

連載：色を測る — 色彩研究における科学的手法 —

(5) 視感測色の実際

(5) Practical visual colorimetry of surface color

小松原 仁 Hitoshi Komatsubara 一般財団法人日本色彩研究所
Japan Color Research Institute

はじめに

標準的な観察条件の下では、人間の視覚系を刺激する光の分光特性によって、見ている対象（以下、視対象といいます。）の色感覚・色知覚を記述できることから、視対象の色の表示のために分光測光器を用いて視対象の分光反射率を測定し、標準イルミナント及び等色関数と組み合わせて計算される三刺激値を測定する方法が用いられています。このように三刺激値を物理的に測定する方法を物理測色方法といいます。しかし、色は人間に直接見えているものですから、目を用いて測定（視感測色方法といいます。）することも可能です。

今回は、視感測色で用いる「色のモノサシ」及び測定の留意点について解説します。

色のモノサシ

赤、黄、緑、青、紫など様々な色があるため、任意の色の視感測色では、あらかじめ様々な色の測定ができるように多くの色紙からなる色見本集が用いられます。なお、色の表示などを目的とする色紙のことを色票といい、色票を一定の規則に従って配列し、それぞれに記号を付けた色票の集まりを色票集といいます。色票集には、「塗料用標準色見本帳」、「カラーガイド」又は「カラーファインダー」^[1]のように色の選定、表示・指定に便利のように編集されているものがありますが、利用目的に便利のように色票が採録されているために色相、明度及び彩度の分布に粗密があり一様でないため、視感測色に用いる「モノサシ」として用いたときに、色票集のなかから視対象と同じ色の色票が見つからないなど、視対象の色をうまく測定できないことがあります。このため、特定の表色系から規則的に粗密がないように色票を採録した色票集である「標準色票」が「モノサシ」として用いられます。我が国では「JIS準拠標準色票（以下、JIS標準色票という）」が広く用いられています。JIS標準色票以外には、日本園芸植

物標準色票、標準土色帳、皮膚色票、歯冠色票^[1]などがあります。標準土色帳、皮膚色票、歯冠色票は赤から紫までのすべての色相ではなくて、土色、皮膚、歯冠の出現する色域の範囲から規則的に選ばれた色票集で、特定用途の標準色票といえることができます。また、諸外国ではNCS、OSA均等色尺度、DINなどが用いられています。NCSはスウェーデンの工業規格SISに採用されていることから、EU圏での普及が進んでいる標準色票です。

JIS標準色票では、マンセル表色系から選ばれた約1900色の色票が採録されています。任意の視対象の視感測色ができるように色票は赤から赤紫まで、それぞれ明度と彩度が規則的に変化するように色空間からまんべんなく選ばれていますが、約1900色の色票を使わなくても視感測色ができる場合があります。図1に示した藤の葉色の分光反射率は、葉緑素の度合いによって、波長680nm付近の吸収が系統的に変化しています。また、それに伴って図2のように葉色も系統的に変化します。葉緑素は草木の生長に重要な役目を持っていますので、草木の育成のために葉緑素計と呼ばれる測定器を使って葉緑素の度合いを測定して栄養診断に用いることがあります。しかし、葉色の範囲は緑の領域に限定され、葉緑素の度合いによって、葉色が系統的に変化しますので、約1900色のJIS標準色票のうち緑の領域の中でも、限られた色票数（例えば5～10種類）だけがあれば、視感測色によって葉色を測定することができます。葉色が測定できれば、葉色と葉緑素の度合の相関関係から、葉緑素計を使わなくても栄養診断を行うことができます。ただし、葉色は、リンゴ、イチゴなど品種によって若干異なるため、葉色の変化の様子は品種ごとに調査する必要があります。

このように系統的な色の変化をする視対象の測定に用いる少数の色票からなる「モノサシ」をカラースケールといいます。カラースケールには冷凍マグロの品質判定用スケール、有色排水評価用スケール^[1]、農林

