観測者メタメリズムの評価法[†]

専門会員 納谷 嘉信*

1. ま え が き

観測者メタメリズムとは、観測者間の等色判断の変動を評価しようとするものである。現在、CIE TC-1.3 測色委員会の下部組織であるメタメリズム小委員会では、この観測者メタメリズム指数の確立を目指して研究を進めている。現在メタメリズム小委員会の委員長は、富士写真フイルム株式会社の大田登博士である。

筆者および電子技術総合研究所大阪支所・高浜幸太郎、および側垣博明両氏の共同研究による発表論文“等色関数と観測者メタメリズム”は、正にこの小委員会の研究課題と密接に関連している。しかし、この問題は重要である反面きわめて困難な課題である。著名な研究者が、それまでの研究をながめながら考究を加え、新たな発想があると論文執筆をするという状況である。

研究の流れとしては、等色関数に基づく観測者メタメリズムの評価方法の研究、および実条件等色サンプル群と実被験者群を用いる現実の評価に基づく研究の2系列がある。

前者の研究には、G. Wyszecki¹⁾, E. Allen²⁾, D. Ströck³⁾, Y. Nayatani, K. Takahama, and H. Sobagaki⁴⁾の報告がある。後者の研究では P. K. Kaiser and H. Hemmendinger⁵⁾, F. W. Billmeyer, Jr. and M. Saltzman⁶⁾, M. A. Nardi⁷⁾の報告がある。これらの両研究系列の関連も一つの重要課題である。

本報では、まず、先行研究^{1)~3)}の紹介を行い、次いで筆者および協同研究者の AIC 発表論文の簡単な紹介を行う。次に、別系列の諸研究^{5)~7)}との関連と、AIC ペルリン大会に先立って開催された、TC-1.3 メタメリズム小委員会の関連討議を紹介して、ご参考供したい。

2. 先行研究と「等色関数とメタメリズム」の発表論文の紹介

Wyszecki-Stiles⁸⁾は、Stiles が CIE 1964 標準観測者の基礎データとするため測定した約49名の被験者のうち、20名の等色関数を与えている。

Wyszecki¹⁾は、20人の平均観測者および標準の光 D_{65} に

関して、条件等色となるサンプル対を選定、各被験者ごとの等色のくずれを色差で表現して、観測者メタメリズム指数 $\bar{M}_k$ として用いることを提案している。

ただし、

$$\bar{M}_k = \frac{1}{20} \sum_{p=1}^{20} \Delta E_{pk}$$

ここで、 p は被験者、 k は条件等色対の番号を、 ΔE は色差を示す。

この計算は、20人の被験者を用いるので繁雑である。そこで、Allen²⁾は20人の被験者の等色関数の平均からの偏差に関する分散・共分散の分析に基づいて、1人の偏差観測者を求めた。20人の平均観測者とこの偏差観測者1人を用いて、20人の被験者の等色変動を代表しようとした。図の右上部は、Allen の偏差観測者の等色関数の平均等色関数からのずれを示す。しかし、この観測者を用いる、観測者メタメリズム指数 M_{Ak} と前述の $\bar{M}_k$ とを、Wyszecki⁹⁾が求め筆者が用いた¹⁰⁾12対の条件等色対群 $k=1, 2, \dots, 12$ の各々について比較すると、図右下の散布図のように相関はかなり悪いことを示す。これは、Allen の解析の中に計

図

(a) 筆者とそのグループの研究⁴⁾の第1偏差観測者と平均観測者の各等色関数の偏差、(b) Allen²⁾による偏差観測者と平均観測者の各等色関数の偏差、(c) 20人の平均メタメリズム指数と、筆者とそのグループの研究⁴⁾の第1偏差観測者による指数との相関、(d) 20人の平均メタメリズム指数と Allen²⁾の偏差観測者による指数との相関

[†] Method of Assessment on Observer Metamerism

* 大阪電気通信大学工学部 Yoshinobu Nayatani

算簡易化のための近似が含まれるためである。

その後、1977年 Strocka³⁾ は、20人の被験者をさまざまに組み合わせ、何名の被験者を用いると、20名をほぼ代表できるかを試行錯誤的に検証した。その結果、適当に選んだ2名と平均観測者を用いることにより、20人への代表性を著しく改善しようとした。すなわち、Allen の偏差観測者1名に対し、2名必要とするということである。

筆者、高浜、側垣の AIC 発表論文⁴⁾ は、この問題に結着を与えるものである。Stiles の20名の等色関数を特異値分解法¹¹⁾により解析し、数人の直交する偏差観測者群に分解した。この解析過程の特色を述べると次のようである。

(1) 等色関数 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ を別々に解析せず、一つの93次元ベクトルとして解析したこと。

