〔第49回総会シンポジウム〕

放射線像出力デバイスの進歩と多様化

座長	滝 沢 正 臣	(信州大学医学部)
演者	青 井 利 行	(大阪労災病院)
	菊 地 務	(北海道大学医学部附属病院)
	小 水 満	(滋賀医科大学附属病院)
	大 賀 邦 彦	(富士写真フイルム株式会社)
	大 島 弘 之	(セイコーエプソン株式会社)

1. 視覚特性にあった画像とは？

—視覚特性の画像評価への応用：医用画像の色を考える—

青 井 利 行

大阪労災病院

Key words: Visual characteristics, Dependency on wave-length, Colour measurement

SUITABLE DIAGNOSTIC IMAGES FOR VISUAL CHARACTERISTICS
—REVIEW OF AN APPROPRIATE HUE IN MEDICAL IMAGING—

TOSHIYUKI AOI

Department of Radiology, Osaka Rosai Hospital

Summary

There has been only a few reports to describing the measurements of light sources and color concerning visual characteristics. So, we carried out visual evaluation using a quantitative analysis of light sources concerning visual characteristics. As the result, the difference of detectability by visual characteristics depends on not only changes in luminosity but also those of wave length.

1. はじめに

現在まで医用画像における視覚特性に関連する報告では同一光源での輝度変化に伴う視覚特性や周辺輝度に対する輝度差弁別閾などが報告されている。しかし心理的要因の強い色調を加味した視覚評価での定量化に関して医用画像の分野ではあまりなされていないのが現状であ

る。医用画像、特にX線フィルムに記録された画像は無彩色の概念で評価され、シャーカステンの光源の違いやフィルムベースの色調は心理的要因でかたづけられてきた。しかし、シャーカステンの光源やフィルムベースを測光測色してみると、光源の違いやフィルムベースの色調により、光源の分光分布やフィルムや濃度変化による分光透過率は違っており、明らかに医用画像においても

視覚評価をする場合色を加味した評価をしなければならぬ。また人の網膜には錐体、桿体とよばれる視細胞が分布している。この錐体、桿体は不均一な分布をしているため、視力や波長弁別能¹⁾にも大きな影響を与えていると言われている。従って、医用画像においても、光源やフィルムベースの違いにより検出能に影響を与えていると考えられる。今回、光や色を定量する事でどのように視覚評価や視覚特性と関連しているのかについて考える場合の測光測色の基礎²⁾についてまとめた。また、色調における曖昧さの定量についてどうするのか報告する。

2. 測光, 測色の概念

2.1 なぜ色を測るのか

なぜ色を定量する必要があるかと言うと、人間は色を記憶する事が出来ず相手に色を伝える場合、伝えられた人間と同じ色を想像出来ないと言われている。つまり、そこに曖昧な表現が生まれ、視覚評価をした時の色に対する視覚特性の評価が埋もれてしまう。本来、観察光源やフィルムベースの色調は分光分布を測定すればそれぞれ全く違った色として表現され、視覚評価をする上で重要な要因になるはずである。また、それは色の表現の曖昧さの定量の必要性を示唆している。二つめに、人間の視感度は外光により変化する事である。つまり、外光の明るさ、照明光源の違いなどによりどのように物の見え方が変化し検出能の違いが生ずるのかの定量化が必要となってくる。三つめはCIE (国際照明委員会) が定めた正しい視感度を持った標準観測者は40才までの内は2%程度と言われ、後の98%は青色か赤色のいずれかに感度が強いと言われている。

2.2 色の表示方法

色の表示は色相 (hue), 明度 (value), 彩度 (chroma) により表現でき、それぞれ色合, 明るさの度合い, 鮮やかさの度合いを表す。

2.3 スペクトル三刺激値

人間の視感には Fig. 1 に示すように3つの分光感度特性を持つ受光器の出力比によって決定されと考えられており、これをスペクトル三刺激値と言っている。この時、図の $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ がその3つの分光感度特性を示したもので等色関数と呼ぶ。このとき $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ の感度を持つ受光器からの出力をそれぞれ X , Y , Z と呼び、総称して三刺激値と呼んでいる。数式で表現すると次のようになる。

$$X = K_m \cdot \sum \bar{x}(\lambda) \phi(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$Y = K_m \cdot \sum \bar{y}(\lambda) \phi(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Fig. 1 Spectral tristimulus values

$$Z = K_m \cdot \sum \bar{z}(\lambda) \phi(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

K_m : 最大視感度 683 Lm/W

$\phi(\lambda)$: 分光密度: 分光放射束を用いるので Y は光束に対応している。この時分光密度として分光放射輝度を用いれば Y は輝度に対応する事になる。

しかし、実際は可視光領域において定義されなければならないので

$$X = \int_{vis} \rho(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{vis} \rho(\lambda) E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{vis} \rho(\lambda) E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

で与えられる。

$$\int_{vis} : \text{可視光領域 (通常380~780 nm)}$$

vis : visible wavelength

$\rho(\lambda)$: 分光透過率

$E(\lambda)$: 光源の分光分布で $\int_{vis} E(\lambda) y(\lambda) d\lambda = 100$ として規格化されている。

