



Title	視環境の動的評価法
Author(s)	井上, 容子
Citation	大阪大学, 1985, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1702
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

視環境の動的評価法

昭和60年1月

井上容子

正 誤 表

訂 正 箇 所			訂 正 内 容	
			誤	正
本 文	p.7	1. 20	複雑のため	複雑さのため
	p.21	1. 23	表. 2.5	表. 2.3
	p.24	表. 2.5	平均滞留時間	平均時間
	p.31	表. 2.10	座席位置の	座席位置と
	〃	1. 11	入ってきた	入ってきた
	p.82	1. 2	位置び個数	位置および個数
	p.94	式. 6.1	$C_c(T)$	$C_o(T)$
	p.109	式. 6.3	$S(T)$	$R(T)$
	p.118	式. 7.9	,	=
p.163	図. 9.1	(左上図の縦軸欠落)	回復率 R (%)	
p.184	1. 9	眼の感度の回び眼	眼の感度の回	
参 考 文 献	p.11	(8)	Confort	Comfort and
	〃	(9)	Standerd	Standard
	p.60	(5)	日本----- 講演概集	日本----- 講演梗概集
	p.88	(6)	dos	des
	〃	(10)	Light-Sorce	Light-Source
	p.114	(2)	Measurd	Measured
	〃	〃	Joarnal	Journal
	p.115	(4)	Trangient	Transient
	〃	(5)	Siencie	Science
p.167	(4)	有田性	有用性	
<p>乱丁 : p.42 1. 1~3をp.39の冒頭へ置き換える。 p.42をp.40, p.40をp.41, p.41をp.42と訂正。 p.111とp.112とを入れ換える。</p>				

目 次

第1章 序 論	1
1.1 本研究の意義・目的	1
1.2 視環境の特性	2
1.3 視環境の評価内容	2
1.4 従来の評価法とその問題点	4
1.4.1 全般視環境の評価	4
1.4.2 明視環境の評価	5
1.5 本論文の内容とその構成	7
1.5.1 作業者の視野輝度変動の実態把握	7
1.5.2 まぶしさ感の動的評価法	8
1.5.3 視認能力の動的評価法	8
1.5.4 両眼視による視認性の評価	10
参考文献	10
第2章 作業者の視野輝度の変動実態	13
2.1 はじめに	13
2.2 作業者の視線の動きの実態調査	13
2.2.1 調査概要	14
2.2.2 授業中の視線の動き	16
2.2.3 研究会議中の視線の動き	22
2.2.4 窓の誘目性と座席位置の影響	28
2.2.5 視線移動に要する時間	31
2.3 昼光の変動実態	34
2.3.1 分析資料と分析方法	34
2.3.2 天空光の変動	36
2.3.3 太陽直射光の変動	42

2.4	む す び	43
	参 考 文 献	43
第3章	均一輝度視野における順応過渡過程でのまぶしさ感・不快感	45
3.1	はじめに	45
3.2	実験装置と実験方法	46
3.3	明順応過渡過程におけるまぶしさ感	47
3.3.1	定常順応時におけるまぶしさ感評価	47
3.3.2	明順応過渡過程におけるまぶしさ感評価	49
3.4	暗順応過渡過程における不快感	56
3.5	む す び	60
	参 考 文 献	60
第4章	不均一輝度視野におけるまぶしさ感	61
4.1	はじめに	61
4.2	実験装置と実験方法	61
4.3	被験者間の結果の比較	64
4.4	高輝度面を見た直後のまぶしさ感	64
4.4.1	背景輝度の影響	66
4.4.2	高輝度面の大きさの影響	67
4.4.3	前順応輝度の影響	68
4.5	まぶしさ感の時間的経過	70
4.6	不均一輝度視野に等価な均一輝度視野	71
4.7	不均一輝度視野におけるまぶしさ感の動的評価法	75
4.8	コーネル公式による評価との比較	76
4.8.1	コーネル公式	77
4.8.2	評価値の比較	78
4.9	む す び	81
	参 考 文 献	82

第5章 視認問題の動的解析法	83
5.1 眼球内の散乱光と視認性	83
5.2 視認能力の動的評価への実効輝度の導入	85
5.3 不均一輝度視野における眼の順応輝度	86
5.4 逆対比視標の視認性	87
参考文献	88
第6章 均一輝度視野における順応過渡過程での眼の感度	89
6.1 はじめに	89
6.2 実験装置と実験方法	89
6.3 定常順応時の眼の感度	91
6.4 暗順応過渡過程における眼の感度	92
6.4.1 定常順応状態からの暗順応過程	92
6.4.2 暗順応過渡状態からの暗順応過程	101
6.5 明順応過渡過程における眼の感度	104
6.6 明暗両順応過渡過程における眼の感度の評価図	108
6.6.1 眼の感度の回復率	108
6.6.2 眼の感度の評価図	109
6.7 むすび	114
参考文献	114
第7章 視認能力の実効輝度による把握	116
7.1 はじめに	116
7.2 実効輝度と実効率	116
7.3 実験概要	118
7.4 一次元視標の視認	119
7.4.1 定常順応時の視認	119
7.4.2 順応過渡過程における視認	122
7.5 二次元視標の視認	125

7.5.1	定常順応時の視認	125
7.5.2	順応過渡過程における視認	132
7.6	むすび	135
	参考文献	136
第8章	実効率の計算法と各種視標の実効率	137
8.1	はじめに	137
8.2	実効輝度関数	137
8.2.1	一次元実効輝度関数 $F(\theta)$	137
8.2.2	二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$	141
8.3	実効輝度の計算法	147
8.3.1	線で構成された視標に対する計算法	147
8.3.2	長方形で構成された視標に対する計算法	149
8.3.3	任意形状の視標に対する近似計算法	151
8.4	各種視標の実効率	154
8.4.1	視標識別のための主要点と実効率	154
8.4.2	各種視標の実効率	158
8.5	等視力曲線の作成法	159
8.6	むすび	161
	参考文献	161
第9章	視認能力の動的評価法	162
9.1	はじめに	162
9.2	視認能力の動的評価法	162
9.2.1	視標の大きさ・輝度対比の検討方法	162
9.2.2	変化前後の視野輝度・経過時間の検討方法	164
9.3	印刷紙面の読み易さの動的評価法	166
9.4	むすび	167
	参考文献	167

第10章 不均一輝度視野における眼の順応輝度	168
10.1 はじめに	168
10.2 検討方法	169
10.3 順応輝度と実効輝度	170
10.4 今後の展望	173
参考文献	173
第11章 両眼視による視環境の評価	174
11.1 はじめに	174
11.2 視線方向の測定	175
11.2.1 測定方法	176
11.2.2 机上面視作業における視線の方向	176
11.3 光幕グレアに対する灯器位置の検討	178
11.4 机上面上の輝度対比の測定例	179
11.5 むすび	182
参考文献	182
結 語	183
関連発表論文	185
謝 辞	189

第1章 序 論

1.1 本研究の意義・目的

室内照明設計は、在室者に快適な視環境を提供するための技術であり、照明の良否は、在室者の視覚によって評価される。したがって、照明設計の基礎は視環境の評価におかれるべきである。このため、在室者の実態を十分に把握し、評価項目に応じた適切な条件設定を行なうことが肝要である。

視環境の評価とは、視刺激に対する人間の反応であるが、作業者の受ける視刺激は決して一定ではない。室内での定常的な視作業であっても、作業者自身の視線の動き、あるいは昼光の変動等に伴って、作業者の視野輝度に急激な変化が生じるのが実態である。視環境の評価は、この視刺激が急激に変化した場合の人間の反応をも適切に評価するものでなければ、照明設計の基礎とはなり得ない。高輝度体によるまぶしさ感、あるいは視対象の見易さを決定するものは、その時の眼の感度、すなわち眼の順応状態であるが、順応には常に時間が関与する。このため視野輝度の変化が大きい場合には、眼が変化後の輝度に順応するまでにはかなりの時間を要し、その間は完全順応時とは異なった見え方をしている。これが作業能率の低下・不快・疲労の原因となり事故にもつながりかねないことは、広く一般に認識されながらもこれまで室内視環境の問題としては、その取り扱いの複雑さも原因して、研究対象として取り上げられず放置されたままである。

本論文は、今日の作業者の視線を固定し眼の順応の時間的变化を無視した定常的な室内視環境評価法の欠陥を是正することを目的として、視環境の動的評価法に関して行なった一連の研究についてのものである。

視環境の動的評価法とは、作業者の視線の動き、昼光光源の変動等に伴う眼の順応の時間的变化を考慮した動的概念を導入し、非定常時の視覚の問題を究明して、これを評価法に生かしたものである。これによって、従来の静的な評価法では看過されてきた部分を、作業者の実態に即してより詳細に評価し、より高度な照明設計技術を提供することが、本研究の目的である。

1.2 視環境の特性

視環境の評価は、在室者に快適な環境を提供するための基礎となるべきものである。したがって、評価にあたっては視環境の持つ特性を十分に把握し、評価項目に応じた適切な条件設定を行なうことが肝要である。

視環境の持つ特性の第1は、方向性である。視環境には必ず方向性があり、評価対象物は視線方向によって定まる視野に限られ、その方向からの眼への入射光によって見え方が決まるため、評価に際しての条件設定には必ず方向が指定されねばならない。また、評価対象までの視距離の短い場合には、左右両眼の視対象物に対する視線方向にかなりの差異が生ずる。この平面对象物に対する両眼視の問題をも含めて、視線をどのように扱うかについては、視環境評価の内容に応じ適切に判断しなければならない。

第2は、視対象の設定である。網膜上に生じる像は、視対象物からの反射光によるものであるため、同一の照明条件下であっても視対象によって見え方は異なり、視対象を決めなければ、眼への刺激である網膜上の像は規定されない。したがって、視対象をどのように設定するかについては、よく実態を把握して慎重に決めねばならない。

第3は、昼光光源の変動である。昼光光源はたえず変動するものであるため、昼光照明、あるいは人工光源との並用照明にあっては、昼光の変動がそのまま照明環境の変動につながる。

第4に、眼の順応の問題がある。順応は視覚を論じる際の基礎である。眼はたえず視野の輝度に応じて感度を変化させるため、視条件が全く同一であってもその時の眼の感度によって視対象の見え方が大きく異なる。しかも、順応には時間を要する。このことは、在室者の視線の動き、あるいは昼光の変動による在室者の視野輝度変化を伴う視環境を実態に即して評価することを非常に難しくする。

このような視環境の実態をよく把握した上で、照明技術を指向した視環境の評価方法を発展させることが、評価の研究を行なうものの目標でなければならない。

1.3 視環境の評価内容

視環境として照明の果たすべき機能については、雰囲気性と明視性の2面がある。この両者は評価の基準を全く異にするものであるため、評価に際してはあらかじめ明確に分離されねばならない。雰囲気性と明視性は、ともにすべての照明の場に要求されるが、

両者の比重には室の用途によって大きな差異が考えられる。雰囲気性を主要目標とする照明を雰囲気照明、明視性を主要目標とする照明を明視照明という。

したがって、照明の評価には、雰囲気性の面からの評価と明視性の面からの評価が必要であり、さらには室の使用目的に応じたこの両者の総合評価のできることが視環境評価の目標である。

評価は、測光量に対応させて客観的・合理的に行なえるものでなければならない。このためには、健全な視機能を有する人に対しては、同一条件下では同様の評価が得られるものでなければならない。同じ条件に対して、各個人の嗜好、あるいは時代の流行といったものにより、その評価値の一定しない評価対象は、ここでいう評価対象とはなり得ない。

視環境の評価において、いま1つ注意すべき点は、本論も含めて、今日のところ照明工学において取り扱っている測光量は、光源の演色性の分野以外ではほとんどの場合、色を考えない白黒の明暗であるという点である。このような刺激を前提としている限りでは、美しさ・気持ちよさなどの反応をこれから得ることは不可能である。

以上の点からいって、雰囲気性の評価にはおのずから限界がある。しかも雰囲気、あるいは全般視環境ということになれば、これは照明の面のみで決められるものではなく、その大半が室内の意匠設計で左右される。したがって、全面的にこれを照明技術として取り扱うことは不可能である。全般視環境の中で我々の対象としては、照明そのものとして処理し得る項目、すなわち、光源をも含んだ全視空間の輝度分布に対する評価に限られざるを得ない。

明視性の場合においても、原則的には明度の他に、色相・彩度も含めた客観的な評価を行なうことのできる技術的方法が理想であるが、今日のところ明暗のみの取り扱いであることを認識しておかねばならない。視対象物がよく見えるということを目標としている同じ明視照明の場合であっても、そこで見られる対象物の種類によって、評価の基準は必ずしも同様ではない。文字や作業台上の機械部品のように単に明確に視認できればよいものの他に、絵画や彫刻のように絵の内容や彫刻の形が視認できるだけでは不十分で、本来の美しさが鑑賞できねばならないものがある。評価に際してはこの両者の区別が必要である。前者を視認対象、後者を鑑賞対象ということにする。単なる視認対象であれば、明度のみ、すなわち無彩色に限った取り扱いであっても、視対象の輝度対比

や照明レベルを上げることで、所定の見易さを確保することができる。しかし、絵画の鑑賞であれば、明度の他に色に関する問題、すなわち、彩度・色相・色対比の照明による変化、あるいは室内反射光の影響なども鑑賞の障害となるため、その照明条件の評価は視認対象の場合と考え方を変えねばならない。更に、視認・鑑賞の両対象とも平面的なものと立体的なものがあるため、計4種の評価対象となる。したがって、明視環境の評価方法は、これら4種の評価対象それぞれに対応するものが必要であるということになる。しかし、現状は、ほとんどが平面对象物に対する視認の問題を取り扱い、立体的な対象としては、在室者の顔の見え方が取り上げられているにすぎない。モデリングといわれるものがこれである。

以上のことから、現在の照明評価の内容は、全般視環境については視野内の光源をも含めた輝度分布に対する快適性の評価が、明視環境については平面对象物に対する視認性の評価がその主なものである。ただし、ここでいう快適性評価とは不快な要因を取り除くための技術であって、決して積極的な意味での心地良さ(Pleasant)を評価するものではないことを明記しておく。

1.4 従来の評価法とその問題点

1.4.1 全般視環境の評価

室内の全般視環境として、照明固有の対象となるものは、光源を含んだ室内の輝度分布である。一般的に言えば、全視空間の輝度分布と在室者の眼の順応状態に対応した主観評価との関連を求めることである。このような取り扱いをする評価法は今日まで試みられておらず、視線をある方向に固定したときの視野内の輝度分布に対する評価を求めているのが現状である。

最も研究され、実用化されているのは不快グレア^{(4)~(6)}の評価法である。これにイギリス方式⁽⁷⁾・アメリカ方式⁽⁸⁾⁽⁹⁾・ヨーロッパ方式⁽¹⁰⁾の3者があるのは周知のとおりである。前2者はグレア評価式による方法であり、室の端中央から視線を水平に固定した定常順応状態での灯器によるグレア評価値をグレア源の大きさ・輝度・位置と背景輝度とから求めるものである。イギリスでは、これに見合うグレア感を呈示し、アメリカでは、これをVCP(不快を感じない人の割合)に換算することにより不快グレアの程度を評価する。ヨーロッパ方式は、光源の輝度制限によるもので、灯器の輝度を質的クラスと作業面照度との組

み合わせから配光方向に応じて制限しようとするものである。これらは、いずれも灯器に対する評価法であるため、その適用範囲には限界がある。窓等の大面積のグレア源に対してはグレア評価式を大面積の高輝度面にまで適用できるよう修正したコーネル方式⁽¹¹⁾が提案されている。これらは、わが国でも一部で用いられているが、視線の固定・定常順応の仮定という評価に際しての設定条件の是非とともに、欧米人と瞳の色の異なる日本人にそのまま適用し得るか否かを十分検討する必要があると考える。

この他に、全般視環境に関しては、Moon-Spencer の提案にはじまって、室内全般にわたる各部の輝度比に制限を加えることが今日一般に行なわれている。⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾これは、同一視野内の輝度分布の他に、視線の動きに伴う順応の変化による不快・疲労に対処しようとするものと考えられるが、その数値に何ら明確な根拠がない。

不快グレアの評価に際しては、前述の評価法のように室の端部から視線を水平に向けて、眼がその視野に順応した状態での不快なまぶしさ感が、在室者のその室でうけるまぶしさ感に対応するであろうか。執務中の在室者は、時々眼を休めるために視線を作業面からはずした時に、光源が視野の中に入りまぶしさを感じるというのが実態ではなかろうか。この両者では、光源を見る時の眼の順応状態にかなりの差があるため、まぶしさ感は大きく異なる。

不快グレアに限らず、灯器・窓などの光源を含めて、室内全般の輝度分布から受ける在室者の快適感・広がり感・その他の主観的評価は、在室者が視線を各方向に向けて室内を見まわした全視野から受けとる総合的な判断である。このような評価を目的とする場合に、ある方向に視線を固定した特定の視野をもって評価を行なうことは、原則的に適当ではないと考える。在室者の視線の動きを考え、それに対応した評価方法によるものが本来の評価であり、特に、ショック的な性格の強いグレア評価に際しては、これに応じた評価方法がとられるべきである。

在室者の視線の動き、それに伴う眼の順応の時間的変化を省略した定常的な条件を仮定すれば、評価の取り扱いが簡略化されるが、得られた評価は実態から遊離したものであることは明らかである。

1.4.2 明視環境の評価

明視環境の評価は、視作業対象の見易さを与えられた測光条件から評価しようとする

ものである。静止している視対象物の見え方を左右する要素としては、均一輝度背景の場合に限っても、

1. 視対象の形
2. 視対象の大きさ
3. 視対象と背景との輝度対比(または、輝度差)
4. 背景輝度
5. 視対象を見る直前の眼の順応輝度
6. 視認に許される時間
7. 色のちがひ

の7つの要素があげられる。無彩色の場合であれば視認性は6つの要素の組み合わせから得られる。視対象の形・大きさ・背景との輝度対比の3者は眼への刺激を決定する要素であり、背景輝度・視対象を見る直前の目の順応輝度・視認に許される時間の3者は眼の感度を決定する要素である。これらの要素の組み合わせから、そこで得られる対象物の見易さを評価することにより、照明状態の優劣を判断しようとするのが、明視照明の評価である。ただし、眼の順応の時間的変化を取り入れた評価法は今日まで試みられていない。

今日の明視照明評価の主な内容は、定常順応状態での平面对象物の視認性の評価である。これに関しては条件を限った断片的な研究は数多く行なわれているが、明視照明の設計法を指向する評価手法としては、ESIによる方法^{(15)~(17)}、CIE publicationの方法⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾、伊藤・佐藤^{(20)~(23)}の方法があげられる。

このうち最も完成された手法として、佐藤・伊藤の方法⁽²⁰⁾⁽²¹⁾があげられる。評価対象作業としては、事務作業のような静止かつ定常的な作業を考え、評価視標としてランドルト環視標を用いている。視認のための時間に制限を加えていないため、無彩色時の明視の要素中、視標の大きさ α ・視標と背景との輝度対比 C ・背景輝度 L の3要素で見え方は定まる。この3者の閾条件での組み合わせを標準視力保持者について求め、これを図表化したものが標準等視力曲線(中根・伊藤⁽²⁴⁾)と呼ばれているものであり、同図を用いれば、いずれか2要素の組み合わせに対して閾条件を与える第3の要素を読み取ることができる。3要素のうち、照明条件によって変化するのは C と L であり、大きさ α は照明条件によって変化することはない。このため、見易さレベルとして大きさによるもの、すなわち α/α_{th} (α_{th} : 閾条件を与える大きさ)を採用し、これと主観的な見易さとの関係を求めたも

のが佐藤・伊藤の評価法である。これは、評価に際しての標準条件が設定され、見易さの程度の数量化として閾値に対するレベルを取るという合理的方法である。更に、見易さ予測のための視標の視方向への輝度計算が容易に行なえる資料も整備されている。したがって、これによって静止視作業に対する明視照明の評価法は確立されたと考えてよい。

視認性に関しては、上述の評価法のように、視線を作業面に固定した定常的な標準状態での見易さ評価が設計の基礎となるべきものである。しかしながら、室内の輝度分布、特にグレア源となるものの存在は、単に不快グレアにとどまらず作業面上での作業の見易さにも影響することを看過してはならない。作業中の作業者の視線の動きにより高輝度に眼が順応すれば、作業面に視線を戻して暫くは、順応の遅れにより作業対象が見難くなることがおこるからである。このことは、作業能率の低下を招き、ひいては事故にもつながりかねない。したがって、視認性の評価においても眼の順応の時間的変化を考えた動的概念の導入は不可欠である。

1.5 本論文の内容とその構成

前節において述べたとおり、これまでの室内視環境評価は眼が視野の輝度に十分順応している状態でのみ取り扱われ、順応過渡過程での感度による評価の問題は放置されてきたのが実状である。これでは、得られた評価は作業者の置かれている視環境の実態から遊離したものである。

本論は、作業者の視野輝度の変動の実態調査を行ない、動的評価の必要性を明示し、これまでの評価法においては、主としてその取り扱いの複雑のため看過されてきた非定常時の視覚の問題を究明して、作業者の実態に即した視環境の動的評価法の確立をめざすものである。その評価内容は、不快なまぶしさ感と平面对象物に対する視認能力の2者である。更に、今日の評価法において看過されているもう一つの問題点である平面視対象物の視認における両眼視の問題についても言及している。

本論文の構成は以下のとおりである。

1.5.1 作業者の視野輝度変動の実態把握 (2章)

授業中・研究会議中の作業者の視線の動きの実態調査、および昼光の短時間での変動の実態調査を行ない、これらの結果を検討することによって、作業者のおかれている視

環境の実態を把握し、動的評価法の必要性を明示している。また、視野輝度変化後のどの時点を基準として評価を行えばよいかという問題に対する資料を与えるために、作業者が視線を移動させるのに要する時間に関する実験を行なっている。

1.5.2 まぶしさ感の動的評価法（3～4章）

室内視環境の快適性を損う大きな要因であるまぶしさ感を、作業者の実態に即して評価しようとするものである。

まず、3章において、被験者を用いた主観評価実験により、均一輝度視野における明順応過渡過程および定常順応時のまぶしさ感を把握して、両場合では同一視野輝度であってもまぶしさ感に著しく大きな差異があることを明確にしている。更に、得られた結果から、変化前後の視野輝度と視野輝度変化後の経過時間の3要因の任意の組み合わせに対応するまぶしさ感の評価図を作成している。この明順応過渡過程におけるまぶしさ感評価に対応させ、暗順応過渡過程における主観評価実験もあわせて行ない、視野輝度が急激に暗くなることに対する不快感の評価図をも与えている。

4章では、不均一輝度視野におけるまぶしさ感の動的評価を取り扱っている。任意の輝度分布を持つ視野を、まぶしさに関してこれに等価な均一輝度視野に置きかえることによって動的評価を可能にしようとするものである。ここでは、単一円形高輝度面に正対した場合についての評価実験を行ない、これに等価な均一輝度視野の読み取り図を作成している。更に、本論での研究結果に基づいて、その評価値に疑問の持たれる既往のグレア評価法に詳細な検討を加え、その不合理性を明確にしている。ただし、既往の評価法には動的概念がないため、比較は定常順応時に限られる。

1.5.3 視認能力の動的評価法（5～10章）

視認能力を動的に評価しようとするれば、均一輝度視野での無彩色の場合に限っても、さきの明視の6要素(1.4.11)がかかわってくるため、その取り扱い是非常に複雑である。このうち、視標の形・大きさ・背景との輝度対比の3者は、網膜中心窩への刺激を決定するものである。眼の順応状態、すなわち眼の感度は、背景輝度・視対象を見る直前の眼の順応輝度・視対象を見てからの経過時間の3者によって決定される。

本論では、眼球内散乱光の影響を視認能力の把握に導入することによって、視標の形・

大きさ・背景との輝度対比の3者によって定まる網膜中心窩への刺激を実効輝度という一因子に統合し、実効輝度と眼の感度とのみによる視認能力の把握を行なっている。これによって、合理的かつ簡易な動的評価法を確立するとともに、実効輝度を活用すれば、各種の視認問題が解明されることを明らかにしている。

まず、5章において、実効輝度による視認問題の解析方法を詳述している。視認問題への実効輝度の導入は、単に、一般性をもった動的評価法を可能にするにとどまらず、不均一輝度視野における順応輝度・不能グレア・逆対比視標の視認性・その他視認に関する未解明の重要諸問題に統一的解明をもたらすものであることにも言及している。

6章では、均一輝度視野における視認実験によって、視認能力の基本である眼の感度を明暗両順応過程について明らかにするとともに、順応過渡過程から視野輝度が更に変化した場合の順応過程についても検討を加え、得られた結果から、変化前後の視野輝度と視野輝度変化後の経過時間の3要因の任意の組み合わせに対応する眼の感度の評価図を提示している。

7章では、まず、視認能力が実効輝度によって把握されるための必要十分な条件を述べ、識別しようとする2点間の実効輝度差と、視対象と背景との本来の輝度差との比である実効率は、視対象の輝度対比とは無関係に、形と大きさのみで決まるものであることを明らかにしている。次いで、各種の視標を用いた視認実験により、定常順応時・順応過渡過程を問わず、視認能力は実効率とその時の眼の感度とのみで把握されることを検証している。

8章では、眼球内散乱光の網膜中心窩への散乱特性を明確にし、視認実験結果をもとに、これを実効輝度関数として定量化し、この実効輝度関数を用いて、各種視標による実効輝度の計算法を示している。更に、視標識別のための主要点についても検討を加え、計算あるいは視認実験によって得られた結果をもとに各種視標の実効率図を作成することによって視標視認のための眼の感度の予測を可能にし、この実効率図を用いれば、定常順応時・順応過渡過程を問わず、各視標での等視力曲線が合理的かつ非常に簡便に求められることを示している。

9章では、6章の順応過渡過程における眼の感度の評価図と、8章の実効率図とを用いて、視認能力の動的評価の手順を具体的に説明している。

10章では、不均一輝度視野における眼の順応輝度の取り扱い方を考究している。任意

の輝度分布を持つ視野における順応輝度の問題は、動的評価のみならず、従来の定常視においても未解決の重要問題であるが、これに関しても実効輝度の導入によって理論的解明がなされることを、視認実験結果に基づいて検証している。

1.5.4 両眼視による視認性の評価 (11章)

平面視対象物の視認に対する両眼視の問題は、眼の順応の時間的変化の他に、今日の視環境評価において看過されているいま一つの問題点である。平面視対象物の視認性評価の際に、測光量は一般に両眼間の中心位置に設置された単眼の輝度計によってとらえられるが、実際の視認は左右両眼への視刺激を総合することで行なわれる。このため、視距離の短い場合には、測光量と左右それぞれの眼への視刺激との間の不整合によって、測光量に基づく視認性の予測と、作業者の視認性評価との間に顕著な差異の生じることが少なくない。

11章では、まず、作業面の各点に対する左右両眼の視線方向の測定を行ない、その実態を把握し、これを用いて光幕グレアに対する検討、ならびに机上上面各点での輝度対比の実測を行なっている。これによって、従来の視点を固定した単眼としての扱いによって得られるものと、左右それぞれの眼への視刺激によって得られるものとの間の差異を明確にし、両眼視による視認問題の重要性を指適するとともに、これに対する今後の研究への指針を与えている。

参 考 文 献

- (1) 大月容子・伊藤克三：視環境評価の新しい考え方，空気調和・衛生工学会近畿支部環境工学研究会資料，92号，昭和57年，pp. 1～8
- (2) 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視環境の動的把握に関する研究(その1)：本研究の有する意義・目的，昭和56年照明学会全国大会講演論文集，pp.74
- (3) 伊藤克三：光環境の評価，日本建築学会大会環境工学部門研究協議会資料，昭和55年，pp.17～21
- (4) 松田宗太郎・洞口公俊・田淵義彦：屋内照明における各国のグレア評価法の概要，照明学会雑誌，第54巻 第4号，昭和45年，pp. 157～170
- (5) 真辺春蔵：グレア研究委員会報告，照明学会雑誌，第55巻 第1号，昭和46年，pp. 4～18
- (6) 照明学会編：照明ハンドブック，オーム社，第9章，pp. 343～346

- (7) P. Petherbrige, R. G. Hopkinson : Discomfort glare and the lighting of buildings. Transaction of the Illuminating Engineering Society (London), 15, 1950, pp.39~79
- (8) M. Luckiesh, S. K. Guth : Brightness in Visual Field at Borderline between Comfort Discomfort (B. C. D.), Illuminating Engineering (New York), vol. 44 No.11 1941, pp. 650 ~ 670
- (9) Committee on Recommendations of Quality and Quantity of Illumination Report No.2 : Outline of a Standard Procedure for computing Visual Comfort Ratings for Interior Lighting, Illuminating Engineering, 61, 1966, pp. 643 ~ 666
- (10) D. Fischer : The European glare limiting method, Lighting Research & Technology, Vol. 4, No. 2, 1972, pp.97~100
- (11) P. Chauvel, J. B. Collins, R. Dogniaux, J. Longmore : Glare from windows — current views of the problem, Lighting Research & Technology, Vol. 14, No. 1 1982, pp. 31~46
- (12) 松田宗太郎・洞口公俊・吉川考彌 : グレアの感覚的評価に関する実験と考察—イギリスIESグレアインデックス方式による—, 照明学会雑誌, 第53巻 第2号, 昭和44年, pp. 51~55
- (13) P. Moon and D. E. Spencer : Lighting Design (黒沢源之助校閲), 技報堂, 第9章, pp. 203 ~ 231
- (14) 日本建築学会編 : 照明設計, 日本建築学会設計パンフレット 23, 第2章, pp. 12~14
- (15) Committee on Recommendations of Quality and Quantity of Illumination Report No.4 : A method of evaluating the visual effectiveness of lighting systems, Illuminating Engineering, 65, 1970, pp. 504 ~ 510
- (16) Committee on Recommendations of Quality and Quantity of Illumination Report No.5 : The predetermination of CRF for the calculation of ESI, Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 2, No. 2, (1973), pp. 149 ~ 166
- (17) 照明学会編 : 照明ハンドブック, オーム社, 第9章, pp. 346 ~ 349
- (18) Publication CIE, No.19/1 (TC-3.1) 1972
- (19) Publication CIE, No.19/2 (TC-3.1) 1980
- (20) 佐藤隆二 : 見やすさに基づく明視照明設計法に関する研究, 学位論文, 昭和55年
- (21) 佐藤隆二・伊藤克三・大野治代 : 見やすさに基づく明視照明設計に関する研究—照明の評価指標としての見易さレベル (VEL) の有用性—, 照明学会誌, 第64巻 第10号, 昭和55年, pp. 541 ~ 548
- (22) 中根芳一 : 見易さに基づく照明環境の評価並びに設計に関する研究, 学位論文, 昭和53年
- (23) 中根芳一 : 読み易さ評価に基づく質的照明設計法に関する研究, 照明学会誌, 第65巻、第10号, 昭和56年, pp. 64~70

- 24) 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，昭和 50 年，pp. 101 ~ 109

第2章 作業者の視野輝度の変動実態

2.1 はじめに

従来の定常的な条件設定のもとでの視環境評価に対し、非定常時の視覚の問題を究明して、これを評価法に生かそうとするのが本論の目的である。この視覚に基づいた視環境の動的設計法を確立するためには、大別して次の二つの研究が必要である。一つは、作業員への視刺激の変動実態を把握して、これをもとに作業員への視刺激を動的に設定するための資料を整えることである。いま一つは、これらの視刺激の変化に応じた眼の順応の時間的変化と、それに対応する視覚、すなわちまぶしさ感や視認能力等を把握し、評価時点での眼の順応状態に対応した評価を可能にしておくことである。本章は前者に関するものであり、後者の順応過渡過程におけるまぶしさ感や視認能力に関しては、それぞれ3～4章、5～10章において扱っている。

室内作業員の視線の動き等に伴う視刺激の時間的な変動の実態に関しては、今日までその把握がなされていないのが実状である。本章は、作業中の視野輝度の変化は一体どの程度生じているのか、という作業員のおかれている視環境の実態把握を目的として行なった作業員の視線の動きの実態調査と、昼光の短時間での変動の実態調査との結果に関するものである。

実態調査のうち特に視線の動きの調査結果は、視刺激の変化に伴う眼の順応の時間的変化に対応した動的評価の必要性を如実に示すものであった。しかしながら、これらの調査結果のみでは作業員への視刺激を動的に設定するまでには至らないため、視野輝度の変化に関する幅広い実態調査を行ない、評価に際しての作業員に対する視刺激を動的に設定することのできる資料を整えることが、今後のこの方向の研究の目標であると考えられる。

2.2 作業員の視線の動きの実態調査

定常的な視作業においても、作業員が作業面から視線をはずすことは当然生じるわけである。この視線の動きが室内作業員の視野輝度が変化する最大の原因であろう。作業員の視線方向およびその動きは、作業内容や使用する室によって大きな差異があること

が予測される。このため、各種の場合について数多くの実態調査を行ない、目的に応じた条件設定が可能となる資料を得ておくことが必要とされる。

本節はその第一歩として、視線の動きの実態を知ることが目的として行なった調査結果についてのものであり、明視性の重んじられる授業中・研究会議中の視線の動きの実態と、視線移動に要する時間についての実験結果に関するものである。

2.2.1 調査概要

作業者の視線の動きの実態調査は、教室における講義・演習・試験の三種類の授業形態と、会議室・研究室における研究会の場合について行なった。各視方向の出現頻度および各方向への視線の平均滞留時間を明らかにするとともに、窓の誘目性や作業者の位置の視線の動きに対する影響についての検討も試みた。また、視線を移動するのに要する時間に関しての実験を行ない、視線移動に伴う視野輝度変化を考慮した視環境の動的評価を行なうにあたって、視野変化の何秒後の視覚を基準とすればよいかという問題に対する資料を求めた。

視線の動きの実態調査には作業状態をテレビカメラで収録し、得られた録画テープを分析するという手法を用いた。

テレビカメラは作業者の視方向の分析が容易であるように、状況の許す範囲内で出来る限り作業者の前方斜上方に設置することを心がけ、分析にあたって状況判断の一助とするため音声の同時収録を行なっている。具体的な設置位置は、各調査室の平面図の中に示した(図 2.1、図 2.7)。テレビカメラの設置は作業者が入室する前に完了させ、験者は別室においてモニターで状況を監視した。録画は作業状態が安定してから開始したが、作業者が作業中にテレビカメラに対して関心をはらうことは少なく、テレビカメラの存在は調査に支障を与えなかった。主な使用機械は表 2.1 に示すとおりである。

作業者の視線の動きに伴う視野輝度の変化と、このために生じる目の感度の変化を知るには、視対象の変動および視線移動前後の視対象への滞留時間を明らかにすることが必要である。このため録画テープの分析にあたっては、出来る限り詳細に時間を追って各作業者の視対象とそこへの滞留時間を抽出した。滞留時間に関しては、1秒以内の場合も存在するが、調査の目的に必要な精度として、ここでは秒単位での分析を行なった。分析は調査室の状況、ならびに各作業者位置からの視線の動きによる視野の変化を十分

表 2.1 使用機器

リモートコントロールボックス	SONY N-401 RCB
ビデオカメラ	SONY AVC-3360 S (2台)
ビデオカメラズームレンズ	CANON J 10×10 10-100 mm
	CANON J 10×10 R (DC) 10-100 mm
ビューファインダー	SONY AVF-3350 (2台)
マイク	SONY F 410T (2台)
三脚	SONY VCT-5
	PR. Photometer 用三脚
ビデオモニター	SONY PVM-201 (2台)
ビデオデッキ	SONY ベータマックス J-9
	SANYO VTR 1100 SHN
ビデオタイマー	FORA VTG 33 (2台)

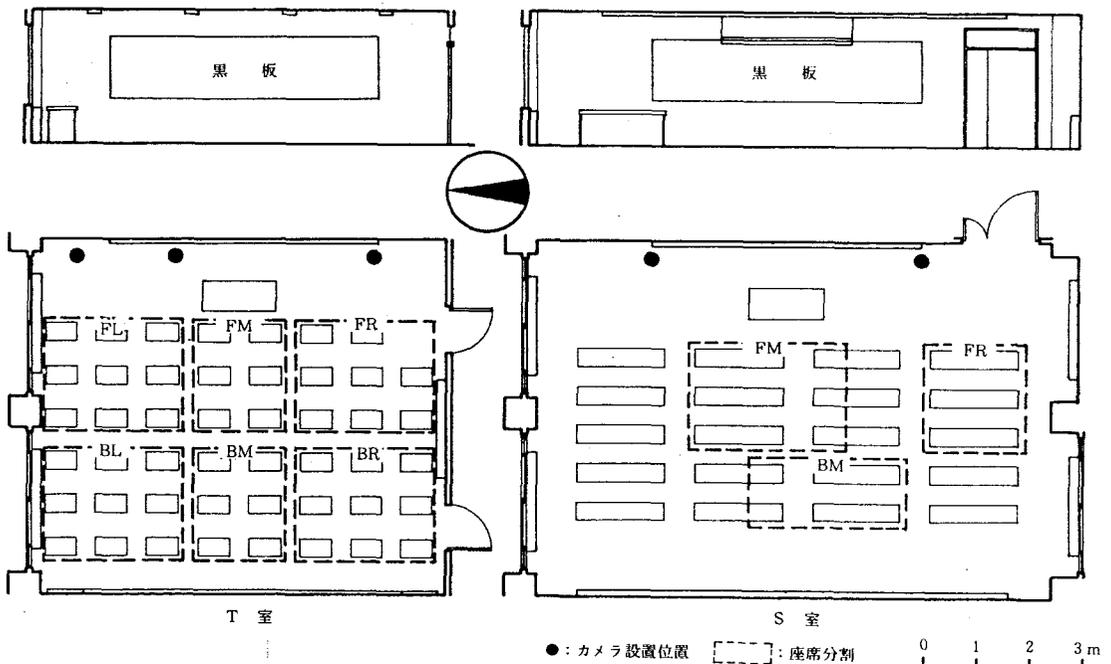


図 2.1 調査室

に把握した上で行なった。

得られた結果は、すべて1時間あたりのものに換算し、これを用いて比較検討を行なっている。

2.2.2 授業中の視線の動き

2.2.2.1 調査方法

調査は、講義・演習・試験の三種類の作業を対象として行なった。講義は教室で行なわれる最も基本的作業、演習は比較的自由のきく一般事務に近い作業、試験は作業に対する拘束が強く、作業者の作業への集中度も高い作業である。これら三種類の作業は、作業者の作業への拘束のされ方が異なり、かつ教室で授業として行なわれる主要な作業はこれらにつきるため、本調査によって受講者の視線の動きの実態がおおむね把握されるものと考えられる。

調査対象集団は大阪大学建築工学部建築工学科学生、調査場所は同大学工学部講義室で、それぞれの授業形態ごとに同一教官による同一科目の授業を調査の対象とした。調査期間は、昭和55年10月～11月である。調査対象人数および調査時間は表2.2に、調査室の概要は図2.1に示す。

視線の動きの設定には、条件を出来る限り単純化することが望ましいが、作業者の在室位置が視線の動きに影響を与えることも予想される。この概略を知るために座席の分割を行ない、各分割ごとの視線の動きにも検討を加えた。座席の分割にあたっては各座席の作業者の視線の動き、および各座席からの前方視野範囲を検討した結果、各席から

表 2.2 調査条件

調査場所	作業内容	調査時間(時・分・秒)		調査人数(人)						
		延べ時間	1人あたりの平均時間	FR	FM	FL	BR	BM	BL	計
S 室	講義	35:20'31"	0:55'48"	4	3	4	11	10	6	38
	演習	13:16'35"	0:27'28"	4	4	4	8	7	2	29
T 室	試験	9:34'15"	0:35'54"	6	5	—	—	5	—	16

の黒板・窓・壁に対する相対的位置関係の類似を重視して図2・1に点線で示すように分割した。なお、T室ではデータ数が少ないため分割が変則的になっている。

2.2.2.2 視線の動きの頻度と視対象への滞留時間

作業者の視方向の分類にあたって、机・黒板・床・天井・窓・壁・出入口を取り上げ、そこへの視線の滞留時間を累積し、これが全作業時間に占める割合をみると、講義98.7%、演習96.6%、試験98.9%とそのほとんどを占めている。したがって、他の明確な視線の分析がなされなかった時間は無視し、上記の視方向に限って視線とその動きをとらえていくことで、各授業形態における受講者の視線の動きの実態はおおむね把握されたと考える。

表2.3に各視方向へ1時間あたりに視線がむけられた度数・頻度(%）、および各視方向への1回あたりの平均滞留時間(秒)を各授業形態別に示す。ある方向へ視線が向けられた度数をその被験者の全集計時間で除したものが各人の一時間あたりの度数であり、その方向への滞留時間の和を度数で除したものが各人の平均滞留時間である。表2.3に示した値は、これらを全被験者、あるいは各分割グループについて平均したものである。なお、ここでいう各視方向の出現度数には、その方向にある対象物、たとえば壁そのものを見ている場合と、その方向にいる人物の顔等を見ている場合との両者が含まれている。

いずれの作業においても、著しく視方向出現度数の多いのは作業者机上面である。しかし、講義では黒板への出現頻度も作業者机上面と同程度であり、演習でも他の机上面と黒板への出現頻度も高い。すなわち、講義・演習では、複数の主作業面があり、作業者の視線は、作業面間を頻繁に往復している。演習は視線の動きの最も多い作業で、講義の1.4倍、試験の3.2倍の動きがあり、自他机上面および黒板以外の視方向、すなわち作業面以外の視方向の出現頻度が34.4%を占めている。作業面以外への一時間あたりの累積滞留時間をみても、講義2分49秒(4.7%)、演習7分9秒(11.9%)、試験1分16秒(2.1%)と演習の場合が一番長くなっている。試験は最も視線の動きの少ない作業であり、作業者机上面以外の視方向の出現は試験問題の補足説明が行なわれた時点で生じたものが大半である。

表 2.3 視方向の出現度数と平均滞留時間(1時間あたり)

— 講義の場合 —

視方向	全体			FR			FM			FL			BR			BM			BL		
	度数	%	平均滞留時間(秒)																		
作業者机上	86.1	43.5	29.2	128.0	45.2	16.8	51.0	44.4	56.1	148.0	49.4	16.6	62.6	40.0	44.5	58.9	38.4	42.1	117.0	46.4	19.1
他の机上	2.3	1.2	4.8	3.2	1.1	4.4	3.0	2.6	2.3	0	0	0	4.6	2.9	5.4	1.7	1.1	4.7	0	0	0
黒板	79.9	40.4	11.4	126.9	44.8	10.6	47.6	41.4	14.3	148.0	49.4	7.7	54.8	35.0	11.0	45.6	29.7	17.0	116.6	46.2	11.1
窓	11.1	5.6	5.5	8.4	3.1	2.1	1.9	1.7	5.3	0.8	0.3	2.0	12.6	8.1	6.0	20.7	13.5	5.9	5.4	2.1	4.1
天井	0.5	0.2	4.0	0.7	0.2	1.4	1.9	1.7	1.6	0.3	0.1	3.3	0.1	0.1	10.0	0.8	0.5	5.0	0	0	0
床	1.3	0.7	5.4	3.2	1.1	5.6	1.1	1.0	6.4	0.3	0.1	3.3	2.2	1.4	5.0	0.8	0.5	5.0	0	0	0
右壁	6.1	3.1	8.9	6.1	2.2	5.2	0	0	0	0.8	0.3	3.4	2.6	1.7	2.7	12.1	7.9	12.2	8.0	3.2	4.5
左壁	0.6	0.3	5.0	0	0	0	1.9	1.7	3.7	0	0	0	0.1	0.1	10.0	1.6	1.0	4.4	0	0	0
後壁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
出入口	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	9.8	5.0	4.8	6.6	2.3	3.8	6.4	5.5	3.4	0.3	0.4	3.1	16.8	10.7	5.4	11.3	7.4	4.8	5.4	2.1	3.3
合計	197.7	100		283.1	100		114.8	100		299.5	100		156.4	100		153.5	100		282.4	100	

— 演習の場合 —

視方向	全体			FR			FM			FL			BR			BM			BL		
	度数	%	平均滞留時間(秒)																		
作業者机上	104.8	38.4	25.2	103.2	41.6	27.9	78.1	38.3	37.5	109.8	38.1	23.4	112.3	32.3	18.2	102.5	42.4	29.5	110.3	39.3	26.1
他の机上	46.8	17.1	9.1	43.2	17.4	7.9	34.0	16.7	7.5	43.1	15.0	11.0	61.8	17.8	9.7	32.3	13.4	5.2	71.0	25.3	9.4
黒板	27.6	10.1	3.5	39.4	15.9	4.0	22.9	11.2	2.4	21.3	7.4	5.1	20.6	5.9	4.4	30.6	12.7	2.6	82.3	11.5	2.3
窓	23.6	8.7	3.3	17.6	7.1	3.5	12.6	6.2	3.2	26.5	9.2	3.2	29.9	8.6	3.4	17.4	7.2	4.1	34.6	12.3	3.2
天井	0.4	0.1	2.5	0	0	0	0	0	0	0.9	0.3	1.1	0.5	0.1	8.0	0.4	0.2	2.5	0	0	0
床	4.0	1.5	1.8	1.3	0.5	2.3	1.6	0.8	2.5	5.0	1.7	2.2	8.0	2.3	1.8	4.3	1.8	2.6	2.3	0.8	3.0
右壁	20.2	7.4	4.7	20.6	8.3	4.7	25.3	12.4	5.3	10.5	3.6	6.2	28.5	8.2	4.6	29.4	12.2	3.7	12.3	4.4	4.9
左壁	4.6	1.7	3.9	0	0	0	0	0	0	16.9	5.9	3.6	0	0	0	0.4	0.2	2.5	1.2	0.4	2.5
後壁	16.5	6.0	6.3	5.5	2.2	3.3	19.7	9.7	5.7	13.1	4.6	3.8	53.8	15.4	7.3	7.2	3.0	9.4	2.3	0.8	1.7
出入口	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	24.6	9.0	5.0	17.2	7.0	2.9	9.5	4.7	7.6	40.8	14.2	5.0	32.7	9.4	7.0	16.6	6.9	4.1	14.7	5.2	2.4
合計	273.1	100		248.0	100		203.7	100		287.9	100		348.1	100		241.1	100		281.0	100	

— 試験の場合 —

視方向	全体			FR			FM			BM		
	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)
作業者机上	38.8	45.6	87.8	30.2	45.3	112.6	70.3	46.7	48.3	41.1	44.5	83.5
他の机上	8.6	10.1	7.9	11.7	17.5	8.0	0	0	0	5.3	5.7	7.5
黒板	9.7	11.4	4.1	9.3	13.9	4.6	18.9	12.5	2.8	3.7	4.0	3.0
窓	4.1	4.8	2.7	2.0	3.0	3.5	4.6	3.1	3.0	10.5	11.4	2.1
天井	0.5	0.6	2.0	0.3	0.5	3.3	0	0	0	1.6	1.7	1.3
床	0.8	0.9	3.8	0.5	0.7	2.0	2.0	1.3	3.0	1.1	1.2	6.4
右壁	1.6	1.9	1.9	1.0	1.5	2.0	1.3	0.9	2.3	3.7	4.0	1.9
左壁	0.9	1.1	2.2	0	0	0	3.3	2.2	2.1	2.1	2.3	1.9
後壁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
出入口	9.2	10.8	3.5	10.3	15.4	3.1	7.8	5.2	3.7	6.9	7.5	2.6
その他	10.9	12.8	3.7	1.5	2.2	12.0	42.3	28.1	2.3	16.3	17.7	3.6
合計	85.1	100		66.7	100		150.5	100		92.3	100	

図 2.2 は、各視方向への 1 回あたりの滞留時間の累積度数分布を授業形態別に示したものである。1 回あたりの滞留時間は、どの作業においても作業者机上面以外では、各視方向の出現度数の 50% 以上が 5 秒以内の短時間であり、試験では特に短くなっている。作業者机上面への滞留時間は、講義、演習では 5 秒以内の短時間のものが出現度数の 35% 以上を占め、1 分を超えるものは 10% 程度であるが、試験では 1 分を超えるものが 30% を占め、40 分以上の長時間のものまでみられる。

以上のことから、複数の主要な作業面を有する講義・演習では作業面間の頻繁な往復があり、1 回あたりの滞留時間は短いことがわかる。また作業面以外に視線が動く頻度は作業への拘束の程度で異なり、演習のように自由度の高い作業ほどその割合が高いといえる。

明視性が要求される机上や黒板という作業面と、それ以外の面への視方向出現頻度について座席位置による傾向をみたものが図 2.3 である。同図より、演習の場合の中央と窓側のグループとを除けば、各グループについては前部座席よりも後部座席の方が作業面以外への視方向の出現頻度が高いことが知られる。

作業面以外への視方向として窓を取り上げて、視線の出現頻度と平均滞留時間を、

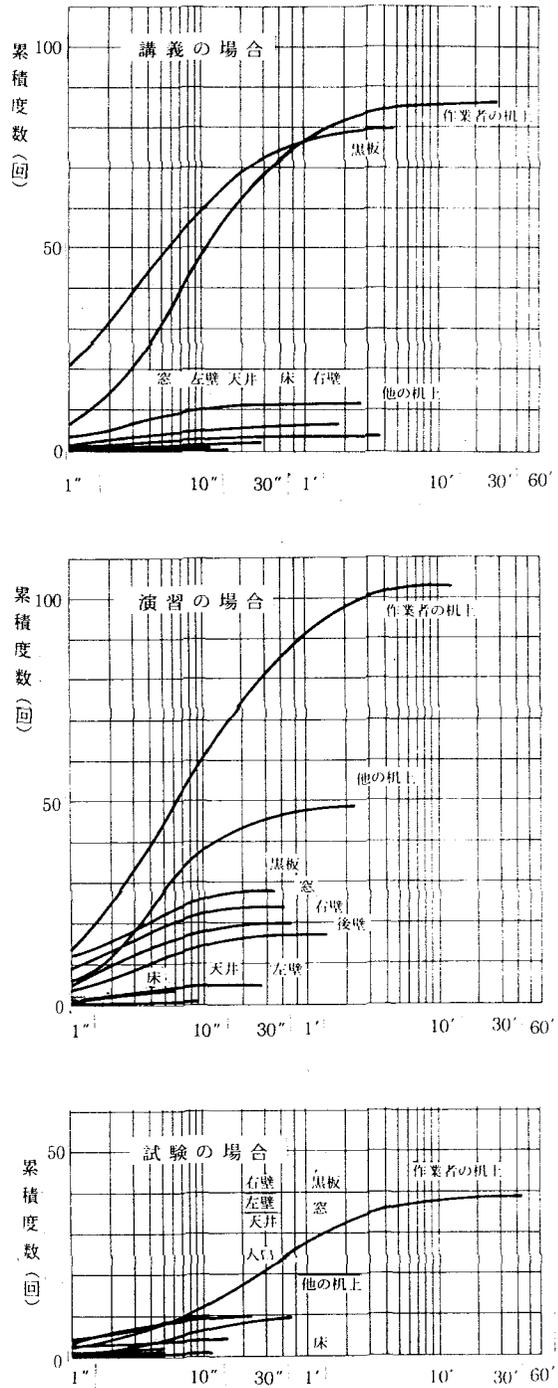


図 2.2 視方向の累積出現度数分布 (1 時間あたり)

前後の座席位置について比較したものが、それぞれ、図 2.4、図 2.5 である。ただし、T 室では右側後部にも窓があり、前後座席で条件が異なっているため、比較は S 室における講義と演習の調査結果について行なうことにする。視線の出現頻度は、講義・演習の両授業形態において、後部座席の方が高いという傾向が明確に現われている。滞留時間については、講義では後部座席の方が長くなっているが、演習の場合にはほぼ同程度の滞留時間となっており、前後座席での明確な傾向の差異は認められない。後部座席で窓方向への出現頻度が高いのは、そこからの前方視野に含まれる窓の割合が前部座席のそれより多いことを考慮すれば当然とも考えられる。しかし、

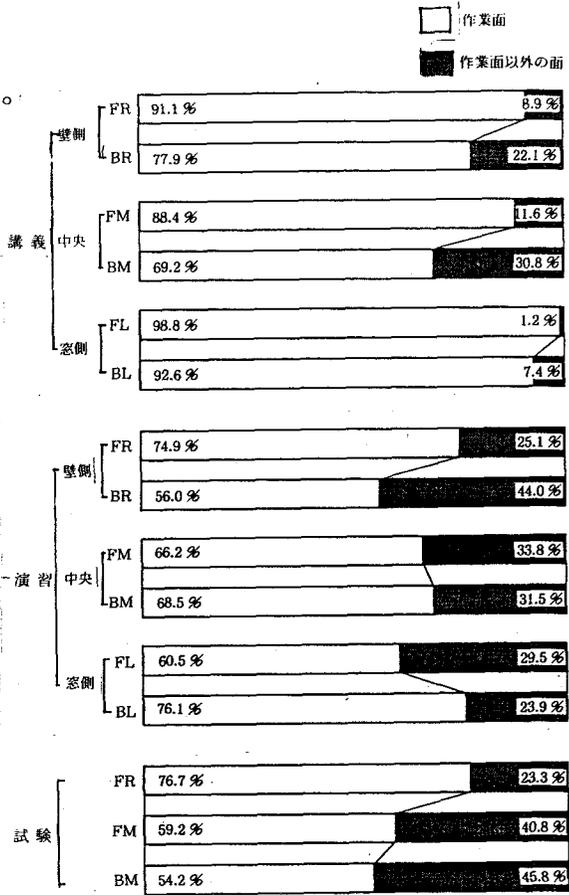


図 2.3 作業面とそれ以外の面への視線の出現頻度

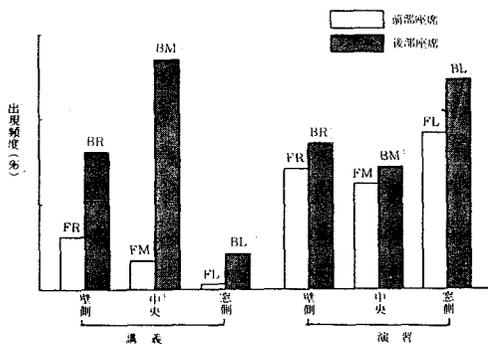


図 2.4 窓方向への視線の出現頻度

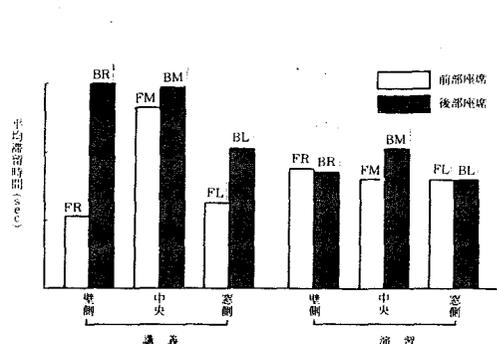


図 2.5 窓方向への 1 回あたりの平均滞留時間

図 2.6 に示したように窓と反対側にある右壁方向への視線出現頻度については、図 2.4 の窓方向の場合ほど後部座席での頻度が高いという明確な傾向はみられない。したがって、窓への出現頻度が高くなっているのは、単に視野に占める割合の大きさのみではなく、窓自体の誘目性という点があげられる。

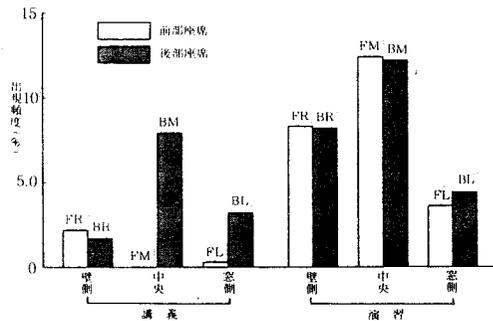


図 2.6 右壁方向への視線の出現頻度

このように、視線の動きの設定にあたって、室内における作業者の位置のちがいに注目すべきこともあるが、ここではまだその明確な傾向を述べることはできない。

2.2.2.3 視線の動きに伴う視野輝度の変動

本論文は、今日行なわれている便宜的な視線の設定による視環境評価法を反省し、在室者の実態に即した視線の動きをふまえ、そのときの眼の順応状態で行なう視環境の評価手法の確立をめざすものである。ここでは、視線の動きに伴い視野輝度は実際にはどのように変化しているのかを前項の調査結果を用いて示すことにより、室の快適性・視作業の明視性を評価するにあたって視線の動きを無視し、視線を水平方向あるいは作業面だけに固定させる従来の評価法の条件設定が、実態からどれほど遊離したものであるかを明確にした。

教室における最も基本的作業である講義が行なわれている場合について、受講者の快適性あるいは明視性を損うおそれのある視線の動きのパターンの1時間あたりの出現回数を考える。表 2.5 より、窓および灯器が視野に入ることは、1時間につき約12回の頻度でおこることが知られる。この場合、眼の順応輝度と、窓や灯器という高輝度面の輝度との差が大きい程、はなはだしいまぶしさを感じるわけである。そして、眼がこの高輝度面に順応すれば、作業面にもどった時に作業対象物が見にくいという現象が生じることが十分に予測される。この窓および灯器から作業面へという視線の動きのパターンは、表 2.3 より、1時間あたり約10回の出現が予測される。

表 2.4 は、調査室 S における人工光と昼光の併用照明時の室中央における各視対象

物の推定輝度を全天空照度の出現率が50%(20,000 lx)と80%(35,000 lx)の各場合について示したものである。輝度の推定には、まず全灯点灯下の人工光源のみによる室内の輝度分布を室中央から測定した(夜間測定)。次に全天空照度の同時測定を行ないながら、室中央から昼光光源のみによる輝度分布を測定して、全天空照度 1.0 lxあたりの昼光光源のみによる輝度分布を求めた。これを全天空

表 2.4 視対象推定輝度(人工光・昼光並用照明時)

視対象	推定輝度 (cd/m ²)	
	全天空照度 50%値 (20,000 lx)	全天空照度 80%値 (35,000 lx)
机上の印刷物	160	200
黒板面	20	28
窓面 ($\rho = 0.9$)	5,700	10,000
灯器	8,600	8,600
壁面	110	180
床面	16	19

照度 20,000 lx(50%値)、35,000 lx(80%値)の場合に換算し、この値にさきの人工光源のみによる値を加え、これを人工光・昼光併用時の輝度分布とした。

以上のことから、1時間に約12回おこるおそれのある20~200 cd/m²の輝度に順応している眼で6,000~10,000 cd/m²の輝度を有する窓や灯器をみた直後のまぶしさ感に対する評価、あるいは1時間に約10回おこるおそれのある6,000~10,000 cd/m²に順応した眼で20~200 cd/m²の輝度の作業面にもどった時の視認能力の一時的な低下等が、従来の評価法では全く見過ごされてしまっていることが明らかである。

これらの視線の動きに伴う輝度変化に対応するまぶしさ感や視認能力の動的評価法に関しては次章以下で明らかにしていく。

2.2.3 研究会議中の視線の動き

2.2.3.1 調査方法

調査は、図 2.7 に示す各室において開かれた建築学会近畿支部光環境部会の研究会を対象として行なった。調査対象集団は、大学教官および大学院生から成る光分科会の会員である。A室は大阪大学工学部建築工学科会議室(調査 A)、B室は同大学建築環境工学研究室(調査 B)、C室は摂南大学工学部建築学科会議室(調査 C)である。調査は前節の教室における調査結果を参考にして、窓の誘目性が視線の動きに影響を及ぼすことのない条件での調査にするために、いずれの室においてもブラインドを完全に閉め

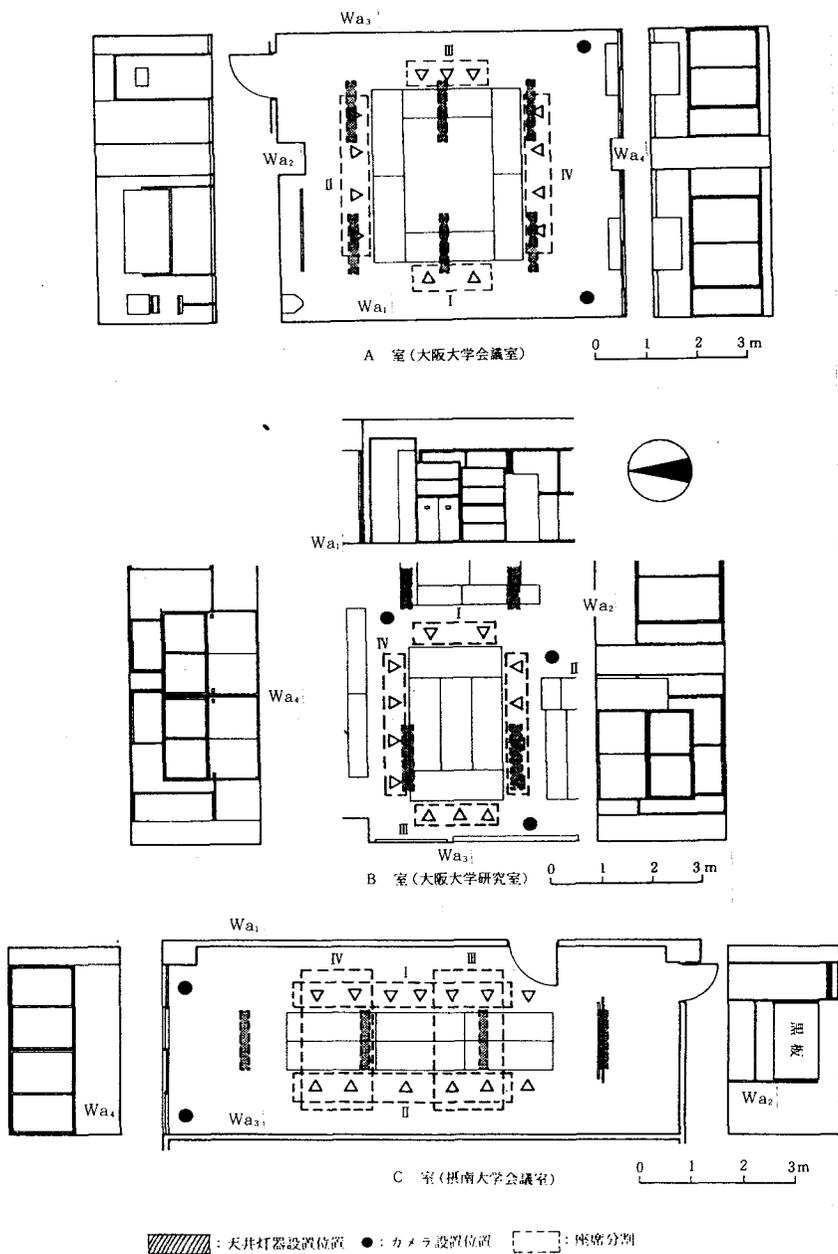


図 2.7 調査室

た状態で行なった。調査期間は調査Aは昭和57年1月、調査Bは同56年9月、調査Cは同57年10月である。調査対象人数・調査時間は表 2.5 に示すとおりである。

データの整理にあたっては、特定の人によって研究発表が行なわれている場合と自由に討論が行なわれている場合とでは、視線の動きに差異があることが十分予想されるた

表 2.5 調査条件

調査場所	作業内容	調査時間(時・分・秒)		調査人数(人)				
		延べ時間	1人あたりの平均滞留時間	I	II	III	IV	計
A 室	研究発表	5:19'41"	0:39'58"	—	2	3	3	8
	討論	5:52'34"	0:27'7"	2	4	3	4	12
B 室	研究発表	16:20'12"	1:15'24"	2	4	3	2	13
	討論	8:41'25"	0:57'56"	2	4	—	2	9
C 室	研究発表	16:38'31"	1:30'46"	6	5	/	/	11
	討論	1:32'53"	0:8'27"	6	5	/	/	11

め、この両場合をあらかじめ分けて集計を行なった。また図 2.7 中に破線で示すように、各壁に対する相対的位置の等しい作業者を 1 グループとして、各グループごとの集計も行なった。

会議内容によって、当然視線の動きに差異は考えられるが、本調査により、会議中の視線の動きの概略を知り得ると考える。

2.2.3.2 視線の動きの頻度と視対象への滞留時間

視方向として、机上面・人の顔・壁面・天井・床を取り上げ、作業者の視方向をこれらのいずれかに分類した。ただし、机上面には資料を持ち上げて見る場合も含まれている。なお、調査 C では黒板が使用されたため、この場合に限り、黒板という視対象が加わっている。

表 2.6 に、各視方向へ 1 時間あたり視線が向けられた度数・頻度(%)、および各視方向への 1 回あたりの平均滞留時間(秒)を各調査ごとに示す。調査 A、C では壁 Wa_4 が、調査 B では壁 Wa_2 と Wa_4 がブラインドをおろした窓方向である。

図 2.8 に示すように、いずれの調査においても、討論が行なわれている場合の視線の動きが、研究発表の場合よりかなり激しくなっている。

図 2.9 は、視方向の出現頻度をグラフ化したものである。出現頻度は作業面である机上面・黒板、あるいは話の対象となる人物の顔が、いずれの場合についても著しく

表 2.6 視方向の出現度数と平均滞留時間(1時間あたり)

— 調査Aの場合 —

作業内容	視方向	全体			I			II			III			IV			
		度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	
研究発表	机上	54.0	45.2	62.3				61.0	44.5	22.0	45.6	45.6	73.5	55.4	45.8	59.6	
	人の顔	49.4	41.4	3.1				58.4	42.5	4.1	42.2	42.3	3.0	47.5	39.2	2.1	
	天井	0.4	0.3	2.2				0.7	0.5	3.0	0.5	0.5	1.0	0	0	0	
	床	1.9	1.6	6.2				3.3	2.4	4.4	2.4	2.4	2.2	0	0	0	
	壁	W _{B1}	1.9	1.6	2.3				0	0	0	2.9	2.9	3.3	2.9	2.4	1.3
		W _{B2}	5.4	4.5	3.5				0	0	0	1.9	1.9	2.2	4.3	11.8	3.7
		W _{B3}	0.6	0.5	2.1				0.9	0.7	1.0	0	0	0	1.0	0.8	3.0
		W _{B4}	5.8	4.9	2.1				12.9	9.4	2.0	4.4	4.4	2.3	0	0	0
	合計	119.4	100					137.2	100		99.9	100		121.1	100		
	討論	机上	169.4	40.7	13.0	229.6	46.9	8.4	161.6	33.6	9.8	138.2	45.4	19.5	148.2	36.5	13.2
人の顔		210.7	50.6	7.5	170.1	34.8	11.5	296.1	61.2	6.6	142.6	47.0	5.5	234.1	57.5	6.3	
天井		10.0	2.4	2.7	51.1	10.4	2.2	4.5	0.9	1.2	0	0	0	1.4	0.3	1.5	
床		3.4	0.8	2.1	8.3	1.7	1.1	1.7	0.4	4.0	2.9	0.9	3.7	0.7	0.2	9.0	
壁		W _{B1}	5.3	1.3	3.6	0	0	0	5.0	1.0	5.3	12.5	4.2	2.2	3.6	0.9	5.8
		W _{B2}	4.7	1.1	3.4	0	0	0	0	0	0	2.9	0.9	1.7	15.7	3.9	3.3
		W _{B3}	8.2	1.9	2.7	27.5	5.6	2.7	2.4	0.5	2.9	0	0	0	2.7	0.7	2.7
		W _{B4}	4.9	1.2	2.6	2.8	0.6	3.4	11.8	2.5	2.2	4.8	1.6	3.4	0	0	0
合計		416.6	100		489.4	100		483.1	100		303.9	100		406.4	100		

