The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	見やすさに基づく明視照明設計法に関する研究
Author(s)	佐藤, 隆二
Citation	大阪大学, 1981, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1320
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

見やすさに基づく明視照明設計法に関する研究

昭和55年12月

佐　藤　隆　二

目　　次

序　論 …… 1
1. 本研究の目的 …… 1
2. 本論文の構成 …… 5
第1章　本研究に関連した従来の研究と本研究の意義 …… 8
1.1　視認閾状態における明視要素相互間の関係に関する研究 …… 8
1.1.1　輝度対比と順応輝度との関係に関する研究 …… 8
1.1.2　視対象の大きさと順応輝度との関係に関する研究 …… 8
1.1.3　露出時間、視対象の大きさ、背景輝度相互間の関係に関する研究 …… 9
1.1.4　視対象の大きさ、輝度対比、背景輝度相互間の関係に関する研究 …… 9
1.2　照明の評価並びに照明設計に関する研究 …… 11
1.2.1　P.Moon と D.E.Spencer の研究 …… 11
1.2.2　視作業成績に基づく推奨照度に関する研究 …… 11
1.2.3　照度と目の疲労に関する研究 …… 12
1.2.4　適正照度に関する研究 …… 13
1.2.5　等価球内照度（ＥＳＩ）による照明設計法 …… 14
1.3　従来の研究における問題点と本研究の意義 …… 15
参考文献 …… 17

第2章　見やすさに基づく明視照明設計法 …… 19
2.1　明視照明設計法の満たすべき要件 …… 19
2.1.1　明視照明設計法と見やすさの評価法 …… 19
2.1.2　明視照明の設計手順 …… 19
2.1.3　明視照明設計法の満たすべき要件 …… 20
2.1.4　設計対象の視作業 …… 21

2.2　「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の枠組 …… 22
2.2.1　「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の枠組… 22
2.2.2　「文章を読む」作業の明視3要素 …… 24
2.2.3　明視要素条件の予測法 …… 25
2.2.4　見やすさの評価指標：見やすさレベル
（Visual Ease Level） …… 26
2.2.5　見やすさレベルの予測法 …… 28
2.3　本章のまとめ …… 31
参考文献 …… 31

第3章　明視照明設計用の標準視作業条件と標準視標の設定 …… 32
3.1　本章の目的 …… 32
3.2　「文章を読む」作業の標準視作業条件 …… 33
3.2.1　視作業対象の内容 …… 33
3.2.2　視作業対象の表面性状 …… 34
3.2.3　視条件 …… 36
3.3　標準視標 …… 37
3.4　本章のまとめ …… 41
参考文献 …… 41

第4章　文章の読みやすさの主観評価と見やすさレベル …… 43
4.1　本章の目的 …… 43
4.2　文章の読みやすさの主観評価実験 …… 44
4.2.1　実験装置 …… 45
4.2.2　視　　標 …… 46
4.2.3　実験の方法 …… 46
4.3　見やすさレベルの算定 …… 48
4.4　実験結果と考察 …… 49

4.4.1　文章の読みやすさ評価の安定性 …… 49
4.4.2　文章の読みやすさ評価における活字寸法の影響 …… 51
4.4.3　文章の読みやすさ評価における背景輝度の影響 …… 52
4.4.4　文章の読みやすさ評価における輝度対比の影響 …… 54
4.4.5　日本文と英文との読みやすさ評価の比較 …… 57
4.4.6　文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの関係 …… 59
4.5　本章のまとめ …… 60
参考文献 …… 61

第5章　「文章を読む」作業における活字に等価なランドルト環の大きさ …… 62
5.1　本章の目的 …… 62
5.2　実験の概要 …… 63
5.2.1　実験装置と実験方法 …… 63
5.2.2　視標と被験者 …… 64
5.3　実験結果と考察 …… 66
5.3.1　視作業閾における視対象の大きさと視距離との関係 …… 66
5.3.2　視作業閾における視対象の大きさ（視角） …… 67
5.3.3　文章の活字に等価なランドルト環の大きさ …… 70
5.3.4　関連した従来の研究 …… 73
5.4　本章のまとめ …… 74
参考文献 …… 75

第6章　明視照明設計用標準視標の反射特性 …… 76
6.1　本章の目的 …… 76
6.2　輝度の計算法と反射特性 …… 77
6.3　標準視標の反射特性の測定 …… 81
6.3.1　測定装置と測定方法 …… 81

6.3.2　測定結果 …… 84
6.4　反射特性図表 …… 86
6.5　本章のまとめ …… 87
参考文献 …… 89

第7章　標準視標の輝度算定用設計資料の作成 …… 90
7.1　本章の目的 …… 90
7.2　点光源用の輝度算定図表 …… 91
7.2.1　点光源による視対象の輝度 …… 91
7.2.2　点光源用の輝度算定図表 …… 93
7.3　矩形面光源用の輝度算定図表 …… 99
7.3.1　矩形面光源による視対象の輝度 …… 99
7.3.2　矩形面光源用の輝度算定図表 …… 102
7.4　蛍光灯器具による視対象の輝度の近似計算法についての検討… 104
7.4.1　蛍光灯器具による視対象の輝度の近似計算法 …… 104
7.4.2　蛍光灯器具で照明された視対象の輝度の実測 …… 105
7.4.3　蛍光灯器具による視対象の輝度の近似計算 …… 107
7.4.4　蛍光灯器具の輝度算定図表 …… 110
7.5　本章のまとめ …… 113
参考文献 …… 114

第8章　見やすさレベル測定用視標 …… 115
8.1　本章の目的 …… 115
8.2　見やすさレベル測定用視標の概要 …… 116
8.3　見やすさレベル測定用視標による見やすさレベルの測定方法と
その計測原理 …… 118
8.3.1　見やすさレベルの測定法 …… 118
8.3.2　見やすさレベルの計測原理 …… 118

8.4　見やすさレベル算定図表 …… 122
8.5　本章のまとめ …… 124
　　参考文献 …… 125

総　　括 …… 126

謝　　辞 …… 131

序　　論

1. 本研究の目的

視覚を通して周辺の環境から情報を得ること、すなわち、ものを見ることは、人間のあらゆる活動に付随する最も基本的な作業の1つである。したがって、この基本作業が支障なく行なえる良好な視環境を実現することは、安全で健康かつ快適な生活や作業を行なう上で極めて重要である。作業に必要な視覚情報が正確に、しかも容易に得られ、不要な情報が適度に抑制されている環境が良好な視環境であって、これを実現するために、視対象や視野から目に入るその量と質とを適切に制御する技術が照明である。

良好な視環境を実現する上で、照明に期待されている効果は、明視性と雰囲気性の二つに大別され、そこで行なわれる作業の種類や内容によって、照明に求められる両者の比重が異なっていると考えられている。明視性と雰囲気性は種々の点において明確な差異があり、両者を同時に取り扱うことは困難である。

そこで、前者を対象とする照明を明視照明、後者を対象とする照明を雰囲気照明と呼び区別している。

明視性は、視野内の限られた注視範囲内の特定の視対象に対する要求であり、その視対象がはっきりと正しく見えるかどうかで評価されるものである。したがって、明視性の評価を大きく支配するのは、視対象やその近傍の輝度などの照明に左右される数の限られた物理要素の条件であって、この評価に個人的な差異はほとんど生じない。それ故、明視照明の設計を行なうこと、すなわち、作業に要求される視対象の見やすさを保証する照明条件を技術的に決定し、それを実施することは難かしくない。

これに対して、雰囲気性は、広範な視野全体に対する要求であり、その視野の雰囲気が作業に適当であるかどうかで評価されるものである。したがって、雰囲気性の評価は、意匠設計の良否に大きく左右されると考えてよく、照明は意匠効果を助長する役割を果すにすぎないものであると言える。さら

に、この評価は個人の嗜好にも大きく左右されるため、雰囲気性の評価の決め手となる適切な評価の要因を抽出することは容易ではない。それ故、雰囲気を損うような照明を避けるための技術的な手法を見出すことは可能であっても、積極的な意味での雰囲気照明の設計を行なうこと、すなわち、作業に適した雰囲気を創造する照明の条件を技術的に決定し実施することは不可能に近い。

作業に要求される明視性と雰囲気性の両者をバランスよく同時に満たす照明が理想であり、また、視環境の雰囲気に果す照明の役割を過少に評価すべきではないが、雰囲気照明をすべて技術的に処理することの困難さを考慮すれば、現時点では、「視対象がよく見えること」と「照明によって不快を引き起さないこと」、この二つを照明設計の設計目標とすることが妥当であると考える。

この目標を達成し、良好な視環境を実現する上で必要な光の供給と制御に関する技術上の問題は、現在のところほとんど存在しないと考えてよい。

それにもかかわらず、われわれを取り巻いている視環境には、不自然な姿勢をとらなければ視対象がよく見えないようなものも少なくはなく、照明の現状は必ずしも満足すべきものとは言えない。この主な原因は、上に述べたような設計の目標を明確にした照明設計法が存在しないことにあると考えられる。

視覚に直接結びつかない照度を設計指標とするいわゆる照度設計法は、視環境内の光の量が絶対的に不足し、その不足の解消がより高度な視作業性を得る上で最も有効な手段であった時代に確立された便宜的な設計法であって、視覚に基づいた合理的な設計法とは言い難いものである。それにもかかわらず、照度設計法が現在もなお、照明設計法の主流を占めていることは、現在の照明設計がその目標すら明確にせず、曖昧な形で実施されていることを裏付けるものである。

このような状況が放置されてきたのは、日常の視環境が直接人間の健康に重大な障害を引き起こす性質のものではなく、人間生活において視環境の占

める位置の重要性や、さらには、視環境において照明の果している役割の重要性が認識され難く、看過ごされやすいものであるためであろう。

生活ならびに視環境における視作業の重要さを啓蒙するとともに、合理的な明視照明の実施によって、より高度な視作業性を保証し、より良好な視環境を実現することは、照明技術者の果たすべき責務であると考える。

この責務を果たすためには、作業に要求される明視性に応じて、それを満たす照明条件が合理的に決定できる視覚に基づいた明視照明設計法を確立することが、第1の基本的な条件として満たされなければならない。

ところが、実際の視作業は多種多様であって、それぞれの作業に要求される明視性の内容は、視対象の形や作業の目的によって異なっている。たとえば、書類や絵画のように平面的な視対象もあれば、機械部品や彫刻のように立体的な視対象もある。立体的なものには、その立体感もよく出ることが要求され、その要求の内容は平面的な視対象に比べてより複雑なものとなる。また、上記の視対象は、その目的によって、書類の文字や機械部品のようにはっきりと識別できればよいものと、絵画や彫刻のようにそれらが本来の姿で正しく鑑賞できなければならないものとにも分類できる。鑑賞を目的とする視対象は、その形だけでなく、明暗や色も正しく見えなければならないので、単なる識別だけを必要とする視対象よりもその要求の内容はより高度なものとなる。

このように、要求される明視性の内容が視作業によって異なっていれば、当然照明に対する具体的な要求内容も視作業ごとに異なったものとなる。したがって、明視照明の設計法も視作業ごとに異なるのが当然である。

しかし、視対象が異なっても、その要求が明視性である点で共通しておれば、設計の基本的な考え方はすべて同一であると考えてよく、要求内容が単純な視作業についての明視照明設計手法を確立することができれば、それを発展させることによって、より複雑で高度な要求をもつ視作業についての設計法を確立することは可能であろう。

上記のような考えに基づき、事務室や教室などにおける視作業の主要な対

象である文字や文章が、明視に対する要求の最も単純な視対象の1つであることに着目して、ここでは、「文章を読む」作業を対象の視作業とする明視照明設計法の確立を目指すことにした。

文字のような平面的な視対象の見え方（視認）を左右する主要な物理要素が順応輝度（背景輝度）、視対象とその背景との輝度対比、視対象の大きさ並びに観察時間（露出時間）の4要素であることは多くの研究者によって確認された周知の事実である。しかし、視対象の見え方に観察時間が影響を及ぼすのは、それが非常に短かい場合であって、通常、文章を読む作業は、観察時間の影響を受けない定常視作業と見なすことができるので、「文章を読む」作業の視認に関係する要素としては、上記の4要素から観察時間を除いた残りの3要素とすることができる。

明視照明の設計は、視対象の見やすさの程度を対象としてなされるべきものであって、視対象が見えるか見えないか、すなわち、視認を対象としてなされるべきものではない。視認と見やすさは同一ではないが、視認の評価は見やすさの評価の1側面であると考えられるので、見やすさの程度も上記の3要素（明視3要素と呼ぶ）に支配されるものであると考えられる。言い換えれば、視対象の見やすさの程度は、明視3要素の条件がすべて決まってはじめて決定されるものであり、1つでも条件が欠ければ見やすさは決定できない。したがって、明視照明の設計法は、この明視3要素のすべてを考慮したものでなければ、合理的なものとは言えない。

ところが、これまでの照明の評価法や設計法では、明視を対象としながらも、明視3要素のすべてを組み込んでいるものは極めて少なく、そのほとんどが、視対象の大きさの要素を欠いている。また、3要素をすべて考慮しているものであっても、視対象及びその背景を均等拡散性と仮定して、輝度が照度に比例し、輝度対比は常に一定であるとの実状と遊離した条件が設定されている。したがって、これまでの評価法や設計法は、いずれも視覚に基づいた合理的なものであるとは言えない。

そこで、視覚に基づいた合理的な明視照明設計法は、明視3要素をすべて

考慮したものでなければならないとの観点に立ち、明視3要素の条件を介して、視作業に要求される視対象の見やすさの程度に応じた照明条件を具体的に決定することができる明視照明設計法を確立することが本研究の目的である。

しかしながら、この設計を実行する場合には、任意の照明条件下での明視3要素の条件を予測することが不可欠である。視対象の大きさは、照明とは無関係に前もって与えられるので、予測の必要はないが、背景輝度並びに輝度対比については、これらを予測するための具体的な方法を設定することが必要である。

背景輝度及び輝度対比が照明条件のみによって決まるものではなく、視対象表面の光学特性や視作業条件にも左右されるものであるため、「文章を読む」作業として妥当と考えられる視対象と視作業の設計用標準条件をまず設定し、これの輝度予測法を具体的に明示すると同時に、輝度予測用の実用的な資料を作成することも本研究の重要な目的である。

2. 本論文の構成

第1章では、照明による明視性の確保を目的とする本研究の立場から、まずこれまでの視認閾状態における明視要素相互間の関係を明らかにした研究を概観し、視認を左右する主要な要素が、視対象の大きさ、背景輝度（順応輝度）、輝度対比の3要素であることを確認し、この3者の相互関係がすべて標準等視力曲線に集約されていることを述べ、次に、これまでの照明の評価並びに設計に関する研究に考察を加え、それらが合理的な明視照明設計法に繋がるものでないことを論じ、本研究の意義を明らかにしている。

第2章では、合理的な明視照明設計法の満たすべき基本的な要件は、明視性に対する作業者の主観的な評価が、具体的な照明条件下での測光諸量から合理的に決定し得るものであり、設計段階での評価の予測、並びに、実際の環境下での実態の評価が技術的に可能なものであるべきことを論じ、明視性の客観的な評価指標として見やすさレベルを定義するとともに、その算出方法の概要を述べている。

第3章では、評価指標の決定要因である明視3要素の条件は、照明条件の他に、視作業の内容、視対象の表面性状、並びに視条件によって決定されるものであり、明視照明設計を行なうには、まず、これらの決定が不可欠であることを論じ、その決定に際しての諸要件をあげてこれに考察を加え、それに基づいて、事務作業として妥当と考えられる標準視作業条件を設定し、これに見合う標準視標を作成している。

第4章では、事務作業における典型的な視作業である「文章を読む」作業を対象として、明視3要素を種々に組み合わせた条件下で得た、文章の読みやすさの主観評価に関する実験結果と、見やすさレベルとの対応関係を詳細に検討し、実用的な条件下において、見やすさレベルが文章の読みやすさの主観評価を適切に表現し得るものであり、明視性の評価指標として有用なものであることを実証するとともに、実用的な条件下での文章の読みやすさの主観評価に対応する見やすさレベルの数値を示している。

第5章では、視作業対象を、これと視覚的に等価なランドルト環に置き換えることにより、その視認閾値が既知の標準等視力曲線より直ちに求められることに着目し、標準視標に用いられている文字に等価なランドルト環の大きさを被験者実験によって決定し、標準視標の閾条件、したがってこれより見やすさレベルが簡易に得られることを述べている。

第6章では、任意の照明条件下で視対象及びその背景の輝度を予測するには、それらの表面の反射特性を用いるのが最も有用であることを論じ、標準視標の反射特性の測定法とその測定結果を示し、入射光の方向により視標の輝度が著しく異なることより、視対象を均等拡散性と仮定していた従来の照明設計法の不当性を論じている。

第7章では、天井面あるいは壁面上に位置する点光源と等輝度均等拡散性の矩形面光源による視対象の輝度計算式を示し、標準視標の輝度の予測を簡単にする上で有用な輝度算定図表の作成法を述べ、その作成結果を示している。さらに、蛍光灯照明器具による標準視標の輝度測定結果に基づいて、それの輝度算定図表を作成するとともに、前章で得た反射特性を利用する実用

的な輝度計算法についての考察も行なっている。

第8章では、ある特定の照明条件下での輝度対比のみが標準視標と異なり、表面性状と文章内容が同一である視標が、実際の照明条件下で判読閾となるとき、その視標の特定の照明条件下での輝度対比から、そこでの標準視標の見やすさレベルが算出できることを示し、このことを応用した見やすさレベルの簡易測定を可能にする見やすさレベル測定用視標と見やすさレベル算定図表を作成して、その有用性についての検討を加えている。

最後に、本研究で得た知見を総括し、今後に残された課題などについて言及している。

第１章　本研究に関連した従来の研究と本研究の意義

1.1　視認閾状態における明視要素相互間の関係に関する研究

1.1.1　輝度対比と順応輝度との関係に関する研究

Stiles と Crawford , Lowry , Blachard , Stenhardt らが求めた視認閾状態における輝度対比と順応輝度との対応関係についての実験結果に基づいて、Moon と Spencer[1)] は、この両者間に次の関係を導びいている。

$$C_{min} = \frac{0.0123}{H_A}\left(0.808 + H_A^{\frac{1}{2}}\right)^2 \qquad (1.1)$$

ここに、C_{min} ：最小確認対比

H_A ：順応光束発散度〔 blondel 〕*

この関係より、順応光束発散度（順応輝度）が大きいとき、視認閾状態となる輝度対比（最小確認対比）が小さく、順応光束発散度約 1,000 blondel を境として、それ以下では順応光束発散度の増加に対する対比の減少が顕著であるが、それ以上の順応光束発散度に対しては最小確認対比がほぼ一定となることがわかり、視対象の視認には輝度対比と順応輝度とが関係していることを示している。

1.1.2　視対象の大きさと順応輝度との関係に関する研究

R. J. Lythgoe , J. P. Conner ら、P. W. Cobb ら並びに S. Shlare らが得た視認閾状態における視対象の大きさと順応輝度との対応関係についての実験結果をまとめて、Moon と Spencer[1)] は、背景が大きくその輝度が一様で、視対象の輝度対比がほぼ１である場合についての視対象の大きさと順応輝度とに関して次の関係式を導びいている。

---

*　〔 blondel 〕は Moon と Spencer が用いた光束発散度の単位であって、完全拡散面の場合は、〔 rlx 〕で表わした光束発散度の値に等しく、これを π で除すると、〔 cd／m² 〕で表わした輝度の値となる。

$$\alpha = \frac{118.3 \times 10^{-6}}{H_A}(0.412 + H_A^{\frac{1}{3}})^3 \text{〔radian〕} \quad (1.2)$$

ここに、 α ：最小視角〔radian〕

H_A ：順応光束発散度〔blondel〕

この関係は、順応光束発散度（順応輝度）が大きいほど、視認可能な視対象の大きさが小さいことすなわち、視力が大きいことを示すものであり、視対象の大きさも視認を左右する要因であることを示している。広田[2)]、江口[3)]、早川[4)]、大塚[5)]らが得た視力と順応輝度との関係もこれとよく一致している。

1.1.3 露出時間、視対象の大きさ、背景輝度相互間の関係に関する研究

大山[6)]は、視認閾状態における露出時間、視対象の大きさ並びに照度の3者の関係を実験的に求め、視対象が大きいほど、また、照度（背景輝度＊）が大きいほど視認に要する露出時間が短かいとの結果を得ている。この結果は、露出時間も視認を左右する要因であることを示しているが、明所視の範囲においては、視認に影響する露出時間は最大約1／10秒であって、それ以上の露出時間が与えられても視対象の大きさや背景輝度は視認閾値に影響を与えないことも同時に明らかにされている。このことは、1／10秒以上の観察時間が許容される日常の視条件下においては、露出時間が視認を左右する要因とはならないことを示すものである。

1.1.4 視対象の大きさ、輝度対比、背景輝度相互間の関係に関する研究

蒲山ら[7)]は輝度一様な視野内に二線視標を呈示し、その視認閾状態を被験者実験で求めた結果に基づいて、視対象の大きさ1～10分、輝度対比0.01～1.0、背景輝度2～1,500 cd／m²の範囲について視認閾状態における3者の相互関係を明らかにしている。

＊本実験条件においては、背景輝度が照度に比例していると考えてよく、照度を背景輝度と見なすことができる。

中根と伊藤[8),9)]はランドルト環を視標として行なった同様の実験結果より、視認閾状態における3者の相互関係を示す図1.1を得ている。この図では、視対象の大きさを視力で表現してあり、それゆえこれを標準等視力曲線と呼んでいる。

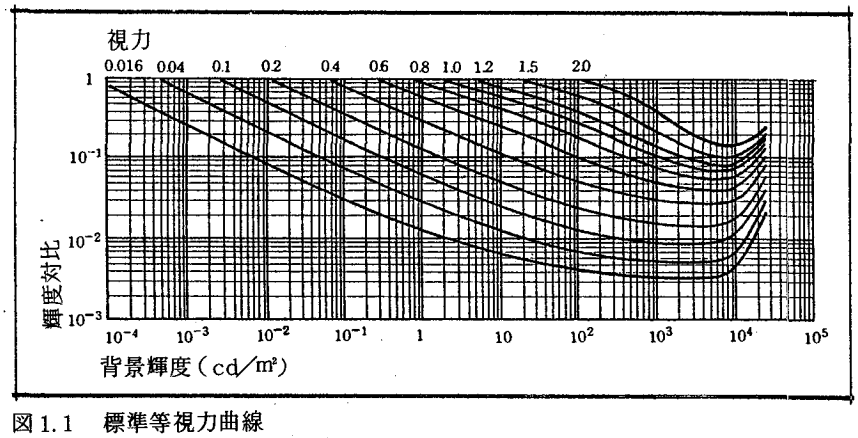


図1.1　標準等視力曲線

中根らの実験では、観察時間に制約を設けておらず、背景輝度は順応輝度に等しいと考えてよい。Moonと Spencerがまとめた(1.1)式の輝度対比と順応輝度との関係は、標準等視力曲線中最大である視角1度(視力0.016)の視対象における輝度対比と背景輝度との関係にほぼ一致しており、また、輝度対比が1.0に近い条件下での視対象の大きさと順応輝度との関係もMoonと Spencerが求めた(1.2)式の視対象の大きさと順応輝度との関係や広田、江口、早川、大塚によって求められた両者の対応関係に非常によく一致している。

上で概観した諸研究の成果より、視認閾状態を決定する主要な要素は視対象の大きさ、輝度対比、背景輝度並びに露出時間の4要素であるが、日常の視条件では、露出時間を除いた3要素であると考えてよく、視認閾状態を与えるそれら3者の相互関係は、標準等視力曲線にすべて集約されているということができる。

1.2　照明の評価並びに照明設計に関する研究

1.2.1　P. Moon と D. E. Spencer の研究[1)]

P. Moon と D. E. Spencer は、視野内の光束発散度が一様であれば、順応光束発散度（順応輝度）が高いほど小さい視対象が視認できるという（1.2）式に示した結果より、順応光束発散度が高いほどものの見え方はよくなると考えられるので、高い視作業性が要求される場合には、最良の条件下で得られる最小確認視角 α_∞ と実際の照明条件下で得られる最小確認視角 α との比 α_∞/α が 0.9 以上となることを目標に照明設計を行なえばよいと主張している。さらに、照明の良否は視作業性のみによって評価されるものではなくて、美的効果や経済性なども考慮して総合的に評価されるべきであるとして、作業面上での照度及びその分布、作業面上での光束発散度及びその分布、視野内の光束発散度分布、美的効果や経済性等 8 つの評価要素を掲げ、それらの配点と採点基準を提案している。

照明を総合的に評価し、設計することは理想であり、それを試みている本研究の価値は高く評価できる。しかし、その評価における 8 要素に対する配点が経験的に決定されているので、照明の評価法として妥当なものとはいい難い。さらに、明視性の評価に関しては、視対象の輝度対比が照明条件によって異なるという事実を看過して、見え方が照度に反射率を乗じた順応光束発散度のみで決まるとしている点や、α_∞/α の採点基準値 0.92 の数値の根拠が明確でない点においても、本照明設計法は合理的なものとは言い得ない。

1.2.2　視作業成績に基づく推奨照度に関する研究

H. R. Blackwell[10),11)] は、短時間提示の静止円形視標の視認実験より視認率 50 %の視作業成績が得られるときの背景輝度と輝度対比との対応関係（Performance Data）を求める一方、Field Task Simulator と称する装置を用いて行なった移動する円形視標の視認実験を行い、両者から一般の視作業に適用する背景輝度と輝度対比との対応関係（Standard Visual Performance Curve）を決定し、さらにVisual Task

Evaluator（ＶＴＥ）と称する装置を用いて、実際の視作業を閾状態とするのに必要な光幕輝度と実際の平均輝度を背景としたときの円形視標の視認閾対比を測定し、その結果からStandard Visual Performance Curveを用いて、５６種の具体的な視作業に要する背景輝度を求め、それと視対象の反射率より各視作業に必要な照度を決定している。米国の照明学会は、この研究結果に基づいて推奨照度の基準[12]を作成している。

視作業成績によって照明を評価し、設計しようとする本研究の基本的な考え方には問題はないが、印東も指摘している[13]ようにPerformance DataとStandard Visual Perfomance Curve との間には論理的な飛躍があり、また、ＶＴＥによる測定結果より作業の所要背景輝度を求める過程に強引かつ理解困難な前提が導入されている点に疑問の残る研究である。また、最終的な結果が直接の視覚刺激ではない照度で与えられている点において、本研究の成果が視覚に基づいた照明設計に繋がるものであるとは言い難い。

1.2.3　照度と目の疲労に関する研究

松井と近藤[14]は、作業面照度が５０～２００lxの条件下で、抹消作業を負荷し、その作業の前後における目の焦点調節時間の変化を測定して、照度と目の疲労との関係を求めている。作業後における焦点調節時間の延長が短かい場合ほど目の疲労も少なく、視作業に好ましい条件であるとの考えに基づいて、通常の文字（６ポイント，対比0.９５）を読む視作業の場合は、少なくとも５００lxの照度が必要であり、視対象が小さくてその対比が低い場合には、1,０００～2,０００lxの照度が必要であることを明らかにしている。

視機能の疲労によって照明の良否を評価する本研究の考え方は妥当なものであると言える。しかし、目に対する直接の刺激である視対象の大きさや輝度対比と疲労との対応関係を明確にせず、直接の刺激ではない照度と疲労との対応関係を得たのは、当時の測光技術の水準を考慮すればやむを得ないかもしれないが、本研究の成果も視覚に基づいた照明の評価あるいは設計の資料とはいえない。

1.2.4　適正照度に関する研究

印東と河合[15),16)]は大きさ及び対比の異なる７０種の漢字の読みやすさの程度を１０段階の主観評価尺度で回答させる実験を行ない、その結果に連続的段階法を適用して、読みやすさの主観評価尺度の構成を行ない、その尺度化した読みやすさの程度と文字の大きさ、対比および照度との対応関係を明らかにしている。

この研究成果が現在のＪＩＳ照度基準の根拠とされていることからも明らかなように、本研究は照度に基づいた照明の評価あるいは設計を目指したものである。そのため、視対象はすべて均等拡散性であり、視対象およびその背景の輝度が照度に比例し、輝度対比は照明条件にかかわらず常に一定であることを前提としている。

しかし、この前提が満たされることは非常に稀れであり、実際には、照度が等しくても輝度や輝度対比は一定でなく、照明条件や視条件によって大きく異なるものである。また、読みやすさの評価を左右する直接の刺激は輝度であって照度ではない。これらの事実を考慮すれば、ある読みやすさの評価を与える輝度の条件を規定することは可能であるが、照度条件の規定が不可能であることは明白である。したがって、読みやすさの評価と照度とを関連づけて照明の評価あるいは設計を試みている本研究の基本姿勢に誤まりがあると言わざるを得ない。

中根[17)]は、対比0.８５の８画の漢字１００字を用いて読みやすさの評価と背景輝度との対応関係を求め、光源が白熱電球である場合、適当な背景輝度は１２０～３５０ cd／m²で、蛍光灯である場合は１５０～1,４００ cd／m²であるとの結果を得、視認閾の５００倍以上の背景輝度が必要であるとしている。

この結果は特定の条件（対比0.８５，拡散照明）下で得られたものであって普遍性に乏しく、照明設計に広く活用できるものではない。

1.2.5　等価球内照度（ＥＳＩ）による照明設計法

光幕反射による見え方の低下を評価するために米国の照明学会はＥＳＩ（Eguivalent Sphere Illuminance）の使用を推奨[18]し、事務室や教室などにおけるＥＳＩの推奨値[19]を定めている。

ＥＳＩは実際の照明条件下における見え方と等しい見え方を与える拡散照明条件下での照度であって、明視要素中の輝度対比と背景輝度が見え方に及ぼす効果を総合した見え方の評価指標であると見なせる。

すなわち、拡散照明条件下での輝度対比がCである視対象のある照明条件下での輝度対比がC'，背景輝度がL_oであり、その背景輝度L_oにおける輝度対比の弁別閾がC_{to}であるとしたとき、C'/C_{to}は輝度対比弁別閾に対する実際の対比の倍率を与えるものである。この倍率が等しい条件下では等しい見え方が得られるとの前提に基づいて、与えられた視対象の拡散照明条件下での対比Cとの比が先の倍率C'/C_{to}と等しくなる輝度対比弁別閾C_{te}を与える背景輝度L_eを求め、それを照度に変換したものがＥＳＩである。

このＥＳＩを算定するために、H.R.Blackwellらは、視角４分の円形視標を用いて求めた視認閾状態における背景輝度と輝度対比との関係[20]に基づいて、輝度対比弁別閾値の逆数を対比感度と呼び、背景輝度10,000 cd／m²のときの対比感度を１００％とする標準対比感度曲線（Standard Relative Contrast Sensitivity Function：ＲＣＳ曲線）を設定し、背景輝度が10,000～7 cd／m² の範囲にわたるLとＲＣＳとの詳細な対応表[21]を与えている。さらに、白紙面に書いた鉛筆書きの文字を標準視対象として、現実の照明条件下でのその輝度や輝度対比を算出する方法や資料[22]も与えられている。

この照明設計法は、視対象の背景輝度と輝度対比に基づいて見え方を評価するものであって、従来の照度のみを対象とした照明設計法と比較すれば、合理的なものであると言える。しかしながら、普遍性，再現性に欠ける特定の鉛筆書き文字を標準視対象としている点や、従来の照度設計を踏襲して、その算出に繁雑な手続きを要するＥＳＩという照度に相当するものを評価指

標としている点、さらには、見え方を左右する主要な要素である視対象の大きさを考慮していない点やC'/C_{to}の値が等しい条件下では等しい見やすさが得られるとする前提の客観的な裏付けがなされていない点において、本設計法は、明視照明設計法としての妥当性に欠けるものである。

さらに、基本的な問題点として、背景よりも視対象の輝度が小さい、いわゆる正対比である白紙面上に黒鉛筆で書かれた文字を本設計法の標準視対象としているにもかかわらず、その評価に用いる本設計法の基盤とも言うべきＲＣＳ曲線が標準視対象とは全く逆の条件をもつ背景輝度よりも視対象の輝度が高い、いわゆる逆対比の円形視標の視認実験で得られたものであることがある。すなわち、本設計法においては背景輝度をL_b、視対象の輝度をL_tとするとき、$L_b > L_t$の正対比を$C = (L_b - L_t)/L_b$，$L_b < L_t$の逆対比を$C' = (L_t - L_b)/L_b$で定義し、両者を同等に取り扱っているが、正対比の場合$0 \leqq C \leqq 1$であるのに対して、逆対比の場合には$0 \leqq C' \leqq \infty$であることからも、ここでの取り扱いが不当であることは明らかである。

1.3　従来の研究における問題点と本研究の意義

視認閾状態における明視要素の相互関係を求めた研究の結果、ものの見え方を支配する主な要素は、背景輝度、輝度対比、大きさ並びに露出時間の4要素であることが示されているが、露出時間は約1/10秒以下の場合にのみその影響が現われる要素であるため、通常の視作業においては、前3者を主要な明視要素と考えるのが妥当であろう。

この3要素のうちの2要素についての視認閾状態における関係は多数の研究者によって明らかにされているが、3者の対応関係を同時に求めた研究成果は少ない。しかし、どの研究においても、条件が同一であれば、結果に顕著な差異は認められない。従って、広範な条件下での3要素の対応関係を示した、中根と伊藤が得た標準等視力曲線に他のすべての結果が集約されていると考えてよい。

照明の評価あるいは設計に関する研究は、これまでに数多くなされてきた

が、そのほとんどは照明の量すなわち、照度を対象としたものである。このように直接の視覚刺激ではない照度が、評価や設計の基本測光量として用いられたことは、これを善意に解釈すれば、照明の評価や設計に対する関心の高まりに応じて行なわれた初期の研究の当時には、明視に必要な背景輝度を保証するに十分な照度が得られておらず、背景輝度の大小すなわち照度の大小が明視性をほとんど決定するような状況であったためであると考えることができる。また、当時は、輝度を直接測定する測光技術が不十分であり、一般には視対象面を均等拡散性と仮定して、照度から光束発散度を推定する以外、視覚刺激量を知る手段をもたなかったことも照度が指標として用いられた１つの理由であると考えられる。

しかしながら、照度を指標とする評価法あるいは設計法における最大の問題点は、背景輝度が照度に比例し、さらに、輝度対比が常に一定であるとの仮定を導入しない限り、照度と明視性とを関連づけられない点にある。すなわち、２つの主要な明視要素にこのような実状に即さない仮定を導入していることは、非常に特殊な場合を除いて、その結果としての評価や設計に誤まりを生じる可能性が大である。

元来、照度と明視性とを関連づけること、そのものが不合理であって、どのようなものであっても、照度を指標とする評価法や設計法は、合理的ではあり得ないのである。

この観点からすれば、背景輝度と輝度対比によって決まるＥＳＩを指標とする設計法は理にかなったものであると言えるが、前述したように、この設計法の基盤をなすＲＣＳ曲線の決定の基礎となる資料を得た実験条件と設計対象の条件との間に、致命的な不整合があるため、本設計法を筋の通ったものであると考えることはできない。さらに、主要な明視要素の１つである視対象の大きさを全く考慮していない点においても合理性に欠けるものであると言わざるを得ない。

上に述べたように、これまでの照明の評価法あるいは設計法は、いずれも視覚に基づいた合理的な明視照明設計法に繋がるものではない。

本研究は、明視3要素のすべてを介して、作業に要求される視対象の見やすさに応じた照明条件を合理的に決定できる明視照明設計法を確立し、さらに、実用的な設計資料を整備することを目的とするものであって、現行の照度に基づいた照明設計法には期待できない、より高度な視作業性を保証する視環境の実現を可能にする点において意義あるものと考える。

参　考　文　献

1) P.Moon，D.E.Spencer：Lighting Design（1947）Addison Wesley

2) 広田敏夫：視力と照度との関係についての実験的研究，日本眼科学会雑誌，31（1927）876

3) 江口　寿：健康眼および異常眼における高輝度と視力との関係，日本眼科学会雑誌，34（1930）1493

4) 早川宏学：輝度と瞳孔の大きさおよび視力についての研究，日本眼科学会雑誌，42（1938）1356

5) 大塚　任：明室および暗室における視力の差異について、日本眼科学会雑誌，44（1940）2056

6) 大山信郎：視力に関する研究，日本眼科学会雑誌，55（1951）689

7) 蒲山久夫，本橋照男，佐藤麗子：明視照明のための基礎的研究，照明学会雑誌，46－3（1962）92

8) 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，229（1975）101

9) Y.Nakane，K.Ito：Study on Standard Visual Acuity Curves for Better Seeing in Lighting Design，J. of Light & Visual Environment，2－1（1978）38