水産省果樹試験場基準・リンゴ、イチゴ、ブドウなど様々なものが作られています。

JIS標準色票による視感測色

JIS標準色票は、色相が異なる40のチャートから構成

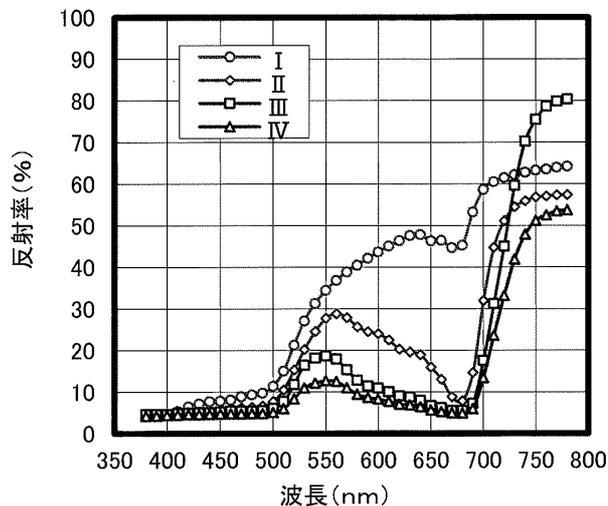


図1 葉色の分光反射率の変化

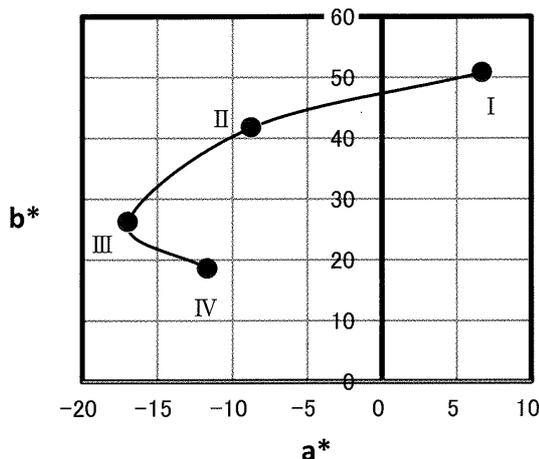


図2 葉色の色座標の変化

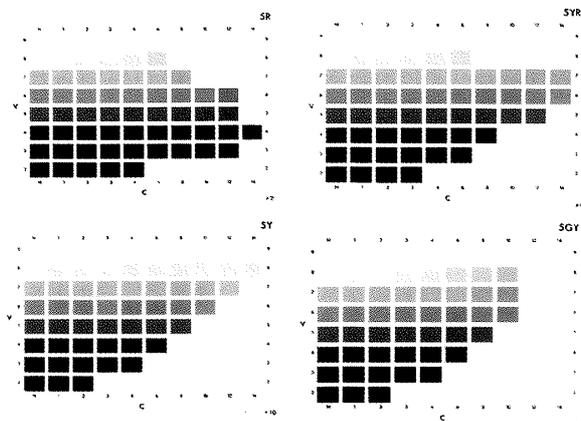


図3 JIS標準色票のレイアウト例

され、各チャートには図3 (5R, 5YR, 5Y, 5GYの例)のように縦軸に明度、横軸に彩度が異なる色票が貼付されています。明度はV = 1 ~ 9まで1ステップずつ、彩度はC = 0 ~ 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14... (製作が可能な限り) のように変化する色票が選ばれています。

次に、JIS標準色票を用いて視感測色する場合の手順を図4の視対象を例に示します。まず、40の色相チャート(例では図3)と比較して最も近い色相チャートを選びます。この例では図5に示すように5YRのチャートの色相に最も近いことがわかります。次に、縦軸の明度が変化している色票と比較します。そうすると、明度6の色票に最も近いことがわかります。次に横軸の彩度が変化している色票と比較します。そうすると、彩度14の色票に近いことがわかります。このような手順で比較することによって、測色結果として5YR6/14を得ることができます。

