



千葉大学
CHIBA UNIVERSITY

千葉大学大学院 融合理工学府 創成工学専攻
イメージング科学コース

Department of Imaging Sciences
Chiba University



視覚や色の規格化の最新動向

溝上陽子

千葉大学 大学院工学研究院/融合理工学府
創成工学専攻 イメージング科学コース

日本照明委員会(JCIE) 理事/第1部会国内委員会委員長

2018.3.2 電子ディスプレイの人間工学シンポジウム2018



千葉大学
CHIBA UNIVERSITY

千葉大学大学院 融合理工学府 創成工学専攻
イメージング科学コース

Department of Imaging Sciences
Chiba University



産業界と結びつけた最先端のイメージング研究

堀内・平井
研究室

物理と知覚の橋渡し
画像計測に基づく物理特性と心理物理実験に基づく視覚心理のモデル化。



異なるデバイスにおける画像出力において、色に加えて質感も再現するための規格でモニタメント技術の確立を目指している。

堀内 隆彦
教授

日本色彩学会理事、理事など担任、文化庁新学術領域研究「次元認識」の総括責任者。産工学の体系化に向けて、物理特性と人間の視覚との関係解明を目指す。

平井 綾太
助教

2014年度日本色彩学会論文誌賞受賞。カラー画像野原中々編、応用・情報、経緯にわたる一歩の研究に貢献。

津村
研究室

実モデル主義
物理モデルや生理モデル等の実モデルに基づく機能的な画像入力・解析・合成・出力



津村 徹道
准教授

ISAT Fellow, OSA 電子情報通信学会 Senior Member、分光測色、肌顔画像、質感工学、情報工学、医用工学など、産業界と密接に連携して応用開発、R&Dで研究と実用。

人工目撃 **遠くから**

光の散乱過程を物理モデルにより計算し、ヘミロビンなどの色散の発生を物理モデルにより再現することにより、実モデルに基づく画像合成の新たなアプローチを実現。

溝上
研究室

見ると見える
視覚メカニズムの解明とイメージング科学への応用



モニタの設置を離れた空間下での視覚、視線検知により、色や視線の注目がどのように影響を受けるかを調べている。



環境や視覚特性の違いが視覚に与える影響について研究している。

溝上 陽子
准教授

ICVS Director、日本照明委員会理事など担任、CIE国際照明委員会等国際学会に属する国際機関、国際的な産業界・環境での視覚、照明工学の専門家。美しい景色と質感評価、色覚異常者の色覚特性などの研究に貢献。

今泉
研究室

次世代メディアセキュリティ
安心安全なコピケタ社会を実現するイメージング技術



著作権などの権利をコンタクトに照らすように理解し、コンタクトに含まれるフラグを保護する技術について開発している。こうした技術は、文化財のデジタル化への取り組み、様々な分野で現在活用されている。

今泉 梓子
准教授

映像情報メディア学会月野賞奨励賞、日本写真学会連歩賞、同論文賞受賞。メディアセキュリティ技術、特許化技術、画像評価技術などに関する研究に貢献。



<http://vision-lab.tp.chiba-u.jp>

溝上研究室 - 視覚メカニズムの解明と画像工学への応用 - Vision Science Lab

人間はどのように世界を見ているのでしょうか？

- * 基礎研究：色覚、視覚の多様性、環境の色分布と視覚メカニズムの関係、質感の認識, etc.
- * 応用研究：画像の色・階調再現、画像の評価、照明・環境評価法、肌の見え解析, etc.

環境の色特性への適応

照明や自然風景と、色や画像の見えの関係を探求。



照明と質感の評価

照明の配光特性が質感に与える影響を分析。



ユニバーサルなカラーデザイン

便利な色コードも色覚異常者には見分けにくい。みんなに優しいカラーデザインの提案。



cie International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Éclairage
Internationale Beleuchtungscommission

CIEのDivision(部会)構成

- 第1部会(視覚と色)
- 第2部会(光と放射の物理測定)
- 第3部会(屋内環境と照明設計)
- 第4部会(交通用の照明と信号)
- 第5部会(屋外およびその他の照明応用)
- 第6部会(光生物学と光化学)
- 第8部会(画像技術)

新4部会(交通と屋外の照明)
Transportation and Exterior Applications

 <h2 style="text-align: center;">CIE Division 1</h2>	
英語名称	Vision and Colour
部会長	Youngshin Kwak(韓国)
副部会長	視覚:伊藤納奈(日本) 色覚:Ellen Carter(アメリカ)
幹事	Lichen Ou(台湾)
編集幹事	Peter Hanselaer(ベルギー)
概略	光に対する視覚応答を研究し、応答関数やモデル、そして測光、測色、演色、視機能、光及び照明の視覚的評価に関する評価手法の基準を確立する。
部会HP	http://div1.cie.co.at/

 <h2 style="text-align: center;">CIE Division 1 Technical Committee</h2>		
TC 1-63	CIEDE2000の有効範囲	Klaus Richter(ドイツ)
TC 1-76	ユニーク色データ	Sophie Wuerger(イギリス)
TC 1-77	CIE白色度式と色み式の改良	Robert Hirschler(ハンガリー)
TC1-81	微小色差予測式の妥当性	Klaus Richter(ドイツ)
TC1-82	年齢と視野サイズに対する等色関数の計算	Jan Henrik Wold(ノルウェー)
TC1-83	時間変動照明システムの視覚特性	Dragan Sekulovski(オランダ)
TC1-84	目立ちの視野の定義	伊藤納奈(日本)
TC1-85	CIE15:2004の新訂	Ellen Carter(アメリカ) (旧)Janos Schanda(ハンガリー)
TC1-86	色彩感情と調和のモデル	Li Chen Ou(台湾)
TC1-88	景観の明るさ感評価	中村芳樹(日本)
TC1-89	色覚異常者のための画像強調	洪博哲(日本)
TC1-90	色忠実度指数 <活動終了>	矢口博久(日本)
TC1-91	白色光源の色品質の新しい評価法	Yandan Lin(中国)
TC1-92	肌色のデータベース	Kaida Xiao(中国)
TC1-93	自発光のための無彩色スケールの計算法	Robert Carter(米国)

