

色彩情報の計量化について

宮原 健吾

「光線に色はない。光線には色の感覚を引き起こす一種の力と性質があるだけである。」

by アイザック・ニュートン

1. はじめに

考古学においては、従来から土器の観察・分類などに「色彩情報」が使われることがあったが、この色彩情報は観察する時の条件や基準もまちまちで、さらに観察者の主観や経験に左右されやすく、計量可能な「量」として捉えるのが非常に困難だった。しかし最近ではPhoto-CDやデジタル式カメラ、カラープリンター、DTP (Desk Top Publishing: 卓上印刷) の普及につれて世界的にCMS (Colour Management System: 色彩管理システム) の必要性が認識されはじめ、色彩情報を手軽に計測できる「測色計」が安価に発売されたことと相まって、比較的簡単に色彩情報を計量化することが可能になってきた。本稿においては、その測色計を使用し、色彩情報をどのようにして計量化するか、また、それから何が引き出せるのかを考えてみたい。

2. 色彩情報の計量化とは

色彩情報の計量化とは、「色彩を物理的・科学的に計測可能な量として定義・計量化し、交換可能な情報として記録すること」である。従来から使われている「カラー写真」などは色彩・色調の情報を伝える有効な手段の一つではあるが、撮影者の熟練度や画像・色彩に関する基本的な知識が不足している場合には、不適切な光源の元で撮影されていたり、色彩判断の標準となるチャートなどが入っていないなど、相互に交換可能な色彩情報を伝えるための手段としては信頼性に欠けることが少なくなかった。

3. 人間が色を感じるメカニズム

人間が物体の色彩を認識する過程は、光源から出た光 (照明光) が物体に当たって反射 (あるいは透過) し、それが人間の目に入り、赤: R (Red), 緑: G (Green), 青: B (Blue) の3種類の色受容器 (錐体) が刺激を受け反応し、結果として脳が色を感じることである。つまり、

視覚 = 光源の分光分布 × 物体の分光反射特性 × 人間の目の分光感度

ということになる。

ただし、人間の目の分光感度は個人差があるので、CIE (国際照明委員会) では1931年に医学、心理学、工学などの研究成果を基に仮想的な「標準観察者」を定義し、人間の目に対応する分光感度を「CIE三刺激値」として標準化した。

4. どのようにして色彩情報を計測するか

色彩を測定する機器としては、大別して、色彩計（三刺激値直読方法）と分光測色計（分光測色方法）がある。色彩計は、人間の視覚と良く似た応答関数を使って三刺激値を測定し、それを「CIE三刺激値空間」として定義されているXYZ, xyY, Lab, Luvなどの色空間に投影する。これに対し、分光測色計は測定対象物から反射される光の波長構成（スペクトルデータ）を測定する機器で、そのスペクトルデータを積分計算すれば様々なCIE三刺激値空間に変換が可能である。性能的には分光測色計の方が優れているが、色彩計と比べると一般的に高価である。しかし、最近では安価な製品も開発されており、比較的入手しやすくなってきている。

5. スペクトルデータとは

太陽光や人工光源などの一般的な光源から出た光が、物体から反射（あるいは透過）してくる光は様々な波長成分が混じり合って構成されており、この光はプリズムや回折格子などの分光器を使うとその光を構成している波長ごとに細かく分解することが可能である。分解されたデータは「スペクトル」と呼ばれ、その物体に固有のものであり、言い換えれば「そのものの指紋」のようなものである。また、スペクトルは非常にプリミティブ、かつ、柔軟なデータなので数学処理を施すことで、我々が日常使っている「マンセル」などの色空間に変換することが出来る。

なお、分光反射特性が異なる2つの色が、ある特定の光源では同じ色彩に見え、他の光源ではまったく違うように見える現象を「条件等色（メタメリズム）」というが、これを解決するにはスペクトルデータで測定する必要がある。例えば、後述するサンプルDなどはスペクトルデータから計算すると、通常の蛍光灯（昼光、白色、三波長）やD65標準光源下では「10YR 6/4」に見えるが、長波長成分が多く含まれる標準光源A（白熱球）下では「7.5YR 6/4」に見える可能