— 調査Bの場合 —

作業内容	視方向	全体			I			II			III			IV			
		度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	
研究発表	机上	92.7	45.2	35.2	49.0	36.3	67.3	89.8	42.1	34.8	133.3	45.8	23.2	83.1	48.7	39.4	
	人の顔	94.3	45.5	4.0	62.1	46.1	4.3	96.5	45.3	4.0	148.7	51.1	4.8	70.9	41.5	2.7	
	天井	1.4	0.7	2.2	2.2	1.6	1.7	1.9	0.9	2.9	1.2	0.4	1.5	0.3	0.2	2.0	
	床	2.1	1.0	3.6	2.2	1.6	2.7	3.5	1.6	3.5	1.2	0.4	7.3	1.4	0.8	2.0	
	壁	W _{B1}	2.6	1.3	2.1	0	0	0	2.9	1.4	2.2	3.9	1.3	1.6	3.9	2.3	2.5
		W _{B2}	2.6	1.3	1.4	2.5	1.9	1.6	0	0	0	2.4	0.8	2.2	5.3	3.1	1.0
		W _{B3}	6.7	3.2	2.3	16.3	12.1	3.0	4.6	2.2	1.7	0	0	0	5.9	3.4	1.0
		W _{B4}	3.8	1.8	2.1	0.6	0.4	3.0	13.9	6.5	2.1	0.6	0.2	1.0	0	0	0
	合計	205.3	100		134.9	100		213.1	100		291.3	100		170.8	100		
	討論	机上	159.4	39.1	14.4	133.4	40.5	17.5	178.4	40.5	14.3				188.3	38.6	12.5
人の顔		195.2	47.9	4.4	138.1	41.9	4.0	215.6	49.0	4.0				244.7	50.2	4.6	
天井		2.8	0.7	2.4	1.1	0.3	1.7	2.9	0.7	2.8				4.4	1.0	2.2	
床		5.4	1.3	3.7	2.1	0.6	2.4	7.3	1.7	4.9				5.4	1.1	3.1	
壁		W _{B1}	8.1	2.0	2.7	0	0	0	3.8	0.9	3.7				20.6	4.2	2.5
		W _{B2}	8.8	2.2	3.0	6.2	1.9	3.6	0	0	0				20.3	4.1	2.8
		W _{B3}	17.4	4.2	3.4	41.1	12.5	3.3	7.2	1.7	4.6				3.9	0.8	2.1
		W _{B4}	10.5	2.6	3.2	7.5	2.3	4.1	24.1	5.5	2.9				0	0	0
合計		407.6	100		329.5	100		439.3	100					487.6	100		

— 調査Cの場合 —

作業内容	視方向	全体			I			II			
		度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)	
研究発表	机上	172.5	46.4	12.6	171.1	46.8	12.4	175.1	45.4	12.1	
	黒板	138.3	37.2	7.9	147.6	40.4	8.7	134.3	34.9	6.3	
	人の顔	43.0	11.6	9.2	23.9	6.5	6.5	62.9	16.3	6.8	
	天井	1.9	0.5	2.8	2.0	0.6	3.4	1.8	0.5	1.9	
	床	2.3	0.6	4.2	1.5	0.4	3.6	3.4	0.9	3.7	
	壁	W _{B1}	1.2	0.3	3.0	0	0	0	2.3	0.6	3.0
		W _{B2}	2.5	0.7	3.5	1.3	0.4	10.9	3.7	1.0	1.0
		W _{B3}	7.3	2.0	4.1	14.6	4.0	4.4	0	0	0
		W _{B4}	2.6	0.7	1.5	3.4	0.9	1.5	1.7	0.4	1.6
	合計	371.6	100		365.4	100		385.2	100		
討論	机上	206.7	39.2	8.7	180.5	39.4	11.6	229.4	38.8	6.1	
	黒板	43.5	8.2	8.4	47.2	10.3	7.0	38.8	6.6	9.6	
	人の顔	202.5	38.4	6.5	148.2	32.3	6.4	256.2	43.3	6.6	
	天井	3.8	0.7	2.0	3.2	0.7	2.3	4.4	0.8	1.7	
	床	9.5	1.8	4.5	14.2	3.1	4.1	4.8	0.8	5.7	
	壁	W _{B1}	5.6	1.1	3.8	0	0	0	11.1	1.9	3.8
		W _{B2}	10.3	2.0	5.9	14.2	3.1	3.7	6.3	1.1	1.8
		W _{B3}	18.0	3.4	3.3	35.9	7.8	3.3	0	0	0
		W _{B4}	27.6	5.2	2.1	15.3	3.3	1.7	39.9	6.7	2.3
	合計	527.6	100		458.7	100		590.9	100		

高く、それらの合計は最も低い調査Cの討論の場合においても85.8%を占めている。

研究発表と討論とを比較すると、一様に机上面・黒板の出現頻度は研究発表時が高く、討論では人物の顔を見る頻度が高くなっている。また、作業面以外の視方向、すなわち、天井・床・壁の出現頻度は調査A以外では討論の方が高く、天井・床のみを比較すればいずれの調査においても討論の方が高くなっている。研究発表時と討論が行なわれている場合との作業に対する姿勢のちがいがうかがわれる。

図2.10は、壁への視方向出現頻度を各壁の作業者に対する方向別(左、正面、右)に比較したものである。研究発表者や討論における意見提出者の位置も視方向への影響が大きいと考えられるため、数例の例外はあるものの、研究発表・討論いずれの場合においても正面壁へ視線を向けることが最も多いことが知られる。

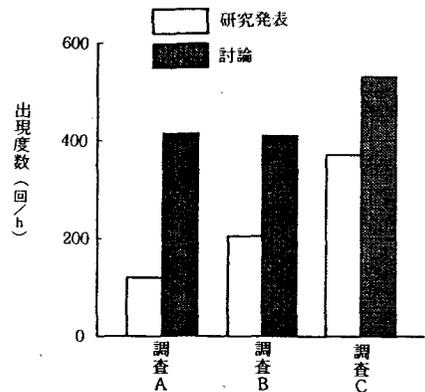


図2.8 視線の動きの出現度数 (1時間あたり)

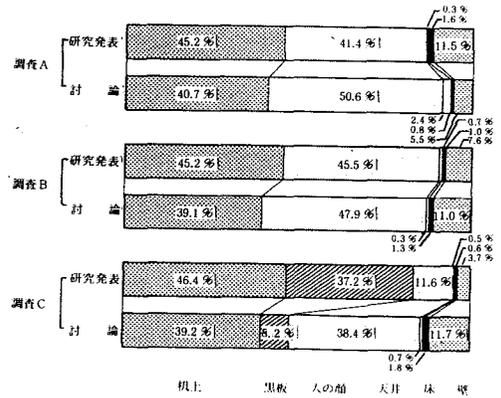


図2.9 視方向の出現頻度

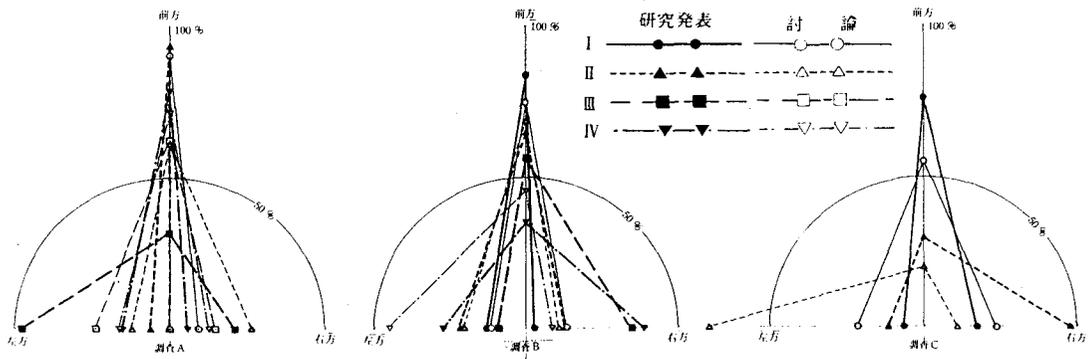


図2.10 壁方向への視線の出現頻度

以上のことから、特定の人物によって発表が行なわれている場合と、自由に意見をかわしている場合とでは、圧倒的に後者の方が視線の動きが頻繁であるといえる。また、自由に意見をかわしているときには、直接作業に関係ない面に視線が向く頻度も高く、その場合の最も多い視線方向は作業者の正面方向であるといえる。

表 2.7 視線移動パターンの出現回数(1時間あたり)
— 調査Aの場合 —

作業内容	移動後の視方向	移動前の視方向				
		机上	人の顔	天井	床	壁
研究発表	机上		43.4	0	0.8	9.8
	人の顔	41.2	4.9	0.2	0.8	2.7
	天井	0	0.4		0	0
	床	1.5	0.2	0		0.2
	壁	11.3	0.9	0.2	0.3	1.0
討論	机上		158.7	1.5	1.2	8.0
	人の顔	157.1	30.7	8.3	2.1	12.5
	天井	3.2	6.6		0.1	0.1
	床	0.9	2.5	0		0
	壁	8.2	12.2	0.2	0	2.5

2.2.3.3 視線の動きのパターン

作業者が実際にまぶしさを感じるのは、作業面に順応した眼で作業面から視線を動かして窓や灯器などの高輝度面が視野に入ったときであり、また、再び作業にもどる時の眼の順応状態が視認能力を決定するため、高輝度面に順応している場合には、一時的な視力の低下が生じることは繰り返

し述べてきたことである。したがって、視線の動きの設定にあたっては、視線移動前後の視対象、すなわち視線移動のパターンを把握しておくことが必要である。

表 2.7 は、研究会議について行なった調査より得られた視線移動のパターンの

— 調査Bの場合 —

作業内容	移動後の視方向	移動前の視方向				
		机上	人の顔	天井	床	壁
研究発表	机上		81.2	0.8	1.3	9.1
	人の顔	80.7	6.7	0.4	0.6	5.0
	天井	0.7	0.4		0	0.3
	床	1.1	1.0	0		0
	壁	9.9	4.1	0.2	0.2	1.3
討論	机上		132.2	0.8	3.6	22.8
	人の顔	133.9	42.1	1.6	1.4	16.2
	天井	1.1	1.6		0	0.1
	床	2.2	2.8	0		0.4
	壁	22.2	16.5	0.4	0.4	5.3

— 調査Cの場合 —

作業内容	移動後の視方向	移動前の視方向					
		机上	黒板	人の顔	天井	床	壁
研究発表	机上		130.4	32.5	0.9	0.8	7.9
	黒板	131.1		4.6	0.2	0.5	1.9
	人の顔	30.1	5.4	3.2	0.5	0.8	3.0
	天井	1.0	0.2	0.5		0	0.2
	床	0.9	0.6	0.7	0		0.1
	壁	9.4	1.7	1.5	0.3	0.2	0.5
討論	机上		31.9	142.8	0.5	7.1	24.4
	黒板	28.2		8.8	0	0	6.5
	人の顔	135.6	9.2	31.1	2.3	2.4	21.9
	天井	1.1	0.6	0.5		0	1.6
	床	8.4	0	0.5	0		0.6
	壁	33.4	1.8	18.8	1.0	0	6.5

一時間あたりの出現度数を各調査別に示したものである。A・B・Cいずれの調査においても、人の顔や壁面から机上へもどるパターンが多い。したがって、壁に窓が設けられていたり、人物が高輝度面を背にしていれば、これらのパターンは視認能力の低下を招くおそれがあることが十分考えられる。また、机上から壁面・人の顔のパターンも多く、この場合も壁面が窓であったり、人物が高輝度面の近くに位置していれば、まぶしさを生ずることが十分予測される。

実際の視対象物の輝度は、照明条件・室形状が決まれば計算によって予測されるため、このような視線移動パターンの分析は、視環境の動的な評価・設計を行なうための有力な資料となるものである。

2.2.4 窓の誘目性と座席位置の影響

教室における視線の動きの調査結果より、窓の誘目性および座席位置の視線の動きへの影響が考えられたため、これらを取り上げて検討を行なった結果に関するものである。

2.2.4.1 調査方法

調査は、図 2.7 に示す摂南大学工学部建築工学科会議室(C室)における建築学会近畿支部光環境部会の研究会を対象とし、同会議の前半をブラインドを完全に閉めた状態で、後半をブラインドを完全に上げた状態で行なった。ブラインドの調節は休憩時間に行なった。調査対象人数・調査時間は表 2.8 に示すとおりで、ブラインド全閉の場合は前節の調査 C に相当する。

表 2.8 調査条件

ブラインド 調節状態	作業内容	調査時間(時・分・秒)		調査人数(人)		
		延べ時間	1人あたりの 平均時間	窓側グループ Ⅲ	室奥グループ Ⅳ	全体
全開	研究発表	5:19'24"	0:31'56"	4	—	10
	討論	21:17'59"	1:56'11"	4	4	11
全閉	研究発表	16:38'31"	1:30'46"	4	4	11
	討論	1:32'53"	0:8'27"	4	4	11

データの整理にあたっては、窓に対する位置のちがいを検討するために、図 2.7 中に破線で示した窓側の 4 名(Ⅲ)と室奥の 4 名(Ⅳ)とをそれぞれ 1 グループとした集計も行

なった。また、前節と同様に、会議を研究発表と討論の2種類に分けて分析を行なっている。

2.2.4.2 窓の誘目性

表2.9は、研究発表が行なわれている場合の各視方向への1時間あたりの視線の出現度数・頻度(%)および各視方向への1回あたりの平均滞留時間(秒)をブラインドの開閉各々の場合について並示したものである。

表2.9 ブラインドの開閉状態と視方向の出現度数・平均滞留時間(1時間あたり)
—研究発表の場合—

ブラインド 調節状態	視方向	全 体			窓 側 グ ル ー プ		
		度 数	%	平均滞留 時間(秒)	度 数	%	平均滞留 時間(秒)
全 開	机 上	92.7	47.0	31.5	87.3	45.3	33.7
	黒 板	12.4	6.3	5.3	0	0	0
	人の顔	82.3	41.8	5.4	86.9	45.0	6.9
	天 井	2.8	1.4	4.0	3.0	1.6	4.9
	床	2.8	1.4	5.2	6.0	3.1	5.1
	壁	1.4	0.7	5.2	2.0	1.0	3.8
	窓	2.8	1.4	1.2	7.7	4.0	1.7
合 計		197.2	100		192.9	100	
全 閉 (無 窓)	机 上	172.5	46.4	12.6	135.7	45.9	16.4
	黒 板	138.3	37.2	7.9	91.7	31.1	9.4
	人の顔	43.0	11.6	9.2	38.0	12.9	9.2
	天 井	1.9	0.5	2.8	3.1	1.0	2.5
	床	2.3	0.6	4.2	3.1	1.0	4.0
	壁	11.0	3.0	3.8	19.9	6.7	5.1
	窓位置	2.6	0.7	1.5	4.0	1.4	1.6
合 計		371.6	100		295.5	100	

ブラインドの開閉各々の場合の作業面以外の面(天井・床・窓を含む壁)への視線の向けられる頻度は、全体で4.9%と4.8%、窓側グループ(Ⅲ)で9.7%と10.1%となっており、ブラインドの開閉による差はみられない。しかし、窓方向への出現頻度は、全体でそれぞれ1.4%と0.7%、窓側グループで4.0%と1.4%となっており、ブラインドを上げた場合の方が頻度が高くなっている。図2.11は、作業面以外の視方向を取り上げ、各視方向の出現頻度をブラインドの開閉状態のちがいについて比較したものである。

同図により、ブラインドを上げた場合の窓方向への出現頻度の多さが一層明瞭になる。窓方向への1回あたりの滞留時間は、ブラインドを上げた場合に全体、窓側ともに1.7秒であり、ブラインド閉ではそれぞれ1.5秒と1.6秒となっている。わずかにブラインドを上げた場合の方が長いが、ほぼ等しいとみなせる程度の差異である。図2.12は、

討論の場合の滞留時間を比較したものである。この場合には、ブラインドを上げた場合の窓方向への滞留時間が、閉めている場合に比し、かなり長いという結果が得られている。

以上の結果より、窓が存在すれば視線が窓の方へ引きつけられる傾向がある、すなわち窓には誘目性があるといえよう。このことは、視線の設定に際して留意すべき点である。

2.2.4.3 座席位置の影響

ブラインドを上げた状態で討論が行なわれている場合の各視方向の1時間あたりの出現度数・頻度(%)および各視方向への1回あたりの平均滞留時間(秒)を窓側グループ(Ⅲ)と室奥グループ(Ⅳ)とについて表2.10に示す。全度数は両グループそれぞれ458.1回/hと426.8回/hとほぼ等しい。そのうち作業面以外の面(天井・床・壁・窓)への視方向出現頻度は窓側グループで8.5%、室奥グループで3.7%と窓に近い方が頻度が高くなっている。

図2.13は、作業面以外の面への視線の出現頻度を座席位置について比較したものである。同図より、窓方向に限らず、天井面以外では窓側グループの視線の出現頻度が室奥グループの約2～8倍になっていることが知られる。ブラインドを閉めた状態では作業面以外の各視方向の出現頻度は、窓側・室奥の両グループではほぼ等しく、座席位置に

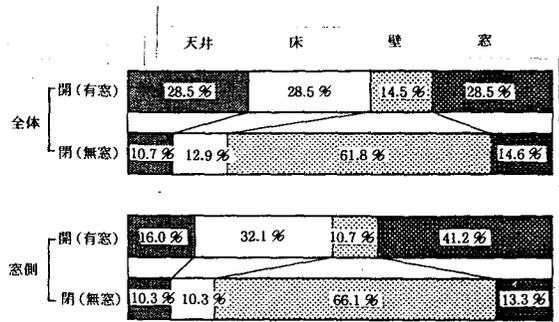


図2.11 ブラインドの開閉状態と作業面以外の視方向の出現頻度 (研究発表の場合)

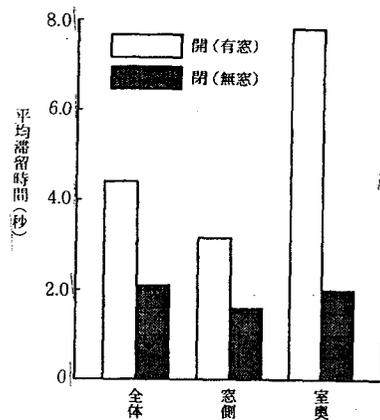


図2.12 ブラインドの開閉状態と窓方向への1回あたりの平均滞留時間 (討論の場合)

よる差異は認められていない。このことから、図 2.13 に示した座席位置による差異は窓の存在によって生じたものと考えられる。

以上の検討により、窓という誘目性のある視対象に対する作業者の位置のちがいが視線の動きに影響を及ぼすと考えられる。したがって、視線

の設定にあたっては作業者の位置も考慮する必要があるが、具体的な手法および数値は、これまでの調査結果のみでは、まだ提示することはできない。

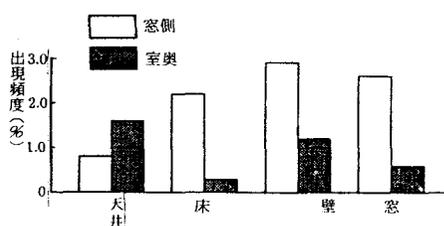


図 2.13 座席位置と視方向出現頻度
—ブラインド開の場合—

表 2.10 座席位置の視方向の出現度数・平均滞留時間(1時間あたり)

—討論の場合—

視方向	窓側グループ			室奥グループ		
	度数	%	平均滞留時間(秒)	度数	%	平均滞留時間(秒)
机上	201.2	43.9	5.3	175.0	41.0	9.5
黒板	0.8	0.2	3.1	2.1	0.5	1.8
人の顔	217.1	47.4	8.6	233.9	54.8	8.8
天井	3.8	0.8	2.4	6.6	1.6	3.6
床	10.1	2.2	4.9	1.2	0.3	4.8
壁	13.1	2.9	4.8	5.6	1.2	3.9
窓	12.0	2.6	3.2	2.4	0.6	7.8
合計	458.1	100		426.8	100	

2.2.5 視線移動に要する時間

作業者は、作業面に順応した眼で作業面から視線をはずし、視野に窓や灯器などの高輝度面が入ってきた直後に最もはなはだしいまぶしさを感じ、時間の経過とともに眼の順応輝度が上がるとともにまぶしさ感はやわらいでいく。また、高輝度面に順応した眼で作業面にもどれば視認能力の一時的な低下が考えられるが、眼が作業面輝度に順応するにしたがってこれも解消されていく。

したがって、視環境を動的に評価するには、視線の動きに伴う急激な視野輝度変化後のどの時点での視覚を評価の基準とするか、すなわち、どの程度の許容時間を設けるかという問題がある。これに関しては、本研究より直ちに決定すべき性質のものではないが、視線移動後視作業に戻るのに要する時間の測定を行ない、評価時点を決めるための

一資料を提出しておく。

2.2.5.1 実験方法

実験は、ある方向の視対象物から視線を机上にもどし、机上の印刷物を読むという作業にとりかかるまでの所要時間を測定したものである。被験者に椅子に着席し机に正対してその上に置かれている印刷物を読むという定常的な視作業を行なわせ、作業の途中で、ある方向の視対象物を見るように指示する。それを見ている状態から験者の合図の後、再びもとの文章を読むという作業に取りかかるまでの時間を測定した。

視対象物を設置した方向(方位, 高度)は図 2.14 に示す。被験者の正面水平方向を(方位 0° , 高度 0°)とし、左側の方位をマイナスで表わしてある。視対象物には、直径 8 cm、高さ 4 cm の円柱を用い、視対象物までの視距離 d は 130 cm・480 cm の 2 とおりに設定した。視作業に用いた印刷物(日本文)の活字高さは、2.0 mm・2.5 mm・3.0 mm の三種類である。使用した椅子、机は高さがそれぞれ 40 cm、70 cm のごく一般的なものである。

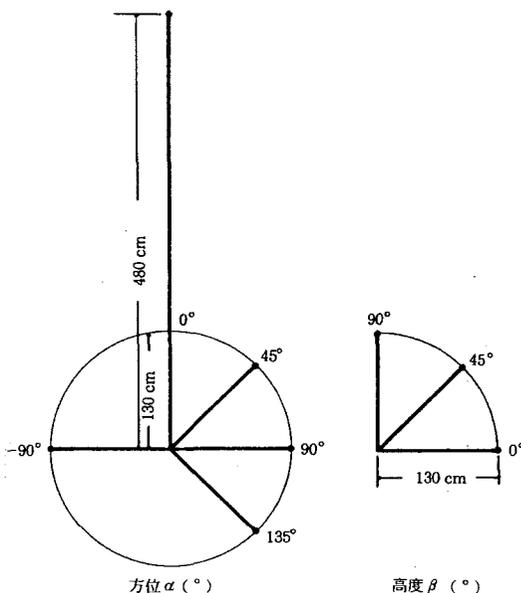


図 2.14 設定方位と高度

被験者は摂南大学建築学科四回生 13 名であり、測定は各条件ごとに各被験者につき 3 回行なった。実験に際しては、机上の印刷物の平均輝度と視対象物を設置した視野の輝度とがほぼ等しくなるよう留意した。

2.2.5.2 視線移動後視作業にとりかかるまでの所要時間

表 2.11 に得られた結果の平均値と標準偏差を示す。以後の考察においては、この平均値を用いているが、測定値のばらつきはかなり大きいものであり、この程度のばらつきのあることを心得ておくことが必要である。

表 2.11 に示した中の正方位の $d = 130$ cm での結果を、視線の移動角度と所要時間 t と

の関係で示したものが図 2.15 である。いずれの大きさの活字においても一様に、移動角度が大きくなる程、所要時間も長くなっている。活字の大きさによって比較すれば、活字が小さい程、所要時間が長いという傾向がみられる。移動角度による所要時間の変化は最大で約 0.7 秒、活字の大きさによる変化は最大で約 0.4 秒である。

図 2.16 は、活字の大きさと所要時間との関係を視対象物までの視距離 d について比

表 2.11 視線移動に要する時間の平均値・標準偏差

視距離 d (cm)	方位 $\alpha(^{\circ})$	高度 $\beta(^{\circ})$	活字大 (高さ 3.0 mm)		活字中 (高さ 2.5 mm)		活字小 (高さ 2.0 mm)	
			$\bar{\tau}$ (秒)	σ	$\bar{\tau}$ (秒)	σ	$\bar{\tau}$ (秒)	σ
130	-90	0	1.5	0.69	1.7	1.1	1.8	0.77
	0	0	1.2	0.39	1.4	0.40	1.6	0.61
	45	0	1.7	0.82	1.4	0.65	1.7	0.61
	90	0	1.6	0.60	1.6	0.62	1.8	1.1
	135	0	1.7	1.0	1.8	0.77	1.9	0.74
	-90	45	1.8	1.4	1.7	0.47	1.9	0.77
	0	45	1.5	0.53	1.7	0.62	1.8	0.69
	45	45	1.6	0.66	1.8	0.69	1.6	0.48
	90	45	1.6	0.63	1.6	0.48	1.9	0.72
	135	45	1.7	0.62	1.9	0.69	2.1	0.91
0	90	1.9	1.1	2.3	1.7	2.1	1.1	
480	0	0	1.5	1.2	1.7	0.61	1.8	1.1

較したものである。活字が小さい程、所要時間が長いという傾向は、 $d=480\text{cm}$ の場合についてもみられている。また、活字の大きさに無関係に、 $d=480\text{cm}$ の場合の所要時間が、 130cm の場合より 0.2~0.3 秒長いことが同図より明らかとなる。

図 2.17 は、活字の大きさと所要時間との関係を左右の方向について比較したものであるが、同図より、左右の方向による所要時間に差はないことが知られる。

以上の検討により、視線の移動角度と視作業の難易度（本実験では活字の大きさ）、および、作業面から視線をはずして見ている視対象物への視距離によって、視作業にも

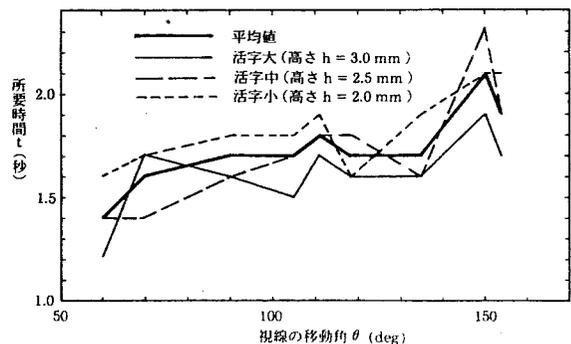


図 2.15 視線の移動角度と所要時間

どるための所要時間は変化するものであり、所要時間としては1.4～2.4秒程度のものを考慮する必要のあることが明らかにされた。しかし、所要時間そのものが、いずれの場合にしてもごく短時間であるため、全平均値の1.7秒を見込めば大半の場合に適用し得ると考える。

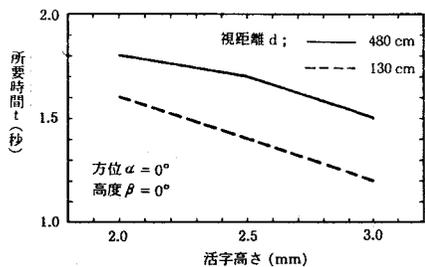


図 2・16 移動前の視対象までの視距離と所要時間

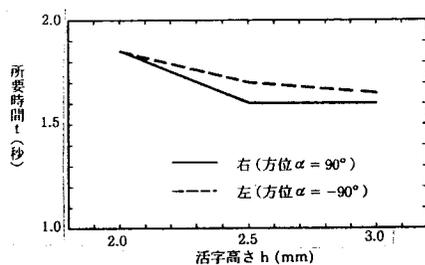


図 2・17 左右の方向と所要時間

視線移動に伴う眼の順応の変化のない場合にも、作業にとりかかるまでに約1.7秒を要するという本実験結果から、視線移動に伴う急激な視野輝度変化の生じる場合の視認能力の評価にあたって2秒程度の許容時間を設けることに問題はないと考える。

2.3 昼光の変動実態

本節は、視野輝度の変動要因の一つとして昼光光源の変動を取り上げ、その実態を天空光・太陽直射光のそれぞれについて明らかにしたものである。本調査の目的は、昼光光源の変動を視覚への影響という観点からとらえることにあるため、短時間に生じる大きな変動に限りこれを分析した。

2.3.1 分析資料と分析方法

分析の対象とした資料は、大阪大学工学部(吹田市山田丘)建設棟屋上において測定した天空光水平面照度および直射光法線面照度それぞれの一年間の連続記録である。

天空光水平面照度は、北1/4天空による昭和55年9月1日～同56年8月31日の1ケ年間の連続記録によるものである。記録は感光素子SBCによる光電流を打点式記録計に20秒毎に記録させたものである。

直射光法線面照度は、昭和55年10月1日～同56年9月30日の1ケ年間の連続記録である。記録は、内部に遮光フィンを取り付けた円筒の底部に設置したSBC光電池に、

太陽を中心とする視直径 7.76°からの光を入射させ、これを打点式記録計に20秒毎に記録させたものである。太陽軌道の追跡には赤道儀を利用した。

それぞれ対象とした年は、年間の気象条件に異常はなく、平常な年とみなして差し支えない年であり、これらによる結果をもって平年のものと見なして大きな誤りはないと考える。記録のうち変動の著しい日の直射光の場合の一例を図 2.18 に示す。

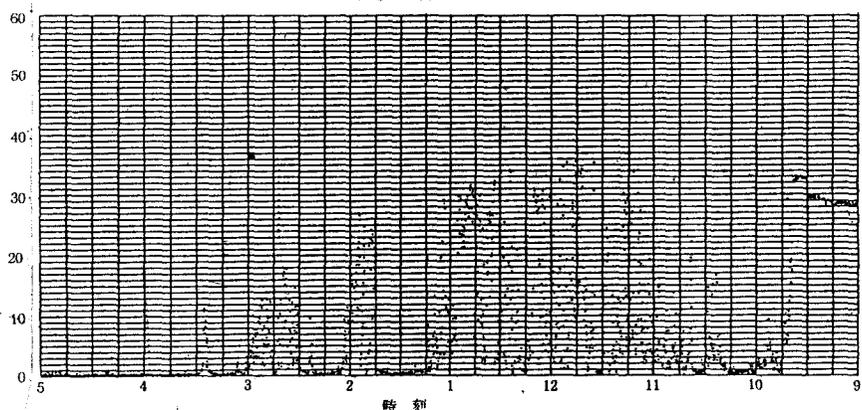


図 2.18 太陽直射光法線面照度記録 (1 目盛 2,085 lx)

読み取りは本研究の目的から、20秒間隔の打点についてその間の変化が1割以上のものについて行なうことにしたが、年間の全日について行なうには多大の労力を要する。このため、読み取りの対象とする日は、原則的に2日おきに全日数の1/3とした。ただし日の選出にあたっては、それらの日についての読み取り対象となる照度変化が1割以上の時間帯の集計が、各月全日についての同時時間帯の集計の約1/3になるよう、天空光と直射光別々に日の選出に若干の調整を行ない、それぞれについて各月での平均値に近い結果が得られるよう配慮した。調整はそれぞれ各月1～2日である。1日の読み取り対象時間は就業時間帯(午前9時～午後5時)とした。

変動の視覚への影響としては、変化前の輝度に対する変化後の比として把えることが妥当と考え、前後の読み取り値 E_1 、 E_2 (lx) に対して E_2/E_1 で表わすことにした。 E_2/E_1 を変動比と称する。 $E_2 < E_1$ の暗変動については $E_2/E_1 \leq 0.9$ 、 $E_2 > E_1$ の明変動については $E_2/E_1 \geq 1.1$ のものを検討の対象として取り上げた。また、明暗変動を区別しないで変動の大きさのみを表わすには、変動割合として $|E_2 - E_1|/E_1$ を用いた。

得られた変動比 E_2/E_1 は、変動後の照度 E_2 の帯域別に各日につき E_2/E_1 の値に対してその出現度数を累積した。これをもとに月間、および年間での出現度数の変動比に

対する累積値を各照度帯別に求めた。これらの結果を、1日あたりの就業時間帯(9時間)に生ずる昼光光源の変動の出現頻度の把握を容易にするために、1回の出現を20秒に換算したものを変動の出現時間と称する。

2.3.2 天空光の変動

2.3.2.1 1日あたりの変動時間

変動割合 $|E_2 - E_1|/E_1$ が0.1以上の変動の1日あたりの出現時間とその年間の日数出現率との関係を示したものが図2.19である。これより、48.3%という大半の日は、就業時間帯に1割以上の変動が生じる時間が10分以下であり、1時間以上変動のある日は10.5%にすぎないことがわかる。しかし日によっては、就業時間の40%以上にあたる3時間20分もが変動時間帯で占められている日のあることを示している。

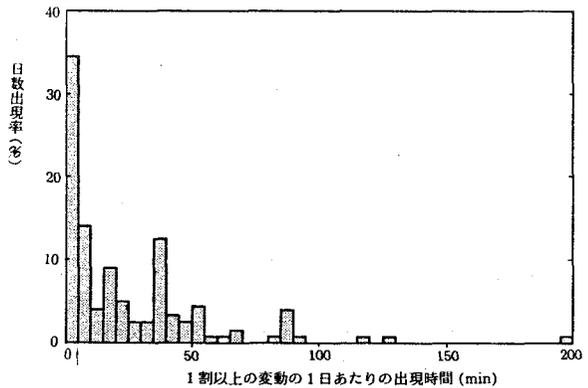


図2.19 天空光の変動出現時間と日数出現率 (1日あたり)

このうち、大きな変動として、変動割合 $|E_2 - E_1|/E_1$ が0.4以上の変動を示したものが表2.12である。抽出日数122日のうち、日に1回が21日、2回が6日、3・4・5回が各2日、6・13・33回が各1日である。大きな変動をすることは総体的に少ないが、変動の激しい日には33回もこれが出現していることは注目されねばならない。

表2.12 天空光の4割以上の変動の出現回数(1日あたり) $|E_2 - E_1|/E_1 \geq 0.4$

一日の出現度数	日数
1	21
2	6
3	2
4	2
5	2
6	1
13	1
33	1

2.3.2.2 明暗両変動の出現比率

暗から明への明変動と、明から暗への暗変動とは眼の順応過程が異なるため、図2.20に、変動割合ごとに明暗変動の出現比率を示す。暗変動は高い変動割合では非常におこりにくいことが知られる。これは、同一の2つの照度の組み合わせであっても、暗から明への変動割合が明から暗への変動よりも大きく示されることを考えれば当然ともいえる。

表2.13は、明暗両変動を別々に、変動割合ごとの総変動時間の全調査対象時間に対

する比率を示したものである。読み取り時間帯が正午を中心に等間隔であれば、明変動の出現率が大であるべきところ、暗変動が大になっているのは、午後の読み取りが午前より大であることによると考えられる。

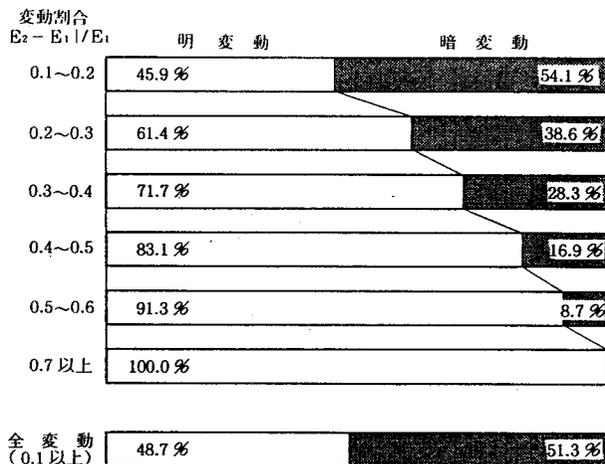


図 2.20 天空光の明・暗変動の出現比率

表 2.13 天空光の変動割合別出現率(年間)

変動割合 $ E_2 - E_1 / E_1$	変動出現率 (%)		
	暗 → 明	明 → 暗	計
0.1 ~ 0.2	1.97	2.30	4.27
0.2 ~ 0.3	0.35	0.21	0.56
0.3 ~ 0.4	0.08	0.03	0.11
0.4 ~ 0.5	0.03	0.006	0.036
0.5 ~ 0.6	0.01	0.001	0.011
0.6 ~ 0.7	0.006	-	0.006
0.7 ~ 0.8	0.003	-	0.003
0.8 ~ 0.9	0.001	-	0.001
0.9 ~ 1.0	0.001	-	0.001
1.0 ~	0.002	-	0.002
計	2.452	2.547	5.000

2.3.2.3 変動の出現率・出現時間

変動比 E_2/E_1 別に、月ごとに集計した結果が表 2.14である。1日の就業時間帯に占める変動の比率(%)と実時間(秒)が示してある。変動時間の最大は6月、最小は5月で

ある。季節別に見れば春(3月～5月)4.17%、夏(6月～8月)5.99%、秋(9月～11月)3.48%、冬(12月～2月)6.43%となっており、冬季に最も大であり、秋季に最も小となっている。

表 2.14 天空光の月別変動出現率・出現時間(1日あたり)

$\frac{E_2}{E_1}$	9月		10月		11月		12月		1月		2月	
	%	秒	%	秒	%	秒	%	秒	%	秒	%	秒
～0.5	0	0	0.007	2.3	0	0	0	0	0	0	0.007	2.3
0.5～0.6	0.007	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.007	2.3
0.6～0.7	0.007	2.3	0.006	1.94	0.02	6.5	0.02	6.5	0.05	16.2	0.02	6.5
0.7～0.8	0.07	22.7	0.24	77.8	0.19	61.6	0.17	55.1	0.34	110.2	0.28	90.7
0.8～0.9	0.92	298.1	2.34	758.2	1.29	418.0	2.70	874.8	3.34	1082.2	3.15	1020.6
1.1～1.2	1.05	340.2	1.94	635.0	1.25	405.0	2.15	696.6	2.76	894.2	2.69	871.6
1.2～1.3	0.11	35.6	0.45	145.8	0.14	45.1	0.37	119.9	0.49	158.8	0.40	129.6
1.3～1.4	0.03	9.7	0.13	42.1	0.03	9.7	0.11	35.6	0.10	32.4	0.06	19.4
1.4～1.5	0.01	3.2	0.06	19.4	0.007	2.3	0.02	6.5	0.03	9.7	0.007	2.3
1.5～2.0	0.014	4.5	0.033	10.7	0.017	5.5	0.007	2.3	0	0	0.007	2.3
2.0～	0	0	0.006	1.9	0	0	0	0	0	0	0.007	2.3
計	2.218	718.6	5.286	1712.7	2.944	954.0	5.547	1797.3	7.110	2303.7	6.635	2149.9

$\frac{E_2}{E_1}$	3月		4月		5月		6月		7月		8月	
	%	秒	%	秒	%	秒	%	秒	%	秒	%	秒
～0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5～0.6	0.01	3.2	0.007	2.3	0	0	0.007	2.3	0.01	3.2	0.02	6.5
0.6～0.7	0.007	2.3	0.007	2.3	0.007	2.3	0.04	13.0	0.11	35.6	0.007	2.3
0.7～0.8	0.17	55.1	0.22	71.3	0.03	9.7	0.31	100.4	0.41	132.9	0.17	55.1
0.8～0.9	2.38	771.1	2.87	929.9	0.90	291.6	3.61	1169.6	2.41	780.9	1.95	631.8
1.1～1.2	1.85	599.4	2.31	748.4	0.89	288.4	2.99	968.8	2.18	706.3	1.58	511.9
1.2～1.3	0.2	61.8	0.44	142.6	0.06	19.4	0.74	239.8	0.56	181.5	0.19	61.6
1.3～1.4	0.007	2.3	0.12	38.9	0.007	2.3	0.12	38.9	0.16	51.8	0.03	9.7
1.4～1.5	0	0	0.02	6.5	0	0	0.06	19.4	0.13	42.1	0.01	3.2
1.5～2.0	0	0	0	0	0.007	2.3	0.051	16.5	0.10	32.4	0.014	4.5
2.0～	0	0	0	0	0	0	0	0	0.006	1.9	0	0
計	4.624	1498.2	5.994	1942.2	1.901	616.0	7.928	2568.7	6.076	1968.6	3.971	1286.6

年間について、1日あたりの平均変動時間を示したものが表 2.15 であり、1日あたり平均27分間の天空光の1割以上の変動があることが知られる。表 2.16 は、1日の1

表 2.15 天空光の変動出現率・出現時間(1日あたり)

—年平均—

$\frac{E_2}{E_1}$	%	秒
～0.5	0.001	0.3
0.5～0.6	0.006	2.0
0.6～0.7	0.03	9.7
0.7～0.8	0.21	68.0
0.8～0.9	2.30	745.2
1.1～1.2	1.97	638.3
1.2～1.3	0.35	113.4
1.3～1.4	0.08	25.9
1.4～1.5	0.03	9.7
1.5～2.0	0.021	6.8
2.0～	0.002	0.7
計	5.000	1620(27分)

表 2.16 天空光の変動出現率・出現時間(1日あたり)
—S56年7月30日—

$\frac{E_2}{E_1}$	%	分
~0.5	0	0
0.5~0.6	0.14	0.8
0.6~0.7	1.18	6.4
0.7~0.8	3.89	21.0
0.8~0.9	14.90	80.5
1.1~1.2	12.60	68.0
1.2~1.3	4.30	23.2
1.3~1.4	1.60	8.6
1.4~1.5	1.18	6.4
1.5~2.0	0.9	4.8
2.0~	0.07	0.4
計	40.76	220.1

2.3.2.4 照度帯別の変動の出現時間・出現比

変動比 E_2/E_1 別の変動の出現率(%)と出現時間(秒)を変動後の照度 E_2 の帯域ごとに見たものが、表 2.17 である。0~5,000 lx、50,000 lx 以上は、それぞれ年間の出現率 5%、13,000 lx~32,000 lx は中央の 50% の出現率に相当する照度帯であることから、

表 2.17 天空光の照度帯別変動出現率・出現時間(1日あたり)

$\frac{E_2}{E_1}$	0~5000 lx		13000~32000lx		50000 lx	
	%	秒	%	秒	%	秒
~0.5	0.0006	0.2	0	0	0	0
0.5~0.6	0.0006	0.2	0.0023	0.7	0	0
0.6~0.7	0.0022	0.7	0.010	3.2	0	0
0.7~0.8	0.020	6.5	0.080	25.9	0.0006	0.2
0.8~0.9	0.160	51.8	0.970	314.3	0.020	6.5
1.1~1.2	0.080	25.9	0.940	304.6	0.040	12.9
1.2~1.3	0.020	6.5	0.170	55.1	0.0034	1.1
1.3~1.4	0.0022	0.7	0.030	9.7	0	0
1.4~1.5	0.0017	0.6	0.020	6.5	0	0
1.5~2.0	0.0006	0.2	0.0137	4.4	0	0
2.0~	0	0	0.0011	0.4	0	0
計	0.2879	93.3	2.2371	724.8	0.0640	20.7

1日の就業時間帯に占める比率(%)と実時間(分)を示したものである。ただし、就業時間帯には直射光の無い場合も含まれているので、直射光そのものの変動は表中の値より大きくなる。

変動時間の最大は8月、最小は4月となっている。季節別に見れば春(3月～5月)9.84%、夏(6月～8月)15.46%、秋(9～11月)12.64%、冬(12月～2月)15.32%と夏季に最も大で、次いでほぼ同程度で冬季となっており、春季が最も小である。最大月が夏季で、最小月が春季であることと、夏・冬に出現率が強く中間期の春・秋に低いという傾向は天空光の場合と同様である。

表 2.19 は年間についての平均変動率、および1日あたりの平均変動時間(分)を示したものである。天空光の変動の2倍以上に相当する1日1時間以上の時間帯に直射光の1割以上の変動があることが知られる。

表 2.20 は、図 2.18 に示した変動の著しい日(9月11日)の集計結果である。変動時間は年平均の約3倍になっており、特に E_2/E_1 が0.1～0.34あるいは3.0～10.0の変動の出現率は増加しているが、0.1以下あるいは10.0以上の激しい変動の出現率が低いことが注目される。

2.3.3.2 照度帯別の変動の出現時間

直射光の全抽出についての変動比 E_2/E_1 に対する累積出現度数分布を E_2 の各照度帯別に示したものが図 2.22 である。同図から変動の大部分は低い照度帯でおこり、照度帯が高くなるにつれて変動は少なくなることがわかる。

図 2.23 は、照度帯と1日あたりの出現時間の年平均との関係を変動比別に示したものである。変動の大部分が低照度帯で生じたものであり、高照度帯での変動は少ないこ

表 2.19 直射光の変動出現率・
出現時間(1日あたり)
—年平均—

$\frac{E_2}{E_1}$	%	分
～ 0.1	0.56	2.7
0.1 ～ 0.34	1.19	5.7
0.34 ～ 0.9	5.05	24.2
1.1 ～ 3.0	4.96	23.8
3.0 ～ 10.0	1.05	5.1
10.0 ～	0.52	2.5
計	13.32	64.0

表 2.20 直射光の変動出現時間
(1日あたり) |
—S56年9月11日—

$\frac{E_2}{E_1}$	%	分
～ 0.1	0.21	1.0
0.1 ～ 0.34	5.14	24.7
0.34 ～ 0.9	14.24	68.3
1.1 ～ 3.0	12.50	60.0
3.0 ～ 10.0	5.14	24.7
10.0 ～	0.42	2.0
計	37.65	180.7

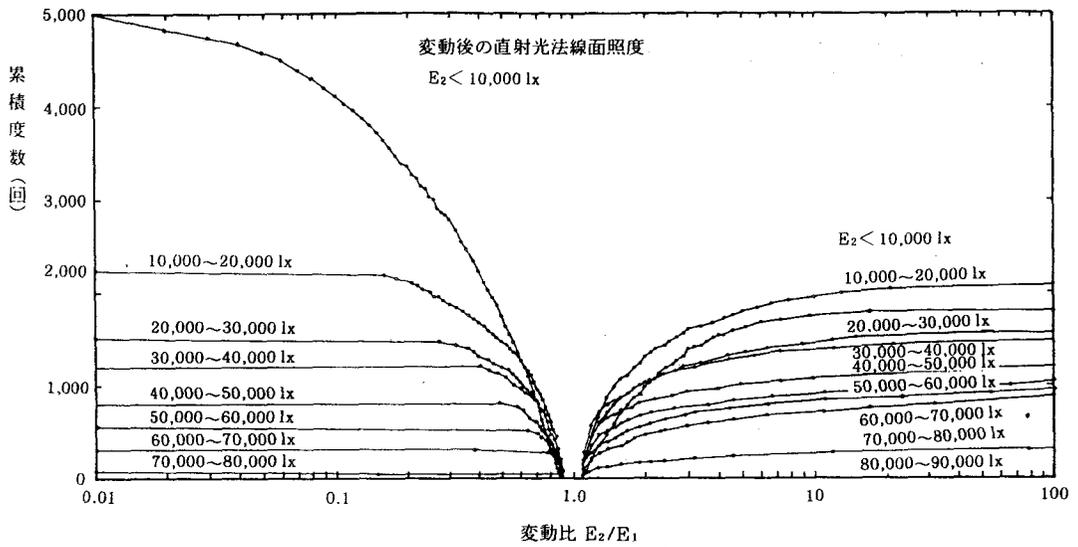


図 2・22 直射光の照度帯別変動比の累積出現度数分布図(年間)

— S. 56年9月11日 —

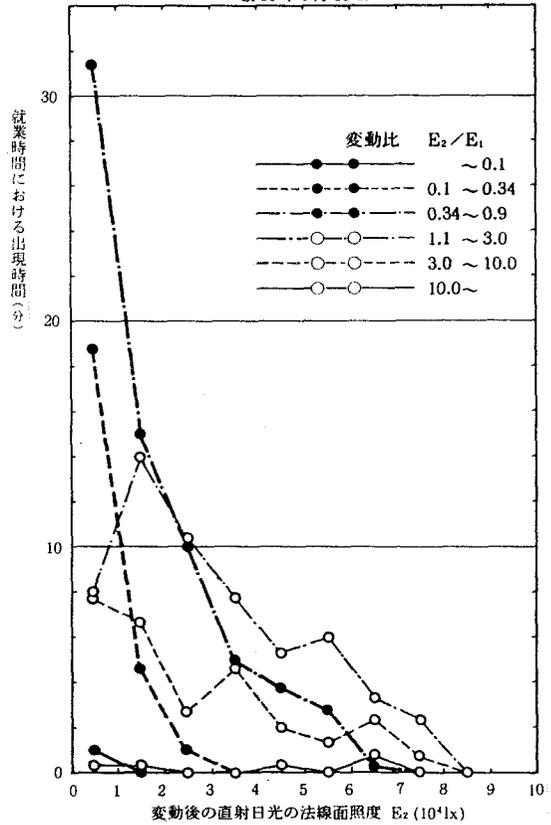


図 2・24 直射光の照度帯別変動出現時間(1日あたり)

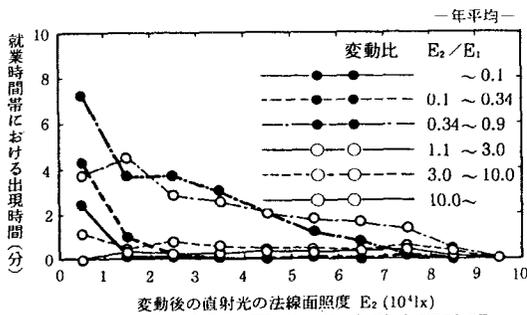


図 2・23 直射光の照度帯別変動出現時間(1日あたり)

割以上の変動時間が3時間20分、4割以上の変動が33回も出現している変動の著しい日の集計結果である。変動出現時間は年平均の8倍以上となっているが、変動比0.6以下の変動は大きくあらわれていないのが注目される。

同表は天空光の変動は低照度帯においておこり易いことを示している。

これを明らかにするため、各照度帯での変動出現率を、その照度帯の占める時間比率、0~5,000 lx、50,000 lx 以上はそれぞれ0.05、5,000~13,000 lx、32,000 ~ 50,000 lx はそれぞれ0.20、13,000 ~ 32,000 lxは0.50で除して、各照度帯同一時間あたりの出現率に直し、13,000 ~ 32,000 lxにおける場合を1.0として、それに対する比で示したものが図2・21である。

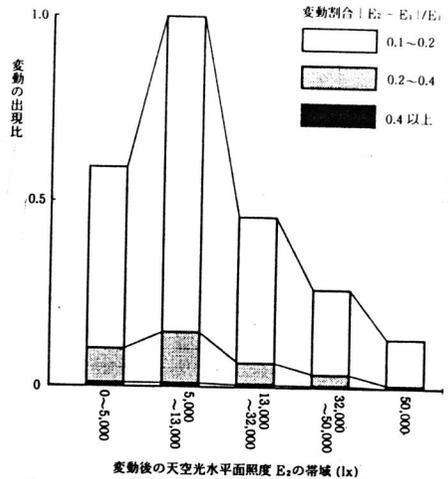


図 2.21 天空光の照度帯別等時間あたりの変動の出現比

これによれば、全天空照度 10,000 lx の近傍において変動が最もおこり易く、これより高照度になるに従い大きな変動がおこり難いことが知られる。

2.3.3 太陽直射光の変動

2.3.3.1 変動の出現率・出現時間

変動率 E_2/E_1 を明変動・暗変動ともに大きく3段階に分類して、それぞれにつき月ごとに集計した結果が表2.18である。表中の値は、1回の出現を20秒に換算し、その

表 2.18 直射光の月別変動出現率・出現時間(1日あたり)

$\frac{E_2}{E_1}$	10月		11月		12月		1月		2月		3月	
	%	分	%	分	%	分	%	分	%	分	%	分
~ 0.1	0.21	1.0	0.24	1.1	1.18	5.7	1.46	7.0	0.97	4.7	0.97	4.7
0.1 ~ 0.34	1.04	5.0	0.94	4.5	1.81	8.7	2.29	11.0	1.18	5.7	1.25	6.0
0.34 ~ 0.9	4.65	22.3	5.63	27.0	4.86	23.3	5.97	28.7	4.31	20.7	3.75	18.0
1.1 ~ 3.0	4.24	20.3	5.35	25.7	4.38	21.0	5.28	25.3	4.38	21.0	3.33	16.0
3.0 ~ 10.0	0.99	4.8	0.90	4.3	1.18	5.7	2.08	10.0	1.04	5.0	0.97	4.7
10.0 ~	0.24	1.2	0.21	1.0	1.25	6.0	1.46	7.0	0.90	4.3	0.63	3.0
計	11.39	54.7	13.26	63.7	14.65	20.3	18.54	89.0	12.78	61.3	10.90	52.3

$\frac{E_2}{E_1}$	4月		5月		6月		7月		8月		9月	
	%	分	%	分	%	分	%	分	%	分	%	分
~ 0.1	0.19	0.9	0.35	1.7	0.28	1.3	0.28	1.3	0.35	1.7	0.23	1.1
0.1 ~ 0.3	0.54	2.6	0.69	3.3	0.97	4.7	1.04	5.0	1.25	6.0	1.23	5.9
0.34 ~ 0.9	3.72	17.8	3.82	18.3	4.93	23.7	5.90	28.3	7.57	36.3	5.49	26.3
1.1 ~ 3.0	3.68	17.7	3.96	19.0	5.49	26.3	6.25	30.0	8.06	38.7	5.14	24.7
3.0 ~ 10.0	0.47	2.3	0.69	3.3	0.83	4.0	1.08	5.2	1.35	6.5	1.01	4.9
10.0 ~	0.15	0.7	0.35	1.7	0.21	1.0	0.24	1.2	0.32	1.5	0.81	1.5
計	8.75	42.0	9.86	47.3	12.71	61.0	14.79	71.0	18.89	90.7	13.40	64.3

とが明らかである。特に、変動比 0.34 以下の暗変動でこの傾向が顕著であるが、変動比 3.0 以上の明変動については照度帯に関係なく、ほぼ一様に変動が生じていることがわかる。

図 2.24 は、図 2.18 の変動の著しい日についてのものであり、中程度の明変動が高い照度帯でも比較的多く生じていることがわかる。

2.4 む す び

本章は、作業者の視野輝度の変動実態の把握を目的として行なった作業中の視線の動きの実態調査と、昼光の変動の実態調査の結果について検討を加えたものである。

視線の動きの実態調査結果は、作業面以外に視線が向けられる頻度は予想以上に高いものであり、作業面に順応した眼の状態で見線を作業面からはずし、灯器、窓等の高輝度面が視野に入るという作業者がまぶしさを感じる視線の動き、あるいは、逆に高輝度面から作業面に視線を戻すという見易さの一時的な低下を招来する視線の動きが、かなり生じているという実態を明らかにした。これらの視線の動きに伴う視野輝度の変化に対応する眼の順応状態をも含めた評価が本来の視環境評価であり、本調査結果は、従来法では省略されている眼の順応の時間的変化を評価条件の中に組み込んだ室内視環境の動的評価法の必要性を示すに十分なものであった。

一方、天空光・直射光の短時間での変動は予想以上に少なく、昼光は人工照明と併用されるものであることを考えれば、昼光の変動の視認性への影響はほとんどないことは、後述の視野輝度変化に対応した眼の感度に関する研究(6章)により明らかである。しかしながら、これから受ける作業者の不快さ、わずらわしさという全般視環境に関しては、ここで得られた結果をもとにして今後検討しなければならないと考える。

参 考 文 献

- (1) 伊藤克三・大月容子：照明評価における視線の方向について、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系、昭和55年、pp. 225～226
- (2) 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：講義室における視線の動きの実態に関する調査研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、第21号、計画系、昭和56年、pp. 61～64

- (3) 大月容子・井本吉彦・伊藤克三：視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究，照明学会誌，第65巻 第10号，昭和56年，pp. 520～525
- (4) 伊藤克三・大月容子・大野治代：天空光の変動実態，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和57年，pp. 3～4
- (5) 伊藤克三・大月容子：太陽直射光の強さの変動実態，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和58年，pp. 247～248

第3章 均一輝度視野における順応過渡過程での まぶしさ感・不快感

3.1 はじめに

視環境のもつ大きな特性として、視線の動きがあり、そのために生じる視野輝度の変化と、それに伴う眼の順応の変化があげられる。これが、視環境の評価を難しくしている大きな要因である。眼は与えられた視野輝度につねに順応しようとするが、順応にはある程度の時間を要する。このため眼の順応が視線の動きに追従できず、変化後の視野輝度に十分順応していない状態、すなわち順応過渡過程において視認する場合の少なくないことが十分考えられる。

今日、室内照明の要件として、室内の輝度分布に制限を設けることが一般に行なわれている。これは同一視野内の輝度分布の他に、視線の動きによる順応の変化にも対処しようとするものであると考えられるが、その数値には何ら明確な根拠はない。これまでの視環境評価に関する研究は、そのほとんどが眼が与えられた視野輝度に十分順応した状態についてのものである。眼の順応の変化を省略した定常的な条件を仮定すれば、評価の取り扱いが簡略化されるが、視線の動き等に伴う視野輝度変化の大きい場合には、得られた結果は実態から遊離したものであり、適切な評価とはなり得ない。

本論文はこれまでの定常的な視環境の評価に対して、眼の順応の変化を取り入れた視環境の動的評価を行なうことによって、より実態に即した根拠を照明設計に与えることを目的としているが、視環境に対する要求には明視性と快適性の2面があり、評価に際して、この両者は明確に区別されなければならない。本章で取り扱う内容は、後者の快適性に関する事項である。

快適性を損う大きな要因である不快グレアに関しては、評価対象視野に視線を水平に固定し、眼がその視野に十分順応している定常順応状態での評価が定式化されている。しかし、こうした評価が在室者の感じるグレアの実態に即したものでないことは明らかである。作業面に順応した眼が、視線の動きによって灯器・窓面などの高輝度対象にさらされたときに、在室者がまぶしさを感じるのが実状である。ショック的な性格の強い不快グレアの評価に対しては、これに応じた評価法が取られるべきである。

不快グレアの評価法⁽²⁾⁽³⁾として、イギリス方式・アメリカ方式・ヨーロッパ方式の3種類

が一般に使用されているが、これらはいずれも小さな光源に対する視線を固定した定常状態での評価方法である。広い面積を持つ窓面のグレア評価法として、唯一つ、コーネル公式が挙げられる。これはイギリスの不快グレア評価法の基本となっている 0.01 sr 以下の小さな光源を対象とした BRS グレア公式を修正して得られたものである。これらの評価法については、評価に際しての視線方向の設定、定常順応の仮定、および適用範囲の問題の他に、外国人に対する評価値を瞳の色の異なる日本人にそのまま適用することも大いに疑問が持たれる。

以上の問題点から、今日、不快グレアの評価法そのものが見直されるべき時期にきていると考える。

本章は、均一輝度の視野の場合において、視野輝度を暗から明に変化させた明順応過渡過程におけるまぶしさ感の時間的推移、ならびに、明から暗に瞬時に視野輝度を変化させた場合の不快感の主観的評価に関して行なった実験の結果を示し、これに考察を加えたものである。

まぶしさ感に関しては、均一輝度視野における定常順応状態での評価実験をもあわせて行なった。これにより、明順応過渡過程における評価がこれとは著しく大きな差異のあることが明確化され、ショック的性格の強いまぶしさ感に対する動的評価の持つ意義を明らかにすることができた。したがって、まぶしさ感の評価法には、任意の輝度分布に対して、眼の順応状態を考慮した評価の得られることが要求される。本章で取り扱う均一輝度視野における定常順応時および順応過渡過程でのまぶしさ感の評価は、そのための基準となるものである。

暗順応過渡過程においては明視性が重要な評価項目であり、不快感の持つ意義には問題もあるが、順応過渡過程における主観評価の一環として評価実験を行なった。この際は、まぶしさ感の場合に比べ評価は難しいが、急激な輝度変化によって不快の生じることは明らかであり、その評価もあわせて行なったものである。

3.2 実験装置と実験方法

実験に用いた視野は、図 3.1 に示す視距離 110 cm の半球状均一輝度視野(視野装置 I)であり、内装は白色拡散仕上げとなっている。灯器板からの照明により、暗視野～ $16,000 \text{ cd/m}^2$ の任意の視野輝度が呈示可能である。いずれの呈示輝度の場合にも輝度分

布はほぼ均一で、中心から60°の範囲の輝度は中心(100)に対して100~107の範囲内にある。灯器板には、蛍光ランプ(FLR 20SW)36灯とハロゲン電球(JL100/VWF)24灯を、板中央に設けた観察窓の周囲に、放射状に均等に配列してある。調光は、光色をできる限り一定に保つために蛍光灯のみで行ない、低輝度呈示の際には減灯あるいはランプへの被覆を行なった上で調光し

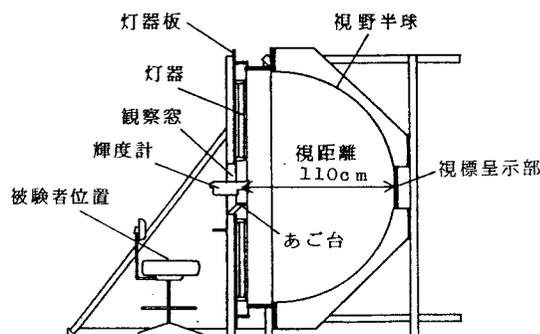


図 3.1 実験装置 (視野装置 I)

た。ハロゲン電球は、高輝度呈示の際の補助としてのみ用いた。使用した調光装置は3台の蛍光灯用ライトコントロール(NQ 21550)から成り、回路の変更は任意に行なうことができる。

表 3.1 被験者

被験者	視力		年齢	性別	備考
	右	左			
A	1.0	1.0	21	男子	裸眼
B	1.2	1.5	22	男子	裸眼
C	0.8	1.0	23	男子	裸眼

呈示輝度の変化は調光レバーの操作、あるいは電源スイッチの切り換えにより瞬時に行なうことができる。

輝度測定にはプリチャード輝度計 (PR-1980A Pritchard Photometer) を、時間測定には入力端子を2つ有する10回連続測定可能なデジタルタイマーを用いた。

実験は被験者による主観評価により行なった。被験者は観察窓に設けられたあご台に頭を固定し、視線を水平方向に保ち、与えられた視野条件に対して実験者の指示により評価を行なった。実験は予備実験により被験者が評価に十分習熟した後に行なった。被験者は表 3.1 に示す正常視力を有する青年男子3名である。

3.3 明順応過渡過程におけるまぶしさ感

3.3.1 定常順応時におけるまぶしさ感評価

3.3.1.1 実験条件

順応過渡過程でのまぶしさ感評価と対照させるため、まず、呈示視野輝度に十分順応

した定常順応時のまぶしさ感の評価実験を行なった。呈示輝度は250～12,000 cd/m²の間において表3.2に示す15段階に設定し、被験者がこれに十分順応した状態で感じるまぶしさ感を表3.3に示す5段階で評価させた。

表3.2 設定輝度

一定常順応時のまぶしさ感—					
視野輝度 L (cd/m ²)					
250	500	700	1000	1400	2000
2800	3000	4000	5000	5600	7000
8000	10000	12000	(15種類)		

測定は順応時間の短縮をはかるため、全呈示輝度を各測定回ごとにランダムに2～3グループに分け、呈示は各グループごとに低輝度から高輝度の順に行なった。まず、被験者を1分間約10 cd/m²に順応させ、ついで呈示輝度ごとに30秒間順応させた後、まぶしさ感評価を行なわせた。これを各グループごとに繰り返し、

表3.3 まぶしさ感の評価尺度

評 価	評価点
耐 え 難 い	5
非常にまぶしい	4
ま ぶ し い	3
や や ま ぶ し い	2
まぶしくない	1

15段階の視野輝度に対する被験者のまぶしさ感評価を得た。後に示す図3.4のまぶしさ感の時間的推移に関する実験結果から、この30秒の順応時間で被験者は呈示輝度に十分順応しているものと考えられる。これを各被験者に対してそれぞれ10回行なった。

3.3.1.2 定常順応時のまぶしさ感

得られた結果を図3.2、図3.3に示す。

図3.2は、評価尺度が等間隔尺度であるとして、各評価に表3.3右欄に示す評価点を与え数値的に処理した結果である。各被験者の評価には大きな差異はなく、ほぼ近い結果が得られたので、3人の平均値をもって定常順応時の評価値として示してある。同図より、300 cd/m²以下ではまぶしさ感はなく、2,000 cd/m²、5,000 cd/m²、14,000 cd/m²が、それぞれ、ややまぶしい、まぶ

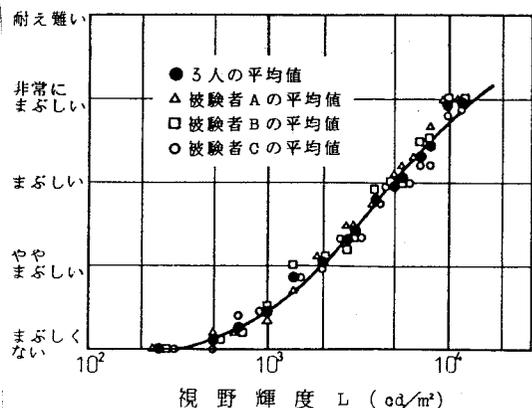


図3.2 定常順応時のまぶしさ感

しい、非常にまぶしいに対応する視野輝度となっている。本実験での輝度範囲では、耐え難いまぶしさ感は現われていない。

図 3.3 は、それぞれの呈示輝度に対する各評価の出現率を取り、各評価の境界に相当する輝度を推定したものである。これに

よれば、 $1,000 \text{ cd/m}^2$ がまぶしくないややまぶしい、 $3,000 \text{ cd/m}^2$ がややまぶしいとまぶしい、 $8,000 \text{ cd/m}^2$ がまぶしいと非常にまぶしいの境界に相当する。また、 300 cd/m^2 以下ではまぶしくない、 $1,800 \text{ cd/m}^2$ がややまぶしい、 $5,000 \text{ cd/m}^2$ がまぶしい、 $14,000 \text{ cd/m}^2$ が非常にまぶしいの評価に対応し、図 3.2 の結果とほぼ等しい値を示している。このことは、評価尺度は等間隔尺度とみなして結果を処理してよいことも示すものである。

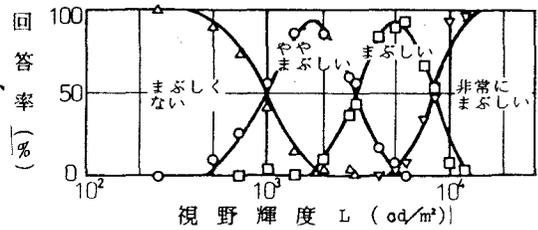


図 3.3 定常順応時の視野輝度に対するまぶしさ感の頻度分布

3.3.2 明順応過渡過程におけるまぶしさ感評価

3.3.2.1 実験条件

被験者を視野輝度 L_1 に順応させた後、調光レバーの操作、あるいは点灯によって、瞬時に視野輝度を L_2 ($L_1 < L_2$) に変化させ、明順応過渡過程におけるまぶしさ感の時間的経過を求めた。前順応輝度 L_1 、呈示輝度 L_2 は、 $L_1 = 0.03 \sim 4,000 \text{ cd/m}^2$ 、 $L_2 = 250 \sim 8,000 \text{ cd/m}^2$ の範囲で表 3.4 に示す 54 種類の (L_1 , L_2) の組み合わせとし、これらについて実験を行なった。