 CIE Division 1 Reporters		
R1-53	光沢知覚と測定	Federic Leloup(米国)
R1-58	Liaison with ISO TC130 Graphic Technology	Phil Green(イギリス)
R1-60	次世代色差評価法	Guihua Cui(中国)
R1-61	光源白色度測定基準	Aurelien David(米国)
R1-62	典型的なLED スペクトル	Sophie Jost(フランス)
R1-63	三刺激値の積分	Changjun Li(中国)
R1-64	現実の物体を表現する色域	Changjun Li(中国)
R1-65	Categorical colour identification	石田泰一郎(日本)
R1-66	The effect of dynamic and stereo visual images on human health	氏家弘裕(日本)
R1-67	Revisiting Correlated Colour Temperature	Youngshin Kwak
R1-68	A Gamut Area Measure and Colour-shift Graphic, based on CIE 13.3-1995	Kees Teunissen / Yoshi Ohno

 CIE Division 8	
英語名称	Image Technology
部会長	洪博哲(アメリカ)
副部会長	
幹事	Christine Fernandez-Maloigne(フランス)
編集幹事	Danny Rich(アメリカ)
概略	アナログ・デジタル画像デバイス、蓄積メディア、画像メディアを用いた画像の再現、処理、コミュニケーションの工学的、視覚的および計測的観点からの標準化、ガイドラインの制定の為の検討
部会HP	http://div8.cie.co.at/

 CIE Division 8 Technical Committee		
TC 8-12	静止画および動画圧縮の画質評価	Christine Fernandez-Maloigne (フランス)
TC 8-13	出力媒体のための色域定義	Kiran Deshpande (イギリス)
TC 8-14	空間・色における複雑さの定義	Noel Richard (フランス)
TC 8-15	画像アーカイブにおけるカラーの仕様	M. Buchman (アメリカ)
TC 8-16	単一の再現媒体における色の見えの一貫性	Craig Revie (イギリス) 山内泰樹 (日本)
TC 8-17	3D 物体における色差評価方法	Kaida Xiao (イギリス)

 Joint Technical Committee (Div. 1 related)		
JTC 1	CIE191の導入: 屋外照明の薄明視における測光	Stuart Mucklejohn (イギリス) 順応領域に関するWG委員長: 内田達清 (日本)
JTC 7	不均一輝度光源の不快グレア	原直也 (日本) Co-Chair(D1): 明石行生 (日本)
JTC 9	非視覚効果に係る定量化	Luc Schlangen (オランダ) Co-Chair(D1): 伊藤納奈 (日本) Co-Chair(D2): Peter Blattner (スイス) Co-Chair(D3): 野口公喜 (日本)
JTC 10	カラーマネジメントシステムに おける新たな色の見えモデル: CIECAM16	Changjun Li (中国) Co-Chair(D1): Ronnier Luo (イギリス)

Recent publications from Div.1

- CIE TN 007:2017 Interim Recommendation for Practical Application of the CIE System for Mesopic Photometry in Outdoor Lighting
屋外照明におけるCIE薄明視測光システムの実用に関する暫定推奨方法（JTC1）
- CIE 224:2017 CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use
正確な科学的用途のためのCIE2017色忠実度指数（TC1-90）

本日紹介するトピック

- TC1-90 正確な科学的用途のためのCIE2017色忠実度指数
 - CIE 224:2017 CIE 2017
- JTC-10 カラーマネジメントシステムにおける新たな色の見えモデル:CIECAM16
- 生理学的軸をもつ基本色度図
 - CIE 170-1:2006 第1部, CIE 170-2:2015 第2部

cie International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Éclairage
Internationale Beauforschungscommission

TC1-90 色忠実度指数<活動終了>

- 委員長: 矢口博久(日本)
- 技術報告書CIE 224:2017
“CIE 2017 Colour Fidelity Index for Accurate Scientific Use” CIE 224:2017 CIE 2017
(正確な科学的用途のためのCIE2017色忠実度指数)
を2018年4月に出版

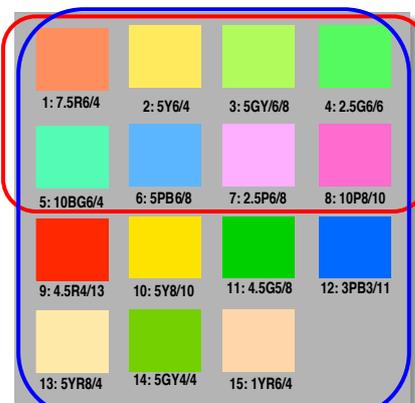
New Research Forum:
Practicable approach for the evaluation and specification
of color rendition properties of white light source
Chair; Teunissen, NL