10) H.R.Blackwell:Development and Use of a Quantitative Method for Specification of Interior Illumination Levels on the Basis of Performance Data，Illuminating Engineering，54－6（1959）317

11) 野崎道雄：新しい照度基準に関するブラックウェル氏の研究，照明学会雑誌，４４－３（１９６０）１１６

12) Illuminating Engineering Society（U.S.A）：IES Lighting Handbook，4th ed.，（１９６６）

13) 印東太郎：照度基準に関するブラックウェルの研究における問題点，照明学会雑誌，４５－１１（１９６１）５０６

14) 松井瑞夫，近藤真理：照度と眼の疲労に関する研究，照明学会雑誌，４７－５（１９６３）１７６

15) 印東太郎，河合　悟：適正照度に関する心理学的実験，照明学会雑誌，４９－２（１９６５）５２

16) 河合　悟，黒沢凉之助：照度と読みやすさとの関係を表わす簡単な実験式，照明学会雑誌，５７－９（１９７３）５８０

17) 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，２２９（１９７５）１１１

18) RQQ Report №4：A Method of Evaluating the Visual Effectiveness of Lighting Systems，Illuminating Engineering，６５－８（１９７０）５０４

19) Illuminating Engineering Society（U.S.A）：IES Lighting Handbook，5th ed.，（１９７２）９

20) O.M. Blackwell，H.R. Blackwell：Visual Performance Data of １５６ Normal Observers of Varying Age，Journal of Illuminating Engineering Society １－１（１９７３）３

21) CIE Publication №19：A Unified Framework of Method for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting，（１９７２）７６

22) RQQ Report №5：The Predetermination of Contrast Rendition Factors for Calculation of Equivalent Sphere Illumination，Journal of Illuminating Engineering Society，２－２（１９７３）１４９

第2章　見やすさに基づく明視照明設計法[1)～4)]

2.1　明視照明設計法の満たすべき要件

2.1.1　明視照明設計法と見やすさの評価法

照明に現らず、何かの目標を定めて計画を行う場合、計画段階と計画の実施後の両時点において、その計画による目標の達成度が、首尾一貫した手法で客観的に評価できなければならない。

作業に見合った適切な見やすさが得られることを目標として照明計画を行なう場合、すなわち、明視照明の設計を行う場合には、任意の照明条件下における視対象の見やすさの程度が客観的に評価できる見やすさの評価法が必要である。

視対象の見やすさは、照明条件の他に視作業条件や視対象自身の内容など、多数の条件に支配される主観的な評価であるため、あらゆる場合のあらゆる視対象の見やすさを評価できる方法を見出すことは簡単ではない。しかし、視対象ごとにその見やすさを左右する主要な要素、すなわち、明視要素を適切に抽出し、それらの条件と視対象の見やすさの程度との対応関係が的確に表限できる見やすさの評価指標を誘導すれば、個々の視対象についての見やすさの評価法を確立することは可能である。

2.1.2　明視照明の設計手順

明視照明の設計は、図2.1に示すような手順で行なうのが合理的である。すなわち、作業の内容や目的に応じて設計目標の見やすさの程度が与えられるので、見やすさの評価法に基づいて、先ず、その主観的な見

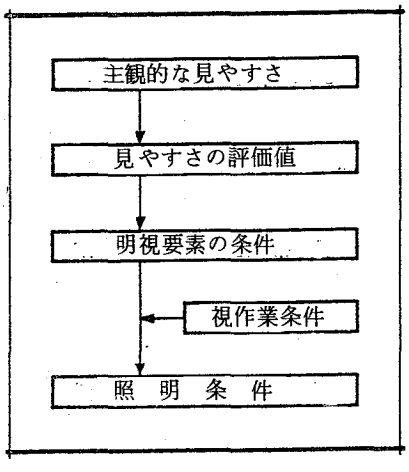


図2.1　明視照明の設計手順

やすさの程度を客観的な数値である見やすさの評価値に変換し、次に、その評価値が得られる明視要素の条件を求め、最後に、視作業条件を考慮しながら明視要素の各条件が達成できる照明条件を決定するという手順である。

しかし、目標の見やすさを与える明視要素の条件や照明条件はただ1つだけ存在するものではないので、図2.1に示した手順で照明設計を行うことは難かしい。

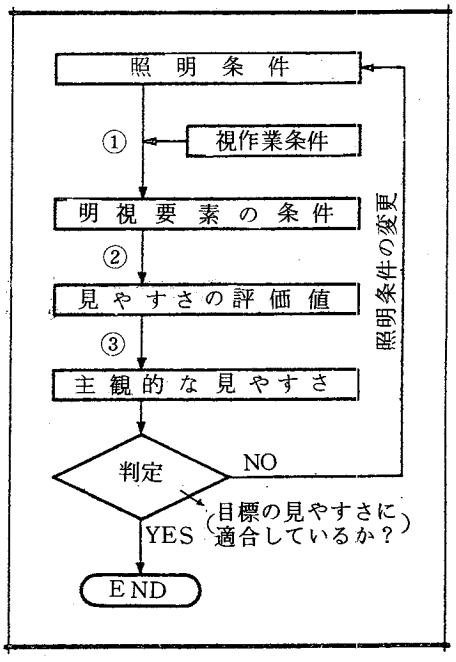


図2.2　明視照明の実用的な設計手順

従って、実際の照明設計は図2.2に示す手順で実行するのが一般的であり、また、妥当であろう。すなわち、先ず、具体的な照明条件を適当に設定し、視作業条件を加味して、そのときの視対象の明視照明条件を求め、次に、見やすさの評価法に基づいて、その明視要素条件下の見やすさの程度を予測して、最後に、それが所期の見やすさに適合するかどうかの判定をすることによって、照明条件を決定する方法である。もし、予測された見やすさの程度が目標に適合しない場合には、目標の見やすさが得られるまで、最初に設定した照明条件を適宜変更して、上記の手順を繰り返えせばよいのである。

2.1.3　明視照明設計法の満たすべき要件

上に述べた手順で設計を行う明視照明設計法は、以下に述べる種々の要件を満たし、図2.2に示した3つの設計過程のすべてが合理的且技術的に処理できるものでなければならない。

明視照明設計法確立の出発点は、設計対象とする視作業の明視要素の抽出にあると考えることができるので、視対象の見やすさを支配する視覚刺激で

ある明視要素は照明条件と視作業条件とで決まり、しかも現場で直接測定できるものでなければならない。

次に客観的な物理条件である明視要素の各条件と主観的な評価である見やすさの程度を関連づける見やすさの評価指標は、本設計法の評価の中枢をなすものであって、それには明視要素の条件からその評価値が決定でき、しかもその評価値が主観的な評価を適切に表現するものであることが要求される。さらに、評価値のもつ意味内容が容易に理解できるものでなければならない。

第3は、図2.2に示した①の過程に対する要件で、任意の照明条件下における各明視要素の条件を精度よく、しかも、簡単に予測するための方法が確立され、また、その予測に用いる実用的な資料が準備されていなければならない。

第4の要件は、②の過程に対するもので、任意の明視要素条件下における見やすさの評価値を簡単且合理的に予測するための方法が確立されていなければならないことである。

最後は、③の過程に対する要件で、見やすさの評価値と主観的な見やすさの評価との対応関係が前もって明確にされていなければならない。

2.1.4 設計対象の視作業

以上、明視照明設計法の満たすべき要件を述べたが、設計対象とする視作業がどのようなものであっても適用できるような明視要素や見やすさの評価指標を見出すことは不可能に近いことである。なぜならば、照明に対する明視性の具体的な要求内容は、すべての視作業にわたって共通なものではなく、視作業ごとに明視要素の内容が異なると考えられるためである。

従って、先に述べた要件を満たす明視照明設計法の細部を具体的に確立するためには、まず、設計対象の視作業を明確に設定することが必要となる。そこで、以下に述べるような点を考慮して、文章を読みその内容を理解する作業（「文章を読む」作業と呼ぶ）をここでの明視照明設計法の設計対象視作業とすることにした。

まず、この「文章を読む」作業が、照明に対する明視性の要求の比重が大きい教室や事務室での最も典型的で基本的な視作業であると考えられるからである。さらに、「文章を読む」作業の基本となる視作業は、平面的な視対象である文字の識別作業であるため、この視作業の照明に対する要求は、視対象が立体である視作業や鑑賞を目的とする視作業の要求に比べて単純であり、最も基本的な要求であると言える。それゆえ、文字の識別さらには文章の読みやすさを決定する視覚刺激であるこの視作業の明視要素が、他のあらゆる視作業の明視要素の基本となる要素をすべて含んでいると考えてよく、この視作業を対象とする明視照明設計法が、他の視作業の明視照明設計法の原型であると考えられるからである。

なお、この作業より単純である文字の識別作業を対象作業としなかったのは、それを対象として設計を行うと、文字ごとに識別の難易度に差異があるため、文字ごとに異なった照明条件を決定しなければならないという不合理を生じる可能性があることと、現実には、すべての文字が識別できなくても前後関係から文章を読み内容を理解できる場合も少くなく、「文章を読む」作業の方が、視作業の実状に即していると考えたためである。

2.2 「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の枠組

2.2.1 「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の枠組

前節で述べた種々の要件と設計手順を考慮して、「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の内容をより具体的に示すと、図2.3のようになる。

設計を実施する場合には、先ず、視対象物や視条件等の視作業の諸条件と、そこで達成すべき目標となる主観的な文章の読みやすさの程度が与えられる。

次に、適当と考えられる光源の種類、配光、位置並びに数などの具体的な照明条件を設定する。

視対象の表面性状と視方向とが定まれば、視対象の反射特性を知ることができるので、その資料を予め準備しておく。その反射特性と設定した照明条件とから紙面及び文字面の輝度を計算し、背景輝度と輝度対比の2つの明視

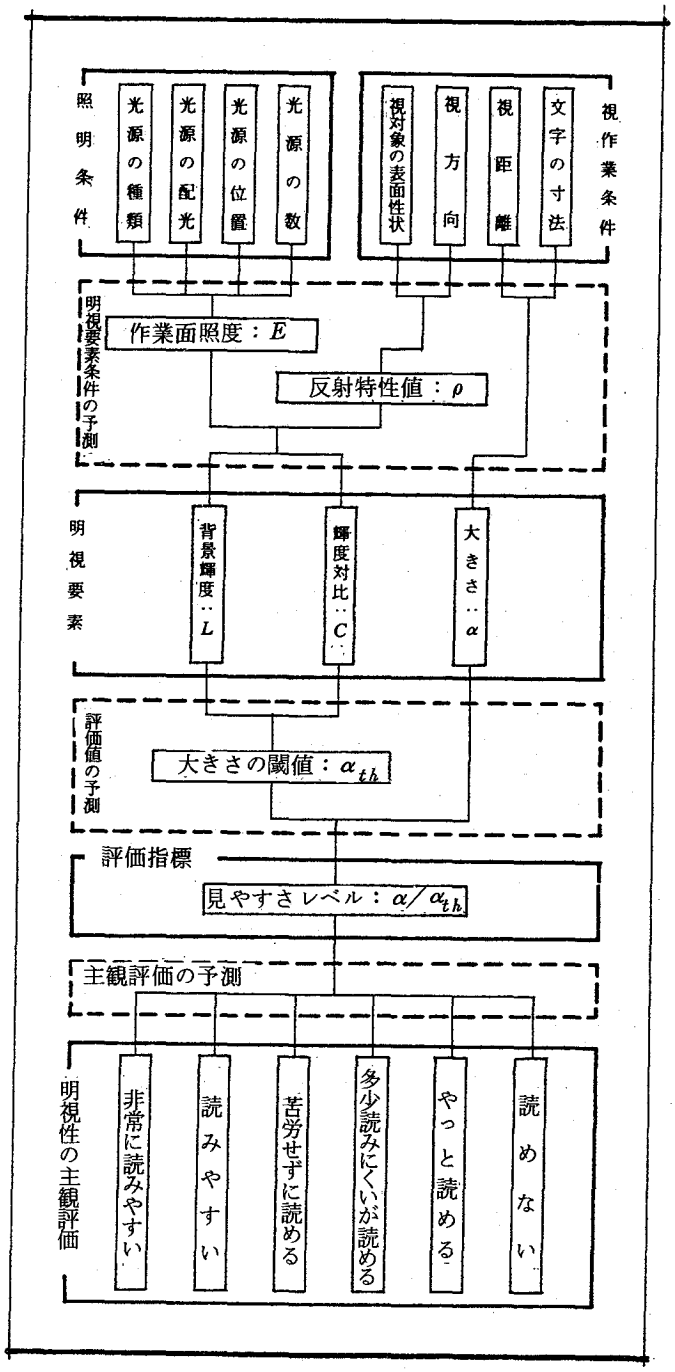


図 2.3　文章を読む作業を対象とする明視照明設計法

要素の条件を求める。一方、最初に与えられた文字の寸法と視距離から文字の大きさ（視角）を算出する。

このようにして求めた明視3要素の条件のうち背景輝度と輝度対比の条件から、標準等視力曲線を利用して、そこでの文字の大きさの閾値を求める。これと先に求めた実際の文字の大きさとから見やすさの評価指標である見やすさレベルを計算する。

見やすさレベルと主観的な文章の読みやすさとの対応関係を予め求めておけば、上のようにして求めた見やすさレベルの値に対応する文章の読みやすさの程度を知ることができ、それが所期の目標に適うものであるかどうかの判定ができる。

以上が、本研究が目指す「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の枠組であって、これが前節で述べた諸要件を満たすものであることを示すため、この設計法における明視3要素の選定の根拠とその予測法並びに見やすさの評価指標である見やすさレベルの意味内容とその予測手法を詳しく述べることにする。

2.2.2 「文章を読む」作業の明視3要素

明視要素は、明視照明設計法の基盤とも言うべきものであって、その条件が設計段階で予測することもでき、また、実際の環境下で実測することもできる視覚刺激を過不足なく明視要素として抽出することが、明視照明設計法を確立する上での最も基本的な要件である。

ここで対象とする「文章を読む」作業の基本となる作業は、文章を構成する文字の識別作業であり、さらにその作業は文字の細部の視認に基づいていると考えることができる。したがって、文章の読みやすさを決定する主要な視覚刺激は、文字細部の視認を決定する視覚刺激と同一であると考えてよい。

第1章で概観したこれまでの視認に関する研究の成果により、視対象の細部の視認を決定する主要な視覚刺激が順応輝度，輝度対比，視対象の大きさ並びに露出時間の4つの要素であり、露出時間が1／10秒以上である定常作

業の場合は前3要素であることが明らかにされている。

事務室や教室において「文章を読む」作業が行なわれるとき、作業時間が厳しく制約されることは極めてまれであるので、この作業は十分長い作業時間が許容される定常作業と考えることができる。

以上のことから、「文章を読む」作業の明視要素を順応輝度，輝度対比並びに視対象の大きさの3要素とすることができる。

しかしながら、現実の視環境における順応輝度は現在のところ正確に予測することも実測することも不可能であり、先にあげた明視要素としての要件に欠けるものである。ところが、「文章を読む」作業の視野の大部分は紙面であり、また紙面上の文字の輝度は紙面のそれに比べて非常に低く、また文字の視野に占める比率は小さいので、この作業を行なう場合、目は紙面の輝度にほぼ順応していると考えてよい。しかも、紙面の輝度すなわち背景輝度は測定可能な測光量であるので、背景輝度を順応輝度に替わる明視要素とすることで、上記の問題を解消することができる。

そこで、背景輝度（紙面の輝度），文字と紙面との輝度対比，文字の大きさの3要素を「文章を読む」作業の明視要素とすることにした。

2.2.3　明視要素条件の予測法

上記の明視3要素はその条件が予測並びに実測できることを前提として選定したものであるが、この前提が完全に満たされているとは言えないのが現状である。すなわち、文字の大きさは照明条件とは無関係に視作業条件のみによって決まる要素であるので、その予測や実測は至って簡単であり、また、輝度計を用いれば、紙面や文字面の輝度の実測すなわち背景輝度と輝度対比の実測も簡単に行なえるが、現在に至るまで実状に即した輝度の計算法が確立されておらず、背景輝度と輝度対比を正確に予測することはできないのである。

前項でも述べたように、この2つの明視要素は文章の読みやすさを支配する明視照明設計上欠くことのできない要素であるので、実状に即した合理的

な輝度計算法を確立しなければ、視覚に基づいた明視照明設計法は確立することができない。

視対象の輝度が照明条件の他に視対象の表面性状と視方向とで決まること、視対象に対する入射光の方向と視方向とが一定である場合には輝度が照度に比例すること、さらに、照度が同一であっても入射光の方向または視方向が異なれば輝度が異なるのは、視対象表面の反射指向特性に起因する現象であることに着目して、ここでは、入射光の方向と視方向とによって規定される視対象の光学特性である反射特性を用い、それに照度を乗じて輝度を算定する輝度計算法を確立した。

この方法で紙面や文字の輝度を予測する場合、それらの反射特性に関する資料が前もって与えられなければならないが、この反射特性は入射光の方向と視方向との両者に関係するものであるので、あらゆる条件に適用できる資料を準備することは不可能に近い。しかし、視方向や視対象の表面性状など、明視照明設計上妥当と考えられる標準の視作業条件を設定しておけば、任意の照明条件下での輝度を精度よく、しかも簡単に予測するための実用的な資料を準備することは可能である。

2.2.4　見やすさの評価指標：見やすさレベル（Visual Ease Level）

明視照明設計法において、視対象の主観的な見やすさの程度と視対象の客観的な明視要素の条件とを合理的に関連づける見やすさの評価法が不可欠であり、その評価法の中枢をなす見やすさの評価指標は、その評価値が主観的な見やすさの程度を適切に表現するものであると同時に、視対象の明視要素の条件から客観的に決定できるものでなければならないことはすでに述べたとおりである。

このため、ここでは上記の要件を満たす見やすさの評価指標として採用することにした見やすさレベル（ＶＥＬ：Visual Ease Level）の概要を述べるとともに、その妥当性を論じることにする。

本研究の対象とした「文章を読む」作業の場合、文章を読みその内容がや

っと理解できる限界の状態、すなわち、判読閾が主観的な読みやすさの評価の下限であると同時に最も明確な評価点である。それゆえ、その他の主観的な読みやすさの評価は、与えられた状態が判読閾に近いものであると判断した場合には低いものとなり、判読閾から遠いものであると判断した場合には高いものとなるというように、与えられた状態と判読閾との間の心理的な距離の判断に基づいてなされると考えることができる。

一方、本設計法における見やすさの評価指標は、種々の言葉で表現される主観的な見やすさの評価に客観的な数値を与えるものでなければならないが、その数値が数学的な演算処理に耐えるものである必要はなく、ただ単に評価の序列を正しく表現するものであればよい。

これらのことを考慮するとき、与えられた明視要素条件と視認閾における明視要素条件との差異の大小を客観的な数値で表現するものとして、視認閾の明視要素条件を基準とする、与えられた明視要素条件のレベルが、見やすさの評価指標として適切なものであると考えられる。本研究では、ある作業条件下で視認閾となる文字の大きさに対する実際に与えられた文字の大きさの倍率をもってこのレベルをあらわすこととし、これを「見やすさレベル」と定義して評価指標とすることにした。

すなわち、作業対象の文字の大きさがαで、背景輝度がL，輝度対比がCであるとき、LとCを変えることなく文字を小さくすると、ある大きさで文字が読めなくなる。そのときの大きさをα_{th}とするとこれが文字の大きさの閾値であって、α/α_{th}がこの与えられた条件下での見やすさレベルである。

文字の大きさの閾値α_{th}は、背景輝度と輝度対比の組み合わせ条件によって異なるものであるが、見やすさレベルα/α_{th}は、α_{th}のいかんにかかわらずこの値が大きいほど見やすさの評価が高い条件であることを意味する指標である。

ここでは、明視3要素のうち、文字の大きさに着目してα/α_{th}を見やすさレベルとしたが、先に例示した明視3要素の条件がα，L，Cである場合、背景輝度あるいは輝度対比に着目してαとCあるいはαとLとを固定すると、

それぞれ背景輝度の閾値L_{th}あるいは輝度対比の閾値C_{th}が得られるので、大きさの場合と同様、L/L_{th}あるいはC/C_{th}を求めることもできる。1つの視作業条件に対して求まるα/α_{th}，L/L_{th}並びにC/C_{th}の値は必ずしも同一ではないが、その値のもつ意味内容は同一であるので、すべて見やすさレベルと呼べるものであり、見やすさの評価指標となり得るものである。

明視照明設計の実行手順を考慮するとき、α/α_{th}が最も実用的な評価指標であると考えられるため、ここでは大きさに関する見やすさレベルα/α_{th}を採用することにしたのである。すなわち、大きさαは照明とは無関係に決定される要素であるので、設計目標の見やすさの程度がα/α_{th}で与えられると、直ちに照明で達成すべきα_{th}の値が決まる。したがって、そのα_{th}が得られる背景輝度と輝度対比の条件の実現を目標に設計を行うことになり、照明設計は背景輝度と輝度対比を予測するだけで実行することができる。これに対して、L/L_{th}，C/C_{th}を用いる場合には、背景輝度と輝度対比とが照明条件の変化に伴い同時に変化するため、背景輝度と輝度対比だけでなく、それぞれの見やすさレベルまでもその都度予測しなければ、設計を実行することができず、前者よりも設計に多くの労力を要するからである。

以上、「文章を読む」作業に焦点を絞って、見やすさレベルを論したが、明視要素が上記の3要素である視作業を対象とする明視照明設計法においては、ここで定義した見やすさレベルをそのまま見やすさの評価指標として用いることができる。また、明視要素の内容が異なる視作業であっても、主観的な見やすさの程度を閾値を基準とする明視要素のレベルで表現する点において、この見やすさレベルは広範に応用できる評価指標であるということができる。

2.2.5 見やすさレベルの予測法

見やすさレベルは明視3要素の条件からその値が求まることを前提とした見やすさの評価指標であるが、設計段階においてその値を予測するには、背景輝度と輝度対比とを任意に組み合わせた条件の下での視対象の大きさの閾

値を知らなければならない。ここでは、任意の視作業条件下における文字の大きさの閾値を簡単に予測し、見やすさレベルを求めるための実用的な方法について述べる。

視作業がランドルト環の切れ目を識別するものである場合には、ランドルト環の視認閾における明視3要素の条件の相互関係は第1章で述べた標準等視力曲線（図2.4）として与えられているので、これを利用すれば、背景輝度と輝度対比の任意の組み合わせ条件下におけるランドルト環の大きさの閾値を直ちに知ることができ、見やすさレベルの算出も非常に簡単に行なうことができる。

すなわち、背景輝度 L ，輝度対比 C の条件下で切れ目の視角が α_L であるランドルト環の識別作業を行う場合には、その L と C との組み合わせ条件下で閾状態になるランドルト環の切れ目の視角、すなわち、大きさの閾値 $(\alpha_L)_{th}$ は図2.4に示すように、L と C とで決まる標準等視力曲線上の点Aのランドルト環の大きさとして求まるので、そのときの見やすさレベル（VEL）は次式で計算できる。

$$\mathrm{VEL} = \alpha_L / (\alpha_L)_{th}$$

これと同様に、ここで対象とする「文章を読む」作業についても、文章の判読閾における明視3要素条件の相互関係を与える標準等視力曲線に相当するものを、前もって準備しておけば、上に述べたと同様の手順で任意の条件

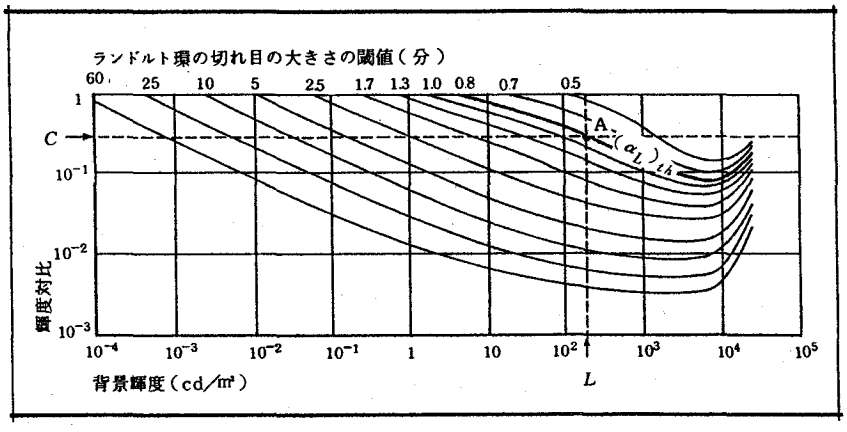


図2.4　標準等視力曲線による大きさの閾値 $(\alpha_L)_{th}$ の求め方

下における見やすさレベルを予測することができる。

「文章を読む」作業についても標準等視力曲線を活用することにより、次のように簡易にＶＥＬを求めることが可能である。

すなわち、「文章を読む」作業が閾状態となるのは、文章を構成する文字の判読に必要な、ある細部が識別できなくなるときであり、文字全体の大きさに対するその細部の比率は、文章の内容が同一であれば、文字の絶対寸法にかかわらず常に一定であると考えることができる。この閾を決定する文字の細部が何であるかを具体的に特定することは困難であるが、閾となるときの文字の大きさを知ることは簡単であるので、作業閾を決定する文字の細部をランドルト環の切れ目の大きさで表現することにすれば、同一の条件下で視認閾となるランドルト環の大きさを求めることにより、上記の比率が得られる。

このように閾状態における文字とランドルト環との大きさの対応関係、すなわち「文章を読む」作業に等価なランドルト環の大きさを求め、それによって標準等視力曲線におけるランドルト環の大きさを文字の大きさに読み替えれば、標準等視力曲線を「文章を読む」作業の閾における明視３要素の相互関係を与えるものとして利用することができる。これにより、「文章を読む」作業における見やすさレベルもランドルト環の視認作業におけると同様の手順で予測することができる。

ここでは、「文章を読む」作業に焦点を絞って見やすさレベルの予測法を述べたが、明視３要素が主観評価を決定する視作業であれば、対象作業の如何を問わず、その視作業対象に等価なランドルト環の大きさを求めれば、標準等視力曲線を利用することによって、その視作業の見やすさレベルの予測が可能であることは明らかである。このことは、本研究で採用した見やすさレベルが、明視照明設計法における見やすさの評価指標として、広範な視作業に適用できる実用的な指標であることを示すと同時に、標準等視力曲線が明視照明設計法において欠くことのできない非常に重要な基礎資料であることを示している。

2.3　本章のまとめ

合理的な明視照明設計法の満たすべき最も基本的な要件は、明視性に対する作業者の主観的な評価が、照明条件下での明視要素の条件から合理的に決定し得るべきことであることを論じ、その要件を満たすためには、作業の明視性を左右する明視要素の的確な抽出と、明視要素条件と主観評価との対応関係を合理的に表現する見やすさの評価指標の確立が不可欠であることを述べた。

さらに、妥当と考えられる明視照明設計の手順を示すとともに明視要素や見やすさの評価指標の満たすべき要件を、より詳細に述べ、設計法の細部を具体的に確立する上で設計対象の視作業の設定が不可欠であることを論じた後、本研究での設計対象の視作業として「文章を読む」作業を選定した経緯を明らかにした。

最後に、上記の要件を満たし得る「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の枠組を示し、明視要素として背景輝度，輝度対比並びに文字の大きさの3要素を選定した根拠と各明視要素条件の予測法並びに見やすさの評価指標として見やすさレベルを採用した根拠と見やすさレベルの予測法を詳述した。

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，５７－１（１９７３）１０

2) 伊藤克三，佐藤隆二，大野治代，フェレデ・ベフェカド：明視照明の設計法，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系（１９７５）１０１

3) 伊藤克三：見え方による作業照明の評価および設計法，電気関係学会関西支部連合大会講演集（１９７７）Ｓ５４

4) 伊藤克三，大野治代，佐藤隆二：視作業性に基づく昼光利用照明の設計法，建築環境工学論文集１（１９７９）３７

第3章　明視照明設計用の標準視作業条件と標準視標の設定

3.1　本章の目的

前章においてその枠組を示した「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法は、任意の照明条件下における明視3要素の条件、見やすさレベルの値、さらには主観的な評価が設計の段階で的確に予測できるものでなければならないことはすでに述べた通りであるが、設計を実施する際には、それらの予測に必要な設計資料を前もって準備しておかなければならない。

明視3要素のうち、背景輝度と輝度対比は光源の配光や位置などの照明条件だけでなく、視対象表面の反射特性や視方向などの視作業条件にも左右される要素であり、また、視対象の大きさは照明条件とは無関係に視対象の寸法と視距離の視作業条件のみによって決定される要素であって、明視3要素の条件は照明だけで決まるものではない。また、文章を構成する文字の種類や書体によってその識別の難易に差があるため、同一の評価に対応する見やすさレベルの値が文字の種類や書体ごとに異なることは明らかである。

このように、明視3要素の条件や見やすさレベルの値は照明条件だけで決定されるものでなく、上に述べたような種々の視作業条件にも左右されるものであるため、作業の実態に見合った視作業の諸条件が予め与えられなければ、任意の照明条件下における主観評価の予測を可能にする設計用資料を準備することはできない。

しかし、「文章を読む」作業に限らずどのような視作業であっても、実際の視作業条件は一定したものではなく、作業者や視対象によって異なり、中には一見してそれが不適切であるような状態で作業が行なわれている場合もある。

したがって、現実の視作業条件をそのまま採用して照明設計を行うことが、必ずも最良であるとは言えない。また、視作業条件がどのような場合であっても所期の明視性を達成するような照明条件そのものが存在しないことも明らかである。

これらのことを考慮するとき、実態に即し、かつ、妥当と考えられる視作業の諸条件を予め具体的に設定しておき、それを設計用の標準視作業条件として、明視照明設計を行なうのが合理的であると考える。また、このように視作業条件を設定しておけば、種々の実用的な設計用資料を準備することが可能である点においても実際的であると言える。

ここでの対象である「文章を読む」作業の場合、予め設定すべき視作業条件の主なものは次の3つである。

(1) 視作業対象の内容（文字の種類、書体等）

(2) 視作業対象の表面性状

(3) 視条件（視方向、視距離）

そこで、「文章を読む」作業の実状に照らして妥当と考えられる本明視照明設計用の標準作業条件を上記の3者それぞれについて設定し、さらに、それらの条件を満たす場合の設計資料を準備する際の視対象となる標準視標を作成することが本章の目的である。

3.2 「文章を読む」作業の標準視作業条件

3.2.1 視作業対象の内容

「文章を読む」作業における視対象が文字であることは言うまでもないが、日常、我々の目に触れる文字は、その大きさを別にしても多種多様である。すなわち、その作成手段によって活字印刷の文字、タイプ文字、手書き文字などに分類できるし、また、その種類によって漢字、ひらがら、カタカナ、alphabet などに分類でき、さらにはその書体によって明朝体、ゴチック体やローマン体、イタリック体等にも分類できる。

これらの中から明視照明設計用の標準視対象とすべきものを選定することは容易ではないが、ここでは以下に述べるような点を考慮して、「明朝体活字で印刷された平易な内容の日本文」と「ローマン体活字で印刷された平易な内容の英文」との2つをここでの設計用標準視対象とすることにした。

先ず第1に、明視照明設計用の標準視対象には普遍性と再現性とが要求さ

れるが、この要求に対して高度に規格化され、同一のものが容易にしかも大量に作成できる活字印刷の文字は、タイプ文字や手書きの文字と比較して非常に有利なものである。

第2に、印刷活字の書体ごとの使用頻度の調査[1)]によると、日本文においては明朝体が、英文においてはローマン体が他の書体とは比較にならないほどの高い頻度で使用されているとの結果が得られており、これらの書体を標準視対象とするのが「文章を読む」作業の実態に即していると言える。

第3に、文章の読みやすさの主観評価は、文章内容の難易度や作業者の理解能力にも左右されるが、見やすさの評価にはこれらが影響することを避けるべきであり、そのため作業者が容易に理解できる文章内容をもつものであることが、標準視対象の満たすべき要件でなければならない。

なお、文字の寸法も標準となるものを定めておけば、設計をより単純化することができるが、視対象の大きさは明視要素の1つであり、この条件を予め設定することは、本明視照明設計法の本質をそこなうので、文字の寸法の設定は行なわないことにした。すなわち、実際の文字の大きさに応じて所定の見やすさを保証する照明条件を決定するところに本明視照明設計法の本質がある。

3.2.2 視作業対象の表面性状

視対象とその背景の輝度が見え方を左右する基本測光量であり、これらが任意の照明条件下で正確にしかも簡単に予測できることが、明視照明設計法の満たすべき重要な要件であることはすでに述べた。

輝度は、視対象表面の反射光によって決まる測光量であるが、これは性質の異なる層内反射成分と表皮反射成分とからなっている。[2)] 前者は、均等拡散に近い性状をもつ反射光であって、それによる輝度は、層内反射率に比例し、その値は視方向に関係なくほぼ一定の値を示す。一方、後者は視対象の表皮面での正反射光であって、それによる輝度は入射光の正反射方向のみに存在する。ところが、見かけ上は平面的な視対象であっても、その表皮には

光の波長に比べて十分大きい複雑な凹凸が存在し、その凹凸の表面で正反射が起るため、表皮反射による輝度は一般に非常に複雑な指向性をもつことになる。[3] したがって、この2つの成分の合成である輝度も非常に複雑な指向性をもつことになるが、それは視対象の表面性状によって決まるものであると言える。

したがって、視対象の輝度を予測するには、照明条件や検討地点の他に、視対象の表面性状によって決まる輝度の反射指向特性（第6章で詳述する反射特性）が事前に与えられなければならない。

「文章を読む」作業の視対象は、紙面に印刷された文字であり、明視照明の設計においては、文字と紙面の輝度を予測する必要がある。ところが、通常視対象となる紙面は多種多様であり、紙面の種類によって文字及び紙面の表面性状が異なるため、それらのすべてについての反射特性を予め求めておかなければ輝度の正確な予測は行なえない。

「文章を読む」作業が特定の紙面だけを対象として行なわれることはほとんどなく、実際には種々の紙面を対象として作業が行なわれるため、所期の目標を達成するには、作業対象の紙面ごとに照明条件を変えなければならないことになる。

これを避けて実用的な照明設計を行なうためには、何らかの形で設計対象とする紙面を予め設定しておき、その紙面を対象に設計を実行する方法を採るのが最も妥当であると考えられる。この場合、視条件が最も悪くなる可能性をもつ紙面は、照明に対して最も厳しい条件を要求するものであり、それに対して所期の目標を達成するような照明条件であれば、他のほとんどの紙面に対しても同等あるいはそれ以上の結果を与えるものであると考えられるので、ここでは明視上最も危険であると考えられる表面性状を有する紙面を設計用の標準視対象面として選定することにした。

種々の紙面とそれに印刷された文字面の反射特性についてのこれまでの測定結果[3)〜5)]によれば、一般に広く使用されている紙面の中では、アート紙のような光沢のある紙面が明視上最も危険であると言えそうである。すなわ

ち、このような紙面の場合、表皮反射成分が極めて著しいことにより紙面および印刷面の反射特性値が入射光の方向と視方向との相対的な位置関係で大きく異なるため、視対象の背景輝度（紙面の輝度）や輝度対比が大きく変化し、特に入射光の正反射方向と視方向とが近接する場合には、極端な輝度対比の低下が生じる。[3),6)]この対比低下により、文字の見やすさが著しくそこなわれることは明白である。

以上の点を考慮して表皮反射成分が顕著な紙面をここでの設計用標準視対象面とすることにした。その具体的な内容については次節で詳しく述べることにする。

3.2.3 視条件

すでに述べたように、視対象面の輝度は照明条件が同一であっても視方向によって異なるものである。従って、視方向を予め決定しておかない限り視対象の輝度は測定することも予測することもできない。

W.Allphin[7)]とC.L.Crouch[8)]は、事務室及び教室での机上の視対象に対する作業者の視方向を実態調査した結果、視線が視対象の法線となす角θr（視方向）は、0°～60°の範囲にわたっているが、その中央値は約27°にありその最頻値は約30°であることを明らかにしている。

この結果に基づいて、米国照明学会[9)]はＥＳＩを算定する際の標準視方向をθr＝25°と定めているが、ここでは上記の調査結果の最頻値が$\theta r \doteqdot 30°$にあること、θrが25°である場合よりも30°である場合の方が明視上はより厳しい条件であると考えられること並びに、現場での輝度測定を行う場合、θr＝30°という角度の設定が簡単でしかも高い精度で行なえることのこの3点を考慮して、本明視照明設計用の標準視方向をθr＝30°とすることにした。

