち、これの在室者への影響を考える必要があるため、変動に関して設計上必要なデータを得ることも本研究の重要な目標である。

また、事務所ビルの室内照明設計を行うに際し、実用に供しうる簡便な昼光利用照明の設計法について、上記より得られた全天空照度の累積出現率を用いて検討している。ここでは、室内の所要照度を満足するための設計法であるが本来の照明設計は所要照度の確保のみならず、視環境設計の立場で行われるべきものであるとの考えから、併用照明設計時の作業面上での見やすさの検討も行っている。

尚、直射日光の室内照度への影響も考えられるが、ここでは天空光のみを対象とした研究にとどめている。

各章の概要は次の通りである。

第1章は、昼光光源に関するこれまでの研究ならびにその結果に考察を加えこれらが昼光照明設計に役立つものではないことを論述し、本研究の有する意義を明らかにしている。

第2章は、全昼間を対象にした採光設計を行う時に、最も基本となる全天空照度の設計用標準値を決めるため、全天空照度を対象に2年間にわたって行った測定に関し、その測定の目的、方法ならびにその結果に関し、全般的な検討を行ったものである。

第3章は、全天空照度を左右する大きな要因の1つである太陽高度を主体に

して、太陽高度と全天空照度との関係を明らかにするため、年間、季節別、および天気分類別の累積出現率を求めた結果に関するものである。

第4章は、年間の昼光利用昼間（太陽高度 10° 以上）における全天空照度の累積出現率を求め、照明設計用標準値としての全天空照度について検討している。

第5章は、2年間の測定で得られた実測値を大阪における平年値として利用しうるか、また他の地域に大阪の値を適用することができるかどうかについて検討したものである。

第6章は、昼光を利用した事務所ビルの照明設計を行う場合に対象となる就業時間帯（午前9時～午後5時）について、全天空照度の出現率と累積出現率を求め、事務所ビルにおける昼光利用照明設計のための資料を作成した結果に関するものである。累積期間としては、年間、冷房期（6～9月）および暖房期（11～3月）の三者を考え、昼光利用による経済的効果の予測に役立ちうよう配慮した。

第7章は、昼光利用照明を実施する場合の設計用資料として役立てるため、窓からの昼光付加により室内設定照度が満足される時は、窓近くの人工照明を消灯するとの考えより、ある設定照度に照度幅を設けた場合について第6章にあげた三者の就業時間帯における消灯率およびその時の点滅頻度よりうける居住者のわずらわしさを予測するための点滅頻度に関し、年間の全測定日を対象に就業時間（午前9時～午後5時）について検討を加えたものである。

第8章では、7章で求めた消灯率を考慮に入れた全天空照度の累積出現率と昼光率を用いて昼光利用照明の設計に有用な実用図表を作成し、これより室内設計照度に対応した消灯率および消灯域を推定する方法について述べている。

第9章は、前章までの全天空照度の測定結果に基づく作業面照度を対象とした照度バランス形昼光利用照明設計に対して、筆者らが行ってきた視覚に基づく照明設計の考え方の立場より、併用照明設計の視作業性について検討したものである。

第1章 昼光光源に関する従来の研究¹⁾

1.1 概 要

昼光光源を考える時に、太陽直射光と天空光の両者をあげることができる。これらを分離することは厳密には不可能であるけれども、今日まで昼光照明の対象として考えられてきたものは天空光であり、昼光照明に関する従来の研究もその殆んどが天空光を対象として行われてきた。この際、天空の輝度の変動を無視して取り扱いを簡単にするため、昼光による明るさは天空輝度の絶対値を消去した指標である昼光率で表わされ、昼光照明においては専らこれが用いられてきたため、天空光の輝度そのものは考慮する必要がなく、したがってこの変動の実態に関する研究も極めて僅かであった。

本来照明設計は良好な視環境の確保がその目的であり、この目的達成のためには昼光照明による照明条件も在室者の視覚に関連ある測光量で示されるべきであることが当然であるが、天空光の変動の複雑さを意識的に、あるいは無意識的に回避してきたと考えられる。

照明研究が視覚との関連において追求され、昼光と人工光との併用が照明の実態となってきた今日、昼光照明も昼光率で扱える段階ではなく、これを測光量で示すのでなければ、実際の照明設計に役立たなくなっていることは明らかである。

本論の目的は従来の昼光率に関する研究の成果を用い、これを測光量として把握することを目標に、天空光の変動の実態を長期にわたり正確に実測することにより、設計に役立つ全天空照度を設定することであるが、本論に入る前に、過去における昼光光源に関する研究成果にこの観点から検討を加えることにする。

今まで発表されている昼光に関する研究は、長期間の実測による研究と、理想的な天気状態である完全曇天空又は完全晴天空を対象とした研究に大別することができる。まず前者に相当する研究について検討することにする。

1.2 長期測定による研究

1.2.1. 小木曾氏の研究^{2)~7)}

現在まで、昼光照明設計を行う際の参考となる値を示していると考えられて

いる一連の論文に、小木曾氏の昼光光源に関する一連の研究^{2)~7)}がある。この研究が行われる以前（昭和10年代）は、可視光束以外も含めた全波長域の輻射から、可視光束が比例的に求められていることが多く、いくつか報告されている研究も、快晴時のみを対象とした研究^{8)~13)}が殆んどであった。

小木曾氏は、昼光光源に与える天気の影響の大きいことを考え、快晴時以外も含めた各種の天気状態に対する昼光照度を統計的研究によって把握すること、並びに可視光を対象とした測定から太陽輻射並びに天空輻射を推定することを目的として研究された。したがって、昼光光源として太陽直射光と天空光を合わせたものを考えた測定が行われた。同氏の一連の研究について、測定の概略および検討の概要を以下に示す。

測定は東京（35°38'N）における地上36mの建物屋上で行われた。第一次測定期間を昭和15年7月14日～昭和15年12月8日までの55日間とし、第二次測定期間を昭和16年1月1日～昭和16年6月15日までの152日間とし、合計207日間を1年間の測定期間として統計処理された。第一次では、水平面の全昼光照度を光電池1個で受光し、第二次では、天空を衝立により2分し、北半天空と南半天空による水平面照度を保護箱内の各々の光電池が受光し、これを30秒毎に自記記録計に記録させたものである。記録の読みとりは、太陽高度10°毎に毎日行われ、夏季では1日14回、冬季では1日6回の読みとりが行われている。

$$\text{全天空照度} = \text{北天照度} + (\text{南天照度} - \text{直射光照度})$$

$$\text{直射光照度} = \text{南天照度} - \text{北天照度}$$

として求められ、各天空照度； $E = m \cdot E_c$ として計算されている。

E_c ：光電池面照度

m ：箱倍率（白色塗装）（色組成による変動があるので、北天照度は曇天空、南天照度は直射光に対する太陽高度30°の値）

ここでは、太陽高度別の毎月の最低、最高、平均照度を午前、午後に分けて読みとり、照明上はその平均値を利用できるとしている。その $\Pi^{3)}$ においては、昼光照度を太陽高度と天気状態との関係から検討しているが、ここでの昼光照度とは直射光照度と天空光照度の両者を含めたものとし、太陽高度10°毎の昼光照度頻度曲線を4つの天気区分について求め、これに基づき、中央値を中心とする上、下68%の照度範囲をもつ基準照度帯を示している。これが同氏の

提示している5つの天気分類による昼光照度帯の基礎となっている。ここでの照度帯は、晴天日において直射光照度を含んだものである。そのⅡ以降の研究において使用されている資料は、第二次測定期間の6ヶ月間が基本となっている。そのⅢ⁴⁾において、改めて5つの天気分類による1日の照度変動について検討され、そのⅣ⁵⁾においては、昼光照明設計用として天空光を採用することが望ましいとの判断のもとに、北天輝度(照度)について検討がなされている。5つの天気分類に対し、北天照度(半天空)につき太陽高度10°毎に冬、春(秋)夏季の季節別並びに月別の照度変化を90%上、下限値、平均値で表わしている。そのⅤ⁶⁾においては、昼光照明の対象として照明学的昼間を太陽高度10°以上の時間帯とする提案がなされている。

昼光照明を行う上で、その設計資料を得るには、その実態を把握するため長期間にわたる実測を行う以外に方法はない。小木曾氏の研究は昼光の実態を長期間にわたる測定値から把握されたことにおいて、貴重な研究である。しかしながら、ここでの値を設計用資料として利用することを考えた場合、この測定値から全昼光照度の概要は知りえても、測定値の一部に直射光が含まれていることに問題がある。天空光と直射光は本質的に取り扱いが異なるのでこれを分離したものでなければ資料として使い難いからである。また1日の照度変化を太陽高度10°毎の読みとりで集計されているため、1点に対する時間の重みが、冬季(1日6点)と夏季(1日14点)が異なるように、一定していない。測定期間として1年をあげてはいるが、その主体は第二次測定期間6ヶ月における測定結果の統計処理であるため、これより1年間を類推することにも問題がある。又、測定期間の気象状態についても平年とみなしうるか否かの検討が不足していると考えられる。

1.2.2 田淵氏の研究¹⁴⁾

松下照明研究所における天空照度の測定がある。田淵氏は、大阪府門真市において、東西南北の各方向、高度10°の天空につき、測定範囲を頂角5°とした遮光筒式輝度計を使用し、昭和43年9月1日～昭和44年6月30日、昭和45年7月1日～昭和45年8月31日までの計1年間天空輝度を連続測定された。ここでの目的は、就業時間帯における天空輝度の出現率を統計的に把握し、実用的なPSALI設計の基礎データを得ることである。測定値の検討は、

午前9時～午後5時までの就業時間帯について行われ、読み取りは30秒に1回、方位毎に行われている。天空輝度の各方位における累積出現率が求められ、中央値および90%値が示されるとともに、全方位を一括したPSALI設計用天空輝度として年間累積出現率90%に相当する $11,000 \text{ cd/m}^2$ が示されている。

本研究は、東西南北の高度 10° の天空を対象とした測定であるため、季節によっては測定値に直射光又は太陽近傍の高輝度域の天空光を含んでいると考えられる。又、測定の目的が窓のグレア、モデリングに関するPSALI設計用資料を得ることであるため、低高度のしかも狭い範囲の天空を対象としたものであり、それをそのまま一般の昼光利用照明設計に使用することは難しい。

1.2.3. 中村、沖氏の研究^{15)~18)}

最近の研究では、「採光設計のための基礎的資料に関する研究」^{15)~18)}がある。ここでは、全天空と天空の低高度部分の輝度およびその分布の標準化を行い、それによる採光設計法の確立を前提として、太陽高度に対応した標準的な全天空照度を提案することを目的とされ、太陽位置、季日、時刻ごとの標準的な全天空照度について検討されている。その1¹⁵⁾においては、測定期間1969年10月13日～1975年7月12日までの間を前後4回に分け、名古屋に於いて、一部分は輝度計による逐点法により、大部分は写真測光法による天空輝度及びその分布の測定より得られた、資料数341点に対して検討している。月別資料の分布状態をみると、2, 3, 4, 9, 12月にはなく、5～7月の夏季に集中して分布している。天気区分については小木曾氏の5分類を採用している。雨天の資料は全体の3%弱、曇と雨天を含めて21%である。年間にわたる太陽高度別の全天空照度については、全測定値の分布状態から、中央値と上限、下限値の曲線をひき、この中央値の曲線より太陽高度と全天空照度との関係式を求めている。その2¹⁶⁾では、その1で提案された式の妥当性について述べているが、比較対照とされた値は北欧で提案された諸式をもとにしている。(例えば、Krochman : Berlin $52^\circ 29' \text{ N}$, Dogniaux : Luxemburg $49^\circ 37' \text{ N}$)。又、中間天空状態における全天空照度を、 10° 毎の天空輝度分布から求めるとともに、種々の検討より提案式の妥当性を述べている。その3¹⁷⁾においては、標準全天空照度図を作成する時に、太陽の標準赤緯と標準均時差を使用

することを提案し、両者の季日別平均値の計算、季日別の個々の値と平均値との差の最大値について、1967～1978年の12年間にわたり理科年表の数値を使って検討している。その4¹⁸⁾においては、標準太陽高度と、その1で提案された式より求められた値をもとに、月別、時間別、太陽高度別の標準全天空照度を得ている。また、太陽高度5°以上、および10°以上についての全天空照度の累積出現率を求めている。5°以上、10°以上の太陽高度に対する照度の相対頻度が均等に分布すると仮定し、その1で求めた太陽高度別全天空照度の曲線に照度幅を均等に分布させて累積頻度表を得ている。こうして得られた両氏の結果が筆者らの結果より高いとして筆者らの結果に若干の難色を示しているが、その測定方法の違いによる差は当然であり、得られた資料の妥当性が問題である。

両氏の研究の最大の弱点は測定数の不足と資料の季節的偏りである。この研究で検討に用いられている資料総数は僅かに341である。天空輝度の分布状態の実態を知る上では、かなりのプロット数とも考えられるが、これを年間を対象とした照明設計用の資料として使用することを考えると、1日当り1回の測定値にもならない。さらに、測定資料が年間にわたり均等に分布せず、5～7月の夏季に集中し、しかも資料の欠けている月が5ヶ月もあることに根本的な欠陥がある。季節による太陽ごとの全天空照度には差はみられないとして取扱われているのであるが、筆者の測定結果をみれば5～7月はかなり高照度を示す期間であり、これらの期間における測定値から年間を類推すると過大な値を得る結果となる。

なお、筆者の測定結果によれば、春の方が全般的に秋より高い全天空照度を示している。

1.3 理想的な天気状態に関する研究

1.3.1 完全曇天空

完全曇天空の輝度分布については、古くよりその特性が測定されていたが、Spencer はこれを実験式で表わし、これがCIE標準曇天空¹⁹⁾の輝度分布とされている。この場合の曇天は、太陽の位置が全くわからない天空状態でありその出現頻度は極めて少ない。この場合の天空輝度分布は次式で表わされる。

$$\frac{L_h}{L_z} = \frac{1 + 2 \sinh}{3} \quad \begin{array}{l} L_h : \text{高度 } h \text{ の天空の輝度} \\ L_z : \text{天頂輝度} \end{array}$$

天空輝度の絶対値に関しては Krotchman,²⁰⁾ Kittler の天頂輝度を太陽高度の関数として表わす式の提案がある。Krotchman は $L_z = 123 + 8,600 \sinh$, Kittler は $L_z = 3,990(1 + 3/2 \sinh) \sinh$ (ただし h : 太陽高度) とし, これに基づく全天空水平面照度の計算式²⁰⁾ も提示され, それぞれ $E_s = 300 + 21,000 \sinh$, $E_s = 9,750(1 + 3/2 \sinh) \sinh$ として与えられている。

これらは, 大きく散乱した実測値から得られたもので, その平均値に相当するものと考えられる。

1.3.2 完全晴天空

完全晴天空に関しても, CIE 標準晴天空がある。²¹⁾ すなわち, 天空位置 P の天空輝度 $L_{\zeta, \alpha}$ は次式で与えられる。

$$\frac{L_{\zeta\alpha}}{L_z} = \frac{f(r)}{f(z_0)} \cdot \frac{\varphi(\zeta)}{\varphi(0^\circ)}$$

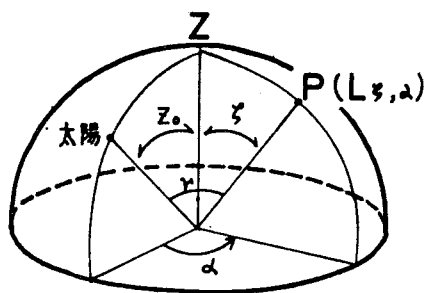


図 - 1.1

図 - 1.1 に示す角度は以下に示す通りである。

ζ : 天空位置 P の天頂からの角, α : P 点の太陽位置からの方位角

L_z : 天頂輝度, z_0 : 太陽位置の天頂からの角, r : P 点と太陽位置との角

$L_{\zeta\alpha}$: 太陽位置に対して天空位置 $P(\zeta, \alpha)$ の輝度

太陽位置と当該天空部分の位置とより, 天空輝度を天頂輝度に対する比として示すようになっている。天頂輝度の絶対値 L_z に関しては, 太陽高度に対し標準値が提案されたものがあり,²⁰⁾ $f(r)$, $\varphi(\zeta)$ および $\varphi(0^\circ)$ が与えられている。

全天空青空光による水平面照度 (E_s) に関しては, 天空輻射に関する Berlage の計算式²²⁾ を準用し, 大気圏外の直射日光の法線面照度 (E_0) と大気の透過率 (P) よりこれを求める次式のあることは周知の通りである。

$$E_s = \frac{1}{2} E_0 \sinh \frac{1 - P^{\cosh h}}{1 - 1.4 \log_e P} \quad h : \text{太陽高度}$$

なお、青天空に関しては永田氏の研究成果も発表されている。^{23), 24)}

これまで掲げてきたものは、いずれも理想的な曇天または快晴日に関するもので、現実には極めてまれな天空状態についての資料である。昼光照明設計が年間にわたる昼間、または昼間の就業時間帯を対象とするものであることを考えれば、ここに掲げた論文の詳細な研究結果は、いずれも設計用資料として何ら役立つものではない。

以上述べてきたように、これまでの昼光光源に関する研究成果は他の目的には役立ちえても、筆者の考えているような全就業時間を対象とする照明設計に適用する資料として使用しうるものではない。

参考文献

- 1) 大野治代，伊藤克三，佐藤隆二：昼光利用照明設計に関する研究（その1）－就業時間帯における全天空による水平面照度の累積出現率，照明学会雑誌 Vol. 62, No. 10（昭53）535
- 2) 小木曾定彰：昼光光源に関する統計的研究〔I〕－第一次並に第二次測定，照明学会雑誌 Vol. 26, No. 5（昭17）
- 3) 小木曾定彰：昼光光源に関する統計的研究〔II〕－天気別照度帯に就いて，照明学会雑誌 Vol. 27, No. 3（昭18）
- 4) 小木曾定彰：昼光光源に関する研究その3－昼光変化論，照明学会雑誌 Vol. 27, No. 7（昭18）
- 5) 小木曾定彰：昼光光源に関する研究〔IV〕－北天輝度に就いて，照明学会雑誌 Vol. 29（昭20，合併号）
- 6) 小木曾定彰：昼光光源に関する研究〔V〕－所謂“日中”若しくは“照明学的昼間”の査定，照明学会雑誌 Vol. 31（昭22，合併号）
- 7) 小木曾定彰：昼光光源に関する研究〔VII〕－太陽輻射，特に地球大気圏外における法線面照度に関する研究，照明学会雑誌 Vol. 40, No. 8（昭31）
- 8) 二宮忠清：自然採光の研究，国民衛生，第8巻，第7号（昭6）
- 9) 伊東恒治：昼光照明の光源としての天空輝度並びに地上に於ける昼光照度に就いて（1），建築学研究第78，（昭10）1
- 10) 川野昌美：セレンウム堰層水電池による天空光の観測に就いて，気象集誌第2輯第13巻第11号（昭10）

- 11) 伊東恒治：昼光照明の光源としての天空輝度並びに地上に於ける昼光照度
に就いて(2)，建築学研究第 79 (昭 10) 41
- 12) 木村幸一郎：天空光，直射日光及其反射光の強さの実測について，建築学
会論文集第 18 号 (昭 15) 9
- 13) 渡辺 要：天空輝度分布に関する実験的研究，建築学会論文集第 18 号
(昭 15) 14
- 14) 田淵義彦：天空輝度の連続測定記録，照明学会雑誌 Vol. 55, №6 (昭 46)
- 15) 中村 洋，沖 允人：採光設計のための基礎的資料に関する研究(1)－太
陽高度と標準全天空照度(その 1)，日本建築学会東海支部研究報告，第
17 号 (昭 54)
- 16) 中村 洋，沖 允人：採光設計のための基礎的資料に関する研究(2)－太
陽高度と標準全天空照度(その 2)，日本建築学会東海支部研究報告，第
17 号 (昭 54)
- 17) 中村 洋，沖 允人：採光設計のための基礎的資料に関する研究(3)－太
陽の標準赤緯と標準均時差，日本建築学会東海支部研究報告，第 17 号
(昭 54)
- 18) 中村 洋，沖 允人：採光設計のための基礎的資料に関する研究(4)－標
準太陽高度と標準全天空照度，日本建築学会東海支部研究報告，第 17 号
(昭 54)
- 19) CIE Proc. Vol. II Secretariat Committee 3.2, Zürich(1955)
- 20) Krochman, J., Seidl, M.: Light. Res. Tech. 6 (1974) 165
- 21) CIE Publication №22, Standardization of Luminance dis-
tribution on clear skies (1973)
- 22) H. P. Berlage : Meteorologische Zeitschrift 45 (1928) 174
- 23) 永田忠彦：晴天空の輝度分布に関する研究(その 1)－輝度分布の測定，
日本建築学会論文報告集 185 号 (昭 46) 65
- 24) 永田忠彦：晴天空の輝度分布に関する研究(その 2)－晴天空輝度分布論，
日本建築学会論文報告集 186 号 (昭 46) 41

第2章 全天空照度の測定^{1)~4)}

2.1 概 要

従来、照明設計は人工照明設計を主体にして、窓からの昼光は全く無視された状態で行われてきたが、これには昼光は照度の上で安全側に働くとの考えで取扱われてきたものと思われる。しかしながら、明視照明において、窓からの昼光は人工照明の質的低下をもたらすことが少なくなく、これに関する技術的対応の必要性が認識され、両者の併用照明設計技術の確立に向けてPSALIの研究が進められ、昼光による照明の質的低下の防止を補助的な照明施設の増設によって実現しようとしていた。この際併用照明による照度、輝度の予測、これに関連した窓面のglareの問題など、天空光の値を知らなければ解決できない事項が採光設計の大きな課題となってきた。

今迄行われてきた昼光光源に関する長期測定⁵⁾では天空光とともに直射光を含めた状態で行われていたものが多く、直射光のない完全曇天、雨天時などに相当する照度は一応予測されうるけれども、晴天時のように直射日光のある日を含めた年間の全天空照度の出現頻度はこれらの資料よりは得られるべくもなくしたがって昼光照明設計の基礎資料とはなり得ない。また、天空高度 10° における東西南北の4方位についての天空輝度の長期連続測定値⁶⁾は、季節によっては太陽あるいはその近傍を含むことになり、かつ至って狭い天空についての測定値を統計処理されたものであるため、昼光照明設計に用い得る全天空輝度に関する基礎資料とはなり難い。

本章は、天空光を対象とした採光設計を行うに際し、最も基本となる全天空照度の設計用標準値を求めるに必要な基礎となる全天空照度の実態を把握するため、2年間にわたる長期測定を行った結果に、太陽高度、気象条件、季節等の観点より検討を加えたものである。

2.2 測定計画

2.2.1 測定場所

大阪府吹田市山田上、大阪大学工学部建設棟8階屋上を測定場所とした。当該場所は、経度 $135^{\circ}30'E$ 、緯度 $34^{\circ}50'N$ 、地上28m、海拔60mである。測定地点は5～10m前後の起伏の多い千里丘陵地帯に位置し、建物の西

方向には千里ニュータウンが広がり、他の方向には雑木林や住宅が点在しており、大阪市内にある気象台からは北東方向に直線距離約 15 km の地点にあたる。付近一帯には、全天空からの水平面照度測定に影響する地形、地物はみられず、特に本測定対象とした北 4 分の 1 の天空に対しては、障害物は皆無の状況である。

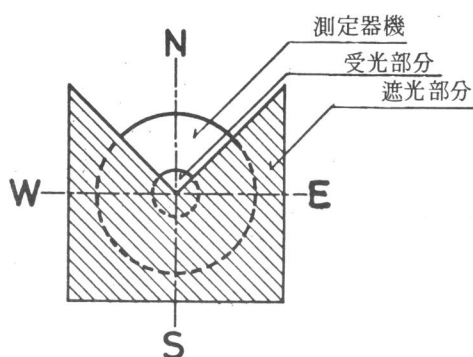
2.2.2 測定期間

第一次測定期間 昭和 45 年 12 月 1 日～46 年 11 月 30 日

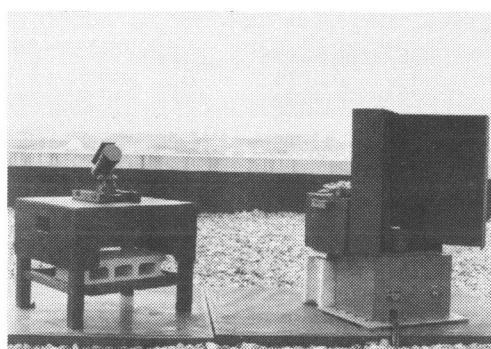
第二次測定期間 昭和 46 年 12 月 1 日～47 年 11 月 30 日

2.2.3 測定方法及び装置

天空照度測定は、東芝で設計・製作された“天空照度測定装置⁷⁾SPI-106形”を受光部とし、自動平衡式記録計 RSD 形を記録測定部として、両者を接続させて連続測定を行った。この受光部は、半天空照度を測定するためのものであり、太陽の方位によっては受光部に直射光が入射し、正確な天空照度が得られない。そこで、受光部への直射光線を常に遮蔽するため、 $\frac{3}{4}$ 天空（北東－南－北西）を遮光する装置を受光部分の上部に取付け、北 $\frac{1}{4}$ 天空（北東－北西）による水平面照度を図－2.1 の方位で測定する。直射光の有・無と天空状態の資料を得るため、ジョルダン日照計を写真－2.1 のように併置し、その記録を同時にとることにした。



図－2.1 測定装置略図



写真－2.1 天空照度測定装置と日照計

このように北 4 分の 1 の天空による水平面照度を測定対象としたことの理由の第一は、受光部への直射日光を遮蔽する技術的困難さが挙げられるが、これが

可能としても、太陽近傍の高輝度部分にどう対処するかに大きな問題がある。どれだけの大きさを太陽と考えれば妥当であるかである。さらに、測定結果を昼光照明設計に利用することを考えれば、対象とする天空に太陽が位置する場合には直射遮蔽装置により直射光の射入を防ぐ必要があり、このような場合には、太陽近傍の空を含めた天空による照度の測定結果のもつ意味にも疑問が生じる。天空光のみによる昼光照明に利用する天空照度としては太陽近傍を除外した方が設計の実態にはよく合致するとの判断があり、この場合には不確定要素も除かれ、より明確な資料が得られるからである。天空輝度には方位によるむらのあることは争われない事実ではあるが、昼光照明の現段階では、これまでも設計に取り入れる段階ではないと判断するのが妥当であるとの考えが、本研究の基本になっていることを付言する。

2.3 測定日数

2.3.1 天空照度の測定日数

天空照度の測定日数は表－2.1に示す2ヶ年間であり、ほぼ年間全日の測定結果が得られているため、本測定結果は測定地点における年間の実態を示しているとみなして差支えないものとする。

表－2.1 天空照度の測定期間と日数

期間 \ 月	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	合計
昭和 45.12.～46.11.	31	28	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	362(日)
昭和 46.12.～47.11.	31	31	27	31	30	31	30	31	31	20	31	30	354(日)

2.3.2 日照観測の日数

日照計の測定日数は、表－2.2に示すように第一次においては天空照度測定日数と同じであるが、第二次は120日で合計482日である。

表－2.2 日照観測の測定期間と日数

期間 \ 月	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	合計
昭和 45.12.～46.11.	31	28	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	362(日)
昭和 46.12.～47.3.	31	31	27	31	—	—	—	—	—	—	—	—	120(日)

第一次測定期間における天空照度と日照記録の測定結果を検討したところ、両者の関係には年による違いが殆んど見られないことが12月～3月の測定結果より明らかとなったため、47年4月以降日照計による記録は中止することにした。

2.4 測定結果の検討

本章における測定結果の検討は天空照度と気象条件との関係についての全般的な検討ならびに、測定期間の気象に検討を加え、本測定結果を平年値として用いることの可否について吟味するにとどめ、太陽高度を含めた各気象条件と天空照度との関係については第3章に、また天空照度の年間にわたる出現頻度に関しては第4章で検討を加えることにした。

2.4.1 日照計記録と天空照度記録との対応

天空照度に影響する要因として、天空状態と太陽高度が考えられる。変動する天空状態と天空照度の対応関係をみるため、天空照度計と日照計を併置して同時に記録し、これに測定期間中の天気観察の記録を参考にして、両者の対応について検討することにした。

2.4.2 天気分類

日照記録と天空照度記録を比較した結果、天空状態を表－2.3に示す5種類の天気分類に分けた。この分類は、日照計の記録及び天気の観察記録に基づくもので、天気分類1～3に対応する日照記録を図－2.2～2.4に例示する。各天気分類の日の典型的な照度記録を図－2.5に示す。ここには、天気状態が一日中変化せず同一天気分類に属した日の天空照度の記録を例示してあるが、このような日は年間を通してみても極めてわずかである。

表－2.3 天気の分類

天気分類	天気	日照計記録紙の感光状態	天空照度記録	空の状態
1	快晴	濃く連続	上下の変化はなく非常に安定している	雲は殆んどみられない
2	雲晴	〃断続	秒単位で照度が大きく変化する	雲が点在する
3	薄晴	薄く連続	ゆるく上下に変化する	高層雲・巻層雲が空一面にあり薄日がさす
4	曇	無	大きな照度変化がみられる	乱雲・層雲などの雲が空を閉じ日照がない
5	雨	無	低照度で上下することが多い	同上、降雨

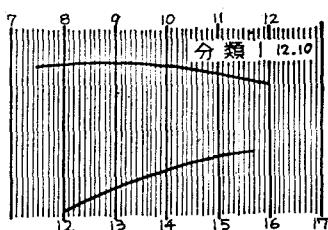


図 - 2.2 日照記録例

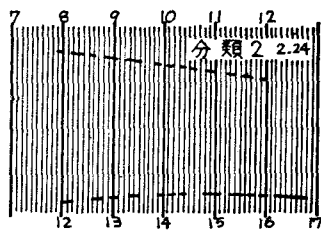


図 - 2.3 日照記録例

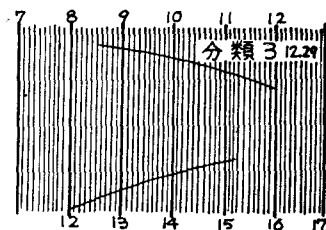


図 - 2.4 日照記録例

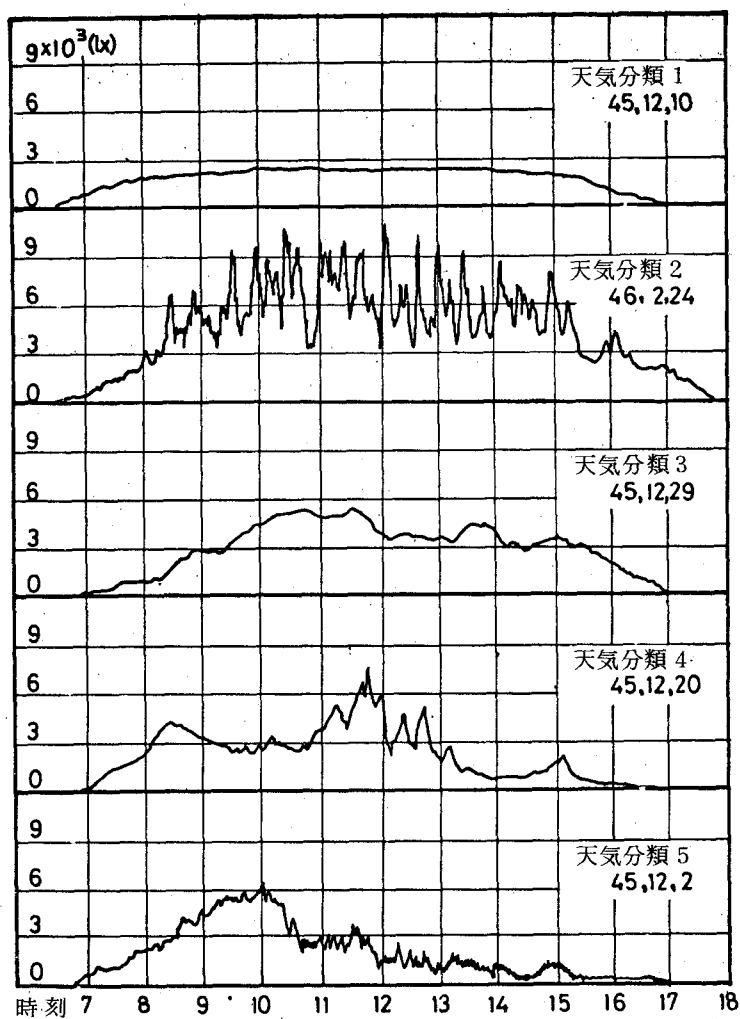


図 - 2.5 天気分類 1 ~ 5 の天空照度記録例

他の殆んどの日は、種々の天気分類が入乱れて、天空照度の変動が一様でない。
表－2.4は第一次測定期間における各天気分類の出現日数を示すものである。
この表の測定日数と天気分類別日数との合計が一致しないのは、1日のうちでも何種類かの天気分類が出現しているためである。

表－2.4 天気の種類別の月別測定日数
(昭和45年12月～46年11月)

天気分類 \ 月	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	合計
天気分類 1	16	15	17	20	19	19	4	8	14	13	13	17	175(日)
天気分類 2	9	11	15	16	3	15	13	17	20	20	13	16	168(日)
天気分類 3	18	22	12	10	14	15	13	9	7	5	12	10	147(日)
天気分類 4	13	11	15	13	9	14	24	20	13	15	14	19	180(日)
天気分類 5	3	4	6	3	8	9	14	10	9	9	10	2	87(日)
測定日数合計	31	28	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	362(日)

2.4.3 季節区分

季節区分の方法には、太陽高度を中心にする方法、暦に従って4季節に区分する方法がある。本研究においては、昭和45年11月からの天空照度の予備測定による天空照度記録を検討した結果、1年間を冬季(12月～2月)、春季(3月～5月)、夏季(6月～8月)、秋季(9月～11月)の4季節に分けることにした。

これは、本区分によって特に快晴日の測定結果に季節の特性が明確にあらわれ、しかもこれが通常の季節区分にも合致しているためである。

2.4.4 測定値の読みとり

天空照度の測定値は終日の自記記録紙より、標準時をもとに10分間隔で各時刻における数値を日出から日没まで読みとる。測定値は北 $1/4$ 天空による照度であるので、これを4倍して全天空照度に換算した数値、並びにその時の太陽高度と天気分類とにより、測定値の統計処理をすることにした。

ここで示している全天空照度の値は、正確には、北 $1/4$ 天空を等輝度と見なしたときの光束発散度(rlx)に等しい。本研究においては、快晴日の太陽近傍の高輝度天空は測定対象としていない。太陽直射光の室内へ射入は防除することが昼光照明の基本であるからである。直射光を考慮しない場合には、北天

の天空輝度をもって天空輝度を代表させても大きな差異はないと考えられる。他の文献^{8)~10)}においても、太陽近傍を除けば、東西南北による差はないため、本測定で得られたものを4倍した値を全天空照度として実用上問題はないと考えられる。

以下本研究でいう全天空照度とは北 $1/4$ 天空による水平面照度を4倍したものであることを断っておく。

2.5 測定期間と平年との天気状態の検討

測定期間中の天気状態が平年¹¹⁾と比べて大差がなく、その測定値を平年とみなして差支えないか否かを、大阪気象台¹²⁾の各種の気象資料によって検討した。

2.5.1 雲量による検討

1) 雲量 7.5 以上の日数について

雲量については、大阪気象台の14時の観測値を用いて検討し、これを表-2.5に示す。年間を通じて、雲量が7.5以上の日の占める割合をみれば、平年38.9%に対し46年は41.3%、47年は43.1%と大体4%程度の差にすぎない。これを月別

にみると、6、7、8

の3ヶ月は46、47

兩年とも平年をかな

り上まわって全体的

に天気の悪かったこ

とを示しているが、

その他の月では兩年

の平均値がほぼ平年

値に近いことを示し

ている。図-2.6を

見れば、測定対象の

兩年が気象的に特異

な年であったとは考

えられない。

表-2.5 月別気象表（大阪気象台）

		年 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
日 数 (曇量≥7.5)	45	8	11	10	19	15	24	21	13	15	13	7	9	165	
	46	5	9	7	10	16	27	17	16	15	17	7	5	151	
	47	15	14	11	11	16	23	20	12	11	7	9	9	158	
	平年	7.9	9.6	11.9	12.3	15.1	19.4	14.7	10.2	13.7	11.4	8.6	7.3	8.1	
日 数 (曇量<2.5)	45	9	6	5	3	2	3	2	4	0	8	6	4	52	
	46	5	1	5	6	2	0	1	3	0	3	8	6	40	
	47	5	1	3	2	3	1	0	5	5	4	4	5	38	
	平年	4.7	3.3	4.5	5.5	3.9	1.7	2.5	4.0	2.4	5.2	6.6	5.1	4.4	
雲 量	45	46	54	57	71	69	83	74	64	74	58	50	56	63	
	46	53	66	54	55	68	87	72	67	75	69	48	50	64	
	47	64	71	60	63	63	79	76	64	58	53	57	52	63	
	平年	54	59	60	61	67	77	69	57	67	60	52	53	61	
日 照 率 (%)	45	55	49	49	39	46	22	42	50	42	45	52	47	44	
	46	54	43	53	56	46	25	39	51	32	41	53	54	46	
	47	39	36	49	49	47	40	44	57	48	59	53	52	48	
	平年	48	47	47	49	46	38	46	57	46	47	49	47	47	

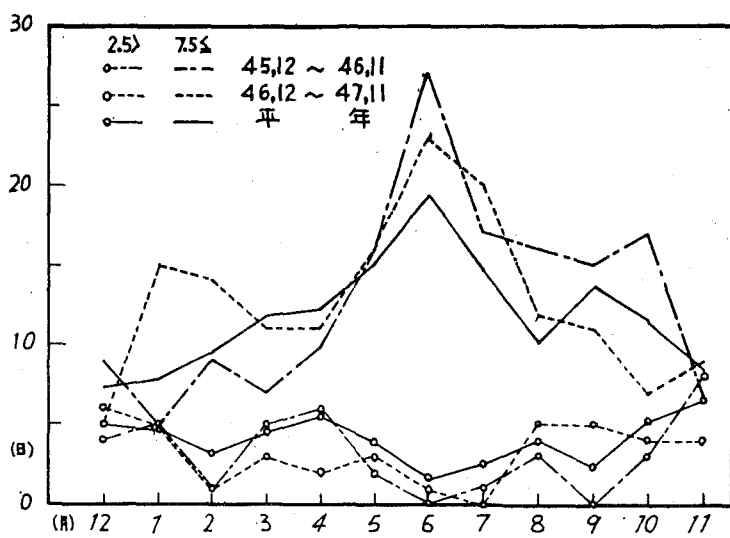


図 - 2.6 雲量別日数

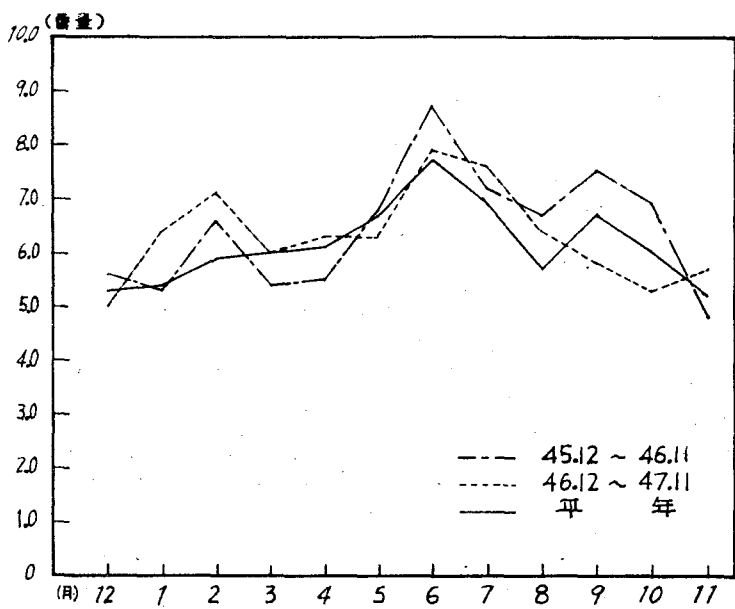


図 - 2.7 月別雲量

2) 雲量 2.5 以下の日数について

年間を通じて、雲量が 2.5 以下の快晴日の年間に占める割合は、平年 13.5% に対して、測定期間中は各々 10.3, 10.9% であり、両者の間に大差のないことが知られる。各月別の出現日数の変動状態を示した図 - 2.6 を見ればその傾向は測定兩年ともほぼ平年の場合に類似し、しかも平年値が両測定年の値の間にある場合が多く、46, 47 兩年には、特に快晴日数が平年と比べて異常であったとは認められない。なお、本雲量に相当する快晴時の全天空照度は、測定結果からみて、中央値付近にあるので、この程度の日数の差異は全天空照度の年間の出現頻度には殆んど影響しないと考えてよい。

3) 雲量について

表 - 2.5 に測定年と平年との月別平均雲量を示している。月別にその差異を見れば、46 年 1, 3, 4 月の雲量は平年値より少なく、5 ~ 10 月は平年値より多い。47 年では 5, 9, 10 月以外は平年より多くなっている。その両者の差は、1.2 を最高として 0.5 前後の間を上下していることは図 - 2.7 に見られる通りである。これを年平均でみれば、表 - 2.5 にみられるごとく殆んど差がないものと考えてよい。

以上の通り、14 時における雲量の比較により、昭和 45 年 12 月より昭和 47 年 11 月に至る 2 ケ年の気象条件を平年と対照した結果、この両者には顕著な差異は認められず、したがって兩年は気象的に特異な年でなかったといえることができる。

2.5.2 日照率による検討

平年と測定期間の日照率を表 - 2.5 に、又これを図表化したものが図 - 2.8 である。この図表から 46 年 6 ~ 10 月の間では、平年より低く最高の開きが 14% あり、春季では 5 ~ 7% 平年値より高い。47 年 1, 2 月においてそれぞれ平年値より 8%, 11% 低くなっている他は平年と著しい差は認められない。兩年とも、月別の変動は平年に比し若干大きくなっているが、年間の平均値でみれば兩年の日照率は平年値に比し $\pm 1\%$ でありほとんど差異がない。したがって、日照率の面から見ても測定期間の気象条件は平年と特別の差異のないことが確認された。

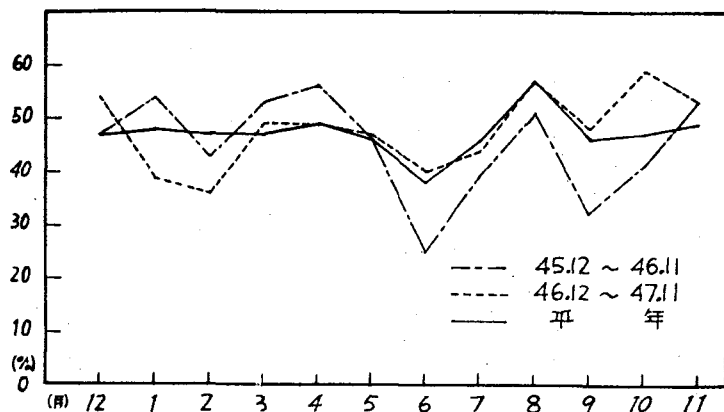


図 - 2.8 日 照 率

上述の通り，全天空照度に対して影響の大きいと考えられる気象因子である雲量，日照率について検討した結果，本測定期間中の測定値が平年値をあらわすものと実用上みなして差支えのないことが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) 伊藤克三，栗三治代：天空輝度測定方法と冬期測定例，日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭46）61
- 2) 伊藤克三，栗三治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究（その1－冬・春季の測定結果について），日本建築学会大会学術講演梗概集（昭46）47
- 3) 伊藤克三，栗三治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究（その2－1年間の測定結果について）日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭47）93
- 4) 伊藤克三，大野治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究，日本建築学会論文報告集第215号（昭49）51
- 5) 小木曾氏の一連の研究（前章の文献参照）
- 6) 田淵氏の天空輝度の研究（前章の文献参照）
- 7) 伊藤克三，関原猛夫，小島武男：天空照度測定装置の試作，日本建築学会大会学術講演梗概集（昭44）91
- 8) 伊藤克三，手塚二郎：建築環境の輝度について，日本建築学会研究報告，No. 29（昭29）