この例では最も近い色票がJIS標準色票の中から見つかりましたが、そうでない場合も多くあります。その場合には、視対象の色相が間に入っている隣り合った2つの色相チャートを選び、明度及び彩度についても視対象の明度及び彩度が間に入る隣り合った2つずつの色票を選びます。このようにして選んだ色票と視対象の色の違いを比較して、両端の色票の距離を基準としてどの程度離れているかを、図6のように色相は0.5ステップ、明度は0.2ステップ、彩度は0.5ステップの細かさをめどに判定して測色結果とします。例えば、図4の視対象が5YRの色相と比較してやや赤みがかっており、明度がやや高く、彩度がやや低い場合には、4.5YR6.2/13.5のような結果になります。このような細かさの目安を決めている理由は、JIS標準色票の色票の選定に用いられているマンセル表色系が、図6と同様に視感実験によって色相、明度及び彩度ごとに、色票の間隔が等間隔になるように人間が作った平均的な「モノサシ」であるため、あまり細かいところまで測定しても意味がないためです。マンセル表色系の色票の基準値はJIS Z 8721 (色の表示方法-三属性による表示) でCIEXYZ表色系の三刺激値が規定されていま

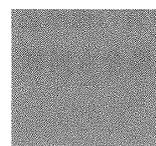


図4 視対象の例

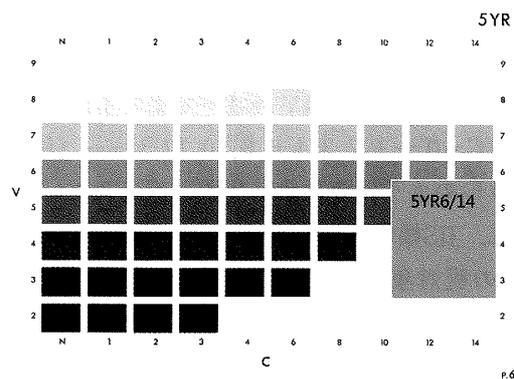


図5 視対象の明度及び彩度の判定

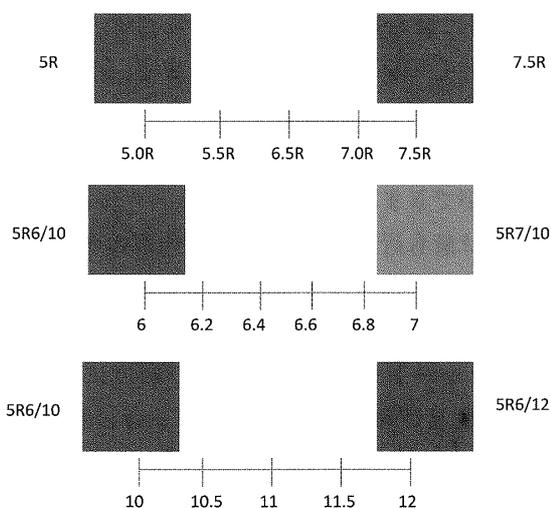


図6 色相・明度・彩度の補間

すので、三刺激値がわかれば、計算（図表変換）によってマンセル値を求めることができます。計算ですので、ややもすると細かい数字が求められますが、この場合も、なるべく前述の細かさの目安と同様に数字を丸めるようにします。

三刺激値を測定することを「測色」といっていましたが、JIS標準色票による視感測色によってマンセル値が測定できれば、三刺激値からマンセル値への変換の逆の手順を使って三刺激値を求めることもできます。ただし、視感測色で測定されたマンセル値は、数値の丸め誤差などが含まれていますので、物理測色方法で得られた三刺激値と比較する場合には注意が必要になります。