また、明視3要素の1つである視対象の大きさは、視対象が目に対して張る角、すなわち視角で表現されるもので、この値は視対象の実寸法と視距離とで決まるものである。このため与えられた視対象の視角を設計段階で予測

するには、視距離を前もって決めておかねばならない。

「文章を読む」作業における視距離は様々であるが、ここでは一般に「明視の距離」と呼ばれている３０cmを設計用の標準視距離とすることにした。

3.3　標準視標

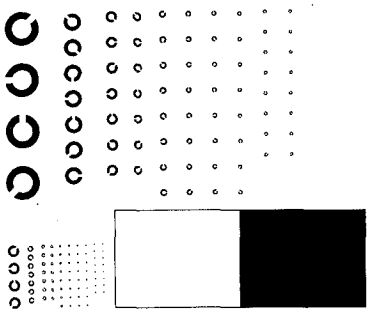
明視照明設計用の標準視標が不可欠であること、ならびに、その選定についての考え方については、すでに述べた通りである。ここでは選定した標準視標について述べる。

標準視標としての諸条件を満たすものとして、本研究において特別に作成した視標の全容を図3.1に示す。

本視標はＡ２サイズの表皮反射成分の少ない１枚のコート紙上に、大きさの異なるランドルト環、寸法が異なる明朝体活字とローマン体活字で写植した種々の日本文と英文、並びにベタ部分をオフセット印刷したもので、その表面全体を透明の薄いビニール膜で被覆してある。また、表面のビニール加工を施さない視標も同時に作成した。さらに印刷インクの濃さを変えることによって、内容は同一で紙面と印刷面との輝度対比だけが異なる１０種の視標も同時に作成した。なお、図3.1は最も濃いインクで印刷した視標を約⅓に縮小したものである。

標準視標の表面をビニール加工面としたのは、印刷紙面の紙質に関係なく表皮反射成分の著しい紙面を得るための工夫であり、また、こうすることによって紙面と文字面の表皮を同一なものとするためでもある。

文章ごとに活字の寸法を変えた各１２種の日本文と英文は、主として主観的な読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係と「文章を読む」作業の活字の大きさについての設計用資料を得るためのものである。各文章視標の活字の大きさを表3.1に示す。本表には写植印刷での活字の大きさの表示法である級の値と活字の実寸法とを併記してあるが、ここでは日本文は漢字の縦寸法を、英文はアルファベット大文字の縦寸法を実寸法としてある。
なお、これらの文章はいずれも新聞あるいは雑誌から収録したもので、その



冬は庭の草花もなくなり、窓の外をながめるだけでも、さびざびとした感じになる。シクラメン、サクラソウ、シンビジュームや観葉植物を飾り、せめて室内園芸を楽しみたい季節だ。美しい花のいのちも手入れしだいで、あえなくも散りもすれば、春まで楽しめるほど長もちする。

「花は桜木　人は武士」といって、桜の花の散りぎわのいさぎよさを称揚する声は、明治以後の軍国ブームのなかで、ことさら大きくなったにすぎない。一般には「月にむら雲　花に風」の古典的詠嘆のほうが、はるかに美しい伝統をもっている。

河川の堤防や、公園に桜を植える風も、明治以後の流行であった。古くから桜の名所は、まく

明治と大正は、古今、東西を問わず、密接な関係にあった。とくに日露戦争に勝利(いれい)され、国運され、数々の伝説を生んだ。年を経た巨樹の前に立つと、その偉大な存在にしりぞく思いにさせられる。日本の各地に現存する巨木のいくつかを東京都大木調査特別委員会に報告していただこうと。

ケヤキは陽樹で、通気、肥よくな深層の土地を好む。関東ローム層などの平地に植えると生長が早くよく育

自然の数種の中に、通じるものがあっていた。植木の町、山本新屋に出ると、ときがあるものゆきとどいた植樹の程度、その中に「松中山」と称ばれた盆栽も所狭しの一大切に美化れを保存しようとする地元の意物がうかがわれる。

枝葉も通ずると、地盤に対して樹根は幹に色調樹で、樹の成もうそ生長してゆくさい、人間でもまだ少る樹の生成は、手間、(時間)がかり、いかに人の中山中へ、おぼつかゴメートルあまりの樹いま盆の国柄のなごり を残している。札幌も近くなったせいか通しきの中の行のはしまい。

山本新の今的ときは、5基の通しきの中に植物きおそやっと中山

樹様くらものの石はやはりやはりそれぞれに様くものの中は数の量の一つ下がる。無いものの石の中、ものこの間の量が、ものの高場を、これらは「月に雲、山かトトキ月明」と開こく、長命に値する樹の美術鑑賞を表している。

ものは、日本の庭として日本に残されにくなりがち特にて生活する地の中、特に古ものもの、ものは一日の一日の中の日のものがあるようにある。このように作力の時にもきれいのものに重要下の意味をこ ある。個人個人ものもの人のものとうとするこのこうもの。特に日のたが一日に個のものの石を思のの一でしまうのの。しっ高場さは出と之   のなこ ものこ ある。

日本の盆栽ものをの工程には、ものが、ハ ものの三種がある。

日本人ほどに自然を愛ぶ人は、だが、このこのの人は自然の人間のものの問題ではない。ときに自然はっ子自然ものの者のものはいう。ものなにものとも無感たちに、自然へ自分は中ものものものにに近 。 自分自分の自分に自分の自分に、通常自分の自分の自分に、フランシュドトンに自然と関係と関係ものの人は自然が日常のの中ことは出来ない。ものを自分ものの「日本人の自然観」自分のテーマにもとの一部ものがの。

そこには日本人のいつも自然と関係の中に関係とあるというものではないが、自然の中には自然と関係の中の日本人自分関係の中に、これがーライの日本人自然とものではものもいっていることの中にものである。自然人間一日本ものでもこ、ものもこ こ。ものもこ こ。ものもこ こ。

表 3.1　　文章視標の活字の大きさ

	記号	視標	活字の級	活字の寸法
日本文	J_1	「イワシの頭……」	44	9.90 mm
	J_2	「山形市で……」	38	8.55
	J_3	「サギという……」	32	7.20
	J_4	「新幹線の……」	28	6.30
	J_5	「現代技術……」	24	5.40
	J_6	「竹ヤブの……」	20	4.50
	J_7	「冬は庭の……」	15	3.38
	J_8	「花は桜木……」	13	2.93
	J_9	「樹木と人間……」	12	2.70
	J_{10}	「白塗りの……」	10	2.25
	J_{11}	「朝早くから……」	9	2.03
	J_{12}	「日本人……」	8	1.80
英文	E_1	「The cult ……」	44	7.92
	E_2	「Beside the ……」	38	6.84
	E_3	「The contamination」	32	5.76
	E_4	「It is a ……」	28	5.04
	E_5	「Townfolk of……」	24	4.32
	E_6	「Japan is ……」	20	3.60
	E_7	「Japan has ……」	15	2.80
	E_8	「Ato Chikko ……」	13	2.34
	E_9	「Architectural」	12	2.16
	E_{10}	「Much of ……」	10	1.80
	E_{11}	「Meanwhile ……」	9	1.62
	E_{12}	「Peter Mark ……」	8	1.44

内容が平易なものに限った。

大きさの異なるランドルト環は、文章を読む作業に等価なランドルト環の大きさを知るためのものである。各ランドルト環の大きさを表3.2に示す。本表には、ランドルト環の切れ目の寸法と共に、視距離が90cmであるときの各ランドルト環の視力も記してある。

本視標の中のベタ印刷面と白紙面は、文字面や紙面の輝度を直接測定する困難を避けるために設けたもので、この2面を用いて文字及び背景紙面の反射特性を測定することにより、標準視標の設計用資料を得ようとするものである。

印刷インクの濃さが異なる１０種の視標は、主観的な読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係並びに「文章を読む」作業の活字に等価なランドルト環の大きさについての設計資料を得る際、照明条件を変えることなく輝度対比だけが異なる状態を実現するためのものである。

視対象の輝度対比は照明条件や視作業条件によっても支配されるものであって、印刷インクの濃さに固有なものではないが、インクの異なる10種の視標を区別する必要上、紙面に対して45°の方向から平行光で紙面を照明したときの印刷面と紙面の法線方向での輝度を測定し、それらを用いて次式で輝度対比を算出し、その輝度対比の値を用いて10種の視標を呼称することにした。

$$C=(L_b-L_t)/L_b \qquad (3.1)$$

ここに　C：輝度対比

L_b：紙面の輝度　(cd/m²)

L_t：印刷面の輝度(cd/m²)

表 3.2　ランドルト環視標の大きさ

記号	切れ目の寸法	視距離９０cmのときの検出視力
L_1	2.62mm	0.1
L_2	1.31	0.2
L_3	0.87	0.3
L_4	0.66	0.4
L_5	0.52	0.5
L_6	0.44	0.6
L_7	0.37	0.7
L_8	0.33	0.8
L_9	0.29	0.9
L_{10}	0.26	1.0
L_{11}	0.87	0.3
L_{12}	0.44	0.6
L_{13}	0.29	0.9
L_{14}	0.22	1.2
L_{15}	0.17	1.5
L_{16}	0.14	1.8
L_{17}	0.12	2.1
L_{18}	0.11	2.4
L_{19}	0.10	2.7
L_{20}	0.09	3.0

表 3.3　視標の呼称輝度対比

記号	呼称輝度対比
C_1	0.92
C_2	0.71
C_3	0.46
C_4	0.35
C_5	0.28
C_6	0.18
C_7	0.13
C_8	0.079
C_9	0.045
C_{10}	0.027

１０種の視標の呼称輝度対比を表 3.3 に示す。なお、この呼称輝度対比は

ビニール加工を施していない視標の輝度を用いて算出したものである。

3.4　本章のまとめ

視作業の明視性が照明条件のみならず視作業の諸条件にも大きく影響されるものであるため、あらかじめ視作業の諸条件を決めておかなければ、明視照明設計の実行が不可能であることを論じた後、事務作業を対象とする場合に妥当と考えられる明視照明設計用の標準視作業条件を以下のように設定した。

(1)　視作業対象の内容：明朝体活字で印刷された平易な内容の日本文およびローマン体活字で印刷された平易な内容の英文とした。

(2)　視作業対象の表面：明視性がそこなわれる可能性が高く、照明に対する要求が厳しい表皮反射成分が顕著である紙面を標準作業面として選定した。

(3)　視条件：視対象までの視距離が３０cmで、しかも視対象の法線となす角が30°となる方向から視対象を観察する。

また、明視性の評価に標準等視力曲線を活用するため、文章視標と等しい表面性状をもつランドルト環視標を用いることにし、明視照明設計における実用的な設計資料を整備するために、上記の(1)，(2)の条件を満たす活字の大きさが異なる文章と大きさの異なるランドルト環を１枚の紙面上に印刷し、その表面を透明のビニール膜で被覆した標準視標を作成した。（図3.1）

参　考　文　献

1)　中根芳一：印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究、日本建築学会論文報告集，229（１９７５）１１１

2)　日本色彩学会編：色彩ハンドブック，東京大学出版会，（１９８０）６２５

3)　伊藤克三，大野治代，フェレデ・ベフェカド，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，（１９７６）３３

4) 中根芳一：見易い照明のための基礎研究　その6　印刷物の反射特性および標準視作業に関する考察，大阪市立大学生活科学部紀要，26（1978）

5) 伊藤克三，手塚二郎：材料表面の反射特性の測定、日本建築学会論文報告集，103（1964）

6) 伊藤克三，手塚二郎：紙質による活字の見え方について，日本建築学会講演論文集，（1965）21

7) W. Allphin : Sight Lines to Desk Tasks in Schools and Offices, Illuminating Engineering 58－4（1963）244

8) C.L.Crouch, J.E.Kaufman : Practical Application of Polarization and Light control for Reduction of Reflected Glare, Illuminating Engineering 58－4（1963）277

9) RQQ Report No.5 : The Predetermination of Contrast Rendition Factors for the Calculation of Equivalent Sphere Illumination, Journal of Illuminating Engineering Society, 2－2（1973）149

第4章　文章の読みやすさの主観評価と見やすさレベル [1)~4)]

4.1　本章の目的

明視照明設計法は視作業に要求される明視性を保証する照明条件を具体的に決定するための技術であって、計画した照明条件下で得られるであろう明視性すなわち見やすさに関する主観的な評価を設計段階で的確に予測する見やすさの評価法を備えたものでなければならないことは、すでに第2章で述べた。

この見やすさの評価法の中枢をなすものが見やすさの評価指標であるが、この評価指標は、まず第1に、その数値が明視要素の物理的条件から算出できるものであることと、第2に、これが主観的な見やすさの程度と適切に対応するものであることの2つの要件を満たすものでなければならない。この2つの要件を満たし得る見やすさの評価指標として本研究で設定したものが「見やすさレベル（ＶＥＬ）」である。

すでに述べた通り、視作業の見やすさレベルは、視作業に等価なランドルト環の大きさを知れば、明視3要素の条件から標準等視力曲線を利用して算出できる α/α_{th} として定義されるものであることから、この見やすさレベルが第1の要件を満たすものであることは明らかである。

しかし、見やすさレベルが上記の第2の要件を満たすものであることを示す確証は得られていない。すなわち、見やすさレベルの大きい数値を与える条件におけるほど、そこで得られる見やすさの評価が高く、また、等しい見やすさレベルの値が得られる条件下での見やすさの評価が常に等しいことを裏付ける具体的な根拠はまだ示されていない。

視対象の見やすさを支配する明視3要素中の2要素を固定した条件下では、この見やすさレベルが先の第2の要件を満たすものであることは明らかである。たとえば、背景輝度と輝度対比の条件が不変で、視対象の大きさだけが異なる場合を考えると、視対象が大きい時ほどそこで得られる見やすさの評価が高くなるのは当然である。この場合は背景輝度と輝度対比の両者によっ

て決まる大きさの閾値は一定であり、したがって、視対象が大きい時ほど見やすさレベルの値は大きい。つまり、大きい見やすさレベルに高い見やすさが対応する。

しかし、明視3要素中の2つ以上の要素に条件の差異がある場合は、見やすさレベルが第2の要件を満たし得るものであるとの確証を得ることは簡単ではない。たとえば、背景輝度のみが同一で、輝度対比と大きさとが異なる2つの状態A（L，C，α）とB（L，C'，α'）を考え、各状態下での大きさの閾値がそれぞれα_{th}，α_{th}'である時、それらの見やすさレベルはそれぞれα/α_{th}，$\alpha/\alpha_{th'}$となる。したがって、両者の大小関係は不定であり、また両状態下で得られる見やすさの評価の高低も簡単に知ることができず、見やすさレベルの大小関係が見やすさの評価の高低に適切に対応するかどうかを簡単に知ることはできない。それゆえ、このような場合にも、見やすさレベルが主観的な見やすさと矛盾なく対応するかどうかは、これを見やすさの評価指標として用いるに当って十分検討しておく必要がある。

そのため、明視3要素が異なる種々の条件下における被験者実験による文章の読みやすさの主観評価と各条件下における見やすさレベルの値との対応関係を明らかにし、見やすさレベルが先に述べた第2の条件を満たす見やすさの評価指標として有用なものであるか否かを検討することが本章の目的である。

本章では、明朝体の日本文を対象とした場合の読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係に焦点を絞って検討を行なうのであるが、文章の読みやすさの評価には、明視3要素の他にも文章を構成する文字の絶対寸法や文字の種類（日本文と英文）の差異なども影響することが考えられるので、これについても若干の検討を加えている。

4.2　文章の読みやすさの主観評価実験

先ず、文字の絶対寸法や言語の種類が異なる数種の文章視標を対象として、その背景輝度が一定で、視対象との輝度対比と視対象の大きさ（視角）を変

化させた条件下で、文章の読みやすさの主観評価実験（以下実験Ⅰと呼ぶ）を実施した。次に、実験の装置及び方法に若干の変更を加え、明視3要素のすべてを変化させた条件下で、特定の文章を視対象とした主観評価実験（以下実験Ⅱと呼ぶ）を実施した。この2つの実験は、基本的には異なるものではないので、以下、実験の装置及び方法は実験Ⅰの場合を中心に述べ、実験Ⅱについては相違点のみについて述べる。

4.2.1 実験装置

室内表面が艶消しの黒色仕上げとなっている照明実験室内に、図4.1に示す視野部分と観察台とで構成した主観評価用実験装置を作成した。

その中央に文章視標を呈示する背景視野は、被験者にとって輝度一様な視野となるよう、十分大きな木製パネルの表面に均等拡散性の白色布を貼り、これを均一に照明することによって、観察距離による視野の輝度が変化しないようにした。実験Ⅰでは、300W投光用電球6個を用いて視野を照明し、視野を約1,400 cd/m²の輝度均一なものとした。実験Ⅱでは20W白色蛍光ランプ24本と調光器を用いて、視野の輝度を一様に保ったまま約

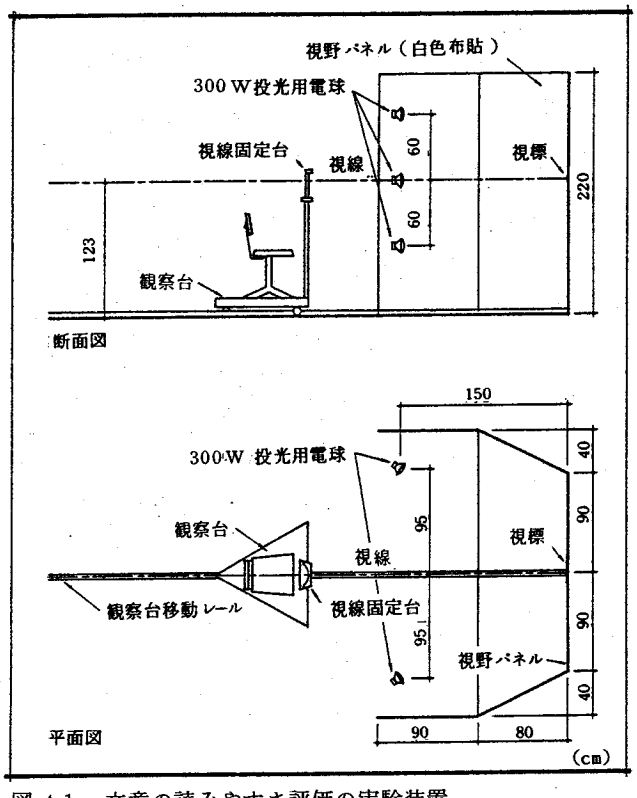


図 4.1　文章の読みやすさ評価の実験装置

１０～８００ cd/m² の範囲に調光できるものとした。いずれの装置においても光源がグレア源とならないように光源の被験者側に遮光板を設置した。

観察台はそれに乗せた被験者の観察距離を連続的に変化させるための可動台であって、被験者の視線を固定するためのアゴ台を装備してある。この観察台は、被験者に対する呈示視標の背景輝度と輝度対比とを変えることなくその大きさ（視角）だけを自由に変化させるための装置である。

4.2.2 視　　標

２つの実験で使用した文章視標は、本研究のために作成した（第３章参照）表面にビニール加工を施していない標準視標の中から選定したものである。

視標として実験Ⅰで使用した文章視標は、活字寸法の異なる２種の日本文と１種の英文の計３種の各々につき輝度対比が異なる５種、計１５種、実験Ⅱで使用したものは、１種の日本文につき輝度対比の異なる３種類であり、それらの詳細は表4.1に示す通りである。

表4.1　　実験に用いた文章視標

	実験Ⅰ			実験Ⅱ	
文　章	日本文		英文	日本文	
寸法（mm）	7.20	4.50	5.76	4.50	
輝度対比	0.92	0.52	0.35	0.92	0.35
	0.25	0.15		0.15	

なお、視標の輝度対比は視標を切り取った印刷面に同時に印刷されているベタ印刷面及び白紙面につき被験者の視線方向で測定した輝度から算出した値である。

4.2.3 実験の方法

観察台に被験者を乗せ、呈示視野に対する十分な順応時間を与えた後、被験者の視線上に文章視標を呈示し、その文章の読みやすさの程度を表4.2に示す主観評価尺度にしたがって被験者に回答させた。評価尺度の各評価段階には読みやすさの程度を具体的に表現する言葉を対応させてあるが、この言

葉は各評価段階相互間の主観的な間隔が等しくなることを目標に選ばれている。

実験Ⅰにおいては、視対象の背景輝度が1,400 cd/m²の一定な条件下で前項の表4.1に示した計15種の文章視標を順次呈示して、それぞれの文章の読みやすさの程度が表4.2に示した評価「A」～評価「E」となる状態、すなわち、言葉で表現した評価の境界状態となる5つの観察位置を、観察台を前後に移動することによって被験者自身に設定させ、そのときの視標までの視距離を測定した。

表4.2　文章の読みやすさの評価尺度

	実験Ⅰ	実験Ⅱ	評価内容
評価尺度	A	0	読めない
	B	1	やっと読める
	C	2	多少読みにくいが読める
	D	3	苦労せずに読める
	E	4	読みやすい
		5	非常に読みやすい

表4.3　背景輝度と観察位置

	実験Ⅰ	実験Ⅱ
背景輝度（cd/m²）	1,400	700　350 100　25
観察位置（m）	被験者が決定	0.2m～4.0m （0.2mきざみ）

実験Ⅱにおいては、予め設定した所定の観察位置に被験者を乗せた観察台を設置し、表4.1に示した輝度対比のみが異なる3種の日本文視標を順不同で呈示して、それぞれの視標の読みやすさの程度が表4.2に示した評価「0」～評価「5」の6つの評価段階のうちいずれに相当するかを回答させた。3種の視標に対する回答を得た後、観察位置を変えて同様の評価をさせたが、所定の観察位置は表4.3に示す20点であり、その位置の設定は順不同で行なった。

さらに、実験中にそれぞれの呈示視標が判読閾すなわち評価「A」となる観察位置を被験者自身に決定させる評価過程を同一視標につき各2回挿入し、その位置の視距離をも測定した。なお、本実験は光源を調光することによって、背景輝度を変化させ表4.3に示す4種の背景輝度条件下で行なった。

2つの実験ともに、呈示視標に対する視方向は常に一定であるので、観察位置が異なっても、紙面及び印刷文字面の輝度は常に一定に保たれており、輝度対比の変化は全く生じていない。

同一条件に対する1被験者の実験回数は、実験Ⅰでは12回、実験Ⅱでは8回である。

表4.4　被験者の概要

	実験Ⅰ			実験Ⅱ		
被験者	A.K.	M.T.	F.B.	A.T.	R.S.	H.O.
性別	男	男	男	男	男	女
年令	27	26	36	23	33	36
視力	1.5	1.6	2.0	1.5	1.8	2.0

各実験の被験者の概要は、表4.4に示す通りであるが、実験Ⅰにおける被験者F.B.は英語に堪能な外国人留学生であり、英文視標に対する評価実験だけを行なわせた。なお、各被験者の視力は実験Ⅱにおいて、視野輝度700cd/m² の場合につき行なった、輝度対比0.92、切れ目の寸法0.26㎜のランドルト環の視認閾視距離の測定結果から算出したものである。

4.3　見やすさレベルの算定

寸法が a（m）の視対象を視距離 d（m）で見たときの視対象の目に対する見かけの大きさ（視角）α は、$d \gg a$ のとき次式で与えられる。

$$\alpha = \tan^{-1}(a/d) \fallingdotseq a/d \qquad (4.1)$$

また、同一視対象の大きさの閾値 α_{th} は視距離の閾値 d_{th}（m）を用いれば前式と同様に表わすことができる。

$$\alpha_{th} = \tan^{-1}(a/d_{th}) \fallingdotseq a/d_{th} \qquad (4.2)$$

本実験では常に一定の方向から観察を行なっているので、照明条件並びに視標が同一である場合には、視対象とその背景の輝度ならびにその輝度対比は観察位置に関係なく一定である。また、表4.1に示すように文字の寸法は観察を行なった視距離に比べて十分に小さい。従って、ある視標が判読限界となる視距離の閾値 d_{th}（m）を測定しておけば、その視標を視距離 d(m)

の点から観察したときの見やすさレベル α/α_{th} は、背景輝度と輝度対比とから標準等視力曲線を用いて α_{th} を間接的に求める第2章で述べた方法によらなくても、d と α_{th} とから直接次式で求めることができる。

$$\alpha/\alpha_{th} = \tan^{-1}(a/d)/\tan^{-1}(a/d_{th}) \fallingdotseq d_{th}/d \qquad (4.3)$$

実験において、被験者自身に設定させた評価「A」となる観察位置は、呈示した文章視標の判読閾を与える観察位置であり、その位置での視距離が上式の d_{th} である。したがって、読みやすさの評価を得た観察位置（視距離 d）での見やすさレベルは、同一条件下で得た d_{th} を用い上式で算定することにした。

4.4 実験結果と考察

4.4.1 文章の読みやすさ評価の安定性

実験Ⅰで得た読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係の1例を示したものが図4.2である。本図は被験者が回答した評価「B」～「E」の読みやすさを与える各観察位置の視距離と評価「A」を与えるときの視距離とから算出した見やすさレベルを、それぞれの評価ごとに異なった記号で図示したものである。図中の斜線部は同一の評価が得られた見やすさレベルの範囲を示したものである。

実験Ⅱで得た同様の対応関係の1例を示したものが図4.3であり、図中の各点は、所定の観察位置で回答された評価「1」～「5」の読みやすさを評価ごとに異なった記号で見やすさレベルと対応させて記入したものである。

この図において異種の記号の混在している部分が図4.2の斜線部に相当するものである。

これらの部分の存在は、同じ読みやすさを与える条件の見やすさレベルの値が必ずしも一定しないこと、言い換えれば、同じ見やすさレベルの値を与える条件下での読みやすさの評価が必ずしも同一ではないことを示すものである。したがって、この部分の大小が読みやすさの安定度を示すものである

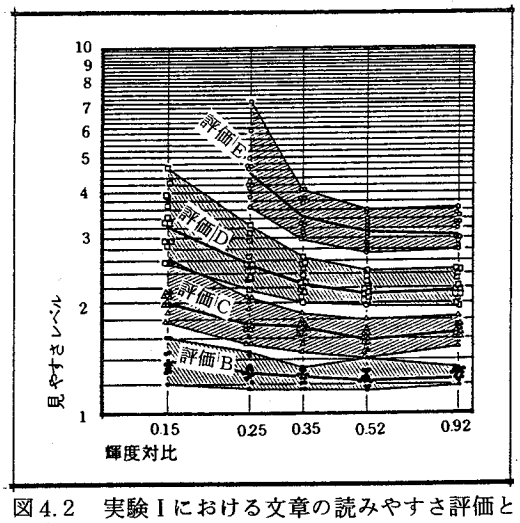


図4.2　実験Ⅰにおける文章の読みやすさ評価と見やすさ レベルとの対応関係の一例
（背景輝度 1400 cd/m² 被験者 A．K．）

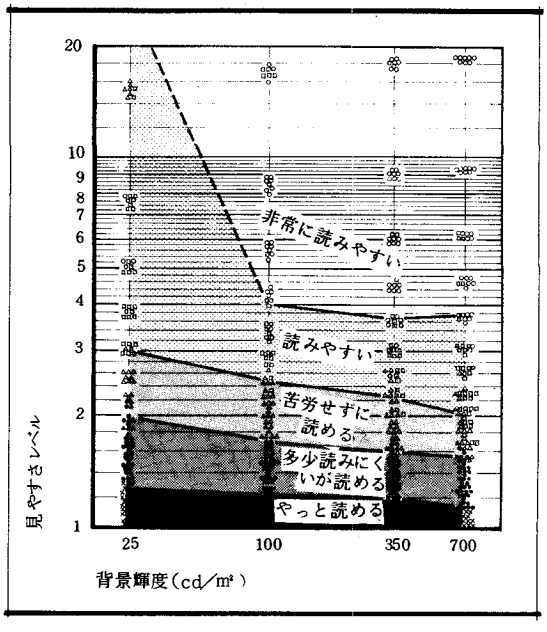


図4.3　実験Ⅱにおける文章の読みやすさ評価と見やすさ レベルとの対応関係の一例
（輝度対比 0.92，被験者R．S．）

と考えてよい。図4.2、図4.3のいずれにおいても高い評価におけるほどこの部分が広くなっており、高い評価ほど見やすさレベルに乱れが生じることを示している。他の被験者におけるこの乱れの大きさと傾向も例示したものとほとんど一致しており、被験者による顕著な差異は認められない。

しかし、主観評価にはこのような不安定さが常に存在することを考慮すればこの評価の不安定さが文章の読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係を検討する上で、支障を生じるほど重大なものではないと言えるため以下の考察を行うために、次に述べる方法で評価「0」～評価「5」の相隣接する評価間の境界に対応する見やすさレベルを求めた。すなわち、実験Ⅰで得た評価はその境界に対する評価そのものであるので、同一条件で得た12個の見やすさレベルの平均値を境界の見やすさレベルとした。また、所定の観察位置で8回づつの評価を行なわせた実験Ⅱについては、相隣接する評価の回数が上下で同数となる見やすさレベルの値を境界の見やすさレベルとし

た。図 4.2、図 4.3 に示した太い実線が上記のような方法で求めた境界の見やすさレベルを結んだ隣接する読みやすさの評価間の境界線である。

4.4.2　文章の読みやすさの評価における活字寸法の影響

実験Ⅰで得た活字寸法が異なる 2 種の日本文視標に対する読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係を被験者ごとに示したものが図 4.4 である。図中の実線と破線がそれぞれ活字寸法 7.2 ㎜と 4.5 ㎜の文章に対する読みやすさ評価間の境界線である。両被験者の結果とも、実線と破線はほとんど重なっており、活字の絶対寸法が異なっても読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係に差異を生じないことを示している。

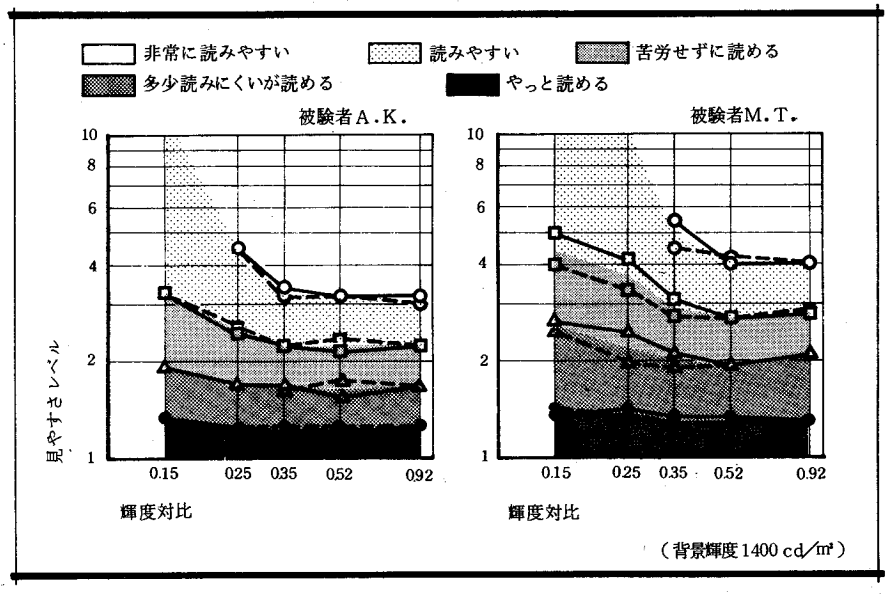


図 4.4　文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係
（——— 7.2 ㎜ 日本文，- - - - 4.5 ㎜ 日本文）

視対象の視認を決定するのは、視対象の絶対寸法ではなく、視対象の見かけの大きさ（視角）であること、さらに見やすさレベルが視対象の大きさの閾値に対する実際の視対象の相対的な大きさを表現する指標であることを考慮すれば、この結果は当然である。すなわち、視対象の背景輝度と輝度対比

が同一である場合は、印刷活字の絶対寸法に係わりなく、見やすさレベルが文章の読みやすさの評価を数量的に適切に表現する指標であることを示している。

ここで検討した2種の文章は、活字寸法だけでなく文章の内容も異っているので上記の結果は2つの文章に理解上の難易の差異が存在しなかったことさらには、文章内容の違いが読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係に大きな影響を与える要素ではないことを示すものである。しかし、文章内容を理解する上での差異が文章自身に内包されている場合には、両者の対応関係に差異が生じることは予想に難くないが、この問題は照明設計の手法に直接関連するものではないので、それについての詳細な検討はここでは行なわなかった。

4.4.3　文章の読みやすさ評価における背景輝度の影響

実験Ⅱで得た背景輝度が異なる4種の条件下における文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係を背景輝度についてまとめたものが図4.5である。それぞれの図は視標の輝度対比および被験者ごとの結果を示すものである。図中の折線は読みやすさの評価間の境界を示すものであるが、境界の見やすさレベルが求まらない場合が存在したので、その場合については妥当と考えられる見やすさレベルを推定して、破線で境界を示してある。

背景輝度が小さい場合ほど、同一の読みやすさ評価に対応する見やすさレベルが若干大きくなる傾向が認められるが、その程度は僅かであり、実用上は両者の対応関係は背景輝度に関係なくほぼ一定と見なしてよい。また、両者の対応関係の被験者による差異もわずかであり、実用上は無視できる程度である。

したがって、本実験の背景輝度25～700 cd/m² の範囲においては、背景輝度および被験者に関係なく読みやすさの各評価に対応する見やすさレベルの値の範囲はほぼ一定していると考えてよい。この考えに基づいて図4.5か

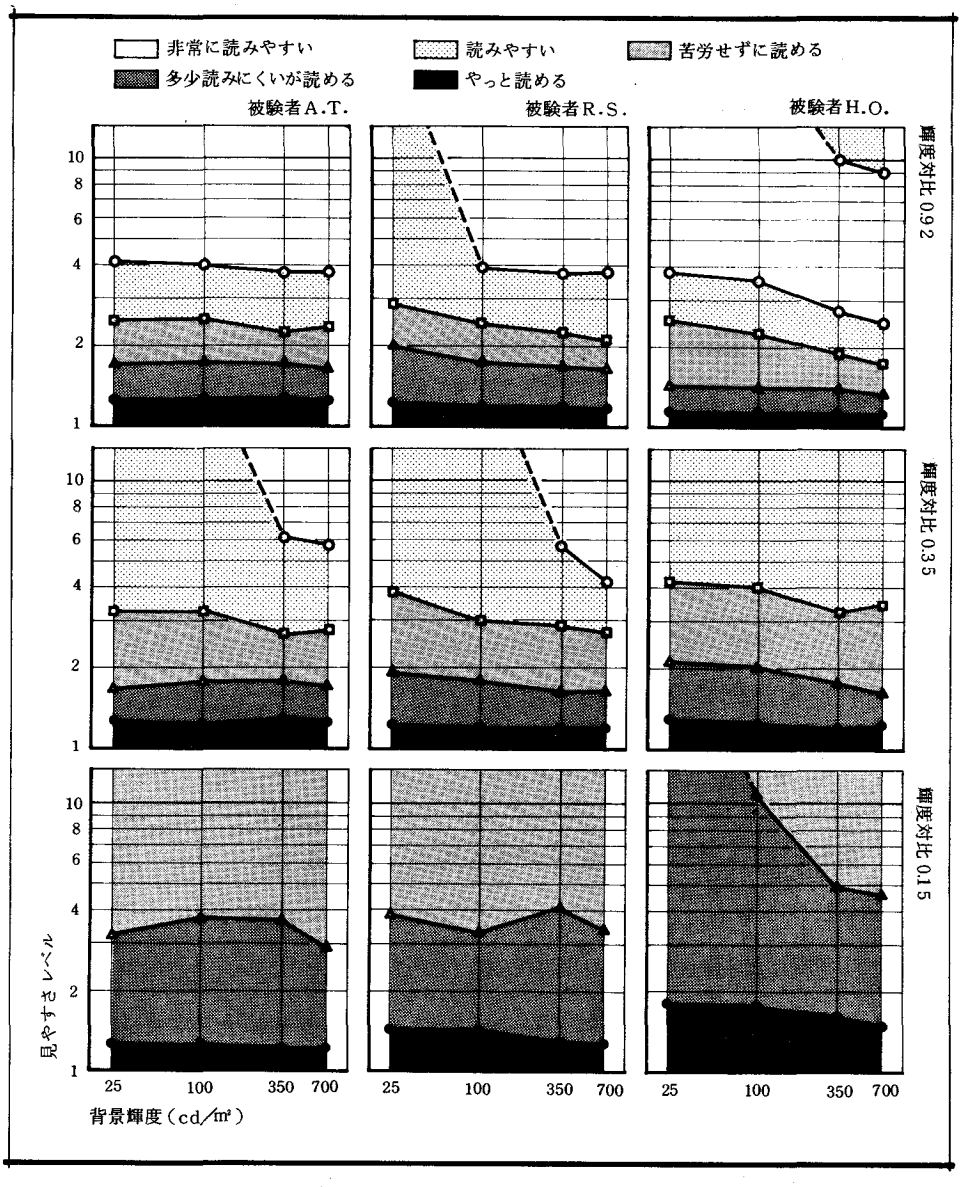


図 4.5　文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの関係（ 4.5 mm日本文 ）

ら読み取った明朝体の日本文の読みやすさの各評価に対応する見やすさレベルの大略の数値を示したものが表 4. 5 である。

背景輝度が小さい条件におけるほど、視対象の見かけの大きさが大きくなければ同一の評価が得られないとの実験結果が得られているが、これを見や

表 4.5　明朝体日本文の読みやすさ評価に対応する見やすさレベル（背景輝度 25～700 cd/m²）

読みやすさの評価	背景輝度		
	0.15	0.35	0.92
読めない	〈1.0	〈1.0	〈1.0
やっと読める	1.0～1.4	1.0～1.3	1.0～1.2
多少読みにくいが読める	1.4～3.7	1.3～1.8	1.2～1.6
苦労せずに読める	〉3.7	1.8～3.2	1.6～2.3
読みやすい	—	3.2～5.5	2.3～3.8
非常に読みやすい	—	〉5.5	〉3.8

