

明るさ測光システムの検討

明るさの計量化研究調査委員会報告書

平成2年8月

照明学会

明るさの計量化研究調査委員会

目次

第1章	目的と経緯	1
1-1	はじめに	1
1-2	経緯	2
1-3	本委員会の目的と構成	5
第2章	明るさの測光システムの視覚的諸問題	7
2-1	直接比較法における個人差	7
2-2	物体色の明るさ知覚	8
2-3	明るさ尺度の問題	9
第3章	現在提案されている明るさの測光システム	11
3-1	2度視野システム	12
3-2	10度視野システム	17
第4章	明るさの測光システムの定量的評価	33
4-1	評価データベース	33
4-2	測光システムの等価輝度データ	39
第5章	総合評価	60
5-1	2°視野システム	60
5-2	10°視野システム	62
第6章	あとがき	67
	引用文献	68
	付録	

第1章 目的と経緯

1-1 はじめに

“明るさ”という言葉が、視覚や照明工学の分野で重要視されてきてからかなり時が経過した。国際照明委員会CIEの定義した輝度（Luminance）が物を見た時の見えの明るさを正しく表していないこと、明るさと輝度の比を表すためのB/L比という用語なども、もはや決して目新しいものではなくなった。問題が明らかになったのは直接比較法で測定した視覚系の分光視感効率が長波長領域や短波長領域で比較的高い感度を示し、輝度を定義する際の基礎となるCIEの標準分光視感効率 $V(\lambda)$ 関数とは異なることであった。この差は何か問題になった。色覚に関する基礎研究が進み、これは視覚系の色応答が寄与するかしないかに関係していることがわかってきた。すなわち、直接比較法では明るさの判定に色応答が寄与するため彩度の高い色ほどより明るく感じられる。いわゆるHelmholtz-Kohlrausch効果である。一方 $V(\lambda)$ 決定の基礎になった交照法では、時間的なちらつきを判定基準にするためこの色の寄与がないと考えた。こうした理論的背景もあって、現在では、直接物を見た時の見えの明るさとCIEの輝度とが本質的に異なるものであることはもはや疑いのないところとなった。

もう一つ輝度と見えの明るさが顕著に異なる現象があった。いわゆる薄明視と呼ばれる数ルクス以下の低照明領域である。この照度レベルになると視覚系は桿体細胞と呼ばれる分光感度の異なる受容器が働き出し、そのためPurkinje現象と呼ばれる視覚系の感度変化が起る。当然のことながら $V(\lambda)$ 定義による輝度と見えの明るさは大きく異なる。以前から良く知られた現象ではあるが、感度変化が複雑なこと、さらに、データの欠如などがあって測光分野への進展が見られなかった。ところが、照明技術の発達にともない夜間活動が広がるにつれ、たとえば夜間道路の安全性、防犯照明、快適作業環境などの問題から、薄明視の視環境評価や測光技術の重要性が見直され、早急な対応が望まれるようになった。この問題もやはりPurkinje現象という視覚的效果をいかに理解し、測光システムに応用するかという視覚系に深く係わる問題であった。

こうしたいずれも視覚的な問題が測光・測色分野で特に見直されてきたのは、もちろん人間が光源や物体を見た時の明るさを正しく計測することが重要であったからである。明るさの計測は光計測、照明工学、快適視環境の評価などでは重要な要素技術である。だからこそCIE定義の輝度（ cd/m^2 ）が、明るさを表す測光量として60年以上もの長きにわたって、巾広く用いられてきたのである。ところがこのCIE

の輝度が、前述のHelmholtz-Kohlrausch効果やPurkinje現象のために、光源や物体の明るさを正しく表していないとなると問題は重大である。輝度とは何か、明るさとは何か。視覚を扱う基礎分野から測光測色、さらに照明設計にいたる応用分野で活発な検討が行なわれてきた。

いまや、明るさの測光技術を確立することは測光分野の一つの大きな課題である。すでに基礎研究や応用分野での研究も進み、あるものは具体的な測光システムの提案にまで至っている。照明学会でもこれまでいくつかの委員会を設けてこの問題を検討してきた。そこで本委員会では現在提案されている明るさの測光システムを調査しそれらを実際の明るさ感覚のデータを用いて比較検討することによって、明るさを表す測光システムとはどのようなものであるべきかを具体的に検討することになった。

2-1 経緯

(1) 視覚と視環境研究調査委員会、B分科会（池田光男委員長；1980～1983）

この委員会では照明学会として初めて明るさの問題を取り上げた。ここで検討されたものは主として明るさ感覚の基本となる分光視感効率であった。検討項目は、

- a. 交照法と直接比較法による分光視感効率曲線の形状の違い、
- b. 視野サイズによる影響、
- c. 明所視、薄明視、暗所視における分光視感効率
- d. 年齢による影響
- e. 視覚モデルの問題

など広い範囲に及んだ。

この委員会の結論として最も重要なものは、 2° 視野、 10° 視野に関する、日本人観測者の明るさの分光視感効率曲線をまとめたことである¹。国内のいくつかの研究グループから直接比較法による明るさマッチングデータを集め、それらを整理し、国際的なデータと比較検討も行なわれた。これは後述するようにCIEが同様に明るさの分光視感効率関数をまとめる際のデータベースとなった。

(2) 光の量の視感覚による評価体系研究調査委員会（池田光男委員長；1983～1986）

この委員会は前述の視覚と視環境研究調査委員会B分科会の活動を受けて、明る

さの測光システムを開発する上で特に重要な問題を取上げて検討した。その中にはこれまで複雑な問題として取り残されていた薄明視の問題も含まれていた。薄明視では視覚系の桿体と錐体が共に働き、分光視感効率も輝度レベルとともに徐々に変化する。もちろんここではCIEの輝度は物の明るさを正しく表していない。すべてのレベルに適用できる測光システムを開発するためにはこの薄明視の問題は避けて通れない。桿体と錐体の相互作用に基づく視覚モデル、あるいは測光システムの検討が行なわれた。さらに委員会では、明所視における色度図全域のB/L比の特徴やそのモデルなど、具体的な測光システムの開発に向けた議論も盛んに行なわれた²。

明るさの測光システムは視覚系の問題を多く含み、データの積み重ねやモデル構築が必要な分野でもある。短期間では解決しない部分も多い。この委員会でも、最終的な結論は現状の調査と考え方の整理ということになった。しかし、委員会の議論のなかで、明るさの測光システムの社会的必要性、現在の測光システムとの関係、なども検討され、次第に明るさの測光システムとはどのようなものであるかが具体的な形として浮び上がってきた。

(3) 明るさ感覚研究調査委員会（池田光男委員長；1983～1985）

光源の分野で三波長域発光型蛍光ランプが開発されると、このランプの明るさが問題となった。三波長発光型蛍光ランプでは一般的に有彩色物体の色がより彩やかになり、それにともなって照明物体が明るく見える。いわゆるB/L効果である。その明るさ効率がどのくらいかが問題となった。ただしここで問題とされたのは照明された物体を含む周囲全体の明るさである。その意味でB/L比に代って等明るさ感照度比という用語が用いられた。ランプメーカー各社がそれぞれ独自の方法でこの等明るさ感照度比を示したことから、その値に混乱が生じ、統一の見解を照明学会に求めた。当初、等明るさ感照度比とB/L比は同じものではないかと考えられたが、実はこの研究調査委員会で得た結論の一つはそれらは定量的にかなり異なるものであるというものであった³。照明からうける部屋全体の明るさ感はやはり個々の孤立した色の明るさとは異なるということである。ランプという具体的な応用分野で明るさの問題が活発に議論されたことは、非常に意義のあるものであった。

(4) CIEの動き

明るさの問題は国際的にも盛んに取上げられた。もちろん、その中心となるのはCIEである。CIE Pub. No. 41 には直接比較法による分光視感効率が掲載されているが、これが明るさの問題をCIEが正式に取上げた最初のものであった⁴。具体的な検

討が始ったのは1979年京都大会の時。当時の技術委員会TC1.4 Vision の中に以下に示す3つの明るさに関する分科会が生れた。これらはいずれも1983年アムステルダム大会の時技術委員会となり、その後1987年ベニス大会まで活動を続した。

a. Mesopic Photometry (Kinney, 1979~1987) は薄明視の測光システムを検討した委員会で、薄明視測光に関する技術の現状と動向を整理したものである。これまで世界各国の研究グループから提案されている薄明視測光システムを調査し、それらを技術報告書にまとめた⁵。技術報告書の中には5つの薄明視測光システムが紹介され、具体的な活用まで示されている。委員会の結論はあくまで現状の調査であるが、報告書にまとめられた測光システムは今後の実地試験のための一つのステップとなった。

b. Luminous efficiency functions (Ikeda, 1979~1987) は明るさの分光視感効率関数を点光源、2° 視野、10° 視野のそれぞれの視野サイズに対してまとめたものである。世界各国の研究グループのデータが集められ、点光源に関しては6名、2° 視野に対しては63名、10° 視野に対しては76名のデータが集められた。その結果、点光源に関してはJudd修正の $V(\lambda)$ 関数がそのまま利用できること、2° 視野については63名の平均値をとった新しい関数 $V_{b, 2}(\lambda)$ を用いること、10° 視野については新たに定義された2° 関数に400~520nmの範囲の補正(補正係数は別表)を加えて $V_{b, 10}(\lambda)$ として用いることが示された⁶。照明学会がまとめた2°、10°に関する明るさの分光視感効率のデータはこの委員会に大きな貢献をした。この委員会で得られた明るさの標準的分光視感効率は、CIEが明るさに関してまとめた最初の一つの結論であった。

c. Models of heterochromatic brightness matching (Kaiser, 1979~1987) は明るさマッチングにおける視覚モデルを検討した委員会である。すぐれた測光システムはもちろん優れた視覚モデルに基づくものでなくてはならない。その意味でこの委員会への期待は大きかった。しかし、視覚や色覚モデルに関する研究を調査した結果、現状では推奨できるモデルはないとの結論に達した。さらに研究活動が必要ということである。しかしながら、応用分野では明るさの測光システムの開発が急務であるので、代案として委員会が出したものは色度図全域のB/L比を色度(x, y)の実験式で表すというものであった。カナダNRCのWare-Cowanの変換係数が用いられ⁷、委員会ではこれを実際場面でテストすることで、応用分野への配慮を示したわけである。もちろんこれは視覚モデルではなく、これまでの実験データを集めた数学的なデータの記述であつことは言うまでもない。

d. 現在のCIEの活動

これら3つの明るさに関するCIEの委員会活動は1987年のベニス大会でひとまず集約された。次の新たなステップはこれら3つの仕事のフォローアップと明るさ測光システムの開発のための具体的な活動である。そのため TC1-21; Testing of supplementary systems of photometry (明るさ測光システムの検討) が設立され、ここで現在までに提案されている明るさの測光システムのテストを行うことになった。明るさ測光システムのCIE提案に向けての具体的な活動である。この委員会は現在も活動を継続中である。

その他、明るさに関するCIEの最近の活動のなかで他に補足して置くべきことは、 $V(\lambda)$ の短波長領域を修正したいいわゆるJudd 修正の分光視感効率関数が正式に技術委員会として取り上げられ、技術報告書にまとめられたことである³。また、明るさの感覚の尺度化の問題も、いくつかの技術委員会やレポータ (TC1-05 Brightness luminance relation; Roufs, 1979~1987、同名のレポータ; Roufs, 1987~、及び TC1-22 Engineering application of brightness scales; Narisada, 1987~1989、同名のレポータ; Takeuchi, 1989~)、を設けて継続的に検討され続けており今後、現在の測光システムに光強度と明るさの感覚尺度の関係を導入する場合、この問題は特に重要な課題となる。

1-3 本委員会の目的と構成

(1) 目的

以上述べたように、国内外とも過去およそ10年の動きをたどってみると、測光分野では明るさという問題が非常に精力的に検討されてきたことがわかる。すでに基礎、応用の分野で研究も進み、まだ未解決の部分はあるものの具体的な測光システムの提案のための材料はかなり揃ってきた。近い将来明るさ測光システムがしかるべき国際機関より提案されることが予想される。照明学会としてもこの問題に対する見解を要求されることになる。

以上の背景から、本委員会では明るさ測光システム開発に関する調査研究を行うこととなった。具体的目標としては、現在CIEなどを中心として提案されている明るさに関する測光システムを調査し、それらをデータを用いて具体的に評価することにした。さらに、もし可能であれば好ましい測光システムのあり方についての提言や一つの可能な測光システムの提案にまで発展させることを目的とした。

(2) 委員会の構成

委員長	佐川 賢	製品科学研究所、基礎人間工学部
幹事	矢口博久	千葉大学工学部、情報工学科
委員	市川一夫	社会保険中京病院、眼科
	内川恵二	東京工業大学、総合理工学研究科、
	大野幸雄	(株)日立製作所青梅工場、開発部
	神作 博	中京大学文学部、心理学科
	近藤久男	(株)東芝ライテック、照明事業部
	小坂 武	ミノルタカメラ(株)研究部、光計測システム部
	佐藤愛子	浜松医科大学医学部、心理学研究室
	佐藤雅子	千葉大学工学部、画像工学科
	斉藤一郎	電子技術総合研究所、量子放射部
	武内徹二	松下電器産業(株)照明研究所
	戸沢 均	(株)トップコン、機器技術部
	長谷川敬	聖心女子大学文学部、心理学教室
	淵田隆義	(株)東芝ライテック、研究所
	不破正宏	電子技術総合研究所、量子放射部
	明道 成	三菱電機(株)、生活システム研究所
	湯尻 照	広島工業大学、電気工学科
コンサルタント:	池田光男	東京工業大学、総合理工学研究科

第2章 明るさ測光システムの 視覚的諸問題

2-1 直接比較法における個人差

直接比較法による明るさの判定にはかなり個人差があることが種々の研究結果から明らかとなってきた。このばらつきは、交照法に比べかなり大きい。個人差は明るさの測光システムを開発する上で重要であるばかりでなく、ランプの明るさの評価などを実際に観測者を用いて行なおうとする時などより重要な問題となる。たとえばB/L比の高い観測者、つまりあざやかな色をより明るく判定する人にとってはテストするランプは他の人よりも明るく感じられ、この場合ランプの明るさ効率は良いということになる。しかし逆にB/L比の低い観測者ではランプの効率は悪いという結果になってしまう。したがってこうした観測者の差は重要である。

本委員会ではこの個人差の定量化や分類の方法について検討した。この問題に関してはすでにいくつかの研究が行なわれている。委員会ではそのなかで池田ら（東工大）の結果について検討した⁹。池田らは、明るさ分光感度における被験者のばらつきを主成分分析にかけ、分光視感効率曲線の形状に関する2つの主成分を抽出した。図1はその結果であるが、抽出された主成分は、第1主成分は長波長、及び

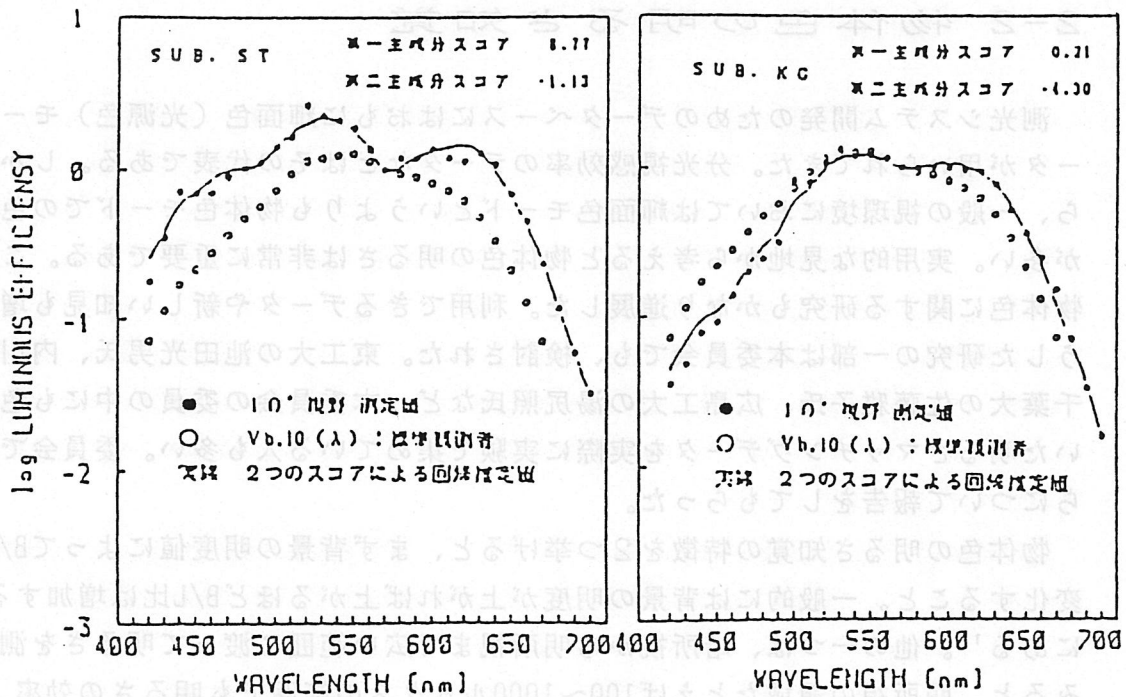


図2-1. 明るさ分光感度の主成分分析による結果（池田ら⁹）

短波長領域の双方にふくらみを持つもの、すなわち赤や青の領域で共に高い明るさ効率を示すもの、他の一つの成分は長波長領域で高く、かつ短波長領域で低い効率を示すもの。あるいはその逆で短波長領域で高く、長波長領域で低い効率を示す成分である。図2-1には、こうして得られた2つの主成分に対する2名の観測者の寄与の例が示されている。左図（ST）は第一主成分に高い寄与を示す観測者で、黒丸（●）の実験値が示すごとく長、短波長領域で平均的な観測者（○）よりも高い感度を示す曲線となっている。一方、右図は第2主成分に高い寄与を示す観測者で、ここでは長波長領域で平均値よりも高く、短波長領域で低い感度となっている。すなわち、観測者の差は主成分スコアによって定量的に示すことができる。さらに実線は得られた主成分スコアから感度曲線を推定したもので、実験値を良く表現していることもわかる。

池田らの方法は、ばらつきの主成分の抽出や、得られた主成分を基にして被験者のタイプの分類や、さらにその観測者の分光感度を予測するのに有効な方法であることを示した。もちろん、今回検討したのは個人差を分析する一つの方法についてであるが、今回の議論の中で重要なことは、個人間のばらつきが明るさの測光システム開発にとって重要な問題であること、さらにその定量化の一つの方法が示されたことである。

2-2 物体色の明るさ知覚

測光システム開発のためのデータベースにはおもに輝面色（光源色）モードのデータが用いられてきた。分光視感効率のデータなどはその代表である。しかしながら、一般の視環境においては輝面色モードというよりも物体色モードでの色の見えが多い。実用的な見地から考えると物体色の明るさは非常に重要である。ここ数年、物体色に関する研究もかなり進展した。利用できるデータや新しい知見も増え、こうした研究の一部は本委員会でも、検討された。東工大の池田光男氏、内川恵二氏、千葉大の佐藤雅子氏、広島工大の湯尻照氏など、本委員会の委員の中にも色票を用いた明るさマッチングデータを実際に実験で集めている人も多い。委員会ではそれらについて報告をしてもらった。

物体色の明るさ知覚の特徴を2つ挙げると、まず背景の明度値によってB/L比が変化すること。一般的には背景の明度が上がれば上がるほどB/L比は増加する傾向にある¹⁰。他の一つは、暗所視から明所視まで広い範囲に渡って明るさを測定してみると、明所視の領域たとえば100～1000ルクスの範囲でも明るさの効率、B/L比が増加し続けることである。図2-2はそのことを示す池田らのデータである¹¹。横

軸に照度、縦軸に等価明度（等しい明るさに見えるグレースケールの明度値）をプロットしたものである。たとえば図の一番下のデータグループの黒丸（●）は赤の色票のデータであるが、この等価明度値は照度が上がるにつれて増加する。興味ある点は、確実に明所視と思われる10 lux 以上でも依然として増加し続けることである。上の2つデータは視野サイズを1°、及び20′と小さくしていった時のデータであるが、こうして桿体の介入を除去した条件でも等価明度は上がり続けることから、この効果は明らかに明所視の錐体の活動であることがわかる。

これまで薄明視の測光システムを考える時など、明所視は一つの収束値であった。すなわちB/L比の変化はもはや明所視内では起らないものと考えられていた。ところが、池田氏らの研究によればたとえば赤の色票などの明るさは10ルクス以上の明所視の範囲でも依然増加し続けていることが顕著に示されている。この明所視での効果は現在の測光システムでは現在ほとんど考慮されていない。今後、薄明視から高輝度の明所視レベルを含む全順応レベルに適用できる測光システムを考える上で、この物体色の効果をどのように取り入れるかが重要な点になろう。

2-3 明るさ尺度の問題

現在の測光システムでは、明るさを等価輝度や等価明度という単位で表している

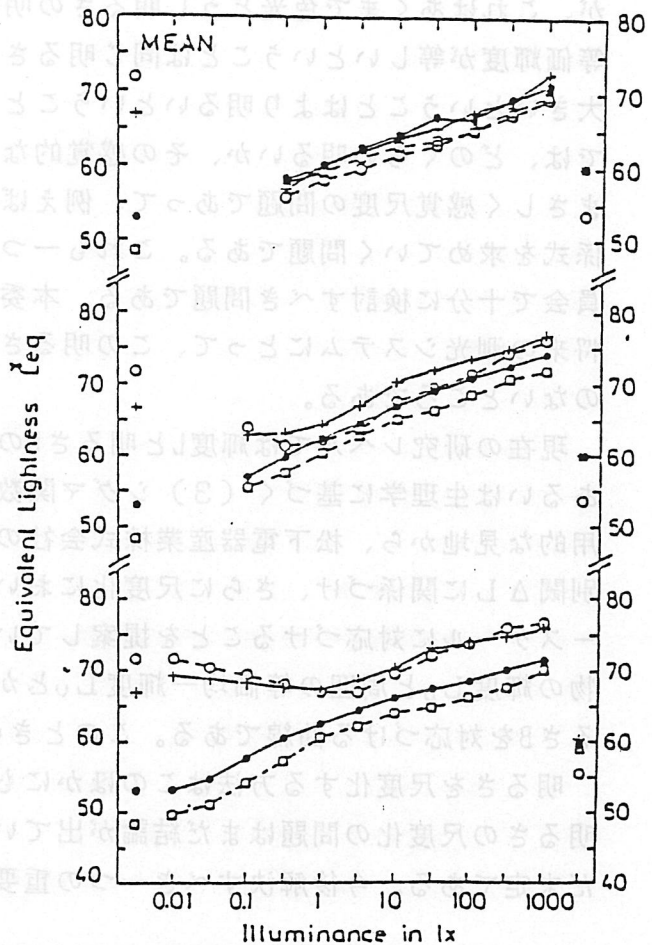


図2-2. 照度レベルによる4色票[赤(□)、黄(●)、緑(+)、青(○)]の等価明度の変化。上から順に20′、1°、6°の結果(Ikedaら¹¹⁾。

が、これはあくまで色光どうし明るさの明暗関係を判定するものである。つまり、等価輝度が等しいということは同じ明るさに見えることを意味し、また等価輝度が大きいということはより明るいということの意味するに過ぎない。しかし実際場面では、どのくらい明るいのか、その感覚的な量を知ることも重要である。この問題はまさしく感覚尺度の問題であって、例えば輝度 L と感覚的な明るさの尺度値 B との関係式を求めていく問題である。これも一つの大きな研究課題であり、一つの研究委員会で十分に検討すべき問題である。本委員会では深く検討しなかったが、しかし将来の測光システムにとって、この明るさの尺度化が重要な問題であることは疑いのないところである。

現在の研究レベルでは輝度 L と明るさ B の関係は(1)対数関係、(2)指数関係、あるいは生理学に基づく(3)シグマ関数など、いくつか提案されている。一方応用的な見地から、松下電器産業株式会社の武内氏らは、明るさを均一視野の輝度弁別閾 ΔL に関係づけ、さらに尺度化においてこの ΔL を一定照明下のマンセルグレースケールに対応づけることを提案している¹²。図2-3はそのことを示す図で対象物の輝度 L_0 と周囲の等価均一輝度 L_v とからマンセルグレースケールの明度値に明るさ B を対応づける曲線である。このときの照度は1000 luxである。

明るさを尺度化する方法はこのほかにもいくつか提案されている。しかしながら、明るさの尺度化の問題はまだ結論が出ていない。単位もどのようなものになるかまだ未定である。今後解決すべき一つの重要な課題である。

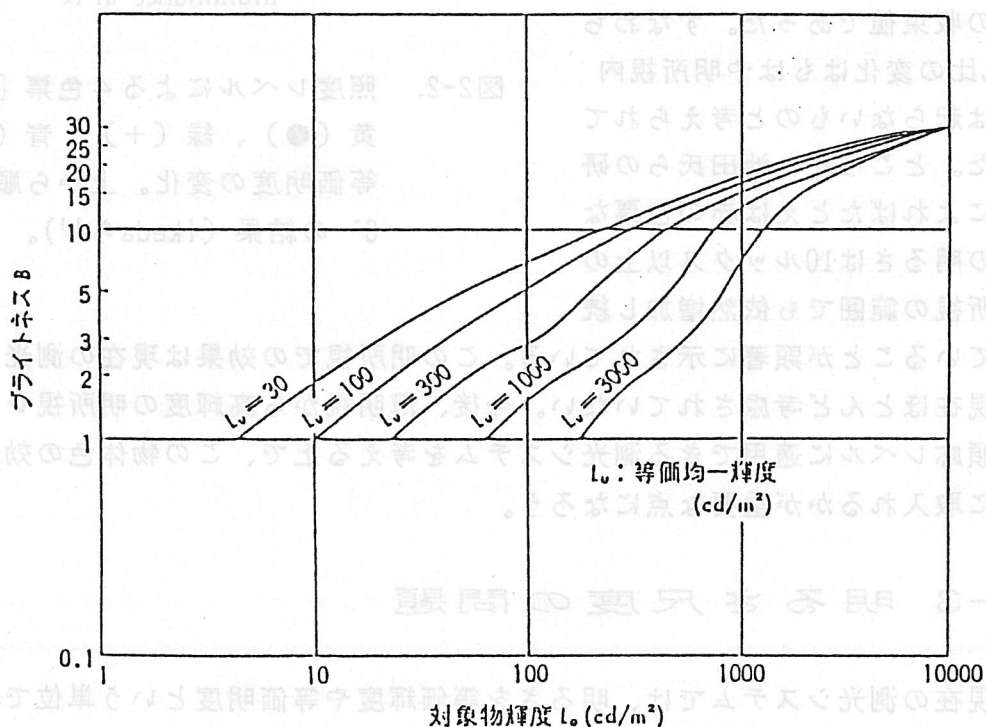


図2-3. 対象物の輝度 L_0 とブライトネス B の関係(武内ら¹²)。

第3章 現在提案されている明るさの測光システム

現在提案されている明るさの測光システムをまとめてみると次の2つに分類される。

- (1) 2° 視野に対するもの
- (2) 10° 視野に対するもの

2° 視野システムは明所視レベルを対象として、Helmholtz-Kohlrausch効果、すなわち色の明るさへの寄与をどのように現在のCIEシステムに導入するかが問題となる。一方、10° 視野システムでは明所視から暗所視までの広い順応レベルを対象として、このHelmholtz-Kohlrausch効果に加えて薄明視領域で見られるPurkinje効果をどのように取扱うかが問題の焦点になる。表1は現在提案されている明るさの測光システムをこの分類に従ってまとめたものである。この章ではこれらのシステムの概要について述べることにする。

表1. 明るさの測光システム

測光システム	特徴
<u>2度視野システム</u>	
Guth et al (1973,1980)	ベクトル輝度
Yaguchi - Ikeda (1983,1984)	非線形修正ベクトル輝度
Ware - Cowan (1983)	(x, y) の多項式による B/L比
Nakano et al (1988)	錐体RGBの対数線形結合
<u>10度視野システム</u>	
Palmer (1967)	明所視輝度 L と暗所視輝度 L' の線形結合
Kokoschka - Bodmann (1975)	$X_{10}, Y_{10}, Z_{10}, L'$ の線形結合、繰返し計算
Nakano - Ikeda (1986,1988)	(L と L' の幾何平均) + 色み
Sagawa - Takeichi (1987)	(L + 色み) と L' の幾何平均、繰返し計算
Trezona (1987)	双曲線関数 ($X_{10}, Y_{10}, Z_{10}, V'$ の多項式)
Ashizawa et al (1985)	双曲線関数による物体色の等価明度

3-1 2度視野システム

(1) Guthらのシステム

Guthらの測光システムは、明るさをベクトル輝度という測光量で表した最初のものである¹³。図3-1はそのシステムの概念図である¹⁴。ベクトル輝度とは、視覚系の応答のうち、輝度応答(A)と2つの色応答(T、D)をベクトル的に足し合せたものとして定義される。A、T、Dは図3-1に示されるように測色の3刺激値の線形変換で表すことができる。もし色光の明所視輝度と色度座標、あるいは3刺激値がわかれば、この線形変換に従って容易に求められる。明るさに対応する等価輝度 L_{eq} 、すなわちベクトル輝度はこの3刺激値から次式(3-1)によって計算される。

$$L_{eq} = (A^2 + T^2 + D^2)^{1/2}$$

(3-1)

Guth et al (1973, 1980)

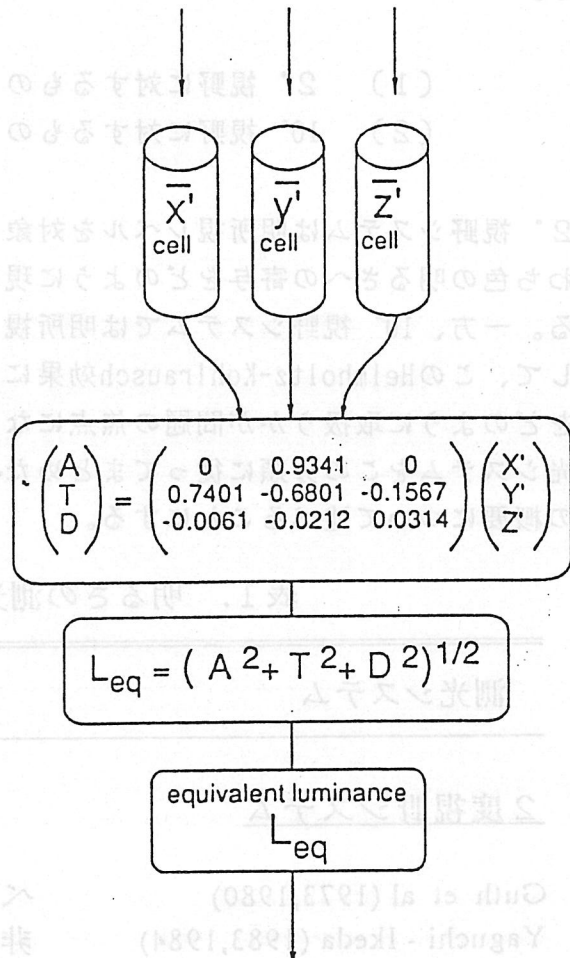


図3-1 Guthらの測光システムの概念図。

ただし、この時の色度座標や3刺激値はJudd修正の色度 (x', y') や3刺激値 X', Y', Z' を用いる。もし、この測光量があらかじめ用意されていない場合は、色光の分光放射分布からJudd修正の等色関数 $\bar{x}', \bar{y}', \bar{z}'$ を用いて計算しなければならない。この時のJudd修正の等色関数 $\bar{x}', \bar{y}', \bar{z}'$ としてはVosの値¹⁵が用いられる。

等価輝度の具体的な求め方として、図3-2の分光分布を持つ光を例にとって実際にGuthらのシステムにしたがって計算してみる。このサンプルは湯尻¹⁶の実験に用

いられた青の色票（NCS表示で1070-B）を昼白色蛍光灯（EDL-50K）で照明したものである。輝度は便宜的に 10cd/m^2 と決める。以後、各測光システムの計算例にこのサンプルを用いるので、基本的な測光、測色値をあらかじめ表2に示しておく。

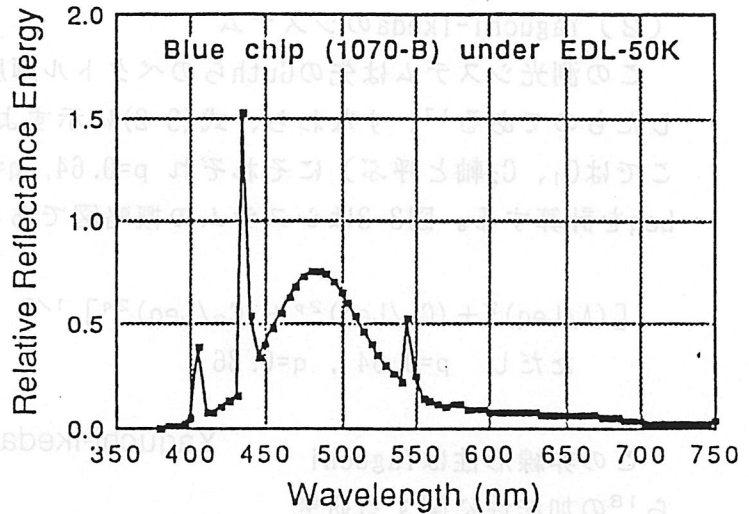


図3-2 等価輝度の計算例に用いられるテスト光の相対分光強度分布。

★計算例1

Judd修正輝度：

$$L_{Judd} = 10 \cdot 1.0096 = 10.096 \text{ cd/m}^2$$

色度(x',y')値より

Judd修正3刺激値：

$$X' = (x'/y') \cdot L_{Judd} = 7.385$$

$$Y' = L_{Judd} = 10.096$$

$$Z' = [(1-x'-y')/y'] L_{Judd} = 21.024$$

これを図3-1のATDの式に代入して、

$$A = 9.4307$$

$$T = -4.6951$$

$$D = 0.4011$$

さらに式(3-1)に従って等価輝度 Leq は、

$$Leq = 10.544 \text{ cd/m}^2$$

表2. 等価輝度計算に用いられたサンプル光の測光・測色値

項目	測光・測色値
サンプル色：	Blue (1070-B, NCS表示)
照明光：	昼白色蛍光灯 (EDL-50K)
CIE輝度 (2度視野)：	10 cd/m^2 (明所視の場合) 0.01 cd/m^2 (暗所視の場合)
CIE 2度色度座標：	$x = 0.1864, y = 0.2461$
CIE 10度色度座標：	$x_{10} = 0.1884, y_{10} = 0.2712$
Judd修正色度座標：	$x' = 0.1918, y' = 0.2622$
10度/2度輝度比：	$L_{10}/L = 1.2085$
Judd修正/2度輝度比：	$L_{Judd}/L = 1.0096$
暗所視/明所視輝度比：	$L'/L = 4.6676$

図となる。

(2) Yaguchi-Ikedaのシステム

この測光システムは先のGuthらのベクトル輝度システムに色応答の非線形を導入したものである¹⁷。すなわち、式(3-2)に示すように、GuthシステムのT、D応答（ここではC₁、C₂軸と呼ぶ）にそれぞれ p=0.64, q=0.36 の指数関数を用いて等価輝度 Leqを計算する。図3-3はシステムの概略図である。

$$\left[\left(\frac{A}{L_{eq}} \right)^2 + \left(\frac{C_1}{L_{eq}} \right)^{2p} + \left(\frac{C_2}{L_{eq}} \right)^{2q} \right]^{1/2} = 1 \quad (3-2)$$

ただし p=0.64, q=0.36

Yaguchi-Ikeda (1983,1984)

この非線形性はYaguchiら¹⁸の加法性に関する研究結果より導かれたもので、その意味でより生理的基盤を持つシステムとなっている。しかしながらこの非線形の導入によって、最終的に等価輝度 Leqを求める式がGuthの場合に比べやや複雑になる。すなわち、(3-2)式において Leqの解を求める際に数値代入による方法をとらざるを得ない。入力となる色光の3刺激値には、Guthのシステムと同様にJudd修正のX', Y', Z'を用いる。

★計算例2

計算例1の場合と同様に、Judd修正の3刺激値：

$$X' = 7.385$$

$$Y' = 10.096$$

$$Z' = 21.024、$$

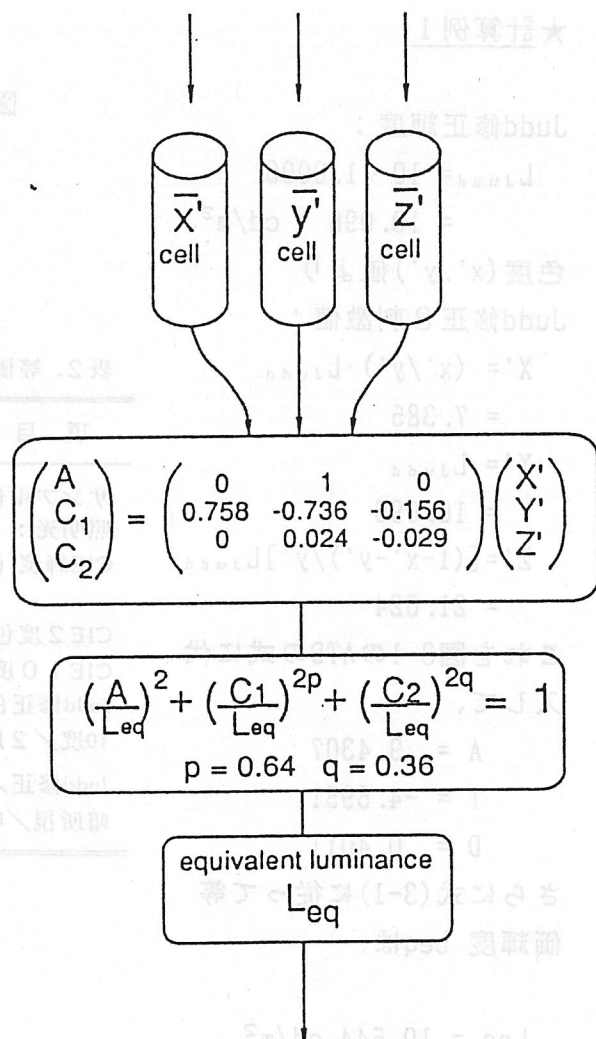


図3-3の行列式に従って、

図3-3 Yaguchi-Ikedaの測光システムの概念図。

$$A = 10.096$$

$$C_1 = -5.1126$$

$$C_2 = -0.3674$$

先ず、 $Leq = 12.8$ として式(3-2)の左辺に代入すると、

$$\text{(式3-2の左辺)} = 1.009$$

同様に $Leq = 12.9$ として、

$$\text{(式3-2の左辺)} = 0.996$$

よってこれらの値より、式(3-2)の左辺=1.0となる Leq を内分によって求めると

$$\underline{Leq = 12.87 \text{ cd/m}^2}$$

となる。

(3) Ware-Cowan のシステム

図3-4に示すこのシステムは任意の色光のB/L比を色度座標の多項式で表そうというものである。つまり、数学的なデータの記述であり、生理的な色覚モデルは考慮していない。B/Lデータとしては、各国の研究者がそれぞれの実験で求めたもの(サンプル点 3275点、143名)を集め、2度視野色度座標(x, y)の多項式近似によって、式(3-3a)に示すような変換係数Cの式を得る¹⁹⁾。Cは $\log(B/L)$ を意味し、従って等価輝度は式(3-3b)で求められる。

$$C = 0.256 - 0.184y - 2.527xy + 4.656x^3y + 4.657xy^4 \quad (3-3a)$$

$$Leq = L \cdot 10^C \quad (3-3b)$$

Ware-Cowan(1983)

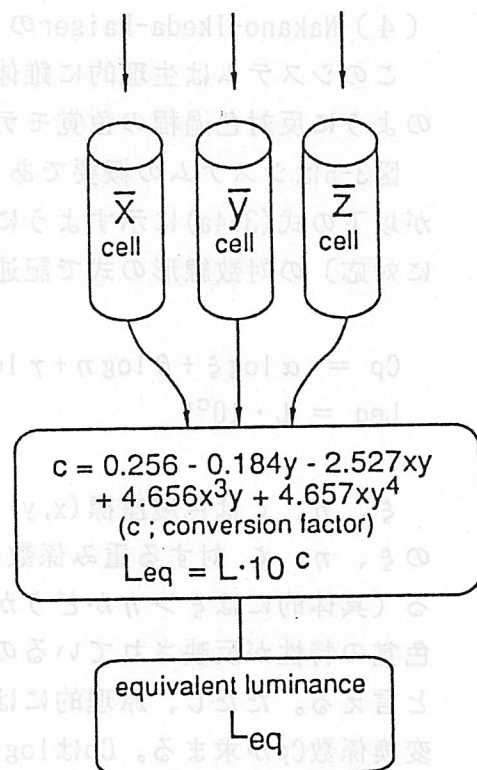


図3-4 Ware-Cowanの測光システムの概念図。

入力の色度座標 (x, y) と輝度 L だけで、応用面での使い勝手は良い。ただし、生理的基盤に欠ける点と、この式の予測する等B/L比の色度図上の軌跡の方向が、実験データの示す方向と一致しないなどの欠点も指摘されている。

★計算例 3

色度座標 $x=0.1864$, $y=0.2461$ より、

式 (3-3a) の変換係数 C の式に代入して、

$$C = 0.1054$$

よって、

$$\underline{Leq = 10 \cdot 10^{0.1054} = 12.747 \text{ cd/m}^2}$$

を得る。

(4) Nakano-Ikeda-Kaiser のシステム

このシステムは生理的に錐体からの出力を直接用いる点で、先の 2 つのシステムのように反対色過程の色覚モデルに基礎を置くシステムとは本質的に異なる。

図 3-5 はシステムの概要である。基本的考え方は、色光の B/L 比 (変換係数 C_p) が以下の式 (3-4a) に示すように、3 種の錐体の出力、 ξ 、 η 、 ζ (赤、緑、青錐体に対応) の対数線形の式で記述できるというものである²⁰。

$$C_p = \alpha \log \xi + \beta \log \eta + \gamma \log \zeta \quad (3-4a)$$

$$Leq = L \cdot 10^{C_p} \quad (3-4b)$$

ξ 、 η 、 ζ は色度座標 (x, y) より図 3-5 に示される行列式によって求められる。この ξ 、 η 、 ζ に対する重み係数 α 、 β 、 γ は、色によって変化する境界点が存在する (具体的には $\xi > \eta$ かどうかで判定)。ここには彼らの加法性の実験結果による色覚の特性が反映されているので、その意味でかなり生理的基盤をもったシステムと言える。ただし、原理的には簡単なものやや複雑な計算過程をたどって B/L 比変換係数 C_p が求まる。 C_p は $\log(B/L)$ を意味するので、最終的に等価輝度 Leq は式 (3-4b) で求められる。このシステムも入力としては、色度座標 (x, y) と明所視輝度 L のみで良い。なおこの明所視システムは Nakano-Ikeda の薄明視システムの明所視測光部としてそのまま用いられている。

