慶應義塾大学学術情報リポジトリ Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	輝度の加法性について 色彩スケール論 3
Sub Title	On the additivity law of luminance : treatimes on color scales 3
Author	印東, 太郎(Indo, Taro)
Publisher	三田哲學會
Publication year	1960
Jtitle	哲學 No.38 (1960. 11) ,p.281- 306
JaLC DOI	
Abstract	As one of the treatises in a continued series making inquiries into psychological problems involved in photometry and colorimetry, the present article provided a detailed account of all the postulates inherent in the present definition of the psychophysical concept: light. In regard to the C.I.E. luminosity curve, discussions were made about individual differences in its source data, the psychophysical procedures employed, restrictions in the observational conditions and so on, but special emphasis is laid on the role played by Abney's law, i.e., the additivity of luminance. Hence, results of the recent experiments made by MacAdam, Sperling, Fedorov etc., which concern directly or indirectly with the additivity assumption, were reviewed with the conclusions as follows. If Abney's law holds at all, it does only under luminance matches by the flicker method. Direct comparison methods do not consistently support the precise additivity of luminance. The additivity principle, however, underlies all the present systems of photometry and colorimetry. Nevertheless, the flicker method could not reasonably be accepted as the sole basis for photometric meaurements to the exclusion of direct observations. Though useful, the flicker photometry is a secondary procedure in the sense that it is less closely related to ordinary conditions of observing colors. Photometry and colorimetry have served more than thirty years for practical purposes with no serious trouble, which would indicate that the deviations from additivity principle for granted. From the viewpoint of psychophysics, howe, it might be of importance to make clear the abney's law has been established accurately only by the flicker method. It was argued that luminance is ultimately based on the determination of the equality in brightness and remains to be the lower metric of brightness even when it is defined with internal consistency. Higher metric should answer the question by how many times one brightness differs from another.
Notes	横山松三郎先生古稀記念論文集
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000038- 0288

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって 保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

	二	·							•		について	加法性に	輝度の加	
(Optical Society)を通し認知され	S. A. sations	O.	うている。 rg (visual	″視感覚	けいは、学的性格	王 知 理 物 理 堂	とえば半		にう単れ12	式 見 解 し な と い	、会の公	色委員	ica) 測	や色と Amer
合であるが、実は	いう具	値と	してる数	を単位	ルクス	できる	一に直読	ルの上	スケー	照度計の	、光電昭	いえば、	照度と、	ろう。
は見過され易いで	る事実	てい	の含まれ	·的問題	心理学	そこに	見1、 え2、 、8	として	一的計測	れた物理	完備さら	日には白	他人日	9110)~
Z-8701, Z-8721,	や (JIS	もの	通用する	どして	の規格	с 1 2	とつてけ	万面にと	の関係す	代技術	いは、近	システム	釣色のシ	測光、
												思う。	たいと	じて見
・少しく立入つて	合わせ	点を	問題に焦	うつの	われる	いと思	味が深	的に興	-物理学	行に精神	には、性	の機会	いうこの	文集と
山教授の古稀記念	れた横	来ら	をよせて	い関心	始、深	に、終	rsics)	chophy	, (psy	竹物理学	で、精神	そこ	て来た4.	を試み
り上げて論ずるこ	く と	- 2.	的問題を	心理学	それら	毎に、	会ある	で、機	いるの	ロまれて	問題も今	子的な問	の心理堂	に多く
るが、そこには同	のであ	るも	見なされ	部 門 と	学の一	も物理	いずれ	ry) は	lorimet	学(col)、 測 色	metry	(photo	測光 学
				a							言		緒	, Bernara
太 郎	東	印	1 00 1.00								÷			
•					3	論	ן גע	ケ	彩	「伯		•		

輝

度の

加

法性について

哲学第三十八集 二八二
る放射エネルギーの一特性 « と定義され、一つの psychophysical concept と呼ばれている。O.S.A. のいう psy- 5/3
chophysics とは『物理的刺激と心理的反応との関係に関する知識』であるから、Fechner 以来の伝統的な精神物理
学とほゞ同じ意図を表すものであろうが、O. S. A. の意味での Psychophysics を、以下、特に心理物理学と呼ぶこと
にすると、光の計測は、放射エネルギーの測定には違いないが、単なる物理量としての測定ではなく、むしろ、それ
が標準状態の下で標準観測者に明るさという心理的経験をひきおこす力が計測の対象となつているところから、これ
を心理物理学的測定と呼び、この操作によつて定義される光を心理物理学的概念と呼んでいるのである。 英国の Phy-
sical Society の公表した色彩の術語に関する報告では、心理物理的概念という言葉は用いていないが、光に関する
定義には内容的に相違はない。
光はこのように定義された概念であるから、単位時間当りの光の量、光束(luminous flux) Fは、波表 A を m/u で
表して
$F = K \int_{300}^{760} V_{\lambda} d\lambda \tag{1}$
で与えられることは、国際的に現在採用されている規格で、Paは単位波長当りの分光放射束 (radient flux) でワット
Wを単位として測定され、ルーメンMを単位としてFを表すには、 常数 K=680 lm/w とおけばよい。一方、V は標準(#1)
比視感度 (standard luminosity) で、特定の波長 λ の放射束が目に明るさの感覚をひきおこす相対的能力を表すもの
として、後に述べる操作によつて定義されている数値であるから、波長々の純物理量としての放射束がPワット存在
すれば、これを明るさをひきおこす力として評価したものが KP ₄ V ₄ となり、幾つかの4の混在しているのが普通で

.