- 9) 松浦邦男，須藤栄子：直射日光を含めた採光計算の標準化について，
日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭 46）45
- 10) 採光設計，日本建築学会設計計画パンフレット（昭 43）48
- 11) 気象庁：日本気候表（昭 47－3）
- 12) 大阪管区气象台：大阪府気象年表，昭和 45 年度版，昭和 46 年度版
昭和 47 年度版

第3章 太陽高度と全天空照度^{1)~4)}

3.1 概 要

全天空照度の値を左右する要因としては、その時の太陽高度、天気条件、大気の状態が挙げられる。その中、最も基本となるものは太陽高度である。したがって、太陽高度を主要因とし、これに天気ならびに季節の2要素を加えて測定資料を検討し、これら3要素と全天空照度との間の関係を明らかにすることによって、与えられた条件における全天空照度の推定を可能にしようとするのが、本章の目的である。この際、全天空照度はその性質上、同様の3条件下にあっても大きく変動するため、その値としては、それを代表すると見なされる中央値の他、相対度数⁵⁾(以下出現率と称す)あるいは累積相対度数⁶⁾(以下累積出現率と称す)に対応したものとして示されるべきものであり、本章ではこうした考えの下に測定値に対して検討を行ったものである。統計学上は、相対度数および累積相対度数の用語を使用しているけれども、本論文では、出現率および累積出現率を使うことにした。

3.2 年間における太陽高度別累積出現率

まずはじめに、太陽高度と全天空照度との全般的な関係をみるため、天気、季節を考慮せず、全測定値を太陽高度別に整理して、これを累積出現率指標として表わした。すなわち、太陽高度を $5^{\circ} \sim 75^{\circ}$ までの間で 5° おきに、全天空照度を1,000 lx幅で、10分間隔で読み取り、このデータを各太陽高度毎に整理し、それぞれの出現頻度および年間の累積出現率を求めた。この関係を表わすと表-3.1となる。

表-3.1 年間の全天空照度別、太陽高度別頻度分布の相関表

E \ A	A ₁	A ₂	A ₃	.....	A _i	度数	相対度数
E ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	.....	a _{1i}	f ₁	f ₁ /N
E ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	.....	a _{2i}	f ₂	f ₂ /N
E ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	.....	a _{3i}	f ₃	f ₃ /N
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
E _j	a _{j1}	a _{j2}	a _{j3}	.....	a _{ji}	f _j	f _j /N
Σ	n ₁	n ₂	n ₃	.....	n _i	N	1

(i = 1, 2, ..., 16 j = 1, 2, ..., 84)

ここでEは全天空照度（1,000lx幅で，84区間），Aは太陽高度（5°以上の太陽高度を5°間隔に15区間），fは各照度幅における出現頻度，nは各太陽高度毎の出現頻度を表わす。これらの関係より，各太陽高度別に年間の全天空照度の累積出現率を求めた。例えば，A₁の太陽高度の出現頻度はn₁であり， $n_1 = \sum_{j=1}^{84} a_{j1}$ と表わされる。また，A₁における全天空照度別出現率は， a_{11}/n_1 ， a_{21}/n_1 ，……， a_{j1}/n_1 （j=1～84）であり，その時の累積出現率は $a_{11}/n_1 + a_{21}/n_1 + \dots + a_{j1}/n_1 = \sum_{j=1}^{84} a_{j1}/n_1$ と示される。その例として，図-3.1に太陽高度5°，10°，15°，20°の場合を示す。このようにして得られた各太陽高度別の累積出現率曲線より，各累積出現率における全天空照度を読みとり，この累積出現率をパラメーターにして，各太陽高度に対する全天空照度をプロットし，両者の関係を表わしたものが図-3.2である。この図中には，46，47年の各1年と2年間を総合したものとの3点がプロットしてあり，累積出現率曲線は2年間の総合値のプロットにより画いたものである。本図には，年間の全天空照度に関し，中央値の他高い出現率の95～80%および低い出現率20～5%を5°おきに等しい累積出現率を結んで曲線を描いてある。本図より，測定期間中の両年による差異は少なく，これからも本測定値を平年値とみなして差支えないことがわかる。太陽高度に対応する全天空照度の年間を通しての分布確率をこれより知ることができる。

3.3 各季節における太陽高度別累積出現率

太陽高度に対応する全天空照度の季節による差異をみるため，各季節毎に全天空照度の累積出現率を各太陽高度についてプロットした。年間の場合と同様に，太陽高度は5°～75°の間で5°おきに，照度幅は1,000lxで整理し，各太陽高度毎の出現頻度に基づいて，季節別累積出現率分布を作成した。その1例を図-3.3に示す。図中には，5，50，95%の累積出現率が各曲線上に記してある。季節別に太陽高度と全天空照度の関係をこの図から読みとり，等しい累積出現率の5，50，95%値を結んだものが図-3.4～図-3.7である。

これらの図によれば，46，47年の両者には全天空照度にはっきりした差異はみられない。5%の累積出現率分布では，各季節のいずれの太陽高度においてもほぼ同様の値を示し，殆んど差は認められない。中央値では，夏季の太陽高度30°以上において10%程度他の季節より高い全天空照度を示している他，

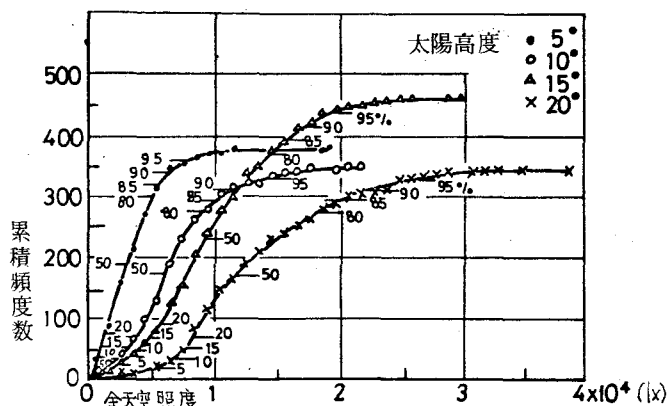


図 - 3.1 年間各高度別の全天空照度累積出現率分布の1例
(昭和45年12月~46年11月)

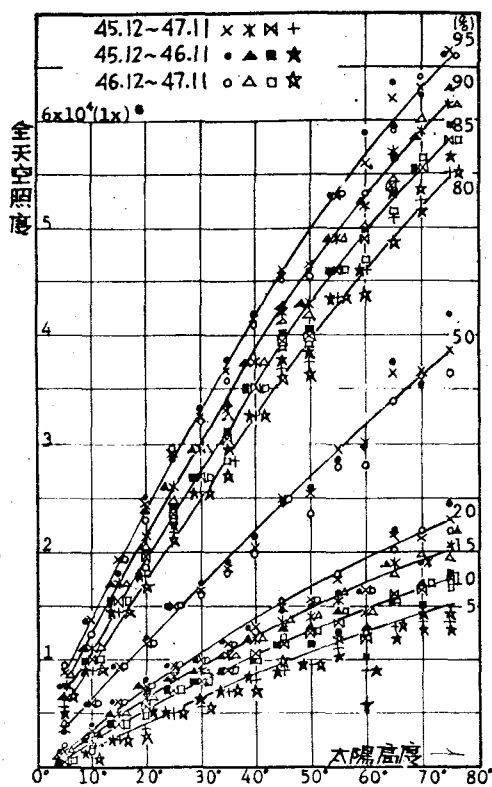


図 - 3.2 年間の全天空照度の等累積出現率分布

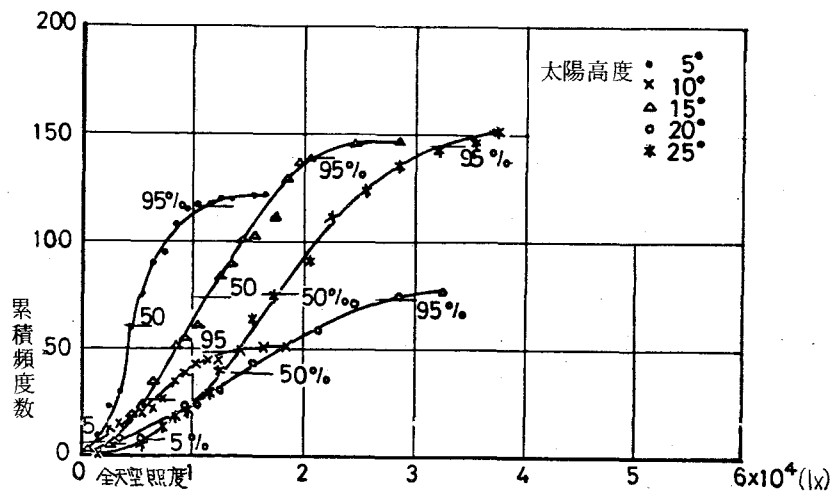


図 - 3.3 夏季の太陽高度別全天空照度の累積出現率分布の1例
(昭和47年6月~47年8月)

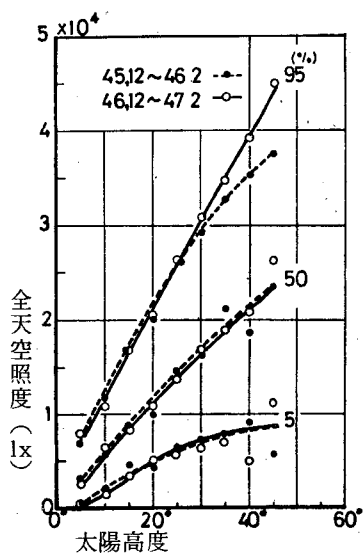


図 - 3.4 冬季の全天空照度の等累積出現率分布

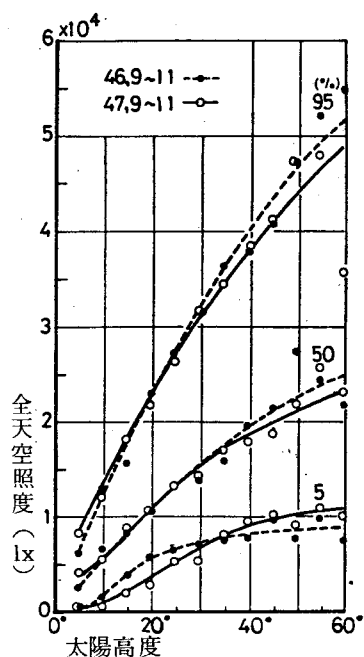


図 - 3.7 秋季の全天空照度の等累積出現率分布

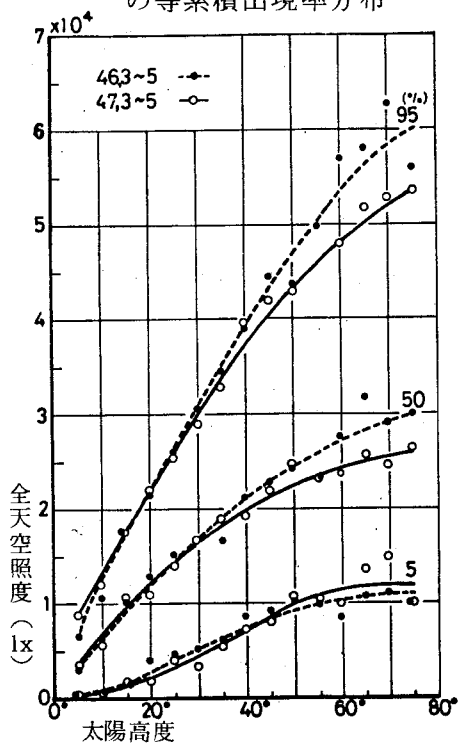


図 - 3.5 春季の全天空照度の等累積出現率分布

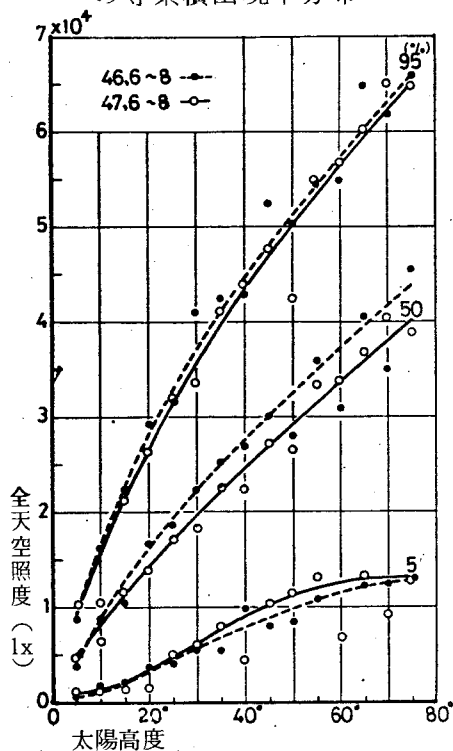


図 - 3.6 夏季の全天空照度の等累積出現率分布

大体等しい値を示している。95%の累積出現率分布においても、中央値とほぼ同様のことがいえる。

ここで、2章5節における観測資料の中ではかなり大きな差の認められた46年、47年の夏季について、全天空照度を対応させると、図-3.6の95%、中央値、5%の累積出現率分布において、両年の値には明確な差はあらわれていない。秋季に多少みられた気象観測による資料の差も、図-3.7においてははっきりとは認められない。表-3.2は、両年を季節別に、太陽高度40°の場合について、比較対照させたものである。季節による相異は、5%の累積出現率において殆んどみられず、

中央値においても夏季以外は 表-3.2 季節別の等累積出現率の対応例

大体等しい値であるが、95%の累積出現率になると、多少照度差が出ている程度である。

これらの図より、季節別の太陽高度別全天空照度についての両年における差異は少なく、両年の測定値を平年値とみなしても差支えないことがわかる。

年 \ %	95	50	5
46年 冬季 (太陽高度40°)	35,000	21,000	8,500
47年 " (")	39,500	21,000	8,500
46年 夏季 (")	39,000	21,000	7,500
47年 " (")	37,500	20,000	7,500
46年 夏季 (")	44,000	27,000	8,000
47年 " (")	43,500	24,000	9,000
46年 秋季 (")	40,000	19,500	8,500
47年 " (")	38,000	19,000	9,000

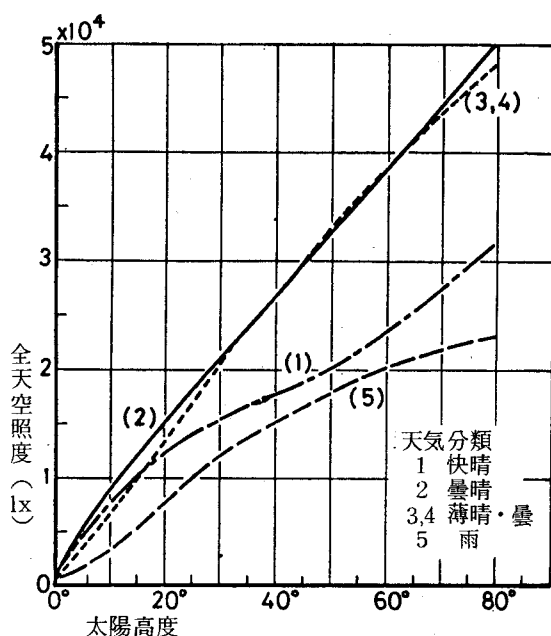
3.4 年間における天気分類と全天空照度

各天気分類毎に、太陽高度と全天空照度との関係について年間を通して集計したものから、その平均値を用いて求めたものが図-3.8である。本図より、天気分類1（快晴）と天気分類5（雨）においては、全天空照度に天気分類による明らかなちがいがみられる。天気分類2（曇晴）がいずれの天気分類よりも高い最高の全天空照度を示している。天気分類3（薄晴）と天気分類4（曇）では、両者の間に照度差が認められなかったのもので、これを総合して一本の曲線にして表してある。この曲線は天気分類2（曇晴）の曲線に比べ、低い太陽高度では低い値を示しているが、高い太陽高度ではこの両者に殆んど差は認められない。これら4本の曲線は、天気状態と太陽高度とから年間の全天空照度の中央値を推定することを可能にするものであり、年間の全天空照度に対して有

用な資料と考える。

3.5 各季節における天気分類と全天空照度

天気分類と全天空照度との関係を各季節別に集計し、季節、天気、太陽高度の三者と全天空照度との関係を明らかにしようとするものである。昭和45年12月～46年11月までの第一次測定期間中の全測定値を、季節毎に5種類の天気分類し、天気分類別太陽高度別に、全天空照度の測定値の平均値を求め、これ



図－3.8 年間の天気分類別の全天空照度

をプロットして図にあらわした。天気分類1についての結果を図－3.9～図－3.12に示す。この天気分類においては、各季節ともプロットのばらつきが少なく、それぞれよく曲線上に集って安定している。季節別には夏季に照度が高く秋季には低い。さらにこれを月別にプロットしたものが図－3.13～3.16である。各月別に、全天空照度にはかなり大幅の変動がみられるが、各月の特性は明瞭に認めることができる。季節あるいは月による全天空照度の高低は、大気の透過率が夏季に低く、秋季に高いためによる影響⁷⁾であるが、これが非常に明確にあらわれている。

天気分類2について、同様の集計を行いこれをプロットしたものを図－3.17～3.20に示す。この天気分類においては、季節毎の差はそれ程顕著には認められないが、天気分類1の場合と同様に夏季に高い。この天気分類は、5つの天気分類の中で年間を通して高照度を示す天気状態である。

天気分類3についての結果は、図－3.21～3.24に示す。全天空照度は、太陽高度にほぼ比例した値となっており、季節による差は殆んど認められない。

天気分類4についての結果は、図－3.25～3.28に示す。冬季にやや低い他は季節による差異は殆んど認められず、全般的には天気分類3と同様の傾向

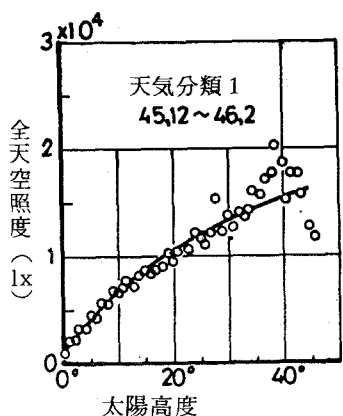


図-3.9 冬季全天空照度

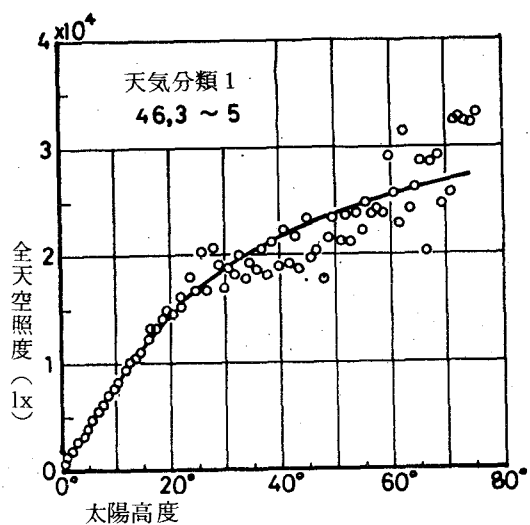


図-3.10 春季全天空照度

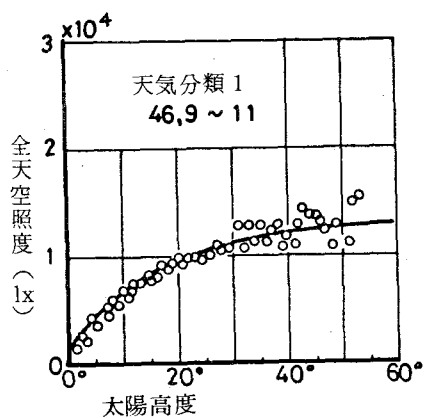


図-3.12 秋季全天空照度

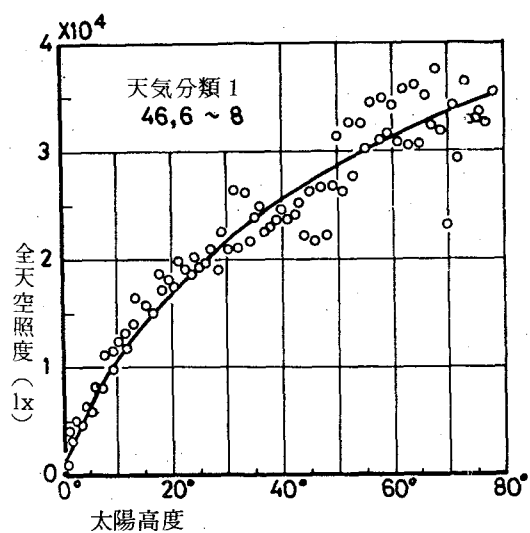


図-3.11 夏季全天空照度

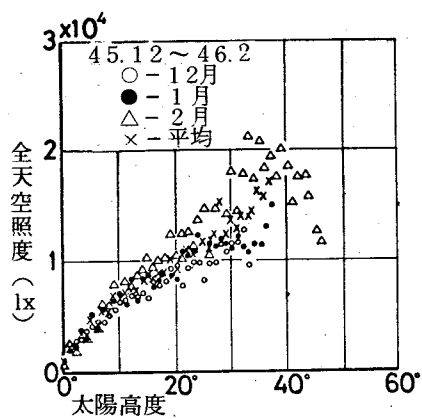


図-3.13 冬季月別全天空照度 (天気分類1)

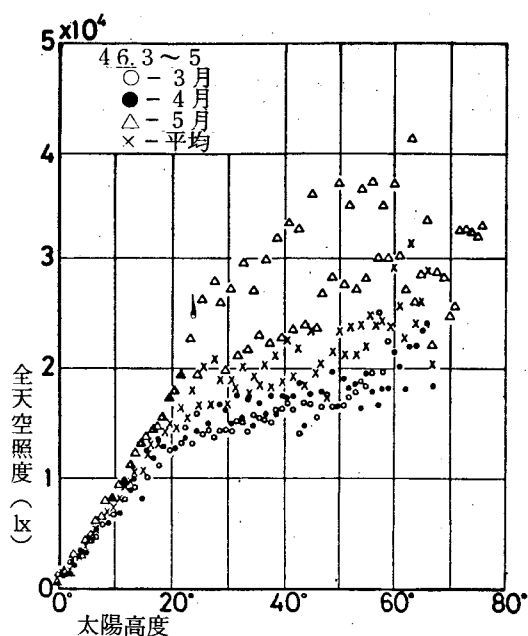


図-3.14 春季月別全天空照度 (天気分類1)

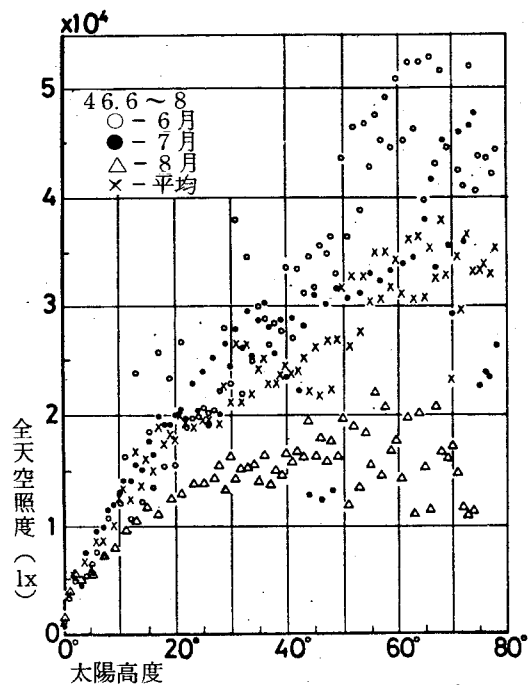


図-3.15 夏季月別全天空照度 (天気分類1)

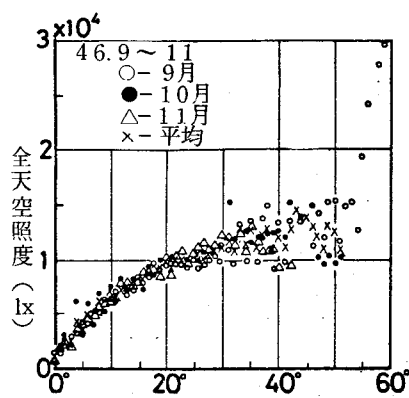


図-3.16 秋季月別全天空照度 (天気分類1)

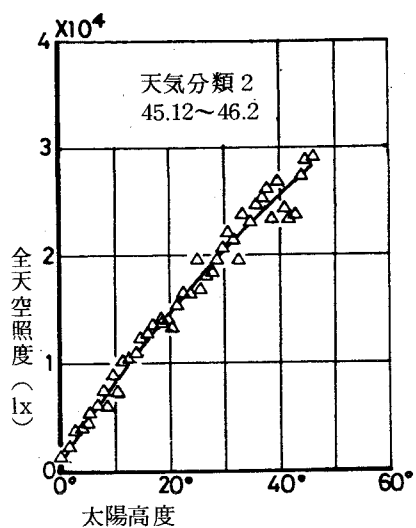


図 - 3.17 冬季全天空照度

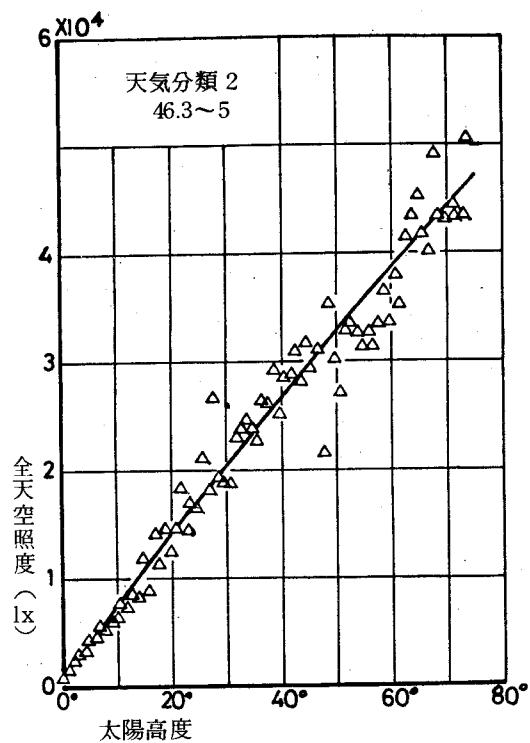


図 - 3.18 春季全天空照度

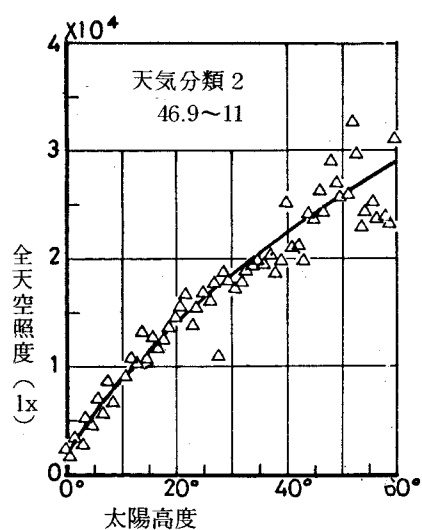


図 - 3.20 冬季全天空照度

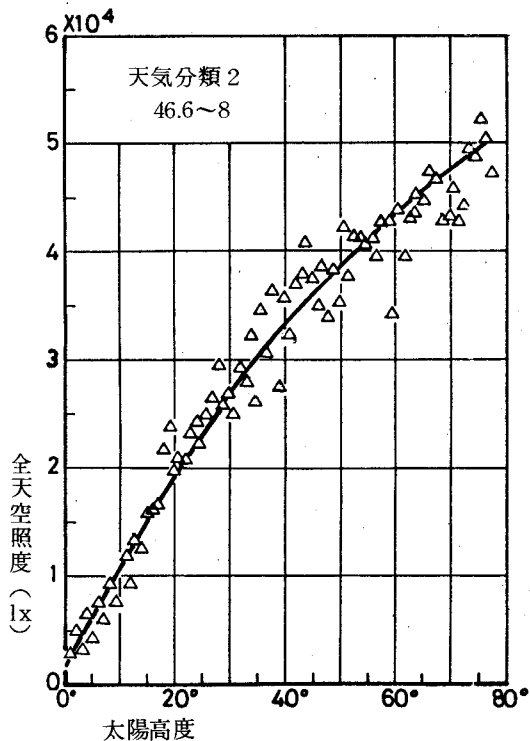


図 - 3.19 夏季全天空照度

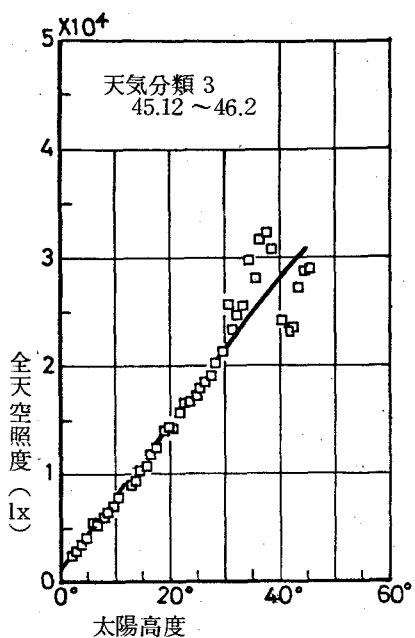


圖 - 3.2.1 冬季全天空照度

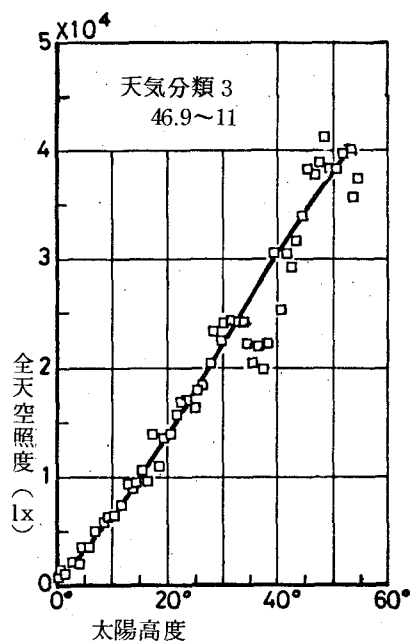


圖 - 3.2.4 秋季全天空照度

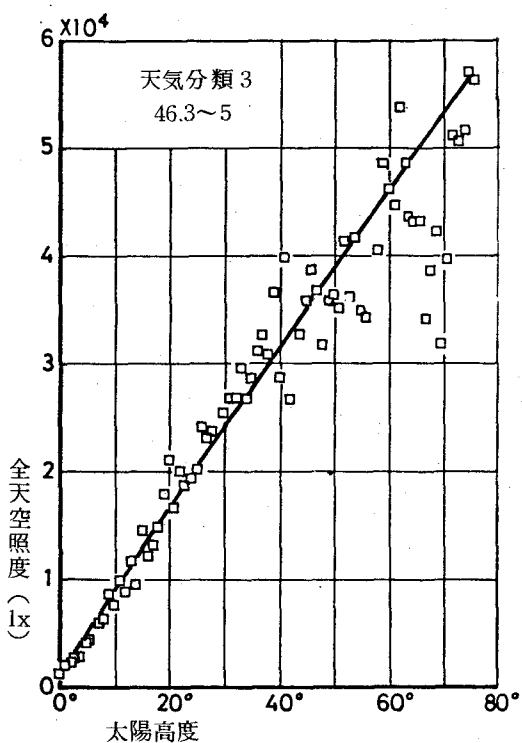


圖 - 3.2.2 春季全天空照度

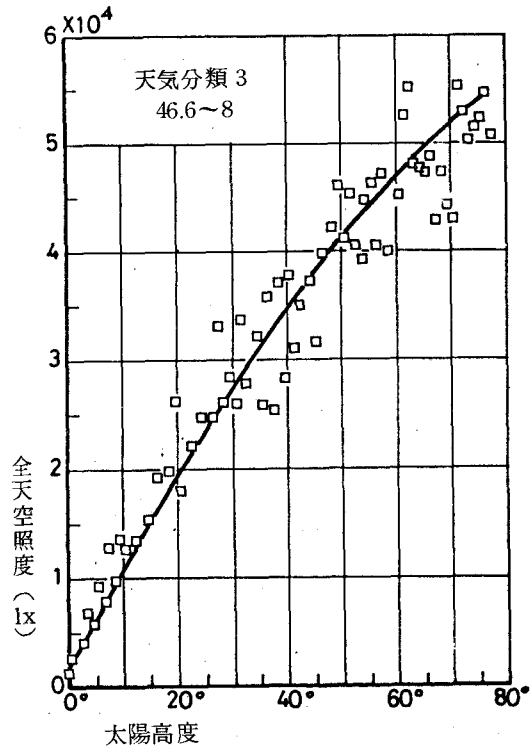


圖 - 3.2.3 夏季全天空照度

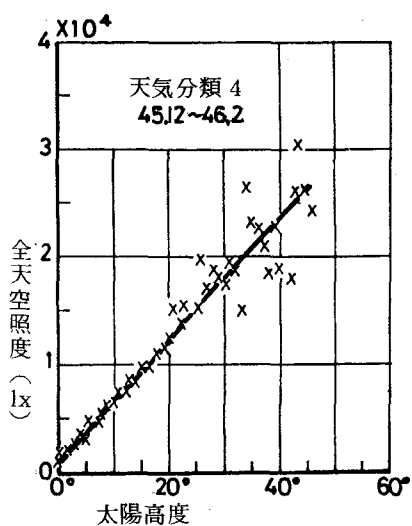


図 - 3.25 冬季全天空照度

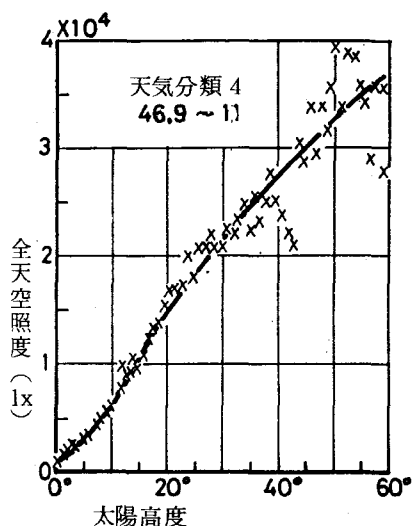


図 - 3.28 秋季全天空照度

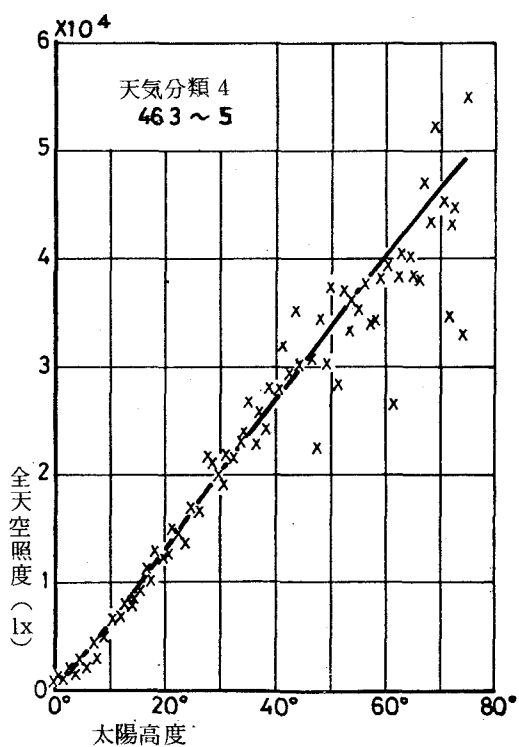


図 - 3.26 春季全天空照度

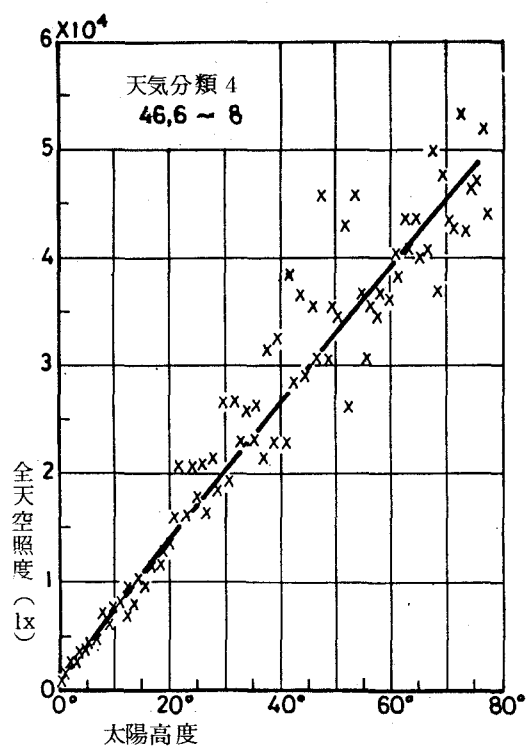


図 - 3.27 夏季全天空照度

を示しているが、照度は天気分類4の方がそれよりもやや低い照度を示している。天気分類5についての結果は、図-3.29～3.32に示す。

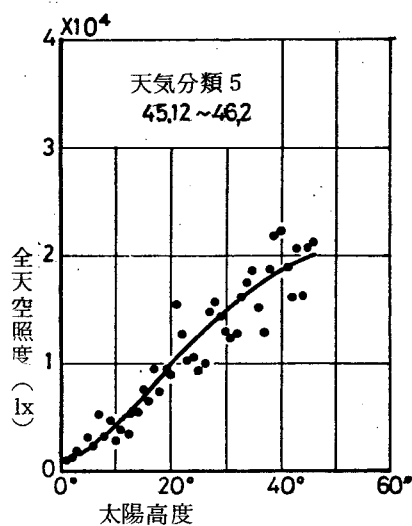


図-3.29 冬季全天空照度

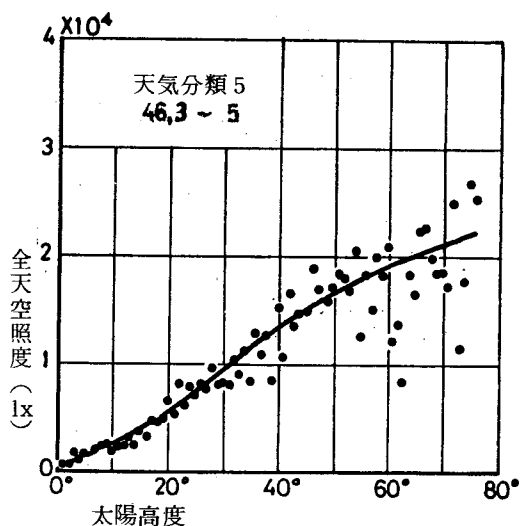


図-3.30 春季全天空照度

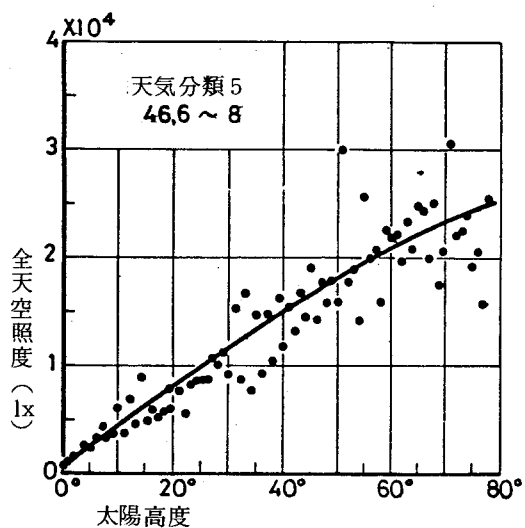


図-3.31 夏季全天空照度

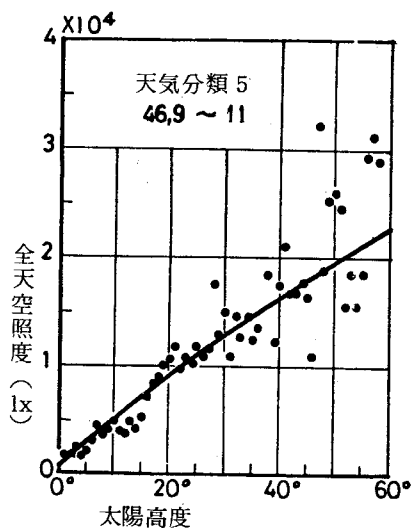


図-3.32 秋季全天空照度

春季の低高度における照度が他に比べて顕著に低いことの他は，季節による差異はあまり認められない。年間を通じて変動幅は小さく，全体として低照度に位置している。

以上より，いずれの図においても共通していえることは，高い太陽高度ほど全天空照度の変動幅が大きくなっていることである。これは，高い太陽高度ほど測定値の数の少いことが影響していると考えられる。

なお，天気分類 2 ～ 5 についても，天気分類 1 で示した月別の集計をプロットしてみたが，測定値が大幅に変動し，かつ月別の差異は天気分類 1 のように顕著に認められなかったので，結果の記載は割愛することにした。

参 考 文 献

- 1) 伊藤克三，栗三治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究（その 2 - 1 年間の測定結果について），日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭 47）93
- 2) 伊藤克三，栗三治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究（その 3 - 1 年間の測定について），日本建築学会大会学術講演梗概集（昭 47）85
- 3) 伊藤克三，大野治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究，日本建築学会論文報告集，第 215 号（昭 49）51
- 4) 伊藤克三，大野治代，丸本八津男：天空輝度の設計用標準値に関する研究（その 5，天空輝度の緯度，天候に対する検討），日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭 48）61
- 5) 大山 正，他著：心理測定，統計法，有斐閣双書（昭 46）79
- 6) 中山伊知郎編：統計学辞典，東洋経済新報社（昭 38）166
- 7) 東京天文台編纂：理科年表（透過率），丸善 K.K（昭 46）

第4章 昼光利用昼間における全天空照度の累積出現率^{1)~3)}

4.1 概 要

本論文では、天空の輝度分布を無視し、北天によって天空を代表させ、これによる測定値から全天空照度による水平面照度（以下全天空照度と略称）を求め、その測定結果につき前章では太陽高度、天気、季節、月などとの関連においてこれに検討を加えている。これらの結果、測定地点において、月日、時刻、天気状態に対応した全天空照度の概要を推定することが可能となり、その場合における室内の昼光による照明状態の実態を測光量として把握することが可能となった。これは、昼光照明における基礎資料として大きな意味をもつものではあるが、昼光照明設計、あるいは併用照明設計の設計資料としてはそのまま役立つものではない。

常に変動する条件に対しては、各種の変動要因はこれを無視して、設定全時間帯における出現率あるいは累積出現率に対応する数値を把握、それらとの関連において設計目標を設定するのが最も妥当な方法であると考えられる。

本章は、具体的な昼光照明あるいは併用照明設計を行うに当たって、その設計条件となるべき全天空照度を設計するに必要な資料を得ることを目的とし、年間の全昼光利用昼間について全天空照度の出現率および累積出現率を求めた結果に関するものである。

4.2 昼光利用昼間における各年の全天空照度の出現率と累積出現率

全昼間時間帯をどのように決めるかには問題があるけれども、ここでは太陽高度をもとにして 5° 以上あるいは 10° 以上といった昼光を利用できる昼光利用昼間を考えた。全天空照度を基本的に左右するものは太陽高度であるからであって、建築内での就業時間帯とは一致しないけれども、普遍的な意味での昼間を対象にした場合には最も妥当な考え方である。ここでは、太陽高度をいくら以上にすべきか決め難いため、これまで照明学的昼間⁴⁾と称されていた資料とも比べるよう、これに準じて太陽高度 10° 以上をとり、なお参考のために太陽高度 5° 以上についても集計を行った。

集計方法としては、測定記録より10分間隔、照度幅1,000 lxで太陽高度5°以上の全天空照度の全測定値を読みとり、これより各照度幅毎の出現率を求め、年間についてこれを累積することにより年間の全天空照度累積出現率を求めた。その分布状態を簡略に示すと表-4.1になる。