演色評価数 補足

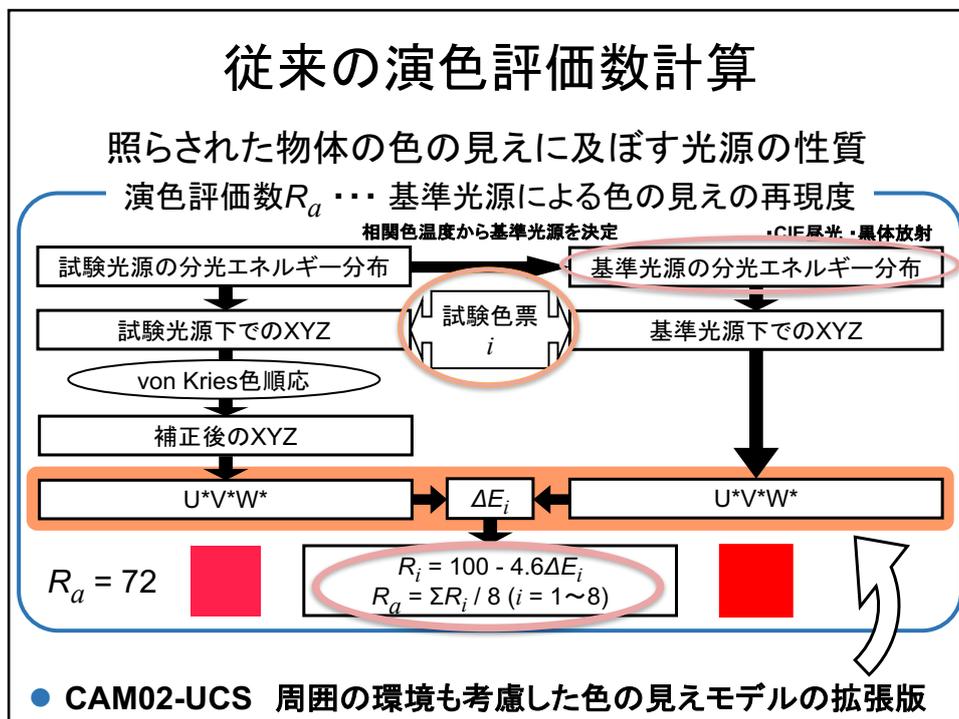
光源の演色性の程度を表す指数

(基準光と全く同じに見える場合 → R_a 100)

- **平均演色評価数 R_a :**
試験色No.1~8の
演色評価数の平均値
- **特殊演色評価数:**
赤、黄、緑、青、西洋人の肌色、
木の葉の色、日本人の肌色
の7色を追加した平均値



1: 7.5R6/4	2: 5Y6/4	3: 5GY6/8	4: 2.5G6/6
5: 10BG6/4	6: 5PB6/8	7: 2.5P6/8	8: 10PB10
9: 4.5R4/13	10: 5Y8/10	11: 4.5G5/8	12: 3PB3/11
13: 5YR8/4	14: 5GY4/4	15: 1YR6/4	



均等色空間の変遷

補足

— Uniform Color Space

- CIE 1931 XYZ表色系 (xy色度図)
- CIE 1960 UCS色度図

$$u = 4X / (X + 15Y + 3Z)$$

$$v = 6Y / (X + 15Y + 3Z)$$
- CIE 1964 U*V*W*色空間

$$U^* = 13W^*(u - u_n)$$

$$V^* = 13W^*(v - v_n)$$

$$W^* = 25Y^{1/3} - 17$$

↳ 演色評価数
- CIE 1976 UCS色度図

$$u' = 4X / (X + 15Y + 3Z)$$

$$v' = 9Y / (X + 15Y + 3Z)$$
- CIE 1976 L*u*v*色空間

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n)$$

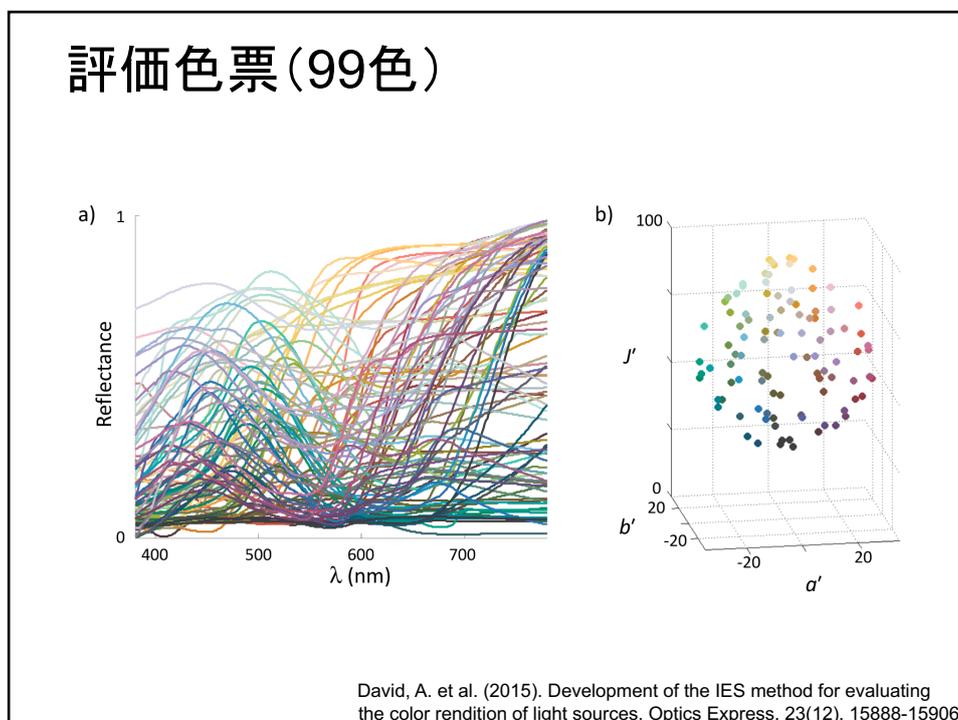
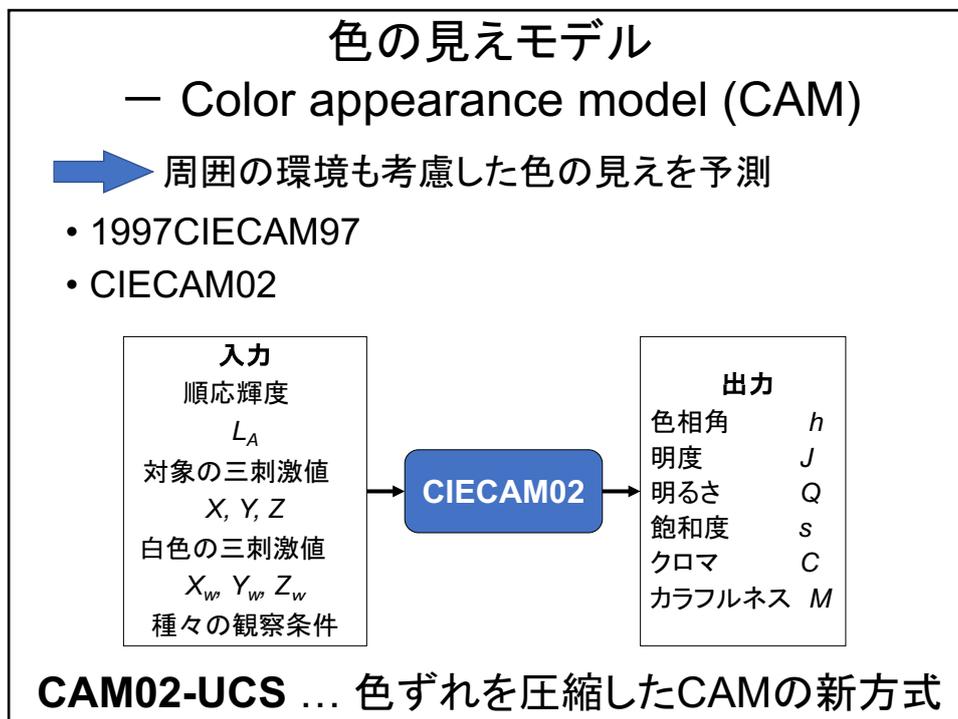
$$v^* = 13L^*(v' - v'_n)$$
- CIE 1976 L*a*b*色空間

