

特集 色彩学の先達から

色彩学の先輩として思うこと

納谷 嘉信



つたない経験であるが、編集委員会からのご要請により、提示された要項に従い、思いを記述したい。

1. 必読文献について

一つを挙げることは難しいが、色覚研究において、私が一番感銘を受けたのは、Jameson-Hurvichの反対色理論¹⁾の論文である。3報からなり、可成り、長文であるが、必読と考えている。やや古いが、今では改訂すべき点も散見される。然し、深い洞察の有る、熟読すべき論文である。

一般的には、測色・色覚の各分野については、Wyszecki-StilesのColor Science²⁾の関連諸章を読み、その重要関連参考文献を当たられると良い。論文を読んで後悔をしないコツは、著名な研究者執筆の、長文の論文を読むことである。

2. 今後研究して欲しいテーマについて

4項に密接に関連するが、国公立の大学・研究所では、次の3項目の研究を重視して頂きたい。a) 色の見え(色知覚)、色覚関連の研究が、理論と実験両分野について、もっと積極的に研究されて良い。b) それらを心に留めながら、各種色彩画像情報処理機器やインターネットの発展を見据えた、各種色彩媒体上の色再現技術がもっと基礎的に研究されて良いと考えている。c) 配色と造形は、あらゆる実用面で不可分である。画像情報処理機器の発達により、配色と造形の総合化を目指す基本的課題も、深い洞察の下に、研究の深化が図られて良い。以上の3項の詳細は既に本誌に掲載した。学会50周年記念関西支部講演会での筆者の論説³⁾に詳しい。併せて参照されたい。

3. 色彩学及び関連研究の経緯

筆者の色彩学及びその関連研究を年代順に簡単なコメントと共に述べる。勿論、これらの諸研究は、恩師岡田喜義先生、Dr.G.Wyszeckiのご指導、また共同研究された、栗岡豊博士、高浜幸太郎博士、側垣博明博士、南條基博士、橋本健次郎博士、湊秀幸博士、矢野正氏、山中俊夫氏(50音順)等の方々優れた能力とご努力による。記して謝意を表したい。以下の研究

は、1980年5月迄は通産省電子技術総合研究所(電総研)で、その後1998年3月迄は大阪電気通信大学で行われた。この間大阪電気通信大学・納谷研究室における卒業研究生諸君の、真摯な献身的努力にも、心から謝意を表したい。以下、各項目毎に括弧内に、概略の研究期間と協同研究者名(敬称略・50音順)を示している。

a) 色温度計の制作と実用(1953年頃。山中)。

光電式2色色温度計の開発。岡田先生のカラー撮影への支援研究。

b) Donaldson Colorimeter (DCと略)の校正とCIE1964等色関数採択への貢献(1961-1963、Wyszecki)。

カナダの国立研究所(NRC)に滞在中の研究。当初の狙いは昼光色度の視感測色、蛍光物体の視感測色であった。約半年掛けて、DCの再整備、再校正の結果、NPL(英国国立研究所)指定の校正法の誤差を発見した。正しい校正法を確立した。それに基づき、Dr.Wyszeckiが、既実施の、DCによるCIE1964等色関数の実地テスト結果を再整理され、同等色関数の正当性が明らかにされた。それが、1963年のCIEでの採択に繋がった。Dr.Wyszeckiに、非常に感謝された思い出がある。

c) 色対比効果の予測(1970-1975、山中、側垣)。

各種無彩色及び有彩色背景上の、中心物体色の色見え変化の実験と、その予測研究。

特別な視感色彩計の制作と膨大な観測実験が山中、側垣両氏によりなされた。それに基づきInclination Modelと称するものを開発した。然し、色対比現象も複雑であり、なお多くの課題が存在することを認識している。

d) 各種スペクトル光に対する視覚誘発脳波の分析(1970-1975、山中、側垣)。

視覚誘発脳波の解析に、その当時まだ目新しいかった主成分分析法を適用した。脳波に含まれる反対色応答を、世界最初に検出、Vision Researchへ発表した。

それまでは、視覚誘発脳波には3色説の存在が主流であった。その後、電総研大阪支所において、外池光雄博士らにより、嗅覚を含む5官の膨大な総合研究へと発展されている。現在、電総研大阪支所は、大阪ライフ・エレクトロニクス・リサーチ・センタへと、大きく発展して居られる。