★計算例4

表2の色度座標、

$$x=0.1864,$$

$$y=0.2461$$

より、図3-5の行列計算に

従って、

$$\xi = 0.9673,$$

$$\eta = 1.2051,$$

$$\zeta = 2.1187$$

これより、

$$\gamma = 0.1603$$

$\xi < \eta$ なので

$$\alpha = -0.38 (1-\gamma)$$

$$= -0.3191$$

$$\beta = 1.38 (1-\gamma)$$

$$= 1.1588$$

そこで、B/L変換係数 C_p は

式(3-4a)の対数線形式を

用いて、

$$C_p = 0.1508,$$

よって、

$$\begin{aligned} L_{eq} &= 10 \cdot 10^{0.1508} \\ &= 14.151 \text{ cd/m}^2 \end{aligned}$$

を得る。

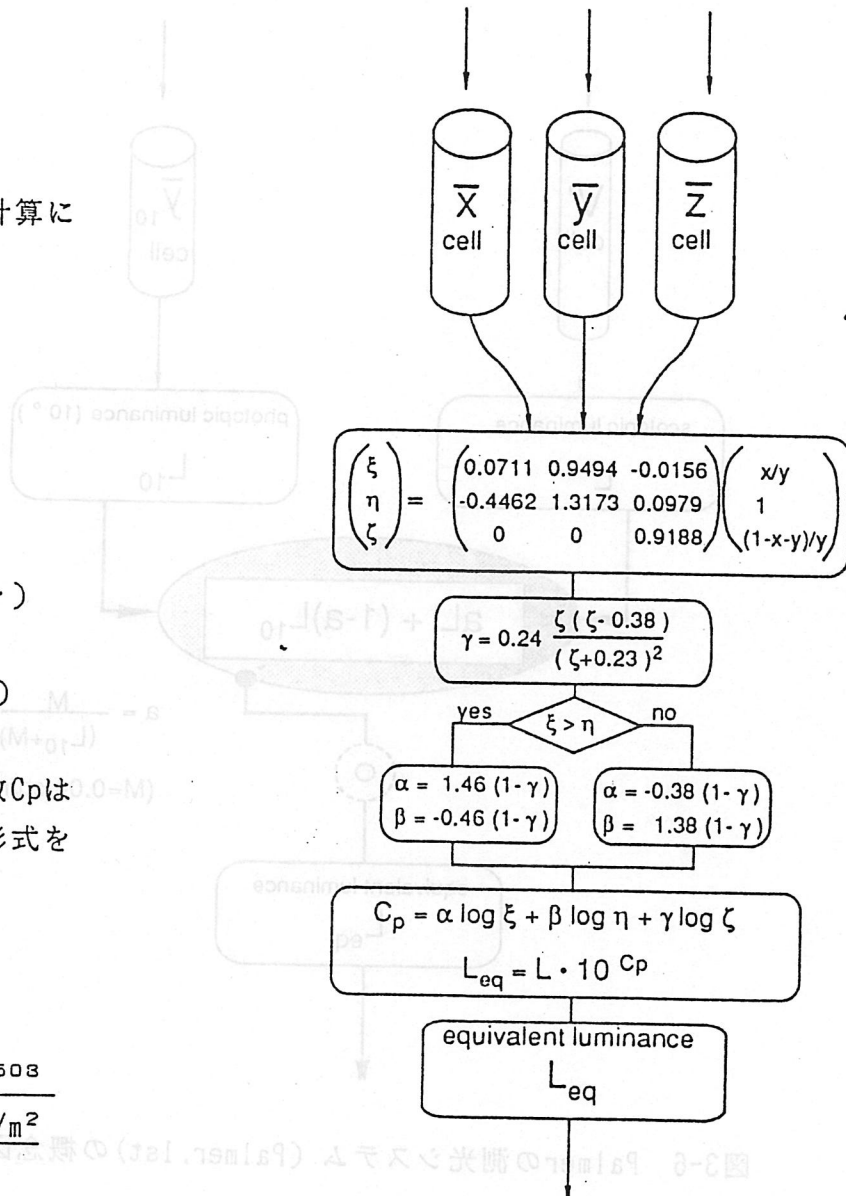


図3-5 Nakano-Ikeda-Kaiserの測光システムの概念図。

2-2 10度視野システム

(1) Palmerのシステム

Palmerの10°視野システムは、薄明視の測光システムとして初めて提案されたものである²¹。図3-6にその概要を示す。Palmerのシステムは、CIE $\bar{y}_{10}(\lambda)$ 関数に基づく10°視野の明所視測光量 L_{10} と暗所視測光量 L' の2つを用いて、中間の薄明視

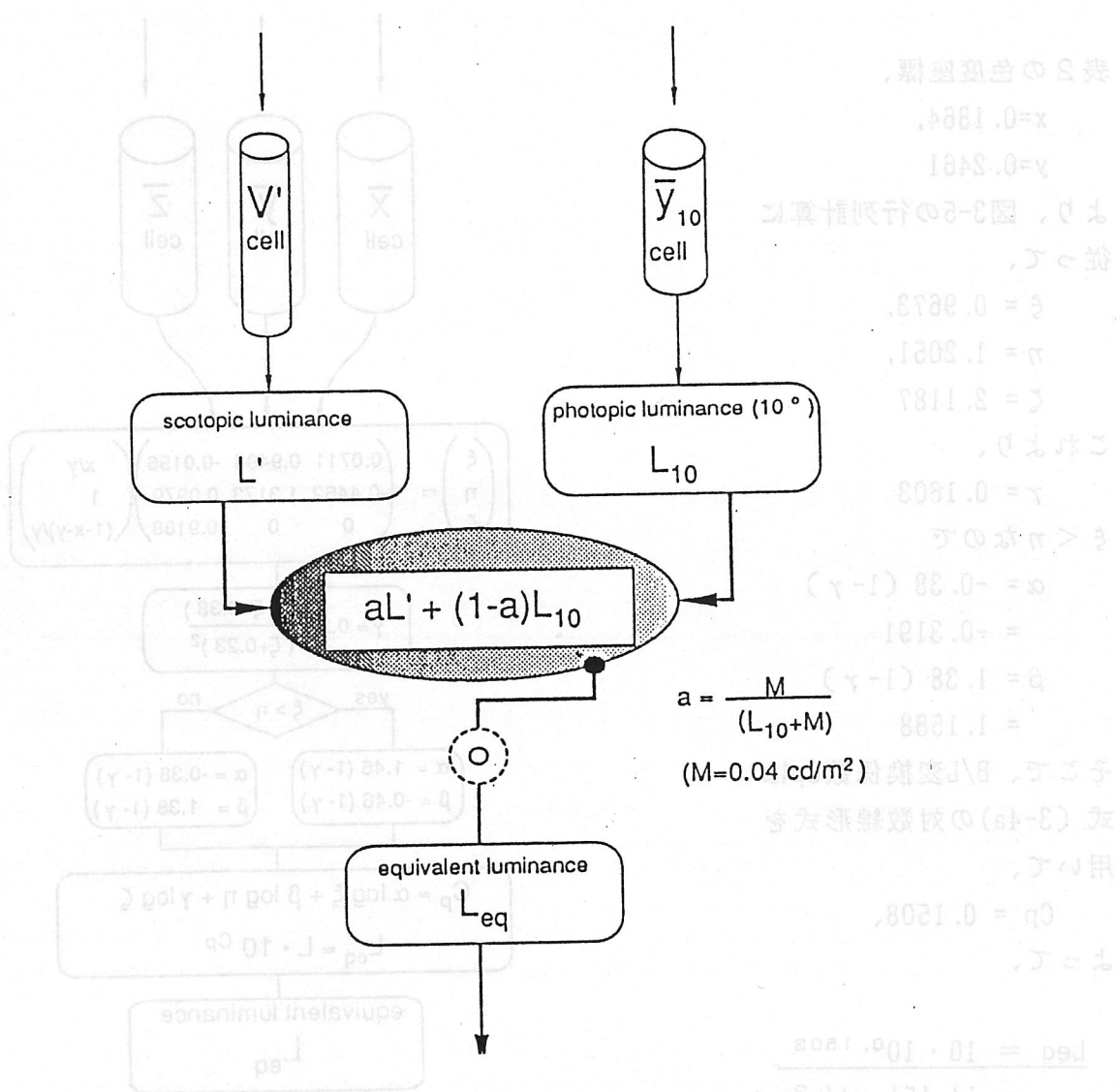


図3-6 Palmerの測光システム (Palmer, 1st) の概念図。

の測光量 (等価輝度 L_{eq}) を以下の式で求めるものである。

$$L_{eq} = (ML' + L_{10}^2) / (L_{10} + M) \quad (3-5)$$

M はパラメータで 0.04 cd/m^2 。

この式は書き換えると

$$L_{eq} = a \cdot L' + (1-a) \cdot L_{10} \quad (3-6a)$$

ただし、 $a = M / (L_{10} + M)$ (3-6b)

となる。つまり、薄明視の等価輝度 L_{eq} は L' と L_{10} の重みつき平均となる。 L' と L_{10} のそれぞれの寄与を示す係数 a 及び $(1-a)$ は順応係数 (adaptation coefficient) と呼ばれ、この場合式(3-6b)に示すように L_{10} の関数となっている。 M はパラメータで実際には 0.04cd/m^2 の値をとる。 L_{10} が M よりかなり大きいと(3-6b)式の a は0に近づくので、 L_{eq} は L_{10} に近づく。また L_{10} が M よりはるかに小さい時は a は1に近づき、 L_{eq} は L' に近づく。すなわち、明所視レベルでは L_{10} に、暗所視レベルでは L' に収束する。従って、色光の10度視野輝度 L_{10} と暗所視輝度 L' が求められれば、 L_{10} より順応係数 a がすぐ計算され、この重みを用いて L' と L_{10} との重み付き平均をとって薄明視の等価輝度 L_{eq} が求められる。

このシステムの特徴は、後に示す他のシステムに比べ簡便、かつ理解しやすいことである。問題となるのは、明所視におけるHelmholtz-Kohlrausch効果が考慮されていないことである。そのため明所視においては L_{10} そのものとなり、色の効果は含まれない。

★ 計算例5

表2に示すサンプル光の明所視輝度 L を 0.01cd/m^2 と仮定し、以下、薄明視レベルにおける等価輝度を計算する。

表2より

$$L_{10} = 0.01 \cdot 1.2085 = 0.0121$$

$$L' = 0.01 \cdot 4.6676 = 0.0467$$

これを式(3-5)に代入して、

$$\begin{aligned} L_{eq} &= (0.04 \cdot 0.0467 + 0.0121^2) / (0.0121 + 0.04) \\ &= 0.0387 \end{aligned}$$

よって、

$$\underline{L_{eq} = 0.0387 \text{ cd/m}^2}$$

となる。

Palmerは後にこのシステムの修正版を提案した²²。図3-7に示すものがそれである。暗所視輝度 L' と10度明所視輝度 L_{10} から薄明視の等価輝度を求める点は同じであるが、以下の式(3-7)に示されるようにやや複雑な式で等価輝度を計算する。

$$L_{eq} = (L' \cdot M)^{1/2} + L_{10} + M/2 - [M \{ (L' \cdot M)^{1/2} + L_{10} + M/4 \}]^{1/2} \quad (3-7)$$

ただし $M = 0.06 \text{ cd/m}^2$

この式の生理的意味は不明である。パラメータMはこの場合、 0.06 cd/m^2 となっている。明所視レベルではもちろん L_{10} に収束することになるが、暗所視レベルでは $(L' \cdot M)^{1/2}$ となる。Palmerの最初の式と同様に、明所視レベルではHelmholtz-Kohlrausch効果は含まれていない。

★ 計算例6

表2より、計算例5と同様に、

$$L_{10} = 0.0121$$

$$L' = 0.0467$$

これを式(3-7)に代入し、 $M=0.06 \text{ cd/m}^2$ とすると、

$$\underline{L_{eq} = 0.0527 \text{ cd/m}^2}$$

となる。

Palmer, 2nd. (1983)

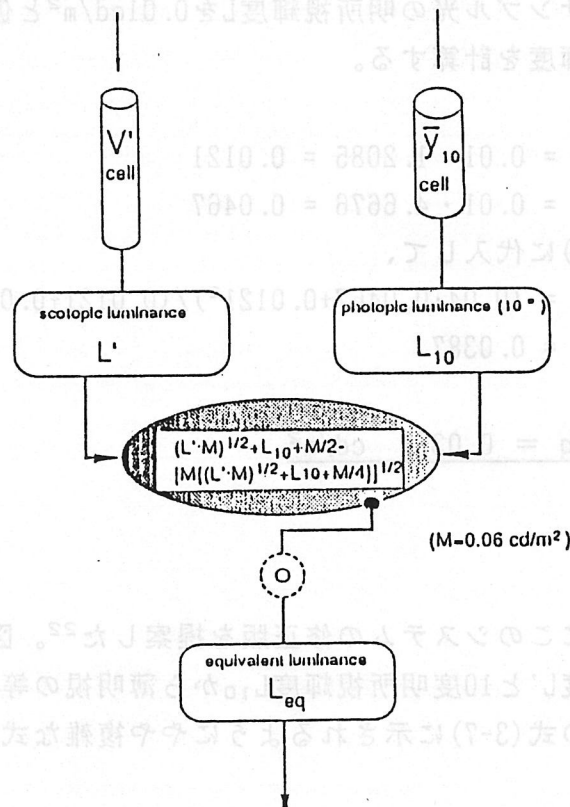


図3-7 Palmerの修正測光システム(Palmer, 2nd)の概念図。

(2) Kokoschka-Bodmann のシステム

このシステムでは図3-8a、あるいは次式(3-8)に示すように、薄明視を含む全てのレベルの等価輝度を10°視野の3刺激値 X_{10}, Y_{10}, Z_{10} と暗所視輝度 L' の合計4つの測光量の線形な和で表す²³。すなわち等価輝度 L_{eq} は、

$$L_{eq} = F_x X_{10} + F_y Y_{10} + F_z Z_{10} + F_s L' \quad (3-8)$$

となる。 F_x, F_y, F_z, F_s はF係数と呼ばれる線形和における重み係数で、この値はもちろん順応レベルによって変化する。概略は、図3-8aの右部の挿入図に示すような

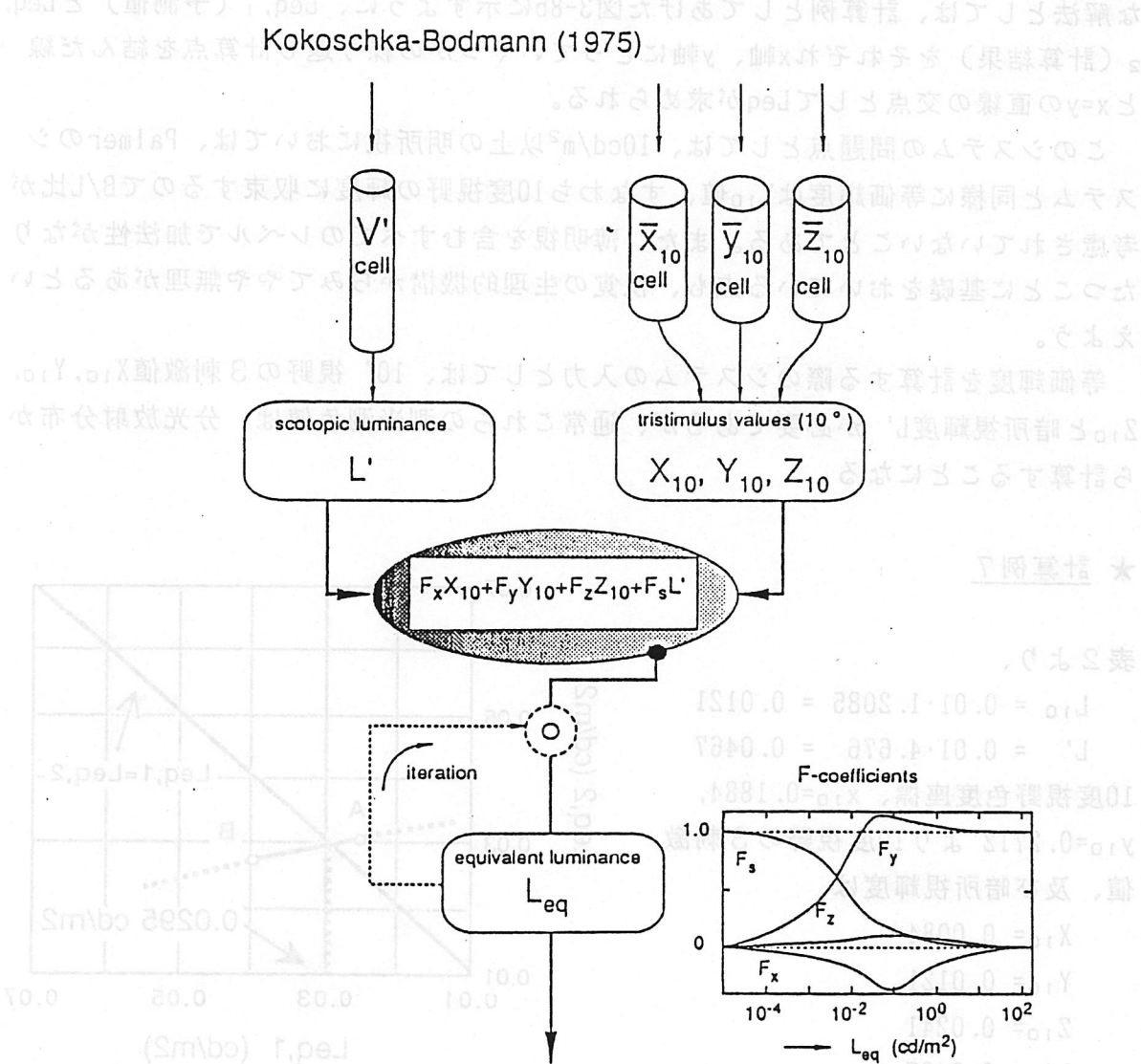


図3-8(a) Kokoschka-Bodmannの測光システムの概念図。

もので、具体的な数値は付表1にす。これは彼らの求めた分光感度のデータから決定されたものである。

このF係数つまり順応係数で重要な点は、この係数が等価輝度 Leq の関数として定義されている点で、そのためテスト光の輝度が与えられても直ちにF係数は決定できない。まず適当な等価輝度レベル Leq_1 を予測し、それに対応するF係数を表よりもとめ、それを用いてテスト光の等価輝度 Leq_2 を計算し、それが最初に予測した等価輝度と一致するかどうかを調べる。もし違う場合はまた適当な等価輝度を設定して計算を繰り返し、最終的に Leq の予測値と計算結果が一致するまで計算を続ける。いわゆる繰り返し計算である。そのため計算に繁雑さと時間を要する。具体的な解法としては、計算例としてあげた図3-8bに示すように、 Leq_1 （予測値）と Leq_2 （計算結果）をそれぞれx軸、y軸にとっていくつかの繰り返し計算点を結んだ線と $x=y$ の直線の交点として Leq が求められる。

このシステムの問題点としては、 10cd/m^2 以上の明所視においては、Palmerのシステムと同様に等価輝度は Y_{10} 値、すなわち10度視野の輝度に収束するのでB/L比が考慮されていないことである。また、薄明視を含むすべてのレベルで加法性がなりたつことに基礎をおいている点も、視覚の生理的機構からみてやや無理があるといえよう。

等価輝度を計算する際のシステムの入力としては、 10° 視野の3刺激値 X_{10} 、 Y_{10} 、 Z_{10} と暗所視輝度 L' が必要であるが、通常これらの測光測色値は、分光放射分布から計算することになる。

★ 計算例7

表2より、

$$L_{10} = 0.01 \cdot 1.2085 = 0.0121$$

$$L' = 0.01 \cdot 4.676 = 0.0467$$

10度視野色度座標、 $x_{10}=0.1884$ 、 $y_{10}=0.2712$ より10度視野の3刺激値、及び暗所視輝度は、

$$X_{10} = 0.0084$$

$$Y_{10} = 0.0121$$

$$Z_{10} = 0.0241$$

$$L' = 0.0467$$

1回目；F係数表(付表1)から

$Leq_1 = 0.0251 \text{ (cd/m}^2\text{)}$ を選ぶと、

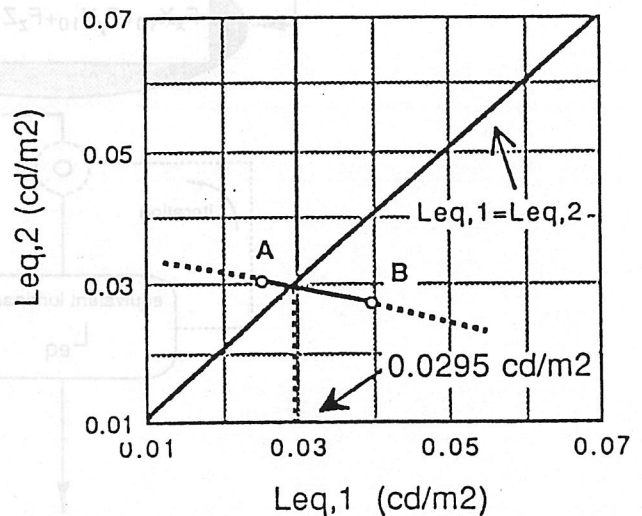


図3-8(b) Kokoschkaらのシステムの等価輝度を求めるワークシート。

$$F_x = -0.194, \quad F_y = 0.769, \quad F_z = 0.036, \quad F_s = 0.471$$

となりこれを用いて、式(3-8)から $Leq, 2$ を計算すると、

$$Leq, 2 = 0.03053 \quad (\text{cd/m}^2)$$

1回目の計算結果、 $(Leq, 1, Leq, 2) = (0.0251, 0.0305)$ を図3-8bにA点としてプロットする。

2回目；同様に、付表1の $Leq, 1 = 0.0398 \quad (\text{cd/m}^2)$ を選ぶと、

$$F_x = -0.234, \quad F_y = 0.927, \quad F_z = 0.0422, \quad F_s = 0.364$$

となりこれを用いて、同様に $Leq, 2$ を計算すると、

$$Leq, 2 = 0.02724 \quad (\text{cd/m}^2)$$

2回目の計算結果、 $(Leq, 1, Leq, 2) = (0.0398, 0.0272)$ を図3-8bにB点としてプロットする。

A点、B点を結ぶ直線と $y=x$ の交点を図のようにして求めて、交点の x, y 座標

$$(x, y) = (0.0295, 0.0295) \text{を得る。従って、}$$

$$\underline{Leq = 0.0295 \quad \text{cd/m}^2}$$

(3) Nakano-Ikedaのシステム

このシステムの問題は、すべてのレベルの等価輝度 Leq を、まず明所視輝度 L と暗所視輝度 L' の重み付き幾何平均で表し、その上に先に示したNakano-Ikeda-Kaiserシステムによる色の寄与すなわちHelmholtz-Kohlrausch効果を輝度レベルによって変化させながら付け加えていく、というものである^{24, 25}。図3-9はその概要である。実際の計算では、以下の(3-9a, b)式に示すように、明所視における輝度/明るさ補正係数 C_p と暗所視における輝度/明るさ補正係数 C_s の線形和をとり、それを全体の補正係数とする。

$$C_m = a \cdot C_s + a' \cdot C_p \quad (3-9a)$$

$$Leq = L \cdot 10^{C_m} \quad (3-9b)$$

ここで C_p は図3-5に示されるNakano-Ikeda-Kaiserの補正係数、 C_s は以下の(3-10)式で定義されるように、(暗所視輝度/明所視輝度)の比であるが規格化のため1.01の係数がつく。

$$\begin{aligned} C_s &= 1.01 \left(\int Le, V'(\lambda) d\lambda / \int Le, V(\lambda) d\lambda \right) \\ &= 1.01 \cdot (683/1700) \cdot (L'/L) \end{aligned} \quad (3-10)$$

このシステムの特徴はまず薄明視におけるの桿体と錐体の結合を輝度チャンネル

のみに限定したこと、さらに色の寄与を桿体錐体の結合とは独立に考えたことである。そのため、式(3-9a, b)に示す係数を2つ、すなわち暗所視輝度の相対的寄与をしめす係数 a と、輝度レベルとともに色の寄与が増すことをしめす係数 a' が用意されている。 a と a' は

$$\begin{aligned}
 a &= \sigma / (L + \sigma), \\
 a' &= \sigma' / (L + \sigma') \\
 \text{ただし} \quad \sigma &= 0.0087 \quad \text{cd/m}^2 \\
 \sigma' &= 0.018 \quad \text{cd/m}^2
 \end{aligned}
 \tag{3-11}$$

と定義されている。

Nakano-Ikeda (1986, 1988)

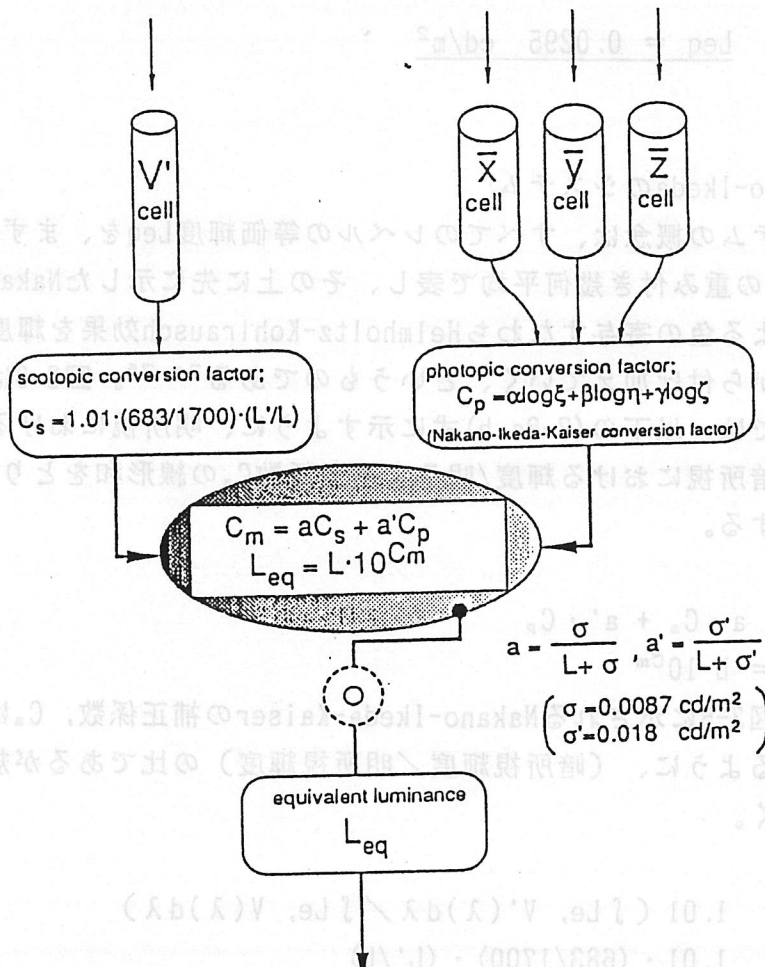


図3-9 Nakano-Ikedaの測光システムの概念図。

すなわち、これらの係数は明所視輝度のシグマ関数で表されているので、輝度が求まれば簡単に順応係数が求まる。繰返し計算の必要はない。もちろん、輝度が十分高ければ等価輝度は明所視等価輝度（B/L比含んだ輝度）に収束する。

★ 計算例 8

表 2 のデータ $x=0.1864$, $y=0.2461$ より、
先の Nakano-Ikeda-Kaiser のシステム（図 3-5）に従って、

$$\xi = 0.9673, \eta = 1.2051, \zeta = 2.1187$$

$$\alpha = -0.3191, \beta = 1.1588, \gamma = 0.1603$$

そこで、明所視の B/L 変換係数 C_p は対数線形式を用いて、

$$C_p = \alpha \log \xi + \beta \log \eta + \gamma \log \zeta = 0.1508,$$

一方、 $L'/L = 4.6676$ より、式 (3-10) を用いて、

$$C_s = 1.01 \cdot (683/1700) \cdot (4.6676) = 0.2774$$

式 (3-11) に代入して、

$$\begin{aligned} C_m &= 0.0087 / (0.01 + 0.0087) + 0.018 / (0.01 + 0.018) \\ &= 0.1829 \end{aligned}$$

よって、

$$\underline{Leq = L \cdot 10^{0.1829} = 0.0152 \text{ cd/m}^2}$$

(4) Sagawa-Takeichi のシステム

このシステムは、すべてのレベルの等価輝度を明所視等価輝度と暗所視輝度の重み付き幾何平均で表すものである^{26, 27}。図 3-10a はその概念図である。すなわち、以下の図 3-10a、及び式 (3-12) に示すように、薄明視の等価輝度 Leq, m は、明所視等価輝度 Leq, p と暗所視等価輝度 Leq, s の重み付き対数線形式で表される。

$$\log Leq, m = a \cdot \log Leq, s + (1-a) \cdot \log Leq, p \quad (3-12)$$

ただし

$$Leq, p = L \cdot (B/L \text{ 比})$$

$$Leq, s = L \cdot (1.84)$$

明所視等価輝度 Leq, p は、 2° の明所視輝度 L に B/L 比をかけて求めるが、ここで Sagawa らは B/L 比として Ware-Cowan の変換係数 C を用いている。ただし、この場合、B/L 比は 570nm の単色光刺激にたいじて 1 になるように正規化される。一方、暗所視等

価輝度 $L_{eq, s}$ は暗所視輝度 L' に規格化のための係数 1.84 倍をかけてそのまま用いる。
 (3-12) 式の重み係数つまり順応係数 a は等価輝度の関数として定義され、これはあ
 らかじめ Sagawa らの分光感度の実験データ^{2B}より決められている。付表 2 にそのデ
 ータを示すが、この係数は赤色系の色光と青緑色系の 2 種の色に対して a_1 及び a_2 と
 別々に定義されている。概略は図 3-10a の挿入図にある a_1 及び a_2 のようなものであ
 るが、これらの順応係数は最終的に求めるべき等価輝度との関係で決められるので、
 Kokoschka-Bodmann のシステムと同様に繰返し計算が必要である。実際的には、図 3-
 10b に示すように、順応係数の関数と重み付き幾何平均の式との交点を求めるとい

Sagawa-Takeichi(1987)

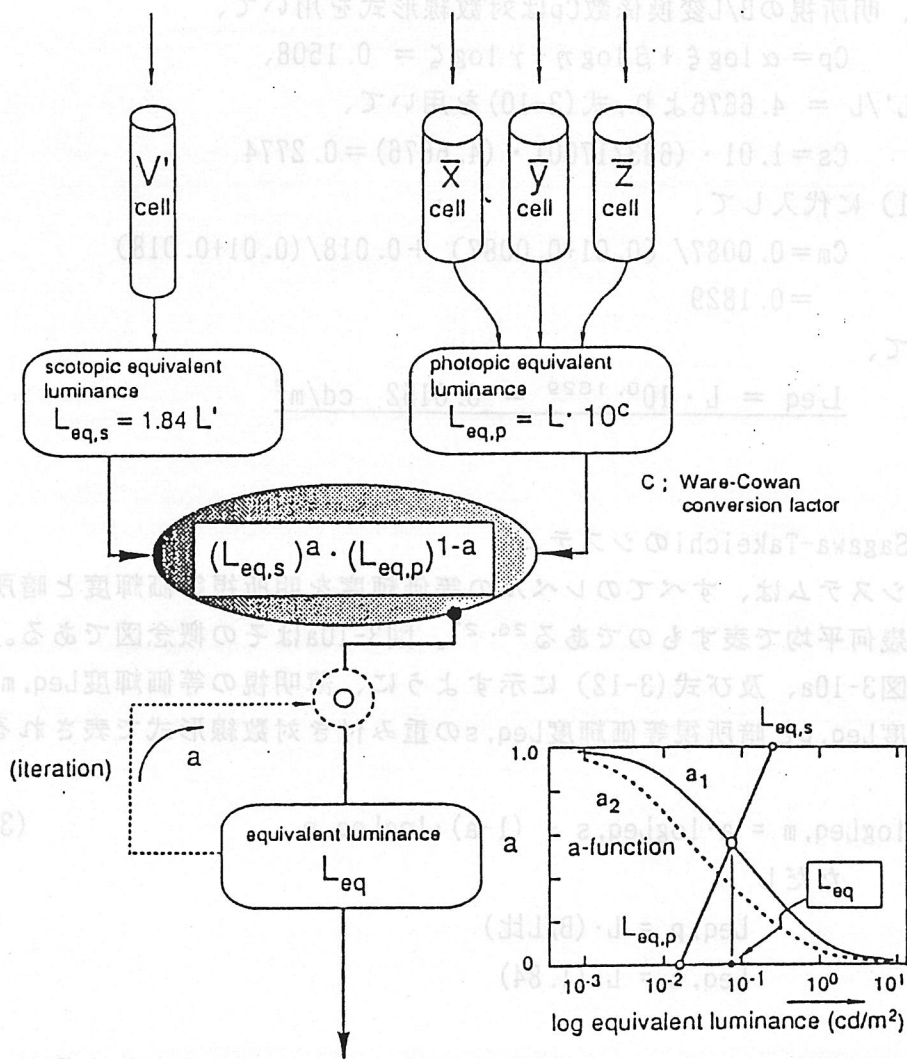


図 3-10(a) Sagawa-Takeichi の測光システムの概念図。

う幾何学的な解法がとられる。すなわち、縦軸に順応係数、横軸に等価輝度の対数軸をとり、明所視等価輝度 Leq, p を $a=0$ 上に、暗所視等価輝度 Leq, s を $a=1.0$ 上にとり、この2点を結ぶ直線と順応係数の関数との交点が求めるべき等価輝度を与える。なお、実際のシステムでは a_1, a_2 の平均をとった単一の係数 a を用いるが、この場合赤色系でやや誤差が大きくなるものの、システムの簡便さは向上する。

このシステムの問題点は、明所視レベルで 2° 視野を対象としたWare-CowanのB/L比を採用していることで、そもそも 10° 視野のシステムに適用するには無理があり、そのため明所視レベルで誤差をおおく含むことである。

★ 計算例9

表2の色度座標 (2° 視野)

$$x=0.1864, \quad y=0.2461$$

より、先のWare-Cowanの変換係数式(3-3)を用い、これを570nmで正規化して、

$$C=0.1054$$

よって明所視等価輝度は

$$Leq, p = L \cdot 10^{0.1054} = 0.01275$$

一方、暗所視等価輝度は、

$$Leq, s = L' \cdot 1.84 = 0.08588$$

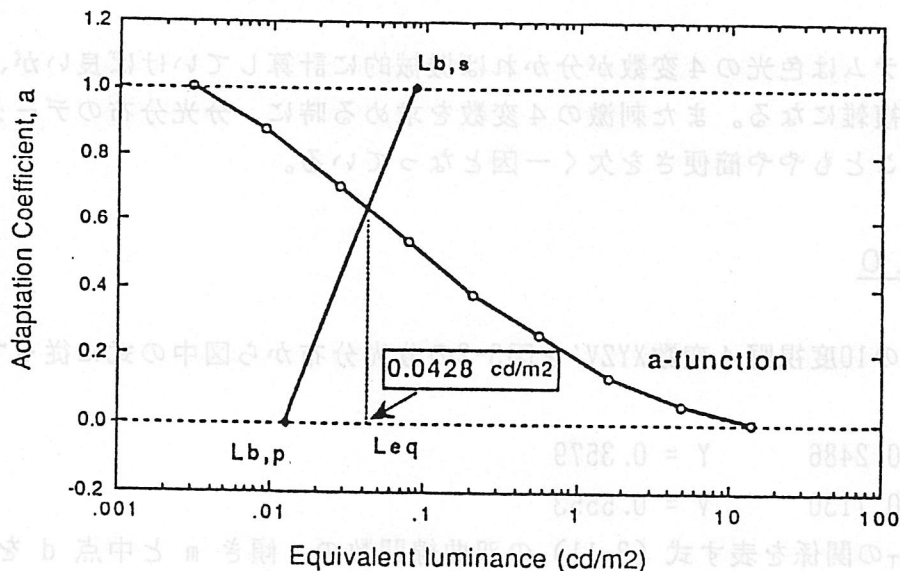


図3-10(b) Sagawaらのシステムの等価輝度を求めるワークシート。

図3-10bこれらの値をプロットして、直線を結び関数aとの交点の横軸を求めると、

$$L_{eq} = 0.0428 \text{ cd/m}^2$$

よって

$$\underline{L_{eq} = 0.0428 \text{ cd/m}^2}$$

(5) Trezonaのシステム

このシステムの基本概念は図3-11に示すように、放射強度 E_{TEST} のテスト光の明るさをそれにマッチングする参照光の放射強度 E_{REF} で表すものである。 E_{TEST} と E_{REF} の関係は、明所視及び暗所視領域に於ける傾き 45° の2つ直線と、その間を滑らかに変化する薄明視の部分に分れる。このシステムではその関数を双曲線関数で近似する²⁹。すなわち、

$$\log E_{REF} = \log E_{TEST} + \tanh[m(E_{TEST} - d)] \quad (3-13)$$

と表し、この双曲線関数を規定する傾き m や中点 d を、図3-11に示すようなパラメータ群 (S ; 暗所視領域境界点、 P ; 明所視領域境界点、 a ; 明所視部の折辺、 b ; 暗所視部の折辺) で表す。具体的には図に示すように色光を規定する4変数 (Tetra-stimulus values; 単位光量あたりの3刺激値と暗所視測光量) の多項式で表す。最終的に規定された双曲線関数の式にテスト光の強度を入力すれば、等価輝度が得られる。

このシステムは色光の4変数が分かれば機械的に計算していけば良いが、計算の過程がやや複雑になる。また刺激の4変数を求める時に、分光分布のデータが必ず必要となることもやや簡便さを欠く一因となっている。

★ 計算例10

サンプル光の10度視野4変数XYZV'を図3-2の分光分布から図中の式に従って計算すると、

$$X = 0.2486 \quad Y = 0.3579$$

$$Z = 0.7130 \quad V' = 0.5553$$

E_{REF} と E_{TEST} の関係を表す式 (3-11) の双曲線関数の、傾き m と中点 d を、

$$m = \{2 \tanh^{-1}[1 - 0.1/(a-b)]\} / (P-S) ,$$

$$d = (S+P)/2$$

Trezona (1987)

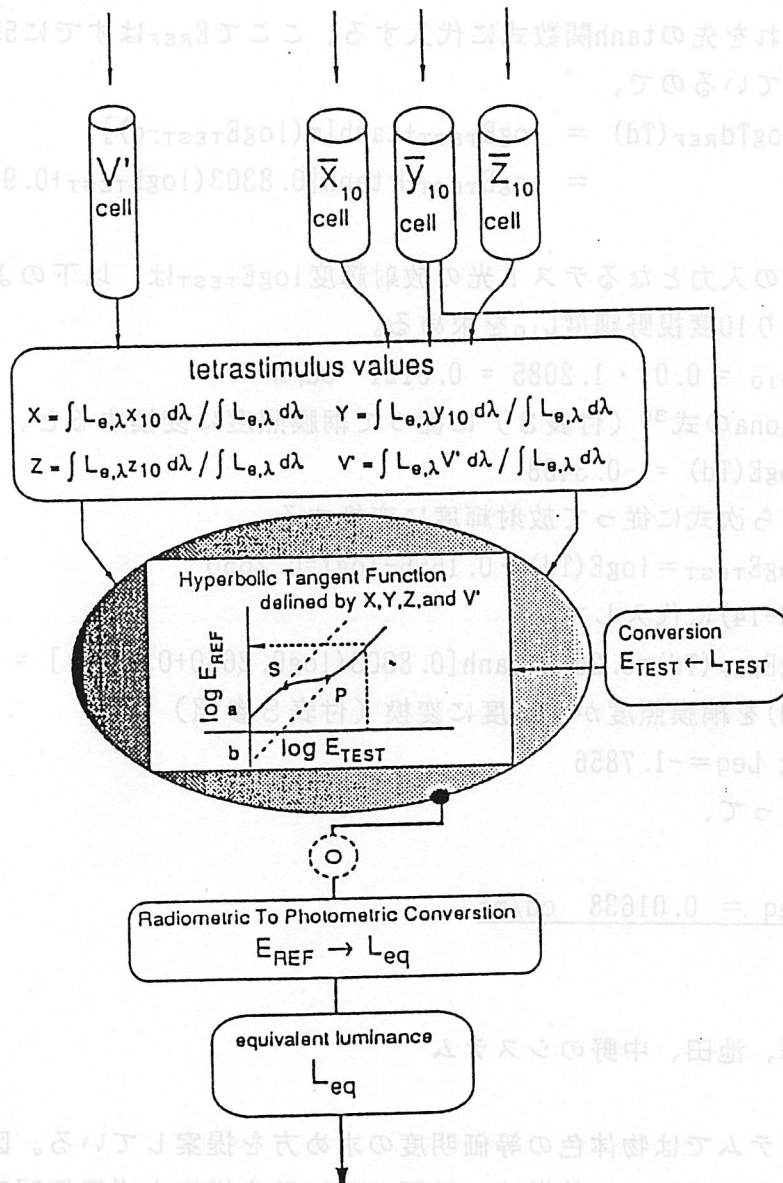


図3-11 Trezonaの測光システムの概念図。

で表す。ただし、S及びPは暗所視及び明所視部分より10%変化した点として定義され、a, bは E_{REF} 軸の切片を意味する。(図3-11参照)

4変数を用いて、CIEのTCレポートに示されたTrezonaの式⁵に従ってS, P, a, bを求め、更にm, dを求めると

$$m = 0.8303$$

$$d = -0.9041$$

となる。これを先のtanh関数式に代入する。ここでE_{REF}はすでに555nmの網膜照度に変換されているので、

$$\begin{aligned} \log T_{d_{REF}}(T_d) &= \log E_{TEST} + \tanh[m(\log E_{TEST} - d)] \\ &= \log E_{TEST} + \tanh[0.8303(\log E_{TEST} + 0.9041)] \end{aligned} \quad (3-14)$$

となる。

この式への入力となるテスト光の放射輝度logE_{TEST}は、以下のように求められる。まず表2より10度視野輝度L₁₀を求める。

$$L_{10} = 0.01 \cdot 1.2085 = 0.0121 \text{ cd/m}^2$$

これをTrezonaの式³⁰（付表3）に従って網膜照度に変換すると、

$$\log E(T_d) = -0.3468$$

網膜照度から次式に従って放射輝度に変換する。

$$\log E_{TEST} = \log E(T_d) + 0.1656 - \log Y = 0.2650$$

これを式(3-14)に代入して、

$$\log E_{REF}(T_d) = 0.2650 + \tanh[0.8303(\log 0.2650 + 0.9041)] = -0.2253$$

logE_{REF}(T_d)を網膜照度から輝度に変換（付表3参照）して

$$\log Leq = -1.7856$$

を得る。よって、

$$\underline{Leq = 0.01638 \text{ cd/m}^2}$$

(6) 芦澤、池田、中野のシステム

このシステムでは物体色の等価明度の求め方を提案している。図3-12はその概要である。このシステムの特徴は、以下の式に示す様にまず等価明度Leq*を暗所視明度L*と明所視10度明度L*₁₀の重み付き平均で表し、さらに色の寄与による明度の増加分L*_{chr}を付け加えていることである³¹。すなわち

$$Leq^* = a \cdot L^* + (1-a) \cdot L^*_{10} + a_c \cdot L^*_{chr} \quad (3-15)$$

となる。順応係数aの関数としては以前は双曲線関数を用いていたが、最近の式では照度の関数として直線近似を用いている¹¹。色の寄与も照度レベルとともに徐々に増加するが、その変化に対してはaとは異なる独立の関数a_cを用いることになる。この考え方はNakano-Ikedaのシステムと極めて類似しているが、芦澤らのシステム