Eは全天空照度(j=1……84)を、fは各照度幅の出現頻度を、Nは全測定数を表わし、 $N = \sum_{j=1}^{84} f_j$ を示すことができる。各照度幅の出現率は $f_1/N, f_2/N, \dots, f_j/N$ と、累積出現率は $f_1/N + f_2/N + \dots + f_j/N = \sum_{j=1}^{84} f_j / N$ と表示できる。

図-4.1は、昭和45年12月～46年11月迄の1年間の太陽高度5°以上および10°以上の昼光利用昼間についての全天空照度累積出現率分布を示したものである。図-4.2は、昭和46年12月～47年11月迄の1年間の太陽高度5°以上および10°以上の全天空照度累積出現率分布を示している。これらの分布は、全天空照度の設計値(A)に対して、それ以下の照度にある時間帯の全昼光利用昼間に占める百分率(B%)を与えるものであり、略図を図-4.3に示す。

また、設定値(A)以上となる時間帯の全昼光利用昼間に占める百分率(100-B)%もこれより知ることできる。

図-4.1, 4.2の分布より、高い累積出現率95～80%と低い累積出現率20～5%において5%間隔に対応する全天空照度と中央値を読みとったものが表-4.2である。

表-4.1
全天空照度の度数および
相対度数分布表

	度数	相対度数
E ₁	f ₁	f ₁ /N
E ₂	f ₂	f ₂ /N
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮
E _j	f _j	f _j /N
Σ	N	1

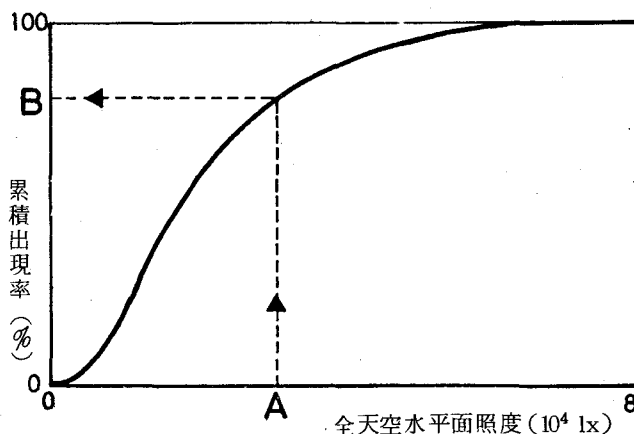


図-4.3 全天空照度(A)と累積出現率(B)の関係

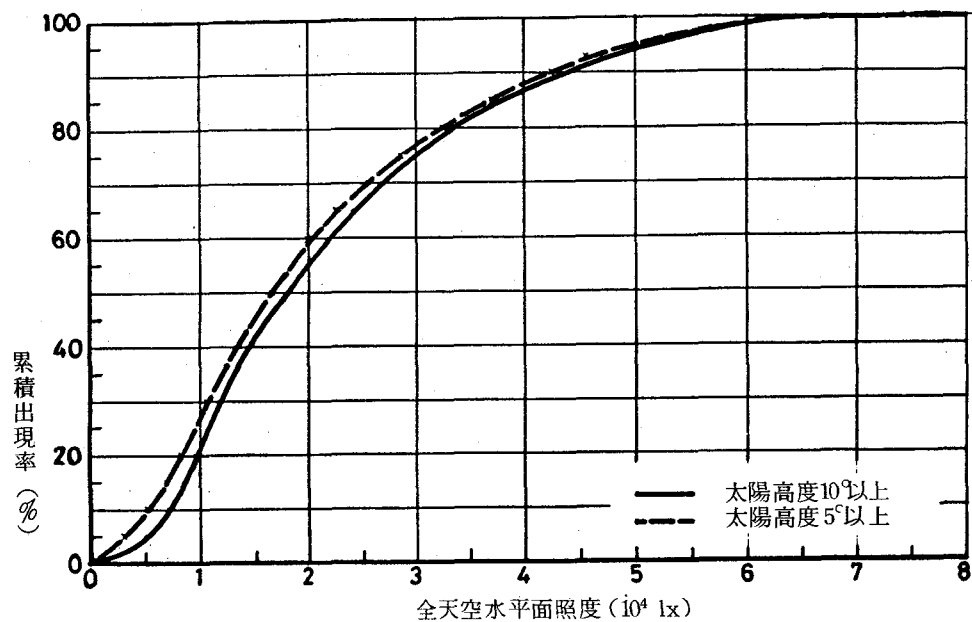


図 - 4.1 全天空照度の年間累積出現率
(昭和45年12月～46年11月)

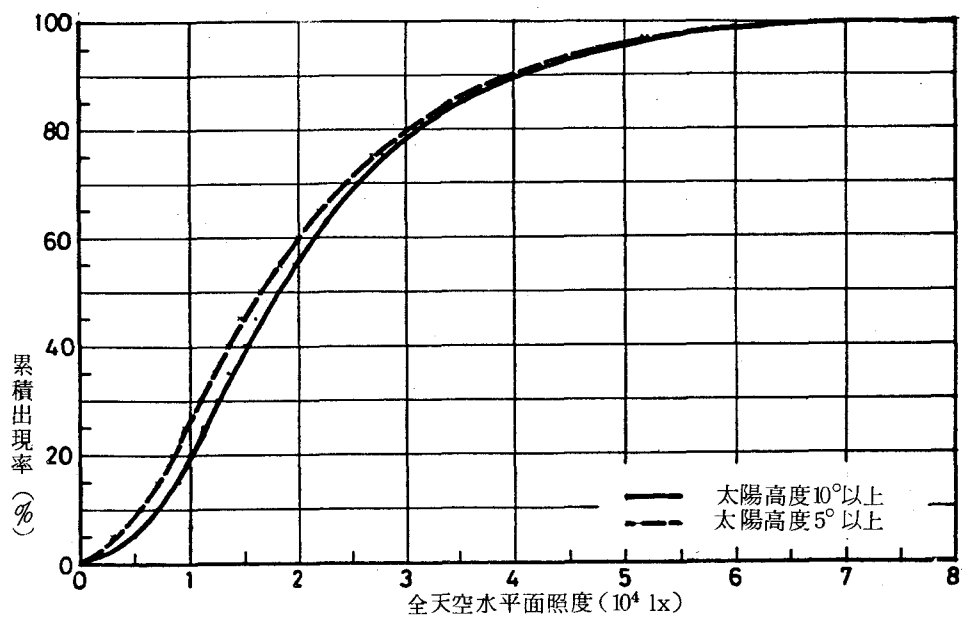


図 - 4.2 全天空照度の年間累積出現率
(昭和46年12月～47年11月)

表 - 4.2 年間の全天空照度の累積出現率曲線の対応

期間	%	(lx)								
		95	90	85	80	50	20	15	10	5
45,12 ~ 46,11(太陽高度 5°以上)		51,000	42,500	37,000	32,500	16,500	8,500	7,000	5,500	3,000
45,12 ~ 46,11(太陽高度 10°以上)		52,000	43,000	37,500	33,500	18,000	9,500	8,500	7,000	5,000
46,12 ~ 47,11(太陽高度 5°以上)		47,500	40,000	34,000	30,000	16,500	8,500	7,000	5,500	3,000
46,12 ~ 47,11(太陽高度 10°以上)		48,500	40,500	35,500	31,000	18,000	10,000	9,000	7,000	5,000

この表から昼光利用昼間を太陽高度 5°以上にするか、10°以上にするかによって対応する照度が異ってくることが知られる。これは、太陽高度 5° ~ 10° に占める全天空照度の出現頻度が高いためである。これらの図表より、昭和 46 年 12 月 ~ 47 年 11 月における全天空照度累積出現率 85 % 以上において、それに対応する全天空照度の値が前年より低くなっているのは、この測定期間における 9 月の測定日数が前年度より 10 日間少ないことも影響しているかもしれないが、総体的に前章の図 - 3.5, 3.6 に示されるように、高い太陽高度における全天空照度が前年に比べて低かったと推測される。これは図 - 3.7 でみられる秋季の値に両年の差が殆んど認められないことから類推される。この程度の差異は、年間の気象条件の差としてあらわれるものと考えらるべきかも知れない。

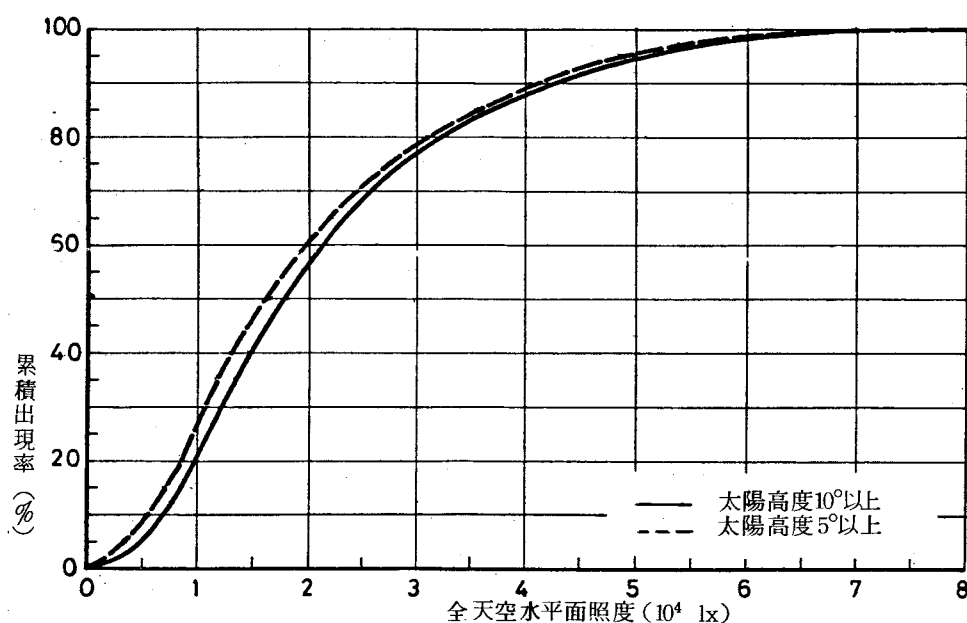
4.3 標準全天空照度累積出現率

昭和 45 年 12 月 ~ 46 年 11 月と昭和 46 年 12 月 ~ 47 年 11 月 までの各年における全天空照度の累積出現率に若干の差のあることは、前節に示す通りである。平年値に相当するものとしては、この 2 ケ年の測定値を総合したものがより信頼性が高いと考えられるので、2 ケ年の測定値を総合し、前節に準ずる集計方法により累積出現率分布を求め、その結果を図 - 4.4 に示す。この累積出現率分布上のどの数値を設計用標準値に採るか、年間の昼光利用昼間の何 % に安全であるように選定するかに問題があるが、これを決めればその分布より、それに相当する全天空照度の設計目標値は直に決めることができる。この図より、太陽高度 10° 以上について高低両端の各 5 % を除いた全昼間の 90 % は全天空照度 5,000 ~ 50,000 lx の間にあることが読みとれる。

これを設計目標値として利用する場合には、2 つの場合を考えねばならない。

昼光による照度の如き光量の確保を目的とする場合と、グレア，照度分布，輝度分布の如き昼光による室内照明の質的な検討を目的とする場合とである。前者の場合は全天空照度の低いことが，後者の場合には全天空照度の高いことが危険側になるからである。

前者の場合に，例えば全昼間の80%の時間帯に対して安全に設計しようとするれば累積出現率20%の値を用いることになり，後者の場合には，同様80%の安全設計に対して累積出現率80%の値をとることになる。これまで昼光



図－4.4 全天空照度の年間累積出現率
(昭和45年12月～47年11月)

照明において広く検討対象値とされてきた5,000 lxは，全天空照度については95%の安全を保証する値であることがこれより理解される。

今日のように昼光，人工併用照明が一般化した段階では，上記の5,000 lxは殆んどその意味を失い，昼光の確保の場合にも後章で述べるように消灯率との関連において全天空照度は考えるべきものであり，この場合ここで示した累積出現率分布がその設計の拠り所となるものである。

他方，質的な面からの設計を行う場合，これまで殆んど資料が皆無に近い有様であった昼光照明に対して，本累積出現率分布は明確な資料を与えるもので

あるということができる。どの程度の安全率を見込んだ設計をすべきかについては一般の合意がなければ、にわかには決め難い。

なお、田淵⁵⁾氏の提案値は、ほぼ安全率 80% に相当するものであるということができる。

本測定結果は、大阪近郊での測定であるので、大気状態に若干の違いが予想される。したがって、大阪市内に厳密にはあてはまらないかもしれないが、天気状態には両者の違いが殆んどないこと、市内での測定値のないこと、および本測定値の利用目的から考え、本測定値を大阪近辺全域に対する全天空照度として差支えないと考える。

参 考 文 献

- 1) 伊藤克三，栗三治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究（その 3 - 1 年間の測定について），日本建築学会大会学術講演梗概集（昭 47）85
- 2) 伊藤克三，栗三治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究（その 4 - 2 年間の測定について），日本建築学会大会学術講演梗概集（昭 48）127
- 3) 伊藤克三，大野治代：天空輝度の設計用標準値に関する研究，日本建築学会論文報告集 第 215 号（昭 49）51
- 4) 小木曾定彰：昼光光源に関する研究（V）－所謂“日中”若しくは“照明学的昼間”の査定，照明学会雑誌 Vol. 31（昭 22，合併号）
- 5) 田淵義彦：天空輝度の連続測定記録，照明学会雑誌 Vol. 55, No. 6（昭 46）

5章 全天空照度出現率の地域別・ 緯度別推定¹⁾²⁾

5.1 概 要

大阪市郊外，千里における2年間の測定値をもとに，前章においては大阪についての年間の全天空照度の累積出現率曲線を作成し，昼光照明設計のための基礎資料を得た。しかし，北緯 26° から 45° に及ぶ広範囲にわたる我が国全域にこの数値をそのまま適用することには問題があり，その検討が必要である。

全国各地における同様な測定が実施可能であれば，その結果にもとづいた標準値の設定が最も望ましいことはいうまでもないが，その実態は難しい。しかし，今後の照明設計，特に昼間時の昼光，人工の併用照明を対象とした照明設計を行う時に，全天空照度をいくらに選定するかは，設計の基礎となるべき大きな問題である。

全天空照度の出現率はその土地の緯度，ならびに天候によって影響されると考えられるので，大阪における測定資料を基に，これに緯度，天候の差異による補正を加えることによって，各地の出現率を予測し，これによって全国各地に対する設計用標準値を推定しようとするのが本章の目的である。

推定に当っては，2つの方法をとることにした。第1は，緯度別の太陽高度の出現率，天気別に得られた太陽高度と全天空照度との関係ならびに気象資料より全天空照度の出現率を推定しようとするものである。第2は，全天空照度に及ぼす天候の影響は，国内における地域差の程度では無視しても結果に大きな影響を与えないことが予想されたので，これを無視して緯度の違いについてのみ補正してこれを推定しようとする。

5.2 緯度別太陽高度の累積出現率

全天空照度は，太陽高度と天空の状態により決まるものであるので，まず緯度別に年間における太陽高度の出現率を知る必要がある。

日本全域（北緯 $26^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ）を対象に，北緯 27° ， 31° ， 35° ， 39° および 43° の 4° おきに5地点についてまず検討することにした。

1年間を夏至，冬至，春，秋分を通る16に分割し，各分割の中央に相当する16日の各日について時刻10分毎の太陽高度を求める。これよりある太陽

高度域の出現率を知り，各日の累積出現率が得られる。この出現率にそれぞれの日の代表する22日又は23日間の重みづけをし，年間の太陽高度累積出現率を求めることにした。

図-5.1は北緯27°地点についての各日の時刻と太陽高度との関係であり，

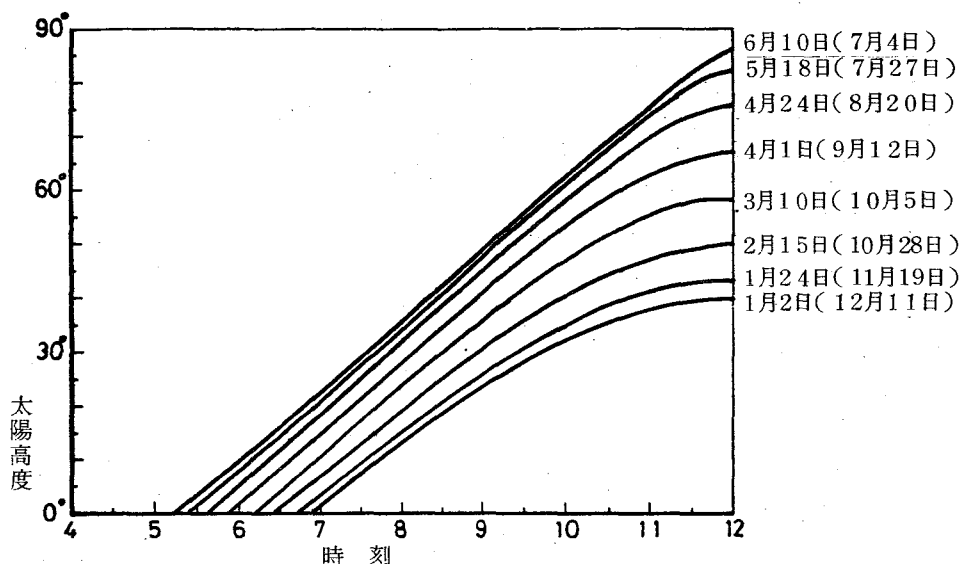


図-5.1 太陽高度と時刻の関係(27°N)

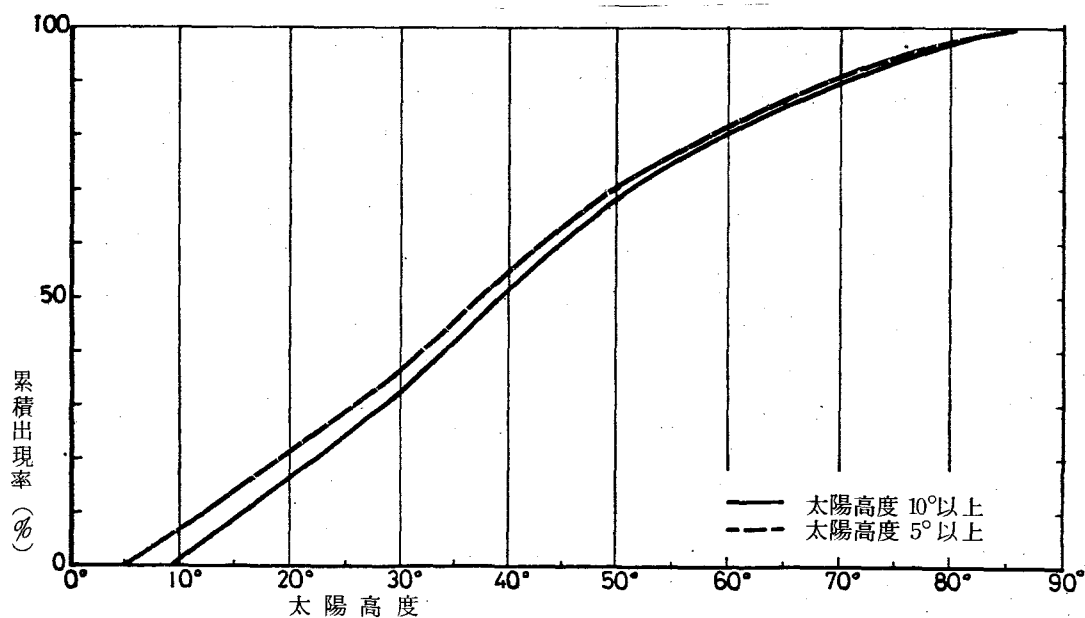


図-5.2 太陽高度の年間累積出現率(27°N)

これより得た年間の太陽高度の累積出現率を図-5.2に示す。

同様にして、北緯 31° 、 35° 、 39° 、 43° 地点について得られた結果を図-5.3～図-5.10に示す。

ただし、昼間と考えると累積する太陽高度の範囲は、太陽高度 5° 以上と 10° 以

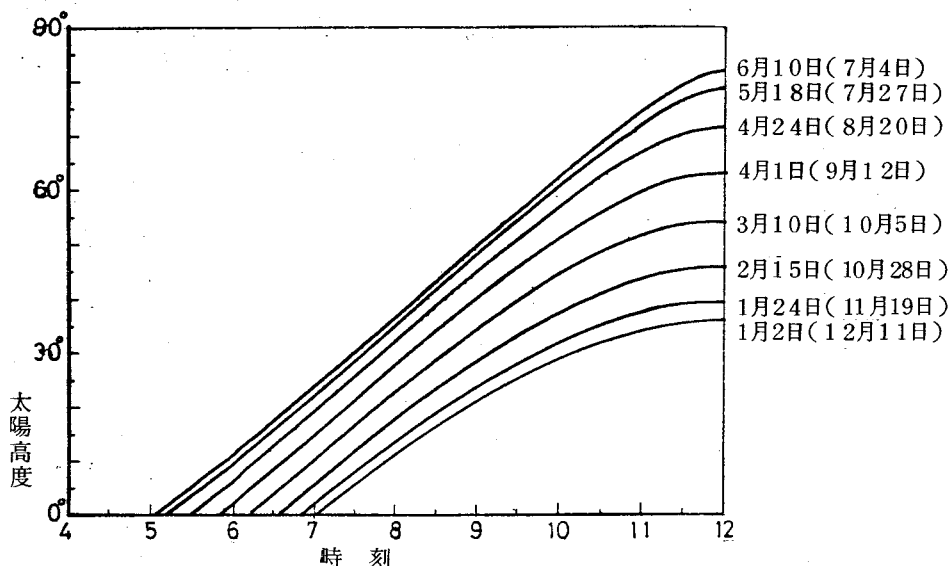


図-5.3 太陽高度と時刻の関係 (31°N)

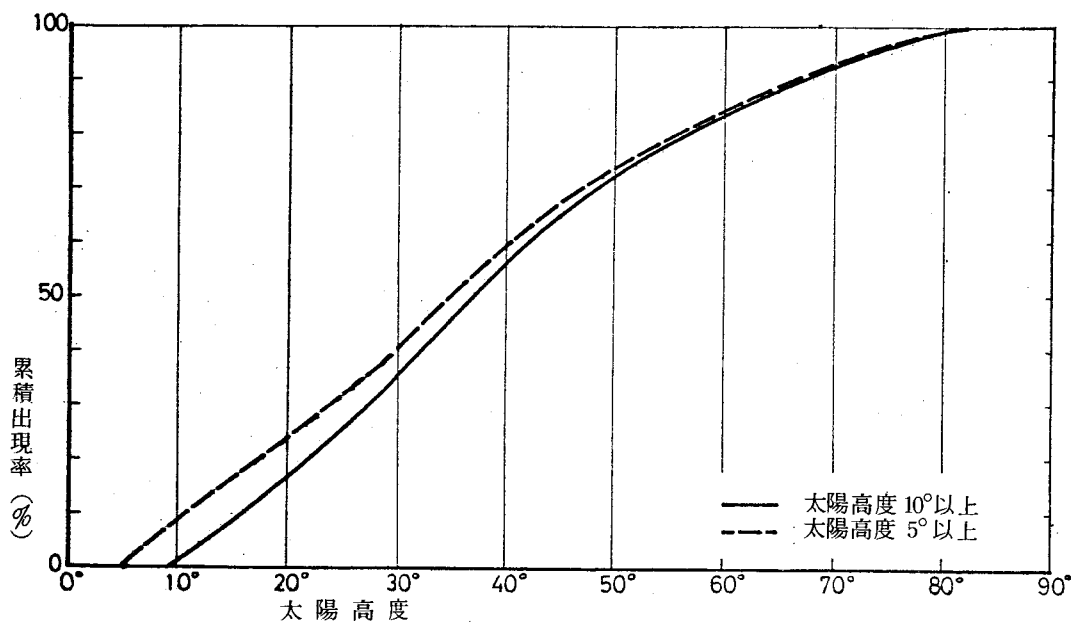


図-5.4 太陽高度の年間累積出現率 (31°N)

上の2つの場合についてのものであり、時刻は各地点での真太陽時で示してある。

緯度の異なる5地点について、このようにして得られた結果より、昼間と考える（太陽高度 5° 以上および 10° 以上）時間帯における、太陽高度別の各緯度

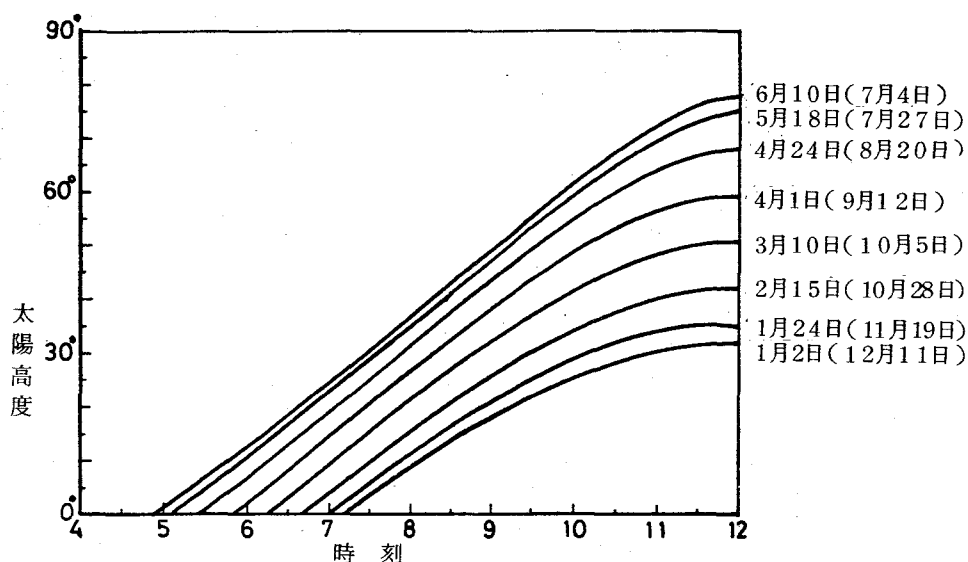


図 - 5.5 太陽高度と時刻の関係 (35°N)

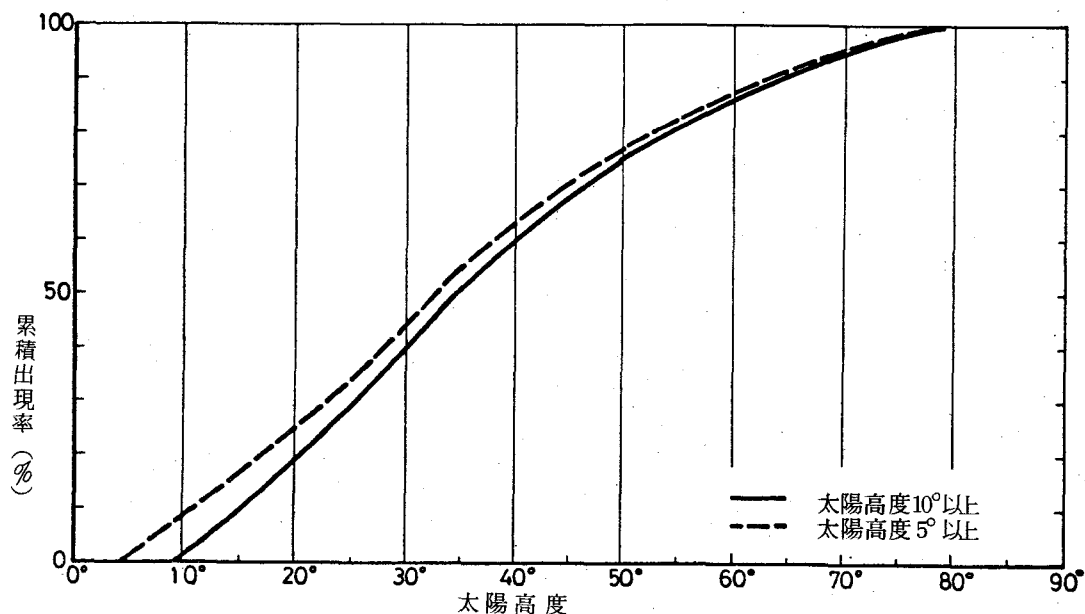


図 - 5.6 太陽高度の年間累積出現率 (35°N)

地点における太陽高度の累積出現率の等しい高度を連ねたものが図-5.11, および図-5.12である。これらの図より, 各点はほぼ直線上にのることがわかる。これらの図より, 任意の緯度における太陽高度の累積出現率を読みとることができる。これは任意の緯度の土地における全天空照度の推定に際しての基礎資料となるものである。

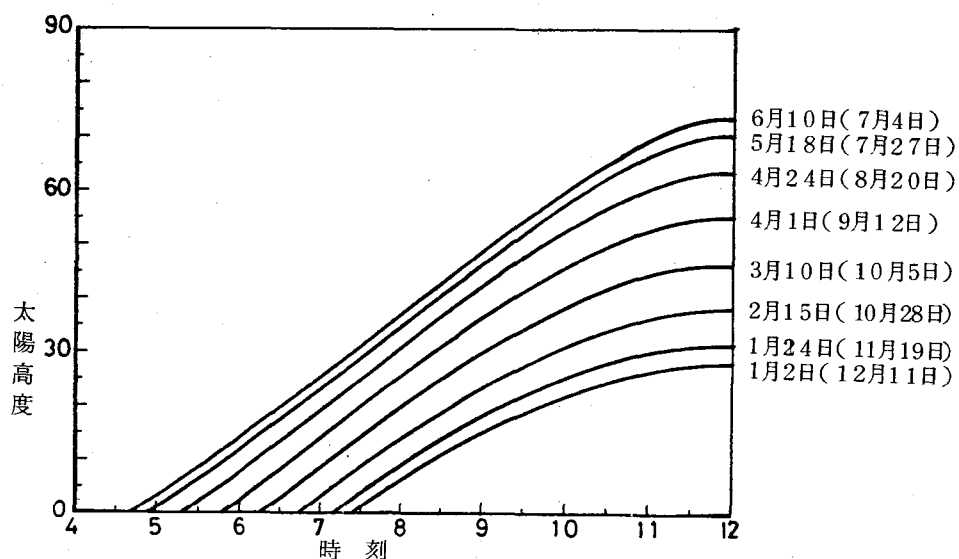


図-5.7 太陽高度と時刻の関係 (39°N)

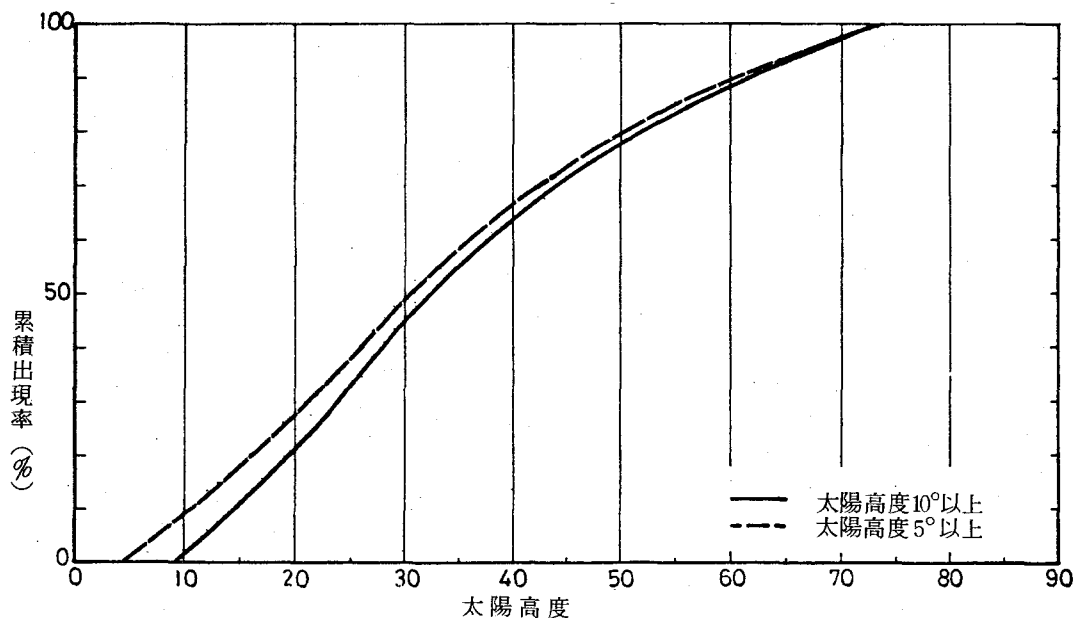


図-5.8 太陽高度の年間累積出現率 (39°N)

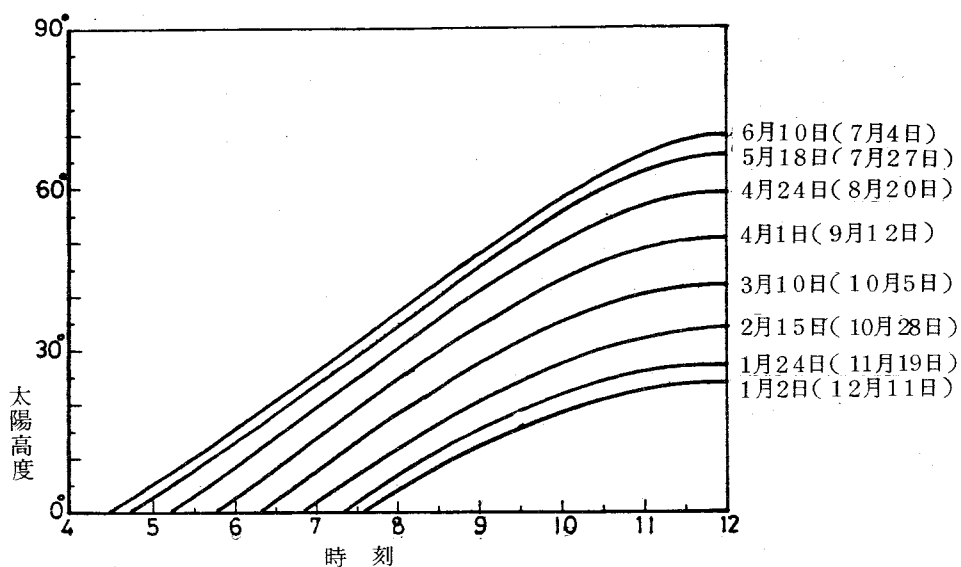


図 - 5.9 太陽高度と時刻の関係 (43°N)

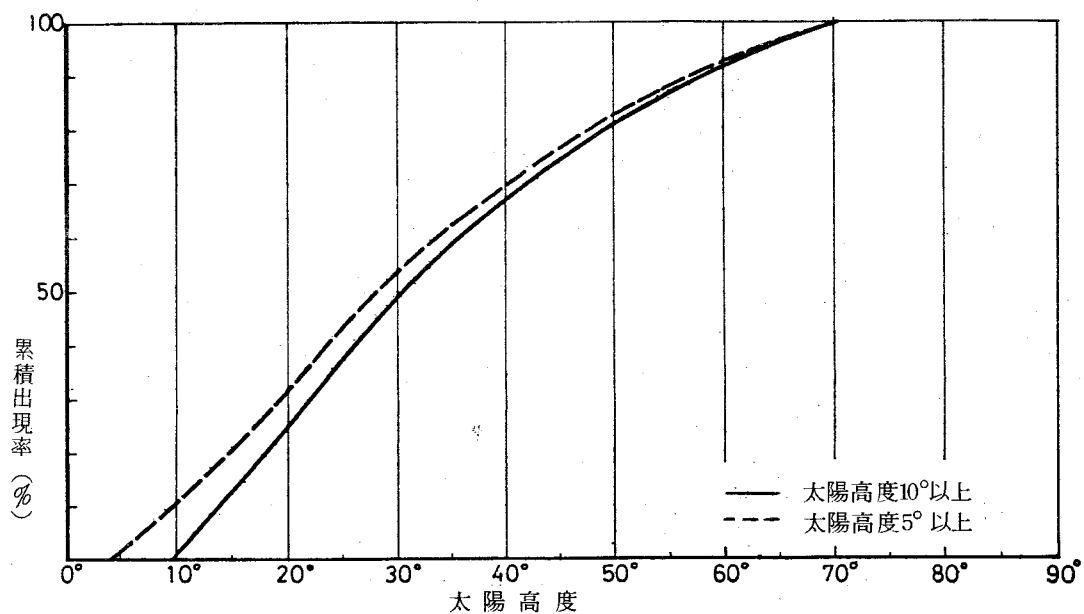


図 - 5.10 太陽高度の年間累積出現率 (43°N)

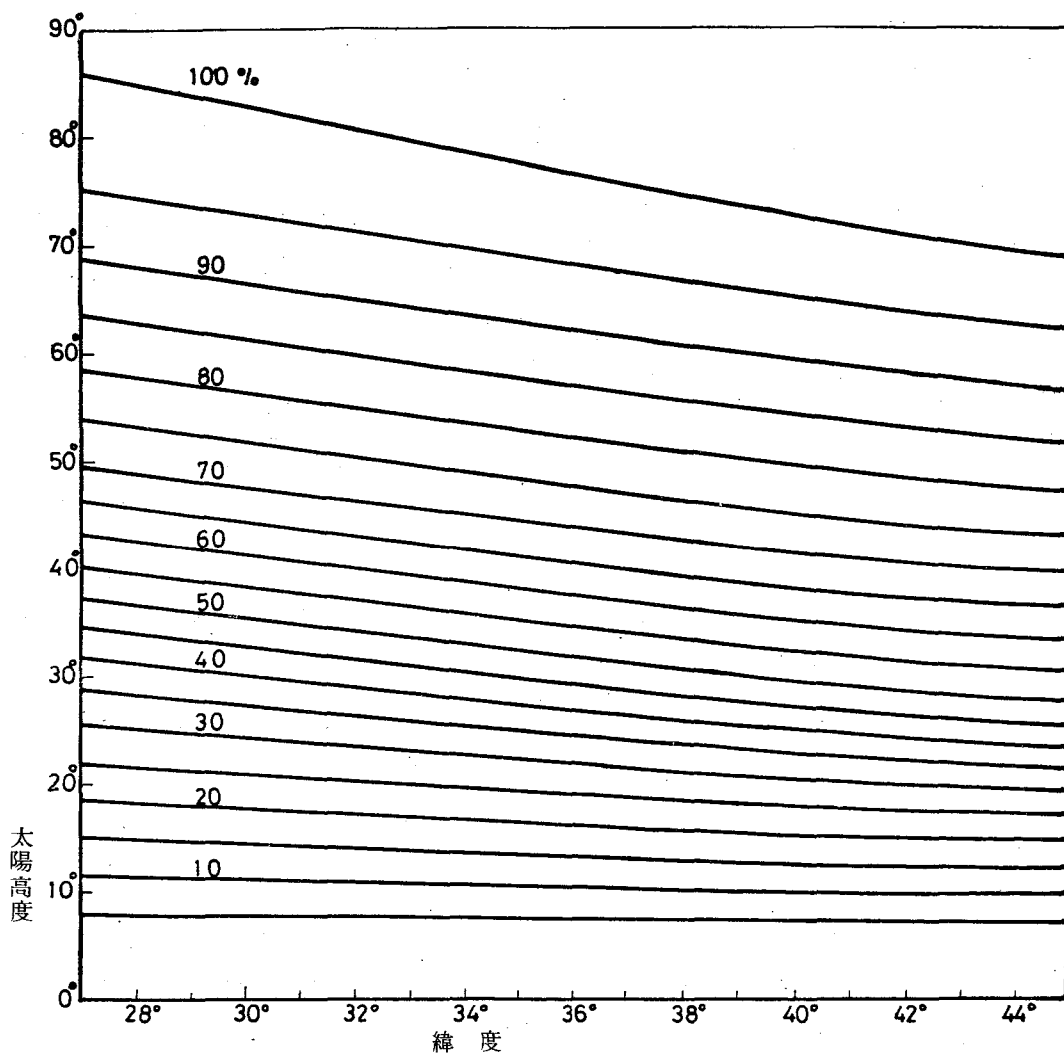


図-5.11 各緯度における太陽高度の年間累積出現率
(27°~45°N, 太陽高度5°以上)

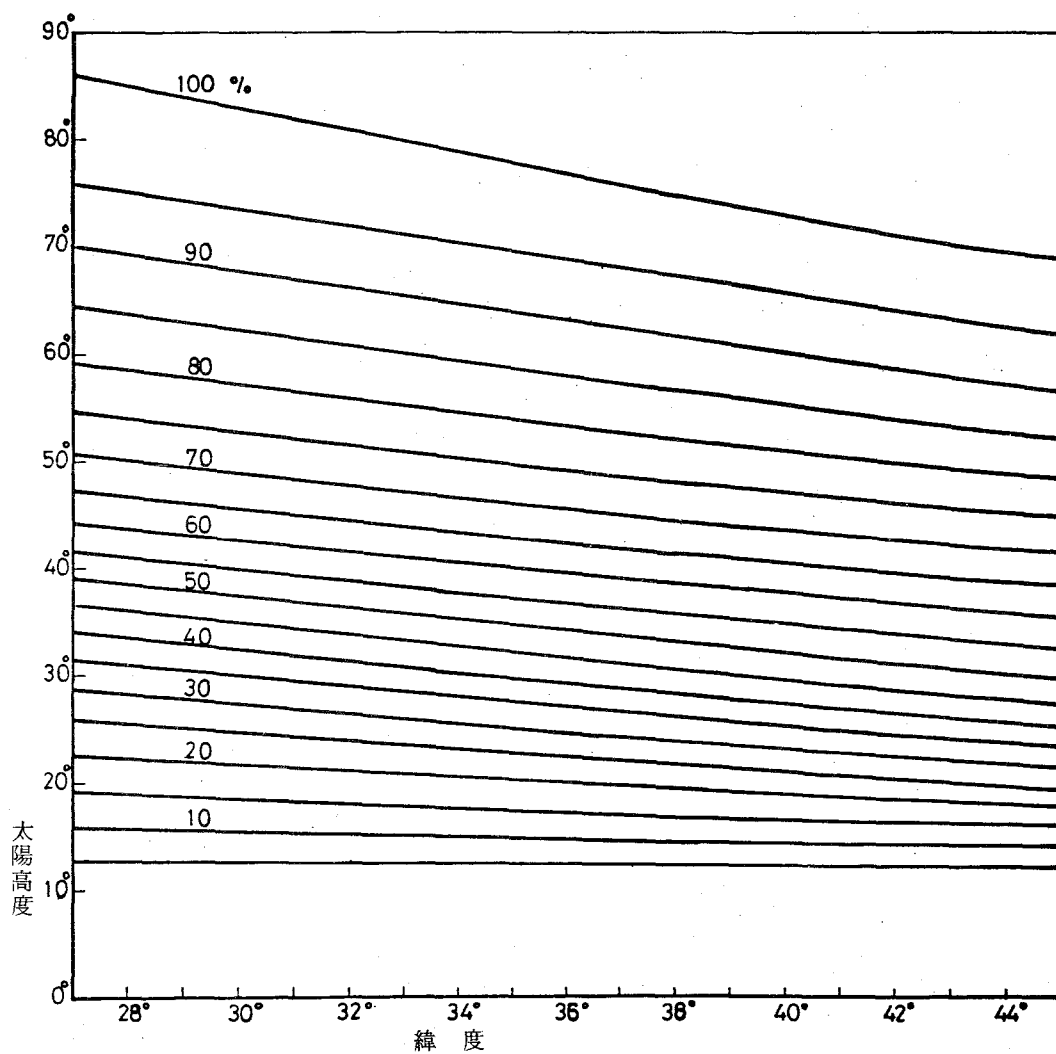


図-5.1 2 各緯度における太陽高度の年間累積出現率
(27°~45°N, 太陽高度10°以上)