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500\{(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}\}$$

$$b^* = 200\{(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}\}$$

($X/X_n > 0.008856, Y/Y_n > 0.008856, Z/Z_n > 0.008856$)



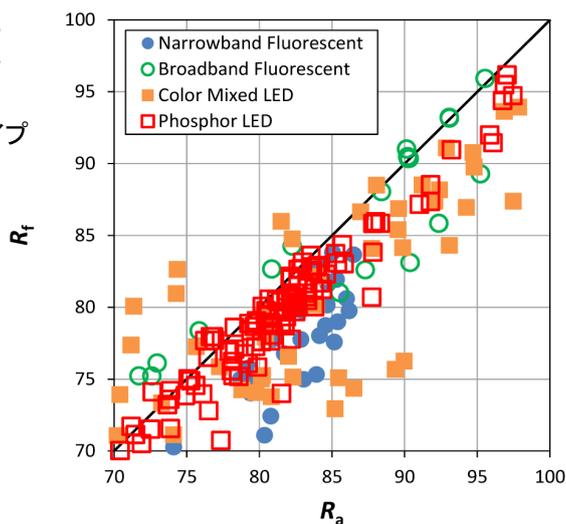
新しい演色評価 R_f の提案

- Optic Express誌で発表
 - David, A., Fini, P. T., Houser, K. W., Ohno, Y., Royer, M. P., Smet, K. A., & Whitehead, L. (2015). Development of the IES method for evaluating the color rendition of light sources. Optics Express, 23(12), 15888-15906
- IES(北米照明学会)では、ここで提案された R_f を演色指標として使用



R_f と R_a の相関

狭帯域型蛍光灯
 広帯域型蛍光灯
 色混合LED
 LED+蛍光体タイプ



David, A. et al. (2015). Development of the IES method for evaluating the color rendition of light sources. Optics Express, 23(12), 15888-15906

TC1-91 白色光源の色品質の新しい評価法

- Chair: Yandan Lin (中国)
 - to evaluate available new methods for evaluating the colour quality of white-light sources with a goal of recommending methods for industrial use. (Methods based on colour fidelity shall not be included: see TC1-90).
 - CQS: Color Quality Scale
 - FCI: Feeling of Contrast Index
 - MCRI: Memory rendering colour index
 - HRI: Harmony rendering index
 - PS: Preference Index
- 用途に応じた演色評価指標

JTC-10 カラーマネージメントシステムにおける新たな色の見えモデル: CIECAM16

Year Established: 2017

Chair: Changjun Li (CN, Div 8),
Ming Ronnier Luo (GB, Div 1)

Terms of Reference:

To recommend a new colour appearance model, CIECAM16, to replace the CIECAM02 model for colour management systems.

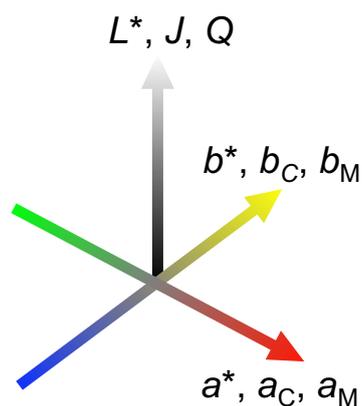
→ 問題点を解決するようにモデルを改良
かつ、精度はCIECAM02と同等に保つ