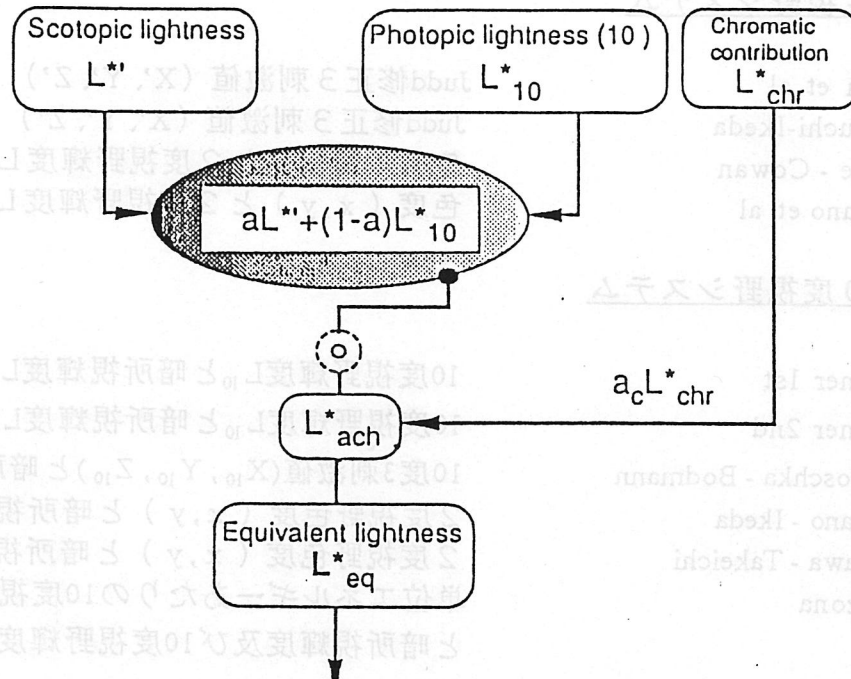


図3-12 芦澤、池田、中野の等価明度システムの概念図。

の背景には特に明所視の高照度レベルにおける色の寄与が依然として増加し続けるという現象をシステムの中に積極的に取り込むという考えがある。その変化を規定するパラメータなどはまだ決定されていないので、実用化は今後であるが、物体色の特徴を含んだシステムとして注目される。

最後に、各システムに入力する際に必要とされる測光量をまとめて表4に示す。これらはもちろんサンプル光の分光放射分布から計算される。

表3. 明るさの測光システムへの入力量

測光システム	入力測光量
<u>2度視野システム</u>	
Guth et al	Judd修正3刺激値 (X', Y', Z')
Yaguchi-Ikeda	Judd修正3刺激値 (X', Y', Z')
Ware - Cowan	色度 (x, y) と2度視野輝度L
Nakano et al	色度 (x, y) と2度視野輝度L
<u>10度視野システム</u>	
Palmer 1st	10度視野輝度 L_{10} と暗所視輝度 L'
Palmer 2nd	10度視野輝度 L_{10} と暗所視輝度 L'
Kokoschka - Bodmann	10度3刺激値(X_{10}, Y_{10}, Z_{10})と暗所視輝度 L'
Nakano - Ikeda	2度視野色度 (x, y) と暗所視輝度 L'
Sagawa - Takeichi	2度視野色度 (x, y) と暗所視輝度 L'
Trezona	単位エネルギーあたりの10度視野3刺激値 と暗所視輝度及び10度視野輝度 L_{10}

第4章 明るさ測光システムの定量的評価

4-1. 評価データベース

明るさの測光システムは2°視野に対して4つ、10°視野に対して6つのシステムが提案された。これらの測光システムが具体的にどの程度、見えの明るさを表わしているかが本委員会の主たる課題である。そこでまずシステムの定量的評価のため、明るさマッチングデータを調査し、そのデータベースを確立しようとした。

データは、本委員会の委員がすでにそれぞれの実験において取得したもの、あるいはすでに文献として一般的に利用できるものを集め、評価用データの選択に際しては以下の3項目に注意した。

- a) 観測者の数が複数であること。ここでは少なくとも3名以上の観測者を有するデータを選んだ。
- b) テスト光の分光エネルギー分布が利用できること。または必要な測光測色値、すなわち各種3刺激値(2度視野、10度視野、Judd修正)、及び暗所視輝度が与えられていること。
- c) 物体色や輝面色、単色光や複合光など、できる限り多種のテスト光を選択すること。

表4は、このようにして選択された明るさマッチングデータをまとめたものである。ここに示されるように、2°視野システムの評価には、 $V_{b,2}(\lambda)$ ^{6, 32}、湯尻¹⁶、

表4. 測光システム評価のための明るさマッチングデータ

データ	テスト光種類(数)	視野サイズ	観測者	レベル(数)
<u>2度視野データ</u>				
$V_{b,2}(\lambda)$	単色光 (34)	2°	6 3	約100 Td (1)
湯尻(1988)	物体色 (12)	2°	4	0.001-64.1 cd/m ² (10)
佐藤 (1989)	物体色 (88)	2°	1 3	458 lx (1)
<u>10度視野データ</u>				
$V_{b,10}(\lambda)$	単色光 (34)	10°	7 6	約100 Td (1)
Sagawa et al (1987)	単色光 (30)	10°	2 4	0.01-100 Td (9)
Piao et al (1987)	単色光 (30)	10°	2 6	0.01-100 Td (9)
芦澤ら(1985)	物体色 (36)	8°	5	0.01-1000 lx (10)
佐川ら(1987)	輝面色 (20)	10°	2 0	0.01-100 Td (9)

佐藤³³、の3セットが選ばれた。
 $V_{b,2}(\lambda)$ はCIETC1-02がまとめた2°
 視野の明るさの分光視感効率であり、
 すでにCIEの技術報告書に掲載され
 ている。観測者の数も63名と多い。
 図4-1の白丸(○)はその平均デー
 タである。このデータは一定の参照
 光に明るさマッチングをして得られ
 たものなので、データの逆数は等明
 るさ単色光の相対エネルギーを表す。
 この相対エネルギーから、便宜的に
 570nm単色光の輝度を10cd/m²として
 輝度に変換し、この輝度値を各シス

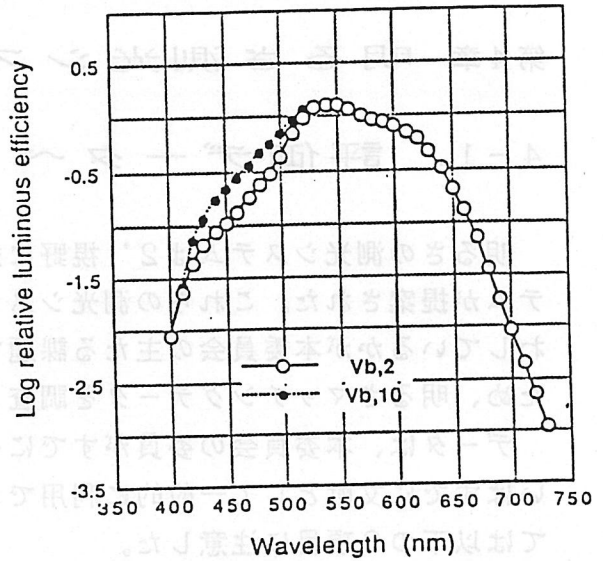


図4-1 2°視野($V_{b,2}$)と10°視野($V_{b,10}$)
 に対する明るさ分光視感効率曲
 線^{6, 32}。

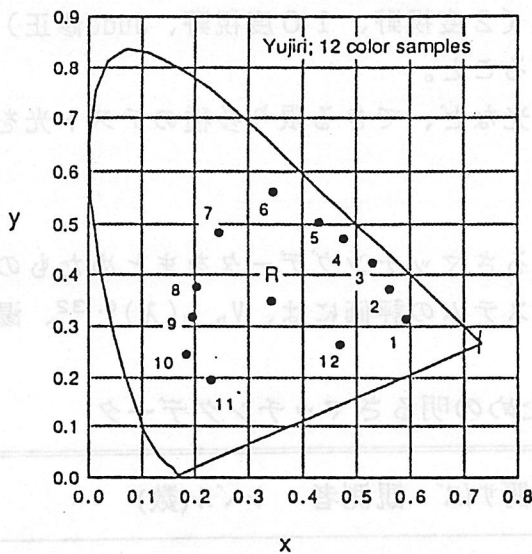
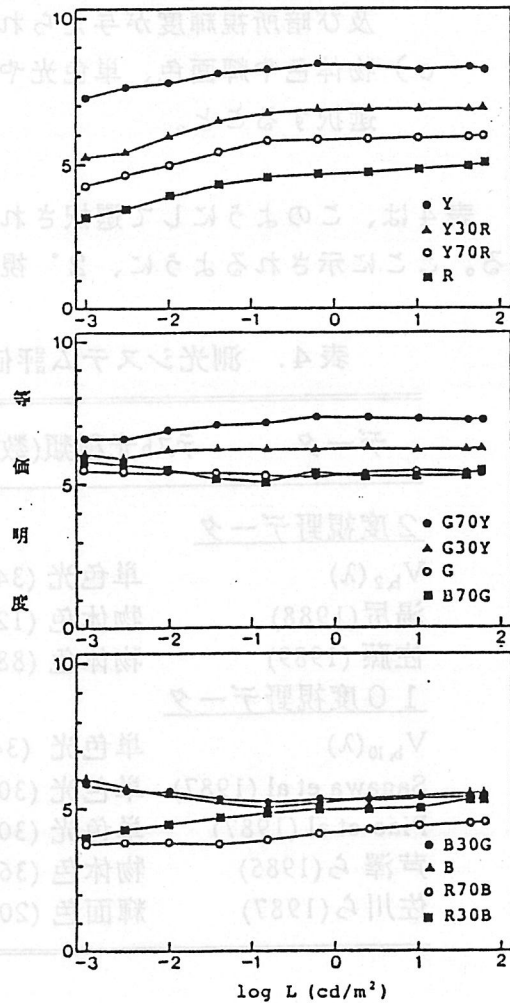


図4-2(a) 湯尻の用いた12色のサ
 ンプル色票の色度座標¹⁶。

図4-2(b) 湯尻の12色の等価明度
 データ¹⁶。



テムに適用して等価輝度を計算する。

次に、湯尻のデータ¹⁶は物体色のデータで、昼光蛍光灯（EDL-50K）の照明条件下でテスト色票12色を観測し、その明るさとマッチングするグレースケールの明度を求めたものである。つまり等価明度である。観測者は4名。テスト色票の色度座標、及び等価明度の実験データを図4-2(a)、図4-2(b)にそれぞれ示す。データは明所視 61.5cd/m^2 から暗所視 0.001cd/m^2 の10レベルに渡って得られているが、ここでは明所視領域の、 61.5 、 41.0 、 10.2cd/m^2 の3レベルのデータを採用した。

次の佐藤のデータ³³も同じく色票を用いた物体色のデータである。照度 455lx の下で、明度6に統一された色票88色の等価明度が与えられている。観測者は13名である。図4-3は88色の色度点を示す。彩度はやや低いが色度図全体に分散した色票である。

一方、 10° 視野システムの評価には表4の後半にある5セットのデータを採用した。単色光のデータとしては、CIEの $V_{b,10}(\lambda)$ ^{6,32}と薄明視領域を含んだSagawaら²⁷、及び朴ら³⁴の薄明視の3つのデータがある。 $V_{b,10}(\lambda)$ は約 100Td レベルの明る

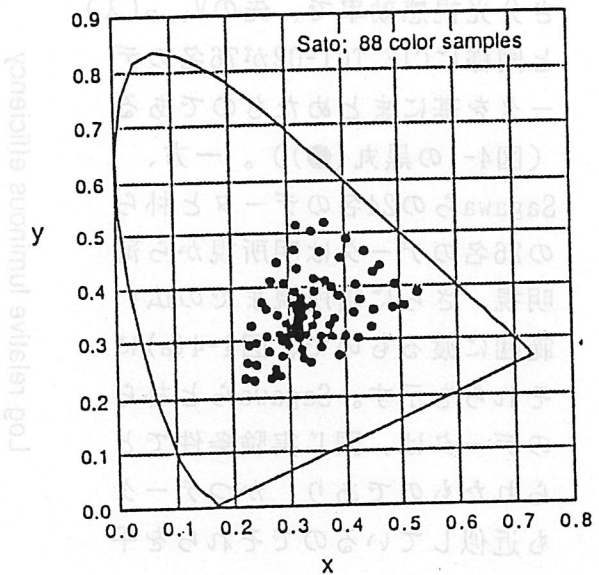


図4-3 佐藤の用いた88色のサンプル色票の色度座標³³。

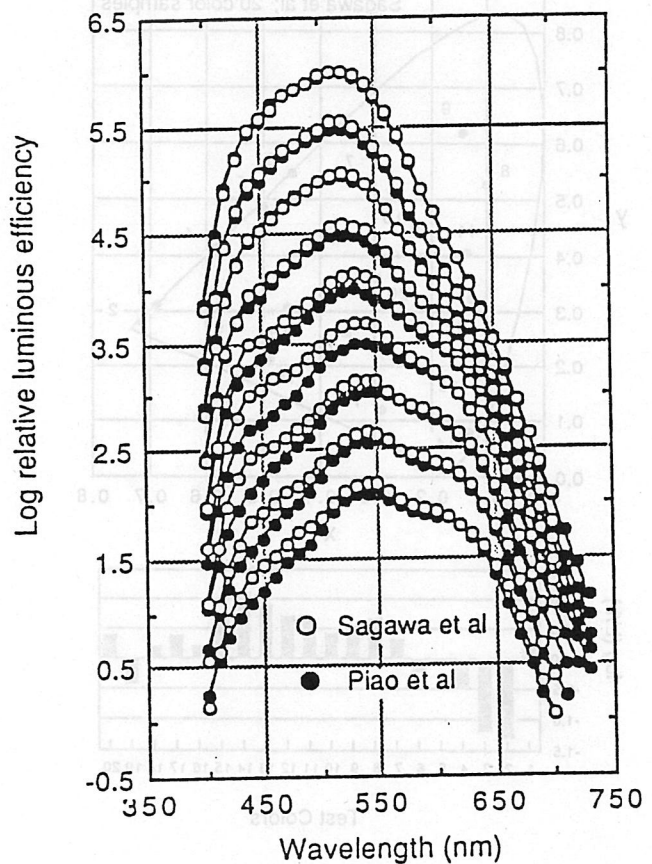


図4-4(a) Sagawaら²⁷とPiaoら³⁴の薄明視の明るさ分光視感効率曲線。

さ分光視感効率で、先の $V_{b,2}(\lambda)$ と同様にCIE, TC1-02が76名のデータを基にまとめたものである(図4-1の黒丸(●))。一方、Sagawaらの24名のデータと朴らの26名のデータは明所視から薄明視、さらに暗所視までの広い範囲に渡るもので、図4-4(a)にそれらを示す。Sagawaらと朴らのデータは、同じ実験条件でとられたものであり、かつデータも近似しているのでそれらを平

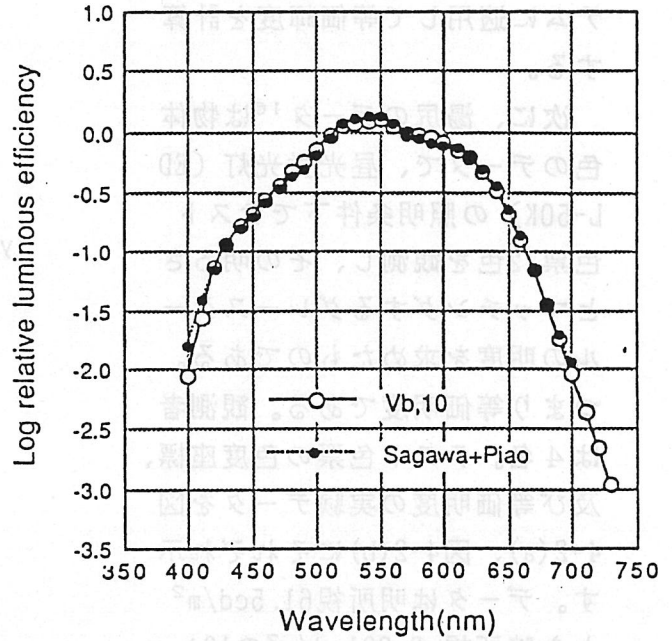


図4-4(b) Sagawaら²⁷とPiaoら³⁴の100Tdの平均データと $V_{b,10}(\lambda)$ の比較。

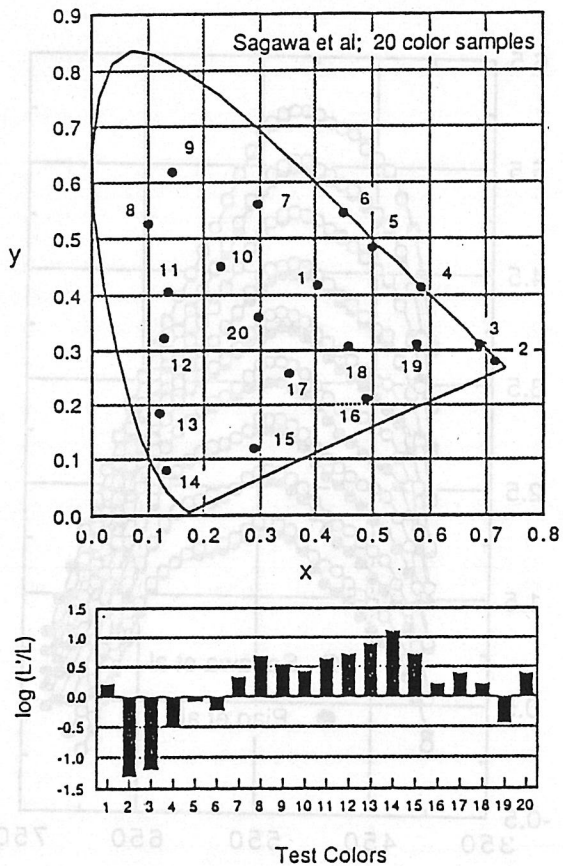


図4-5(a) 佐川らの複合光20色の色度座標と暗所視対明所視輝度比³⁵。

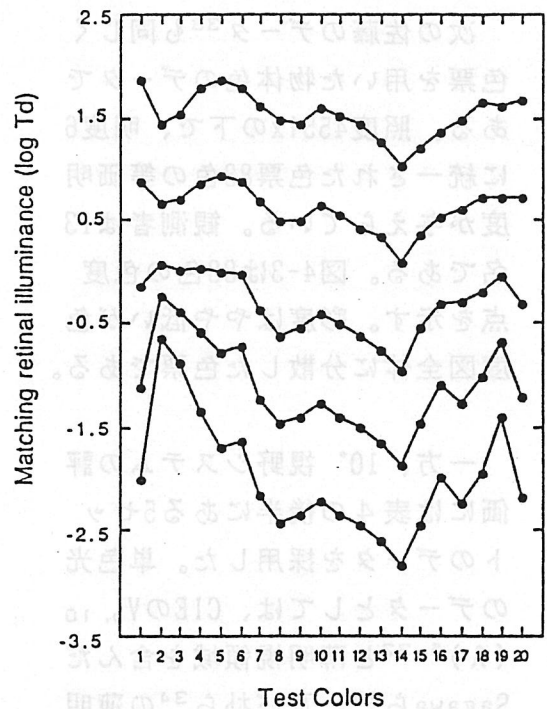


図4-5(b) 佐川らの複合光20色の等明るさの網膜照度データ³⁵。

均して薄明視の分光感度のデータとして用いる。ここで、 $V_{b, 10}(\lambda)$ とSagawaらとPiaoらの100Td平均値は、図4-4(b)に示すように全く一致しているので $V_{b, 10}(\lambda)$ はSagawaらとPiaoらの100Td平均値で代用する。

分光視感効率データから輝度への変換は、まず、100Tdレベルにおける570nm単色光のデータを網膜照度100Tdに規格化し、他のレベルの網膜照度は各レベル間の感度差から求める。こうして求めた網膜照度を実際の輝度に変換するわけであるが、ここで注意すべき点は、薄明視レベルでは輝度レベルとともに瞳孔径が変化するので、レベルに応じた輝度-網膜照度変換が必要とされることである。そのため570nmを各レベルの基準刺激として選び、この網膜照度をLeGrandの式を基にしたTrezonaの変換表(付表3)³⁴を用いて輝度に変換し、他の波長の輝度はこの570nmの輝度から分光視感効率の差を基にして決定した。すなわち、レベル間では瞳孔径を考慮した網膜照度-輝度変換を行ない、各レベル内では瞳孔径一定と仮定した。

次に、佐川ら³⁵のデータは、複合光20色の10° Maxwell視、輝面色モードによる明るさマッチングデータである。観測者は20名、100~0.01Tdの5レベルである。佐川らの用いた20色の色光の(x, y)色度と暗所視輝度対明所視輝度の比(L/L')、マッチングした網膜照度データをそれぞれ図4-5(a), 図4-5(b)に示す。ただし、このデータは網膜照度で得られているので、システムへの適用にあたっては、先の単色光の場合と同様の方法を用いて、網膜照度から輝度に変換した。

10° 視野の物体色のデータとしては、芦澤らが実際の色布地36枚の明るさを10段階の照度レベルにおいてグレースケールとマッチングしたデータがある³¹。応用的な面から実際の色布地を使用したもので、照度は1000~0.01 lxと広い範囲をカバーしており、色布地は9色相につき彩度を4種変えたものである。観測者は5名。色布地の(x, y)色度と暗所視対明所視輝度比、マッチングしたグレースケールの等価明度データの一部をそれぞれ図4-6(a), 図4-6(b)に示す。

なお、これらの明るさマッチングデータの数値は付表4に示してある。

物体色データの変換

物体色のデータの適用にあたって、グレースケールの等価明度値や色票のY値、及び照度より、以下に示すように輝度の算出を行なった。

完全拡散面を仮定すると、照度 E lx、輝度 L cd/m²、色票の Y 値(輝度率のパーセント表示)の一般的な関係は、

$$L = (E/\pi) \cdot (Y/100) \quad (4-1)$$

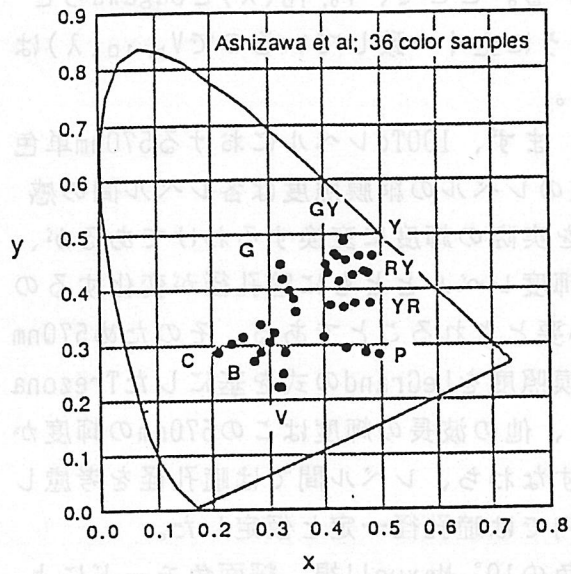


図4-6(a) 芦澤らの色布地
36色の色度座標と暗所
視対明所視輝度比³¹⁾。

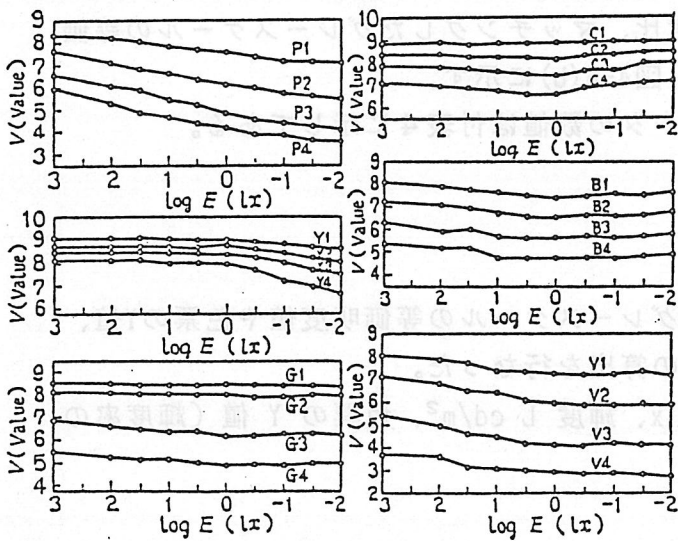
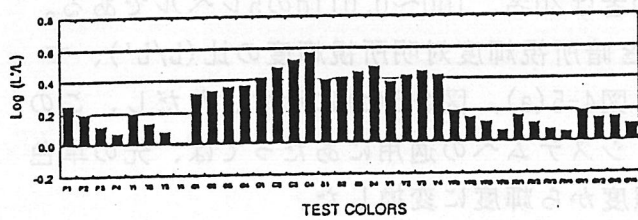


図4-6(b) 芦澤らの色布地
36色の等価明度データ³¹⁾。

となる。参照光のグレースケールの場合マンセルバリュウ V が与えられるが、 V と Y 値とは CIE1976 ($L^*u^*v^*$) の色空間の L^* によって、以下のように関係付けられる。

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (4-2a)$$

$$V = L^*/10 \quad (4-2b)$$

ただし、 Y_n は特定の白色反射物体に対する値で通常、 $Y_n=100$ とする。従って、

$$Y = 100 \cdot \{ (V+1.6) / 11.6 \}^3 \quad (4-3)$$

が得られ、これを (4-1) 式に代入すればバリュウ V のグレースケールの輝度が求められる。

分光反射率 $\rho(\lambda)$ をもつ色票の場合、照明光の相対分光放射分布を $S(\lambda)$ とすると、色票の Y 値は、

$$Y = 100 \cdot \int \rho(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda / \int S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (4-4)$$

で与えられるので、これを同じく (4-1) 式に代入すれば、照度 E lx 下の輝度が求められる。

4-2 測光システムの等価輝度データ

(1) 2° 視野システム

図4-7(a)～(d)は $V_{0.2}(\lambda)$ データを 2° システムに適用した結果である。横軸は波長 (nm)、縦軸は各システムによって計算された等価輝度 ($\log \text{cd/m}^2$) を表す。前述したように、データの各点は一定の明るさレベルにあるので、どの測光システムにおいても、もしそのシステムが明るさを正しく表現しているならば等価輝度は一定のレベルに収束するはずである。図に引いた破線は計算された等価輝度の平均値であるが、データが一定のレベルにあるかどうかを判定する目安になる。また図中の σ_E の値は平均値からの残差 (ここでは標準偏差そのものを示す) を表し、この値が小さいほど明るさの予測が優れていると言える。そうした観点からデータを眺めてみると、Nakanoらのシステム (図4-7(d)) を除けば各システムとも全ての単色光で等価輝度値がほぼ一定の値にあり、このデータでは明るさを良く表現していることがわかる。しかしながら、Nakanoらのシステムでは短波長端や中波長領域で

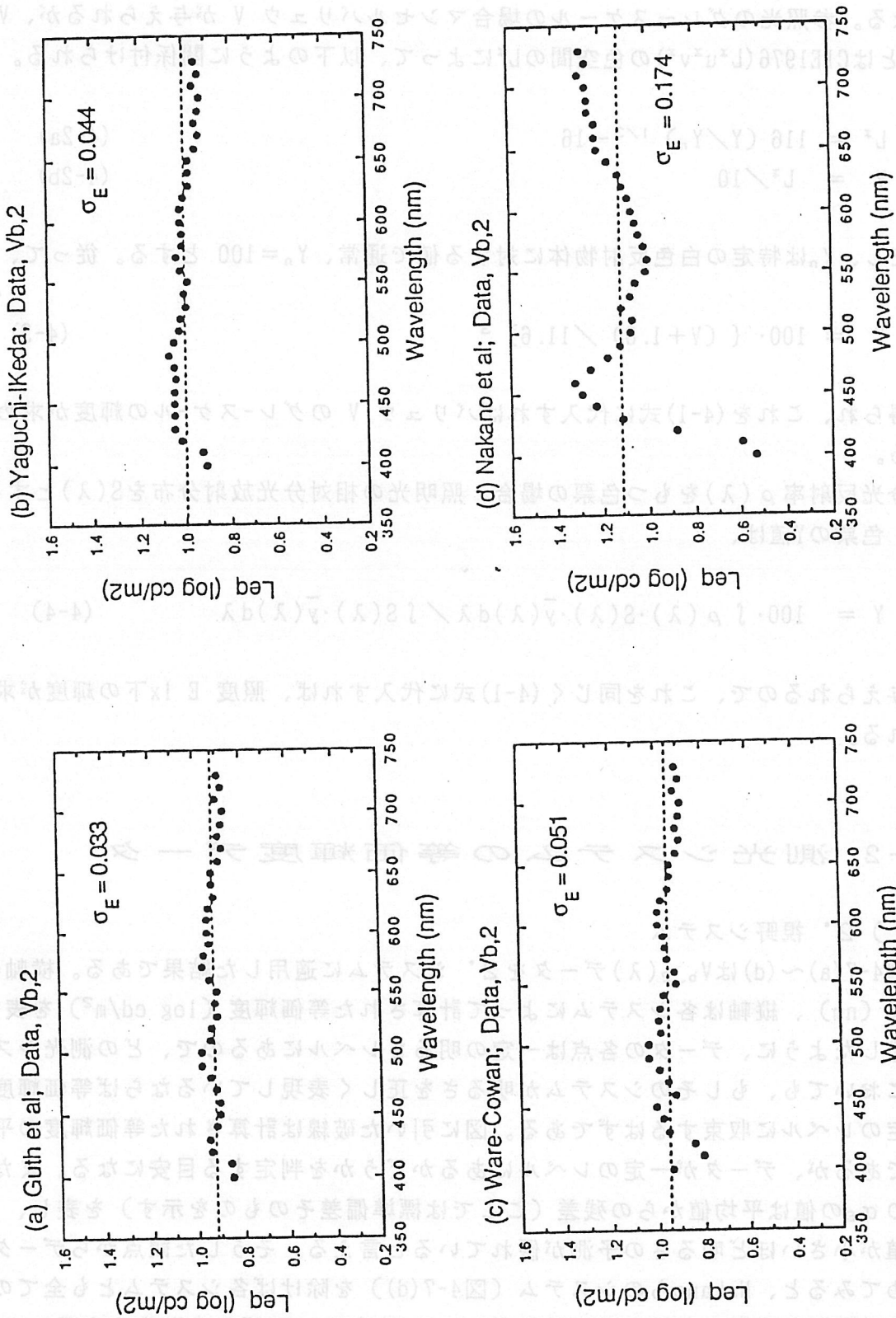


図4-7(a)～(d) 2° 視野システムに、 $V_{b,2}(\lambda)$ データを適用した場合の等価輝度データ。
 点線は平均値、 σ_E は残差（ここでは標準偏差）を表す。

データの変動が大きく、各波長における明るさを正しく表していない。この理由として、特に450nm以下の短波長領域ではNakanoらのシステムでは現行の測色データCIE1931XYZをそのまま用いていることによる誤差を含むことがあげられる。Guthら(図4-7(a))やYaguchi-Ikeda(図4-7(b))のシステムでは、色光の3刺激値としてJudd修正の X', Y', Z' を用いているので、CIE1931XYZ系よりは、この短波長域のデータが改善している。Ware-Cowanのシステム(図4-7(c))でも、450nm以下で単色光用の特別な補正数値を用いており、この領域の明るさの予測を改善している。ただし、Judd修正の X', Y', Z' や450nm以下に特別の係数を用いる点は実用的にはやや簡便性を欠くことになる。もう一つ、Nakanoらのシステムが明るさ予測が悪い原因は、システムの中のパラメータが後述する10°視野システム用に算出されていることで、当然のことながら明るさ予測は他のシステムに比べて特に短波長領域で劣る。もちろん更に適切なパラメータを選択すれば、明るさの予測はさらに改善するものと思われる。

次に、湯尻の12色の色票のデータを適用した結果の図4-8(a)~(d)について検討する。この物体色データは各色票と、それにマッチングするグレースケールの対のデータとして与えられている。各色票の明度は一定ではないので、マッチングするレベルは個々の色票によって異なる。そこでシステムの評価は、各色票とグレースケールの対について、それぞれ等価輝度を計算し、

$$(\text{参照光の等価輝度}, L_{eq,R}) = (\text{色票の等価輝度}, L_{eq,T}) \quad (4-6)$$

が成立つかどうかを各システムにおいて検討する。すなわち、グラフの縦軸、横軸にそれぞれ各システムで計算された参照光、及びテスト色票の等価輝度をそれぞれプロットし、そのデータ点が、 $L_{eq,R} = L_{eq,T}$ 、すなわち原点を通る傾き1の直線にのるかどうかなを確認する。

図4-8(a)~(d)には湯尻の12色3レベルの計36点のデータ点がプロットされており、図中の破線は傾き1の直線である。前述したように、この線上にあれば明るさを良く表現しているシステムとなる。図4-8の4つのシステムの結果をみるとNakanoら(図4-8(d))のシステムがややこの線から外れているものの、他のシステムは全体として $L_{eq,R} = L_{eq,T}$ の線上にのっていることがわかる。図中の残差 σ_E は、 $L_{eq,R}$ と $L_{eq,T}$ の差をとって、以下のように定義したものである。

$$\sigma_E = \{ [\sum (L_{eq,R} - L_{eq,T})^2] / (N-1) \}^{1/2} \quad (4-7)$$

ただし、Nはサンプル数

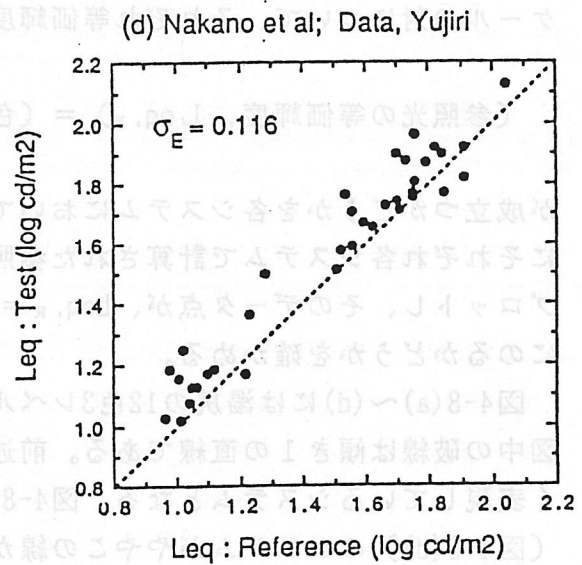
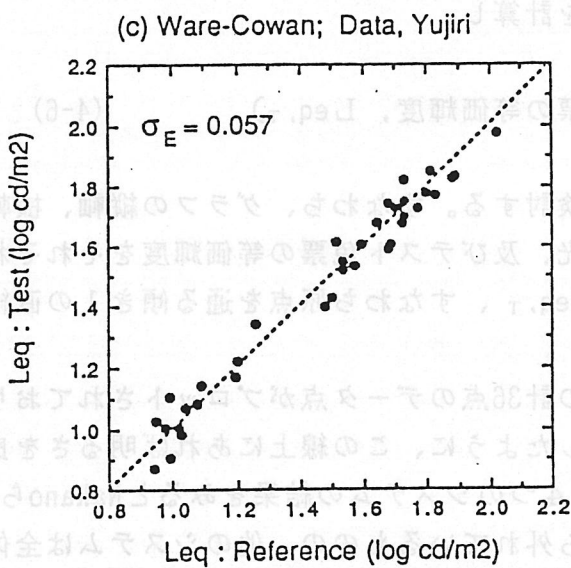
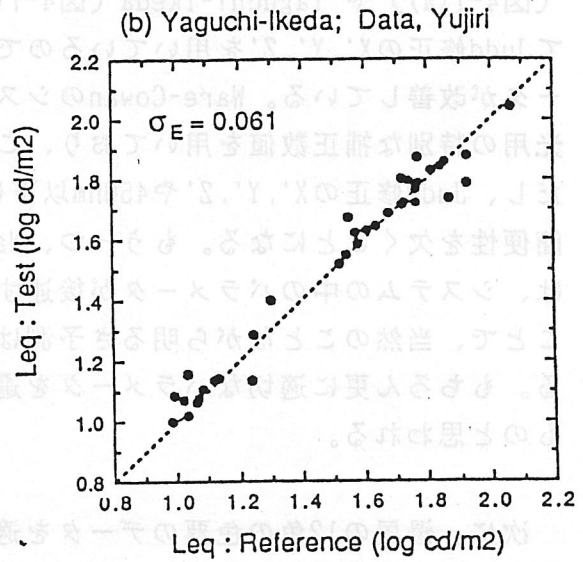
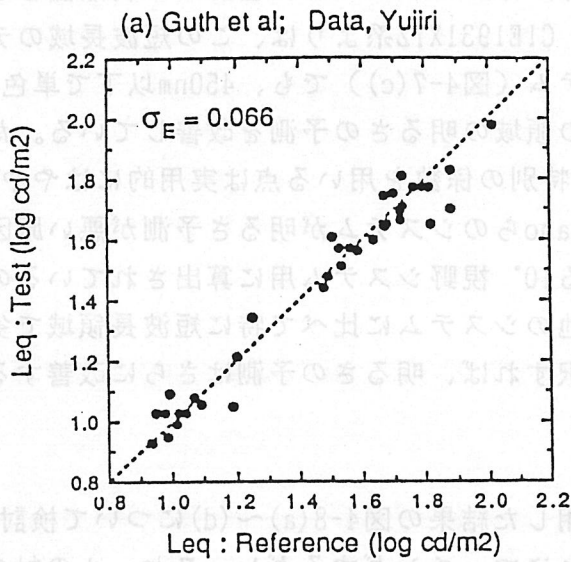


図4-8(a)～(d) 湯尻のデータを2°視野システムに適用した場合の等価輝度データ。 σ_E は残差を表す。

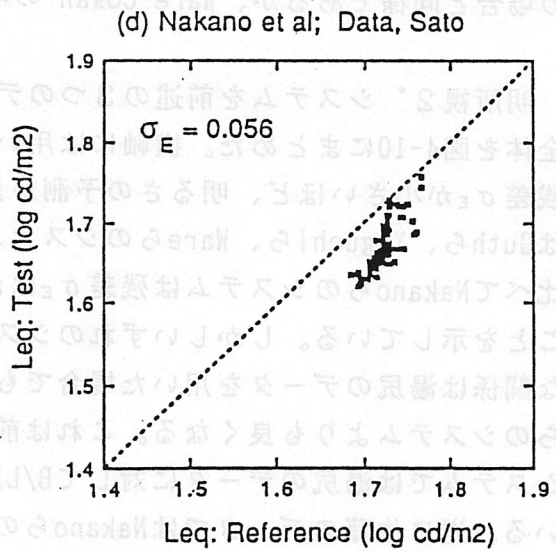
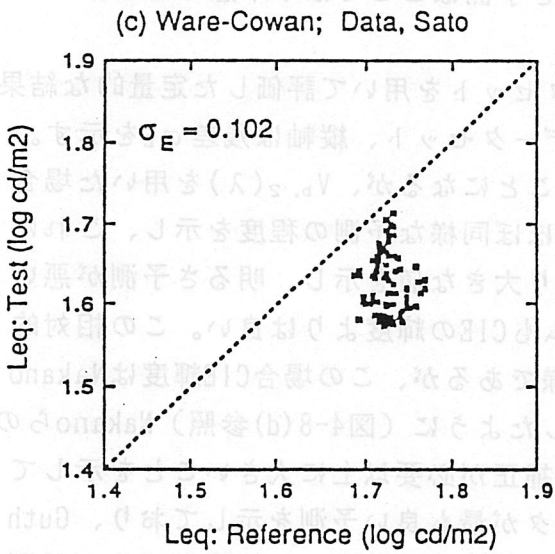
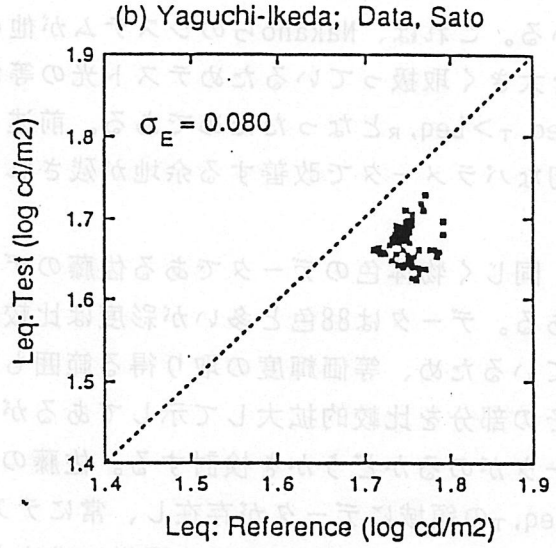
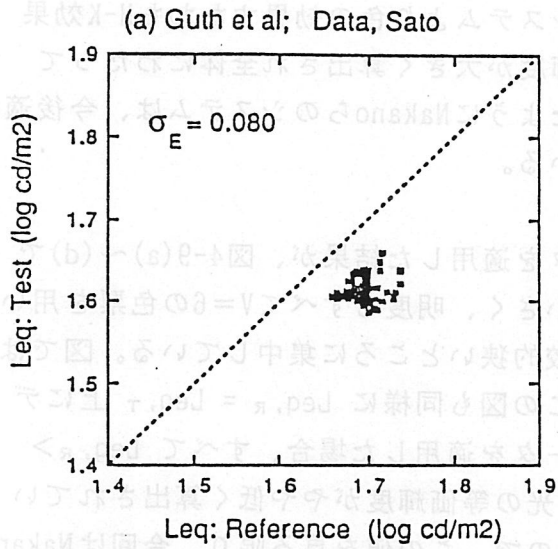


図4-9(a)～(d) 佐藤のデータを2°視野システムに適用した場合の等価輝度データ。 σ_E は残差を表す

もちろん残差 σ_E が小さければ小さいほど、システムの明るさ予測は良いことになる。残差 σ_E から見れば、Guthら、Yaguchi-Ikeda、Ware-Cowanのシステムはほぼ同様な値で、いずれも比較的良く明るさを表現していることがわかるが、Nakanoらのシステムでは残差 σ_E はやや大きく、他の3つのシステムよりやや悪いことを示している。これは、Nakanoらのシステムが他のシステムより色の効果すなわちH-K効果を大きく取扱っているためテスト光の等価輝度が大きく算出され全体にわたって $Leq_T > Leq_R$ となったためである。前述したようにNakanoらのシステムは、今後適切なパラメータで改善する余地が残されている。

同じく物体色のデータである佐藤のデータを適用した結果が、図4-9(a)～(d)である。データは88色と多いが彩度は比較的小さく、明度もすべて $V=6$ の色票を用いているため、等価輝度の取り得る範囲も比較的狭いところに集中している。図ではその部分を比較的拡大して示してあるが、この図も同様に $Leq_R = Leq_T$ 上にデータがのるかどうかを検討する。佐藤のデータを適用した場合、すべて $Leq_R > Leq_T$ の領域にデータが存在し、常にテスト光の等価輝度がやや低く算出されている。残差 σ_E は湯尻の場合と同様に求めたもので、この値を見る限り、今回はNakanoらのシステムが明るさの予測は僅かながら、他の3つのシステムより良い。Guthら、Yaguchi-Ikedaのシステムの予測がほぼ同程度であることは、先の $V_{b,2}(\lambda)$ や湯尻の場合と同様であるが、Ware-Cowanの明るさ予測はここではやや悪くなる。