まず、被験者を視野輝度 L_1 に十分順応させた後、瞬時に視野輝度を L_2 に変化させる。変化時点から 0、2、5、10、15、20……秒後ごとに、まぶしさ感が変化しなくなるまで、各時点でのまぶしさ感を定常順応時の場合と同じく表 3.3 に示す 5 段階で評価させた。前順応輝度 L_1 への順応は、 $L_2/L_1 \geq 4,000$ の範囲では、暗視野に 3 分間、ついで L_1 に 2 分間、 $L_2/L_1 < 4,000$ の範囲では、暗視野に 2 分間、 L_1 に 1 分間順応させることによって行なった。 L_1 への順応時間については、予備実験によりあらかじめ検討を行なった結果より、十分に安全側のものとして採用したものであり、これ以上順応時間を長くしても得られる評価は変わらないことが確認されている。

各被験者が各条件に対して、それぞれ 3 回の評価実験を行なったが、いずれも大差のない安定した評価が得られたので、定常順応時の場合と同様、それらの平均値を持って結果

表 3.4 設定輝度

—明順応過渡過程でのまぶしさ感—

前順応輝度 L_1 (cd/m ²)	変化後の視野輝度 L_2 (cd/m ²)					
	250	500	1000	2000	4000	8000
0.03	○	○	○	○	○	○
0.06	○		○		○	
0.13		○		○		○
0.25	○		○		○	
0.5		○		○		○
1.0	○		○		○	
2.0		○		○		○
4.0	○		○		○	
8.0		○		○		○
16	○		○		○	
32		○		○		○
64	○		○		○	
125	○	○		○		○
250		○	○		○	
500			○	○		○
1000				○	○	
2000					○	○
4000						○

を示す。

3.3.2.2 まぶしさ感の時間的経過

図 3.4 に、変化後の各視野輝度 L_2 に対して、 $L_2/L_1=16$ 、250、4,000、64,000 の場合に得られた明順応過渡過程でのまぶしさ感の時間的経過を示す。いずれにおいても高輝度 L_2 に視野輝度に変化した直後には、定常順応時に比して強いまぶしさを感じられ、これが時間の経過とともに減少し、定常順応時のまぶしさ感に至る経過が明瞭に示されている。これらの結果より、同一の視野輝度 L_2 であっても、前順応輝度 L_1 が異なればまぶしさ評価は異なり、 L_1 が低い程、即ち L_1 に対する L_2 の比が大きい程、定常順応時の評価に至る時間も長いことが知られる。定常順応時では、まぶしささをほとんど感じない視野輝度であっても、眼が低輝度に順応していれば、視野輝度変化直後にはまぶしさ

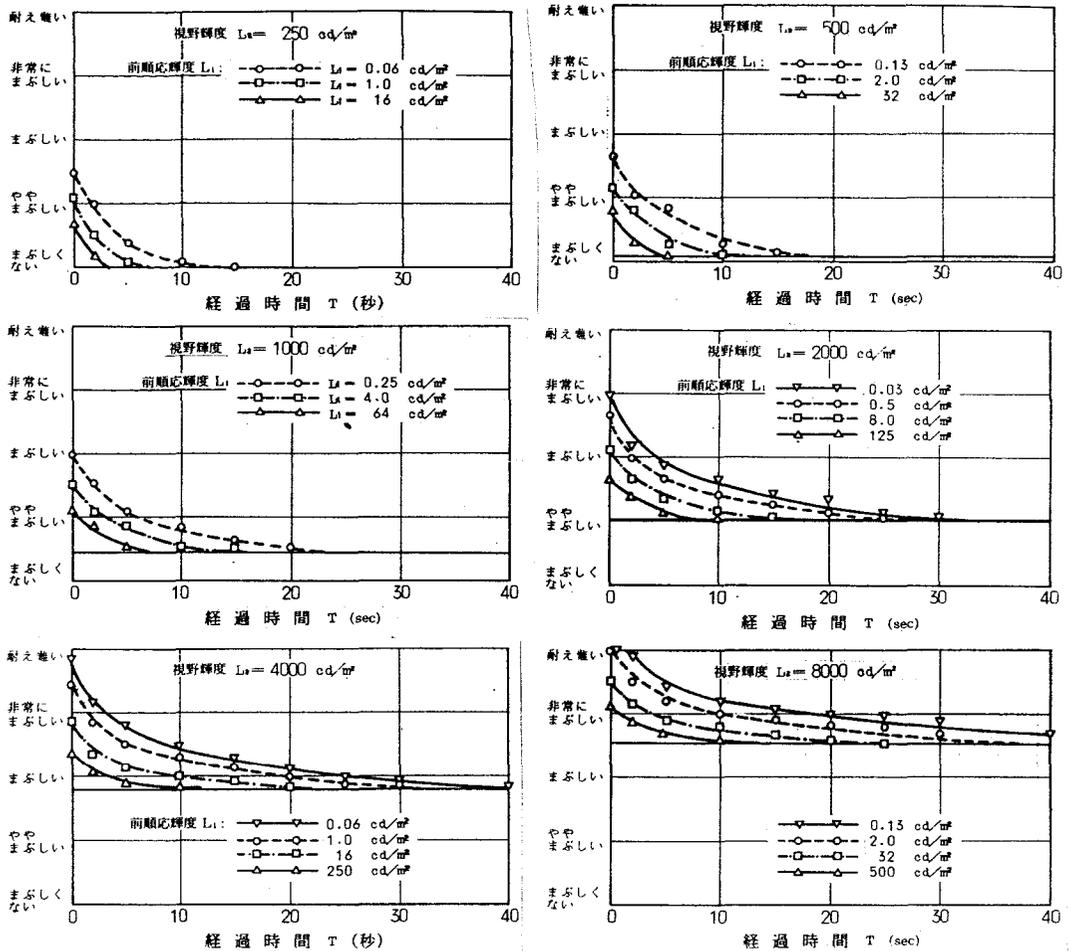


図 3.4 まぶしさ感の時間的経過
(変化後の視野輝度 L_2 : 一定)

感じている。変化前後の輝度比の大きい場合には、変化直後のまぶしさ感は定常時に対して2段階も高い評価になっているが、視線を固定した定常順応の条件の下での評価法では、これが見過ごされることになる。

3.3.2.3 変化前後の視野輝度比とまぶしさ感

図 3.5 は、図 3.4 の結果を変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 ごとに示したものである。視野輝度変化直後のまぶしさ感の定常時の評価との差は視野輝度比 L_2/L_1 に対してほぼ一定であるが、定常順応時の評価に至るまでの時間は変化後の視野輝度 L_2 が大きい程長くなり、視野輝度変化後のまぶしさ感の減少過程は視野輝度比 L_2/L_1 で一

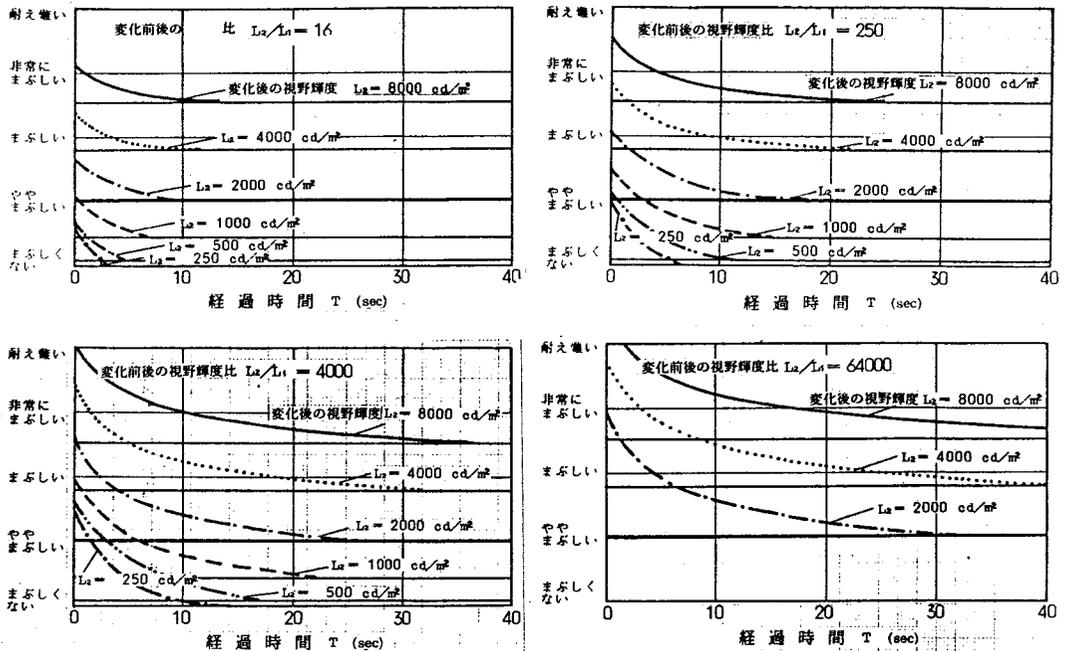


図 3.5 変化前後の視野輝度比とまぶしさ感の時間的経過
(変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 : 一定)

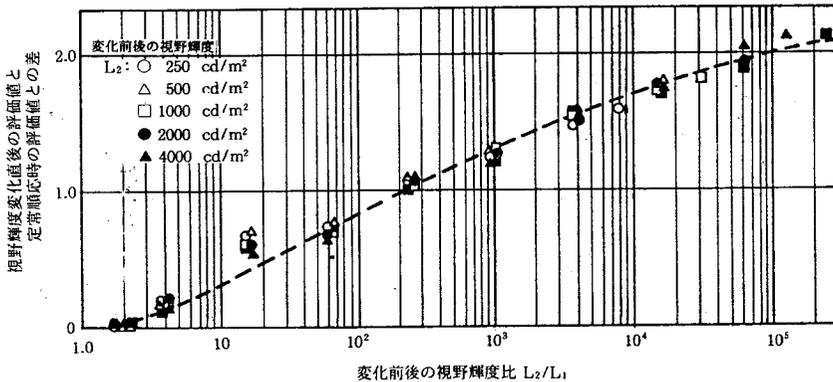


図 3.6 変化前後の視野輝度と変化直後のまぶしさ感

意的には定まらない。

図 3.6 は、54 種類の (L_1, L_2) の組み合わせのすべてについて、視野輝度変化直後 $(T=0)$ のまぶしさ感と定常順応時 $(T=\infty)$ の評価との差を、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 に対して示したものである。 $L_2/L_1=16, 250, 4,000, 64,000$ に対する値は、図 3.4 または図 3.5 の $T=0$ の場合の評価値より得られるものである。なお、図 3.4 中の $L_2=8,000 \text{ cd/m}^2$ の場合に見られるように、耐え難いまぶしさ感が視野輝度変化後何秒間か続

くものについては、まぶしさ感の時間的経過の回帰曲線を $T = 0$ まで延長して得た値を用いている。図 3.6 に示された結果から、視野輝度変化直後 ($T=0$) のまぶしさ感評価値と定常順応時 ($T=\infty$) の評価との差は、前順応輝度 L_1 および変化後の視野輝度 L_2 の値とは関係なく、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 によって一意的に決まることが知られる。視野輝度比 L_2/L_1 の範囲を適当に限定すれば、図 3.6 に示される関係は直線であらわしてもさしつかえないものである。

3.3.2.4 明順応過渡過程におけるまぶしさ感評価図

図 3.7 は、 $L_2 = 250 \sim 8,000 \text{ cd/m}^2$ の 6 種類の変化後の視野輝度について、各種の前

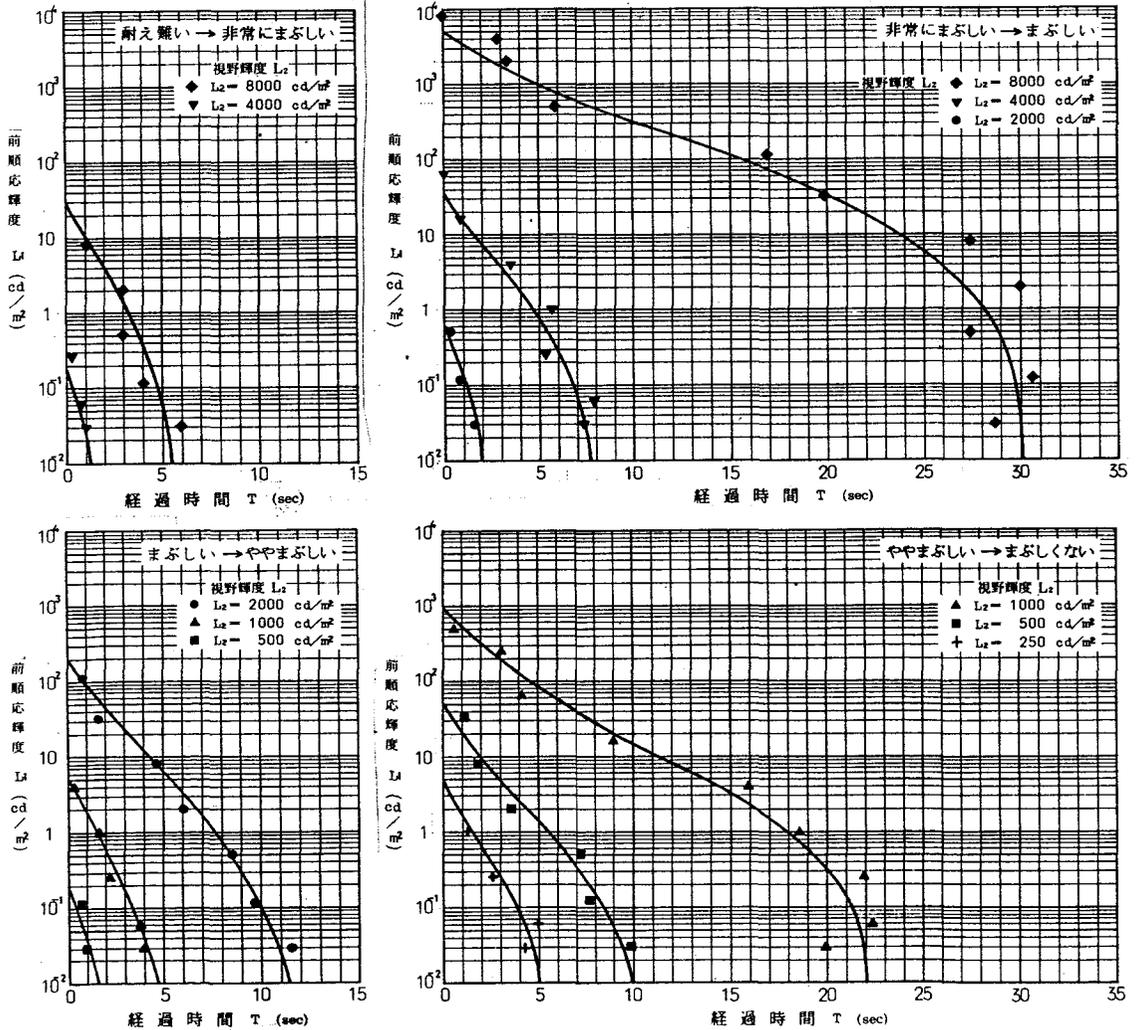


図 3.7 まぶしさ感評価の境界 (まぶしさ感：一定)

順応輝度 L_1 に対して、視野輝度変化後の評価が各評価段階の境界に達するまでの所要時間 T を評価の境界ごとに示したものである。いずれの境界線も L_1 の減少に従い一定の T に収束する。このことは、変化後の各視野輝度 L_2 に対する明順応過渡過程のまぶしさ感には、それぞれ上限値が存在することを示している。

図 3.8 は、図 3.7 の結果を経過時間 T をパラメータとして示したもので、これらより、任意の (L_1, L_2) の組み合わせに対して、まぶしさの評価が各評価段階の境界に達するまでの時間を知ることができる。図中の鎖線は定常順応時 ($L_1=L_2$) を示し、境界線がこれと交わる点が、定常順応時のまぶしさ感評価の境界に対応する。

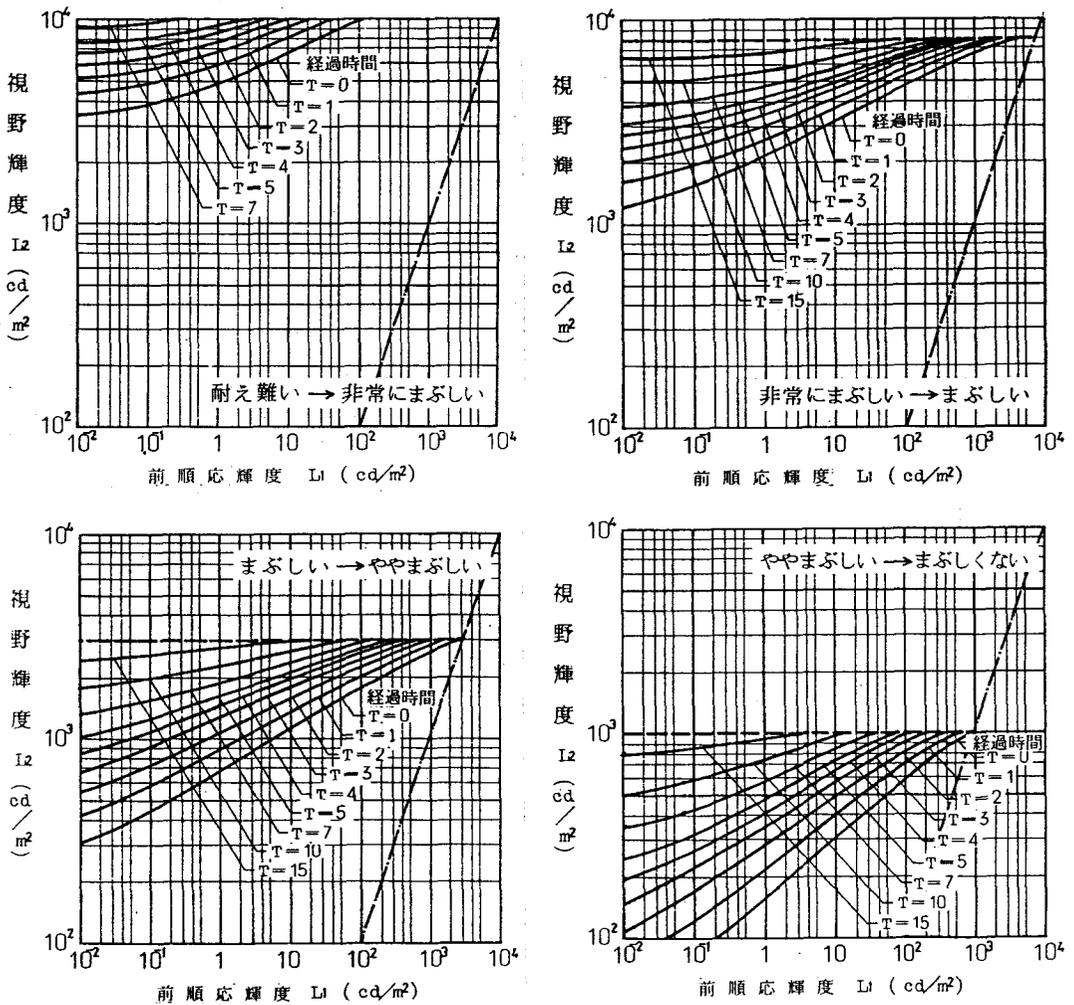


図 3.8 等まぶしさ感曲線

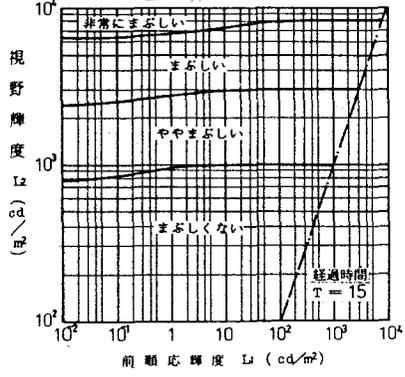
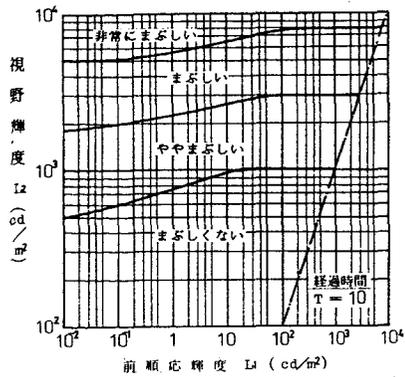
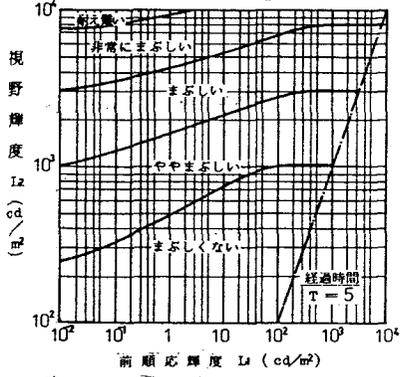
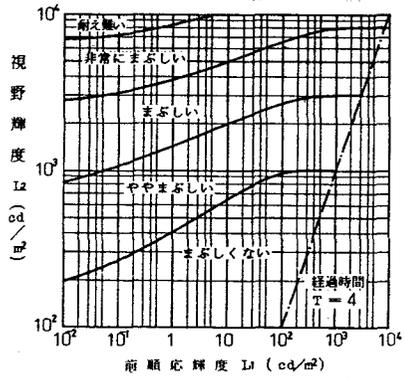
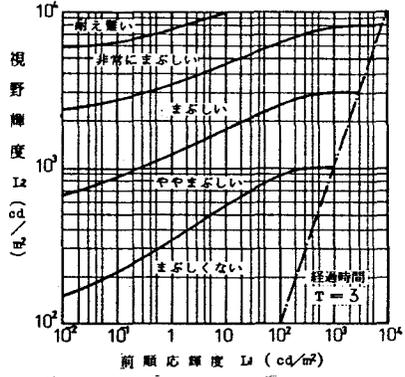
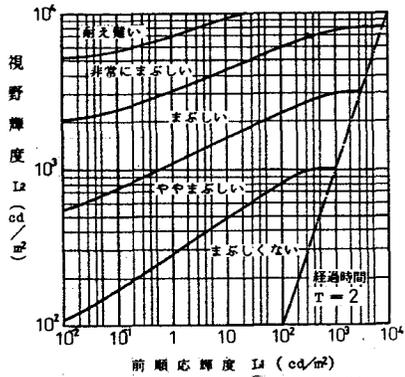
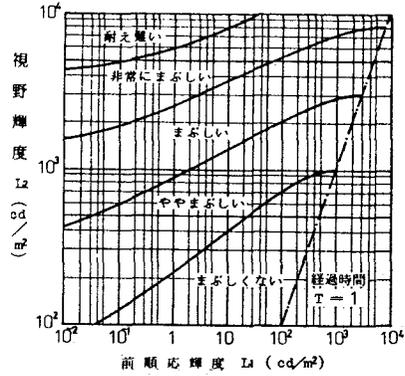
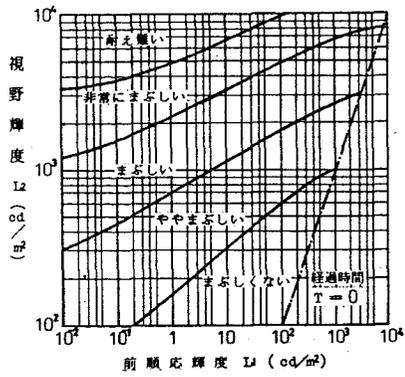


図 3.9 まぶしさ感図 (視野輝度変化後の経過時間 T : 一定)

図 3.9 は、図 3.8 の各境界線を用いて、視野輝度変化 T 秒後におけるまぶしさ感評価の各段階の境界線を示したものである。これより、ある一定時間経過後の評価を任意の (L_1 , L_2) の組み合わせについて推定することができる。視野輝度変化直後 ($T=0$) のまぶしさ感、前順応輝度 L_1 によって大きな差異があるが、経過時間の増加とともに、これが減少することが示されている。視線移動後のどの時点を基準として視環境のまぶしさ感の検討を行なえばよいかは今後の問題であるが、これが決まれば、図 3.9 による表示が実用上最も有用と考えられる。

3.4 暗順応過渡過程における不快感

3.4.1 実験条件

設定輝度は表 3.5 に示すとおりで、前順応輝度 $L_1=250 \sim 8,000 \text{ cd/m}^2$ 、変化後の視野輝度 $L_2=\text{暗視野} \sim 64 \text{ cd/m}^2$ の間における組み合わせとし、表 3.1 に示す被験者について各 3 回の評価実験を行なった。まず被験者を視野輝度 L_1 に十分順応させた後、減灯によって瞬時に視野輝度を L_2 に変化させる。その直後に生じる視野内の明るさのむらを「強・弱・無」の 3 段階で評価させ、その後、明るさむらが強から弱、弱から無へ変化する時点を被験者に申告させることで、暗順応過渡過程での不快感の時間的推移を見た。

ここでの不快の強弱とは、視野輝度変化後、視野内に生じる明るさのむらの強弱をいうものである。視野内の明るさむらが生じないのがより望ましい視環境であることに間違いはないため、むらのある状態を不快と呼ぶことにして、その概要を把握したものである。

表 3.5 設定輝度

前順応輝度 L_1 (cd/m^2)	—暗順応過渡過程での不快感—				
	変化後の視野輝度 L_2 (cd/m^2)				
500	暗視野, 0.03, 0.06, 0.13				
2000	0.25,	0.5,	1.0,	2.0	
8000	4.0,	8.0,	16,	32,	64
(3 種類)	(13 種類)				

3.4.2 不快感の時間的経過

図 3.10 は、 $L_1=500, 2,000, 8,000 \text{ cd/m}^2$ の各前順応輝度について、変化後の各視野輝度 L_2 において被験者の不快感が、強から弱、弱から無に変わるまでの時間 T を示したも

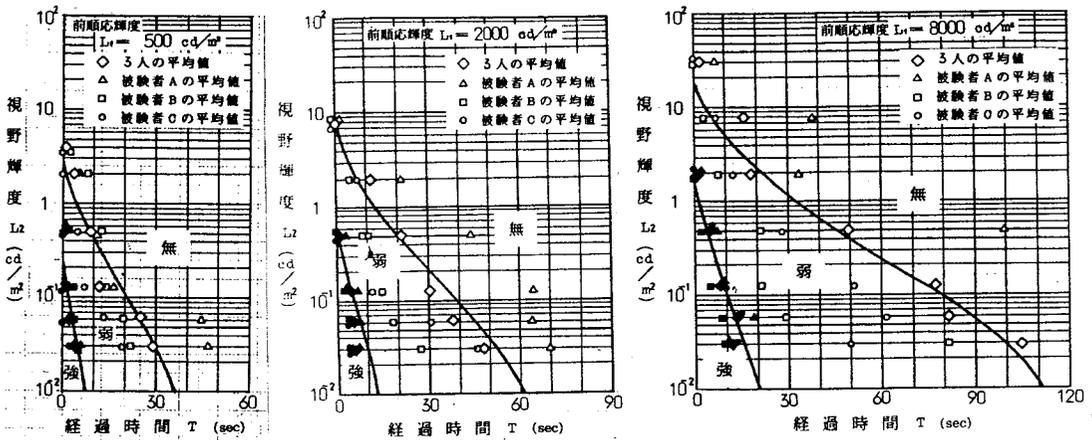


図 3.10 不快感の時間的経過 (前順応輝度 L_1 ; 一定)

のである。明順応過渡過程におけるまぶしさ感評価の場合に較べて、個人差は大きい、その性状は各人共通している。図中の曲線は3名の被験者による結果の平均値をもとに作成した各評価段階の境界線である。瞬時に大きな輝度変化を与えた直後には強い不快が感じられ、時間の経過につれてこれが減少していくが、変化後の視野輝度 L_2 が低い程、不快を感じる時間 T が長くなる。しかし、 L_2 が更に低くなるに従い T はそれぞれ一定の値に収束すると推定される。

図 3.11 は、前順応輝度 $L_1 = 250, 2,000, 8000 \text{ cd/m}^2$ について、図 3.10 に示した評価の境界線を、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 に対して示したものである。 L_2/L_1 が小さくなると、同じ L_2/L_1 に対しても L_1 による経過時間 T の差異が顕著に現われ、 L_1 が大きい程不快を感じる時

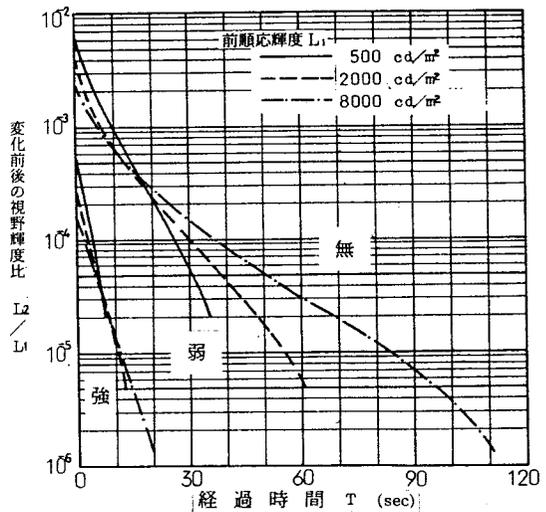


図 3.11 変化前後の視野輝度比と不快感の時間的経過

間が長くなっている。この図より、暗順応過渡過程における不快感も、まぶしさ感と同様に、変化前後の視野輝度の比で一意的に定まるものではないことがわかる。

3.4.3 暗順応過渡過程における不快感図

図 3.12 は、視野輝度変化後の経過時間別に、等しい不快感を与える変化前後の視野輝度

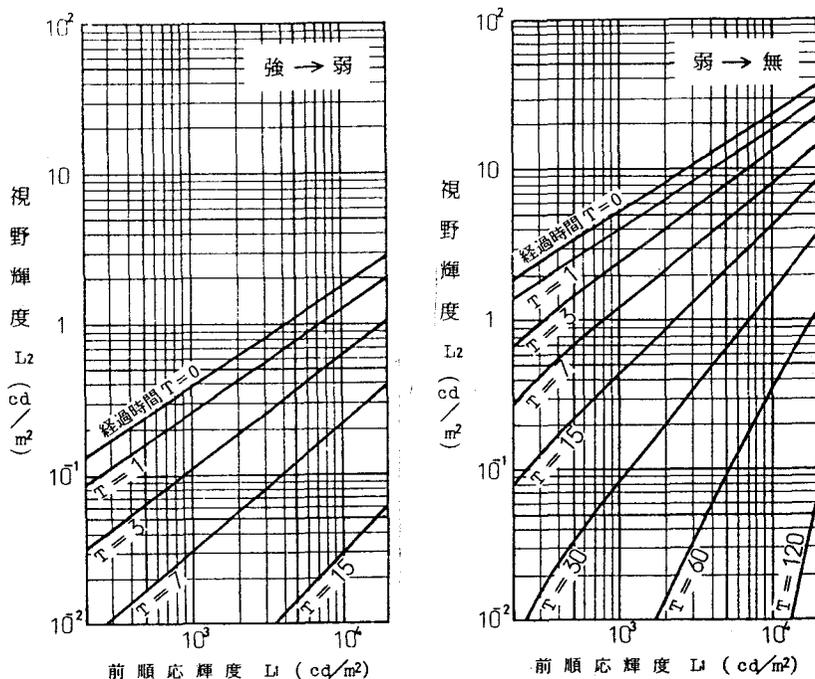


図3.12 等不快感曲線

(L_1 , L_2)の組み合わせを示す等不快感曲線を作成することによって得られた結果である。まぶしさ感評価の場合の図3.8に対応するものである。これによって、任意の(L_1 , L_2)の組み合わせに対して、不快感が強から弱、弱から無に変わるまでの時間を読み取ることができる。

図3.13は、図3.12より得られる等不快感図であり、まぶしさ感評価の場合の図3.9に対応するものである。経過時間T秒ごとに、(L_1 , L_2)の組み合わせに対してその時点での不快感の程度を知ることができる。ここでは、 $T=0 \sim 15$ 秒の間の5種類のTに対する図を例示した。まぶしさ感評価の場合と同様、視線の動きに伴う視野輝度の変化があった場合、これによる不快感の検討時点が決まれば、図3.13の表示が実用上有利であると考えられる。

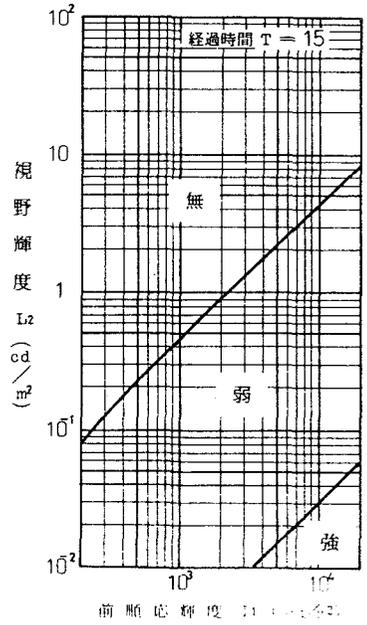
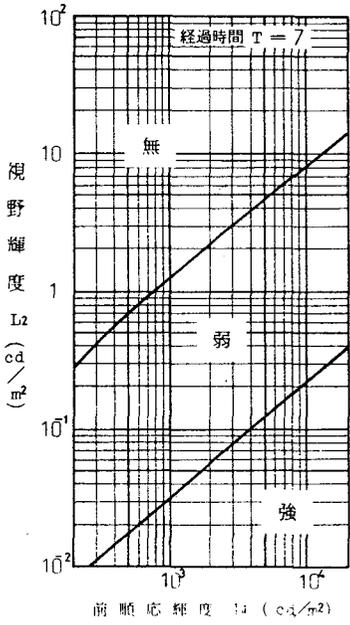
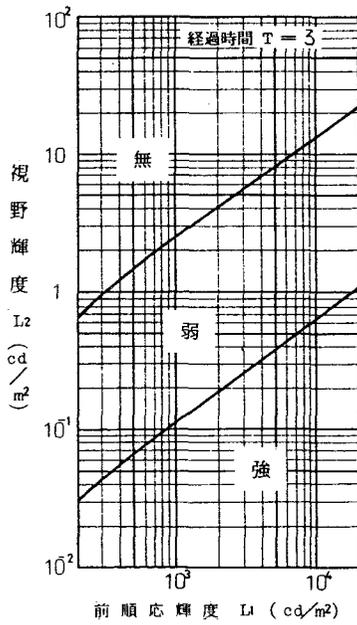
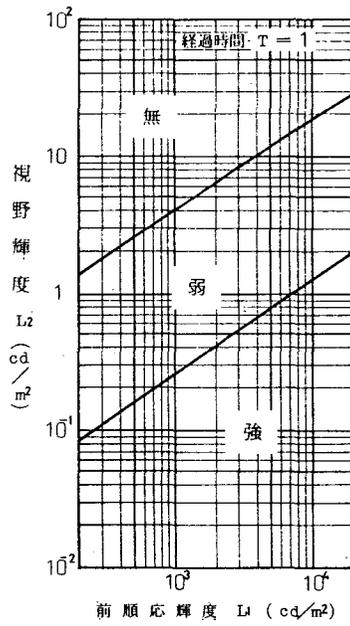
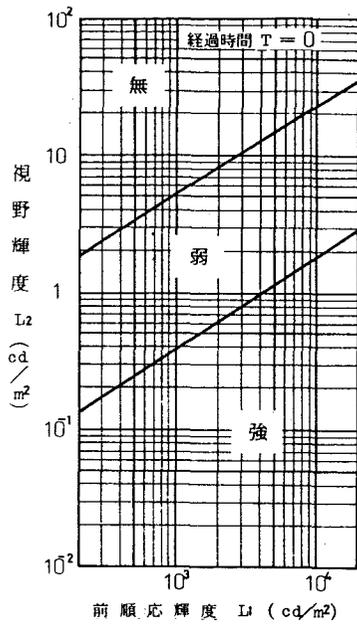


図 3-13 不快感図 (視野輝度変化後の経過時間 T ; 一定)

3.5 む す び

本章に示した実験結果により、均一輝度視野に関し、明暗両順応過渡過程におけるまぶしさ感、ならびに不快感の概要を把握することができた。この結果は、これまで定式化されている定常順応状態におけるまぶしさ評価と、視線の動き等に伴う順応過渡過程において在室者の感じるまぶしさの実態との間に、大きな隔たりのあることを明示するものである。

室内視環境に対する今日の不快グレアの評価法における視線の固定と完全順応の仮定、高輝度面である窓ならびに窓から射し込む日光の無視等、室内での作業者が視覚として受け取る視環境の実態と遊離した条件設定で得られる評価が、果たして何であるか考え直すべき時期に來ていることを本章で得られた結果が示唆している。評価にあたっての設定条件を在室者の実態に近づける最大の要件は、視線の動きと、それに伴う順応の変化を導入することである。

ここで得られた均一輝度視野における結果は、そのまま現実の室内に適用することはできないが、この方向の研究の基礎となるべきものであると考える。

参 考 文 献

- (1) 日本建築学会編：照明設計，日本建築学会設計パンフレット 23，第2章，pp. 12～14
- (2) 松田宗太郎・洞口公俊・田淵義彦：屋内照明における各国のグレア評価法の概要，照明学会誌，第54巻 第4号，昭和45年，pp. 157～170
- (3) 照明学会編：照明ハンドブック，オーム社，第9章，pp. 343～346
- (4) P. Cauvel, J.B. Collins, R. Dogniaux, J. Longmore: Glare from windows - current views of the problem, Lighting Research & Technology, Vol. 14 No 1, 1982, pp. 31～46
- (5) 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視覚に基づく照明の動的評価に関する研究（その3）不快グレアの動的評価，日本建築学会大会学術講演概集，計画系，昭和56年，pp. 177～178
- (6) 伊藤克三・大月容子：順応過渡過程におけるまぶしさ感・不快感，日本建築学会近畿支部研究報告集，第22号，計画系，昭和57年，pp. 33～36
- (7) 大月容子・伊藤克三：視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究（その3）順応過渡過程におけるまぶしさ感・不快感，照明学会誌，第66巻 第10号，昭和57年，pp. 476～482

第4章 不均一輝度視野におけるまぶしさ感

4.1 はじめに

ショック的な性格の強いグレアの評価に対しては、眼の順応を考慮した在室者の実態に即した評価が必要であり、視線方向の固定、および、定常順応の仮定のもとに定式化されている今日の不快グレアの評価法は、見直されるべき時期にきていることは前章で述べたとおりである。任意の輝度分布を持つ視環境でのまぶしさ感評価に関しては、3章で得られた均一輝度視野での評価をそのまま適用することはできない。しかし、不均一輝度視野をこれと等しいまぶしさ感を与える均一輝度視野、すなわち、まぶしさ感に関してこれに等価な均一輝度視野に置換することによって、この場合も前章の結果を用いて、定常順応時はもとより、順応過渡過程における評価も可能となると考える。

本章は上述の考え方にに基づき、不均一輝度視野における明順応過渡過程でのまぶしさ感評価に関して行なった被験者による主観評価実験の結果をもとに、不均一輝度視野に等価な均一輝度視野を求めた結果に関するものである。

不均一輝度視野におけるまぶしさ感を動的に評価しようとするれば、前順応輝度 L_1 、高輝度面の輝度 L_G 、大きさ ω 、位置 P 、個数 N 、背景輝度 L_B 、視野輝度変化後の経過時間 T の7つの変数が考えられ非常に複雑である。しかし、室内作業者がまぶしさを感じるのは、主に作業中に視線を動かして高輝度面を直視したときであり、またその状態が最も顕著にまぶしさを感じる状態である。この実態に対応するには、7つの変数を $(L_1, L_G, \omega, L_B, T)$ の5つに絞り解析を簡易化することができる。本章は、この最も基本的かつ典型的であると考えられる、単一円形高輝度面に正対した場合のまぶしさに関して検討を行なった結果に関するものである。

4.2 実験装置と実験方法

実験には、視野装置Ⅱ、視野装置Ⅲの2つの視野装置を図4.1に示すように配置して用いた。

視野装置Ⅱは、前順応輝度 L_1 の呈示に用いた視野装置であり、図3.1に示した視野装置Ⅰを小型にしたものである。灯器板と視距離60cmの視野半球とから成る均一輝度視

野装置で、内装は白色拡散仕上げである。灯器板には蛍光灯 (FLR 20SW) 24 灯を板中央の観察窓の周囲に均等に 2 段に配列してある。灯器板からの照明により、暗視野 $\sim 8,000 \text{ cd}/\text{m}^2$ の任意の視野輝度が呈示可能である。使用した調光装置は装置 I のものと同様のもので、3 台の蛍光灯用 ライトコントロール (NQ 21550) から成る。各コントロールへの灯器配線は変換自在にしてあり、一台で 24 灯全てを調光することも可能である。低輝度呈示の際には、ランプへの被覆を行なっている。いずれの呈示輝度においても視野輝度分布はほぼ均一であり、中心から 60° の範囲内では、中心を 100 としたとき $100 \sim 110$ 以内の分布である。

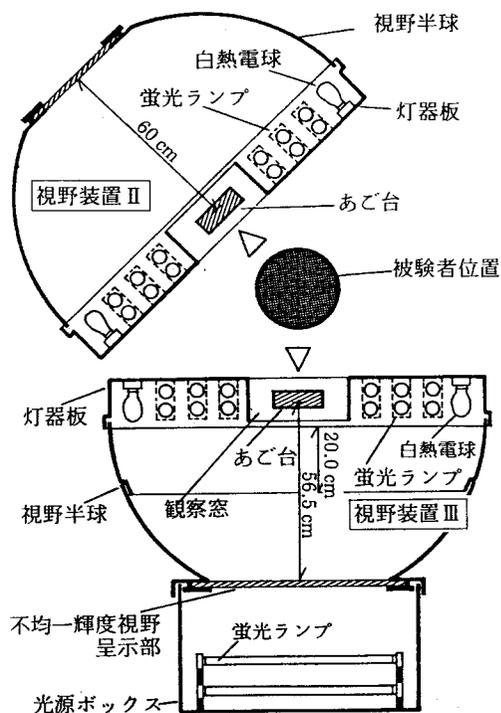


図 4.1 実験装置 (視野装置 II, III)

視野装置 III は、視野変化後の評価対象視野を呈示する不均一輝度視野装置である。灯器板と視野半球および光源ボックスから成っており、内装は全て艶消し白色拡散仕上げである。灯器板には、蛍光灯 24 灯と白熱電球 (100V 95W) 36 灯を観察窓の周囲に均等に配列してある。光源ボックスは高輝度面呈示用の光源であり、27 灯の 20W 蛍光灯が 2 段に取り付けある。視野半球の中心には直径 50cm の円形呈示板が設けてあり、視距離は 36.5 cm と 56.5 cm の 2 段階に設定できる。呈示板表面が内装と同質の場合には、暗視野 $\sim 16,000 \text{ cd}/\text{m}^2$ の範囲内で任意の視野輝度が呈示可能な均一輝度視野となり、輝度分布は中心から 60° の範囲内では中心 (100) に対して $100 \sim 110$ 以内である。呈示板を乳白色スリガラスにすれば、呈示板背後の光源ボックスからの照明で、ガラス部分が高輝度面となり、この場合も $16,000 \text{ cd}/\text{m}^2$ までの均一高輝度面が呈示可能である。調光装置は 6 台の蛍光灯用 ライトコントロールから成り、蛍光灯からの配線は自在である。調光による光色の変化をさけるために調光は蛍光灯のみで行ない、白熱球は高輝度呈示用の補助としてのみ用いた。

実験は被験者による主観評価により行なった。被験者はまず、視野Ⅱの観察窓に設けられたあご台に頭を固定し、均一前順応視野輝度 L_1 に十分順応した後、実験者の指示により直ちに視野Ⅲのあご台に頭を移し、視線を水平に保つ。その直後から0、2、5、10、15、20…秒後ごとに、まぶしさ感が変化しなくなるまで評価を行なわせることで、不均一輝度視野における明順応過渡過程でのまぶしさ感の時間的経過を求めた。均一輝度視野における評価実験もあわせて行ない、各被験者ごとに不均一輝度視野をまぶしさに関して等価な均一輝度視野に置き換えるための資料とした。

評価尺度は、表 4.1 に示す 5 段階尺度であり、これは 3 章での均一輝度視野におけるまぶしさ感評価に用いたもの(表 3.3)と同尺度である。被験者は表 4.2 に示す正常視力を有する青年 3 名で、実験は予備実験により被験者が評価に十分習熟した後に行なった。各実験条件に対して、被験者ごとにそれぞれ 3 回の評価実験を行なった。

表 4.1 まぶしさ感の評価尺度

評 価	評価点
耐 え 難 い	5
非常にまぶしい	4
まぶしい	3
ややまぶしい	2
まぶしくない	1

実験条件は、前順応輝度 L_1 ・変化後の視野の背景輝度 L_B ・高輝度面輝度 L_G ・高輝度面の大きさ ω の 4 つの変数の組み合わせから成る。 $L_1=0.25 \sim 250$

表 4.2 被 験 者

被験者	視 力		年 令	性 別	備 考
	右	左			
D	1.0	1.0	25	男子	裸眼
E	1.2	1.0	25	男子	裸眼
F	1.5	1.5	25	男子	裸眼

cd/m^2 、 $L_B=2.0 \sim 8,000 cd/m^2$ 、 $L_G=250 \sim 16,000 cd/m^2$ 、 $\omega=1.2 \times 10^{-3} sr \sim$ 均一視野の範囲において、表 4.3 に示す 67 種の (L_1, L_B, L_G, ω) の組み合わせについて実験を行なった。前順応輝度 L_1 への順応時間は、均一輝度視野での評価実験の場合を参考にして、 $L_G/L_1 \geq 4000$ の範囲では、暗視野に 3 分間、ついで L_1 に 2 分間とし、 $L_G/L_1 < 4000$ では、暗視野に 2 分間、 L_1 に 1 分間とした。ただし、不均一輝度視野に順応した後では、網膜部位で順応が異なっている可能性もあるため、連続実験は避け、15~30 分の間隔を置いて評価実験を行なわせ、その間は被験者を視野輝度 $1.0 cd/m^2$ 以下の暗い室に滞在させた。

表 4.3 設定条件

光源の大きさ		L _c L _B	光源の輝度 L _c (cd/m ²)						
立体角 ω (sr)	実半径 r (mm)		16000	8000	4000	2000	1000	500	250
1.1	385	20	○			○			
0.53	249	20	○			○			
0.27	171	2			○				
		8			○				
		20	○		○△				
		32			○				
0.14	119	20	○			○			
0.068	84	20	○						
0.034	59	2			○				
		20	○		○△	○			
		32			○				
		125			○				
0.017	42	2	○		○△		○	○	
		4					○		
		8	○			○			
		16			○				
		20	○	○	○△□	○	○	○	○
		32	○	○	○△		○		
		64	○						
		125	○						
		250							
		500	○		○△		○		
0.0088	30	20	○			○			
0.0043	21	2			○				
		20	○		○△				
		32			○				
		125			○				
0.0022	15	20	○			○			
0.0012	11	20	○						
均一視野	—	—	○		○		○		○

前順応輝度
○ 0.25 cd/m²
△ 64
□ 1, 4, 16, 250

L_B : 背景輝度

4.3 被験者間の結果の比較

図 4.2 は、前順応輝度 $L_1 = 0.25 \text{ cd/m}^2$ 、高輝度面の大きさ $\omega = 0.017 \text{ sr}$ での視野変化直後 ($T=0$) の場合を例に、各被験者で得られた結果を比較したものである。 $L_c = 250$ 、500、1,000、2,000、4,000、8,000、16,000 cd/m^2 の 7 種の高輝度面輝度について、高輝度面と背景の輝度比 L_c/L_B と視野変化直後のまぶしさ評価との関係を知ることができる。図中の各 L_c に対する実験結果を回帰した曲線は、被験者によらず全て同形である。 L_c の違いによる評価の変化は、曲線の縦軸方向の移動のみで説明されることも全被験者共通である。評価の絶対値には個人差はあるものの、すべての条件について、定性的には同一とみなすことができた。また、得られた結果も安定したものであったので、以下 3 名の平均値をもって結果を示すこととする。

4.4 高輝度面を見た直後のまぶしさ感

室内作業者は、作業中に視線を動かして、窓面や灯器等の高輝度面を見た直後に最もはなはだしいまぶしさを感じるというのが実態である。そこで、まず最初に、この最も危険な条件である高輝度面を見た直後のまぶしさ感と、各要因との関係について検討す

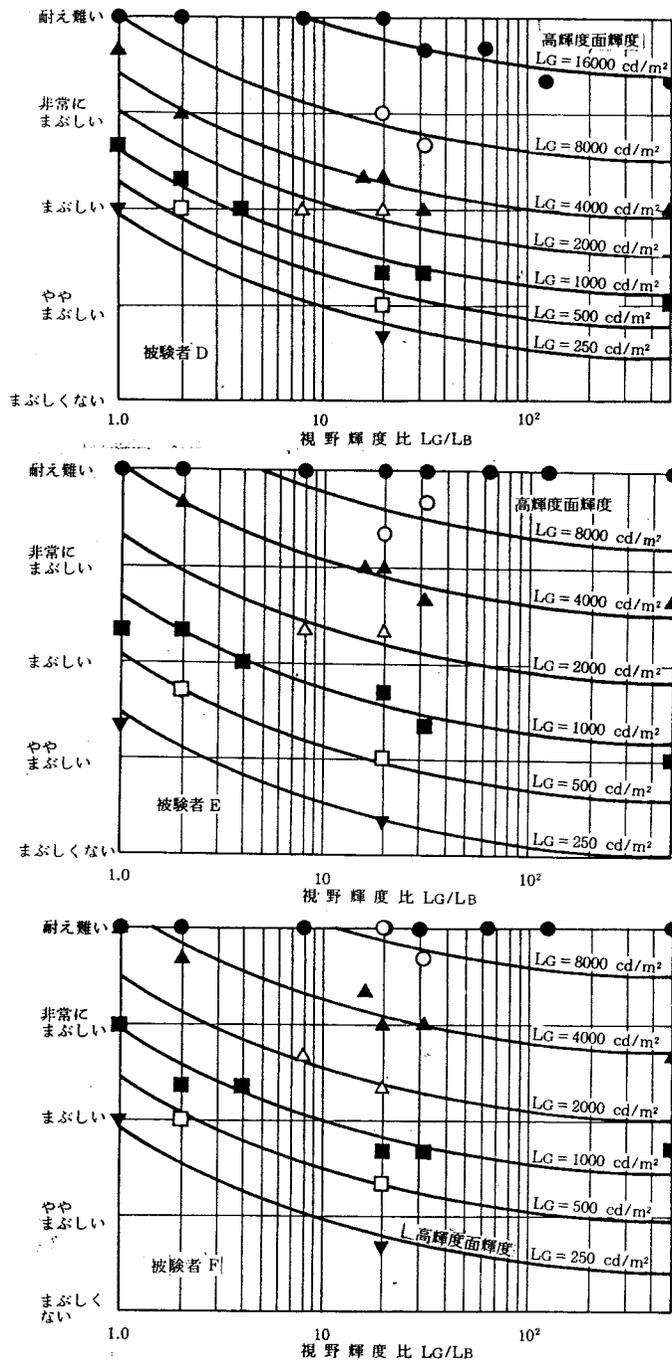


図 4.2 被験者間の結果の比較
 (前順応輝度 $L_1 = 0.25 \text{ cd/m}^2$)
 (高輝度面の大きさ $\omega = 0.017 \text{ sr.}$)
 経過時間 $T = 0 \text{ sec.}$

る。

4.4.1 背景輝度の影響

図 4.3 は、図 4.2 の結果を 3 名の平均値によって示したもので、各種の高輝度面輝度 L_G に対して、背景輝度 L_B が、高輝度面を見た直後 ($T=0$) でのまぶしさ感評価に及ぼす影響を、前順応輝度 $L_1=0.25 \text{ cd/m}^2$ 、高輝度面の大きさ $\omega=0.017 \text{ sr}$ の場合について検討したものである。

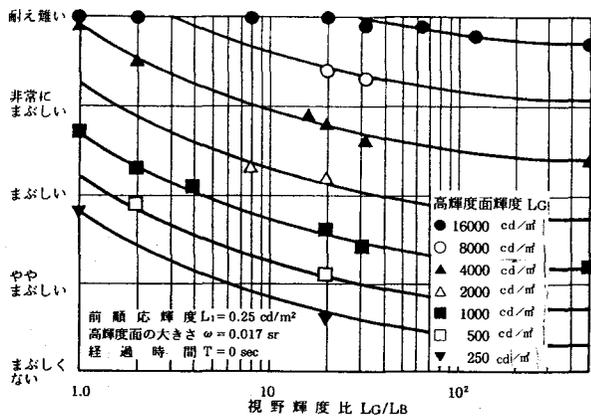


図 4.3 背景輝度 L_B と変化直後のまぶしさ感 (前順応輝度 L_1 、高輝度面の大きさ ω : 一定)

図より、高輝度面と背景との輝度比

L_G/L_B の変化に対する、 $T=0$ でのまぶしさ感の変化は、 L_G および L_B の値にかかわらず、 L_G/L_B によって一意的に決まると考えられる。図中の各 L_G について、 L_G/L_B と $T=0$ での評価との関係を示す実験結果の回帰曲線は、このことを満たすように引いたものである。 L_G による差異は曲線の縦軸方向の移動として示してあるが、いずれも測定値とよく一致している。

図 4.4 は、各種の高輝度面の大きさ ω に対して、背景輝度 L_B が、 $T=0$ での評価に及ぼす影響を、前順応輝度 $L_1=0.25 \text{ cd/m}^2$ 、高輝度面輝度 $L_G=4,000 \text{ cd/m}^2$ の場合について、検討したものである。図中破線で示してあるのは、 $\omega=0.017 \text{ sr}$ での結果で、

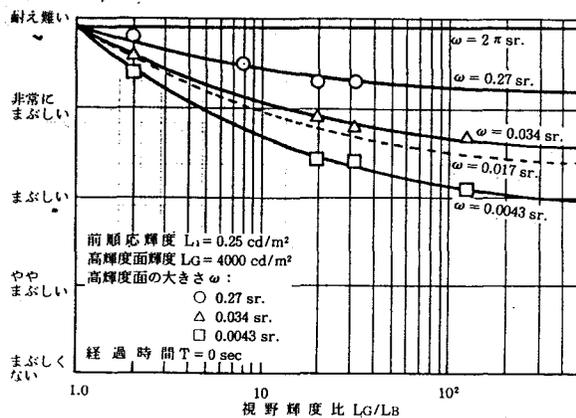


図 4.4 背景輝度 L_B と変化直後のまぶしさ感 (前順応輝度 L_1 、高輝度面輝度 L_G : 一定)

図 4.3 に示した $L_G = 4,000 \text{ cd/m}^2$ の場合に相当する。図より、 ω が大きくなるに従って、 L_G/L_B の変化に対する $T=0$ での評価の変化は減少することが知られる。すなわち、 ω が大きくなるに従って、 $T=0$ の評価に及ぼす L_B の影響は小さくなることを示している。

4.4.2 高輝度面の大きさの影響

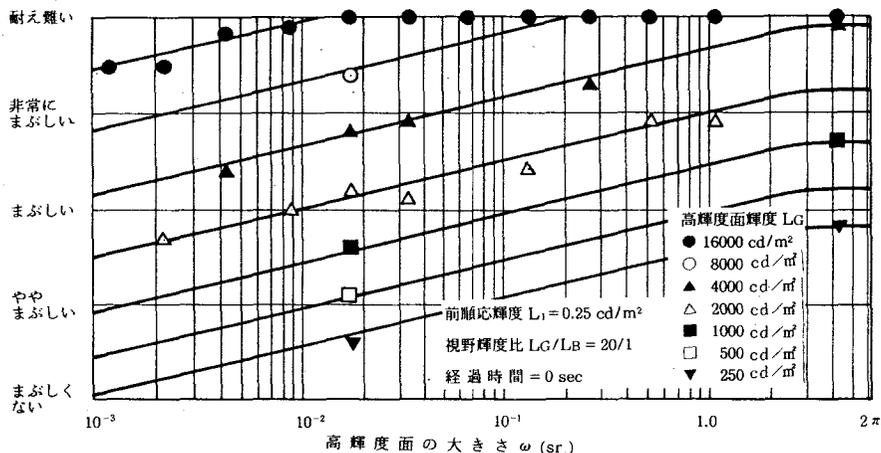


図 4.5 高輝度面の大きさ ω と変化直後のまぶしさ感
(前順応輝度 L_1 , 視野輝度比 L_G/L_B :一定)

図 4.5 は、各種の高輝度面輝度 L_G に対して、高輝度面を見た直後 ($T=0$) でのまぶしさ感に及ぼす高輝度面の大きさ ω の影響を、前順応輝度 $L_1 = 0.25 \text{ cd/m}^2$ 、高輝度面と背景との輝度比 $L_G/L_B = 20/1$ の場合について検討したものである。

$0.0012 \leq \omega \leq 1.1 \text{ sr}$ の範囲内であれば、 L_G の値にかかわらず、 ω と $T=0$ での評価との間に、直線的な関係がみられる。 ω が更に小さくなれば、まぶしさ感は視野輝度 L_B の均一視野における評価に近づき、逆に大きくなれば、視野輝度 L_G の均一視野における評価になると考える。図中の各 L_G についての、 ω と $T=0$ における評価との関係を示す実験結果の回帰曲線は、これらのことを満たすように引いたものであるが、測定値とよく一致している。図に示されている範囲の ω ($\leq 0.001 \text{ sr}$) であれば、 L_G によるちがいは回帰曲線の縦軸方向の移動のみで説明される。

図 4.6 は、前順応輝度 $L_1 = 0.25 \text{ cd/m}^2$ 、高輝度面輝度 $L_G = 4,000 \text{ cd/m}^2$ 、背景輝度 $L_B = 32, 125, 200, 2,000 \text{ cd/m}^2$ の場合について、光源の大きさ ω が高輝度面を見た直後のまぶしさ感に及ぼす影響を検討したものである。図中、破線で示してあるのは

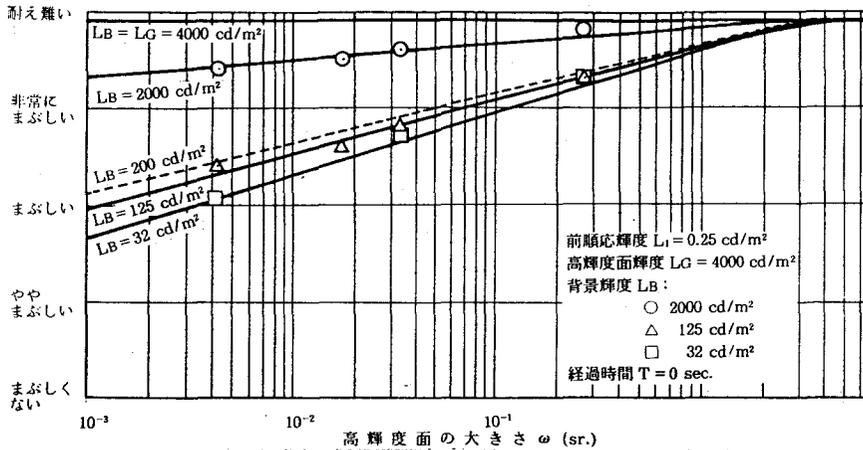


図 4.6 高輝度面の大きさ ω と変化直後のまぶしさ感 (前順応輝度 L_1 , 高輝度面輝度 L_G : 一定) $L_B=200 \text{ cd/m}^2$ での結果であり、図 4.5 に示した $L_G=4,000 \text{ cd/m}^2$ の場合に相当する。 200 cd/m^2 以外の L_B に対しても、 $0.0012 \leq \omega \leq 1.1 \text{ sr}$ の範囲での ω と $T=0$ での評価との間には $L_B=200 \text{ cd/m}^2$ の場合と同様、直線的関係がみられる。 L_B が大きくなる程、即ち L_G/L_B が 1 に近づくに従って、この直線の勾配は緩くなる。 L_B と L_G の値が近くなる程、 $T=0$ での評価に及ぼす ω の影響は小さくなるわけである。

4.4.3 前順応輝度の影響

3章の均一輝度視野におけるまぶしさ感に関する実験より、視野輝度が L_2 に変化した直後 ($T=0$) のまぶしさ感評価と、 L_2 に十分順応している時 ($T=\infty$) の評価との差は、前順応輝度 L_1 や変化後の視野輝度 L_2 の値にかかわらず、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 によって一意的に決まり、しかも、本実験の範囲内であればその関係は直線関係とみて十分であることが明らかになっている (図 3.6 参照)。

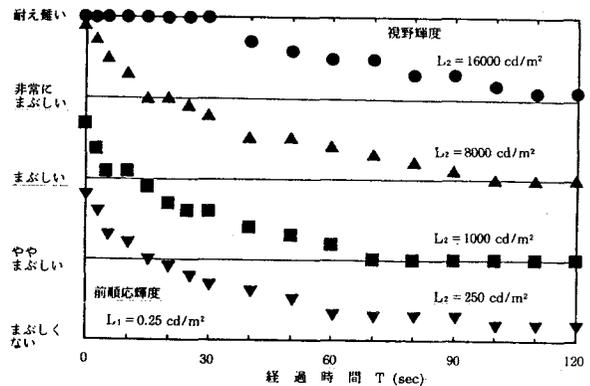


図 4.7 均一輝度視野におけるまぶしさ感の時間的経過 (前順応輝度 L_1 : 一定)

図 4.7 は、本実験での均一視野における実験結果で、前順応輝度 $L_1=0.25 \text{ cd/m}^2$ に対する変化後の視野輝度 $L_2=250, 1,000, 4,000, 16,000 \text{ cd/m}^2$ でのまぶしさ感の時

間的経過を示したものである。

図 4.8 は、図 4.7 に示した結果を、視野輝度変化直後 ($T=0$) のまぶしさ感評価と定常順応時 ($T=\infty$) の評価との差と、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 との関係で示したものである。両者の間には、直線関係がみられ、3 章で得られた均一輝度視野における $T=0$ のまぶしさ感に関する知見より、この関係は $L_1=0.25 \text{ cd/m}^2$ 以外の前順応輝度についても成立するものと考えられる。

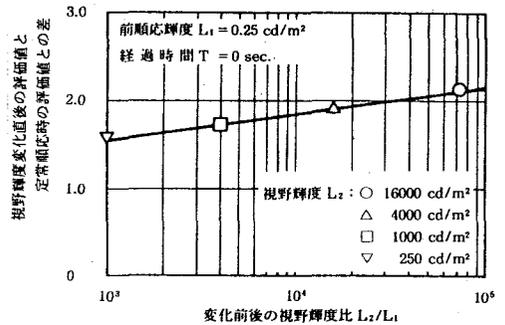


図 4.8 均一輝度視野における変化前後の視野輝度比と変化直後のまぶしさ感 (前順応輝度 L_1 : 一定)

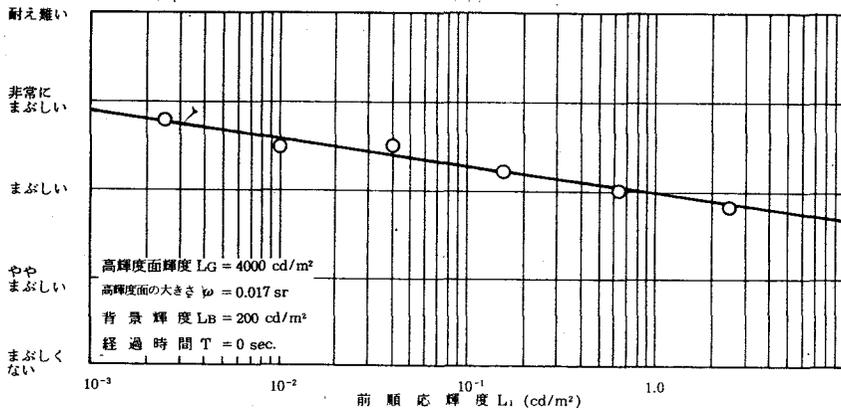


図 4.9 前順応輝度と変化直後のまぶしさ感 (高輝度面輝度 L_G , 大きさ ω , 背景輝度 L_B : 一定)

図 4.9 は、不均一輝度視野における高輝面を見た直後 ($T=0$) のまぶしさ感評価に対する前順応輝度 L_1 の影響を、高輝度面輝度 $L_G=4,000 \text{ cd/m}^2$ 、大きさ $\omega=0.017 \text{ sr}$ 、背景輝度 $L_B=200 \text{ cd/m}^2$ の場合について示したものである。図中の L_1 とまぶしさ感評価との関係を表わす直線は、 L_1 の評価への影響は、図 4.8 の均一輝度視野における場合と同様であると仮定して引いたものであるが、実験結果と良く一致している。図 4.9 では、 $T=0$ での評価値そのものを表示してあるが、変化後の視野条件が全ての L_1 に対して同一であるため、図 4.8 と図 4.9 の直線の勾配の絶対値は等しいものである。

図 4.10、図 4.11 は、 $L_G=4,000 \text{ cd/m}^2$ の場合について、 $L_1=0.25 \text{ cd/m}^2$ と $L_1=64 \text{ cd/m}^2$ とで得られた結果を、それぞれ L_B 、 ω を変化させて比較検討したものである。この場合も、各図中の回帰曲線は、変化後の視野条件が等しい場合は L_1 が異なることによる $T=0$ での評価値の変化は、図 4.8 の場合と同様であるとして、これを各 L_B 、

または ω について満たすように引いたものであるが、測定値とよく一致している。
 $L_1 = 0.25 \text{ cd/m}^2$ での結果は、それぞれ図4.3、図4.5の $L_G = 4,000 \text{ cd/m}^2$ の場合に相当し、 $L_1 = 0.25 \text{ cd/m}^2$ のものを縦軸方向に図4.8に示されている量だけ平行移動させたものとなっている。

図4.8～図4.11より、前順応輝度 L_1 が高輝度面を見た直後($T=0$)のまぶしさ感に及ぼす影響は、不均一輝度視野とも等しいことが明らかにされた。

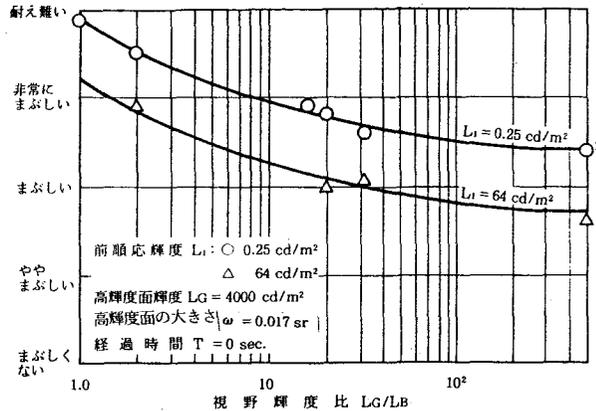


図4.10 前順応輝度と変化直後のまぶしさ感
 (高輝度面輝度 L_G , 大きさ ω :一定)