	二八三	輝度の加法性について
	度りの妥当性に関する問題、第二は各波長における光束の積分によつて	えることが出来る。すなわち、第一は比視
	れている問題点は、⑴式から明らかなように、これを二つに大別して考	心理物理学的概念としての光、輝度に含い
		二、問題の所在
	ず、その心理物理学的問題点を指摘して見たいと思うのである。	論理体系上の基礎としての①式について、
•	粃上であるから、心理的事象をも併せ考えざるを得ない測光、測色学の	もないであろう。しかし、これは『哲学』
	破綻から生じたものでなければならないし、それは論じて片づく問題で	あるとすれば、それは実務における何らか
	ら、今更、その基礎的な問題を論じるのもおかしな話であろう。問題が	大過なくその任務を果して来たものである
	色を一つの技術としてのみ見るとすれば、それは過去卅年余にわたつて	にする訳にはゆかない。もつとも、測光、
	ので、従つて、①式に含まれる心理学的問題の考察は、これをゆるがせ	測光学、測色学の全体系の基礎に⑴式がある
	にせよ、⑴式そのもの乃至それに比例する量として計算される。事実、	系における刺激値Yは、色光にせよ、物体な
	輝度(luminance)lm/w×m² についても同様で、たとえば、XYZ表色	以上、光について述べたのであるが、色く
	しなければならない。	理物理学的係数が織込まれていることに注意
	度(lx=lm/m ²)の計測操作にも、その calibration の中にVzという心	ているのであるが、この純物理的と見える
	にはならない。光電照度計などはそのスケールがF を示すよう調整され	Vによつて、いわば変調しておかなければ
	唯などによつて測定されるが、これを、物理量の心理的効果を表す係数	ら。PAはエネルギーであるから光電管、熱
	ているのである。この定義から、光の心理物理学的性格は明らかであろ	あるから、可視光線の範囲にわたつて積分

哲学第三十八集 二八四	·
全体としての光束を定義する操作に関する問題であろう。	
比視感度V,を波長への函数として描いた曲線は、以前は visibility curve とも呼ばれたが、O. S. A. では、	では、現在、
比視感度曲線 (luminosity curve) ということになつている。 C. I. E. (Commission International de l'Ecla	l'Eclairage)
により、1924 に採用され、1933 の International Committee on Weights and Measures で公認された現	た現行の比
視感度曲線は、その観察条件としては、a視野中央における、b視角2°程度の、c明所視(photopic vision)、	sion)、明る
さの matching の方法としては等明度法かフリッカー法のいずれかによつて行われた実験ディタのみを勘考.	る勘考して定
義されている。したがつて、厳密にいえば、①式による光束の定義はこの条件の下においてのみ意味をもつこう3747879	っつことにな
つてしまい、問題といえばこれも一つの問題であろう。実験としては、勿論、観察条件をせまく指定すればそう	ればそれだけ
consistent なディタを得ることが出来るが、それは同時にその結果の妥当範囲をせばめることに他ならない。	ない。標準比
視感度曲線にしても、個人差その他の面において、ディタの consistency を余り捐うことなしに、より条件を	木件をゆるめ
ることが出来るか否かゞ問題になるであろう。cの条件についていえば、順応明度面の輝度を 1.ffーL 以下に	公下に下げて
ゆくと Purkinje shift によつてVの値は本質的に変化するので、これは論外とし、 aの条件もこれを崩せば、	せば、網膜
の構造から、結果は多義的となるのは明らかであるから、結局、残る問題は視角2°という制限になる。ドイツは	イッは 1937
に視角を5.以下におさえ純円錐体視の条件において標準比視感度曲線を定義しようという提案を行つたが、そ	い、それに対
する米国の回答は次のようなものであつた。すなわち、その下で光という概念の用いられる一般の条件を考え	で考えると、
現行のVの数値が批判されるとすれば、視角2の制約が大きに過ぎるためではなく、逆に小さきに過ぎること	ることでなけ
ればならないというのである。Maxwell's spot の介入により明るさの matching の困難になるのを承知で	小知で視角を

		•												
	輝度の加法性について	すなわち、a観察者が直接に二色をよ	が考えられる。18も明確ではないのである。二色の間に明	terochromatic な部分等色を行うのでも	色をその三属性において一致させ、全く	match させるというこの心理物理学的中	とすればよく、通常、1/Paの最大になる	$V_\lambda \propto \frac{1}{P_\lambda}$	え の刺激をこれと比較し同じ明るさに見	のような操作を必要とする。特定の基礎	一方、Vの妥当性に関するもう一つの	便宜的な決定だけが問題で、心理物理学	しては、ディタの consistency と、結果	10にとる試みが、最近、注目されはじめ
		比較しながら両者の明るさの 一致-	のるさに関する部分等色を定義する	あるから、 何を以て二色の明るさが	、区別の出来ない状態を作る完全等	実験において問題となるのは、その	る λ=555mµ において V555=1 ~	(2)	元えるそのエネルギーとしての放射	觇刺激(basic stimulus)、たとえば	の問題として、その測定方法があげ	子的見地から特に論じる必要はない	不の妥当範囲とのバランスシートの・	いているのも同じ思想にもとづくも
· · ·	二八五	したという印象を得る点を 求める等明度法	方法として、原理的には、次の四つの規準	か一致したと見なすか、 その規準は必ずし	色ではなく、明るさのみを一致させる he-) matching の方法ないし規準であろう。	こ定義するのである。 ところで、 明るさを		束PAを決定すれば、	標準白色、を一定の輝度に固定し、各波長	られる。比視感度どの数値を求めるには次	ように思われる。	上でそれを適当に定めるという、いわば、	のであろう。いずれにせよ、観察の条件と(註2)23、36、37

ŧ.

				,		
動と、同じ測定を何人かの被験者が行つた場合の個人差、すなわち、個人間変動の二つの変動の小さい時に、ディ者は後に詳述するので、こゝでは安定性についてのみ述べる。同一個人が同一測定を反復した場合における個人内変ものであろう。こゝに consistency とはディタの安定性と もうーン 加法性の成立というニング産をもてカ 谷	ありざうか。 こうしゅう こう こうしゅう こう しゅう いんじゅう こう こう しゅうしん しゅう こうつ ロシックボール 援助を仰がなければならなかつたのは、測定結果の consistency において後者が前者を凌駕するという理由による定するには、操作的定義からいつて、等明度法が最も直截にその目的に適つているにもかゝわらず、フリッカー法の	緒言に述べた心理物理学的概念としての光を与えるため、エネルギーとしての放射束PAを『変調』する係数Vを決tometry によつて評価するという条件付でしか成立しない。のならよいが、そうでないと、たとえばフリッカー法によつて測定されたV にもとづく光の定義は、常に flicker pho-	て定義されているのであるから、こゝにその妥当性に関する一つの問題があろう。両者が全く同等の結果を与えるもく考慮する余地はなかつたはずである。ところで、現行の標準比視感度曲線は、前述のように、a、b二方法によつを直接的に推揄するのカー比較的「困難であるからに化ならない」もしそれか管単であれた。その等明度およりに含	と直接的に言商するのが、七交り、困難であるからに也ならない。もしそれが簡単であれば、aの等明度去以外は全てhingを定義しており、それというのも、色度(chromaticity)の異る二色において明るさだけを抽象してその一致の明るさは等しいと定義する方法、とである。この四方法の中、aを除けば、いずれも間接的な手段で明るさのma-同じ明るさをもつと見なす方法、d二色についてそれ人、臨界融合界度 CI.I. を測定し それか等しい場合 二色	method)、c一色光の下でそれんく視力(visual acuity)を測り、照度を変化して視力の等しくなつた時に両色光は化させ、フリッカーの印象の消滅ないし最小になつたところを以て 明るさの一致と定義するフリッカー法(flicker(method of equality of brightness)、b二色を時間的に交替させてフリッカーをおこし、一方の放射束の強さを変	哲学第三十八集 二八六