明所視 2° システムを前述の3つのデータセットを用いて評価した定量的な結果全体を図4-10にまとめた。横軸には用いたデータセット、縦軸は残差 σ_E を示す。残差 σ_E が小さいほど、明るさの予測が良いことになるが、 $V_{b,2}(\lambda)$ を用いた場合はGuthら、Yaguchiら、Wareらのシステムはほぼ同様な予測の程度を示し、これに比べてNakanoらのシステムは残差 σ_E はかなり大きな値を示し、明るさ予測が悪いことを示している。しかしいずれのシステムもCIEの輝度よりは良い。この相対的な関係は湯尻のデータを用いた場合でも同様であるが、この場合CIE輝度はNakanoらのシステムよりも良くなる。これは前述したように(図4-8(d)参照)Nakanoらのシステムでは湯尻のデータに対してB/L比の補正が必要以上に大きいことを示している。逆に佐藤のデータではNakanoらのデータが最も良い予測を示しており、Guthら、Yaguchiら、のシステムがこれに続く。佐藤のデータに対して最も明るさ予測が悪いのはWare-Cowanのシステムとなる。こうした結果を見ると、システムの定量的な評価はデータベースにも依存することが良くわかり、定量的な結論を導くには今回の3つのデータセットでは十分とは言えないようである。残差 σ_E でシステムの良否を結論付けるには、データをさらに増やすなどの検討が必要であろう。

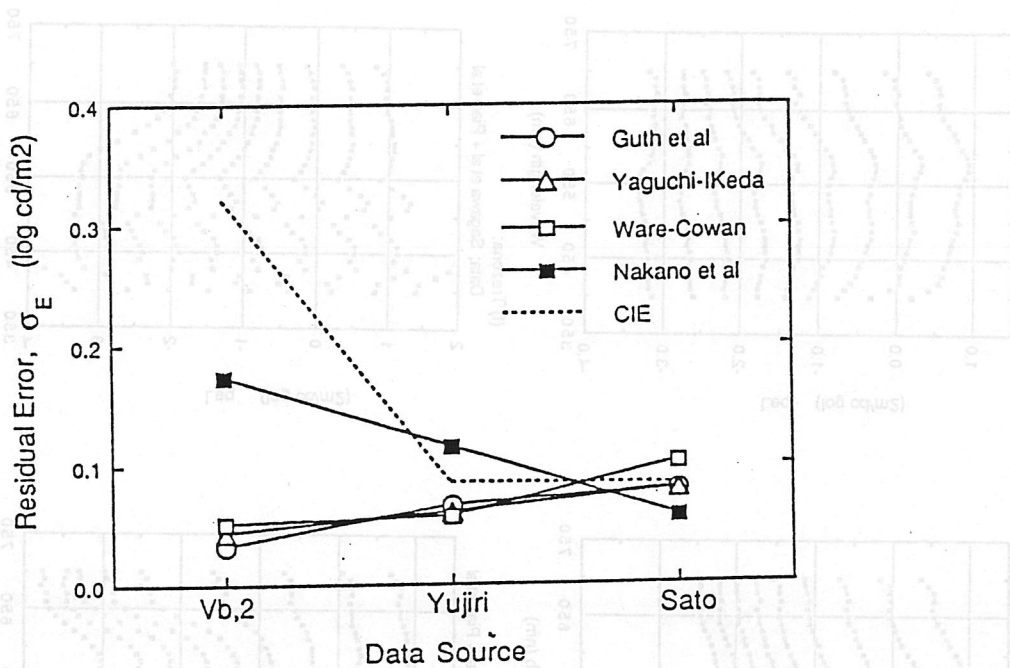


図4-10 $V_{b,2}(\lambda)$ 、湯尻、佐藤の明るさマッチングデータを適用した場合の各 2° 視野システムの残差 σ_E 。

(2) 10° 視野システム

図4-11(a)～(f)はSagawaらと朴らの計50名の薄明視の明るさ分光視感効率データを 10° 視野の各システムに適用した結果である。横軸は波長、縦軸は計算された等価輝度値 ($\log \text{cd/m}^2$)を示す。(a)～(f)の各図は各システムに対応し、その中の9本の曲線は上から順に網膜照度 $100 \sim 0.01 \text{Td}$ の範囲で 0.5 対数間隔のレベルで得られたデータに対応している。 2° 視野の $V_{b,2}(\lambda)$ の場合と同様に、各レベルで等価輝度が一定になれば明るさの予測は良いことになる。

まず、各図の一番上にある 100Td レベルのデータを見ると、どのシステムも一定の等価輝度値を与えていないことがわかる。Palmer(1st), Palmer(2nd), Kokoschka-Bodmannのシステムはいずれも、明所視レベルで $\text{CIE}\bar{y}_{10}(\lambda)$ で計算された 10° 視野輝度に収束する。当然のことながらHelmholtz-Kohlrausch効果は含まれていない。

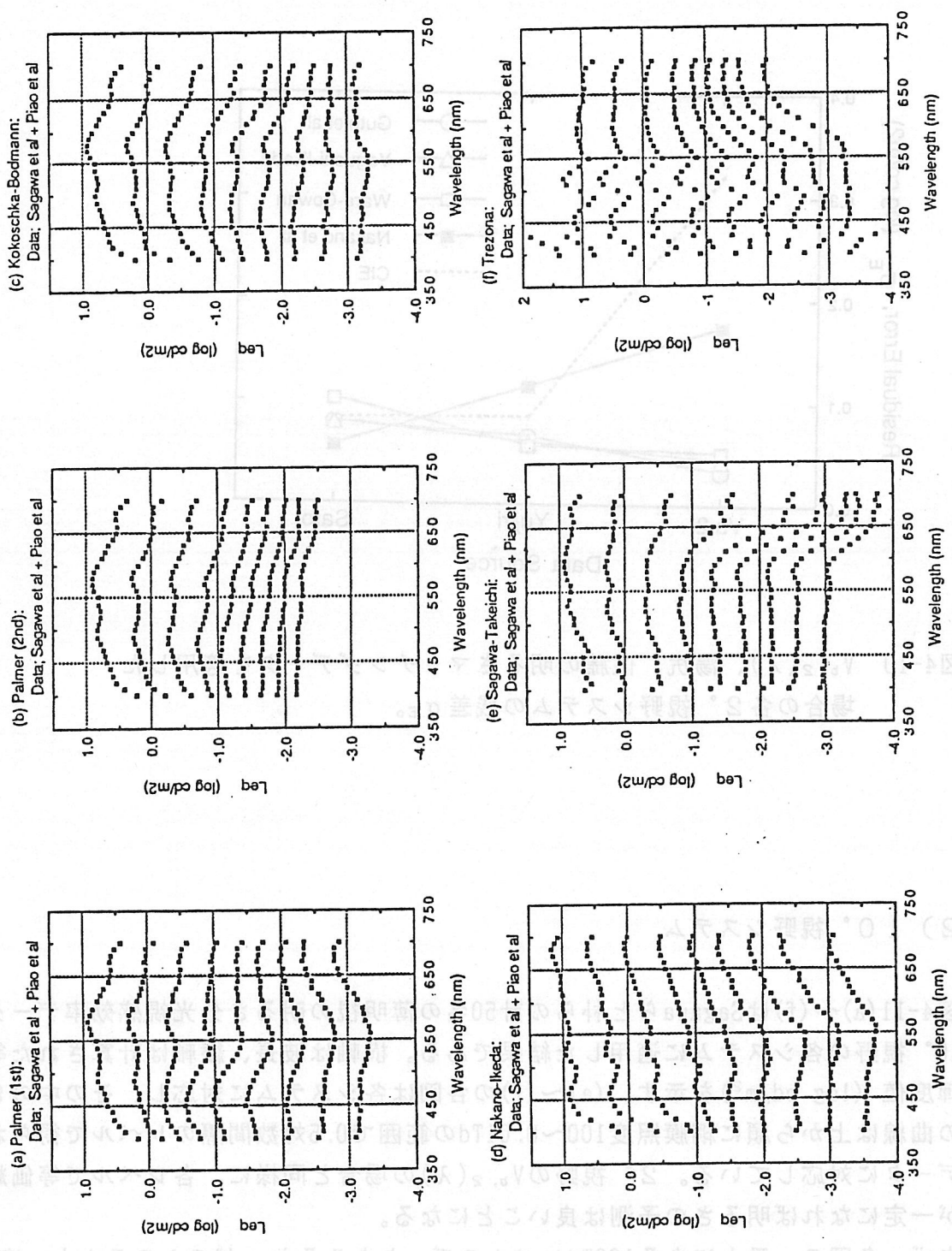


図4-11(a)～(f) 10°視野システムにSagawらとPiaoらの薄明視明るさ
分光視感効率データを適用した場合の等価輝度。

そのため短波長や長波長領域の高彩度の色光に対しては明るさを過小評価する傾向がある。これに対して、Nakano-Ikeda, Sagawa-Takeichi, Trezonaの各システムではH-K効果の補正があり、明るさの予測がやや改善しているものの、いずれもまだ十分なH-K効果の補正はされていない。図4-12(a)に100Tdレベルだけのデータを合せてプロットしてみたが、これを見てもいずれのシステムも明所視 10° の明るさ予測が十分でないことがわかる。Sagawaらのシステムでは先のWare-Cowanの補正係数を用いてやや改善しているが、この補正係数は 2° 視野に対するものでその補正量は少なく、大きなB/L比をもつ 10° 視野に適用するにはやはり無理があることを示している。Nakanoらのシステムでは特に長波長領域のH-K効果の補正は良い。しかし、短波長領域は依然として改善されていない。

薄明視中間の領域になると、この薄明視領域では、ブルキンエ効果による短波長領域の感度上昇と、長波長領域の感度低下の2つの効果の兼ね合いが焦点となる。しかし図4-11(a)~(f)に示されるように、たとえばNakanoらやTrezoanのシステムでは長波長領域が上昇し、一方Sagawaらのシステムでは低下するというように、どのシステムを見ても長波長、あるいは短波長領域で等価輝度値が上昇、あるいは下降したりして、相対的に一定とならない。Palmer(2nd)のシステムを除く限り、どのシステムでも明るさの予測が波長全体でみると良くないことを示している。

この薄明視中間のレベルで、各システムの明るさ予測の程度を見るために、1 Tdレベルのデータをまとめて図4-12(b)にプロットしてみると、例えばNakano-Ikeda, Trezona などでは長波長領域の等価輝度が高く見積もられているのに対し、SagawaらやKokoschkaらでは低く算出されている。Palmer(2nd)のシステムは、比較的一定の等価輝度値を示しているが、これは図4-11(b)を見ると分かるようにレベル全体がかなり圧縮されているため、レベルが下がるにつれ全波長のデータが一定の値に近づくという性質によるものである。この圧縮の是非についてはまた別な視点、たとえば明るさの尺度化などの視点から、判断や評価をする必要がある。

暗所視レベルすなわち、図4-11の各図一番下の0.01Tdのデータに対して検討してみると、どのシステムも理論的には暗所視輝度 L' へと収束に向う。しかしシステムによっては L' への重み係数が異なったり、最終的に暗所視輝度に収束するレベルなどがシステムによっても、また波長によっても異なるので、暗所視等価輝度は各システムで一定とはならない。さらに、暗所視輝度 L' に収束することに関しては、たとえば図4-4(a)に示されるように長波長領域の光に対しては中心窩 10° ではCIEV'(λ)関数よりかなり高い感度を示すので、単色光の場合 L' のみで完全に暗所視レベルの明るさを表すのはやや難しい。図4-12(c)にまとめた0.01Tdレベルのデータでもこれが良く表わされており、どのシステムでも長波長領域になると明るさの予測が悪い。たとえば図4-12(c)に示されるように、Palmer(1st), Kokoschkaら、

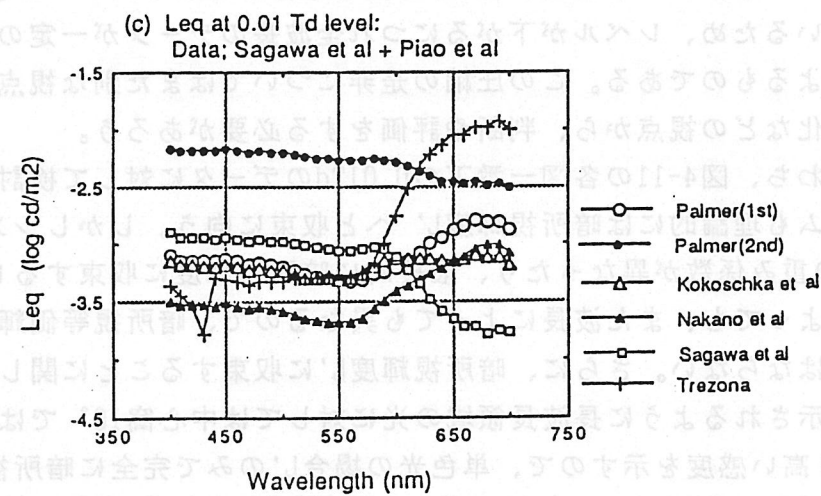
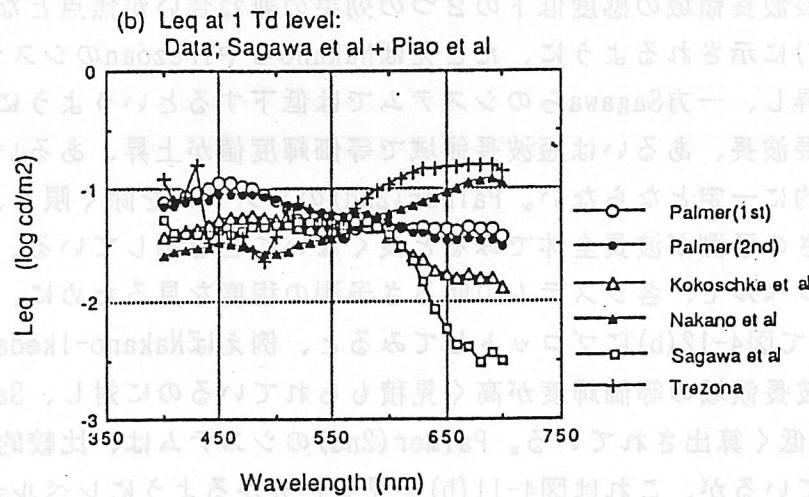
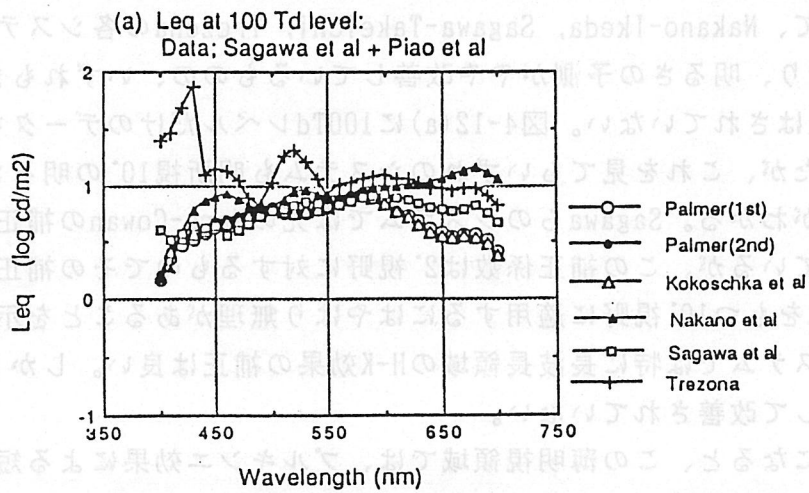


図4-12(a)~(c) SagawaらとPiaoらのデータによる各10°視野システムの等価輝度。(a)100Tdレベル、(b)1 Tdレベル、(c)0.01Tdレベル。

Nakanoら, Trezonaの各システムはこの長波長領域で等価輝度が高く、またSagawaraらのシステム出は、低い等価輝度を与えている。いずれにしてもこの暗所視の長波長領域ではシステムによって差が表れる。一方、中波長から短波長にかけては、Trezonaのシステムでややばらつきが大きい以外は一定の値に収束し、この領域で明るさ予測はどのシステムでも比較的良いことがわかる。

図4-13は計算された等価輝度について、各レベルの平均からの残差 σ_E （標準偏差）を示したもので、定量的にどのシステムのどのレベルの明るさ予測が良いかをレベルごとに比較検討したものである。横軸は白色参照光の網膜照度レベル（log Td）を示し、縦軸は残差 σ_E を表す。定量的に見る限り、100Td付近の明所視レベルではほぼどのシステムでも残差 σ_E は同程度であり明るさの予測にあまり差がないようであり、それらはまたCIEの10度輝度ともあまり差はない。これは10度視野におけるB/L比が比較的大きくどのシステムでも十分に良く補正されていないことを示している。薄明視中間の1Td付近ではPalmer(1st, 2nd), Kokoschkaらが比較的残差 σ_E が小さく、次いでNakanoら、Trezonaのシステムと続いて、最も悪いのはSagawaraらのシステムとなる。Sagawaraらのシステムが悪いのは、主に長波長領域の明

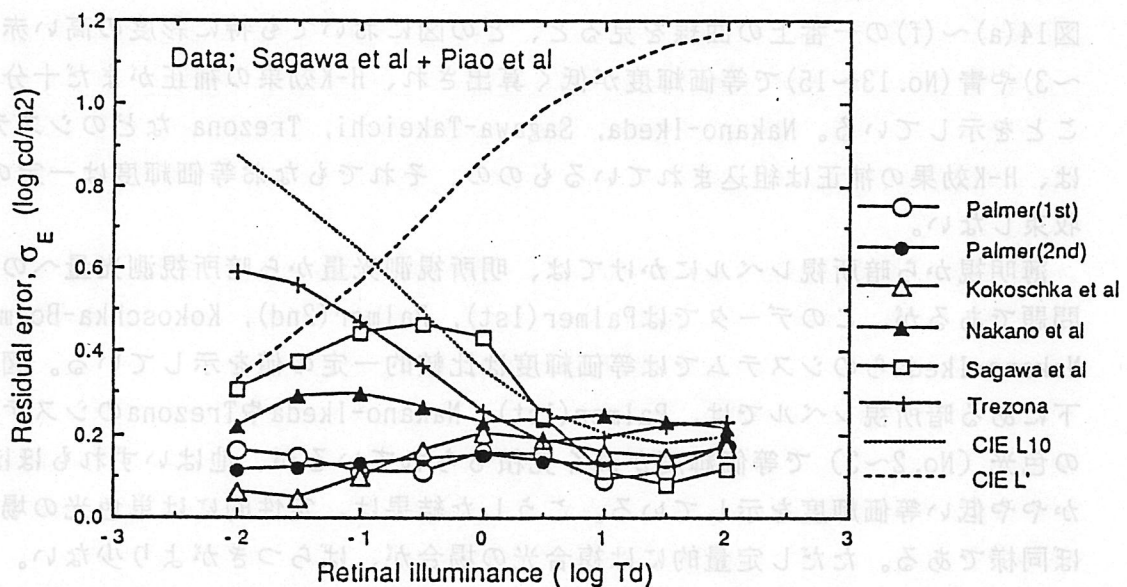


図4-13 SagawaraらとPiaoらのデータを適用した場合の各10°視野システムの残差 σ_E （ここでは各レベルの標準偏差）。

るさ予測が悪いことによるものである。暗所視レベルではPalmer(2nd), Kokoschkaらのシステムが比較的良く、Trezonaのシステムは暗所視レベルでは悪くなる。

図4-13に示されるように、いずれのシステムも薄明視全体や波長域全域にわたって見ると、残差 σ_E は大きく、 10° 薄明視領域の単色光の明るさを予測することはかなり難しいことがわかる。しかし、図4-13の破線に示すようにCIE10度輝度や暗所視輝度のみで表す場合よりも良いことは明らかである。

次に佐川らの複合光20色を用いたデータを適用した結果である図4-14(a)~(f)について検討する。前述したように、佐川らのデータはMaxwell視を用いた輝面色モードの明るさマッチングデータであり、テスト20色は図4-5(a)に示すように色度図上に広く分布している。図14の横軸はその色の番号を示し、縦軸は各システムで計算された等価輝度である。いずれの図も上から順に100、10、1、0.1、0.01Tdの網膜照度レベルで得られた明るさマッチングデータを基に、各システムにおいて計算された20色の等価輝度を計算し縦軸にプロットしたものである。このデータの場合も20色の色光はすべて等明るさにあるので、計算した等価輝度が一定となるかどうかを検討する。

単色光の場合と同様に、まず100TdレベルではHelmholtz-Kohlrausch効果が適切にシステムに組み込まれているかが問題となる。すなわち、図14(a)~(f)の一番上の曲線を見ると、どの図においても特に彩度の高い赤(No.2~3)や青(No.13~15)で等価輝度が低く算出され、H-K効果の補正がまだ十分でないことを示している。Nakano-Ikeda, Sagawa-Takeichi, Trezonaなどのシステムでは、H-K効果の補正は組み込まれているものの、それでもなお等価輝度は一定の値に収束しない。

薄明視から暗所視レベルにかけては、明所視測光量から暗所視測光量への移行が問題であるが、このデータではPalmer(1st), Palmer(2nd), Kokoschka-Bodmann, Nakano-Ikedaらのシステムでは等価輝度は比較的一定の値を示している。図の一番下にある暗所視レベルでは、Palmer(1st)、Nakano-IkedaやTrezonaのシステムで赤の色光(No.2~3)で等価輝度が高く見積もられているが、他はいずれもほぼ一定かやや低い等価輝度を示している。こうした結果は、定性的には単色光の場合とほぼ同様である。ただし定量的には複合光の場合が、ばらつきがより少ない。

図4-15(a)~(c)は単色光の場合と同様に、明所視、薄明視、暗所視において各システムの等価輝度を相対的に比較したものである。図4-15(a)の明所視(100Tdレベル)ではどのシステムもほぼ同じような結果を示し、等価輝度は一定のレベルになり、すなわち、いずれもH-K効果は十分補正されていないことを示す。しかしながら、Sagawaら、Nakanoら、TrezonaなどのシステムではH-K効果の補正を組み込んで

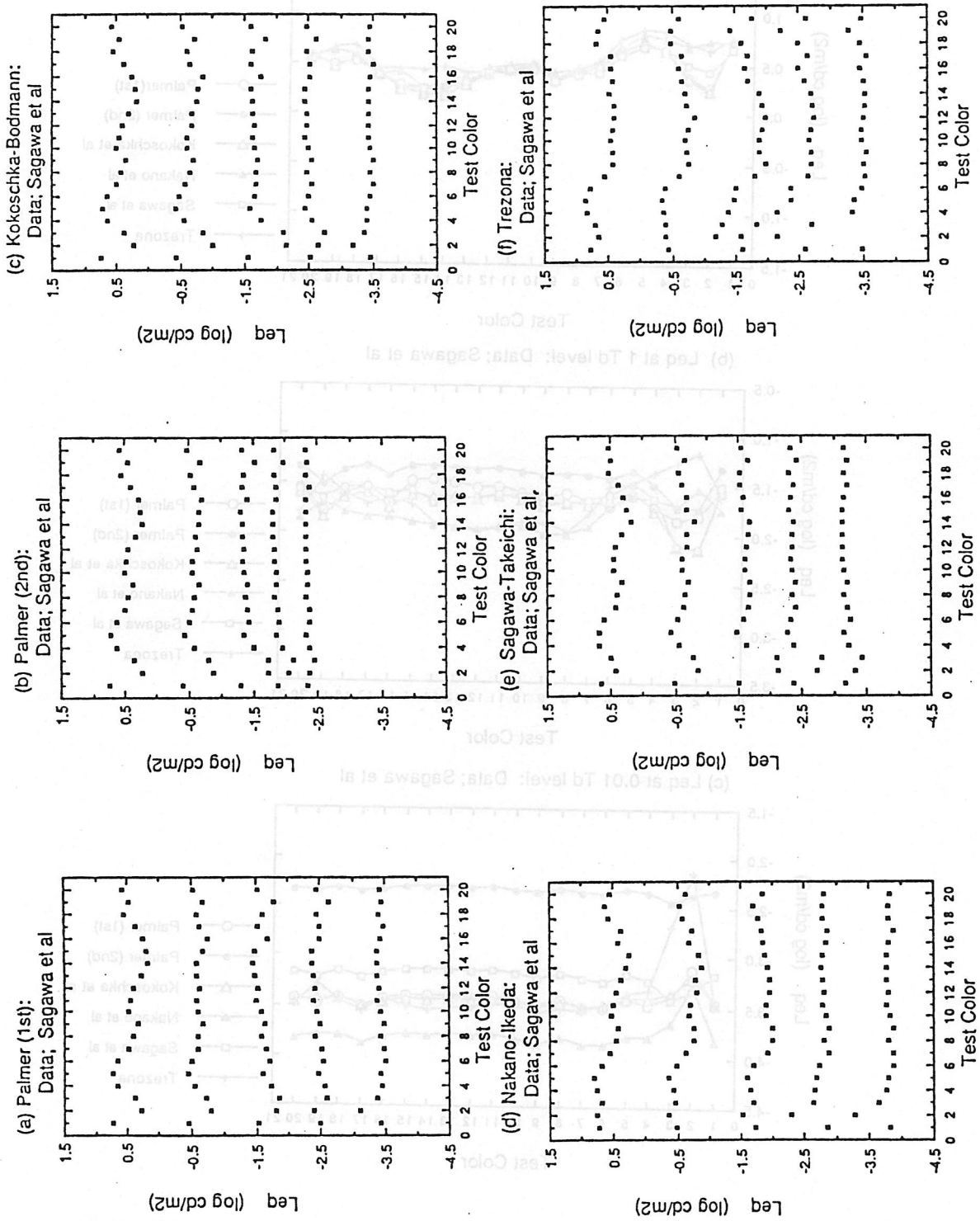
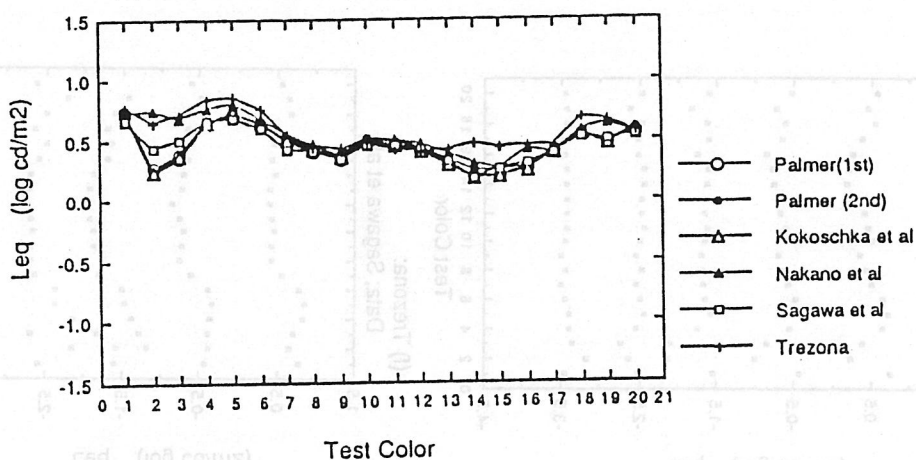
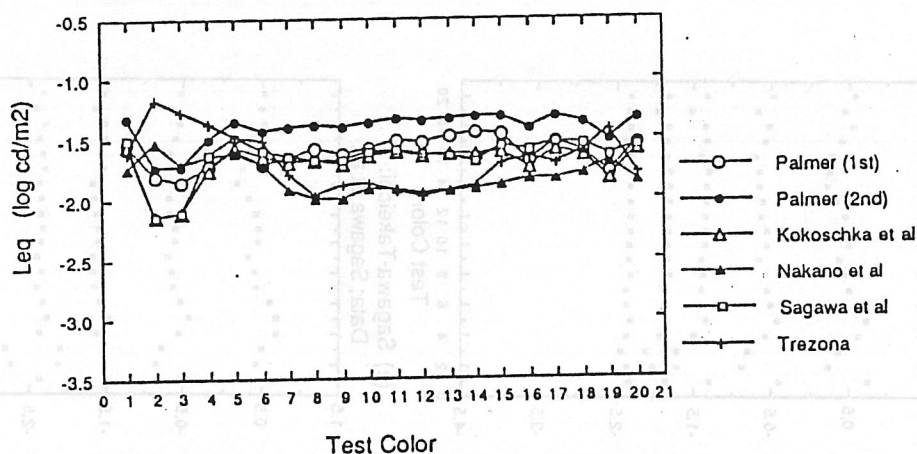


図4-14(a)～(f) 佐川らの明るさマッチングデータを適用した場合の各10°視野システムの等価輝度データ。

(a) Leq at 100 Td level: Data; Sagawa et al



(b) Leq at 1 Td level: Data; Sagawa et al



(c) Leq at 0.01 Td level: Data; Sagawa et al

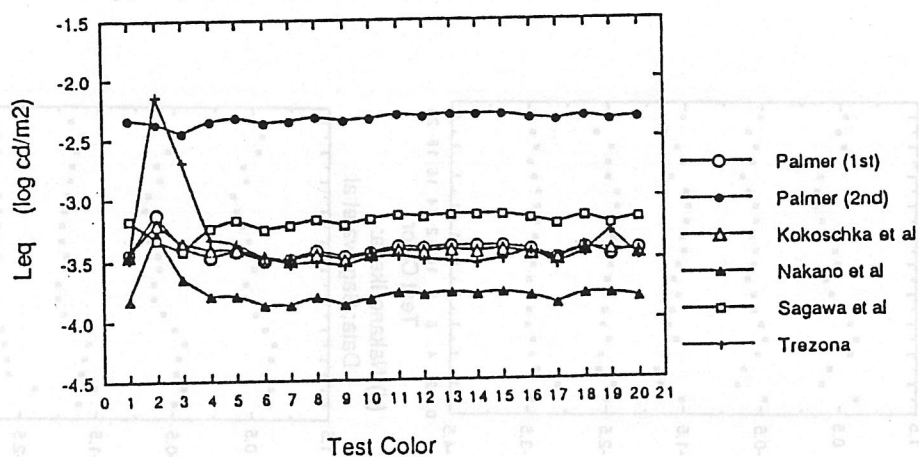


図4-15(a)~(c) 佐川らのデータによる各10° 視野システムの等価輝度。
(a)100Tdレベル (b) 1 Tdレベル (c)0.01Tdレベル。

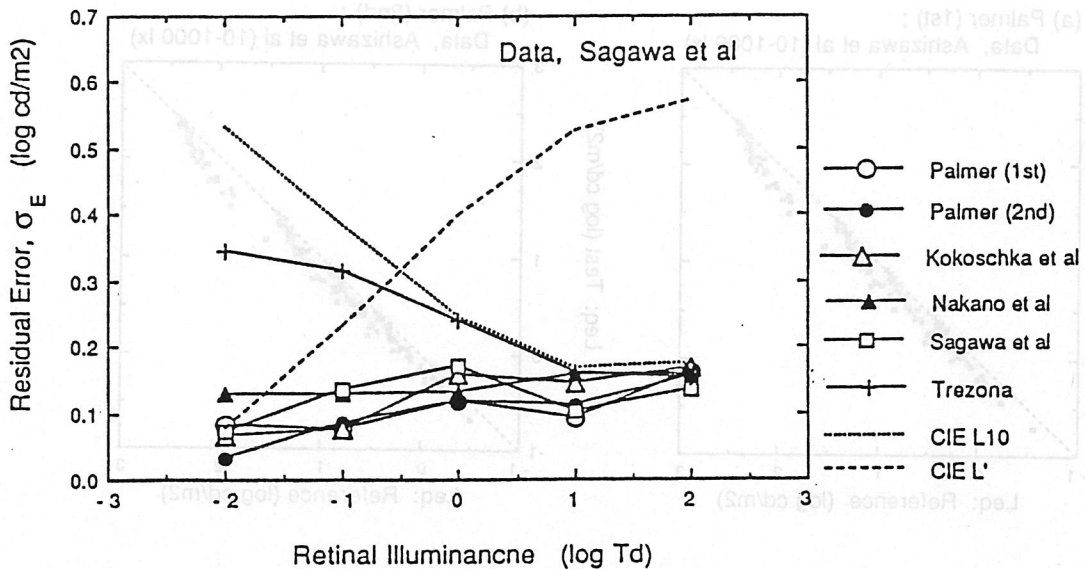


図4-16 佐川らのデータを適用した場合の各10°視野システムの残差 σ_E （ここでは各レベルの標準偏差）

いるので、僅かながら改善しているところが見られる。中間の1Tdレベル（図4-15(b)）や、暗所視レベルの0.01Tdレベル（図4-15(c)）の結果についても、定性的には単色光の場合と同様で、特に0.01TdレベルのNo.2~3の赤の色光の等価輝度がPalmer(1st), Kokoschka-Bodmann, Nakano-Ikeda, Trezonaなどで高く見積もる傾向があるが、逆にSagawaらのデータではやや低く計算されている。この赤以外の色光に対しては、暗所視の0.01Tdレベルでは各システムの等価輝度はほぼ一定になり、暗所視輝度 L' による明るさの記述がほぼ妥当であることを表している。

佐川らのデータによる予測の程度を、平均からの残差 σ_E で示したものが図4-16である。明所視領域で残差 σ_E は各システムでほぼ同様な値であるが、薄明視から暗所視領域にかけては、Palmer(1st, 2nd), Kokoschka-Bodmann, などのシステムが比較的残差 σ_E が少なく、次いでSagawa-Takeichi, Nakano-Ikedaとなり、Trezonaのシステムはレベルが下がるとともに悪くなる。しかしながら、いずれのシステムも明所視10°輝度や暗所視輝度そのものよりは改善している。

最後に、芦澤らの色票を用いた物体色のデータで評価を行なった結果を図4-17(a)~(f)から図4-19(a)~(f)の3つの部分に分けて示す。先の湯尻、佐藤の物体色データと同様にマッチングしたテスト色票と参照のグレースケールについてそれぞれ

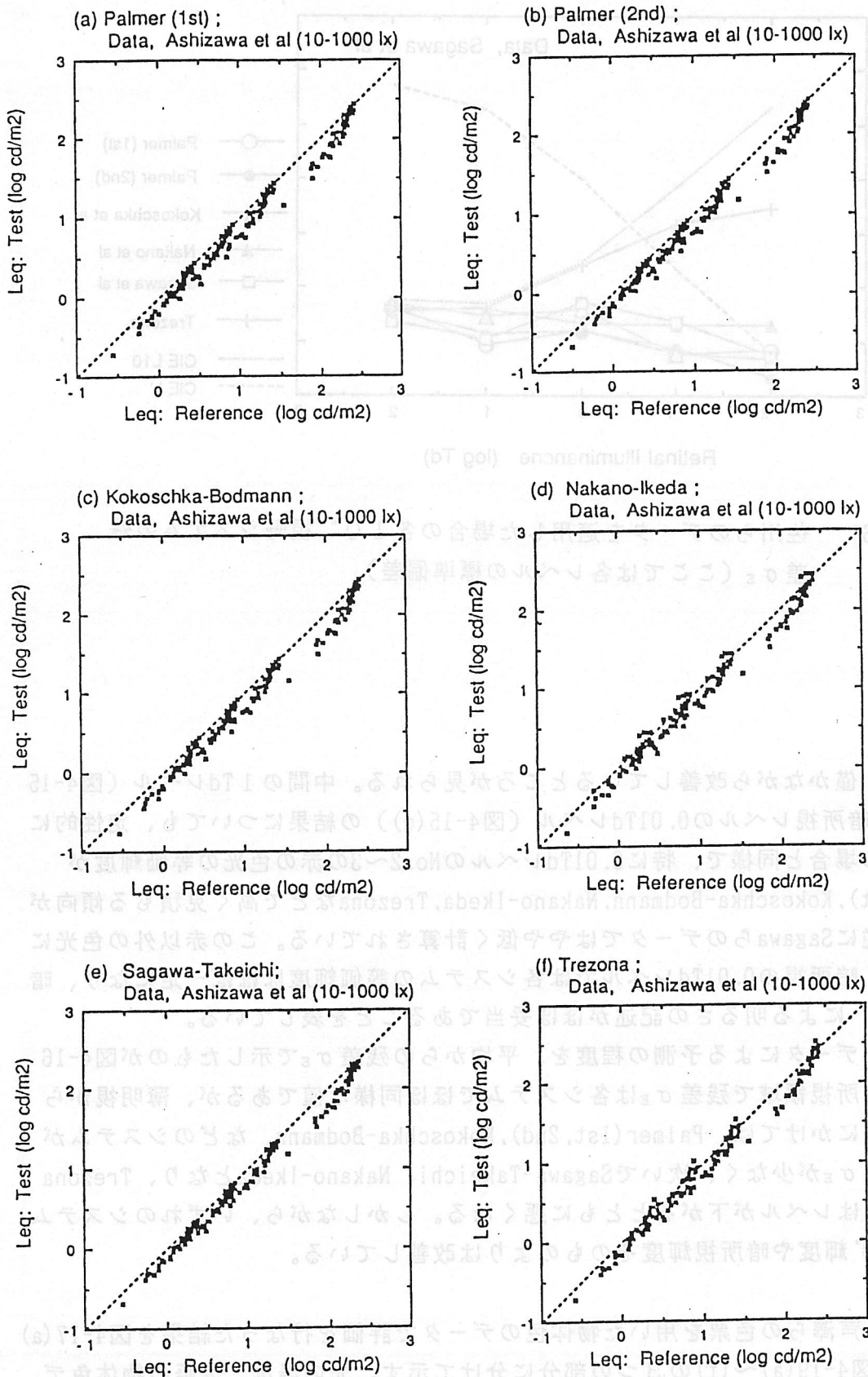


図4-17(a)～(f) 芦澤らの物体色データを適用した場合の各10°視野システムの等価輝度データ。照度レベル1000～10 lx。

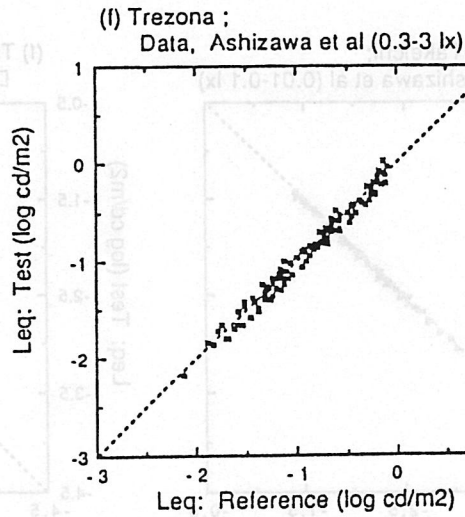
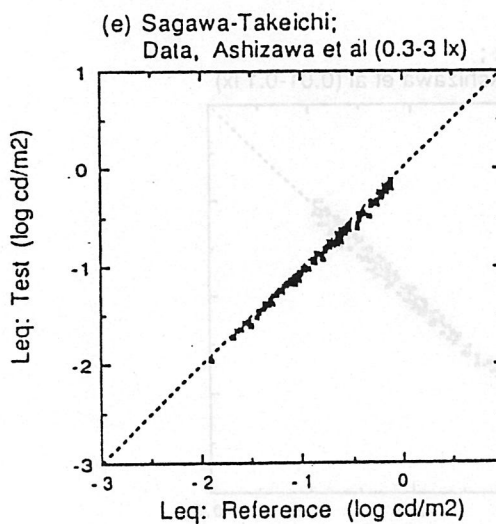
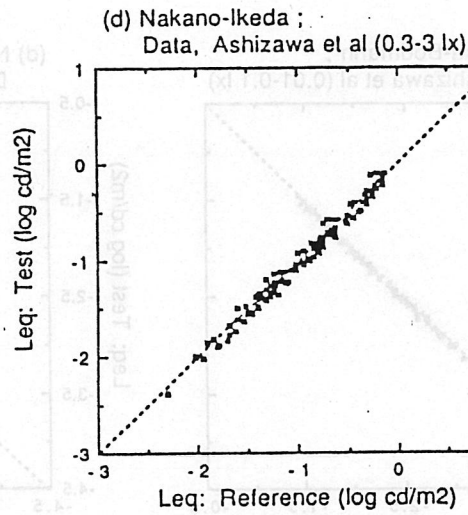
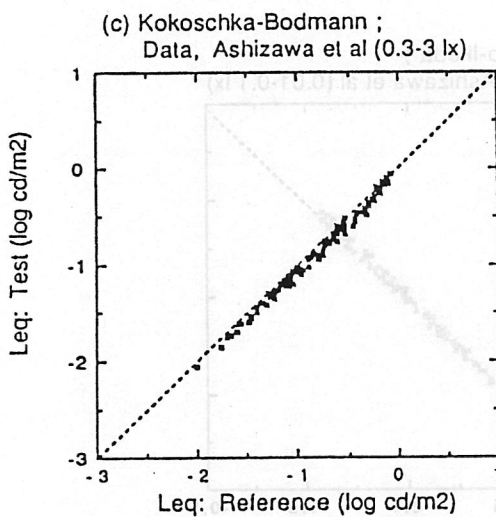
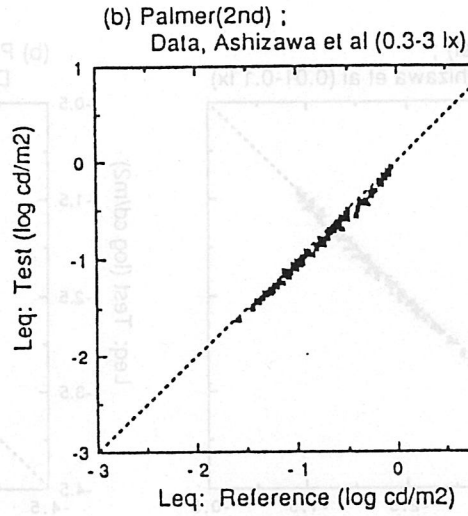
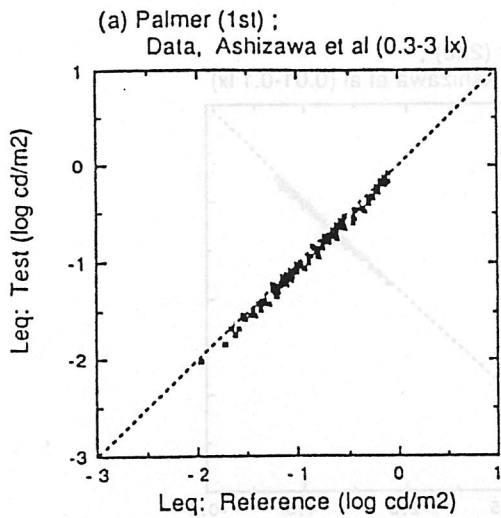