e) 昼光シミュレータの評価法の研究 (1970-1983、栗岡、高浜、側垣)。

標準の光D65等を、実用光源で実現する場合の評価基準を与える研究である。この研究はCIEの要望課題研究とも言える。その詳細は、別途日本照明委員会雑誌⁴⁾に詳述してある。筆者は小委員会の委員長として、CIE技術報告No51⁵⁾の取りまとめを行った。

f) 観測者メタメリズムの研究 (1981-1992、側垣、高浜、橋本)。

これもCIEの課題研究である。技術委員会の委員長は、大田登博士が務められた。あらゆる等色の実現に置いて、条件等色の存在は避けられない。正常観測者でも、個人毎に等色関数は僅かに異なる。或る人が等色と判断しても、別の人には、色ずれがあると判断する。1つの条件等色対 (一方は客先見本、他方は調色サンプル) の場合、正常観測者でも色ずれがあると判断する人の割合が多ければ、調色サンプルを調整する必要がある。結果的には、多くの人が、等色と判断するように、条件等色の程度を改善する必要がある。この調整基準 (観測者メタメリズム指数) の標準化である。Dr. Stilesらの等色関数測定値に、特異値分解法を適用して得た関数を用いる方法が採択された。大田博士の御苦労とご努力を思い出す。CIE技術報告No80⁶⁾として1989年出版された。

g) 色順応効果の実験とモデルの開発 (1970-現在まで、側垣、高浜、橋本、矢野)。

これも1970年頃よりの、CIEの重要研究課題である。現在もなお熱心に研究が続けられている。この研究は、次のh) 項と密接に関連する。約30年に亘る、色順応変換・色知覚モデル開発の経緯は、既に本会誌⁷⁾に詳細に報告している。それを参照されたい。その内、色順応変換は1994年CIE技術報告No109⁸⁾として出版されている。

h) 色知覚 (色見え) モデルの開発と各種観測実験結果への適用 (1981-現在まで、側垣、高浜、橋本、矢野)。

英国のDr. RWG Huntと筆者らのモデルが、約20年間競合してきている。残念ながら、多勢に無勢、

1997年のAIC京都大会直前に開催された、CIE第1部会の会合で、Dr. Huntのモデルを基礎とする、CIECAM98s⁹⁾が、暫定的に採択された。然し、未だモデルの良さとしては、勝負は付いていない。筆者としては、当然我々のモデルの方が、理論的価値が高いと信じている。現在でも、競合者が我々のモデルを無視できない状況にある。

i) Helmholtz-Kohlrausch (H-K) 効果の実験と予測。VAC法とVCC法の差の発見 (1990-現在まで、側垣、高浜、橋本、矢野)。

現在測光・測色上の難問は、同一の輝度 L_{cd}/m^2 ・同一の輝度率 (Y%) を有する、無彩色と有彩色が、同一の明るさを示さないことである。また条件によっては、測光・測色の基本である加法則が成立しないことである。筆者らの色知覚モデルを基礎に、光源色及び物体色に対する、上記諸効果を予測するモデルを開発した。その過程で、効果の測定・予測において、VAC法 (無彩色可変法) とVCC法 (有彩色可変法) の2種が存在し、その間に大きな数値差のあることを解明した。何れ、その考え方及び予測式の正しさは、世界的に受け入れられることを確信している。

j) 物体色の色知覚属性、およびHeringの反対色理論の一部修正への提案 (1990-現在まで)。

物体色の色知覚属性は、明度、クロマ、白味、黒味、明るさ、カラフルネス、白味・黒味の強さ、色相など多岐にわたる。特に白味・黒味は現行のCIEシステムでは全然考慮されていない。これらの関係を、色知覚の立場から明確にしている。この過程で、Heringの反対色理論の修正点を提案している。前者は、CRAの2000、October Issueに掲載される。後者も採択済みである。