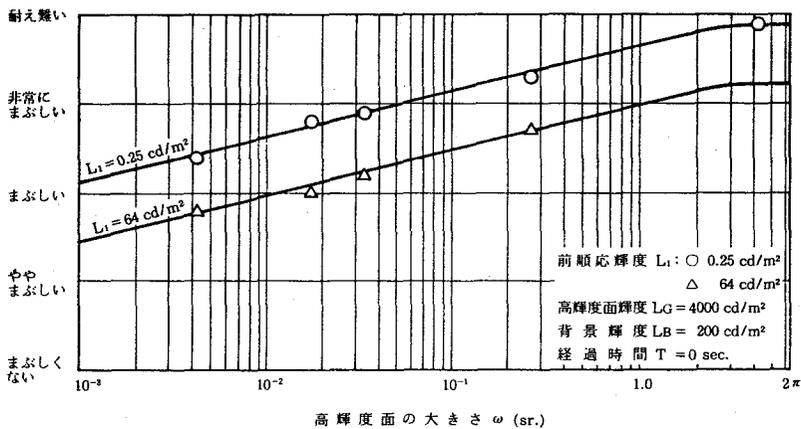


図4.11 前順応輝度と変化直後のまぶしさ感
 (高輝度面輝度 L_G , 背景輝度 L_B :一定)

4.5 まぶしさ感の時間的経過

前節では、最もまぶしさの著しい高輝度面を見た直後($T=0$)のまぶしさ感と各要因との関係を明らかにした。本節では、 $T=0$ 以外の経過時間 T でのまぶしさ感について検討を行なう。

図4.12は、前節での考察(図4.3～図4.6)により、視野変化直後のまぶしさ感が等しいと考えられる不均一輝度視野と均一輝度視野について、まぶしさ感の時間的経

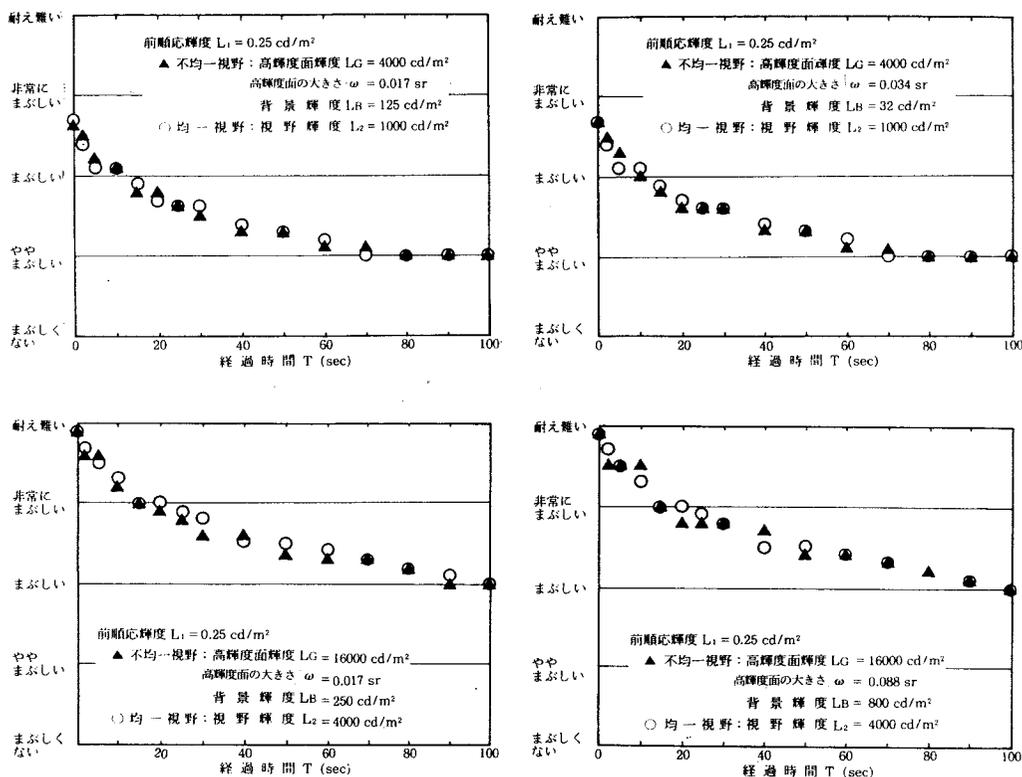


図 4.12 まぶしさ感の時間的経過の比較

過を比較したものである。いずれも前順応輝度 L_1 は 0.25 cd/m^2 である。図から明らかのように、両視野におけるまぶしさ感の時間的経過は等しく、 $T=0$ でのまぶしさ感の等しい視野は、その後の T についても常にまぶしさが等しいと考えてよい。したがって、同一の前順応輝度で $T=0$ でのまぶしさ感に関して、不均一輝度視野に等価な均一輝度視野を得ることができれば、不均一輝度視野に対するまぶしさ感の動的評価には、3章で得られた結果をそのまま適用することが可能である。

4.6 不均一輝度視野に等価な均一輝度視野

4.5により、前順応輝度 L_1 が等しい場合に、視野輝度変化直後 ($T=0$) のまぶしさ感について、不均一輝度視野をこれに等価な均一輝度視野に置換すれば、その等価性は経過時間 T に無関係に成立することが明らかにされた。また、4.4により、前順応輝度 L_1 が $T=0$ の評価に及ぼす影響は、不均一輝度視野・均一輝度視野ともに等し

いことが明らかにされている。したがって、ある一定の L_1 についての $T=0$ での評価に関して、不均一輝度視野をこれに等価な均一輝度視野に置換すれば、その等価性は、前順応輝度 L_1 、および経過時間 T に無関係に成立する。すなわち得られた結果は、任意の L_1 、および T に対して有効なものとなっている。

本節では、 $L_1=0.25\text{ cd/m}^2$ の場合について、 $T=0$ でのまぶしさ感に関して、不均一輝度視野に等価な均一輝度視野を実験結果より求めることによって、不均一輝度視野に等価な均一輝度視野の読み取り図を作成した。

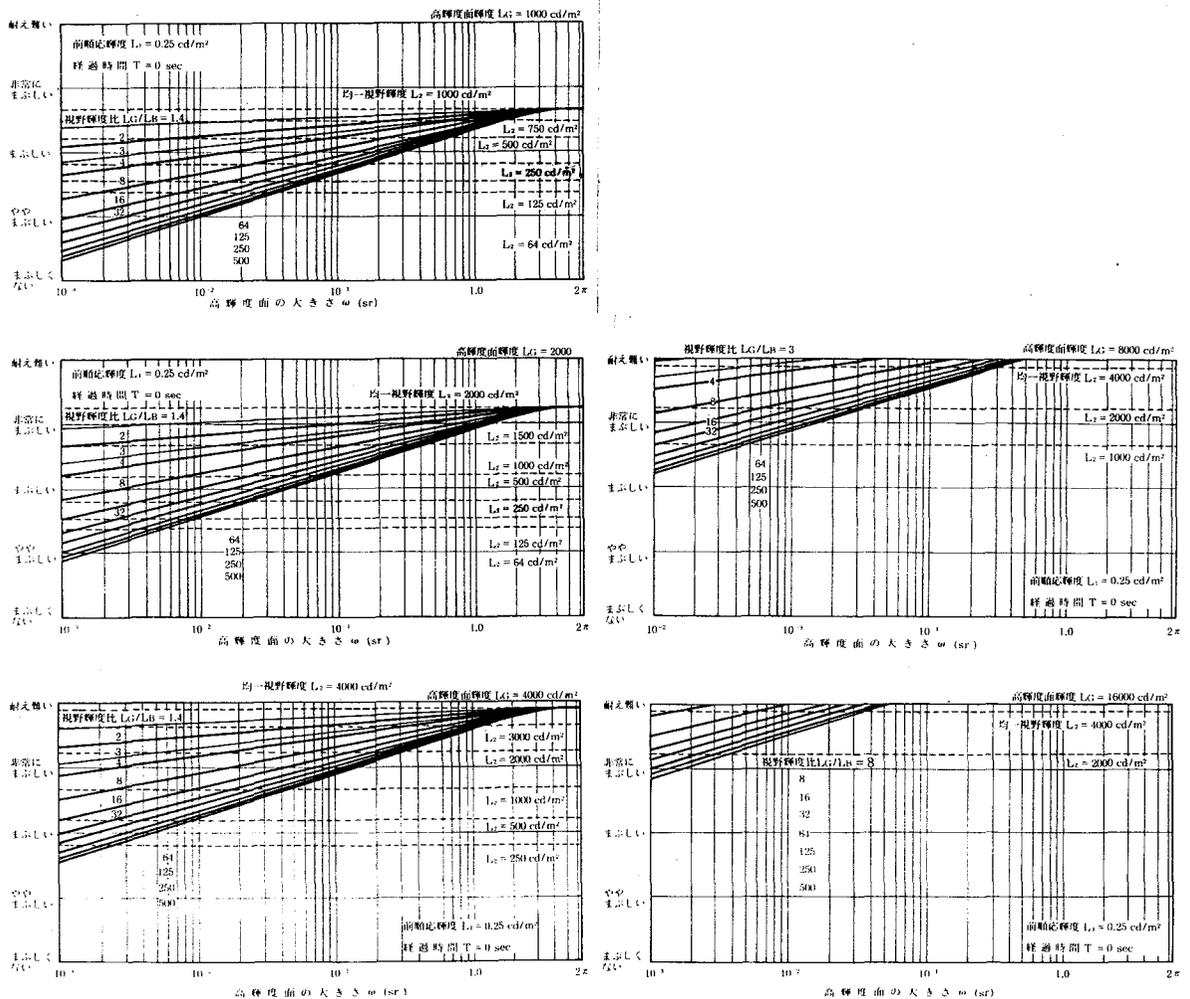


図 4.13 不均一輝度視野における変化直後のまぶしさ感 (前順応輝度 L_1 , 高輝度面輝度 L_2 :一定)

図 4.13は、図 4.3 ~ 図 4.6 に示した視野変化直後($T=0$)のまぶしさ感を、各高輝度

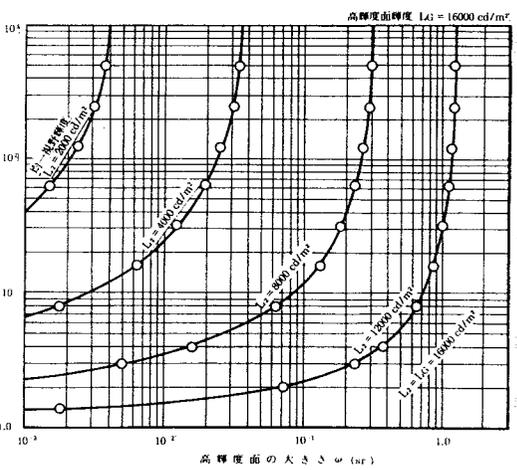
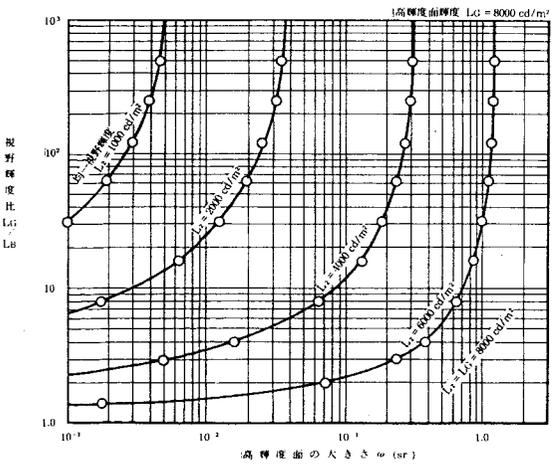
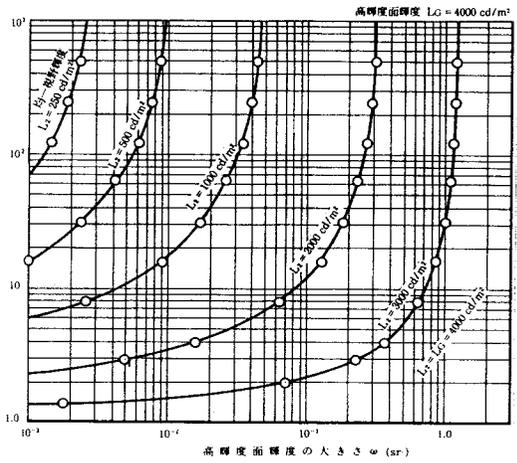
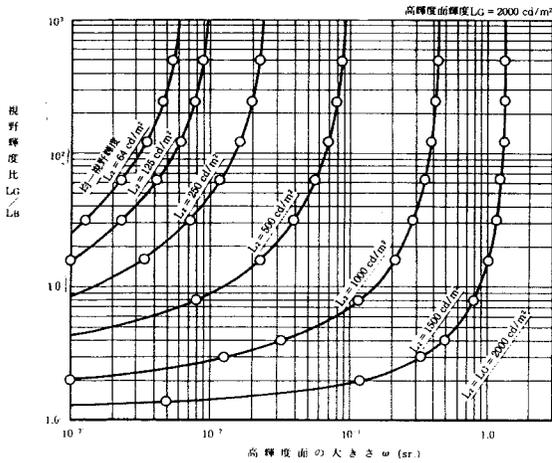
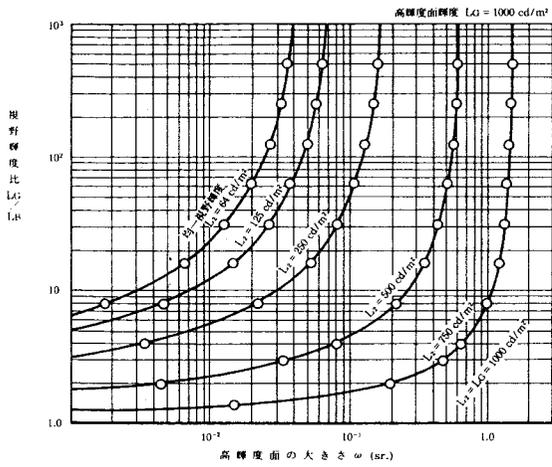


図 4.14 等価な均一輝度視野の読み取り図
(高輝度面輝度 L_G : 一定)

面輝度 L_G 別に背景輝度 L_B ・光源の大きさ ω について統一的に示したものである。 $L_G = 1,000, 2,000, 4,000, 8,000, 16,000 \text{ cd/m}^2$ のいずれの高輝度面輝度の場合も、前順応輝度 L_1 は 0.25 cd/m^2 である。図中、破線で示してあるのは、視野輝度 L_2 の均一視野における $L_1 = 0.25 \text{ cd/m}^2$ での $T=0$ におけるまぶしさ感である。

図 4.14 は、各高輝度面輝度 L_G ごとの不均一輝度視野に等価な均一輝度視野の読み取り図である。同図は図 4.13 を用いて、 (L_B, ω) の組み合わせからなる不均一輝度視野と等しいまぶしさを与える均一輝度視野は、その不均一輝度視野に等価であるとして得たものである。図中各プロットは、図 4.13 の破線と実線との交点に対応する。図 4.14 は、それぞれの L_G に対して、不均一輝度視野に等価な均一輝度視野の輝度 L_2 を与えるものであり、ここで得られた L_2 は、 (L_1, T) の値の如何なるときにも常に有効であることは、前述のとおりである。高輝度面輝度 L_G が既知の場合には、その L_G に

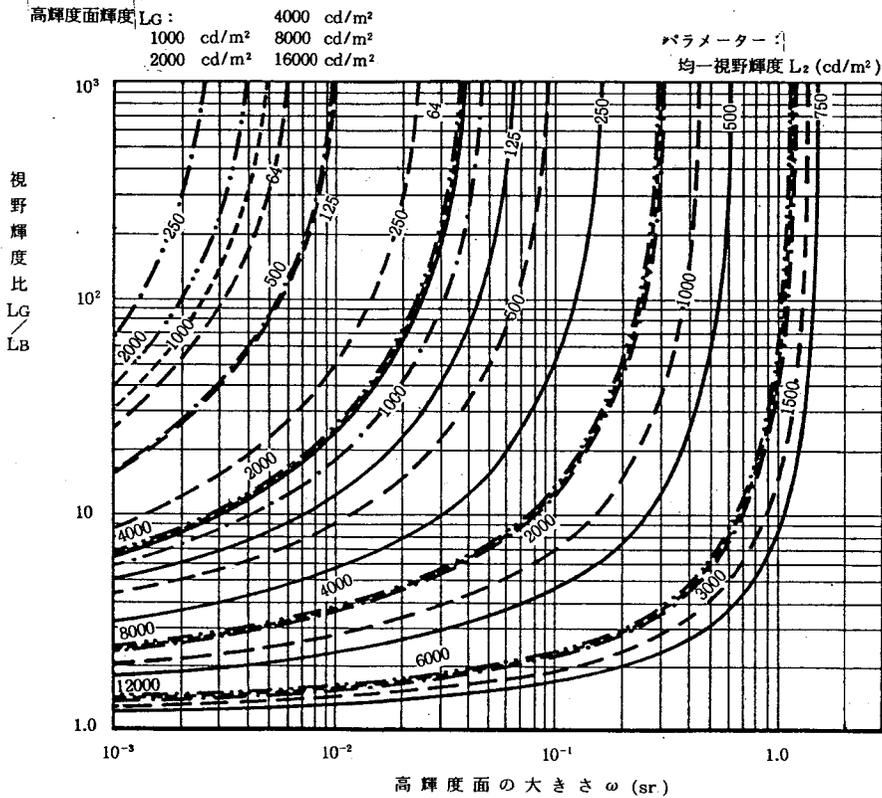


図 4.15 等価な均一輝度視野の読み取り図

対する図を利用すれば、背景輝度 L_B ・高輝度面の大きさ ω ・等価な均一視野の輝度 L_2 の関係を知ることができる。すなわち、 (L_B, ω, L_2) のいずれか2要因の組み合わせに対して、残る第3の要因の影響についての検討が可能であり、非常に有用な図である。

図 4.15 は、図 4.14 を重ねて示したものである。この図によれば、高輝度面輝度 L_G の補間が可能である。検討視野の L_G が図 4.14 の L_G と一致していない場合の L_2 の読み取りの他に、 (L_B, ω, L_2) の組み合わせに対応する L_G の読み取りの場合に特に有効である。すなわち、 (L_G, L_B, ω, L_2) の任意の組み合わせをこれより知ることができる。

4.7 不均一輝度視野におけるまぶしさ感の動的評価法

図 4.16 は、任意の均一輝度視野 L_2 について、任意の前順応輝度 L_1 に対するまぶしさ感の読み取り図であり、同図は視野輝度変化後の各経過時間 T について、すでに3章において得ているものである(図 3.9)。

不均一輝度視野に対しては、図 4.14、または図 4.15 を用いて、不均一輝度視野 (L_G, L_B, ω) をこれに等価な視野輝度 L_2 の均一視野に置き換え、

図 4.16 から、これに対応するまぶしさ感を読み取ることによって、まぶしさ感の動的評価を行なうことが可能となる。

図 4.16 中の鎖線は、定常順応の状態 ($L_2 = L_1$) に相当し、各評価の境界線がこれに当たるところが、定常順応時の評価の境界であるため、図 4.16 によって、定常時の評価も行なうことができる。定常順応時のまぶしさ感のみを対象とする場合には、これを詳しく示した図 4.17 を用いればよい。

不均一輝度視野に等価な均一輝度視野の読み取り図(図 4.14、図 4.15)、およびまぶしさ感図(図 4.16、図 4.17)は、それぞれ3名の被験者による結果であるため、定量的には必ずしも信頼性の高いものではないかも知れないが、定性的には十分信頼すべきものと

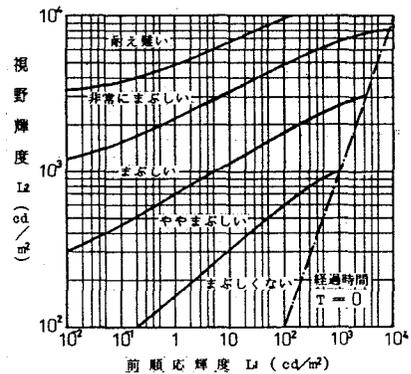


図 4.16 まぶしさ感図 経過時間
前順応輝度 L_1 (cd/m^2)

考える。

本研究の結果、前順応輝度・高輝度面の輝度と大きさ・背景輝度・視線を高輝度面に移してからの経過時間の5つの要因とまぶしさ感との関係を明確にすることができ、不均一輝度視野におけるまぶしさ感の動的評価手法を確立し得たものといえることができる。こうして得られた評価こそが、室内作業者が作業中に灯器、窓面などの高輝度面に視線を向けたときに感じるまぶしさに相当すると考えるべきものである。

また、今日、定式化されている評価法は、定常順応の仮定の他に、灯器等の小光源のみを対象としているにすぎないが、この動的評価法によれば、小光源はもちろんのこと、窓等の大面積の高輝度面にまで幅広く対応することができる。

ただし、本研究の対象としたものは、単一円形高輝度面に正対した場合のものであり、高輝度面の視線に対する位置・個数の取り扱い方など、まだ問題は今後に残されているが、高輝度面の誘目性を考えれば、本研究の成果は、実用上十分に役立つものと考えられる。なお、研究成果の定量的信頼性の問題は、被験者数を増すことにより解消され得るものである。

4.8 コーネル公式による評価との比較

不快グレアグレア評価に関しては、従来から多くの研究がなされ、各国での評価法も定式化されているが、これらはいずれも大きな高輝度面に適用できるものではない。大きな高輝度面に対する評価値を与えるものとしては、これらとは別に、コーネル公式⁽²⁾の提案がある。これは、イギリスの建築研究所 (Building Research Station)、およびアメリカのコーネル大学での研究によるもので、イギリスの評価法の基礎となっている BRS グレア公式⁽³⁾を、大きな視角を持つ高輝度面に適用できるよう修正したものである。

ここでは、本研究で得られた評価に対して、同公式による評価を対応させ、比較検討

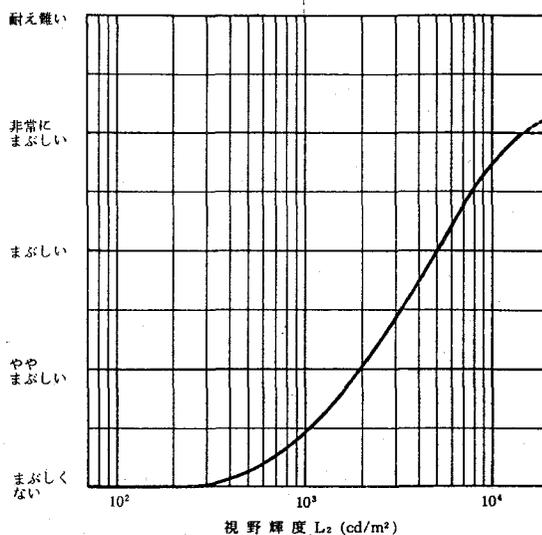


図 4.17 定常順応時のまぶしさ感

しようとするものであるが、同公式も定常順応時を前提としたものであるため、本比較検討もこの場合についてのみ行なっている。

4.8.1 コーネル公式

コーネル公式とは、適用範囲が 0.01 sr 以下の大きさの小高輝度面に限られている式 (4・1) に示す BRS グレア公式を、大きな高輝度面に対する不快グレア評価も行なえ

$$G = 0.478 \frac{L_s^{1.6} \omega^{0.8}}{L_b p^{1.6}} \quad (4 \cdot 1)$$

L_s : 高輝度面の輝度 (cd/m²)

L_b : 背景輝度 (cd/m²)

ω : 高輝度面の立体角 (sr)

p : 高輝度面の位置係数、 $p(\theta^\circ, \varphi^\circ) = \frac{P(\theta^\circ, \varphi^\circ)}{P(10^\circ, 0^\circ)}$ 、 P (Luckiesh-Guth の position index)⁽⁴⁾

るように、式(4.2)に示すように修正したもので、0.001 sr 以上のすべての大きさの高輝度面に適用することができるとされている。

$$G = 0.478 \frac{L_s^{1.6} \Omega^{0.8}}{L_b + 0.07 \omega^{0.5} \cdot L_s} \quad (4 \cdot 2)$$

L_s : 高輝度面の輝度 (cd/m²)

L_b : 背景輝度 (cd/m²)

ω : 高輝度面の立体角 (sr)

Ω : 視野内での位置による重味付けを行なった高輝度面の修正立体角 (sr) であり、これの読み取り図が与えられている。⁽⁵⁾

同公式は、窓によるグレアの予測のために、1971年にその使用が提唱されたものである。式(4.2)で得られたGを用いて次式(4.3)によって求めたものを従来のものと区別するために、昼光グレアインデックス(DGI)と称し、IESのグレア評価尺度に対して表4.4のような対応を示すとされている。

$$DGI (\text{Daylight Glare Index}) = 10 \log \mathcal{E} G \quad (4 \cdot 3)$$

これらの評価尺度と本論文の評価尺度とは、図 4.18 に示す近い対応をするものと考えられる。

表 4.4 DGI とグレア感

グレア評価	DGI	IES・GI
感じなくなる	16	10
気になりはじめる	20	16
不快であると感じはじめる	24	22
ひどすぎると感じはじめる	28	28

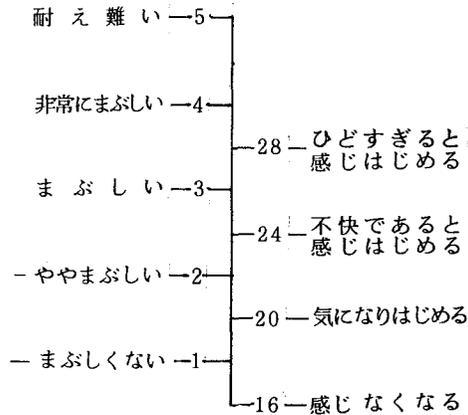


図 4.18 評価尺度の対応

4.8 2 評価値の比較

本論文で提示した評価法とコーネル公式による評価法との両者により、高輝度面に正対した場合について各種の条件下で得られた評価値を図 4.19～図 4.21 に並示する。

図 4.19 は、高輝度面の大きさ ω が評価に及ぼす影響を比較検討したものである。同

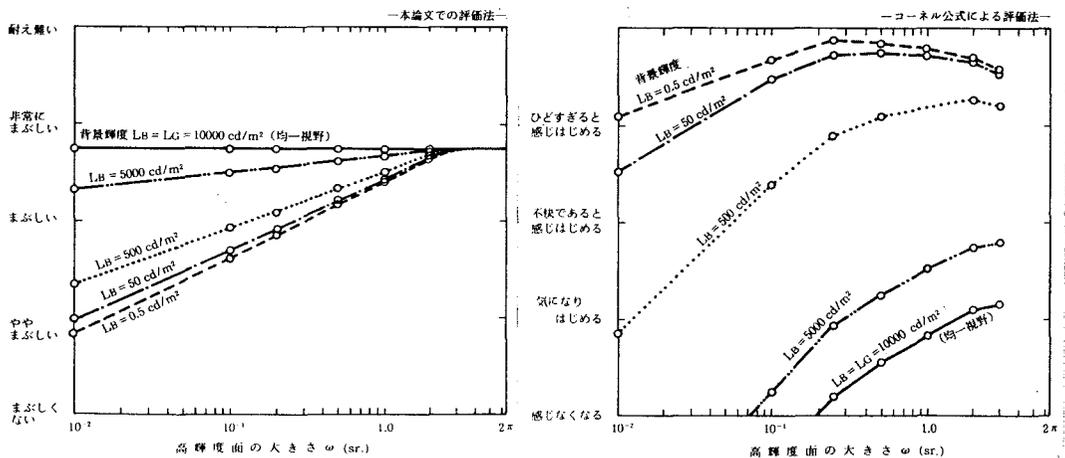


図 4.19 高輝度面の大きさの影響 (高輝度面輝度 $L_G = 10000 \text{ cd/m}^2$)

図は、高輝度面輝度 $L_G = 10,000 \text{ cd/m}^2$ に対し、背景輝度 $L_B = 0.5, 50, 500, 5,000 \text{ cd/m}^2$ 、および均一輝度視野 ($L_B = L_G = 10,000 \text{ cd/m}^2$) の各場合につき、 ω と評価値との関係を示したものである。両者の間には、 ω が 0.1 sr 以上において、 ω と評価値との関係に顕著な差異が見られる。本論文で提示した評価法では、いずれの L_B の場合においても、 ω が大きくなるに従って評価値も高くなり、やがては、視野輝度 L_G の均一視野に対する評価に収束している。また、いずれの ω においても、 L_B が高くなる程、評価も高くなり、 L_B が L_G に近づくに従って均一視野での評価に近づいていくことが知られる。一方、コーネル公式による評価では、 ω が小さいところでは、 ω の増加に伴い評価値も上がるが、 ω が大きくなると逆に評価値が減少することが、 $L_B = 0.5, 50, 500 \text{ cd/m}^2$ の場合に

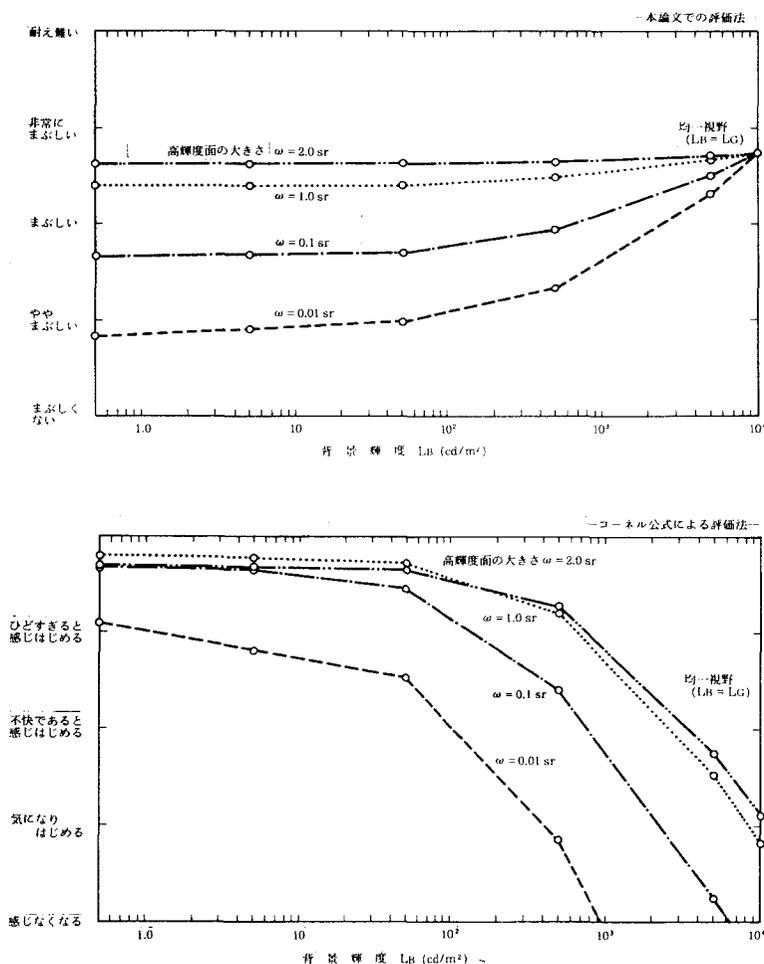


図 4.20 背景輝度の影響 (高輝度面輝度 $L_G = 10000 \text{ cd/m}^2$)

ついて認められる。また L_B が L_G に近づく程、輝度 L_G の均一視野での評価値に近づくことは、本論文での評価と同様であるが、 $10,000 \text{ cd/m}^2$ の均一視野での評価値が最も小さいことが、本論文によるものと全く異なる点である。また、 $L_B = L_G$ として得た評価値が ω によって異なるという不合理が生じている。更に、 $10,000 \text{ cd/m}^2$ の非常に輝度の高い均一輝度視野でグレアがほとんど気にならないという結果には、大いに疑問が持たれる (図 3.2 参照)。

図 4.20 は、背景輝度 L_B と評価との関係を、高輝度面輝度 $L_G = 10,000 \text{ cd/m}^2$ において、その大きさ ω が $0.01, 0.1, 2.0 \text{ sr}$ の各場合について検討したものである。図 4.19 からも見られるところであるが、両評価法では、 L_B の評価に及ぼす影響が全く逆であることが、図 4.20 に明瞭に示されている。本論文での評価法によれば、 L_B の増加に伴って評価値も高くなり、いずれの ω においても均一輝度視野での評価に収束する。一方、コーネル公式によるものでは、 L_B の増加に伴って評価値は減少し、理論的に一定値に収束すべきものが、 $L_B = L_G$ のところで大きく異なる値を示すという不合理が生じている。また、 $\omega = 2.0$ と 1.0 sr での評価値の逆転は、図 4.19 で ω が大ききなところでは、 ω の増加に伴い評価値が減少していることに起因するものである。両評価法による評価値は、 $L_B \leq 100 \text{ cd/m}^2$ ではいずれの ω についてもコーネル公式によるものが高い値を示しているが、 $L_B = 200 \text{ cd/m}^2$ 付近から ω の小さいものから逆転が生じ、 $L_B \geq 500 \text{ cd/m}^2$ ではいずれの ω についても本論文での評価法によるものが高い値を示

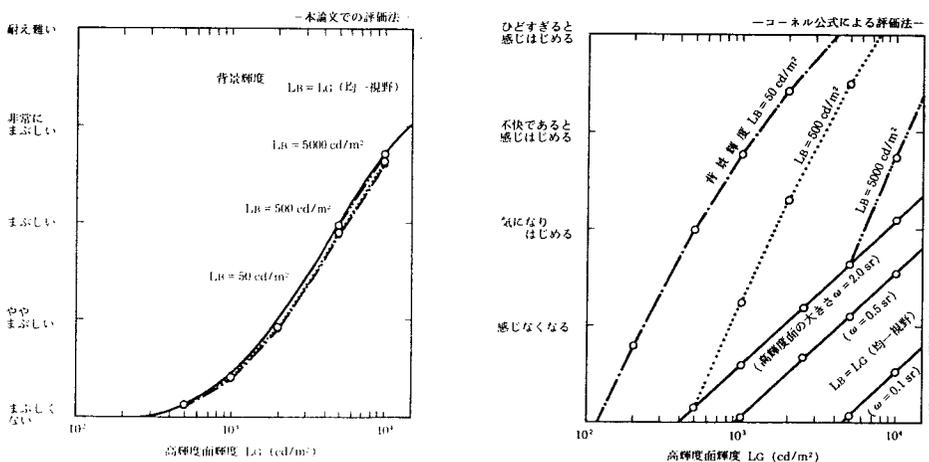


図 4.21 高輝度面輝度の影響 (高輝度面の大きさ $\omega = 2.0 \text{ sr}$)

すようになっている。 $L_B \leq 10 \text{ cd/m}^2$ では評価値にほとんど変化が見られないことは、⁷⁾両評価法で共通している。

図 4.21 は、高輝度面輝度 L_G が評価に及ぼす影響を検討したもので、高輝度面の大きさ $\omega = 2.0 \text{ sr}$ での、背景輝度 $L_B = 50, 500, 5000 \text{ cd/m}^2$ および均一輝度視野 ($L_B = L_G$) の各場合について、 L_G と評価値との関係ををしたものである。 L_G の増加に伴う評価値の増加の著しいことは、両評価法に共通しているが、本論文での評価法によれば、 $\omega = 2.0 \text{ sr}$ での評価はほぼ均一輝度視野での評価に等しく、 L_B による評価値のちがいはほとんど見られない。一方、コーネル方式によれば、 $\omega = 2.0 \text{ sr}$ という視線の左右上下に約 45° の角度を張る大面積の場合であるにもかかわらず、 L_B が評価値にかなり影響している。更に、図 4.19 にも見られたように、本論文によるものとは逆に、均一輝度視野での評価値が最も低く、更に、各 ω で $L_B = L_G$ として求めた値に大きな差が生じている。

以上の比較から、両評価法の間には、高輝度面輝度 L_G を除いた変数と評価との関係に大きな差異のあることが明らかとなった。

コーネル公式(式 4.1)の分母は、高輝度面の大きさが、眼の順応を増加させ、高輝度面のグレアを下げる効果があることを考慮したものであろうが、 ω および L_B の増加に伴うグレア評価値の減少は、まぶしさ感と明るさ感 (Apparent Brightness) を混同したために生じたものではないかと推測する。このことが、均一輝度視野での評価が唯一つに定まらないという、変数と評価との間の不合理な関係を招来したのと考え。眼の順応の変化を取り入れていないこととあわせて、このような評価法には疑問を持たざるを得ない。

4.9 む す び

本章では、均一輝度視野における順応過渡過程でのまぶしさ感の評価値を基準として、不均一輝度視野をまぶしさに関して等価な均一輝度視野に置き換えることによって、単一円形高輝度面に正対した場合のまぶしさ感の動的評価法を確立した。この動的評価法は灯器等の小光源はもちろん、窓等の大面積の高輝度面にまで巾広く適用することができるものである。更に、本研究の結果に基づいて定常順応時のまぶしさ感につき、これまで信頼性に疑問の指摘されていた既往の評価法(コーネル公式)に詳細な検討を加え

た結果、この評価法の不合理性を明確にすることができた。

本章で提示した評価法に関しては、高輝度面の位置び個数が、なお問題として残されているが、これが処理できれば、まぶしさ感に関する視環境の動的評価法は、更に改善されるものと期待している。

参 考 文 献

- (1) 井上容子・伊藤克三：不均一輝度視野におけるまぶしさ感，日本建築学会近畿支部研究報告集，第24号，計画系，昭和59年，pp. 193～196
- (2) P. Chauvel, J. B. Collins, R. Dogniaux, J. Longmore : Glare from windows — current views of the problem, *Lighting Research & Technology*, Vol. 14 No. 1, 1982, pp. 31～46
- (3) P. Petherbrige, R. G. Hopkinson : Discomfort glare and the lighting of buildings, *Transaction of Illuminating Engineering Society (London)*, 15, 1950, pp. 39～79
- (4) M. Luckiesh, S. K. Guth : Brightness in Visual Field at Borderline between Comfort and Discomfort (B. C. D.), *Illuminating Engineering (New York)*, Vol. 44 No. 11, 1941, pp. 650～670
- (5) P. Petherblidge and J. Longmore : Solid Angles Applied to Visual Comfort Problems, *LIGHT AND LIGHTING*, June, 1954, pp. 173～177

第5章 視認問題の動的解析法

5.1 眼球内の散乱光と視認性

眼の感度は、ある順応輝度に対しては一定であるとするれば、視認性の基本は対比感度、あるいは輝度差弁別能力と考えるのが至当であるが、今日、視対象の視認性は、対象物の形・大きさ・背景との輝度対比および眼の順応輝度の4者で取り扱われている。前3者は、視覚系への刺激を決定するものであり、順応輝度は眼の感度であるが、同一輝度であっても、視対象の大きさにより輝度差弁別能力が異なることや、順応輝度が上がれば、輝度差弁別能力は下がるが、細部識別能力(視力)は上がるということに関しては、何ら統一的な説明がなされていないのが現状である。⁽⁶⁾

同じ輝度差であっても、形・大きさによって視認に差が生じるのは、網膜への刺激を視対象物の輝度そのものであるとし、それに対する応答として視覚をとらえているためである。網膜中心窩上に結ばれている像の輝度は、眼球光学系の不完全さによる視標ならびに背景からの散乱光が、相互に重畳することにより、対象物そのものの輝度とは異なったものとなっている。この散乱光の影響は、視標の形・大きさにより異なるため、この差異が視標の形・大きさによる視認性の差異となって現われているものと考えられる。

図5.1は、視野が輝度 1.0 cd/m^2 と 0 cd/m^2 に2分されている場合に、その境界に垂直な線上を視線が走査したとき、各注視点で網膜中心窩が受ける刺激量の変化の概要を示したものである。同図に示すように、境界線の近傍を注視した場合には、中心窩への刺激量は必ずしも 1.0 cd/m^2 、又は、 0 cd/m^2 ではない。図5.2は、図

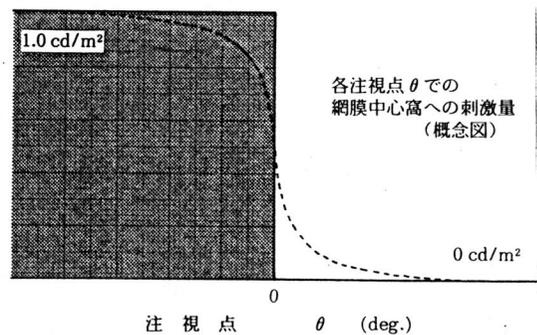
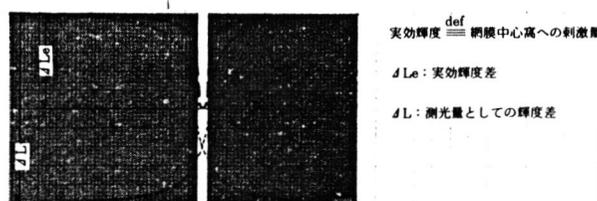


図5.1 眼球内散乱光

5.1の視野と、それを、左右対象にしたものとを間隔をかえて合成したものである。巾が大きい場合には、視野上を視線が走査したときの網膜中心窩が受ける刺激量の差は、測光量としての輝度差と同じであるが、巾が小さくなるに従い、両者のくいちがいは大き

くなる。この差異が、同一輝度であっても、視対象の大きさにより視力に差が生じるゆえんであると考える。



眼球内散乱光に関しては、暗視野にある高輝度物体を見たときの物体周辺に生じるいわゆる暈からも、その存在は経験的に確認される場所であるが、視認問題にこれが導入されているのは、わずかに不能グレアの場合においてのみである。しかも、この場合グレア源からの中心窩への散乱光をグレア源の大きさ

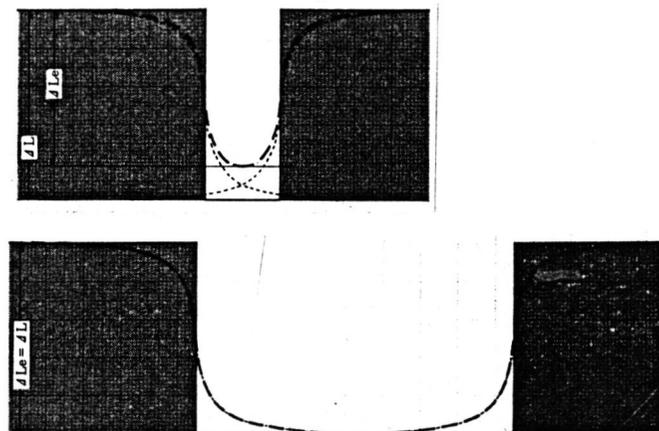


図 5.2 視標の大きさ (巾) と実効輝度差

ω ・輝度 L_0 ・その中心の視線からの距り角 θ から算出しようという、極めて粗雑な取り扱い方であり、到底、一般視認問題に適用しうるときものではない。

眼球内に現実に生じている光の散乱性状を正確に解明し、任意の視条件の下での中心窩への刺激の強さ(実効輝度)を知ることができれば、視認性の評価は、こうして得られた実効輝度と、その時の眼の感度(順応輝度)とのみで取り扱うことが可能となることが予測される。

眼球内での散乱光を取り入れた実効輝度を導入することにより、視対象の形・大きさは実効輝度の中に包含されることになり、これまでの視認問題の基礎とされてきた対比感度と視力との間の不整合は解消される。視対象の視認性は実効輝度とその時の眼の感度、すなわち輝度差弁別閾とのみで解明されることになる。これによって、今日までの視認性評価において、視標の形・大きさ・輝度対比が複雑に入り組んだまま放置されていたものに統一的な合理性を与えるとともに、視認に関して未解明のまま残されている重要諸問題の解明も期待される。

本論は、複雑な要因を含む視環境の動的評価を中心窩への刺激である実効輝度を用いて解明しようとするものである。

5.2 視認能力の動的評価への実効輝度の導入

これまでの定常視に対し、視認能力を作業者の視線移動の実態に即して動的に評価しようとするれば、これに伴う眼の順応の時間的变化に対応するため、視線移動前後の視野輝度・移動後の経過時間の3つの変数に対して、視認能力を解明することが必要となる。

従来の取り扱い方法によれば、各種の視標について、大きさ・輝度対比を変化させて視認実験を行なうことが必要であり、非常に煩雑である。その上、各視標によって得られた結果を論理的に結び付けることが難しく、そこに法則性を見い出すのは極めて困難である。

これに対し、眼球内散乱光を視認能力の動的評価に導入すれば、中心窩への刺激を決定する視標の形・大きさ・輝度対比は、視標の特性として実効輝度という一因子に統合される。このため動的評価を行なうには、眼の順応の変化に対応した眼の感度と、各視標視認時の中心窩への刺激量である実効輝度の2点に関して、それぞれ独立に検討を行なえばよいことになる。今日まで、変数が多く取り扱いの複雑さのため放置されていた視線の動きの実態に見合った視作業性の予測・評価が合理的かつ比較的簡易に実行可能となる。

まず、眼の感度について述べる。

視野輝度の変化に伴う順応、すなわち眼の感度の時間的経過としては、均一輝度視野における被験者の輝度差弁別能力の時間的变化を基準とし、これを把握することができれば、不均一輝度視野の取り扱いの場合には次節で述べるように、これに等価な均一輝度視野に置換することによって対処することができる。視認実験としては輝度差弁別閾の測定のみで十分であるため、用いる視標は、対比の異なる単純な対比感度視標のみでよいことになる。

動的評価を行なうためには、単純な明暗両順応過渡過程における順応輝度の時間的経過にとどまらず、順応過渡過程に視野輝度が増加する場合の順応輝度の時間的経過についても明らかにする必要がある。この場合においても、視認実験は対比感度視標のみについて行なえば十分であり、大して煩雑ではなく、その解明も可能である。

次に、各視標視認時の中心窩への刺激である実効輝度について述べる。

網膜中心窩への刺激としての視標と背景の輝度は、視標と背景とが各々同一輝度であっても、視標の形・大きさにより視標ならびに背景からの眼球内での散乱光の相互重

畳の様相が異なる。このため視標面の測光量としての輝度とはそれぞれ異なったものとなっている。これの視認にあたっては、視標全面を同時に見て弁別しているのではなく、眼は注視点で背景および視標面上を走査し、識別したい主要点間での中心窩への刺激量の差が、弁別閾以上であるか否かによって視認の可否がきまるものと考えられる。従って、眼球内散乱による中心窩への散乱特性を把握して、各注視点における中心窩への刺激(実効輝度)、および、その主要点の差(実効輝度差)の予測を可能にし、この実効輝度差の視標と背景との本来の輝度差に対する比率(実効率)を各種視標の形・大きさに対して把握することによって、これらを呈示したときの中心窩への刺激量を知ることができる。

ある視標による実効輝度差が、その時の眼の感度(順応輝度)に対応した輝度差弁別閾以上であれば、その視標の視認が行なわれる。したがって、上述した手法によって、視標の実効率と順応輝度の時間的变化とを別個に把握することにより、視線移動T秒後の視力、あるいは、所定の視力を得るに要する経過時間など視認能力の動的な検討が可能となる。

5.3 不均一輝度視野における眼の順応輝度

任意の輝度分布を持った視野における視認能力の解明は、動的評価に限らず、これまでの定常視での研究においても常に重要な課題であった。これに関しては、不能グレアも含めて若干の研究は行なわれているが、これらは単純な形の不均一輝度分布を持つ場合の視力を実験的に求め、あるいはこれを均一輝度視野の場合と比較検討したものであり、統一的な結果の得られていないのが現状である。

中心窩への刺激が、視標の形・大きさによって視標そのものの輝度とは異なっていることを見過ごし、刺激を視標の輝度とする限り、眼への刺激・眼の順応輝度の両者とも未知のままであり、この両者の間に何らかの仮定を置かなければ視認実験結果によりその時の眼の順応を決定することはできない。

眼球内散乱による中心窩への散乱特性を求めておけば、任意の輝度分布を持つ視野においても、中心窩での各視標位置の実効輝度が算定可能となり、視認の可否はその時の眼の感度、すなわち順応輝度に帰着することができる。輝度差弁別能力の等しい視野に対する眼の感度は等しいと考えられるため、そのような視野は眼の順応輝度に関して等価であると見なせる。したがって、不均一輝度視野における順応輝度を把握するにも、

さきの動的評価の場合と同様、視認実験に用いる視標としては単純な対比感度視標のみで十分であり、これを用いて各視野条件に対する輝度差別閾を測定すればよいこととなる。

具体的には、各種の対比視標、あるいはこれに代わる単純な線または正方形視標を各種の輝度分布を持った視野中心に呈示する一方、同一視標を均一輝度視野に呈示する実験をあわせて行ない、それらがいずれも視認閾となる実効輝度差を求める。これの等しい視野条件ではすべて眼の感度が等しいことから、眼の感度に関して不均一輝度視野に等価な均一輝度視野を求めることができる。このときの均一輝度視野の輝度を順応輝度とすればよい。

このようにして、不均一輝度視野をこれに等価な均一輝度視野に視認実験により置き換え、この結果をもとに、この間の近似的な法則性を見い出すことができれば、任意の輝度分布をもつ視野における視認性も均一輝度視野での結果をもとに評価可能となる。このような取り扱い方をすれば、不能グレアをも不均一輝度視野における視認問題として、一般的な視認問題のなかで統一的に扱えることになる。なお、視標の形・大きさは実効率で対処できることは前述のとおりである。

5.4 逆対比視標の視認性

視標には、正対比・逆対比の別があるが、どちらか一方の対比のみを研究対象とし、得られた結果をそのまま他方の場合にも適用するという不合理なことがこれまで行なわれてきており、両者の関係については曖昧なまま放置されているのが現状である。⁽¹³⁾ 逆対比視標では、視標の輝度が高いため、中心窩の順応への視標の影響が正対比の場合に比べ顕著であり、この影響の解明が難しいためであると思われる。視標と背景の輝度差が等しければ、正対比・逆対比のいずれの場合も、実効輝度差は理論上等しくなり、この両者における視認性の差異は順応輝度の差と考えてよい。

高輝度の視標の順応への影響は、不均一輝度視野における順応と定性的には等しいものであるため、本論文で扱うものはすべて正対比視標であるが、前項の不均一輝度視野に対する順応輝度が求められれば、この問題はおのずから解明されることになる。

参 考 文 献

- (1) 伊藤克三・野口太郎・井上容子：実効輝度による視認問題の解析法，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和59年，pp. 343～344
- (2) 伊藤克三・野口太郎・井上容子：実効輝度による視認問題の解明，昭和59年度照明学会全国大会講演論文集，pp. 71
- (3) 大月容子・伊藤克三：視環境評価の新しい考え方，空気調和・衛生工学会近畿支部環境工学研究会資料，92号，昭和57年，pp. 1～8
- (4) 応用物理学会光学懇話会：生理光学—眼の光学と視覚—，朝倉書店，昭和50年，第2章，pp. 58～66
- (5) 池田光男：視覚の心理学，森北出版，昭和50年，第8章，pp. 141～159
- (6) W. Adrian, K. Eberbach: Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung, Lichttechnik 21 Nr. 1, 1969, S. 2 A～7 A.
- (7) 照明学会編：照明ハンドブック，オーム社，第9章，pp. 349～350
- (8) P. Moon, D. E. Spencer: Lighting Design (黒沢源之助校閲)，技報堂，第8章，pp. 176～202.
- (9) L. L. Holladay: The Fundamentals of Glare and Visibility, Journal of the Illuminating Engineering Society and Review of Scientific Instruments, Vol. 12 No. 4, 1926, pp. 271～320
- (10) L. L. Holladay: Action of Light-Source in the Field of View in Lowering Visibility, Journal of the Illuminating Engineering Society and Review of Scientific Instruments, Vol. 14 No. 1, 1927, pp. 1～16
- (11) 中根芳一・伊藤克三：中心窩における光幕光量に関する研究Ⅱ—高輝度光源が視認閾に及ぼす影響に基づく検討—，日本建築学会論文報告集，第285号，昭和54年，pp. 285
- (12) 野口太郎：グレア光源による視認低下量の予測に関する研究，日本建築学会論文報告集，第315号，昭和57年，pp. 83～89
- (13) 蒲山久夫・本橋昭男・佐藤麗子：明視照明のための基礎的研究，照明学会雑誌，第46巻 第3号，昭和37年，pp. 10～24

第6章 均一輝度視野における順応過渡過程での眼の感度

6.1 はじめに

視環境を実態に即して動的に評価するには、在室者の視線の動き等によって生じる眼の順応の時間的変化に対応した視認能力の時間的経過を明らかにする必要がある。

この場合の視認能力には、視対象の形・大きさ・輝度対比・変化前後の視野輝度・視野輝度変化後の経過時間等の多くの要因が関与し、非常に複雑であるため、今日まで放置されてきた。前三者は網膜上への刺激を決定するものであり、後の三者は眼の感度を決定するものである。前章において述べたように、視対象の形・大きさ・輝度対比の三者は、眼球内の中心窩への散乱特性を考えた実効輝度・実効率を導入することにより一因子に統合され、視認の要件は、実効率とその時の眼の感度とのみによって把握できる。したがって、順応過渡過程での視認能力は、視対象の実効率が得られるならば、順応の変化に対応した眼の感度(輝度差弁別能力・対比感度)を知ることによって帰着させられる。

これまでの順応過渡過程における眼の感度に関する研究は、主に逆対比視標を用いた暗所視や薄明視における網膜部位の感度特性に関してのものである。あるいは、限定された視野輝度条件下での特定視標による視力の回復のみを研究対象としている。視認の基本である輝度差弁別能力、あるいは対比感度に関して明暗両順応過渡過程および定常順応時について統一的に扱い、建築工学の立場から室内視環境の動的評価に利用できるような研究は未だなされていない。

本章は、視認能力評価の基本であると考えられる均一輝度視野における眼の感度の時間的経過を明らかにしたものである。視線の動き等に伴う巾広い視野輝度変化のいずれの場合にも適用できることを目的に条件設定を行ない、単純な明暗両順応過渡過程における眼の感度の時間的経過を明らかにするとどまらず、順応過渡状態において視野輝度が変化する場合の眼の感度の時間的経過についても検討を加えている。

6.2 実験装置と実験方法

実験は、すべて被験者を用いた、均一輝度視野における視認閾の測定である。

実験視野は図 6.1 に示す内面白色拡散仕上げの視半径 110 cm の半球状均一輝度視野

(視野装置 I)であり、暗視野 $\sim 16,000 \text{ cd/m}^2$ の任意の視野輝度が呈示可能である。いずれの呈示輝度の場合にも、輝度分布はほぼ均一とみなすことができ、中心から 60° の範囲内の輝度は、中心100に対して100 \sim 110以内である。灯器板には蛍光ランプ(FLR 20 SW)36灯とハロゲン電球(JL 100/100 VWF)24灯が観察窓の周囲に放射状に均等に配列されている。光色をできる限り一定に保つために、調光は蛍光灯のみで行なうこととした。低輝度呈示の際には、蛍光ランプの減灯又はランプへの被覆を行なった上で調光を行ない、ハロゲン電球は高輝度呈示の際の補助としてのみ用いた。調光装置は3台の蛍光灯用ライトコントロール(N Q 21550)から成り、回路の変更は任意であり、呈示輝度の変化は調光レバーの操作あるいは、電源スイッチの切り換えにより瞬時に行なうことができる。

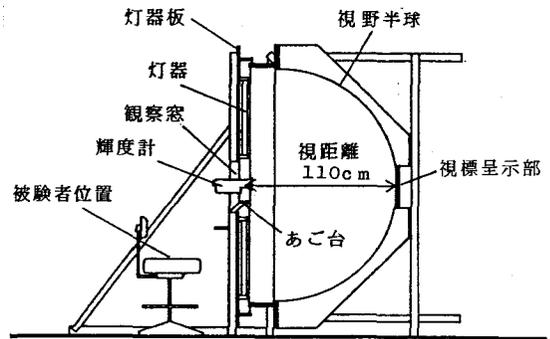


図 6.1 実験装置 (視野装置 I)

被験者は、観察窓に設けられたあご台に頭を固定し、視線を水平に保ち、与えられた視野条件下で視野中央に呈示された視標の視認を行なう。測定は、一条件につき同一被験者に対して各3回行ない、結果はその平均値を用いて示すこととする。被験者は表 6.1 に示した視認実験に十分習熟した青年13名である。

表 6.1 被験者

被験者	視 力		年 令	性 別	備 考
	右	左			
G	1.5	1.5	27	女子	
H	1.5	1.5	25	男子	
I	1.0	1.0	23	男子	矯正
J	1.0	1.0	21	男子	矯正
K	1.5	1.5	25	男子	
L	1.2	1.2	23	男子	矯正
M	1.2	1.2	22	男子	
N	1.5	1.5	23	男子	
O	1.5	1.5	23	男子	
P	0.8	0.8	23	男子	
Q	1.0	1.0	23	男子	右眼矯正
R	1.0	1.0	23	男子	
S	1.5	1.5	21	男子	

視標には、写真焼付けにより作成した1辺5 cm(視距離110mでは視角は約160')の正対比の正方形視標を用いた。これによる測定結果は、対比感度および輝度差弁別能力とみなしてさしつかえないことは予備実験により確認しており、これを対比感度視標と呼ぶことにする。対比感度視標の輝度対比は表 6.2 に示すとおりである。

表 6.2 対比感度視標

輝度対比 C (10種類)				
.90	.53	.33	.19	.12
.080	.051	.025	.021	.015

1辺5 cmの正方形視標、視野装置 I に表示した場合は視角 160' となる。

輝度測定にはプリチャード輝度計(PR-1980A Pritchard Photometer)を、時間測定には入力端子を2つ有する10回連続測定可能なデジタルタイマーを用いた。

6.3 定常順応時の眼の感度

順応過渡過程での眼の感度と対照させるために、視野輝度に十分順応した、定常順応時の眼の感度を各被験者ごとに測定した。実験は被験者に視野輝度を調整させることにより、表 6.2 に示した各対比感度視標が閾となる背景輝度を求めるという方法で行なっ

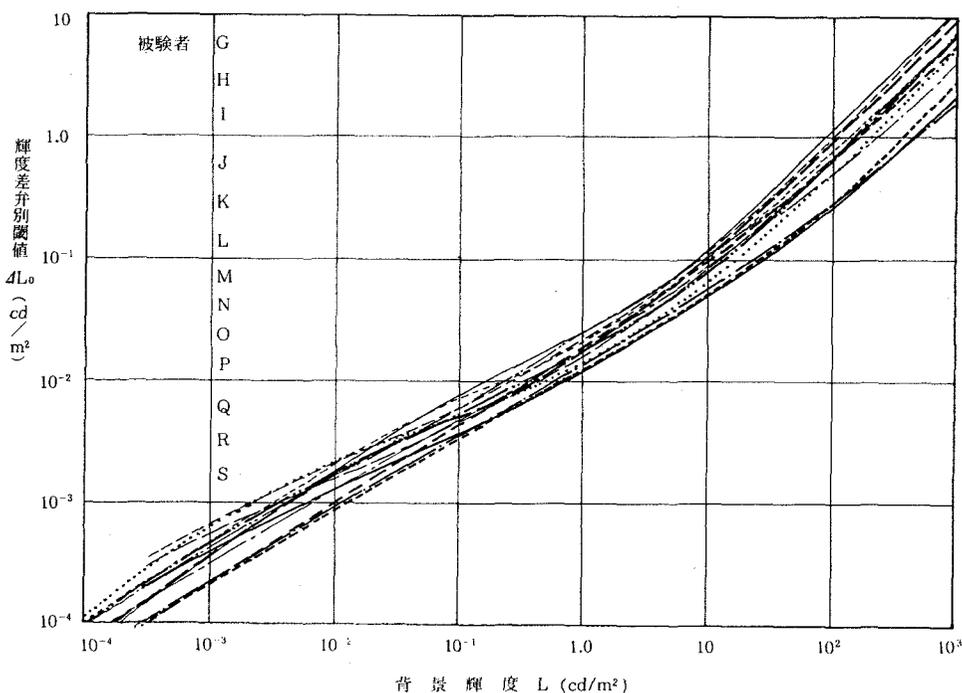


図 6.2 定常順応時の輝度差弁別閾値

た。視野輝度の調整時間に制限は加えていない。

図 6.2 に各被験者ごとに得られた輝度差別閾値を示す。これは実験結果を各被験者ごとに、背景輝度と、その時に視認閾となる背景面と視標面の輝度差との関係で示すことで求めたものである。各被験者の曲線の性状は互いによく一致しており、得られた値も安定したものといえよう。図 6.2 に示した 13 名の結果を平均することで得た輝度差別閾値曲線および対比閾値曲線を図 6.3 に示す。

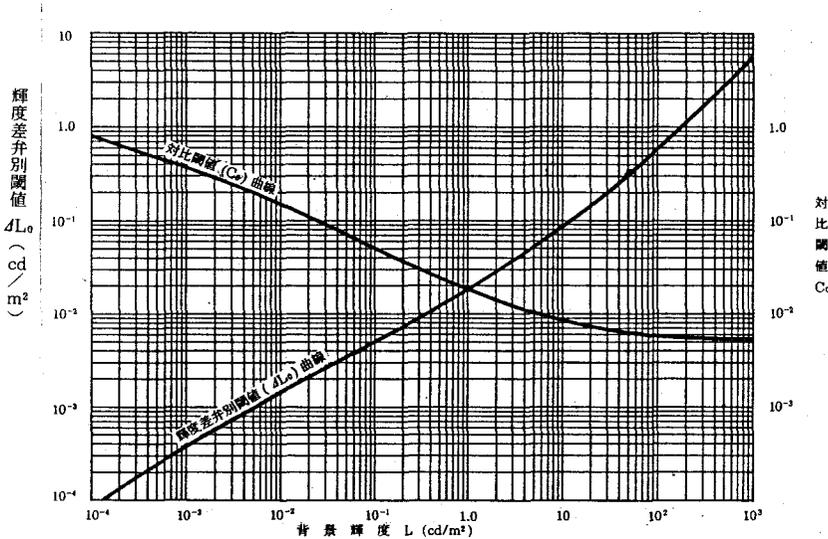


図 6.3 定常順応時の眼の感度 (13 名の平均値)

6.4 暗順応過渡過程における眼の感度

暗順応過渡過程における眼の感度を、視野輝度 L_1 に定常順応した状態から、視野輝度が L_2 ($L_2 < L_1$) に変化した場合の眼の感度の時間的経過と、 L_2 に完全に順応しきらない時点から更に、視野輝度を L_3 に変化した場合、すなわち、順応過渡状態からの視野輝度の変化における眼の感度の時間的経過とに関して検討を行なった。

6.4.1 定常順応状態からの暗順応過程

定常順応状態から視野輝度を変化した場合の対比感度、および輝度差弁別能力の時間的経過に関して検討を加え、それらと変化前後の視野輝度・変化後の経過時間との関係を明らかにした。

6.4.1.1 実験条件

被験者の眼を視野輝度 L_1 に十分順応させた後、視野輝度を L_2 ($L_2 < L_1$) に変化させ、変化後視野中央に呈示されている前述の対比感度視標 (表 6.2) を被験者が視認するまでの時間を測定した。設定した視野輝度は、前順応輝度 $L_1 = 4.0 \sim 12,000 \text{ cd/m}^2$ 、変化後の視野輝度 $L_2 = 0.25 \sim 250 \text{ cd/m}^2$ の範囲で表 6.3 に示す 24 種類の (L_1, L_2) の組み合わせとし、これについて表 6.1 に示した G~J の 4 名の被験者について実験を行なった。

表 6.3 設定輝度

—一定常順応状態からの暗順応の場合—

前順応輝度 L_1 (cd/m^2)	変化後の視野輝度 L_2 (cd/m^2)									
	0.25	1.0	3.0	4.0	12	16	48	64	190	250
4.0	○									
16	○	○								
64	○	○		○						
250	○	○		○		○				
1000	○	○		○		○		○		
4000		○		○		○		○		○
12000			○		○		○		○	

6.4.1.2 対比感度の回復過程

図 6.4、図 6.5 は、定常順応状態から視野輝度が変化した場合の、暗順応過渡過程に関して得られた結果を、被験者 G の場合について示したものである。

図 6.4 は、変化後の呈示輝度 L_2 ごとに結果を示したもので、図中の各点は、経過時間における対比閾値 C_0 を示す。対比感度 $1/C_0$ の回復曲線は、 L_2 に十分順応したときに得られる対比閾値 (定常順応時の対比感度) に漸近すべきものであることを考慮して推定したところ、すべて平行な曲線で近似することができた。前順応輝度 L_1 による差異は、 L_1 間の比に比例した横軸 (T 軸) 方向の移動としてのみ現われ、しかも、この移動量は、いずれの L_2 の場合についても等しいという結果が得られた。図中の回復曲線は、これらのことを満たすように描かれたものである。

図 6.5 は、前順応輝度 $L_1 = 1,000, 12,000 \text{ cd/m}^2$ が、各種の変化後の視野輝度 L_2 での対比感度に及ぼす影響を示したものである。 $L_1 = 1,000 \text{ cd/m}^2$ での各 L_2 における回復曲線は、図 6.4 での $L_1 = 1,000 \text{ cd/m}^2$ の場合の回復曲線である。この場合も、各曲線の横

軸方向の移動量は L_2 間の比に比例し、しかもその移動量は図 6.4 に示した L_1 間の比による移動量と等しいという結果が得られた。したがって、図中の曲線をそれぞれ縦軸方向に移動させて、漸近線を重ねれば、横軸方向の移動量は図 6.4 と同様、等間隔となる。このことは $1,000 \text{ cd/m}^2$ 、 $12,000 \text{ cd/m}^2$ 以外の他の前順応輝度 L_1 に対しても成立することは、図 6.4 に示された L_1 の対比感度の回復過程に及ぼす影響より明らかである。

図 6.6、図 6.7 に、他の被験者について得られた結果の一部を示す。図 6.6 は、前順応輝度 L_1 の影響を変化後の視野輝度 $L_2 = 1.0 \text{ cd/m}^2$ の場合について示したものであり、図 6.7 は L_2 の影響を $L_1 = 250 \text{ cd/m}^2$ の場合について示したものである。対比感度の回復曲線の傾き、および間隔には個人差がみられるが、定性的には、図 6.4、図 6.5 に示した被験者 G の場合と全く同一とみなし得る結果が得られた。

これらの結果は、対比感度の回復率をパラメータにとれば、本実験範囲においては、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 と経過時間 T との関係は両対数軸上ですべて平行な直線となることを意味する。ここでいう対比感度の回復率とは、変化後の視野輝度 L_2 に完全に順応している場合の対比感度 $1/C_0$ に対する、視野輝度変化 T 秒後の対比感度 $1/C_c(T)$ の比率である。

視野輝度変化 T 秒後の

$$\begin{aligned} \text{対比感度の回復率 } c_0 R(T) &= \frac{1/C_c(T)}{1/C_0} \times 100 \\ &= \frac{C_0}{C_c(T)} \times 100 \quad (\%) \end{aligned} \quad (6.1)$$

C_0 : 視野輝度 L_2 に定常順応した場合の対比閾値

$C_c(T)$: L_2 に視野輝度が変化して T 秒後の対比閾値

図 6.8、図 6.9 に 4 名の被験者による暗順応過渡過程における対比閾値の時間的経過の平均値を示す。図 6.8 は、変化後の視野輝度 $L_2 = 1.0 \text{ cd/m}^2$ での各種の前順応輝度 L_1 に対する対比感度の回復曲線を示したものであり、図 6.9 は $L_1 = 1,000 \text{ cd/m}^2$ での各種の L_2 に対する回復曲線を示したものである。両図は、各被験者の対比感度の回復曲線の形状、 (L_1, L_2) の差異による曲線の T 軸方向の移動量、および L_2 に完全に順応