5.3 気象資料と天気分類

各地の天気状態の差異による補正を加えるための資料としては、気象台における観測資料³⁾を用いるほかはない。

第2章においては、天気状態を日照計の記録によって類型化した各天気分類毎に、全天空照度に関する詳細な測定資料を測定地点について得ている。これを用いて天気状態の各地における差異を補正し、これと前節の太陽高度の累積出現率とを用いて測定地点での値から、各地についての推定値を得ようとするものである。

しかし、ここでの天気分類は気象台における分類とは異なるものである。従って、本結果をもとに各地の全天空照度を推定するには、これら両者の関係に検討を加え、それをもとに気象台の天気分類を本研究に用いた分類に置き換えることが必要である。

それに先立ち、測定地点である大阪郊外の北千里と大阪気象台との天気の相異について比較検討した結果、

若干の時間的なずれのあることは認められたが、両者の間には天気の差を考慮しなければならない程度のものではないことが確認されたので、千里の気象条件として大阪気象台の資料を用いることにした。

次いで、気象台における9時、12時、15時における天気分類と、同日同時刻の北千里での本研究に用いた天気分類との比較対照を行った。一次測定期間の1年間について両者の対照を示したものが表-5.1である。気象台での快晴は分類1に、晴れは分類2に、曇は分類4に、雨は分類5に近いことが知られる。それぞれの

表-5.1

本研究の天気分類(A)と大阪管区気象台の天気分類(B)の年間における対応

大阪管区気象台 の天気分類(B)	時刻	本研究の天気分類(A) (%)				
		1	2	3	4	5
快 晴 雲量<2.5	9:00	79	10	8	3	0
	12:00	67	18	11	4	0
	15:00	68	15	11	6	0
	合計	72	14	10	4	0
晴 れ 雲量 2.5~7.5	9:00	31	44	16	10	1
	12:00	30	54	9	5	1
	15:00	27	34	26	13	0
	合計	30	44	16	9	1
曇	9:00	10	24	20	40	7
	12:00	6	29	18	41	6
	15:00	9	26	20	38	8
	合計	8	26	19	40	7
雨	9:00	0	2	2	17	79
	12:00	0	0	0	26	74
	15:00	2	5	2	21	70
	合計	1	2	2	21	74

周辺にもかなり分散しているが、これは当然予想されるところである。

表－5.2 は、両者とも分類の明確な天気分類5（雨）に対応する大阪管区気象台の天気分類を示すものである。両者の合致しないものが20～30%見られるが、詳細に

検討した結果、その大部分は時間的ずれであって、両地点の天気は同一とみなして差支えないことが確認された。

表－5.2 本研究天気分類5と大阪管区気象台の天気分類との対応

本研究の 天気分類(A)	時刻	大阪管区気象台の天気分類(B)				
		快晴	晴れ	曇	雨	その他
天気分類5 雨	9:00	0 %	2 %	20%	78 %	0 %
	12:00	0	2	25	70	2
	15:00	0	0	31	65	4
	合計	0	2	25	71	2

なお、天気分類3、4は照度測定結果にほとんど差が認められず、この両者は合わせて1分類とする方が適当と考えられるので、表－5.3はそうした時の両分類の年間の対応を示すものである。

表－5.3

本研究の天気分類(A)と大阪管区気象台の天気分類(B)との年間の対応

大阪管区気象台 の天気分類(B)	本研究の天気分類(A)			
	1	2	3+4	5
快晴	72%	14%	14%	0%
晴れ	30	44	25	1
曇	8	26	59	7
雨	1	2	23	74

この表より、両分類間の関係として次式を得、これによって各地に対応する気象台の天気分類³⁾を本研究での天気分類に換算した。

$$\begin{pmatrix} 0.72 & 0.30 & 0.08 & 0 \\ 0.14 & 0.44 & 0.26 & 0 \\ 0.14 & 0.26 & 0.66 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1' \\ a_2' \\ a_3' \\ a_4' \end{pmatrix} \dots\dots\dots (5.1)$$

ただし、

$a_1, a_2 \dots\dots a_4$ は気象台の天気分類割合

$a_1', a_2' \dots\dots a_4'$ は本研究での天気分類割合

その結果を、表－5.4に示す。全天空照度分布に大きく影響する天気分類2

表 - 5.4 各地の天気分類の割合

番号	都市名	位 置		本研究の天気分類 (A)			
		北緯 (N)	東経 (E)	1	2	3+4	5
1	名 瀬	28°23'	129°30'	14%	23%	43%	20%
2	鹿 児 島	31°34'	130°33'	24	23	35	18
3	宮 崎	31°55'	131°25'	29	22	34	15
4	熊 本	32°49'	130°43'	24	24	39	13
5	長 崎	32°44'	129°52'	23	23	39	15
6	佐 賀	33°15'	130°18'	24	23	38	15
7	福 岡	33°35'	130°23'	23	23	38	16
8	大 分	33°14'	131°37'	26	23	37	14
9	高 知	33°34'	133°33'	27	22	37	14
10	高 松	34°19'	134°03'	26	24	38	12
11	徳 島	34°04'	134°35'	26	24	37	13
12	松 山	33°50'	132°47'	26	23	38	13
13	下 関	33°57'	130°56'	24	23	38	15
14	岡 山	34°41'	133°55'	25	25	39	11
15	広 島	34°22'	132°26'	24	24	38	14
16	浜 田	34°54'	132°04'	21	22	41	16
17	鳥 取	35°31'	134°11'	20	22	39	19
18	神 戸	34°41'	135°11'	25	24	39	12
19	大 阪	34°41'	135°31'	25	23	38	14
20	和 歌 山	34°14'	135°10'	24	24	40	12
21	京 都	35°01'	135°44'	19	25	41	15
22	彦 根	35°16'	136°15'	24	24	34	18
23	名 古 屋	35°10'	136°58'	26	24	37	13
24	浜 松	34°42'	137°43'	30	22	35	13
25	静 岡	34°58'	138°24'	28	22	36	14
26	松 本	36°15'	137°58'	25	21	36	18
27	長 野	36°40'	138°12'	23	22	36	19
28	甲 府	35°40'	138°33'	31	23	36	10
29	金 沢	36°33'	136°39'	18	21	38	23
30	福 井	36°03'	136°14'	19	19	38	24
31	富 山	36°42'	137°12'	18	18	35	29
32	新 潟	37°55'	139°03'	18	21	37	24
33	横 浜	35°26'	139°39'	29	22	36	13
34	東 京	35°41'	139°46'	28	22	37	13
35	水 戸	36°23'	140°28'	27	23	37	13
36	前 橋	36°24'	139°04'	27	24	36	13
37	宇 都 宮	36°33'	139°52'	28	21	37	14
38	福 島	37°45'	140°28'	19	22	37	22
39	仙 台	38°16'	140°54'	20	24	36	20
40	盛 岡	39°42'	141°10'	19	22	35	24
41	山 形	38°15'	140°21'	18	22	37	23
42	秋 田	39°43'	140°06'	16	21	38	25
43	青 森	40°49'	140°47'	17	21	36	26
44	函 館	41°49'	140°45'	20	23	36	21
45	札 幌	43°03'	141°20'	19	22	34	25
46	旭 川	43°46'	142°22'	16	20	34	30
47	帯 広	42°55'	143°13'	27	24	36	13
48	釧 路	42°59'	144°24'	26	22	34	18
49	網 走	44°01'	144°17'	22	22	36	20
50	稚 内	45°24'	141°41'	18	22	33	27

と 3 + 4 の割合は各地域においてあまり大きな差異は認められない。天気分類 1, 5 は地域的な差異が比較的認められるが、これを第 3 章の図 - 3.8 に示した年間の平均的な数値から読みとれば、両分類についての全天空照度は太陽高度 25° 以上において分類 1 の方が分類 5 に対して約 2 割程度高い値を示しているにすぎない。それ以下の高度でも精々 2 倍程度であるので、名瀬のような特殊な地点を除けば、本邦内においては気象条件の相異による全天空照度への影響はあまり大きくないことが推測される。

5.4 推定 1 - 緯度と天候による補正

太陽高度の緯度別の累積出現率 (図 - 5.11, 5.12), 各地の換算後の天気分類 (A) の出現率 (表 - 5.4) および各天気分類別の太陽高度と全天空照度との関係 (第 3 章の図 - 3.8) を使用し、大阪での測定結果から各地の全天空照度を推定することにする。これらの資料より十分に合理的な方法で推定することは難しく、次のような方法によって行った。

当該地点の緯度 ϕ に対する太陽高度の累積出現率 p に相当する太陽高度 h_p を図 - 5.11, 5.12 より求め、 h_p に対する全天空照度 E_{ip} をそれぞれ 4 つの天気分類 (図 - 3.8) から求める。これに、天気の出現率による重みをつけて加算し、それに補正係数 $k(p)$ を乗ずることにより推定する方法をとった。

すなわち、

$$\hat{E}_p = k(p) \sum_{i=1}^4 a_i' E_{ip} \dots\dots\dots (5.2)$$

$\hat{E}_p$; 累積出現率が p であるときの全天空照度

$k(p)$; 大阪の測定資料から決められる係数

$$k(p) = \frac{E_{po}}{\sum_{i=1}^4 a_i' E_{ip}}$$

E_{po} ; 大阪での累積出現率 p であるときの全天空照度 (実測値)

a_i' ; 表 - 5.4 に示される各地の換算後の天気分類割合

E_{ip} ; 図 - 3.8 の各天気分類毎の太陽高度 h_p に対する全天空照度

h_p ; 図 - 5.11, 5.12 より得られる当該地点の緯度における p に対応する太陽高度

例えば、年間の太陽高度 10° 以上の累積出現率 95% における $k(p)$ を求めることにする。大阪における太陽高度 h_p は p_{95} において 70° と図 - 5.6 より

読みとることができる。 $h_{95}=70^{\circ}$ における大阪の天気別の全天空照度は図-3.8より、天気分類1（晴れ）は27,500lx、天気分類2（曇晴）は44,500lx、天気分類3, 4は（薄晴, 曇）は44,000lx、天気分類5（雨）は22,000lx、と読みとることができる。 $E_{1\ 95}=27,500$, $E_{2\ 95}=44,500$, $E_{3\ 95}=44,000$, $E_{4\ 95}=22,000$ と表わせる。表-5.4より大阪の天気分類は $a_1'=0.25$, $a_2'=0.23$, $a_3'=0.38$, $a_4'=0.14$ と示すことができる。また大阪での全天空照度累積出現率95%の値は図-4.4より52,000lxと読みとることができる。 $E_{95\ 0}=52,000$ と表わす。

$$\text{よって, } k_{(p)} = \frac{E_{p0}}{\sum_{i=1}^4 a_i' E_{ip}} = \frac{52,000}{36,900} = 1.41$$

上記のように各累積出現率における $k_{(p)}$ を求め、累積出現率と $k_{(p)}$ の関係を太陽高度 10° 以上と 5° 以上の両者について表わしたものが図-5.13である。なお、表-5.5は大阪における天気分類の割合を示したものである。

次に、全天空照度を各地について推定する。東京を例に、以下にやり方を示す。東京における全天空照

度の累積出現率95, 90, 50, 10, 5%における全天空照度（太陽高度 10° 以上）の推定は、太陽高度とそれに対応する太陽高度 10° 以上の各累積出現率を知ることからはじめる。それは $h_{95}=69^{\circ}$, $h_{90}=63.5^{\circ}$, $h_{50}=34.5^{\circ}$, $h_{10}=15^{\circ}$, $h_5=12.5^{\circ}$ と表わせ、各累積出現率に対応する $k_{(p)}$ はそれぞれ $k_{(95)}=1.41$, $k_{(90)}=1.24$, $k_{(50)}=0.87$, $k_{(10)}=0.70$, $k_{(5)}=0.59$ 、東京の天気分類別割合はそれぞれ表-5.4より $a_1'=0.28$,

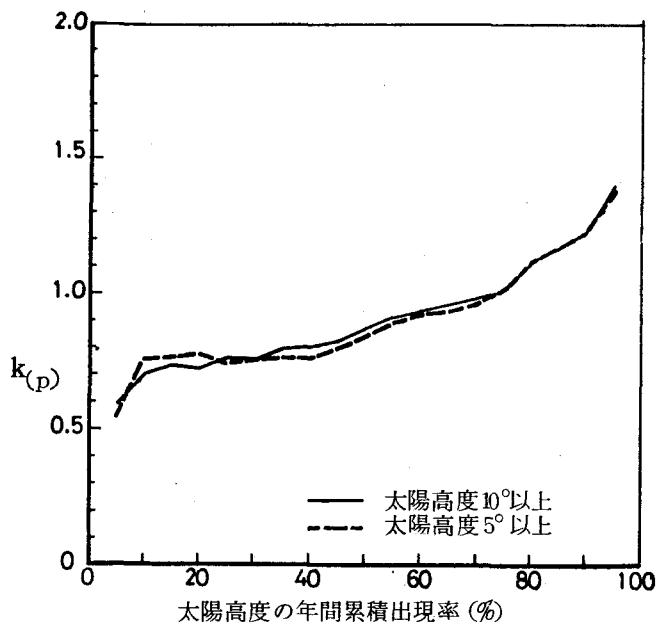


図-5.13

太陽高度の年間累積出現率と $k_{(p)}$ の関係

$a_2' = 0.22, a_3' = 0.37, a_4' = 0.13$ 。太陽高度の累積出現率 95 % の天気分類に対応する全天空照度は、図 - 3.8 より、 $E_{1\ 95} = 27,000, E_{2\ 95} = 44,000, E_{3\ 95} = 43,500,$

表 - 5.5 大阪の天気分類の割合

太陽高度 5°以上, 10°以上	天 気 分 類			
	a_1'	a_2'	a_3'	a_4'
	0.25	0.23	0.38	0.14

$E_{4\ 95} = 22,000$ である。ここで累積出現率 95 % の推定全天空照度は (5.2) 式より、

$$\begin{aligned}\widehat{E}_p &= k_{(p)} \sum_{i=1}^4 a_i' E_{ip} \\ \widehat{E}_{95} &= 1.41 (27,000 \times 0.28 + 44,000 \times 0.22 + 43,500 \times 0.37 + 22,000 \times 0.13) \\ &\div 51,000 (lx)\end{aligned}$$

と求まる。

同様にして $\widehat{E}_{90}, \widehat{E}_{50}, \widehat{E}_{10}, \widehat{E}_5$ を求めると下記の通りになる。

$$\begin{aligned}\widehat{E}_{90} &= 1.24 (25,000 \times 0.28 + 40,700 \times 0.22 + 41,000 \times 0.37 + 21,000 \times 0.13) \\ &\div 42,000 (lx)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\widehat{E}_{50} &= 0.87 (16,700 \times 0.28 + 23,500 \times 0.22 + 23,500 \times 0.37 + 13,500 \times 0.13) \\ &\div 17,700 (lx)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\widehat{E}_{10} &= 0.70 (10,400 \times 0.28 + 12,000 \times 0.22 + 10,300 \times 0.37 + 5,500 \times 0.13) \\ &\div 7,100 (lx)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\widehat{E}_5 &= 0.59 (9,000 \times 0.28 + 10,500 \times 0.22 + 8,500 \times 0.37 + 4,500 \times 0.13) \\ &\div 5,100 (lx)\end{aligned}$$

同じく東京の太陽高度 5° 以上の累積出現率とそれに対応する太陽高度は $h_{95} = 6.9^\circ, h_{90} = 6.3^\circ, h_{50} = 3.25^\circ, h_{10} = 1.05^\circ, h_5 = 7.5^\circ$ 、これに対応する $k_{(p)}$ は、 $k_{(95)} = 1.38, k_{(90)} = 1.24, k_{(50)} = 0.84, k_{(10)} = 0.75, k_{(5)} = 0.54$ と表わせる。天気分類別割合は、上述のように $a_1' = 0.28, a_2' = 0.22, a_3' = 0.37, a_4' = 0.13$ である。また太陽高度 6.9° における天気分類別全天空照度は図 - 3.8 より、 $E_{1\ 95} = 27,000, E_{2\ 95} = 44,000, E_{3\ 95} = 43,500, E_{4\ 95} = 22,000$ とよみとり、累積出現率 95 % の推定全天空照度は (5.2) 式より、

$$\begin{aligned}\widehat{E}_{95} &= 1.38 (27,000 \times 0.28 + 44,000 \times 0.22 + 43,500 \times 0.37 + 22,000 \times 0.13) \\ &\div 50,000 (lx)\end{aligned}$$

として求まる。

同様にして、

$$\begin{aligned}\hat{E}_{90} &= 1.24(24,800 \times 0.28 + 42,000 \times 0.22 + 40,500 \times 0.37 + 20,600 \times 0.13) \\ &\div 42,000(1x)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{E}_{50} &= 0.84(16,200 \times 0.28 + 22,500 \times 0.22 + 22,200 \times 0.37 + 12,800 \times 0.13) \\ &\div 16,300(1x)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{E}_{10} &= 0.75(8,000 \times 0.28 + 9,000 \times 0.22 + 7,300 \times 0.37 + 3,700 \times 0.13) \\ &\div 5,600(1x)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{E}_5 &= 0.54(6,000 \times 0.28 + 7,200 \times 0.22 + 5,200 \times 0.37 + 3,000 \times 0.13) \\ &\div 3,000(1x)\end{aligned}$$

として 90, 50, 10, 5% の推定全天空照度が求まる。主要 7 都市の累積出現率に対応した推定全天空照度の求め方を表わすと表 - 5.6 になる。

上述の計算法で推定した全国 50 都市における全天空照度の 90% 上限値 (累積出現率 95% 値), 80% 上限値 (累積出現率 90% 値), 中央値 (累積出現率 50% 値), 80% 下限値 (累積出現率 10% 値), 90% 下限値 (累積出現率 5% 値) を示したものが表 - 5.7 である。太陽高度 10° 以上を昼光利用昼間とした場合の 90% 下限値, 80% 下限値, 中央値, 80% 上限値, 90% 上限値の全天空照度の推定値を地図上にプロットしたものが図 - 5.14 ~ 図 - 5.18 である。同様に太陽高度 5° 以上についても図 - 5.19 ~ 図 - 5.23 に示している。太陽高度 10° 以上の図より, 全天空照度の推定値において, 裏日本と表日本の都市による照度のちがいは, 天気のうちがいには大して認められない。北陸地方でやや低い照度が示されている他は, どちらかといえば, 緯度が等しければその周辺の都市における推定値はほぼ等しい結果が得られている。

表 - 5.6 主要都市の各累積出現率に対応する推定全天空照度

(lx)

都市名	太陽高度	累積出現率(%)	k(p)	h _p (°)	a ₁ '	E _{1p} × 10 ²	a ₂ '	E _{2p} × 10 ²	a ₃ '	E _{3p} × 10 ²	a ₄ '	E _{4p} × 10 ²	E _p × 10 ²
札幌	5°以上	95	1.38	63.0	0.19	24.8	0.22	42.0	0.34	40.5	0.25	20.6	45.4
	"	90	1.24	57.5		23.0		37.0		37.7		19.7	37.5
	"	50	0.84	28.5		15.2		20.0		19.5		11.5	14.1
	"	10	0.75	9.5		7.2		8.7		6.8		3.5	4.9
	"	5	0.54	7.0		5.8		7.0		5.0		2.8	2.7
	10°以上	95	1.41	63.0		24.8		42.0		40.5		20.6	46.3
	"	90	1.24	57.5		23.0		37.0		37.7		19.7	37.5
	"	50	0.87	30.5		15.7		21.0		20.7		12.2	15.4
	"	10	0.70	14.0		10.0		11.5		9.5		5.0	6.2
	"	5	0.59	12.0		8.8		10.5		8.2		4.2	4.6
仙台	5°以上	95	1.38	67.0	0.20	26.4	0.24	43.0	0.36	42.5	0.20	21.5	48.6
	"	90	1.24	61.0		24.0		39.2		39.5		20.4	40.3
	"	50	0.84	31.0		15.8		21.5		21.0		12.2	15.9
	"	10	0.75	10.0		7.5		9.0		7.2		3.5	5.2
	"	5	0.54	7.5		6.0		7.2		5.2		3.0	2.9
	10°以上	95	1.41	67.0		26.4		43.0		42.5		21.5	49.6
	"	90	1.24	61.5		24.2		39.5		39.8		20.5	40.6
	"	50	0.87	33.0		16.2		22.8		22.5		13.0	16.9
	"	10	0.70	14.5		10.0		12.0		10.0		5.5	6.7
	"	5	0.59	12.5		9.0		10.5		8.5		4.5	4.9
東京	5°以上	95	1.38	69.0	0.28	27.0	0.22	44.0	0.37	43.5	0.13	22.0	50.0
	"	90	1.24	63.0		24.8		42.0		40.5		20.6	42.0
	"	50	0.84	32.5		16.2		22.5		22.2		12.8	16.3
	"	10	0.75	10.5		8.0		9.0		7.3		3.7	5.6
	"	5	0.54	7.5		6.0		7.2		5.2		3.0	3.0
	10°以上	95	1.41	69.0		27.0		44.0		43.5		22.0	51.0
	"	90	1.24	63.5		25.0		40.7		41.0		21.0	42.0
	"	50	0.87	34.5		16.7		23.5		23.5		13.5	17.7
	"	10	0.70	15.0		10.4		12.0		10.3		5.5	7.1
	"	5	0.59	12.5		9.0		10.5		8.5		4.5	5.1
金沢	5°以上	95	1.38	68.0	0.18	26.7	0.21	43.5	0.38	43.0	0.23	21.5	48.6
	"	90	1.24	62.0		24.5		39.5		40.0		20.5	40.4
	"	50	0.84	32.0		16.0		22.0		22.0		12.7	15.8
	"	10	0.75	10.5		8.0		9.0		7.3		3.7	5.2
	"	5	0.54	7.5		6.0		7.3		5.5		3.0	2.9
	10°以上	95	1.41	68.0		26.7		43.5		43.0		21.5	49.7
	"	90	1.24	62.5		24.5		40.0		40.5		20.5	40.8
	"	50	0.87	34.0		16.5		23.5		23.5		13.5	17.3
	"	10	0.70	14.5		10.0		12.0		10.0		5.5	6.6
	"	5	0.59	12.5		9.0		10.5		8.5		4.5	4.8

広島	5°以上	95	1.38	69.5	0.24	275	0.24	442	0.38	440	0.14	220	512
	〃	90	1.24	63.5		250		407		410		210	425
	〃	50	0.84	33.0		162		228		225		130	166
	〃	10	0.75	10.5		80		90		73		37	55
	〃	5	0.54	7.5		60		72		52		30	30
	10°以上	95	1.41	70.0		275		445		440		220	523
	〃	90	1.24	64.5		254		415		415		210	433
	〃	50	0.87	35.0		167		240		240		135	181
	〃	10	0.70	15.0		104		120		103		55	70
	〃	5	0.59	12.5		90		105		85		45	50
福岡	5°以上	95	1.38	70.0	0.23	275	0.23	445	0.38	440	0.16	220	508
	〃	90	1.24	64.0		252		410		412		210	425
	〃	50	0.84	33.5		165		230		230		132	167
	〃	10	0.75	10.5		80		90		73		37	55
	〃	5	0.54	7.5		60		72		52		30	30
	10°以上	95	1.41	70.5		278		450		445		220	528
	〃	90	1.24	65.0		255		416		415		212	432
	〃	50	0.87	35.5		170		240		242		137	183
	〃	10	0.70	15.0		104		120		103		55	70
	〃	5	0.59	12.5		90		105		85		45	50
鹿児島	5°以上	95	1.38	71.5	0.24	280	0.23	455	0.35	447	0.18	220	508
	〃	90	1.24	65.5		257		420		420		212	426
	〃	50	0.84	34.5		167		235		235		135	169
	〃	10	0.75	11.0		82		95		75		40	56
	〃	5	0.54	7.5		60		72		52		30	30
	10°以上	95	1.41	72.5		285		460		452		222	525
	〃	90	1.24	66.5		260		425		425		215	431
	〃	50	0.87	36.5		170		247		250		140	183
	〃	10	0.70	15.0		104		120		103		55	69
	〃	5	0.59	12.5		90		105		85		45	50

表 - 5.7 各地の推定全天空照度

(*1:推定全天空照度の累積出現率 95%値, 2: 90%値, 3: 50%値, 4: 10%値, 5: 5%値)

番号	都市名	全天空照度					X10 ² (lx)				
		太陽高度 5°以上					太陽高度 10°以上				
		1 *	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	名 瀬	537	446	176	59	32	556	457	196	70	51
2	鹿 児 島	508	426	169	56	30	525	431	183	69	50
3	宮 崎	505	420	168	57	30	520	429	182	70	50
4	熊 本	521	434	171	58	30	535	439	186	71	51
5	長 崎	517	431	172	57	30	531	436	184	70	50
6	佐 賀	514	429	168	55	30	526	430	181	70	50
7	福 岡	508	425	167	55	30	528	432	183	70	50
8	大 分	512	427	167	55	30	525	428	181	70	50
9	高 知	505	422	167	55	30	521	426	180	70	50
10	高 松	512	426	166	56	30	524	432	181	71	51
11	徳 島	510	424	165	56	30	527	430	180	71	51
12	松 山	510	426	168	56	30	527	431	182	71	51
13	下 関	509	429	165	55	30	525	429	180	70	50
14	岡 山	518	431	168	56	31	530	437	183	72	51
15	広 島	512	425	166	55	30	523	433	181	70	50
16	浜 田	507	426	164	54	29	523	429	178	69	50
17	鳥 取	500	420	162	53	29	511	421	176	68	49
18	神 戸	515	429	167	55	30	527	434	182	71	51
19	大 阪	510	425	165	55	30	520	430	180	70	50
20	和 歌 山	517	430	167	56	30	529	436	183	71	51
21	京 都	514	433	166	55	30	530	435	180	70	50
22	彦 根	494	416	161	54	30	505	415	175	69	49
23	名 古 屋	504	424	164	56	30	520	426	178	71	51
24	浜 松	500	416	163	56	30	512	422	178	71	51
25	静 岡	497	417	162	55	30	512	420	176	70	50
26	松 本	491	407	158	54	29	507	416	174	69	49
27	長 野	487	404	158	54	30	497	408	174	67	49
28	甲 府	502	421	164	57	31	513	421	177	72	51
29	金 沢	486	404	158	52	29	497	408	173	66	48
30	福 井	487	404	156	52	28	502	413	172	66	47
31	富 山	468	390	153	50	28	478	393	168	63	46
32	新 潟	478	398	152	51	28	489	400	167	65	47
33	横 浜	497	418	162	56	30	508	418	176	71	51
34	東 京	500	420	163	56	30	510	420	177	71	51
35	水 戸	496	411	167	56	31	506	415	177	69	51
36	前 橋	496	411	167	56	31	507	415	177	69	51
37	宇 都 宮	490	407	165	55	31	501	411	175	69	50
38	福 島	482	400	158	51	29	493	403	168	66	48
39	仙 台	486	403	159	52	29	496	406	169	67	49
40	盛 岡	468	391	154	51	29	489	393	162	66	48
41	山 形	481	400	158	51	29	492	403	167	66	48
42	秋 田	472	394	154	50	29	492	397	163	65	47
43	青 森	461	385	145	50	27	473	385	159	62	46
44	函 館	465	387	151	50	28	475	388	159	64	47
45	札 幌	454	375	141	49	27	463	375	154	62	46
46	旭 川	439	367	135	47	26	449	367	150	60	45
47	帯 広	470	387	146	52	29	480	387	159	67	50
48	釧 路	458	378	143	50	28	468	378	156	65	48
49	網 走	454	379	141	50	28	463	379	155	64	47
50	稚 内	427	355	131	47	26	436	358	146	60	44

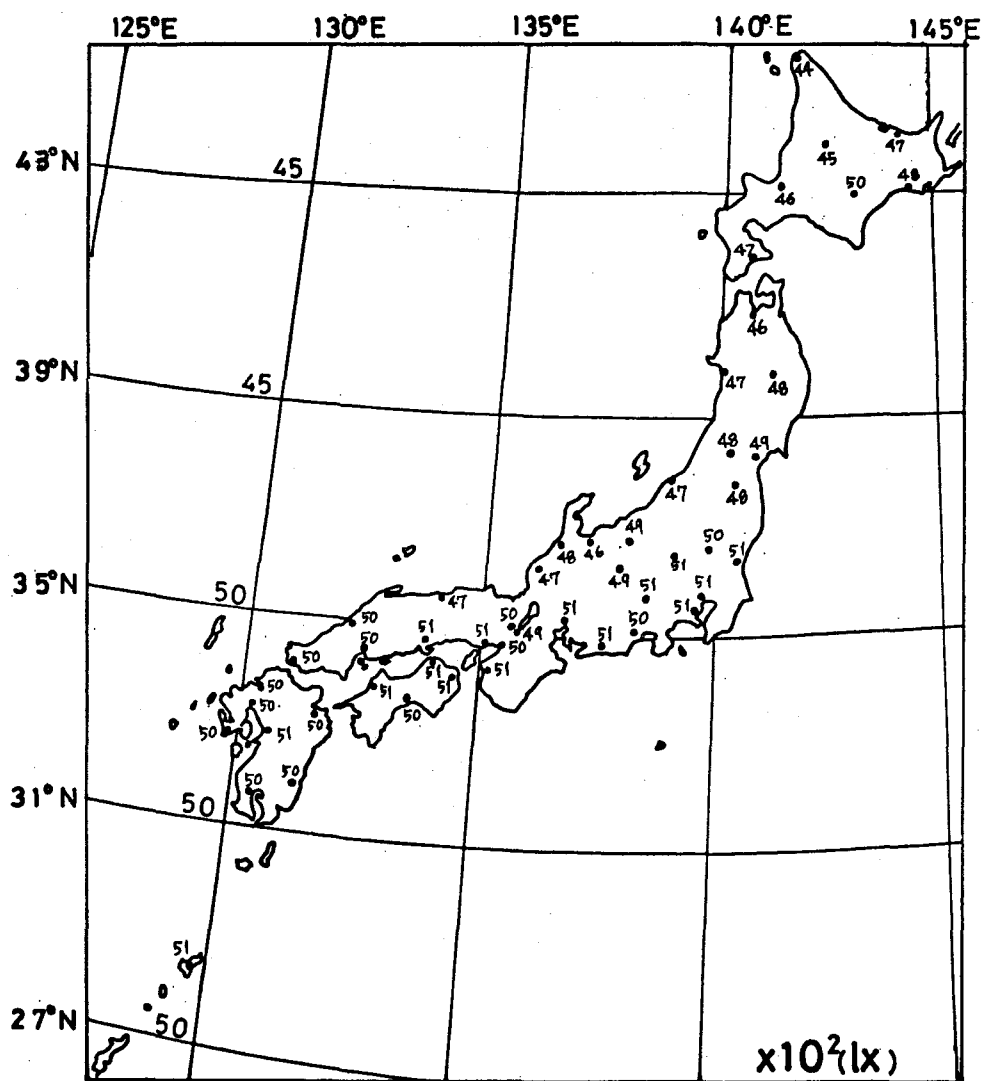
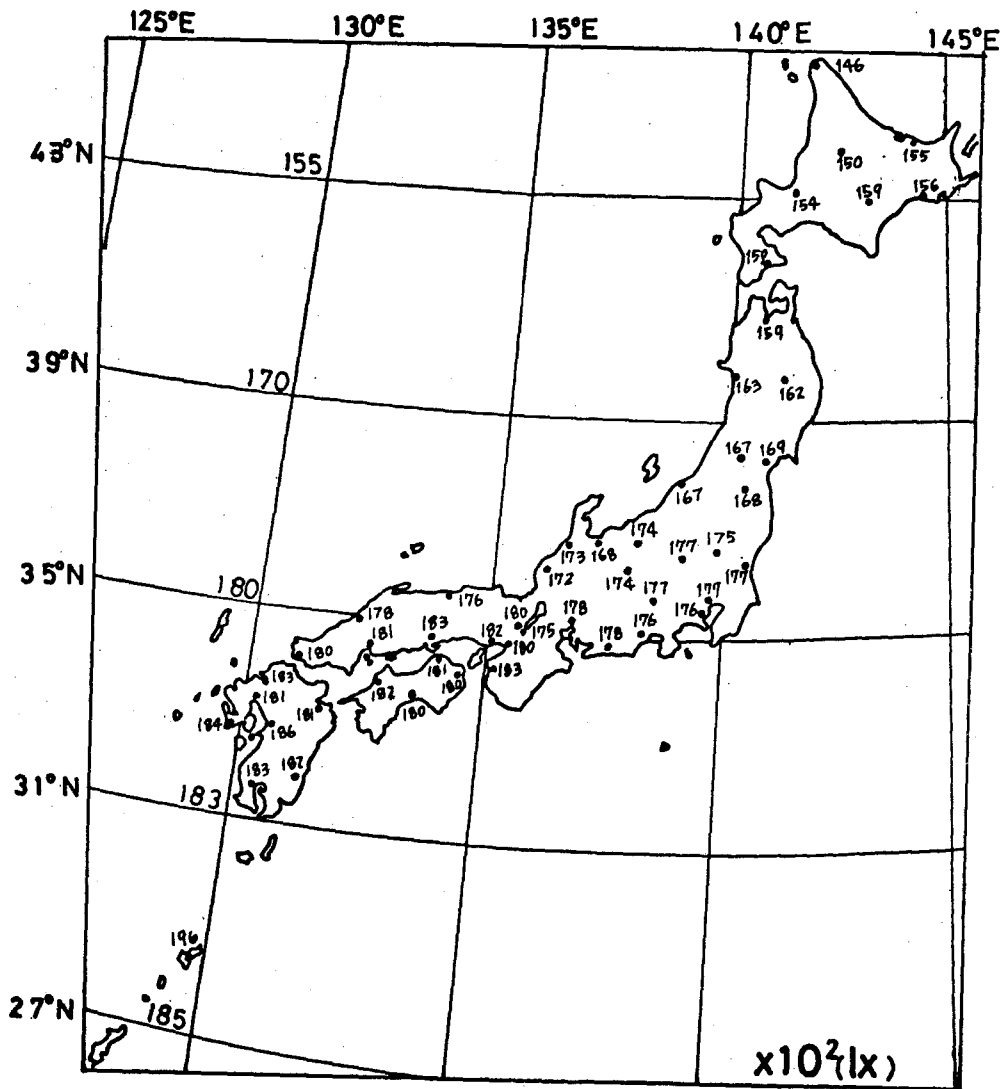


図-5.14 全天空照度の90%下限値の推定値(太陽高度10°以上)



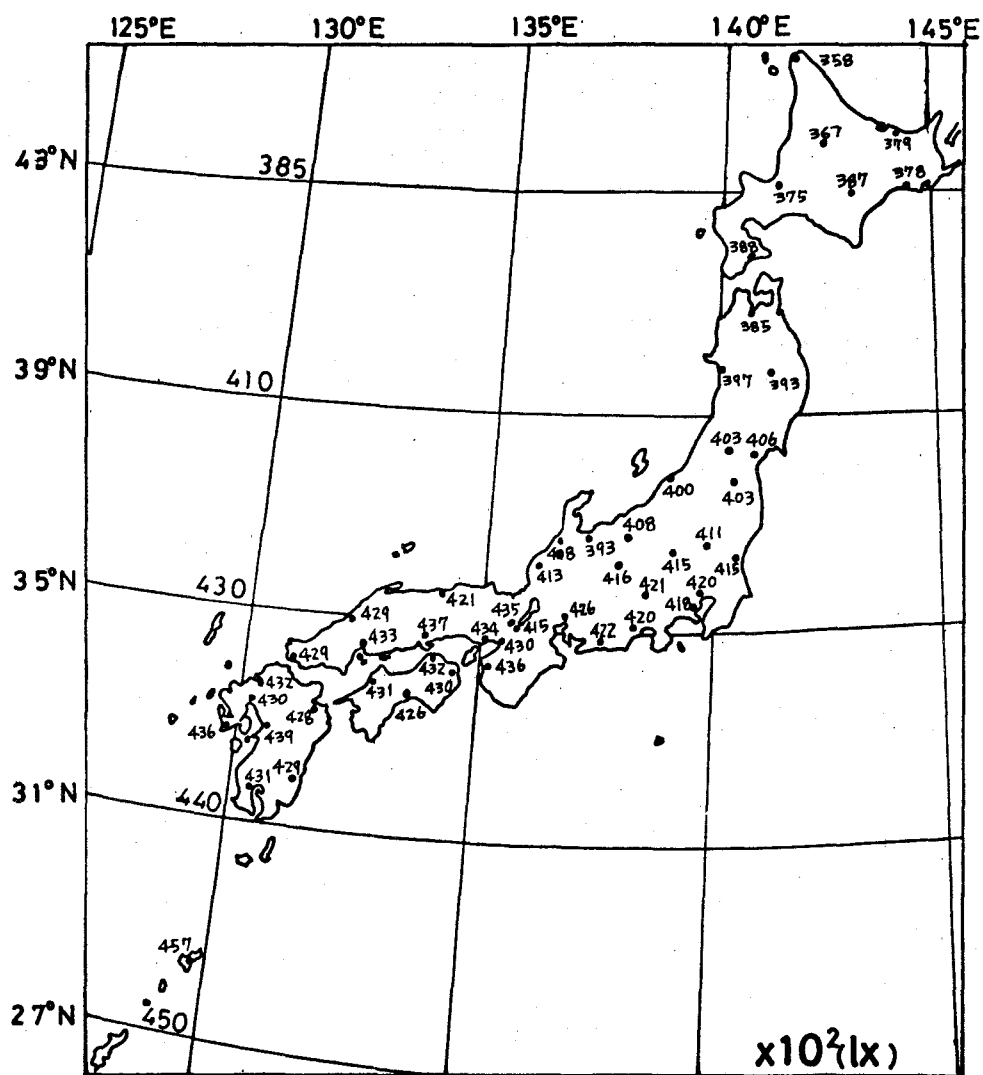


図-5.17 全天空照度の80%上限値の推定値(太陽高度 10° 以上)

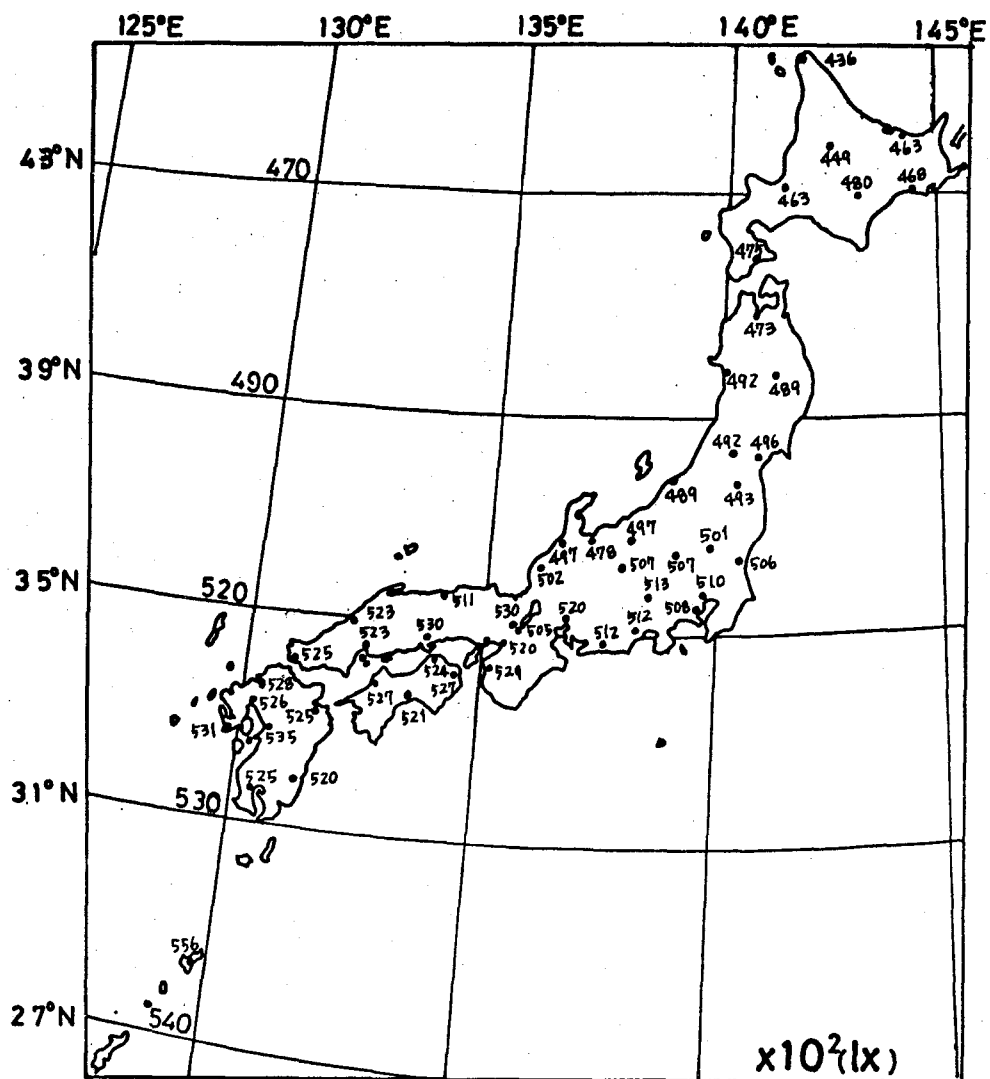


図-5.18 全天空照度の90%上限値の推定値(太陽高度10°以上)

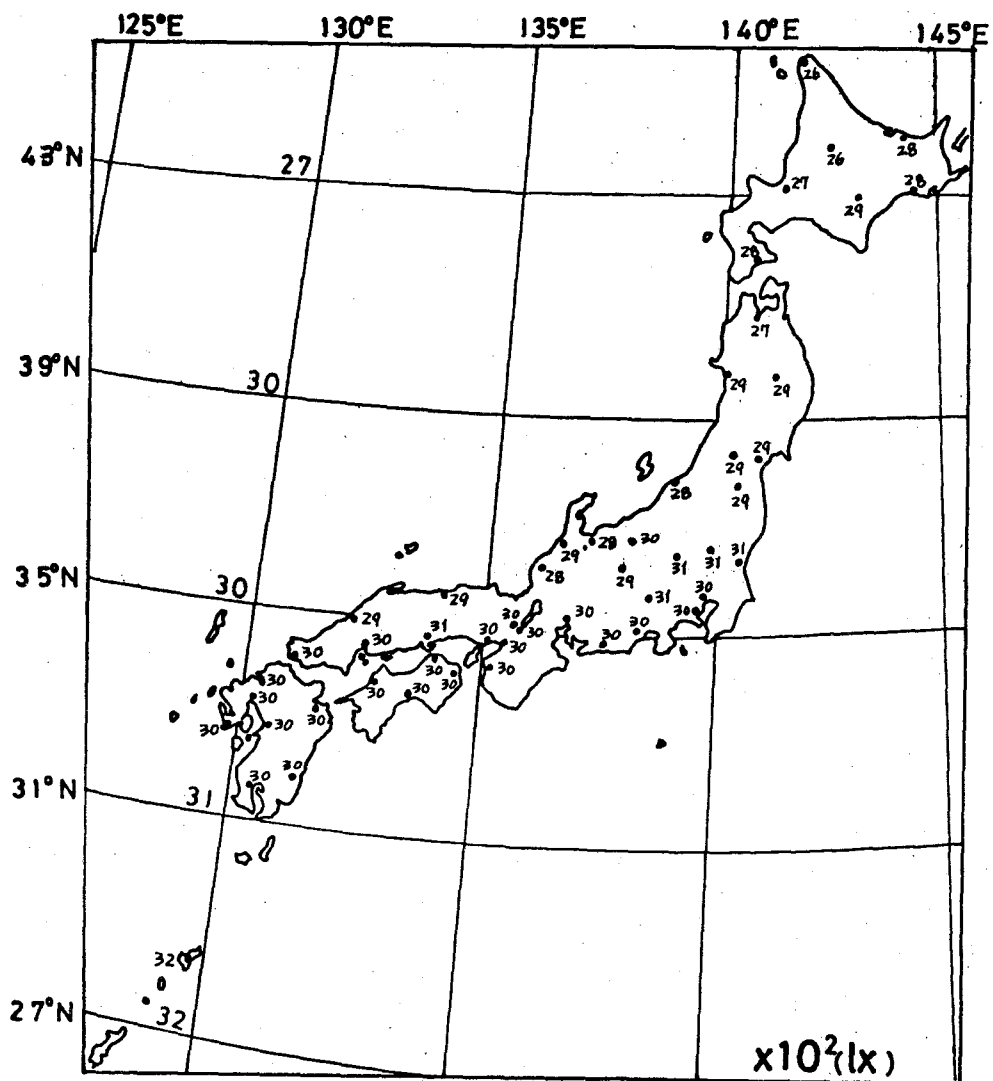


図-5.19 全天空照度の90%下限値の推定値(太陽高度5°以上)