なお、JIS標準色票以外の標準色票やカラースケールを用いて視感測色する場合も同様な手順で行うことができます。

視感測色の視環境

照明光の分光分布、視対象面の明るさや背景の違い

表1 標準的観察条件

照明	CIE 標準イルミナント D65 の分光分布をシミュレーションした光源（JIS Z 8723 では昼光及び常用光源を含む。）
照度	1000 lx
観察者	色覚正常者
背景	均一で、 $L^*=50$ の無彩色
観察モード	反射物体色
試料サイズ	視角 4 度以上
試料の間隔	試料対の縁を直接接するように置くようにした最小の試料対の間隔
試料の表面状態	不均一さのない同種の色

によって色の見え方が変化することはよく知られています。このため、視感測色をする際の視環境を標準的な条件に整える必要があります。視環境については、すでに連載のなかで幾つか取り上げられています^[2,3]ので重複は避けますが、CIEでは色差を評価する場合の視環境として、表1に示す視環境を推奨^[4]しています。なお、色差のように標準色と視対象の色の違いを比較する方法については、JIS Z 8723（表面色の視感比較方法）で視環境の詳細が規定されていますので、ご覧ください。

表1の試料サイズと試料の間隔については、図7及び図8に示す実験結果が報告^[5]されています。図7は試料サイズによって色の違いを識別できるかどうか（閾値といいます。）の関係を示しています。試料サイズが視角1度（観察距離50cmから観察した場合、9mm×9mmに相当します。）の場合と視角10度（観察距離50cmから観察した場合、18mm×18mmに相当します。）の場合を比較すると、視角10度の3倍以上の色差がないと識別できない結果になっています。同様に図8は、試料の間隔と閾値の関係を示しています。試料の間隔が視角1度の場合と最小の間隔である視角0度（英語ではdirect contact又はhair lineという表現が用いられています。）の場合を比較すると視角0度の2倍程度の色差がないと識別できない結果になっています。

視対象が標準色票又はカラースケールの色票と一致していないときに、視対象と標準色票又はカラースケールとのサイズの違いや置き方によって、知覚される色の差が変化しているためにあまり細かな目盛りまで測定しても、その数値に意味がないこととなります。このような影響を避けるために、無彩色のマスクを使用して観察条件を整えることが推奨されています。

また、視感測色の観察者には微妙な色の違いを判断する能力が求められます。そのために、JIS Z 8723では、各種の色覚検査表を用いて検査して「pass」することが望ましいとしています。学校教育における色覚検査表による検査は義務づけられていませんので、企業で視感測色の担当者を選抜する際には、各種の色覚検査表やアノマルスコープを用いて検査することが望ましいと考えられます。また、色覚は加齢とともに変化しますので、40歳以上の視感測色の担当者には、色相配列検査器、アノマルスコープやD&H COLOR RULEなどの条件等色検査器を用いて検査して視感測色の担当者として相応しいかどうかを確認することが望ましいとしています。D&H COLOR RULEは、スライドできる2本の灰色スケールを操作して、2本の灰色スケールの中から等色して見える色を選択させる検査器です。2本の灰色スケールのうち1本は、ややオレンジみを帯びた灰色から青みを帯びた灰色まで連続的に色が変化するように作られています。別の1本は、紫と緑の顔料を混色して色が連続的に変化するように作られています。2本の灰色スケールは用いている顔料の特性が違うことから、条件等色する色対群になっています。同じ照明光の下で、2本の灰色スケールから最も一致しているように見える色位置を複数の人間に選択させ、その位置の違いから色覚の分光感度の違いを測定するものです。条件等色している灰色スケールですので、同じ人間が異なった複数の照明光の下で最も一致しているように見える位置を選択することによって、照明光の違いを測定することもできます。

色覚検査表などによる検査は、平均的な色覚を有しているかどうかを判定するものですが、先にふれたように視感測色では微妙な色の違いを判定する必要があります。微妙な色の違いを判定する能力は、各種の訓練によって向上することが知られています。