すさレベルであらわせば、見やすさ評価への背景輝度の影響が、読みやすさの閾の評価への背景輝度の影響に等しいことを意味するものであって、見やすさレベルが背景輝度の影響をも考慮した明視照明設計上有用な見やすさの評価指標であることを裏づけるものである。

4.4.4　文章の読みやすさ評価における輝度対比の影響

実験Ⅰにおける輝度対比が異なる5種の視標並びに実験Ⅱにおける3種の視標に対して得られた読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係を輝度対比との関係において、背景輝度、被験者ごとにまとめたものが図4.6である。

読みやすさ評価相互間の境界を示す折線はいずれの図においても左上りで、折線の間隔は上方ならびに左方で広くなっており、上位の折線は左方で図の範囲をはみ出す傾向にある。このことは、視対象の輝度対比が小さいほど同じ読みやすさ評価に対応する見やすさレベルの数値が大きく、しかもその範囲も広く、輝度対比に差異がある場合には読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係が一定せず、特に高い評価におけるほどその傾向が顕著であることを示している。同図は、輝度対比が小さい場合には評価「5」（非常に

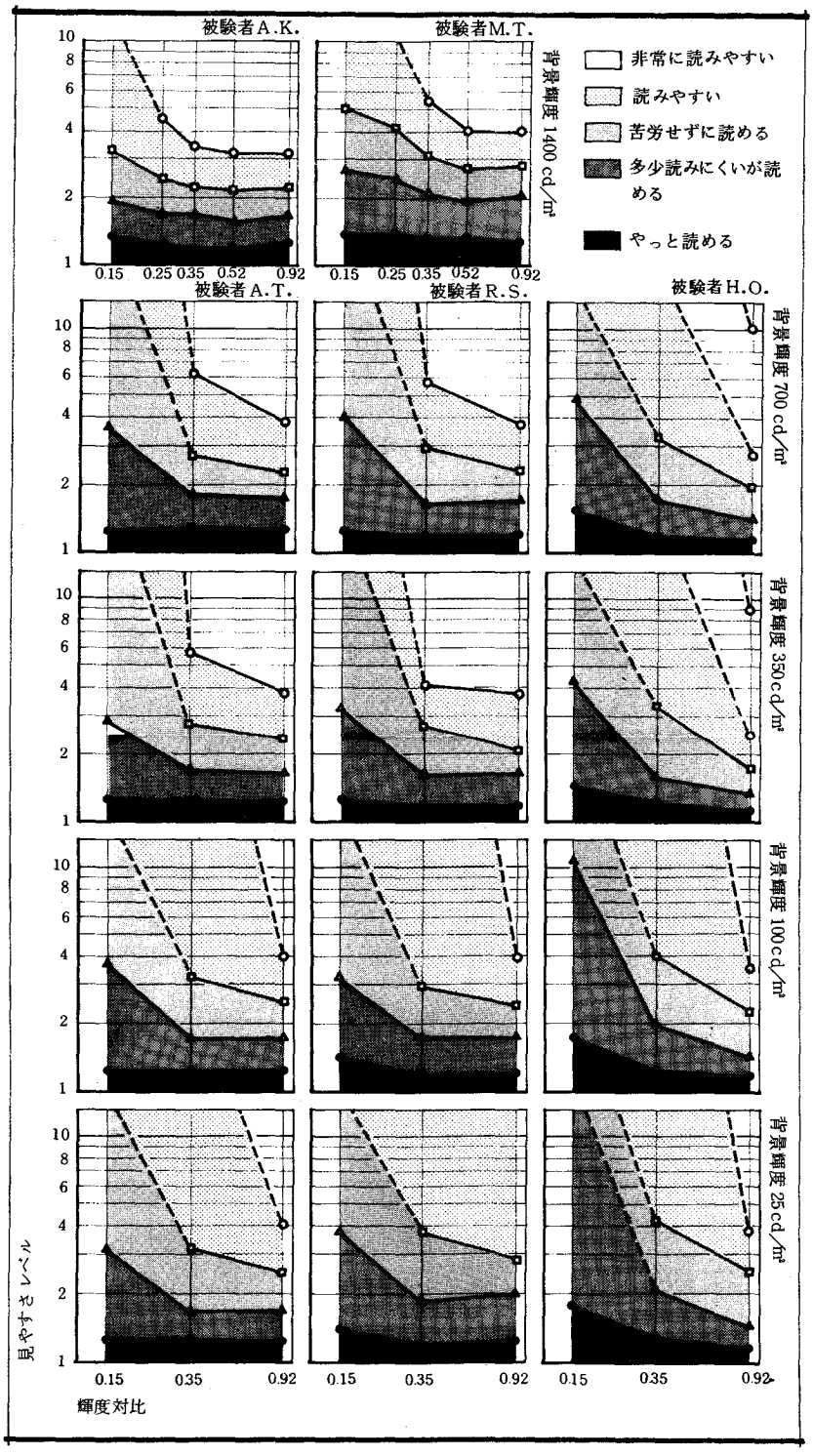


図 4.6　文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係（ 4.5 mm 日本文 ）

読みやすい）や評価「4」（読みやすい）が図示の範囲の見やすさレベルに対して存在しないことを示している。

輝度対比の小さい視標に対するほど、同一の読みやすさ評価が得られるときの視距離は小さく、したがって視対象の見かけの大きさを大きくしなければ、同一の評価が得られないことは背景輝度の場合と同様である。しかし、輝度対比の場合と異なり各評価に対応する見やすさレベルが、必ずしも一定であるとは言えない。このことは読みやすさの評価に与える輝度対比の影響が、評価ごとに異なることを意味している。すなわち、輝度対比の低下によって生じる大きさの閾値の増加以上の大きさの増加がなければ、同一の評価が維持できないことを示すものである。

この結果は、見やすさレベルが輝度対比の影響を対比の全域にわたり完全に表現する見やすさの評価指標でないことを示すものである。しかし、輝度対比が0.35以上の場合においては、読みやすさの各評価に対応する見やすさレベルの値がほぼ一定と見なし得ること、並びに視対象の輝度対比が0.35以下となるような極めて劣悪な照明条件は、評価対象として論じられるべきでないことを考え合わせれば、見やすさレベルは輝度対比に関しても実用上は要件を満たすものと考えられ、明視照明設計における見やすさの評価指標として十分耐え得るものであるということができる。

表4.6　明朝体日本文の読みやすさ評価に対応する見やすさレベル（輝度対比0.35以上）

読みやすさの評価	背景輝度 (cd/m²)				
	25	100	350	700	1400
読めない	〈1.0	〈1.0	〈1.0	〈1.0	〈1.0
やっと読める	1.0～1.2	1.0～1.2	1.0～1.2	1.0～1.2	1.0～1.3
多少読みにくいが読める	1.2～1.8	1.2～1.8	1.2～1.7	1.2～1.7	1.3～1.8
苦労せずに読める	1.8～3.0	1.8～2.7	1.7～2.5	1.7～2.5	1.8～2.5
読みやすい	3.0～4.0*	2.7～4.0*	2.5～4.5	2.5～4.5	2.5～3.8
非常に読みやすい	〉4.0*	〉4.0*	〉4.5	〉4.5	〉3.8

＊　輝度対比が0.92の場合

結果には、被験者による若干の差異が認められるが、輝度対比0.35以上につき図4.6から読み取った明朝体の日本文の読みやすさの各評価に対応する見やすさレベルの大略を表4.6に示す。

4.4.5　日本文と英文との読みやすさ評価の比較

実験Ⅰで得た輝度対比が同一である日本文視標（文字寸法7.2㎜）と英文視標（同5.7㎜）に対する読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係を示したものが図4.7である。図中の実線は日本文、破線は英文に対する結果である。

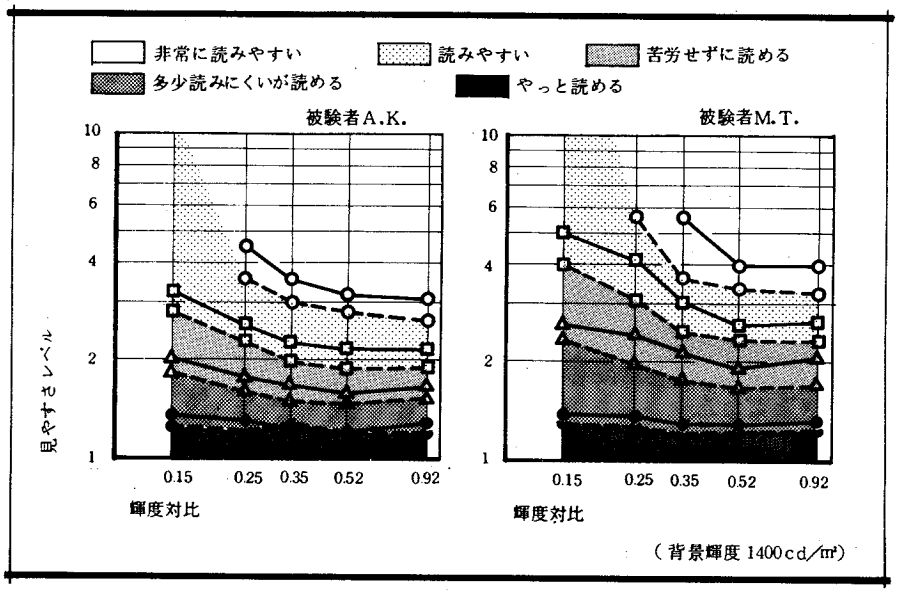


図4.7　文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係
（―――― 7.2㎜日本文，- - - - 5.7㎜英文）

同一評価に対しては、実線は破線よりも常に上方に位置しており、同一評価を得るには日本文の方が英文よりも大きい見やすさレベルを必要とすることを示している。活字寸法の差異が読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係を左右しないという4.4.2で得た結果より、実験結果は日本文と英文との間に本質的な読みやすさの差異があることを示すものである。この差異

は、日本文の構成要素である平仮名と漢字は、英文の構成要素であるアルファベットと比較して、文字の種類が桁違いに多く、形も非常に複雑であることにあると考えられる。文字を視認する難易の差が文章の読みやすさと見やすさレベルとの対応関係に影響することを示す結果であると考えてよく、活字の書体が異なる場合にも同様の差異が生じることを示唆するものである。

図4.8は英語に堪能な外国人による英文視標に対する読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係を示したものである。この結果は表4.2に示した「1」～「5」の読みやすさの評価内容をそれぞれ「1」：Just readable,「2」：hardly readable,「3」：fairly readable,「4」：easily readable,「5」：contentedly readable と訳した評価尺度を用いて得たものである。

この結果と同一の英文視標に対する日本人被験者の結果（図4.5）との間には顕著な差異は認められない。このことより、外国語の文章であっても、それに対する理解能力を有する被験者によって得られた結果であれば、読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係は広く活用できるものであることがわかる。

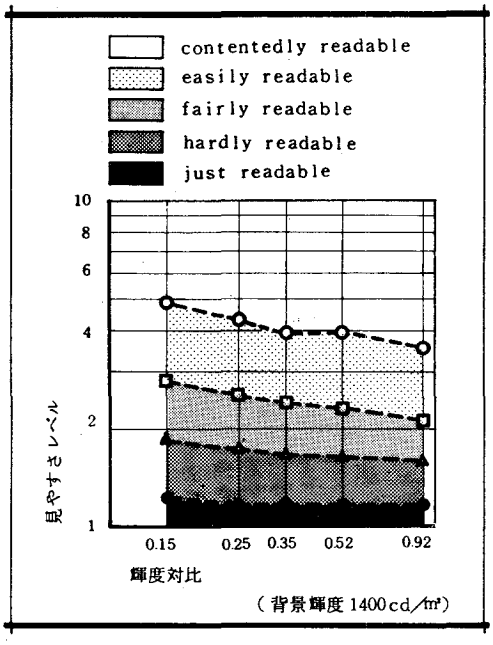


図4.8　文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係
（5.7㎜英文，被験者F.B.）

作業の速度や精度を問題にする場合には、言語に対する習熟の程度が結果に影響を与えることが予想され、そのような場合の評価指標としては見やすさレベルは不適当であると言わねばならないが、個人の能力とは無関係な、照明の評価においては、この見やすさレベルは適切な評価指標であると言える。

4.4.6　文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの関係

以上の考察より、見やすさレベルが文章の読みやすさ評価を適切に表現する明視照明設計上有用な見やすさの評価指標としての要件を満たすものであることが裏付けられた。

本実験で得た結果をまとめると、事務作業を対象とする明視照明設計の実用範囲と考えてよい、背景輝度約２５～1,０００ cd／m²，輝度対比0.３５以上の条件下においては、明視３要素の条件や活字の寸法さらには、被験者に関係なく、明朝体の平易な日本文に対する読みやすさの評価と見やすさレベルとの対応関係は、大略表4.７に示すものとなり、ローマン体の英文に対するものは、同表の数値より若干小さい値になると言える。

表4.7　明朝体日本文の読みやすさ評価に対応する見やすさレベル
（背景輝度２５～１０００ cd／m²，輝度対比 0.３５以上）

読みやすさの評価	見やすさレベル
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
読みやすい	2.5 ～ 4.0
非常に読みやすい	〉 4.0

この対応関係は、少数の被験者を対象とした実験に基づくものであるため、そのまま実用資料とするには若干の不安は残るが、被験者間に顕著な差異が認められなかったことを考慮すれば、十分実用に耐え得るものと考えられる。

ここでは、「文章を読む」作業に限って見やすさの評価と見やすさレベルとの対応関係を求めたが、このような対応関係は、どのような視作業であってもここで得たと同程度の安定したものであろうことは容易に予測される。

したがって、本研究で提示している見やすさレベルは、視作業の明視性の評価に有用な指標として広く用い得るものであるということができる。

4.5　本章のまとめ

明視3要素を種々に組み合わせた条件下での被験者実験で得た、各種の文章に対する読みやすさの主観評価と見やすさレベルとの対応関係を検討した結果をまとめると以下の通りである。

(1)　文章の読みやすさの主観評価には、主観評価に避けられない不安定さが存在し、高い評価ほど評価の乱れが大きくなる傾向が認められたが、その評価の乱れは読みやすさの主観評価と見やすさレベルとの対応関係を検討する上で重大な障害となるほどのものではない。（図4.2，図4.3）

(2)　視対象の背景輝度と輝度対比が一定である場合、文章の読みやすさの評価は、印刷活字の絶対寸法に係わりなく、見やすさレベルによって適切に表現することができる。（図4.4）

(3)　視対象の背景輝度が約２５～７００ cd／m²の範囲においては、明朝体の日本文の読みやすさの各評価が、被験者や背景輝度に関係なく、ほぼ一定の見やすさレベルと対応する。（図4.5，表4.5）このことは、読みやすさの評価における背景輝度の影響が、背景輝度の差異による視対象の大きさの閾値の差異で表現し得ることを意味するものである。

(4)　視対象の輝度対比が異なる場合、文章の読みやすさ評価と見やすさレベルとの対応関係は一定しないが、輝度対比が0.３５以上の範囲においては、両者の対応関係はほぼ一定であり、実用的な輝度対比の範囲に限定すれば、読みやすさの評価における輝度対比の影響も、輝度対比の差異による視対象の大きさの閾値の差異で表現することができる。（図4.6，表4.6）

(5)　文章の読みやすさの評価に対応する見やすさレベルの値は、文章が日本文である場合と英文である場合とでは、若干の差異を生じる。これは、それぞれの文章の構成要素である漢字やひらがなとアルファベットとの間の形の複雑さや種類の数の差異によるものであると考えられる。（図4.7）

(6)　以上の結果より、明視照明設計の実用範囲である、背景輝度が約２５～1,０００ cd／m²，輝度対比が0.３５以上の条件下においては、文章の読みやすさの各評価は、明視3要素の条件や被験者に関係なく、ほぼ一定の見

やすさレベルの値と対応し、見やすさレベルが明視照明設計における実用的な見やすさの評価指標として有用であることが実証された。（表4.7）

参考文献

1) 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ー照明の評価指標としての見やすさレベル（ＶＥＬ）の有用性ー，照明学会誌，６４－１０（１９８０）５４１

2) 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ー文章の読みやすさとランドルト環視力との関係ー，日本建築学会近畿支部研究報告（１９７７）５３

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ー文章の読みやすさの主観評価と読みやすさレベルとの関係ー，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系（１９７７）１７７

4) 伊藤克三，大野治代，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ー見やすさレベルと主観的な読みやすさとの関係ー照明学会全国大会講演論文集（１９７７）９２

第5章　文章を読む作業における活字に等価なランドルト環の大きさ[1),2)]

5.1　本章の目的

見やすさレベルが、視作業の主観的な見やすさを適切に表現する明視照明設計における見やすさの評価指標として有用なものであることを、「文章を読む」作業を例にとって前章で明らかにした。しかし、この見やすさレベルは、与えられた照明条件下での視対象の背景輝度と輝度対比によって決まる視対象の大きさの閾値に対する与えられた視対象の大きさの倍率であるので、任意の照明条件下における大きさの閾値が求まらなければ、見やすさのレベルを知ることはできない。

対象とする視作業が、ランドルト環の識別である場合には、背景輝度と輝度対比の条件がわかれば、標準等視力曲線から、その条件下で視認閾となるランドルト環の大きさ、すなわち、大きさの閾値を読み取ることができる。したがって、明視照明設計の対象とする実際の視作業についても、標準等視力曲線に相当するものが準備されておれば、任意の照明条件下におけるその視対象の大きさの閾値を知ることは簡単である。

しかし、標準等視力曲線が厖大な視覚実験の結果から作成された図表であることを考えると、多種多様な現実のあらゆる視作業のそれぞれについて、標準等視力曲線に相当するものを視覚実験に基づいて作成することは、実際上は、不可能であると言わざるを得ない。

ランドルト環の識別作業の場合には、ランドルト環の直径の1/5の大きさをもつ切れ目が識別の対象であることは明白であるが、一般の視作業の場合には、視対象のどの部分が識別の対象であるかを特定することは困難である。しかし、どのような視作業であっても、その作業の閾を決定する視対象の細部は、作業ごとに決まっており、視対象の絶対寸法や作業者に関係なく、その細部の視対象全体に対する大きさの比率は一定であると考えることができる。すなわち、その細部を具体的に知ることはできないとしても、その細部

に等価なランドルト環の大きさを知ることは可能であると考えられる。

以上のような考えに基づいて、現実の視対象とランドルト環との視作業閾における大きさの対応関係を知り、その関係に従って、現実の視対象の大きさをランドルト環の大きさに読み替えることにすれば、上述のような方法で、標準等視力曲線から任意の照明条件下における現実の視対象の大きさの閾値を簡単に知ることができる。

このように、現実の視作業の見やすさレベルの予測に標準等視力曲線を広く活用することにより、視対象の大きさの要素をも取り入れた見やすさを対象としていることが、本明視照明設計法の大きな特長の1つである。

本章は、「文章を読む」作業を対象として視覚実験を行ない、その視作業閾における文章の活字とランドルト環との大きさの対応関係を求めることにより、現実の視作業に等価なランドルト環の設定が可能であることを実証すると同時に「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計において欠くことのできない両者の対応関係を明確にしようとするものである。

5.2　実験の概要

5.2.1　実験装置と実験方法

実験には、前章の文章の読みやすさの主観評価実験Ⅰに使用した装置を用いた。その詳細は4.2.1ですでに述べた。

視線を固定した被験者を観察台を乗せ、視野に十分順応させた後、観察台を前後に移動することによって、輝度が約1,400 cd／m²のほぼ一様な視野の中央、視線上に呈示した各種の文章視標ならびにランドルト環視標が閾状態となる位置を被験者に設定させ、そのときの視距離を測定する方法で実験を行なった。

文章視標については、文章の意味内容が理解できる限界の状態を、また、ランドルト環については、その切れ目の方向が視認できる限界の状態をそれぞれの視標の閾状態とすることを毎回被験者に指示した。実験の途中で、適宜、文章を読ませ、ランドルト環の切れ目の方向を答えさせることによって、

被験者の回答位置が指示通りの閾状態を与える点であることを確認した。なお、被験者が回答を行なう際には、定常視作業時に相当する状態を想定し、時間的制約は一切設けることをしなかった。

予備実験の結果、視標の呈示順序が被験者の回答にほとんど影響を及ぼさないことが判明したので、観察位置の大巾な変更による被験者の肉体的疲労を避けるため、同種の視標を大きさの順に従って呈示する方法を採り、２つの場合についての実験を行なった。すなわち、大きい視標から呈示し、被験者が各視標に近づきながら閾視距離を回答する実験と、逆に、小さい視標から呈示し、視標から遠ざかりながら閾視距離を回答する実験を併せて実施し、両者をあわせて１回の実験とした。

5.2.2　視標と被験者

第３章で作成した表面にビニール加工を施さない標準視標の１枚の紙面から切り取った文章ならびにランドルト環を本実験の視標とした。使用した視標は、表5.1に示す通りで、活字の寸法が異なる日本文１２種と英文１２種の計２４種の文章視標と、寸法が異なる１７種のランドルト環視標の計４１種である。表には文章視標の活字の大きさとランドルト環の切れ目の大きさを示してあるが、活字については、写植印刷における級の値と漢字又はアルファベット大文字の縦寸法を併記し、ランドルト環については、視距離を９０cmとしたときの検出視力と切れ目の寸法を併記してある。

本実験においては、主として呼称対比が0.９２である印刷紙面から切り取った視標を用いたが、視標の輝度対比の差異が結果に影響を及ぼすかどうかの検討を行なうため、呼称対比が0.５０及び0.２２である印刷紙面から切り取った視標を用いた実験もあわせて行なった。

本実験で使用した被験者は、日本人９名と外国人２名の計１１名であり、いずれも正常な視覚を有する男子である。各被験者の概要と実験回数を表5.2に示す。表中の視力は、呼称対比が0.９２で視距離９０cmでの検出視力が1.0であるランドルト環（切れ目の寸法：0.２６mm）に対して回答された観

察視距離から算出した視力である。なお、外国人被験者については、英文視標とランドルト環視標に対する実験のみを行ない、日本文視標に対する実験は行なわなかった。

表 5.1　実験に用いた文章視標の活字の大きさとランドルト環視標の大きさ

日本文			英文			ランドルト環		
記号	級数	漢字縦寸法	記号	級数	大文字縦寸法	記号	90cm視力	切れ目寸法
J_1	44	9.90mm	E_1	44	7.92mm	L_1	0.1	2.62mm
J_2	38	8.55	E_2	38	6.84	L_2	0.2	1.31
J_3	32	7.20	E_3	32	5.76	L_3	0.3	0.87
J_4	28	6.30	E_4	28	5.04	L_4	0.4	0.66
J_5	24	5.40	E_5	24	4.32	L_5	0.5	0.52
J_6	20	4.50	E_6	20	3.60	L_6	0.6	0.44
J_7	15	3.38	E_7	15	2.80	L_7	0.7	0.37
J_8	13	2.93	E_8	13	2.34	L_8	0.8	0.33
J_9	12	2.70	E_9	12	2.16	L_9	0.9	0.29
J_{10}	10	2.25	E_{10}	10	1.80	L_{10}	1.0	0.26
J_{11}	9	2.03	E_{11}	9	1.62	L_{14}	1.2	0.22
J_{12}	8	1.80	E_{12}	8	1.44	L_{15}	1.5	0.17
						L_{16}	1.8	0.14
						L_{17}	2.1	0.12
						L_{18}	2.4	0.11
						L_{19}	2.7	0.10
						L_{20}	3.0	0.09

表 5.2　被験者の概要と実験回数

被験者	年令	性別	視力	実験回数 視標の輝度対比		
				0.92	0.50	0.22
M. T.	27	男	1.9	3	3	3
K. N.	25	男	1.7	3	3	3
A. I.	27	男	1.5	3	3	3
M. S.	24	男	0.7	3	3	—
T. R.	25	男	1.9	3	—	3
T. O.	24	男	1.9	3	—	3
C. K.	23	男	1.5	3	—	3
R. S.	30	男	1.8	3	—	—
T. K.	27	男	1.7	3	—	—
F. B.*	37	男	1.9	3	—	—
K. U.*	33	男	1.8	3	—	—

＊外国人被験者のため日本文視標に対する実験は行なわなかった。

5.3　実験結果と考察

5.3.1　視作業閾における視対象の大きさと視距離との関係

大きさが異なる視標のそれぞれに対して得られた閾状態の観察視距離と視

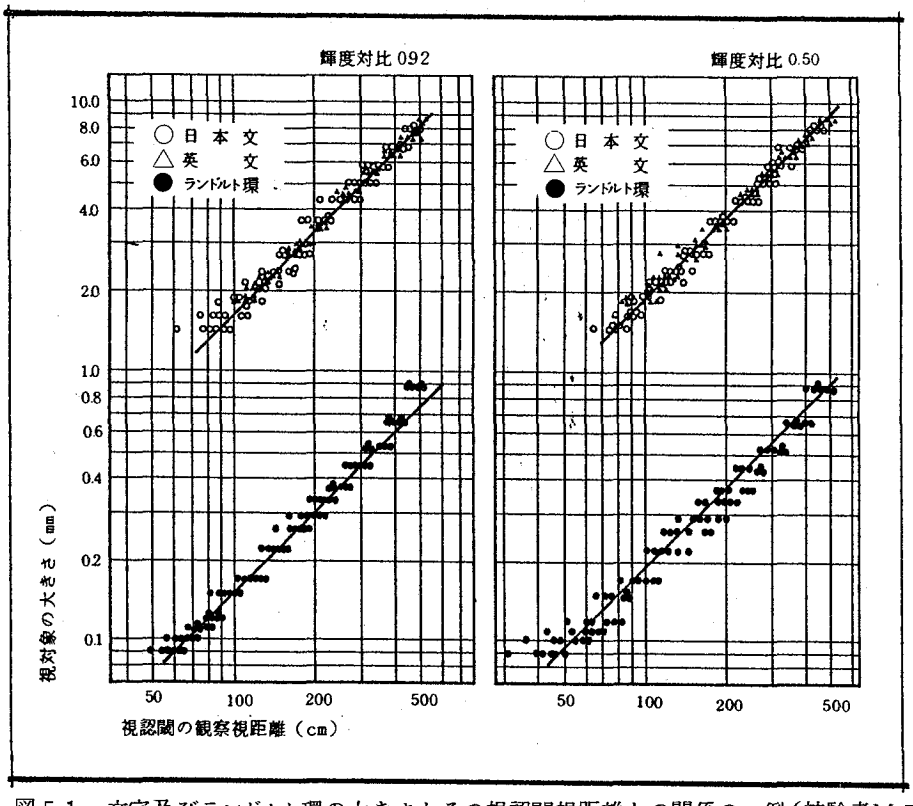


図 5.1　文字及びランドルト環の大きさとその視認閾視距離との関係の一例（被験者M.T.）

対象の大きさとの関係を示したものの１例が図 5.1 である。図の縦軸には呈示視対象の大きさを対数尺で目盛ってあり、横軸には視認閾の観察視距離を対数で目盛ってある。

本図は、呼称輝度対比 0.9 2 と 0.5 0 の視標に対する被験者M.T. の結果であり、同一視標につき 2 度づつ行なわせた 3 回の実験で得た 6 つの結果を同時に示したものである。

文章及びランドルト環のいずれの視標に対する実験結果も、ほぼ４５度の勾配をもつ直線上に分布している。視対象寸法と視距離との比が一定となる

この結果は、背景輝度と輝度対比が同一であれば、視作業閾を与える視対象の見かけの大きさ（視角）が、視対象の絶対寸法に拘らず一定であることを意味するものである。

識別対象である切れ目の形状が同一であるランドルト環においては、この結果は当然であるが、ここで用いた文章の内容は視標ごとに異なっており、それにもかかわらず、上記のような結果が得られたことは、文章の判読を決定する文字細部の文字全体に対する相対的な大きさが文章内容に関係なくほぼ一定であることを示している。

このことを考慮して、視対象の大きさと視距離との関係を求めるため、1回の実験で得た2組の結果ごとに図5.1に示すような勾配45度の直線を挿入し、その直線から視距離100cmにおける各視標の寸法を読み取った。その結果を表5.3に示す。

この結果より同じ視対象であっても被験者間にはかなりの差異が認められるが、閾状態となる視対象の大きさ（視角）は被験者並びに視対象の種類ごとにはほぼ一定となっている。

5.3.2　視作業閾における視対象の大きさ（視角）

表5.3の結果から各視対象の視作業閾における大きさ（視角）を求め、それの被験者ごとに平均値と被験者の視力との対応関係を示したものが図5.2である。

被験者の視力は、輝度対比0.92のランドルト環の視認閾より求めたものであるので、輝度対比0.92のランドルト環における視力と視角との関係が両対数目盛の図上で右下りの直線となるのは当然である。輝度対比が異なるランドルト環についてもほぼ同様の直線関係が認められ、文章視標に対する結果においても若干の乱れが存在するものの同様の傾向が認められる。視作業閾の視対象の視角が被験者の視力に逆比例することを示すこの結果は、表5.3に認められた被験者間の差異が主として個人の視力の差異によるものであって、視作業閾の判断基準の個人差によるものでないことを示すものであ

表5.3　視距離１００cmで閾状態となる視対象の寸法*（mm）

輝度対比		0.92			0.50			0.22		
視対象		ランドルト	日本文	英文	ランドルト	日本文	英文	ランドルト	日本文	英文
被験者	M.T.	0.164	1.64	1.87	0.151	1.76	1.62	0.198	2.23	2.02
		0.141	1.60	1.57	0.172	1.73	1.78	0.230	2.36	2.18
		0.152	1.64	1.57	0.195	1.85	1.78	0.236	2.30	2.21
	K.N.	0.188	1.96	2.18	0.183	1.80	1.87	0.258	2.59	2.48
		0.156	1.67	1.71	0.190	2.09	1.98	0.257	2.54	2.39
		0.175	1.89	2.02	0.263	2.18	2.32	0.263	2.52	2.43
	A.I.	0.200	1.80	1.71	0.248	1.98	1.80	0.239	2.32	2.03
		0.194	1.67	1.55	0.198	1.87	1.80	0.255	2.25	2.03
		0.200	1.76	1.73	0.250	2.00	1.85	0.263	2.27	2.07
	M.S.	0.420	3.94	3.96	0.412	4.16	4.50			
		0.390	3.65	3.38	0.438	4.39	4.14		—	
		0.370	3.49	3.49	0.422	4.05	4.18			
	T.R.	0.155	1.91	1.87				0.255	2.03	2.29
		0.155	1.62	1.62		—		0.248	2.16	1.94
		0.150	1.53	1.57				0.240	2.03	1.98
	T.O.	0.152	1.82	2.02				0.175	1.94	1.84
		0.152	1.76	1.64		—		0.200	2.32	2.05
		0.143	1.64	1.71				0.215	2.34	2.20
	C.K.	0.178	2.14	2.38				0.303	2.13	2.77
		0.198	2.30	2.20		—		0.267	2.72	2.57
		0.198	2.03	2.12				0.262	2.75	2.61
	R.S.	0.165	2.03	1.89						
		0.155	1.85	1.80		—			—	
		0.170	2.00	1.80						
	T.K.	0.160	1.82	1.89						
		0.168	1.98	2.07		—			—	
		0.172	2.05	2.18						
	F.B.	0.150	—	1.53						
		0.144	—	1.62		—			—	
		0.162	—	1.89						
	K.U.	0.158	—	1.66						
		0.160	—	1.76						
		0.160	—	1.75						

＊ランドルト環：切れ目の寸法
日本文：漢字の縦寸法
英文：大文字の縦寸法

る。すなわち、視作業閾を決定する視対象の細部がランドルト環のように明確でない文章の場合であっても、その判読閾を決定する文字細部の文字全体に対する相対的な大きさが被験者にかかわらずほぼ一定であることを示すものである。

輝度対比が異なる3種の視標すべてについて実験を行なった3名の被験者による視対象の輝度対比と視作業閾での視対象の視角との関係を示したものが図5.3である。この図においては、いずれの視対象においても輝度対比が小さいほど、視認閾での視角は大きくなっており、視対象の輝度対比が視認閾視角を決定する要因の1つであることを示しているが、結果は視対象の種類や被験者によって大きな差異を生じるものでないことを示している。

以上の結果は、「文章を読む」作業の閾を決定する文字細部の文字全体に対する相対

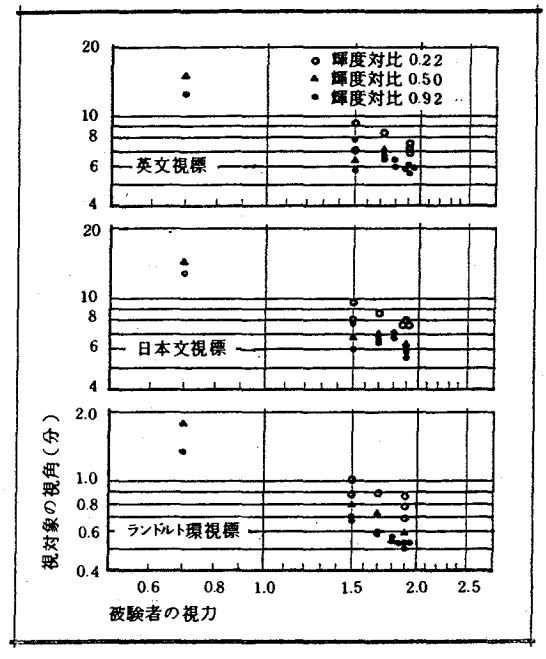


図 5.2　被験者の視力と視認閾の視対象の視角との関係

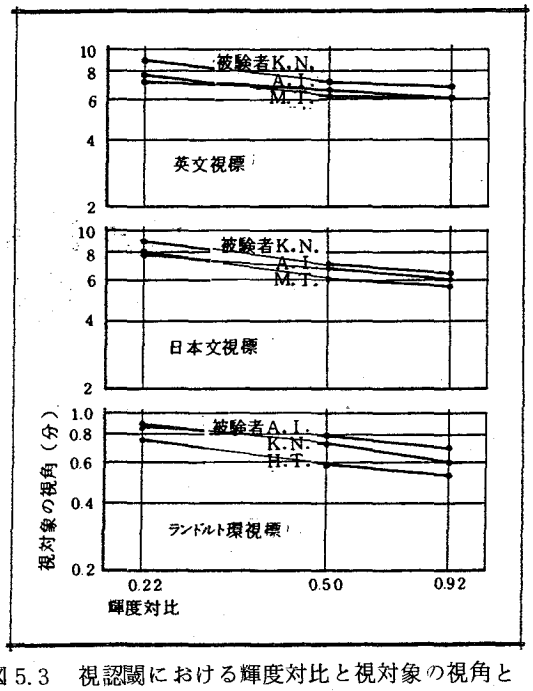


図 5.3　視認閾における輝度対比と視対象の視角との関係

的な大きさは、視対象の輝度対比に左右されるものの、文字の絶対寸法や視距離あるいは観察者の視力には関係なくほぼ一定であることを示すものであり、視作業閾における現実の視対象とランドルト環との大きさの対応関係、すなわち、現実の視作業に等価なランドルト環の大きさを求めることが可能であり、明視照明設計において標準等視力曲線を広く活用しようとする本設計法の考え方の妥当であることを裏づけるものである。

5.3.3　文章の活字に等価なランドルト環の大きさ

表5.3に示した視距離１００cmでのランドルト環の閾寸法と日本文あるいは英文の活字の閾寸法とを用いて、前者に対する後者の倍率をそれぞれの実験ごとに算出し、それを被験者ごとに平均した結果を示したものが表5.4である。