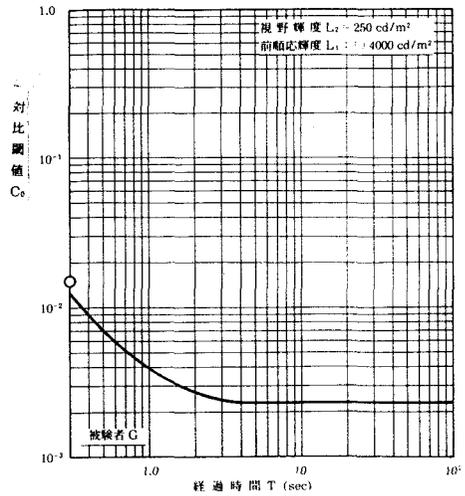
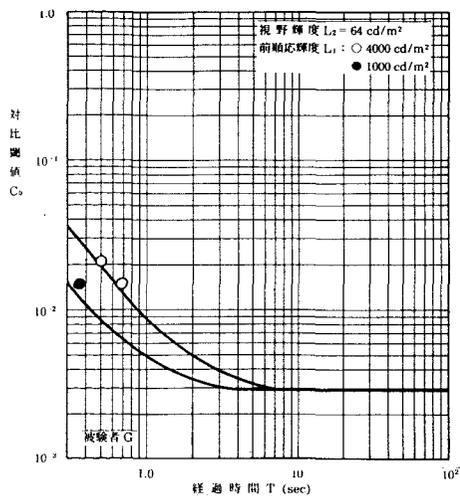
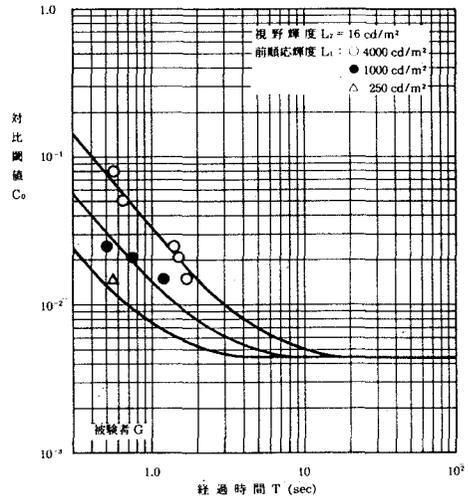
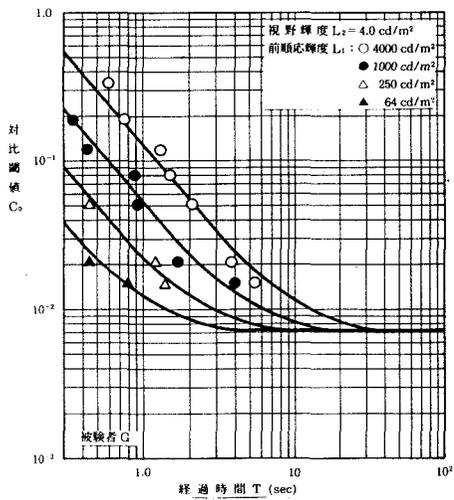
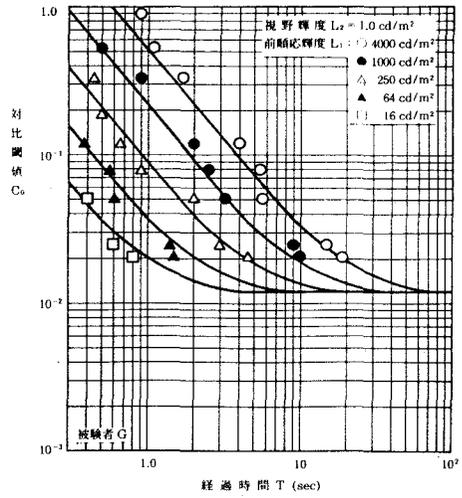
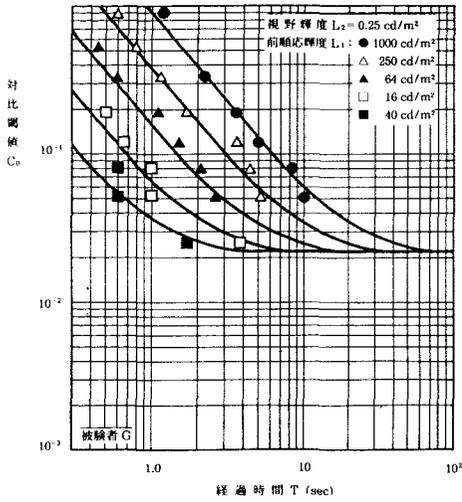


図 6.4 暗順応過度過程における対比閾値の時間的経過
 (視野輝度 $L_2 = \text{一定}$)

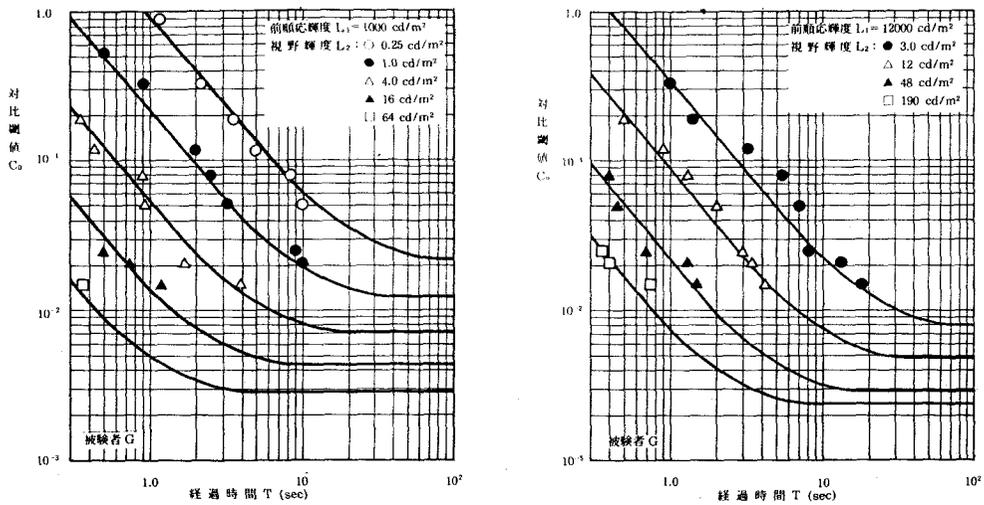


図 6.5 暗順応過渡過程における対比閾値の時間的経過
(前順応輝度 L_1 : 一定)

するのに要する時間の 3 者を各々別個に平均することで求めたものである。視野輝度 L_2 に十分順応している場合の対比閾値 C_0 は、図 6.3 に示した平均値を用いている。図 6.8、図 6.9 により、定常順応状態から視野輝度が変化した場合の暗順応過渡過程における対比感度に関して本実験で得られたすべての結果を統一的に示すことができ、これらから任意の視野輝度 (L_1 , L_2) の組み合わせに対して、対比感度の回復曲線を知ることができる。

図 6.10 は、4 名の被験者による暗順応過渡過程における対比感度の時間的経過の平均値を、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 示したものである。前述したように、視野輝度比 L_2/L_1 と経過時間 T との間には、両対数軸上で直線関係があり、暗順応の完了、あるいは、所定の回復率に達するに要する時間は、視野輝度 L_1 、 L_2 の値には関係なく、両者の比 L_2/L_1 で一意的に決まるものである。図 6.10 により、任意の (L_2/L_1 , T) の組み合わせに対して、対比感度の回復率 (式 (6.1)) を知ることができる。

6.4.1.3 輝度差弁別能力の回復過程

図 6.11 は、被験者 G について前順応輝度 L_1 ごとに得られた結果を視野輝度変化後の経過時間 T と、輝度差弁別閾値 ΔL との関係で示したものである。T 秒後の輝度差弁別閾値 ΔL は、その時点での対比閾値 $C_0(T)$ に視野輝度 L_2 を乗じることによって求められる

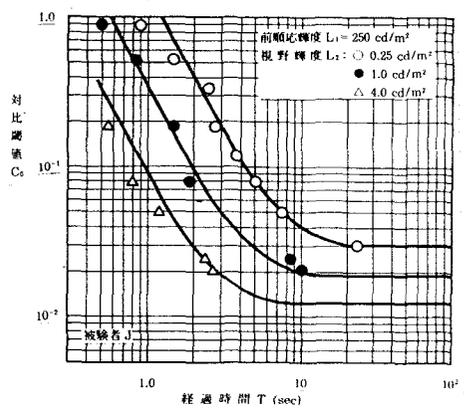
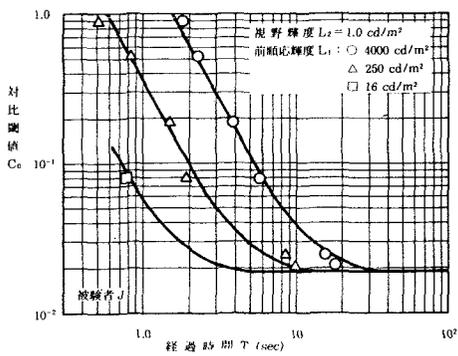
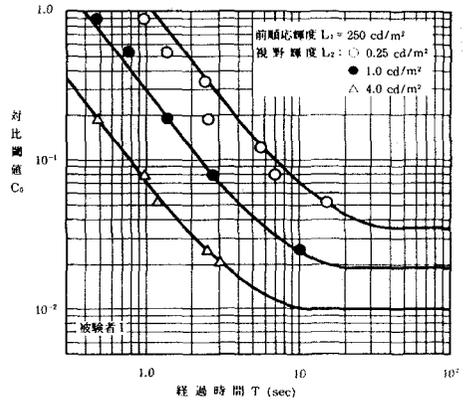
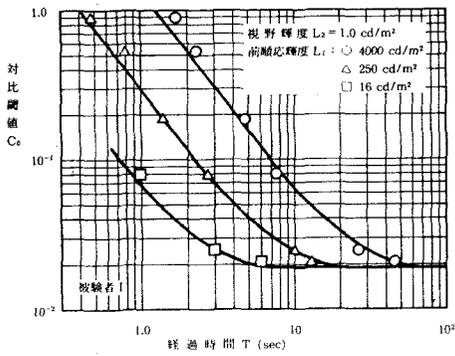
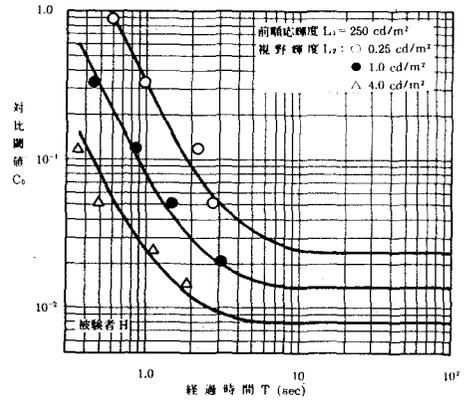
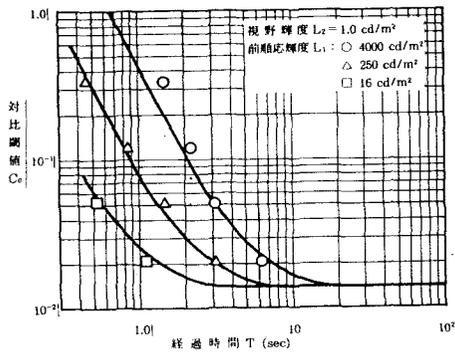


図 6.6 暗順応過渡過程における
対比閾値の時間的経過
(視野輝度 L_2 : 一定)

図 6.7 暗順応過渡過程における
対比閾値の時間的経過
(前順応輝度 L_1 : 一定)

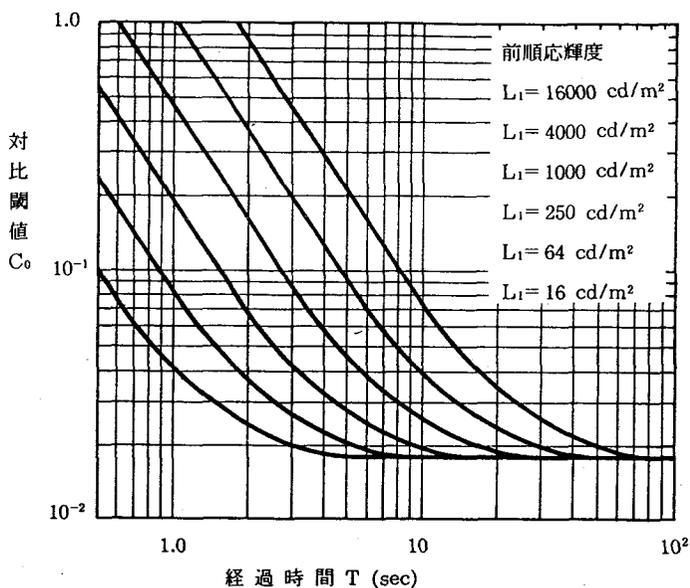


図 6.8 暗順応過渡過程における対比閾値の時間的経過
 (4名の平均値, 視野輝度 $L_2 = 1.0 \text{ cd/m}^2$)

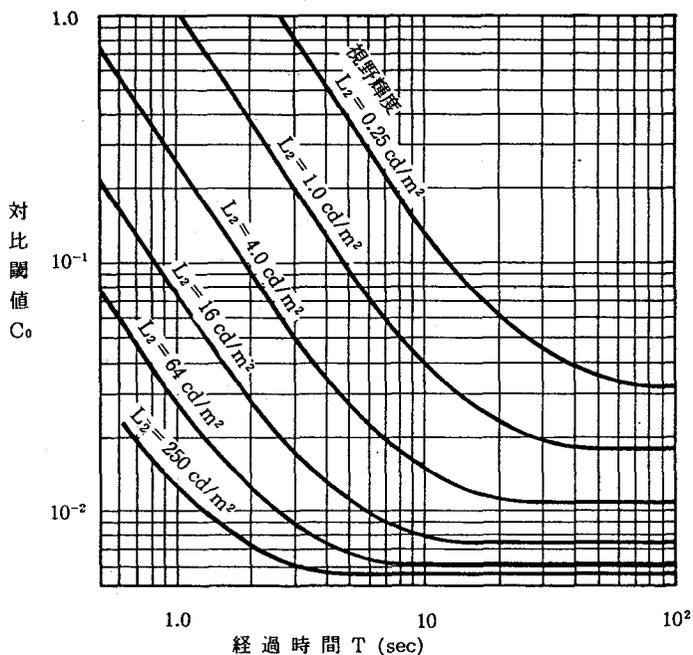


図 6.9 暗順応過渡過程における対比閾値の時間的経過
 (4名の平均値, 前順応輝度 $L_1 = 1000 \text{ cd/m}^2$)

ため、 $L_1=1,000$ 、 $12,000 \text{ cd/m}^2$ の各曲線は、図 6.5 のそれぞれの L_1 に対する各 L_2 での対比感度回復曲線を縦軸方向に L_2 だけ平行移動させたものとなっている。このとき、回復曲線の直線部分はほぼ重なり合い、一本の直線とみなしてさしつかえない。前節で明らかとなった、前順応輝度 L_1 のちがいは曲線の T 軸方向の移動としてのみ現われるという対比感度回復曲線の性状によれば、このことは当然他の L_1 についても成立する。

図 6.11 には、 $L_1=1,000$ 、 $12,000 \text{ cd/m}^2$ 以外の結果も示してあるが、いずれも直線部分は重なり合い、一本の直線とみなしてさしつかえないことがわかる。

図 6.12 は、他の 3 名の被験者によって得られた経過時度 T と輝度差弁別閾値 ΔL と回復曲線の傾き、および L_1 間の比に比例した T 軸方向への移動量には個人差がみられるが、いずれの被験者についても、直線部分は重なり合って一本の直線と見なし得ることは、被験者 G の場合と同様であり、定性的には等しい結果が得られている。

暗順応過渡過程での輝度差弁別能力の回復は、大局的には、変化後の視野輝度 L_2 によらず、前順応輝度 L_1 と視野輝度変化後の経過時間 T とで定まると考えてよい。したがって、本実験範囲内では、経過時間 T と輝度差弁別閾値 ΔL との関係は、両対数軸上で直線とみなしてさしつかえないものである。これを前順応輝度 L_1 に対する暗順応直線と呼ぶことにする。 L_1 による差異は、この暗順応直線の T 軸方向の移動としてのみ現われ、その移動量は L_1 間の比に比例して定まるとは、前項の対比感度の回復曲線の性状より明らかなところである。変化後の視野輝度 L_2 への順応が進むと、回復過程はこの暗順応直線からそれて、 L_2 に十分順応しているときに得られる輝度差弁別閾値 ΔL に漸近するかたちで回復していくという過程をたどるものであり、その時間的経過は、

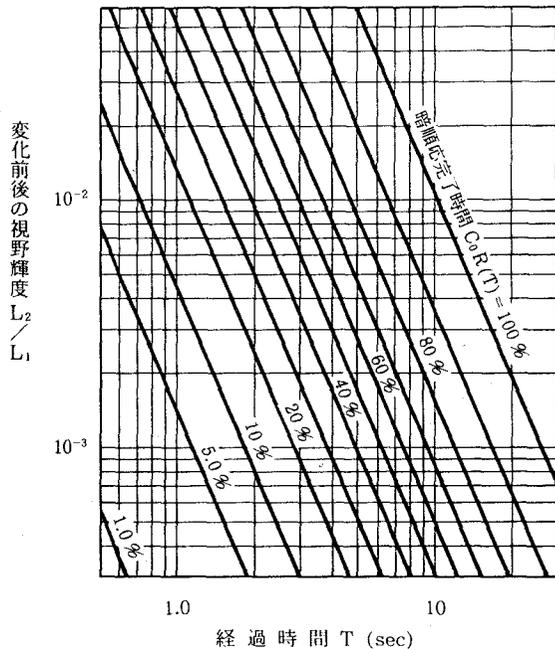


図 6.10 暗順応過渡過程における対比閾値の回復率 (4 名の平均値)

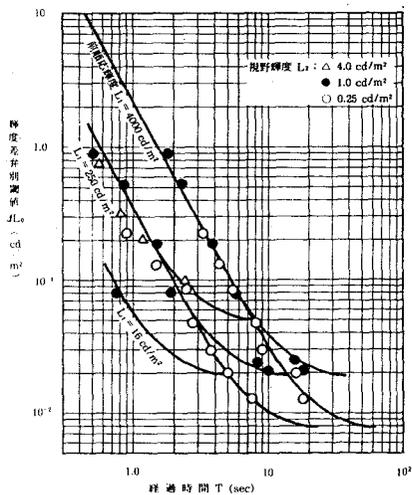
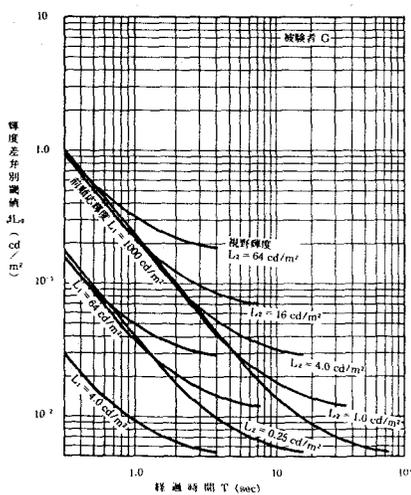
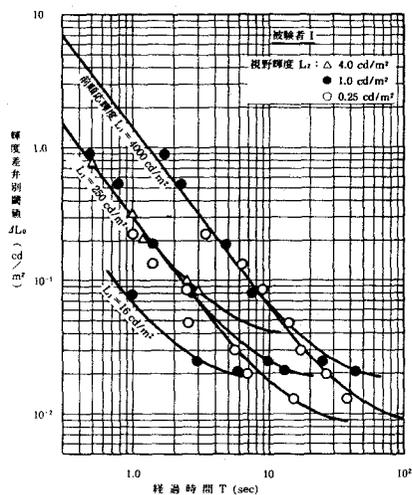
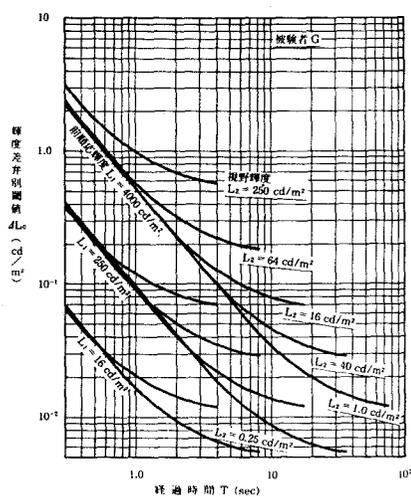
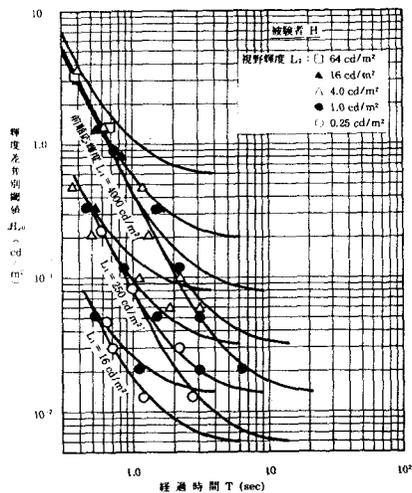
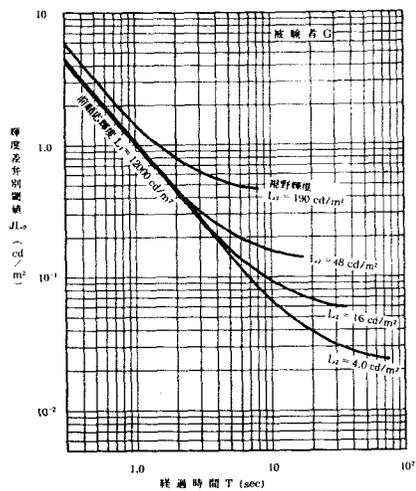


図 6.11 暗順応過渡過程における輝度差弁別閾値の時間的経過

図 6.12 暗順応過渡過程における輝度差弁別閾値の時間的経過

対比感度の回復曲線によって知ることができる。

図 6.13は、4名の被験者による各種の前順応輝度 L_1 に対する平均暗順応直線であり、対比感度の回復に関する結果の平均を示した図 6.8～図 6.10より求めたものである。

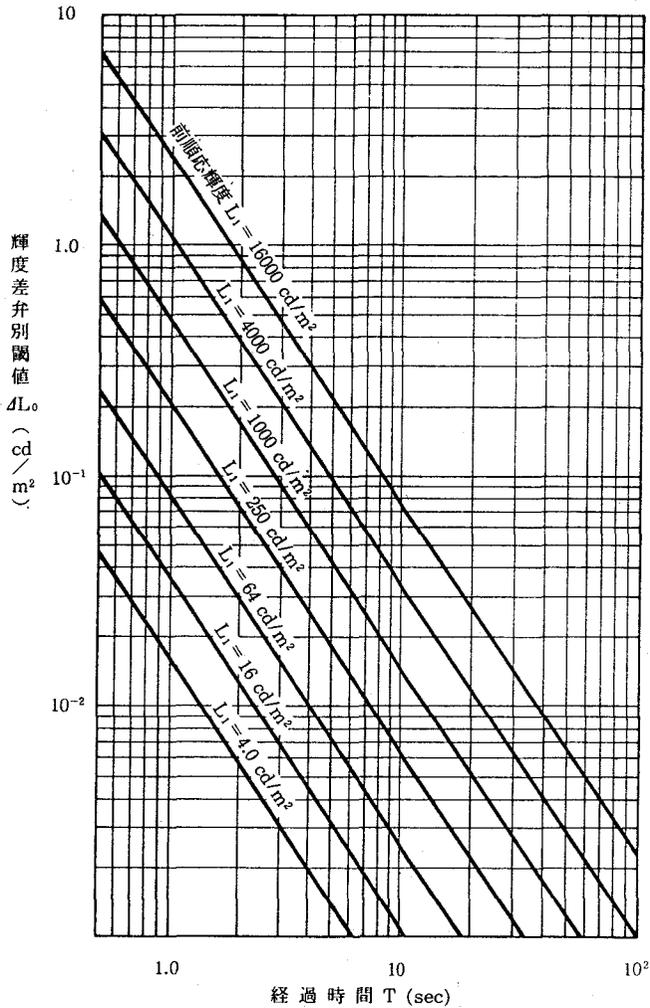


図 6.13 暗順応直線 (4名の平均値)

6.4.2 暗順応過渡状態からの暗順応過程

在室者の視線の動きの実態を考えると、視野輝度に順応しきらないうちに、更に視野輝度に変化することが十分予測されるため、暗順応過渡過程において視野輝度に変化した場合の暗順応過程における眼の感度の変化についての検討を行なった。

明順応過渡過程において視野輝度が変化する場合も当然考えられるが、後述するように、視認に関する明順応は短時間で完了する。したがって、室内視環境の視認を扱う限りでは、この場合、明順応が完了したものとして変化後の視野への暗順応を考えれば、視認能力に関しては安全であり、かつ、時間的誤差も無視しうるものであるため、これに関する検討は省略した。

6.4.2.1 実験条件

被験者を視野輝度 L_1 に十分順応させた後、視野輝度を $L_2 (L_2 < L_1)$ に切り換え、 L_1 から L_2 への暗順応過程のある時点 (L_2 への視野輝度変化 T 秒後) において、更に視野輝度をその時点での順応輝度 ${}_T L$ より低い L_3 に変化させる。その後、視野中央に呈示された対比感度視標 (表 6.2) を被験者が視認するまでの時間を測定することで、 ${}_T L$ から L_3 への暗順応過程を求めた。ここで ${}_T L$ とは、 T 秒後の順応状態を、これと等しい輝度差弁別能力を持つ定常順応時の順応輝度で示したものである。

設定輝度 (L_1, L_2, L_3)、および L_2 の呈示時間は表 6.4 に示す 5 種類の組み合わせであり、被験者は表 6.1 に示した I と J の 2 名である。

表 6.4 設定条件
—暗順応過度状態からの暗順応の場合—

前順応輝度 L_1 (cd/m ²)	視野輝度 L_2 (cd/m ²)	L_2 の呈示時間 (sec)	視野輝度 L_3 (cd/m ²)
4 0 0 0	4.0	3	0.5
4 0 0 0	0.0 6 4	3	
4 0 0 0	4.0	3	0.0 6 4
4 0 0 0	4.0	6	
2 5 0	1.0	3	

6.4.2.2 輝度差弁別能力の回復過程

図 6.14、図 6.15 は、視野輝度 L_1 に順応した状態から視野輝度を L_2 に変化させたときの暗順応過渡過程に、視野輝度をその時の順応輝度 ${}_T L$ より低い L_3 に変化させた場合の L_3 への暗順応過程を被験者別に示したものである。図中の各点は経過時間 T における被験者の輝度差弁別閾値をあらわしており、実線は前順応輝度 L_1 から視野輝度 L_3 への暗順応過程、鎖線は L_1 から視野輝度 L_2 への暗順応過程、破線は ${}_T L$ に定常順

応している場合の τ_L から L_3 への暗順応過程を示したものである。

図 6.14は、視野輝度 $L_3=0.5 \text{ cd/m}^2$ への暗順応過程を、視野輝度 L_2 を変化させて、 L_2 が L_3 より明るい場合 ($L_2 > L_3$) と暗い場合 ($L_2 < L_3$) とに関して検討を行なったのである。いずれの場合も、図中に実線で示した前順応輝度 L_1 に対する輝度差弁別閾値の回復曲線をたどって L_3 へ順応していくという経過をとり、視野輝度を L_3 へ切り変える時点での順応輝度 τ_L に定常に順応している場合の回復過程 (τ_L に対する輝度差弁別能力の回復曲線—図中に破線で示す) をたどるものではないことが明らかとなった。

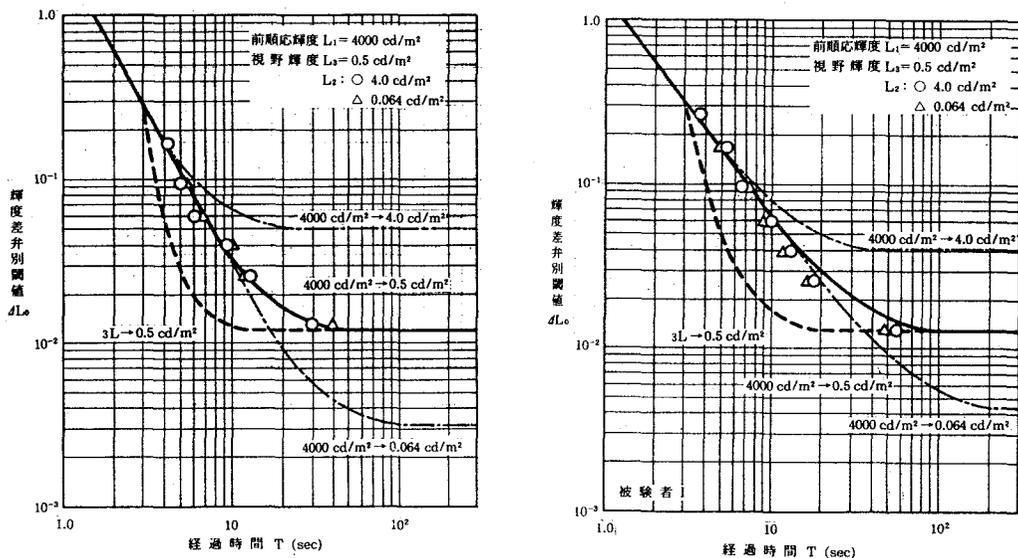


図 6.14 暗順応過渡状態からの暗順応における輝度差弁別閾値の時間的経過 (視野輝度 $L_3 = 0.5 \text{ cd/m}^2$)

図 6.15は、視野輝度 $L_3=0.064 \text{ cd/m}^2$ への暗順応過程を、視野輝度 L_2 が L_3 より明るい場合 ($L_2 > L_3$) について、前順応輝度 L_1 、および L_2 の呈示時間を変化させて検討したものである。これらの場合においても、破線で示した順応輝度 τ_L に対する回復過程をたどるのではなく、 L_3 に視野輝度が変化した後も、実線で示した L_1 に対する暗順応直線で定まる経過をそのままたどって L_3 へ順応していくものと考えられる。

以上の結果から、視野輝度 L_1 に順応した状態から視野輝度 L_2 への暗順応過渡過程に、視野輝度がその時点での眼の順応輝度 τ_L より低い視野輝度 L_3 にどのように変化し

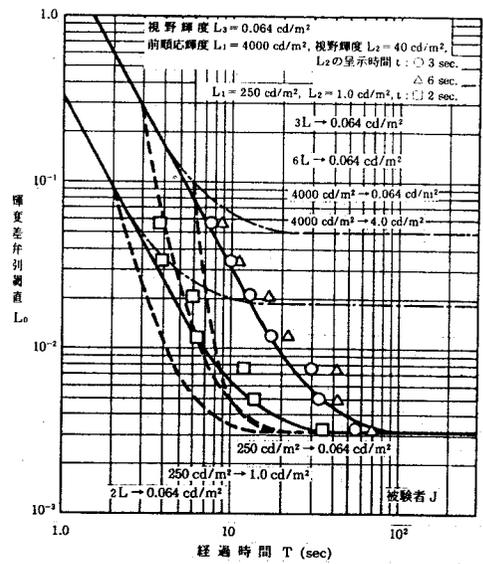
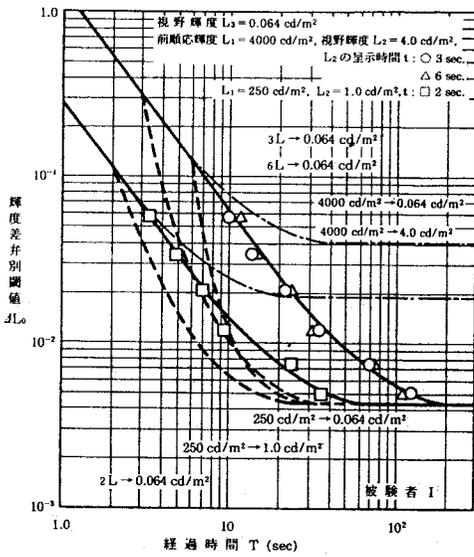


図 6.15 暗順応過渡状態からの暗順応における輝度差弁別閾値の時間的経過 (視野輝度 $L_3 = 0.064 \text{ cd/m}^2$)

ても、 L_3 への暗順応は、 L_1 から L_3 への暗順応過程をたどるものといえよう。すなわち、 L_1 から L_3 そのものへの暗順応完了に要する時間や、各経過時間での輝度弁別能力は、視野輝度をこのように段階的に切り変えた場合も、直接 L_1 から L_3 に切り換えた場合に常に等しいということである。

このことは、同一視対象の見え方が、両過程で同様であることを意味しているものではない。輝度差弁別能力が等しいならば、視野輝度が明るい程、高い見易さが得られるため、視野輝度を段階的に切り換えれば、高い見易さを保ちながら暗順応させることができることを意味するものである。

暗順応過程は、途中で視野輝度の変化には関係なく、最初の順応輝度 L_1 で定まるため、 L_1 と視認能力を検討する視野の輝度 L_2 、および、視野輝度が L_1 から変化した後の経過時間 T との関係把握しておくことで、実用上は十分であるといえる。

6.5 明順応過渡過程における眼の感度

6.5.1 実験条件

明順応過渡過程における眼の感度を、視野輝度 L_1 への定常順応状態から視野輝度が L_2 ($L_2 > L_1$) に変化した場合について、暗順応の場合と同様の方法により検討した。被験

者は表 6.1 に示した G～J の 4 名であり、用いた視標は表 6.2 に示した対比感度視標である。設定した視野輝度は、前順応輝度 $L_1=0.1\sim 100\text{ cd/m}^2$ 、変化後の視野輝度 $L_2=16\sim 4,000\text{ cd/m}^2$ の範囲で表 6.5 に示す 13 種類の (L_1, L_2) の組み合わせとした。

表 6.5 設定輝度

—明順応過渡過程の場合—

前順応輝度 L_1 (cd/m^2)	変化後の視野輝度 L_2 (cd/m^2)				
	16	64	250	1000	4000
0.1	○	○	○	○	○
1.0		○	○	○	○
10			○	○	○
100					○

6.5.2. 対比感度の回復過程

図 6.16、図 6.17 に、被験者 G の場合について得られた結果を示す。図 6.16 は、各種の変化後の視野輝度 L_2 について得られた結果を示したものであり、図 6.17 は、前順応輝度 $L_1=0.1\text{ cd/m}^2$ が、各種の L_2 での対比感度に及ぼす影響を示したものである。これらの図は、それぞれ、暗順応過渡過程の場合の図 6.4、図 6.5 に対応する。図中の回帰曲線は、全て同一形状の曲線とし、順応完了時間が暗順応の場合と同様に変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 によって定まるように引いたものであるが、実験結果とよく一致している。

対比感度の回復曲線の傾き、および間隔には個人差がみられるが、他の被験者についても、定性的には同一とみなし得る結果が得られた。

図 6.18、図 6.19 に、4 名の被験者による明順応過渡過程における対比閾値の時間的経過の平均値を示す。これらの図は、それぞれ、暗順応過渡過程の場合の図 6.8、図 6.9 に対応するものであり、これらより任意の (L_1, L_2) の組み合わせに対して、明順応過渡過程における対比感度の回復過程を推定することができる。

図 6.20 は、対比感度の回復率(式(6.1))をパラメータとして、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 と経過時間 T との関係を示したものであり、暗順応の場合の図 6.10 に対応するものである。

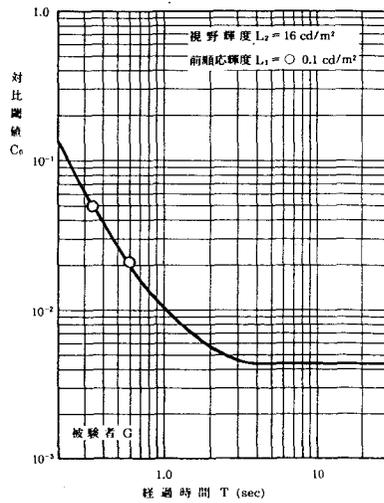
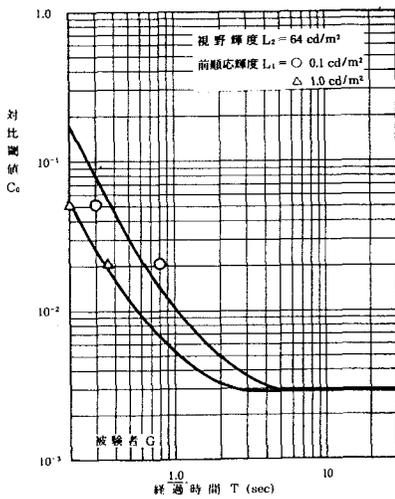
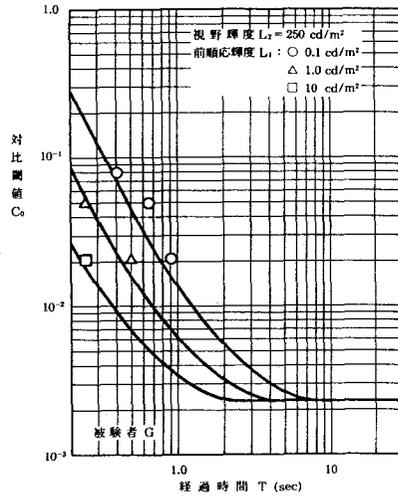
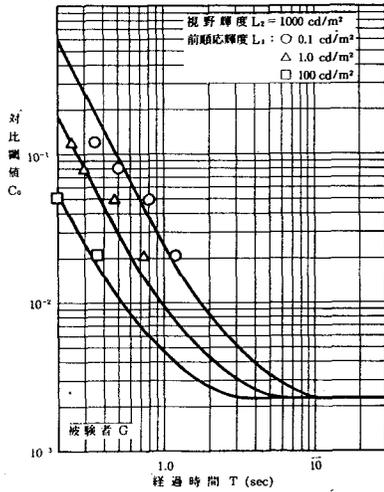
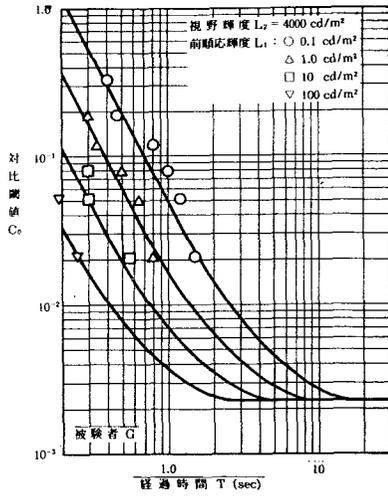


図 6.16 明順応過渡過程における対比閾値の時間的経過 (視野輝度 L_2 : 一定)

眼の感度が低下していくのが明順応であるため、眼の感度のみを考えれば、視野輝度の変化直後には、呈示輝度に定常順応している場合の対比閾値以下のものが視認され、時間の経過とともに感度が低下し、やがては対比閾値以上のもののみが視認されるということになる。しかしながら、明順応の場合には、視野輝度の急激な変化による眼へのストレス、例えば、まぶしさ感等の影響が大きく、感度の点からいえば感度過剰による一時的な視認不能が生じていると考えられる。本実験結果は、これらの要因による視認能力の一時的低下からの回復過程を示すものである。

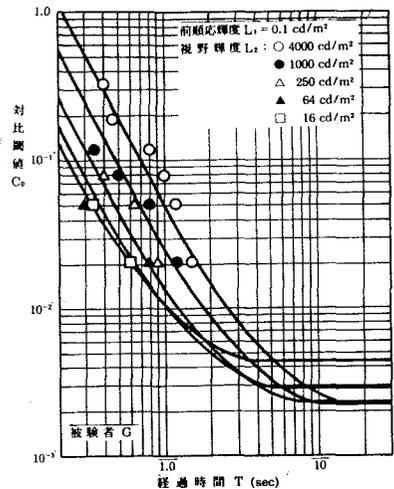


図 6-17 明順応過渡過程における対比閾値の時間的経過 (前順応輝度 L_1 : 一定)

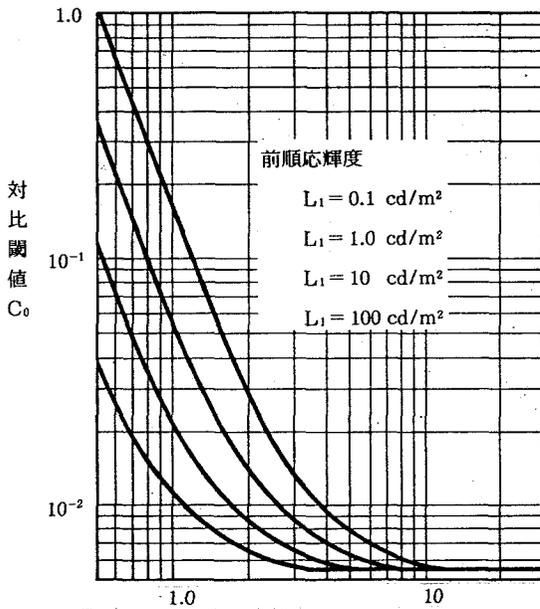


図 6-18 明順応過渡過程における対比閾値の時間的経過 (4名の平均, 視野輝度 $L_2 = 4000 \text{ cd/m}^2$)

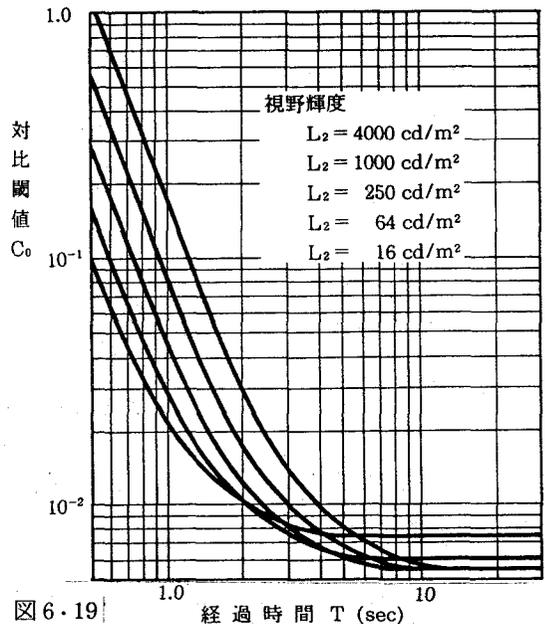


図 6-19 明順応過渡過程における対比閾値の時間的経過 (4名の平均, 前順応輝度 $L_1 = 0.1 \text{ cd/m}^2$)

回復過程は全て同一の曲線で近似され、順応完了時間は変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 で定まることは、明暗両順応過程に共通している。両者間の顕著な相異点としては、明順応では暗順応に比べ回復が非常に速く、曲線の勾配が急であること、および視野輝度比 L_2/L_1 の違いが及ぼす視認能力回復への影響が暗順応の場合に比し小であること

とがあげられる。

室内視環境評価において、明順応の場合に重要なのは、短時間で完了する視認能力の検討ではなく、視野輝度の変化に伴うまぶしさ感の動的評価であり、これに関しては、3～4章で記したとおりである。

6.6 明暗両順応過渡過程における

眼の感度の評価図

眼の感度の回復率を用いることによって、順応過渡過程における輝度差弁別閾値 ΔL 、あるいは対比閾値 C_0 と変化前後の視野輝度 (L_1, L_2)、および視野輝度変化後の経過時間 T の4要因の関係を統一的に示す読み取り図を作成し、(ΔL_0 または C_0, L_1, L_2, T) のいずれの要因についても残り3要因の組み合わせからその検討を可能とした。

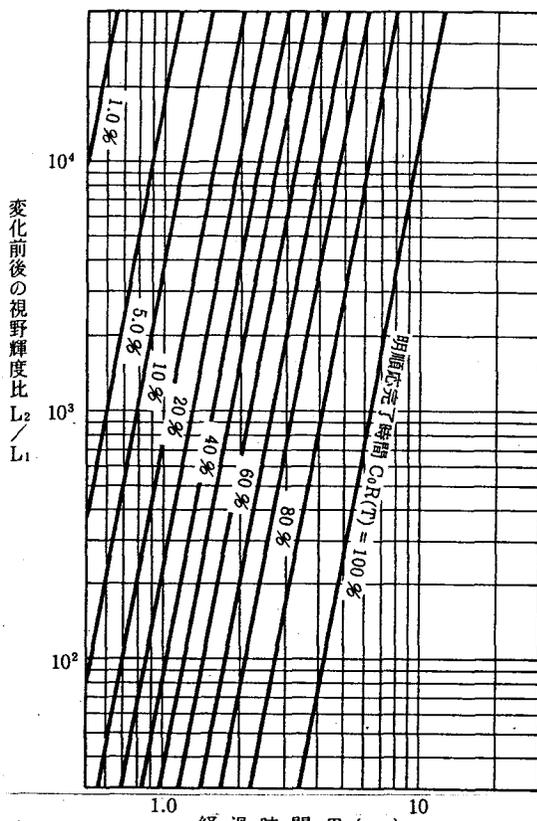


図6.20 明順応過渡過程における対比閾値の回復率 (4名の平均)

6.6.1 眼の感度の回復率

視野輝度変化後の対比感度の回復率(式(6.1))は明暗両順応過渡過程ともに、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 と経過時間 T とで決まることは図6.10、図6.20に示したとおりである。

眼の感度を輝度差弁別能力で取り扱うのが便利か、あるいは対比感度が便利かは検討内容によるが、検討を要する視野の輝度 L_2 に十分順応している時に得られる眼の感度 (ΔL_0 または C_0) を100として、各時点での感度 ($\Delta L_0(T)$ または $C_0(T)$) をそれに対する比率(回復率)で示せば、以下の式に示すように、輝度差弁別能力 $1/\Delta L_0$ の場合も対比感度 $1/C_0$ の場合も等しい値となる。

$$\begin{aligned}
 \text{輝度差弁別能力の回復率 } \Delta L_0 R(T) &= \frac{1/\Delta L_0(T)}{1/\Delta L_0} \times 100 & (6.2) \\
 &= \frac{L_2/\Delta L_0(T)}{L_2/\Delta L_0} \times 100 \\
 &= \frac{1/C_0(T)}{1/C_0} \times 100 \\
 &= \text{対比感度の回復率 } c_0 R(T)
 \end{aligned}$$

ΔL_0 、 C_0 ：視野輝度 L_2 に定常順応している場合の輝度差弁別閾値および対比閾値

$\Delta L_0(T)$ 、 $C_0(T)$ ：視野輝度が L_2 に変化した後 T 秒経過時点での輝度差弁別閾値および対比閾値

したがって、 $\Delta L_0 R$ 、 $c_0 R$ を単に眼の感度の回復率 R と称することにする。

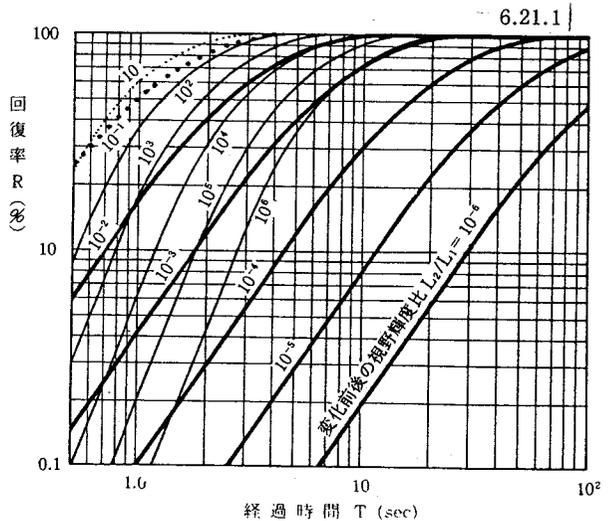
$$S(T) = \Delta L_0 R(T) = c_0 R(T) \quad (6.3)$$

6.6.2 眼の感度の評価図

順応過渡過程における眼の感度は、変化前後の視野輝度 (L_1 , L_2) と視野輝度変化後の経過時間 T によって定まるため、それを図表化しようとするれば4要因の関係を示すことが必要であり、いずれかの要因を固定することになる。しかしながら、順応過渡過程における眼の感度の回復率 R は前述したように、(L_1 , L_2) には無関係に (L_2/L_1 , T) によって一意的に定まるため、 R を媒介と

することで、(ΔL_0 または C_0 , L_1 , L_2 , T) の関係を統一的に示すことができる。すなわち、(L_2/L_1 , T , R) の関係図と、(R , L_2 , ΔL_0 または C_0) の関係図との提示である。

(L_2/L_1 , T , R) の関係図において、3 要因のいずれをパラメータとした図が実用上便利であるかは検討内容によって異なるため、図 6.21 に各要因をパラメータとした



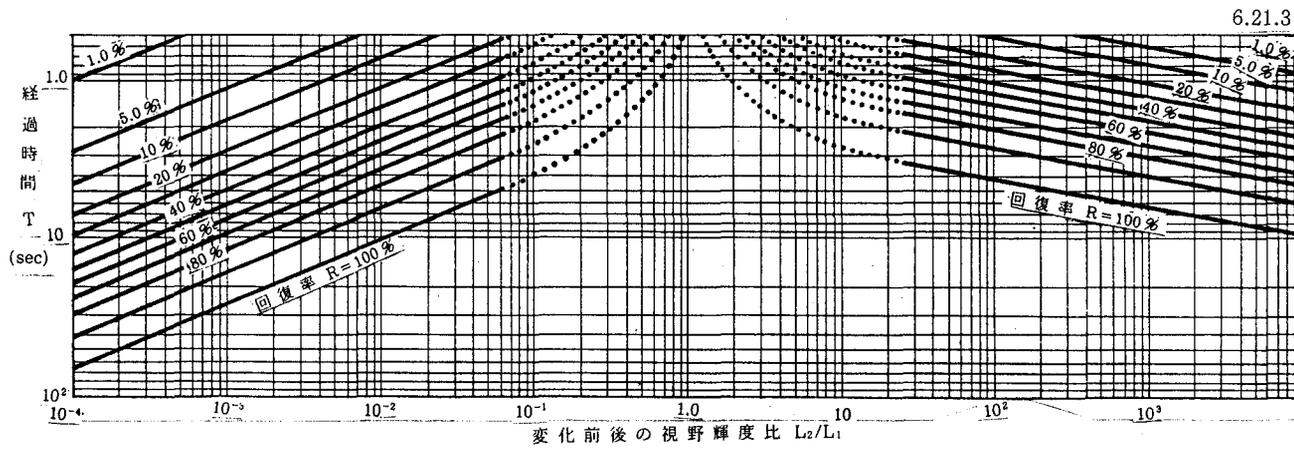
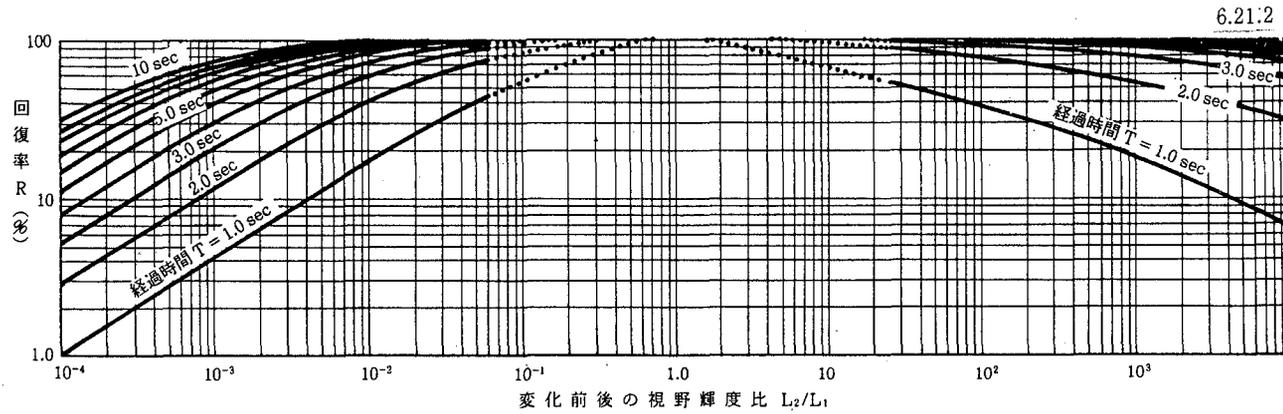


図 6.21 眼の感度の回復率

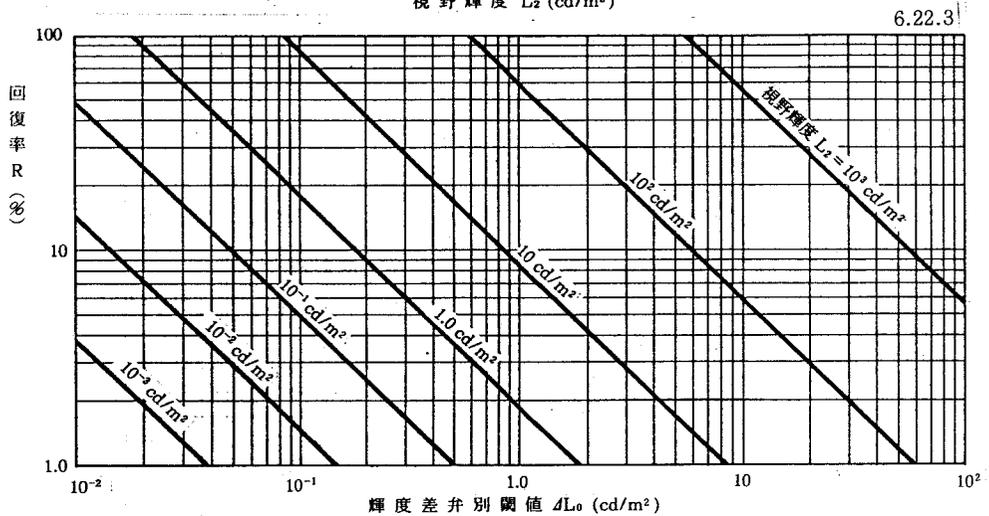
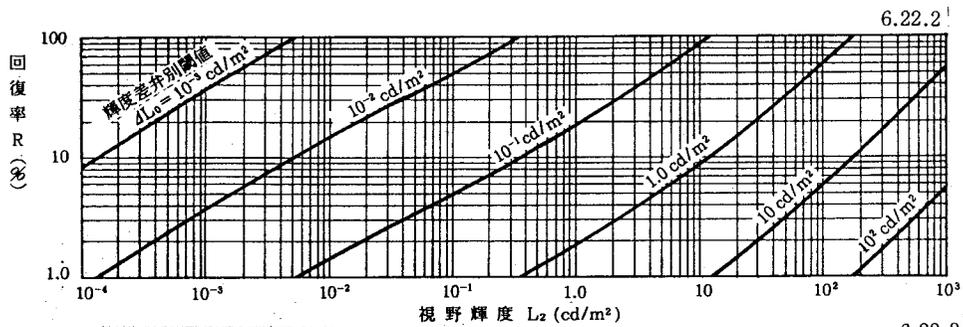


図6.22 輝度差弁別閾値と回復率

$$\Delta L_0(R) = f(L_2) \cdot \frac{100}{R} \quad (R : \text{const}) \quad (6.5)$$

$$C_0(R) = \frac{f(L_2)}{L_2} \cdot \frac{100}{R} \quad (R : \text{const}) \quad (6.6)$$

したがって、眼の感度がそれぞれ $\Delta L_0'$ 、 C_0' の場合の R と L_2 との関係は次式で与えられる。

$$R = f(L_2) \cdot \frac{100}{\Delta L_0'} \quad (\Delta L_0' : \text{const}) \quad (6.7)$$

$$R = \frac{f(L_2)}{L_2} \cdot \frac{100}{C_0'} \quad (C_0' : \text{const}) \quad (6.8)$$

式(6.5)~(6.8)は、 R と L_2 との関係を表わす曲線は $(\Delta L_0, L_2)$ 、あるいは (C_0, L_2) との関係を表わす曲線と同型のものであることを示している。このことは、図6.23.1のように R をパラメータとした図は、 ΔL_0 または C_0 をパラメータとした図としても

回復率図を明暗両順応過渡過程について示す。このうち回復率Rをパラメータとした図6.21.3は、図6.10、図6.20を併合して示したものに他ならない。これらの図は輝度差弁別能力、対比感度の両者に共通であることは前述のとおりであり、検討内容に応じて適宜これらの図を使いわけることになる。

(R、 L_2 、 ΔL_0 または C_0) の関係図においても、いずれの要因をパラメータとするのがよいかは検討内容による。輝度差弁別閾値に関するものを図6.22に、対比閾値に関するものを図6.23に示す。なお、各図中、 $R=100\%$ の場合が、定常順応時の視野輝度 L_2 と眼の感度 (ΔL_0 または C_0) との関係に相当する。ここで定常順応時の場合の輝度差弁別閾値 ΔL_0 と視野輝度 L_2 との関係を

$$\Delta L_0 = f(L_2) \tag{6.4}$$

とおくと、回復率Rに対応する $\Delta L_0(R)$ または $C_0(R)$ と、 L_2 との関係は次式で表わされる。

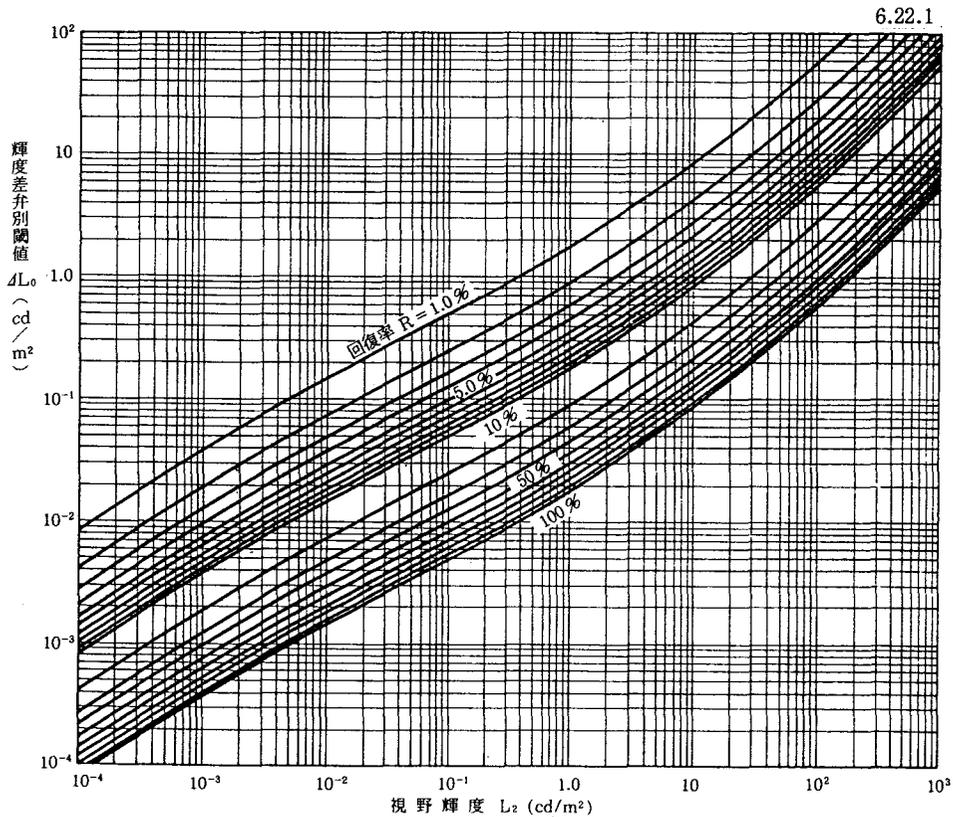


図6.22 輝度差弁別閾値と回復率

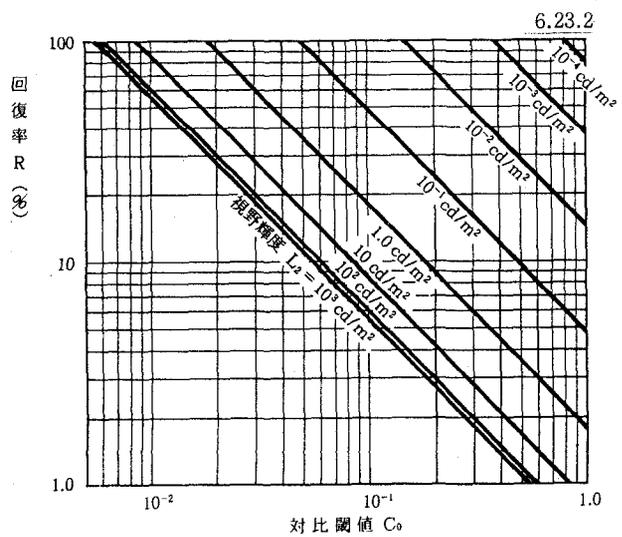
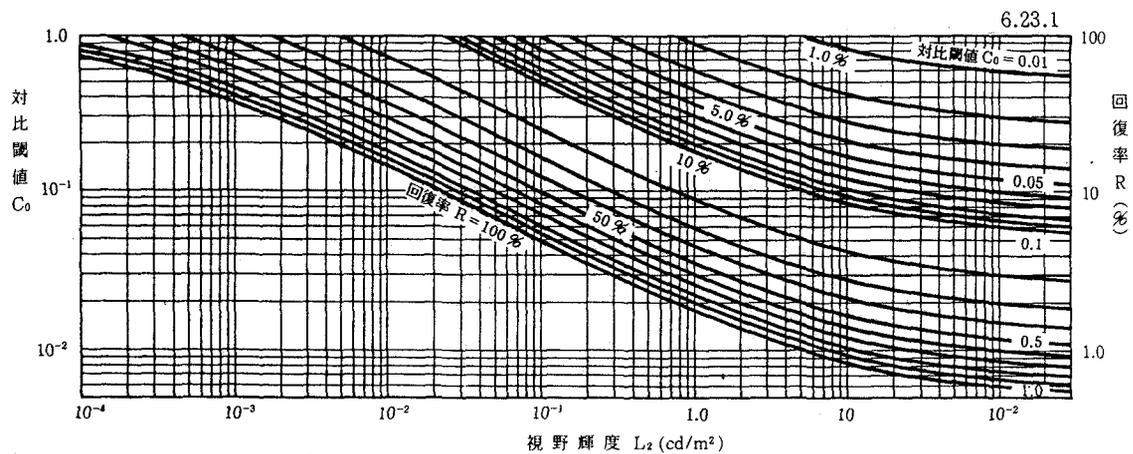


図 6.23 对比閾値と回復率

利用できることを意味している。

図 6. 21 と、図 6. 22 または図 6. 23 とを併用することで (ΔL_0 または C_0 , L_2 , L_1 , T) の 4 要因の統一的な取り扱いがなされ、いずれの要因についても両図を用いれば、他の 3 要因の任意の組み合わせに対してその検討が可能である。例えば、図 6. 21. 1 を用いて、変化前後の視野輝度比 L_2/L_1 と変化後の経過時間 T とから、それに対応する回復率 R を読み取り、次に、図 6. 22. 3 を用いて回復率 R と視野輝度 L_2 とから、それに対応する輝度差弁別閾値 ΔL_0 を読み取ることができる。眼の感度として対比閾値 C_0 を用いる場合には、図 6. 23. 2 を用いることになる。これらの図を用いての具体的な視認能力の動的評価法は 9 章に示す。

6. 7 む す び

順応過渡過程での視認問題は、視対象の実効率が得られるならば、順応の変化に対応した眼の感度を知ることには帰着される。

本章は、均一な輝度視野に対して行なった順応過渡過程における眼の感度に関する視認実験結果に検討を加えたものであり、これによって、視野輝度変化後の眼の感度の推移の大要が把握された。視野輝度変化直後の眼の感度の著しい低下、その感度の回復過程等が明らかとなり、室内視環境評価に際しての明視性の動的評価の必要性和、その検討に必要な諸種の基礎資料を呈示し得たと考える。

不均一輝度視野における順応輝度の取り扱い、および視対象の実効率の予測については、章をあらためて取り扱う。

参 考 文 献

- (1) S. Hecht, C. Haig, G. Wald : The Dark Adaptation of Retinal Fields of Different Size and Location, Journal of General Physiology, Vol. 19, 1935, pp. 321 ~ 339
- (2) H. D. Baker : The Course of Foveal Light Adaptation Measured by the Threshold Intensity Increment, Journal of the Optical Society of America, Vol. 39 No. 2, 1949, pp. 172 ~ 179
- (3) J. L. Brown, C. H. Graham, H. Leibowitz, H. B. Ranken : Luminance Thresholds for the Resolution of Visual Detail during Dark Adaptation, Journal of the Optical Society of America, Vol. 43 No. 3,

- 1953, pp. 197 ~ 202
- (4) R. M. Boynton, N. D. Miller : Visual Performance Under Conditions of Transient Adaptation, Illuminating Engineering, August, 1963, pp. 541 ~ 550
 - (5) H. B. Barlow and J. M. B. Sparrock : The Role of Afterimage in Dark Adaptation, Science, Vol. 144, No. 12, 1964, pp. 1309 ~ 1314
 - (6) 蒲山久夫 : 急激な明暗変化に対する緩和照明について, 照明学会雑誌, 第47巻 第10号, 昭和38年, pp. 4 ~ 12
 - (7) 市川裕通 : 暗順応に関する研究その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和49年, pp. 105 ~ 106
 - (8) 市川裕通 : 暗順応に関する研究(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和50年, pp. 95 ~ 96
 - (9) 伊藤克三・大月容子・井本吉彦 : 暗順応時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, 第21号, 計画系, 昭和56年, pp. 57 ~ 60
 - (10) 大月容子・井本吉彦・伊藤克三 : 視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究, 照明学会誌, 第65巻 第10号, 昭和56年, pp. 520 ~ 525
 - (11) 伊藤克三・佐藤隆二・大月容子・井本吉彦 : 順応過渡過程における視力, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第22号, 計画系, 昭和57年, pp. 37 ~ 40
 - (12) 大月容子・伊藤克三 : 視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究(その2) 順応過渡過程における視認能力, 照明学会誌, 第66巻 第10号, 昭和57年, pp. 470 ~ 475
 - (13) 伊藤克三・大月容子 : 暗順応過渡過程における眼の感度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系, 昭和58年, pp. 285 ~ 286

第7章 視認能力の実効輝度による把握

7.1 はじめに

順応輝度が等しければ、その時の輝度差弁別能力・対比感度は、視対象の大きさのいかにかわららず一定であるべきにもかかわらず、これまでの研究結果では、視対象の大きさにより視認性に顕著な差が生じている。これが視認問題の取り扱いを複雑にし、理論に統一性を欠く結果を招来している。これは、刺激として対象物の輝度そのものを取っているためであり、網膜中心窩の受ける刺激は、眼球光学系の不完全さによる散乱光のため、対象物の輝度とは異なったものとなっていることを看過しているためである。網膜中心窩が視認時に受けている実際の光の強さを刺激として考えれば、視認問題の扱いは極めて単純化され、かつ合理的な理論も確立されたと考える。

本章は、一般に視対象の視認性評価の際には、背景からの視対象への散乱光と視対象から背景への散乱光の両者による刺激をこの網膜上の像の輝度に一元化して扱うことの妥当性を、種々の視標を用いて、定常順応時ならびに明暗両順応過渡過程について行った視認実験の結果をもとに検討したものである。

7.2 実効輝度と実効率

眼球光学系の散乱特性によって生じる注視点の網膜上の像の輝度を実効輝度 L_e 、識別すべき2点間の実効輝度差 ΔL_e の、視標と背景との本来の輝度差 ΔL に対する比を実効率 k と定義する。均一輝度視野であれば、実効輝度は視野の輝度と等しい。