(2) 解析は完全に誤差なく、計算労力も簡単であること。

(3) 多数の直交偏差観測者群に分解できること。

この解析の結果、第1の偏差観測者が観測者メタメリズムの評価に有効と判明した。図左上は、この新しい第1偏差観測者の等色関数の平均観測者からの偏差を示す。さらに図左下は、この偏差観測者を用いる観測者メタメリズム指数 M_{Nk} と、20人の被験者の平均指数 $\bar{M}_k$ の散布図を示す。著しく代表性が改善されていることがわかる。

結論的に、20人の被験者は、1人の第1偏差観測者で代表しうることが判明し、観測者メタメリズム指数評価の労力を著しく軽減した。

なお、その後、この研究は次のように発展している。

(1) 図の二つの偏差曲線はわずかに異なるが、20人の被験者の代表性は大きく異なる。高浜はこの点に着目、特異値分解の第1偏差観測者の偏差曲線を、さらに最適化して20人の代表性を高めた。最終的に、相関係数がほぼ1に近い最適化が可能となった。

(2) 第1偏差観測者から、第4偏差観測者までの4種の等色関数を用いることにより、20人の被験者の等色関数の各波長ごとの分散・共分散の値がほぼ完全に推定できることが判明した。観測者メタメリズム指数を代表するには、1人の被験者で良いが、被験者間の等色関数の分散・共分散の代表には4人を要することは興味深い。

3. 他の諸研究との関連

今一つの系列の観測者メタメリズムの研究は、Davidson and Hemmendinger の color rule を用いるものである。これらは、2種の色系列のそれぞれについて、分光特性をわずかずつ変化したサンプル群を系統的に貼り付けたものである。照明光の変化により、また被験者の年齢変化により、等色と判断されるサンプルの組み合わせが移動する。これによって、実観測者の条件等色サンプルの等色判断の変動を具体的に探ろうとする。P. K. Kaiser と H. Hemmendinger⁵⁾ は、これを用いて照明光変化の影響や、観測者の年齢に応じて、系統的にマッチング点がシフトすることを報じている。これに対応して Billmeyer ら⁶⁾ は、72名の年齢の広範に異なる被験者(20~60歳)を用いて、等色

点を定めた。M. A. Nardi⁷⁾ は17~29歳の90人の学生を用いて同様の実験を実施した。

当然のことながら、年齢の範囲の広い前者では、等色点が後者に比べ著しく大きく変化している。このことは、目のレンズや網膜中心くぼみでの色素沈着に基づく黄色化に対応する。

これらの研究は、特殊なカラールールを用いているため、一般的な観測者メタメリズム指数を定義するには不便である。しかし、実観測者を用いた実観測条件下の観測者のメタメリズム指数に対応するものを与えている。一方、2節で述べた研究の系列は、等色関数を用いているので、一般指数の設定は便利であるが、等色関数自身が日常の色観測条件で求められたものでない点に不満と不安が残る。

この意味で両者の関連づけが今後の課題である。このことを反映してか、西ベルリンでの TC-1.3 のメタメリズム小委員会では次の2点が要望されていた。

(1) 観測者メタメリズム指数の設定に関して、生理的な検討や根拠も研究することが、C. J. Bartleson により要請された。上述の年齢による色素沈着を含む生理情報を媒介として、上述の両系列の研究の関連や生理的基礎を与えることが期待されるのであろう。

(2) 筆者の研究の系列は、Stiles の20人の被験者を用いるものであった。Stiles の観測者は全部で約49名であるので、これらを用いて解析することも議論されている。

4. おわりに

観測者メタメリズムの評価指数設定の研究も、なかなか複雑であり、関係分野も広いことがわかる。このようにながめると、色彩研究にも歴史があり、新しい発想が加えられ、国際交流の場で相互に啓発されて、次の研究の芽生えがある。多くのかたがたの色彩基礎研究への参画を希望したい。

参考文献

- (1) G. Wyszecki: Textile Chemist and Colorist, 1 (1969) 47
- (2) E. Allen: Proc. 1st AIC Congr. (1970) 771
- (3) D. Strocka: Proc. 3rd AIC Congr. (1977) 432
- (4) Y. Nayatani, K. Takahama, H. Sobagaki: AIC Color 81, 14. Color Res. & App. に投稿中
- (5) P. K. Kaiser, H. Hemmendinger: Color Res. & App. 5 (1980) 65
- (6) F. W. Billmeyer, M. Saltzman: 上出, 72
- (7) M. A. Nardi: 上出, 73
- (8) G. Wyszecki, W. S. Stiles: Color Science (1967) 425
- (9) G. Wyszecki: Acta Chromatica, 1 (1962) 1
- (10) Y. Nayatani, K. Takahama: J. Opt. Soc. Am. 62 (1972) 140
- (11) I. J. Good: Technometrics 11 (1969) 823

(受付1982年2月17日)