表5.4　　ランドルト環切れ目の閾寸法に対する活字の閾寸法の倍率

輝度対比		0.92		0.50		0.22	
文章		日本文	英文	日本文	英文	日本文	英文
被験者	M.T.	10.7	10.9	10.4	10.1	10.4	9.7
	K.N.	10.7	11.4	9.7	9.8	9.8	9.4
	A.I.	8.8	8.4	8.5	7.9	9.0	8.1
	M.S.	9.4	9.2	9.9	10.1	—	—
	T.R.	11.0	11.0	—	—	8.7	8.4
	T.O.	11.7	12.0	—	—	11.2	10.3
	C.K.	11.7	11.7	—	—	10.3	10.2
	R.S.	11.7	11.6	—	—	—	—
	T.K.	11.7	12.3	—	—	—	—
	F.B.	—	11.0	—	—	—	—
	K.U.	—	10.8	—	—	—	—

ある文章が判読閾となるのは、その文章内容を理解する上で必要な文字の

細部が視認閾状態となるときであって、そのときの細部の大きさは、同一視距離で視認閾状態となるランドルト環の切れ目の大きさに等価であると考えてよい。したがって、同一視距離で閾状態となる活字とランドルト環との大きさの対応関係を示す本表の値は、文章の視作業閾を決定する活字の細部をそれに等価なランドルト環の切れ目の大きさに置き換えたときの、その細部の大きさに対する活字全体の大きさの倍率を与えるものであって、細部の全体に対する相対的な大きさを示すものである。

この倍率と被験者の視力あるいは視対象の輝度対比との関係を示したものがそれぞれ図5.4，図5.5である。
いずれの図においても若干の個人差は認められるが、被験者の視力や視対象の輝度対比の差異によって、この倍率は影響されるものでないことが知れる。

前項での結果と上記の結果を総合すれば、閾状態においては、文章の活字に等価なランドルト環の大きさは、活字の見かけの大きさ（視角）や被験者の視力，視対象の輝度対比に無関係で、活字の実寸法のみで決まるものであると言える。

日本文に対する計57回、英文に対する計63回の実験で得た活字のランドルト環に対する大きさの倍率を平均すると、日本文では10.3、英文では10.2となる。

この値を用いて、両者の大きさの対応関係を示したものが図5.6である。この図には、実用上の便宜を考慮して、写植印刷文字の大きさを示す級の

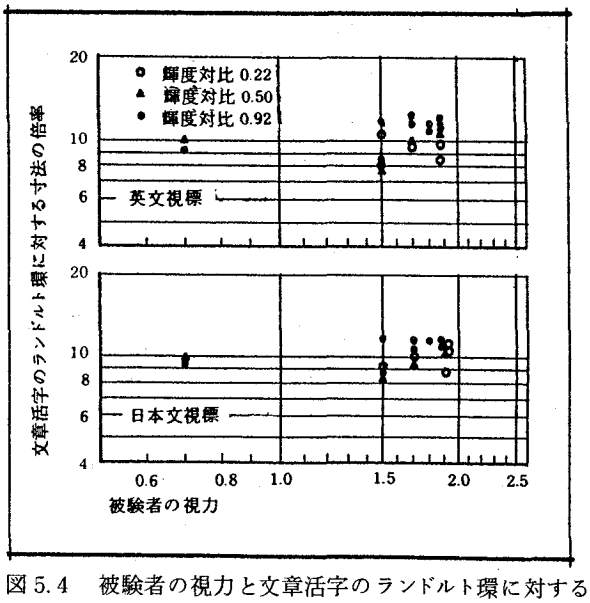


図5.4　被験者の視力と文章活字のランドルト環に対する倍率との関係

値と、視距離が９０cmであるときのランドルト環視力が読み取れる目盛も付加してある。

以上の結果より、日本文，英文のいずれにおいてもその判読閾となる活字は、同一条件で視認閾となるランドルト環の切れ目の大きさの約１０倍の大きさをもつものであると言える。したがって、この倍率を用いて標準等視力曲線のランドルト環の大きさを文章の活字の大きさに換算すれば、それを「文章を読む」作業の閾についての明視３要素の組み合せ条件を与えるものとして利用することができる。

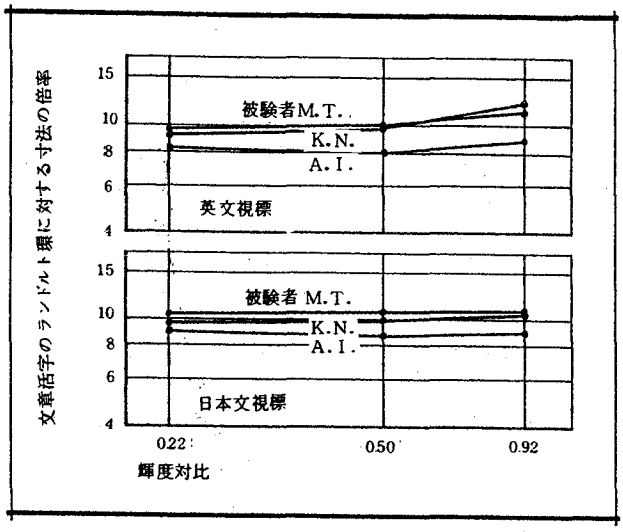


図 5.5　輝度対比と文章活字のランドルト環に対する倍率との関係

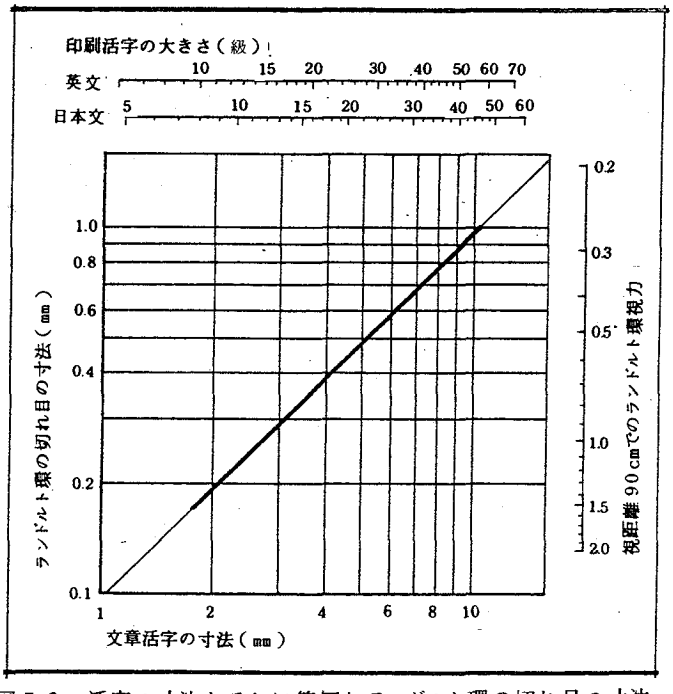


図 5.6　活字の寸法とそれに等価なランドルト環の切れ目の寸法との関係

5.3.4　関連した従来の研究

視対象の大きさを考慮した文字の見え方を扱った研究は、これまでにもいくつかなされている。以下、それらの研究成果とここで得た結果とを比較検討する。

先ず、印東・河合[3]並びに川畑[4]は視認閾を含む種々の主観評価が得られるときの漢字，ひらがなおよびアルファベット等の文字の大きさと照度との関係を求めてはいるが、背景輝度および輝度対比の条件が明確でないため、これらの研究成果とここで得られた結果とを直接比較することはできない。

漢字，文章，ひらがな等の視認閾視距離を比較検討した小林[5]は、文章およびひらがなの視認はそれぞれ6～8画及び3～4画の漢字の視認に相当するとの結果を得ている。その試みは類似しているが、文章の判読をある画数をもつ漢字に置き換えているのみであることで、本研究とは本質的に異なるものである。

中根[6]は、文章の判読は8画の漢字の判読に等価であり、また、それは活字の1／14の大きさの切れ目を有するランドルト環の識別に等価であるとの実験結果を得ている。この研究では、活字の印刷枠の寸法を活字の寸法としており、活字の実寸法が印刷枠寸法の7～8割であることを考慮すれば、この比率は文字の実寸法の1／10～1／11に相当するものとなり、本研究で得た結果1／10と一致するものである。しかし、中根の研究においては、視対象の文章あるいは字画数の異なる種々の漢字が判読閾となる背景輝度を実験的に求め、標準等視力曲線を利用して、字画数の異なる漢字のそれぞれに等価なランドルト環の大きさを決定している。したがって、結果としては本研究とほぼ同一の数値が得られているものの、「文章を読む」作業の閾状態における明視要素の条件を標準等視力曲線から予測する資料として得た本研究の結果とは、その意味する内容が全く異なっているものであると言わざるを得ない。

5.4　本章のまとめ

各種の視対象の寸法ならびに輝度対比の場合について、ランドルト環と日本文および英文の視作業閾の視距離を比較検討した実験の結果を要約すると以下の通りである。

(1)　視対象の背景輝度と輝度対比が同一である条件下では、同種の視対象の視作業閾における絶対寸法は視距離に比例し、視作業閾におけるそれぞれの視対象の見かけの大きさ（視角）は視距離に関係なく一定である。（図5.1）

(2)　一定の視距離で閾状態となる視対象の絶対寸法すなわち視作業閾となる視対象の見かけの大きさは、視作業対象の種類（ランドルト環，日本文，英文）、視対象の輝度対比および被験者によって異なるが、個々の被験者においては、ほぼ一定している。（表5.3）

(3)　視作業閾における視対象の見かけの大きさの被験者間の差異は、もっぱら被験者の視力に起因するものであって、視作業閾の判定には顕著な個人差は認められない。（図5.2）

(4)　視作業閾における視対象の見かけの大きさと輝度対比との関係にも顕著な個人差は認められない。（図5.3）

(5)　同一の視距離で閾状態となる文章とランドルト環は、視認において等価であり、文章視作業の閾を決定する活字細部の大きさは、同一視距離で視認閾となるランドルト環の切れ目の大きさに等価であると考えてよく、上記の結果は、標準等視力曲線の広範な利用を前提とする本明視照明設計法の妥当性を裏づけるものである。

(6)　文章視作業の閾を与える活字に等価なランドルト環の大きさは、活字の見かけの大きさ（視角）、被験者の視力、視対象の輝度対比には関係なく、活字の実寸法のみによって決まり、「文章を読む」作業における活字の大きさとこれに等価なランドルト環の切れ目の大きさとの比は、日本文で10.3、英文で10.2である。（図5.4、図5.5、図5.6）

(7)　日本文，英文を問わず、標準等視力曲線を用いて与えられた照明条件下での活字の閾寸法を求めるには、標準等視力曲線で求まるランドルト環の

切れ目の寸法の１０倍を活字の閾寸法とすれば実用上は十分である。

参　考　文　献

1) 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，（１９７７）５３

2) 伊藤克三，大野治代，佐藤隆二：文章に等価なランドルト環の大きさに関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系（１９７７）１７５

3) 印東太郎，河合悟：適正照度に関する心理学的実験，照明学会雑誌，５７－９（1973）８

4) 川畑愛義：和漢洋文字の最低確認照度の研究，照明学会雑誌，２１－１（１９３７）

5) 小林朝人：文字と文章を読む視距離について、日本建築学会論文報告集号外，（1966）４９２

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，２２９（１９７５）１１１

第6章　明視照明設計用標準視標の反射特性[1)～3)]

6.1　本章の目的

視対象の背景輝度，輝度対比ならびに大きさの3者が視対象の見え方を支配する主要な物理要素であって、この3要素の条件が既知である場合には、見やすさの評価指標である見やすさレベルを介して、視対象の主観的な見やすさの評価を予測し得ることは、すでに述べた通りである。

明視3要素のうち、視対象の大きさは照明条件とは無関係に視作業条件として与えられるものであるが、背景輝度と輝度対比は照明条件に大きく左右されるものであり、これらが任意の照明条件下で予測できなければ、明視照明設計の実行は不可能である。

現在では、照度の予測計算法は確立されており、現実の照明条件下での照度の予測に必要な種々の資料も非常によく整備されているが、輝度の予測計算法については極めて曖昧な枠組が存在するにすぎず、現実の照明条件下における輝度予測のための実用資料に至っては皆無に等しいのが現状である。

これは輝度が照明に比較して予測の難しい測光量であり、予測に必要な資料を整えるには、多大の労力を要するものであることにもよるが、輝度を設計対象とする照明設計法に対する基本的な考え方が未だ確立されていないことにその最大の原因があるものと言うことができる。

輝度は照明条件の他、視条件や視対象の条件に影響されるため、その予測のためにはあらかじめ視条件と視対象物を決定し、それらの条件に見合った予測用の資料を準備しておく必要があり、技術的に難しい面が少なくないことは事実である。しかしながら、明視照明設計は、あくまでも直接の視覚刺激である輝度を対象になされるべきものであって、これが今後の照明設計の方向であることは議論の余地のないところである。

以上のような観点に立ち、輝度を対象とする明視照明設計法を確立することが本研究の目的であり、その目的を達成するためには、任意の照明条件下での輝度を予測する実用的な手法とそれに必要な資料の整備が不可欠である。

輝度予測の基礎となるものは、視対象表面の光学的特性であり、本研究ではこれを示すものとして反射特性を用いる。これは近時、輝度係数とも言われ、漸次一般化しつつあるが、本章ではこれの明確な定義と、これの輝度予測への適用方法を示した上で、本研究で設定した標準視対象についての測定結果に考察を加えたものである。

6.2 輝度の計算法と反射特性

面の明るさを表現する測光量として輝度は次式で定義されている。

$$L_\theta = \frac{dI_\theta}{dA\cos\theta} \qquad (\mathrm{cd/m^2}) \qquad (6.1)$$

ここに、L_θ：面上のある点における法線とのなす角がθである方向の輝度（cd／m²）

dI_θ：面上のその点を含む微小面積dA（m²）のθ方向の面光度（cd）

面が均等拡散面である場合、面光度dI_θは

$$dI_\theta = dI_n\cos\theta \qquad (\mathrm{cd}) \qquad (6.2)$$

ここに、dI_n：面の法線方向の面光度（cd）

で表わされるため、面の輝度は方向にかかわらず常に一定値をとり、面の光束発散度M（lm／m²）との間には次の関係が成立する。

$$L = M/\pi \qquad (\mathrm{cd/m^2}) \qquad (6.3)$$

面の反射率がrで、照度がE（lm／m²）であるとき、その面の光束発散度Mは、

$$M = rE \qquad (\mathrm{lm/m^2}) \qquad (6.4)$$

となり、均等拡散面の輝度は

$$L = rE/\pi \qquad (\mathrm{cd/m^2}) \qquad (6.5)$$

で計算できる。

これまでの照明設計では、検討面を均等拡散面と仮定して、（6.5）式を

用いて照度より輝度を求めてきた。

現実の視対象面が均等拡散面であることはほとんどなく、このような場合に対しては前田博士による面光度の定義[4]と反射面の性状を規定する反射特性関数の定義[5]がなされるまで、明確な輝度計算法は確立されてはおらず、現在もなお、非均等拡散面の輝度計算法が明確に記述されることは極めてまれであるのが実状である。ただし、上記の反射特性関数は、そのままでは輝度を表わすものでないため、輝度計算にはこれに若干の修正を加える必要がある。これを伊藤，手塚[6]は反射特性と定義している。

本研究においては、これを用いて面の輝度計算を行うのであるが、以下、反射特性を導入した輝度計算法を示す。

図6.1に示す面A上の基準線aと面の法線nとに対するそれぞれ2つの角度で規定されるdi（θi，φi）方向の入射光によるdr（θr，φr）方向の反射光を考える。

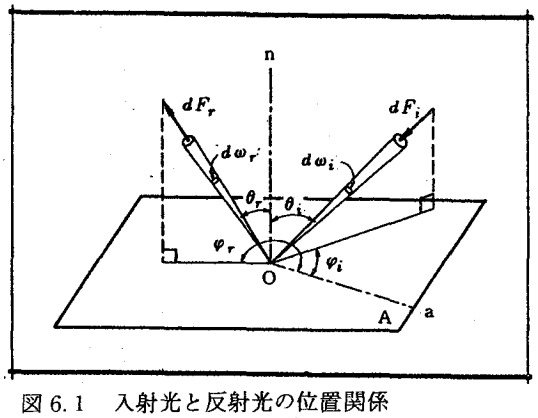


図6.1　入射光と反射光の位置関係

面上のO点にdi方向から入射する微小立体角$d\omega i$内の光束をdFiとして、次式を与えられる入射点光度I_{di}を考える。

$$I_{di} = \frac{dFi}{d\omega i} \quad (\mathrm{lm}/\mathrm{steradian}) \qquad (6.6)$$

面上のこのような受光点密度をn（1／m²）として、

$$I_{di} = I_{di} \cdot n \quad (\mathrm{lm}/\mathrm{steradian} \cdot \mathrm{m}^2) \qquad (6.7)$$

で与えられる「単位立体角当り、単位面積当り入射する光束」をdi方向の「入射光の強さ」とする。また、面上のO点からdr方向に反射する微小立体角$d\omega r$内の光束をdFrとして、点光度I_{dr}

$$I_{dr} = \frac{dFr}{d\omega r} \qquad (\mathrm{lm}/\mathrm{steradian}) \qquad (6.8)$$

を考え、面上のこのような点光源密度を n（1／m²）として

$$J_{dr} = I_{dr} \cdot n \qquad (\mathrm{lm}/\mathrm{steradian} \cdot \mathrm{m}^2) \qquad (6.9)$$

で与えられる「単位立体角当り、単位面積当り発散する光束」を dr 方向の「発散光の強さ」とする。

いま、O点の di 方向の入射光の強さを J_{di} とし、これが di を含む微小立体角 $\triangle\omega i$ 内では一様で、この立体角外では入射光の強さは0とする。このとき $J_{di} \cdot \triangle\omega i$ がO点の照度である。ここで、$J_{di} \cdot \triangle\omega i$ において $\triangle\omega i \to 0$ と同時に $J_{di} \to \infty$ となるものとし、その積である照度は1（lm／m²）にとどまるものとする。すなわち、

$$\lim_{\substack{\triangle\omega i \to 0 \\ J_{di} \to \infty}} J_{di} \cdot \triangle\omega i = 1 \qquad (\mathrm{lm}/\mathrm{m}^2) \qquad (6.10)$$

このときの dr 方向に反射する反射光の強さを $J_{di,dr}$（lm／steradian・m²）としたとき、次式で示されるものを反射特性関数と定義する。

$$\rho_{di,dr} = \frac{J_{di,dr}}{\lim_{\substack{\triangle\omega i \to 0 \\ J_{di} \to \infty}} J_{di} \cdot \triangle\omega i} \quad (1/\mathrm{steradian}) \qquad (6.11)$$

これは、di 方向から入射する平行光によるO点の照度が1（lm／m²）であるときの、dr 方向での反射光の強さを与えるものであって、面の反射指向特性を表現する関数である。

したがって、図6.2に示す点光源PによるO点での照度が E（lm／m²）であるときの、OV方向の反射光の強さ $J_{di,dr}$ は（6.11）式より、

$$J_{di,dr} = \rho_{di,dr} \cdot E \quad (\mathrm{lm}/\mathrm{steradian} \cdot \mathrm{m}^2) \qquad (6.12)$$

このときのO点を含む微小面積 dA の dr 方向の面光度 $dI_{di,dr}$ は、

$$dI_{di,dr} = J_{di,dr} \cdot dA \quad (\mathrm{cd}) \qquad (6.13)$$

このときのＯＶ方向のＯ点の輝度 $L_{di,dr}$（cd／m²）は、

$$L_{di,dr}=\frac{dI_{di,dr}}{dA\cdot\cos\theta_r} \qquad (6.14)$$

θ_r：面Ａ法線とＯＶとのなす角

これに（6.13）式、（6.14）式の関係を代入すれば、

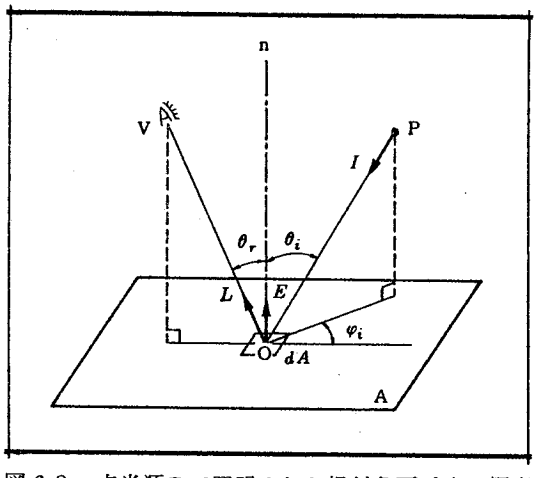


図 6.2　点光源Ｐで照明された視対象面 dA の輝度

$$L_{di,dr}=\rho_{di,dr}\cdot E/\cos\theta_r \quad (\mathrm{cd/m^2}) \qquad (6.15)$$

$\rho_{di,dr}$ の値は、入射光と反射光の方向を規定する $\theta_i,\varphi_i,\theta_r,\varphi_r$ の４つの角度に依存するものであるが、面上の基準線ａを $\varphi_r=2\pi$ の方向にとることにすると、$\theta_i,\varphi_i,\theta_r$ の３つの角度に対して $\rho_{di,dr}$ は定まり、これより $\rho'_{di,dr}$ を次式で定義する。

$$\rho'_{di,dr}=\frac{\rho_{di,dr}}{\cos\theta_r} \quad (1/\mathrm{steradian}) \qquad (6.16)$$

これは、di 方向から入射する平行光によるＯ点の照度が１（lm／m²）であるときの dr 方向での輝度を与えるもので、これを反射特性と言う。反射特性 $\rho'_{di,dr}$ を用いて（6.15）式を書き換えると、

$$L_{di,dr}=\rho'_{di,dr}\cdot E \quad (\mathrm{cd/m^2}) \qquad (6.17)$$

上式は、対象面の反射特性を与えれば、照度から正確な輝度が計算できることを示すものであり、輝度計算の基礎をなすものである。すなわち、多数の点光源あるいは面光源によって照明されている場合の対象面の輝度 L（cd／m²）はそれぞれ次式によって計算することができる。

$$L=\sum_{k=1}^{m}L_k=\sum_{k=1}^{m}\rho'_k\cdot E_k \quad (\mathrm{cd/m^2}) \qquad (6.18)$$

L_k：点光源による輝度　（cd／m²）

ρ_k：点光源からの入射方向に対する反射特性値（1／steradian）

E_k：点光源による照度（lm／m²）

$$L = \int dL_{ds} = \int \rho'_{ds} \cdot dE_{ds} \quad (\mathrm{cd/m^2}) \qquad (6.19)$$

L_{ds}：微小面光源 ds による輝度（cd／m²）

ρ'_{ds}：微小面光源 ds からの入射方向に対する反射特性値（1／sr.）

dE_{ds}：微小面光源 ds による照度（lm／m²）

照度の計算法はすでに確立されているので、輝度計算を可能にするためには、視対象面の反射特性を明らかにすればよいことになる。この場合、視線方向を固定すれば、反射特性値は（θ_i，φ_i）について測定すればよいことになる。

6.3　標準視標の反射特性値の測定

6.3.1　測定装置と測定方法

測定対象の試料を（θ_i，φ_i）の方向から平行光で照射したときの θ_r 方向の輝度 $L_{\theta_i, \varphi_i, \theta_r}$（cd／m²）とそのときの試料面上の照度 E_{θ_i} とを測定すれば、反射特性 $\rho'_{\theta_i, \varphi_i, \theta_r}$ は次式で求められる。

$$\rho'_{\theta_i, \varphi_i, \theta_r} = \frac{L_{\theta_i, \varphi_i, \theta_r}}{E_{\theta_i}} \quad (1/\mathrm{steradian}) \qquad (6.20)$$

したがって、反射特性の測定は測定対象の θ_r 方向の輝度と各方向からの平行入射光による照度とを同時に測定することに帰することができる。

正確な反射特性を得るには、平行光の入射方向をできる限り数多く、しかも、正確に設定することが必要であり、これが反射特性を測定する上での基本要件である。

この測定要件を満たし、しかも、能率よく測定を行なうため、図6.3に示す測定装置を作成した。本装置は、試料面の輝度の測定方向を一定に保ったまま、平行入射光の方向を正確にしかも簡単に調整しうるようにしたもので、測定試料を水平に固定する資料台、プロジェクターからの平行光の入射方向

を任意に設定できるプロジェクター支持台および試料面の特定方向の輝度測定用の輝度計とで構成されている。

プロジェクター支持台は、試料台の中心を通り互いに直交する2つの回転軸を持っており、1つは試料台に垂直な回転軸であり、他は試料面内に含まれる回転軸である。試料台と輝度計は固定してあるので、前者の軸のまわりに支持台を回転することによって、平行光の入射角 θi を一定に保った状態で輝度測定方向に対する平行光の入射方位角 φi を任意に設定することができる。また、後者の軸のまわりに支持台を回転することによって、平行光の試料面に対する入射角 θi を任意に設定することができる。なお、プロジェクターは、その光軸が試料中心を通るように設置してあるので、いずれの回転を行なっても、光軸が試料中心をはずれることはない。

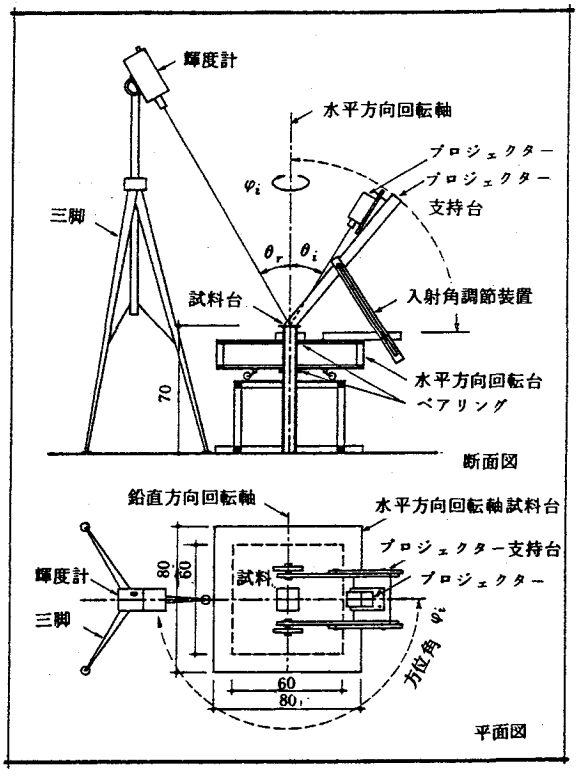


図6.3　反射特性測定装置の概要

本研究においては、事務作業を対象とした明視照明設計に焦点を絞ることにしているので、ここでは第3章で設定した設計用標準視作業条件に限って反射特性の測定を行うことにした。すなわち、印刷紙面の表面を透明のビニール膜で被覆した標準視標の反射角 $\theta r = 30°$ 方向での反射特性に限り測定を行った。

先ず、呼称輝度対比0.98の標準視標より、輝度測定用のベタ印刷面と白

紙面とを切り取り、それらを、紙面に凹凸を生じないようにガラス板に密着固定した白黒一対の測定試料を作成した。次に、光軸を試料面の中心を通る反射角 $\theta r = 30°$ の方向に向けて正確に輝度計を固定した。測定には、Spectra Pritchard 1980型輝度計を用い、視角20′で測定した。

測定試料を試料台に固定し、まず、入射角 $\theta i = 0°$ となる位置にプロジェクター支持台を設定して、そのときの試料面上の照度 E_0 を測定する。照度測定には東芝SPI－1型照度計を用いた。次に、θi を測定条件にあわせて固定し、支持台を水平方向に回転させて、方位角 $\varphi i = 0°$～180° について測定を行なう。

輝度測定は、表6.1に示す計220の平行光の入射条件下で行なった。輝度の測定方向 $\theta r = 30°$ が試料面に対する入射光の正反射方向となる（ $\theta r =$

表6.1　平行光の入射条件

入射角 θi	方位角 φi	条件数
0°	—	1
5°, 15°	0°, 1°, 2°, 3°, 5°, 10°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°, 180°	36
25°, 26°, 27° 28°, 28.5°, 29°, 29.5°	0°, 0.5°, 1.0°, 1.5°, 2°, 3°, 4°, 5°	56
30°	0°, 0.5°, 1.0°, 1.5°, 2°, 3°, 4°, 5°, 10°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°	20
30.5°, 31°, 31.5°, 32°, 33°, 34°, 35°	0°, 0.5°, 1.0°, 1.5°, 2°, 3°, 4°, 5°	56
45°, 60°, 70°	0°, 1°, 2°, 3°, 5°, 10°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°	51
	計	220

30°，$\varphi_i = 0°$）の近傍においては、入射方向のわずかな変化により、輝度が大きく変化するため、その近傍では入射角および方位角の設定間隔を細かくした。

なお、試料面の照度の測定は次の方法によった。入射角 θ_i が大きい場合、受光部の厚みによる誤差を生じ、試料面上の正確な照度が得られないため、プロジェクターランプに対する印加電圧を一定に保ちながら、その都度プロジェクターを $\theta_i = 0°$ の位置に設定したときの試料面照度 E_0 を測定し、次式により $E_{\theta i}$ を求めることにした。

$$E_{\theta i} = E_0 \cos\theta_i \quad (\mathrm{lx}) \qquad (6.21)$$

E_0：入射角 $\theta_i = 0°$ のときの照度　（lx）

θ_i：平行光の入射角

輝度測定は、ベタ印刷面および白紙面のそれぞれについて3回づつ行なった。

6.3.2 測定結果

平行光を（θ_i，φ_i）の方向から入射したときの試料面の輝度 $L_{\theta i, \varphi i}$ と（6.21）式で計算したそのときの試料面の照度 $E_{\theta i}$ より、そのときの試料面の反射特性値 $\rho_{\theta i, \varphi i}$ を次式で計算した。

$$\rho_{\theta i, \varphi i} = \frac{L_{\theta i, \varphi i}}{E_{\theta i}} = \frac{L_{\theta i, \varphi i}}{E_0 \cos\theta_i} \ (1/\mathrm{steradian}) \qquad (6.22)$$

なお、この計算に用いた照度 E_0 は測定で得た照度計の指示値そのものではなくて、輝度均一な均等拡散性面光源を用いた測定で得た輝度計と照度計の読みによる両計器間の較正値により輝度計の読みを基準に較正した照度値である。

測定の結果得た反射特性値と入射角との関係を標準視標のベタ印刷面と白紙面のそれぞれについて示したものが図6.4と図6.5である。図の曲線は3回の測定値の平均値を入射方位角ごとの鉛直断面上で示したものである。

両紙面とも $\varphi_i = 0°$，$\theta_i = 30°$ のとき、反射特性値が最大値10（1／steradian）

前後の値を示し、この方向からはなれるに従い、急激に減少し、入射角あるいは方位角が３０°以上外れた方向では、両紙面とも入射方向による反射特性値の変化はきわめてわずかである。すなわち、ベタ印刷面では０.００６～０.０２、白紙面では０.２～０.３の値となっている。一方、$\varphi i = 0°$，$\theta i = 30°$近傍での反射特性値の方向による変化は非常に急激であり、両紙面の$\varphi i = 5°$の曲線が$\theta i = 30°$近傍でほとんど一致している。正反射方向の近傍ではベタ印刷面の層内反射光がほぼ無視できることを考慮すれば、この近傍における反射特性値が主としてビニール被膜表面での表皮反射光によるものであり、これが非常に強い指向性をもち、白紙面においても正反射方向を中心とする約１５°の範囲では、これが反射光の中で支配的であることを示している。

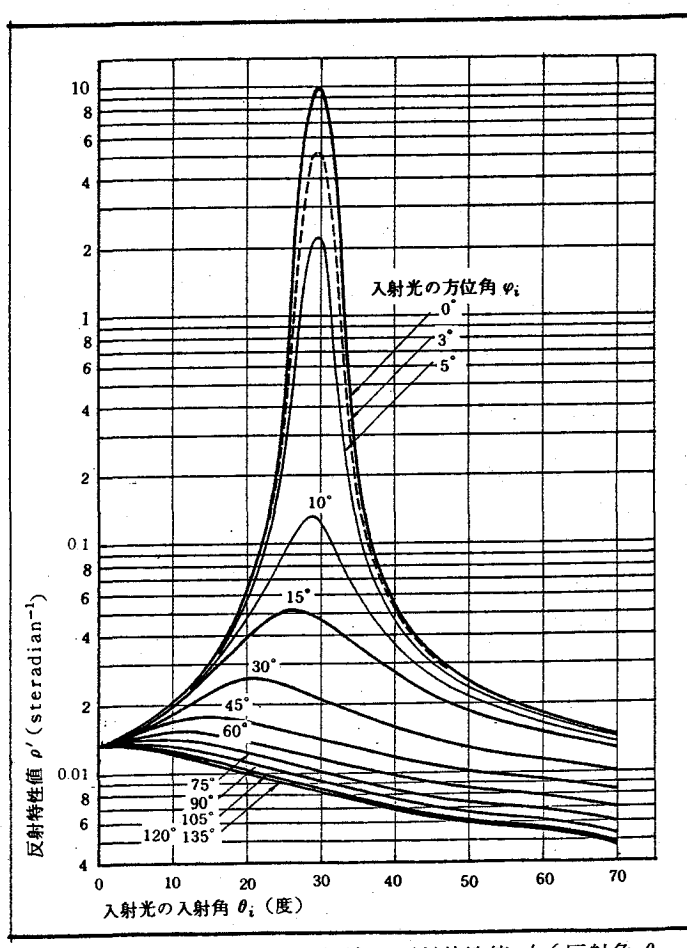


図 6.4　標準視対象面（ベタ印刷面）の反射特性値ρ'（反射角$\theta_r = 30°$）

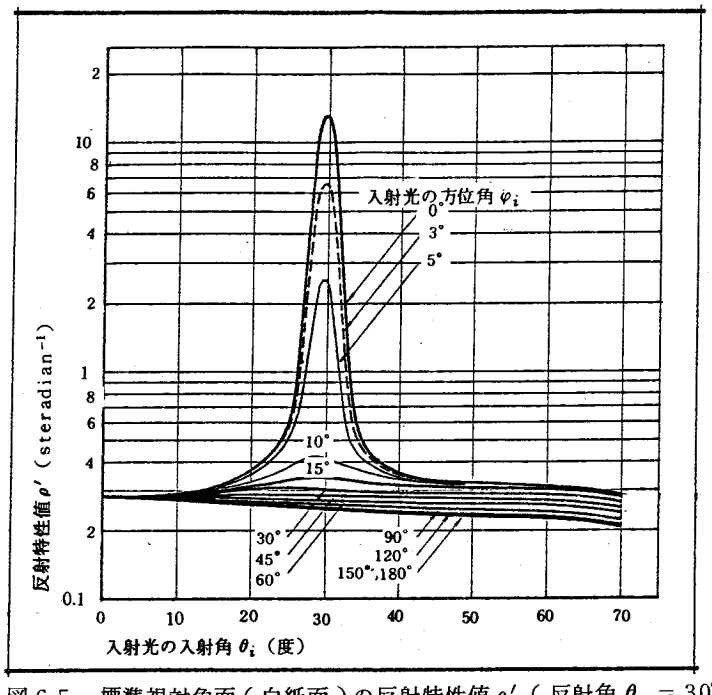


図 6.5　標準視対象面（白紙面）の反射特性値 ρ'（反射角 $\theta_r = 30°$）

ベタ印刷面では、上記の範囲外の反射特性値も入射方向により若干異なっており、表皮反射光が広範な入射方向に対して存在することを示しているが、その量は白紙面では無視できる程度のものであることがわかる。ベタ印刷面においては、その層内反射光が無視できるので、白紙面とベタ印刷面との反射特性値の差は、白紙面の層内反射光によるものであると考えることができ、それが正反射方向の近傍を除けば入射光の方向に関係なくほぼ一定の値を示しており、層内反射光が均等拡散に近い反射性状をもつことを示している。

6.4　反射特性図表

これらの紙面の輝度計算を行なう場合、図 6.4 および図 6.5 より光源からの入射光の方向における反射特性値を求めることが必要であるが、これらの図からこれを正確に読み取ることは容易ではない。これらの図が特定の入射方位角についての反射特性値のみを与えるものであるので、それ以外の入射

方位角については、適宜、補間を行なわなければならないが、曲線の性質上その補間を簡単にしかも精度よく行なうことは困難である。

この困難を避け、任意の入射方向に対する反射特性値が容易に読み取れるよう、これらの図を書き改めたものがそれぞれ図6.6および図6.7である。

これらの図は、試料面上の測定点を中心とする半球面上にプロットした測定値を試料面上に等距離射影したものであって、図中の曲線は図6.4あるいは図6.5の反射特性値をコンターラインで示したものである。図の同心円が入射光の入射角θiを円の中心からの放射線が入射光の方位角φiを与えているので、任意の方向の入射光によるそれぞれの視標の反射特性値は、これらの図から簡単に読みとることができる。