図7.1に示す大きさ α (視角)の任意図形 T を視認する場合を考える。

暗視野上に単位輝度の視標 T が呈示されている場合の点 (θ, φ) を注視したときの実効輝度を ${}_tL_\alpha(\theta, \varphi)$ とし、視標 T の輝度が 0 cd/m^2 の場合の単位輝度背景による実効輝度を ${}_bL_\alpha(\theta, \varphi)$ とする。両視野を合成すれば、単位輝度の無限平面となることから。

$${}_tL_\alpha(\theta, \varphi) + {}_bL_\alpha(\theta, \varphi) = 1 \quad (7.1)$$

視標 T の輝度を L_t 、背景輝度を L_b とすると、点 (θ, φ) を注視したときの実効輝度 $L_\alpha(\theta, \varphi)$ は、

$$L_{\alpha}(\theta, \varphi) = L_t \cdot {}_t L_{\alpha}(\theta, \varphi) + L_b \cdot {}_b L_{\alpha}(\theta, \varphi) \quad (7.2)$$

$$= (L_b - L_t) {}_b L_{\alpha}(\theta, \varphi) + L_t \quad (7.3)$$

図7.1は、視標上を鎖線に沿って視線が走査したときの、実効輝度の変化の概要を示したものである。任意の2点A(θ_1, φ_1)、B(θ_2, φ_2)の間の実効輝度差 ΔL_e は、

$$\Delta L_e = |L_{\alpha}(\theta_1, \varphi_1) - L_{\alpha}(\theta_2, \varphi_2)| \quad (7.4)$$

$$= |(L_b - L_t) \{ {}_b L_{\alpha}(\theta_1, \varphi_1) - {}_b L_{\alpha}(\theta_2, \varphi_2) \}| \quad (7.5)$$

したがって、実効率 $k(\alpha)$ は次のようになる。

$$k(\alpha) = \Delta L_e / (L_b - L_t) \\ = |{}_b L_{\alpha}(\theta_1, \varphi_1) - {}_b L_{\alpha}(\theta_2, \varphi_2)| \quad (7.6)$$

${}_b L_{\alpha}(\theta, \varphi)$ は、視標の形が一定の場合には、大きさ α と注視点とが決めれば、中心窩への散乱特性によって定まる量である。ある2点間の実効率は、視標の形・大きさが一定であれば、視標および背景の輝度に関係なく決まることになる。これは視認性評価の際、眼への刺激として従来影響因子とされていた視標の形・大きさ・輝

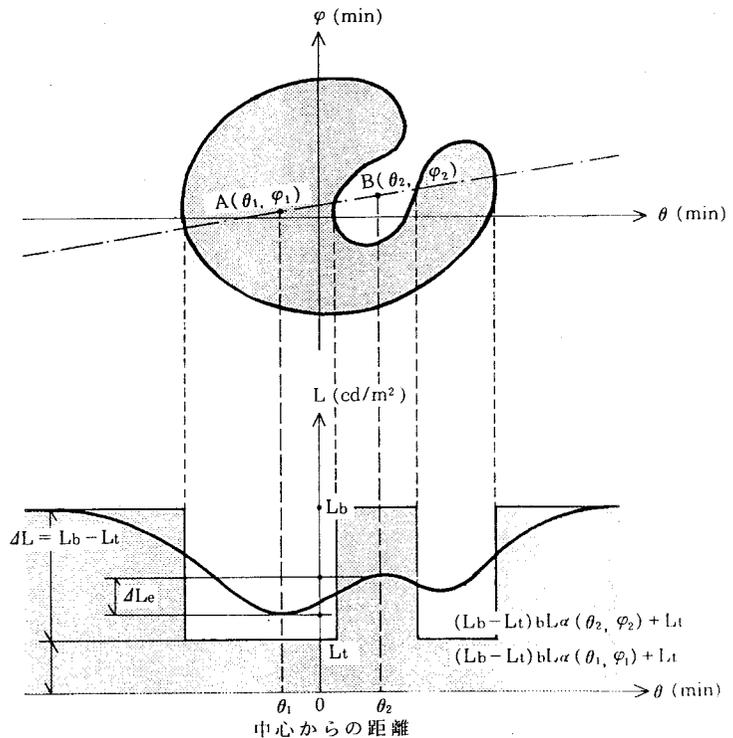


図7.1 実効輝度 L_e と実効輝度差 ΔL_e (概念図)

度対比の3者は、実効率という1つの因子に統合されることを意味している。

視認実験において、ある視標の視認閾を測定するということは、2点間の実効輝度差 ΔL_e が、そのときの順応輝度 L に対する輝度差弁別閾値 ΔL_0 となる条件を求めていることである。

$$\Delta L_e = \Delta L_0 \quad (7.7)$$

したがって、背景輝度を L_b 、順応輝度 L に対応する対比閾値を C_0 とし、閾となった視標の大きさを α 、輝度対比を C とすると、その実効率 $k(\alpha)$ は、

$$k(\alpha) = \frac{\Delta L_0}{\Delta L} \quad (7.8)$$

$$= \frac{C_0 L_b}{C L_b}, \quad \frac{C_0}{C} \quad (7.9)$$

ただし、定常順応時の場合は均一背景輝度 L_b を順応輝度 L とする。順応過渡過程の場合には順応輝度 L は、視野輝度変化後の経過時間 T の関数となる。

式(7.8)、式(7.9)より、大きさ α が一定の場合には、次式が成立する。

$$\log \Delta L_0 - \log \Delta L = \log k(\alpha) : \text{const} \quad (7.10)$$

$$\log C_0 - \log C = \log k(\alpha) : \text{const} \quad (7.11)$$

式(7.10)、式(7.11)は、実効輝度によって視認能力が取り扱われるならば、閾値測定による結果を順応輝度 L と、視標と背景との輝度差 ΔL との関係 ($L, \Delta L$)、あるいは視標の対比閾値との関係 (L, C) で示し、 ΔL 軸、 C 軸を対数軸とすれば、各大きさごとの回帰曲線はすべて輝度差弁別閾値曲線 ($L, \Delta L_0$)、あるいは対比感度曲線 (L, C_0) をそれぞれ ΔL 軸、 C 軸方向に移動した曲線となることを示している。順応過渡過程においては、順応輝度 L は視野輝度変化後の経過時間 T の関数であるため、大きさ α の視標の閾値測定による結果を ($T, \Delta L$) あるいは (T, C) の関係で ΔL 軸、 C 軸を対数軸として表示すれば、その回帰曲線はこれと等しい視野輝度条件における ($T, \Delta L_0$) 曲線、(T, C_0) 曲線をそれぞれ ΔL 軸、 C 軸方向にその視標の実効率に対応する量だけ移動した曲線となる。

本章は、上述の点に関して、各種の視標を用いた定常順応時および明暗両順応過渡過程における視認実験結果に基づいて検討を行なったものである。

視認実験結果から眼球内散乱特性を把握し、実効率の予測手法を確立することが視認性の評価にとって重要であるが、これについては8章で扱うことにし、本章では、視認能力把握への実効輝度導入の妥当性の検証のみを行なっている。

7.3 実験概要

実験はすべて被験者を用いた均一輝度視野における視認閾の測定である。実験視野には、図6.1に示した視野装置Iを用いた。これは暗視野 $\sim 16,000 \text{ cd/m}^2$ の任意の視野輝度

が呈示可能な視半径 110 cm の半球状均一視野である。被験者は、表 6・1 に示した視認実験に十分習熟した青年 13 名であり、用いた視標はすべて写真焼き付けにより作成したものである。測定は、常に被験者が観察窓に設けられたあご台に頭を固定し、視線を水平に保った状態で行なった。全実験にわたって各被験者に対し、一条件につき 3 回以上の測定を行なった。各被験者ごとに平均値で結果を示してある。

まず最初に、一次元的に扱える線視標の存在識別に関する定常順応時および明暗両順応過渡過程における視認実験を行ない、その結果を検討することにより、視認能力が実効輝度とその時の眼の感度のみによって把握されることを確認した。

次に、二次元視標による定常順応時での視認能力に関して、単純な視作業から複雑な視作業へと検討をすすめた。最も単純な視作業として円・正方形・長方形視標の存在の識別、やや複雑な視作業としてランドルト環・2 線・H 視標の切れ目方向識別、複雑な視作業として 2 線と H の形の識別の順に、実効輝度による視認能力把握の妥当性を確認した。二次元視標での順応過渡過程における視認能力に関しては、最も標準的視作業であるランドルト環の切れ目方向識別の場合について検討を行なった。

7.4 一次元視標の視認

最も単純に一次元的に扱える、均一輝度視野に正対比の線視標が呈示されている場合の線視標の存在識別の視認能力が、実効輝度とその時の眼の感度のみによって把握され、しかも定常順応時・順応過渡過程を問わず眼球内散乱特性は一定であることを確認したものである。

7.4.1 定常順応時の視認

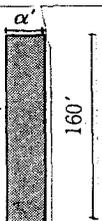
7.4.1.1 実験条件

実験は無限長とみなせる巾の異なる正対比の線視標を用いた視認閾の測定である。使用した線視標の長さは $160'$ であり、巾 α と輝度対比 C は表 7・1 に示すとおりである。 $160'$ の長さは無限長とみなせることは、予備実験により確認しており、巾 $160'$ の視標による測定結果は輝度差弁別閾値あるいは対比閾値とみなしてさしつかえない。実験は、呈示されている視標が閾となるように被験者が背景輝度を調節するという方法で行なった。

被験者は表 6・1 の中の H を除く 12 名である。

表7.1 線視標

—一定常順応時の場合—

巾 α (min)	輝度対比 C					形
0.5	.92	.74	.53	.27	.22	
1.0	.93	.75	.59	.46	.31	
	.26	.18	.14	.12	.10	
2.0 160	.90	.53	.33	.19	.12	
	.08	.051	.025	.021	.015	
4.0 8.0 3.0	.53	.19	.08	.025	.015	

$\alpha=160'$ の視表は 表6・2に示した対比感度視標である。

7.4.1.2 線視標による等視力曲線

図7・2は、被験者Iによる測定結果を背景輝度（順応輝度） L と、背景と視標との輝度差 ΔL との関係で示したものである。正対比視標による閾値測定であるため、均一背景輝度をもってその時の順応輝度としてさしつかえない。

図中、破線で示してあるのは、この被験者の輝度差弁別閾値曲線である。視認能力が

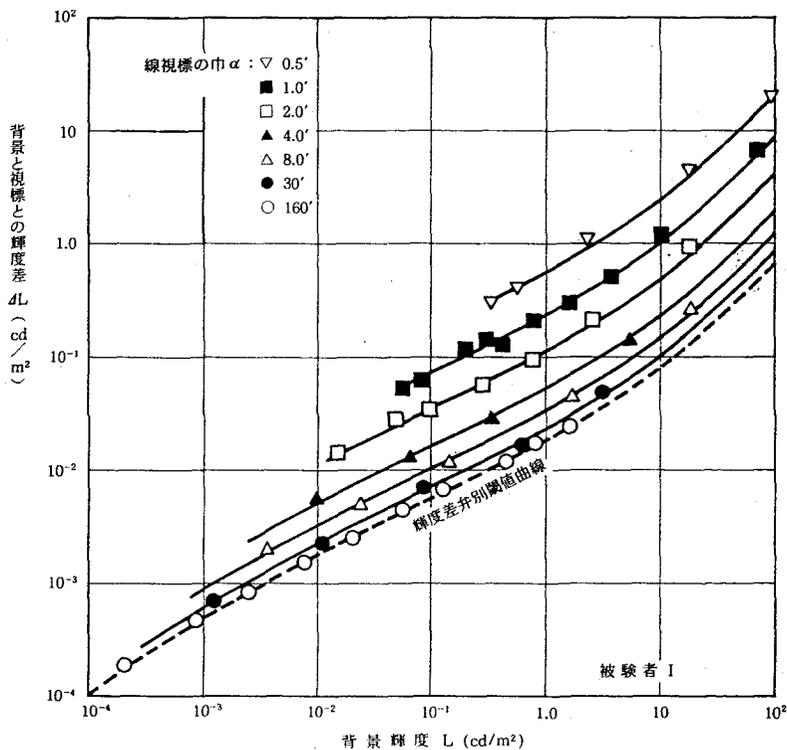


図7.2 線視標による等視力曲線

実効輝度とその時の眼の感度のみによって把握されるためには、形・大きさともに一定の視標による測定結果が、視標の輝度対比には無関係に、輝度差弁別閾値曲線を縦軸方向のみに平行移動した曲線によって回帰される必要がある(式(7・10))。図中の回帰曲線は、すべてこのことを満たすように引いたものであるが、実験結果とよく一致している。他の11名の被験者についても同様の結果が得られ、この場合の視認能力が実効輝度とその時の眼の感度のみで把握されることが確認された。

7.4.1.3 線視標の存在識別のための実効率

閾状態での線視標の存在識別は、実効輝度が最小となる視標中心部と、最大実効輝度である背景輝度との実効輝度差 ΔL_e を識別することで行なわれていると考えられ、その時の輝度差弁別閾値がこの ΔL_e に相当するものである(式(7・7))。

図7・3は、図7・2より式(7・8)を用いて求めた被験者Iの実効率を示したものであり、図7・4は、12名全員の实効率を示したものである。実効率には、各人の視力、あるいは評価の基準が影響してくるため、当然個人差が考えられるが、図7・4にみるように、視標巾 α に対して同一性状を示し、その値も近いものとして得られている。

以上の結果から、定常順応時の線視標の存在識別に関する視認能力は、この実効率と、その時の眼の感度とで把握されることが明らかである。

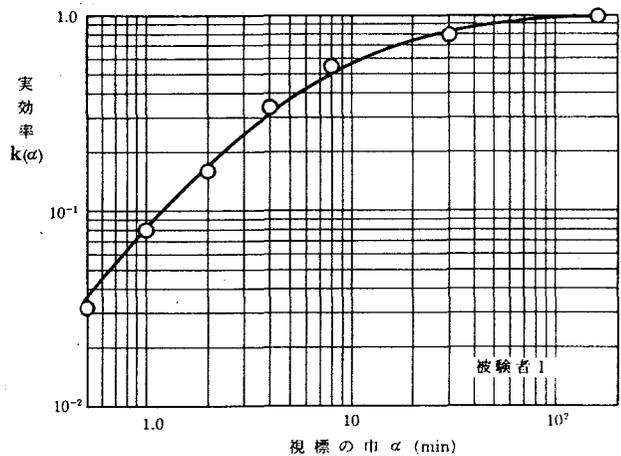


図7・3 線視標の実効率

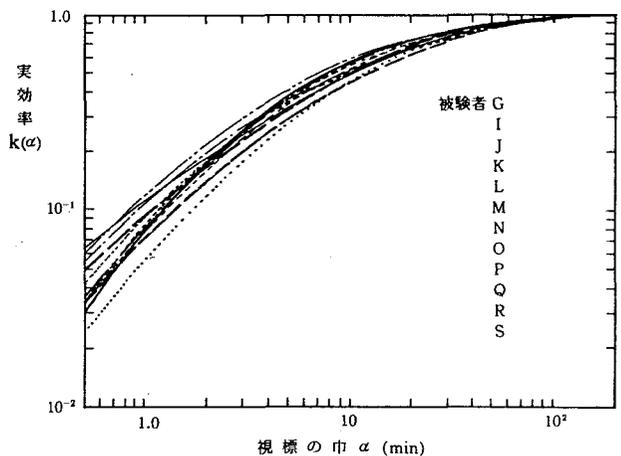


図7・4 線視標の実効率

7.4.2 順応過渡過程における視認

眼の順応過程を線視標による視力でとらえ、その結果を6章で得た順応過渡過程における対比感度と比較検討することにより、順応過渡過程における視認能力が定常順応時同様、実効輝度とその時の眼の感度のみによって把握され、しかも、定常順応時・順応過渡過程を問わず同一視作業に対する実効率は同一であること、すなわち、眼球内散乱特性は常に一定と考えてよいことを明暗両順応過程について明らかにしたものである。

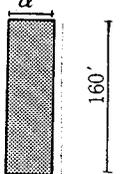
7.4.2.1 実験条件

表7.2 設定輝度
— 順応過渡過程での視標による視認能力 —

順応内容 \ 視野輝度	前順応輝度 L_1 (cd/m ²)	変化後の視野輝度 L_2 (cd/m ²)
暗順応	4000	1.0
	250	1.0
明順応	1.0	4000

被験者の眼を視野輝度 L_1 に十分順応させた後、視野輝度を L_2 に切り換え、呈示視標が視認されるまでに要する時間を測定することで、視力の時間的経過をとらえた。設定した視野輝度 (L_1 , L_2) は表7・2に、用い

表7・3 線視標
— 順応過渡過程の場合 —

輝度対比 C	巾 α (min)	形
.19	1.0	
	2.0	
	4.0	
	8.0	
.08	3.0	
	16.0	

た視力測定のための線視標は表7・3に示すとおりである。被験者は表6・1中のI、Jの2名であるが、定性的には両者同様の結果が得られたので、被験者Iの場合について結果を示す。

7.4.2.2 暗順応過渡過程における視認

図7・5に線視標によってとらえた暗順応過渡過程における視力の時間的経過を視標の輝度対比C別に示した。

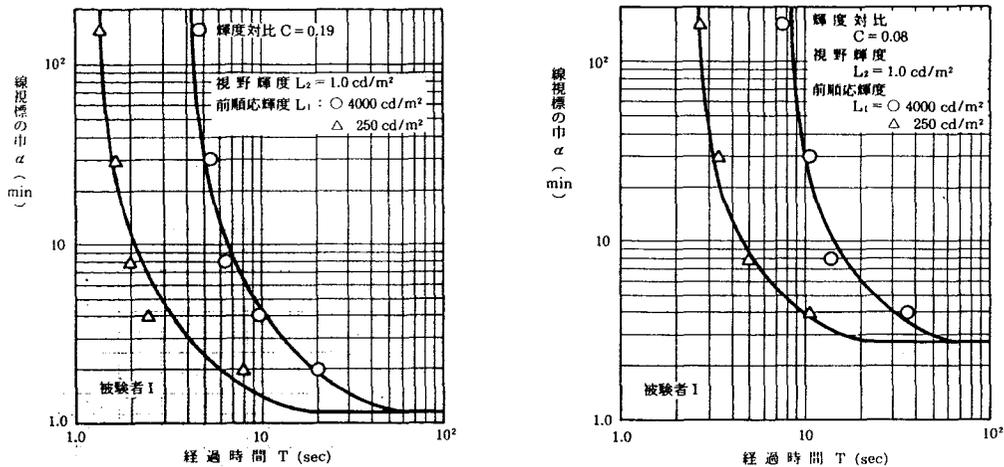


図 7.5 線視標による視力の回復過程 (暗順応の場合)

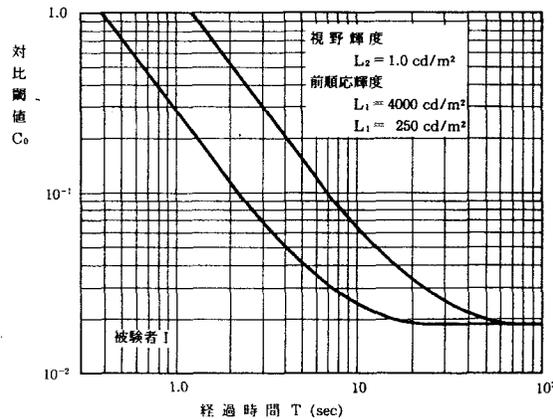


図 7.6 対比感度の回復過程 (暗順応の場合)

図 7.6 は、図 7.5 と同じ視野輝度条件 (L_1 , L_2) での被験者 I の対比感度の回復曲線を示したものであり、図 6.6 に示した同被験者による $L_1 = 4,000$ 、 250 cd/m^2 の各場合の結果に相当する。

視野輝度が L_2 に変化してから T 秒後に閾となる線視標の巾を $\alpha(T)$ 、その時の実効率を $k(\alpha(T))$ とすると、視標の輝度対比 C が一定の場合には、視野輝度条件が同じであれば同一経過時間で目の感度は等しいから、式 (7.9) より

$$k(\alpha(T)) = \frac{C_0(T)}{C} \quad (C: \text{const}) \quad (7.12)$$

ここで、 $C_0(T)$ は (L_1 , L_2 , T) での目の感度に対応する対比閾値である。

式 (7・12) より

$$\alpha(T) = k^{-1} \left(\frac{C_0(T)}{C} \right) \quad (C: \text{const}) \quad (7 \cdot 13)$$

図7・5中の各回帰曲線は、 $C_0(T)$ として図7・6の値を用い、しかも暗順応過渡過程における実効率は、視標の輝度対比には無関係に、常に定常順応時の場合(図7・3)と等しいとして式(7・13)によって得たものであるが、実験結果を非常によく説明している。

これにより、暗順応過渡過程における視認能力も実効輝度によって把握され、しかも、実効率は定常順応時のものと等しいことが確認された。

7.4.2.3 明順応過渡過程における視認

図7・7は、明順応過渡過程における視力の時間的経過を視標の輝度対比 $C = 0.19, 0.08$ の各場合について示したものである。

図7・8は、図7・7と同じ視野条件 ($L_1 = 1.0 \text{ cd/m}^2, L_2 = 4000 \text{ cd/m}^2$) での対比感度の回復過程を示したものであり、図中の曲線は6.5において得られた同被験者Iの明順応過渡過程における対比感度の回復曲線である。

図7・7中の各回帰曲線は、 $C_0(T)$ として図7・8の値を用いて、暗順応過渡過程の場合と同様に、明順応過渡過程においても実効率は視標の輝度対比とは無関係で、しかも定常順応時と同一のものであるとして、図7・3の値を用い、式(7・13)に基づいて得たものであるが、実験結果とよく一致している。

以上のことから、定常順応時および明暗両順応過渡過程における線視標の存在識別に関する視認能力は、実効輝度とその時の感度のみで把握され、しかも、実効率はいずれの場合においても等しいことが確認された。

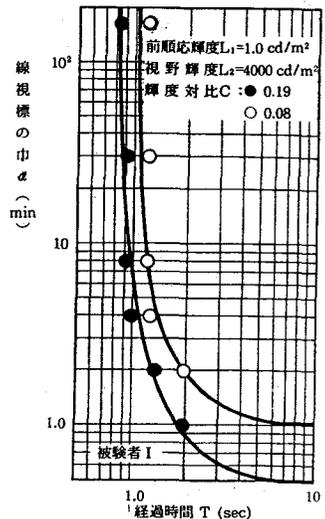


図7・7 線視標による視力の回復(明順応の場合)

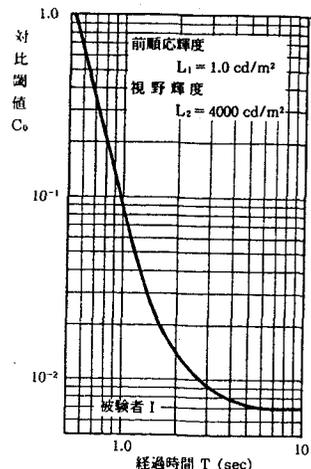


図7・8 対比感度の回復過程(明順応の場合)

7.5 二次元視標の視認

二次元視標に対する視認能力も、一次元視標同様、定常順応時・順応過渡過程ともに実効輝度で把握されることを、均一輝度背景における各種の視作業について検証したものである。

7.5.1 定常順応時の視認

視作業は大きく分けて、視標の存在を知る場合と、その細部を識別する必要のある場合の2つに分けられる。ここでは、後者を更に切れ目方向の識別と形の識別とに分け、三種類の視作業について視認能力を実効輝度で把握することの妥当性を確認した。

実験には、線視標の場合と同様、被験者に呈示されている視標が闇となるように背景輝度を調節させるという方法を用いた。

7.5.1.1 視標の存在の識別

表 7.4 円視標

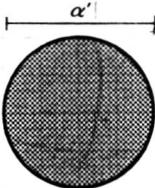
直 径 α (min)		輝 度 対 比 C			形
1.2	2.1	.88	.58	.21	
4.4		.92	.72	.58	
		.47	.37	.30	
		.24	.19	.15	
		.13	.99	.077	
8.5	17	.87	.57	.15	
34	68				

表 7.5 正方形視標

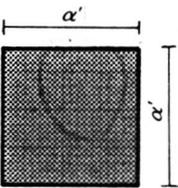
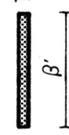
辺 長 α (min)		輝 度 対 比 C			形
1.0	2.1	.87	.57	.14	
4.2		.92	.71	.57	
		.41	.31	.24	
		.17	.10	.085	
		.071	.050	.041	
8.3	17 33	.87	.57	.20	
67		.86	.53	.16	

表 7.6 長方形視標

巾 α (min)	長さ β (min)			輝度対比 C			形
4.2	1.0	2.1	8.3	.86	.53	.15	$\alpha = 4.2'$ 
	4.2			.87	.57	.14	
	17			.85	.51	.11	
	33			.92	.60	.12	
	67			.86	.56	.17	
17	1.0	2.1	4.2	.85	.51	.11	$\alpha = 17'$ 
	8.3	33		.87	.61	.21	
	17			.85	.57	.20	
	67			.86	.56	.17	
33	2.0	4.1	8.2	.92	.60	.12	$\alpha = 33'$ 
	17			.87	.61	.21	
	33			.87	.57	.20	
	67			.86	.57	.15	
67	4.2	8.3	17	.86	.56	.17	$\alpha = 67'$ 
	33			.86	.57	.15	
	67			.86	.53	.15	

まず、最も単純な視作業である視標の存在を識別する場合の視認能力について、円・正方形・長方形の三種類の視標を用いて検討を行なった。各視標の大きさ α 、輝度対比 C は表 7・4～表 7・6 に示すとおりであり、被験者は表 6・1 に示す K、L、M の 3 名である。各被験者によって得られた結果に、個人差はあるものの、定性的には 3 名同様であったので、被験者 K の場合を例に得られた結果を示す。

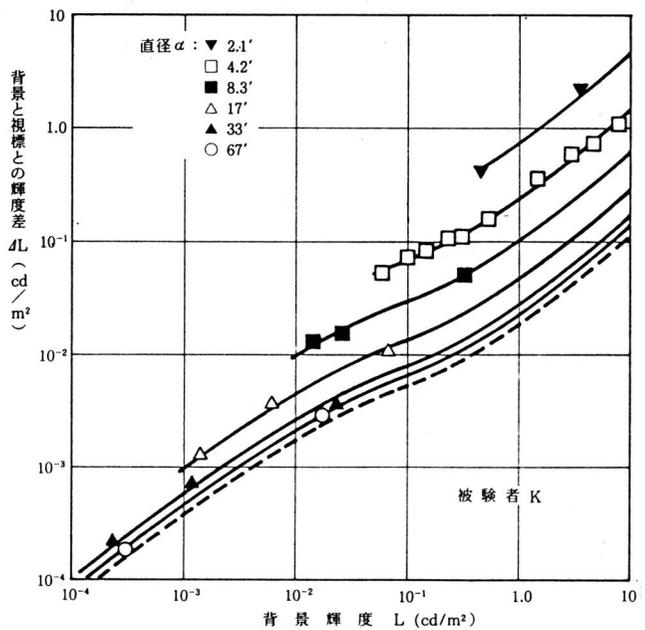


図 7.9 円視標による等視力曲線

図 7・9～図 7・11 は、各視標別に、得られた結果を背景輝度 L と、背景と視標との

輝度差 ΔL との関係で示したものである。各図中の大きさ α ごと
 の回帰曲線はすべて、点線で
 示してある同被験者 K の輝度差
 弁別閾値曲線を縦軸方向のみに
 移動したのとなっており、式
 (7・10) を満たしている。いず
 れの視標においてもこれらの曲
 線は測定結果をよく説明してお
 り、この場合の視認能力が実効
 輝度で把握されることが確認さ
 れた。

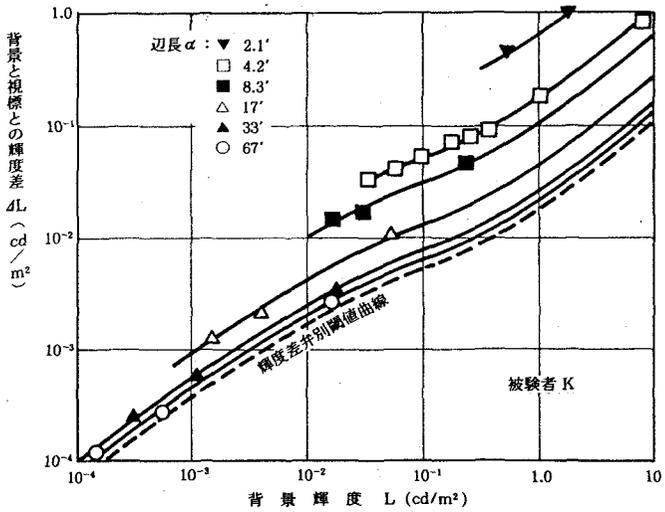


図 7・10 正方形視標による等視力曲線

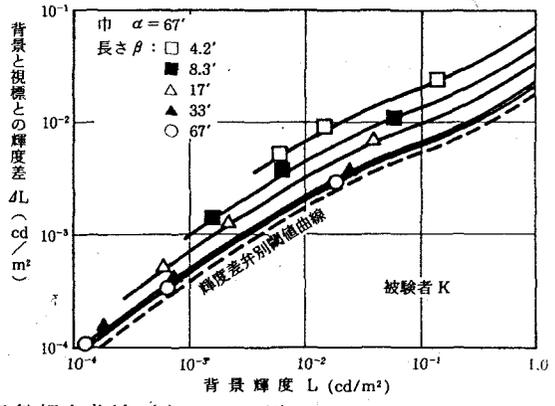
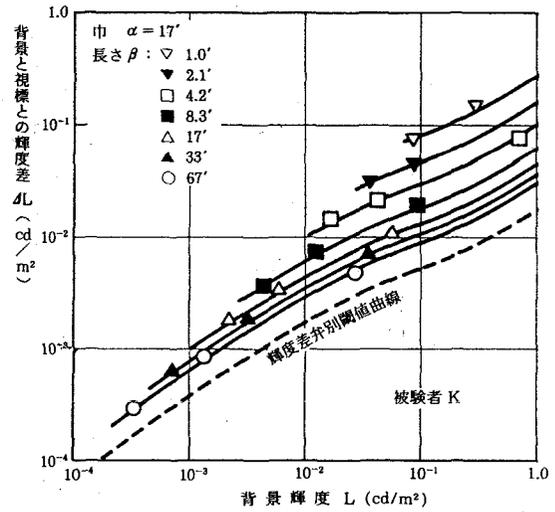
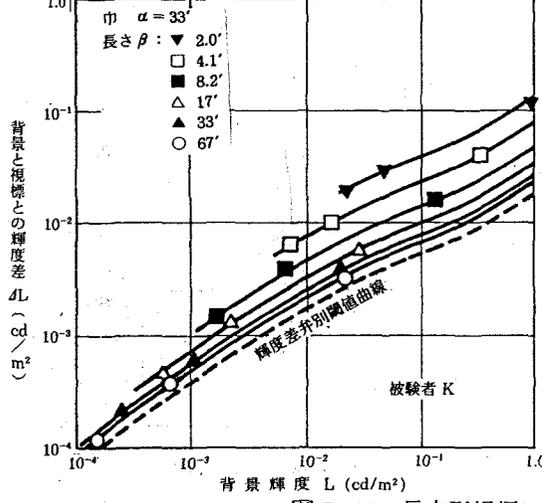
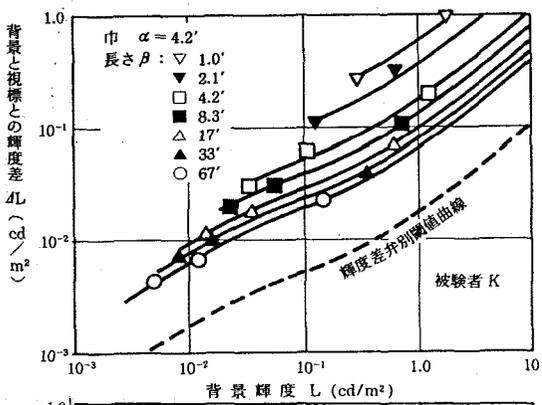


図 7・11 長方形視標による等視力曲線 (巾 α : 一定)

7.5.1.2 視標の切れ目方向の識別

検討対象とした視標は、2線・H・ランドルト環の3種類であり、これらの視標の切れ目方向を被験者に識別させた。視標の切れ目巾 α 、輝度対比Cは表7・7～表7・9に示すとおりである。被験者は表6・1中、2線視標・H視標についてはN、O、Pの3名、ランドルトの環視標についてはG、Hの2名である。各視標ごとに定性的には同一の結果が得られたので、各視標につき1名の測定値をもって結果を示す。

表 7.7 2線視標

切れ目巾 α (min)	輝 度 対 比 C								形	
1.0	.93	.87	.82	.77	.67	.57	.45	.34		
	.23	.14	.054							
2.0	.92	.85	.81	.73	.62	.41	.23	.18		.13
	.10	.081	.041	.032	.018	.012				
4.0	.92	.87	.83	.67	.46	.31	.23	.15		.11
	.075	.042	.033	.026						
8.0	.93	.87	.78	.72	.56	.46	.34	.24		.16
	.095	.074	.057	.043	.027	.018	.011			
16	.92	.83	.74	.59	.44	.32	.15	.10	.063	
	.034	.021	.013							
32	.92	.85	.76	.56	.39	.22	.12	.081		
	.048	.026	.019	.011						

表 7.8 H視標

切れ目巾 α (min)	輝 度 対 比 C						形	
1.0	.89	.76	.64	.48	.39	.34	.32	
	.23	.22	.12	.11	.049			
2.0	.93	.73	.47	.23	.094	.051		
	.032	.030	.018					
4.0	.91	.79	.55	.34	.19	.099		
	.051	.022	.017	.0099				
8.0	.79	.37	.18	.075	.036			
16	.93	.71	.45	.25	.16	.11	.048	
	.022	.012	.0071					
32	.84	.82	.36	.17	.11	.063	.054	.031

表 7.9 ランドルト環視標

切れ目巾 α (min)	輝 度 対 比 C			形	
1.0	.85	.66	.44	.33	
2.0	.26	.16	.11		
4.1					
8.2	.066	.029	.021		

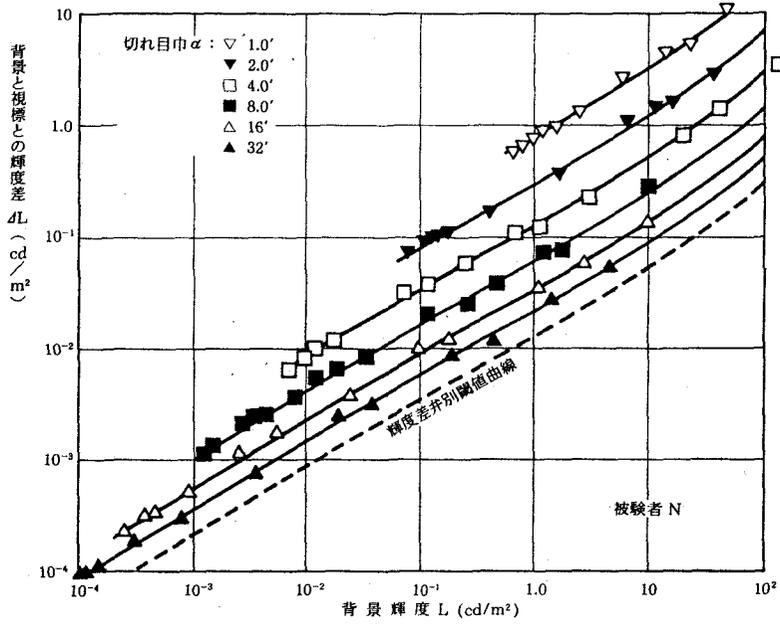


図 7.12 2 線視標による等視力曲線 (切れ目方向の識別)

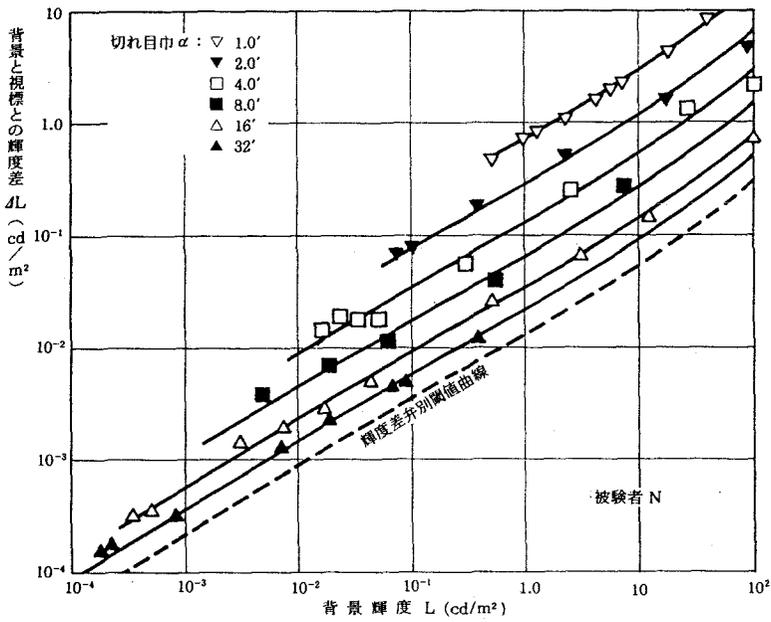


図 7.13 H 視標による等視力曲線 (切れ目方向の識別)

図7・12～図7・14に、各視標別に結果を背景輝度と、背景と視標との輝度差 ΔL との関係で示した。各図中の切れ目巾 α ごとの回帰曲線は、それぞれ破線で示した各被験者の輝度差弁別閾値曲線を縦軸方向のみに移動したものであるが、いずれの視標においても実験結果とよく一致している。切れ目方向識別の場合の視認能力もまた実効輝度で把握されることが確認されたわけである。

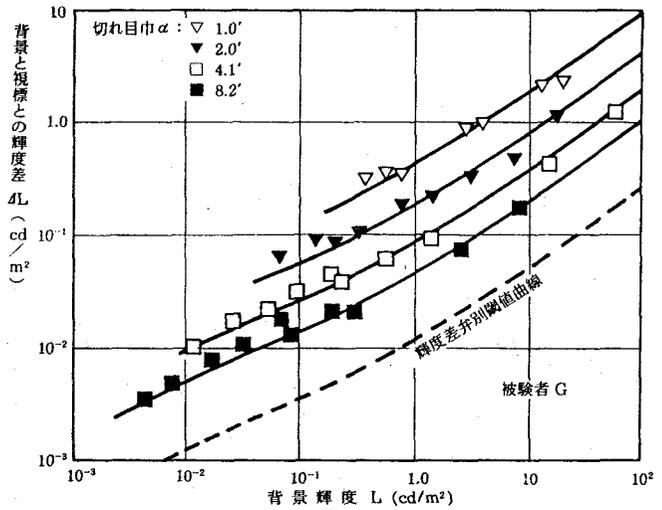


図7・14 ランドルト環視標による等視力曲線
(切れ目方向の識別)

7.5.1.3 視標の形の識別

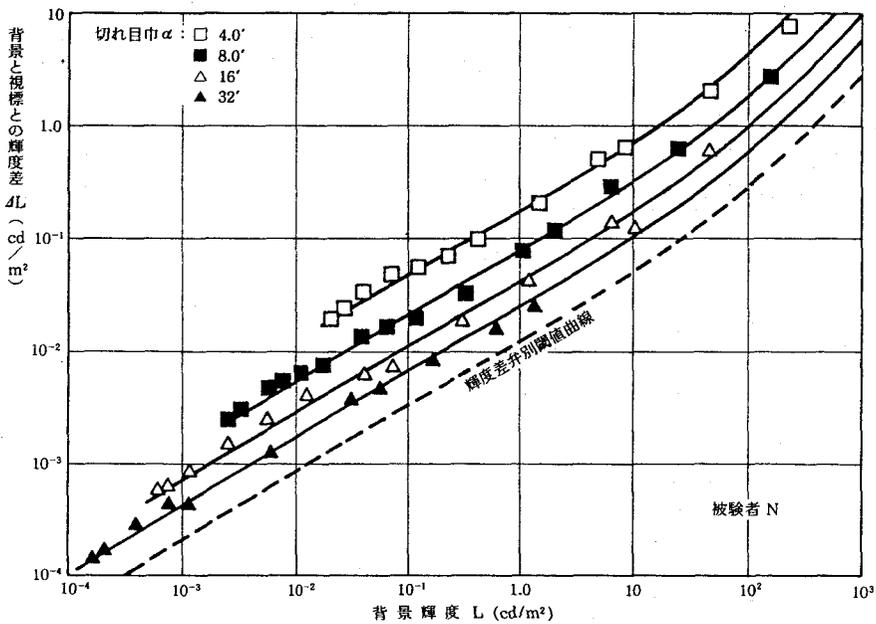


図7・15 2線視標による等視力曲線 (形の識別)

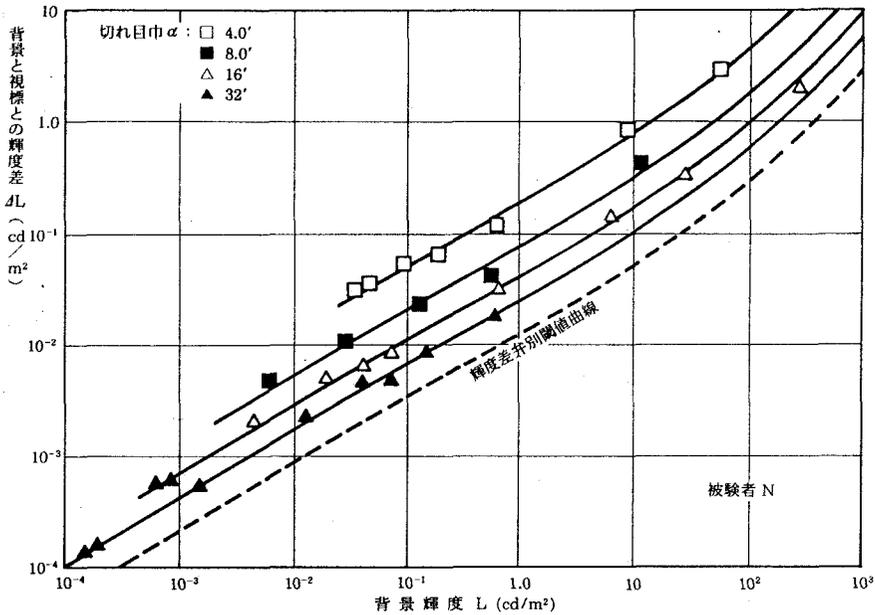


図 7・16 H 視標による等視力曲線 (形の識別)

切れ目方向の識別よりも、更に高度な視作業と考えられる形の識別を行なう場合の視認能力に関して検討を行なった。

実験は、2線視標とH視標とをランダムに呈示して、2線かHかを識別させるものである。視標には、前項の表7・7、表7・8に示した中の $\alpha = 4.0'$ 、 $8.0'$ 、 $16'$ 、 $32'$ の4種類の大きさのものを用いた。被験者は表6・1に示すN、O、Pの3名である。得られた結果は定性的には等しいものであったので、被験者Nの場合について結果を示す。

図7・15は2線視標による結果で、図7・16はH視標による結果である。図中の回帰曲線はすべて、破線で示した被験者Nの輝度差弁別閾値曲線を縦軸方向に平行移動したものである。回帰回線は、実験結果をよく説明しており、形の識別の場合の視認能力もまた実効輝度によって把握されることが確認された。この場合は、切れ目方向識別の場合(図7・13、図7・14)に較べて、全体に回帰曲線は図中上方に位置している。これは、形状識別という視作業の難度が現われたものと考えられる。

以上のことから、視作業内容によらず、定常順応時の視認能力は実効輝度とその時の眼の感度のみによって把握されることが確認された。同一視標であっても、視作業内容によって実効率は異なると考えられるが、これに関しては8.4.1に詳述している。

7.5.2 順応過渡過程における視認

標準的視作業であるランドルト環の切れ目方向識別に関する視認実験を明暗両順応過渡過程について、視標の大きさ・輝度対比を変化させて行ない、得られた結果をもとに、二次元視標の順応過渡過程における視認能力が実効輝度で扱い得ることを検証したものである。

7.5.2.1 実験条件

被験者の眼を視野輝度 L_1 に十分順応させた後、視野輝度を L_2 に切り換え、呈示視標の切れ目が識別されるのに要する時間を測定した。視野輝度条件 (L_1, L_2) は表 7・10 に示す。用いたランドルト環視標は、さきの定常順応時の場合の表 7・9 に示したものと同様である。

実験の実施にあたっては、各 (L_1, L_2) の組み合わせに対して、視標の大きさを固定して行なった。すなわち、各種の輝度対比を持つ同一の大きさの視標を順次呈示していった。単純な線視標の存在識別の場合とは異なり、ランドルト環の切れ目方向を順応過渡過程で識別させた場合には、測定値のばらつきが十分予想されるため、条件設定は細かく行なった。視標の大きさは 4 種、(L_1, L_2) の組み合わせは明暗両順応過程とも 2 種の計 4 種である。したがって実験は計 16 種の条件で行ない、各条件につき 4～5 種の対比について測定を行なった。

被験者は表 6・1 の中の G、H の 2 名であるが、定性的には両者同様の結果が得られたため、被験者 G の測定値を用いて結果を示す。

表 7.10 設定輝度

—順応過渡過程でのランドルト環視標による視認能力—

順応内容	視野輝度	前順応輝度 L_1 (cd/m ²)	変化後の視野輝度 L_2 (cd/m ²)
暗 順 応		4 0 0 0	1.0
		2 5 0	1.0
明 順 応		1.0	4 0 0 0
		1.0	2 5 0

7.5.2.2 暗順応過程における視認

暗順応過程について得られた結果を各視野輝度条件別に、ランドルト環視標の輝度対比 C と経過時間 T との関係で図7・17に示す。図中の各点は、経過時間 T における切れ目巾 α の視標の対比閾値を示している。

図7・18は、図7・17と同じ視野輝度条件における対比感度の回復過程を示したものであり、図6・4の $L_1 = 4,000$ 、 250 cd/m^2 、 $L_2 = 1.0 \text{ cd/m}^2$ の場合の回復曲線である。

図7・19は、定常順応時におけるランドルト環視標の切れ目方向識別の場合の実効率であり、図7・14より求めたものである。

ランドルト環視標の切れ目巾 α が一定の場合に、変化前後の視野輝度(L_1, L_2)での視野輝度変化 T 秒後の対比閾値を $C_o(T)$ 、その時に切れ目方向の識別に関して閾となる視標の輝度対比を $C(T)$ 、その実効率を $k(\alpha)$ とすると、式(7.11)より

$$\begin{aligned} \log C_o(T) - \log C(T) \\ = \log k(\alpha) : \text{const} \\ (\alpha : \text{const}) \end{aligned} \quad (7 \cdot 14)$$

上式は、(L_1, L_2)に対する順応過程でのランドルト環視標による実験結果を図7・17のように経過時間 T と輝度

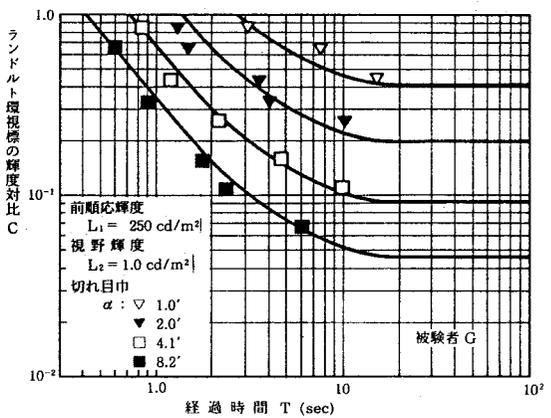
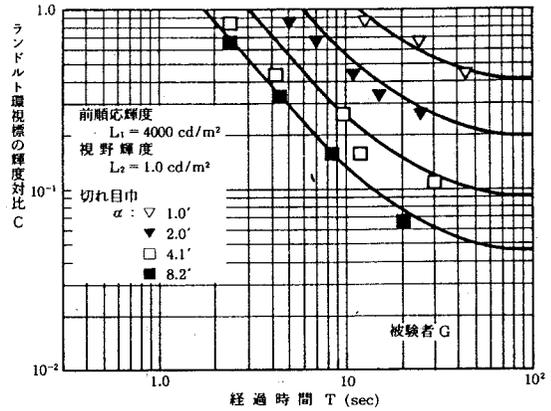


図7・17 ランドルト環視標による対比閾値の時間的経過 (暗順応の場合)

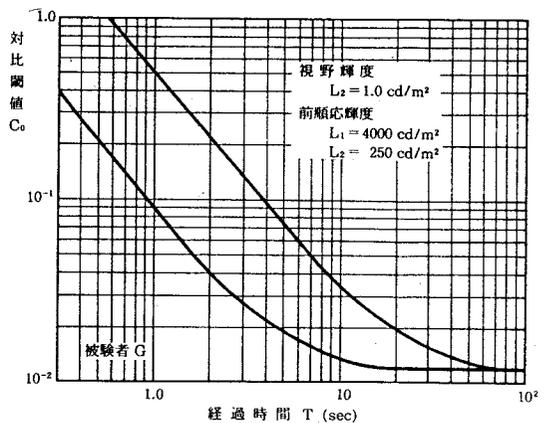


図7・18 対比感度の回復過程 (暗順応の場合)

対比Cとの関係 (T, C) で示せば、その回帰曲線は図7・18に示した同様の (L_1, L_2) に対する対比感度の回帰曲線 (T, C_0) をC軸方向のみ移動した曲線となり、しかも、その移動量は切れ目巾 α によって決まることを意味している。

図7・17の各大きさごとの回帰曲線はすべてこのことを満たすように、すなわち、 $C_0(T)$ として図7・18の値を、 $k(\alpha)$ として図7・19の値を用いて式(7・14)を満たすように引いたものである。各回帰曲線は実験結果を十分に説明しており、暗順応過程におけるランドルト環視標の切れ目方向識別に関する視認能力が、実効輝度とその時の眼の感度度とによって把握され、しかも、その実効率は定常順応時のものと等しいことが確認されたといえる。

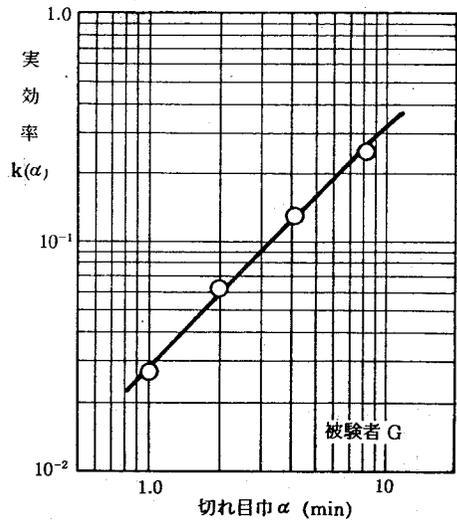


図7・19 ランドルト環視標の切れ目方向識別の場合の実効率 (定常順応時の場合)

7.5.2.3 明順応過程における視認

図7・20に、明順応過程に関して得られた結果を示す。暗順応過程の場合と同様に、

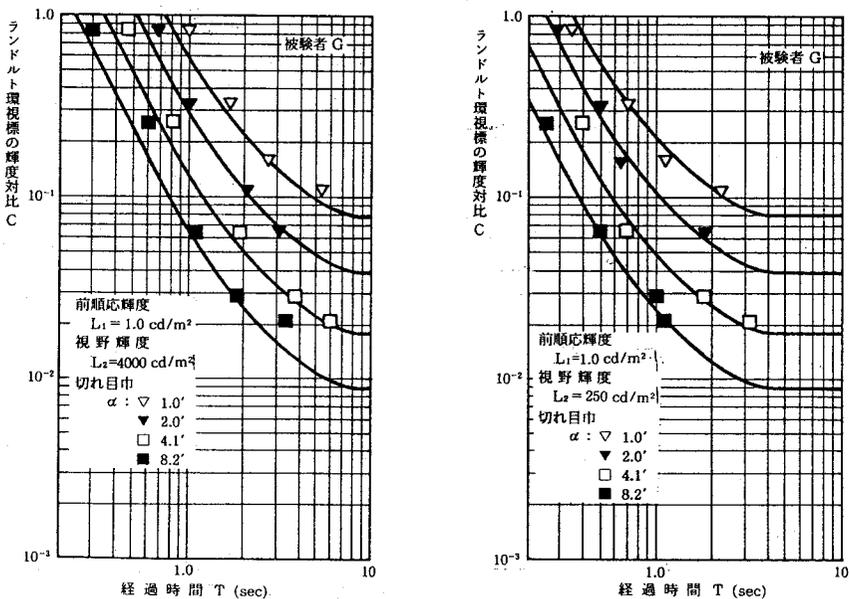


図7・20 ランドルト環視標による対比閾値の時間的経過 (明順応の場合)

視野輝度条件別に経過時間 T と視標の輝度対比 C との関係で示してある。

図 7・21 は、図 7・20 と同じ視野条件下における。対比感度の回復曲線を示したものであり、図 6・16 の $L_1 = 1.0 \text{ cd/m}^2$ 、 $L_2 = 4,000, 250 \text{ cd/m}^2$ の場合のものである。

図 7・20 の回帰曲線は、暗順応の場合と同様に、その成立が実効輝度による視認能力把握の妥当性を意味する式 (7・14) において、 $C_0(T)$ として図 7・21 の値を、 $k(\alpha)$ として図 7・19 の定常順応時の値を用いて得たものであるが、実験結果を十分に説明している。すなわち、回帰曲線はすべて、同一の (L_1, L_2) に対する図 7・21 の (T, C_0) 曲線を C 軸方向のみに移動したものとされており、その移動量は実効率によ

って定まるものであるが、実効率は定常順応時のものと等しいことが確認されたわけである。

以上のことから、ランドルト環視標の切れ目方向識別に関する視認能力も、定常順応時・明暗順応過渡過程を問わず、同一の実効率と、その時の眼の感度のみで把握されることが明らかである。

7.6 むすび

本章は、視認能力把握に、網膜中心窩への刺激量である実効輝度を導入することの妥当性、すなわち、視認能力は識別しようとする 2 点間の実効輝度差と視対象そのものの輝度差との比である実効率と、眼の感度とのみで把握されることを各種の視標を用いた視認実験結果をもとに確認したものである。

視標の存在識別・切れ目方向識別・形状識別といういずれの視作業内容においても、更に、定常順応時・明暗順応過渡過程を問わず、視認能力は実効率と眼の感度のみで把握されることが検証された。しかも、網膜中心窩への眼球内散乱特性は常に一定であり、実効率は定常順応時・明暗順応過渡過程を問わず、視標の形・大きさ、および視

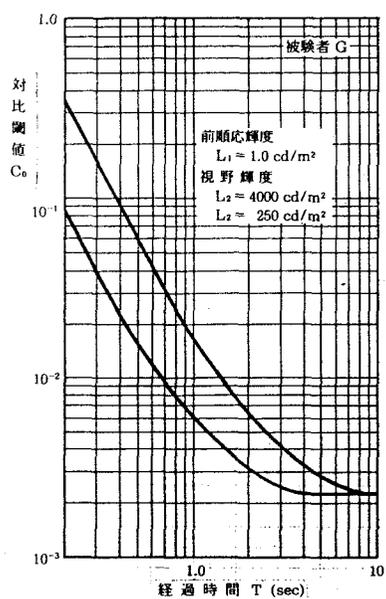


図 7・21 対比感度の回復過程 (明順応の場合)

作業内容によって一意的に定まるものであることも確認された。

参 考 文 献

- (1) 伊藤克三・大月容子・野口太郎：知覚対比による考察（その1）視覚実験に基づく検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和57年，pp. 31～32
- (2) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：知覚対比による考察（その2）単レンズによる測定に基づく検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和57年，pp. 33～34
- (3) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効対比を用いた視認能力の把握，日本建築学会論文報告集，第326号，昭和58年，pp. 111～117
- (4) 大月容子・伊藤克三：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その6）視認能力把握への実効輝度の導入，昭和58年照明学会全国大会講演論文集，pp. 130
- (5) 伊藤克三・大月容子・野口太郎：実効輝度による視認問題の検討，日本建築学会近畿支部研究報告集，第23号，計画系，昭和58年，pp. 5～8
- (6) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効輝度の長方形で構成された視標への適用，日本建築学会論文報告集，第338号，昭和59年，pp. 99～106
- (7) 井上容子・野口太郎・伊藤克三：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その7）実効輝度による視認能力の把握，昭和59年照明学会全国大会講演論文集，pp. 70
- (8) 井上容子・野口太郎・伊藤克三：視標識別への実効輝度の適用，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，pp. 341～342
- (9) 大月容子・伊藤克三：視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究（その2）順応過渡過程における視認能力，照明学会誌，第66巻 第10号，昭和57年，pp. 470～475

第8章 実効率の計算法と各種視標の実効率

8.1 はじめに

本章は、中心窩への眼球内散乱光の定量化を視認実験により行ない、実効輝度の計算手法を確立し、実効率の予測を可能にするとともに、計算あるいは視認実験より得られた各種視標の実効率を示したものである。

網膜中心窩へ入射する散乱光は、中心窩近傍の散乱源によるものが大きく、視線からの距たり角(θ)の増加とともに急激に減衰する。したがって、 $\theta = 0$ の近傍まで正確にとらえなければ、一般視認への導入は不可能である。

半無限単位輝度面の境界に垂直な線上 θ の位置を注視したときの実効輝度を解明の基礎とし、これを一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ と称する。単位輝度を持つ $1/4$ 無限平面による点 (θ, φ) を注視したときの実効輝度を二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$ と称する。これらを視認実験により求め、二次元図形に対する実効輝度算定を可能にした。

8.2 実効輝度関数

眼球内の散乱特性を明らかにし、視認実験結果に基づいて、散乱光の定量化を行なう。

8.2.1 一次元実効輝度関数 $F(\theta)$

8.2.1.1 $F(\theta)$ の性質

まず最初に、最も単純な一次元の場合を考える。

図8・1に示すように、暗視野上に単位輝度の半無限平面 $H(\theta)$ が呈示されている場合、すなわち、

$$H(\theta) = \begin{cases} 1 : \theta \leq 0 \\ 0 : \theta > 0 \end{cases}$$

この場合、境界線に垂直な線上 θ の点を注視したときの実効輝度 L_θ を $F(\theta)$ と定義し、これを一次元実効輝度関数と称する。

$$F(-\infty) = 1 \quad (8 \cdot 1)$$

$$F(\infty) = 0 \quad (8 \cdot 2)$$

平面Hを2つ組み合わせれば、単位輝度の均一視野となる。

$$H(\theta) + H(-\theta) = 1$$

したがって、

$$F(\theta) + F(-\theta) = 1 \quad (8 \cdot 3)$$

$$F(0) = \frac{1}{2} \quad (8 \cdot 4)$$

一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ は、半無限単位輝度面 $H(\theta)$ の境界に垂直な線上を視線が走査したときの、中心窩への光の強さの変化を示す式(8・1)～式(8・4)の性質を持つ関数である。 $F(\theta)$ は、 $(\theta, L) = (0, \frac{1}{2})$ に関して点対称である。

8.2.1.2 $F(\theta)$ の定量化

$F(\theta)$ は、均一輝度背景での線視標の存在識別時の実効率より求められる。

幅 α の単位輝度の無限長線視標 $T(\theta)$ のみによる実効輝度 $tL_\alpha(\theta)$ を考える。

$$T(\theta) = \begin{cases} 1 : |\theta| \leq \frac{\alpha}{2} \\ 0 : |\theta| > \frac{\alpha}{2} \end{cases}$$

図8・2に示すように、暗視野上の単位輝度の線視標 $T(\theta)$ は平面Hの組み合わせによって考えられる。

$$T(\theta) = H\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right) - H\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right)$$

したがって、

$$tL_\alpha(\theta) = F\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right) - F\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right) \quad (8 \cdot 5)$$

次に、単位輝度の背景面 $B(\theta)$ のみによる実効輝

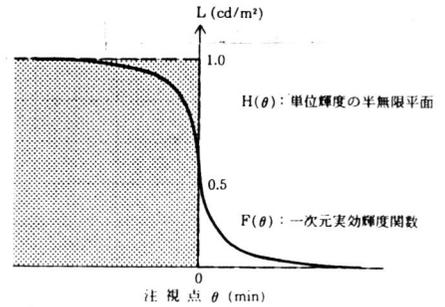


図8・1 一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ と単位輝度の半無限平面 $H(\theta)$

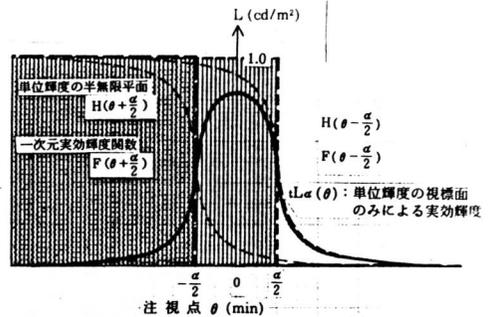


図8・2 単位輝度の視標面のみによる実効輝度 $tL_\alpha(\theta)$

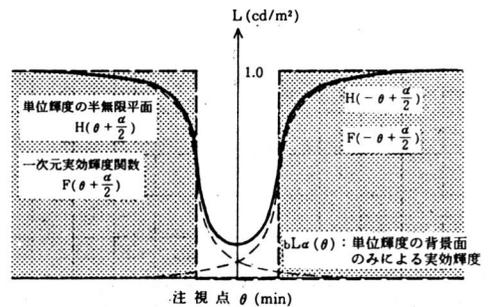


図8・3 単位輝度の背景面のみによる実効輝度 $bL_\alpha(\theta)$

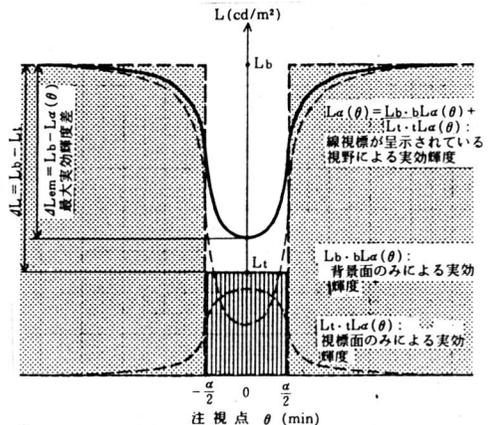


図8・4 線視標が呈示されている視野による実効輝度 $L_\alpha(\theta)$

度 ${}_bL_\alpha(\theta)$ を考える。

$$B(\theta) = \begin{cases} 0 : |\theta| \leq \frac{\alpha}{2} \\ 1 : |\theta| > \frac{\alpha}{2} \end{cases}$$

図 8・3 に示すように、背景面 B は平面 H の組み合わせによって考えられる。

$$B(\theta) = H\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right) + H\left(-\theta + \frac{\alpha}{2}\right)$$

したがって、

$${}_bL_\alpha(\theta) = F\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right) + F\left(-\theta + \frac{\alpha}{2}\right) \quad (8 \cdot 6)$$

T(θ) と B(θ) とを合成すれば、単位輝度の均一視野となることから

$${}_tL_\alpha(\theta) + {}_bL_\alpha(\theta) = 1 \quad (8 \cdot 7)$$

(巾 α 、輝度 L_t) の線視標が、輝度 L_b の均一背景に呈示された場合の輝度分布 D(θ) は、図 8・4 に示すように T(θ) と B(θ) との組み合わせから考えられる。

$$D(\theta) = \begin{cases} L_t : |\theta| \leq \frac{\alpha}{2} \\ L_b : |\theta| > \frac{\alpha}{2} \end{cases}$$

$$D(\theta) = L_t \cdot T(\theta) + L_b \cdot B(\theta)$$

したがって、視野 D による実効輝度 $L_\alpha(\theta)$ は、

$$L_\alpha(\theta) = L_t \cdot {}_tL_\alpha(\theta) + L_b \cdot {}_bL_\alpha(\theta) \quad (8 \cdot 8)$$

式 (8・7) より

$$L_\alpha(\theta) = (L_b - L_t) {}_bL_\alpha(\theta) + L_t \quad (8 \cdot 9)$$

視認実験において、無限長線視標の視認閾を測定した場合、最大実効輝度 L_b と、最小実効輝度 $L_\alpha(0)$ とを弁別することで、視標の存在を認識していると考えられる。 L_b と $L_\alpha(0)$ とでできる最大実効輝度差 ΔL_{em} がこの視認閾の測定結果に対応する。

$$\Delta L_{em} = L_b - L_\alpha(0) \quad (8 \cdot 10)$$

したがって、式 (8・9) より

$$\Delta L_{em} = (L_b - L_t) (1 - {}_bL_\alpha(0)) \quad (8 \cdot 11)$$

この最大実効輝度差 ΔL_{em} と視標本来の輝度差 $\Delta L = L_b - L_t$ との比が、線視標の存在

識別時の実効率 $k(\alpha)$ であるため、式(8・11)、式(8・6)より

$$\begin{aligned}
 k(\alpha) &= \frac{\Delta L_{em}}{\Delta L} \\
 &= 1 - bL_{\alpha}(0) \\
 &= 1 - 2F\left(\frac{\alpha}{2}\right)
 \end{aligned}
 \tag{8・12}$$

したがって、

$$F(\theta) = \frac{1 - k(2\theta)}{2}
 \tag{8・13}$$

図8・5は、7・4・1に示した線視標の視認閾測定より得られた12名の $k(\alpha)$ の平均値を示したものである。

図8・6は、図8・5の $k(\alpha)$ より式(8・13)によって求めた $F(\theta)$ を示したものである。図より、 $F(\theta)$ は θ が $80'$ 以上で0にほぼ収束し、 θ が $-80'$ 以下では1.0にほぼ収束することがわかる。図中、

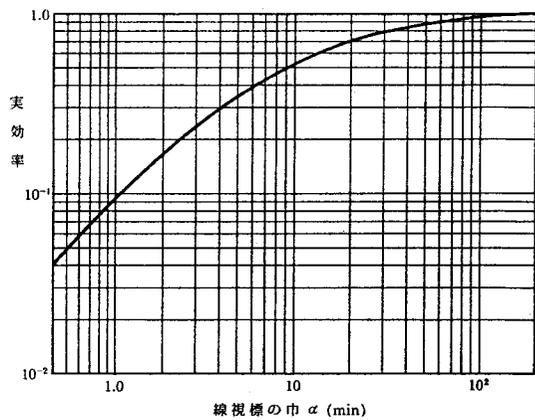


図8・5 線視標の実効率(12名の平均値)