その他、関連研究を簡単に紹介する。

a) 蛍光灯・高圧水銀灯の配光測定 (物理測光) (1953-1961、栗岡、山中)。

当時標準値の供給が要望された、両光源に対する測光法の確立と標準供給である。球形光束計法に代わり、配光法を導入した。サークラインの配光測光法が、納谷の学位論文である。この研究で、高精度測光技術を身につけたことは、後日の測色研究に大変参考になった。例えば、b) 項のNRCにおける、DCの校正法の研究にも役立った。

c) 照明計算 (相互反射理論) の活用 (1953-1961)。

b) 項の配光測定法に関連して、相互反射理論を含

む照明計算理論を修得・活用した。大正末期における山内二郎先生のご研究における、数学能力の高さに驚いた経験や、黒沢涼之助博士の知遇を頂いたのも思い出である。成果は、1963年のCIEウィーン大会で報告した。

d) 配色の研究 (1965-1975、辻本)。

辻本明江女史の研究に統計面で協力した。配色に関して、配色感情の種類、各配色感情と構成色マンセル値との関係予測式、配色感情と面積比、配色感情の個人差と性格との対応など、膨大な研究がなされた。研究の実施には浅野長一郎元九州大学教授、故池田潤平大阪電気通信大学教授、難波精一郎大阪大学名誉教授の諸先生との、緊密な共同研究で実施された。新編色彩科学ハンドブック [第2版]¹⁰⁾ に要約されている。

4. やり残したテーマ

なおやり残したテーマは数多い。筆者の既述の提案³⁾を参照。以下に、やや具体的に述べる。

a) 非線形色知覚モデル・非線形色順応モデルの最終版を逆変換も含めて、集大成すること。

この仕事の結果は、筆者には見えている。然し、なお若干の計算力と気力・体力が必要である。もし、この研究を実施される人が居られれば、筆者のモデル関連論文情報を提供したい。その研究者が、将来色知覚研究を専門とされる場合には、先ず、この分野の理解と研究指針を持つ必要がある。その目的に対し、このテーマは、比較的簡単であるが、然し極めて有用である。なお、このテーマの良い点は、現在の色知覚(色の見え)モデルは、CIECAM97sを含め長期的には、改革の必要が、既に筆者には見えている。広範な生理的・心理的情報を取り入れて、モデルを根本的に再構築する必要がある。それは次世代の研究である。その基礎としても本研究は重要である。

b) Heringの反対色理論における、納谷の修正を受け入れさせること。

前節j) 項の研究を発展させ、結論的な結果への詰めが今一步必要である。

c) 色知覚モデルの色画像処理への適用。

これは、今後の重要テーマとなろう。これらの分野を取り込むことが、日本色彩学会(Color Science Association of Japan)の役割りである。特に色見えモデルと関連させて、私のやりたいテーマであった。プロジェクト研究としても良い。

d) 光源色の色知覚モデルと物体色の色知覚モデル、それぞれの定式化。

筆者は、現在までの色知覚研究の結果、光源色と物体色の色知覚のモデルは、異なるべきとする、強い信念と根拠を持っている。筆者らのモデルは、物体色用である。これを光源色に利用することは出来ない。これの解明は、今後の課題である。

e) 色見え(色知覚)と色弁別の機構差・予測式の理論的究明。Line Elementの研究など。

色の知覚(色の見え)と色弁別は異なるメカニズムにより起こる。例えば弁別色差と、大域色差が振るまいが異なるように。両者の理論的関係の究明も、やりたかった研究の1つである。弁別に関する生理的・心理的情報の収集も大切であろう。今の諸色差式は、一般にEmpirical Formulaであり過ぎる。有用ではあるが、甚だ美しくない。理論的には、既に数多く提案されているLine Elementの研究から始めるのも、重要であろう。日本ではLine Elementを研究する人を、寡聞にして聞かない。誠に不思議なことである。