たとえば、入射角$\theta i = 35°$，方位角$\varphi i = 50°$の方向からの入射光による反射特性値は、図中のS点の値としてベタ印刷面の場合は$\rho'_{35,50} = 0.012$，白紙面の場合は$\rho'_{35,50} = 0.285$であることが簡単に読み取れる。

したがって、視対象面の反射特性の表示はこのような方法で行なうのが実用的、かつ、合理的であると言える。ただし、これらの図は標準視対象を反射角$\theta r = 30°$の方向で観察する場合にのみ適用できるものであって、同一の視対象であっても観察条件が異なれば、それに応じて別図を作成しなければならないことは言うまでもない。

6.5 本章のまとめ

(1) 前田博士が定義した反射特性関数$\rho_{di,dr}$（（6.11）式）を若干変形し、伊藤と手塚が定義した反射特性$\rho'_{di,dr}$（（6.16）式）を用いることによって、従来曖昧であった輝度計算が次式によって合理的に行ない得ることを示した。

$$L_{di,dr} = \rho'_{di,dr} \cdot E \quad (\mathrm{cd/m^2})$$

$L_{di,dr}$：視対象のdi向の入射光によるdr方向の輝度（cd／m²）

$\rho'_{di,dr}$：視対象のdi方向の入射光によるdr方向の反射特性（1／sr.）

E　：di方向の入射光による視対象面上の照度（lx）

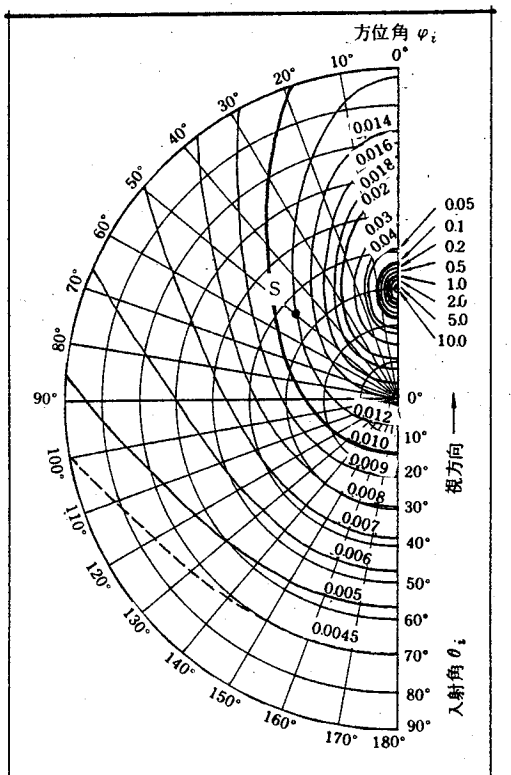


図 6.6　標準視対象面（ベタ印刷面）の反射特性図表
（$\theta_r = 30°$）

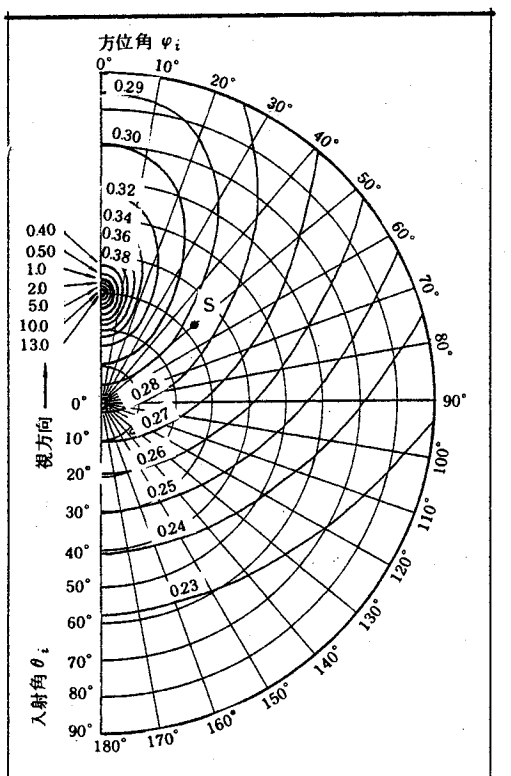


図 6.7　標準視対象面（白紙面）の反射特性図表
（$\theta_r = 30°$）

(2) 視方向 dr（θr，φr）と入射光の方向 di（θi，φi）とに依存する反射特性値を簡便、かつ、正確に測定するための装置を作成し、本研究で設定した標準視作業条件下での標準視対象の反射特性値を２２０の入射光の方向につき測定した。その結果、本視対象の反射特性は標準視方向に対して正反射方向となる $\theta i = 30°$，$\varphi i = 0°$近傍からの入射光に対しては非常に大きな値となり、指向性の強い表皮反射光を生じるものであることが判明した。（図6.4，図6.5）

(3) 実測した２２０の入射方向に対する反射特性値に基づき、任意の入射方向に対する標準視対象の反射特性値を正確、かつ、容易に読み取り得る実用的な反射特性図表を作成した。（図6.6，図6.7）

参考文献

1) 伊藤克三，大野治代，佐藤隆二，フェレデ・ベフェカド：サンプル紙面の反射特性の測定結果とその考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，計画系（１９７５）１０５

2) 伊藤克三，大野治代，フェレデ・ベフェカド，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（１９７６）３３

3) 伊藤克三，大野治代，フェレデ・ベフェカド，佐藤隆二：サンプル紙面の反射特性について（そのⅡ）反射特性の相反性に関する検討，日本建築学会近畿支部研究報告集（１９７６）３７

4) 前田敏男：点源密度を用いる面光度の定義と応用，日本建築学会論文報告集６０－Ⅱ（１９５８）５３

5) 前田敏男：発散光の強さ，入射光の強さ，反射特性関数および透過特性関数の定義とその応用，日本建築学会近畿支部研究報告集，環境工学（１９６５）２９

6) 伊藤克三，手塚二郎：反射特性の測定について，日本建築学会論文報告集，７６（1962）１８３

第７章　標準視標の輝度算定用設計資料の作成[1)～4)]

7.1　本章の目的

前章で示したような特定の視作業条件下における特定の視対象の反射特性図表を準備しておけば、光源の位置と配光が与えられると、視対象面上の照度が決まるので、任意の照明条件下でのその視対象の輝度は（ 6.１９ ）式で計算することができる。

本研究で設定した標準視対象についての実測から得た図 6.6 および図 6.7 の反射特性図表からも明らかなように、現実の視対象の反射特性は非常に複雑であって、その反射特性値 $\rho'_{\theta i,\varphi i}$ を入射光の入射角 θi と入射方位角 φi との簡単な関数として表現することは非常に困難であるため、現実の照明条件下における視対象の輝度を（ 6.１９ ）式で直接計算することは決して簡単でない。

本研究の主な対象である事務室等においては、ほとんどの場合、人工照明器具は天井面に設置されており、また、窓も側窓である場合がほとんどであり、人工光および昼光の光源の位置は作業面に対して平行あるいは垂直な平面上に限定されている。このような場合には、面上での光源位置が決まれば、視対象に対する光源の位置から視対象への入射光の方向が決まり、その光源位置に対応する反射特性値が求まる。また、視対象と光源との距離も定まるので、視対象面上の照度は光源の光度あるいは輝度に比例する。したがって、面上の特定位置にある光源によって生じる輝度も光源の光度あるいは輝度に比例することになる。

このことに着目すれば、入射光の方向や照度を求めるための繁雑な計算を省略し、面上の光源位置とその配光のみを知れば、直ちに視対象の輝度が求められる輝度算定用の資料を作成することができる。

本章は、明視照明設計における輝度計算の簡易化を図るために、点光源および輝度一様な面光源に対する実用的な輝度算定用図表の作成方法を示し、前章で得た反射特性値を用いて標準視対象の実用的な輝度算定図表を作成す

ることを目的としている。

さらに、事務室等においては蛍光灯器具が多用されている現状を考慮して、４０Ｗ２灯用蛍光灯器具で照明した標準視作業条件下での標準視対象の輝度の実測結果を用いて、その蛍光灯器具についての輝度算定図表を作成すると同時に、蛍光灯器具を分割し、各分割部分に点光源の輝度算定図表を適用して輝度の近似計算を行なう場合の精度についての検討も行なっている。

7.2　点光源用の輝度算定図表

7.2.1　点光源による視対象の輝度

図7.1に示す点光源Ｐによって視対象Ａが照明されているとき、注視点ＯのＯＶ方向の輝度L（cd／m²）は（6.17）式により次式で与えられる。

$$L = \rho_{\theta i,\varphi i} \cdot E \qquad (7.1)$$

$\rho_{\theta i,\varphi i}$：入射角$\theta i$，方位角$\varphi i$方向の入射光による$\theta r$方向の反射特性値（1／steradian）

E　　：点光源ＰによるＯ点の照度（lx）

いま、注視点Ｏを原点とし、視対象の法線方向をｚ軸，視対象面上の視線の延長方向をｙ軸，それに垂直な方向をｘ軸とする空間の点Ｐ（x，y，z）に点光源が位置しているとするとき、ＯＰ間の距離r(m)およびＰからＯへの入射角θiと方位角φiはそれぞれ以下のように与えられる。

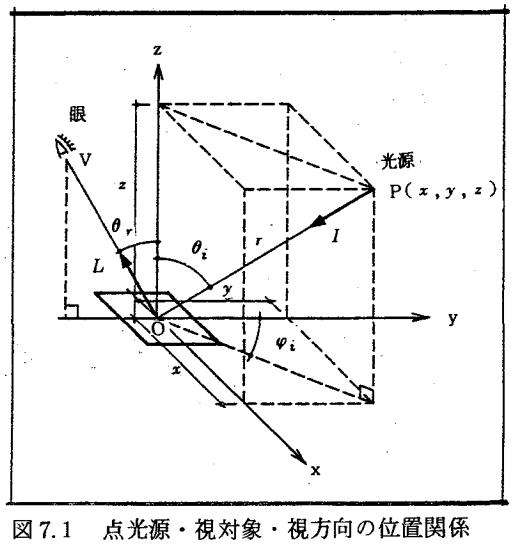


図7.1　点光源・視対象・視方向の位置関係

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \qquad (7.2)$$

$$\theta i = \cos^{-1}\frac{z}{r} = \cos^{-1}\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \qquad (7.3)$$

$$\varphi_i = \tan^{-1}\frac{x}{y} \qquad (7.4)$$

また、点光源Pの光度をI（cd）とすると、O点の照度E（lx）は、

$$E = \frac{I}{r^2}\cos\theta_i = I \cdot z \cdot (x^2 + y^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.5)$$

したがって、（7.1）式で与えられるO点の輝度L（cd／m²）は、

$$L = \rho_{\theta_i, \varphi_i} \cdot I \cdot z \cdot (x^2 + y^2 + z^2)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.6)$$

いま、点光源Pが面Aからの距離がzである天井面にあるものとすると、zは一定となる。そこで（7.6）式を

$$L = \frac{I}{z^2}\rho_{\theta_i, \varphi_i}\left\{\left(\frac{x}{z}\right)^2 + \left(\frac{y}{z}\right)^2 + 1\right\}^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.7)$$

と変形し、$x/z = X$，$y/z = Y$とおくと

$$L = \frac{I}{z^2}\rho_{\theta_i, \varphi_i}(X^2 + Y^2 + 1)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.8)$$

ここで、X，Yは天井面の高さzを単位長とした光源Pの天井面上での座標であるので、$(X^2 + Y^2 + 1)^{-\frac{3}{2}}$の値は注視点と光源との幾何学的な位置関係のみで決まる。また、視対象の反射特性値$\rho_{\theta_i, \varphi_i}$も両者の幾何学的な位置関係のみによるものであるので、

$$R = \rho_{\theta_i, \varphi_i} \cdot (X^2 + Y^2 + 1)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.9)$$

とおくと、Rも天井面上の光源の相対的な位置（X，Y）のみで決まる。このRは、$I/z^2 = 1$であるとき、すなわち、高さ$z = 1$（m）の天井面上に光度$I = 1$（cd）の点光源があるときの視対象の輝度を与えるものであり、このRを用いると視対象の輝度は次式で計算することができる。

$$L = \frac{I}{z^2}R \qquad (7.10)$$

点光源Pが注視点Oからの距離y（m）の対向壁面上あるいは距離x（m）

の側壁面上にあると考えて（7.6）式を変形すると、それぞれ以下のようになる。

$$L = \frac{I}{y^2} \cdot \rho_{\theta i, \varphi i} \cdot \frac{z}{y} \left\{ \left(\frac{x}{y} \right)^2 + 1 + \left(\frac{z}{y} \right)^2 \right\}^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.11)$$

$$L = \frac{I}{x^2} \cdot \rho_{\theta i, \varphi i} \cdot \frac{z}{x} \left\{ 1 + \left(\frac{y}{x} \right)^2 + \left(\frac{z}{x} \right)^2 \right\}^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.12)$$

各壁面までの距離を単位長とするそれぞれの壁面上での光源の位置を $x/y = X'$，$z/y = Z'$ および $y/x = Y''$，$z/x = Z''$ とおくと（7.11）と（7.12）式はそれぞれ以下のように書ける。

$$L = \frac{I}{y^2} \cdot \rho_{\theta i, \varphi i} \; Z' \left(X'^2 + 1 + Z'^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.13)$$

$$L = \frac{I}{x^2} \cdot \rho_{\theta i, \varphi i} \; Z'' \left(1 + Y''^2 + Z''^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.14)$$

ここで、

$$R' = \rho_{\theta i, \varphi i} \cdot Z' \left(X'^2 + 1 + Z'^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.15)$$

$$R'' = \rho_{\theta i, \varphi i} \cdot Z'' \left(1 + Y''^2 + Z''^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \qquad (7.16)$$

とすると、これらはいずれも各面上における光源の相対的な位置（X'，Z'）あるいは（Y''，Z''）のみで決まり、それぞれ $I/y^2 = 1$ あるいは $I/x^2 = 1$ のときの視対象の輝度を与えるものである。したがって、各面上の点光源による視対象の輝度はそれぞれ次式で計算することができる。

$$L = \frac{I}{y^2} \cdot R' \qquad (7.17)$$

$$L = \frac{I}{x^2} \cdot R'' \qquad (7.18)$$

7.2.2 点光源用の輝度算定図表

天井面，対向壁面あるいは側壁面上の点光源の相対的な位置（X，Y），（X'，Z'）あるいは（Y''，Z''）のみで決まる R，R' あるいは R'' が既知であれば、各面上の点光源による視対象の輝度は、光源の光度 I（cd）と注

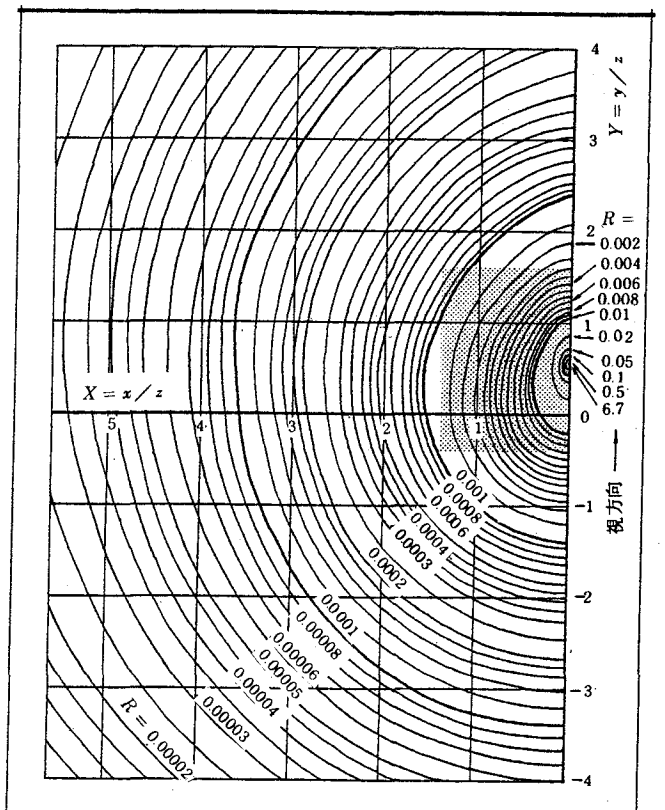


図 7.2　天井面上の点光源用輝度算定図表
（ベタ印刷面，$\theta_r = 30°$）

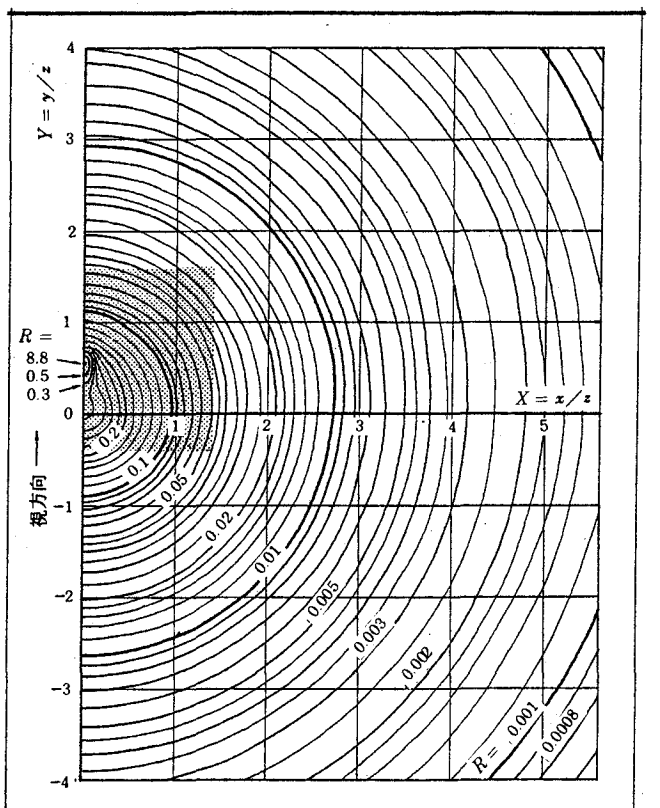


図 7.3　天井面上の点光源用輝度算定図表
（白紙面，$\theta_r = 30°$）

視点から各面までの距離 z（m），y（m）あるいは x（m）より、（7.10），（7.17）あるいは（7.18）によって計算することができ、視対象の輝度計算は非常に簡単に行なうことができる。

このように輝度計算を簡単に実行するために、前章で得た反射特性図表に基づいて、視対象に対する各面上の相対的な光源位置（X，Y），（X'，Z'）あるいは（Y''，Z''）より直ちにその光源に対する標準視対象の R，R' あるいは R'' が求められるような輝度算定図表を作成した。図7.2と図7.3，図7.4と図7.5および図7.6と図7.7がそれぞれ点光源が天井面，対向壁面および側壁面上に位置する場合の、ベタ印刷面と白紙面の一対の標準視対象の輝度算定図表である。

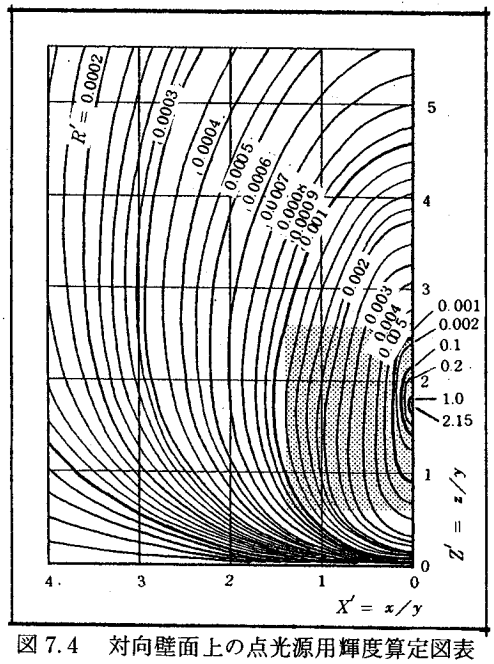


図7.4　対向壁面上の点光源用輝度算定図表
（ベタ印刷面，$\theta_r = 30°$）

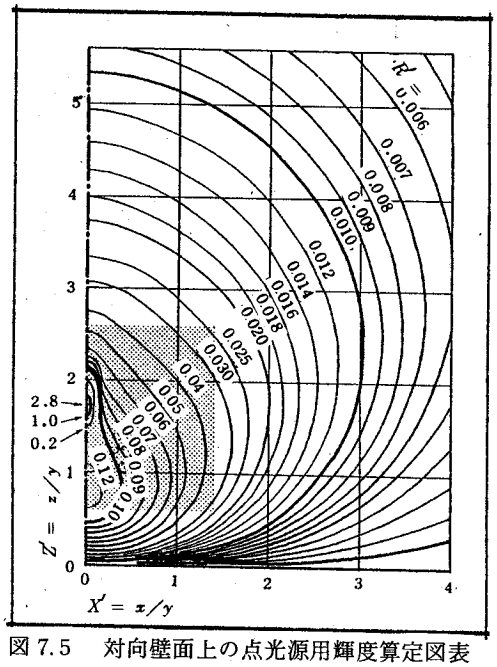


図7.5　対向壁面上の点光源用輝度算定図表
（白紙面，$\theta_r = 30°$）

これらの図表は、前章に示した標準視対象の反射特性図表の等反射特性値を与えるコンターラインを視対象から単位距離だけ離れた位置の各面上に射影し、各面上のそれぞれの座標（X，Y），（X'，Z'）および（Y''，Z''）に応じて、$(X^2+Y^2+1)^{-\frac{3}{2}}$，$Z'\cdot(X'^2+1+Z'^2)^{-\frac{3}{2}}$ および $Z''\cdot(1+Y''^2+Z''^2)^{-\frac{3}{2}}$ の値をその位置に射影された反射特性値に乗じて作成した、

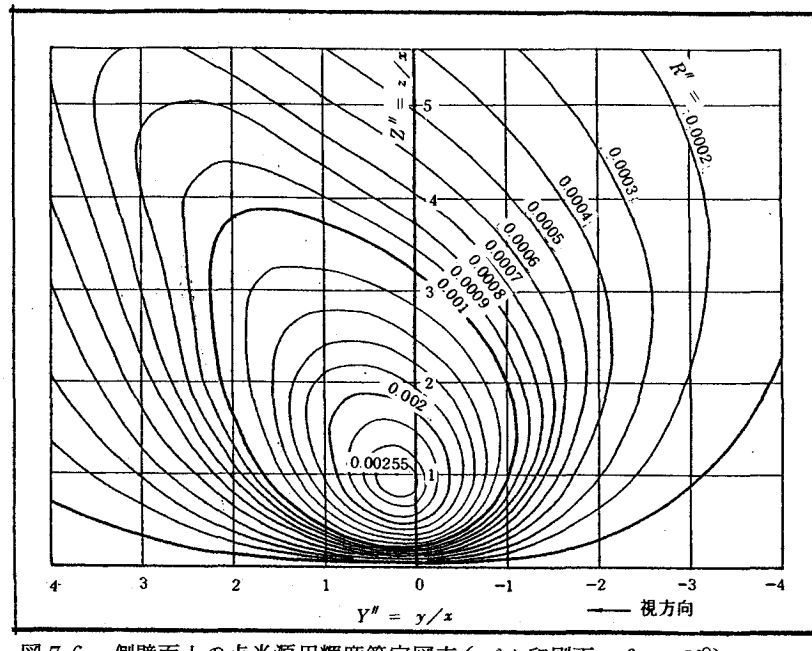


図 7.6　側壁面上の点光源用輝度算定図表（ペタ印刷面，$\theta_r = 30°$）

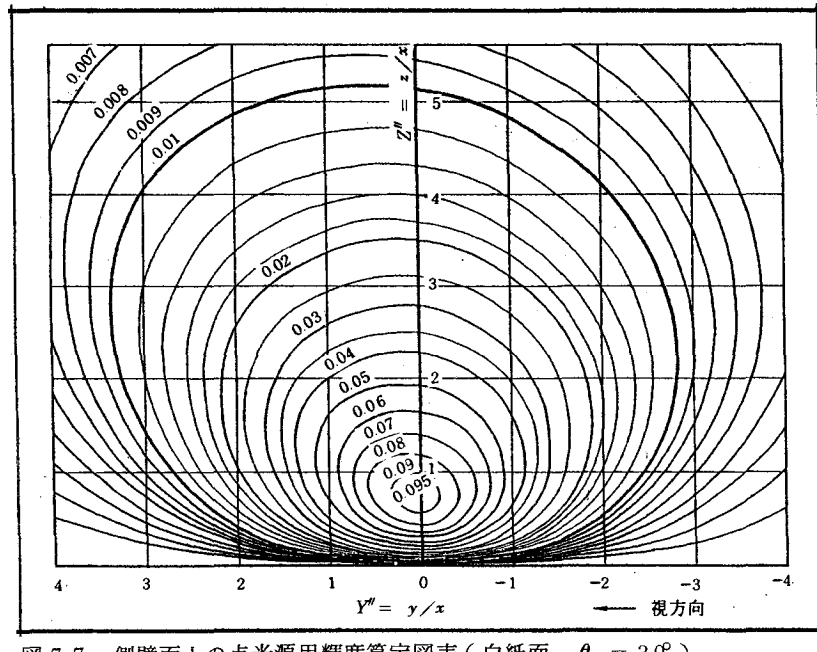


図 7.7　側壁面上の点光源用輝度算定図表（白紙面，$\theta_r = 30°$）

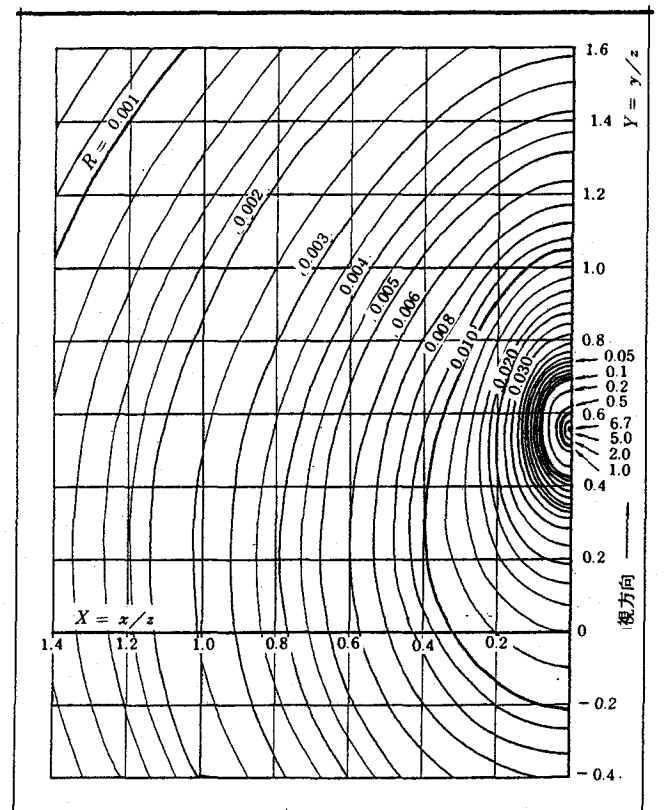


図 7.8　天井面上の点光源用輝度算定図表（ベタ印刷面）
〔図 7.2 拡大図〕

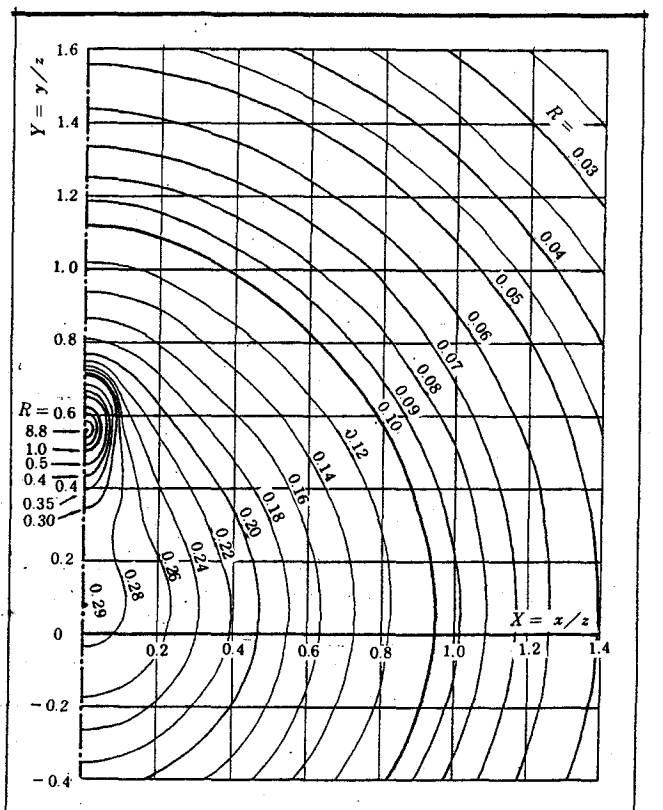


図 7.9　天井面上の点光源用輝度算定図表（白紙面）
〔図 7.3 拡大図〕

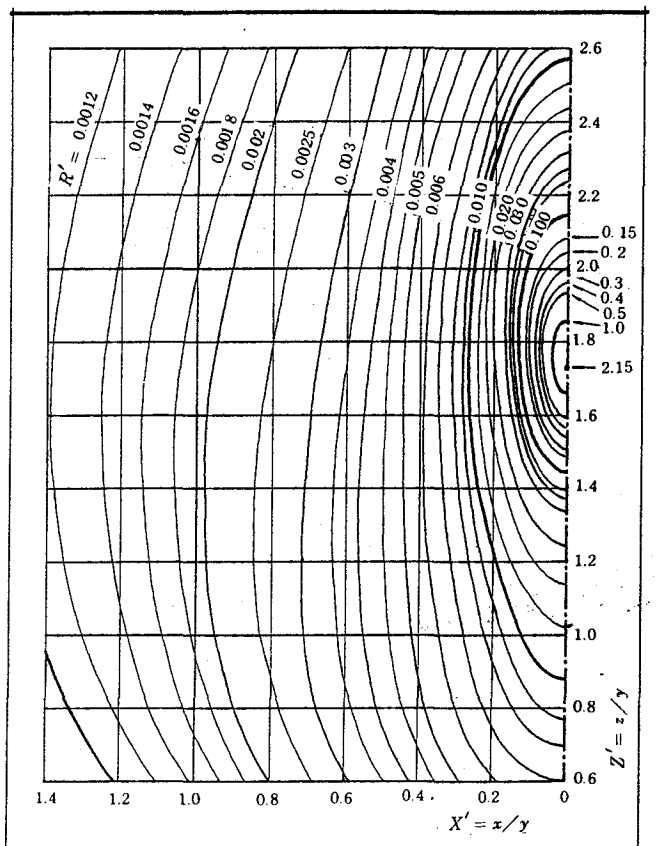


図 7.10　対向壁面上の点光源用輝度算定図表（ベタ印刷面）
〔図 7.4 拡大図〕

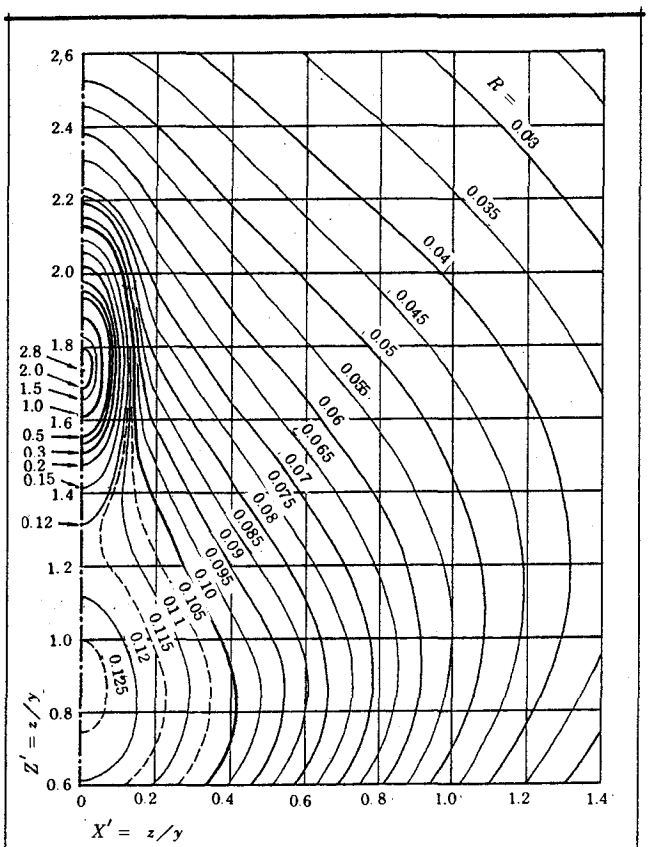


図 7.11　対向壁面上の点光源用輝度算定図表（白紙面）
〔図 7.5 拡大図〕

各面上における等R（R' あるいはR''）曲線図である。

なお、図7.2～図7.5の陰影を施した部分の拡大図がそれぞれ図7.8～図7.11である。

7.3 矩形面光源用の輝度算定図表

7.3.1 矩形面光源による視対象の輝度

図7.12に示す輝度L_0(cd/m²)が一様な均等拡散面光源Sによって視対象Aが照明されているとき、S上の微小面dS(m²)によって注視点Oに生じる照度dE(lx)は、

$$dE=L_0\cdot\frac{\cos\beta\cdot\cos\theta i}{r^2}\,dS \qquad (7.19)$$

r：微小面dSと点Oとの距離(m)

β：微小面dSと注視点Oとのなす角

θi：視対象面AとdSとのなす角

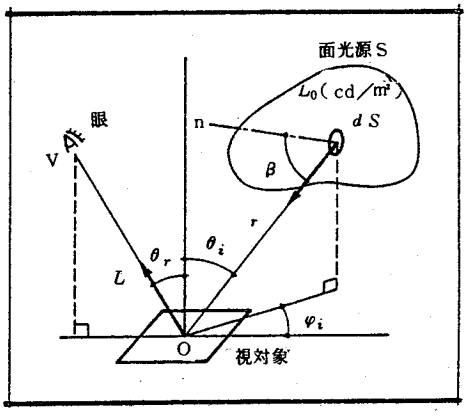


図7.12 面光源・視対象・視方向の位置関係

このときのθr方向の視対象の反射特性値を$\rho_{\theta i,\varphi i}$(1/steradian)とすると、$dS$による注視点OのOV方向の輝度$dL$(cd/m²)は次式で与えられる。

$$dL=\rho_{\theta i,\varphi i}\cdot dE=\rho_{\theta i,\varphi i}\cdot L_0\cdot\frac{\cos\beta\cdot\cos\theta i}{r^2}\,dS \qquad (7.20)$$

したがって、面光源SによるOV方向の輝度L(cd/m²)は、

$$L=\int_S dL=\int_S \rho_{\theta i,\varphi i}\cdot L_0\cdot\frac{\cos\beta\cdot\cos\theta i}{r^2}\cdot dS \qquad (7.21)$$

一般に、視対象の反射特性値$\rho_{\theta i,\varphi i}$は、$(\theta i,\varphi i)$の簡単な関数とはならないため、(7.21)式の積分は実行することが不可能であり、近似計算によらなければならない。

面光源をそれに含まれる反射特性値がほぼ一様となる程度の小面光源ΔSに分割し、各小光源によるΔLの和をとれば、面光源による視対象の輝度は近似的に求めることができる。

$$L=\Sigma\Delta L=\Sigma\rho_{\theta i,\varphi i}\cdot L_0\frac{\cos\beta\cdot\cos\theta i}{r^2}\Delta S \qquad (7.22)$$

室内照明における面光源のほとんどが、天井又は壁面に位置する矩形光源で、それによる視対象の輝度が計算できれば、明視照明設計上は十分であるので、以下、矩形面光源による視対象の輝度算定法を述べる。

図7.13に示す視対象面からの高さz（m）にある天井面に位置する輝度L_0（cd/m²）が一様なx(m)×y(m)の矩形面光源を考える。この光源面をx軸およびy軸に平行な直線でその一辺がΔu(m)となる$m\times n$個の微小な正方形光源に分割し、天井面の原点O′からx軸方向j番目、y軸方向k番目の要素をΔS_{jk}とし、$x_j=j\cdot\Delta u$, $y_k=k\cdot\Delta u$ とすると、ΔS_{jk}と注視点Oとの距離r(m)およびΔS_{jk}の注視点Oに対する入射角θ_iと方位角φ_iはそれぞれ次のようになる。