•

輝度の加法性について
は寄与しているという仮説で、したがつて、色度の相違が存在しているにもかゝわらずフリッカーの消滅ないし最小
提唱を行つた。この方法の原理は、二色間におけるフリッカーの生起には色度の相違が寄与しない時でも、輝度の差
さきに述べた視角に関する提案と共に、標準比視感度曲線はフリッカー法によつてのみ定義されるべきであるという
れと一致すると認められて以来、一般に、比較的信用を博して来たように思われる。たとえば、ドイツは 1937 に、
一方、目をフリッカー法に転じると、夙に 1912 Ives によつてこの方法による結果が、cascade 等明度法によるそ
視感度の数値は全く異るものになることが考えられるという意見もある。 28 P591
これを固定基礎刺激との比較と、 cascade による step by step の比較とにわけた場合、同じ被験者においても比
範囲で変化されている。このように、 等明度法は論理的には最適であろうが、 実施上、 上述の困難を伴い、 また、
えば、C.I.E. 標準曲線の基礎に採用されている Gibson & Tyndall(1923)の実験では網膜照度 7 ~43 troland の
tching を行うのは困難なので、波長によつて輝度レベルをずらせ、換算しながら②式によりVを求めるので、たと
さの比較が出来るので、ディタは安定してくるといわれる。一般にはスペクトラムの全可視部を同一輝度にして ma-
るというふうに、標準刺激をスペクトラムの上でずらせてゆくので、その方法によると、色度の差を極小にして明る
である。この場合は、基礎刺激を一つに固定せず、Aにんの明るさを match させたら、次にんにんの明るさをさせ
ching の困難に過ぎるためとされ、そこでしばし用いられるのは、 small step いわゆる cascade による等明度法
には不安定に過ぎるといわれている。これは基礎刺激と比較刺激の色度における相違が大きく、明るさのみの mat-
ングステン球による光を基礎刺激とし、等明度法によつて行われた測定の結果は、これを標準比視感度の基礎とする
タは安定しているというべきであろうが、たとえば Coblentz & Emerson(1917)の 110 名におよぶ被験者の、タ

.

	哲 学 第三十八集	二八八
	になるエネルギー強度関係が存在すれば、そこにおいて両者	る明るさは一致しているはずということであろう。しか
	し、上述のドイッ提唱に対する 米国の回答において 指摘さ	れているように、フリッカー法は あくまで二次的なもの
	(secondary procedure)で、この方法が等明度法と異る結果	~を与えるとすれば、等明度法にかえてこれを標準比視感
	・ 度曲線決定の基礎にする訳にはゆかない。もし flicker pho 18 P57	tometry をその基礎とするなら、光の概念の、そしてま
	た測光体系の目標の慎重な再検討を要するであろう。等明度553 552 553 552 553 552 553 552 553 553	法が明るさの一致したという観察者の印象、より正確に
	いえば、明るさの相違が存在しているとは認められなくなつ	^たという余り輪郭の明快でない点をおさえようとしてい
	るのに反し、フリッカー法の方は、ともかく、フリッカーの)消失ないし最小になるという比較的はつきりした点を扱
	うところから、物理学関係の方にはより客観的で、より頼り	^になるように見えるかもしれないが、普通の意味におけ
	る明るさの matching がこの操作によつて可能であるとい	,うのはあくまでも仮説であり、さもなければ、この方法
	によつて明るさの一致を操作的に定義し、そのかわり、その)内容が直接的に知覚されるそれとは異つてくるかもしれ
·	ないことを覚悟してかゝらなければならない。フリッカー沖	は、それが等明度法と本質的に同じ結果を、しかも、等
	明度法よりもより安定した形で与えてこそ、これを援用する	>意味が生きて来るが、それ以外の場合には、測定の操作
	の中に論理的困難を含むものというべきであろう。	
	以上、比視感度以の妥当性をめぐり、その観察条件および)測定法の二面から考察を行つて来た。しかし、光の概念
	に含まれる心理物理学的問題点としては、本節の冒頭に指摘	高したように、もう一つ、①式の示すような積分操作を用
	いることの可否があり、これは同時に、三頁にふれたように	こ、加法性の成立という意味でのディタの consistency の
	問題に連り、等明度法、フリッカー法を別箇の観点から比較	今することにもなるので、次にこの問題をとり上げなけれ