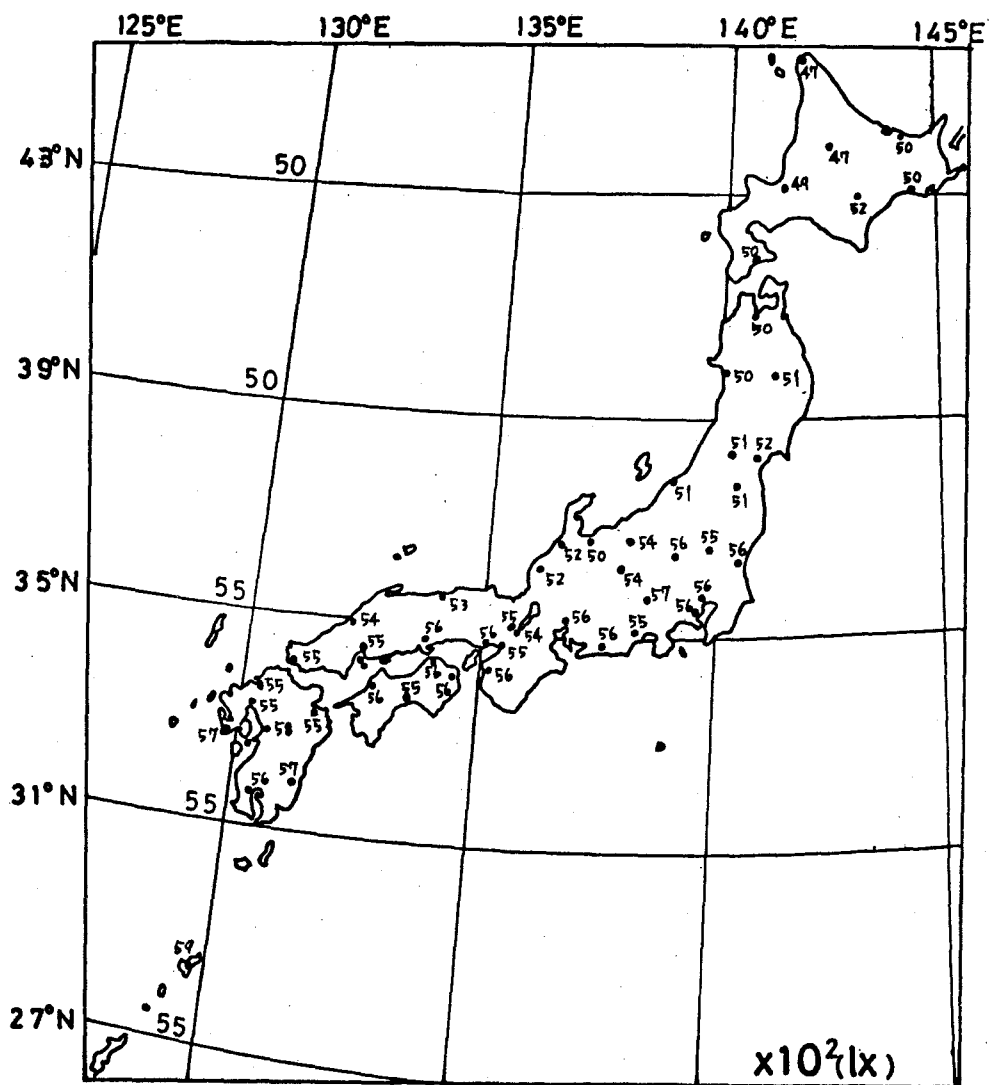


図-5.20 全天空照度の80%下限値の推定値(太陽高度5°以上)

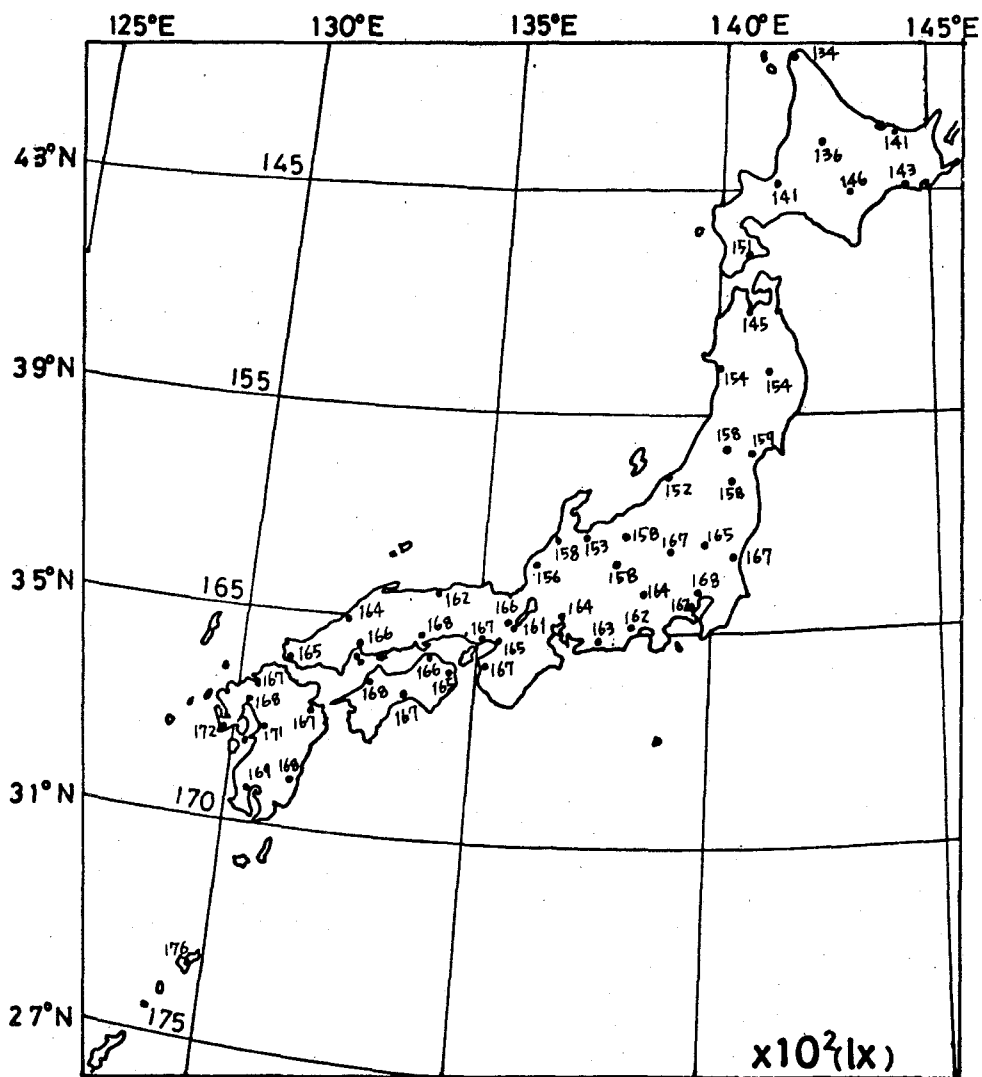


図-5.21 全天空照度の中央値の推定値（太陽高度5°以上）

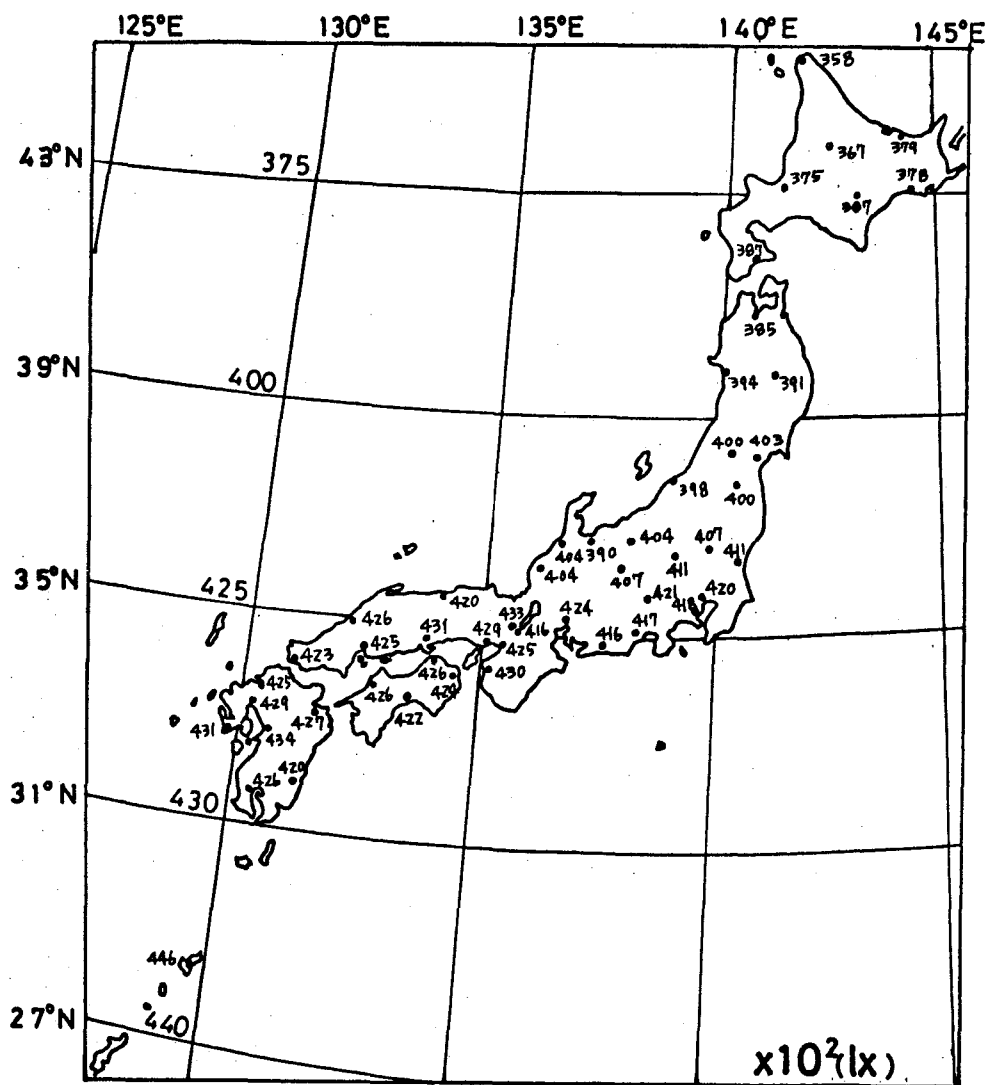


図 - 5.2.2 全天空照度の 80%上限値の推定値 (太陽高度 5°以上)

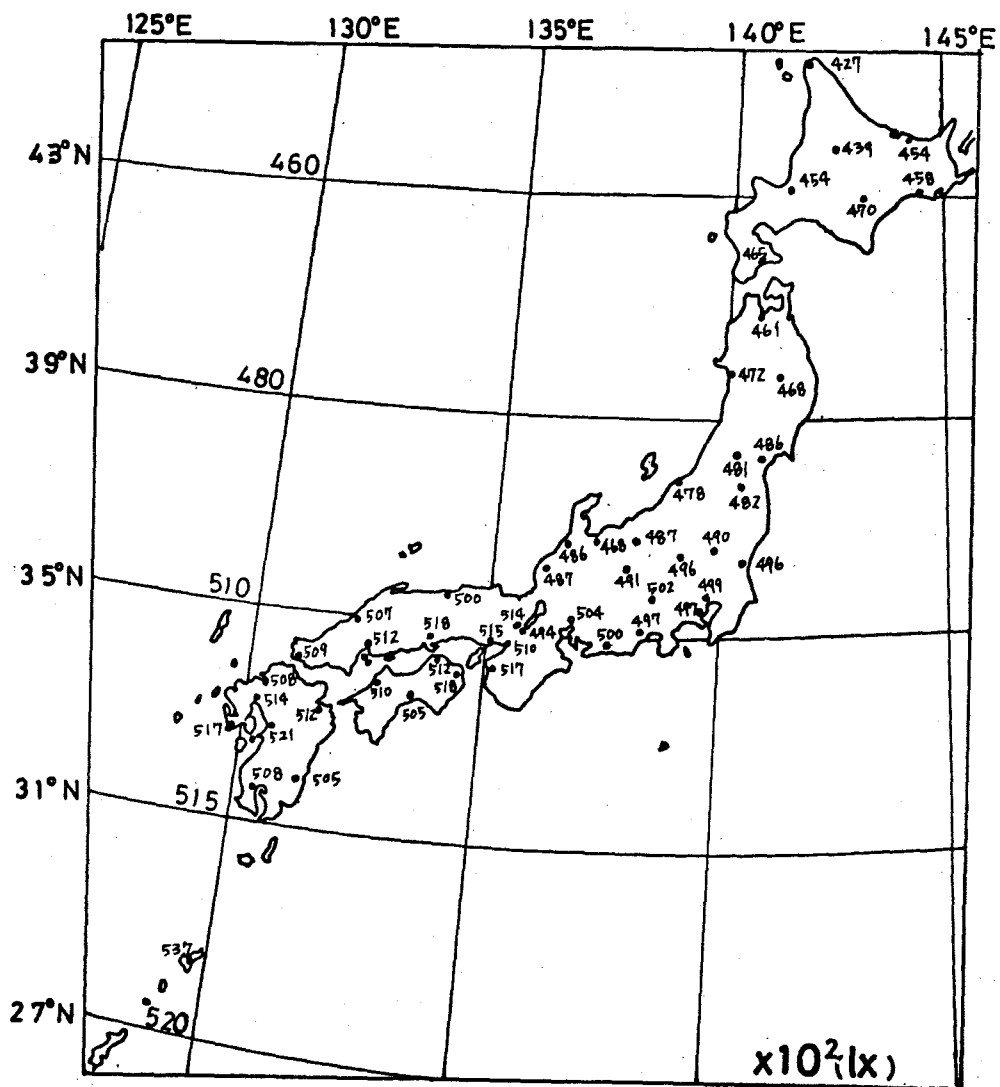


図-5.2.3 全天空照度の90%上限値の推定値(太陽高度5°以上)

5.5 推定2－緯度のみによる補正

前節の推定は、大阪での測定値に緯度および天候の両者の補正を行ったものであるが、天候については必ずしも合理的な推定法と考え難い点がある。そこで、推定1の信頼性を確かめるため、第二の推定方法で各地の全天空照度の値を検討した。

日本各地の天気分類を本研究での分類に換算した結果（表－5.4）について既に述べたように、特殊な地点を除けば、概して天候の違いによる全天空照度の出現率にはあまり差異のないことが十分推測されるので、この違いを無視して緯度のみについて補正した推定値を求めることにした。緯度のみによる補正は十分信頼できるものであるからである。

緯度を北緯27°, 31°, 35°, 39°, 43°の4°おき5地点として、図－5.11, 図－5.12に示す太陽高度の累積出現率を用い、大阪と緯度 φ の地点との太陽高度域毎の年間出現率の比 $\mu_{\varphi h}$ を求める。

$$\mu_{\varphi h} = \varepsilon_{\varphi h} / \varepsilon_{oh} \quad \cdots \cdots \cdots (5.3)$$

$\varepsilon_{\varphi h}$; 緯度 φ における太陽高度 h の年間出現率

ε_{oh} ; 大阪における太陽高度 h の年間出現率

年間の出現率とは、ある太陽高度域に含まれる年間全時間の年間全昼間時（太陽高度5°以上又は10°以上）に対する割合である。

$\mu_{\varphi h}$ より大阪におけるある照度域にあって、太陽高度域 h に含まれる測定個数を、緯度 φ におけるものに換算することができる。

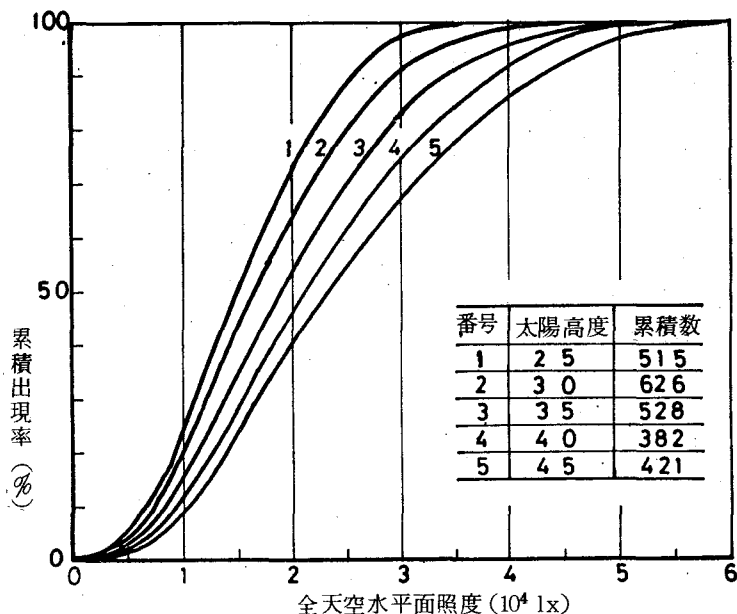
すなわち、

$$n_{\varphi h} = \mu_{\varphi h} \cdot n_{oh} \quad \cdots \cdots \cdots (5.4)$$

n_{oh} ; 大阪におけるある太陽高度 h 域である照度域に含まれる測定個数（図－5.24参照）

$n_{\varphi h}$; 緯度 φ における同上の推定個数

図－5.24は、大阪における実測値より各太陽高度における全天空照度の年間の累積出現率を求めた一例である。曲線1は、太陽高度25°における年間の累積出現率と全天空照度の関係を示すもので、累積数は515である。曲線2は太陽高度30°におけるもので、累積数626である。このように、各太陽高度における年間の累積出現率と全天空照度の関係を図表化することにより、 n_{oh} は容易に求まる。



図－5.2.4 太陽高度別の全天空照度と年間累積出現率の1例（35°N）

年間における照度域に含まれる全推定個数は、太陽高度全域についてのものを集計することにより得られる。

すなわち、

$$N_5 = \sum_{h=5}^{\theta} n_{\varphi h} \quad (\text{太陽高度 } 5^\circ \text{ 以上のとき}) \dots\dots\dots (5.5)$$

$$N_{10} = \sum_{h=10}^{\theta} n_{\varphi h} \quad (\text{太陽高度 } 10^\circ \text{ 以上のとき}) \dots\dots\dots (5.6)$$

ただし、

θ ; 緯度 φ における年間最大太陽高度

これを全天空照度域について求めることにより、緯度 φ における年間の全天空照度の累積出現率曲線を描くことができる。太陽高度 5° 以上および 10° 以上について、北緯 $27^\circ, 31^\circ, 35^\circ, 39^\circ, 43^\circ$ の5地点に対して画いたものが図－5.2.5、図－5.2.6である。これらの図より、設計用標準値として累積出現率を決めれば、直ちにその数値を読みとることができる。これらの図より、90%、80%域の上限値、下限値ならびに中央値を太陽高度 5° 以上、 10° 以上について求めたものを表5.8に示す。

表－5.8 緯度別の90％，80％域上・下限値および中央値（図－5.25，5.26参照）

太陽高度	緯度	95％値	90％値	50％値	10％値	5％値
5°以上	27°N	52,000	44,000	17,500	5,500	3,000
	31°N	51,500	43,500	17,000	5,500	3,000
	35°N	51,000	42,500	16,500	5,500	3,000
	39°N	48,000	40,000	15,500	5,000	3,000
	43°N	46,000	37,500	14,500	5,000	2,000
10°以上	27°N	54,000	45,000	18,500	7,500	5,000
	31°N	53,000	44,000	18,300	7,300	5,000
	35°N	52,000	43,000	18,000	7,000	5,000
	39°N	49,000	41,000	17,000	6,600	4,500
	43°N	47,000	38,500	15,500	6,200	4,500

この表より，太陽高度5°以上，10°以上のいずれにおいても推定全天空照度の90％，80％域の上限値における照度差は北緯27°～43°の間で6,000～7,000lx，中央値は3,000lx，90％，80％域の下限値で500lxであることがわかる。北緯27°と31°における90％，80％の上限値，中央値の照度は，35°の実測値より1,000～2,000lx高いにすぎない。下限値は同じ値である。39°と43°における推定全天空照度は，35°地点の値より10％程度低い値が示されており，多少の照度差が認められるといえる。27°と31°の地点では，照度差は殆んど認められない。

太陽高度10°以上，5°以上の場合における推定－2の推定全天空照度の数値は，図－5.14～図－5.23の各緯度（4°おき）線上に示し，推定－1より得られた数値（各都市）と対照させてある。

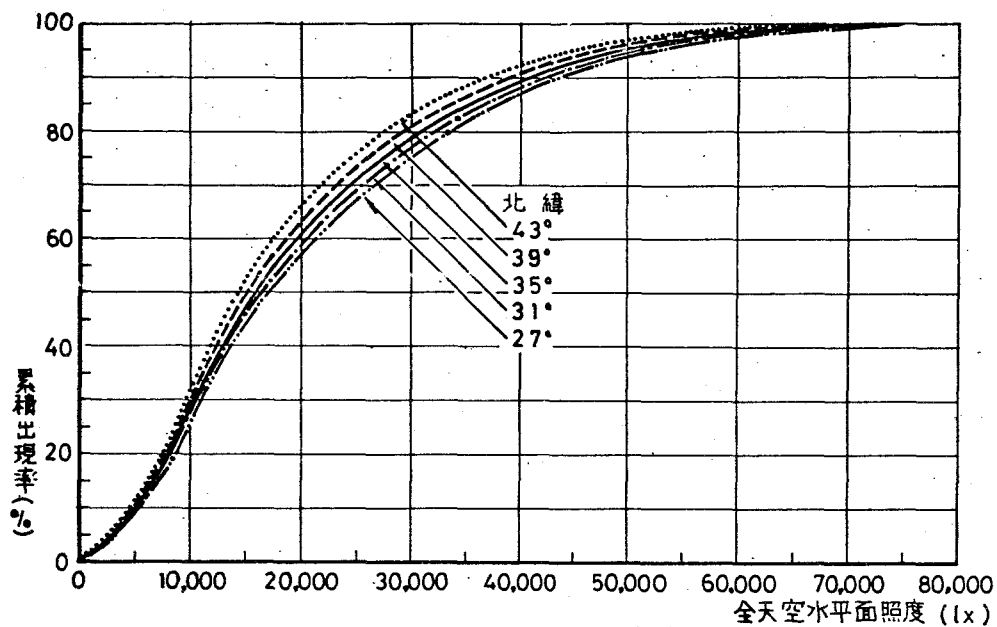


図 - 5.2.5 全天空照度の緯度別年間累積出現率
(北緯 27°, 31°, 35°, 39°, 43°, 太陽高度 5° 以上)

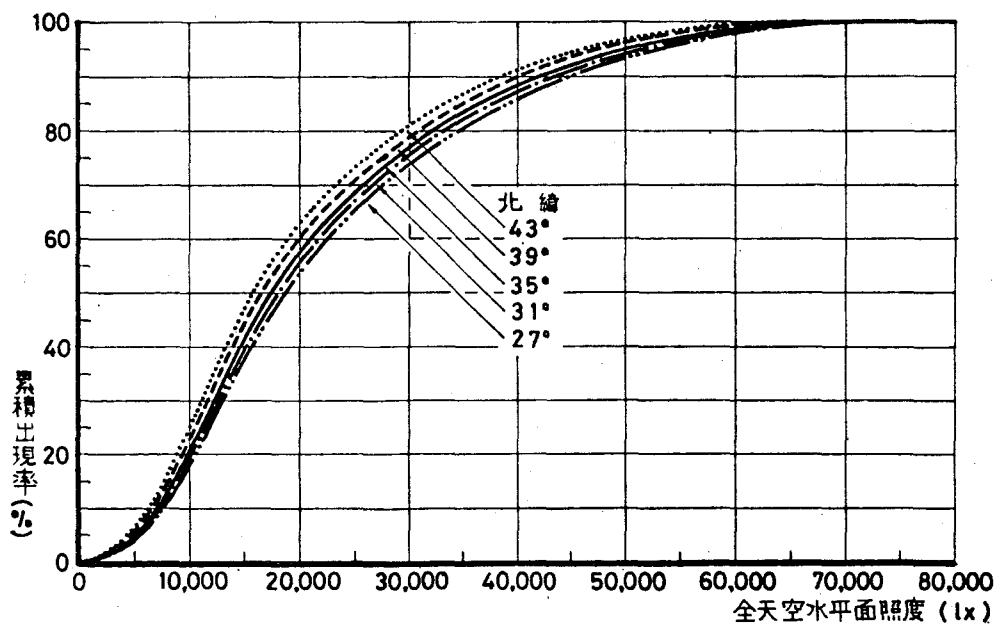


図 - 5.2.6 全天空照度の緯度別年間累積出現率
(北緯 27°, 31°, 35°, 39°, 43°, 太陽高度 10° 以上)

5.6 推定値の比較，検討

緯度と天候の両者によって推定した各地の累積出現率に対応する全天空照度と，天候の差異を無視して緯度のみによる補正からの推定値との両者を地図上に記した図－5.14～図－5.23は，太陽高度 10° 以上， 5° 以上についてのものであるが，両者の数値は非常によく一致しており，本推定値は十分信頼しうるものであると判断される。

このことは，国内における天候の地域的な相異は全天空照度の統計的な数値に対してほとんど無視してもよいものであることを示すものである。

読み取り数値は本研究の性格上，その詳細な数値は必要でないのでその概数で示すことにしてある。

推定－1による数値のわが国全域における地域毎の差異をみるため，90%，80%域の上，下限値，中央値について各地の推定値を検討し，最大値を示す都市と最小値を示す都市をあげ，その時の推定全天空照度と大阪における全天空照度の実測値を対照すれば，表－5.9の通りとなる。

表－5.9 大阪の実測値と推定1による90%，80%域上・下限値および中央値よりその最大値と最小値との比較

太陽高度	累積出現率	大阪実測値	推定全天空照度の最大値	推定全天空照度の最小値
5° 以上	95%値	51,000	53,700(名瀬)	42,700(稚内)
	90%値	42,500	44,600(〃)	35,500(〃)
	50%値	16,500	17,600(〃)	13,100(〃)
	10%値	5,500	5,900(〃)	4,700(〃)
	5%値	3,000	3,200(〃)	2,600(〃)
10° 以上	95%値	52,000	55,600(名瀬)	43,600(稚内)
	90%値	43,000	45,700(〃)	35,800(〃)
	50%値	18,000	19,600(〃)	14,600(〃)
	10%値	7,000	7,100(熊本等)	6,000(〃)
	5%値	5,000	5,100(〃)	4,400(〃)

緯度がほぼ中央に相当する大阪（約北緯 35° ）での測定値に対し，最大の値を示す名瀬における全天空照度は何れの場合についてもその差異は10%以内であり，最小の値を示す稚内における全天空照度の差異は約15%あることがわかる。

ここで、稚内を含む1部の北海道地域を除いて考えれば、概して 35° の大阪の値に対して、その差異は10%以内にあると見なすことができる。

このことは、推定-2の結果(表-5.8)についてもいえる。全天空照度の緯度別による差異を上限値(90%, 80%域)でみると、 27° と 43° との照度差は7,000~6,000lx程度であり、緯度1°当りにすると平均450~400lxとみなされる。

下限値(90%, 80%域)では 27° と 43° との照度差は500lx程度であり、緯度1°あたり約301lxとなる。80%下限値の太陽高度 10° 以上における 27° と 43° の照度差は1,000lxを多少越えているけれども、大体緯度が中央である北緯 35° における値に対して、その差異は約10%以内にあるといえることができる。

以上のことから、照明設計用の全天空照度、あるいは天空輝度を決める際、もし10%程度の差異は無視できるとすれば、全国にわたり1つの数値を決定することができると思う。

全天空照度、あるいは天空輝度の10%の違いをどのように受けとめるかということであるが、これに関しては視覚の面から見てどれだけ影響があるかによって判断すべきものである。これまでの筆者らの視覚に関する研究(9章参照)ならびに、昼光率で代表される今日の照明設計の精度から判断すれば、この程度の差異は無視し、 35° Nの数値を採用することにより、十分設計の実務上役立つと考える。

更に、詳細な数値が必要な際には、推定-2によって得た数値を、その緯度を中心とした帯域に適用することで、実用に即した設計用標準値となしうと思う。

参考文献

- 1) 伊藤克三, 大野治代, 丸本八津男: 天空輝度の設計用標準値に関する研究(その5, 天空輝度の緯度, 天候に対する検討), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 環境工学(昭48)61
- 2) 伊藤克三, 大野治代: 天空輝度の地域別設計用標準値に関する研究, 日本建築学会論文報告集第229号(昭50)85
- 3) 大阪管区気象台: 大阪府気象年報, 昭和45年度版, 昭和46年度版

第 6 章 就業時間帯における全天空照度の累積出現率^{1),2)}

6.1 概 要

前章までは、実測値をもとに全天空照度の天気別、季節別、年間の累積出現率に関して昼光利用昼間について検討するとともに、更にそれらの結果をもとにして本邦全域に対する全天空照度の累積出現率の推定を行った。これらは太陽高度によって規定された昼間における全天空照度の変動を明らかにする天空光に関する基本的な資料である。これらの結果は、終日作業を行う室にはそのまま適用できるが、一般の作業場のように就業時間帯の限られている場合には、就業時間帯と昼光利用昼間との間には無視できない差異があるため、このような場合への適用には問題が残る。本章は、昼光を作業場の照明に積極的に利用する方向で、人工、昼光両者併用照明を行うことを前提にした場合の照明設計を対象に、その照明の量、質両面の予測を可能とし、かつその経済的効果の検討に必要な資料を得ることを目的として就業時間帯についての検討を行うこととした。就業時間帯としては、一般事務室を対象に午前 9 時から午後 5 時までとし、年間にわたる全就業時間帯について、実測資料に検討を加え、その累積出現率を求めたものである。

6.2 年間の就業時間帯における全天空照度の累積出現率

昼光利用照明の主対象を事務室に考えれば、その使用実態に即した就業時間帯は午前 9 時から午後 5 時までであり、その時間帯における全天空照度の累積出現率を求めるのが実用的にはより有用と考えられる。太陽高度 10° 以上の昼光利用昼間と、就業時間帯との関係を年間の推移で表わしたものが図- 6.1 である。

就業時間帯に占める昼光利用昼間の割合は、図中に示すごとく春季、夏季はほとんど 100% に近いが、冬季、秋季では昼光利用昼間に含まれない就業時間帯がそれぞれ 12.2%、5.1% あることがわかる。これらの時間帯は、本来昼光利用の不可能な時間帯であることから、この時間帯を除外した昼光利用昼間に含まれる就業時間帯について集計を行うことにした。

全天空照度の出現率、累積出現率を上記の就業時間帯について求めるには、

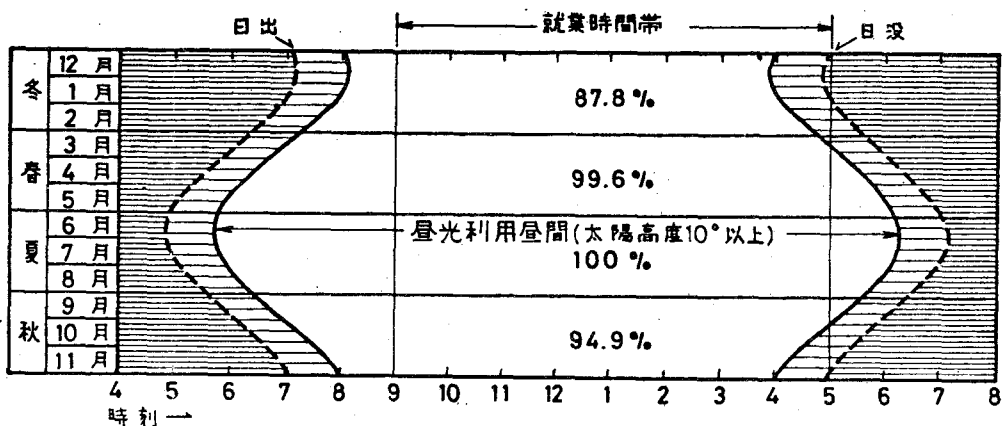


図 - 6.1 日光利用昼間と就業時間帯との関係 (35°N)

既に日光利用昼間に対して得られている2年間の太陽高度別の全天空照度の出現率をもとにこれを補正して求めることにした。

その方法は次の通りである。年間の各太陽高度別の日光利用昼間と就業時間帯における出現頻度の比によって、既に得られている年間の日光利用昼間についての各太陽高度における各全天空照度毎の出現頻度を、就業時間帯のものに補正したものを作成した。これより各全天空照度毎の年間の就業時間帯についての出現頻度を求め、これを累積した全天空照度の累積出現率曲線に表わした。日光利用昼間における全天空照度と太陽高度の関係を表 - 6.1 に示す。

表 - 6.1 日光利用昼間の全天空照度別、
太陽高度別頻度分布の相関表

E \ A	A ₁	A ₂	A ₃	.....	A _i	度数	相対度数
E ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	.....	a _{1i}	f ₁	f ₁ / N
E ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	.....	a _{2i}	f ₂	f ₂ / N
E ₃	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	.....	a _{3i}	f ₃	f ₃ / N
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
E _j	a _{j1}	a _{j2}	a _{j3}	.....	a _{ji}	f _j	f _j / N
Σ	n ₁	n ₂	n ₃	.....	n _i	N	1

(i = 1, 2, ..., 14 j = 1, 2, ..., 84)

表 - 6.2 は就業時間帯における全天空照度と太陽高度の関係を示している。
両表とも、Eは全天空照度 (1,000lx 幅で84区間)、Aは太陽高度 (10°以

上の太陽高度を5°間隔に14区間), f は各照度幅における頻度, n は各太陽高度毎の頻度, N は全測定数である。

表 - 6.2 就業時間帯の全天空照度別, 太陽高度別頻度分布の相関表

$E \backslash A$	A_1	A_2	A_3	.....	A_i	度数	相対度数
E_1	a_{11}'	a_{12}'	a_{13}'	.....	a_{1i}'	f_1'	f_1' / N
E_2	a_{21}'	a_{22}'	a_{23}'	.....	a_{2i}'	f_2'	f_2' / N
E_3	a_{31}'	a_{32}'	a_{33}'	.....	a_{3i}'	f_3'	f_3' / N
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
E_j	a_{j1}'	a_{j2}'	a_{j3}'	.....	a_{ji}'	f_j'	f_j' / N
Σ	n_1'	n_2'	n_3'	.....	n_i'	N'	1

($i = 1, 2 \dots 14 \quad j = 1, 2 \dots 84$)

ここで, $n_1'/n_1 = k_1, n_2'/n_2 = k_2, \dots, n_i'/n_i = k_i = \text{一定}$ と考えられるので, $a_{11}' = n_1'/n_1 \times a_{11} = k_1 a_{11}, \dots, a_{ji}' = k_i a_{ji}$ と表わすことができる。各太陽高度毎の累積頻度は $n_1' = \sum_{j=1}^{84} k_1 a_{j1}', \dots, n_i' = \sum_{j=1}^{84} k_i a_{ji}'$, 各全天空照度毎の頻度は $f_1' = k_1 a_{11} + k_2 a_{12} + \dots + k_{14} a_{14} = \sum_{i=1}^{14} k_i a_{1i}, \dots, f_j' = \sum_{i=1}^{14} k_i a_{ji}$

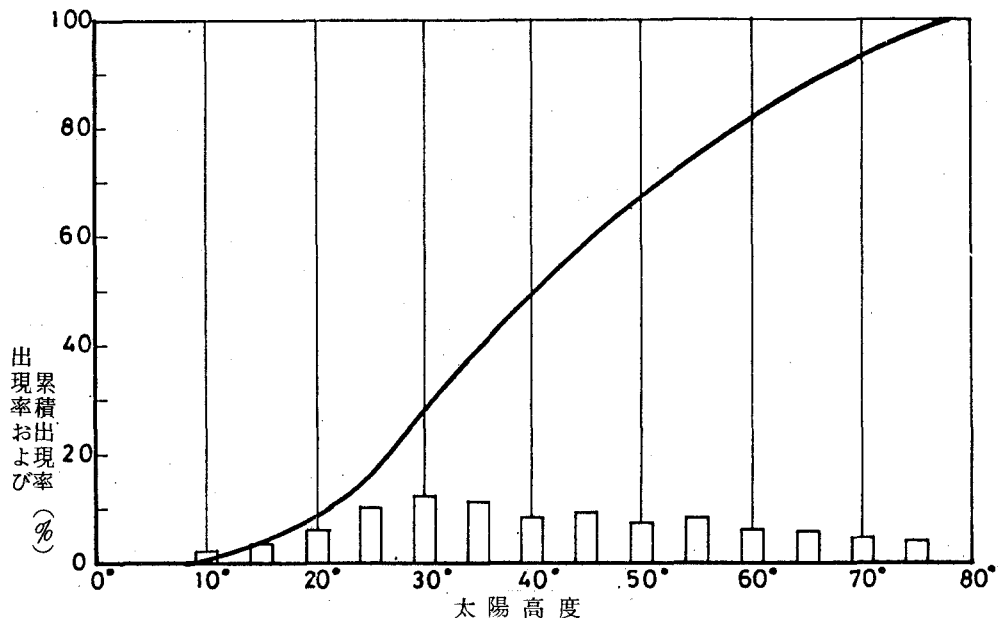
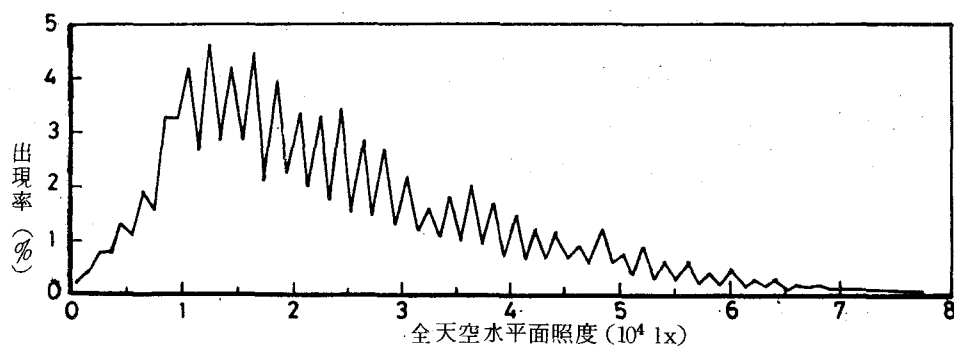


図 - 6.2 太陽高度10°以上の年間の出現率および累積出現率(就業時間帯, 35°N)

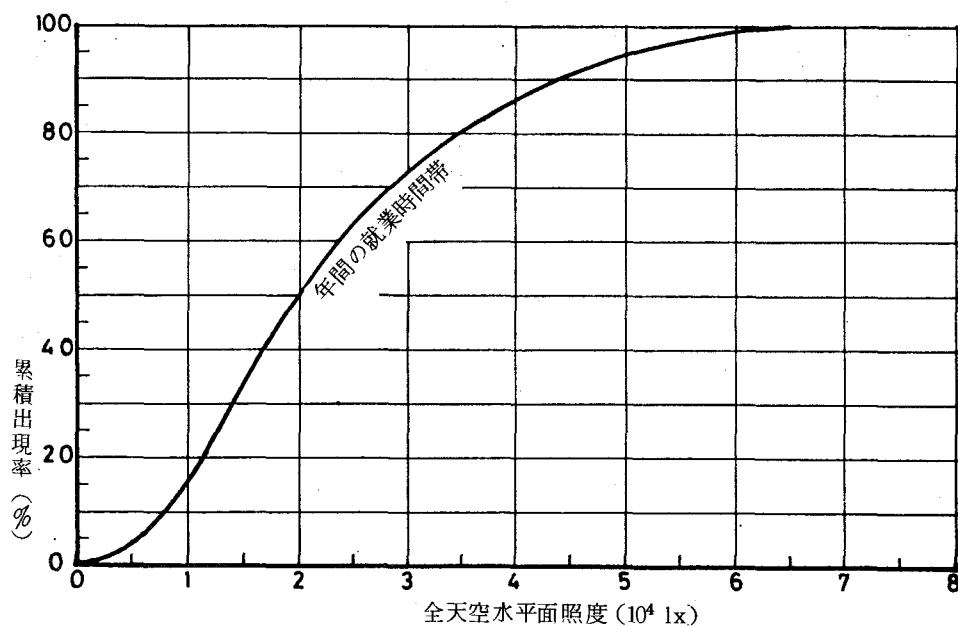
推定総数 $N' = \sum_{j=1}^{84} f_j' = \sum_{i=1}^{14} \sum_{j=1}^{84} k_{ij} a_{ij}$ と表わすことができる。

年間の就業時間帯における太陽高度別の出現率を棒グラフに、累積出現率を同じ図に示したのが図－6.2である。

全天空照度の各照度における出現率を示したものが図－6.3であり、図－6.4は図－6.3の出現率を累積し、年間の累積出現率曲線としたものである。



図－6.3 全天空照度の出現率（就業時間帯）



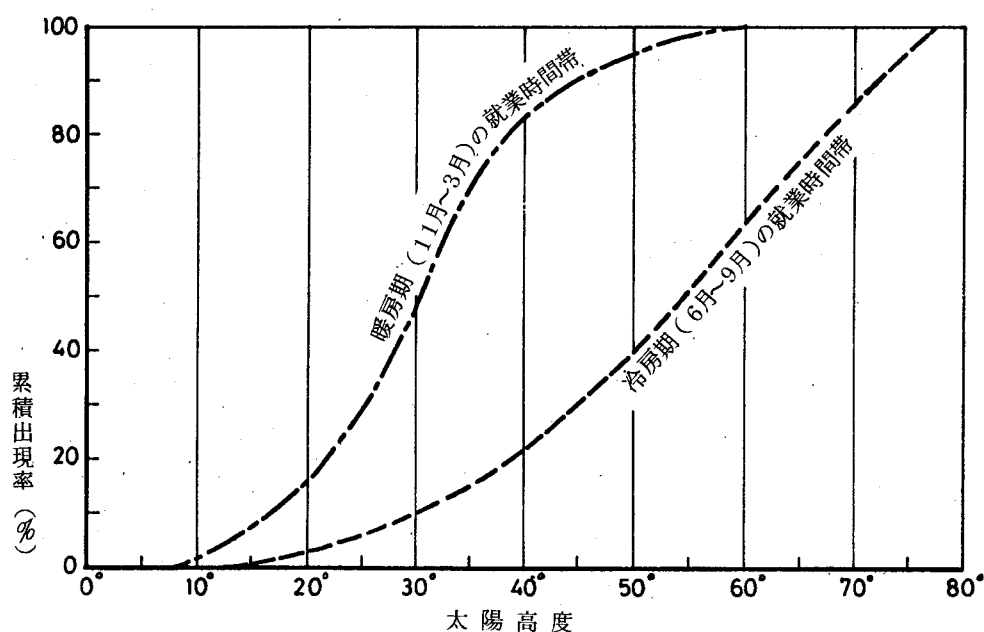
図－6.4 全天空照度の累積出現率（年間の就業時間帯）

6.3 冷房期，暖房期の就業時間帯における全天空照度の累積出現率

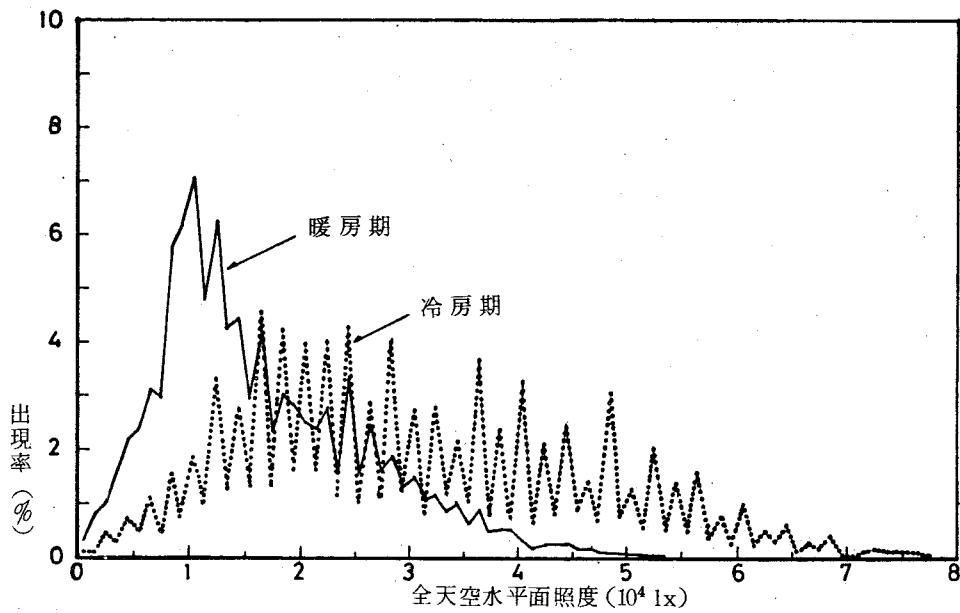
年間の就業時間帯についての全天空照度累積出現率のほかに，測定地点（大阪府吹田市）において考えられる暖房期（11月～3月），冷房期（6月～9月）についての就業時間帯における全天空照度に関して検討を加えた。