色の見えモデルの開発史

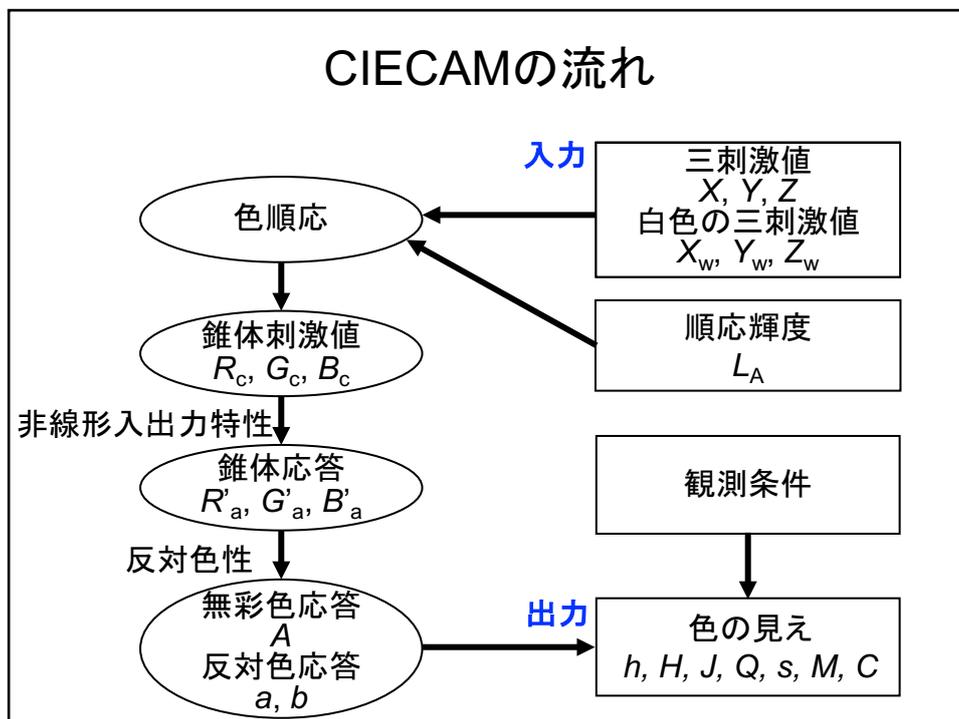
CIE	CIECAM97s CIECAM02 CIECAM97c					
Hunt	Hunt91	Hunt94	Bradford-Hunt96S Bradford-Hunt96C			
Fairchild	RLAB93	RLAB96	ZLAB			
Nayatani	Nayatani94 (CIE109-1994)		Nayatani97			
Luo	LLAB96 LLAB96b					
	1991	1994	1996	1997	1998	2002
Others	CIELAB (均等色空間, CIE1976) CIELUV (均等色空間, CIE1976) von Kries (色順応モデル, von Kries1902) ATD (色覚モデル, Guth 1995)					

CIECAM 色空間

- CIELAB
 - L^*, a^*, b^*
- CIECAM02 相対的色空間
 - J, a_C, b_C
 - $a_C = C \cosh, b_C = C \sinh$
- CIECAM02 絶対的色空間
 - Q, a_M, b_M
 - $a_M = M \cosh, b_M = M \sinh$

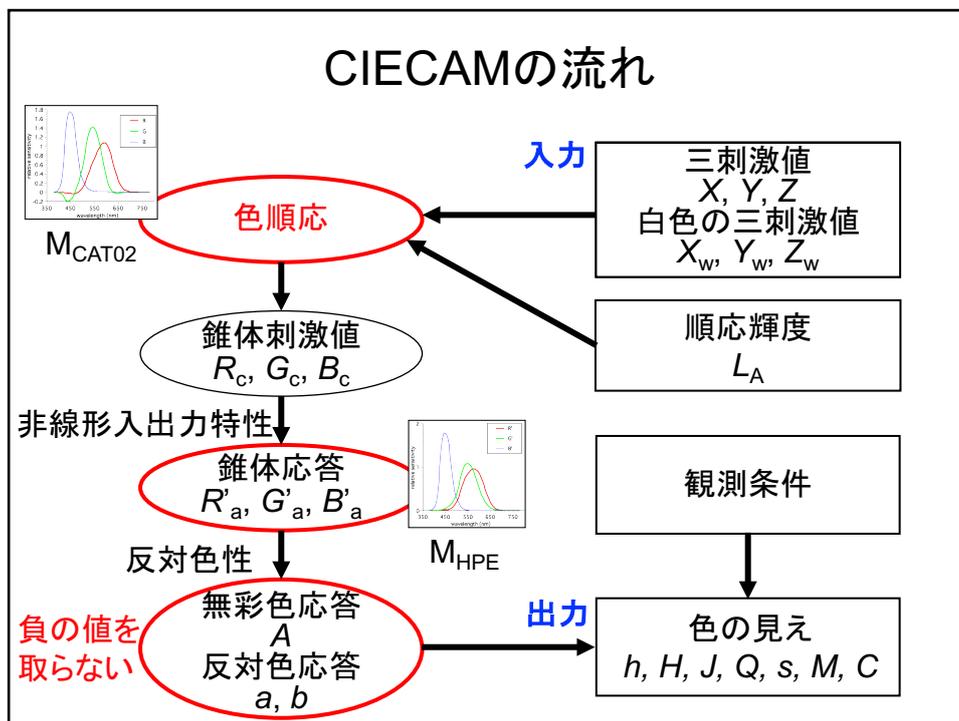


CIECAM02にはいろいろ問題点 → 改良の必要性



CIECAM02の問題点

1. 予期しない計算エラーが起こる(計算プログラムがストップしてしまう)輝度順応と色順応で使用する色空間が異なる
2. Yellow-blue & Purple領域の問題
3. 非線形後順応の入出力特性における、原点付近での傾きの設定



色空間の統一

M_{CAT02}, M_{HPE} を M_{16} に置き換え

$$M_{CAT02} = \begin{bmatrix} 0.7328 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.9834 \end{bmatrix}$$

$$M_{HPE} = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00000 & 0.00000 & 1.00000 \end{bmatrix}$$

$$M_{16} = \begin{pmatrix} 0.401288 & 0.650173 & -0.051461 \\ -0.250268 & 1.204414 & 0.045854 \\ -0.002079 & 0.048952 & 0.953127 \end{pmatrix}$$