こついて 二八九	輝度の加法性
によつて 1913 定式化されたこの法則は、その後の実験的研究によつて完全には支持されてい	ところが、Abney
こあろう。	わなければならないで
ものであるから、単にYの数値のみならず、X、2の定義にもこの原理は関連をもつているとい	変換して求められた
小係数(distribution coefficients)の決定自身、加法性の原理を利用しながら混色実験の数値を	測色標準観測者の分布
周知のように、⑴式そのものによつて計算されるよう定義されており、 しかも、C.I.E. 1931	XYZ表色系のYは、
れるとなると、それは部分的修正によつて解決される問題ではない。一方、測色学からいつても、	法性の原理がもし崩れ
、であればその数値が一部疑わしい場合には、その値だけ修正すればそれで済むのであるが、加	ていえば、比視感度以
の加法性はその上に測光学、測色学の全体系を支える基本原理ということが出来る。測光につい	このように、輝度の
	なつて来るのである。
加法性の成立することになり、加色混合に関する Grassmann の法則の中の輝度加法性につら	邸を考えてもやはり加
単波長のかわりに、表色系における基本刺激(reference stimuli)のように、それ自身複合刺	り、また成分として、
生は 多数個の成分の場合にも やはり成立する訳で、①式の積分操作は この基礎の上に立つてお	こになれば、同一原理
こも出来るであろう。二つの成分の場合についてゞも、この加法性が、一旦、厳密に成立するこ	に一致するということ
会をもつ二つの単波長光を合成して得られる単波長光の輝度はそれよくの単波長光の輝度の和	ロを考えれば、同じ波
,る。これは、普通、複合刺激について述べられているようであるが、成分として同一波長の場	aw として知られてい
iむ複合刺激の輝度は、これら成分んの輝度の和になるという加法性の原理は、一般に、Abney's	波長れ、2を会
	ならない。

. L

·					•						÷							
このような見地から、以下、輝度の加法性の問題について、少しく詳細に検討を加えて見たいと思うのである。	き、他の領域において加法性の成立を求めることは、多分、望みうすいものと考えなければならないであろう。	るか否かという問題は、それ自身としても興味のあることで、光においてさえそれが成立しないとなると、聴覚を除	ば、論理構造の極めて明快単純になることは明らかなのである。また、一つの心理的事象において加法性の認められ	加法性を離れても感覚の可測性に対する合理的根拠(rationale)を考えることは出来る。しかし、加法性が成立すれ	であるから、実用上の意味を離れてこの問題を検討することは『哲学』の論文としてはふさわしいように思われる。	は、極めて興味深い問題で、古来、感覚が可測であるか否かという議論と加法性の問題とは密接に結びついて来たの	としては、しかし、代表的な心理物理学的概念である光について、このような加法性が認められるか否かということ	考えると、その不一致をとり立てゝ論じることは、実際問題としては、余り意味をもたないかもしれない。心理物理学	にしても、比視感度以や分布係数 ゙゙゙゙゙ゕ゛゙゙゙゙ヮ、゙゙゙ヮ などが、 本来、 相当大きな個人差を平均化して定義されている事実を	も、実用上はこの法則を認容しても余り支障を来たさないものかもしれないし、事実と《担当程度の《 不一致がある	て大過なくその任務を果して来たことも、また、事実である。したがつて、たとえ厳密には成立しないものであつて	事実上、不可能と思われ、一方、この基礎の上に立つ測光、測色の技術が、既に指摘したように、過去卅余年にわたつ	able) 不一致が見出されて来ているのである。しかし、この原理を前提とせずに測光、測色の体系を組織することは、	源にはこの法則に対する疑義がある、という意見も現れて来た。 事実、過去四〇年の間に相当程度の(rather size-	れて来たか、とり上げられないで来た (have been tolerated or evaded)ので、昨今の測色学の危機 (crisis)の根	ない。それが必ずしも事実に一致しないことは以前から知られてはいたが、しかし、その不一致は最近まで、許容さ	哲学第三十八集 二九〇	

二九一	車をつ目会主こつ、こ
itly という程度であるから、これでは未だ問題の解決	大部分の範囲を通して明るさは輝度と correlated significan
105 反射率との対応関係は明確でなく、僅かに 〃可視強度の	を考えているのであるが、この明るさ、白さと輝度あるいは反
いたる系列が識別される対象知覚の属性〟としての白さ	しての明るさ、物体色の場合には〝それによつて黒から白にい
によつて輝度の相違を認知するところの感覚の属性〟と	いては加法性を認めるかわり、光の場合には〝観察者がそれ〟
0. S. A. では(1)式の光束によつて定義される輝度につ	白さ(lightness)を定義しておく他ないであろう。すなわち、
ような要領で、輝度とは別に明るさ (brightness) ないし	おく 《態度をとるか、O.S.A.の最近の方針のように、次のよ?? P 181
ノムに相当の変革のおこり得る可能性を読者に警告して	て述べるが、この原理をめぐつて、近い将来、表色系のシステ
るように 〃表色系の解説はこの伝統的な原理の上に立つ	ic として体系化されるのであるから、Graham の行つていろ
尿理があつてこそ、表色系は現存の linear-trichroma-	は見出されないのである。〟という具合である。実際、この回20、P52
narvel)、これに比肩するような法則は他の 感覚器官に	を成立させるよう作用するという事実は驚くべきことで(a m
)はさまれてなく、 〃われ〳〵の目がこの単純な加法性	の書物においても(1951, 1952)、加法性に関する疑義はさし
ンな実験の review を 1955 に彼自身発表している Judd	実は、これをうかゞい知ることは出来ないであろう。このよう
この原理に相反する結果を述べた実験報告の存在する事	には、それは一つの公理として映じるであろう。少くとも、こ
ってあつさりと認容されており、それだけを読む者の目	尚度の解説書と認められる単行本においても、この原理は極め9,43
こきに述べたが、入門書はともかく、この体系の比較的	輝度の加法性が測光、測色学の全体系の基礎に当ることはさ
	三、加法性に関する実験