この式から CIE の色度座標 (x , y) が求められ次式で表される。

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

Topcon の分光放射輝度計は分光放射輝度を測定する

Table 1 Colour difference

Evaluation of the degree of color difference	ΔE^*ab
Extremely slightly different (trace)	0~0.5
Slightly different (slight)	0.5~1.5
Different to the extent of being sensible (noticeable)	1.5~3.0
Remarkably different (appreciable)	3.0~6.0
Extremely remarkably different (much)	6.0~12.0
Becoming other color system (very much)	not less than 12.0

事で、内蔵のソフトで輝度、三刺激値などを計算だけで求める事が出来る³⁾。その場合、 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ は数表からもってきた数値をそのまま使用出来るので誤差なしで計算出来る。

2.4 CIE1976 $L^*a^*b^*$ 表色系色度図

CIE1976年推奨の表色系で、視感に対して等間隔な色空間で、CIELAB⁴⁾と呼ばれている。 a^*b^* 軸の直交座標と、これに垂直方向に明度を示す L^* 軸からなり、色の表示と色差測定に用い以下の式で表される。

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad \text{.....①}$$

$$a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)] \quad \text{.....②}$$

$$b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)] \quad \text{.....③}$$

X, Y, Z : 各光源の三刺激値

X_0, Y_0, Z_0 : 基準となる光源の三刺激値

上式は、 $X/X_0, Y/Y_0, Z/Z_0$ が 0.008856 以上の場合に適用される。

($X/X_0, Y/Y_0, Z/Z_0$ に 0.008856 以下の値のものがある場合)

$$L^* = 903.29(Y/Y_0)$$

a^*, b^* は式②, ③の対応する立方根の項を

$$7.787(X/X_0) + 16/116$$

$$7.787(Y/Y_0) + 16/116$$

$$7.787(Z/Z_0) + 16/116$$

に置き換えて計算する。

2.5 色差式 ΔE^*ab

$L^*a^*b^*$ 空間における 2 つの知覚色を代表する 2 点間の直線距離を色差 $\Delta E^*ab^{5,6)}$ として求めると次式で与えられる。

$$\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ΔE^*ab の値から **Table 1** に示すように色差の程度を知る事が出来る。

2.6 輝度と照度

今回、光を定量し視覚特性や視覚評価を考える場合、照度という概念では場の明るさや外光としてどの位の明るさなのかを規定するには良いが、人間が感じる明るさとは対応していない。従って、透過光そのものについてのコントラストの差や光源の違いによる色を加味した視覚評価をする場合には、人間の視覚は輝度に対応していると言われているので輝度の概念で定量した方が理にかなっている。

2.7 色の見えと背景色

色の表示と言っても計測器で測定した値が同じであっても観察している視野や背景色の違いで見えている感じが違ってくると言われている。また画像情報そのものも表示するメディアが違えば三刺激値の値が同じだとしても見えに関しては同じであるか保障出来ない。従って、医用画像においても CRT 画面で得られた画像をフィルム等に記録しシャーカステンで観察した場合、全く違う印象を与える事になる。そこで違ったメディア間での評価が必要となり測光測色が重要となる。

3. 視覚特性と検出能

Table 2 Definition of Visual acuity

I. Minimum visible threshold	
The smallest size such that it is sensible a point or a line exists on a uniform background.	
II. Minimum separable threshold	
The smallest interval such that two points or two lines can be seen separately, which has become the basis of eyesight.	
III. Minimum legible threshold	
The smallest size such that shapes can be distinguished, like the time of reading letters and others.	
IV. Minimum distinguishable threshold, "vernier visual acuity"	
The ability of detecting infinitesimal displacement such as the offset at the joint of two line segments, the unevenness on a straight line and so on, which is the ability of detecting minutest difference among eyesight.	

[第49回総会シンポジウム] 1. 視覚特性にあった画像とは? (青井)

3.1 視力と疲労度

視力と検出能⁷⁾の関係は非常に重要な因子である。Table 2 に視力の定義を解説した。視力はあらゆる色に対して変化しないと言われているようであるが、はたしてそうであるかは疑問である。なぜなら、視覚評価をする場合小さな信号を見つけるのに、検出しやすい色や明るさがあるはずである。最終的には小さな信号を見つける事が出来たとしても、時間因子を考慮した場合、見つけ易い色や明るさが存在する⁸⁾。また視覚評価ではひとつの試料や画像を長時間見る事が多く、眼の疲労が検出能に与える影響を考えなければならない。眼の疲労と視力には相関関係はないとされているが、これは眼が疲れても小さな信号を検出しようとする生理的要因が働くためである。しかしここでも時間因子を考慮すると、疲労しやすい色にくい色が存在しており⁹⁾、観察光源やフィルムベースの色調を考える上で重要な因子と考えられる。

3.2 色への順応

人間はいつも白として認識していた光源が、ある日僅かに青みがかった白の光源に変わった場合、最初は違う色と認識するが、時間経過とともに新しくなった色に順応してしまう。しかし同時に違った光源を提示しそれぞれについて視覚評価をすると光源色に対する眼の順応は時間経過とともに適応の仕方に違いが生ずる。従って、視覚評価をする時、フィルムベースが違う場合は色に対する順応を考慮しなければならない。