図4-18(a)～(f) 図4-17(a)～(f)と同じ。ただし、照度レベル
30～0.3 lx。

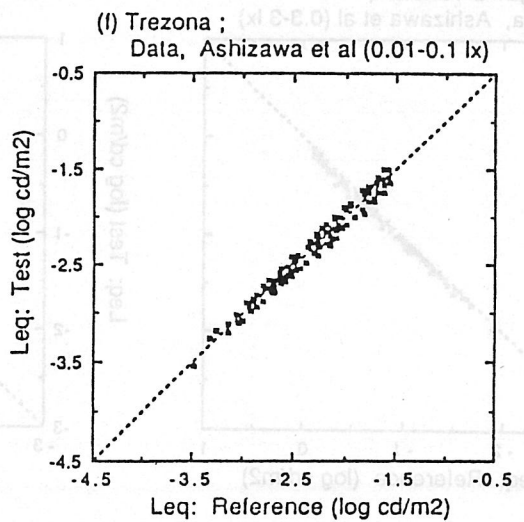
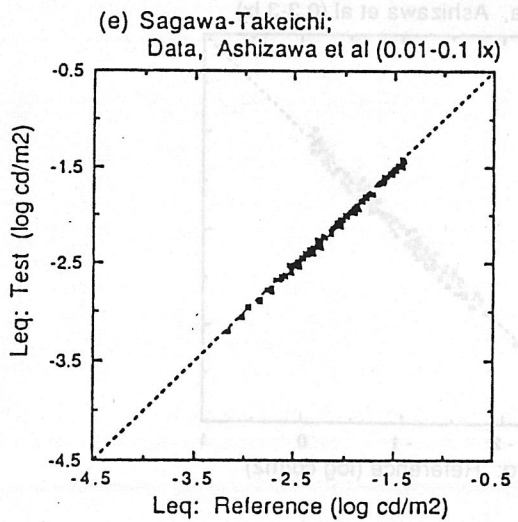
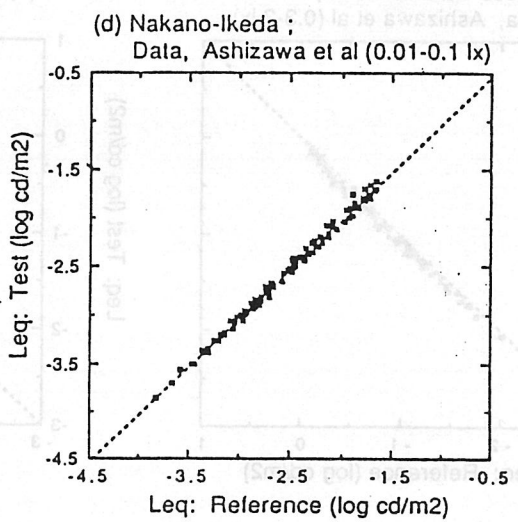
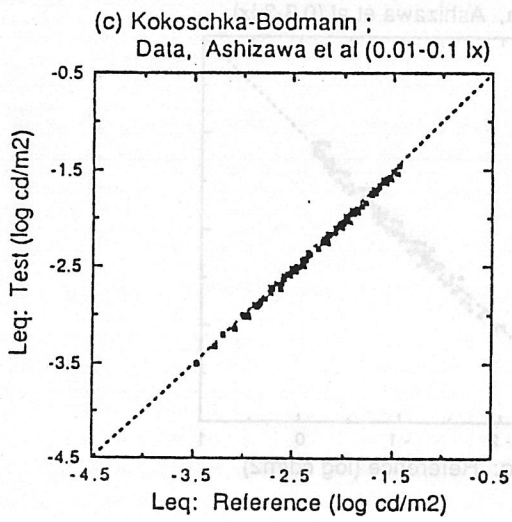
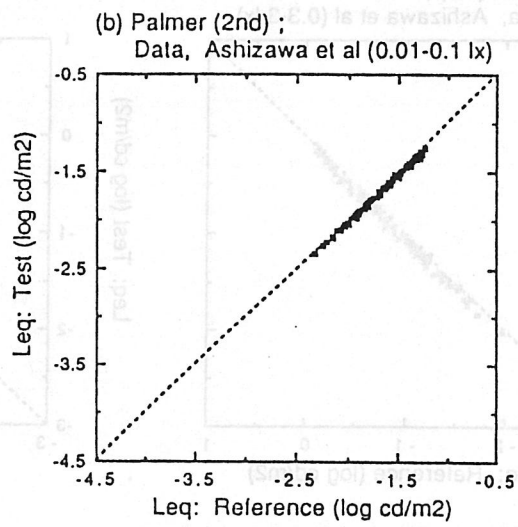


図4-19(a)～(f) 図4-17(a)～(f)と同じ。ただし、照度レベル
0.1～0.01 lx。

等価輝度を計算し、それらをx、y軸にプロットして $y=x$ の直線上にのるかどうかを検討する。図4-17(a)~(f)は1000、100、30、10 Lx の4照度レベルの結果で、1レベルの色票の数は36あるので一つの図のなかには計144点のデータ点がプロットされている。縦軸、横軸はそれぞれ、テスト光、参照光の等価輝度の対数値である。破線は $y=x$ の直線であり、この線上にデータが乗れば良いシステムということになる。

この図をみるとデータは平均してやや $y=x$ の直線より下側の $y<x$ の領域、すなわち、テスト光の等価輝度が参照光の等価輝度に比べて小さいことを示す。これはすでに述べたようにHelmholtz-Kohlrausch効果がどのシステムでも十分に組込まれていないためにおこるもので、先のSagawaらとPiaoらの単色光データや、佐川らの複合光データで評価した場合と全く同様である。しかしながら、データを詳細に見てみると、H-K効果を組込んだNakano-Ikeda, Sagawa-Takeichi, Trezonaの各システムでは、データ点は $y=x$ 上に近づき、他のPalmer(1st, 2nd), Kokoschka-Bodmannのシステムに比べて明るさ予測が改善していることを示している。こうしたデータの傾向は先の単色光や佐川らのデータで評価した場合と極めて類似している。

薄明視の中間の領域 3~0.3lxのデータは、図4-18(a)~(f)に示されているが、

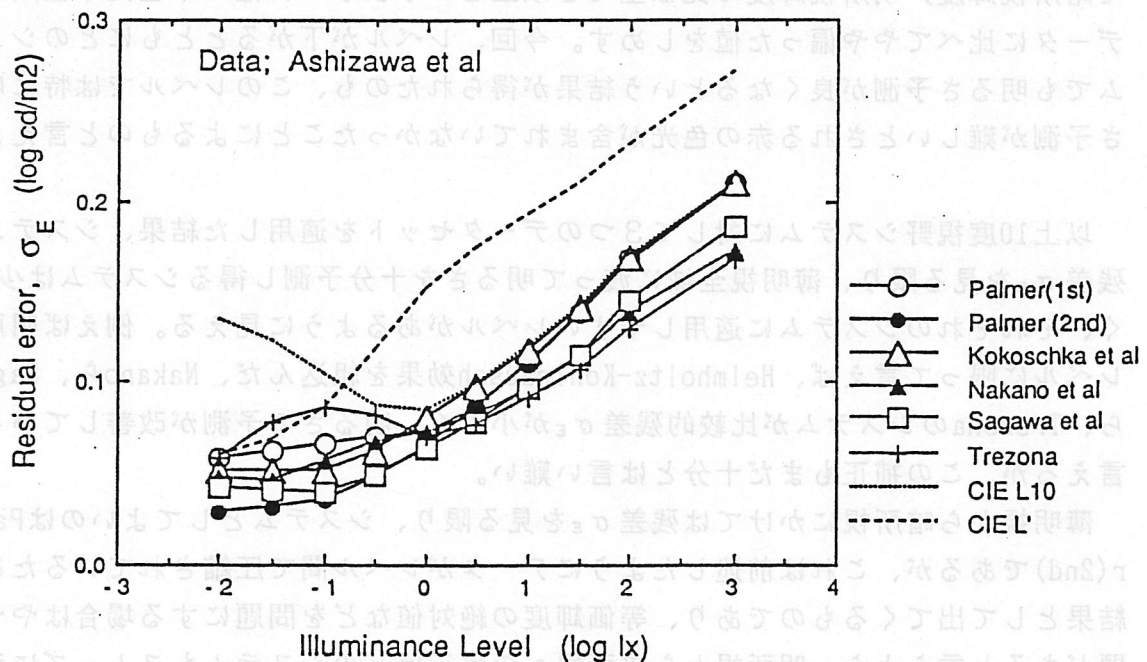


図4-20 芦澤らのデータによる各10°視野システムの残差 σ_E 。

全体のばらつきは明所視よりやや小さくなり、かつ $y=x$ 上にデータ点が近づく。すなわちシステムの明るさ予測が、この領域で改善してくることを示している。

さらに、 $0.1\sim 0.01 L_x$ の暗所視領域になるとこの傾向は一層強まり、データのばらつきは極めて小さく、またデータ点のすべてがほぼ $y=x$ 上にある。Trezonaのシステムはややばらつきが多いが、他のシステムでは明らかに直線 $y=x$ 上にデータが並び、明るさの予測がこの暗所視レベルでかなり良くなることを示している。

図4-20は、明るさ予測の程度を示す残差 σ_E を前述の式(4-7)に従って各レベルにおいて計算し、それをプロットしたものである。どのシステムがどのレベルで明るさの予測が良いかがわかる。全体的な傾向として、この芦澤らのデータに対しては、レベルが下がると予測の程度は良くなることがわかる。明所視レベルで、残差 σ_E が比較的小さいのがTrezona, Nakanoら, SagawaらでいずれもH-K効果を組込んだシステムである。薄明視中間のレベルになると各システムの予測はほぼ同様なものとなる。暗所視領域ではTrezonaのシステムが残差 σ_E がやや大きくなり、比較的Palmer(2nd)やSagawaらのシステムが、この芦澤らのデータに対しては明るさの予測は良いという結果になっている。

芦澤らのデータは、図4-6(a)を見るとわかるように、赤系統の色は少ない。従って暗所視輝度/明所視輝度の比は全て1以上というように、他の単色光や佐川らのデータに比べてやや偏った値をしめす。今回、レベルが下がるとともにどのシステムでも明るさ予測が良くなるという結果が得られたのも、このレベルでは特に明るさ予測が難しいとされる赤の色光が含まれていなかったことによるものと言えよう。

以上10度視野システムに対して3つのデータセットを適用した結果、システムの残差 σ_E を見る限り、薄明視全域に渡って明るさを十分予測し得るシステムは少なく、それぞれのシステムに適用しやすいレベルがあるように見える。例えば明所視レベルに限って言えば、Helmholtz-Kohlrausch効果を組込んだ、Nakanoら、Sagawaら、Trezonaのシステムが比較的残差 σ_E が小さく、明るさの予測が改善していると言えるが、この補正もまだ十分とは言い難い。

薄明視から暗所視にかけては残差 σ_E を見る限り、システムとしてよいのはPalmer(2nd)であるが、これは前述したようにデータがレベル間で圧縮されているために、結果として出てくるものであり、等価輝度の絶対値などを問題にする場合はやや問題があると言えよう。明所視から暗所視への移行はどのシステムもスムーズに移行しているが、例えば赤の色光など、色や波長の種類によってその重みの度合いが異なり、全ての色光に対して明るさ予測が満足するシステムは見当らない。

暗所視領域では全てのシステムはほぼ暗所視測光量へと収束するので、十分レベルが低ければ全てのシステムはほぼ同程度の明るさ予測となるが、どのレベルから

暗所視に移行するかは各システムによって異なる。従って、実際に暗所視に近いレベルのデータを適用すると、そのレベルの差によって等価輝度に差が出てくる。また等価輝度の基準となる参照光も各システムによって異なるので、絶対的な値そのものにも差が出てくる。

こうした評価結果を総合すると、10度視野システムでは、明所視領域ではどのシステムもHelmholtz-Kohlrausch効果が十分組込まれておらず、明るさの予測が2°視野の場合よりも悪いと言える。もちろん、Nakano-Ikeda, Sagawa-Takeichi, Trezonaのシステムの場合はH-K効果は組込まれているものの、定量的に十分な補正がなくその意味でH-K効果を組込んでいない他のPalmer(1st), Palmer(2nd), 及びKokoschka-Bodmannと大差はない。システムに差が現れるのはむしろ明所視測光量から暗所視測光量へ移行する過程である。ここでは、明所視暗所視各測光量の重み付けがシステムによって、またレベルや色光の種類によって変化するので、各システムでそれぞれの結果が得られ一定の傾向は見られない。特に長波長領域における等価輝度はシステム間で大きく異なる。2°視野の場合と同様に、ここでも評価に用いるデータセットによって結果が異なる場所が見られる。今回の3つのデータによる評価の上に定性的評価を加えて、総合的な観点に立った評価が必要とされるであろう。

なお、ここで計算された6つのデータセットによる等価輝度値はすべて付表4に示してある。

第5章 総合評価

実用的な測光システムの評価には、種々の側面からの総合的な検討が必要とされる。ここでは各システムの評価を行なうため、以下にあげる6項目について検討する。

- a. システム構成の特徴
- b. 明るさマッチングデータとの適合性
- c. 実用面での簡便性
- d. CIEシステムとの関係
- e. 生理的基盤
- f. システムの長所、短所

このうちdの“CIEシステムとの関係”は、これまで広く用いられてきたCIE2°視野輝度システムとの相互関係を意味するもので、できる限り現行のシステムを利用したり、あるいは互換性があるかどうかで評価するものである。bはもちろん第4章の定量的評価をまとめたものである。

5-1 2°視野システム

(1) Guthらのシステム

- a. 特徴： 視覚系の輝度チャンネルと2つの色チャンネルの出力のベクトル和（ベクトル輝度）として明るさを表現。
- b. データとの適合性： 比較的良い。
- c. 簡便性： モデルは簡単で理解しやすいが、Judd修正等色関数を用いる点がやや不便。
- d. CIEとの関係： Judd修正の輝度、色度と対応させているが、輝度に対する重み係数が1以下(0.9341)であるため等価輝度値の絶対値は他のシステムに比べて全体的に低い（3章計算例1を参照）。
- e. 生理的基盤： Guthらの色覚モデルに準拠。
- f. 長所、短所： 長所は比較的単純な構成でデータとの適合性も良いこと。短所はJudd修正の3刺激値を用いる実用上の不便さ。

(2) Yaguchi-Ikedaのシステム

- a. 特徴： Guthらのベクトル輝度に非線形特性をもたせた修正ベクトル

輝度。

- b. データとの適合性： 比較的良い。
- c. 簡便性： 等価輝度を求める際、数値計算による解法が煩雑。また Judd修正等色関数を用いるのも実用上は不便。
- d. CIEとの関係： 参照光でJudd修正の輝度と一致。他はJudd修正輝度値にHelmholtz-Kohlraush効果(B/L比)分だけ増加。
- e. 生理的基盤： Guthらのモデルに、明るさの非加法性から得られた非線形特性を組み込んだ色覚モデルに準拠。
- f. 長所、短所： 長所は色覚特性に良く準拠していること、及びデータとの適合性が比較的良いこと。短所は数値計算による解法の複雑さ、及びJudd修正3刺激値を用いる不便さ。

(3) Ware-Cowanのシステム

- a. 特徴： 色度(x, y)によるB/L比の実験式(多項式近似)。
- b. データとの適合性： 比較的良いが、今回の佐藤のデータではやや悪い。4つの2度システムのなかでは中程度。
- c. 簡便性： 実験式が一つで簡便。現行の輝度と色度を入力とする点も使いやすい。
- d. CIEとの関係： 参照光D₆₅に対して等価輝度とCIE輝度が一致。他の色はCIE輝度からB/L比分だけ補正。
- e. 生理的基盤： なし。
- f. 長所、短所： 長所は簡便で使いやすいこと。短所は生理的基盤を有しないこと。

(4) Nakano-Ikeda-Kaiser のシステム

- a. 特徴： 3種の錐体応答の対数線形和によるH-K効果の記述で、生理的メカニズムに準拠。比較的、B/L比の補正が大きい。
- b. データとの適合性： 長波長光では適合性は良いが短波長では悪い。今回の4つのシステムのなかでは比較的悪いが、佐藤のデータによる評価では最も良い。
- c. 簡便性： モデルはやや複雑であり理解しづらい面もあるが、CIE輝度と色度のみを入力とする点では使いやすい。
- d. CIEとの関係： 参照光D₆₅に対して等価輝度がCIE輝度に一致。他の色はCIE輝度からB/L比分だけ補正。
- e. 生理的基盤： Nakano-Ikeda-Kaiserの色覚モデルに準拠。
- f. 長所、短所： 長所は色覚特性に良く準拠していること。短所はモデルが実用的にやや複雑であること。

以上が2°視野各システムの総評であるが、表5はその結果をまとめたものである。評価は3段階で示した。あくまで相対的である。これをみると、データとの適合性が良いのはGuthら、及びYaguchi-Ikedaのシステム。実用的な簡便さから見ると、Ware-Cowanのシステム。生理的基盤に優れているものはNakanoら、及びYaguchi-Ikedaのシステムである。また現行のCIEシステムとの関連付けやすいものはWare-Cowan、及びNakanoらのシステムといえることができる。

表5. 明るさ測光システム（2度視野）の評価のまとめ

測光システム	データとの適合性			簡便性	生理的基盤	CIEシステムとの関連
	$V_{k,2}(\lambda)$	湯尻	佐藤			
Guthら	○	○	△	△	△	×
Yaguchi-Ikeda	○	○	△	×	○	△
Ware-Cowan	○	○	×	○	×	○
Nakanoら	×	×	○	×	○	○

○：比較的良い △：中程度 ×：比較的悪い

5-2 10°視野システム

(1) Palmer(1st)のシステム

- 特徴：明所視10°視野輝度 L_{10} と暗所視輝度 L' の重み付け算術平均。重み（順応係数）は明所視10°視野輝度で決定される。
- データとの適合性：全レベルにおいて比較的良いが、明所視レベルではH-K効果を含まないのが悪い。
- 簡便性：簡単で理解しやすい。ただし、明所視輝度として10°視野

の輝度を用いる点は実用的にやや不便。

- d. CIEとの関係：明所視で L_{10} に、暗所視で L' そのものに収束し、できる限りCIEシステムに結びつけているが、CIE2°視野輝度とは関係がない。
- e. 生理的基盤：錐体出力と桿体出力の線形結合で、順応係数は L_{10} のシグマ関数。ただし、明所視のB/L効果は含まれていない。
- f. 長所、短所：長所は簡便で使いやすいこと。短所はH-K効果が考慮されていないこと。

(2) Palmer(2nd)のシステム

- a. 特徴：明所視 10° 視野輝度 L_{10} と暗所視輝度 L' を用いた実験式。
- b. データとの適合性：全レベルにおいて良いが、明所視レベルではPalmer(1st)同様H-K効果を含まないで悪くなる。
- c. 簡便性：式はやや複雑であるが、 L_{10} と L' のみの一つの式で計算できる点は簡便。
- d. CIEとの関係：明所視で L_{10} に収束するが、暗所視では L' やそのスカ一倍の値に収束しない。暗所視レベルにいくに従って等価輝度の値が圧縮されるので、等価輝度の絶対値がCIEの暗所視や明所視輝度の値と大幅に異なる。もちろん、CIE2°視野輝度とも関連しない。
- e. 生理的基盤：桿体、錐体出力の結合であるが、式そのものには特に生理的意味はない。明所視のH-K効果は含まれていない。
- f. 長所、短所：長所はデータとの適合性が良いこと。短所は生理的基盤に欠けることと、明所視H-K効果が考慮されていないこと。さらに等価輝度の絶対値がCIEシステムと大きく異なること。

(3) Kokoschka-Bodmann のシステム

- a. 特徴： 10° 視野3刺激値 X_{10} 、 Y_{10} 、 Z_{10} と暗所視輝度 L' の4変数の重み付け線形加算。重み（順応係数）は等価輝度の関数で決定されるので等価輝度を求める際に繰返し計算が必要。
- b. データとの適合性：全レベルにおいて比較的良いが、明所視レベルではH-K効果を含まないで悪い。
- c. 簡便性：式そのものは簡単で理解しやすいが、繰返し計算が煩雑。
 10° 視野3刺激値 X_{10} 、 Y_{10} 、 Z_{10} を入力とする点も実用上やや不便。
- d. CIEとの関係：明所視で L_{10} に、暗所視で L' そのものに収束するので、CIEシステムに結びつけているが、CIE2°視野輝度とは関係がない。

e. 生理的基盤： 4変数は3つの錐体出力と桿体出力に対応。ただし、線形加算は明るさの非加法性を表していない。さらに、明所視のH-K効果は含まれていない。

f. 長所、短所： 長所は比較的データとの適合が良いこと。短所は計算過程が複雑なこと、さらにH-K効果が考慮されていないこと。

(4) Nakano-Ikeda のシステム

a. 特徴： 明所視輝度 L と暗所視輝度 L' の重み付き幾何平均にH-K効果をつけ加える。B/L補正係数は2°視野のNakanoら係数を用いる。重み（順応係数）は輝度の関数として定義。

b. データとの適合性： 明所視の短波長領域でやや適合の悪いところが見られるが、全体としては比較的良い。

c. 簡便性： 明所視のB/L比を求めるところがやや複雑なので全体として計算ステップが多い。順応係数が輝度のシグマ関数で表されるので繰返し計算は不要。入力として、輝度（2度視野）、色度、及び暗所視輝度のみであるのは実用的に使いやすい。

d. CIEとの関係： 明所視レベルでは参照光 D_{65} で明所視輝度に一致。他は輝度にB/L比が補正される。暗所視レベルでは規格化のため暗所視輝度 L' の0.41倍に収束。

e. 生理的基盤： 加法性の実験から導かれた視覚特性に基盤を置く。錐体出力と桿体出力の和の上に明るさを加えるシステム。

f. 長所、短所： 長所は加法性の実験に基づく生理的メカニズムに準拠していること。入力測光量は簡便であること。短所はやや計算過程が多いこと。

(5) Sagawa-Takeichiのシステム

a. 特徴： 明所視等価輝度と暗所視等価輝度の重み付き幾何平均。重み（順応係数）は等価輝度の関数であるので等価輝度を求める際に繰返し計算が必要。明所視のB/L補正としてWare-Cowanの補正係数を用いていること。

b. データとの適合性： 薄明視中間から暗所視レベルにかけて、赤の色光に対してやや悪くなるが、その他は比較的良い。

c. 簡便性： 等価輝度の式そのものは簡単であるが、繰返し計算を要する点は実用的に不便。

d. CIEとの関係： 明所視レベルでは参照光である570nmの単色光に対して明所視輝度（2度視野）に一致。他はそれにB/L比の補正を加える。暗所視レベルでは暗所視輝度の1.84倍に収束。

- e. 生理的基盤：色のH-K効果を明所視対暗所視結合の前で処理する方式。さらに順応係数を色の種類によって2種類に使い分ける方式。
- f. 長所、短所：繰返し計算の煩雑さはあるものの、長所は比較的単純な考え方であること。短所はH-K効果を補正するため2°視野のWare-Cowanの変換係数を用いていること。薄明視中間のレベルで赤の色光の等価輝度が低く算出されること。

(6) Trezonaのシステム

- a. 特徴：明所視から明所視への移行を双曲線関数で表現し、刺激の4変数(10°視野3刺激値 X_{10} , Y_{10} , Z_{10} と暗所視輝度 L')で曲線のパラメータを決定。
- b. データとの適合性：明所視レベルでは比較的適合性が高いが、色光間のばらつきは大きい。暗所視レベルにいくにつればら付きも大きく、適合性も悪くなる。
- c. 簡便性：概念そのものは複雑ではないが、双曲線関数のパラメータを決める計算ステップがかなり煩雑である。また4変数を求める際、単位エネルギー当たりの4変数が要求されるため、分光エネルギーの情報が必要となるのも、実用上は不便。
- d. CIEとの関係：明所視で L_{10} に、暗所視で L' そのものに収束するので、CIEシステムに結びついている。2°視野輝度とは関連がない。
- e. 生理的基盤：4変数は3つの錐体出力と桿体出力に対応させているが、双曲線関数のパラメータを決める式は生理的意味をもたない。
- f. 長所、短所：長所は明所視レベルで比較的データとの適合が良いこと。短所は計算過程多く複雑なこと、及び暗所視レベルでデータとの適合が悪いこと。

以上が10度視野システムの評価の概要である。これらを簡単にまとめると表6のようになる。データの適合度が良いのは、明所視レベルではNakano-Ikeda, Sagawa-Takeichi, Trezonaのシステムで、いずれもH-K効果を組込んだシステムである。薄明視中間のレベルではPalmer(1st, 2nd), Kokoschka-Bodmann, などが比較的良く、暗所視レベルではTreznaを除くすべてのシステムが比較的良いが、どのシステムも赤の色光にたいしては過大あるいは過小評価する。システムの簡便性ではPalmer(1st)が良く、その他ではSagawa-Takeichi, Kokoschka-Bodmannなども良い。生理的基盤に関しては、どのシステムもある程度は有しているが、その中でも特に Nakano-Ikedaのシステムが視覚や色覚の特性を積極的に導入している点で、優れているといえよう。CIEシステムと直接関連するものは、Palmer(1st), Kokoschka-Bodmann,

のシステムで、これは明所視で L_{10} に暗所視で L' に収束するという意味で理解しやすいが、逆に明所視でH-K効果を含まないという欠点ももつ。一方、入力に現行のCIEシステムを直接利用するものとして、Nakano-Ikeda, Sagawa-Takeichiのシステムがあげられ、実用的には使いやすい。

表6. 明るさ測光システム（10度視野）の評価のまとめ

測光システム	データとの適合性			簡便性	生理的基盤	CIEシステムとの関連
	Sagawa+Pino	佐川ら	芦澤ら			
Palmer(1st)	△	○	△	○	△	○
Palmer(2nd)	○	○	△	△	×	△
Kokoschka-Bodmann	○	○	△	×	△	○
Nakano-Ikeda	△	△	○	△	○	△
Sagawa-Takeichi	△	△	○	△	△	△
Trezona	×	×	△	×	△	○

○：比較的良い △：中程度 ×：比較的悪い

第6章 あとがき

本報告書は委員会終了後1年以上もの時間をかけてやっと完成した。これほどの時間を費やしたのも、ひとえに処理すべきデータが予想以上に多かったからである。この報告書では今回9つのデータセットを採用して、具体的に明るさ測光システムに適用してみた。どのデータセットも厳密かつ詳細な実験に基づく貴重なデータであり、そうした大切なデータを間違い無く整理し、そしてそれぞれの明るさ測光システムに正しく適用するのに、たいへんな時間と労力、そして細心の注意が要求された。例えば芦澤らのデータは36色の刺激について10レベルの等価明度、すなわち360個のデータが求められているが、それぞれについて分光分布から種々の測色値を求めたり、各測光システムに適用可能なデータにフォーマットしたり、さらにそれらを6つの10°視野各システムに適用したり、その適合の程度を示す残差を求めたりすると、データの処理過程は予想以上の膨大なものになってしまった。しかしともかくデータ処理は完了し、定量的な結果は得ることができた。データの処理もさることながら、そうしたデータを実際に実験で取得した各研究者の多大な努力に敬意を表するとともに、その貴重なデータを快く提供してくれたことに心から感謝の意を表したい。

委員会では時間の都合で、すべてのデータセットに対する討議は出来なかったが、データを適用する際のポイントその解釈などについて、各委員から貴重な意見を頂き本報告書の作成に大いに役立たせて頂いた。もちろん、これまでの明るさの測光システムに関する委員会の成果も無視するわけにはいかない。本委員会の成果はこれまでの幾つかの明るさに関する委員会の活動の上に成り立っている。序論にも述べたが、こうした明るさに関する委員会の流れをみると、明るさの測光システムは実用化に向けて確実に進んでいることがわかる。本報告はその具体化に向けての大きなそして着実な一歩であると理解する。各委員の御協力に心から感謝するとともに、最後に本報告書がたいへん遅れたことに対してお詫びしたい。

なお、本報告の一部は平成元年度照明学会全国大会シンポジウムにおいて発表された。また同年秋にウィーンで開かれた国際照明委員会第一部会において、同じ問題を取扱うTC1-21「測光システムの検討」にも提供され、そこで発表された。事後になってしまったが各委員の御了解頂きたい。

参考文献

1. 池田光男：視覚と視環境研究調査委員会報告-2'および10'の明るさ感覚の比視感度, 照学誌 66-9 (1982) 417-420.
2. 光の量の視感覚による評価体系研究調査委員会：委員会報告書, 照明学会 (1986).
3. 明るさ感覚研究調査委員会：等明るさ感照度比の定量化の試み, 照明学会 (1986).
4. CIE TC1.4: Light as a true visual quantity: Principles of measurement, CIE Pub. No.41, CIE Central Bureau (1978).
5. CIE TC1-01: Mesopic photometry: History, special problems and practical solutions, CIE Pub. No.81, CIE Central Bureau (1989)
6. CIE TC1-02: Spectral luminous efficiency functions based upon brightness matching for monochromatic point sources, 2' and 10' fields, CIE Pub. No.75, CIE Central Bureau (1988).
7. CIE TC1-03: Models of heterochromatic brightness matching, CIE Journal 5-2 (1986) 57-59.
8. CIE TC1-20: CIE 1988 2' spectral luminous efficiency function for photopic vision, CIE Pub. No.86, CIE Central Bureau (1990)
9. 池田淳、池田光男：明るさ分光感度の個人差定量化指数, 第48回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 3 (1987) 629.
10. 岡嶋、阿山、内川、池田：光源色モードと表面色モードにおける明るさ効率の比較, 光学 17 (1988) 582-592.
11. Ikeda, M., Huang, C.C. and Ashizawa, S.: Equivalent lightness of colored objects at illuminances from the scotopic to photopic level, Col. Res. Appl. 14 (1989) 198-206.
12. 武内、吉村、成定：ブライツネスとその計測, National Technical Report 33-3 (1987) 114-120.
13. Guth, S.L. and Lodge, H.R.: Heterochromatic additivity, foveal spectral sensitivity, and a new color model, J. Opt. Soc. Am. 63 (1973) 450-462.
14. Guth, S.L., Massof, R.W., and Benzsawel, T.: Vector model for normal and dichromatic color vision, J. Opt. Soc. Am. 70 (1980) 197-212.
15. Vos, J.J.: Colorimetric and photometric properties of a 2' fundamental observer, Col. Res. Appl. 3 (1978) 125-128.

16. 湯尻照：照度レベルによる表面色の明るさ知覚，照学誌 73 (1989) 295-302.
17. 矢口博久，池田光男：明るさ評価のための測光システム，光学 13 (1984) 140-145.
18. Yaguchi, H. and Ikeda, M.: Subadditivity and superadditivity in heterochromatic brightness matching, Vision Res. 23 (1983) 1711-1718.
19. Ware, C. and Cowan, W.: Specification of heterochromatic brightness matches: A conversion factor for calculating luminances of stimuli that are equal in brightness: NRC Publication No. 26055, National Research Council of Canada (1983).
20. Nakano, Y., Ikeda, M. and Kaiser, P. K.: Contributions of the opponent mechanisms to brightness and nonlinear models, Vision Res. 28 (1988) 799-810.
21. Palmer, D. A.: Standard observer for large-field photometry at any level, J. Opt. Soc. Am. 58 (1968) 1296-1299.
22. Palmer, D. A.: Report to CIE TC1.4, CIE TC1.4 Meeting in Berlin (1981)
23. Kokoschka, S. and Bodmann, H. W.: Ein konsistentes System zur mesopischen Strahlungsbewertung im gesamten Adaptationsbereich, Proc. CIE 18th Session (1975) 217-225.
24. 中野靖久，池田光男：薄明視における明るさ知覚モデル，光学 15 (1986) 295-302.
25. 中野靖久：明るさ知覚メカニズムの研究とその測光システムへの応用，東京工業大学博士論文 (1988).
26. Sagawa, K. and Takeichi, K.: Mesopic photometry system based on brightness perception, Proc. CIE 21st Session Vol.1 (1987) 34-37.
27. Sagawa, K. and Takeichi, K.: Mesopic spectral luminous efficiency functions: Final experimental report, J. Light Vis. Env. 11 (1987) 22-29.
28. Sagawa, K. and Takeichi, K.: Spectral luminous efficiency functions in the mesopic range, J. Opt. Soc. Am. A3 (1986) 71-75.
29. Trezona, P.: A system of general photometry designed to avoid assumptions, Proc. CIE 21st Session Vol.1 (1987) 30-33.
30. Trezona, P.: Luminance level conversions to assist lighting engineers use fundamental visual data, Lighting Res. Tech. 15

(1983) 83-88.

3 1. 芦澤, 池田, 中野: 照度レベルによる色布地の明るさ変化の実験と解析,
照学誌 69 (1985) 274-280.

3 2. Ikeda, M. and Nakano, Y.: Spectral luminous-efficiency functions
obtained by direct heterochromatic brightness matching for
point sources and for 2° and 10° fields, J. Opt. Soc. Am. A3 (1986)
2105-2108.

3 3. 佐藤雅子: 明所視における物体色の明るさ, 照学全大予稿 (1989) 132.

3 4. 朴大植, 辛甲, 陳遐挙: 中間視覚光譜光効率函数的測定, 計量学報 9
(1988) 81-87.

3 5. 佐川, 武市, 武内, 大崎, 堀井, 宮前: 薄明視における明るさの計測 (1)
—複合光の明るさと測光モデル—, 照学全大予稿集 (1988) 98.

(1988) 295-302.

S 1. Palmer, D.A.: Starboard observer for large-field photometry at any
level, J. Opt. Soc. Am. 58 (1988) 1298-1299.

S 2. Palmer, D.A.: Report to CIE TC1.4, CIE TC1.4 Meeting in Berlin (1981)

S 3. Kokoschka, S. and Bodmann, H.W.: Ein konsistentes System zur
mesopischen Strahlungsbewertung im gesamten Adaptationsbereich,
Proc. CIE 18th Session (1975) 217-225.

S 4. 中野強久, 池田光男: 薄明視における明るさ知覚モデル, 光学 15 (1988)

S 5. 中野強久: 明るさ知覚モデルの研究とその応用, 東京
工業大学博士論文 (1988).

S 6. Sazawa, K. and Takeichi, K.: Mesopic photometry system based on
brightness perception, Proc. CIE 21st Session Vol. I (1987) 34-37.

S 7. Sazawa, K. and Takeichi, K.: Mesopic spectral luminous efficiency
functions: final experimental report, J. Light Vis. Env. 11 (1987)

22-29.

S 8. Sazawa, K. and Takeichi, K.: Spectral luminous efficiency functions in
the mesopic range, J. Opt. Soc. Am. A3 (1988) 71-75.

S 9. Trezona, P.: A system of general photometry designed to avoid
assumptions, Proc. CIE 21st Session Vol. I (1987) 30-33.

S 10. Trezona, P.: Luminance level conversions to assist lighting
engineers use fundamental visual data, Lighting Res. Tech. 15

Led (cd/m ²)	F _x	F _y	F _z	F _z	F _x
(等価輝度)					
1.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
1.28E+01	-1.82E-02	1.02E+00	4.10E-03	1.02E+00	0.00E+00
2.51E+01	-1.14E-02	1.01E+00	2.17E-03	1.01E+00	0.00E+00
3.98E+01	-2.22E-03	1.01E+00	9.05E-04	1.01E+00	0.00E+00
6.31E+01	-1.42E-03	1.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
1.00E+02	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00
1.28E+01	-2.62E-01	1.22E+00	2.00E-02	1.10E-01	1.10E-01
2.51E+01	-2.30E-01	1.23E+00	4.72E-02	6.23E-02	6.23E-02
3.98E+01	-1.92E-01	1.21E+00	4.20E-02	3.64E-02	3.64E-02
6.31E+01	-1.21E-01	1.17E+00	3.68E-02	1.94E-02	1.94E-02
1.00E+02	-1.11E-01	1.12E+00	3.07E-02	1.00E-02	1.00E-02
1.28E+00	-8.00E-02	1.02E+00	2.82E-02	4.28E-03	4.28E-03
2.51E+00	-2.22E-02	1.07E+00	1.94E-02	1.73E-03	1.73E-03
3.98E+00	-4.42E-02	1.02E+00	1.42E-02	7.11E-04	7.11E-04
6.31E+00	-3.42E-02	1.04E+00	1.03E-02	3.00E-04	3.00E-04
1.00E+01	-2.62E-02	1.03E+00	6.72E-03	0.00E+00	0.00E+00
1.28E+01	-1.82E-02	1.02E+00	4.10E-03	0.00E+00	0.00E+00
2.51E+01	-1.14E-02	1.01E+00	2.17E-03	0.00E+00	0.00E+00
3.98E+01	-2.22E-03	1.01E+00	9.05E-04	0.00E+00	0.00E+00
6.31E+01	-1.42E-03	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.00E+02	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

付録

- 付表1. Kokoschka-Bodmann のシステムのF-係数。
- 付表2. Sagawa-Takeichiのシステムの順応係数。
- 付表3. Trezonaの輝度-網膜照度変換表。
- 付表4. 明るさマッチングデータと等価輝度データ。

- (a) $V_{b, z}(\lambda)$ データ
- (b) 湯尻12色票データ
- (c) 佐藤88色票データ
- (d) Sagawaらと朴らの分光視感効率データ
- (e) 佐川らの複合光20色データ
- (f) 芦澤らの36色布地データ

付表1: Kokoschka-Bodmann のシステムの F-係数

Leq (cd/m ²) (等価輝度)	Fx	Fy	Fz	Fs
1.00E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00
1.58E-05	-1.90E-03	6.49E-03	3.54E-04	9.96E-01
2.51E-05	-6.85E-03	2.37E-02	1.36E-03	9.85E-01
3.98E-05	-1.38E-02	4.83E-02	2.95E-03	9.69E-01
6.31E-05	-2.16E-02	7.69E-02	5.04E-03	9.50E-01
1.00E-04	-2.92E-02	1.06E-01	7.54E-03	9.30E-01
1.58E-04	-3.56E-02	1.33E-01	1.04E-02	9.11E-01
2.51E-04	-4.10E-02	1.58E-01	1.32E-02	8.92E-01
3.98E-04	-4.53E-02	1.80E-01	1.59E-02	8.75E-01
6.31E-04	-4.88E-02	2.01E-01	1.81E-02	8.58E-01
1.00E-03	-5.16E-02	2.21E-01	1.95E-02	8.42E-01
1.58E-03	-5.43E-02	2.41E-01	2.00E-02	8.25E-01
2.51E-03	-5.91E-02	2.69E-01	2.01E-02	8.03E-01
3.98E-03	-6.87E-02	3.13E-01	2.06E-02	7.72E-01
6.31E-03	-8.58E-02	3.80E-01	2.19E-02	7.26E-01
1.00E-02	-1.13E-01	4.79E-01	2.49E-02	6.61E-01
1.58E-02	-1.51E-01	6.14E-01	2.99E-02	5.73E-01
2.51E-02	-1.94E-01	7.70E-01	3.60E-02	4.71E-01
3.98E-02	-2.34E-01	9.27E-01	4.22E-02	3.64E-01
6.31E-02	-2.64E-01	1.07E+00	4.73E-02	2.63E-01
1.00E-01	-2.76E-01	1.17E+00	5.01E-02	1.75E-01
1.58E-01	-2.65E-01	1.22E+00	5.00E-02	1.10E-01
2.51E-01	-2.36E-01	1.23E+00	4.72E-02	6.53E-02
3.98E-01	-1.95E-01	1.21E+00	4.26E-02	3.64E-02
6.31E-01	-1.51E-01	1.17E+00	3.68E-02	1.94E-02
1.00E+00	-1.11E-01	1.13E+00	3.07E-02	1.00E-02
1.58E+00	-8.06E-02	1.09E+00	2.48E-02	4.58E-03
2.51E+00	-5.92E-02	1.07E+00	1.94E-02	1.73E-03
3.98E+00	-4.45E-02	1.05E+00	1.45E-02	7.11E-04
6.31E+00	-3.43E-02	1.04E+00	1.03E-02	3.00E-04
1.00E+01	-2.62E-02	1.03E+00	6.79E-03	0.00E+00
1.58E+01	-1.85E-02	1.02E+00	4.10E-03	0.00E+00
2.51E+01	-1.14E-02	1.01E+00	2.17E-03	0.00E+00
3.98E+01	-5.52E-03	1.01E+00	9.06E-04	0.00E+00
6.31E+01	-1.49E-03	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.00E+02	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

付表2: Sagawa-Takeichi のシステムの順応係数

Leq (log cd/m ²) (等価輝度)	2係数方式		1係数方式
	a1	a2	a
-3.18	1.00	1.00	1.00
-2.68	0.95	0.84	0.87
-2.17	0.85	0.65	0.71
-1.71	0.67	0.49	0.54
-1.30	0.45	0.35	0.38
-0.83	0.29	0.25	0.26
-0.31	0.16	0.12	0.13
0.28	0.03	0.05	0.05
0.84	0.00	0.00	0.00

付表3: Trezona の輝度-網膜照度 変換表

輝度 Luminance (log cd/m ²)	網膜照度 Retinal illuminance (log Td)	網膜照度 Retinal illuminance (log Td)	輝度 Luminance (log cd/m ²)
-8	-6.30	-8	-9.70
-7	-5.30	-7	-8.70
-6	-4.30	-6	-7.70
-5	-3.31	-5	-6.70
-4	-2.32	-4	-5.69
-3	-1.35	-3	-4.69
-2	-0.42	-2	-3.67
-1	0.47	-1	-2.63
0	1.29	0	-1.54
1	2.07	1	-0.36
2	2.85	2	0.91
3	3.69	3	2.18
4	4.59	4	3.35
5	5.54	5	4.43
6	6.52	6	5.47

Equivalent luminance of Vb,2

Equivalent Luminances by 2° systems
Data = Vb,2(λ)

*Data are in log cd/m²

Wavelength (nm)	Guth et al	Yaguchi-Ikeda	Ware-Cowan	Nakano et al	CIE Luminance
400	0.852	0.912	0.940	0.534	-0.317
410	0.858	0.923	0.808	0.592	-0.259
420	0.944	1.015	0.840	0.878	-0.027
430	0.946	1.044	0.953	1.116	0.276
440	0.922	1.049	0.980	1.229	0.453
450	0.904	1.049	1.008	1.290	0.591
460	0.902	1.045	0.930	1.323	0.690
470	0.917	1.043	0.958	1.255	0.730
480	0.943	1.045	0.996	1.175	0.794
490	0.983	1.067	1.039	1.123	0.869
500	0.980	1.049	1.040	1.077	0.891
510	0.943	1.023	0.985	1.074	0.873
520	0.935	1.019	0.998	1.114	0.883
530	0.911	0.995	0.988	1.081	0.877
540	0.918	1.001	0.969	1.056	0.901
550	0.909	0.989	0.921	1.009	0.909
560	0.943	1.016	0.927	1.003	0.959
570	0.972	1.031	0.954	1.020	0.991
580	0.964	1.013	0.967	1.039	0.991
590	0.945	1.008	0.974	1.056	0.950
600	0.947	1.016	0.992	1.067	0.911
610	0.948	1.015	0.993	1.088	0.863
620	0.939	1.002	0.977	1.109	0.812
630	0.922	0.981	0.951	1.127	0.765
640	0.923	0.980	0.945	1.170	0.744
650	0.923	0.978	0.941	1.213	0.731
660	0.897	0.951	0.912	1.220	0.697
670	0.882	0.935	0.895	1.225	0.677
680	0.899	0.952	0.911	1.254	0.692
690	0.884	0.937	0.896	1.251	0.675
700	0.873	0.926	0.886	1.256	0.664
710	0.903	0.956	0.916	1.286	0.694
720	0.880	0.933	0.893	1.263	0.671
730	0.897	0.950	0.912	1.282	0.690
mean	0.921	0.996	0.947	1.113	0.686
s.d.	0.033	0.044	0.051	0.174	0.320

Vb,2(λ) data

Vb,2(λ) data and Luminance Conversion [Appendix]