Articles

- LI CJ, LUO MR, SUN PL 2013. **A modification of CIECAM02 based on the Hunt Pointer Estevez matrix.** J Imaging Sci Technol;57(3):Article Number030502 p 1-8.
- LI CJ, LUO MR, WANG ZF 2014. **Different matrices for CIECAM02.** Color Res Appl;39:143-153.
- LI CJ, JI CJ, LUO MR, MELGOSA M, BRILL MH 2015. **CAT02 and HPE Triangles.** Color Res Appl. 40(1):30–39.
- LI CJ, LUO MR, MELGOSA M, and BRILL MH 2015a. **RECENT PROGRESS IN REPAIRING CIECAM02,** Proceedings of 28th CIE Session 2015, Volume 1 Part 2, pages 1093-1099, The 28th CIE SESSION, Manchester, United Kingdom, June 28 – July 4, 2015.
- Li CJ, Li Z, Wang Z, Xu Y, Luo MR, Cui G, Melgosa M, Brill MH and Pointer M 2017. **Comprehensive colour solutions: CAM16, CAT16 and CAM16-UCS,** Color Res Appl., 42(6): 703-718

CIE 2006 LMS & new CIE XYZ

- 視覚生理に基づく基本色度図 – 第1部
 - CIE 170-1:2006 Fundamental Chromaticity Diagram with Physiological Axes – Part 1
- 生理学的軸をもつ基本色度図 – 第2部
: 分光視感効率関数と色度図
 - CIE 170-2:2015 Fundamental Chromaticity Diagram with Physiological Axes – Part 2
: Spectral Luminous Efficiency Functions and Chromaticity Diagrams

TC1-82

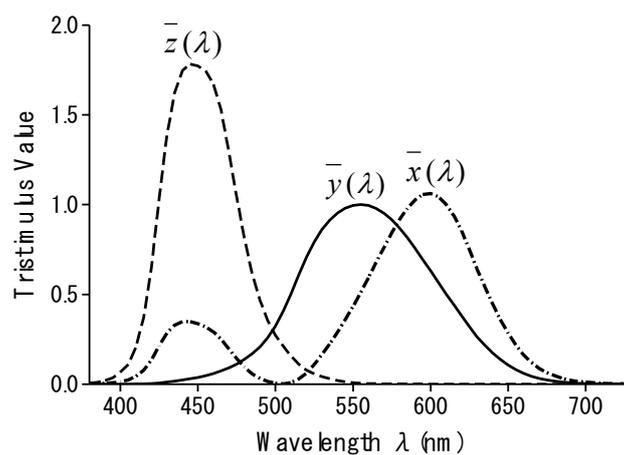
年齢と視野サイズに対する等色関数の計算

Jan Henrik Wold
(ノルウェー)

CIE1931XYZ表色系

補足

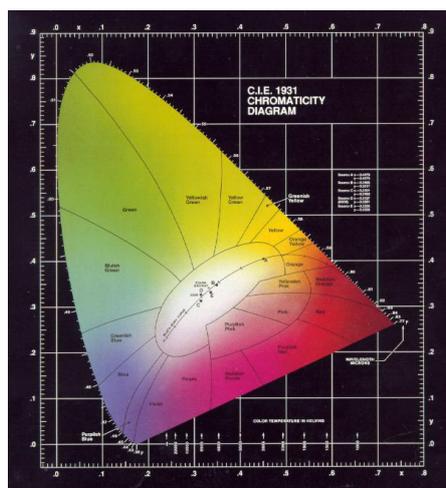
- CIE1931XYZ表色系の等色関数(2°視野)



CIE 1931xy色度図

補足

- 色覚の3色性、等色実験に基づく表色系

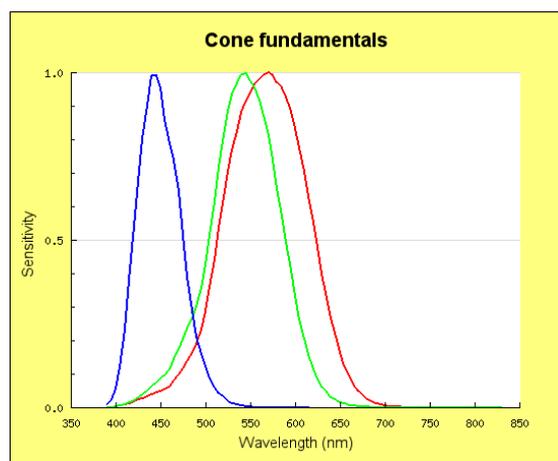


視覚生理に基づく基本色度図 - 第1部

- 1～10度視野の範囲で、等色関数の選択と正常色覚者の錐体分光感度について述べている。
- 錐体分光感度 (cone fundamentals)
 - Stiles and Burch(1959)の10度視野等色関数(CMF)
 - Stockman and Sharpe(2000) のモデルやKönigの仮説
 - 色覚者の分光感度関数の最新のデータ, などを利用
- 中間透光体や黄斑色素での吸収による感度関数の修正や錐体視物質の光学濃度を考慮することにより、10度視野および2度視野での錐体分光感度を求めた。