輝度の加法性について

^



輝度の加法性について		
から 159×10-6 にわたつており、しかも、Fig. 1 と同じく、マンセル記号 GY, Y, O の附近を除けば、中	10-	
度図の位置によつてその値は大きく変化し、 色度図を適当な領域に区別し領域毎に平均値をとると Y = 4	ろ,	
てすべての明るさを一つに match させてからその視感透過率 (luminous transmittance) Yを測定した	てな	
、Chapanis & Halsey は4名の観察者について、フィルターを用い、色度図の全面をカバーする 342 個		
たい。	思わ	
matching が行われているのであるから、cascade の等明度法というべきで、特に観察が困難であつた	るさ	
ることを事実として認めた方がよいであろう。なお、この実験では飽和度のみが少し異る二色の間で色調	さが	
お且つ然り、であるから、観察の誤りと強弁するより、現行の輝度の数値では、飽和度によつてその表す	して	
初心者は明るさと飽和度とを区別し難いためと解されているが、Fig.1を見ると、ヴェテラン MacAdai	般に	
数値を示し、換言すれば、飽和度の高い方が明るく見えるのである。この傾向は以前から気づかれており	小さ	
いことを認めている。そして輝度は、マンセル記号で表して RY, Y, GY の附近を除き、 飽和度の高い	立上	
ことを述べ、加法性の基礎の上に計算される輝度は明るさを表さず、したがつて、明るさについて加法性	れ難	
、輝度測定の誤差、あるいは、標準比視感度曲線が観察者に適合していないというような事情のみから説	ろい	
表すものとすれば、同一軌跡上の数値は一定の値になつていなければならない。 MacAdam はこの数値の	るさ	
されていないので、異つた軌跡上の輝度の値を比較することは意味をもたないが、 もし、 輝度が知覚上	mat	
こに印された数字は同じ明るさに見えているはずの刺激の輝度(ftーL)である。 異る 色調の間では 明る	跡、	
に10の視角をもつ場合のディタの一部を、一例として、 Fig. 1 に引用した。曲線が同じ 色調に見える色度	囲の	

い 一伯宝二カじてい写月二の目白スエー 玛杰インオナニ サ白貝の 万万マラー マ糸ワーナ			
こ、更主上なっ が こ 実 再 上 の 目 内 い っ 、 里 思 ヒ さ れ に 平 与 内 艮 の 又 芯 を 表 す と 約 束 し た			
東の定義の冒頭から∥視感覚の測度(measure)を与え∥という句を削除し、それを単	Yの 明る	色	
から、O. S. A. は輝度と明るさ、白さを、概念上、 区別するようになり、 C. I. E.は光 32 Fay	の値か		Ta
的に規定し得ないとなると、Judd の言葉を借りれば、これは not be tolerable である	、 均等 、 均等	調	able
い。ともかく①式を通して計算される輝度なりYなりの数値が観察の直接的所与を一義	ž		1
でゆけば、詳細に検討するとこれらの間に白さの系統的な偏倚が見出されるかもしれな	305 225	R	en kunstan son son son son son son son son son so
等しい色票はすべて同一明度Vに定義され、同一行にはつてあるのである。上述の調子	283 416	YR	
はマンセル表色系の場合で、これは色調H、彩度Cのいかんを問わず、視感反射率Yの	3 4	Y	Y = 3
では、1 %、フリッカー法では 0.17 % になつている。こうなると、少しく不思議なの	03 51	ζ	数值
は変り、5380~6260°K の範囲では、100°K の増加に対する明るさの利得は、等明度法	303 420	G Y	×10-
ているが、Harrington によれば、輝度の等しい白色光も、色温度によつてその明るさ	312 282	G	6
これら実験は、計算上輝度の等しい色も、色度によつてその明るさの異る事実を示し	2		-
覚されたと報告している。	るさに知	の等な明	として内
Pたところ、問題なく、前者6個は明るさにおいてまち〳〵に見えるのに反し、後者は全体	人々に見	ive _x .	名の na
ど同一の6個と、この実験結果から同じ明るさに見えると思われる¥の値をもつ6個とを11	数値の殆	い Y の	のようど

哲 学 第三十八集

二九四

白色部から飽和の高い領域にかけてYの数値は減少し、全く MacAdam と同じ傾向を示している。また、 Table 1

輝度の加法	よく、Vの個人差もの和とが一致するはもし加法性が成立す	によつて計算され、	が実験から定まれば	Pュ=つた。混色凾数の方	より測定され、分析下、、、、、、、、、の、、の、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、	mµ) B (460mµ) T	ことにする。Sperli	上述の結果は、して来たといわなけれ	
について	ノリッカー法の方が小さいのであるすで Fig.2 に ア(ス)+g(ス)+b(ス) を曲るとすれば、それ自身独立に測定*	$V_R \frac{P_R(\lambda)}{P_\lambda}$ $g^{(\lambda)} = V_G \frac{P_G(\lambda)}{P_\lambda}$		Pュ(シ)R+PB(シ)G+PG(シ)B	はすべてこの二種類のレノについて別すことにする。レノはG(520mμ)、	、Jonにそれく、明度係数(lumino基本刺激の等エネルギー混色函数	g は6名の被験名を用い、周囲暗黒く関与しているであろう。そこで、	かし、必ずしも加法性のみの責任ではならないであろう。	
	るが、この比較的小さい個人差から曲線、Ⅴを○印で示した。明らかにされたⅤと、等色実験結果から上述	$b^{(\lambda)} = V_B \frac{P_B^{(\lambda)}}{P_{\lambda}}$		紀える放射束PLに対する色方程式	M々に行われている。測定の反復は500 trolands を基礎刺激として等	sity coefficients)を乗じた値に比例	赤の視角2°の視野において、比視感次に、より直接的に加法性の問題	こはない。そこには前節に指摘した	
二九五	見ても、まず、図に見られフリッカー法の方が一致がのように導出した混色凾数	れく~一人6回であつた。	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		それよ~一人4回づゝであ明度法、フリッカー法とに	例する意味をもつので、以測定した。こゝに混色凾数	度VとR(650mµ)G(520を扱つた実験をとり上げる	(1)式に含まれる問題点が、	з



輝度の加法性について	次に、これら三基本刺激を特定の白色光に完全等色させ、その結果を、上述の分布凾数と白色光の分光エネルギー分一方、Stiles も、同一被験者群について、視角10の視野で、まず、R、G、Bに対する分布凾数を測定しておき、値は大きくなり、これらの事実は視野の輝度が 1 ~2 mL の時にも、15~20 mL の時にも認められている。	と5~12% の order で加法性の崩れてくることを報告している。一般に青を余計に含む複合刺激において上述の数が成立しなければならないという論法で、長波長の部分では H 1 %の範囲で両辺は一致するが、490 mμ 以下になる(a 1 V 1 + a 2 V 2) = (a 3 V 3 + a 4 V 4)	を実験によつて求め、aの値が与えられたなら、これとVとを用いて計算すると、加法性の成立する場合、等式FA=α1λ1+α2λ2 FB=α3λ3+α4λ4	一致する二色の色方程式る。彼は二人の観察者それよ〜についてその個人のV.を cascade の等明度法で求めておき、三属性において完全にこの heterochromatic な比較の困難を避けるため、完全等色を行いながら加法性を検討したのは Fedorov であ	比など明るさに影響を及す多くの要因によつて contaminate され易い条件だからである。明度法は cascade でないことに注意しなければならない。Sperling の指摘しているように、飽和度の相違、同時対性は成立するが、等明度法によつて定義したのでは、それは完全には成立しないのである。もつとも、この場合、等	如以外にその理由を考えることは出来ないであろう。すなわち、フリッカー法によつて輝度を定義する限りその加法測定されたVが用いられているのであるから、 Fig. 2 の等明度法における〇印と曲線とのギャップは、加法性の欠る僅かの不一致は意味をもたない。この実験においては、加法性を検討するその被験者について、同一条件の下で、	