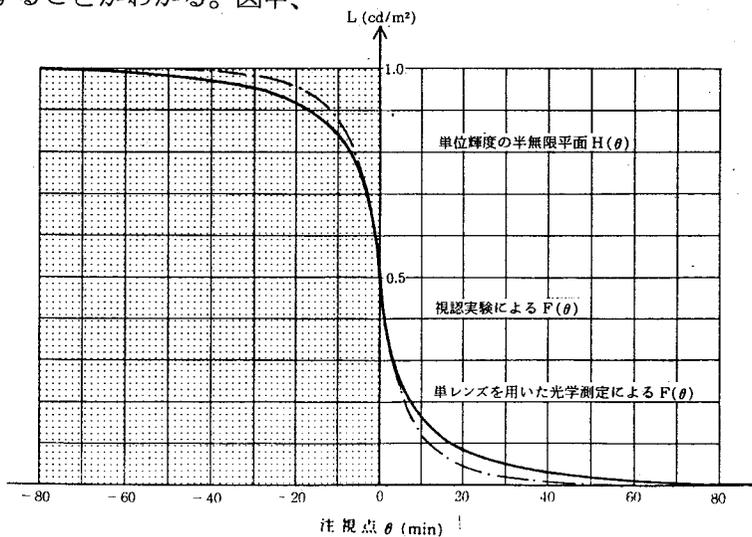


図8・6 一次元実効輝度関数 $F(\theta)$

鎖線で示したのは、眼球に代替する単レンズを用いて、写真測光により求めた $F(\theta)$ である。⁽¹⁾⁽²⁾ 両者はかなり近い値を示しており、この単レンズを平均的 eyeball として代用することの妥当性が再確認されたものとする。

一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いることで、任意の輝度分布の視野による実効輝度が求められるが、これについては 8.3 で述べる。

8.2.2 二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$

8.2.2.1 $G(\theta, \varphi)$ の性質

図 8.7 に示すように、暗視野上に単位輝度の 1/4 無限平面 Q が呈示されている場合、すなわち、

$$Q(\theta, \varphi) = \begin{cases} 1 & : \theta \leq 0 \text{ and } \varphi \leq 0 \\ 0 & : \theta > 0 \text{ or } \varphi > 0 \end{cases}$$

この場合、点 (θ, φ) を注視したときの実効輝度を $G(\theta, \varphi)$ と定義し、これを二次元実効輝度関数と称する。

$$G(-\infty, -\infty) = 1 \quad (8 \cdot 14)$$

$$G(-\infty, \varphi) = F(\varphi) \quad (8 \cdot 15)$$

$$G(\theta, -\infty) = F(\theta) \quad (8 \cdot 16)$$

$$G(\theta, \infty) = G(\infty, \varphi) = G(\infty, \infty) = 0 \quad (8 \cdot 17)$$

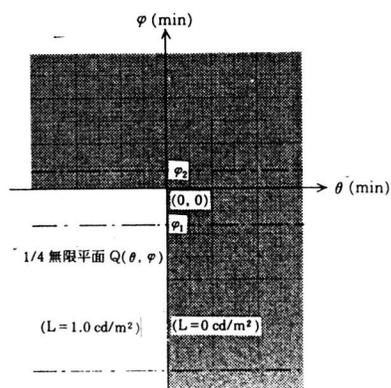


図 8.7 単位輝度の 1/4 無限平面 $Q(\theta, \varphi)$

平面 Q を 2 つ組み合わせれば、単位輝度の無限平面 H となる。

$$Q(\theta, \varphi) + Q(\theta, -\varphi) = H(\theta)$$

$$Q(\theta, \varphi) + Q(-\theta, \varphi) = H(\varphi)$$

したがって、

$$G(\theta, \varphi) + G(\theta, -\varphi) = F(\theta) \quad (8 \cdot 18)$$

$$G(\theta, \varphi) + G(-\theta, \varphi) = F(\varphi) \quad (8 \cdot 19)$$

$$G(\theta, 0) = \frac{F(\theta)}{2} \quad (8 \cdot 20)$$

$$G(0, \varphi) = \frac{F(\varphi)}{2} \quad (8 \cdot 21)$$

平面Qを4つ組み合わせれば、単位輝度の均一視野となる。

$$Q(\theta, \varphi) + Q(\theta, -\varphi) + Q(-\theta, \varphi) + Q(-\theta, -\varphi) = 1$$

したがって、

$$G(\theta, \varphi) + G(\theta, -\varphi) + G(-\theta, \varphi) + G(-\theta, -\varphi) = 1 \quad (8 \cdot 22)$$

$$G(0, 0) = \frac{1}{4} \quad (8 \cdot 23)$$

図8・8に示すように、各 φ 断面での $G(\theta, \varphi)$ を考え、 φ の変化による $G(\theta, \varphi)$ の変化について考えてみる。

式(8・16)、式(8・1)より

$$G(\theta, -\infty) = F(\theta) F(-\infty) \quad (8 \cdot 24)$$

式(8・20)、式(8・4)より

$$G(\theta, 0) = F(\theta) F(0) \quad (8 \cdot 25)$$

式(8・15)・式(8・1)、式(8・17)・

式(8・2)より、任意の φ に対して

$$\lim_{\theta \rightarrow -\infty} G(\theta, \varphi) = \lim_{\theta \rightarrow -\infty} F(\theta) F(\varphi) \quad (8 \cdot 26)$$

$$\lim_{\theta \rightarrow -\infty} G(\theta, \varphi) = \lim_{\theta \rightarrow -\infty} F(\theta) F(\varphi) \quad (8 \cdot 27)$$

ここで、 $\varphi = 0, -\infty$ のみでなく、任意の φ について

$$G(\theta, \varphi) = F(\theta) F(\varphi) \quad (8 \cdot 28)$$

が成立する、すなわち、 φ の変化による $G(\theta, \varphi)$ の変化は $F(\theta)$ によると仮定すれば、

$$G(\theta, \varphi) = G(\varphi, \theta) \quad (8 \cdot 29)$$

が成立することになり、 $G(\theta, \varphi)$ は $\varphi = \theta$ に関して対象な関数となる。

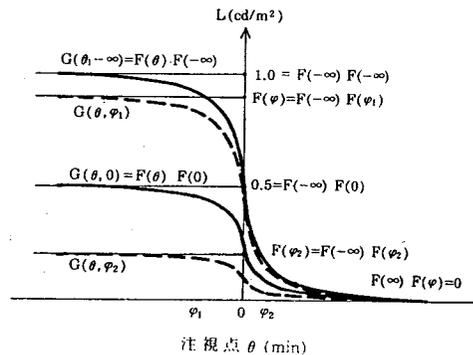


図8・8 二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$ の特性(φ 断面)

8.2.2.2 $G(\theta, \varphi)$ の定量化

二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$ は、均一輝度背景での長方形および線視標の存在識別時の実効率より求めることができる。

辺長 α, β の単位輝度の長方形視標 $T(\theta, \varphi)$ のみによる実効輝度 ${}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ を考える。

$$T(\theta, \varphi) = \begin{cases} 1 : |\theta| \leq \frac{\alpha}{2} \text{ and } |\varphi| \leq \frac{\beta}{2} \\ 0 : |\theta| > \frac{\alpha}{2} \text{ or } |\varphi| > \frac{\beta}{2} \end{cases}$$

図8・9に示すように、暗視野上の単位輝度の長方形視標 $T(\theta, \varphi)$ は平面 Q の組み合わせによって考えられる。

$$\begin{aligned} T(\theta, \varphi) = & Q\left(\theta - \frac{\alpha}{2}, \varphi - \frac{\beta}{2}\right) - Q\left(\theta + \frac{\alpha}{2}, \varphi - \frac{\beta}{2}\right) \\ & - Q\left(\theta - \frac{\alpha}{2}, \varphi + \frac{\beta}{2}\right) \\ & + Q\left(\theta + \frac{\alpha}{2}, \varphi + \frac{\beta}{2}\right) \end{aligned}$$

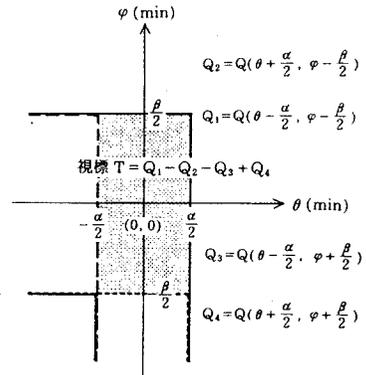


図8・9 長方形視標 T と $1/4$ 無限平面 Q

したがって、

$$\begin{aligned} {}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = & G\left(\theta - \frac{\alpha}{2}, \varphi - \frac{\beta}{2}\right) - G\left(\theta + \frac{\alpha}{2}, \varphi - \frac{\beta}{2}\right) \\ & - G\left(\theta - \frac{\alpha}{2}, \varphi + \frac{\beta}{2}\right) + G\left(\theta + \frac{\alpha}{2}, \varphi + \frac{\beta}{2}\right) \quad (8 \cdot 30) \end{aligned}$$

次に、単位輝度の背景面 $B(\theta, \varphi)$ のみによる実効輝度 ${}_bL_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ を考える。

$$B(\theta, \varphi) = \begin{cases} 0 : |\theta| \leq \frac{\alpha}{2} \text{ and } |\varphi| \leq \frac{\beta}{2} \\ 1 : |\theta| > \frac{\alpha}{2} \text{ or } |\varphi| > \frac{\beta}{2} \end{cases}$$

$B(\theta, \varphi)$ も $T(\theta, \varphi)$ と同様に、平面 Q の組み合わせによって考えることができるが、両視野を合成すれば単位輝度の均一視野となることから次式が成立する。

$${}_bL_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = 1 - {}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) \quad (8 \cdot 31)$$

(巾 α 、長さ β 、輝度 L_1) の長方形視標が、輝度 L_0 の均一背景に呈示された場合の輝度分布 $D(\theta, \varphi)$ は、図8・10に示すように $T(\theta, \varphi)$ と $B(\theta, \varphi)$ との組み合わせで考えられる。

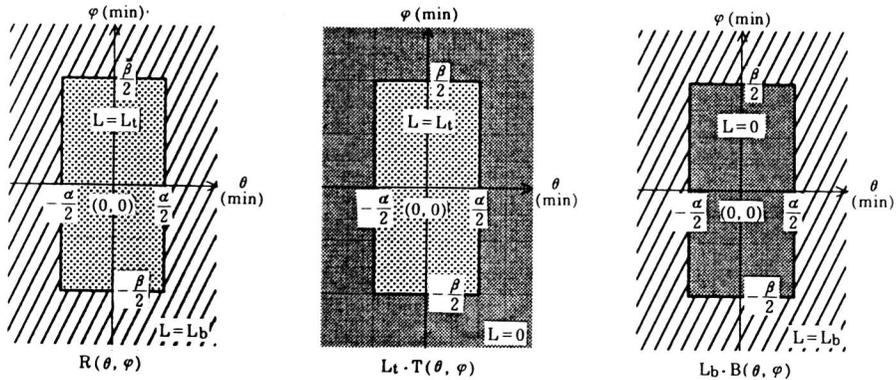


図 8.10 等価な視野 (均一輝度背景に長方形視標が呈示されている場合)

$$D(\theta, \varphi) = \begin{cases} L_t : |\theta| \leq \frac{\alpha}{2} \text{ and } |\varphi| \leq \frac{\beta}{2} \\ L_b : |\theta| > \frac{\alpha}{2} \text{ or } |\varphi| > \frac{\beta}{2} \end{cases}$$

$$D(\theta, \varphi) = L_t \cdot T(\theta, \varphi) + L_b \cdot B(\theta, \varphi)$$

したがって、視野 D による実効輝度 $L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ は、

$$L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = L_t \cdot {}_tL_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) + L_b \cdot {}_bL_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) \quad (8 \cdot 32)$$

式 (8.31) より、

$$L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = (L_b - L_t) (1 - {}_tL_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)) + L_t \quad (8 \cdot 33)$$

長方形視標の存在識別に関する視認閾実験の測定結果は、視野 D による最大実効輝度 L_b と最小実効輝度 $L_{\alpha\beta}(0, 0)$ とでできる最大実効輝度差 ΔL_{em} に対応する。

$$\Delta L_{em} = L_b - L_{\alpha\beta}(0, 0) \quad (8 \cdot 34)$$

したがって、式 (8.33) より、

$$\Delta L_{em} = (L_b - L_t) {}_tL_{\alpha\beta}(0, 0) \quad (8 \cdot 35)$$

最大実効輝度差 ΔL_{em} と本来の輝度差 $\Delta L = L_b - L_t$ との比が、この場合の実効率 $k(\alpha, \beta)$ であるため、式 (8.35)、式 (8.30)、式 (8.22)、式 (8.19)、式 (8.18)、式 (8.13)、より

$$\begin{aligned} k(\alpha, \beta) &= \frac{\Delta L_{em}}{\Delta L} \\ &= {}_tL_{\alpha\beta}(0, 0) \\ &= G\left(-\frac{\alpha}{2}, -\frac{\beta}{2}\right) - G\left(\frac{\alpha}{2}, -\frac{\beta}{2}\right) - G\left(-\frac{\alpha}{2}, \frac{\beta}{2}\right) + G\left(\frac{\alpha}{2}, \frac{\beta}{2}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1 - 2 \left\{ G \left(\frac{\alpha}{2}, -\frac{\beta}{2} \right) + G \left(-\frac{\alpha}{2}, \frac{\beta}{2} \right) \right\} \\
&= 1 - 2 \left\{ F \left(\frac{\alpha}{2} \right) + F \left(\frac{\beta}{2} \right) - 2 G \left(\frac{\alpha}{2}, \frac{\beta}{2} \right) \right\} \\
&= 4 G \left(\frac{\alpha}{2}, \frac{\beta}{2} \right) + k(\alpha) + k(\beta) - 1 \quad (8 \cdot 36)
\end{aligned}$$

したがって、

$$G(\theta, \varphi) = \frac{1}{4} \{ 1 + k(2\theta) \cdot k(2\varphi) - k(2\theta) - k(2\varphi) \} \quad (8 \cdot 37)$$

図8・11は、7・5・1・1に示した長方形視標の視認閾測定結果から求めた各被験者の実効率である。図中の曲線は、長方形の幅 α ごとに得られた結果を回帰したもので、長さ β による実効率 $k(\alpha, \beta)$ の変化率が線視標の幅 β のそれに等しく、 β が大きくなれば幅 α の線視標の実効率 $k(\alpha)$ の値に漸近する、すなわち、式(8・38)を満たすとして引いたものである。

$$k(\alpha, \beta) = k(\alpha) k(\beta) \quad (8 \cdot 38)$$

いずれの被験者についても、上式を満たす回帰曲線は実験結果とよく一致しており、式(8・38)が成立していると考えてよい。式(8・37)に式(8・38)を代入すると、

$$\begin{aligned}
G(\theta, \varphi) &= \frac{1}{4} \{ 1 + k(2\theta) \cdot k(2\varphi) - k(2\theta) - k(2\varphi) \} \\
&= \frac{1 - k(2\theta)}{2} \cdot \frac{1 - k(2\varphi)}{2}
\end{aligned}$$

したがって、式(8・13)より、

$$G(\theta, \varphi) = F(\theta) F(\varphi) \quad (8 \cdot 39)$$

上式は式(8・28)と同じものであることから、 θ あるいは φ の変化による $G(\theta, \varphi)$ の変化率は、それぞれ $F(\theta)$ 、 $F(\varphi)$ の変化と等しいと考えられる。式(8・39)は式(8・14)～式(8・29)に示した $G(\theta, \varphi)$ の基本的性質をすべて満たすものである。

図8・12に、図8・6の一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いて得た $G(\theta, \varphi)$ を示す。この図によって、二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$ の性質を一見して知ることができるが、実効輝度の計算においては、式(8・39)が示すように $F(\theta)$ のみでこと足りるわけである。

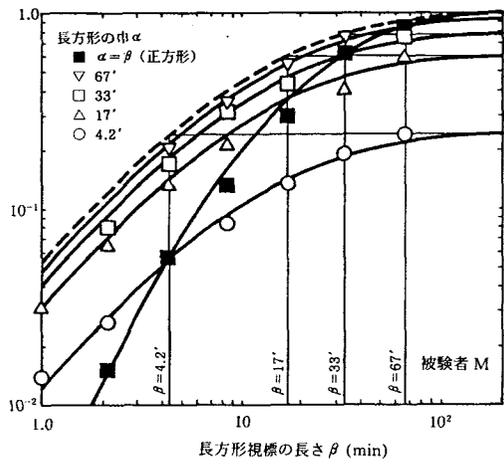
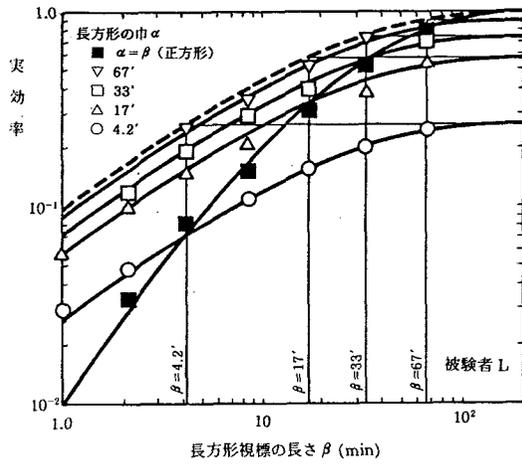
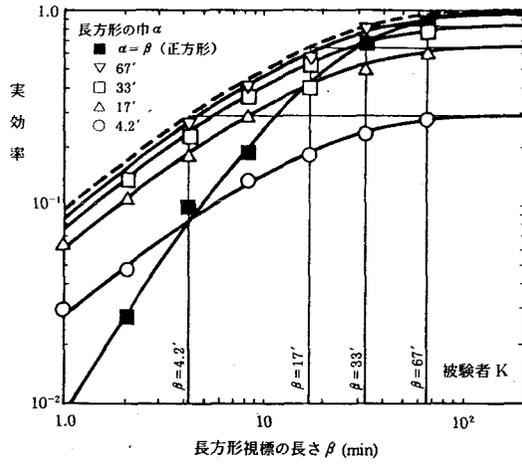


図 8.11 各種長方形視標の実効率

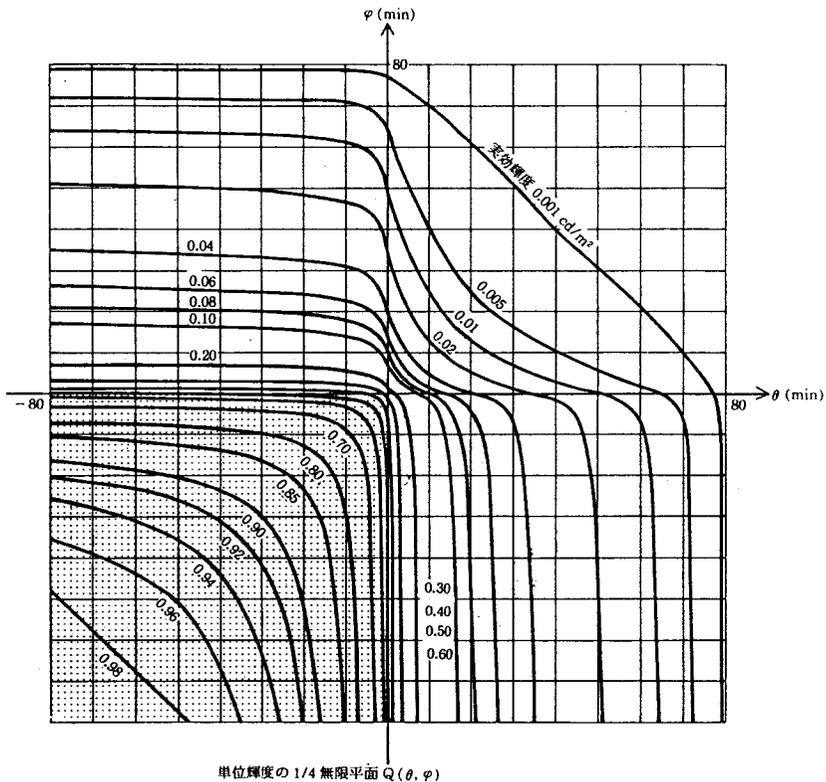


図 8.12 二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$

8.3 実効輝度の計算法

実効輝度の計算手順を具体例をもって示す。

前節で明らかにした一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ によって直接求めることのできる線および長方形で構成される視標の実効輝度の計算法の他に、任意形状の視標のための計算法として、微小正方形要素による近似計算法を示してある。これより、任意の一次元および二次元視標の実効輝度は $F(\theta)$ のみによって求めることが可能となる。

8.3.1 線で構成された視標に対する計算法

線視標で構成された一次元的輝度分布をもつ視野は、半無限平面 H に分解されるため、一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いることで、全ての場合の実効輝度が計算される。ここでは、図 8.13 に示した 2 種の幅を持つ線視標による縦縞状の輝度分布の場合を例として、各点の実効輝度と実効率を考える。

まず、巾 α_1 の単位輝度の線視標が、暗視野上に図8・14に示すように間隔 α_2 で並んでいる場合の実効輝度 $L_{\alpha_1}(\theta)$ を考える。中央の線視標のみによる実効輝度 ${}_1L_{\alpha_1}(\theta)$ は式(8・5)より、

$${}_1L_{\alpha_1}(\theta) = F\left(\theta - \frac{\alpha_1}{2}\right) - F\left(\theta + \frac{\alpha_1}{2}\right) \quad (8 \cdot 40)$$

これが間隔 α_2 で並んでいることから、

$$\begin{aligned} L_{\alpha_1}(\theta) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} {}_1L_{\alpha_1}(\theta + n\alpha_1 + n\alpha_2) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ F\left(\theta - \frac{\alpha_1}{2} + n\alpha_1 + n\alpha_2\right) - F\left(\theta + \frac{\alpha_1}{2} + n\alpha_1 + n\alpha_2\right) \right\} \end{aligned} \quad (n: \text{整数}) \quad (8 \cdot 41)$$

図8・15に示す暗視野上に巾 α_2 の単位輝度の線視標が間隔 α_1 で並んでいる場合の実効輝度を $L_{\alpha_2}(\theta)$ とすると、図8・14と図8・15の視野を合成すれば、単位輝度の均一視野となることから、

$$L_{\alpha_2}(\theta) = 1 - L_{\alpha_1}(\theta) \quad (8 \cdot 42)$$

したがって、図8・13のように巾 α_1 、 α_2 の部分の輝度がそれぞれ L_1 、 L_2 の場合の点 θ を注視したときの実効輝度 $L(\theta)$ は、

$$\begin{aligned} L(\theta) &= L_1 \cdot L_{\alpha_1}(\theta) + L_2 \cdot L_{\alpha_2}(\theta) \\ &= (L_1 - L_2) L_{\alpha_1}(\theta) + L_2 \end{aligned} \quad (8 \cdot 43)$$

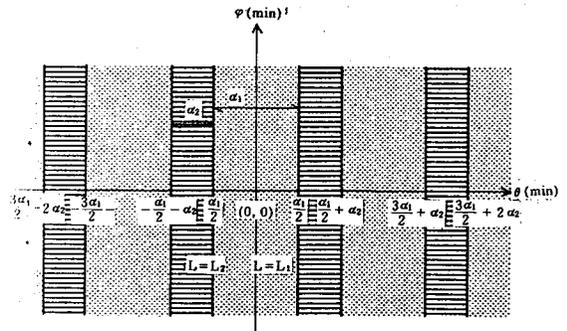


図8・13 線で構成された視野

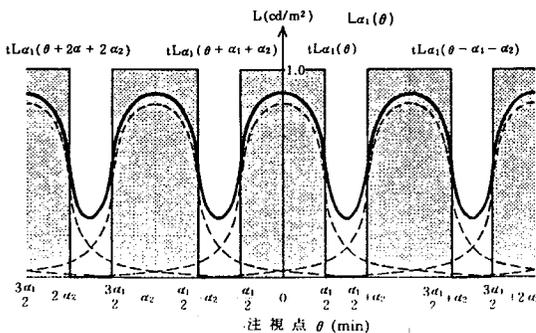


図8・14 単位輝度の巾 α_1 の線視標による実効輝度 $L_{\alpha_1}(\theta)$

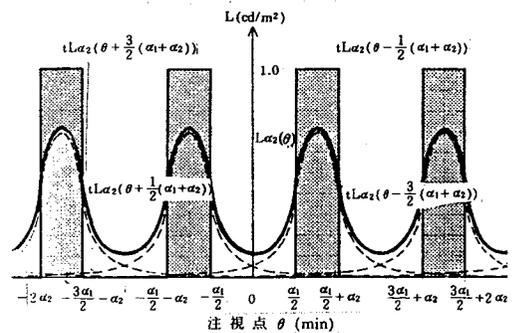


図8・15 単位輝度の巾 α_2 の線視標による実効輝度 $L_{\alpha_2}(\theta)$

任意の2点A (θ_1)、B (θ_2) に対する実効率 $k_{A, B}$ は、2点間の実効輝度差 ΔL_e と本来の輝度差 $\Delta L = |L_1 - L_2|$ の比であるため、式 (8・41) より、

$$\begin{aligned}
 k_{A, B} &= \frac{\Delta L_e}{\Delta L} \\
 &= \left| \frac{L(\theta_1) - L(\theta_2)}{L_1 - L_2} \right| \\
 &= |L_{\alpha_1}(\theta_1) - L_{\alpha_2}(\theta_2)| \\
 &= \left| \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ F\left(\theta_1 - \frac{\alpha_1}{2} + n\alpha_1 + n\alpha_2\right) - F\left(\theta_1 + \frac{\alpha_1}{2} + n\alpha_1 + n\alpha_2\right) \right\} \right. \\
 &\quad \left. - \left\{ F\left(\theta_2 - \frac{\alpha_2}{2} + n\alpha_1 + n\alpha_2\right) - F\left(\theta_2 + \frac{\alpha_2}{2} + n\alpha_1 + n\alpha_2\right) \right\} \right| \\
 &\quad (n : \text{整数}) \quad (8 \cdot 44)
 \end{aligned}$$

式 (8・44) より、実効率 $k_{A, B}$ は、視野輝度 L_1 、 L_2 には無関係に識別点と視標の幅のみで決まることがわかる。

線視標の存在を識別する視認閾実験の結果と対応する識別点としては、隣接する視標と背景との各々の中心点 $\theta_1 = 0$ 、 $\theta_2 = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2)$ を考えればよい。また、8.2の図8・6に示した $F(\theta)$ の値を考慮すれば、実用的には、注視点から $80'$ 以上離れた範囲はグレア源に相当する程の高輝度面でない限り、計算上は無視してよい。

8.3.2 長方形で構成された視標に対する計算法

2線視標やH視標のような長方形で構成された視標は、 $1/4$ 無限平面 Q の組み合わせとして考えられるため、この場合の実効輝度はすべて二次元実効輝度関数 $G(\theta, \varphi)$ を用いることによって計算される。 $G(\theta, \varphi)$ は式 (8・39) に示されたように $F(\theta)$ から成るため、実質的には、一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いることになる。ここでは、図8・16に示した(巾 α 、長さ β)の輝度 L_1 と L_2 の2種の長方形視標から成る格子状輝度分布の場合を例として、各点の実効輝度と実効率の計算式を導いてみる。

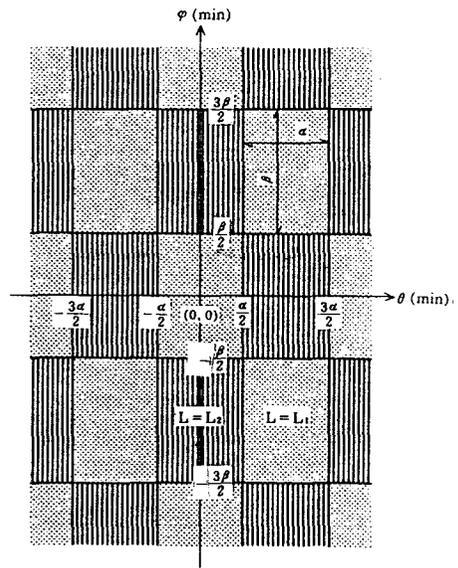


図8・16 長方形で構成された視野

まず、図8・16において($L_1 = 1.0 \text{ cd/m}^2$, $L_2 = 0 \text{ cd/m}^2$)の場合の L_1 部分による実効輝度 ${}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ を考える。 ${}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ は、中央の長方形のみによる実効輝度 ${}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ を用いて次式で示される。

$$\begin{aligned} {}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = & \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \{ {}_1L_{\alpha\beta}(\theta + 2n\alpha, \varphi + 2m\beta) \\ & + {}_1L_{\alpha\beta}(\theta + (2n+1)\alpha, \varphi + (2m+1)\beta) \} \\ & (m, n : \text{整数}) \quad (8 \cdot 45) \end{aligned}$$

また、式(8・30)、式(8・39)より、

$${}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = \left\{ F\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right) - F\left(\theta + \frac{\alpha}{2}\right) \right\} \left\{ F\left(\varphi - \frac{\beta}{2}\right) - F\left(\varphi + \frac{\beta}{2}\right) \right\} \quad (8 \cdot 46)$$

次に、図8・16において、($L_1 = 0 \text{ cd/m}^2$, $L_2 = 1.0 \text{ cd/m}^2$)の場合の L_2 部分による実効輝度 ${}_2L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ を考える。 $(L_1, L_2) = (1.0, 0)$ 、 $(0, 1.0)$ の両視野を合成すれば単位輝度の均一視野となるため、

$${}_2L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) = 1 - {}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) \quad (8 \cdot 47)$$

したがって、図8・16の視野において、点 (θ, φ) を注視したときの実効輝度 $L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ は次式によって求める。

$$\begin{aligned} L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) &= L_1 \cdot {}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) + L_2 \cdot {}_2L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) \\ &= (L_1 - L_2) {}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi) + L_2 \quad (8 \cdot 48) \end{aligned}$$

任意の2点A (θ_1, φ_1) 、B (θ_2, φ_2) での実効率 k_{AB} は、

$$\begin{aligned} k_{AB} &= \left| \frac{L_{\alpha\beta}(\theta_1, \varphi_1) - L_{\alpha\beta}(\theta_2, \varphi_2)}{L_1 - L_2} \right| \\ &= | {}_1L_{\alpha\beta}(\theta_1, \varphi_1) - {}_1L_{\alpha\beta}(\theta_2, \varphi_2) | \quad (8 \cdot 49) \end{aligned}$$

式(8・45)、式(8・46)より明らかのように、 ${}_1L_{\alpha\beta}(\theta, \varphi)$ は点 (θ, φ) と視標の(巾 α , 長さ β)とで決まることから、実効率 k_{AB} は視野輝度(L_1, L_2)には無関係に識別点と視標の形、大きさによって決まることがわかる。言いかえれば、実効率は識別のための主要点が明確でなければ正確には予測されないということである。この識別のための主要点については8.4で検討を行なうが、図8・15のような視野で輝度パターンの有無を識別する場合の識別点は各長方形の中心点と考えられる。

8.3.3 任意形状の視標に対する近似計算法

任意形状の視標には、円視標やランドルト環視標等が相当するが、ここでは、これらの視標のための近似計算法を示す。更に、円形視標の存在識別に関する視認実験結果に基づいた検討により、この近似計算法が実用上十分なものであることの検証も行なった。

8.3.3.1 近似計算法

近似計算法とは、図8・17に示すように、任意形状の視標Tを微小正方形に分割し、その中心が視標Tの内部にある正方形要素の集合Sで視標Tを近似し、各正方形要素による実効輝度の和として、視標Tによる実効輝度を近似的に求めるという方法である。したがって、近似図形Sさえ決めれば、計算手順は長方形で構成された視標の場合と全く同様である。

視標輝度 L_t 、均一背景輝度 L_b の場合の近似計算法による実効輝度を $L'(\theta, \varphi)$ 、単位輝度の近似図形Sのみによる実効輝度を ${}_sL(\theta, \varphi)$ とすると

$$L'(\theta, \varphi) = -(L_b - L_t) {}_sL(\theta, \varphi) + L_b \quad (8 \cdot 50)$$

${}_sL(\theta, \varphi)$ は近似図形Sによって決まる値であるため、上式より近似計算法の精度は近似図形の定め方に左右されるものであることが明らかである。

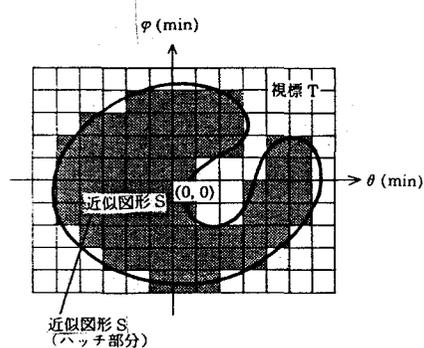


図8・17 正方形要素による視標Tの近似図形S

8.3.3.2 視標の近似

視標をどの程度にまで分割すれば、十分な計算精度の得られる近似図形Sとなるのかについての検討を行なう。近似計算法の有効性を視認実験に基づいて検討できるように、実効率計算のための主要点の明確な円形視標を例とし、大きさはすべて視角（min）で表わす。

円の半径 r に対する正方形の一辺 a の比を分割数 m とすると

$$m = r / a \quad (m: \text{整数}) \quad (8 \cdot 51)$$

この場合、 $m = 1$ の近似図形Sは、円に外接する正方形となる。その中心が円の内部に

ある正方形要素の面積を \bar{S} 、円の面積を \bar{C} としたときの面積誤差 $|\bar{C}-\bar{S}|/\bar{C}$ と m との関係、および、要素数 N と m との関係を図8・18に示した。 m が大きくなるにつれて要素数は等比級数的に増加するが、その面積誤差は0に近くなり、分割数 m が9以上では1%未満となる。

図8・19で原点より x 方向に i 、 y 方向に j 番目の正方形要素 S_{ij} を考え、単位輝度の S_{ij} のみによる点 (θ, φ) を注視したときの実効輝度を ${}_sL_{ij}(\theta, \varphi)$ とすれば、式(8・39)より、

$$\begin{aligned} {}_sL_{ij}(\theta, \varphi) &= G(\theta - ia, \varphi - ja) - G(\theta - (i-1)a, \varphi - ja) - G(\theta - ia, \varphi - (j-1)a) \\ &\quad + G(\theta - (i-1)a, \varphi - (j-1)a) \\ &= \{F(\theta - ia) - F(\theta - ia + a)\} \{F(\varphi - ja) - F(\varphi - ja + a)\} \end{aligned} \quad (8.52)$$

したがって、単位輝度の近似図形 S のみによる実効輝度 ${}_sL(\theta, \varphi)$ は、

$${}_sL(\theta, \varphi) = 4 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m {}_sL_{ij}(\theta, \varphi) \quad (8.53)$$

$$\left(i - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(j - \frac{1}{2}\right)^2 \leq m^2$$

視標輝度が L_t 、均一背景輝度が L_b の場合の近似計算法による実効輝度 $L'(\theta, \varphi)$ は、

$$L'(\theta, \varphi) = -(L_b - L_t) {}_sL(\theta, \varphi) + L_b \quad (8.54)$$

式(8.54)から明らかなように、計算値の近似度は単位輝度の近似図形 S による実効輝度 ${}_sL(\theta, \varphi)$ によって決定される。図8.20は、分

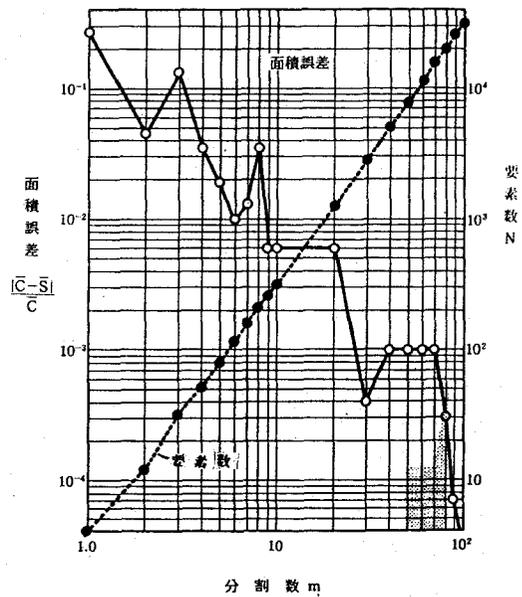


図8・18 分割数による面積誤差と要素数の変化

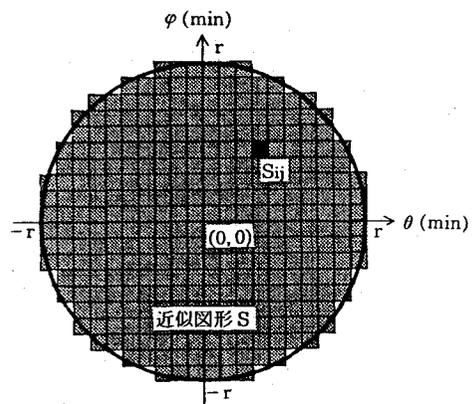


図8・19 円視標の近似図形 S
(分割数 $m=10$ の場合)

割数 m の計算値に及ぼす影響を検討した例であり、 m と単位輝度の近似図形 S のみによる円中心部での実効輝度 $sL(0, 0)$ との関係を種々の直径の場合について示したものである。 $sL(0, 0)$ の変動傾向は、いずれの大きさの円についても同様であり、分割数の小さい範囲では計算値に変動が見られるが、分割数が10以上では変動はほとんど見られない。すなわち、分割数10以上では、近似図形による計算値が円視標による実効輝度の値にほぼ収束したわけである。

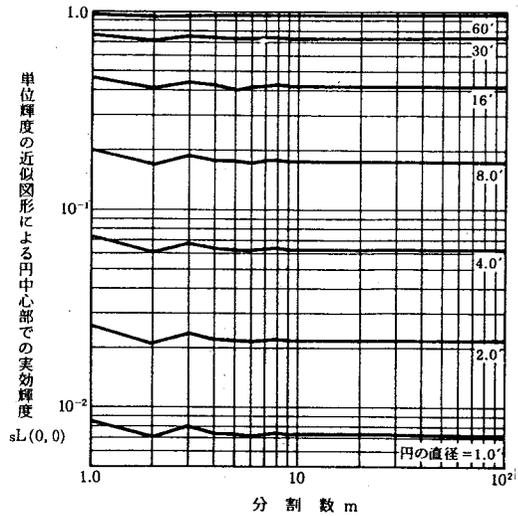


図8.20 分割数による $sL(0, 0)$ の変化

分割数 m を大きくする程、近似度は向上するが、図8.18に見るように要素数 N は等比級数的に大幅に増加し、計算量は膨大なものとなり実用上の有効性が損なわれる。本例の場合は分割数10が、計算値はほぼ収束する上に、要素数も実用上の限界であることから最適であると考えられる。図8.19に示した近似図形 S が分割数10の場合に相当し、正方形要素数 $N = 316$ 、近似図形 S の円に対する面積誤差 $|\overline{C} - \overline{S}| / \overline{C} = 0.006$ であり、ほぼ円とみなせる近似である。

8.3.3.3 円視標の実効率

円の半径を10等分する分割による近似計算が、実用上十分に有効であることを視認実験結果によって得た実効率と、近似計算によるものとを比較することで検討する。

図8.21に、7.5.1.1に示した均一輝度背景上に呈示された円視標の存在識別に関する視認閾実験により得られた円視標の実効率 $k(\alpha)$ を被験者別に示す。ただし、 α は円の直径を視角 (min) で表

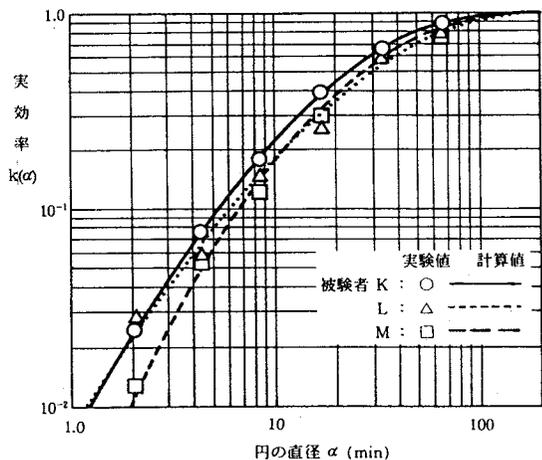


図8.21 円視標の実効率

わしたものである。

図中の曲線は、各被験者の一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いて得た近似計算による実効率である。存在識別の場合は、実効輝度が最小となる円の中心部での実効輝度と最大実効輝度 (= 背景輝度) とを弁別することで視認が行なわれている。したがって、近似計算による実効率 $k'(\alpha)$ は、式 (8.56)、式 (8.53)、式 (8.52) より

$$k'(\alpha) = \frac{L_b - L'(0,0)}{L_b - L_t}$$

$$= 4 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \{ F(-ia) - F(-ia+a) \} \{ F(-ja) - F(-ja+a) \}$$

$$(i - \frac{1}{2})^2 + (j - \frac{1}{2})^2 \leq 100 \tag{8.55}$$

L_b : 背景輝度

L_t : 視標面輝度

$L'(0,0)$: 近似計算による円中心部での実効輝度

a : 正方形要素の1辺の長さ ($a = \frac{\alpha}{20}$)

図 8.21 から明らかなように、近似計算法によって求めた実効率曲線は、図中プロットで示した実験値を非常によく回帰しており、これによって、近似計算法の有効性が確認されたものとする。

8.4 各種視標の実効率

8.4.1 視標識別のための主要点

と実効率

実効率とは、識別しようとする主要点間の実効輝度差と視標本来の輝度差との比であるが、7.5.1.3にも述べたように、形・大きさともに全く同じ視標であっても、視作業内容が異なれば

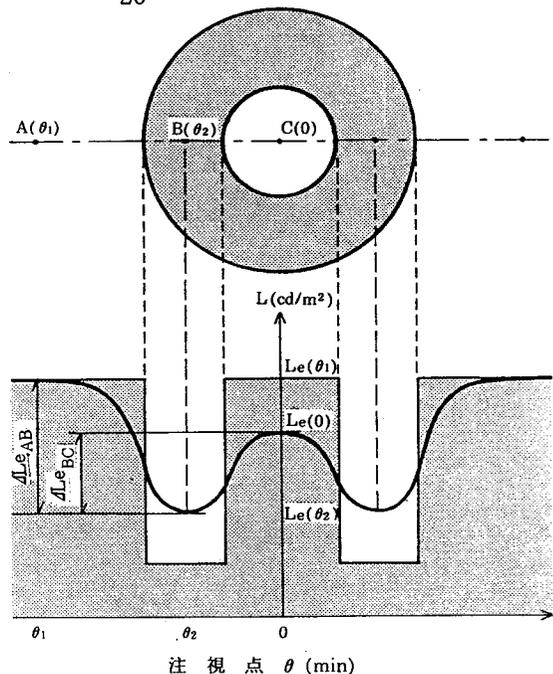


図 8.22 円環視標の実効輝度と実効輝度差 (概念図)

実効率も異なる値を取る。これは、視標識別のための主要点が視作業内容に応じて異なるためである。例えば、図 8. 22 に示した円環視標の存在を識別する場合には、最大実効輝度差を弁別すればよい。そのため識別のための主要点は図中のAとB、その時の実効率は $\Delta L_{e_{AB}} / \Delta L$ と考えられる。一方、形を識別する場合であれば円環と中心部との輝度差を弁別する必要があるため主要点はBとC、したがって実効率は $\Delta L_{e_{BC}} / \Delta L$ という具合にである。すなわち、実効率は視作業の難易度を示す数値であるともいえる。

実際には、眼球内の中心窩への散乱特性のために、同一形状の視標であっても大きさによって網膜上での形状は異なるため、識別のための主要点は上述のように単純に決められるものではない。しかし、実効輝度によって視認能力を予測するためには視作業内容に応じた実効率の算定が行なえるように、識別のための主要点の設定を可能にしておくことが必要とされる。

図 8. 23は、均一輝度背景での2線視標、H視標による切れ目方向識別と両視標の形識別とに関する視認実験結果（7. 5. 1. 2, 7. 5. 1. 3）から得た各被験者の実効率である。被験者Kによるものは、図 7. 13、図 7. 14、図 7. 16、図 7. 17に示した測

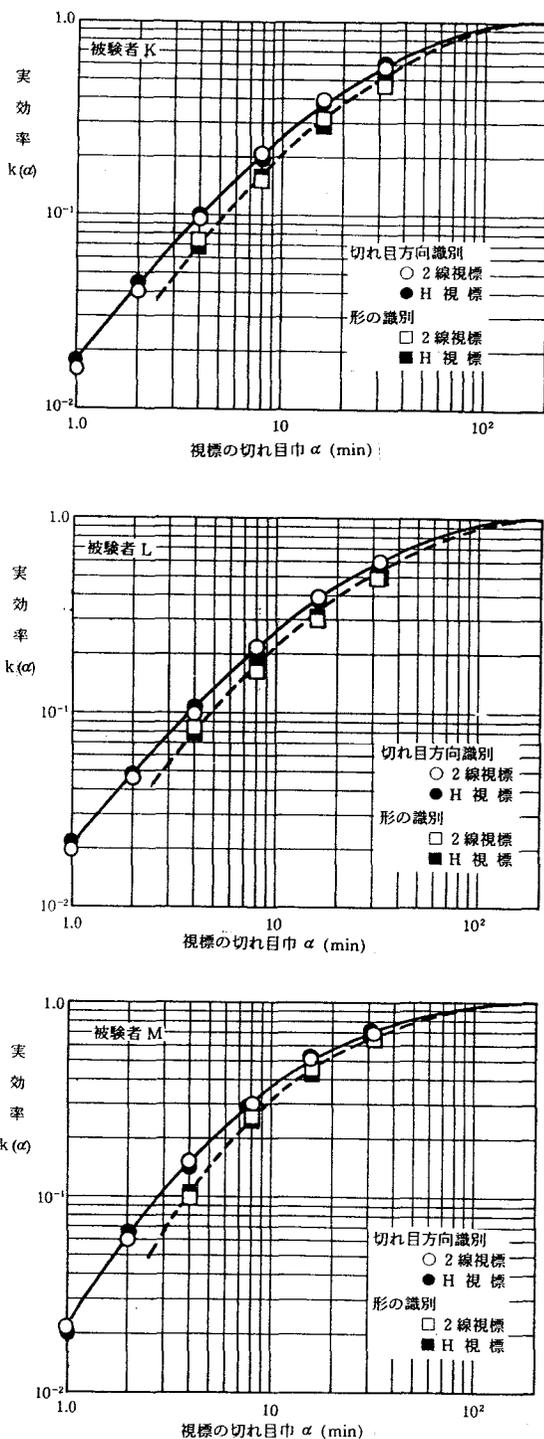


図 8. 23 2線・H視標の実効率 (実験値)

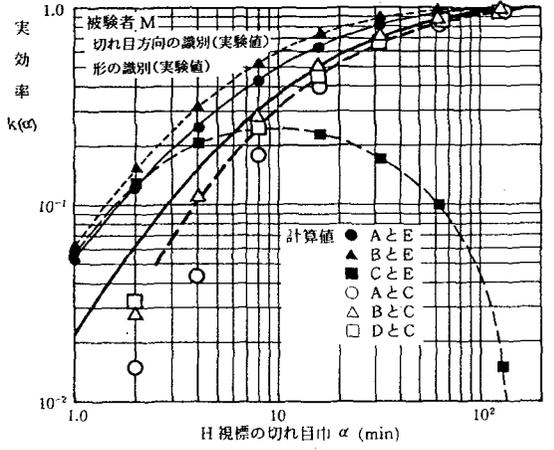
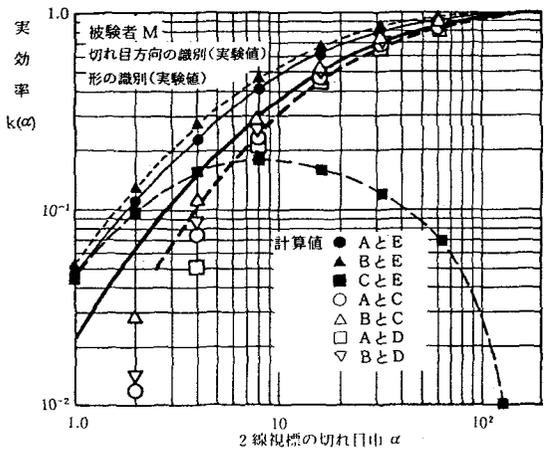
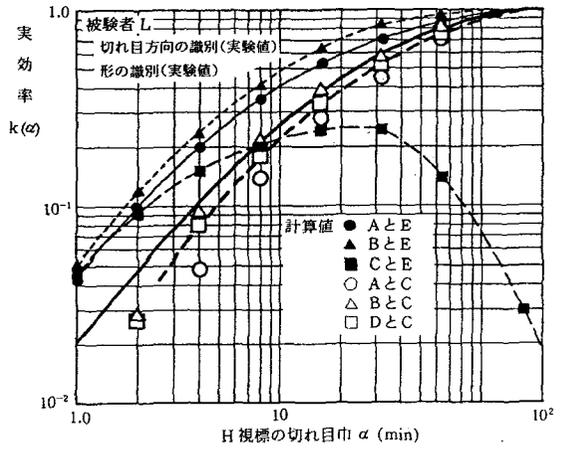
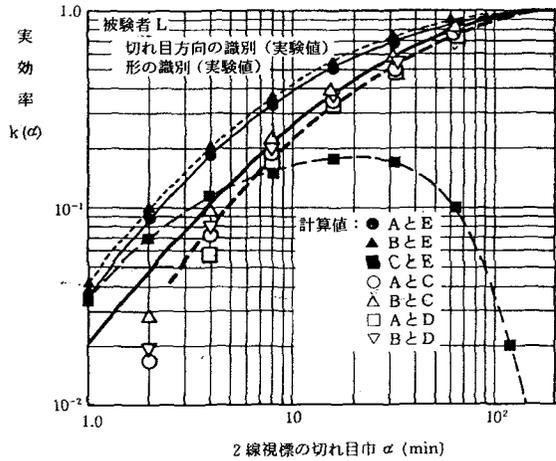
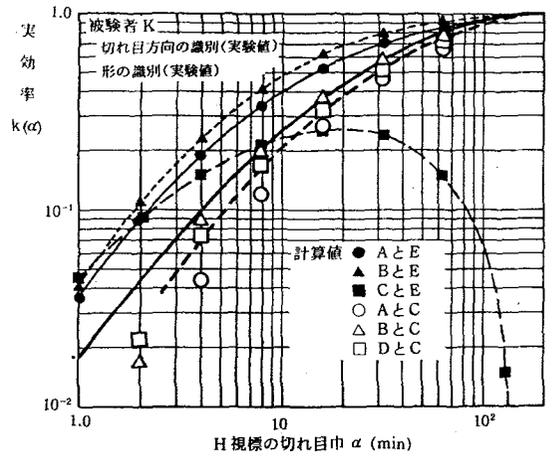
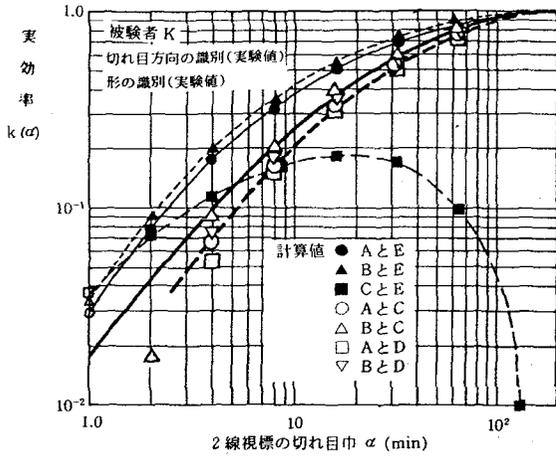


図 8・24 2線視標の実効率(計算値)

図 8・25 H視標の実効率(計算値)

定結果に対応している。いずれの被験者においても切れ目方向識別に関しては、2線視標とH視標との実効率は等しいとみなせるため、両視標におけるこの視作業は同程度のものと考えられる。形識別の場合の実効率は、いずれの大きさについても常に切れ目方向識別の実効率より小さい値となっていることから、形の識別の方が切れ

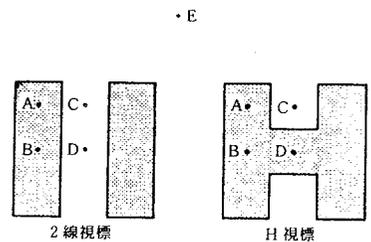


図 8.26 実効輝度の計算箇所

目方向識別よりも一段難しい視作業であることがわかる。この場合も、2線視標とH視標の両者の実効率は等しいが、これは2線視標であると判断する時にはH視標でないことが確認されており、H視標の場合も2線視標でないことを確認した上で判断しているためと考えられる。

図 8.24は、各被験者の一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いて、均一輝度背景に2線視標が呈示されている場合の各点間の実効率を計算により求めた結果を示したものである。図 8.25は、H視標による計算結果を示したものである。計算に用いた点は図 8.26に示すとおりで、背景上の点Eは、視標による散乱光の影響が無視できる視標端から $80'$ 以上離れた最大実効輝度 (= 背景輝度) の得られる点である。

両図に見られるように、2線、Hのいずれの視標についても、A、B、C の3点と背景Eとの各実効率は視標が小さくなるに従ってほぼ等しくなっていく。これは、視標が小さくなるに従って、背景からの散乱光の影響が著しくなり、視標の形状が崩れていくことを示すものである。この視標形状の崩れは、 $\theta = 0$ の近傍での変化が著しい一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ の形からも容易に推測されることである。

図中、太線で示してあるのは、図 8.23に示した各被験者の実験値を回帰した曲線であり、実線が切れ目方向識別時のもので、破線が形識別時のものである。計算値とこれらの回帰曲線との関係から、切れ目方向識別の場合は、視標を正方形に近い形で確認しながら、BとC附近の点を比較し、実効輝度の低い辺の方向に切れ目があると判断していると考えられる。形の識別の場合は、Hの横棒の有無をCとD附近の点を比較することで確認していると推測される。

実際に視標識別の手がかりとしている点は2点のみとは限らないが、要は、適切な実効率が求められる2つの主要点が設定されればよいわけである。ここに示した結果からのみでは、大きさによっても変化する複雑な視作業の場合の主要点を予測するまでには

至らない。これに関しては今後実験を重ね検討を行なう必要がある。

8.4.2 各種視標の実効率

実効輝度によって視認能力を検討するためには、視対象の実効率が必要である。そこで、視標識別のための主要点の明確なものについては、図 8.6 に示した次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いて 8.3 で示した手順で計算した値を、主要点が明確でないものに関しては、実験値を図 8.27 に示しておく。

視標の存在識別時の実効率の算出点は、視標中心点と視標から 80' 以上離れた背景上の点とである。

主要点がまだ明確にされていない切れ目方向や形の識別の場合については、実験値を次式によって次元実効輝度関数 $F(\theta)$ の場合に修正して示してある。

$$k(\alpha) = \left\{ 1 - 2F\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right\} \cdot \left[\prod_{i=1}^N \left\{ k_i(\alpha) / (1 - 2F\left(\frac{\alpha}{2}\right)) \right\} \right]^{1/N} \quad (8.56)$$

N : 被験者数

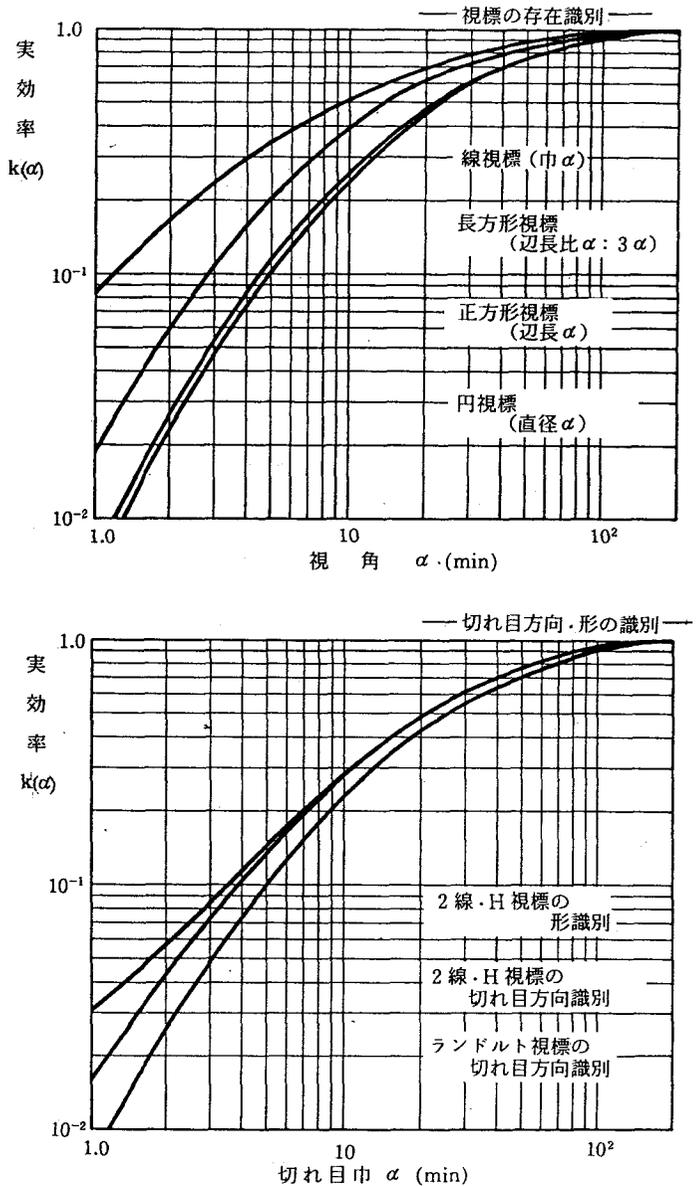


図 8.27 各種視標の実効率

$k(\alpha)$: 実験により求めた各被験者の実効率

$F(\theta)$: 実験により求めた各被験者の一次元実効輝度関数

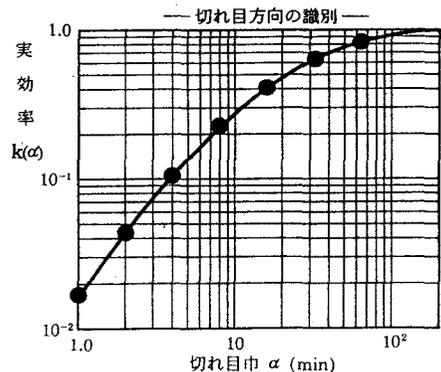
式(8.56)の $1 - 2F(\alpha/2)$ 、 $1 - 2F(\alpha/2)$ は線視標の実効率である。すなわち、この修正は線視標の実効率に対する比を等しくしたものにすぎないため、数値的に正確なものというわけではないが、実用に際しては十分有効と考える。

8.5 等視力曲線の作成法

各視標による視認能力は、その時の眼の感度と視標の実効率とで把握される。したがって、この両者によって、各視標ごとの等視力曲線が、定常順応時の場合にとどまらず、順応過渡過程におけるものも、非常に合理的に得られる。

2線・H視標の切れ目方向識別の場合の等視力曲線を図8.29、図8.30に示す。

図8.29は、定常順応時の等視力曲線である。同図は、図6.3に示した定常順序時の眼の感度に関する曲線を、それぞれ各大きさの実効率に相当する量だけ縦軸(輝度差弁別閾値、または対比閾値)方向に平行移動させることで求められる。この時の移動量は、図8.28に示す各大きさの実効率の1.0からの隔たり量 $|\log k(\alpha)|$ である(式(7.10)、式(7.11))。



2線・図8.28 H視標の実効率

図8.30は、順応過程の場合の等視力曲線である。

この場合も、定常順応時の場合と全く同様に、暗順応(図6.8、図6.9)、あるいは、明順応(図6.18、図6.19)の場合の眼の感度に関する曲線を、縦軸方向に当該視標の実効率に相当する量だけ平行移動させることで求められる。

順応過程のある時点での等視力曲線は、その時点での眼の感度の回復率 $R(T)$ を図6.21より読み取り、それに相当する感度曲線を図6.22.1、図6.23.1より得れば、その曲線を各大きさの実効率に相当する量だけ縦軸方向に移動させることで求められる。それらの図は、図8.29をその時点での回復率 $R(T)$ に相当する量だけ、縦軸方向に全体に平行移動したものとなっている。

このように、各場合の等視力曲線は、図8.27に示した実効率曲線と、6章で得られた

眼の感度に関する各曲線とを用いることで、きわめて簡単かつ合理的に作成されるわけである。

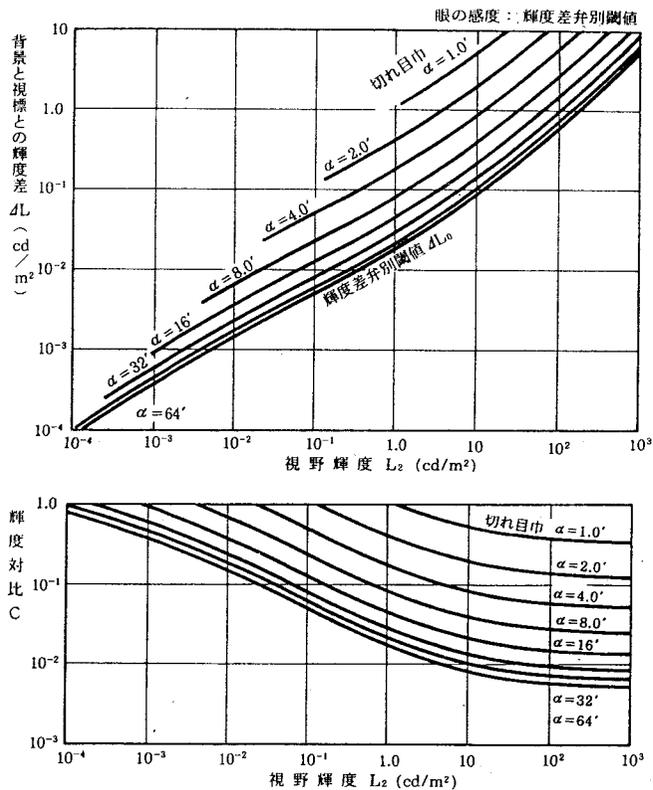


図 8.29 定常順応時の等視力曲線 (2線・H視標の切れ目方向識別の場合)

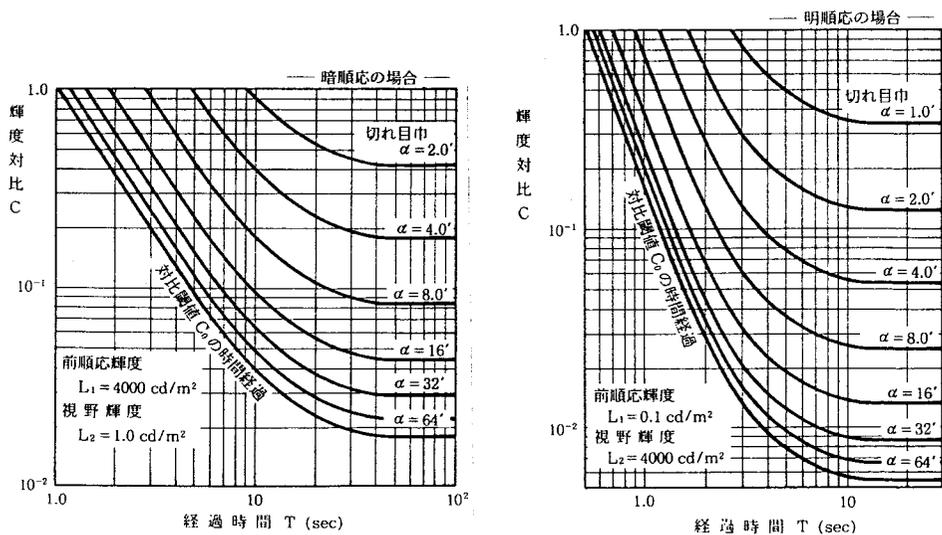


図 8.30 順応過渡過程の等視力曲線 (2線・H視標の切れ目方向識別の場合)

8.6 むすび

本章では、二次元までの全ての視対象による実効輝度の計算法とそのために必要な実効輝度関数 $F(\theta)$ 、 $G(\theta, \varphi)$ を明らかにした。また、実効輝度による視認能力把握のために必要な各種視標の実効率も具体的に示した。定常順応時・明暗両順応過渡過程における眼の感度は6章ですでに明らかにしているため、ここにおいて、視認能力の動的評価を行なうことが可能となったわけである。

参 考 文 献

- (1) 野口太郎：グレア光源による視認低下量の予測に関する研究，日本建築学会論文報告集，第315号，昭和57年，pp.83～89
- (2) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効対比を用いた視認能力の把握，日本建築学会論文報告集，第326号，昭和58年，pp.111～117
- (3) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効対比の2次元図形への拡張について，日本建築学会近畿支部研究報告集，第23号，計画系，昭和58年，pp.1～4
- (4) 伊藤克三・大月容子・野口太郎：実効輝度による視認問題の検討，日本建築学会近畿支部研究報告集，第23号，計画系，昭和58年，pp.5～8
- (5) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効対比に関する考察（その3）2次元図形への適用に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和58年，pp.287～288
- (6) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効輝度の長方形で構成された視標への適用，日本建築学会論文報告集，第338号，昭和59年，pp.99～106
- (7) 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効輝度による標準等視力曲線の検討，日本建築学会近畿支部研究報告集，第24号，昭和59年，pp.197～200
- (8) 野口太郎・井上容子・伊藤克三：各種視標への実効輝度の適用による等視力曲線の検討，日本建築学会論文報告集，第346号，昭和59年，pp.124～131
- (9) 井上容子・野口太郎・伊藤克三：視標識別への実効輝度の適用，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和59年，pp.341～342
- (10) 野口太郎・井上容子・伊藤克三：実効輝度のランドルト環視標への適用，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和59年，pp.339～340

第9章 視認能力の動的評価法

9.1 はじめに

実効輝度を視認問題の解明に導入することにより、定常順応時・順応過渡過程のいずれの場合も、評価時点での眼の感度と視標の実効率とのみによって視認能力の予測・評価が可能となる。

定常順応時および明暗両順応過渡過程における眼の感度については6章で、各種視標の実効率については8章で、それぞれ明らかにした。本章は、それらを用いて、実効輝度を導入した視認能力の動的評価法を具体的に示したものである。

9.2 視認能力の動的評価法

視認能力の動的評価は、評価時点での眼の感度と視作業対象である視標の実効率とによって行なうことができる。眼の感度は、図6・21の眼の感度の回復率図と、図6・22、図6・23の眼の感度と回復率との関係を示した図とを組み合わせることにより読み取ることができる。各種の視標の実効率は図8・27に示したとおりであり、同図に示されている以外の視標についても、識別のための主要点が設定されれば、実効率を予測することが可能である。

ここでは、これらの図を用いて、眼の感度として対比感度を用いた場合の視認能力の動的評価の手順を説明する。眼の感度として輝度差弁別能力を用いた場合も対比感度の場合と全く同様の手順で視認能力の動的な検討がなされる。

9.2.1 視標の大きさ・輝度対比の検討方法

前順応輝度を L_1 、評価対象となる視野の輝度を L_2 、 L_2 に視野が変化してからの経過時間を T としたとき、 (L_1, L_2, T) に対応する各視標での視力は以下に述べる図9・1に実線矢印で示した手順によって検討することができる。実線矢印は、 $L_1 = 10,000 \text{ cd/m}^2$ に順応している状態から $L_2 = 10 \text{ cd/m}^2$ に視野輝度に変化した後、2秒後の輝度対比 $C = 0.7$ のランドルト環視標での視力閾値を求める場合のものである。