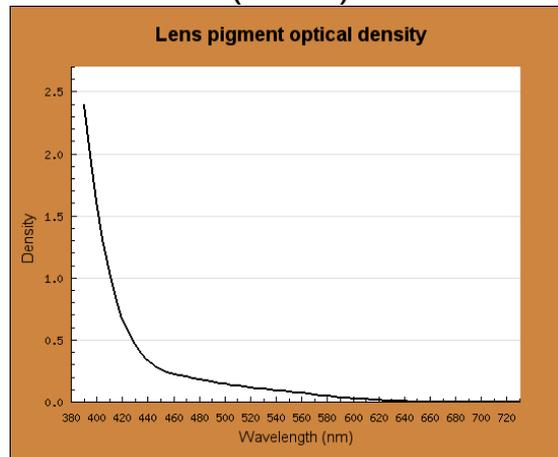
2-deg LMS fundamentals

based on the Stiles and Burch 10-deg CMFs adjusted to 2-deg



<http://cvrl.ucl.ac.uk/>

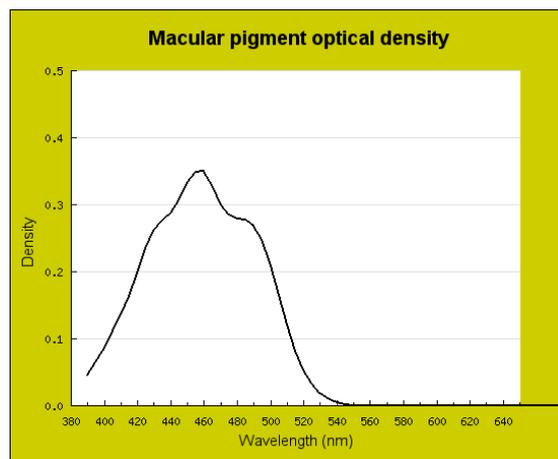
Lens density spectrum proposed by Stockman, MacLeod & Johnson (1993)



Stockman, MacLeod & Johnson (1993)

<http://cvrl.ucl.ac.uk/>

Macular pigment optical density spectra



Bone, Landrum and Cairns (1992) macular pigment density spectrum from Stockman and Sharpe (2000) <http://cvrl.ucl.ac.uk/>

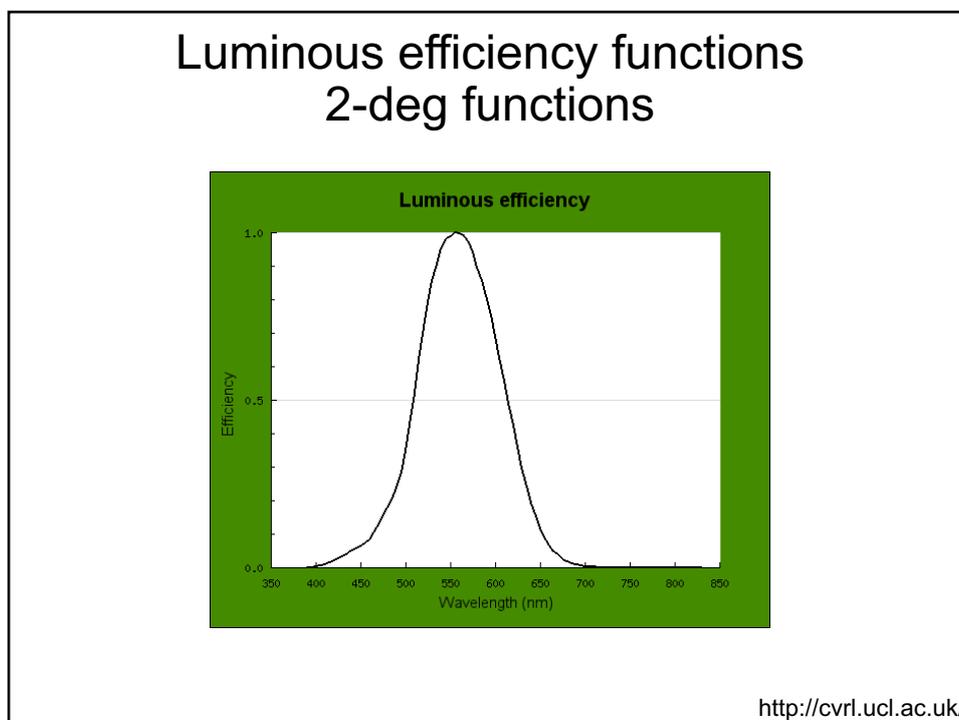
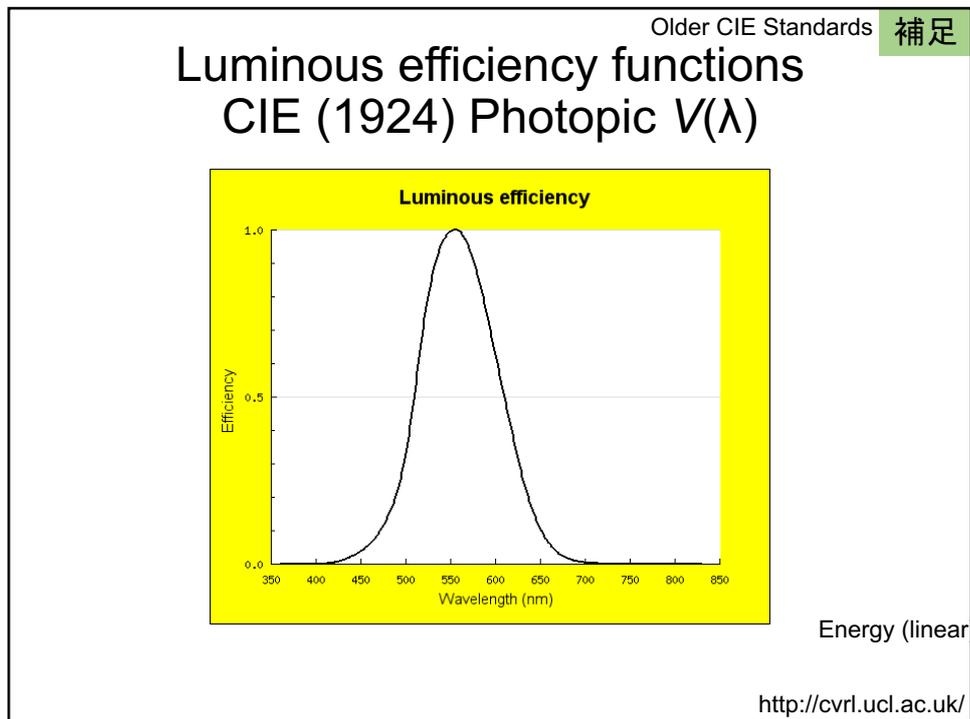
CIE 170-1:2006 掲載データ