哲学の第三十八集	二九八
布から測色計算によつて求められた三刺激値との一致を調べ	ている。すると、分布凾数などにおける個人差を考慮
れば、三刺激値R、Gについては上述の一致は認められ、R	hに関してのみ統計的には有意な不一致(Fedorov と
一傾向)が見出されたのであるが、彼の意見によれば、表色	糸を a linear system として扱うのをおびやかす程
ものではない。	
混色の結果を直接に観察比較し乍ら加法性を検討し、しか	も、複合刺激とそれよくの成分刺激の明るさを同一レ
ルにおさえておこうという試みが、次の二人によつて行われ	こいる。色をFで表し、F1とF3、F2とF3の明るさが H
tch され、更に $(a_1F_1+a_2F_2)$ と F_3 の明るさが match さ	れたとしたら、加法性が成つていれば、 ai+az=1
なければならないが Yurov はこの見地から、自分自身の実	験も含め、計10個の実験結果を整理した。この方法で
ると方、たの混色も明るさは同じにとられているから、比視	感度が輝度の凾数になる薄暮視(mesopic)以下の場
にも通用する。彼の到達した結論によれば、加法性は否定さ	れ、特定の波長に対する眼の感度は、同時に眼に作用
る他の波長から独立な常数としてこれを表すことはできない	。 一方、Weaver は同一の方法を用い、 0.01ft-L
0.001ft-L と低輝度レベルにおける自身の実験から、加法	住の成立を認めているが、彼の得た(a1+a2)の値
全体の平均としては、0.969 であるから、Yurov であれば、	多分、 別の結論を下したであろう。 一般に、加法性
認めるか否かに、多分に研究者の latitude によつているよ	っに思われる。
筆者が直接に目を通すことのできた加法性に関連する実験	は上記の通りであるが、Ives 自身の実験結果の一部:
1932 の Houstoun の書物に引用されており、同書には彼自22	身の行つた実験ディタも収録されているが、卅数年以

輝度の加法性について	輝度の
はいえないのであろう。上述の O.S.A. の最近の方針のように、 輝度と明るさとはこれを区別しておかな	定するとはいう
旭は、特に明確に対比その他の影響が存在するとは思われない時にも、人間が知覚する明るさを一義的に規	を表す数値は、
れ、明るさの観察は制約の少い自然条件というのが実際には一般の形なのである。従つて、一般には、輝度	って行われ、明
のものではなく、しかも、このような条件、すなわち、輝度の計算は個人差を平均化した標準比視感度によ	出来る程のもの
立しないという事情にもよるであろう。ともかく、この場合のずれは、Fig. 1 からも明らかなように、無視	全には成立した
は、比視感度における個人差、観察条件の相違の比視感度への影響にもよるであろうが、Abney's law の完	このずれは、比
上の輝度と知覚上の明るさとの間には、色度その他にしたがい、相当に大きく系統的なずれが認められる。	は、計算上の輝
また、後者においては観察条件も比視感度測定の時よりもずつと制約の少い形をとつており、この場合に	用いられ、また
MacAdam や Chapanis & Halsey の観察では、多数の観察者に対し、一つに定義された比視感度曲線が	の実験、MacA
の下で行われるならば、加法性からの偏倚は余り大きなものではないであろう。しかし、最初に述べた二つ	観測条件の下で
い場合があり得る。この場合でも、しかし、視比感度の測定と加法性の検証とが同一被験者について、同一	成立しない場合
し、等明度法による結果を基礎に定義された輝度の加法性を等明度法によつて検証すると、それは必ずしも	る。しかし、等
した輝度について、 フリッカー法によつて検討を行う限り、 その加法性はこれを厳密に認めることが出来	いて 定義した畑
ような実験結果から、次のようにいうことが出来るであろう。フリッカー法によつて測定した比視感度を用	以上のような
か目につく。	ているのが目に
して、捍体では加法性は厳密に成立したが、純円錐視では少しく加法性の崩れてくることがあり得ると述べ	験結果として、
ことの証拠を示しているように思われる。また、ディタはかゝげられていないが、 Bouma は自分自身の実	生じ得ることの

哲学 第三十八集 三〇〇	1100
ければならない。	
四、結語	
同じ刺激でも、対比そのほか周囲の影響によつて、異つた明るさ、白さに見える事実は以前から	削からよく知られていた
が、特にそのような要因の認められない場合でも、色度その他その刺激の内容によつて、輝度の圭	度の表す明るさが変化し
てしまうことは、比較的、注意されないで来たように思われる。それには次の二つの理由が考えら	ちえられるであろう。
第一に,弁別閾を測定するための観察というような場合ならばともかく、一般には、人間の観察	の観察には弁別閾を大巾
に上廻る寛容度がある。計算上輝度の等しい刺激の間に明るさの不均質が存在し、現実にそれが知	れが知覚されていても、
この寛容度の範囲内にある限り、特にそれを指摘し、問題にすることはあまりないように思われる	われる。特に明るさの比
較が問題になつていない時には、少しぐらい明るさが異つて見えていても、余り気にならないとい	いという観察上の弾力性
が存在するのであろう。したがつて、①式の形で光束を規定し、その基礎の上に輝度や照度を定義	を定義し、これらを人間
の感覚に対応するものと考えても、特別の場合を除き、上述の弾力性に救われて、特に支障がおこ	かおこらなかつたように
思われる。	
また、測光、測色の目的を、光なり色なりの形で顕現している対象の物理的状態の specificati	ication と見るならば、
一定の物理的状態は、それを一定の方式で測定した場合、常に一定の計測値が得られるという再現	う再現性および計測方式
の論理構造の整合性とが第一の問題で、それさえ充足されてしまえば、その計測値と感覚との系统	の系統的な対応の問題な
ど二の次となるであろう。品質管理でいえば、一旦、ある色が定り、一定の方式にしたがい、そり	それを表す三刺激値の