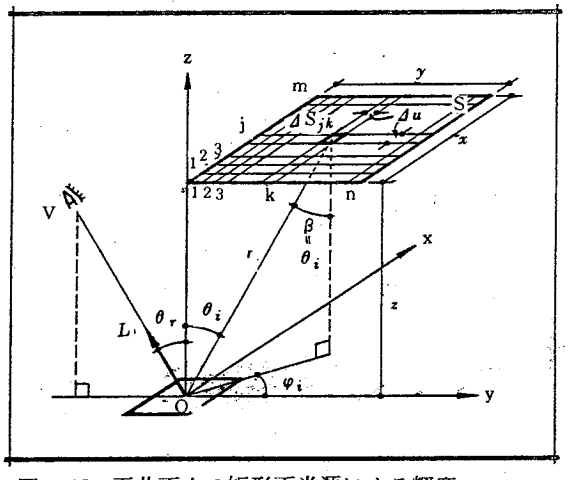


図7.13 天井面上の矩形面光源による輝度

$$r=\sqrt{x_j^2+y_k^2+z^2} \qquad (7.23)$$

$$\theta i=\beta=\cos^{-1}\frac{z}{r}=\cos^{-1}\frac{z}{\sqrt{x_j^2+y_k^2+z^2}} \qquad (7.24)$$

$$\varphi_i=\tan^{-1}\frac{x_j}{y_k} \qquad (7.25)$$

したがって、微小面ΔS_{jk}による注視点OのOV方向の輝度ΔL_{jk}（cd/m²）は

$$\Delta L_{jk}=\rho_{\theta i,\varphi i}\cdot L_0\cdot\frac{(\cos\theta i)^2}{r^2}\cdot\Delta S_{jk}$$

$$=\rho_{\theta i,\varphi i}\cdot L_0\cdot\frac{z^2}{(x_j^2+y_k^2+z^2)}\cdot\Delta S_{jk} \qquad (7.26)$$

面光源全体による視対象の輝度 L (cd/m²) は、$\Delta Sjk=(\Delta u)^2$ であるので、

$$L=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}\Delta Ljk$$

$$=L_0\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}\rho_{\theta i,\varphi i}\frac{z^2}{\{(j\cdot\Delta u)^2+(k\cdot\Delta u)^2+z^2\}^2}(\Delta u)^2$$

$$=L_0\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}\rho_{\theta i,\varphi i}\frac{1}{\{(j\cdot\frac{\Delta u}{z})^2+(k\frac{\Delta u}{z})^2+1\}^2}\cdot(\frac{\Delta u}{z})^2 \qquad (7.27)$$

ここで、天井面の高さ z を単位置とした微小正方形光源の相対的な寸法を与える $\Delta u/z=\Delta U$ とすると

$$L=L_0\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}\rho_{\theta i,\varphi i}\frac{(\Delta U)^2}{\{(j\Delta U)^2+(k\Delta U)^2+1\}^2} \qquad (7.28)$$

$$=L_0\cdot R_a$$

ここに $R_a=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}\rho_{\theta i,\varphi i}\frac{(\Delta U)^2}{\{(j\Delta U)^2+(k\Delta U)^2+1\}^2}$ (7.29)

この R_a は面光源の注視点Oに対する相対的な寸法のみによって決まる量である。

図7.14および図7.15に示す対向壁面上および側壁面上の矩形面光源による視対象の輝度 L は、図示のように座標をとり、天井面の場合と同様、小正方形光源に分割すれば共に次式で計算できる。

$$L=L_0\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}\rho_{\theta i,\varphi i}\frac{k(\Delta U)^3}{\{(j\cdot\Delta U)^2+(k\cdot\Delta U)^2+1\}^2}=L_0\cdot R_{a'} \qquad (7.30)$$

ここに $R_{a'}=\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{n}\rho_{\theta i,\varphi i}\frac{k(\Delta U)^3}{\{(j\cdot\Delta U)^2+(k\cdot\Delta U)^2+1\}^2}$ (7.31)

この $R_{a'}$ は R_a 同様、各面上の矩形光源の注視点Oに対する相対的な寸法のみで決まるものであり、面光源の輝度 $L_0=1$ cd/m² のときの視対象の輝度を与えるものである。

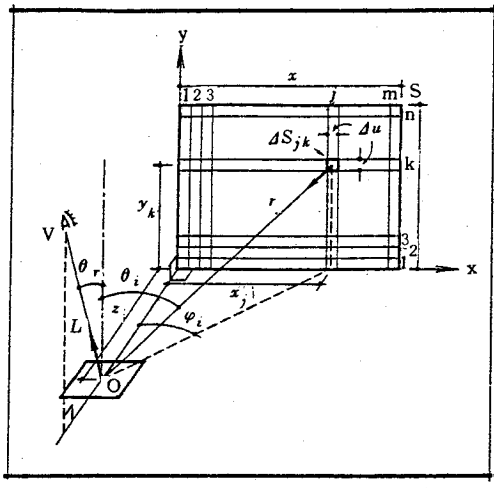


図 7.14　対向壁面上の矩形面光源による輝度

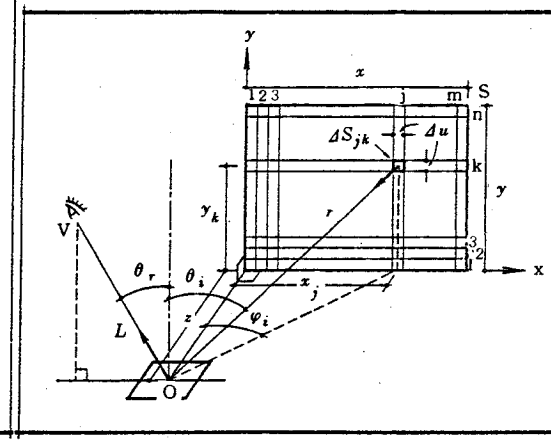


図 7.15　側壁面上の矩形面光源による輝度

7.3.2　矩形面光源用の輝度算定図表

図 7.13 ～図 7.15 に示した矩形面光源の場合、その形状は各面上の原点 O に対向する頂点の座標（ x ， y ）で決定され、O 点に対する相対的な形状は、光源面までの距離 z を基準長として表わした頂点 S の座標（$x/z, y/z$）で決定される。

$$\frac{x}{z} = \frac{m \cdot \Delta u}{z} = m \cdot \Delta U$$

$$\frac{y}{z} = \frac{n \cdot \Delta u}{z} = n \cdot \Delta n$$

であるので、ΔU を定めれば面の相対的な形状は m と n の組み合せのみで決まり、（ 7.29 ）および（ 7.31 ）式で R_a および R_a を計算することができる。

$\Delta U = 0.05$ として $1 \leqq m \leqq 100$ ， $1 \leqq n \leqq 100$ のすべての（ m ， n ）の組み合せについて、標準視標の R_a あるいは $R_{a'}$ を計算し、それに基づいて作成した矩形面光源用の輝度算定図表が図 7.16 ～図 7.19 である。

図 7.16 と図 7.17 は天井面、図 7.18 と図 7.19 は対向壁面上の面光源による標準視対象のベタ印刷面と白紙面の輝度算定図表である。これらの図は

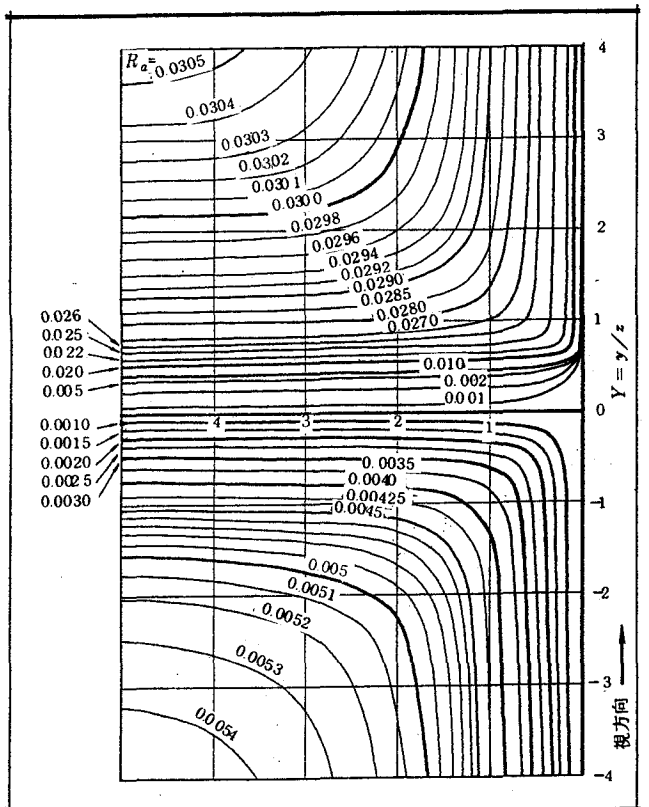


図 7.16　天井面上の矩形面光源用輝度算定図表（ベタ印刷面，$\theta_r = 30°$）

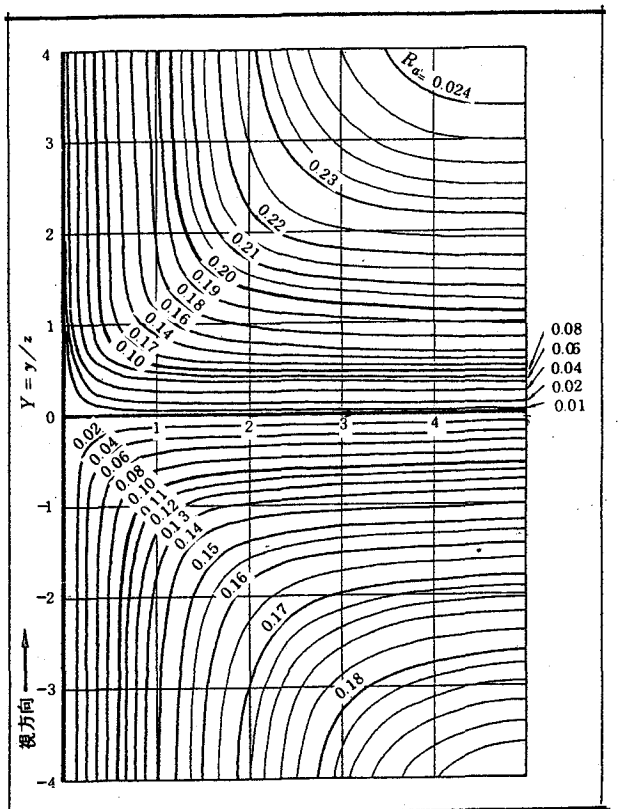


図 7.17　天井面上の矩形面光源用輝度算定図表（白紙面，$\theta_r = 30°$）

それぞれの面上の矩形面光源の頂点Sの座標位置にその光源によるR_aまたは$R_{a'}$の値を記入し、これを等R_a又は等$R_{a'}$線として示したものである。

これらの図は矩形面の立体角投射率を求める図表[5]と同種の図表であるので、各面上の原点O′に頂点を持たない矩形面の立体角投射率を求める手段を用いれば、これらの図から任意の位置の矩形面光源によるR_aまたは$R_{a'}$を簡単に求めることができる。

ただし、これらの図は特定の視方向に対するものであるので、図表に示した視線方向と実際の視線方向とを一致させて用いなければならない。

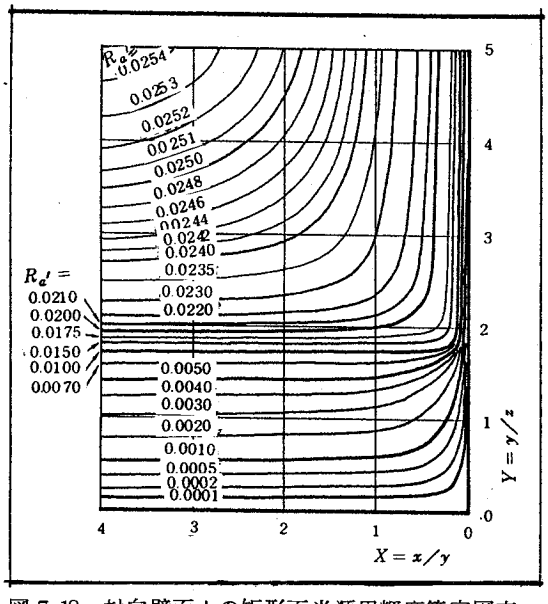


図 7.18　対向壁面上の矩形面光源用輝度算定図表
（ベタ印刷面，$\theta_r = 30°$）

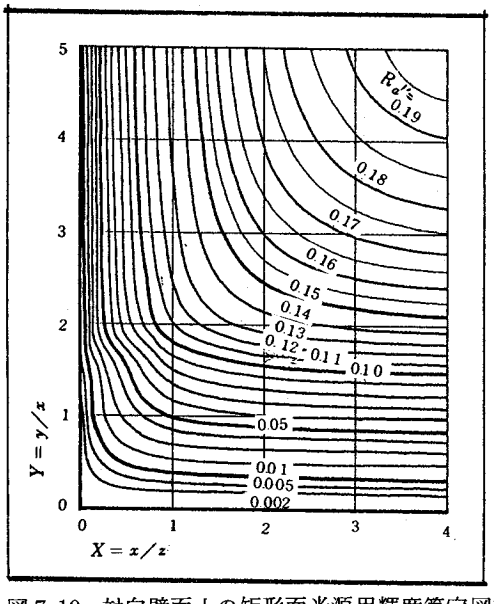


図 7.19　対向壁面上の矩形面光源用輝度算定図表
（白紙面，$\theta_r = 30°$）

7.4　螢光灯器具による視対象の輝度の近似計算法についての検討

7.4.1　螢光灯器具による視対象の輝度の近似計算法

現在、事務室等において多用されている照明器具は蛍光灯器具であり、そこでの明視照明設計を行なうには、これらの照明器具による視対象の輝度の予測が必要であるが、この場合には前述の点光源や矩形面光源用の輝度算定

図表をそのまま適用することはでき難い。この場合も視対象の輝度予測を簡単に行なおうとすれば、上で得たと同様な輝度算定図表を作成する必要がある。

ランプや反射板等、照明器具の各部位の配光が既知であれば、矩形面光源の場合と同様に、器具を多数の小要素に分割し、各要素を点光源と見なして得られる視対象の輝度を加算することによって、視対象の輝度 L (cd/m²)を近似的に求めることができる。すなわち、

$$L=\sum_{k=1}^{n} \Delta L_k=\sum_{k=1}^{n} \rho_{\theta i,\varphi i} \frac{\Delta I_k \cos\theta i}{r_k^2} \qquad (7.32)$$

ここに ΔL_k ： 分割要素による視対象の輝度 (cd/m²)

$\rho_{\theta i,\varphi i}$ ： ($\theta i,\varphi i$) 方向の入射光に対する視対象の反射特性値 (1/steradian)

ΔI_k ： 分割要素の視対象方向への光度 (cd)

θi ： 分割要素の視対象に対する入射角

r_k ： 分割要素と視対象との距離 (m)

この方法による詳細な計算は不可能であるが、これを簡略化した計算法が、どの程度の精度で輝度予測に役立つかを検討するため、蛍光灯器具による標準視対象の輝度の実測を行なうことにした。

7.4.2 蛍光灯照明器具で照明された視対象の輝度の実測

事務室で用いられている蛍光灯照明器具には種々のものがあり、器具によって輝度分布や配光が異なるため、視対象に生じる輝度は器具によって異なるが、ここでは最も多用され、かつ、その輝度に大きな分布のある図7.20に示す40W白色蛍光灯2灯用露出H型照明器具に関して視対象の輝度を測定することにした。

床上260cmの天井面に上記の照明器具を設置し、床上75cmの位置に水平に置いた視標の反射角 $\theta r=30°$、蛍光ランプの軸に平行な方向の輝度をPrichard 1980型輝度計で測定した。測定装置は図7.21に示す通り、

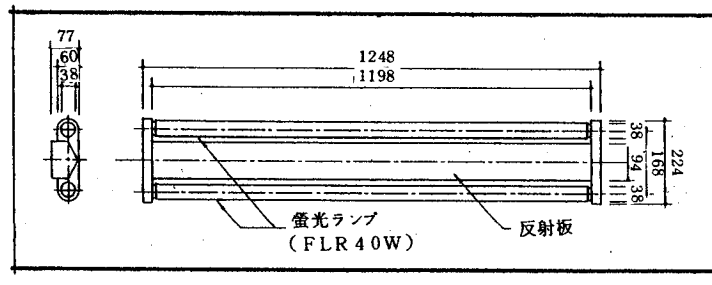


図 7.20　40W蛍光灯2灯用露出H型照明器具

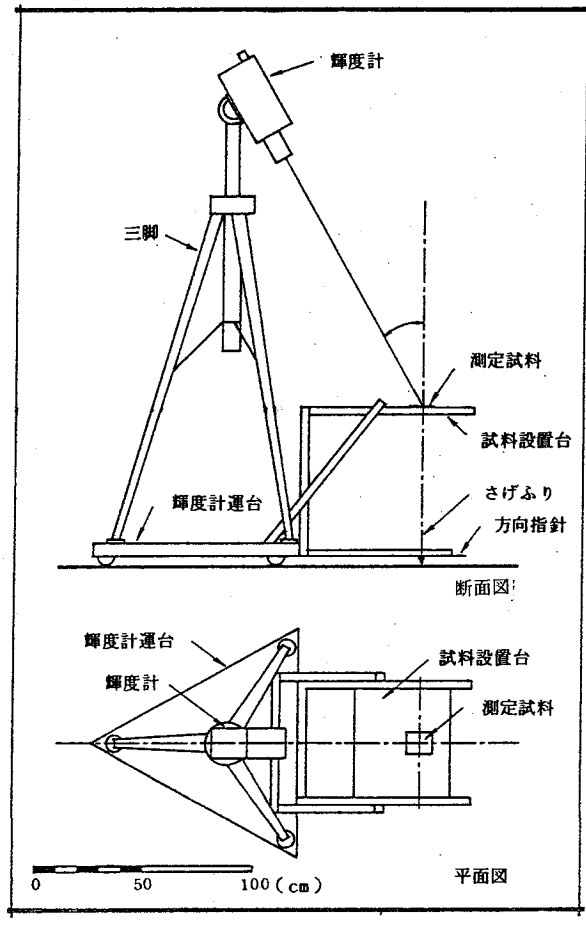


図 7.21　輝度測定装置の概要

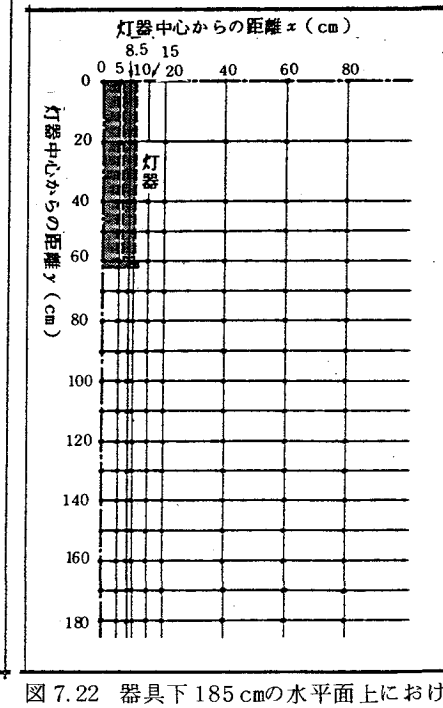


図 7.22　器具下185cmの水平面上における輝度及び照度の測定地点

視標の所定方向の輝度が正確かつ簡単に測定できるよう輝度計と視標設置台とを１つの可動台に固定したものである。測定対象とした視標は本研究での標準視対象としているものである。

この視標を視標設置台に固定し、可動台を移動することによって図7.２２に示す計１３６点における視対象の輝度を各３回づつ測定し、各地点における視標面の照度も同時に測定した。

各点における２つの標準視標の輝度の平均値を表7.１に示す。

黒白いずれの視標においてもｙ軸方向５～１０cmにおいて、ｘ軸方向６０～１５０cmのかなり広範囲にわたり輝度が大きくｙ軸方向8.5cmのライン上での輝度が最大となっている。この範囲は輝度測定方向に対する正反射方向にランプが位置する範囲であり、このようにほぼ一定の高輝度値が得られるのは、視標表面での表皮反射光が極めて強いことを示すものである。

7.4.3　螢光灯照明器具による視対象の輝度の近似計算

（７.３２）式で蛍光灯器具による輝度の近似計算を行なう場合の灯器の分割数や分割法と、得られる輝度の精度との関係を検討するに際し、以下に述べるような条件を設定した。

まず、近似計算の精度の検討が直ちに行なえるよう、計算の条件は前項での測定条件とすべて同一とした。すなわち、露出Ｈ型器具の直下１８５cmの水平面上の図7.２２に示した各点に位置する標準視対象の蛍光ランプ軸に平行な、反射角30°方向の輝度を計算することにした。

次に、前項での測定結果から、視対象の輝度を最も支配するのは、蛍光ランプ部分であるとの推測ができるので、各分割要素中に均等に蛍光ランプを含むように器具を等分割し、各要素を代表させる点をその要素中の蛍光ランプ部分の中心にとることにした。

さらに、点光源におきかえた各分割要素の配光は前項で測定した測定面上での照度分布より、灯器をその中心にある点光源におきかえて求めた灯器全体の配光に相似で、その大きさは分割に比例するものと仮定した。なお、前

表 7.1　露出H型蛍光灯器具による標準視対象の輝度の測定結果

（cd／m²）

視標	測定位置		灯器中心を原点とするx方向の距離（cm）								
			0	5	8.5	10	15	20	40	60	80
白紙面	灯器中心を原点とするy軸方向の距離(cm)	0	52.3	52.3	53.4	52.3	5.18	51.0	48.6	43.9	39.2
		20	52.9	52.8	52.9	52.6	52.2	51.8	48.6	44.6	39.3
		40	56.8	57.6	58.6	58.4	54.8	52.7	47.8	43.2	38.2
		50	71.2	86.0	92.2	87.6	68.7	56.0	46.8	42.0	37.2
		60	93.0	121.6	132.2	122.8	76.6	59.6	45.4	40.6	36.0
		70	93.0	120.0	136.4	131.2	79.2	59.4	43.8	39.1	34.6
		80	92.6	120.2	134.2	128.6	76.4	57.8	41.9	37.6	33.0
		90	92.2	121.0	133.0	122.6	76.2	56.2	39.5	35.0	31.3
		100	89.2	116.6	132.6	126.0	79.8	54.2	38.3	33.2	29.8
		110	86.4	111.6	129.6	121.2	78.4	50.2	34.9	30.8	27.8
		120	84.2	115.2	126.0	117.0	72.9	47.3	32.3	28.4	25.8
		130	79.7	112.4	124.6	119.0	77.6	45.3	29.8	26.3	24.0
		140	80.0	117.5	122.4	118.0	69.6	42.8	27.2	24.0	22.2
		150	72.0	101.2	114.0	111.2	62.4	37.6	24.5	22.1	20.4
		160	53.8	73.4	80.0	76.9	44.9	31.0	21.8	20.0	18.4
		170	27.6	29.6	31.8	30.5	26.8	23.3	19.4	18.0	16.6
		180	19.6	19.5	19.5	19.5	19.5	19.2	17.3	16.3	15.1
ベタ印刷面	灯器中心を原点とするy軸方向の距離(cm)	0	2.9	2.8	3.2	3.2	3.1	3.0	2.6	2.3	2.0
		20	3.6	3.5	4.0	3.9	3.8	3.6	3.0	2.5	2.1
		40	9.9	12.3	13.6	12.9	8.8	6.4	3.6	2.8	2.2
		50	36.9	40.7	51.5	48.5	30.6	11.7	4.0	2.9	2.2
		60	58.8	78.6	85.5	83.3	49.6	17.8	4.5	3.0	2.3
		70	61.0	79.5	93.4	89.5	46.0	18.5	4.8	3.1	2.3
		80	62.9	78.4	93.0	88.4	49.3	19.9	5.0	3.1	2.3
		90	62.0	78.6	94.6	88.3	49.2	21.4	5.0	3.1	2.2
		100	58.1	78.4	94.5	88.0	47.3	21.8	5.1	3.0	2.2
		110	57.9	79.6	92.8	87.2	42.0	20.0	4.9	3.0	2.1
		120	58.6	80.8	94.9	78.6	44.0	19.8	4.8	2.8	2.0
		130	56.9	81.8	94.8	81.8	42.6	18.0	4.8	2.7	1.9
		140	56.4	78.0	93.6	82.0	38.2	17.8	4.3	2.5	1.8
		150	52.0	73.4	89.0	81.6	35.5	16.0	3.9	2.2	1.7
		160	33.0	50.0	65.0	60.3	24.0	12.8	3.2	2.0	1.5
		170	8.8	12.8	19.6	17.1	11.4	6.5	2.5	1.8	1.4
		180	2.9	3.1	4.4	3.9	3.5	3.0	3.0	1.5	1.2

項で測定した照度に基づいて描いた測定面上での照度分布は、図7.23に示す通りである。

これに面上の各点の器具中心からの距離と入射角とを考慮して求めた器具の配光を測定面上に射影したものが図7.24である。

上記の条件を満たすように灯器を10等分し（図7.25）、それぞれを上述のような配光を有する点光源と考えて、各検討点における輝度を次式で計算した。

$$L=\sum_{k=1}^{10}\Delta L_k$$

$$=\frac{1}{(1.85)^2}\Sigma\Delta I_k\cdot R$$

ここに

ΔL_k ：分割要素による視対象の輝度（cd/m²）

ΔI_k ：分割要素の検討点方向への輝度（cd）

R ：天井面上の点光源用輝度算定図表の読み

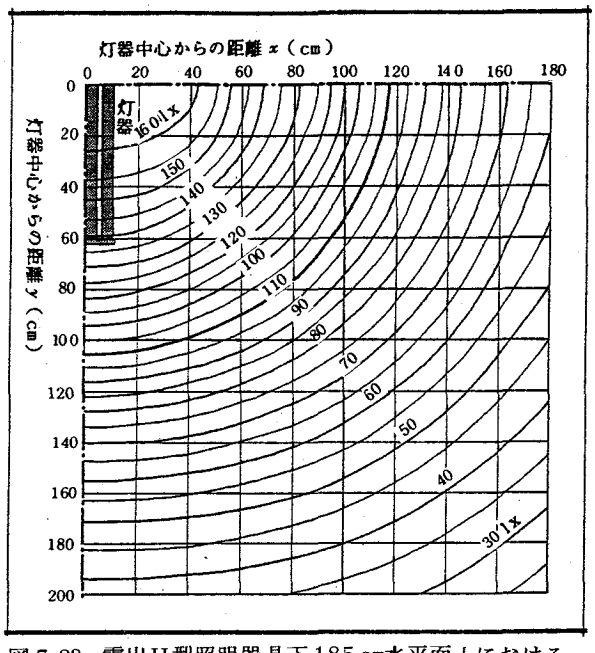


図7.23 露出H型照明器具下185cm水平面上における照度分布

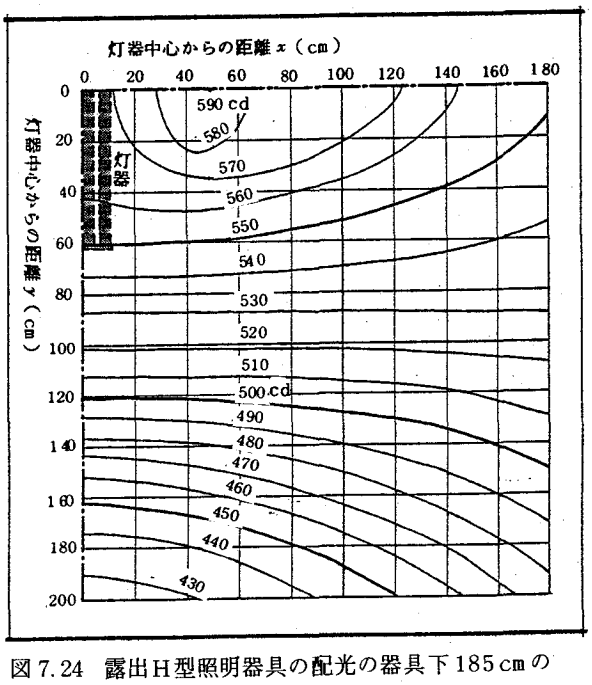


図7.24 露出H型照明器具の配光の器具下185cmの水平面上への射影

図7.24の灯器中心を検討点として、各要素を代表する点を図中に描けば、その点の値の$^1/_{10}$がΔI_kであり、また、図7.2および図7.3（あるいは図7.8および図7.9）の原点を検討点として、灯器を図中に描くことにより、各分割要素による白黒両標準紙面のRの値は直ちに知ることができる。

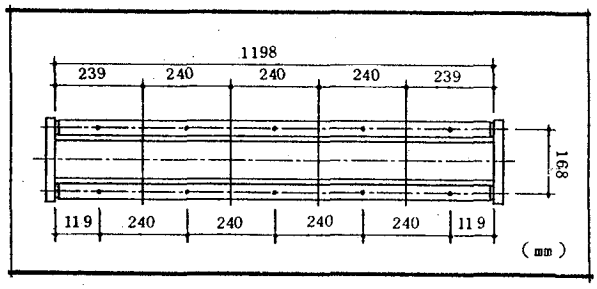


図7.25　近似計算のための灯器の分割と各分割要素を代表する点

両紙面の各検討点における輝度の計算結果を示したものが表7.2である。

表7.1と表7.2とを比較するとランプの正反射光の影響が顕著であるy=5～10cm、x=60～150cmの範囲においては両者にかなりの差異が認められるが、その範囲外においては、実測値と計算値がほぼ一致している。このことは、ランプの正反射光の影響が顕著である範囲を除けば、ここで設定した近似計算のための仮定が妥当なものであることを示している。ランプの正反射域において生じている差異は、主として、各分割要素の発散光束をすべて1点に集中させたことによるものであって、分割数を多くすればするほどこの差異は小さくなると考えられる。したがって、正反射域における輝度を精度よく予測する必要がある場合には分割数を増せばよい。

以上のことより、明視照明設計上は、ここで設定した分割法によっても十分な精度をもって輝度の予測は可能であるが、実用上は、当該灯器ごとに輝度算定図表を作成するのが便利である。

7.4.4　螢光灯器具の輝度算定図表

蛍光灯器具の配光を知ることができれば、上述の方法により、任意の点の輝度を近似計算することは可能であるが、この計算は繁雑であるので、多用される照明器具については、任意の地点における輝度が簡単に求められるよ

表 7.2　露出H型蛍光灯器具による標準視対象の輝度の計算結果

（cd／m²）

視標	検討点		灯器中心を原点とするx方向の距離（cm）								
			0	5	8.5	10	15	20	40	60	80
白紙面	灯器中心を原点とするy軸方向の距離(cm)	0	52.9	52.9	52.9	52.8	52.5	51.9	49.3	44.9	39.6
		20	54.8	55.0	54.8	54.7	54.1	53.1	49.9	44.7	39.7
		40	58.8	60.9	60.4	60.2	57.2	54.0	48.9	43.6	38.5
		50	74.0	97.1	122.8	122.6	66.9	59.9	47.8	42.5	37.5
		60	79.2	107.6	141.2	140.6	76.0	57.6	46.6	41.1	36.2
		70	67.4	74.2	80.1	77.2	64.7	53.4	44.6	39.8	34.8
		80	81.6	141.5	207.2	192.2	82.9	50.9	42.4	37.8	33.1
		90	66.6	73.6	77.3	72.5	59.4	48.5	40.3	35.6	31.5
		100	77.0	119.3	153.7	134.9	65.6	47.4	38.3	33.5	29.7
		110	66.8	98.0	114.4	113.9	66.9	44.9	35.7	31.3	27.8
		120	62.0	71.9	77.3	75.0	56.2	42.0	33.7	29.4	26.5
		130	68.2	128.4	180.2	179.8	88.5	39.6	31.2	27.4	24.4
		140	71.3	57.4	59.3	57.0	46.9	36.5	28.7	25.2	22.5
		150	60.2	120.8	173.0	172.5	54.1	32.9	26.3	23.0	20.9
		160	47.5	52.4	59.7	59.3	40.8	29.2	23.9	21.3	19.3
		170	29.2	29.1	28.5	28.3	26.7	25.3	21.6	19.4	17.7
		180	22.4	22.4	22.7	22.4	22.0	21.1	19.4	17.6	15.8
ベタ印刷面	灯器中心を原点とするy軸方向の距離(cm)	0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.6	2.3	1.9
		20	3.9	4.0	3.9	3.9	3.5	4.4	3.3	2.5	2.0
		40	10.2	10.8	11.2	10.4	8.1	6.5	3.7	2.7	2.0
		50	31.3	40.9	56.0	49.8	23.8	11.1	3.9	2.7	2.0
		60	61.9	80.1	109.7	97.6	46.6	16.8	4.0	2.7	2.0
		70	62.8	72.8	85.5	76.6	46.2	16.7	4.1	2.7	2.0
		80	69.5	108.1	284.6	231.8	61.4	17.4	4.0	2.6	1.9
		90	64.9	64.0	62.4	59.0	42.3	16.6	4.5	2.7	1.9
		100	72.8	120.4	236.7	209.2	49.7	18.1	4.0	2.4	1.7
		110	71.6	90.0	99.8	86.8	49.1	17.9	3.7	2.3	1.7
		120	52.3	81.5	146.3	93.0	48.6	17.6	3.5	2.1	1.6
		130	67.5	114.9	256.4	229.8	64.8	16.5	3.3	1.9	1.5
		140	59.2	60.2	63.1	59.6	43.5	14.2	3.1	1.9	1.4
		150	60.6	115.0	278.5	277.3	55.1	14.1	2.7	1.7	1.3
		160	38.8	44.1	57.8	57.4	32.2	10.9	2.4	1.6	1.2
		170	13.2	13.4	18.7	17.9	12.1	7.4	2.1	1.4	1.1
		180	3.4	3.8	4.2	3.6	3.2	3.0	1.8	1.2	1.0

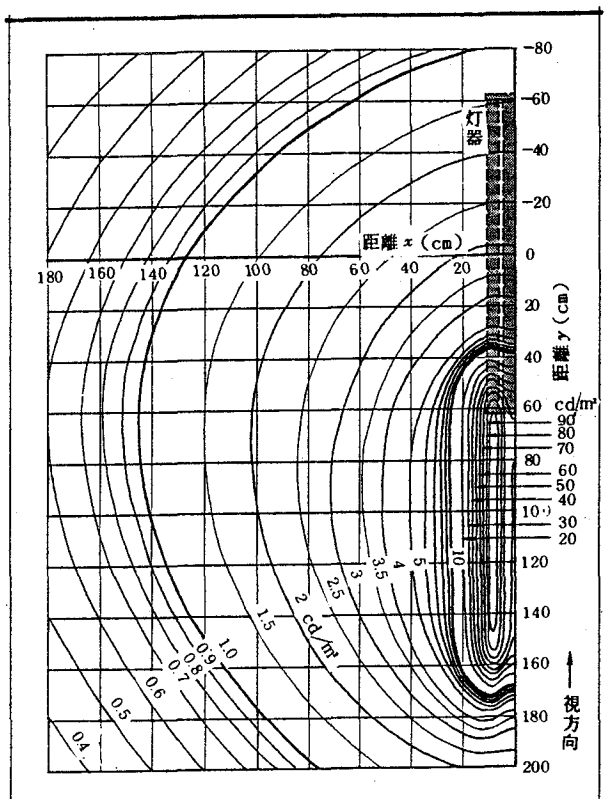


図 7.26　露出H型螢光灯照明器具（設置高さ 185 cm）用の輝度算定図表（ベタ印刷面，$\theta_r = 30°$）

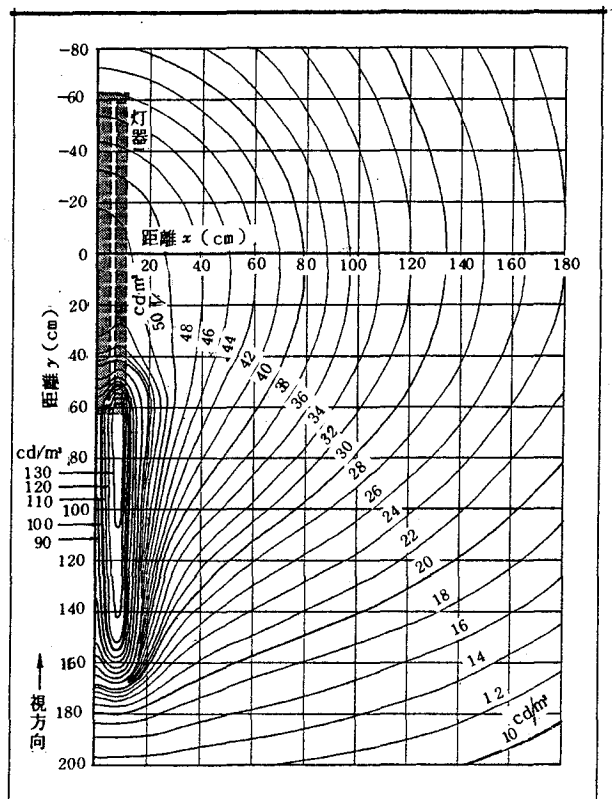


図 7.27　露出H型螢光灯照明器具（設置高さ 185 cm）用の輝度算定図表（白紙面，$\theta_r = 30°$）

うな輝度算定図表を輝度の実測結果に基づいて作成しておくことが、明視照明設計を実行する上では望ましい。

7.4.2で得た露出H型照明器具による輝度の実測結果に基づいて作成した2つの標準視対象面についての輝度算定図表がそれぞれ図7.26と図7.27である。

これらの図表は、天井面に設置された蛍光灯器具の中心直下を原点にして、作業面上の各点で得られる視対象の輝度のコンターラインを描いたものである。したがって、視対象に対する灯器の位置を知れば、これらの図表から、その灯器によって生じる視対象の輝度を直ちに読みとることができる。