まず、図6・21・1の眼の感度の回復率図より、 $L_2/L_1 = 10/10,000 = 10^{-3}$ 、 $T =$

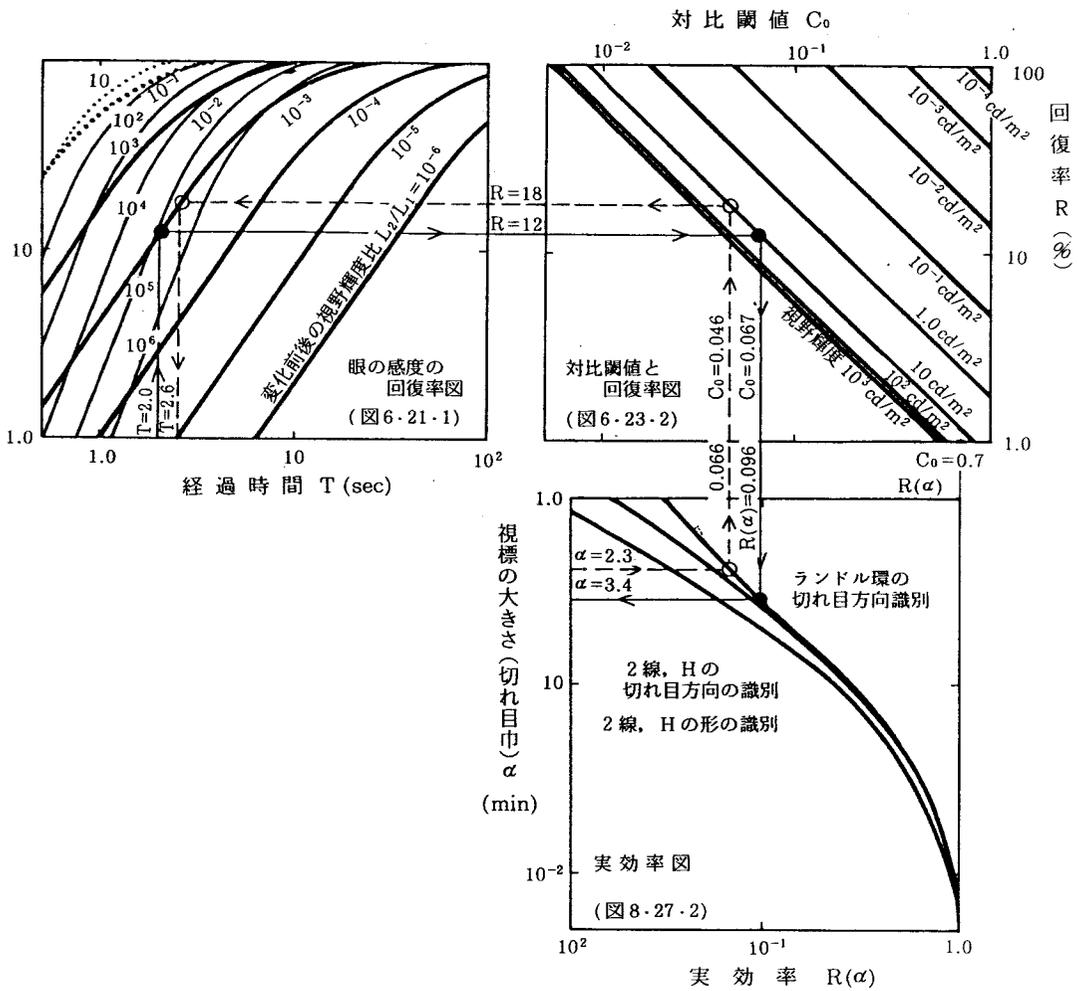


図9.1 視認能力の動的評価手順(その1)

2.0 sec に対応する回復率 R を読み取る。 $R=12\%$ である。次に矢印をそのまま図 6・23・2 の対比閾値と回復率の関係図に延ばして、同図より、 $R=12\%$ 、 $L_2=10 \text{ cd/m}^2$ に対応する対比閾値 $C_0=0.067$ を読み取る。(L_1 、 L_2 、 T) で閾となる輝度対比 C の視標の大きさを α_{th} とすると、その視標の実効率は次式で得られる。

$$k(\alpha_{th}) = \frac{C_0}{C} \quad (9 \cdot 1)$$

したがって、図 8・27 の実効率図より、実効率 $C_0/C = 0.067 / 0.7 = 0.096$ に対応する視標の大きさ 3.4 を読み取れば、それが求める α_{th} である。しかし、実用上は式 (9・1) を用いる必要はなく、検討する視標の輝度対比、この場合は $C=0.7$ を図

6・23・2のC₀軸上にとり、それに図8・27の $k(\alpha) = 1$ を合わせて図6・23・2から矢印をそのまま図8・27に延ばしてランドルト環視標の実効率曲線から $\alpha_{th} = 3.4'$ を読み取ればよい。このような手法を用いれば、Cを適当に変化させて α_{th} を検討する際には、図9・1に示す配置で実効率図を左右に動かして、各Cについて $k(\alpha) = 1$ をC₀ = Cに合わせて検討すればよく、非常に簡便である。

また、ランドルト環視標の大きさが $\alpha = 3.4'$ と定まっており、($L_1 = 10,000 \text{ cd/m}^2$, $L_2 = 10 \text{ cd/m}^2$, $T = 2.0 \text{ sec}$)の条件下で閾となる輝度対比 C_{th} を検討する場合には、まず、 α_{th} の検討の場合と同様の手順でC₀ = 0.067を得る。次に、図8・27より $\alpha = 3.4'$ に対応するランドルト環視標の実効率 $k(\alpha) = 0.096$ を読みとり、これを図6・23・2のC₀ = 0.067に合わせる。このとき $k(\alpha) = 1$ に対応しているC₀ = 0.7が求めるC_{th}の値である。

9.2.2 変化前後の視野輝度・経過時間の検討方法

図9・1に破線矢印で示したように、上記の視標の大きさ・輝度対比の検討手順を逆にたどれば、(α , C)の各視標が閾となる(L_1 , T)の組み合わせを各 L_2 について知ることができる。破線矢印は、 $L_2 = 10 \text{ cd/m}^2$ で($\alpha = 2.3'$, $C = 0.7$)の視標が閾となる(L_1 , T)の組み合わせを知ろうとするものである。図6・23・2のC₀ = 0.7 (= C)に図8・27の $k(\alpha) = 1$ を合わせたとき、 $\alpha = 2.3'$ のランドルト環視標の実効率 $k(\alpha) = 0.066$ に対してはC₀ = 0.046が、この場合に必要対比閾値である。破線矢印は、 $L_1 = 10,000 \text{ cd/m}^2$ 、すなわち $L_2/L_1 = 10^{-3}$ の場合には、 $T = 2.6 \text{ sec}$ で眼の感度が閾状態に達することを示している。L₂の検討を行なうには、C₀ = 0.046に対応する(R , L₂)のすべての組み合わせを図6・23・2から読み取り、それをL₁ごと図6・21・1にプロットして(R , T, L₂)の関係を同図中に描くことで(L₂, T)の組み合わせを知ることになり、手順が複雑である。この場合には、次に述べる図9・2に示す方法が簡便である。

図9・2に示す方法は、眼の感度の回復率図として図6・21・2を、対比閾値と回復率の関係図として図6・23・1を用いる方法である。まず、検討を行なう視標(α , C)が閾となる場合の眼の感度、すなわち対比閾値C₀を図8・27の実効率図と図6・23・2の対比閾値と回復率の関係図とを用いて上述の図9・1の破線矢印の例示の場合と同様

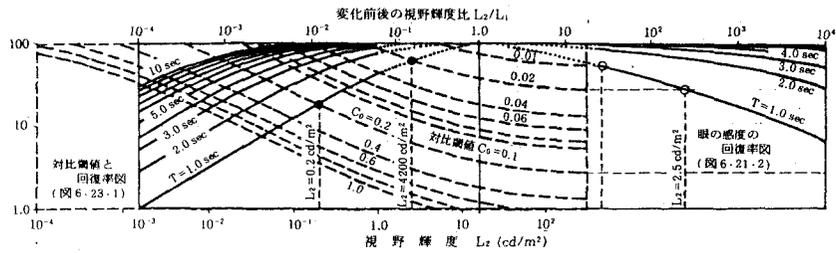


図9・2 視認能力の動的評価手順(その2)

の方法によって、あるいは、図8・27と次式とを用いて求めておく。

$$C_0 = C k(\alpha) \quad (9 \cdot 2)$$

図9・2に例示しているのは、($L_1 = 15 \text{ cd/m}^2$ 、 $T = 1.0 \text{ sec}$)の場合に、0.02、0.2の各 C_0 に対する L_2 を求めようとする場合のものである。同図には、図6・21・2の横軸 L_2/L_1 を L_2 に変換して、これと図6・23・1とを縦軸(R軸)・横軸(L_2 軸)とも一致させて重ね合わせた状態を示してある。このためには、図6・21・2の $L_2/L_1 = 1.0$ と、図6・23・1の $L_2 = 15 \text{ cd/m}^2 (= L_1)$ とを合わせて両図を重ねればよい。この状態で、図6・23・1の $T = 1.0 \text{ sec}$ の曲線と、図6・21・2の各 C_0 曲線との交点に対する L_2 を読み取れば、これが閾条件を与える L_2 である。なお、 $L_2 > 10^3 \text{ cd/m}^2$ の範囲については、まぶしさ感等による眼の感度の低下を無視してウェバー・フェヒナーの法則が成立するとすれば、対比感度は L_2 に無関係に一定であるため、図9・2に示すように C_0 曲線を L_2 軸に平行に延長することで、 L_2 の近似的な検討が行なわれる。 $(L_1 = 15 \text{ cd/m}^2$ 、 $T = 1.0 \text{ sec})$ の条件下では、 $C_0 = 0.02$ に対しては $L_2 = 2.5 \text{ cd/m}^2$ 、 $4,200 \text{ cd/m}^2$ が、 $C_0 = 0.2$ に対しては $L_2 = 0.2 \text{ cd/m}^2$ が、閾条件を与える L_2 として読み取られる。すなわち、 $(L_1 = 15 \text{ cd/m}^2$ 、 $C_0 = 0.02)$ では執務者の視線の動き等により、 L_2 が 2.5 cd/m^2 より低い暗順応、あるいは、 L_2 が $4,200 \text{ cd/m}^2$ より高い明順応が生じた場合には、 $T = 1.0 \text{ sec}$ では眼の感度は閾状態に達しないということである。 $(L_1 = 15 \text{ cd/m}^2$ 、 $C_0 = 0.2)$ では、 L_2 が 0.2 cd/m^2 より低い暗順応が生じれば $T = 1.0 \text{ sec}$ では閾状態に達しないが、明順応については L_2 が $100,000 \text{ cd/m}^2$ 越えても $T = 1.0 \text{ sec}$ の曲線と $C_0 = 0.2$ の曲線とに交点がない。したがって、この場合室内視環境でおこり得る範囲内の明順応であれば、 $T = 1.0 \text{ sec}$ では常に眼の感度は閾状態以上であるとみなせるわけである。言い換えれ

ば、($L_1 = 15 \text{ cd/m}^2$, $C_0 = 0.02$)の場合には、 L_2 は $2.5 \sim 4,200 \text{ cd/m}^2$ の範囲内に、
 ($L_1 = 15 \text{ cd/m}^2$, $C_0 = 0.2$)の場合には、 L_2 を 0.2 cd/m^2 以上に設定しておけば、変化後の視野輝度 L_2 において、 $C_0 = 0.02, 0.2$ を必要とするそれぞれの視標に対して $T = 1.0 \text{ sec}$ で視認閾以上の状態が確保されるということである。

図 9・2 に示した方法で、視野輝度 L_2 以外の検討もむろん可能であるが、読み取りの簡易さを考えると、 L_2 に関する以外の検討は前述の図 9・1 に示した方法が有利である。

9.3 印刷紙面の読み易さの動的評価法

前節で示した視認能力の動的評価方法は、すべて閾条件に関するものであるが、一般に明視性の動的評価ということになると、どの程度の見易さが得られるのかを予測することが必要である。見易さは、閾条件よりもどの程度高い視条件であるかによって決まるため、閾条件と評価対象の視条件との比率を見易さの指標とするのが適切である。⁽¹⁾⁽²⁾
 この場合、視標の大きさ α ・輝度対比 C ・背景輝度 L ・背景と視標との輝度差 ΔL の 4 者各々による見易さの指標 $\alpha/\alpha_{th} \cdot C/C_{th} \cdot L/L_{th} \cdot \Delta L/\Delta L_{th}$ ($\alpha_{th} \cdot C_{th} \cdot L_{th} \cdot \Delta L_{th}$ は、それぞれ他の条件を一定にした場合の閾値) が考えられる。

佐藤・伊藤⁽³⁾⁽⁴⁾らは、大きさ α は照明とは無関係に決定される要素であることから、 α/α_{th} が最も実用的な指標であるとして、これを見易さレベル (VEL) として採用し、VEL が視標の輝度対比や背景輝度に無関係に定まるものであることを確認した上で、表 9・1 に示す VEL と文章の読み易さとの関係を得ている。

この VEL と前節の視認能力の動的評価法とを組み合わせることで、見易さの動的評価を行なうことができる。 (L_1, L_2, T) の条件下で輝度対比 C の視標が $VEL = a$ に対応する見易さとなるためには、大きさが $a \alpha_{th}$ の視標を採用すればよい。 α_{th} は、前節の動的評価法によって得られる (L_1, L_2, T, C) に対して閾となる視標の大きさである。また、 (α, C) の視標

表 9.1 明朝体日本文の読み易さ評価に対応する見易さレベル

読み易さの評価	見易さレベル(VEL)
読 め な い	< 1.0
や っ と 読 め る	1.0 ~ 1.2
多少読みにくいが読める	1.2 ~ 1.8
苦 労 せ ず に 読 め る	1.8 ~ 2.5
読 み 易 い	2.5 ~ 4.0
非 常 に 読 み 易 い	> 4.0

($25 \leq \text{視野輝度 } L_2 \leq 1000 \text{ cd/m}^2$
 輝度対比 $C \geq 0.35$)

が $VEL = a$ に対応する見易さとなるためには、 $(\alpha/a, C)$ が閾となる (L_1, L_2, T) を設定しておけばよいわけである。

文章視作業に関しては、佐藤・伊藤、中根らの研究によって、ランドルト環の切れ目寸法の10倍を活字の閾寸法とすれば、実用上十分であることが明らかにされている。したがって、表9・1とランドルト環の実効率、および評価時点での眼の感度とによって、一般的事務所作業の明視性の動的評価を行なうことが可能である。

9.4 む す び

本章では、6章に示した順応過渡過程における眼の感度の評価図と、8章に示した各種視標の実効率図とを用いて、視認能力の動的評価を行なう手順、および、これに見易さレベルを適用して印刷紙面の読み易さの動的評価の手順を具体的に示した。これによって、均一輝度視野における視認性の動的評価法は確立されたものといえる。

参 考 文 献

- (1) 伊藤克三：見え方による作業照明の評価法，照明学会雑誌，第57巻 第1号，昭和48年，pp. 10～13
- (2) 伊藤克三：光環境の評価，日本建築学会大会環境工学部門研究協議会資料，昭和55年，pp. 17～21
- (3) 伊藤克三・大野治代・佐藤隆二：文章の読みやすさに基づく照明の評価法に関する研究—文章の読み易さの主観評価と読みやすさレベルとの関係—，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系，昭和52年，pp. 117～118
- (4) 佐藤隆二・伊藤克三・大野治代：見やすさに基づく明視照明設計に関する研究—照明の評価指標としての見やすさレベル(VEL)の有田性—，照明学会誌，第64巻 第10号，昭和55年，pp. 541～548
- (5) 伊藤克三・大野治代・佐藤隆二：文章の読みやすさに基づく照明の評価法に関する研究—文章の読みやすさとランドルト視力との関係—，日本建築学会近畿支部研究報告集，第17号，計画系，昭和52年，pp. 53～56
- (6) 中根芳一：印刷文字の見易さおよび適正照度に関する研究，日本建築学会論文報告集，第229号，昭和50年，pp. 111～120

第10章 不均一輝度視野における眼の順応輝度

10.1 はじめに

不均一輝度視野における視認能力の解明は、視認問題を検討する上に必須のものであり、これまでもいくつかの研究がなされているが、いずれも限られた実験条件に基づくものである。このため、結果から視認問題全般に適用される法則性を引き出すまでには至っておらず、視認能力を統一的に扱うための資料は得られていないのが実状である。

任意の輝度分布を持つ視環境での視認能力の評価は、均一輝度視野における眼の感度を基準として、不均一輝度視野を眼の感度に関して等価な均一輝度視野に置換することで対応できる。この等価な均一視野の輝度を順応輝度として、これと輝度分布との間の法則性を見出し、任意の輝度分布を持つ視野による順応輝度の予測を可能にしておけば9章に示した視野能力の動的評価法を用いることで定常順応時はもとより、順応過渡過程における視認能力の評価が可能となる。

これまでの研究において、不均一輝度視野を眼の感度に関して等価な均一輝度視野に置き換えるという手法を用いながらも視認能力を統一的に扱い得るに至らない最大の原因は、不能グレアにおいて眼球内の散乱光を扱いながらも、輝度分布を持つ視野においては眼球内の散乱特性のため注視点による中心窩への刺激が注視点そのものの輝度とは異なっていることを見過ごしている点にあると考えられる。このため、順応輝度の問題と網膜中心窩への刺激の問題とが常に未知のままかかわり合い、両者の間に何らかの仮定を設けない限り、得られた結果から任意の場合に適用し得る法則性を見出すことができなかったものとする。

眼球内散乱光による中心窩への散乱特性をあらわす次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を用いれば、任意の輝度分布を持つ視野による中心窩への刺激量（実効輝度）が算定可能である（8章参照）。したがって、不均一輝度視野における視認能力の問題はその時の眼の感度、すなわち順応輝度に帰着させることができる。このような取り扱いをすれば、不能グレアの問題も、逆対比視標の視認性の問題もすべて不均一輝度視野における視認問題として統一的に扱えることは5章に述べたとおりである。

視認能力が中心窩への刺激量のみで定まっているものであれば、実効輝度が等しい条

件下では眼の感度は常に等しくなり、順応輝度はその時の実効輝度を求めることで得られる。このような扱いで、その時の視認能力を実用上十分に説明することができれば、任意の輝度分布を持つ視野に対する順応輝度の予測は非常に簡便なものとなり、今日まで重要な課題として残されている不均一輝度視野に対する順応の問題が一挙に解消されることになる。

本章は、この順応輝度と実効輝度との関係について、不均一輝度視野における視認実験結果をもとに検討したものである。その内容は、上述の方法で不均一輝度視野における順応輝度を把握していくことの可能性を単純な不均一輝度視野の場合について確認したものである。その結果は、不均一輝度視野に対する眼の順応輝度、すなわち眼の感度という未解決な重要問題の解明に有力な端緒を与えるものであり、今後の研究に大きな期待を持たせるものである。

10.2 検討方法

まず、不均一輝度視野および均一輝度視野における輝度差弁別閾値を視認実験より求める。輝度差弁別閾値の等しい視野における眼の感度は等しいと考えられるため、実験結果より不均一輝度視野に等しい輝度差弁別閾値を与える均一視野の輝度を求めれば、これがその不均一輝度視野での順応輝度である。本章では、こうして得られた順応輝度と、当該不均一輝度視野に対して算定される実効輝度との関係を検討したものである。

実験装置は、図10・1に示す視野中心に直径50cmの呈示板を有する視距離56.5cmの半球状の不均一輝度視野呈示用の装置(視野装置Ⅲ)である。内装は艶消し白色拡散仕上げである。不均一視野呈示部全面が内装と同質の場合は、暗視野 $\sim 16,000$ cd/m²の範囲内で任意の視野輝度が呈示可能な均一輝度視野となる。呈示部を乳白色のスリガラスにすれば、呈示部背後の光源ボックスからの照明によりガラス部分が高輝度面となり、 $16,000$ cd/m²ま

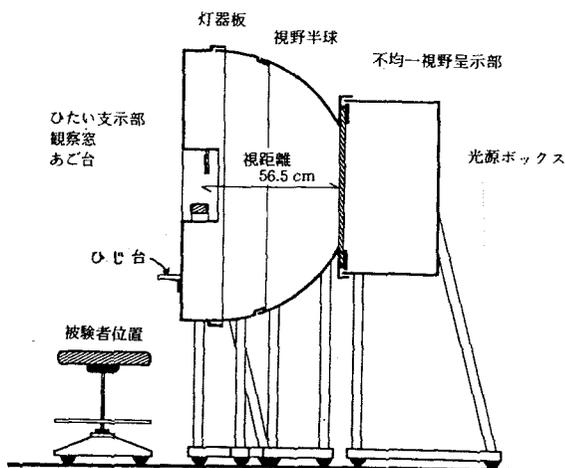


図10・1 実験装置(視野装置Ⅲ)

での高輝度面が呈示可能である。使用ランプは主に蛍光ランプ（FLR20SW）である。なお、同装置の詳細は4・2に記してある。

実験に用いた不均一輝度視野は、図10・2に示す1辺300'の正方形高輝度面を有する視野である。高輝度面中心と視標呈示位置中心との距離は250'に、高輝度面輝度 L_G と背景輝度 L_b との差 ΔL_G は表10.1に示す6とおりに設定した。

被験者は表6・1に示した青年男子Q、R、Sの3名で、一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ および輝度差弁別閾値曲線は6章において各被験者ごとにすでに得られている。

用いる視標が十分小さければ、高輝度面からの散乱光の影響は視標面上で一定であるとして扱うことが可能なため、視標には1辺8.2'の写真焼き付けにより作成した正対比の正方形視標を用いることにした。同視標の輝度対比は表10・2に示すとおりである。

実験は、呈示視標が閾となるように、被験者が視野輝度を調整するという方法で行ない、同視標による均一輝度視野における閾値測定もあわせて行なった。

10.3 順応輝度と実効輝度

図10・3に正方形視標による被験者Qの実験結果例を示す。図中の○印のプロットは、均一輝度視野における結果である。破線で示したその回帰曲線は同被験者の輝度差弁別閾値曲線を正方形視標の実効率に相当する量だけ縦軸正方向に平行移動したものである。

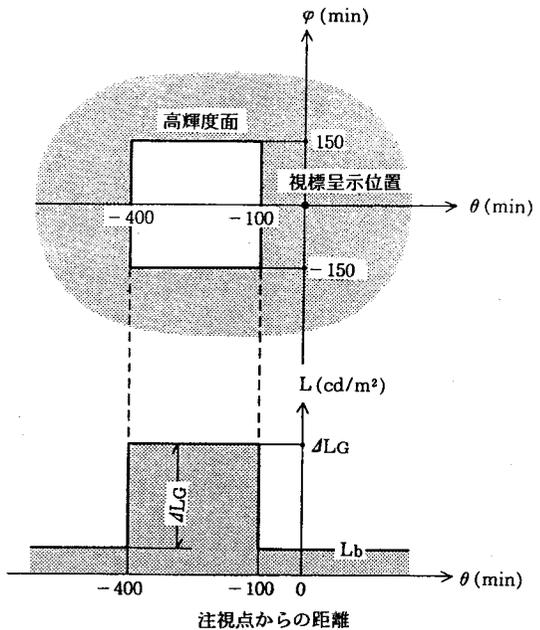


図10・2 設定視野

表10.1 設定輝度 ΔL_G

単位； cd/m^2

1200	2000	2800
5000	7000	12000

表10.2 正方形視標の輝度対比

辺長；8.2'

.92	.79	.71
.57	.41	.29
.20	.14	.10
.085	.071	.050
.041	.030	

高輝度面による実効輝度が視標面上で一定であるとみなせば、視標と背景との輝度差 ΔL は高輝度面の有無に関係なく一定である。したがって、図10・3は形・大きさともに一定の視標による測定結果であるため、同図中で ΔL の等しい視野での

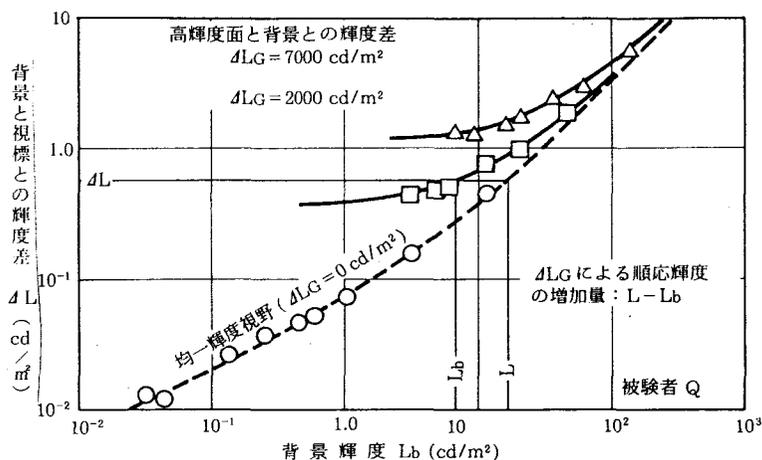


図10・3 不均一輝度視野における輝度差弁別閾値

眼の感度、すなわち順応輝度は等しい。なお、 ΔL_G は高輝度面輝度 L_G と背景輝度 L_b との差である。

図中に示すように、 ΔL に対応する順応輝度は、それに対応する均一背景の輝度である。このとき不均一輝度視野の順応輝度を背景輝度 L_b から L へ増加させているのは高輝度面の存在である。図中の $\Delta L_G = 2,000, 7,000 \text{ cd/m}^2$ の各場合の回帰曲線は、各高輝度面が順応輝度 L に及ぼす影響は背景輝度 L_b には無関係にそれぞれ一定であるとして、式(10・1)を満たすように引いたものであるが、実験結果とよく一致している。

$$L - L_b = \text{const} \quad (\Delta L_G = L_G - L_b : \text{const}) \quad (10 \cdot 1)$$

他の条件、他の被験者についても同様の傾向がみられた。

図10・4は、このように ΔL_G に対して唯一つ決まる $(L - L_b, \Delta L_G)$ の関係を両対数軸上に各被験者ごとに示したもので、傾き 45° の回帰直線は結果を非常によく説明している。したがって、同図より両者の間には次の関係が成立していると考えられる。

$$\log(L - L_b) = \log \Delta L_G + C \quad (C : \text{const}) \quad (10 \cdot 2)$$

$$\therefore L - L_b = a \cdot \Delta L_G \quad (a : \text{const}) \quad (10 \cdot 3)$$

ここで、中心窩への刺激量、すなわち実効輝度のみによって視認能力は把握されると仮定すれば

$$L = L_b + L_G \cdot c L_e \quad (10 \cdot 4)$$

$c L_e$: 高輝度面輝度 1.0 cd/m^2 あたりの注視点での実効輝度

したがって、式(10・3)の定数aは次の値を取ることになる。

$$a = {}_cL_e \quad (10 \cdot 5)$$

$$= 2 \{ F(100) - F(400) \}$$

$$\{ F(0) - F(150) \}$$

$$(10 \cdot 6)$$

$F(\theta)$: 一次元実効輝度関数

図10・5は、被験者Qの一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ を $\theta > 0'$ の範囲について両対数軸上に示したもので、図中のプロットは視認実験によって得た値である。視認実験では $0' < \theta \leq 50'$ の範囲のデータを取るのが限界であり、同図においても $\theta > 30'$ の範囲は回帰曲線を外挿したものであるが、これを用いれば、

$${}_cL_e = 0.005 \quad (\text{cd}/\text{m}^2)$$

となる。したがって、被験者Qの場合に式(10・3)は

$$L - L_b = 0.005 \cdot \Delta L_G$$

となる。これは図10・4に示した $(L - L_b, \Delta L_G)$ の関係と非常によく一致しており、他の被験者についても同様の結果が得られている。

以上の結果より、本実験視野における順応輝度は中心窩への刺激量、すなわち実効

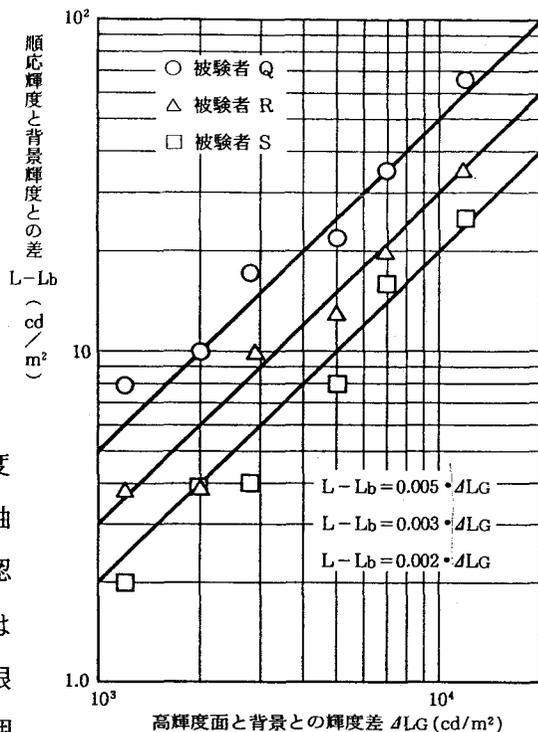


図10・4 高輝度面による順応輝度の上昇

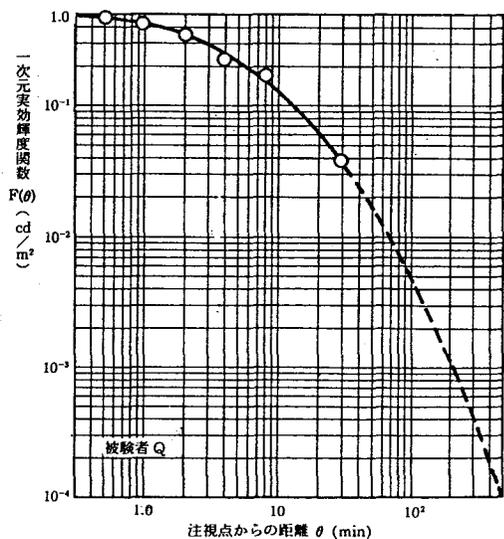


図10・5 一次元実効輝度関数 $F(\theta)$

輝度のみによって決まると考え得るものといえる。

10.4 今後の展望

本章での考察によって、不均一輝度視野における順応輝度を実効輝度によって把握していくことの可能性が確認された。したがって、今後、高輝度面の大きさ・位置・個数を変化させて同様の実験を行ない、いずれの条件下においても順応輝度が実効輝度によって把握されることが確認されれば、任意の輝度分布を有する視野における順応輝度の問題が解明されることになる。

ただし、この検討を進めていく上には、一次元実効輝度関数 $F(\theta)$ の $|\theta| \geq 50'$ の範囲の精度を上げておくことが必要であり、これが今一つの問題点として残されている。これに関しては、視認実験より直接求められる範囲の限界を越えているため、人間の眼に代替する単レンズを用いた光学測定が有力な一手段であろう。あるいは、順応輝度が実効輝度のみによって、すなわち中心窩への刺激量だけで決まるように不均一輝度視野における視認実験結果を対応させながら $|\theta| \geq 50'$ での $F(\theta)$ を決めることで矛盾が生じなければ、これも一手法であると考えらる。

参 考 文 献

- (1) P. Moon, D. E. Spencer : Light Design (黒沢源之助校閲), 技報堂, 第8章, pp. 176 ~ 202
- (2) P. Moon, D. E. Spencer : The Visual Effect of Non-Uniform Surrounds, Journal of the Optical Society of America, Vol. 35 No. 3, 1945, pp. 233 ~ 248
- (3) 蒲山久夫・本橋昭男・佐藤麗子 : 明視照明のための基礎的研究, 照明学会雑誌, 第46巻 第3号, 昭和37年, pp. 10 ~ 24
- (4) 伊藤克三・中根芳一 : 不均一な背景輝度が見易さに及ぼす影響について(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 計画系, 昭和46年, pp. 57 ~ 58
- (5) 成定康平・猪原誠・武内徹二・吉村義典 : 光環境における明るさ, 電気学会研究会資料, 光応用・視覚研究会, 昭和57年, pp. 27 ~ 39
- (6) 小林朝人・山下俊雄・村上泰治 : 中心窩順応輝度に関する研究(その2) 順応性状の概略, 日本建築学会論文報告集, 第324号, 昭和58年, pp. 117 ~ 123

第11章 両眼視による視環境の評価

11.1 はじめに

視環境を快適性および視認性のいずれの面から評価する場合であっても、その評価は、眼への刺激とその時の眼の感度（順応輝度）できまる。視環境の場合、視覚は刺激に対して即応するため、これを実態に即して評価しようとするれば、視線の動き等に伴う視野の変化、そのために生じる視野輝度の変化による順応の変化がある。このため、その評価のための条件設定ならびに評価は非常に難しい。

これまでの室内視環境評価においては、このような視環境の特性を考慮せず、特殊な場合を除けば、すべて定常状態で取り扱われており、在室者の実態とは遊離した現状の評価法には大きな問題が残されていた。これが視環境の動的な把握の必要なゆえんであり、本論文では、その取り扱いの複雑さのために放置されてきた視環境の動的評価法をまぶしさ感、視認能力の両者について提示してきた。

視環境評価にあたってのいま一つの問題点として、実状の視認では両眼視であるということがあげられる。これまでの視認実験では、本論文で示した動的評価法も含めて、この問題には明確な考慮が払われていないのが実状である。すなわち、眼への刺激が左右で異なっている場合に、これをどう扱うかについての研究はなされていないのである。ただし、ここでいう両眼視の問題とは、立体感・遠近感についてのものではなく、対象はあくまでも平面視対象である。例えば、左眼のみで見ると光幕グレアが生じているが右眼のみで見ると生じていない視対象を、両眼で見た場合の視認性はどのように予測すればよいのかということに関してのものである。

一般には、眼への刺激は輝度計という一眼でとらえ、視認は両眼で行なう。この際、視距離が両眼間の距離に比し十分大きい場合には問題は生じないが、視距離の小さい場合には両者の視方向には無視できない差が生じる。したがって両眼視が問題となるのは、主に、視距離の小さい机上面作業での視認性評価の場合である。

机上面上での視作業の場合、視距離約30cmに対し、両眼間の間隔6～7cmは注視点に対し角度として約13°に相当し、両眼間の中央に設定された輝度計の視方向とは両眼それぞれ約6.5°の距たりがある。このために生じる輝度計による測光量と眼への刺激との間

の不整合によって、測光により推定される視認性の評価値と被験者の視認による評価値との間に顕著な差の生じることが十分予測される。その上、視作業者は注視点に応じて頭を回転・移動させると考えられるが、頭の移動を無視しても回転によって2眼各々の作業面上を走査する視線は一点に集まらない。したがって、両眼視を考える場合には左右両眼の位置をそれぞれ固定することはできない。

机上面作業の視認性評価に際しては、今日、作業域中心への視線の方向と視距離を一定とし、この視線を固定した条件の下での評価を行なうのが通例となっている。その作業面法線に対して25°という設定視方向は、Allphin⁽¹⁾⁽²⁾らの行なった視方向の調査結果によるものである。この調査には事務室や小学校の教室での作業者の姿勢を側方から写真に撮り、それを分析するという方法がとられており、得られたものは作業者の側方からみたプロフィール角であって、視線そのものの方向ではない。しかも、その中には特異な場合、例えば、ほおづえをついている者や机にもたれかかっている者などのデータもすべて含まれており、正常な視作業姿勢に対する調査結果ではない。その後、この方向での研究はなく、今日もその時の調査結果が用いられている。⁽³⁾

事務室・教室等、机上面での視作業性が照明要件として重視される室での照明の評価に際しては、これまでのような視線の設定では作業者の視作業性の予測につながらない場合の多いことが十分に予測される。特に光幕グレアの生じやすいような作業条件の場合には、視線方向の6°余りの差異は視認性の予測値に誤差を生じさせる。これが、これまでの基本的な視認実験結果と実際の両眼視による机上面作業での評価値とのくい違いの主要な原因であろう。

両眼視による視認性評価は決して左右各々の眼の視線を的確にとらえることのみで解明されるものではなく、それに関連した数多くの問題が残されていることはいうまでもないが、両眼視を扱うための基本はまず視線の方向の実態を知ることである。

本章は、被験者による視線方向の測定結果と、この結果に基づく若干の視認性検討結果についてのものである。今後、更に測定結果の精度を高め、これを机上面での作業性の正確な評価に生かしていく方向の研究が望まれる。

11.2 視線方向の測定

両眼視であることが最も問題となるのは、机上面での視作業性評価の場合であると考

えられるため、この場合に限って視線の測定を行なった。

11.2.1 測定方法

測定は図11・1に示す条件で行なった。水平な机に対して正常に位置した被験者が、机上面に定められた各点を見る時の視線を方位と入射角とで測定する。測定点は、机端から前方9cm～39cm、左右それぞれ25cmの範囲内の計12点につき行なった。机高さ70cm、椅子の座高さ38.5cmである。

被験者は、右利き12名、左利き1名の計13名の男子学生であり、各被験者に対し、左右両眼につき各3回の測定を行なった。測定に際し、被験者は自然な姿勢で指定された点を見ることだけを求められ、その他何らの指示は与えられない。

視線の測定方法には精粗各種の方法が考えられるが、測定対象そのものがそれほど固定したものではなく、測定の度ごとにかかなりの変動が予測され、測定中においても視線が多少動くことを考慮すれば、それほどの測定精度を必要としない。したがって測定方法は簡易にしかも必要な精度の得られるものを選定した。

本測定で使用した方法は次の通りである。

測定具は、長さ20cmの細い直棒の一端に針を、他端には糸穴を取りつけた至って簡単なものである。測定に際しては、指定された位置に針先を固定した後、被験者が左右各々の眼の視線方向に棒の向きを一致させる。その時の棒の方向は、棒の糸穴から吊した錘による棒先端の机上面への正射影から読み取る。あらかじめ各測定点について方位・入射角の読み取り線を机上に記入しておくことにより、本研究に必要な精度で視線方向の能率的な測定が可能となった。

11.2.2 机上面視作業における視線の方向

この種の測定では、測定値のばらつきの程度の確認も必要であるので、右利きの被験者12名による測定値の平均値 \bar{x} と標準偏差 σ を表11・1に示した。

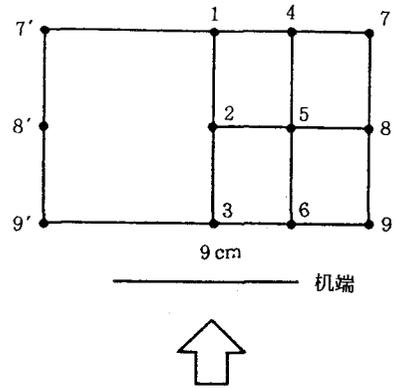


図 11・1 視線の測定条件

方位は正面から左をマイナスで示してある。表中に見られるとおり、測定値にはかなり大きなばらつきがあるが、これはこの種の実験における測定値としては当然ともいえる。測定値としては平均値を用いることになるが、その際、実際にはこの程度のばらつきがあることを心得ておかねばならない。なお、後に述べる理由により、左利きの被験者1名での測定値は本表から除外してある。

図11・2に、表11・1の測定値 \bar{x} を用いて、右利きの被験者の右眼の視線方向を図表化したものを示す。本図作成

にあたって用いた測定値は1～9の点についてのものである。これらの点を右・左の眼でみたときの視線方向を用い、左右の眼の視線方向は中心線に対して各々対称であるとみなし、右眼の全作業面への視方向の図として作成した。すなわち、左眼での視線の方位、入射角図を中心線に対して対称にしたものを右眼による左半作業域への視方向とみなし、これを右眼による右半作業域での図と組合わせて図11・2を作成した。7'～9'の点の測定値はその際の参考資料としてのみ用いた。

上記の方法で両図を中心線で合わせたところ、方位線、入射角線に顕著な喰違いが生じた。両図を連続させるためには、左右の図とも中心線から実長で約1cmそれぞれ左、右にずらせる必要があった。このことは、被験者は中心線に正対して位置しているにもかかわらず、測定時には無意識に眼を左へ約1cm動かして見ているためと推定される。被験者の中の左利きの1名についての測定値を検討したところ、この1名の値はこれとは逆

表 11.1 視線の方向の測定結果

		右 眼		左 眼	
		\bar{x} (°)	σ	\bar{x} (°)	σ
方 位	1	- 4.7	2.0	5.8	2.4
	2	- 6.0	2.3	8.2	3.2
	3	-15.8	5.9	19.1	7.2
	4	14.0	3.4	24.7	4.0
	5	18.8	4.8	32.3	4.9
	6	32.2	8.1	53.2	8.4
	7	27.3	4.8	35.9	3.8
	8	35.7	7.0	46.9	7.3
	9	54.4	8.9	68.4	9.1
入 射 角	7'	-35.4	3.4	-27.4	3.3
	8'	-47.2	5.2	-36.7	5.5
	9'	-66.6	8.0	-53.6	8.1
	1	41.0	3.5	40.5	3.9
	2	30.5	3.7	30.4	3.6
	3	15.7	3.1	15.0	3.6
	4	39.0	4.7	39.3	4.3
	5	30.1	3.6	32.2	4.9
	6	17.6	3.0	21.0	3.5
7	44.3	4.2	45.2	4.1	
8	37.0	4.0	38.2	4.0	
9	27.6	3.0	30.5	3.1	
7'	44.6	3.3	44.3	3.6	
8'	37.0	4.5	35.7	4.3	
9'	29.8	8.7	26.9	3.2	

の傾向をみとめることができた。したがって、同図の作成にはこの1名を除いた12名の被験者による測定値を用いている。ただし、図11・2は作業者は中心線に正対しているものとして作成してある。このため作業者の視線は、作業者が正対していると考えている正面より右利きの人に対しては左方へ、左利きの人に対しては右方へ本図を1 cmずらして読み取ったものが実態に近いと考える。

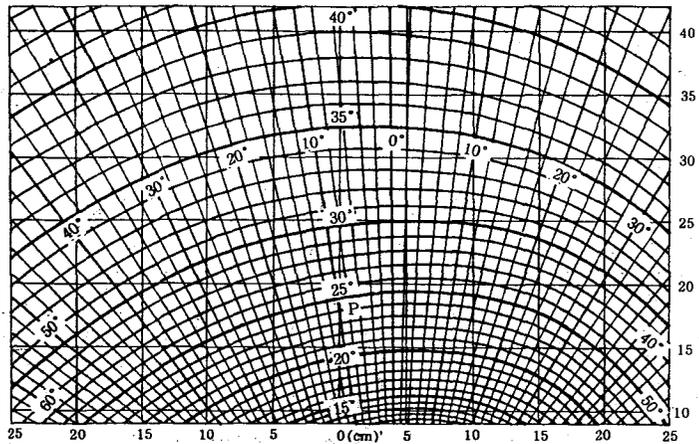


図 11・2 視線の方向 (右眼)

この結果と従来の設定方向との差異を明らかにするために示したものが図11・3である。図11・2の中心線上入射角25°の点から、視線上距離30 cmに視点を固定した場合の視方向を図11・2と同様、方位、入射角で示したものである。両図の間には顕著な差異が認められる。本測定結果では方位角は全般に視点固定の場合より小さく、入射角も前方に対しては小さくなっており、注視点に対して頭を移動させることの影響が測定結果に明確にあらわれている。

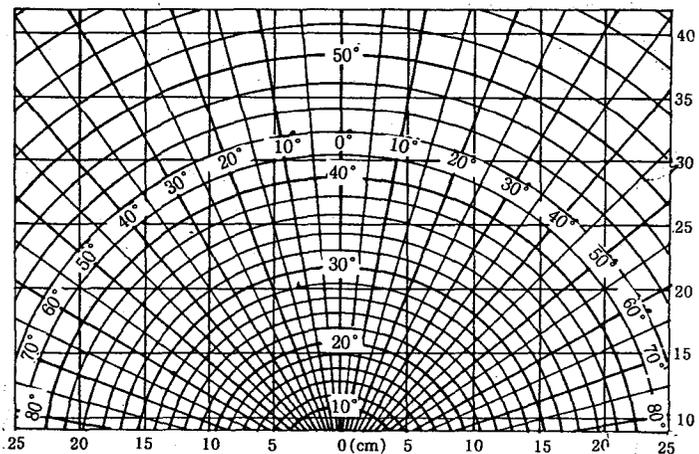


図 11・3 視点固定したときの視線方向

11.3 光幕グレアに対する灯器位置の検討

図11・4、図11・5は、机上に設定した各点に光幕グレアを生じさせる灯器の位置を天井面に示したもので、設定作業面から天井面までの高さ178.5 cmの場面の図である。机端から前方10 cm～40 cm、中心線の左右各25 cmの範囲に設定した5 cm間隔の方眼の各点を

通り、視方向に対して正反射方向に向かう直線の天井面との交点を求めて作成したものである。図11・4は、図11・2に示す右眼に対する視方向の実測値によるものであり、図11・5は、図11・3に示す視点固定の場合の視方向によるものである。

光幕グレアを生じさせる天井面の灯器位置は、視点固定の場合には机上の方眼と相似で大きく広がっていて、右眼に対する本測定値によるものと大きな差異がある。天井面に破線で示した位置に灯器のある場合を比較すれば、この灯器によって作業者が光幕グレアの障害を受けるおそれのある作業範囲が、これまでの視線の設定では実状よりも過小に見積られていたことがわかる。また、光幕グレアが生じるおそれのある天井面の灯器設定範囲は過大に見積られていたといえることができる。

図11・4は、光源による光幕グレア防除のために有効に利用することができる。

11.4 机上面上の輝度対比の測定例

本測定による視線方向と視点を固定した場合の視線方向との差異が、実際の照明条件下での視認性の予測にどの程度の差となつてあらわれるのかを明らかにするため、同一条件下での机上面上の輝度対比の比較測定を行なった。

測定にあたっては測定対象の選定が重要である。拡散反射性の強い対象では視線方向の如何にかかわらずほぼ一定の対比が得られるが、このような場合は光幕グレアの検討の必要のない場合である。したがって測定対象には反射光幕の生じやすい対象を選ぶことになる。対象としては、佐藤・伊藤らが見易さ評価のための標準視標として用いている2種類の表面性状をもつ白黒視標⁽⁴⁾と、Brüel社製Luminance Contrast Meterに附属してある一組の白黒面を選定した。

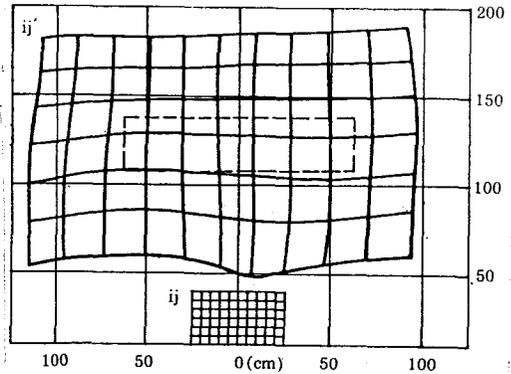


図11・4 机上面に対する天井の正反射位置（右眼）

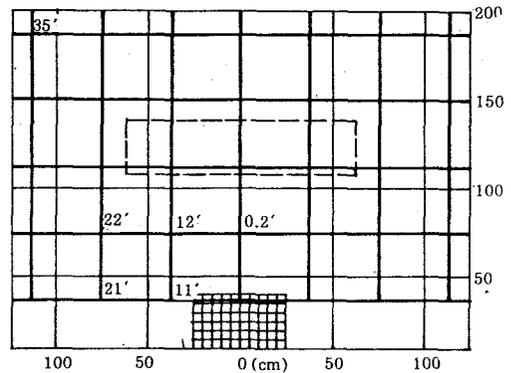


図11・5 机上面に対する天井の正反射位置（視点固定）

対比測定には、上記輝度対比測定器を使用した。本対比計は視点を固定した場合に対応し、机端からの距離に応じて自動的に入射角が設定されるようになっているが、本測定では計器部分のみを使用し、方位と入射角は手動で設定して使用した。

机上面の測定範囲、および測定点と測定面から天井灯器取り付け面までの高さは、前項の光幕グレアの検討の場合と同様である。

測定例 I (前方に光幕源となる灯器が存在する場合)

図11・6に示す製図室において、机上O点を中心に左右各25cm、前後各10cmの範囲につき対比の測定を行なった。天井に設置されている照明器具は下面開放埋込形のもので、蛍光ランプ (FLR40SW) 3灯が組み込まれている。

対比の変化が最もよくみられた計器付属のサンプルによる測定結果を本論での実測視線方向によるものと視点を固定した場合の視線方向によるものとを対照させて図11・7、図11・8に示す。本例のように光源の正反射が作業面中央で生じる場合には、本論での実測視線方向によれば、1灯

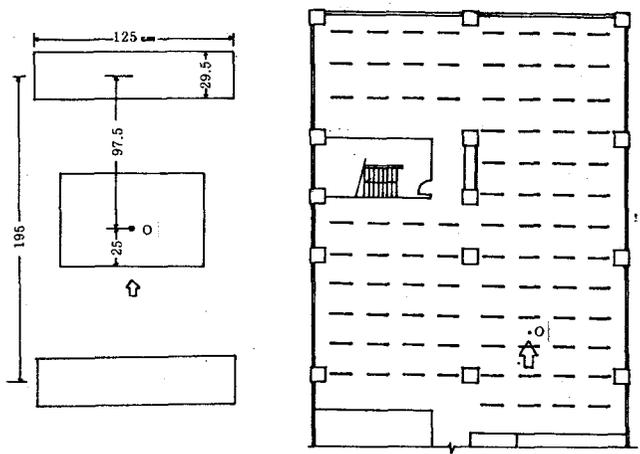


図 11.6 対比の測定条件 (測定例 I)

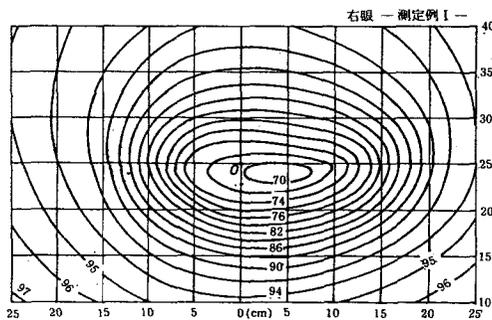


図 11.7 机上面上の輝度対比 (右眼)

器からの光幕による対比の減少範囲が視点固定の場合に比し顕著に大きくあらわれ、これに隣接する灯器の影響は無視し得ることを示している。

図11・9は、図11・7 (右眼) に、図11・7を左右対称にしたもの (左眼) を重ね、左右両眼による最大対比の分布 (実線) を描いたものである。両眼視の取り扱い方は現在のところ不明であるが、仮りに、左右何れかの有利な条件で視対象を視認しているも

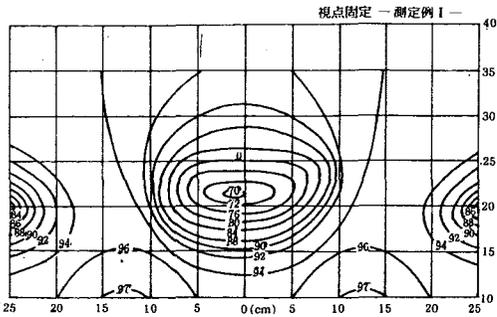


図 11.8 机上面上の輝度対比 (視点固定)

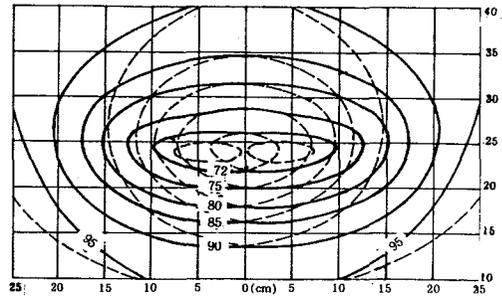


図 11.9 左右両眼の輝度対比の合成

のであるとすれば、こうした図によって両眼視による視認性の検討も可能である。

測定例Ⅱ (前方に光幕源となる灯器が存在しない場合)

室内面黒色拡散仕上げの実験室内で、図 11.10 に示した位置において机上 O 点を中心に測定を行なった。取り付け灯器は、蛍光ランプ (FLR40SW) 2 灯からなる露出逆富士形の天井じか付け式のものである。

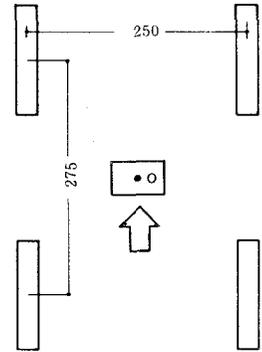


図 11.10 対比の測定条件 (測定例Ⅱ)

計器付属サンプルによる測定結果を図 11.11、図 11.12 に示す。図 11.11 の本論での実測視方向による結果は、図 11.12 の視点固定の場合に比し、対比の低下は作業範囲端に認められるのみである。また図 11.7 の前方に光幕源となる灯器が存在する場合に比しても対比の高くなる作業範囲が広くあらわれており、視作業に対する本照明条件の有利さが非常に顕著に認められる。

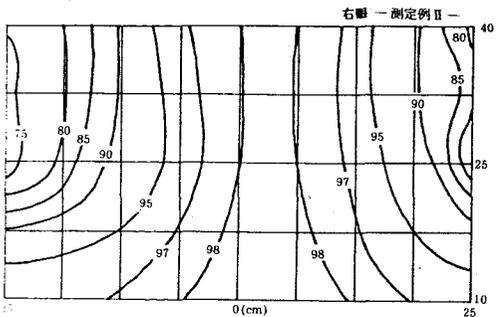


図 11.11 机上面上の輝度対比 (右眼)

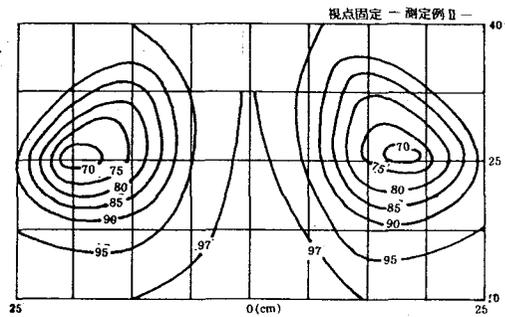


図 11.12 机上面上の輝度対比 (視点固定)

両測定結果から、作業面に対する光源の位置の視作業への影響は、これまでの視線設定で考えられてきたものより更に大きいのが実態であるといえることができる。

11.5 む す び

両眼視による視認性評価の基礎として、作業面の各点に対する左右両眼の視線方向の実態を把握し、これを用いて、光幕グレアに対する灯器位置、ならびに、机上面上での輝度対比の低下に関しての検討を行ない、両眼視の問題の重要性を明確にした。

両眼各々の視線方向を把握することによって、視対象の反射特性が与えられれば左右両眼への刺激からそれぞれの眼の視認性の予測は可能である。しかし、これをどのように総合して判断しているかについての検討が今後の大きな研究課題である。

参 考 文 献

- (1) W. Allphin: Sight Lines to Desk Tasks in Schools and Offices, Illuminating Engineering, Vol. 58, 1963, pp. 244 ~ 249
- (2) C. L. Crouch and J. E. Kaufman: Practical Application of Polarization and Light Control for Reduction of Reflected Glare, Illuminating Engineering, Vol. 58, 1963, pp. 277 ~ 291
- (3) Illuminating Engineering Society Code for Interior Lighting, Journal of the Illuminating Engineering Society (London), 1973, pp. 20
- (4) 伊藤克三・太野治代・F. Befekadu・佐藤隆二: 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, 16号, 計画系, 昭和51年, pp. 33 ~ 36
- (5) 伊藤克三・大月容子: 両眼視による視認における問題点について, 昭和58年度照明学会全国大会講演論文集, pp. 126
- (6) 伊藤克三・大月容子: 両眼視による視認性評価について, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第23号, 計画系, 昭和58年, pp. 9 ~ 12

結 語

本論文は、視環境評価の指向すべき方向を明確にし、従来の室内視環境の評価法では放置されていた眼の順応の時間的変化を評価条件の中に組み込むことにより、作業者の視線の動きに伴う視野輝度変化に対応した動的評価法に関して行なった一連の研究についてのものである。

その概要は、作業者の視線の動き・昼光光源の変動等に伴う視野輝度変化の実態把握に基づき、視環境設計における動的評価の有する意義を明確にした上、まぶしさ感・視認能力についての動的評価法を確立したものである。更に、両眼視による視環境評価の問題についても言及している。

まず最初に、作業者の視線の動きの実態調査結果から、作業者の視野輝度の変動実態を明らかにし、室内の光源をも含む輝度分布が不快なまぶしさ感、あるいは、一時的な視認能力の低下を招来する恐れのあることを示すことによって、動的評価の必要性を明確にした。一方、昼光光源の短時間での変動実態の調査結果からは、これによる視認性への影響はほとんどないことが明らかにされたが、これから受ける作業者の不快さ・わずらわしさに関しては、今後の検討課題である。

また、作業者の視線移動に要する時間の測定を行ない、視野輝度変化後のどの時点の評価を設計の基準とすべきか、という問題に対しての一資料を与えている。

まぶしさ感の動的評価法に関しては、まず、均一輝度視野における主観評価実験によって得られた結果をもとに、視野輝度変化後の経過時間ごとに、変化前後の視野輝度の任意の組み合わせに対して、それに対応するまぶしさ感を読み取ることのできるまぶしさ感図(図 3.9)を作成した。任意の輝度分布を持つ視野の場合には、これをまぶしさに関して等価な均一輝度視野に置き換えることによって動的評価が可能である。本論では、最も典型的であり、しかも、まぶしさ感の最も著しい単一円形高輝度面に正対した場合について、まぶしさ感の評価実験を行ない、得られた結果をもとに、これに等価な均一輝度視野の読み取り図(図 4.14、図 4.15)を作成した。

更に、本論での研究結果に基づいて、定常順応時につき既往の評価法に詳細な検討を加えた結果、その不合理性を明確にすることができた。

視野輝度が暗から明に急激に変化した場合の明順応過渡過程におけるまぶしさ感に対

応させ、順応過渡過程における主観評価の一環として、視野輝度が明から暗に急激に変化した場合の暗順応過渡過程における不快感の主観評価もあわせて行ない、まぶしさ感図に対応する不快感図(図 3.13)をも作成した。

視認能力については、網膜中心窩への刺激量である実効輝度を導入して、視認問題の解析を合理化・単純化することにより視認能力の動的評価を可能とした。視標と背景との測光量としての輝度差に対する識別しようとする 2 点間の実効輝度差の比である実効率と、眼の感度とのみによる視認能力の把握である。まず、均一輝度視野における視認実験結果より得た変化前後の視野輝度(L_1 , L_2)・視野輝度変化後の経過時間 T ・眼の感度(輝度差弁別閾値 ΔL_0 、または対比閾値 C_0)の 4 者の関係を、眼の感度の回復率 R を媒介とすることにより、2 種類の図に統一的に示し得た。 $(L_2/L_1, T, R)$ の関係を示した眼の感度の回復率図(図 6.21)と、 $(R, L_2, \Delta L_0$ または $C_0)$ の関係を示した眼の感度と回復率との関係図(図 6.22、図 6.23)である。次に、眼球内散乱光の網膜中心窩への散乱特性を視認実験によって明らかにし、得られた実効輝度関数をもとに各種視標の実効率図(図 8.27)を作成した。実効率図によって各視標の視認に必要な眼の感度を知ることができ、眼の感度の評価図によって、その眼の感度に対応する(L_1 , L_2 , T)の 3 要因すべての組み合わせを読み取ることが可能である。すなわち、これらの図を提示することによって、非常に簡便な視認能力の動的評価を可能とした。

このような簡易かつ合理的な視認能力の動的評価法を可能ならしめたのは、視認問題への実効輝度の導入に他ならない。実効輝度は、動的評価に限らずこれまでの定常順応での研究においても常に重要な課題であった不均一輝度視野における眼の順応の問題に明快な解決をもたらすべきものと考え、これについて若干の検討を加えた結果、その解明の端緒が得られた。実効輝度による不均一輝度視野における眼の順応の問題の解明がなされれば、不能グレア・逆対比視標の視認性の問題等をも含めた視認能力の統一的把握が可能となる。

この他、今日の視環境評価において看過されているいま一つの問題点である平面視対象物に対する両眼視の問題を取り上げ、作業面の各点に対する左右両眼の視方向の実態を把握し、これをもとに、両眼視による視認問題の重要性を指適している。視方向の実態把握によって、それぞれの眼への視認性の予測は可能となったが、これをどのように総合して評価するかについての検討は今後に残されている。

関 連 発 表 論 文

日本建築学会論文報告集

1. 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効対比を用いた視認能力の把握，第 326 号，昭和58年 4 月，pp. 111～117
2. 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効輝度の長方形で構成された視標への適用，第 338 号，昭和59年 4 月，pp. 99～106
3. 野口太郎・井上容子・伊藤克三：各種視標への実効輝度の適用による等視力曲線の検討，第 346 号，昭和59年12月，pp. 124～131

日本照明学会誌論文号

1. 大月容子・井本吉彦・伊藤克三：視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究，第 65 巻 第 10 号，昭和56年10月，pp. 520～525
2. 大月容子・伊藤克三：視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究（その 2），順応過渡過程における視認能力，第 66 巻 第 10 号，昭和57年10月，pp. 470～475
3. 大月容子・伊藤克三：視覚に基づく照明の動的評価法に関する研究（その 3），順応過渡過程におけるまぶしさ感・不快感，第 66 巻 第 10 号，昭和57年10月，pp. 476～482

日本建築学会近畿支部研究報告集・計画系(環境工学)

1. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：講義室における作業者の視線の動きの実態に関する調査研究，第 21 号，昭和56年 6 月，pp. 61～64
2. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：暗順応時間の測定結果について，第 21 号，昭和56年 6 月，pp. 57～60
3. 伊藤克三・大月容子：順応過渡過程におけるまぶしさ感・不快感，第 22 号，昭和57年 6 月，pp. 33～36
4. 伊藤克三・佐藤隆二・大月容子・井本吉彦：順応過渡過程における視力，第 22 号，昭和57年 6 月，pp. 37～40
5. 伊藤克三・大月容子：両眼視による視認性の評価について，第 23 号，昭和58年6月

pp. 9～12

6. 伊藤克三・大月容子・野口太郎：実効輝度による視認問題の検討，第23号，昭和58年6月，pp. 5～8
7. 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効輝度の二次元図形への拡張について，第23号，昭和58年6月，pp. 1～4
8. 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効輝度による標準等視力曲線の検討，第24号，昭和59年6月，pp. 197～220
9. 井上容子・伊藤克三：不均一輝度視野におけるまぶしさ感，第24号，昭和59年6月，pp. 193～196

日本建築学会大会学術講演梗概集・計画系(環境工学)

1. 伊藤克三・大月容子：照明評価における視線の方向について，昭和55年9月，pp. 225～226
2. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視覚に基づく照明の動的評価に関する研究（その1）視線の動きに関する実態把握，昭和56年9月，pp. 173～174
3. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視覚に基づく照明の動的評価に関する研究（その2）暗順応時間の測定結果，昭和56年9月，pp. 175～176
4. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視覚に基づく照明の動的評価に関する研究（その3）不快グレアの動的評価，昭和56年9月，pp. 177～178
5. 伊藤克三・大月容子・野口太郎：知覚対比に関する考察（その1）視覚実験に基づく検討，昭和57年10月，pp. 31～32
6. 野口太郎・大月容子・伊藤克三：知覚対比に関する考察（その2）単レンズによる測定に基づく検討，昭和57年10月，pp. 33～34
7. 伊藤克三・大月容子・大野治代：天空光の変動実態，昭和57年10月，pp. 3～4
8. 伊藤克三・大月容子：太陽直射光の強さの変動実態，昭和58年9月，pp. 247～248
9. 伊藤克三・大月容子：暗順応過渡過程における眼の感度，昭和58年9月，pp. 285～286
10. 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効対比に関する考察（その3）二次元図形への適用に関する検討，昭和58年9月，pp. 287～288

11. 野口太郎・井上容子・伊藤克三：実効輝度のランドルト環視標への適用，昭和59年10月， pp. 339～340
12. 井上容子・野口太郎・伊藤克三：視標識別への実効輝度の適用，昭和59年10月， pp. 341～342
13. 伊藤克三・野口太郎・井上容子：実効輝度による視認問題の解析法，昭和59年10月 pp. 343～344

日本照明学会全国大会講演論文集

1. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その1）本研究の有する意義・目的，昭和56年4月， pp. 74
2. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その2）作業者の視線の実態に関する調査について，昭和56年4月， pp.75
3. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その3）暗順応時間に関する実験結果について，昭和56年4月， pp. 76
4. 伊藤克三・佐藤隆二・大月容子・井本吉彦：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その4）順応過渡時における視認，昭和57年4月、 pp. 104
5. 伊藤克三・大月容子・井本吉彦：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その5）順応過渡時における不快グレアの評価，昭和57年4月， pp. 105
6. 伊藤克三・大月容子：両眼視による視認における問題点について，昭和58年3月， pp. 126
7. 大月容子・伊藤克三：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その6）視認能力把握への実効輝度の導入，昭和58年3月， pp. 130
8. 井上容子・野口太郎・伊藤克三：視環境の動的把握に関する基礎的研究（その7）実効輝度による視認能力の把握，昭和59年4月， pp. 70
9. 伊藤克三・野口太郎・井上容子：実効輝度による視認問題の解明，昭和59年4月， pp. 71

そ の 他

1. 大月容子・伊藤克三：視環境評価の新しい考え方，空気調和・衛生工学会近畿支部

環境工学研究会資料，92号，昭和57年8月，pp. 1～8

2. 大月容子・伊藤克三：照明の動的評価法について，日本照明学会測光測色委員会資料，昭和58年2月
3. 野口太郎・大月容子・伊藤克三：実効輝度を用いた視認能力の把握，日本建築学会環境工学委員会光環境分科会資料，No. 6. 2，昭和58年6月

謝 辞

本研究は、筆者が大阪大学大学院博士課程に進学当時、同大学教授にご就任中の伊藤克三先生が、視環境に残された重要課題として志向せられていたものを筆者の研究テーマとして与えられたものであります。同先生には、大阪大学ご在任中は勿論、摂南大学にご転任後も本研究の推進にあたり終始ご懇切なるご指導を賜わるにとどまらず、将来の研究に対しても広い視野と力強い指針を与えて頂きました。また、本論文作成に際しましては、終始、草稿を詳細にご閲読いただき、ここに本論文を完成することができました。心より厚くお礼申し上げますとともに、今後の本研究の向上に一段の努力を重ねご期待に沿う所存でございます。なお、本論文中の視認問題への実効輝度導入に関する研究は、関西大学講師野口太郎先生との共同研究であり、同先生の単レンズを用いた光学測定による研究と、筆者の被験者を用いた視認実験による研究の両者の結果を総合することにより得られたものであります。共同研究者、あるいは先輩として積極的に研究を推進して下さいました野口先生に、本論文の完成にあたり、あらためて心よりお礼申し上げます。

大阪大学教授榎崎正也先生には、本研究の効率的推進を第一にご配慮賜わり、常に快適な研究環境を与えていただきますとともに、適切なお助言を賜りました。また、本論文の作成に際しましては、終始、ご懇切なるご指導とご教示を賜りました。ここに謹んで深謝の意を表します。

また、筆者が奈良女子大学大学院修士課程就学当時の恩師であられ、本論文完成に至る素地を育成して下さいましたノートルダム女子大学教授花岡利昌先生、奈良女子大学教授梁瀬度子先生の両先生に深甚なる謝意を表します。特に、梁瀬先生には大学院修了後も数々の有益なお助言を賜わり、終始暖かく見守って下さいましたことに、心よりお礼申し上げます。大阪大学講師佐藤隆二先生、同助手大野治代先生には、本研究の推進にあたって数々の便宜を図っていただくとともに、適切なお助言を賜りました。両先生に深く感謝致します。

さらに、卒業研究等で本研究に携わり、研究の推進にあたって多大の助力をいただきました摂南大学ならび大阪大学の卒業生諸氏に心より厚くお礼申し上げます。