- 10度視野の錐体分光感度のエネルギー表現と量子表現
- 黄斑色素の光学濃度
- 水晶体や他の中間透光体の光学濃度
- 視物質の低密度な吸光度関数
- 2度視野の錐体分光感度のエネルギー表現と量子表現
- 視野の大きさに応じた黄斑色素の最大光学濃度
- 年齢に応じた水晶体や他の中間透光体の光学濃度
- 視野の大きさに応じた視物質の光学濃度の最大値

CIE 170-1: 2006

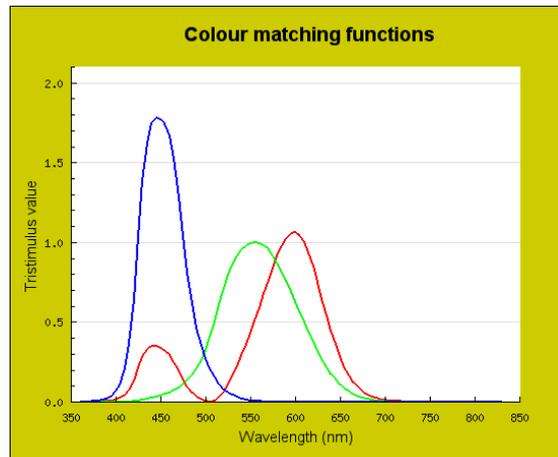
生理学的軸をもつ基本色度図 - 第2部 : 分光視感効率関数と色度図

- 第1部
正常観測者の1°視野から10°視野までの等色関数と錐体基本関数の提示に留まっている
- 第2部
実用に向けた測色のツールとして、ユーザに色度図の形式で提示することが狙い
 - L錐体, M錐体基本関数の線形結合で分光視感効率関数を定義
 - 錐体基本関数に基づいた分光視感効率関数(2°視野と10°視野)



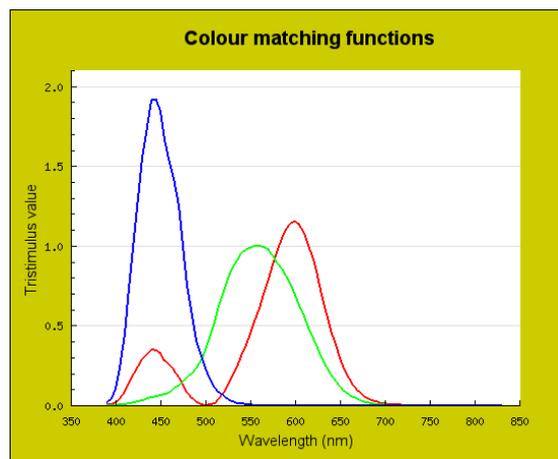
Older CIE Standards 補足

CIE 1931 2-deg, XYZ CMFs



obtained by Guild (1931) and by Wright (1928)
<http://cvrl.ucl.ac.uk/>

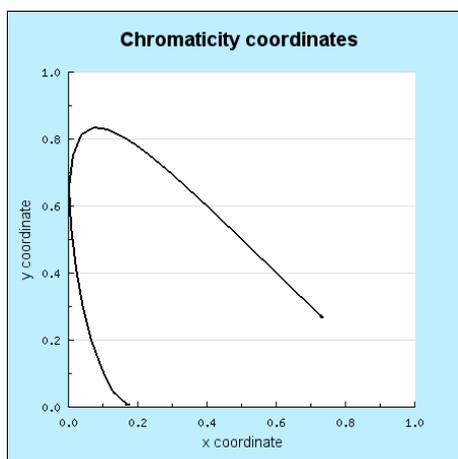
2-deg XYZ CMFs transformed from the CIE (2006) 2-deg LMS cone fundamentals



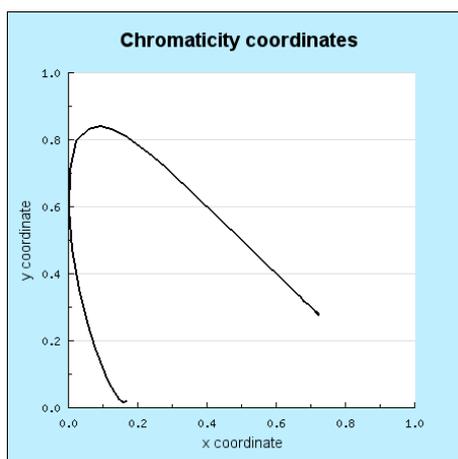
<http://cvrl.ucl.ac.uk/>

Older CIE Standards 補足

CIE 1931 2-deg xyz chromaticity coordinates



2-deg coordinates from 2-deg XYZ CMFs

<http://cvrl.ucl.ac.uk/>

補足

CIE 2006 LMS および それに基づく新しい CIE XYZ

- 座標軸が生理学的意味をもつ基本色度図
- 生理学的に意味のある軸で構成された基本色度図
 - 視野サイズ・年齢の効果も考慮に入れられる
- おおむね従来のXYZと近い値
 - 光源のスペクトル特性によっては、大きな違い
 - エネルギー効率の見積もりにも影響？

補足

CIE報告書 もうすぐ発行

- 技術報告書
 - TC1-93: 自発光のための無彩色スケールの計算法
- テクニカルノート
 - R1-68: A Gamut Area Measure and Colour-shift Graphic, based on CIE 13.3-1995
- CIE標準
 - JTC9: CIE System for Metrology of Optical Radiation for Light Responses Influenced by Intrinsically-Photosensitive Retinal Ganglion Cells