これは，昼光利用照明時に考えられる消灯率の有する意味を，年間を通じて同一視できないからである。即ち，暖房期と冷房期とでは昼光利用照明の消費エネルギーに対する節減効果に差異があるからである。灯器から発生する熱が冷房期には冷房負荷となるのに反し，暖房期には暖房負荷の軽減となることを考慮してのことである。

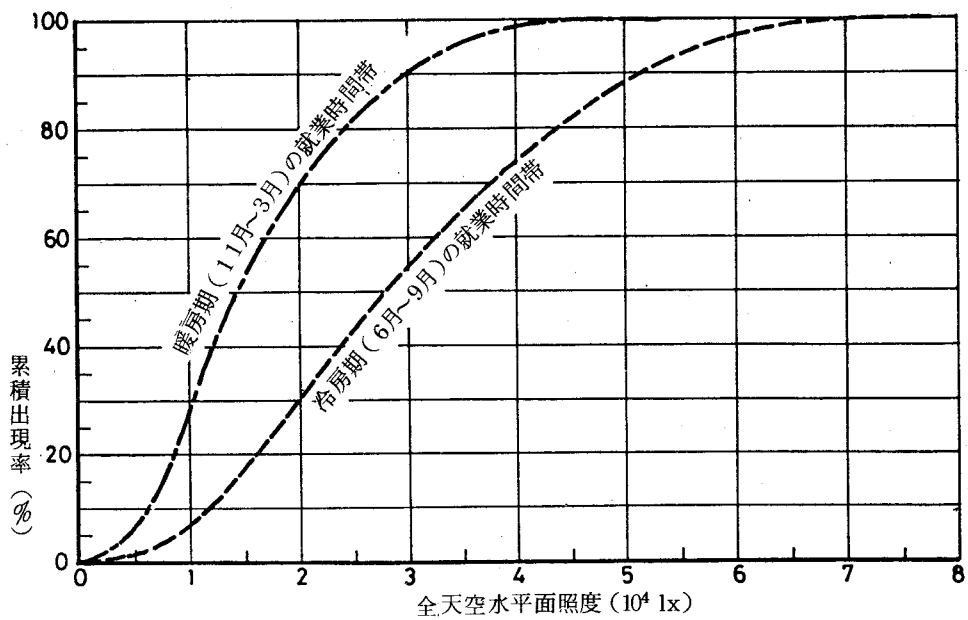
年間の就業時間帯における場合と同一の方法により，冷房期および暖房期の太陽高度の出現率，累積出現率を求めた。図－6.5は，冷房期と暖房期の就業時間帯における太陽高度 10° 以上の太陽高度別累積出現率を表わしたものである。図－6.6は冷房期と暖房期の就業時間帯における全天空照度の出現率を示している。図－6.7はこの出現率を累積することにより求めたもので，冷房期と暖房期の就業時間帯における全天空照度の累積出現率曲線を表わしている。



図－6.5 太陽高度（ 10° 以上）の累積出現率（ 35°N ）



図－6.6 冷房期と暖房期の全天空照度の出現率



図－6.7 全天空照度の累積出現率（冷房期・暖房期の就業時間帯）

暖房期は太陽高度が低く、全天空照度も低い方で高い出現率を示しており、冷房期は太陽高度が高く、全天空照度も高い方で高い出現率を示している。両者の累積出現率曲線に於いて、50%値をみると15,000lx、80%値では20,000lxの照度差があるので、昼光利用照明を行う場合には考慮する必要があると考えられる。

6.4 年間の就業時間帯と昼光利用昼間における全天空照度累積出現率の比較

本測定より得た結果は、特定の場所における限られた2ヶ年の値を平年値とみなし、昼光利用昼間（太陽高度10°以上）の全天空照度累積出現率としている。この結果を用いて、就業時間帯の全天空照度累積出現率を求めているので、その適用の可否について検討することが必要である。

測定期間の気象条件は、大阪管区気象台における気象資料より、両年間に大きな差異のある季節もあったが、全天空照度の集計結果においては明確な差異は認められず、気象条件の多少の差異は全天空照度にほとんど影響しないと考えられた。このことは、5章で考察した他地域での全天空照度の予測の際に行った天気分類の出現率分布による補正の場合にも見られた結果である。この両年の気象資料は、平年に比して特異であることも認めがたく、又、多少の気象条件の差異は全天空照度にほとんど影響しないことから、ここで得られたものは、大阪において使用するに十分な信頼性を有するものとする。

大阪で得られた就業時間帯についての全天空照度が、他地域にどの程度適用できるか、今回得た結果をもとに直接的に他地域での全天空照度の推定値は求めてない。しかしながら、昼光利用昼間についての全天空照度に関して気象条件、緯度の影響を補正して得た結果によれば、緯度による差異に比べ気象条件による違いは、ほとんど無視して差支えないことが明らかとなっている。緯度別の昼光利用昼間における全天空照度の累積出現率の推定値は図-5.26に示してある。この図より、緯度27°～43°Nにおいて、等しい累積出現率に対応する全天空照度の値は、緯度35°Nの値の大体±10%以内にあることがわかる。高緯度の場合には、就業時間帯に低い太陽高度の占める時間帯が増加するが、昼光利用昼間での就業時間帯における全天空照度の累積出現率を考えれば、本邦における程度の緯度による差は余り大きくないことが推定される。

図-6.8は両者の対応をみるため、年間の太陽高度を5°間隔で求めた各の出現率とそれを累積した累積出現率曲線を示したものである。

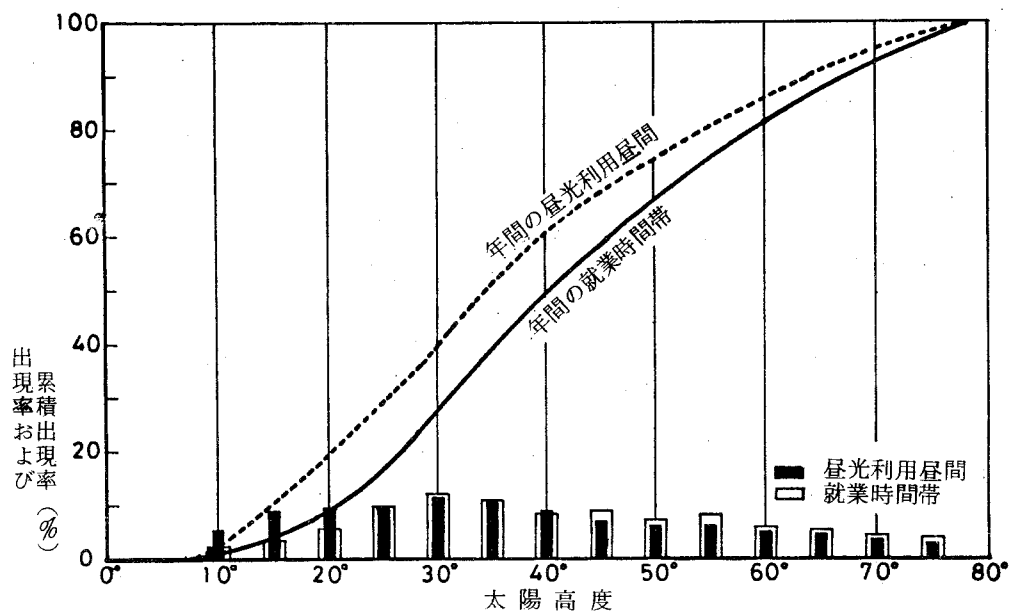


図-6.8 太陽高度(10°以上)の年間累積出現率および出現率(35°N)

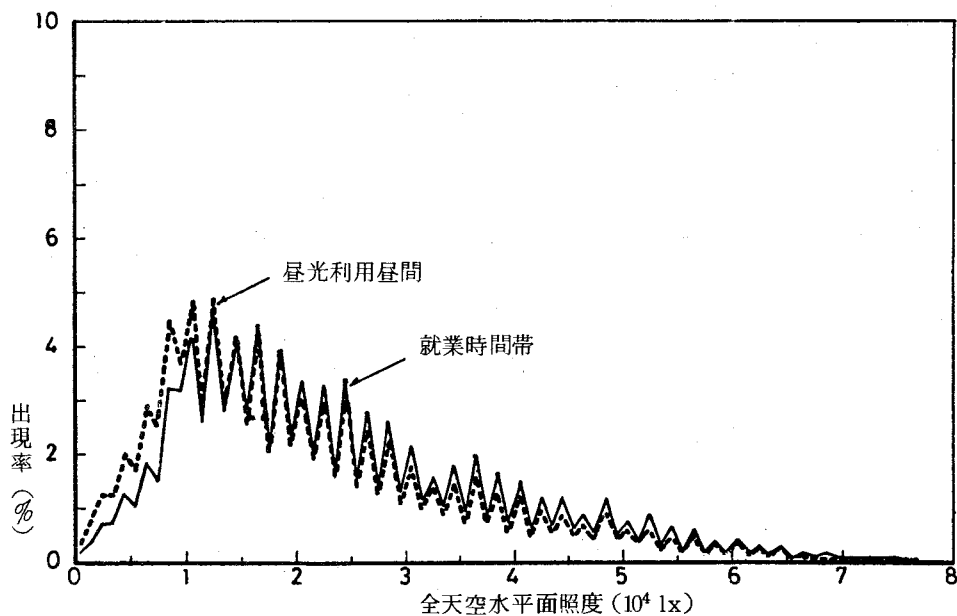


図-6.9 昼光利用昼間と就業時間帯の年間の全天空照度の出現率

これより、就業時間帯における太陽高度の出現率は、高い太陽高度のところで昼光利用昼間より高いので、等しい累積出現率に対応する全天空照度は就業時間帯の方が昼光利用昼間より高くなると推定される。図-6.9は、昼光利用昼間の年間にわたる全天空照度の出現率を照度幅 $1,000\text{lx}$ で集計したものと、それに対応させた年間就業時間帯についての同様の集計結果とを示したものであり、図-6.10はこれを累積した各の場合の全天空照度の年間累積出現率を示すものである。この図より明らかに、累積出現率に対応する全天空照度は就業時間帯における方が昼光利用昼間におけるものよりも高くなっていることが知られる。

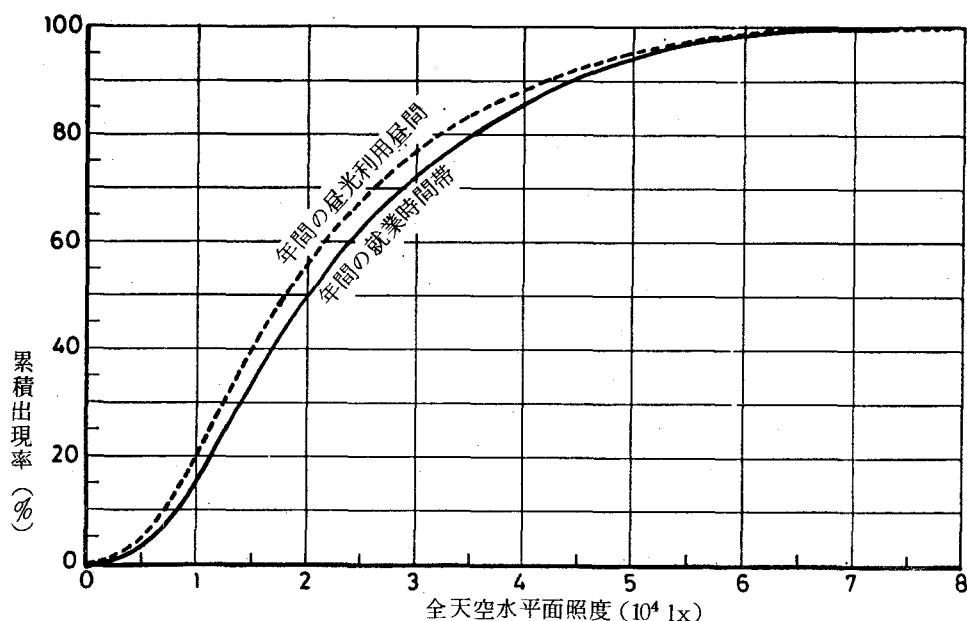


図-6.10 全天空照度の年間累積出現率 (35°N)

参考文献

- 1) 伊藤克三, 大野治代, 佐藤隆二: 作業時間帯における全天空照度の年間出現頻度, 昭和52年度照明学会全国大会講演論文集 No.37
- 2) 大野治代, 伊藤克三, 佐藤隆二: 昼光利用照明設計に関する研究(その1) - 就業時間帯における全天空による水平面照度の累積出現率, 照明学会雑誌 Vol. 62, No.10 (昭53)535

第7章 就業時間帯における消灯率 と点滅頻度^{1)~4)}

7.1 概 要

昼光を利用した照明設計方法には、種々の方法が考えられるが、最も単純な方法は照度バランス⁵⁾形の併用照明設計法である。すなわち、室内所要照度の確保に窓からの昼光を利用し、窓近くの灯器をできる限り消灯して、電力の節減をはかることを目標とするものである。この時に、最も重要と考えられるものは、これによる灯器の消灯率と、消灯可能な範囲にある灯器の点滅頻度である。本来、昼光による室内照度には天空光によるものの他、各種の形でそれに影響を及ぼしている直射光も併せて考えるべきであるが、ここでは天空光によるもののみを取扱うことにする。

従って、研究結果は、太陽の直射光が当たっていない窓、特に北窓の場合には適用されるものである。北窓に対向した建物がある場合、直射光の対向壁による反射光が考えられるが、ここではそれを除外し、天空光のみによるもののみを扱うことにする。

年間の就業時間帯についての全天空照度の累積出現率は、前章で述べた。これによれば、灯器を点滅するための全天空照度の設定値として、累積出現率の $a\%$ に相当する値をとれば $(100 - a)\%$ が消灯率となる。従って、その経済性はただちに予測することが出来るのであるが、このように点滅照度を一点で設定すれば、消灯可能な範囲における灯器の点滅頻度は極めて高くなり、在室者がこれから受けるわずらわしさのために、実用に耐えがたいことが予想される⁶⁾。

ここでの照度バランス形昼光利用照明とは、全天空照度： E_0 、ある消灯範囲内にある灯器を消灯した時の消灯範囲の照度： E' 、作業面上の設計照度： E 、その時の昼光による照度： E_s としたとき、 $E - E' \leq E_s$ あれば、消灯範囲にある灯器を消灯しようとするものである。

当該位置の昼光率を $U(\%)$ とすると、

$$E_s = E_0 \times U / 100$$

$$E_0 \geq (E - E') \cdot 100 / U \quad \cdots \cdots (7.1)$$

E_0 が7.1式を満足させている間、消灯することができることになる。昼光利

用照明の実施に際しては、全天空照度の設定値にある幅をもたせ、点滅回数を少なくすることが必要である。このようにした場合の消灯率ならびに点滅回数は昼光利用照明の実施にあたり極めて重要である。これらに関して、2章で述べた実測記録に検討を加え、最終的にこれらを総合した昼光利用照明設計法を提示することにする。

なお、本論での消灯率とは、対象期間内での全消灯時間数の全就業時間数（8時間×日数）に対する比で示すことにした。これより、昼光利用による照明用電力の節減効果を端的に表わすことができるからである。これまでの累積出現率の場合はすべて昼光利用昼間内で考えていたことと明確に区別している。

7.2 実測値からの読みとり

前章で示した年間の全就業時間帯（昼光利用昼間に含まれる）についての全天空照度の累積出現率曲線の80%値、60%値、40%値にほぼ相当する35,000 lx，24,000 lx，17,000 lxを仮に設定照度と定めた。この設定照度に対し、点滅の設定照度幅を3段階設け、それぞれ設定照度の30%，20%，10%とした。例えば、照度幅20%とは、図－7.1の実測記録に示すように、設定照度の上下各10%の間の範囲をいう。点滅には、この図に示すように、就業時間帯（午前9時～午後5時）について、全天空照度が設定照度幅の上限値より高くなれば消灯し、設定照度幅の下限値以下になると点灯する方法をとることにする。この図に示す点滅回数8回とは、1日の点滅回数の点・滅を各1回として集計したものであり、消灯率とは、1日の就業時間（8時間）内に占める消灯時間の割合である。これを昭和45年12月から昭和46年11月迄の全測定日について整理をした。

点滅回数と消灯率の集計を2年間の実測記録のうち1年間だけにとどめたのは、年間についての全天空照度に関してこの両年の間にほとんど差異がなかったため、これらに有意の差はないと判断したからである。

図-7.1 設定照度・照度幅ならびに消灯率・点滅回数の説明図（就業時間帯）

7.3 年間の就業時間帯についての消灯率と点滅回数

7.3.1 設定照度、照度幅と消灯率

前節で述べたように、35,000 lx，24,000 lx，17,000 lx を設定照度とし、照度幅を各々の30%，20%，10%にとって各日の消灯時間を算出し、これより春、夏、秋、冬の各季節ならびに年間についての平均消灯率を求めた。その結果を季節別に示したものが図－7.2～図－7.5，年間について示したものが図－7.6である。これらの結果より、点滅のための設定照度幅を10%，20%，30%と変えても消灯率は季節別、年間のいずれの場合も殆んど変わらず、近似的に一定と考えてもよい。従って、設定照度によってほぼ消灯率は決まるといって差支えない。設定照度を高くすれば、消灯率は当然のことながら低下する。秋季、冬季に消灯率が低いのは、この期間における太陽高度が低く、全天空照度の高い部分の出現率が低下するためである。年間の消灯率についてみれば、いずれの照度幅においても、照度幅を設定しない場合の昼光利用昼間に含まれる全就業時間帯での消灯率（100－累積出現率）に相当する20%，40%，60%に極めて近い値となっている。年間に関しては、昼光利用昼間内に含まれない就業時間帯は極めて僅かであるので、これを近似的に全就業時間帯におけるものとみなせば、点滅にこの程度の照度幅を与えても消灯率そのものには大した影響を与えないことを示し、累積出現率a%がわかれば、消灯率は照度幅を設定した場合においても近似的に（100－a）%と見なしうることを示唆するものである。なお、年間の就業時間帯に関しては設定照度を累積出現率80%値から40%値に下げると消灯率は大畧20%から60%と約3倍になることが知られる。

就業時間帯のうちには、冬季と秋季には昼光利用昼間（太陽高度10°以上の時間帯）から外れる時間帯が含まれる。これを含めた全就業時間帯に対するここでのいう消灯率と昼光利用昼間に含まれる就業時間帯についての消灯率との差異を比較したものを表－7.1に示す。この表から、年間については後者の消灯率が前者よりも約1～2%大きいことがわかる。両者の差の大きくあらわれるのは冬季であるが、両者の差異は5%前後とみなしてよい。

消灯率の取り方には、上述のように全就業時間帯でのものと、昼光利用昼間内にある全就業時間帯でのものとが考えられるが、昼光利用照明の設計資料としての利用目的からは前者の方が適したものと判断し、ここではすべて季節別

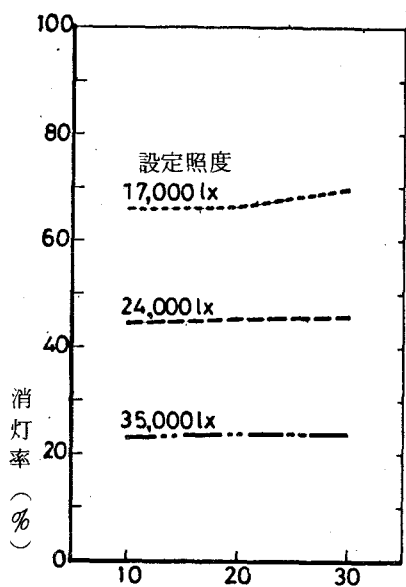


図 - 7.2. 設定照度幅 (%)
設定照度幅と消灯率との関係
(春季の就業時間帯)

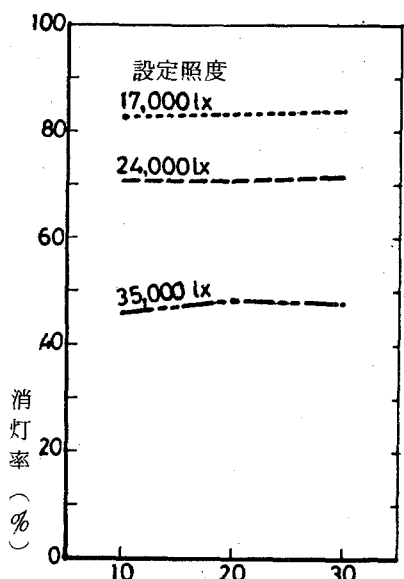


図 - 7.3 設定照度幅 (%)
設定照度幅と消灯率との関係
(夏季の就業時間帯)

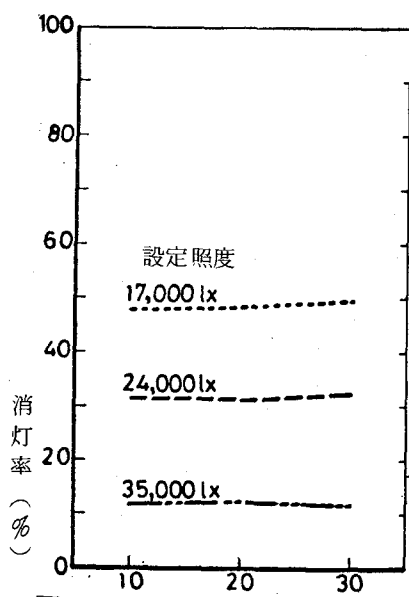


図 - 7.4 設定照度幅 (%)
設定照度幅と消灯率との関係
(秋季の就業時間帯)

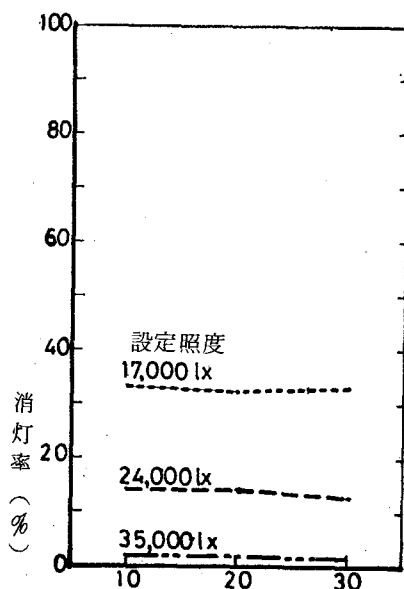


図 - 7.5 設定照度幅 (%)
設定照度幅と消灯率との関係
(冬季の就業時間帯)

および年間に含まれる全就業時間帯に
対するものとして示している。

年間の全就業時間帯に関して、照度幅
を与えた時の設定照度と消灯率との関
係を図-7.7に示す。破線は昼光利用
昼間内に含まれる年間の全就業時間帯
における全天空水平面照度の累積出現
率曲線であり、この場合の設定照度と
消灯率との関係を示すものとみなせる
ものである。両者の間の差は極めて僅
かである。

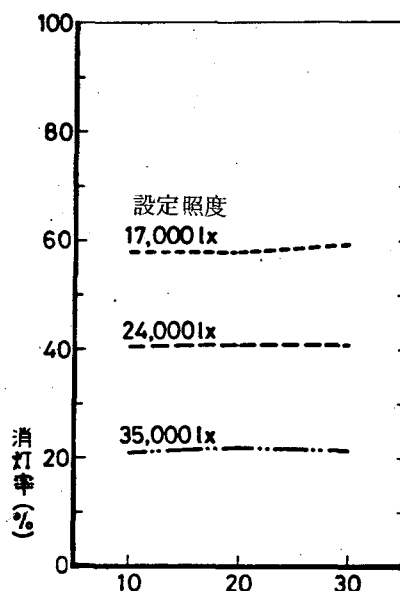
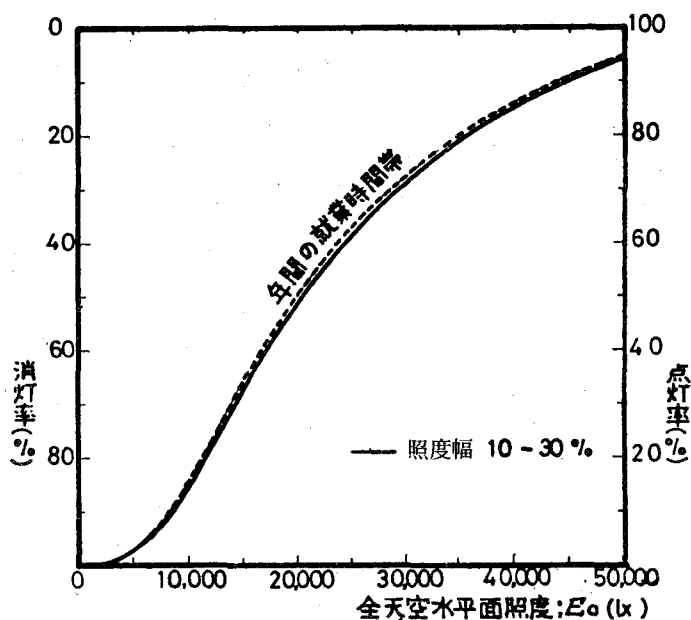


図-7.6 設定照度幅と消灯率との関係
(年間の就業時間帯)

表-7.1 就業時間帯のとり方による消灯率の比較

設定照度 (lx)	照度幅 (%)	(%)									
		消灯率(全就業時間帯)					消灯率(昼光利用昼間内の就業時間帯)				
		春	夏	秋	冬	年	春	夏	秋	冬	年
35,000	30	23.5	47.8	11.9	1.5	22.2	23.4	47.8	11.4	1.4	21.3
	20	23.7	48.3	12.9	1.9	22.7	23.6	48.3	12.3	1.6	21.8
	10	23.0	45.8	12.5	2.0	21.8	23.0	45.8	11.9	1.8	20.9
24,000	30	45.8	71.4	33.9	14.4	42.7	45.6	71.4	32.1	12.8	41.0
	20	45.5	70.8	32.7	15.8	42.5	45.4	70.8	31.1	14.0	40.8
	10	44.4	70.4	33.0	15.9	42.2	44.3	70.4	31.4	14.1	40.5
17,000	30	69.8	83.9	52.1	37.5	62.0	69.5	83.9	49.5	33.3	59.5
	20	66.7	83.3	50.8	36.4	60.5	66.6	83.3	48.3	32.4	58.1
	10	66.2	82.5	50.2	37.0	60.1	66.0	82.5	47.8	33.0	57.8



図－7.7 設定全天空照度と消灯（点灯）率の関係
（年間の就業時間帯）

7.3.2 設定照度，照度幅と1日の平均点滅回数

消灯率を求めた時と同一の条件で，全天空照度の実測記録から年間の各日についての点滅回数を図－7.1に示す方法で読みとった。これらを集計した結果から，1日の平均点滅回数を求め，これを春，夏，秋，冬季の季節別ならびに年間について示したものが図－7.8～図－7.12である。いずれの図においても，照度幅を大きくするに従い点滅回数は減少し，設定照度幅を10%から20%，20%から30%に増すとそれぞれ1日の平均点滅回数が2～3回減少することがわかる。本設定条件下での1日の平均点滅回数の最高は，季節別の就業時間帯に関して，冬季の設定照度17,000 lx，照度幅10%の場合の12.3回であり，年間の就業時間帯に関して，設定照度24,000 lx，照度幅10%の場合の9.9回である。設定照度と点滅回数との間には一定の関係はみられず，季節により差異がある。これは，全天空照度が夏季には高照度で，冬季には低照度で変動するためである。

いずれの場合においても設定照度幅を大きくとれば点滅回数は勿論減少するが，この場合には作業面上の照度が設計照度をそれだけ大きく下まわる時間帯のあらわれることに注目しなければならない。

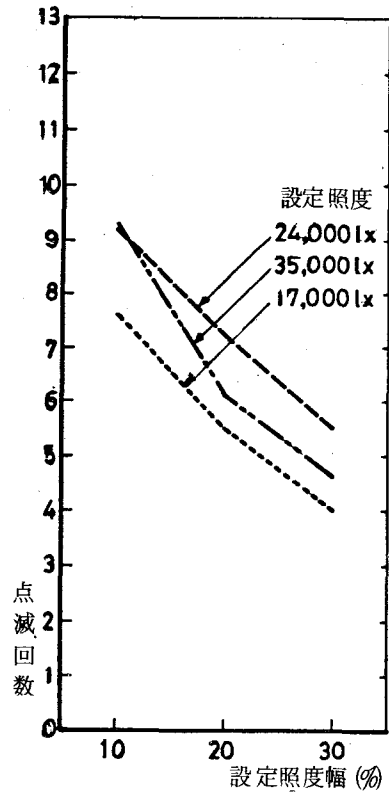


図-7.8 1日平均点減回数
と設定照度幅との関係
(春季の就業時間帯)

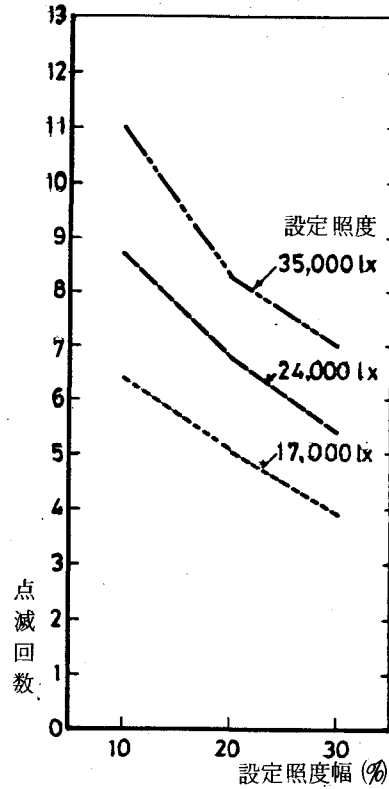


図-7.9 1日平均点減回数
と設定照度幅との関係
(夏季の就業時間帯)

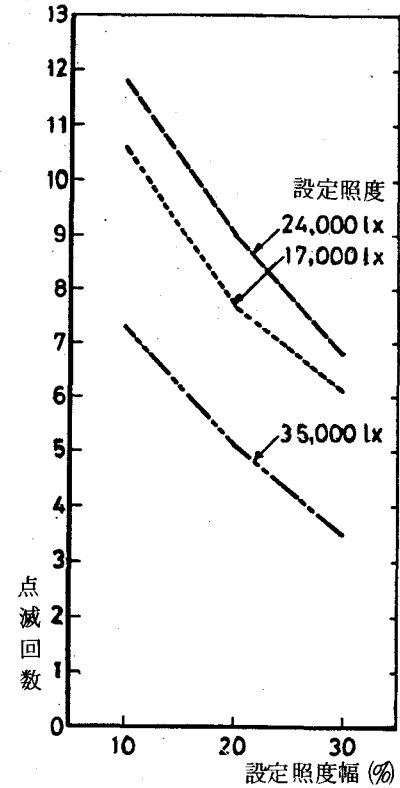


図-7.10 1日平均点減回数
と設定照度幅との関係
(秋季の就業時間帯)

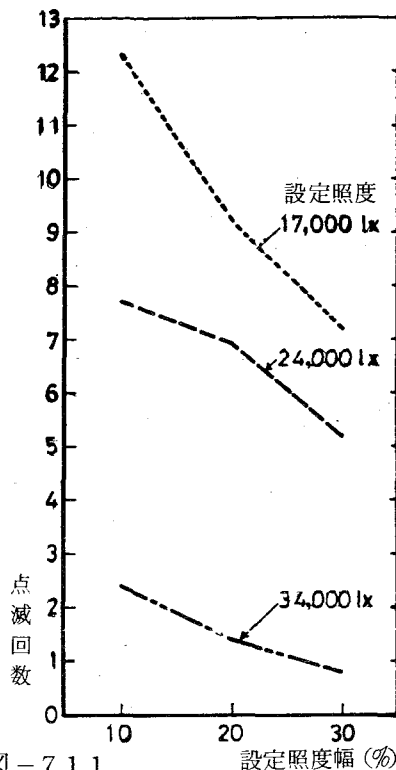


図-7.1.1 1日平均点滅回数と設定照度幅との関係（冬季の就業時間帯）

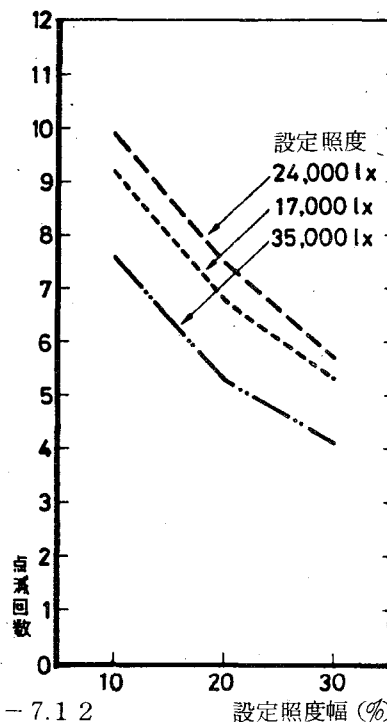


図-7.1.2 1日平均点滅回数と設定照度幅との関係（年間の就業時間帯）

7.3.3 点滅回数の出現率と累積出現率

消灯可能域にある灯器の点滅による作業者の受けるわずらわしさは、必ずしも1日の平均点滅回数で判断することはできない。現実には予想される各日の点滅回数は、天空状態の変動が著しい日には1日40回以上にも及ぶことがあり、点滅回数の出現頻度に検討を加えることも重要と考えられる。

上述の設定照度、照度幅に対して、1年間の測定記録各日について得られた点滅回数から、各点滅回数をもつ日の出現率分布とその累積出現率を求めた結果を図-7.1.3～図-7.1.5に示す。ある回数より多い点滅回数をもつ日の年間全日に対する割合を、これから読みとることができる。図-7.1.3～図-7.1.5から累積出現率10%おきにそれに対応する一日の点滅回数を読みとった結果を表-7.2に示した。ここで、図-7.1.2に示す年間についての1日の平均点滅回数は、いずれの場合も図-7.1.3～図-7.1.5の累積出現率ほぼ65%

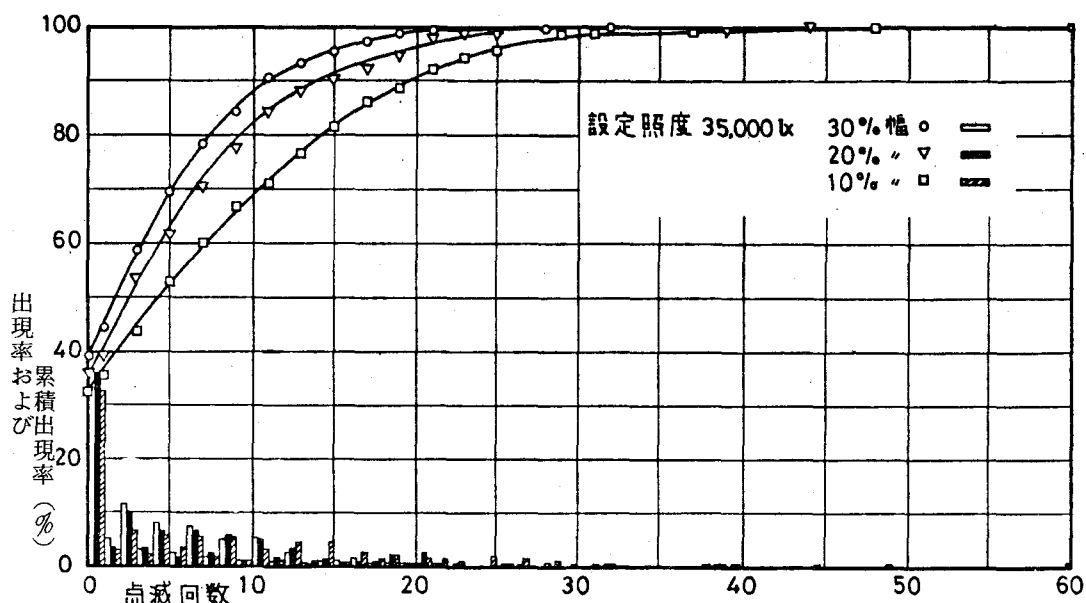


図-7.13 設定照度 (35,000 lx)・照度幅と1日の点滅回数の出現率および累積出現率 (年間の就業時間帯)

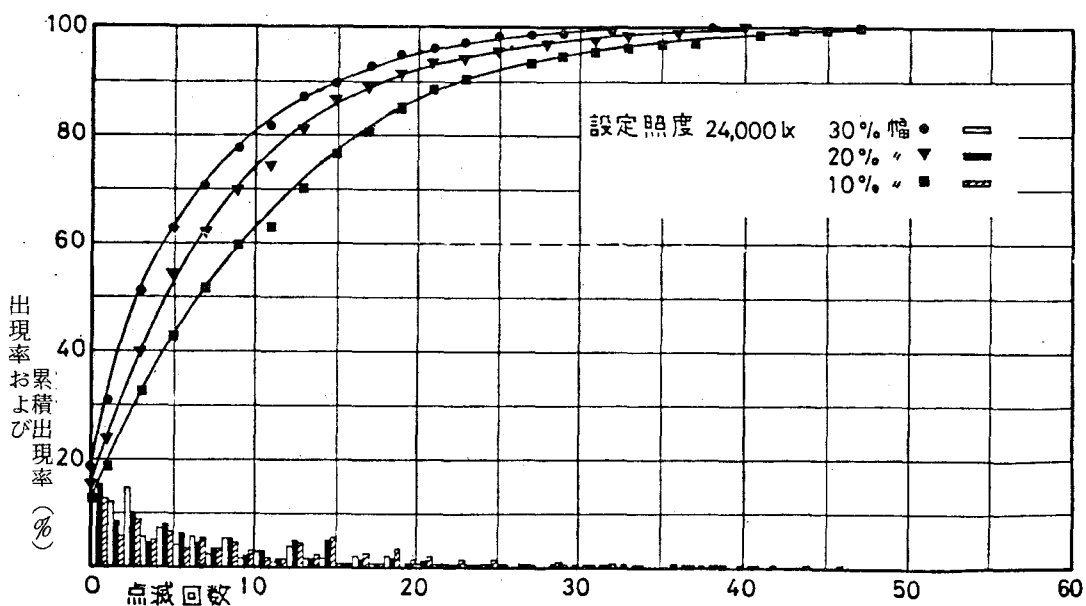


図-7.14 設定照度 (24,000 lx)・照度幅と1日の点滅回数の出現率および累積出現率 (年間の就業時間帯)

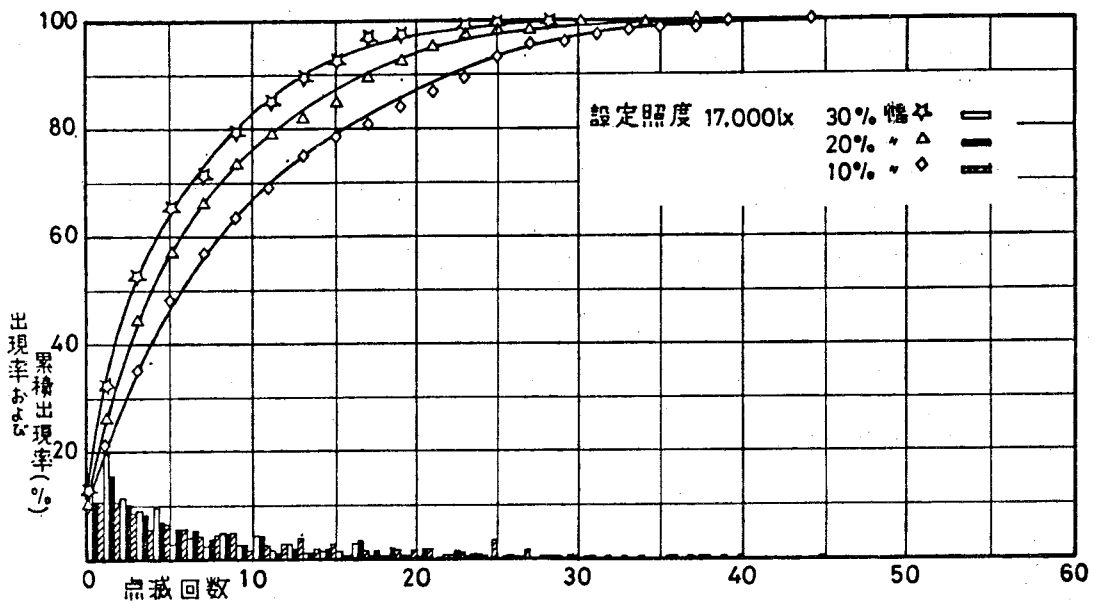


図-7.15 設定照度(17,000lx)・照度幅と1日の点滅回数の出現率および累積出現率 (年間の就業時間帯)

表-7.2 設定照度・照度幅と点滅回数の累積出現率に対応する1日の点滅回数(年間の就業時間帯)

設定照度 (lx)	照度幅 (%)	(回数)									
		累積出現率 (%)									
		90	80	70	60	50	40	30	20	10	
35,000	30	11.0	7.5	5.0	3.5	1.7	0	0	0	0	
	20	14.0	9.0	6.5	4.5	2.5	0.7	0	0	0	
	10	20.0	14.5	10.5	7.0	4.5	1.5	0	0	0	
24,000	30	15.0	9.5	6.5	4.5	3.0	1.5	0.6	0.2	0	
	20	18.0	12.0	9.0	6.5	4.5	3.0	1.5	0.5	0	
	10	22.5	18.5	12.5	9.0	6.5	4.5	2.5	1.0	0	
17,000	30	13.0	9.0	6.5	4.5	3.0	1.5	1.0	0.5	0	
	20	16.5	11.5	8.0	6.0	4.0	2.5	1.5	0.5	0	
	10	22.0	15.5	11.0	8.0	6.0	4.0	2.5	1.0	0.1	

に相当しているということができる。例えば、図-7.12において設定照度 35,000 lx, 照度幅 10% のとき、点滅回数は 7.7 回である。この回数を図-7.13 の横軸にとり、設定照度 35,000 lx, 照度幅 10% の累積出現率曲線上に求めると、縦軸上に累積出現率 65% と読みとることができる。