f) 色順応実験における両眼隔壁法と主観評価法の差、及び両者の得失の究明。

両眼隔壁法と主観評価法は、それぞれ色順応効果の推定実験に用いられる。詳述しないが、何れも一長一短である。あらゆる心理実験で、理想的に正しい方法はないと、筆者は信じている。従来は主として、両眼隔壁法による実験が多かった。University of DerbyのLuo教授の下で、LUTCHデータと通称される膨大な主観評価法によるデータがある。然しそのデータはLuo Groupのみが解析し、CIECAM97sの擁護に使われていた。然しそのデータは過去10年の長期に亘り非公開であった。各方面からの、要求により、やっと2年前に公開された。我々のグループの予備解析では、Luo Groupの解析は偏りがあると思われる証拠が判明している。これ以上は、労力の関係で、続けられない。然し、既に、CRAに数報以上の投稿論文として、結実する研究計画ストーリーが、筆者により確立されている。学位取得を目指す人々にも好適な世界的テーマであろう。要望があれば、本誌にその研究計画のストーリーを、資料として詳細に報告しても良い。研究希望者には、資料提供を惜しまない。

g) 色順応効果と色対比効果の総合色見えモデルの開発。色見えモデルの次の発展ステップ。

h) 配色と造形の複合研究。2節参照。

g)、h) 項については紙数の関係で説明を略する。

5. 研究推進上のアドバイス

これについては、日本照明委員会法人化30周年記

念大会における筆者の記念講演¹¹⁾に詳しい。詳細はそれに譲る。以下重複を避けて、それらについては項目の一部のみを示し、追加事項について、項目と若干の説明を述べる。

- a) 国際的研究課題に関心を持つこと。
- b) 自己の研究に基づき国際的提案をすること。
- c) 英文で論文執筆をすること。
- d) 研究のもっとスピード化を図ること。
- e) 日本人研究者間の相互支援をもっと図ること。
- f) 実験データの公開をすること、他。

以下追加項目を略述する。

- g) 理論文献を読むときは、論文中の式の導出をすること。実験文献は自分で実験しうる自信が出来るまで読むこと。
- h) 自己の研究に対し、早い段階で基本ポリシー。基本モデルを持つこと。
- i) それに基づいて選んだテーマを、迷わず徹底的に考え、実行すること。アチコチ食い散らかさぬこと。この際実験などで、余り実験パラメタを増やさぬことなど。
- j) 若いときに徹底的に観測や実験をやること。特に物理測光の高精度を実現した体験を持つこと。計算は老化しても出来る。
- k) 各種心理現象を自分の目で見て、味わうこと。
- l) 統計学と数学能力を高めておくこと。また、計量心理の手法・官能検査手法を学べること。
- m) 不足能力については、それを持つ専門家との協力体制を持つこと。一人では多寡が知れている。

参考文献

- 1) Jameson D and Hurvich LM, Some quantitative aspects of an opponent colors theory, I - III, JOSA, 45, 546-552 (1955) ; 46, 405-415 (1956) .
- 2) Wyszecki G and Stiles WS, Color Science, 2nd Edition, 1982, John Wiley & Sons.
- 3) 納谷嘉信、これからの色彩研究への期待 - 21世紀を目指して、日本色彩学会誌、23巻、1号、50-57 (1999)。
- 4) 納谷嘉信、CIE標準昼光およびその実用光源評価法の思い出、日本照明委員会誌、16巻、1号、22-29、(1999)。
- 5) Publication CIE No.51, A method for assessing the quality of daylight simulators for colorimetry. (1981) .
- 6) Publication CIE No.80, Special metamerism index: Observer Metamerism. (1989) .
- 7) 納谷嘉信、色覚モデル開発の経緯とその効果、日本色彩学会誌、24巻、1号、45-50 (2000)。
- 8) Publication CIE No.109, A method for predicting corresponding colours under different chromatic and illuminance adaptations. (1994) .
- 9) Publication CIE No.131, The CIE 1997 interim colour appearance model (simple version) CIECAM97s. (1998) .
- 10) 納谷嘉信、「配色感情次元、配色嗜好感情の個人差、面積比、配色」、新編色彩科学ハンドブック、第2版、675-680、東大出版会 (1998)。
- 11) 納谷嘉信、CIEにおける色彩研究を経験して。日本照明委員会・社団法人化30周年記念大会・講演予稿集、7-12、(1999年11月1日)。