ただし、これらの図表は、視作業面上185cmの天井面に灯器が位置する場合のものであって、厳密に言えば、器具の設置高さがそれと異なる場合には適用できないものである。しかしながら、通常の事務室における灯器の設置高さはほぼ一定しており、本測定を行なった185cmと大きく異なることがまれであり、また、設置高さにおける若干の差異により生じる輝度の差異がわずかであると推定できることから、これらの図表は一般的な事務室に広く適用し得るものであるということができる。

7.5 本章のまとめ

1) 天井面、対向壁面および側壁面上に位置する点光源によって生じる視対象の輝度がそれぞれ(7.8),(7.11)および(7.12)式で計算できることを示し、視対象に対する各面上の光源の相対的な位置だけで決定できるR,R'およびR''を一対の標準視標について計算し、点光源に対する輝度算定図表を作成した。(図7.2～図7.11)

2) 天井面および対向壁面あるいは側壁面上に位置する等輝度均等拡散性の矩形面光源による視対象の輝度が、光源面を小要素に分割しそれぞれを点光源とみなすことによって、それぞれ(7.28)および(7.30)式で近似計算できることを示し、任意の矩形面光源による標準視対象の輝度予測を行なうための輝度算定図表を作成した。(図7.16～図7.19)

3) 事務室等で多用されている蛍光灯器具による視対象の輝度の近似計算法を示し、露出H型照明器具による標準視対象の輝度の実測結果と近似計算の結果とを比較検討し、近似計算を行なう場合の灯器の分割数と分割法に関する指針を示した。

4) 上記3)の輝度測定結果に基づいて、当該灯器の視対象に対する位置から標準視対象の輝度が直ちに読みとれる輝度算定図表を作成し、これが一般的な事務室において広く適用し得ることを示した。（図7.２６，図7.２８）

参考文献

1) Ito Katsuzo,Satoh Ryuji,Ohno Haruyo,Ferede Befekadu：Diagrams for the Prediction of Visibility Based on Sample Task Surface Part I. Point Source，日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系　（１９７７）１５９

2) 伊藤克三、佐藤隆二、大野治代、フェレデ・ベフェカド：サンプル紙面による見やすさの予測図表（そのⅡ、面光源）、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系　（１９７７）161

3) 伊藤克三、大野治代、佐藤隆二：視作業性に基づく昼光利用照明の設計法、建築環境工学論文集１　（１９７９）３７

4) 伊藤克三、大野治代、佐藤隆二：昼光利用照明の視作業性についての検討、日本建築学会近畿支部研究報告集、計画系　（１９７９）１０５

5) 例えば、日本建築学会：日本建築学会設計計画パンフレット１６採光設計、彰国社（１９６３）２７

第8章　見やすさレベル測定用視標[1),2)]

8.1　本章の目的

明視照明設計を実施した室内において、所期の明視性が達成されているかどうかを現場で検討することは、明視照明設計上欠くことのできない重要な過程の一つである。

すでに2.3で述べたように、視対象の明視3要素の条件が既知であれば、等視力曲線を利用して見やすさレベルが算定でき、明視性を評価することができるので、視対象およびその背景の輝度ならびに視対象の大きさを実測し、それに基づいて見やすさレベルを算定すれば、所期の明視性が達成できているか否かの検討を行なうことができる。

近年、小型で高性能の輝度計が開発されたので、現場での輝度測定は簡単にしかも精度よく行なえるようになったが、文字等の微細な視対象部分の特定方向の輝度を現場で測定することは簡単ではない。また、それらの輝度測定が可能としても、視対象の見やすさレベルを知るためには、輝度対比の計算、等視力曲線による視対象の大きさの閾値の読み取りなど、かなり面倒な手続きを要する。このように、実際の環境条件下における明視性の評価には多くの問題が存在している。

これらの問題は、与えられた環境条件下における視対象の見やすさレベルを知るために、視対象とその背景の輝度から大きさの閾値を求める際に生じるものであって、そこでの大きさの閾値が何らかの方法で直接求まるならば、視対象やその背景の輝度を知る必要はない。

表面性状が同一で、層内反射率のみが異なる視対象の場合、異なる照明条件下で得られる輝度対比の比は視対象の層内反射率にかかわらず常に一定である。したがって、設計対象の視対象と表面性状が同一で、層内反射率が異なる視対象があって、それが実際の照明条件下で閾状態となるとき、その視対象の層内反射率を知っておけば、その照明条件下での視対象の輝度はそれを直接測定しなくても背景輝度を知るだけで求めることができる。それゆえ

設計対象の実際の照明条件下での輝度対比、大きさの閾値さらには見やすさレベルまでも知ることができる。

このことに着目して、標準視対象の見やすさレベルを実用的な精度で求めることができる見やすさレベル測定用視標を作成することによって、照明の明視性評価を簡単に行なえるようにすることが本章の目的である。

8.2 見やすさレベル測定用視標の概要

実際の環境下での明視性の評価を簡単に行なうために作成した見やすさレベル測定用視標の1例を図8.1に示す。

この見やすさレベル測定用視標は、輝度対比のみが異なる同一内容の文章視標で構成されたもので、輝度対比が異なる10個の文章視標は3.3において本明視照明設計の標準視対象として作成した印刷インクの濃さを変えて印刷した視標である。各文章視標の呼称輝度対比は表8.1に示す通りであって、10種の標準視標紙面から同一の文章を切り取り、輝度対比の順に1枚の台紙に貼り付け、表面を透明のビニール膜で被覆し、すべてが同一の表面性状を有するようにしたものである。

表8.1 見やすさレベル測定用視標の呼称輝度対比

視　標	呼称輝度対比
A	0.92
B	0.71
C	0.46
D	0.35
E	0.28
F	0.18
G	0.13
H	0.079
I	0.045
J	0.027

本研究においては、事務室等における明視照明設計の対象視作業として「文章を読む」作業を設定したので、見やすさレベルの測定用視標としてもこれを用いることにした。図8.1に示す視標は活字寸法が3.38㎜のものであるが、この他に2.93㎜と4.50㎜の文章についても同様の測定用視標を作成した。

J

E

冬は庭の草花もなくなり、窓の外をながめるだけでも、さむざむとした感じになる。シクラメン、サクラソウ、シンビジュームや観葉植物を飾り、せめて室内園芸を楽しみたい季節だ。美しい花のいのちも手入れしだいで、あえなくも散りもすれば、春まで楽しめるほど長もちする。

I

D

冬は庭の草花もなくなり、窓の外をながめるだけでも、さむざむとした感じになる。シクラメン、サクラソウ、シンビジュームや観葉植物を飾り、せめて室内園芸を楽しみたい季節だ。美しい花のいのちも手入れしだいで、あえなくも散りもすれば、春まで楽しめるほど長もちする。

H

C

冬は庭の草花もなくなり、窓の外をながめるだけでも、さむざむとした感じになる。シクラメン、サクラソウ、シンビジュームや観葉植物を飾り、せめて室内園芸を楽しみたい季節だ。美しい花のいのちも手入れしだいで、あえなくも散りもすれば、春まで楽しめるほど長もちする。

G

B

冬は庭の草花もなくなり、窓の外をながめるだけでも、さむざむとした感じになる。シクラメン、サクラソウ、シンビジュームや観葉植物を飾り、せめて室内園芸を楽しみたい季節だ。美しい花のいのちも手入れしだいで、あえなくも散りもすれば、春まで楽しめるほど長もちする。

F

A

冬は庭の草花もなくなり、窓の外をながめるだけでも、さむざむとした感じになる。シクラメン、サクラソウ、シンビジュームや観葉植物を飾り、せめて室内園芸を楽しみたい季節だ。美しい花のいのちも手入れしだいで、あえなくも散りもすれば、春まで楽しめるほど長もちする。

図8.1　見やすさレベル測定用視標（活字の寸法 3.38 mm）

8.3　見やすさレベル測定用視標による見やすさレベルの測定方法とその計測原理

8.3.1　見やすさレベルの測定法

前節で示した視標を用いて現実の照明条件下における「文章を読む」作業の見やすさレベルの測定を行なうには以下に述べる方法に従えばよい。

まず、視作業面上の検討点に1つの文章の中心が位置するように測定用視標を正確に設置する。次に、標準視作業条件（視距離３０㎝、視対象の反射角が３０度の視方向）でその文章を片眼で観察し、その文章が読めるかどうかを判定する。対比の異なる１０種の文章を順次検討点に移動させて、すべての文章について判読の可否を判定し、判読が可能な文章のうち最も対比の小さい視標を見つけ出す。最後に、検討点上に視標の白紙面が位置するように視標を設置して、観察を行ったと同一の視方向でのその輝度を測定する。

上述の方法で求めた判読可能な最小対比の視標と白紙面の輝度より、次項で述べる見やすさレベルの計測原理に基づいて作成された見やすさレベル算定図表を用いれば直ちに見やすさレベルが読み取ることができる。

8.3.2　見やすさレベルの計測原理

２つの異なった照明条件(1)および(2)の下における、前述した見やすさレベル測定用視標の中の印刷インクの濃さが異なる２つの文章視標、たとえば、視標Ａと視標Ｂの輝度対比の比を考える。

照明条件(1)での視標Ａおよび視標Ｂの紙面と印刷文字面の輝度をそれぞれ L_{Aw1} と L_{Ab1} および L_{Bw1} と L_{Bb1} とすると、各視標の輝度対比 C_{A1} および C_{B1} はそれぞれ次式で与えられる。

$$C_{A1} = (L_{Aw1} - L_{Ab1}) / L_{Aw1} \qquad (8.1)$$

$$C_{B1} = (L_{Bw1} - L_{Bb1}) / L_{Bw1} \qquad (8.2)$$

したがって、両視標の輝度対比の比 C_{A1} / C_{B1} は次のようになる。

$$\frac{C_{A1}}{C_{B1}} = \frac{L_{Bw1}}{L_{Aw1}} \cdot \frac{L_{Aw1} - L_{Ab1}}{L_{Bw1} - L_{Bb1}} \qquad (8.3)$$

各面の輝度はそれぞれ層内反射光による成分（L）iと表皮反射光による成分（L）sとから成っており、各面の輝度はそれぞれ表8.2中に示すように表わせるので（8.3）式は、

$$\frac{C_{A1}}{C_{B1}}=\frac{L_{Bw1}}{L_{Aw1}}\cdot\frac{\{(L_{Aw1})i+(L_{Aw1})s\}-\{(L_{Ab1})i+(L_{Ab1})s\}}{\{(L_{Bw1})i+(L_{Bw1})s\}-\{(L_{Bb1})i+(L_{Bb1})s\}} \qquad (8.4)$$

ここで用いる視標はすべて同一表面性状をもつように作られているので、

$$(L_{Aw1})s=(L_{Ab1})s=(L_{Bw1})s=(L_{Bb1})s \qquad (8.5)$$

さらにA．B両視標の白紙面が同一であることにより

$$L_{Aw1}=L_{Bw1} \qquad (8.6)$$

$$(L_{Aw1})i=(L_{Bw1})i \qquad (8.7)$$

これらの関係を用いて（8.4）式を書き改めると

$$\frac{C_{A1}}{C_{B1}}=\frac{(L_{Aw1})i-(L_{Ab1})i}{(L_{Aw1})i-(L_{Bb1})i}=\frac{1-(L_{Ab1})i/(L_{Aw1})i}{1-(L_{Bb1})i/(L_{Aw1})i} \qquad (8.8)$$

同様にして、照明条件(2)の下でのA．B両視標の輝度対比の比C_{A2}/C_{B2}は

$$\frac{C_{A2}}{C_{B2}}=\frac{1-(L_{Ab2})i/(L_{Aw2})i}{1-(L_{Bb2})i/(L_{Bw2})i} \qquad (8.9)$$

（8.8）式における$(L_{Ab1})i/(L_{Aw1})i$および$(L_{Bb1})i/(L_{Aw1})i$はそれぞれ照明条件下(1)の下での視標Aおよび視標Bの印刷文字面と白紙面の層内反射光による輝度成分の比であり、層内反射光がほぼ均等拡散性である[3]ので、これらの比は照明条件に係わりなく各視標に固有な値である。したがって、これらの比は照明条件(2)の下での比に等しく、

$$(L_{Ab1})i/(L_{Aw1})i=(L_{Ab2})i/(L_{Aw2})i \qquad (8.10)$$

$$(L_{Bb1})i/(L_{Aw1})i=(L_{Bb2})i/(L_{Aw2})i \qquad (8.11)$$

これらの関係を（8.8）および（8.9）式に代入すると、結局

$$C_{A1}/C_{B1}=C_{A2}/C_{B2} \qquad (8.12)$$

これは、見やすさレベル測定用視標中の任意の2つの文章視標の輝度対比の比が照明条件に関係なく常に一定であることを示すものである。

したがって、C_{A1}, C_{B1}, C_{A2}ならびにC_{B2}の4つの輝度対比のうち、3つの値が既知であれば、残り1つの輝度対比は（8.12）式より求めること

表 8.2　見やすさレベル測定用視標の白紙面と印刷活字面の輝度と輝度対比

			視　標　A	視　標　B	成立条件
照明条件(1)	輝度	白紙面	層内成分　表皮成分 $L_{Aw1} = (L_{Aw1})_i + (L_{Aw1})_s$	層内成分　表皮成分 $L_{Bw1} = (L_{Bw1})_i + (L_{Bw1})_s$	$L_{Aw1} = L_{Bw1}$ $(L_{Aw1})_i = (L_{Bw1})_i$ $(L_{Aw1})_s = (L_{Bw1})_s$ $= (L_{Ab1})_s$ $= (L_{Bb1})_s$
		印刷面	$L_{Ab1} = (L_{Ab1})_i + (L_{Ab1})_s$	$L_{Bb1} = (L_{Bb1})_i + (L_{Bb1})_s$	
	輝度対比		$C_{A1} = \dfrac{L_{Aw1} - L_{Ab1}}{L_{Aw1}}$	$C_{B1} = \dfrac{L_{Bw1} - L_{Bb1}}{L_{Bw1}}$	
照明条件(2)	輝度	白紙面	$L_{Aw2} = (L_{Aw2})_i + (L_{Aw2})_s$	$L_{Bw2} = (L_{Bw2})_i + (L_{Bw2})_s$	$L_{Aw2} = L_{Bw2}$ $(L_{Aw2})_i = (L_{Bw2})_i$ $(L_{Aw2})_s = (L_{Bw2})_s$ $= (L_{Ab2})_s$ $= (L_{Bb2})_s$
		印刷面	$L_{Ab2} = (L_{Ab2})_i + (L_{Ab2})_s$	$L_{Bb2} = (L_{Bb2})_i + (L_{Bb2})_s$	
	輝度対比		$C_{A2} = \dfrac{L_{Aw2} - L_{Ab2}}{L_{Aw2}}$	$C_{B2} = \dfrac{L_{Bw2} - L_{Bb2}}{L_{Bw2}}$	
成立条件			$(L_{Ab1})_i / (L_{Aw1})_i = (L_{Ab2})_i / (L_{Aw2})_i$	$(L_{Bb1})_i / (L_{Bw1})_i = (L_{Bb2})_i / (L_{Bw2})_i$	

ができる。これを具体的に説明すると以下の通りである。

あらかじめ、ある一定の照明条件（照明条件(1)）で全文章視標の輝度対比 C_{A1}, C_{B1} ……，C_{J1} を測定しておく。文章視標Aの実際の照明条件（照明条件(2)）下での輝度対比 C_{A2} を知ろうとする場合、その照明条件下（白紙面の輝度 L cd/m²）で、たとえば、文章視標Gが判読閾状態であったとする。この文章視標の活字に等価なランドルト環の大きさを α とすると、この照明条件下における文章視標Gの輝度対比 C_{G2} は標準等視力曲線の図上で P_2 点として求めることができる。（図8.2）

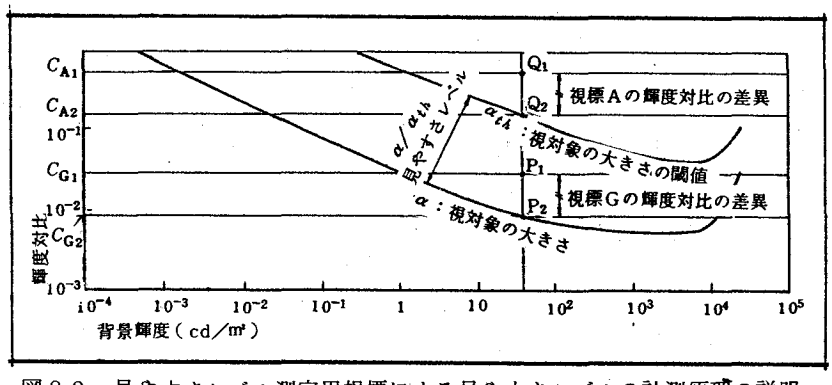


図8.2　見やすさレベル測定用視標による見やすさレベルの計測原理の説明

したがって、このときの文章視標Aの輝度対比 C_{A2} は（8.12）式より、

$$C_{A2} = C_{G2} \cdot \frac{C_{A1}}{C_{G1}} \qquad (8.13)$$

この C_{A2} と白紙面の輝度 L とによって定まる標準等視力曲線図上の Q_2 点より、この照明条件下における文章視標Aの大きさの閾値 α_{th} が読みとれるので、このときの文章視標Aの見やすさレベルは α/α_{th} として求めることができる。

なお、紙面の輝度（背景輝度）L と上記A，G両文章視標の輝度対比 C_{A1} ならびに C_{G1} とによって定まる標準等視力曲線上の点をそれぞれ Q_1, P_1 とすると、（8.13）式の関係は図上で $\overline{Q_1\ Q_2} = \overline{P_1\ P_2}$ として表現されるので、この関係を利用して図中で Q_2 点を求め、大きさの閾値 α_{th} を知ることもできる。

以上が見やすさレベル測定用視標による見やすさレベル計測の原理である。

8.4　見やすさレベル算定図表

見やすさレベル測定用視標のインクの濃さが異なる各文章視標の呼称輝度対比を測定した照明条件、すなわち、紙面への入射角45°方向から平行光で照明した条件を、先に述べた照明条件(1)とすれば、表8.1に示した輝度対比が各文章視標の$C_{A1}, C_{B1} \cdots\cdots, C_{J1}$となる。したがって、設計対象とする文章視標（通常は文章視標Aがこれに相当する）を定めれば、実際の照明条件下における白紙面の輝度を種々想定すると、そのとき各文章視標が閾状態となる場合の見やすさレベルは、標準等視力曲線を用いて前述の方法で予め算定することができる。

図8.3～図8.6は、呼称輝度対比0.92、活字寸法2.24㎜、3.38㎜ならびに4.50㎜の文章視標および呼称輝度対比が0.71、活字寸法2.24㎜の文章視標を見やすさの検討対象とした場合、視距離が30㎝において種々の背景輝度条件下で閾状態となる文章視標に対応する見やすさレベルを図表化したものである。これらより、実際の照明条件下における紙面の輝度とそこで閾状態となる文章視標の種類を知れば、評価対象視標の見やすさレベルは直ちに求めることができる。これらの図表が見やすさレベル算定図表である。

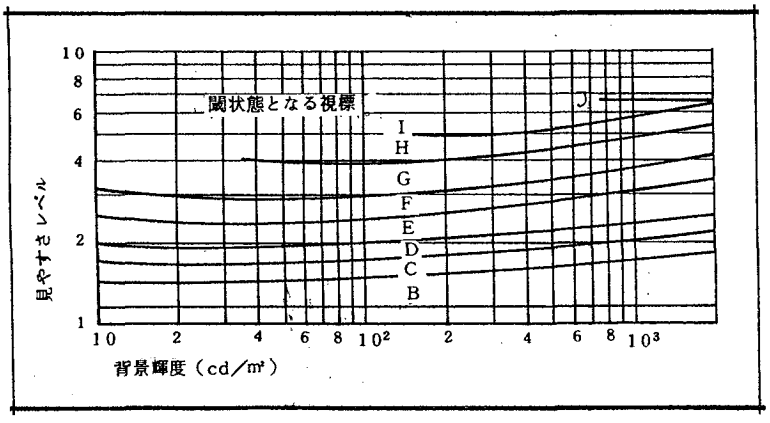


図8.3　見やすさレベル算定図表（視対象：3.38㎜日本文視標A）

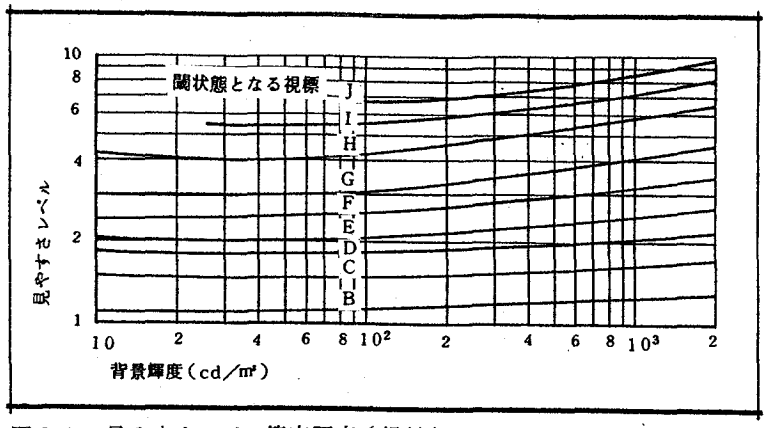


図8.4　見やすさレベル算定図表（視対象：4.48㎜日本文視標Ａ）

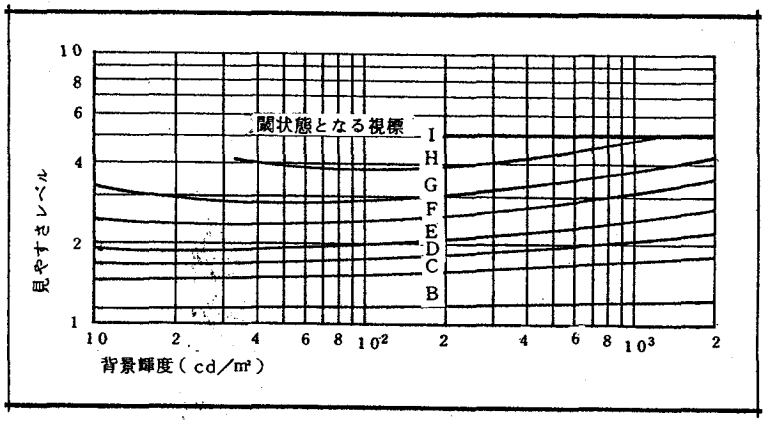


図8.5　見やすさレベル算定図表（視対象：2.24㎜日本文視標Ａ）

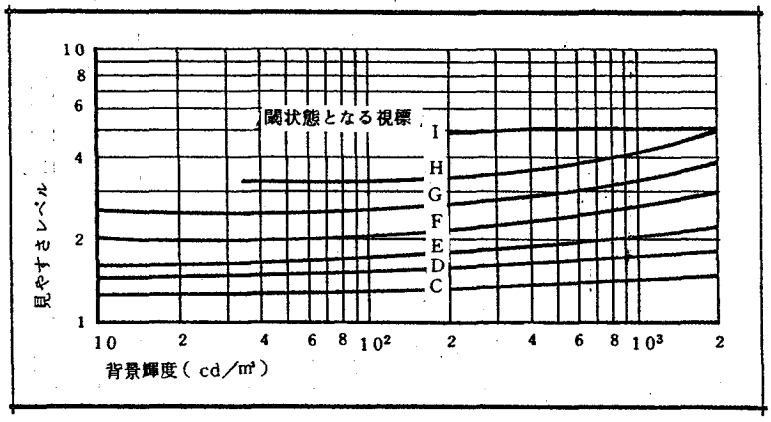


図8.6　見やすさレベル算定図表（視対象：2.24㎜日本文視標Ｂ）

これらの図表において、文章視標H，I，Jに対する曲線の一部あるいはすべてが図中に描かれていないのは、これらの印刷インクが薄く、どのような照明を行なってもそれらの輝度対比はある値よりも大きくなり得ず、背景輝度が低い場合には、常に閾以下にあるためである。

いずれの図においても各文章視標に対応する曲線はほぼ水平となっており、各視標が閾状態となるときの見やすさレベルの値は、背景輝度が異なってもほぼ一定であることを示している。この見やすさレベル測定用視標によって見やすさレベルを求めるときには、紙面の輝度すなわち背景輝度を現場で測定する必要があるが、上記の事実は、各文章視標が閾状態となるときの見やすさレベルが背景輝度に関係なくほぼ一定であることを示している。したがって、現場において見やすさレベルを測定する場合には、そこでの背景輝度を実測しなくても閾状態となる文章視標を見出すだけで、実用上十分な精度で見やすさレベルを求めることができる。この点においても、見やすさレベル測定用視標は、現場での見やすさレベルを知る上で非常に有用と考えられる。

8.5　本章のまとめ

1）明視照明設計を実施した現場での見やすさレベルを簡単に測定するための、印刷インクの濃さだけが異なる１０種の文章で構成された、見やすさレベル測定用視標を作成した。（図8.1）

2）印刷インクの濃さだけが異なる視対象の輝度対比の比が照明条件にかかわらず常に一定であることを示し、現場で閾状態となる文章視標を見つけ出せば、標準等視力曲線を利用して評価対象視標の大きさの閾値を求めることができ、現場での見やすさレベルが容易に計測できることを明らかにした。

3）現場での紙面の輝度を種々に想定してそこで各文章視標が閾状態となるときの見やすさレベルを予め算定して、現場での紙面の輝度と閾状態となる文章視標を求めれば、直ちに見やすさレベルを読みとることができる見やすさレベル算定図表を作成した。その結果、紙面の輝度を実測しなくても閾状

態の文章視標を知るだけで、実用上十分な精度の見やすさレベルが得られることが判明し、本見やすさレベル測定視標が現場での見やすさレベルを測定する上で、非常に有用なものであることが明らかとなった。

参　考　文　献

1) 伊藤克三、大野治代、佐藤隆二、フェレデ・ベフェカド：サンプルを用いる照明の評価法、日本建築学会大会学術講演梗概集、計画系　（１９７５）１０３

2) 伊藤克三、佐藤隆二、大野治代：視作業性から見たタスクライティングに関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、計画系　（１９７９）１０９

3) 伊藤克三、大野治代、フェレデ・ベフェカド、佐藤隆二：サンプル紙面の反射特性について　ーそのⅡ、反射特性の相反性に関する検討ー　日本建築学会近畿支部研究報告集（１９７６）３７

総　　括

明視照明の評価および設計は、視対象の見やすさについての作業者の主観的な評価に基づいてなされるべきであるとの観点に立ち、本論文では最も典型的な事務作業であると考えられる「文章を読む」作業を対象とした合理的で実用的な見やすさに基づく明視照明設計法の確立と、その設計の実施に欠くことのできない基本的な設計資料の作成を試みた。本研究を得た知見を要約すると以下の通りである。

1. 照明による明視性の確保を目的とする本研究の立場から、視対象の視認に関するこれまでの研究の成果を概観することにより、定常視作業における明視要素が視対象の大きさ、背景輝度（順応輝度）および輝度対比の3者であることを確認し、これら3要素の視認閾状態における条件の組み合わせが、中根と伊藤が得た標準等視力曲線にすべて集約されていることを述べ、さらに、これまでの照明の評価および設計に関する研究のほとんどが視対象とその背景の輝度対比は常に一定であるとして、直接の視覚刺激ではない照度を評価および設計の指標としており、また、視対象の輝度を考慮に入れたＥＳＩを指標とする設計法においても視対象の大きさを全く考慮しておらず、いずれもが視覚に基づいた合理的な明視照明設計法であるとは考えられないことを論じ、本研究の意義を明らかにした。
2. 合理的な明視照明設計法の満たすべき最も基本的な要件は、明視性に対する作業者の主観的な評価が任意の照明条件下で合理的に決定し得るべきことであって、そのためには、1)視作業の明視性を左右する明視要素の的確な抽出、2)任意の照明条件下における各明視要素条件の予測法の確立、3)明視要素条件と作業者の主観評価との対応関係を合理的に表現する見やすさの評価指標の確立が不可欠であることを述べ、「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法においては、視対象の背景輝度、輝度対比、文字の大きさの3要素を明視要素とすることが妥当であり、視対象およびその背景の反射特性を知ることによって、任意の照明条件下における背景輝

度および輝度対比を予測することが可能であり、また、文字の大きさの視認閾値を基準とする与えられた文字の大きさのレベルを見やすさレベルと定義してこれを見やすさの評価指標とすることが合理的であることを論じ、この見やすさレベルの予測法を詳述するとともに、「文章を読む」作業を対象とする明視照明設計法の基本的な枠組を確立した。

3. 視作業の明視性が照明条件のみならず視作業の諸条件にも大きく影響されるため、明視照明設計を実行する上では、設計対象とする視作業条件を予め設定しておくことが必要であることを論じ、表皮反射成分が顕著である紙面に活字印刷された平易な内容の日本文あるいは英文を視距離３０cmで紙面の法線とのなす角が30°である方向から観察する条件を「文章を読む」作業の標準視作業条件として設定し、明視照明設計の実用資料を整備するために、活字寸法が異なる文章２４種と大きさが異なるランドルト環２０種を１枚の紙面に印刷し、その表面を透明のビニール膜で被覆した標準視標を作成した。

4. 明視３要素の条件を種々に組み合わせた条件下での被験者実験で得た文章の読みやすさについての主観評価と見やすさレベルとの対応関係を検討した結果、明視照明設計の実用範囲である背景輝度約２５～約1000cd/m²輝度対比0.３５以上の条件下において、文章の読みやすさについての６段階の主観評価のそれぞれに対応する見やすさレベルの値が活字寸法、明視３要素の組み合せ条件ならびに被験者に関係なくほぼ一定であったことにより、本研究において採用した見やすさレベルが明視照明設計における実用的な見やすさの評価指標として有用なものであることを実証した。

5. 視対象の寸法ならびに輝度対比が種々異なるランドルト環と日本文および英文が視作業閾となる視距離を求めた被験者実験の結果、「文章を読む」作業の閾を与える活字に等価なランドルト環の大きさは、被験者の視力ならびに視対象の輝度対比に関係なく活字の寸法のみによって決まるものであって、活字寸法と「文章を読む」作業に等価なランドルト環の切れ目の寸法との比が日本文、英文ともに約１０であったことにより、標準等視力

曲線の広範な利用を前提とする本明視照明設計法の妥当性を立証すると同時に、与えられた照明条件に対して標準等視力曲線から求まるランドルト環の切れ目の寸法を１０倍したものをその条件下での「文章を読む」作業の文章活字の閾寸法とすればよいことを明らかにした。

6. 前田博士が定義した反射特性関数を若干変更し、伊藤と手塚が定義した反射特性を用いることによって、従来曖昧であった視対象の輝度計算が合理的に行ない得ることを示し、視方向と入射光の方向とに依存する反射特性値の測定装置を作成し、それによって標準視対象の反射特性値を測定した結果に基づき、任意の入射方向の光に対する標準視対象の反射特性値が正確かつ容易に読み取り得る反射特性図表を作成した。また、本標準視対象が指向性の強い表皮反射光を生じるものであることが判明した。

7. 事務室等においては光源が天井面並びに壁面上に位置することに着目し、それらの面上に位置する点光源および輝度一様な矩形面光源による標準視対象の輝度を簡単に予測するための輝度算定図表を種々作成するとともに事務室で多用されている蛍光灯器具を対象として、標準視対象の輝度の実測結果と近似計算結果とを比較検討することにより、一般の照明器具による輝度の近似計算を行う場合の指針を示した。

8. 印刷インクの濃さだけが異なる１０種の文章で構成した見やすさレベル測定用視標を作成し、これによって現場での見やすさレベルが容易に計測できることを明らかにし、測定視標中の閾状態となる文章視標を現場で求めるだけで、実用上十分な精度の見やすさレベルがただちに読みとることができる見やすさレベル算定図表を数種作成した。

以上、本論文では、「文章を読む」作業の明視を支配する主な要素が視対象の背景輝度、輝度対比、大きさの３要素であることを確認した上で、この３要素で決まる見やすさレベルを定義し、それが明視性に関する作業者の主観評価を適切に表現する見やすさの評価指標であることを明らかにし、見やすさレベルの予測法を確立すると同時に視作業に等価なランドルト環の大き

さを知ることで見やすさレベルの予測に標準等視力曲線が活用できることを実証し、さらに任意の照明条件下における視対象の輝度の予測法を明示するとともにその予測に必要な反射特性に関する資料を実用に便利な図表として与えることによって、任意の照明条件下での明視に関する主観的な評価が合理的に決定し得る見やすさに基づく明視照明設計法を確立した。

本論文において作成した実用的な設計用資料は、主として「文章を読む」作業についてのものであるが、ここでの明視3要素を明視要素とする平面的な視対象の定常視作業を対象とする場合には、その視作業に見合った設計資料さえ準備すれば、本設計法がそのまま適用できることは明らかである。しかしながら、現実の視作業が多種多様であって、各作業ごとに設計資料を整備することが不可能に近いことを考慮して、明視性に対する要求の程度、視作業の内容、視対象の種類などごとに代表的な標準視作業をあらかじめ数種選定し、それぞれについての設計資料を整備しておいて、現実の視作業をその中のいずれかに置き換えることによって明視照明設計を実施することが合理的、かつ、実際的であると考える。しかし、この標準視作業の選定は個人的に行なうべきでなく、広範な専門家の合意のものに行なわれるべきであるとの判断に基づいて、実用的な設計資料の作成は、本論文の主眼である明視照明設計法の基本的な枠組を確立する上で欠くことのできないものに限定した。

視対象が立体的なものである場合や鑑賞を対象とする視作業の場合には、ここでの明視3要素以外の要素をも考慮した設計法となることが予想されるが、その場合にも見やすさの評価指標として見やすさレベルを用いることが適切であり、ここで確立した明視照明設計法の基本的な枠組は、視覚に基づく照明設計全般に応用できるものであると考える。

しかしながら、本研究の成果は十分なものではなく、今後解明すべき問題点も残されている。たとえば、視対象が立体的なものであったり、鑑賞の対象であるような視作業についての設計法の確立には、まず、これらの視作業における明視要素を的確に抽出しなければならないが、それに資する研究成

果はこれまでほとんど得られていない。また、ここでは視線を固定し、両眼における視覚刺激（輝度）が同一であることを前提としているが、現実の視作業が両眼で視対象面上を走査しながら行なわれていることを考慮すれば、この差異が現実の視作業時における作業者の主観的な評価に与える影響を解明することも今後の課題として残されている。さらに、本研究においては背景輝度で近似した順応輝度を正確に知ることも今後の研究に残された重要な課題である。

謝　　辞

本研究を推進し本論文をまとめるにあたり、終始高い御見識によって御指導御援助、ならびに御鞭撻を賜わると同時に、身をもって研究の進め方やそれに取り組む姿勢を御教授下さった大阪大学教授伊藤克三先生に対し、衷心より感謝の意を表します。

また、有益な御助言、御支援を戴くとともに快適な研究環境を与えて下さった大阪大学助教授楢崎正也先生に深謝致します。

さらに、本研究を進める上で、先輩あるいは共同研究者として惜しまずご支援、ご協力下さり、また心よく相談に応じて下さった大阪大学助手大野治代氏に感謝致します。

さらに、卒業研究などとして本研究に携わり、実験装置の製作、資料の収集・整理などに多大の助力を惜しまなかったフェレデ・ベフェカド、橋本晴夫、木下昭、照屋正治、黒川英俊、清見敏郎、近沢信一、小川悟、高畑顕信、関藤隆志の諸氏に感謝します。