これらの図表を使用すれば、各設定条件における各点滅回数に対応し、それ

以上の点滅回数をもつ日の出現率，いい換えれば，点滅回数に対する危険率あるいは安全率を予測することができる。

1日の平均点滅回数に関しては，設定照度幅を10%から20%，20%から30%と増加した場合，点滅回数の減少は2～3回にすぎなかったが，一定の点滅回数に対する安全率は，照度幅を増すことによって著しく増加することが本結果より知ることができる。図-7.15を例にとれば，点滅回数の許容値を1日20回とした場合，照度幅10%における安全率は87%に対して，照度幅20%では94%，照度幅30%では98%となり，点滅によるわずらわしさの危険率は著しく減少することがわかる。しかし，先にも述べた通り，設定照度幅の大きいことはそれだけ作業面照度が設計照度を大きく下まわることが許していることになり，この両者のバランスをどのように取るかは昼光利用照明設計時の1つの問題点である。

7.4 冷房期，暖房期の就業時間帯についての消灯率と点滅回数

昼光利用による照明用電力の節減のみを対象とするならば，年間の就業時間帯で考えれば十分である。しかし，建物の消費エネルギー全般の面からは，冷房期と暖房期とを別々に取り扱う必要がある。夏季の消灯は冷房負荷を低減させるに対して，冬季の消灯は暖房負荷を増加させ，両者は効罪相反するからである。このため，年間についてのもののほかに冷房期，暖房期の就業時間帯についての消灯率，点滅回数を予測しうる資料が必要である。

7.4.1 設定照度，照度幅と消灯率

年間の就業時間帯について行ったと同様の方法で，冷房期間（6～9月）及び暖房期間（11～3月）の就業時間帯に関し，実測記録より図-7.1に示す方法で消灯率を求めた。就業時間帯での全天空照度は各期間につき累積出現率に対して表-7.3に示される。冷房期間については，設定照度を44,000lx, 35,000lx, 32,500lx, 24,000lx, 17,000lx, の5種をとり，暖房期間については設定照度を35,000lx, 24,000lx, 17,000lx, 11,500lxの4種をとり，照度幅はいずれも各々10%，20%，30%に設定した。各設定条件に対して得られた消灯率を冷房期間については図-7.16に，暖房期間については図-7.17に示す。両期間についての結果は，いずれも年間の就業時間帯についての場合と同様，設

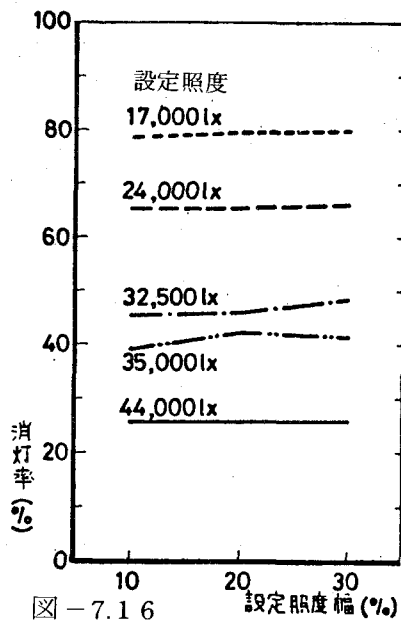


図-7.16 設定照度幅と消灯率との関係
(冷房期の就業時間帯)

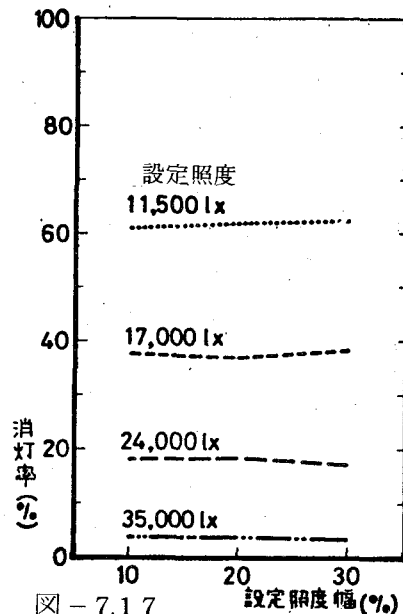


図-7.17 設定照度幅と消灯率との関係
(暖房期の就業時間帯)

定照度幅による消灯率の差は極めて少ない。これら3段階の照度幅に対応する消灯率を設定照度に対してプロットすることにより図-7.18を得た。

昼光利用照明の実施には、点滅回数を減少させるため設定照度に照度幅をもたせる必要があり、この場合の消灯率の予測には図-7.18は有用な資料として活用されるべきものである。

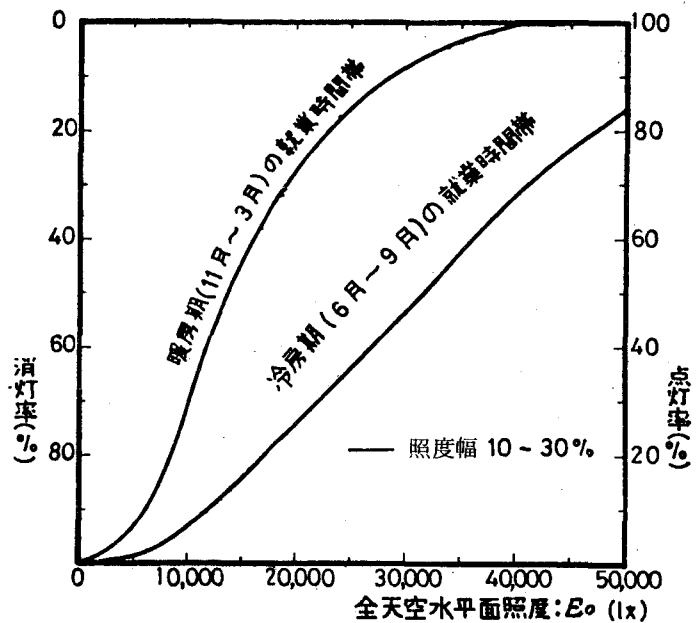


図-7.18 E_0 と消灯(点灯)率の関係
(冷房期・暖房期の就業時間帯)

表 - 7.3 各就業時間帯と昼光利用昼間における
全天空照度累積出現率の対応

(lx)													
期間 \ %	95	90	85	80	70	60	50	40	30	20	15	10	5
年間の就業時間帯	52,000	45,000	39,000	35,000	29,000	24,000	20,000	17,000	14,000	11,000	10,000	8,000	6,000
冷房期の就業時間帯	57,000	52,000	47,000	44,000	38,000	32,500	28,000	24,000	20,000	16,000	14,000	12,000	9,000
暖房期の就業時間帯	34,000	30,000	27,000	24,000	20,000	17,000	14,000	11,500	10,000	8,500	7,500	6,000	4,000
年間の昼光利用昼間	50,000	42,000	36,500	32,000	26,000	21,500	18,000	15,000	12,500	10,000	8,500	7,000	5,000

7.4.2 設定照度，照度幅と1日の平均点滅回数

前章で消灯率を求めたと同様の条件で各期間における1日当りの点滅回数を求め、これより1日の平均点滅回数を算定した結果を図-7.19，図-7.20に示す。いずれにおいても，設定照度幅を増すことによる点滅回数の減少は，年間の就業時間帯とほぼ同様である。点滅回数が多いということは，全天空照

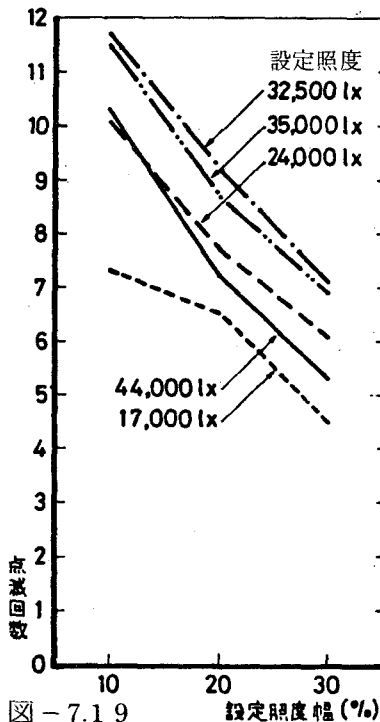


図 - 7.19
1日平均点滅回数と設定照度幅
との関係（冷房期の就業時間帯）

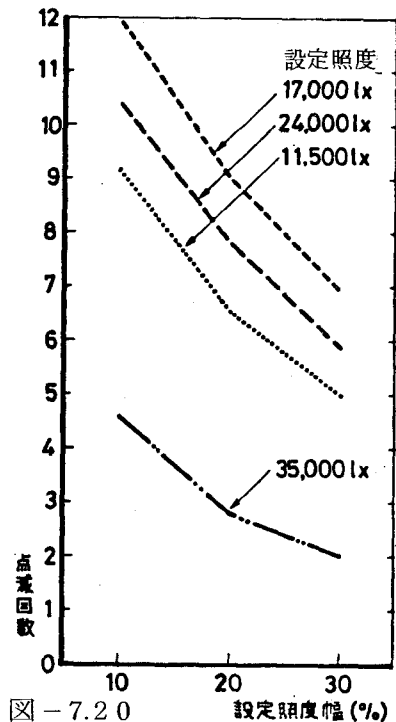


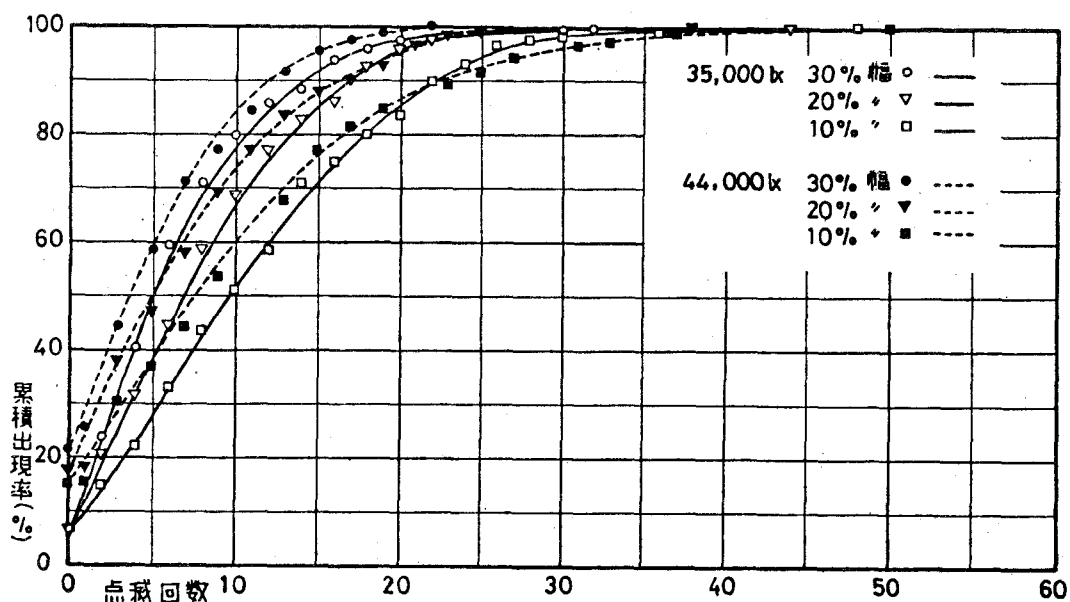
図 - 7.20
1日平均点滅回数と設定照度幅
との関係（暖房期の就業時間帯）

度の出現率が設定照度の付近で高く、ここで変動していることの多いことを意味している。それが、冷房期では 30,000～35,000 lx に、暖房期では 15,000～20,000 lx に相当していると考えられる。図－6.6 に示す全天空照度の出現率が冷房期は 25,000～40,000 lx、暖房期は 10,000～20,000 lx で高くなっていることに対応している。

7.4.3 点滅回数の出現率と累積出現率

冷房期の 6 月から 9 月までの 4 ケ月間の各日について、設定照度 44,000 lx、35,000 lx、32,500 lx、24,000 lx、17,000 lx について、設定照度幅をそれぞれそれらの 10%、20%、30% とした時の 1 日の点滅回数を求めたものから、各点滅回数をもつ日数の累積出現率が得られる。図－7.21～図－7.23 はこうして得られた結果である。これらの累積出現率曲線から各設定条件につき、累積出現率に対応する点滅回数を読みとったものが表－7.4 に示してある。

暖房期の 11 月から 3 月までの 5 ケ月間に対して、上述と同様に設定照度 35,000 lx、24,000 lx、17,000 lx、11,500 lx、設定照度幅を 10%、20%、



図－7.21 設定照度・照度幅と 1 日の点滅回数の出現率および累積出現率
(冷房期の就業時間帯)

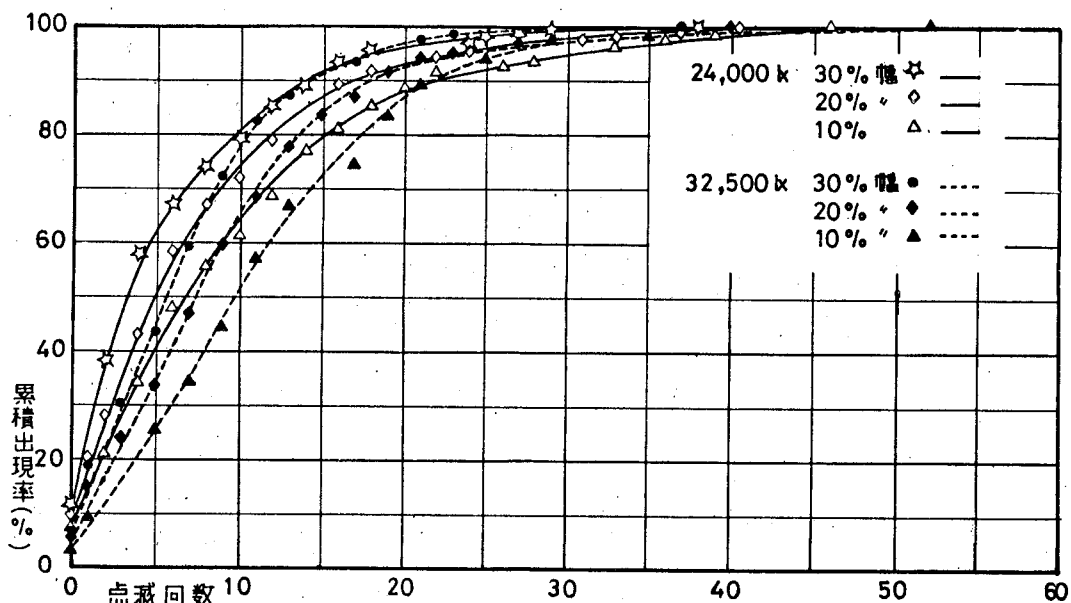


図-7.2.2 設定照度・照度幅と1日の点滅回数の出現率および累積出現率
(冷房期の就業時間帯)

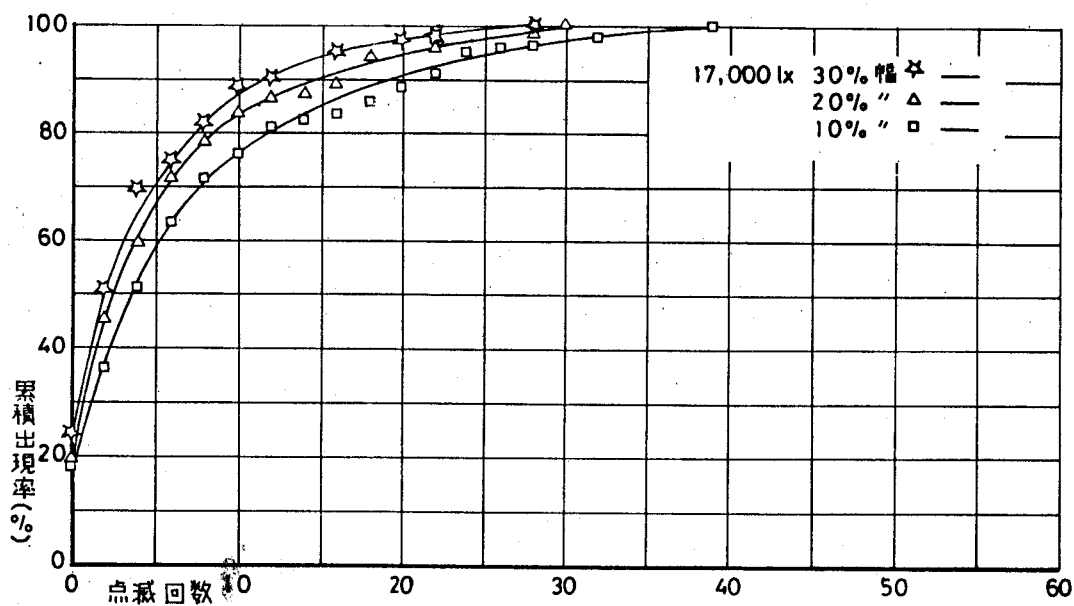


図-7.2.3 設定照度・照度幅と1日の点滅回数の出現率および累積出現率
(冷房期の就業時間帯)

30%として求めた累積出現率曲線が図-7.24, 図-7.25 である。この曲線より, 暖房期の累積出現率に対応する点滅回数を読みとったものを表-7.4 に合せて示してある。この表より, 例えば設定照度を 32,500 lx とした場合,

表-7.4 設定照度・照度幅と点滅回数の累積出現率に
対応する1日の点滅回数
(冷房期・暖房期の就業時間帯) (回数)

	設定照度 (lx)	照度幅 (%)	累 積 出 現 率 (%)								
			90	80	70	60	50	40	30	20	10
冷 房 期 (6 月 ~ 9 月)	44,000	30	11.0	9.0	7.0	5.0	3.5	2.5	1.0	0	0
		20	16.5	12.0	9.0	7.0	5.0	3.5	2.0	0.5	0
		10	22.0	16.5	13.0	10.0	7.5	5.5	3.0	1.0	0
	35,000	30	14.5	10.5	8.0	6.5	5.0	4.0	3.0	1.5	0.5
		20	17.0	13.5	10.5	8.5	7.0	5.5	3.5	2.0	0.5
		10	22.0	18.0	14.5	12.0	9.5	7.5	5.5	3.5	1.0
	32,500	30	14.5	10.5	8.5	7.0	5.5	4.5	3.0	1.5	0.3
		20	18.0	13.5	11.0	9.0	7.5	6.0	4.0	2.5	1.0
		10	22.0	17.5	14.5	12.0	9.5	8.0	6.0	3.5	1.5
	24,000	30	14.0	10.0	6.5	4.5	3.5	2.5	1.5	0.5	0
		20	17.0	12.0	9.0	6.5	5.0	3.5	2.5	1.5	0.1
		10	22.0	15.5	11.5	9.0	6.5	5.0	3.5	2.0	0.3
暖 房 期 (11 月 ~ 3 月)	35,000	30	18.0	15.0	12.5	10.0	8.0	6.5	5.0	3.5	1.5
		20	25.5	18.5	15.5	13.0	10.5	8.0	6.5	4.5	3.0
		10	30.5	26.0	22.0	18.5	15.5	12.5	10.0	7.5	4.5
	24,000	30	24.0	19.5	16.5	13.5	11.5	9.0	7.5	5.5	3.5
		20	31.0	25.5	20.5	16.5	14.0	12.0	9.5	7.5	4.5
		10	36.5	29.5	24.5	21.0	18.0	15.5	12.5	10.0	6.5
	17,000	30	20.5	17.0	14.5	12.5	10.5	9.0	7.0	5.0	3.0
		20	25.0	20.5	18.0	16.0	14.0	12.0	9.5	7.0	4.5
		10	33.0	28.0	24.0	21.0	18.0	15.0	12.0	10.0	6.5
	11,500	30	20.0	14.0	11.0	9.0	7.5	6.0	4.7	3.5	2.0
		20	27.0	19.5	15.0	12.0	10.0	8.0	6.5	4.5	2.8
		10	31.5	24.5	20.0	17.0	14.5	12.0	10.0	7.5	5.0

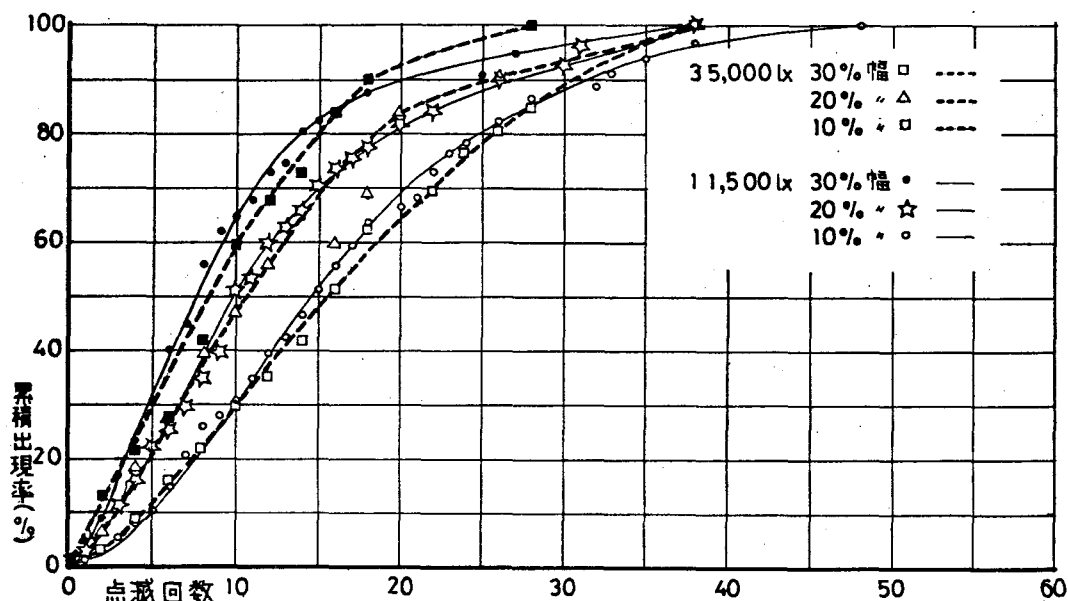


図-7.2.4 設定照度・照度幅と1日の点減回数の出現率および累積出現率
(暖房期の就業時間帯)

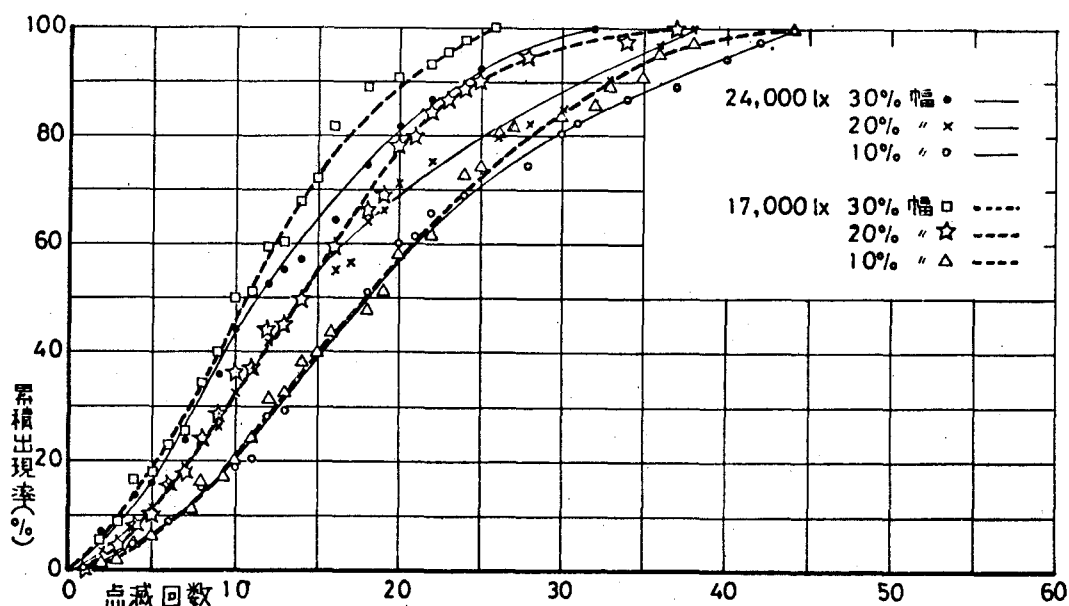


図-7.2.5 設定照度・照度幅と1日の点減回数の出現率および累積出現率
(暖房期の就業時間帯)

照度幅を10%に設定すると、全冷房期間の60%に相当する日の1日の点滅回数が12回以下であり、照度幅を30%に上げると同じく7回以下であると読みとることが出来る。1日あたりの点滅回数をこの表によって予測し、それらを考慮して設定照度および設定照度幅を決めることができる。

参 考 文 献

- 1) 大野治代，伊藤克三，佐藤隆二：昼光利用照明時の点滅頻度と消灯率（夏期就業時間帯），昭和53年度照明学会全国大会講演論文集 № 70
- 2) 伊藤克三，大野治代，佐藤隆二：昼光利用照明設計時の就業時間帯での消灯率と点滅回数，日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭53）33
- 3) 伊藤克三，大野治代，佐藤隆二：昼光利用照明設計時の消灯率と点滅回数（年間の就業時間帯について），日本建築学会大会学術講演梗概集（昭53）77
- 4) 大野治代，伊藤克三，佐藤隆二：昼光利用照明設計に関する研究（その2）－就業時間帯における消灯率，点滅ひん度と昼光利用照明設計法，照明学会雑誌，Vol. 62，№11（昭53）12
- 5) 照明教室36，財団法人照明学会版（昭49）23
- 6) 赤木尚輝：萩市庁舎の照明設備，建築と社会，Vol. 58，№664（昭52）59

第8章 昼光利用照明の設計法^{1),2)}

8.1 概 要

室内設計をするにあたり、従来から行われた人工照明のみにより所要照度を確保することを前提とするのではなく、昼間時に光源となりうる窓面からの昼光と、照明器具の人工光とによるバランスのとれた併用照明を行うことが、実態に沿った昼光利用照明設計法であり、結果的に省エネルギーとなりうると思われる。

石油ショックまでの併用照明の考え方は、昼光は人工照明による室内の照明条件を乱すものとして取り扱われ、昼光付加に伴って生じるグレアやシルエット現象などを、窓際の増灯により解決しようとするものであった。それが近年の省エネルギー政策により、昼光利用照明することにより、窓際の灯器を消灯し、室内設計照度を確保しようとする照度バランス形の昼光利用照明の方向が打ち出された。

本来の併用照明は、単なる照度バランスではなく、視作業性全般の視環境の快適性を追求すべきものであるが、本章では、前章までに得られた全天空照度に関する資料にもとづき、室内の昼光利用の可能な範囲にある灯器を可能な限り消灯しようとする照度バランス形の昼光利用照明設計法について検討することにする。

8.2 昼光利用照明設計法

昼光利用照明設計法は、窓際灯器の消灯により窓近くの照度が設計照度を下まわるこの不足分を昼光照明により補うことにより、室内設計照度を満たそうとするものである。^{3) 4)} 本昼光利用照明の設計方向として、次の2つが考えられる。1つは、灯器の消灯率を決め、この消灯率に見合う消灯ラインの位置を決定する方向、いま1つは、あらかじめ決められた灯器の配列より消灯ラインを選択し、消灯域にある灯器の消灯率を求める方向である。これらを、本研究で得た資料にもとづき簡易に行いうるよう図表化するのがここでの目的である。

十分な大きさをもつ一般事務室にあっては、窓に平行な第1列あるいはそれ以上の列までの灯器をすべて消灯した場合、窓から最も遠い消灯列と次の点灯列との中央点直下における人工照明による照度は、設計照度の $\frac{1}{2}$ 以上あること

が、事務所照明用の一般的な下面開放型蛍光灯器の場合における実測により明らかになった。⁵⁾測定を行った事務室の断面に、人工照明および昼光による照度分布を表わしたものが図－8.1である。破線は、人工照明による全点灯、窓際1列消灯ならびに窓際2列消灯の場合における照度分布を示している。ここで、消灯列と次にある点灯列との中央点直下を通る窓に平行な線を消灯ライン、このラインよりも窓側にある範囲を消灯域と称している。図中の1列消灯の場合の消灯ラインは O_1 、この場合の消灯域は窓から2.6 mまでの範囲、2列消灯の場合の消灯ラインは O_2 、この場合の消灯域は窓から4.4 mまでの範囲をいう。この室内の設計照度は1,500 lxを示し、1列消灯の場合は O_1 で950 lx、2列消灯の場合は O_2 で950 lxが得られており、いずれも設計照度の $\frac{1}{2}$ 以上の値を示している。

この事実より、消灯ラインにおける昼光照度が設計照度の $\frac{1}{2}$ を満たしておれば、消灯域の灯器を消灯しても室内設計照度が十分確保されることになる。実測した事務室の昼光率分布を図－8.2の平面上および、図－8.1の細い実線に示す。図－8.2の破線は天井灯器の位置を表わしている。この図の AA' 、 BB' 断面において、人工照明による照度分布を実測した結果、両者の測定値に差異は認められず、いずれも図－8.1に示す破線の照度分布で代表されることが確かめられている。これらの照度分布より、窓際方向への天空光による照度の増大は、灯器による照度の減少よりも一般に大であるので、窓際の消灯域における全灯器を消灯しても、消灯域において十分設計照度を確保できることになる。図－8.1に細い破線で示してあるのは、昼光による照度分布である。これは全天空照度（以下 E_0 とする）が10,000 lxあれば、1列消灯の場合の消灯ライン O_1 において設計照度の $\frac{1}{2} = 750$ lxの照度が得られ、 $E_0 = 26,000$ lxあれば、2列消灯の場合の消灯ライン O_2 において設計照度の $\frac{1}{2}$ の照度が得られることを表わしている。

太い実線は、昼光と人工光を併用した場合の室内における照度分布を表わしている。これは1列消灯および2列消灯の場合の昼光と人工光併用による照度分布を表わし、かつ、昼光利用照明による室内設計照度が十分満足されていることを示している。ここに掲げた $E_0 = 10,000$ lxは図－4.4の累積出現率20%（太陽高度 10° 以上）の値であり、残りの80%はそれ以上の E_0 を得ることができ、1列消灯の場合の消灯率は80%であり、 $E_0 = 26,000$ lxは累積出現

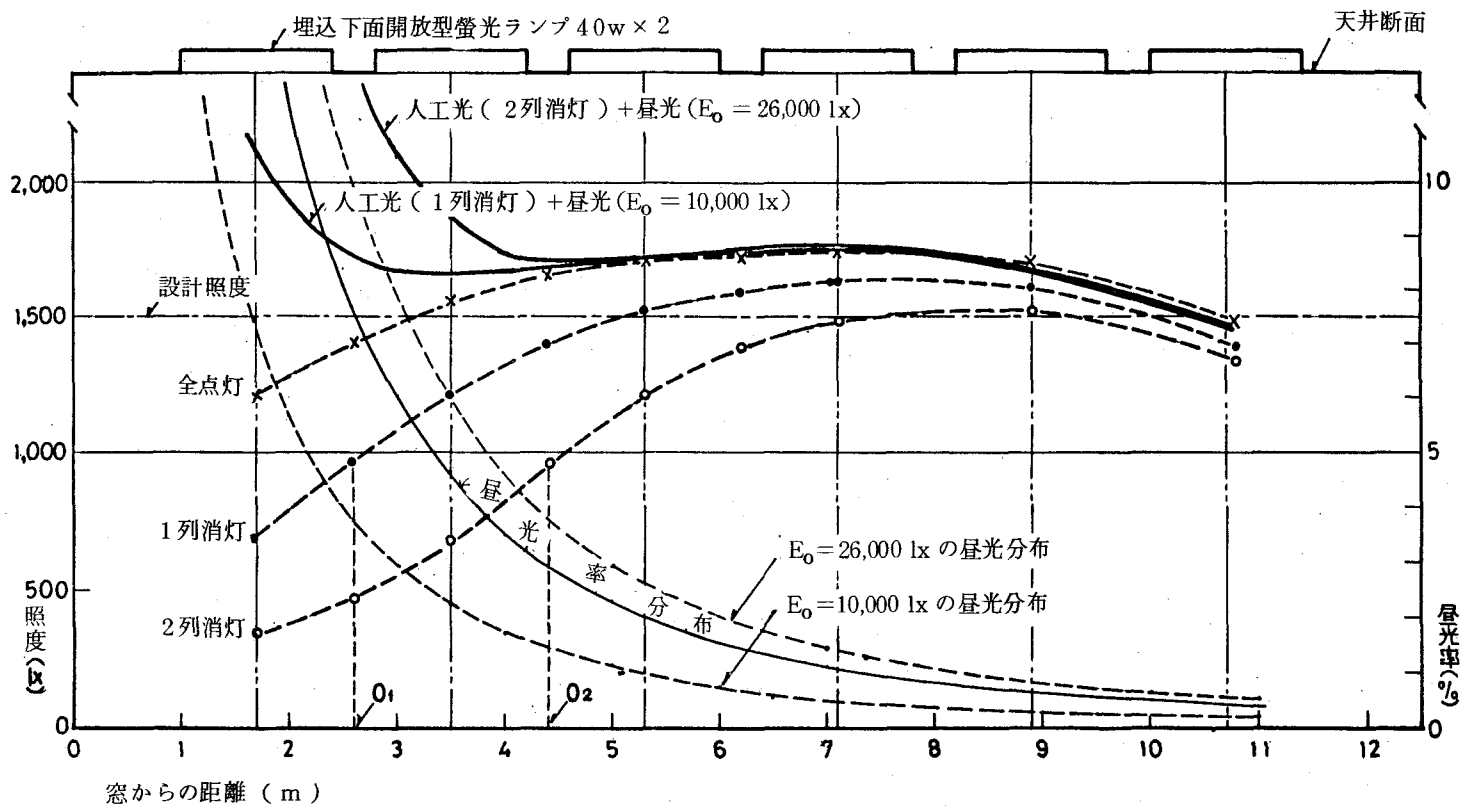


図 - 8.1 作業面照度分布例

率 70 % の値であり，消灯域に対し 30 % の消灯率であることを示すものである。

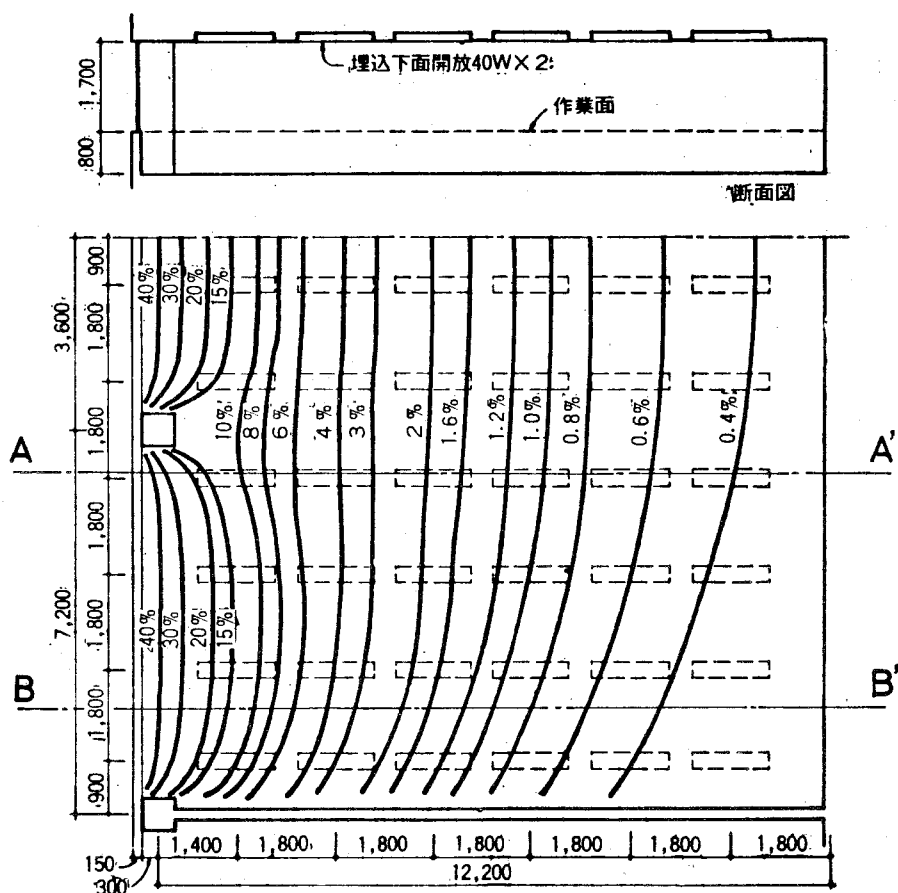


図 - 8.2 作業面の直接昼光率分布例

8.3 作業面照度

全天空照度 E_o の天空光による室内作業面照度 E は，その位置の昼光率を U (%) とすれば，

$$E = E_o \cdot U / 100 \quad \dots\dots\dots (8.1)$$

ここで， $U = U_d + U_r$

U_d : 直接昼光率

U_r : 間接昼光率

U_d , U_r は，窓前の状況，室と窓の形状，室内面の反射率などの条件が与えられれば詳しく計算することができるが，大体の数値を簡易に求められるよう

に同図の右上に示される一般事務室につき計算した結果を図表化したものが図－8.3である。

図－8.3は直接昼光率の算定図表である。直接昼光率は窓の中心線上で考え、窓幅が広い場合には窓幅無限長と考えて大きな差異を生じないので、ここでは窓幅無限長とした場合の昼光率を実用図表として用意した。この図の右上に示す事務室の窓前建物の輝度を天空輝度の $1/10$ として、天空及び建物による直接昼光率を求めた結果を同図は表わしている。この図において、窓の高さ： H 、天空輝度： L 、窓から窓前建物屋上までの仰角： θ 、当該建物より窓前建物までの距離： D 、昼光率検討点までの窓からの距離： d 、天井高： h としている。

この場合の間接昼光率 U_r (%)は、図－8.3に示す窓幅無限長の室で、室内一様と仮定すれば、次式で近似的に表わすことができる。

$$U_r = U_w \frac{\rho H}{2(1-\rho)(h+l)} \dots\dots\dots (8.2)$$

ただし、 U_w ：窓中央における窓面昼光率(%)

ρ ：室内表面の平均反射率

h ：天井高(m)

l ：室の奥行(m)

H ：窓の高さ(m)

すなわち、室の断面寸法、室の窓面昼光率、室内平均反射率が決まれば、 U_r が決まるので、間接昼光率の算定図表をあらかじめ用意しておけばよい。図－8.4は、8.2式より簡単のため $H=h$ とした時の図表であり、実際の場合より多少大きな U_r を与えるけれども、窓の高さが極端に小さい場合を除けば、普通の事務室にこの図を利用しても差支えないと考える。この図は、室内の平均反射率を縦軸に、横軸に室の奥行(窓の高さとの比)をとり、 U_w を一定とした場合に得られる同じ U_r を曲線で結んだものである。 U_w は、窓前建物の仰角： θ で決まるので、別途 θ による U_w を数表にしておけば、図－8.4の値に、 U_w の値を乗ずれば、 U_r の値が求まる。

窓面昼光率 U_w は窓面の中点からの障害物の仰角を θ とし、障害物ならびに地面の輝度を天空の $1/10$ とすれば次式で求められる。

$$U_w = \left\{ \frac{1}{2} (1 - \sin \theta) + \frac{0.1}{2} (1 + \sin \theta) \right\} \times 100 \quad (\%)$$

$\theta = 0^\circ$ のとき

$$U_w = \left(\frac{1}{2} + \frac{0.1}{2} \right) \times 100 = 55.00 \quad (\%)$$

$\theta = 15^\circ$ のとき

$$U_w = \left\{ \frac{1}{2} (1 - 0.259) + \frac{0.1}{2} (1 + 0.259) \right\} \times 100 = 43.35 \quad (\%)$$

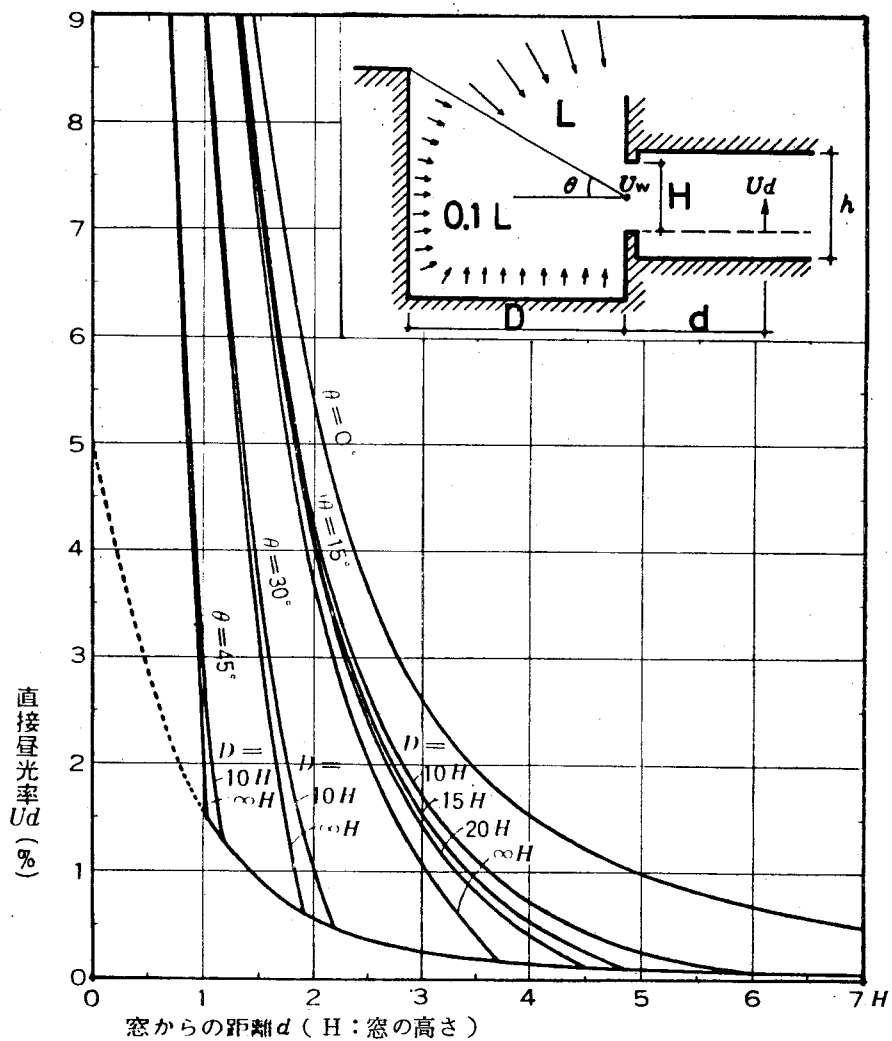


図-8.3 直接昼光率の分布 (窓幅無限長の場合)