Wavelength (nm)	log Vb,2 (log cd/m ²)	L (log cd/m ²)	L-Judd (log cd/m ²)	Wavelength (nm)	Y(λ) ()
400	-2.06	-0.317	0.528	400	7.0000
410	-1.64	-0.259	0.531	410	6.1670
420	-1.35	-0.027	0.614	420	4.3750
430	-1.19	0.276	0.648	430	2.3530
440	-1.07	0.453	0.670	440	1.6480
450	-0.99	0.591	0.681	450	1.2320
460	-0.89	0.690	0.690	460	1.0000
470	-0.75	0.730	0.730	470	1.0000
480	-0.63	0.794	0.794	480	1.0000
490	-0.53	0.869	0.869	490	1.0000
500	-0.36	0.891	0.891	500	1.0000
510	-0.15	0.873	0.873	510	1.0000
520	-0.01	0.883	0.883	520	1.0000
530	0.08	0.877	0.877	530	1.0000
540	0.10	0.901	0.901	540	1.0000
550	0.11	0.909	0.909	550	1.0000
560	0.06	0.959	0.959	560	1.0000
570	0.00	1.000	1.000	570	1.0000
580	-0.03	0.991	0.991	580	1.0000
590	-0.05	0.950	0.950	590	1.0000
600	-0.09	0.911	0.911	600	1.0000
610	-0.14	0.863	0.863	610	1.0000
620	-0.21	0.812	0.812	620	1.0000
630	-0.32	0.765	0.765	630	1.0000
640	-0.48	0.744	0.744	640	1.0000
650	-0.68	0.731	0.731	650	1.0000
660	-0.89	0.697	0.697	660	1.0000
670	-1.15	0.677	0.677	670	1.0000
680	-1.44	0.692	0.692	680	1.0000
690	-1.74	0.675	0.675	690	1.0000
700	-2.03	0.664	0.664	700	1.0000
710	-2.35	0.694	0.694	710	1.0000
720	-2.65	0.671	0.671	720	1.0000
730	-2.97	0.690	0.690	730	1.0000

Brightness Matching Data of Yujiri's 12 Color Chips In 3 photopic levels

Test Color Chips	Equivalent Lightness Data (matched value scale)						Illuminance condition (lx) (For a constant luminance level)					
	level 1		level 2		level 3		level 1		level 2		level 3	
	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²
1 R	(4.61R4.23)	4.88	5.05	5.18	303.6	1095.26	1742.62					
2 Y70R	(9.92R6.02)	5.95	6.00	6.08	117.66	382.45	608.89					
3 Y30R	(6.45YR7.17)	6.98	6.95	7.05	72.87	150.13	377.63					
4 Y	(4.52Y8.44)	8.25	8.28	8.23	51.58	182.48	272.45					
5 G70Y	(2.18GY7.13)	7.28	7.25	7.25	78.07	275.68	435.61					
6 G30Y	(8.17GY8.92)	6.18	6.20	6.28	95.74	342.87	501.09					
7 G	(4.20G5.05)	5.48	5.45	5.45	142.12	445.02	710.22					
8 B70G	(4.17BG5.08)	5.45	5.45	5.50	153.64	505.69	764.34					
9 B30G	(0.56B5.10)	5.40	5.50	5.45	165.37	564.25	789.24					
10 B	(9.53B5.06)	5.48	5.53	5.55	179.42	618.34	918.35					
11 R70B	(8.00PB3.61)	4.33	4.47	4.50	387.04	1541.6	1741.68					
12 R30B	(4.93RP4.54)	5.03	5.33	5.35	210.78	818.05	1183.71					

Test Color Chips	Luminance data in matching (cd/m ²) (Test Color Chips)						Luminance data in matching (cd/m ²) (Reference Gray Scales)					
	level 1		level 2		level 3		level 1		level 2		level 3	
	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²	10.2 cd/m ²	41.0 cd/m ²
1 R	(4.61R4.23)	14.48	52.24	83.11	16.85	65.68	110.76					
2 Y70R	(9.92R6.02)	12.22	39.72	63.24	10.33	34.24	56.25					
3 Y30R	(6.45YR7.17)	11.10	22.87	57.53	9.39	19.14	49.84					
4 Y	(4.52Y8.44)	11.34	40.12	59.91	10.05	35.89	52.77					
5 G70Y	(2.18GY7.13)	11.33	40.03	63.25	11.15	38.97	61.57					
6 G30Y	(8.17GY8.92)	8.76	31.37	45.84	9.19	33.18	50.00					
7 G	(4.20G5.05)	8.80	27.56	43.98	10.29	31.80	50.75					
8 B70G	(4.17BG5.08)	9.52	31.33	47.35	10.98	36.13	55.79					
9 B30G	(0.56B5.10)	10.30	35.14	49.15	11.57	41.18	56.40					
10 B	(9.53B5.06)	10.88	37.48	55.67	12.99	45.71	68.45					
11 R70B	(8.00PB3.61)	11.40	45.42	51.31	16.46	70.31	80.62					
12 R30B	(4.93RP4.54)	11.38	44.17	63.92	12.53	55.52	81.04					

Colorimetric data of Yujiri's 12 color chips

Test Color Chips	X	Y	X'	Y'	Y'	L-Judd/L
1 R	0.593	0.316	0.593	0.321	14.945	1.002
2 Y70R	0.562	0.373	0.563	0.377	32.520	1.001
3 Y30R	0.531	0.423	0.532	0.427	47.683	1.000
4 Y	0.477	0.471	0.479	0.476	68.815	1.000
5 G70Y	0.429	0.504	0.432	0.510	45.449	1.000
6 G30Y	0.348	0.561	0.353	0.570	28.635	1.000
7 G	0.247	0.483	0.253	0.498	19.404	1.001
8 B70G	0.204	0.379	0.210	0.397	19.444	1.003
9 B30G	0.198	0.319	0.203	0.336	19.586	1.005
10 B	0.186	0.246	0.192	0.262	19.150	1.010
11 R70B	0.232	0.196	0.238	0.208	9.361	1.016
12 R30B	0.469	0.266	0.473	0.273	16.993	1.006
Reference Gray (N6)	0.346	0.351	0.352	0.361	100.000	1.004

Edisiyaher mampunusa el Anjila 15 copu chipa lu 3 biyobibic jawa (5. 1919)
 Copu * Adjila 15 copu chipa lu 3 biyobibic jawa (5. 1919)
 * Copu chipa lu 3 biyobibic jawa (5. 1919)

Equivalent luminances of Yujiri's 12 color chips in 3 photopic levels (2° field)
 Data = Yujiri's 12 color chips in 3 photopic levels (2° field)
 *Leq data are in log cd/m2

Test Colors	Gulh et al		Yaguchi-Keda		Ware-Cowan		Nakano et al		CIE	
	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]
Level 1 (61.5 cd/m2)										
1 R	2.018	1.976	2.063	2.042	2.022	1.979	2.046	2.126	2.044	1.920
2 Y70R	1.724	1.808	1.769	1.873	1.728	1.818	1.752	1.967	1.750	1.801
3 Y30R	1.671	1.743	1.716	1.800	1.676	1.745	1.700	1.902	1.698	1.760
4 Y	1.696	1.748	1.741	1.792	1.700	1.726	1.724	1.880	1.722	1.777
5 G70Y	1.763	1.773	1.808	1.828	1.767	1.732	1.791	1.873	1.789	1.801
6 G30Y	1.673	1.646	1.710	1.717	1.677	1.591	1.701	1.745	1.699	1.661
7 G	1.679	1.648	1.724	1.722	1.683	1.605	1.707	1.716	1.705	1.643
8 B70G	1.720	1.692	1.765	1.764	1.725	1.700	1.749	1.771	1.747	1.675
9 B30G	1.725	1.709	1.770	1.788	1.729	1.751	1.753	1.805	1.751	1.692
10 B	1.809	1.769	1.854	1.856	1.813	1.852	1.837	1.897	1.835	1.746
11 R70B	1.880	1.703	1.925	1.786	1.894	1.828	1.908	1.822	1.906	1.710
12 R30B	1.882	1.825	1.927	1.882	1.887	1.837	1.911	1.920	1.909	1.806
Level 2 (41.0 cd/m2)										
1 R	1.791	1.774	1.836	1.840	1.795	1.777	1.819	1.924	1.817	1.718
2 Y70R	1.508	1.606	1.553	1.671	1.513	1.616	1.537	1.765	1.535	1.599
3 Y30R	1.256	1.342	1.301	1.399	1.260	1.344	1.284	1.501	1.282	1.359
4 Y	1.529	1.574	1.574	1.618	1.533	1.552	1.557	1.706	1.555	1.603
5 G70Y	1.564	1.574	1.609	1.629	1.569	1.533	1.593	1.674	1.591	1.602
6 G30Y	1.495	1.482	1.540	1.553	1.499	1.427	1.523	1.581	1.521	1.497
7 G	1.476	1.445	1.521	1.519	1.480	1.402	1.504	1.513	1.502	1.440
8 B70G	1.532	1.512	1.577	1.584	1.536	1.521	1.560	1.592	1.558	1.496
9 B30G	1.588	1.563	1.633	1.642	1.593	1.605	1.617	1.659	1.615	1.546
10 B	1.634	1.597	1.679	1.684	1.638	1.680	1.662	1.725	1.660	1.574
11 R70B	1.821	1.650	1.866	1.733	1.825	1.775	1.849	1.769	1.847	1.657
12 R30B	1.718	1.665	1.763	1.722	1.722	1.676	1.746	1.759	1.744	1.645
Level 3 (10.2 cd/m2)										
1 R	1.200	1.217	1.245	1.283	1.205	1.220	1.229	1.367	1.227	1.161
2 Y70R	0.988	1.095	1.033	1.160	0.992	1.104	1.016	1.253	1.014	1.087
3 Y30R	0.946	1.028	0.991	1.085	0.950	1.030	0.974	1.187	0.972	1.045
4 Y	0.976	1.026	1.021	1.070	0.980	1.004	1.004	1.158	1.002	1.055
5 G70Y	1.021	1.026	1.066	1.081	1.025	0.985	1.049	1.126	1.047	1.054
6 G30Y	0.937	0.927	0.982	0.998	0.942	0.872	0.966	1.026	0.964	0.942
7 G	0.986	0.949	1.031	1.023	0.990	0.907	1.014	1.018	1.012	0.945
8 B70G	1.014	0.995	1.059	1.067	1.019	1.004	1.043	1.075	1.041	0.979
9 B30G	1.037	1.030	1.082	1.109	1.041	1.072	1.065	1.126	1.063	1.013
10 B	1.087	1.059	1.132	1.146	1.091	1.143	1.115	1.188	1.113	1.037
11 R70B	1.190	1.050	1.235	1.133	1.194	1.175	1.218	1.169	1.216	1.057
12 R30B	1.072	1.076	1.117	1.133	1.076	1.087	1.100	1.170	1.098	1.056

Test Color No.	Y	Yn	Y/Yn	Yn (log cm/m²)	Y (log cm/m²)
801	1.304	38.73	38.05	1.588	1.579
802	1.287	38.84	38.38	1.594	1.584
803	1.252	37.36	36.97	1.572	1.563
804	1.282	38.93	38.80	1.590	1.581
805	1.300	38.79	38.80	1.587	1.581
806	1.212	38.30	38.94	1.583	1.571
807	1.248	38.78	38.82	1.591	1.580
808	1.247	38.58	38.52	1.588	1.578
809	1.252	38.81	38.82	1.592	1.582
810	1.174	38.88	38.82	1.591	1.579
811	1.202	38.40	38.40	1.588	1.578
812	1.212	38.74	38.43	1.590	1.574
813	1.238	38.81	38.81	1.592	1.584
814	1.224	37.38	38.81	1.588	1.576
815	1.182	38.32	38.32	1.584	1.574
816	1.184	38.42	38.81	1.588	1.578
817	1.147	38.82	38.82	1.588	1.578
818	1.148	38.84	38.84	1.594	1.584
819	1.108	38.02	38.02	1.582	1.572
820	1.174	38.37	38.82	1.585	1.575
821	1.183	38.32	38.32	1.583	1.573
822	1.177	38.14	38.14	1.584	1.574
823	1.181	37.82	38.82	1.587	1.577
824	1.184	38.81	38.81	1.594	1.584
825	1.181	38.32	38.32	1.587	1.577
826	1.184	38.13	38.13	1.584	1.574
827	1.178	38.18	38.18	1.584	1.574
828	1.188	38.30	38.30	1.588	1.578
829	1.221	38.84	38.84	1.598	1.588
830	1.200	38.38	38.38	1.584	1.574
831	1.207	38.42	38.42	1.587	1.577
832	1.187	38.42	38.42	1.584	1.574
833	1.202	38.48	38.48	1.588	1.578
834	1.184	38.44	38.44	1.584	1.574
835	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
836	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
837	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
838	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
839	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
840	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
841	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
842	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
843	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
844	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
845	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
846	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
847	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
848	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
849	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
850	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
851	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
852	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
853	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
854	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
855	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
856	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
857	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
858	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
859	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
860	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
861	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
862	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
863	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
864	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
865	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
866	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
867	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
868	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
869	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
870	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
871	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
872	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
873	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
874	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
875	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
876	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
877	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
878	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
879	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
880	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
881	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
882	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
883	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
884	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
885	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
886	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
887	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
888	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574
889	1.187	38.44	38.44	1.587	1.577
890	1.183	38.44	38.44	1.584	1.574

(c) 佐藤88色票データ

Brightness matching data of Sato's 88 color chips
Illuminance = 455 lx

Test Color No.	Yn/Y (Ave.13 subs)	Y	Yn	L: Test (log cd/m ²)	L: Reference (log cd/m ²)
601	1.204	30.02	36.13	1.638	1.719
602	1.287	28.38	36.54	1.614	1.724
603	1.322	28.27	37.36	1.612	1.733
604	1.352	28.80	38.93	1.620	1.751
605	1.300	30.60	39.79	1.647	1.761
606	1.212	29.94	36.30	1.637	1.721
607	1.346	29.52	39.75	1.631	1.760
608	1.247	29.32	36.56	1.628	1.724
609	1.295	29.61	38.35	1.632	1.745
610	1.174	29.55	34.68	1.631	1.701
611	1.203	29.40	35.38	1.629	1.710
612	1.215	29.43	35.74	1.630	1.714
613	1.236	29.61	36.61	1.632	1.724
614	1.224	30.51	37.35	1.645	1.733
615	1.182	30.22	35.72	1.641	1.714
616	1.184	30.81	36.47	1.650	1.723
617	1.147	29.63	33.98	1.633	1.692
618	1.149	30.41	34.94	1.644	1.704
619	1.159	31.09	36.02	1.653	1.717
620	1.174	30.98	36.37	1.652	1.722
621	1.163	30.32	35.26	1.643	1.708
622	1.177	31.14	36.66	1.654	1.725
623	1.161	32.35	37.56	1.671	1.736
624	1.154	32.81	37.88	1.677	1.739
625	1.161	29.25	33.95	1.627	1.692
626	1.164	30.13	35.08	1.640	1.706
627	1.176	31.16	36.65	1.654	1.725
628	1.169	32.50	38.00	1.673	1.741
629	1.221	30.84	37.66	1.650	1.737
630	1.209	29.76	35.99	1.634	1.717
631	1.177	30.63	36.06	1.647	1.718
632	1.237	29.43	36.39	1.630	1.722
633	1.187	29.43	34.95	1.630	1.704
634	1.205	29.68	35.75	1.633	1.714
635	1.206	29.88	36.04	1.636	1.718
636	1.233	29.42	36.27	1.630	1.720
637	1.247	29.22	36.44	1.627	1.722
638	1.189	29.52	35.10	1.631	1.706
639	1.212	29.68	35.96	1.633	1.717
640	1.237	28.99	35.87	1.623	1.716
641	1.250	29.02	36.28	1.624	1.721
642	1.276	28.68	36.60	1.618	1.724
643	1.181	29.37	34.68	1.629	1.701
644	1.205	29.30	35.31	1.628	1.709
645	1.242	29.29	36.38	1.628	1.722
646	1.276	28.69	36.61	1.619	1.724
647	1.274	28.76	36.64	1.620	1.725
648	1.156	31.63	36.58	1.661	1.724
649	1.196	29.52	35.29	1.631	1.709
650	1.227	29.28	35.92	1.627	1.716
651	1.239	29.10	36.05	1.625	1.718
652	1.266	28.58	36.17	1.617	1.719
653	1.194	29.52	35.24	1.631	1.708
654	1.234	29.12	35.93	1.625	1.716
655	1.261	29.09	36.69	1.625	1.725
656	1.299	28.65	37.22	1.618	1.732
657	1.269	29.42	37.32	1.630	1.733
658	1.344	29.03	39.01	1.624	1.752
659	1.159	31.13	36.07	1.654	1.718
660	1.216	30.32	36.86	1.643	1.727
661	1.291	28.62	36.94	1.618	1.728
662	1.308	28.98	37.92	1.623	1.740
663	1.336	29.39	39.26	1.629	1.755
664	1.348	29.15	39.31	1.626	1.755
665	1.216	30.10	36.61	1.639	1.724
667	1.134	31.27	35.45	1.656	1.710
668	1.126	31.46	35.42	1.659	1.710
669	1.126	31.35	35.29	1.657	1.708
670	1.126	31.17	35.10	1.655	1.706
671	1.126	31.48	35.44	1.659	1.710
672	1.129	31.41	35.47	1.658	1.711
673	1.130	31.32	35.40	1.657	1.710
674	1.137	31.27	35.56	1.656	1.712
675	1.136	31.48	35.76	1.659	1.714
676	1.136	31.33	35.59	1.657	1.712
677	1.124	30.81	34.63	1.650	1.700
678	1.145	29.33	33.59	1.628	1.687
679	1.146	29.56	33.88	1.632	1.691
680	1.132	30.90	34.98	1.651	1.705
681	1.161	29.71	34.50	1.634	1.699
682	1.167	29.77	34.73	1.635	1.702
683	1.126	31.39	35.36	1.658	1.709
684	1.121	31.44	35.24	1.658	1.708
685	1.138	31.46	35.80	1.659	1.715
686	1.137	29.41	33.45	1.629	1.685
687	1.124	29.44	33.10	1.630	1.681
688	1.138	29.43	33.48	1.630	1.686
689	1.130	29.67	33.53	1.633	1.686

* Y = Y value of test color chip
* Yn = Y value of reference gray scale

Colorimetric data of Sato's 88 color chips

Test Color (No.)	x	y	Y	x'	y'	Y	L-Judd/L
601	0.344	0.329	30.02	0.350	0.339	29.99	1.0054
602	0.417	0.350	28.38	0.421	0.358	28.30	1.0036
603	0.452	0.355	28.27	0.456	0.362	28.17	1.0029
604	0.488	0.360	28.80	0.491	0.366	28.68	1.0023
605	0.507	0.365	30.60	0.509	0.370	30.47	1.0019
606	0.384	0.342	29.94	0.389	0.351	29.88	1.0043
607	0.528	0.387	29.52	0.529	0.391	29.37	1.0012
608	0.427	0.376	29.32	0.431	0.384	29.21	1.0027
609	0.492	0.402	29.61	0.494	0.407	29.46	1.0014
610	0.350	0.350	29.55	0.355	0.360	29.50	1.0046
611	0.392	0.385	29.40	0.396	0.394	29.30	1.0030
612	0.419	0.404	29.43	0.423	0.412	29.31	1.0022
613	0.451	0.426	29.61	0.454	0.432	29.46	1.0014
614	0.465	0.438	30.51	0.467	0.443	30.35	1.0011
615	0.380	0.400	30.22	0.384	0.409	30.12	1.0028
616	0.435	0.465	30.81	0.437	0.470	30.65	1.0010
617	0.342	0.367	29.63	0.347	0.377	29.56	1.0041
618	0.368	0.410	30.41	0.372	0.418	30.30	1.0027
619	0.394	0.455	31.09	0.397	0.462	30.95	1.0016
620	0.404	0.488	30.98	0.406	0.493	30.82	1.0010
621	0.347	0.414	30.32	0.352	0.424	30.21	1.0029
622	0.360	0.463	31.14	0.364	0.471	31.00	1.0018
623	0.368	0.520	32.35	0.370	0.526	32.18	1.0010
624	0.342	0.506	32.81	0.345	0.513	32.64	1.0014
625	0.316	0.356	29.25	0.322	0.368	29.20	1.0048
626	0.314	0.391	30.13	0.320	0.402	30.05	1.0038
627	0.317	0.433	31.16	0.321	0.444	31.05	1.0028
628	0.313	0.468	32.50	0.317	0.477	32.36	1.0022
629	0.316	0.514	30.84	0.320	0.523	30.68	1.0013
630	0.292	0.408	29.76	0.297	0.420	29.68	1.0035
631	0.282	0.444	30.63	0.287	0.456	30.51	1.0025
632	0.272	0.410	29.43	0.277	0.423	29.35	1.0035
633	0.297	0.333	29.43	0.303	0.345	29.41	1.0058
634	0.281	0.349	29.68	0.286	0.362	29.65	1.0053
635	0.264	0.358	29.88	0.270	0.372	29.84	1.0049
636	0.253	0.372	29.42	0.259	0.386	29.35	1.0043
637	0.237	0.329	29.22	0.243	0.344	29.20	1.0056
638	0.287	0.312	29.52	0.293	0.324	29.53	1.0068
639	0.263	0.307	29.68	0.270	0.321	29.70	1.0071
640	0.244	0.299	28.98	0.250	0.313	29.01	1.0073
641	0.233	0.292	29.02	0.239	0.307	29.05	1.0073
642	0.226	0.261	28.68	0.232	0.276	28.77	1.0094
643	0.290	0.300	29.37	0.296	0.312	29.40	1.0074
644	0.266	0.280	29.30	0.272	0.293	29.36	1.0087
645	0.245	0.259	29.29	0.251	0.272	29.40	1.0102
646	0.225	0.236	28.69	0.232	0.251	28.84	1.0117
647	0.240	0.231	28.76	0.246	0.244	28.93	1.0125
648	0.301	0.295	31.63	0.307	0.306	31.67	1.0075
649	0.291	0.273	29.52	0.297	0.285	29.59	1.0089
650	0.280	0.251	29.28	0.286	0.263	29.40	1.0106
651	0.269	0.235	29.10	0.275	0.248	29.26	1.0120
652	0.286	0.240	28.58	0.292	0.251	28.73	1.0115
653	0.321	0.306	29.52	0.327	0.318	29.53	1.0067
654	0.325	0.285	29.12	0.331	0.296	29.15	1.0077
655	0.329	0.270	29.09	0.336	0.250	29.16	1.0085
656	0.339	0.261	28.65	0.345	0.271	28.73	1.0090
657	0.359	0.290	29.42	0.365	0.300	29.43	1.0069
658	0.389	0.273	29.03	0.395	0.283	29.05	1.0072
659	0.332	0.313	31.13	0.338	0.324	31.12	1.0062
660	0.358	0.310	30.32	0.363	0.321	30.31	1.0059
661	0.378	0.309	28.62	0.383	0.318	28.60	1.0057
662	0.400	0.307	28.98	0.405	0.316	28.96	1.0054
663	0.426	0.305	29.39	0.431	0.313	29.35	1.0050
664	0.450	0.323	29.15	0.454	0.331	29.08	1.0040
665	0.375	0.330	30.10	0.380	0.339	30.06	1.0049
666	0.318	0.318	31.27	0.324	0.329	31.26	1.0062
667	0.321	0.325	31.46	0.326	0.336	31.45	1.0059
668	0.319	0.327	31.35	0.325	0.338	31.33	1.0058
669	0.316	0.327	31.17	0.322	0.338	31.15	1.0059
670	0.313	0.326	31.48	0.318	0.337	31.47	1.0060
671	0.307	0.318	31.41	0.313	0.329	31.41	1.0064
672	0.307	0.314	31.32	0.313	0.326	31.32	1.0065
673	0.307	0.314	31.32	0.313	0.326	31.32	1.0065
674	0.308	0.312	31.27	0.314	0.323	31.28	1.0066
675	0.313	0.313	31.48	0.319	0.324	31.49	1.0065
676	0.316	0.315	31.33	0.322	0.327	31.32	1.0064
677	0.327	0.345	30.81	0.332	0.356	30.77	1.0051
678	0.348	0.392	29.33	0.353	0.402	29.24	1.0034
679	0.331	0.364	29.56	0.336	0.375	29.50	1.0044
680	0.318	0.340	30.90	0.324	0.352	30.87	1.0053
681	0.324	0.377	29.71	0.329	0.388	29.64	1.0040
682	0.312	0.368	29.77	0.318	0.379	29.72	1.0044
683	0.316	0.330	31.39	0.322	0.342	31.37	1.0057
684	0.314	0.327	31.44	0.319	0.339	31.43	1.0059
685	0.314	0.314	31.46	0.320	0.325	31.46	1.0065
686	0.314	0.317	29.41	0.320	0.328	29.41	1.0063
687	0.313	0.318	29.44	0.319	0.329	29.44	1.0063
688	0.312	0.317	29.43	0.318	0.328	29.43	1.0064
689	0.311	0.316	29.67	0.317	0.327	29.67	1.0064
Reference (perfect diffuser)	0.312	0.317	100	0.318	0.328	100	1.0064

*** Equivalent Luminance of Saio's 88 Color Chips by the 2nd systems ***

Data are in log cd/m²

Test Color No	Guth et al		Yaguchi-Ikeda		Ware-Cowan		Nakano et al		CIE	
	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]	[Reference]	[Test]
601	1.696	1.612	1.750	1.655	1.726	1.629	1.724	1.649	1.719	1.638
602	1.701	1.588	1.755	1.627	1.731	1.584	1.729	1.649	1.724	1.614
603	1.711	1.591	1.765	1.639	1.741	1.584	1.739	1.666	1.733	1.612
604	1.729	1.607	1.783	1.662	1.759	1.599	1.757	1.701	1.751	1.620
605	1.738	1.637	1.792	1.695	1.768	1.631	1.766	1.744	1.761	1.647
606	1.698	1.610	1.752	1.643	1.728	1.613	1.726	1.659	1.721	1.637
607	1.738	1.622	1.792	1.681	1.768	1.620	1.766	1.757	1.760	1.631
608	1.701	1.601	1.755	1.641	1.731	1.585	1.729	1.663	1.724	1.628
609	1.722	1.611	1.776	1.663	1.752	1.597	1.750	1.722	1.745	1.632
610	1.678	1.605	1.732	1.648	1.708	1.608	1.706	1.636	1.701	1.631
611	1.687	1.601	1.741	1.644	1.717	1.581	1.715	1.644	1.710	1.629
612	1.691	1.601	1.746	1.642	1.722	1.574	1.720	1.660	1.714	1.630
613	1.702	1.604	1.756	1.645	1.732	1.576	1.730	1.691	1.724	1.632
614	1.711	1.617	1.765	1.661	1.741	1.591	1.739	1.722	1.733	1.645
615	1.691	1.614	1.745	1.662	1.721	1.587	1.719	1.649	1.714	1.641
616	1.700	1.621	1.754	1.669	1.730	1.582	1.728	1.709	1.723	1.650
617	1.670	1.608	1.724	1.657	1.700	1.601	1.698	1.630	1.692	1.633
618	1.682	1.618	1.736	1.670	1.712	1.587	1.710	1.645	1.704	1.644
619	1.695	1.627	1.749	1.682	1.725	1.581	1.723	1.675	1.717	1.654
620	1.699	1.625	1.753	1.683	1.729	1.576	1.727	1.694	1.722	1.652
621	1.686	1.620	1.740	1.677	1.716	1.587	1.714	1.634	1.708	1.643
622	1.702	1.632	1.757	1.694	1.732	1.581	1.731	1.663	1.725	1.654
623	1.713	1.650	1.767	1.717	1.743	1.594	1.741	1.720	1.736	1.671
624	1.717	1.660	1.771	1.728	1.747	1.601	1.745	1.721	1.739	1.677
625	1.669	1.606	1.723	1.658	1.699	1.609	1.697	1.627	1.692	1.627
626	1.683	1.622	1.737	1.680	1.713	1.604	1.712	1.649	1.706	1.640
627	1.702	1.639	1.756	1.703	1.732	1.600	1.731	1.674	1.725	1.655
628	1.718	1.660	1.772	1.728	1.748	1.609	1.746	1.707	1.741	1.673
629	1.714	1.639	1.768	1.710	1.744	1.579	1.742	1.707	1.737	1.650
630	1.695	1.623	1.749	1.687	1.725	1.599	1.723	1.664	1.717	1.635
631	1.695	1.640	1.749	1.709	1.725	1.602	1.723	1.691	1.718	1.647
632	1.699	1.624	1.753	1.690	1.729	1.602	1.727	1.675	1.722	1.630
633	1.682	1.612	1.736	1.670	1.712	1.632	1.710	1.646	1.704	1.630
634	1.692	1.621	1.746	1.683	1.722	1.633	1.720	1.666	1.714	1.633
635	1.695	1.629	1.749	1.695	1.725	1.638	1.723	1.684	1.718	1.636
636	1.698	1.627	1.752	1.694	1.728	1.630	1.726	1.687	1.720	1.630
637	1.700	1.627	1.754	1.700	1.730	1.658	1.728	1.701	1.723	1.627
638	1.684	1.614	1.738	1.676	1.714	1.650	1.712	1.657	1.706	1.631
639	1.694	1.623	1.748	1.691	1.724	1.665	1.722	1.684	1.717	1.633
640	1.693	1.619	1.747	1.692	1.723	1.669	1.721	1.696	1.716	1.623
641	1.698	1.624	1.752	1.700	1.728	1.679	1.726	1.709	1.721	1.624
642	1.702	1.620	1.756	1.699	1.732	1.696	1.730	1.719	1.724	1.618
643	1.678	1.610	1.732	1.671	1.708	1.655	1.706	1.651	1.701	1.629

Saio/Leq Data

644	1.686	1.614	1.740	1.683	1.716	1.676	1.714	1.678	1.709	1.628
645	1.699	1.620	1.753	1.695	1.729	1.698	1.727	1.706	1.722	1.628
646	1.702	1.619	1.756	1.700	1.732	1.712	1.730	1.727	1.725	1.619
647	1.702	1.612	1.756	1.690	1.732	1.711	1.730	1.710	1.725	1.620
648	1.701	1.639	1.756	1.697	1.732	1.686	1.730	1.674	1.724	1.661
649	1.686	1.610	1.740	1.670	1.716	1.675	1.714	1.654	1.709	1.631
650	1.694	1.608	1.748	1.672	1.724	1.691	1.722	1.663	1.716	1.627
651	1.695	1.607	1.749	1.675	1.725	1.703	1.723	1.676	1.718	1.625
652	1.697	1.595	1.751	1.656	1.727	1.686	1.725	1.661	1.719	1.617
653	1.685	1.606	1.739	1.657	1.715	1.642	1.713	1.645	1.708	1.631
654	1.694	1.599	1.748	1.647	1.724	1.650	1.722	1.652	1.716	1.625
655	1.703	1.599	1.757	1.644	1.733	1.659	1.731	1.664	1.726	1.625
656	1.709	1.593	1.763	1.634	1.739	1.657	1.737	1.668	1.732	1.618
657	1.710	1.603	1.763	1.641	1.740	1.643	1.738	1.667	1.733	1.630
658	1.729	1.605	1.784	1.653	1.759	1.646	1.758	1.686	1.752	1.624
659	1.695	1.628	1.750	1.675	1.726	1.658	1.724	1.668	1.718	1.654
660	1.705	1.616	1.759	1.653	1.735	1.642	1.733	1.668	1.727	1.643
661	1.706	1.591	1.760	1.626	1.736	1.615	1.734	1.652	1.728	1.618
662	1.717	1.600	1.771	1.639	1.747	1.620	1.745	1.668	1.740	1.623
663	1.732	1.612	1.786	1.656	1.762	1.628	1.760	1.688	1.755	1.629
664	1.733	1.611	1.787	1.660	1.763	1.614	1.761	1.688	1.755	1.626
665	1.702	1.612	1.756	1.643	1.732	1.624	1.730	1.662	1.725	1.639
666	1.688	1.632	1.742	1.685	1.718	1.660	1.716	1.663	1.711	1.656
667	1.688	1.635	1.742	1.686	1.718	1.658	1.716	1.663	1.710	1.659
668	1.686	1.634	1.740	1.686	1.716	1.656	1.714	1.660	1.709	1.657
669	1.684	1.632	1.738	1.685	1.714	1.654	1.712	1.657	1.706	1.655
670	1.688	1.637	1.742	1.691	1.718	1.660	1.716	1.660	1.710	1.659
671	1.688	1.637	1.742	1.691	1.718	1.660	1.716	1.663	1.711	1.658
672	1.688	1.636	1.742	1.692	1.718	1.666	1.716	1.666	1.710	1.657
673	1.687	1.635	1.741	1.691	1.717	1.667	1.715	1.662	1.712	1.656
674	1.689	1.634	1.743	1.689	1.719	1.668	1.717	1.662	1.714	1.659
675	1.692	1.636	1.746	1.690	1.722	1.668	1.720	1.667	1.712	1.657
676	1.690	1.634	1.744	1.686	1.720	1.664	1.718	1.664	1.712	1.657
677	1.678	1.626	1.732	1.676	1.708	1.635	1.706	1.648	1.700	1.650
678	1.664	1.604	1.719	1.657	1.694	1.582	1.693	1.622	1.687	1.628
679	1.668	1.609	1.722	1.659	1.698	1.605	1.696	1.625	1.691	1.632
680	1.682	1.629	1.736	1.681	1.712	1.641	1.710	1.648	1.705	1.651
681	1.676	1.613	1.730	1.668	1.706	1.601	1.704	1.631	1.699	1.634
682	1.679	1.615	1.733	1.670	1.709	1.611	1.707	1.640	1.702	1.635
683	1.687	1.635	1.741	1.688	1.717	1.655	1.715	1.658	1.709	1.658
684	1.685	1.636	1.739	1.690	1.715	1.658	1.713	1.659	1.708	1.658
685	1.692	1.636	1.746	1.689	1.722	1.667	1.720	1.666	1.715	1.659
686	1.663	1.606	1.717	1.660	1.693	1.636	1.691	1.635	1.685	1.629
687	1.658	1.607	1.712	1.661	1.688	1.636	1.686	1.635	1.681	1.630
688	1.663	1.607	1.717	1.661	1.693	1.637	1.691	1.635	1.686	1.630
689	1.664	1.611	1.718	1.665	1.694	1.641	1.692	1.639	1.686	1.633

Spectral Luminous Efficiency Functions of Sagawa/Plao's 50 Subjects Data

Wavelength (nm)	SP50/100Td	SP50/30Td	SP50/10Td	SP50/3Td	SP50/1Td	SP50/0.3Td	SP50/0.1Td	SP50/0.03Td	SP50/0.01Td
400	0.194	0.630	1.064	1.528	1.946	2.412	2.874	3.304	3.841
410	0.593	1.019	1.531	2.037	2.509	2.985	3.500	3.937	4.459
420	0.855	1.302	1.858	2.394	2.904	3.400	3.921	4.382	4.895
430	1.061	1.531	2.090	2.656	3.184	3.703	4.222	4.690	5.215
440	1.218	1.712	2.270	2.843	3.368	3.884	4.434	4.915	5.439
450	1.311	1.799	2.347	2.901	3.438	3.960	4.531	5.024	5.554
460	1.425	1.905	2.440	2.991	3.532	4.082	4.656	5.147	5.676
470	1.548	2.013	2.527	3.062	3.625	4.183	4.762	5.257	5.780
480	1.637	2.091	2.600	3.135	3.700	4.269	4.837	5.316	5.830
490	1.705	2.170	2.686	3.244	3.800	4.366	4.910	5.377	5.901
500	1.821	2.311	2.812	3.362	3.887	4.441	4.980	5.436	5.956
510	1.963	2.449	2.950	3.473	3.989	4.516	5.033	5.492	6.000
520	2.069	2.542	3.023	3.541	4.036	4.532	5.058	5.501	5.999
530	2.119	2.597	3.083	3.581	4.058	4.525	5.016	5.463	5.956
540	2.136	2.618	3.092	3.587	4.023	4.483	4.956	5.376	5.875
550	2.131	2.605	3.088	3.562	3.968	4.397	4.858	5.269	5.766
560	2.068	2.568	3.030	3.491	3.903	4.276	4.712	5.129	5.614
570	2.005	2.490	2.951	3.390	3.775	4.114	4.526	4.917	5.405
580	1.952	2.429	2.887	3.329	3.675	3.983	4.358	4.700	5.150
590	1.924	2.393	2.842	3.269	3.598	3.866	4.184	4.511	4.913
600	1.895	2.363	2.798	3.210	3.518	3.767	4.034	4.313	4.683
610	1.872	2.335	2.737	3.123	3.417	3.635	3.884	4.139	4.465
620	1.798	2.252	2.630	3.011	3.291	3.491	3.708	3.957	4.256
630	1.701	2.138	2.505	2.872	3.131	3.326	3.539	3.746	4.030
640	1.568	1.965	2.354	2.701	2.949	3.132	3.330	3.537	3.791
650	1.373	1.761	2.141	2.479	2.727	2.896	3.072	3.280	3.531
660	1.150	1.527	1.911	2.247	2.479	2.647	2.829	3.005	3.254
670	0.854	1.233	1.613	1.841	2.179	2.342	2.531	2.696	2.944
680	0.560	0.959	1.328	1.666	1.891	2.057	2.243	2.404	2.648
690	0.300	0.651	1.035	1.360	1.579	1.752	1.934	2.098	2.338
700	0.070	0.429	0.777	1.079	1.305	1.468	1.651	1.782	2.062

SP50 / Luminance data (converted)

Converted (photopic) Luminance of SP50 Data: In log cd/m²

Wavelength (nm)	SP50/100Td	SP50/30Td	SP50/10Td	SP50/3Td	SP50/1Td	SP50/0.3Td	SP50/0.1Td	SP50/0.03Td	SP50/0.01Td
400	-0.656	-1.224	-1.782	-2.330	-2.817	-3.334	-3.833	-4.298	-4.860
410	-0.577	-1.135	-1.771	-2.361	-2.902	-3.429	-3.981	-4.453	-5.000
420	-0.317	-0.896	-1.576	-2.196	-2.775	-3.322	-3.880	-4.376	-4.914
430	-0.060	-0.662	-1.345	-1.995	-2.592	-3.162	-3.718	-4.221	-4.771
440	0.080	-0.546	-1.228	-1.885	-2.479	-3.046	-3.633	-4.149	-4.698
450	0.205	-0.415	-1.087	-1.725	-2.331	-2.904	-3.512	-4.040	-4.595
460	0.290	-0.322	-0.981	-1.616	-2.226	-2.827	-3.438	-3.964	-4.518
470	0.347	-0.250	-0.888	-1.507	-2.139	-2.748	-3.364	-3.894	-4.442
480	0.442	-0.144	-0.777	-1.396	-2.030	-2.650	-3.255	-3.769	-4.308
490	0.549	-0.048	-0.688	-1.330	-1.955	-2.572	-3.153	-3.655	-4.204
500	0.625	0.003	-0.622	-1.256	-1.850	-2.455	-3.031	-3.522	-4.067
510	0.675	0.057	-0.568	-1.175	-1.760	-2.338	-2.892	-3.386	-3.919
520	0.719	0.114	-0.491	-1.093	-1.657	-2.204	-2.767	-3.245	-3.768
530	0.753	0.143	-0.467	-1.049	-1.595	-2.113	-2.641	-3.123	-3.641
540	0.780	0.166	-0.432	-1.011	-1.516	-2.027	-2.537	-2.992	-3.516
550	0.803	0.197	-0.410	-0.968	-1.443	-1.923	-2.421	-2.867	-3.389
560	0.866	0.234	-0.352	-0.897	-1.378	-1.802	-2.275	-2.727	-3.237
570	0.910	0.293	-0.292	-0.815	-1.269	-1.659	-2.108	-2.534	-3.047
580	0.924	0.315	-0.267	-0.793	-1.208	-1.567	-1.979	-2.356	-2.831
590	0.891	0.290	-0.283	-0.794	-1.192	-1.511	-1.866	-2.228	-2.655
600	0.841	0.241	-0.318	-0.814	-1.191	-1.491	-1.795	-2.109	-2.504
610	0.766	0.171	-0.355	-0.825	-1.188	-1.457	-1.743	-2.033	-2.384
620	0.719	0.133	-0.369	-0.834	-1.183	-1.434	-1.688	-1.972	-2.296
630	0.659	0.090	-0.401	-0.852	-1.180	-1.426	-1.676	-1.918	-2.227
640	0.611	0.082	-0.431	-0.862	-1.179	-1.413	-1.648	-1.890	-2.169
650	0.593	0.073	-0.431	-0.853	-1.170	-1.390	-1.603	-1.846	-2.122
660	0.572	0.063	-0.445	-0.865	-1.166	-1.385	-1.604	-1.815	-2.089
670	0.588	0.077	-0.427	-0.839	-1.146	-1.360	-1.586	-1.786	-2.059
680	0.607	0.076	-0.417	-0.839	-1.133	-1.350	-1.573	-1.769	-2.038
690	0.550	0.067	-0.441	-0.850	-1.138	-1.362	-1.581	-1.780	-2.045
700	0.479	-0.012	-0.484	-0.870	-1.165	-1.379	-1.599	-1.765	-2.070
log Td(570)	2.000	1.515	1.054	0.615	0.230	-0.109	-0.521	-0.912	-1.400
log L(570) cd/m ²	0.910	0.293	-0.292	-0.815	-1.269	-1.659	-2.108	-2.534	-3.047

Equivalent Luminance by Palmer 1st System
Data = Sagawa/Piao (SP50)

Wavelength (nm)	Retinal Illuminance Level								
	100 Td	30 Td	10 Td	3 Td	1 Td	0.3 Td	0.1 Td	0.03 Td	0.01 Td
400	0.179	-0.173	-0.435	-0.747	-1.124	-1.594	-2.078	-2.538	-3.099
410	0.360	-0.062	-0.406	-0.723	-1.123	-1.596	-2.129	-2.597	-3.142
420	0.474	0.028	-0.336	-0.653	-1.075	-1.567	-2.108	-2.599	-3.136
430	0.528	0.070	-0.280	-0.601	-1.037	-1.552	-2.092	-2.591	-3.140
440	0.571	0.090	-0.261	-0.581	-1.009	-1.520	-2.089	-2.601	-3.149
450	0.627	0.131	-0.238	-0.539	-0.953	-1.458	-2.045	-2.568	-3.122
460	0.659	0.147	-0.250	-0.557	-0.962	-1.486	-2.075	-2.595	-3.148
470	0.686	0.164	-0.264	-0.583	-0.991	-1.514	-2.105	-2.630	-3.176
480	0.726	0.197	-0.264	-0.604	-1.009	-1.535	-2.112	-2.620	-3.157
490	0.778	0.225	-0.271	-0.650	-1.054	-1.576	-2.129	-2.624	-3.171
500	0.791	0.205	-0.306	-0.713	-1.109	-1.617	-2.163	-2.647	-3.189
510	0.765	0.174	-0.360	-0.787	-1.198	-1.687	-2.211	-2.697	-3.227
520	0.766	0.169	-0.376	-0.845	-1.266	-1.732	-2.264	-2.733	-3.253
530	0.763	0.164	-0.406	-0.896	-1.334	-1.785	-2.285	-2.758	-3.272
540	0.785	0.177	-0.401	-0.930	-1.371	-1.833	-2.320	-2.767	-3.288
550	0.803	0.198	-0.403	-0.945	-1.399	-1.860	-2.347	-2.789	-3.310
560	0.867	0.233	-0.357	-0.915	-1.417	-1.861	-2.349	-2.808	-3.321
570	0.911	0.291	-0.305	-0.856	-1.361	-1.810	-2.316	-2.774	-3.304
580	0.923	0.310	-0.287	-0.853	-1.337	-1.781	-2.295	-2.742	-3.263
590	0.901	0.295	-0.296	-0.855	-1.334	-1.752	-2.237	-2.720	-3.242
600	0.857	0.251	-0.329	-0.890	-1.345	-1.753	-2.194	-2.655	-3.204
610	0.784	0.182	-0.367	-0.894	-1.349	-1.722	-2.151	-2.603	-3.144
620	0.735	0.140	-0.385	-0.911	-1.352	-1.704	-2.091	-2.549	-3.080
630	0.685	0.106	-0.410	-0.922	-1.339	-1.685	-2.068	-2.464	-2.989
640	0.619	0.081	-0.461	-0.956	-1.363	-1.695	-2.057	-2.456	-2.938
650	0.592	0.062	-0.471	-0.956	-1.364	-1.676	-2.003	-2.402	-2.881
660	0.562	0.043	-0.496	-0.981	-1.370	-1.682	-2.019	-2.367	-2.842
670	0.581	0.060	-0.474	-0.947	-1.340	-1.642	-1.988	-2.315	-2.788
680	0.573	0.032	-0.491	-0.979	-1.358	-1.666	-2.010	-2.332	-2.799
690	0.518	0.025	-0.516	-0.990	-1.362	-1.681	-2.018	-2.346	-2.806
700	0.428	-0.076	-0.583	-1.037	-1.424	-1.733	-2.076	-2.351	-2.882
mean	0.671	0.127	-0.370	-0.816	-1.240	-1.670	-2.143	-2.588	-3.112
s.d.	0.171	0.111	0.090	0.152	0.159	0.110	0.110	0.147	0.163