4. 考 察

今まで、視覚評価をする場合、輝度の変化や外光の影響での検出能の報告^{10,11,12)}はあったが、これは医用画像を視覚でとらえる場合すべての光源が同じと仮定してでの話である。また同一フィルムを視覚評価する場合でも施設が変われば評価の点数が逆転したり、または好み等の官能的要素が加わり評価の曖昧さが考えられた。医用画像は白黒であると言う概念は、確かに濃度と言う概念があるので無彩色の階調の変化だけでとらえがちである。しかし実際には光源色の違いやフィルムベースの色調の違いがある訳であるから色も加味した視覚評価をし、かつ定量しなければいつまでたっても色調に関しては官能的要因から脱却出来ない。また、フィルムベースの色調は観察光源が変わればまったく違った印象を与える訳であるから観察や視覚評価をした光そのもの、つまりフィルム透過後の光の定量が必要になってくる。このように考えてみると、視覚特性にあった画像を考えるには光の

定量、つまり測光、測色をする事で相手にどのような観察環境なのか(外光は? 観察面の設定は?), 光源の分光分布は、フィルムの色調は(分光透過率は?), これらの光の定量から基準となる光源に対し色差やxy色度図やL*a*b*ダイアグラムに表し、視覚評価した基準を明確に記述する必要がある。これにより色に対する曖昧さを数値に置き換える事が出来るし、施設が変わっても同じ実験環境を作る事も可能となり、医用画像における最適な光源やフィルムベースの色調等を考えて行く事が可能である。そこで初めて視覚特性に合った画像を追求出来るのである。また今後の課題は医療情報の記録の媒体がフィルムだけでなくあらゆるメディアを通して画像として記録されていく事で相互間の画像の見え方をどのようにして定量していくのかと言う問題がある。また各メディア独自の系で処理された情報に対しそれぞれを相互利用し記録していく場合、相互の色や測光の値から三刺激値を求めてそれが同じである場合が起こったとしても、色の見えでは違った印象を与えてしまう事を経験した事があると思う。こうしたメディアの違いと相互の画像に対して視覚的にどのような画像が良いのかを検討して行くにはますます測光測色によって視覚特性と視覚評価の関連性について検討していく必要があると考える。

5. ま と め

視覚特性に合った画像とは非常に難しい問題であるが、視覚に飛び込んでくる光を定量し視覚特性との関連性を探っていく事で視覚特性にあった医用画像を考えていく事が出来る。視覚評価をする上で輝度だけでなく色を加味した評価の必要性があり、検出能の違いは波長依存性によっても左右されている。また視覚特性を生かした観察条件や観察光源を医用画像において作る努力が必要である。また医用画像における基準光源を早急に設け施設間でのプロトコルを行なう必要がある。このように考えてみると画像評価では光の定量と視覚評価の関連性を論ずる事により今までの曖昧さの評価に対し更に正しい評価が可能となろう。また視覚特性を論ずるのであるから検出能での問題ではそれぞれの実験で閾値を求め、他の視覚評価との関連性を求めていく必要がある。

5. 謝 辞

今回、このような機会を与えて下さった信州大学医学部放射線医学教室の滝沢正臣先生に深く感謝致します。また、今回の発表にあたり一緒に研究している同胞諸兄、大阪府立羽曳野病院、山口道弘氏、近畿大学医学部付属

病院, 浅井義行氏, に深く感謝するとともに, 当院大阪労災病院眼科の田中文先生の貴重な資料の提供に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 応用物理学会光学懇話会：色の性質と技術, 朝倉書店, 東京, (1988)
- 2) 池田光男：色彩光学の基礎, 朝倉書店, 東京, (1988)
- 3) 光光源の測定方法：JIS Z 8724, (1980)
- 4) $L^*a^*b^*$ 表色系および $L^*u^*v^*$ 表色系による物体色の表示方法：JIS Z8729, (1980)
- 5) 色差表示方法：JIS Z8730, (1980)
- 6) 小松原仁：色差式の開発動向, 照明学誌, 76(9), 24-27, (1992)
- 7) 畑田豊彦：視機能の検査法 3・各種視力, 続・生理光学, No.113, 138-143, (1989)
- 8) 青井利行, 山口道弘, 浅井義行：人間の視覚特性の画像評価への影響, 日放技学誌, 48(8), 1192, (1992)
- 9) 青井利行, 山口道弘, 浅井義行：光源の違いおよび時間因子における人間の視力について, 日放技学誌, 48(8), 1191, (1992)
- 10) 吉村義典, 竹内徹二, 成定康平：中心視の輝度差弁別いきに及ぼす周辺視野の輝度の影響, 照明学会誌, 62(5), 12-18, (1978)
- 11) 藤村郁夫：誌影のための照明条件, 富士Xレイ研究, 101, (1973)
- 12) 犬井正男：第18回サマーセミナー, 21世紀に向けた新しい画像システムと評価を考える, 63-71, 日本写真学会, (1990)