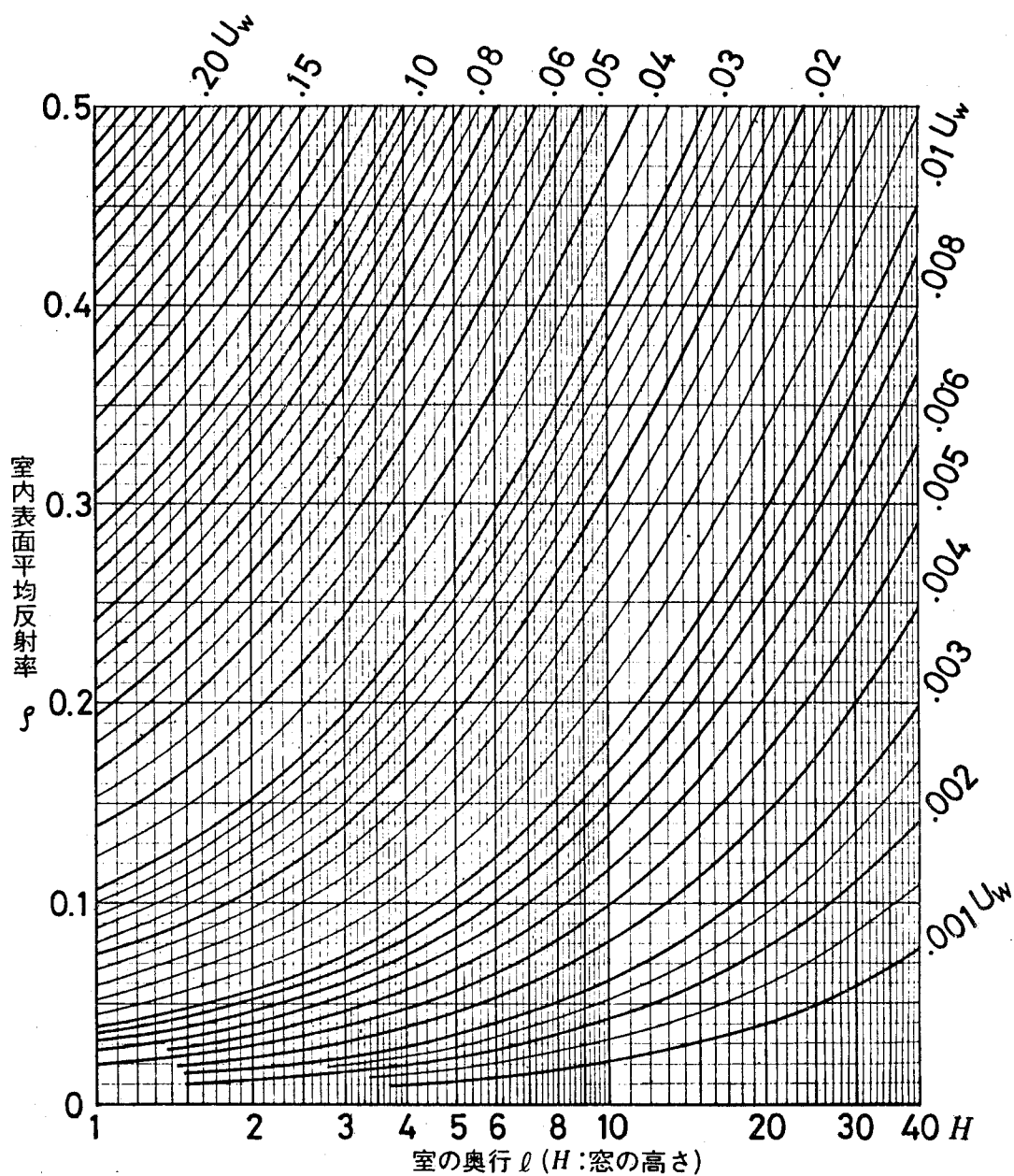


図 - 8.4 間接昼光率算定図表 (窓幅無限長の場合)

8.4 昼光利用照明の設計法

昼光利用照明を行う場合に、一般に用いられている蛍光灯器具による全般照明の事務室では、消灯ラインにおける昼光照度が設計照度の $\frac{1}{2}$ あれば室内の設計照度が満足され、かつ安全設計となることを2節で述べた。従って、昼光利用照明設計を行う際の検討は、消灯ラインにおける昼光の照度を知ることであり、これの簡便な検討用図表があれば容易に予測することができる。

そこで、前章まで検討してきた全天空照度の年間、暖房期、冷房期の就業時

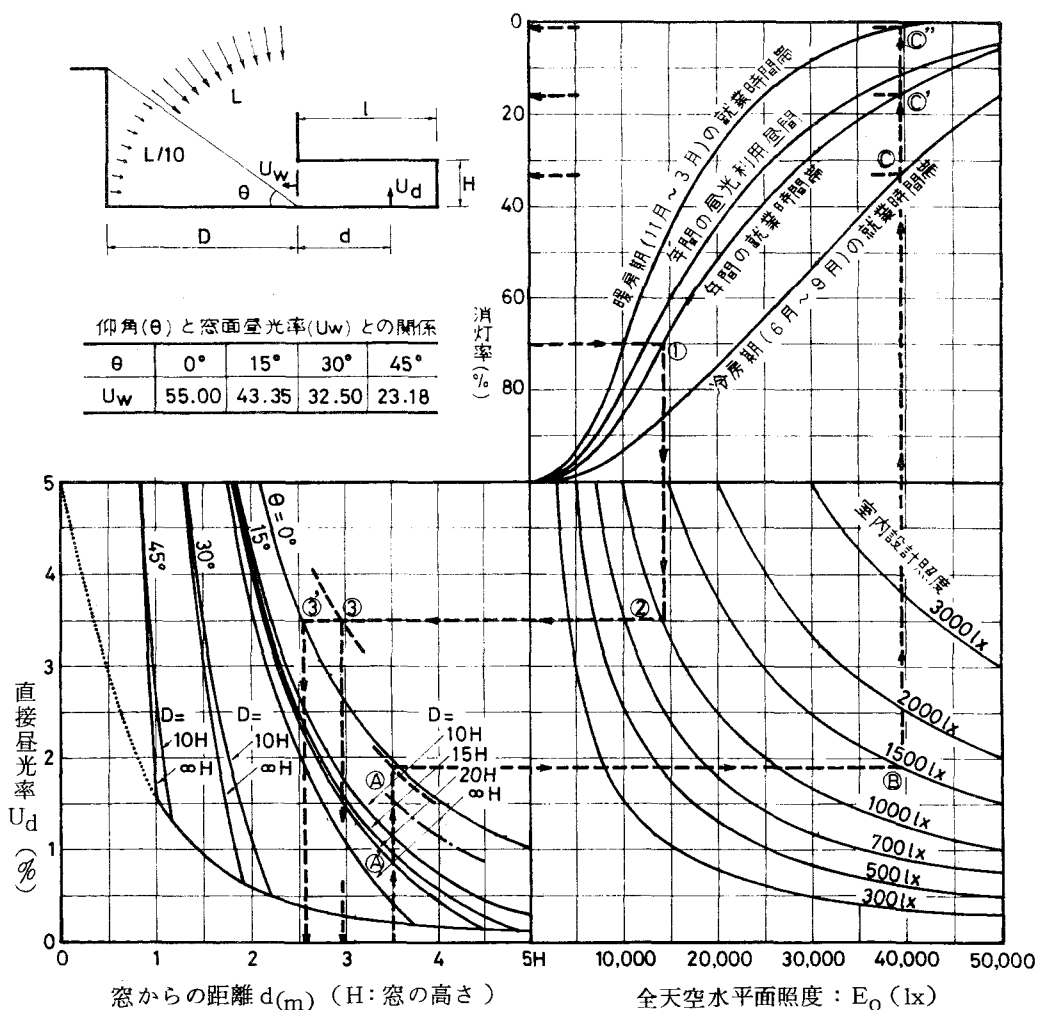


図 - 8.5 昼光利用照明の設計用図表

間帯の消灯率および年間の昼光利用昼間の累積出現率を消灯率で読みかえた曲線と、図－8.3で掲げた直接昼光率分布曲線とを組合わせ、室内設計照度に対して図上で消灯率あるいは消灯範囲を求めうるよう図表化したものが図－8.5である。この図を使用した場合の設計例として、消灯率よりその時の消灯域（消灯ライン）を求める場合と、消灯ラインより消灯率を求める場合について以下に述べる。ただし、この場合は室内における間接昼光率は無視したものであり、これを考慮する場合には図－8.4を補助に用いることになる。

8.4.1 消灯率から消灯域（消灯ライン）を求める場合

設計対象：窓前に障害物のない超高層ビル上階にある片側採光の事務室

窓の高さ： $H = 1.5 \text{ m}$ ， 室の奥行： $l = 12 \text{ m} = 8 H$

室内面平均反射率： $\rho = 0.2$ ， 室内設計照度： $E = 1,000 \text{ lx}$

設定消灯率：年間の就業時間帯の70%

以上の条件より消灯ラインを求めるには、次のようにすればよい。消灯率70%に対応する年間の就業時間帯における E_0 は、図－8.5の①で示される14,500 lxである。この時の室内設計照度1,000 lxの $\frac{1}{2}$ に相当する照度を得るための所要昼光率 U_d は、この図の②に示される3.5%である。この場合の対向建物の仰角 $\theta = 0^\circ$ である。 $\theta = 0^\circ$ の昼光率分布曲線と $U_d = 3.5\%$ の交点③'より垂線を下し、窓からの距離： $d = 2.6 H$ と読める位置が消灯ラインとして求まる。これは U_d だけを対象とした場合であるので、間接昼光率 U_r を併せて考える場合には図－8.4を必要とする。この図より、縦軸の $\rho = 0.2$ と、横軸の $l = 8 H$ の交点における $U_r = 0.014 U_w$ と読みとることができる。窓面昼光率 U_w は θ によって決まる。 $\theta = 0^\circ$ のとき、 $U_w = 55\%$ であるので、 $U_r = 0.014 \times 0.55 = 0.77(\%)$ が得られる。 $U = U_d + U_r = 3.5 + 0.77 = 4.27(\%)$ が求まる。 $\theta = 0^\circ$ の U_d 曲線に U_r を加えた昼光率曲線（破線）を描き、この破線と横軸 $U_d = 3.5\%$ の交点③より垂直に下ろした所が $d = 3.0 H = 3.0 \times 1.5 = 4.5 \text{ m}$ となる。従ってこの設計対象の室内では窓から4.5 mの位置に消灯ラインがあり、このラインまでの灯器は消灯可能であるといえる。

8.4.2 消灯ラインにおける消灯率を求める場合

設計対象：窓の外側40 mに仰角 15° の障害物のある片側採光の事務室：

$$(\theta = 15^\circ \quad D = 40 \text{ m} = 20 H),$$

窓の高さ： $H = 2.0 \text{ m}$ ， 室の奥行： $l = 14 \text{ m} = 7 H$

室内面平均反射率： $\rho = 0.28$ ， 室内設計照度： $E = 1,500 \text{ lx}$

設計用消灯ライン：窓からの距離 $d = 7 \text{ m} = 3.5 H$

以上の条件より消灯ラインにおける消灯率は次のように求められる。(図-8.5 参照)。窓からの距離 $d = 3.5 H$ からはじめる。この点より上方に矢印で示した直線と、 $\theta = 15^\circ$ で $D = 20 H$ の曲線との交点を A' とする。一方、 U_r は図-8.4より $l = 7 H$ と $\rho = 0.28$ の交点より $U_r = 0.024 U_w$ と読みとる。この時の昼光率 U は、 $\theta = 15^\circ$ のとき $U_w = 43.35$ であるから、 $U_r = 0.024 \times 43.35 = 1.04 (\%)$ となる。従って、直接昼光率曲線に 1.04% を加えた破線上の④が全昼光率となり、これを設計照度 $1,500 \text{ lx}$ の曲線と交わせその交点を⑤とする。⑤より垂直上方に引いた直線が消灯率曲線と交る点を⑥、⑥'、⑥''とすると、これら三点を消灯率の縦軸に対応させ、⑥からは冷房期の就業時間帯での消灯率 33% 、⑥'からは年間の就業時間帯での消灯率 16% 、⑥''からは暖房期の就業時間帯での消灯率 1% をそれぞれ読みとることができる。

参 考 文 献

- 1) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代：昼光利用照明の設計方法，昭和52年度照明学会全国大会講演論文集 No. 88
- 2) 大野治代，伊藤克三，佐藤隆二：昼光利用照明設計に関する研究(その2) - 就業時間帯における消灯率，点滅ひん度と昼光利用照明設計法 - 照明学会雑誌，Vol. 62, No. 11, (昭53) 12
- 3) 関西支部照明環境評価法研究委員会，主査 松浦邦男：省エネルギーのための窓際消灯範囲決定方法，照明学会雑誌 Vol. 62, No. 2 (昭53) 111
- 4) 佐藤隆二：事務所ビルにおける昼光利用照明，建築と社会 Vol. 58, No. 664 (昭52) 44
- 5) 照明環境評価法研究委員会：人工照明の照度分布実測例(大林ビル) (昭52)

第9章 昼光，人工光併用照明の視作業性 に関する研究^{1),2),5)~14)}

9.1 概 要

昼光と人工光の両者併用された照明環境を対象とした照明設計に関する研究は、1959年頃英国のBRSにおけるR.G. Hopkinsonらの研究にはじまり、次第に昼光付加による室内視環境条件の質的低下を窓際灯器の増灯により防止して、室内視環境の向上を図る方向に向っていた。それが1973年の石油ショック以来、昼光と人工光による併用照明の目標が、昼光によって室内設定照度が満足されるかぎり灯器を消灯することにより、エネルギーを節減しようとする照度バランス形昼光利用照明にその方向が転じられた。

しかしながら、こうした照明設計は本質的には照度設計であり、今日考えられている視覚に基づく視環境照明設計の考え方からすれば、逆行しているといえるものであることは既に指摘した通りである。

併用照明においても、この両者併用した場合の作業性、即ち視対象の見やすさが保障されるべきであり、これに見合った設計の行われることが真の照明設計であると考ええる。

本章は、上述の考えに基づき、これまで筆者らの行ってきた視覚にもとづく照明設計の考え方を併用照明に適用し、併用照明設計の今後のあり方に検討を加えようとするものである。

9.2 標準視作業による見やすさの評価法

視作業において、視対象の視認に影響する要素として次のものがあげられる。即ち、視対象物の大きさ、輝度対比、背景輝度（順応輝度）、時間の4要素である。一般的な室内作業として教室、事務室における作業を考えれば、その視作業の殆んどは文字の視認であり、この場合時間の要素はこれを無視して差支えない。従って、見やすさに影響を及ぼすのは先の3因子であると考えられる。ランドルト環視標を用いて閾状態におけるこの3因子の組合せを被験者実験より求めた結果を図表化したものが、標準等視力曲線³⁾⁴⁾である。視作業対象の大きさに等価なランドルト環の大きさ⁵⁾⁶⁾さえ決めれば、この等視力曲線を用いて

視対象の閾条件における輝度，輝度対比^{7) 8)}を知ることができる。

実際の作業においては，視認できる閾状態では事実上作業能率を上げることは不可能であり，作業性の評価には読み易さの程度を示す指標⁹⁾が必要である。その指標として，等視力曲線を用いて評価対象視条件の3因子のうち2因子に対応する第3因子の閾値を求め，評価対象の第3因子のこの閾値からの距離（倍率）を用い，見やすさのレベルとすることができる。

このレベルに対応した読みやすさの主観量を実験的に求めておけば，読み易さを目標とした照明設計が可能である。

これを技術的に行うためには，一定の反射特性を有する標準作業を設定^{10) 11) 12)}し，これを一定の標準視方向から見たときの見やすさを評価する方法^{13) 14)}をとることになる。

このような考えから，最も頻度の高い正常な視方向として反射角 30° を視方向に選定し，あらかじめ最も視条件として厳しいと考えられる反射特性を有する印刷面を標準サンプル^{8) 9)}とし，そのサンプルの反射特性 $\rho = L/E$ （ L ：輝度， E ：照度）を入射方位，入射角で読み取ったものから実用に便利のように図表化しておけば，このような考え方による照明設計も必ずしも困難ではない。

点光源¹³⁾，面光源¹⁴⁾に関する実用図表の詳細については参考文献にゆずり省略するが，ここでは，上述の方法を併用照明時に適用しこれを見やすさの観点から検討しようとするものである。

9.3 人工照明による照度分布ならびに標準作業の視方向への輝度

および輝度分布

9.3.1 灯器による照度ならびに標準作業の輝度

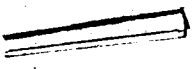
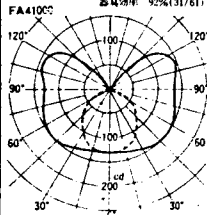
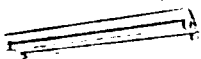
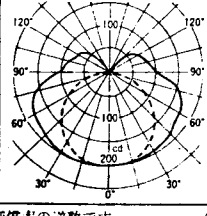
灯器による作業面の照度分布，あるいは標準作業の見え方を予測するには，近似的にこれを点光源とみなすこともある。しかし，一般事務室では作業面から灯器までの高さが蛍光灯の長さに比べあまり大でないため，ランプの大きさを無視して点光源として取扱っては，正しい結果を得ることは不可能である。

これまでに，標準作業の視方向への輝度予測に関して，点光源，面光源（等輝度完全拡散面光源）の場合について，これが簡易に求められる実用図表^{13) 14)}を作成し報告してきた。これらを蛍光灯による人工照明に適用することは出来

ないので、別にこれを求める必要がある。

広く使用されている富士型40W 2灯用(表-9.1)の蛍光灯器一灯に対し、それによる作業面上の照度分布、並びにそれに対する標準作業の輝度係数を実測により求めた。いずれの場合にも、作業面からの取付け高さによりその分布は異なることになるが、一般事務室を対象に考えれば一定とみなして大きな誤りなく実用に供しうるので、これを1.84mに固定し、作業面での照度分布および視標の輝度を求めた。

表-9.1 照明率表¹⁵⁾

照 明 器 具	配 光 曲 線 *4 (ランプ光束 1,000lm)	保 守 率*1 器具間隔*2 最大限	反 射 率 天井 壁 床	照 明 率 *5											
				80%			70%			50%			30%		
				50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
富士型 (1灯用) FA41000 FA 81002 FA41001 FA 81003 FA41010 	FA41000 器具間隔 92%(31/61) 	保守率 良 .80 中 .75 否 .70 器具間隔 最大限 1.4H	0.6 (J)	.24	.18	.13	.24	.18	.13	.23	.17	.13	.17	.13	.12
			0.8 (I)	.30	.24	.19	.31	.24	.19	.30	.23	.18	.22	.18	.17
			1.0 (H)	.38	.30	.24	.37	.29	.23	.35	.28	.23	.27	.22	.21
			1.25 (G)	.45	.36	.30	.43	.35	.29	.39	.33	.28	.31	.27	.25
			1.5 (F)	.50	.41	.34	.48	.40	.33	.44	.37	.32	.35	.30	.28
			2.0 (E)	.56	.48	.41	.54	.46	.40	.50	.44	.38	.40	.36	.32
			2.5 (D)	.62	.54	.47	.59	.52	.46	.54	.48	.43	.45	.41	.36
			3.0 (C)	.66	.58	.52	.63	.56	.50	.57	.52	.47	.47	.44	.38
			4.0 (B)	.71	.65	.59	.68	.62	.57	.62	.57	.53	.52	.49	.41
			5.0 (A)	.75	.70	.65	.72	.67	.62	.65	.61	.58	.56	.53	.44
富士型 (2・3灯用) FA 42000 FA 82002 FA 42005 FA 82003 FA 42008 FA 43000 	FA 42000 器具間隔 80%(16/73) 	保守率 良 .80 中 .75 否 .70 器具間隔 最大限 1.4H	0.6 (J)	.35	.28	.23	.34	.27	.22	.32	.26	.21	.25	.21	.18
			0.8 (I)	.43	.36	.30	.42	.35	.29	.39	.33	.28	.31	.27	.24
			1.0 (H)	.50	.42	.36	.48	.41	.35	.45	.39	.34	.37	.32	.29
			1.25 (G)	.55	.48	.42	.54	.47	.41	.50	.44	.39	.41	.37	.33
			1.5 (F)	.59	.52	.46	.57	.51	.45	.53	.48	.43	.45	.41	.36
			2.0 (E)	.65	.59	.53	.63	.57	.52	.59	.53	.49	.50	.46	.41
			2.5 (D)	.69	.63	.58	.67	.61	.56	.62	.58	.53	.54	.51	.45
			3.0 (C)	.73	.67	.62	.70	.65	.60	.65	.61	.57	.57	.54	.48
			4.0 (B)	.76	.72	.67	.74	.69	.65	.69	.65	.62	.61	.58	.52
			5.0 (A)	.79	.75	.71	.76	.72	.69	.71	.68	.65	.64	.61	.55

- *1 保守率は減光補償率の逆数です。
 *2 H=作業面より光源までの高さ
 *3 床反射率30%の場合の倍率は30以下を照
 *4 たとえば、白色蛍光灯40W 2灯用器具を使用する場合、そのランプ光束は3200lm×2ですから、
 上図の数値を3200×2÷1000 6.4倍して下さい。
 *5 左端の照明器具標の品名(品番)の後に係数のあるものは、照明率、配光曲線の光度値に、この係数を掛けて下さい。
 *6 配光曲線の実線は管軸に垂直な断面内(縦方向)の配光、点線は管軸に平行な断面内(横方向)の配光。

測定対象とされた教室において、夜間一灯のみを点灯した状態で測定を行っているので、測定値は天井からの反射光も含んだものである。

作業面での照度分布の測定結果は図-9.1に示す通りである。点(0,0)は灯器の中心を示し、矢印は灯器と平行につけてある。図-9.2, 9.3は机上面各位置において灯器に平行方向に反射角30°で視標をみたときの白、黒両面の輝度を示している。ここでは、条件が一定しているので輝度係数で示すよりも、輝度を与えておく方が利用しやすいとの考えから、机上面上での視標の輝

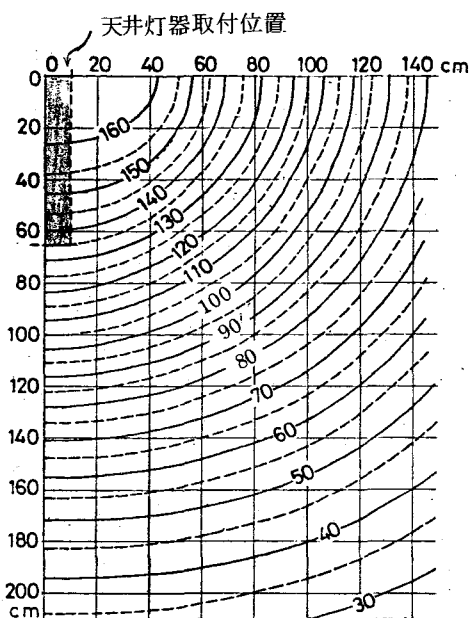


図-9.1 机上面における
照度分布 (lx)

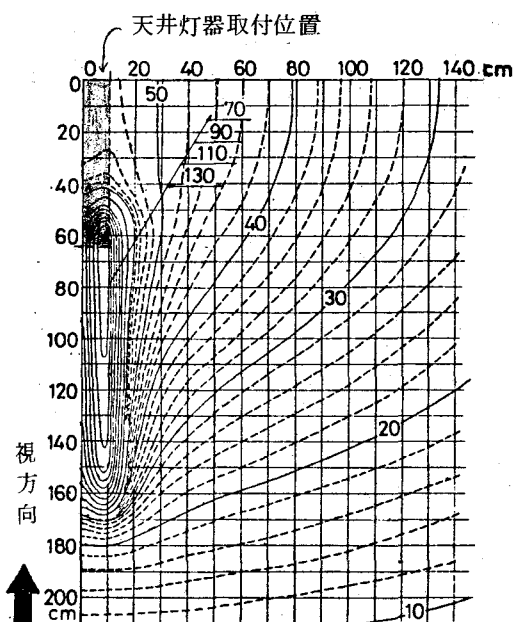


図-9.2 机上面における白視標
の輝度 (cd/m^2)

度で表わしてある。

図-9.2, 9.3より, ランプからの正反射光が視方向に含まれる範囲およびその近傍では, 非常に表皮反射成分が大きく対比の低下が予測される。これらの図においては, 上半が省れているが, 輝度計の障害とならない範囲では測定¹⁶⁾し, 障害となる部分に対しては別に実験室での測定結果¹⁷⁾を勘案した推定を行い, 全作業面についての輝度分布図を作成した。

次節以降で述べる予測計算にはこれを用いている。

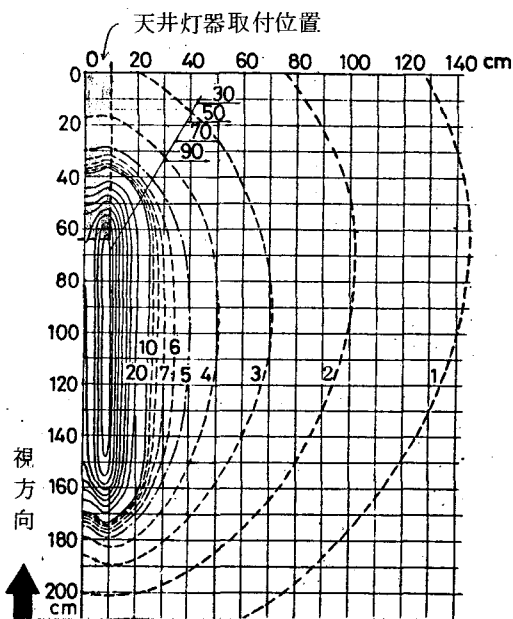


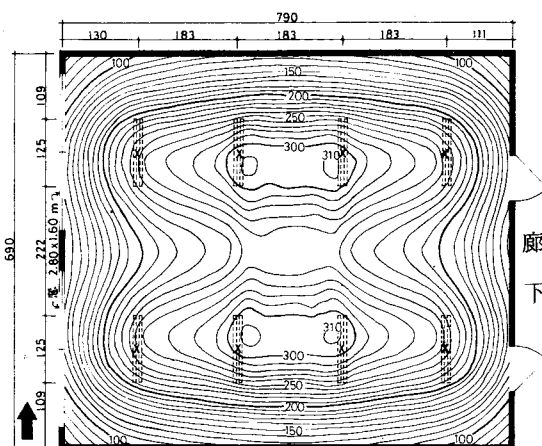
図-9.3 机上面における黒視標
の輝度 (cd/m^2)

9.3.2 人工照明時の照度分布ならびに標準作業の輝度および輝度対比

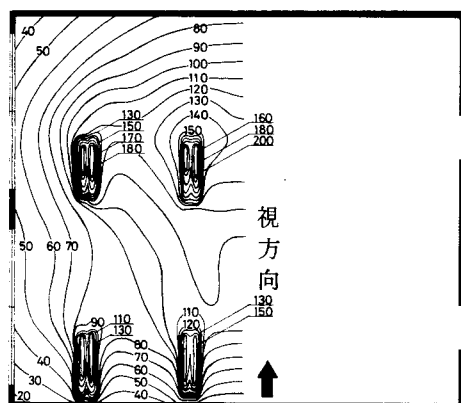
測定対象とされた教室は片側採光（開口部 $2.8\text{ M} \times 1.6\text{ M}$ ，2ヶ所），上記蛍光灯（ $40\text{ W} \times 2$ ）8灯で照明している室である（図－9.4）。全灯点灯による人工光のみによる照明時の机上面照度分布ならびに机上面での標準作業の輝度分布は図－9.1，9.2，9.3をそれぞれ8点の灯器設置位置の中心におき，作業面上の各点につきそれらの図表の示す数値を加算することによって得られる。こうして得られた照度分布を図－9.4に示す。部屋の隅は低照度であるけれども，壁から1 m以上離れた机上面ではおおむね 200 lx 以上の照度が得られている。

白，黒両視標による机上面での視方向（矢印で示す）の輝度を図－9.5，9.6に示す。両図とも，灯器の正反射部分及びその近傍では高輝度が表われているが，周辺の輝度はほぼ一定している。白視標の輝度（ L_W ）と黒視標の輝度（ L_B ）の両者より，下記に示す式を使って対比（ C ）を求めることができる。

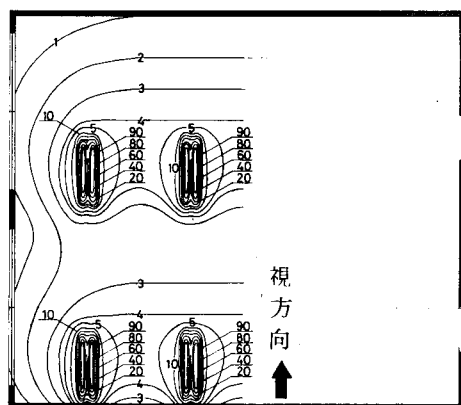
$$C = L_W - L_B / L_W$$



図－9.4 (lx)
人工光による机上面照度分布



図－9.5 人工光による机上面輝度
(白視標 cd/m^2)



図－9.6 人工光による机上面輝度
(黒視標 cd/m^2)

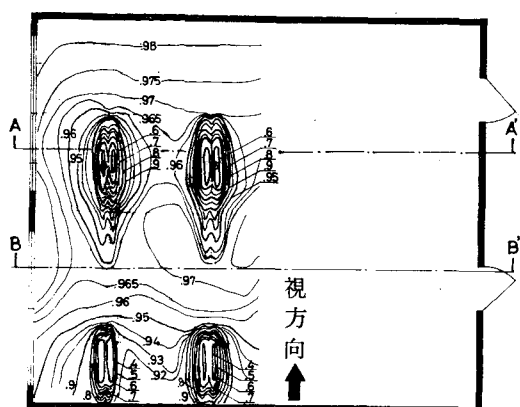


図 - 9.7
人工光による机上面の輝度対比

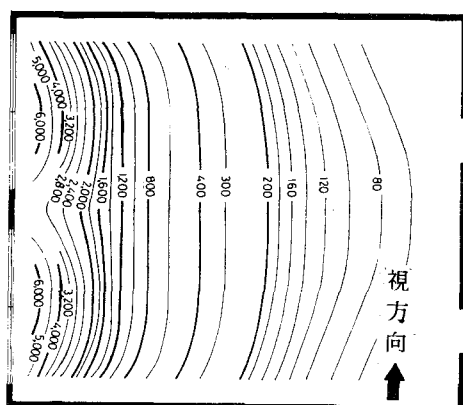


図 - 9.8
昼光による机上面照度分布 (lx)

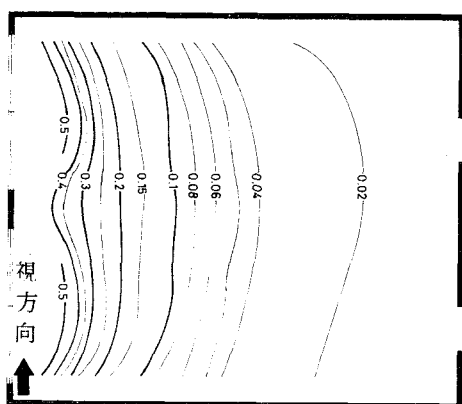


図 - 9.9 昼光による机上面輝度
(白視標 $\times 10^3$ cd/m²)

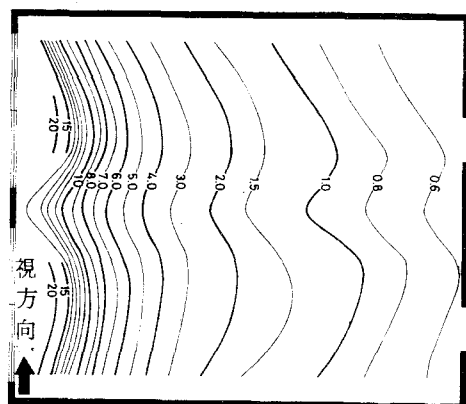


図 - 9.10 昼光による机上面輝度
(黒視標 cd/m²)

机上面各位置における視標の対比を表したものが図 - 9.7 である。灯器からの正反射光が視方向に含まれる位置ならびにその近傍では対比が著しく低下しており、机表面上の視対象物によっては見え難い作業位置のあることを示している。

9.4 昼光による作業面上の照度ならびに標準作業の視方向への輝度

昼光による照明環境を視環境設計の立場から把握するためには、これを測光量で扱わなければならない。そのためには、天空輝度あるいは全天空による水平面照度の設計値が必要である。6章で検討した全天空照度の年間の就業時間帯における累積出現率を用い、ここでは1例として設計の安全率50%を見込み、図 - 6.4の累積出現率曲線の50%値、20,000lxを設定値とする。

室内照度分布に関しては、従来の昼光率図表を用いて求まる昼光率に上記の設定全天空照度を乗ずることにより得られ、その結果を図-9.8に示す。室の奥行き4m地点(中央)までは6,000~200 lxの照度を得ることができるけれども、それより奥では照度が著しく低くなり、昼光照度のみでは十分な照度を得られないので人工光を補わねばならない。

白、黒の視標面の視方向への輝度に関しては、窓面を等輝度完全拡散面とみなせば、既に発表した面光源¹⁴⁾によるサンプル視標の輝度計算図表を用いて容易に求められる。すなわち窓と当該点の位置との幾何学的関係より、図表から読みとられる数値に窓面の設定輝度 $20,000/\pi (\text{cd}/\text{m}^2)$ を乗ずればよい。これを机上面各点において白、黒両面について求めた結果が図-9.9, 9.10である。視方向への視標輝度の室内での分布は昼光率に近似した分布を示している。窓際と室奥の輝度は大体40:1の

比率である。図9.9, 9.10の結果を用いて人工照明の場合と同様に白黒両面の対比を求めて、その分布を示したものが図-9.11である。この図は、側窓による窓に平行な視方向における視標の対比の室内での分布を示すものである。室奥へいくに従って若干対比は減少しているけれども、その減少は量的に至って少なく、作業面全域にわたって0.95以上の高い対比が得られている。これは、このような昼光照明条件の場合、対比に関しては極めて有利であることを示すものであり、人工照明時にみられた視作業位置による極端な対比の低下に

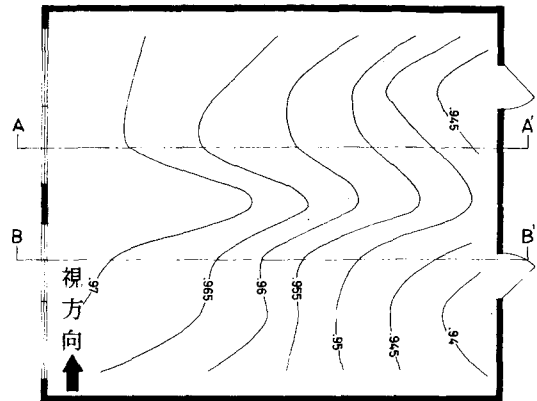


図-9.11

日光による机上面の輝度対比

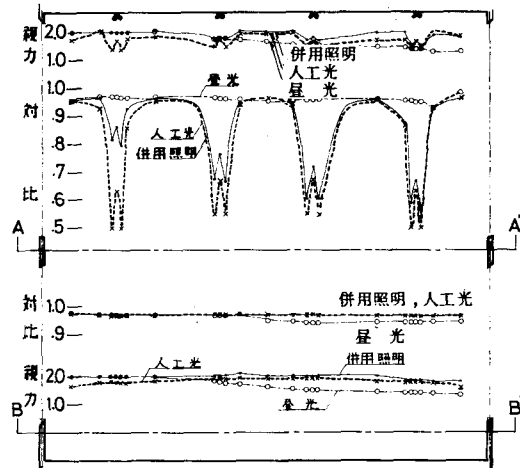


図-9.12 人工光・日光・併用照明
における輝度対比および視力

対して顕著な差異を示すものということができる。

9.5 昼光による見やすさへの影響

標準作業の対比を人工照明と昼光照明の各につき推定した結果より、作業対象の表面性状によっては人工照明の場合に非常に見難い作業位置のあることが予測されるが、これが窓からの昼光照明が加わることにより改善されることも同時に推定される。人工照明に昼光が加わることによる対比の上昇は、その地点への昼光の量によって左右されるので、室内全面にわたって大きく期待することはできないが、窓の近くではかなりの対比改善効果があると考えられる。この効果を明らかにするために図-9.7, 9.11に示しているA A', B B'線における対比を検討したものが図-9.12である。

A A'線上では、人工照明時に対比の低下の著しい部分がみられが、昼光を付加することにより窓近くほど大きく改善されていることが明らかである。B B'線上では、昼光照明のみによる室奥部分での若干の対比低下が人工照明付加により改善され、均一な対比(0.96)となることを示している。

また、同図中には、対比と白視標の輝度から、等視力曲線図上³⁾で得られる最大視力も与えてある。A A'線上で対比低下の極めて大きい所では視力の低下も顕著に表われているが、この部分に昼光が加わることにより対比と同時に視力も大きく改善されている。B B'線上では、どの位置においても十分な視力の確保されることを示している。このように、窓からの昼光は同一であっても、人工光とは位置によって視作業性に対してその効果に大きな差異があり、これをどのように評価していくか検討されなければならない。

9.6 昼光利用照明に関する問題点

ここでは、標準視標による作業面上での視作業性について、昼光と人工光についてその特性を明らかにし、昼光利用照明設計の質的な面について検討しようとしたものである。ここで得られた結果を実際にどのように適用していくかについて、まず人工照明の場合、低い輝度対比を示す作業位置の生じるという問題がある。併用照明することにより、窓際での対比改善は期待できるが、室奥では不可能である。これを除去するには、灯器自身の改善を行うことが不可欠である。現状のままでの昼光利用照明設計における昼光の質的改善に果す役

割は、窓際に近い位置での部分的な視作業性の改善である。人工照明による低輝度対比部分への対処法としては、作業位置の配置をこの部分からはずすことも一法である。

昼光の特性を考慮すれば、単なる照度バランス形の昼光利用よりも更に有効に昼光が利用されうることを本検討は示すものといえることができる。

参 考 文 献

- 1) 伊藤克三，大野治代，佐藤隆二：昼光利用照明の視作業性についての検討，日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭54）105
- 2) 伊藤克三，大野治代，佐藤隆二：視作業性に基づく昼光利用照明の設計法，建築環境工学論文集 第1号（昭54）37
- 3) 中根芳一，伊藤克三：明視照明のための標準等視力曲線に関する研究，日本建築学会論文報告集 第229号（昭50）
- 4) Y. Nakane & K. Ito : Study on Standard Visual Acuity Carves for Better Seeing in Lighting Design, J. of Light & Visual Environment , 2-1, Illum. Engng. Inst. Japan, 1978
- 5) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代：文章に等価なランドルト環の大きさに関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（昭52）175
- 6) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ペフェカド：活字に等価なランドルト環の大きさについて，日本建築学会大会学術講演梗概集（昭51）141
- 7) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代：文章の読みやすさに基づく照明の評価法に関する研究（文章の読みやすさの主観評価と読みやすさのレベルとの関係），日本建築学会大会学術講演梗概集（昭52）177
- 8) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ペフェカド：明視照明の評価法，日本建築学会大会学術講演梗概集（昭50）101
- 9) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ペフェカド：サンプルを用いる照明の評価法，日本建築学会大会学術講演梗概集（昭50）103
- 10) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ペフェカド：サンプル紙面の

反射特性の測定結果とその考察，日本建築学会大会学術講演梗概集（昭50）105

- 11) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ベフェカド：サンプル紙面の反射特性について（そのⅠ－反射特性の測定結果に関する検討），日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭51）33
- 12) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ベフェカド：サンプル紙面の反射特性について（そのⅡ－反射特性の相反性に関する検討），日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（昭51）37
- 13) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ベフェカド：Diagrams for the Prediction of Visibility Based on Task Surface (Part I-point source). 日本建築学会大会学術講演梗概集（昭52）159
- 14) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ベフェカド：サンプル紙面による見やすさの予測図表（そのⅡ－面光源），日本建築学会大会学術講演梗概集（昭52）161
- 15) 松下電工，カタログC－12，照明技術編
- 16) 近沢信一：見え方に基づく照明設計に関する基礎的研究－帯状光源（蛍光灯器）によるサンプル紙面の反射特性について－昭和53年度卒論
- 17) 黒川英俊：見やすさの予測に関する実験的研究－線光源による視標の反射特性－昭和51年度卒論

総 括

第1章は、昼光光源に関する従来の研究に検討を加え、それらの研究成果は、昼光を併用した照明設計に役立つ資料を与えるものではないことを論述し、昼光利用照明設計に使える資料としては、天空光を長期にわたって実測することにより得られた年間の全天空照度の出現頻度であることを論考し、その目的にかなった測定が必要であることを明らかにした。

第2章は、変動する天空光の実態を把握するための全天空照度の測定方法、およびその測定値を平年値と考えてよいかどうかについて、測定期間および平年の気象台における資料を比較検討し、2年間の測定値を平年値として差支えないことを明らかにした。

第3章は、全天空照度を左右する大きな要因の1つである太陽高度を主体にして、全天空照度と太陽高度との関係を知るため、年間および季節別に太陽高度別全天空照度の累積出現率を求めた。また、天気分類による差異が認められるか否かについて、全天空照度と太陽高度との関係を、年間および季節別に検討した。

第4章は、昼光設計の基礎資料とするため、太陽高度、天気条件等を見無視し、昼光利用昼間（太陽高度 10° 以上）における全天空照度の累積出現率をもとめた。これにより累積出現率に見合った設定照度を定めることが可能となる。なお、昼光利用昼間の90%は全天空照度5,000～50,000 lxの間にあることが明らかとなった。

第5章は、大阪の2年間の実測値から得られた全天空照度の累積出現率は、他地域においてそのまま適用できる値であるかどうかについて、2つの推定法により検討を加えた。1つは緯度と天候による補正、もう1つは緯度のみによる補正である。その結果、全天空照度を左右するのは緯度のちがいであるが、本測定で得た全天空照度の累積出現率は $\pm 10\%$ 程度の誤差を許せば、そのまま本邦全域に適用しうることが明らかとなった。

第6章は、昼光利用の照明設計対象を事務所ビルに限定した場合を想定し、対象時間帯を就業時間帯（午前9時～午後5時）として検討した結果について述べている。新たに、太陽高度 10° 以上の昼光利用昼間で就業時間帯に含まれる年間の全時間帯について全天空照度の累積出現率を求めた。更に、昼光利用

照明設計の実施に伴う消灯から得られる経済的効果を評価しうよう、冷房期、暖房期のそれぞれについて、太陽高度 10° 以上の全就業時間帯における全天空照度の累積出現率をも求めた。

第7章は、昼光利用照明を実施する際に問題となる消灯率とその時の点滅回数に関し、3段階の設定照度にそれぞれ3段階の設定照度幅を設けた条件に対し、1年間の全測定記録から、これらを読み取り集計した結果に関するものである。その結果、消灯率に関しては、年間、季節別、冷房期、暖房期のいずれにおいても、設定照度幅を設定照度の10～30%の範囲で変えてもその値は一定であるが、点滅回数に関しては、設定照度幅を10%小さくするごとに回数が2～3回増加することが明らかとなった。また、同一条件においては、年間における一日の平均点滅回数は、一日の点滅回数を年間につき累積したときの累積出現率65%値に対応していることも明らかとなった。

第8章は、本研究で得られた全天空照度の累積出現率曲線を利用した昼光利用照明設計用の図表を提案し、それを適用する場合の簡便な消灯率および消灯ライン（消灯域）の読み取り方について述べたものである。

第9章は、前章までの照度バランス形昼光利用照明設計法に対し、筆者らが行ってきた視覚にもとづく照明設計の考え方を昼光利用照明設計に適用し、併用照明による視作業性の評価を行った。その結果、昼光と人工光についてその特性を明らかにすることができたことの他に、昼光利用照明の今後の研究方向に大きな示唆を与えることができたと考える。

本研究は、昼光利用照明に際しての基礎となるべき天空の変動の実態を把握し、この結果をもとにした昼光利用照明の設計法について述べたものである。これを実施するに当っては、天空による照度の監視、設計照度に対応した自動点滅装置などが必要であるが、技術的対応には難しい点は少いと考える。

なお、本論を終るに当たり、昼光利用を実施するに際しては、就業者に許容される点滅頻度と室内照度の変動幅、ならびに消灯による灯器の消費電力の節約と点滅による灯器の寿命短縮との経済的バランス、さらには直射日光の影響等、併用照明設計については、今後追究されなければならない問題が数多く残されていることを附記しなければならない。

あ　と　が　き

終りにあたりまして、本研究に対し終始御指導，御鞭撻を賜りました大阪大学伊藤克三教授に深甚なる謝意を表します。

また，研究に際し有益な御助言，御支援を戴きました大阪大学檜崎正也助教授に厚く御礼申し上げますと共に，研究に終始御協力を御願いしました大阪大学佐藤隆二助手に感謝の意を表します。

尚，卒業研究にて御協力いただきました丸本八津男，黒川英俊，近沢信一の諸氏に御礼申し上げますと共に，本研究に対し有益な御意見を下さいました日本建築学会近畿支部環境工学委員会光環境部会の各委員の方々に感謝致します。