Equivalent Luminance by Palmer 2nd System
Data = Sagawa/Piao (SP50)

Wavelength (nm)	Retinal Illuminance Level								
	100 Td	30 Td	10 Td	3 Td	1 Td	0.3 Td	0.1 Td	0.03 Td	0.01 Td
400	0.223	-0.217	-0.592	-0.908	-1.159	-1.412	-1.656	-1.885	-2.163
410	0.417	-0.045	-0.505	-0.865	-1.150	-1.411	-1.681	-1.913	-2.184
420	0.533	0.050	-0.446	-0.824	-1.129	-1.398	-1.671	-1.915	-2.181
430	0.588	0.088	-0.407	-0.801	-1.113	-1.392	-1.663	-1.911	-2.183
440	0.632	0.110	-0.387	-0.787	-1.098	-1.376	-1.662	-1.916	-2.188
450	0.687	0.163	-0.338	-0.737	-1.061	-1.343	-1.640	-1.899	-2.174
460	0.717	0.190	-0.314	-0.724	-1.057	-1.355	-1.654	-1.913	-2.187
470	0.739	0.214	-0.290	-0.706	-1.061	-1.367	-1.668	-1.930	-2.201
480	0.774	0.250	-0.263	-0.694	-1.060	-1.374	-1.671	-1.925	-2.192
490	0.821	0.279	-0.253	-0.710	-1.077	-1.393	-1.679	-1.927	-2.199
500	0.828	0.256	-0.273	-0.737	-1.095	-1.410	-1.695	-1.937	-2.208
510	0.797	0.221	-0.319	-0.775	-1.137	-1.442	-1.718	-1.962	-2.226
520	0.781	0.208	-0.329	-0.799	-1.163	-1.460	-1.743	-1.980	-2.239
530	0.781	0.196	-0.358	-0.828	-1.194	-1.483	-1.752	-1.991	-2.249
540	0.796	0.198	-0.360	-0.848	-1.206	-1.504	-1.768	-1.996	-2.257
550	0.807	0.209	-0.372	-0.863	-1.220	-1.517	-1.782	-2.007	-2.268
560	0.864	0.233	-0.343	-0.848	-1.237	-1.520	-1.786	-2.018	-2.274
570	0.903	0.280	-0.309	-0.817	-1.216	-1.506	-1.781	-2.008	-2.268
580	0.910	0.289	-0.308	-0.838	-1.227	-1.519	-1.796	-2.010	-2.256
590	0.884	0.265	-0.333	-0.866	-1.262	-1.546	-1.812	-2.037	-2.268
600	0.834	0.212	-0.381	-0.914	-1.308	-1.595	-1.847	-2.063	-2.292
610	0.757	0.134	-0.432	-0.951	-1.348	-1.624	-1.885	-2.108	-2.329
620	0.703	0.086	-0.462	-0.987	-1.383	-1.656	-1.909	-2.151	-2.377
630	0.649	0.045	-0.496	-1.014	-1.398	-1.680	-1.946	-2.173	-2.413
640	0.579	0.015	-0.555	-1.058	-1.437	-1.713	-1.975	-2.215	-2.447
650	0.550	-0.006	-0.570	-1.066	-1.450	-1.715	-1.961	-2.216	-2.461
660	0.519	-0.027	-0.598	-1.095	-1.464	-1.731	-1.989	-2.217	-2.471
670	0.537	-0.010	-0.576	-1.063	-1.440	-1.704	-1.974	-2.196	-2.458
680	0.530	-0.041	-0.596	-1.098	-1.461	-1.731	-2.000	-2.219	-2.481
690	0.472	-0.048	-0.620	-1.107	-1.461	-1.738	-2.000	-2.218	-2.471
700	0.378	-0.154	-0.691	-1.152	-1.515	-1.778	-2.036	-2.216	-2.501
mean	0.677	0.118	-0.422	-0.886	-1.245	-1.529	-1.800	-2.035	-2.292
s.d.	0.170	0.136	0.124	0.137	0.149	0.140	0.130	0.121	0.113

Equivalent Luminance by Kokoschka-Bodmann System
Data = Sagawa/Plao (SP50)

Wavelength (nm)	Retinal Illuminance Level								
	100 Td	30 Td	10 Td	3 Td	1 Td	0.3 Td	0.1 Td	0.03 Td	0.01 Td
400	0.200	-0.326	-0.767	-1.113	-1.426	-1.788	-2.187	-2.605	-3.144
410	0.424	-0.087	-0.658	-1.062	-1.414	-1.782	-2.226	-2.654	-3.181
420	0.535	0.026	-0.584	-1.014	-1.382	-1.762	-2.210	-2.660	-3.178
430	0.677	0.057	-0.527	-0.978	-1.355	-1.753	-2.200	-2.656	-3.185
440	0.604	0.065	-0.498	-0.949	-1.329	-1.725	-2.198	-2.668	-3.197
450	0.651	0.111	-0.439	-0.881	-1.274	-1.674	-2.159	-2.639	-3.172
460	0.675	0.132	-0.409	-0.856	-1.260	-1.687	-2.183	-2.665	-3.199
470	0.697	0.155	-0.371	-0.824	-1.255	-1.697	-2.207	-2.697	-3.225
480	0.733	0.189	-0.336	-0.803	-1.245	-1.704	-2.210	-2.687	-3.207
490	0.784	0.222	-0.318	-0.812	-1.260	-1.728	-2.221	-2.689	-3.219
500	0.799	0.208	-0.328	-0.829	-1.273	-1.747	-2.245	-2.706	-3.234
510	0.774	0.185	-0.361	-0.856	-1.315	-1.788	-2.279	-2.748	-3.266
520	0.766	0.186	-0.353	-0.865	-1.334	-1.803	-2.315	-2.775	-3.285
530	0.773	0.184	-0.369	-0.882	-1.361	-1.826	-2.320	-2.788	-3.296
540	0.795	0.197	-0.355	-0.885	-1.354	-1.840	-2.335	-2.783	-3.301
550	0.811	0.218	-0.353	-0.882	-1.350	-1.837	-2.340	-2.787	-3.307
560	0.873	0.250	-0.312	-0.846	-1.348	-1.812	-2.318	-2.782	-3.298
570	0.915	0.303	-0.271	-0.798	-1.295	-1.756	-2.272	-2.725	-3.254
580	0.924	0.315	-0.268	-0.818	-1.298	-1.764	-2.263	-2.683	-3.185
590	0.899	0.293	-0.295	-0.855	-1.345	-1.781	-2.254	-2.679	-3.148
600	0.851	0.239	-0.352	-0.927	-1.423	-1.864	-2.288	-2.673	-3.125
610	0.774	0.160	-0.417	-0.993	-1.508	-1.921	-2.331	-2.701	-3.120
620	0.721	0.108	-0.466	-1.071	-1.588	-1.986	-2.356	-2.731	-3.134
630	0.667	0.066	-0.514	-1.127	-1.632	-2.027	-2.394	-2.723	-3.123
640	0.597	0.033	-0.595	-1.209	-1.718	-2.090	-2.432	-2.765	-3.137
650	0.567	0.008	-0.631	-1.255	-1.763	-2.110	-2.420	-2.759	-3.135
660	0.536	-0.016	-0.673	-1.307	-1.788	-2.134	-2.453	-2.749	-3.127
670	0.554	0.002	-0.650	-1.274	-1.768	-2.105	-2.435	-2.719	-3.097
680	0.546	-0.033	-0.677	-1.323	-1.795	-2.137	-2.463	-2.741	-3.116
690	0.489	-0.041	-0.709	-1.337	-1.797	-2.149	-2.468	-2.749	-3.117
700	0.396	-0.158	-0.795	-1.395	-1.872	-2.197	-2.518	-2.751	-3.174
mean	0.674	0.105	-0.473	-1.001	-1.456	-1.870	-2.306	-2.714	-3.190
s.d.	0.168	0.144	0.159	0.189	0.202	0.164	0.100	0.049	0.064

Equivalent Luminance by Nakano-Ikeda System
Data = Sagawa/Plao (SP50)

Wavelength (nm)	Retinal Illuminance Level								
	100 Td	30 Td	10 Td	3 Td	1 Td	0.3 Td	0.1 Td	0.03 Td	0.01 Td
400	0.183	-0.395	-0.902	-1.263	-1.585	-2.012	-2.479	-2.933	-3.491
410	0.267	-0.296	-0.860	-1.217	-1.564	-2.005	-2.526	-2.990	-3.534
420	0.580	-0.015	-0.694	-1.159	-1.535	-1.983	-2.507	-2.993	-3.528
430	0.775	0.161	-0.544	-1.119	-1.529	-1.982	-2.496	-2.986	-3.532
440	0.853	0.219	-0.484	-1.095	-1.520	-1.959	-2.495	-2.997	-3.542
450	0.902	0.277	-0.410	-1.026	-1.483	-1.912	-2.455	-2.965	-3.515
460	0.922	0.306	-0.366	-0.994	-1.487	-1.942	-2.486	-2.993	-3.541
470	0.871	0.272	-0.372	-0.983	-1.511	-1.974	-2.518	-3.028	-3.569
480	0.823	0.237	-0.395	-0.997	-1.533	-2.003	-2.529	-3.020	-3.551
490	0.803	0.207	-0.428	-1.046	-1.576	-2.048	-2.549	-3.026	-3.565
500	0.811	0.190	-0.432	-1.049	-1.582	-2.077	-2.582	-3.048	-3.584
510	0.876	0.258	-0.370	-0.982	-1.561	-2.100	-2.616	-3.094	-3.620
520	0.949	0.343	-0.269	-0.892	-1.495	-2.072	-2.643	-3.121	-3.644
530	0.956	0.344	-0.274	-0.881	-1.481	-2.063	-2.635	-3.135	-3.660
540	0.934	0.318	-0.288	-0.894	-1.455	-2.052	-2.637	-3.129	-3.671
550	0.903	0.294	-0.321	-0.905	-1.437	-2.014	-2.621	-3.130	-3.685
560	0.909	0.275	-0.319	-0.889	-1.429	-1.951	-2.561	-3.115	-3.683
570	0.929	0.310	-0.284	-0.833	-1.346	-1.835	-2.448	-3.023	-3.641
580	0.971	0.359	-0.234	-0.793	-1.275	-1.745	-2.347	-2.912	-3.556
590	0.996	0.391	-0.198	-0.753	-1.235	-1.677	-2.233	-2.833	-3.488
600	0.995	0.389	-0.191	-0.743	-1.221	-1.662	-2.170	-2.735	-3.418
610	0.988	0.385	-0.168	-0.706	-1.188	-1.606	-2.116	-2.680	-3.355
620	1.012	0.415	-0.119	-0.666	-1.151	-1.562	-2.040	-2.630	-3.313
630	1.016	0.433	-0.096	-0.642	-1.117	-1.539	-2.036	-2.569	-3.268
640	1.030	0.487	-0.072	-0.609	-1.085	-1.503	-1.989	-2.547	-3.216
650	1.068	0.532	-0.022	-0.554	-1.039	-1.441	-1.889	-2.462	-3.151
660	1.088	0.561	-0.001	-0.539	-1.010	-1.418	-1.890	-2.400	-3.102
670	1.128	0.600	0.043	-0.483	-0.959	-1.356	-1.843	-2.328	-3.034
680	1.161	0.612	0.066	-0.475	-0.935	-1.340	-1.825	-2.305	-3.013
690	1.118	0.617	0.053	-0.475	-0.927	-1.347	-1.825	-2.312	-3.007
700	1.061	0.548	0.016	-0.490	-0.962	-1.370	-1.857	-2.266	-3.068
mean	0.899	0.311	-0.288	-0.844	-1.329	-1.792	-2.318	-2.829	-3.437
s.d.	0.216	0.228	0.245	0.234	0.230	0.268	0.295	0.290	0.219

SP50 / Equivalent luminance

Equivalent Luminance by Sagawa-Takeichi System
Data = Sagawa/Piao (SP50)

Wavelength (nm)	Retinal Illuminance Level								
	100 Td	30 Td	10 Td	3 Td	1 Td	0.3 Td	0.1 Td	0.03 Td	0.01 Td
400	0.616	0.091	-0.407	-0.866	-1.273	-1.673	-2.061	-2.431	-2.891
410	0.520	0.022	-0.513	-0.979	-1.395	-1.769	-2.165	-2.520	-2.942
420	0.577	0.064	-0.500	-0.979	-1.410	-1.786	-2.175	-2.538	-2.943
430	0.639	0.105	-0.463	-0.960	-1.403	-1.790	-2.174	-2.537	-2.948
440	0.631	0.080	-0.479	-0.976	-1.408	-1.787	-2.185	-2.553	-2.958
450	0.645	0.100	-0.452	-0.931	-1.374	-1.753	-2.161	-2.534	-2.939
460	0.564	0.034	-0.495	-0.965	-1.401	-1.791	-2.196	-2.561	-2.961
470	0.602	0.079	-0.446	-0.913	-1.377	-1.782	-2.199	-2.575	-2.978
480	0.663	0.141	-0.392	-0.867	-1.345	-1.767	-2.185	-2.557	-2.960
490	0.730	0.192	-0.358	-0.858	-1.339	-1.768	-2.178	-2.549	-2.967
500	0.780	0.211	-0.337	-0.844	-1.316	-1.753	-2.174	-2.548	-2.976
510	0.791	0.218	-0.340	-0.841	-1.320	-1.755	-2.177	-2.568	-3.000
520	0.834	0.264	-0.291	-0.809	-1.291	-1.726	-2.178	-2.573	-3.015
530	0.864	0.280	-0.290	-0.805	-1.287	-1.718	-2.160	-2.574	-3.027
540	0.848	0.257	-0.309	-0.832	-1.288	-1.726	-2.167	-2.568	-3.038
550	0.816	0.228	-0.351	-0.866	-1.304	-1.729	-2.172	-2.576	-3.055
560	0.834	0.214	-0.354	-0.872	-1.327	-1.719	-2.157	-2.581	-3.063
570	0.864	0.249	-0.332	-0.849	-1.298	-1.681	-2.122	-2.542	-3.049
580	0.900	0.282	-0.314	-0.863	-1.297	-1.682	-2.121	-2.520	-3.019
590	0.915	0.293	-0.315	-0.887	-1.336	-1.719	-2.141	-2.559	-3.043
600	0.922	0.287	-0.332	-0.933	-1.404	-1.814	-2.222	-2.624	-3.109
610	0.896	0.249	-0.363	-0.984	-1.501	-1.926	-2.356	-2.766	-3.221
620	0.884	0.228	-0.386	-1.056	-1.646	-2.105	-2.524	-2.955	-3.350
630	0.845	0.187	-0.451	-1.157	-1.829	-2.325	-2.766	-3.151	-3.471
640	0.807	0.180	-0.528	-1.256	-2.056	-2.551	-2.975	-3.303	-3.582
650	0.796	0.170	-0.553	-1.314	-2.227	-2.707	-3.096	-3.377	-3.653
660	0.777	0.156	-0.603	-1.467	-2.369	-2.847	-3.225	-3.436	-3.710
670	0.799	0.174	-0.678	-1.423	-2.385	-2.860	-3.242	-3.442	-3.715
680	0.823	0.168	-0.587	-1.563	-2.509	-2.987	-3.308	-3.504	-3.773
690	0.756	0.161	-0.616	-1.525	-2.437	-2.933	-3.275	-3.474	-3.739
700	0.672	0.056	-0.696	-1.602	-2.504	-2.967	-3.293	-3.459	-3.764
mean	0.762	0.175	-0.433	-1.034	-1.602	-2.029	-2.436	-2.789	-3.189
s.d.	0.116	0.080	0.111	0.247	0.434	0.466	0.443	0.376	0.308

Equivalent Luminance by Trezona System
Data = Sagawa/Piao (SP50)

Wavelength (nm)	Retinal Illuminance Level								
	100 Td	30 Td	10 Td	3 Td	1 Td	0.3 Td	0.1 Td	0.03 Td	0.01 Td
400	1.401	0.811	0.222	-0.396	-0.916	-1.496	-2.042	-2.608	-3.353
410	1.459	0.871	0.177	-0.506	-1.112	-1.715	-2.321	-2.847	-3.442
420	1.677	1.070	0.321	-0.413	-1.078	-1.724	-2.358	-2.924	-3.524
430	1.874	1.271	0.560	-0.159	-0.804	-1.429	-2.014	-3.218	-3.776
440	1.091	0.470	-0.230	-0.889	-1.470	-1.975	-2.455	-2.855	-3.290
450	1.141	0.534	-0.148	-0.780	-1.368	-1.892	-2.413	-2.855	-3.315
460	1.124	0.524	-0.148	-0.778	-1.376	-1.926	-2.447	-2.880	-3.333
470	1.047	0.459	-0.193	-0.803	-1.430	-1.984	-2.501	-2.921	-3.353
480	0.891	0.313	-0.333	-0.930	-1.556	-2.096	-2.567	-2.930	-3.322
490	0.822	0.234	-0.414	-1.029	-1.636	-2.164	-2.602	-2.940	-3.330
500	1.034	0.422	-0.213	-0.829	-1.421	-1.974	-2.473	-2.882	-3.335
510	1.261	0.656	0.022	-0.588	-1.185	-1.764	-2.303	-2.786	-3.300
520	1.307	0.707	0.084	-0.535	-1.128	-1.698	-2.269	-2.757	-3.285
530	1.219	0.614	-0.016	-0.610	-1.188	-1.728	-2.273	-2.769	-3.301
540	1.064	0.456	-0.158	-0.733	-1.264	-1.781	-2.298	-2.754	-3.282
550	0.907	0.308	-0.312	-0.852	-1.343	-1.816	-2.307	-2.743	-3.252
560	1.004	0.376	-0.227	-0.771	-1.281	-1.732	-2.235	-2.727	-3.269
570	1.033	0.421	-0.174	-0.696	-1.166	-1.592	-2.090	-2.628	-3.245
580	1.063	0.459	-0.131	-0.658	-1.084	-1.479	-1.944	-2.463	-3.152
590	1.083	0.488	-0.094	-0.610	-1.016	-1.369	-1.776	-2.275	-2.995
600	1.089	0.495	-0.075	-0.577	-0.964	-1.296	-1.651	-2.065	-2.760
610	1.064	0.475	-0.064	-0.542	-0.915	-1.212	-1.551	-1.918	-2.522
620	1.055	0.474	-0.042	-0.517	-0.876	-1.153	-1.452	-1.809	-2.342
630	1.030	0.466	-0.040	-0.503	-0.841	-1.116	-1.413	-1.724	-2.221
640	0.986	0.462	-0.069	-0.510	-0.840	-1.101	-1.382	-1.694	-2.135
650	0.977	0.461	-0.061	-0.494	-0.823	-1.069	-1.319	-1.630	-2.048
660	0.954	0.450	-0.078	-0.510	-0.826	-1.074	-1.339	-1.619	-2.048
670	0.977	0.470	-0.053	-0.477	-0.797	-1.037	-1.307	-1.570	-1.979
680	0.972	0.445	-0.067	-0.501	-0.810	-1.055	-1.324	-1.584	-1.993
690	0.917	0.439	-0.089	-0.508	-0.808	-1.056	-1.313	-1.566	-1.944
700	0.829	0.340	-0.163	-0.545	-0.855	-1.093	-1.351	-1.561	-1.998
mean	1.108	0.530	-0.071	-0.621	-1.102	-1.535	-1.971	-2.403	-2.918
s.d.	0.232	0.218	0.192	0.184	0.256	0.365	0.468	0.558	0.587

Wavelength (nm)	100 Lb	30 Lb	10 Lb	3 Lb	1 Lb	0.3 Lb	0.1 Lb	0.03 Lb	0.01 Lb
400	0.018	0.0081	-0.407	-0.868	-1.373	-1.878	-2.383	-2.888	-3.393
410	0.020	0.0093	-0.413	-0.878	-1.390	-1.905	-2.410	-2.915	-3.420
420	0.022	0.0098	-0.420	-0.888	-1.402	-1.920	-2.430	-2.930	-3.440
430	0.024	0.0105	-0.427	-0.900	-1.415	-1.940	-2.450	-2.950	-3.460
440	0.026	0.0112	-0.434	-0.912	-1.428	-1.960	-2.470	-2.970	-3.480
450	0.028	0.0120	-0.441	-0.925	-1.441	-1.980	-2.490	-3.000	-3.500
460	0.030	0.0128	-0.448	-0.938	-1.454	-2.000	-2.510	-3.020	-3.520
470	0.032	0.0136	-0.455	-0.951	-1.467	-2.020	-2.530	-3.040	-3.540
480	0.034	0.0144	-0.462	-0.964	-1.480	-2.040	-2.550	-3.060	-3.560
490	0.036	0.0152	-0.469	-0.977	-1.493	-2.060	-2.570	-3.080	-3.580
500	0.038	0.0160	-0.476	-0.990	-1.506	-2.080	-2.590	-3.100	-3.600
510	0.040	0.0168	-0.483	-1.003	-1.519	-2.100	-2.610	-3.120	-3.620
520	0.042	0.0176	-0.490	-1.016	-1.532	-2.120	-2.630	-3.140	-3.640
530	0.044	0.0184	-0.497	-1.029	-1.545	-2.140	-2.650	-3.160	-3.660
540	0.046	0.0192	-0.504	-1.042	-1.558	-2.160	-2.670	-3.180	-3.680
550	0.048	0.0200	-0.511	-1.055	-1.571	-2.180	-2.690	-3.200	-3.700
560	0.050	0.0208	-0.518	-1.068	-1.584	-2.200	-2.710	-3.220	-3.720
570	0.052	0.0216	-0.525	-1.081	-1.597	-2.220	-2.730	-3.240	-3.740
580	0.054	0.0224	-0.532	-1.094	-1.610	-2.240	-2.750	-3.260	-3.760
590	0.056	0.0232	-0.539	-1.107	-1.623	-2.260	-2.770	-3.280	-3.780
600	0.058	0.0240	-0.546	-1.120	-1.636	-2.280	-2.790	-3.300	-3.800
610	0.060	0.0248	-0.553	-1.133	-1.649	-2.300	-2.810	-3.320	-3.820
620	0.062	0.0256	-0.560	-1.146	-1.662	-2.320	-2.830	-3.340	-3.840
630	0.064	0.0264	-0.567	-1.159	-1.675	-2.340	-2.850	-3.360	-3.860
640	0.066	0.0272	-0.574	-1.172	-1.688	-2.360	-2.870	-3.380	-3.880
650	0.068	0.0280	-0.581	-1.185	-1.701	-2.380	-2.890	-3.400	-3.900
660	0.070	0.0288	-0.588	-1.198	-1.714	-2.400	-2.910	-3.420	-3.920
670	0.072	0.0296	-0.595	-1.211	-1.727	-2.420	-2.930	-3.440	-3.940
680	0.074	0.0304	-0.602	-1.224	-1.740	-2.440	-2.950	-3.460	-3.960
690	0.076	0.0312	-0.609	-1.237	-1.753	-2.460	-2.970	-3.480	-3.980
700	0.078	0.0320	-0.616	-1.250	-1.766	-2.480	-2.990	-3.500	-4.000

(e) 佐川らの複合光20色のデータ

mean	0.752	0.172	-0.433	-1.034	-1.802	-2.628	-3.488	-4.388	-5.328
std	0.118	0.080	0.111	0.247	0.424	0.688	1.048	1.512	2.088

Wavelength (nm)	100 Lb	30 Lb	10 Lb	3 Lb	1 Lb	0.3 Lb	0.1 Lb	0.03 Lb	0.01 Lb
400	1.401	0.811	0.552	-0.308	-0.818	-1.323	-1.828	-2.333	-2.838
410	1.439	0.871	0.777	-0.308	-1.112	-1.712	-2.221	-2.726	-3.231
420	1.477	1.070	0.931	-0.413	-1.078	-1.724	-2.288	-2.794	-3.301
430	1.514	1.271	0.980	-0.518	-0.988	-1.620	-2.174	-2.680	-3.186
440	1.551	1.470	-0.330	-0.888	-1.470	-1.510	-2.060	-2.570	-3.071
450	1.587	1.668	-0.198	-0.780	-1.368	-1.402	-1.946	-2.456	-2.956
460	1.624	1.864	-0.148	-0.778	-1.272	-1.306	-1.832	-2.342	-2.842
470	1.661	2.058	-0.103	-0.803	-1.180	-1.208	-1.718	-2.228	-2.728
480	1.697	2.251	-0.303	-0.828	-1.088	-1.110	-1.604	-2.114	-2.614
490	1.732	2.442	-0.414	-1.028	-0.998	-1.012	-1.490	-1.996	-2.500
500	1.767	2.632	-0.523	-0.828	-0.902	-0.914	-1.376	-1.882	-2.386
510	1.802	2.820	-0.632	-0.688	-0.806	-0.818	-1.262	-1.768	-2.272
520	1.837	3.008	-0.741	-0.588	-0.710	-0.722	-1.148	-1.654	-2.158
530	1.872	3.194	-0.850	-0.488	-0.614	-0.626	-1.034	-1.540	-2.044
540	1.907	3.379	-0.958	-0.388	-0.518	-0.530	-0.920	-1.426	-1.930
550	1.942	3.563	-1.067	-0.288	-0.422	-0.434	-0.806	-1.312	-1.816
560	1.977	3.746	-1.175	-0.188	-0.326	-0.338	-0.692	-1.198	-1.702
570	2.012	3.928	-1.284	-0.088	-0.230	-0.242	-0.578	-1.084	-1.588
580	2.047	4.109	-1.392	0.012	-0.134	-0.148	-0.464	-0.970	-1.474
590	2.082	4.289	-1.500	0.112	-0.038	-0.052	-0.350	-0.856	-1.360
600	2.117	4.468	-1.608	0.210	0.062	0.076	-0.236	-0.742	-1.246
610	2.152	4.646	-1.716	0.308	0.160	0.180	-0.122	-0.628	-1.132
620	2.187	4.823	-1.824	0.406	0.258	0.284	-0.008	-0.514	-1.018
630	2.222	5.000	-1.932	0.504	0.356	0.388	0.106	-0.400	-0.904
640	2.257	5.176	-2.040	0.602	0.454	0.492	0.204	-0.286	-0.790
650	2.292	5.351	-2.148	0.700	0.552	0.596	0.302	-0.172	-0.676
660	2.327	5.526	-2.256	0.798	0.650	0.700	0.400	-0.058	-0.562
670	2.362	5.700	-2.364	0.896	0.748	0.804	0.498	0.056	-0.448
680	2.397	5.874	-2.472	0.994	0.846	0.908	0.596	0.154	-0.334
690	2.432	6.047	-2.580	1.092	0.944	1.012	0.694	0.252	-0.220
700	2.467	6.220	-2.688	1.190	1.042	1.116	0.792	0.350	-0.106

mean	1.708	0.230	-0.071	-0.651	-1.102	-1.632	-2.162	-2.692	-3.222
std	0.232	0.118	0.182	0.184	0.288	0.388	0.488	0.588	0.688

Brightness Matching Data of Sagawa's Data; in log Td (original data)

Test Colors	100 Td	10 Td	1 Td	0.1 TD	0.01 Td
1	1.858	0.874	-0.149	-1.115	-2.010
2	1.432	0.655	0.056	-0.253	-0.657
3	1.528	0.703	0.006	-0.409	-0.878
4	1.788	0.850	0.020	-0.591	-1.346
5	1.865	0.933	-0.007	-0.790	-1.698
6	1.792	0.879	-0.036	-0.737	-1.633
7	1.608	0.673	-0.378	-1.233	-2.160
8	1.467	0.488	-0.635	-1.462	-2.432
9	1.430	0.485	-0.557	-1.406	-2.351
10	1.591	0.634	-0.413	-1.281	-2.226
11	1.515	0.544	-0.529	-1.414	-2.365
12	1.444	0.413	-0.631	-1.514	-2.459
13	1.261	0.324	-0.765	-1.662	-2.618
14	1.034	0.079	-0.964	-1.866	-2.847
15	1.207	0.344	-0.564	-1.477	-2.447
16	1.360	0.527	-0.320	-1.106	-1.999
17	1.475	0.598	-0.315	-1.278	-2.238
18	1.658	0.725	-0.214	-1.032	-1.960
19	1.607	0.716	-0.052	-0.703	-1.417
20	1.672	0.728	-0.323	-1.221	-2.176

Converted (photopic) Luminance Data of Sagawa's BM Data: in log cd/m2

Test Colors	100 Td	10 Td	1 Td	0.1 TD	0.01 Td
1	0.712	-0.508	-1.693	-2.721	-3.666
2	0.286	-0.727	-1.487	-1.860	-2.313
3	0.382	-0.679	-1.537	-2.015	-2.533
4	0.642	-0.532	-1.524	-2.197	-3.001
5	0.719	-0.449	-1.550	-2.396	-3.353
6	0.646	-0.503	-1.579	-2.343	-3.288
7	0.462	-0.709	-1.921	-2.839	-3.816
8	0.321	-0.894	-2.179	-3.068	-4.087
9	0.284	-0.897	-2.100	-3.012	-4.006
10	0.445	-0.748	-1.957	-2.887	-3.882
11	0.369	-0.838	-2.072	-3.020	-4.020
12	0.298	-0.969	-2.175	-3.120	-4.114
13	0.115	-1.058	-2.309	-3.269	-4.274
14	-0.112	-1.302	-2.507	-3.472	-4.502
15	0.061	-1.038	-2.107	-3.083	-4.102
16	0.214	-0.855	-1.863	-2.712	-3.655
17	0.329	-0.783	-1.858	-2.885	-3.894
18	0.512	-0.656	-1.758	-2.639	-3.616
19	0.461	-0.666	-1.595	-2.310	-3.073
20	0.526	-0.653	-1.866	-2.827	-3.832

Color No. X Y Z L M N P Q R S T U V W X Y Z

Colorimetric Data of Sagawa's 50 equant

Colorimetric Equant in Japanese Sagawa

Sagawa's Colorimetric Data

Sagawa / Colorimetric Data

Tetrachromatic Stimuli In Trezona's System

Color No.	X	Y	Z	V'
1	0.430	0.427	0.172	0.271
2	0.105	0.044	0.001	0.001
3	0.307	0.144	0.001	0.004
4	0.508	0.346	0.001	0.044
5	0.498	0.450	0.005	0.150
6	0.843	0.901	0.004	0.215
7	0.445	0.721	0.144	0.580
8	0.162	0.557	0.284	0.866
9	0.233	0.672	0.181	0.817
10	0.337	0.572	0.363	0.585
11	0.204	0.488	0.457	0.717
12	0.188	0.421	0.583	0.710
13	0.168	0.280	0.800	0.631
14	0.197	0.187	1.135	0.572
15	0.275	0.144	0.593	0.231
16	0.264	0.129	0.173	0.077
17	0.338	0.260	0.371	0.236
18	0.342	0.239	0.176	0.141
19	0.433	0.236	0.092	0.035
20	0.394	0.457	0.413	0.423

Colorimetric Data of Sagawa's 20 stimuli

Color No.	x	y	x10	y10	L10/L	L'/L
1	0.403	0.417	0.418	0.415	1.064	1.680
2	0.716	0.279	0.702	0.292	1.011	0.053
3	0.688	0.310	0.679	0.319	1.040	0.069
4	0.586	0.412	0.594	0.404	1.022	0.322
5	0.501	0.485	0.522	0.472	1.020	0.844
6	0.450	0.546	0.482	0.515	1.005	0.596
7	0.296	0.563	0.340	0.550	1.062	2.127
8	0.102	0.528	0.161	0.556	1.192	4.613
9	0.146	0.622	0.214	0.619	1.111	3.365
10	0.230	0.451	0.265	0.450	1.094	2.785
11	0.137	0.405	0.178	0.424	1.167	4.272
12	0.128	0.322	0.158	0.353	1.218	5.116
13	0.122	0.183	0.135	0.225	1.379	7.724
14	0.133	0.081	0.129	0.123	1.687	12.860
15	0.289	0.119	0.272	0.142	1.302	5.201
16	0.488	0.212	0.466	0.228	1.122	1.673
17	0.353	0.258	0.349	0.268	1.130	2.553
18	0.457	0.308	0.452	0.316	1.087	1.601
19	0.577	0.311	0.568	0.310	1.046	0.388
20	0.296	0.360	0.311	0.362	1.100	2.532

Sagawa/ Equivalent Luminance

Equivalent Luminance by Palmer 2nd System
Data = Sagawa et al

Test Color No.	Retinal Illuminance Level			
	100 Td	10 Td	1 Td	0.01 Td
1	0.751	-0.412	-1.313	-1.863
2	0.235	-0.876	-1.712	-2.053
3	0.351	-0.799	-1.720	-2.442
4	0.632	-0.573	-1.494	-2.358
5	0.725	-0.428	-1.352	-2.326
6	0.638	-0.510	-1.435	-2.369
7	0.513	-0.563	-1.398	-2.357
8	0.456	-0.585	-1.375	-2.324
9	0.380	-0.645	-1.400	-2.352
10	0.519	-0.556	-1.363	-2.331
11	0.489	-0.557	-1.336	-2.308
12	0.448	-0.622	-1.351	-2.316
13	0.347	-0.603	-1.333	-2.306
14	0.247	-0.659	-1.324	-2.310
15	0.253	-0.658	-1.311	-2.306
16	0.284	-0.700	-1.411	-2.328
17	0.416	-0.588	-1.324	-2.356
18	0.561	-0.542	-1.359	-2.318
19	0.459	-0.689	-1.514	-2.354
20	0.594	-0.488	-1.331	-2.327
mean	0.465	-0.603	-1.408	-2.340
s.d.	0.155	0.112	0.119	0.032

mean 0.465 -0.603 -1.408 -2.340
s.d. 0.155 0.112 0.119 0.032

Sagawa/ Equivalent Luminance

Equivalent Luminance by Palmer 1st System
Data = Sagawa et al

Test Color No.	Retinal Illuminance Level			
	100 Td	10 Td	1 Td	0.01 Td
1	0.741	-0.455	-1.527	-2.504
2	0.283	-0.800	-1.800	-2.382
3	0.393	-0.730	-1.850	-2.593
4	0.649	-0.558	-1.727	-2.574
5	0.727	-0.447	-1.588	-2.462
6	0.646	-0.520	-1.699	-2.539
7	0.494	-0.618	-1.649	-2.519
8	0.416	-0.614	-1.572	-2.412
9	0.346	-0.690	-1.629	-2.493
10	0.493	-0.608	-1.578	-2.452
11	0.452	-0.592	-1.509	-2.398
12	0.406	-0.640	-1.526	-2.419
13	0.296	-0.587	-1.476	-2.388
14	0.193	-0.579	-1.444	-2.368
15	0.208	-0.680	-1.463	-2.376
16	0.269	-0.764	-1.681	-2.496
17	0.391	-0.643	-1.525	-2.487
18	0.550	-0.592	-1.600	-2.442
19	0.476	-0.690	-1.782	-2.644
20	0.573	-0.539	-1.535	-2.434
mean	0.450	-0.617	-1.608	-2.469
s.d.	0.162	0.092	0.117	0.077

mean 0.450 -0.617 -1.608 -2.469
s.d. 0.162 0.092 0.117 0.077

Sagawa/ Equivalent Luminance

Equivalent Luminance by Nakano-Ikeda System
Data = Sagawa et al

Test Color No.	Retinal Illuminance Level			
	100 Td	10 Td	1 Td	0.01 Td
1	0.732	-0.493	-1.732	-3.827
2	0.754	-0.363	-1.530	-2.297
3	0.686	-0.454	-1.702	-3.650
4	0.765	-0.439	-1.645	-3.787
5	0.818	-0.365	-1.599	-3.794
6	0.683	-0.483	-1.709	-3.869
7	0.553	-0.628	-1.911	-3.878
8	0.467	-0.749	-1.985	-3.817
9	0.429	-0.761	-1.985	-3.871
10	0.522	-0.675	-1.904	-2.836
11	0.509	-0.700	-1.906	-2.797
12	0.470	-0.797	-1.949	-3.799
13	0.386	-0.788	-1.934	-3.780
14	0.306	-0.887	-1.917	-3.787
15	0.266	-0.838	-1.874	-3.780
16	0.422	-0.678	-1.837	-3.816
17	0.387	-0.730	-1.827	-3.879
18	0.585	-0.594	-1.783	-3.797
19	0.641	-0.528	-1.692	-3.796
20	0.546	-0.634	-1.853	-3.820
mean	0.546	-0.629	-1.814	-3.782
1 s.d.	0.159	0.158	0.133	0.128

Data = Sagawa et al
Edinostan' pruznitsa za prikladn. opt. sistem

Sagawa, Edinostan' pruznitsa

Sagawa/ Equivalent Luminance

Equivalent Luminance by Kokochka-Bodmann System
Data = Sagawa et al

Test Color No.	Retinal Illuminance Level			
	100 Td	10 Td	1 Td	0.01 Td
1	0.744	-0.442	-1.545	-2.524
2	0.247	-1.014	-2.14	-2.635
3	0.372	-0.855	-2.102	-2.73
4	0.646	-0.564	-1.745	-2.544
5	0.729	-0.429	-1.565	-2.446
6	0.652	-0.479	-1.646	-2.497
7	0.503	-0.595	-1.681	-2.548
8	0.425	-0.647	-1.677	-2.47
9	0.358	-0.698	-1.705	-2.539
10	0.503	-0.599	-1.638	-2.492
11	0.463	-0.616	-1.614	-2.454
12	0.416	-0.692	-1.644	-2.479
13	0.304	-0.687	-1.629	-2.457
14	0.192	-0.766	-1.629	-2.445
15	0.199	-0.792	-1.606	-2.44
16	0.25	-0.843	-1.741	-2.527
17	0.393	-0.667	-1.593	-2.526
18	0.548	-0.61	-1.634	-2.465
19	0.467	-0.74	-1.831	-2.623
20	0.579	-0.531	-1.59	-2.471
mean	0.450	-0.663	-1.698	-2.516
1 s.d.	0.167	0.146	0.159	0.075

Data = Sagawa et al
Edinostan' pruznitsa za prikladn. opt. sistem

Sagawa, Edinostan' pruznitsa

Equivalent Luminance by Trezona System
Data = Sagawa et al

Test Color No.	Retinal Illuminance Level			
	100 Td	10 Td	1 Td	0.01 Td
1	0.777	-0.437	-1.603	-3.491
2	0.653	-0.386	-1.168	-2.143
3	0.712	-0.373	-1.265	-2.692
4	0.838	-0.352	-1.373	-3.330
5	0.952	-0.338	-1.478	-3.365
6	0.769	-0.394	-1.510	-3.473
7	0.553	-0.610	-1.789	-3.537
8	0.446	-0.752	-1.965	-3.516
9	0.446	-0.723	-1.880	-3.547
10	0.469	-0.712	-1.870	-3.494
11	0.426	-0.765	-1.932	-3.480
12	0.403	-0.843	-1.979	-3.508
13	0.419	-0.740	-1.930	-3.521
14	0.476	-0.711	-1.873	-3.545
15	0.444	-0.649	-1.703	-3.503
16	0.462	-0.619	-1.652	-3.447
17	0.461	-0.645	-1.699	-3.551
18	0.681	-0.493	-1.608	-3.458
19	0.661	-0.480	-1.435	-3.276
20	0.566	-0.605	-1.777	-3.487
mean	0.576	-0.581	-1.674	-3.368
s.d.	0.152	0.160	0.241	0.345

Equivalent Luminance by Sagawa-Takelchl System
Data = Sagawa et al

Test Color No.	Retinal Illuminance Level			
	100 Td	10 Td	1 Td	0.01 Td
1	0.659	-0.475	-1.501	-3.358
2	0.440	-0.852	-2.132	-3.326
3	0.511	-0.780	-2.097	-3.428
4	0.673	-0.547	-1.621	-2.364
5	0.688	-0.446	-1.483	-2.264
6	0.600	-0.534	-1.584	-3.248
7	0.424	-0.633	-1.646	-2.391
8	0.416	-0.646	-1.664	-2.343
9	0.341	-0.699	-1.673	-2.390
10	0.451	-0.617	-1.611	-2.348
11	0.460	-0.605	-1.596	-3.135
12	0.432	-0.674	-1.629	-2.350
13	0.328	-0.673	-1.637	-2.347
14	0.177	-0.796	-1.680	-2.364
15	0.265	-0.692	-1.553	-2.305
16	0.309	-0.687	-1.585	-2.324
17	0.393	-0.614	-1.524	-2.359
18	0.525	-0.565	-1.536	-2.288
19	0.504	-0.660	-1.647	-2.414
20	0.532	-0.538	-1.553	-2.324
mean	0.456	-0.637	-1.648	-2.386
s.d.	0.136	0.103	0.170	0.136

Brightness Matching Data of Ashizawa-Ikeda's 36 Colored Clothes

Equivalent Lightness Data (matching value scale of a reference field)