1011	輝度の加法性について
実験結果を通覧したのであるが、刺激効果をフリッカ	ならないであろう。このような観点から、前節において諸家の中
のような消極的承認を事実の積極的確認と誤認しては	る精神物理学の問題として加法性をとり上げるとすれば、上述の
ては正しいと思われる。しかし、伝統的な意味におけ	が厳密に成立するかのように扱つているのも、その限りにおいて
冒頭に指摘したように、多くの書物が、加法性をそれ	の中で、大過なくその任務を果して来たものであろう。前節の目
〕 測色の技術としては、加法性を前提としたシステム	うに、観察上の弾力性とその使用情況の二つの理由から、測光、
しようがなかつたからなのである。そして、上述のよ	るを得なかつたので、それが事実と信じたからではなく、他に
20定方式を定義するためには加法性を postulate せざ	その数値が単なる numerical labals 以上の意味をもつような測
人として Guild は次のように答えている。すなわち、	ろう結果について考えなかつたという 批判に対し、当事者の一
余地のない事実と見なし、その不成立から生じるであ	E.の 1931 の標準観察者の決定に関係した人々は加法性を疑うへ
っなわち、加法性の承認にあることは既に述べた。C.I.	測光、測色学の現体系の全般的整合性の基礎がその線型性、す
安はないのである。	程の支障でも見出されない限り、その標準方式に手をつける必要
るような標準方式が、一旦、確立されてしまえば、余	方にもち、一方にある程度感覚との対応を保証すると認められる
台性でことは足りるであろう。この程度の整合性を一	イスは余り考える必要もないであろうから、いわば局所的な整合
か、品質管理であれば、分光組成の大巾に変化するケ	刺激値が同じであればそれでよいという論理的保証に相当するが
とは、たとえば、製品の分光組成が異つていても、三	表す色との一般的対応関係は問題ではない。計測方式の整合性と
万式の下におこり得る可能なるすべての数値とそれが	結びつきはその色とその計測値との特殊的対応に止まり、その支
を同一方式の計測で管理するのであるから、感覚との	数値が決定されゝば、後は日々の製品がその状態にあるか否かな

	哲学第二十八集	11011
	ー法によつて測定する限り、エネルギーが光として心理学的現象をひ	きおこすに当つて、それが加法的に作用する事
	実は、積極的な意味においても、これを事実として確認してもよいよ	うに思われる。そうなれば、視覚の生理学的・
	カニズムの解明に当つて、この事実は一つの大きな布石として役立つ	であろう。聴覚において、その心理物理学的表
	察が聴覚の生理学的問題と直結しているのに反し、測光、測色におけ	る心理物理学的分析は、比較的、生理学的考定
	とは独立に行われて来た。しかし、それら心理物理学的分析は、一方	において、XYZ表色系のように論理的整合は
•	と技術上の便宜性から構成された抽象的体系を生むと共に、他方にお	いて、それを枠組として生理学的模型を構成す
	る基礎ディタを提供してくれるはずなのである。	
	なお、本稿の副題である色彩スケールという観点から見ると、現在	の輝度、照度の定義は、言葉の強い意味にお、
	ては、心理物理学的スケールではない。 Yurov の表現を借りれば	ower metrics of the light sensation やあ
	ても、higher metrics ではない。 第二節に述べた内容から明らかな	ように、 その数値の等しい刺激は同じ明るさ;
	見えるべきであつても、その数値が二倍になつたからといつて、明る	さもまた二倍になるというような意味はその
	に全く含まれていない。すなわち、たとえば輝度は明るさの比例尺度	でも間隔尺度でもないのである。この点を特!
	指摘している書物は少いが、たとえば英国側の見解を代表すると思わ	れる Hurray 編のものでは、 比視感度にお
	て $V_{555}=2V_{510}$ になつているからといつて、 $\lambda = 555$ と $\lambda = 510$ の二つ	の刺激の放射束の等しい場合、前者が後者よう
	明るく見えることは明らかであつても、二倍の明るさに見える意味に	はならないと明記している。それだからこそ、 30 P112
	それ自身すでに心理物理学的概念である視感反射率を更に変換して、	白さに対する higher metrics としてのスケ
	ル、Munsell value scale が定義されているのである。音の強さの場	合、それ自身心理物理学的概念ではあるが低;

mis & Halsey の行つたような実験がXやZについても詳細に行われなければならないであろう。 文障を来さなかつたという消極的承認の他に、その積極的検証を必要とする訳で、Yについて MacAdam や Chap- 文障を来さなかつたという消極的承認の他に、その積極的検証を必要とする訳で、Yについて MacAdam や Chap- 以上、輝度の加法性を中心に、⑴式による光の定義に含まれているように見える。したがつて、分光組成の如何を問わ なが。その本格的検討は今後の問題であろう。
ヨウトニオトラ岳でラント・シスムミントレック TT こうファーニンクテレニカシックシューシスを見いしているアプレジュンシャクイヤ 一原生人見でヨーク 2000 シング ノク有用でオーレス マール 一米見ひ、レーマ
の測度に過ぎないデッペルの他に、 感覚尺度としての sone スケールの構成されているように、 輝度についても、