アメリカの規格^[6]では、視感測色の担当者の選抜、評価、訓練のための標準的なガイドを規定しています。この規格では、色覚検査表、色相配列検査器、条件等色検査器による検査を「pass」していることを前提に、視感測色の担当者には色識別能力及び色差の大きさ並びに色違いの判定能力が必要になるとして、その訓練方法を記述しています。具体的な訓練用具としては、色相配列検査器、三点識別テスト、距離評価テスト、色評価テストをあげています。これらのうち三点識別テスト、距離評価テスト（目測補間テスト）及び色評価テスト（HVCテスト）については、（一財）日本色

彩研究所製の色彩能力テスターの旧版の内容が記述されています。視感測色の担当者に要求される判定能力は訓練によって向上することが確認されていますので、選抜時を含めた継続的な教育が求められているといえます。

実際に視感測色をしている際にはあまり気づかない点の一つに、視感測色の担当者がきている着衣の色による影響があります。有彩色の着衣の場合、着衣からの反射光によって視対象及び標準色票が照射されることになり、視感測色のために用いている照明光と混色されることとなります。このため、視対象面及び標準色票面の照明光の分光分布が変化することになり、色の見え方も変わってしまいます。そんなに問題にするほどではないと思いがちですが、大きな影響が生じます。特に彩度の高い有彩色の場合には、十分な注意が必要になります。白衣など色の影響の少ない着衣による測定が望まれます。

以上取り上げた以外にも視感測色において配慮しなければいけない視環境が幾つかありますが、それらについてはJIS Z 8723などをご覧ください。

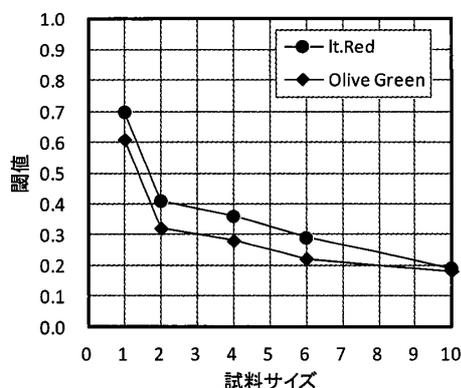


図7 試料サイズと色識別の関係

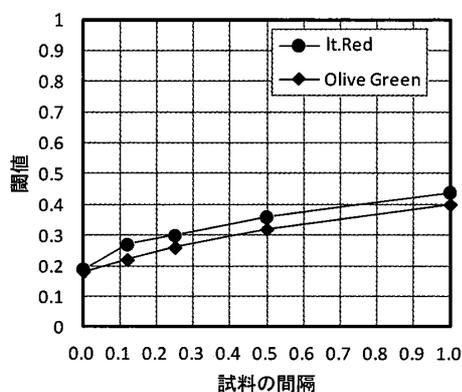


図8 試料の間隔と色識別の関係

おわりに

視対象の色を標準色票又はカラースケールを用いて視感測色する方法について、測色という観点から基礎的な事項を中心に述べました。すでに、これまでの連載で記述された事項については重複を避けるために、照明光について割愛させていただきました。ぜひ参考文献[2]及び[3]をご覧ください。また、指定された標準色に合わせるように作られた製品色が標準色と一致しているかどうかを評価するために用いる限界色票など色票を用いた様々な用具が用いられていますが、それらについては参考文献[1]をご覧ください。

参考文献

- [1] 特定用途の標準色票. 日本色彩学会誌. 2003, Vol.27, no.1, pp.19-55.
- [2] 鈴木卓治「測色事始(そくしょくことはじめ)」. 日本色彩学会誌. 2014, Vol.38, no.2, pp.65-70.
- [3] 矢野正「色評価のライティング」. 日本色彩学会誌. 2014, Vol.38, no.4, pp.316-322.
- [4] Publication CIE No.101.1993, Parametric effect in colour-difference evaluation.
- [5] 色彩科学講座 3. カラーテクノロジー. 朝倉書店. 2008, p.62.
- [6] ASTM E 1499 「Standard Guide to the Selection, Evaluation, and Training of Observers」. 1992.