Test Colors	Illuminance level									
	0.01 lx	0.03 lx	0.1 lx	0.3 lx	1 lx	3 lx	10 lx	30 lx	100 lx	1000 lx
P1	7.04	7.09	7.17	7.40	7.61	7.72	7.84	8.07	8.21	8.37
P2	5.46	5.57	5.73	5.92	6.14	6.38	6.64	6.84	7.13	7.63
P3	4.31	4.40	4.44	4.66	4.98	5.24	5.54	5.89	6.13	6.68
P4	3.48	3.57	3.75	3.93	4.25	4.45	4.69	4.95	5.30	5.93
Y1	8.70	8.78	8.85	8.94	8.98	8.99	9.00	9.04	9.07	9.06
Y2	8.15	8.26	8.40	8.58	8.68	8.66	8.68	8.71	8.72	8.77
Y3	7.46	7.71	7.98	8.20	8.32	8.35	8.37	8.44	8.39	8.49
Y4	6.80	7.00	7.20	7.68	7.91	7.93	7.94	8.05	8.01	8.10
G1	8.49	8.50	8.45	8.43	8.47	8.46	8.46	8.44	8.49	8.54
G2	7.99	7.99	7.93	7.93	7.99	8.04	8.03	8.06	8.08	8.15
G3	6.29	6.31	6.25	6.20	6.20	6.31	6.39	6.48	6.59	6.87
G4	5.03	5.06	4.96	4.96	5.01	5.02	5.13	5.14	5.34	5.50
C1	8.94	8.95	8.90	8.88	8.85	8.83	8.83	8.80	8.90	8.85
C2	8.47	8.45	8.37	8.20	8.02	8.12	8.15	8.22	8.29	8.33
C3	7.97	7.91	7.62	7.51	7.29	7.34	7.47	7.57	7.67	7.78
C4	7.15	7.02	6.89	6.72	6.45	6.43	6.59	6.77	6.84	7.04
B1	7.69	7.63	7.63	7.60	7.50	7.60	7.70	7.79	7.95	8.04
B2	6.96	6.87	6.72	6.77	6.62	6.72	6.85	7.06	7.19	7.36
B3	5.90	5.85	5.77	5.81	5.65	5.72	5.77	6.05	6.24	6.33
B4	5.05	4.98	4.91	4.85	4.75	4.79	4.79	5.08	5.21	5.43
V1	7.20	7.12	7.19	7.09	7.21	7.31	7.42	7.65	7.84	8.07
V2	5.55	5.58	5.50	5.47	5.62	5.71	5.92	6.16	6.46	6.83
V3	4.33	4.25	4.27	4.23	4.27	4.35	4.61	4.79	5.11	5.55
V4	2.85	2.88	2.94	2.93	3.04	3.10	3.24	3.34	3.66	3.85
YR1	6.63	6.71	6.96	7.25	7.59	7.73	7.98	8.07	8.19	8.45
YR2	5.67	5.77	5.98	6.46	6.86	7.09	7.23	7.33	7.66	7.92
YR3	4.74	4.87	5.08	5.52	5.86	6.24	6.37	6.56	6.71	7.19
YR4	3.78	3.83	4.09	4.40	4.77	5.27	5.53	5.67	5.84	6.29
RY1	7.11	7.12	7.28	7.62	7.87	8.09	8.18	8.25	8.19	8.37
RY2	6.42	6.56	6.75	6.99	7.34	7.53	7.70	7.79	7.76	8.03
RY3	5.65	5.74	6.01	6.31	6.68	6.92	7.05	7.24	7.23	7.49
RY4	5.29	5.36	5.62	5.88	6.31	6.61	6.73	6.79	6.86	7.18
GY1	8.71	8.68	8.72	8.75	8.88	8.87	8.93	8.95	9.00	9.06
GY2	8.08	8.12	8.26	8.40	8.54	8.57	8.56	8.60	8.65	8.77
GY3	7.55	7.65	7.77	8.06	8.20	8.19	8.22	8.27	8.29	8.44
GY4	6.90	7.01	7.04	7.22	7.62	7.73	7.78	7.73	7.86	8.12

Converted Luminance Data of Matching Gray Scale

Test Colors	Illuminance level									
	0.01 lx	0.03 lx	0.1 lx	0.3 lx	1 lx	3 lx	10 lx	30 lx	100 lx	1000 lx
P1	-2.881	-2.396	-1.862	-1.351	-0.798	-0.305	0.234	0.743	1.284	2.306
P2	-3.144	-2.647	-2.095	-1.585	-1.024	-0.507	0.057	0.566	1.133	2.205
P3	-3.376	-2.879	-2.347	-1.824	-1.236	-0.708	-0.129	0.410	0.974	2.064
P4	-3.573	-3.073	-2.505	-1.985	-1.389	-0.868	-0.295	0.235	0.826	1.940
Y1	-2.652	-2.165	-1.633	-1.145	-0.617	-0.139	0.385	0.867	1.394	2.393
Y2	-2.724	-2.232	-1.691	-1.190	-0.655	-0.180	0.345	0.826	1.351	2.357
Y3	-2.819	-2.307	-1.746	-1.240	-0.701	-0.220	0.306	0.792	1.308	2.321
Y4	-2.918	-2.410	-1.857	-1.311	-0.756	-0.276	0.248	0.740	1.258	2.270
G1	-2.679	-2.200	-1.684	-1.209	-0.681	-0.206	0.317	0.792	1.321	2.328
G2	-2.745	-2.268	-1.753	-1.276	-0.745	-0.261	0.260	0.742	1.267	2.276
G3	-2.999	-2.519	-2.006	-1.537	-1.014	-0.519	0.017	0.509	1.049	2.093
G4	-3.226	-2.743	-2.240	-1.763	-1.230	-0.751	-0.206	0.273	0.834	1.863
C1	-2.622	-2.144	-1.627	-1.152	-0.633	-0.159	0.364	0.838	1.373	2.367
C2	-2.681	-2.207	-1.694	-1.240	-0.741	-0.250	0.276	0.763	1.295	2.300
C3	-2.748	-2.279	-1.796	-1.335	-0.844	-0.359	0.182	0.674	1.211	2.226
C4	-2.864	-2.407	-1.904	-1.453	-0.973	-0.499	0.049	0.555	1.089	2.119
B1	-2.786	-2.318	-1.795	-1.322	-0.813	-0.322	0.215	0.705	1.249	2.262
B2	-2.893	-2.430	-1.930	-1.445	-0.946	-0.453	0.090	0.599	1.141	2.166
B3	-3.065	-2.597	-2.088	-1.604	-1.110	-0.620	-0.098	0.438	0.992	2.007
B4	-3.222	-2.759	-2.250	-1.785	-1.282	-0.797	-0.274	0.261	0.809	1.850
V1	-2.857	-2.392	-1.859	-1.396	-0.856	-0.364	0.175	0.685	1.234	2.266
V2	-3.128	-2.645	-2.137	-1.665	-1.115	-0.622	-0.062	0.456	1.028	2.087
V3	-3.371	-2.912	-2.385	-1.916	-1.385	-0.890	-0.311	0.203	0.790	1.872
V4	-3.745	-3.260	-2.719	-2.245	-1.691	-1.197	-0.636	-0.132	0.472	1.519
YR1	-2.944	-2.455	-1.893	-1.373	-0.801	-0.304	0.254	0.743	1.282	2.316
YR2	-3.106	-2.611	-2.052	-1.494	-0.908	-0.396	0.147	0.639	1.209	2.245
YR3	-3.284	-2.781	-2.216	-1.656	-1.072	-0.530	0.014	0.522	1.068	2.141
YR4	-3.498	-3.009	-2.425	-1.879	-1.278	-0.703	-0.131	0.371	0.924	2.001
RY1	-2.870	-2.392	-1.845	-1.319	-0.761	-0.254	0.280	0.767	1.282	2.306
RY2	-2.978	-2.478	-1.925	-1.411	-0.837	-0.332	0.215	0.705	1.233	2.260
RY3	-3.110	-2.616	-2.046	-1.519	-0.936	-0.422	0.121	0.626	1.147	2.185
RY4	-3.176	-2.686	-2.115	-1.592	-0.996	-0.470	0.071	0.558	1.092	2.140
GY1	-2.651	-2.177	-1.649	-1.169	-0.629	-0.154	0.377	0.856	1.355	2.393
GY2	-2.733	-2.250	-1.709	-1.213	-0.672	-0.191	0.330	0.812	1.342	2.357
GY3	-2.806	-2.315	-1.775	-1.258	-0.717	-0.241	0.286	0.770	1.295	2.315
GY4	-2.902	-2.408	-1.881	-1.377	-0.796	-0.304	0.226	0.696	1.237	2.272

Ashizawa-Ikeda/ Colorimetric Data

Tetraslimulus Values In Trezona's System

Colorimetric Data of Ashizawa-Ikeda's 36 Colored Clothes

Test Colors	x	y	x10	y10	Y	L10/L	L/L	Test Colors	X	Y	Z	V
P1	0.397	0.313	0.392	0.315	42.809	1.081	1.789	P1	0.434	0.349	0.324	0.232
P2	0.439	0.294	0.430	0.297	25.871	1.079	1.534	P2	0.418	0.290	0.266	0.165
P3	0.471	0.287	0.459	0.291	17.685	1.074	1.318	P3	0.401	0.254	0.181	0.125
P4	0.494	0.285	0.481	0.289	12.966	1.070	1.174	P4	0.378	0.227	0.150	0.100
Y1	0.406	0.431	0.415	0.427	80.727	1.055	1.576	Y1	0.482	0.496	0.184	0.298
Y2	0.437	0.452	0.448	0.446	75.673	1.044	1.347	Y2	0.509	0.507	0.121	0.263
Y3	0.459	0.460	0.470	0.453	70.807	1.039	1.200	Y3	0.527	0.508	0.086	0.236
Y4	0.485	0.462	0.497	0.454	62.094	1.032	1.026	Y4	0.545	0.498	0.055	0.199
G1	0.343	0.385	0.349	0.385	59.116	1.079	2.095	G1	0.424	0.468	0.324	0.366
G2	0.334	0.398	0.342	0.399	49.085	1.081	2.175	G2	0.416	0.486	0.315	0.393
G3	0.323	0.420	0.332	0.423	24.525	1.083	2.283	G3	0.401	0.510	0.296	0.432
G4	0.319	0.446	0.330	0.449	13.899	1.082	2.310	G4	0.391	0.531	0.262	0.456
C1	0.286	0.337	0.290	0.340	58.943	1.101	2.611	C1	0.380	0.445	0.484	0.424
C2	0.255	0.316	0.259	0.323	43.996	1.119	3.015	C2	0.348	0.434	0.562	0.469
C3	0.234	0.304	0.239	0.314	33.893	1.133	3.315	C3	0.324	0.426	0.608	0.500
C4	0.211	0.287	0.215	0.300	23.501	1.153	3.728	C4	0.295	0.411	0.663	0.534
B1	0.310	0.321	0.311	0.324	38.815	1.098	2.447	B1	0.382	0.397	0.448	0.356
B2	0.299	0.308	0.300	0.311	28.212	1.105	2.581	B2	0.369	0.383	0.478	0.359
B3	0.284	0.288	0.284	0.293	17.757	1.116	2.800	B3	0.351	0.362	0.522	0.365
B4	0.272	0.272	0.271	0.278	11.601	1.126	2.999	B4	0.337	0.346	0.561	0.370
V1	0.329	0.286	0.325	0.291	33.164	1.104	2.413	V1	0.357	0.319	0.421	0.280
V2	0.322	0.250	0.314	0.256	16.274	1.118	2.619	V2	0.312	0.254	0.426	0.239
V3	0.316	0.226	0.306	0.233	8.877	1.127	2.770	V3	0.278	0.212	0.420	0.209
V4	0.321	0.225	0.310	0.231	4.066	1.119	2.638	V4	0.255	0.190	0.378	0.180
YR1	0.409	0.371	0.411	0.369	43.065	1.063	1.581	YR1	0.465	0.417	0.249	0.249
YR2	0.433	0.370	0.434	0.369	31.353	1.060	1.435	YR2	0.471	0.400	0.214	0.217
YR3	0.451	0.377	0.452	0.375	24.018	1.056	1.332	YR3	0.473	0.393	0.180	0.199
YR4	0.480	0.375	0.480	0.374	16.942	1.053	1.179	YR4	0.470	0.367	0.143	0.165
RY1	0.425	0.414	0.431	0.410	52.416	1.054	1.464	RY1	0.482	0.459	0.177	0.256
RY2	0.450	0.425	0.457	0.421	44.668	1.048	1.317	RY2	0.494	0.456	0.132	0.230
RY3	0.470	0.433	0.478	0.429	35.895	1.043	1.187	RY3	0.502	0.450	0.098	0.206
RY4	0.476	0.430	0.483	0.425	33.864	1.043	1.162	RY4	0.501	0.441	0.095	0.197
GY1	0.403	0.445	0.413	0.439	67.510	1.052	1.561	GY1	0.485	0.515	0.173	0.307
GY2	0.423	0.461	0.435	0.453	62.296	1.045	1.413	GY2	0.505	0.526	0.130	0.286
GY3	0.419	0.467	0.431	0.459	56.381	1.045	1.436	GY3	0.502	0.535	0.128	0.295
GY4	0.435	0.490	0.450	0.479	46.642	1.036	1.281	GY4	0.527	0.560	0.083	0.278
Gray Scale (perfect diffuser)	0.348	0.359	0.351	0.358	100.000	1.078	2.028	Gray Scale (perfect diffuser)	0.432	0.441	0.357	0.333

Ashizawa-Ikeda Colorimetric Data

Ashizawa-Ikeda / Brightness matching data

Brightness Matching Data of Ashizawa-Ikeda's 36 Colored Clothes

Equivalent Lightness Data (matching value scale of a reference field)

Test Colors	Illuminance level									
	0.01 lx	0.03 lx	0.1 lx	0.3 lx	1 lx	3 lx	10 lx	30 lx	100 lx	1000 lx
P1	7.04	7.09	7.17	7.40	7.61	7.72	7.84	8.07	8.21	8.37
P2	5.46	5.57	5.73	5.92	6.14	6.38	6.64	6.84	7.13	7.63
P3	4.31	4.40	4.44	4.66	4.98	5.24	5.54	5.89	6.13	6.68
P4	3.48	3.57	3.75	3.93	4.25	4.45	4.69	4.95	5.30	5.93
Y1	8.70	8.78	8.85	8.94	8.98	8.99	9.00	9.04	9.07	9.06
Y2	8.15	8.26	8.40	8.58	8.68	8.66	8.68	8.71	8.72	8.77
Y3	7.46	7.71	7.98	8.20	8.32	8.35	8.37	8.44	8.39	8.49
Y4	6.80	7.00	7.20	7.68	7.91	7.93	7.94	8.05	8.01	8.10
G1	8.49	8.50	8.45	8.43	8.47	8.46	8.46	8.44	8.49	8.54
G2	7.99	7.99	7.93	7.93	7.99	8.04	8.03	8.06	8.08	8.15
G3	6.29	6.31	6.25	6.20	6.20	6.31	6.39	6.48	6.59	6.87
G4	5.03	5.06	4.96	4.96	5.01	5.02	5.13	5.14	5.34	5.50
C1	8.94	8.95	8.90	8.88	8.85	8.83	8.83	8.80	8.90	8.85
C2	8.47	8.45	8.37	8.20	8.02	8.12	8.15	8.22	8.29	8.33
C3	7.97	7.91	7.62	7.51	7.29	7.34	7.47	7.57	7.67	7.78
C4	7.15	7.02	6.89	6.72	6.45	6.43	6.59	6.77	6.84	7.04
B1	7.69	7.63	7.63	7.60	7.50	7.60	7.70	7.79	7.95	8.04
B2	6.96	6.87	6.72	6.77	6.62	6.72	6.85	7.06	7.19	7.36
B3	5.90	5.85	5.77	5.81	5.65	5.72	5.77	6.05	6.24	6.33
B4	5.05	4.98	4.91	4.85	4.75	4.79	4.79	5.08	5.21	5.43
V1	7.20	7.12	7.19	7.09	7.21	7.31	7.42	7.65	7.84	8.07
V2	5.55	5.56	5.50	5.47	5.62	5.71	5.92	6.16	6.46	6.83
V3	4.33	4.25	4.27	4.23	4.27	4.35	4.61	4.79	5.11	5.55
V4	2.85	2.88	2.94	2.93	3.04	3.10	3.24	3.34	3.66	3.85
YR1	6.63	6.71	6.96	7.25	7.59	7.73	7.98	8.07	8.19	8.45
YR2	5.67	5.77	5.98	6.46	6.86	7.09	7.23	7.33	7.66	7.92
YR3	4.74	4.87	5.08	5.52	5.86	6.24	6.37	6.56	6.71	7.19
YR4	3.78	3.83	4.09	4.40	4.77	5.27	5.53	5.67	5.84	6.29
RY1	7.11	7.12	7.28	7.62	7.87	8.09	8.18	8.25	8.19	8.37
RY2	6.42	6.56	6.75	6.99	7.34	7.53	7.70	7.79	7.76	8.03
RY3	5.65	5.74	6.01	6.31	6.68	6.92	7.05	7.24	7.23	7.49
RY4	5.29	5.36	5.62	5.88	6.31	6.61	6.73	6.79	6.86	7.18
GY1	8.71	8.68	8.72	8.75	8.88	8.87	8.93	8.95	9.00	9.06
GY2	8.08	8.12	8.26	8.40	8.54	8.57	8.56	8.60	8.65	8.77
GY3	7.55	7.65	7.77	8.06	8.20	8.19	8.22	8.27	8.29	8.44
GY4	6.90	7.01	7.04	7.22	7.62	7.73	7.78	7.73	7.86	8.12

Converted Luminance Data of Matching Gray Scale

Test Colors	Illuminance level									
	0.01 lx	0.03 lx	0.1 lx	0.3 lx	1 lx	3 lx	10 lx	30 lx	100 lx	1000 lx
P1	-2.881	-2.396	-1.862	-1.351	-0.798	-0.305	0.234	0.743	1.284	2.306
P2	-3.144	-2.647	-2.095	-1.585	-1.024	-0.507	0.057	0.566	1.133	2.205
P3	-3.376	-2.879	-2.347	-1.824	-1.236	-0.708	-0.129	0.410	0.974	2.064
P4	-3.573	-3.073	-2.505	-1.985	-1.389	-0.868	-0.295	0.235	0.826	1.940
Y1	-2.652	-2.165	-1.633	-1.145	-0.617	-0.139	0.385	0.867	1.394	2.393
Y2	-2.724	-2.232	-1.691	-1.190	-0.655	-0.180	0.345	0.826	1.351	2.357
Y3	-2.819	-2.307	-1.746	-1.240	-0.701	-0.220	0.306	0.792	1.308	2.321
Y4	-2.918	-2.410	-1.857	-1.311	-0.756	-0.276	0.248	0.740	1.258	2.270
G1	-2.679	-2.200	-1.684	-1.209	-0.681	-0.206	0.317	0.792	1.321	2.328
G2	-2.745	-2.268	-1.753	-1.276	-0.745	-0.261	0.260	0.742	1.267	2.276
G3	-2.999	-2.519	-2.006	-1.537	-1.014	-0.519	0.017	0.509	1.049	2.093
G4	-3.226	-2.743	-2.240	-1.763	-1.230	-0.751	-0.206	0.273	0.834	1.863
C1	-2.622	-2.144	-1.627	-1.152	-0.633	-0.159	0.364	0.838	1.373	2.367
C2	-2.681	-2.207	-1.694	-1.240	-0.741	-0.250	0.276	0.763	1.295	2.300
C3	-2.748	-2.279	-1.796	-1.335	-0.844	-0.359	0.182	0.674	1.211	2.226
C4	-2.864	-2.407	-1.904	-1.453	-0.973	-0.499	0.049	0.555	1.089	2.119
B1	-2.786	-2.318	-1.795	-1.322	-0.813	-0.322	0.215	0.705	1.249	2.262
B2	-2.893	-2.430	-1.930	-1.445	-0.946	-0.453	0.090	0.599	1.141	2.166
B3	-3.065	-2.597	-2.088	-1.604	-1.110	-0.620	-0.088	0.438	0.992	2.007
B4	-3.222	-2.759	-2.250	-1.785	-1.282	-0.797	-0.274	0.261	0.809	1.850
V1	-2.857	-2.392	-1.859	-1.396	-0.856	-0.364	0.175	0.685	1.234	2.266
V2	-3.128	-2.645	-2.197	-1.665	-1.115	-0.622	-0.062	0.456	1.028	2.087
V3	-3.371	-2.912	-2.385	-1.916	-1.385	-0.890	-0.311	0.203	0.790	1.872
V4	-3.745	-3.260	-2.719	-2.245	-1.691	-1.197	-0.636	-0.132	0.472	1.519
YR1	-2.944	-2.455	-1.893	-1.373	-0.801	-0.304	0.254	0.743	1.282	2.316
YR2	-3.106	-2.611	-2.052	-1.494	-0.908	-0.396	0.147	0.639	1.209	2.245
YR3	-3.284	-2.781	-2.216	-1.656	-1.072	-0.530	0.014	0.522	1.068	2.141
YR4	-3.498	-3.009	-2.425	-1.879	-1.278	-0.703	-0.131	0.371	0.924	2.001
RY1	-2.870	-2.392	-1.845	-1.319	-0.761	-0.254	0.280	0.767	1.282	2.306
RY2	-2.978	-2.478	-1.925	-1.411	-0.837	-0.332	0.215	0.705	1.223	2.260
RY3	-3.110	-2.616	-2.046	-1.519	-0.936	-0.422	0.121	0.626	1.147	2.185
RY4	-3.176	-2.686	-2.115	-1.592	-0.996	-0.470	0.071	0.558	1.092	2.140
GY1	-2.651	-2.177	-1.649	-1.169	-0.629	-0.154	0.377	0.856	1.385	2.393
GY2	-2.733	-2.250	-1.709	-1.213	-0.672	-0.191	0.330	0.812	1.342	2.357
GY3	-2.806	-2.315	-1.775	-1.258	-0.717	-0.241	0.286	0.770	1.295	2.315
GY4	-2.902	-2.408	-1.881	-1.377	-0.796	-0.304	0.226	0.696	1.237	2.272

Ashizawa-Ikeda/ Colorimetric Data

Colorimetric Data of Ashizawa-Ikeda's 36 Colored Clothes

Test Colors	x	y	x10	y10	Y	L10/L	L*/L
P1	0.397	0.313	0.392	0.315	42.809	1.081	1.789
P2	0.439	0.294	0.430	0.297	25.871	1.079	1.534
P3	0.471	0.287	0.459	0.291	17.685	1.074	1.318
P4	0.494	0.285	0.481	0.289	12.966	1.070	1.174
Y1	0.406	0.431	0.415	0.427	80.727	1.055	1.576
Y2	0.437	0.452	0.448	0.446	75.673	1.044	1.347
Y3	0.459	0.460	0.470	0.453	70.807	1.039	1.200
Y4	0.485	0.462	0.497	0.454	62.094	1.032	1.026
G1	0.343	0.385	0.349	0.385	59.116	1.079	2.095
G2	0.334	0.398	0.342	0.399	49.085	1.081	2.175
G3	0.323	0.420	0.332	0.423	24.525	1.083	2.283
G4	0.319	0.446	0.330	0.449	13.889	1.082	2.310
C1	0.286	0.337	0.290	0.340	58.943	1.101	2.611
C2	0.255	0.316	0.259	0.323	43.996	1.119	3.015
C3	0.234	0.304	0.239	0.314	33.883	1.133	3.315
C4	0.211	0.287	0.215	0.300	23.501	1.153	3.728
B1	0.310	0.321	0.311	0.324	38.815	1.098	2.447
B2	0.299	0.308	0.300	0.311	28.212	1.105	2.581
B3	0.284	0.288	0.284	0.293	17.757	1.116	2.800
B4	0.272	0.272	0.271	0.278	11.601	1.126	2.999
V1	0.329	0.286	0.325	0.291	33.164	1.104	2.413
V2	0.322	0.250	0.314	0.256	16.274	1.118	2.619
V3	0.316	0.226	0.306	0.233	8.877	1.127	2.770
V4	0.321	0.225	0.310	0.231	4.066	1.119	2.638
YR1	0.409	0.371	0.411	0.369	43.065	1.063	1.581
YR2	0.433	0.370	0.434	0.369	31.353	1.060	1.435
YR3	0.451	0.377	0.452	0.375	24.018	1.056	1.332
YR4	0.480	0.375	0.480	0.374	16.942	1.053	1.179
RY1	0.425	0.414	0.431	0.410	52.416	1.054	1.464
RY2	0.450	0.425	0.457	0.421	44.668	1.048	1.317
RY3	0.470	0.433	0.478	0.429	35.895	1.043	1.187
RY4	0.476	0.430	0.483	0.425	33.864	1.043	1.162
GY1	0.403	0.445	0.413	0.439	67.510	1.052	1.561
GY2	0.423	0.461	0.435	0.453	62.296	1.045	1.413
GY3	0.419	0.467	0.431	0.459	56.381	1.045	1.436
GY4	0.435	0.490	0.450	0.479	46.642	1.036	1.281
Gray Scale (perfect diffuser)	0.348	0.359	0.351	0.358	100.000	1.078	2.028

Tetrasitmulus Values In Trezona's System

Test Colors	X	Y	Z	V'
P1	0.434	0.349	0.324	0.232
P2	0.418	0.290	0.266	0.165
P3	0.401	0.254	0.219	0.125
P4	0.378	0.227	0.181	0.100
Y1	0.482	0.496	0.184	0.298
Y2	0.509	0.507	0.121	0.263
Y3	0.527	0.508	0.086	0.236
Y4	0.545	0.498	0.055	0.199
G1	0.424	0.468	0.324	0.366
G2	0.416	0.486	0.315	0.393
G3	0.401	0.510	0.296	0.432
G4	0.391	0.531	0.262	0.456
C1	0.380	0.445	0.484	0.424
C2	0.348	0.434	0.562	0.469
C3	0.324	0.426	0.608	0.500
C4	0.295	0.411	0.663	0.534
B1	0.382	0.397	0.448	0.356
B2	0.369	0.383	0.478	0.359
B3	0.351	0.362	0.522	0.365
B4	0.337	0.346	0.561	0.370
V1	0.357	0.319	0.421	0.280
V2	0.312	0.254	0.426	0.239
V3	0.278	0.212	0.420	0.209
V4	0.255	0.190	0.378	0.180
YR1	0.465	0.417	0.249	0.249
YR2	0.471	0.400	0.214	0.217
YR3	0.473	0.393	0.180	0.199
YR4	0.470	0.367	0.143	0.165
RY1	0.482	0.459	0.177	0.256
RY2	0.494	0.456	0.132	0.230
RY3	0.502	0.450	0.098	0.206
RY4	0.501	0.441	0.095	0.197
GY1	0.485	0.515	0.173	0.307
GY2	0.505	0.526	0.130	0.286
GY3	0.502	0.535	0.128	0.295
GY4	0.527	0.560	0.083	0.278
Gray Scale (perfect diffuser)	0.432	0.441	0.357	0.333

Equivalent Luminance by Nakano-Ikeda's System

Data = Ashizawa-Ikeda

(In log cd/m²)

Test Colors	0.01 lx		0.03 lx		0.1 lx		0.3 lx		1 lx		3 lx		10 lx		30 lx		100 lx		1000 lx	
	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test
P1	-2.955	-2.983	-2.454	-2.476	-1.894	-1.903	-1.364	-1.385	-0.801	-0.839	-0.305	-0.353	0.235	0.172	0.744	0.651	1.285	1.173	2.307	2.174
P2	-3.222	-3.269	-2.714	-2.758	-2.139	-2.167	-1.606	-1.619	-1.030	-1.044	-0.508	-0.546	0.058	-0.015	0.567	0.464	1.134	0.988	2.206	1.989
P3	-3.457	-3.502	-2.952	-2.992	-2.403	-2.392	-1.855	-1.818	-1.246	-1.213	-0.710	-0.698	-0.129	-0.160	0.323	0.323	0.975	0.846	2.065	1.847
P4	-3.655	-3.690	-3.150	-3.182	-2.567	-2.581	-2.023	-1.993	-1.403	-1.360	-0.872	-0.828	-0.295	-0.281	0.236	0.204	0.827	0.730	1.941	1.731
Y1	-2.719	-2.737	-2.212	-2.208	-1.655	-1.625	-1.153	-1.113	-0.619	-0.574	-0.139	-0.092	0.386	0.436	0.868	0.911	1.395	1.434	2.394	2.434
Y2	-2.793	-2.817	-2.282	-2.269	-1.715	-1.656	-1.199	-1.125	-0.657	-0.576	-0.180	-0.091	0.346	0.436	0.827	0.914	1.352	1.437	2.358	2.437
Y3	-2.891	-2.886	-2.360	-2.324	-1.773	-1.690	-1.250	-1.142	-0.759	-0.622	-0.276	-0.129	0.249	0.400	0.741	0.879	1.309	1.433	2.322	2.433
Y4	-2.992	-3.004	-2.468	-2.427	-1.889	-1.764	-1.323	-1.194	-0.759	-0.622	-0.276	-0.129	0.249	0.400	0.741	0.879	1.309	1.433	2.322	2.433
G1	-2.747	-2.784	-2.249	-2.293	-1.708	-1.751	-1.219	-1.263	-0.683	-0.735	-0.206	-0.256	0.318	0.268	0.793	0.745	1.322	1.268	2.277	2.188
G2	-2.815	-2.853	-2.320	-2.366	-1.780	-1.828	-1.287	-1.342	-0.748	-0.814	-0.261	-0.338	0.261	0.188	0.743	0.665	1.268	1.188	2.277	2.188
G3	-3.075	-3.138	-2.582	-2.655	-2.045	-2.122	-1.556	-1.633	-1.020	-1.103	-0.520	-0.622	0.018	-0.098	0.510	0.380	1.050	0.902	2.094	1.902
G4	-3.305	-3.381	-2.813	-2.900	-2.291	-2.369	-1.791	-1.879	-1.240	-1.343	-0.754	-0.859	-0.206	-0.333	0.274	0.145	0.835	0.668	1.864	1.668
C1	-2.688	-2.704	-2.190	-2.228	-1.649	-1.705	-1.160	-1.226	-0.635	-0.701	-0.159	-0.223	0.365	0.301	0.839	0.778	1.374	1.301	2.368	2.301
C2	-2.749	-2.775	-2.256	-2.306	-1.719	-1.795	-1.250	-1.320	-0.744	-0.796	-0.250	-0.319	0.277	0.205	0.764	0.682	1.296	1.205	2.301	2.205
C3	-2.818	-2.848	-2.332	-2.384	-1.825	-1.879	-1.348	-1.410	-0.848	-0.887	-0.359	-0.409	0.183	0.115	0.675	0.592	1.212	1.115	2.227	2.115
C4	-2.937	-2.957	-2.465	-2.494	-1.938	-1.998	-1.469	-1.538	-0.978	-1.019	-0.500	-0.541	0.050	-0.017	0.556	0.460	1.090	0.983	2.120	1.983
B1	-2.857	-2.911	-2.372	-2.432	-1.824	-1.908	-1.334	-1.430	-0.816	-0.906	-0.322	-0.429	0.216	0.095	0.706	0.572	1.250	1.095	2.227	2.095
B2	-2.967	-3.028	-2.489	-2.553	-1.966	-2.033	-1.461	-1.557	-0.951	-1.035	-0.454	-0.557	0.091	-0.034	0.600	0.443	1.142	0.966	2.167	1.966
B3	-3.142	-3.195	-2.662	-2.721	-2.131	-2.207	-1.625	-1.738	-1.117	-1.218	-0.622	-0.742	-0.088	-0.219	0.439	0.258	0.993	0.781	2.008	1.821
B4	-3.301	-3.350	-2.829	-2.878	-2.301	-2.366	-1.814	-1.902	-1.293	-1.387	-0.800	-0.912	-0.274	-0.389	0.262	0.088	0.810	0.611	1.851	1.611
V1	-2.930	-2.983	-2.450	-2.502	-1.891	-1.970	-1.410	-1.483	-0.860	-0.953	-0.364	-0.473	0.176	0.052	0.686	0.529	1.235	1.052	2.267	2.052
V2	-3.205	-3.260	-2.712	-2.782	-2.183	-2.258	-1.689	-1.776	-1.123	-1.244	-0.624	-0.762	-0.062	-0.236	0.457	0.242	1.029	0.765	2.088	1.765
V3	-3.452	-3.498	-2.986	-3.022	-2.442	-2.501	-1.951	-2.024	-1.399	-1.495	-0.894	-1.010	-0.311	-0.482	0.204	-0.004	0.473	0.184	1.520	1.195
V4	-3.828	-3.859	-3.339	-3.381	-2.788	-2.858	-2.296	-2.378	-1.718	-1.846	-1.206	-1.356	-0.638	-0.822	-0.132	-0.341	0.473	0.184	1.520	1.195
YR1	-3.019	-3.028	-2.514	-2.512	-1.927	-1.927	-1.386	-1.402	-0.804	-0.852	-0.304	-0.366	0.255	0.161	0.744	0.639	1.283	1.162	2.317	2.163
YR2	-3.184	-3.209	-2.677	-2.693	-2.093	-2.096	-1.511	-1.552	-0.912	-0.986	-0.397	-0.493	0.148	0.036	0.640	0.514	1.210	1.038	2.246	2.038
YR3	-3.364	-3.360	-2.852	-2.845	-2.266	-2.244	-1.679	-1.684	-1.079	-1.103	-0.531	-0.602	0.015	-0.071	0.523	0.410	1.069	0.933	2.142	1.934
YR4	-3.580	-3.568	-3.085	-3.055	-2.484	-2.449	-1.912	-1.868	-1.289	-1.258	-0.705	-0.741	-0.131	-0.202	0.372	0.280	0.925	0.804	2.002	1.805
RY1	-2.943	-2.964	-2.450	-2.437	-1.877	-1.939	-1.331	-1.309	-0.764	-0.758	-0.254	-0.272	0.281	0.255	0.768	0.686	1.224	1.256	2.307	2.257
RY2	-3.054	-3.076	-2.539	-2.541	-1.960	-1.925	-1.426	-1.376	-0.841	-0.812	-0.332	-0.321	0.216	0.207	0.706	0.686	1.224	1.256	2.307	2.257
RY3	-3.187	-3.218	-2.682	-2.680	-2.087	-2.049	-1.537	-1.477	-0.941	-0.896	-0.423	-0.398	0.122	0.133	0.627	0.613	1.148	1.137	2.186	2.137
RY4	-3.255	-3.253	-2.754	-2.715	-2.160	-2.091	-1.613	-1.505	-1.002	-0.920	-0.471	-0.419	0.072	0.113	0.559	0.592	1.093	1.116	2.141	2.117
GY1	-2.718	-2.824	-2.225	-2.298	-1.672	-1.711	-1.178	-1.195	-0.631	-0.653	-0.154	-0.169	0.378	0.356	0.857	0.834	1.386	1.357	2.394	2.353
GY2	-2.803	-2.895	-2.301	-2.358	-1.734	-1.753	-1.223	-1.221	-0.674	-0.671	-0.191	-0.185	0.331	0.342	0.813	0.820	1.343	1.343	2.358	2.343
GY3	-2.878	-2.936	-2.369	-2.404	-1.803	-1.800	-1.269	-1.268	-0.720	-0.716	-0.241	-0.229	0.287	0.298	0.771	0.776	1.296	1.299	2.316	2.299
GY4	-2.976	-3.066	-2.466	-2.525	-1.914	-1.901	-1.391	-1.347	-0.799	-0.781	-0.304	-0.288	0.227	0.240	0.697	0.719	1.238	1.243	2.273	2.243

Ashizawa-Ikeda/ Equivalent luminance

Equivalent Luminance by Trezona's System
Data = Ashizawa-Ikeda

(In log cd/m²)

Test Colors	0.01 lx		0.03 lx		0.1 lx		0.3 lx		1 lx		3 lx		10 lx		30 lx		100 lx		1000 lx	
	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test	Reference	Test
P1	-2.708	-2.705	-2.270	-2.248	-1.776	-1.747	-1.285	-1.280	-0.738	-0.757	-0.281	-0.299	0.263	0.231	0.785	0.700	1.320	1.215	2.342	2.213
P2	-2.939	-2.906	-2.499	-2.463	-1.991	-1.930	-1.520	-1.456	-0.953	-0.904	-0.482	-0.436	0.109	0.106	0.609	0.584	1.170	1.104	2.244	2.099
P3	-3.150	-3.128	-2.706	-2.658	-2.225	-2.129	-1.742	-1.657	-1.168	-1.117	-0.654	-0.638	-0.800	-0.114	0.456	0.369	1.013	0.888	2.098	1.878
P4	-3.331	-3.267	-2.875	-2.818	-2.370	-2.313	-1.889	-1.836	-1.323	-1.312	-0.805	-0.821	-0.251	-0.311	0.284	0.179	0.867	0.697	1.969	1.688
Y1	-2.504	-2.475	-2.055	-2.006	-1.567	-1.506	-1.075	-1.017	-0.566	-0.513	-0.090	-0.036	0.432	0.481	0.908	0.949	1.429	1.464	2.428	2.459
Y2	-2.569	-2.518	-2.118	-2.089	-1.620	-1.501	-1.122	-0.995	-0.602	-0.474	-0.132	0.016	0.392	0.543	0.867	1.018	1.385	1.535	2.392	2.527
Y3	-2.654	-2.572	-2.187	-2.089	-1.671	-1.575	-1.172	-1.076	-0.646	-0.558	-0.173	0.076	0.353	0.450	0.832	0.922	1.344	1.440	2.358	2.437
Y4	-2.740	-2.658	-2.282	-2.183	-1.772	-1.673	-1.244	-1.189	-0.698	-0.671	-0.231	-0.202	0.297	0.323	0.782	0.793	1.293	1.309	2.307	2.309
G1	-2.528	-2.568	-2.058	-2.135	-1.613	-1.658	-1.142	-1.188	-0.628	-0.678	-0.159	-0.211	0.365	0.314	0.832	0.785	1.358	1.301	2.364	2.304
G2	-2.588	-2.635	-2.151	-2.209	-1.678	-1.734	-1.209	-1.274	-0.688	-0.759	-0.216	-0.298	0.308	0.230	0.783	0.702	1.303	1.218	2.314	2.221
G3	-2.811	-2.879	-2.382	-2.474	-1.907	-2.006	-1.472	-1.575	-0.944	-1.052	-0.472	-0.594	0.069	-0.073	0.553	0.400	1.087	0.917	2.130	1.907
G4	-3.014	-3.090	-2.586	-2.682	-2.125	-2.226	-1.686	-1.795	-1.162	-1.299	-0.694	-0.828	-0.160	-0.325	0.320	0.160	1.408	1.313	1.893	1.665
C1	-2.478	-2.533	-2.035	-2.117	-1.561	-1.647	-1.083	-1.179	-0.582	-0.668	-0.110	-0.201	0.411	0.325	0.796	0.716	1.408	1.313	2.402	2.316
C2	-2.531	-2.614	-2.094	-2.210	-1.623	-1.745	-1.172	-1.291	-0.684	-0.773	-0.205	-0.315	0.324	0.216	0.805	0.687	1.331	1.204	2.337	2.207
C3	-2.591	-2.685	-2.161	-2.293	-1.717	-1.833	-1.269	-1.391	-0.782	-0.868	-0.317	-0.414	0.232	0.117	0.716	0.588	1.247	1.105	2.265	2.102
C4	-2.894	-2.784	-2.279	-2.403	-1.815	-1.951	-1.388	-1.525	-0.904	-1.000	-0.454	-0.544	0.101	-0.019	0.598	0.454	1.126	0.971	2.158	1.960
B1	-2.626	-2.692	-2.197	-2.275	-1.715	-1.802	-1.255	-1.351	-0.753	-0.830	-0.278	-0.374	0.264	0.157	0.747	0.629	1.285	1.145	2.299	2.145
B2	-2.718	-2.793	-2.301	-2.388	-1.838	-1.916	-1.381	-1.480	-0.878	-0.950	-0.409	-0.497	0.141	0.032	0.643	0.502	1.178	1.019	2.206	2.009
B3	-2.869	-2.944	-2.454	-2.544	-1.983	-2.084	-1.539	-1.653	-1.040	-1.139	-0.569	-0.673	-0.037	-0.159	0.483	0.321	1.031	0.837	2.038	1.827
B4	-3.010	-3.084	-2.601	-2.682	-2.134	-2.232	-1.706	-1.802	-1.218	-1.307	-0.737	-0.830	-0.229	-0.330	0.309	0.158	0.850	0.673	1.880	1.662
V1	-2.887	-2.744	-2.266	-2.321	-1.774	-1.840	-1.331	-1.391	-0.793	-0.865	-0.322	-0.411	0.225	0.121	0.728	0.591	1.270	1.108	2.303	2.103
V2	-2.925	-2.988	-2.497	-2.569	-2.029	-2.093	-1.596	-1.653	-1.045	-1.137	-0.571	-0.668	-0.010	-0.154	0.502	0.327	1.067	0.843	2.124	1.831
V3	-3.146	-3.206	-2.735	-2.778	-2.259	-2.311	-1.826	-1.868	-1.319	-1.375	-0.825	-0.890	-0.268	-0.392	0.252	0.097	0.830	0.614	1.902	1.602
V4	-3.492	-3.531	-3.044	-3.094	-2.565	-2.627	-2.130	-2.189	-1.620	-1.702	-1.128	-1.236	-0.584	-0.714	0.083	-0.252	0.517	0.280	1.551	1.266
YR1	-2.763	-2.736	-2.324	-2.271	-1.805	-1.763	-1.307	-1.292	-0.741	-0.767	-0.260	-0.310	0.302	0.220	0.785	0.687	1.317	1.201	2.353	2.198
YR2	-2.905	-2.866	-2.468	-2.414	-1.949	-1.884	-1.430	-1.411	-0.843	-0.863	-0.358	-0.400	0.197	0.141	0.682	0.615	1.246	1.134	2.293	2.128
YR3	-3.067	-3.027	-2.621	-2.538	-2.104	-1.995	-1.588	-1.520	-1.002	-0.968	-0.484	-0.497	0.066	0.038	0.566	0.515	1.106	1.034	2.181	2.024
YR4	-3.263	-3.187	-2.818	-2.718	-2.297	-2.190	-1.792	-1.716	-1.211	-1.182	-0.648	-0.700	-0.082	-0.181	0.418	0.304	0.964	0.822	2.031	1.813
RY1	-2.699	-2.669	-2.268	-2.192	-1.762	-1.677	-1.253	-1.191	-0.704	-0.666	-0.209	-0.197	0.328	0.332	0.809	0.801	1.317	1.315	2.342	2.308
RY2	-2.792	-2.754	-2.348	-2.260	-1.835	-1.728	-1.346	-1.239	-0.775	-0.703	-0.232	-0.232	0.264	0.304	0.747	0.777	1.260	1.295	2.298	2.289
RY3	-2.909	-2.862	-2.472	-2.390	-1.944	-1.863	-1.454	-1.388	-0.870	-0.846	-0.380	-0.384	0.171	0.155	0.669	0.628	1.184	1.146	2.224	2.142
RY4	-2.968	-2.890	-2.535	-2.419	-2.008	-1.891	-1.527	-1.419	-0.926	-0.874	-0.427	-0.413	0.122	0.125	0.602	0.598	1.129	1.116	2.180	2.110
GY1	-2.503	-2.553	-2.067	-2.083	-1.582	-1.582	-1.100	-1.096	-0.578	-0.585	-0.105	-0.114	0.423	0.407	0.897	0.875	1.420	1.389	2.428	2.384
GY2	-2.577	-2.600	-2.135	-2.115	-1.636	-1.597	-1.146	-1.099	-0.619	-0.574	-0.144	-0.092	0.377	0.438	0.853	0.912	1.376	1.432	2.392	2.429
GY3	-2.644	-2.640	-2.195	-2.158	-1.698	-1.640	-1.191	-1.147	-0.661	-0.621	-0.195	-0.144	0.333	0.388	0.811	0.858	1.331	1.376	2.351	2.371
GY4	-2.727	-2.738	-2.281	-2.259	-1.794	-1.737	-1.311	-1.253	-0.737	-0.719	-0.260	-0.250	0.275	0.286	0.739	0.758	1.273	1.276	2.310	2.273