輝度の加法性について

註 1

註 2

逆に視角を22以下にした実験もまた行われている。Kの数値は Planck の黒体放射の式に含まれる二つの常数63、62の数値によつて異る。

現行の C. T. E. 標準比視感度曲線については、短波長の部分におけるその数値にしばん〜疑念がもたれている。10.40

註 3

	spectral mixture curves. In Ref. 29, 307-316.	•	•
tion with the revision of Standard	I.T. The additivity of spectral heterochromatic luminances in connex	Fedorov, N.	16
1 <i>mer.</i> , 1955, 45 1-6.	A. & Halsey, R.M. Luminance of equally bright colors. J. opt. Soc. A	Chapanis, A	5
homas Y. Crowell. 1953.	on Colorimetry: Optical Society of America. The science of color. T	Committee	terret A
34 245-266.	on Colorimetry. The psychophysics of color. J. opt. Soc. Amer., 1944	Committee	5
54.	on Colorimetry. Concept of color. J. opt. Soc. Amer., 1943, 33, 544-5	Committee	12
ards Bulletin, 1917, 14, 167-236.*	practical applications to radiation problems. U.S. Burean of Stand	· · · · ·	
light of different colors and some	W. W., & Emerson, W. B. Relative sensibility of the average eye to	Coblentz, W	jund. jund
•	J. opt. Soc. Amer., 1958, 48, 406-411.		
d levels of retinal illuminance.	.E., & Wyszecki, G.W. Luminosity functions for various field sizes an	Bedford, R.	10
·	N.V. Philips Gloeilampenfabrieken. 1947	,	
colour stimuli and colour sensations.	J. Physical aspects of colour: An introduction to the scientific study of a	Bouma, P.J.	Q
オーム社1958	き 編 照明のデータブック (改訂増補)	照明学会	00
岩 波 書 店 1959	広 応 用 光 学 岩 波 全 書 245	久保田	~
中山書店 1958			
測定・評価(理論篇) 72—100	郎 測定の基礎 現代教育心理学大系 9	印東太	ð
記念心理学論文集 23—36 1960	横山松三郎先生古稀	•	
	郎 色彩メケーダ論 (2) トンセル表色系に含またる心理学的問題	臣東	S
心評 1959, 3, 145—161			
心理学的問題	郎 色彩メケール論 (1) DF を基にした U.C.S. 構成に含まれる	印 東 大	4
金原出版 1954	一 测色学 応用物理学会编 応用光学 下巻 94184	田置隆	ω
ㅋ F ナ 社 1959	売 照明および色彩 計量管理技術双書 3		2
日刊工業新聞 1958	亮 応用色彩学 工業物理学講座 12巻	漸	frend
	学 第三十八集	哲	

32 National Physical Laboratory. Visual problems of colour. A symposium held at the National Physical Laboratory on	ŝ
colors. J. opt. Soc. Amer., 1943, 33, 385-418.	
31 Newhall, S.M., Nickerson, D. & Judd, D.B. Final report of the O.S.A. Subcommittee on the spacing of the Munsell	ŝ
30 Murray, H.D. (Ed.) Colour in theory and practice. Chapman & Hall: London, 1952.	3
1950, 40, 589-595.	
29 MacAdam, D.L. Loci of constant hue and brightness determined with various surrounding colors. J. opt. Soc. Amer.,	\sim
Amer., 1955, 45, 897-898.	
28 Judd, D.B. Radical changes in photometry and colorimetry foreshadowed by C.I.E. actions in Zürich. J. opt. Soc.	\sim
Wiley, 1951, 811-867.	
27 Judd, D.B. Basic correlatess of the visual stimulus. Stevens, S.S (Ed.) Handbook of experimental Psychology. John	\sim
26 Judd, D.B. Colors in business, science, and industry. John Wiley, 1952.	2
25 Jones, A.L. The historical background and evolution of the colorimetry report. J. opt. Soc. Amer., 1934, 33, 534-543.	N
845-853, 853-863.*	۰.
24 Ives, H.E. Studies in the photometry of lights of different colors. Phil. Mag., 1912, 24, 149-188, 352-370, 744-751,	N3
23 Harrington, R.E. Effect of color temperature on apparent brightness. J. opt. Soc. Amer., 1954, 44, 113-119.	N3
22 Houstown, R.A. Vision and colour vision. Longmans, Green and Co., 1932.	N.5
21 Hanes, R.M. The construction of brightness scale from fraction-date: a validation. J. exp. Psychol., 1949, 39, 719-728.	N N
20 Hanes, R.M. A scale of subjective brightness. J. exp. Psychol., 1949, 39 , 438-452.	**
Vol. I. Sensory, perceptual, and physiological formulations. McGraw-Hill, 1959, 145-287.	
19 Graham, C.H. Color theory. Koch, S. (Ed.) Psychology: A study of a science. Study I. Conceptual and systematic.	A
18 Gibson, K.S. Spectral luminosity factors. J. opt. Soc. Amer., 1940, 30, 51-61.	A *
19, 131-191.*	
17 Gibson, K. S., & Tyndall, E.P.T. Visibility of radiant enrgy. U.S. Bureau of Standards, Scientific Paper No. 475, 1923,	<u> </u>

輝度の加法性について

.

三 〇 五

哲
学
第三
十八
隼

23rd, 24th, 25th September, 1957, Vol. 1, Vol. 2, Her Majestey's Stationery Office, 1958.

မ္လ Reese, T.W. The application of the theory of physical measurment to the measurement of psychological examples. Psychol, Monogr., 1943, 55 No. 3.

မ္မ φ Sperling, H.G. An experimental investigation of the relationship between colour mixture and luminous efficiency. Stevens, S.S. A scale for the measurement of a psychological mannitude: loudness. Psychol Rev., 1936, 43, 405-116. In Ref. 29, 251-277.

36 Stiles, W.S. The average colour-matching functions for a large matching field. In Ref. 29, 211-247

Stiles, W.S. The trichromatic scheme. Mechanisms of colour discrimination: Proceedings of an international symposium on the fundamental mechanisms of the chromatic discrimination in animal and man held in Paris at the Collége de France, 25-29 July, 1958, Pergamon Press, 1960, 187-198.

88 88 Troland, L.T. The principles of psychophysiology. II. sensation. D. Van Nostrand. 1930

30 Weaver, K.S. The visibility of radiation at low intensity. J. opt. Soc. Amer., 1937, 27, 36-41.

40 Weaver, K.S. A provisional standard observer for low level photometry. J. opt. Soc. Amer., 1949, 39, 278-291.

Wyszecki, G. Evaluation of metameric colours. J. opt. Soc. Amer., 1958, 48, 451-454.

42 Yurov, S.G. The question of the metrics of brightness. In Ref. 29, 197-208

* 印は直接に目を通す機会を得なかつたもの