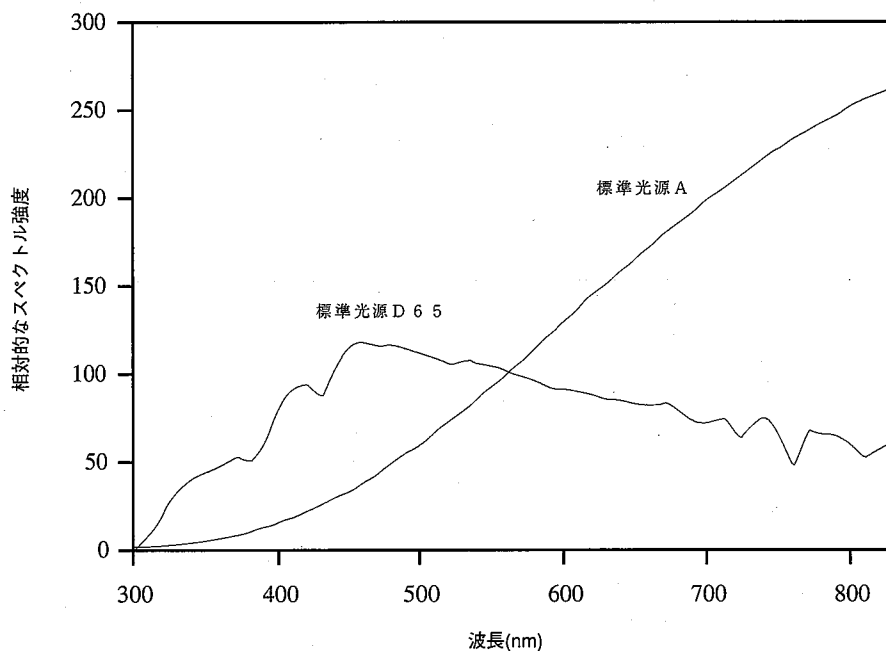


図1 標準光源である、A（白熱球）とD65（昼光）の光源スペクトル特性

性が高い。

6. 色空間とは？

色彩情報を記述するために定義された空間を「色空間」と呼び、使用目的に応じて様々な色空間が定義されている。大別すると、カラーのモニター（RGB）やプリンター（CMY[K]）で使われている「機器依存型」の色空間と、人間の視覚システムに基づいて、CIEが定義している「機器独立型」の色空間であるCIE XYZなどがある。

最近では、ICC（the International Colour Consortium）によりそれらの色空間を相互に変換できる標準的なCMSが定義され、異なったディスプレイやプリンターなどの画像出力機器の固有特性（ガモット、ガンマ、色温度など）に応じて画像（色）を変換し、どの機器でも同じような色彩の再現が一部では可能になってきている。

7. 測色計と人間による土器の色調観察の比較

実際に人間の観察による土器の色調と測色計による計測データを「新版 標準土色帖 1994年版 色研事業株式会社発行」を基準として比較してみた。まず観察時の照明光源は北空昼光及び通常の蛍光灯（昼光色）を用い、10人の観測者に土器（土師器）のサンプルを渡して、その土器の表面に最も近い「標準土色帖」の色標を選んでもらった。次にその土器を測色計を使い計測し、あらかじめ「標準土色帖」の色標をすべて計測して作っておいた「標準土色帖データベース」より、サンプルとの色差（ ΔE ）が小さいいくつかの色標を検索し、それを人間による観察と比較してみた（表1）。また、計測結果をヒストグラム化したもの（図2）も参考にされたい。

	サンプルA	ΔE	サンプルB	ΔE	サンプルC	ΔE	サンプルD	ΔE
観察者0	10YR 8/3	1.31	5YR 4/6	3.55	5YR 6/6	2.61	10YR 7/4	1.23
観察者1	10YR 8/3	1.31	2.5YR 5/6	4.67	7.5YR 6/6	3.10	10YR 7/4	1.23
観察者2	10YR 8/3	1.31	2.5YR 5/6	4.67	7.5YR 6/6	3.10	10YR/6/4	3.39
観察者3	10YR 8/3	1.31	5YR 5/6	3.10	7.5YR 6/6	3.10	10YR 7/4	1.23
観察者4	10YR 7/3	3.00	2.5YR 5/6	4.67	5YR 6/6	2.61	10YR 7/4	1.23
観察者5	10YR 7/3	3.00	5YR 5/6	3.10	5YR 7/6	3.60	10YR 7/4	1.23
観察者6	10YR 8/3	1.31	5YR 4/6	3.55	5YR 6/4	7.04	7.5YR 7/4	4.99
観察者7	10YR 7/3	3.00	5YR 5/4	6.31	7.5YR 6/4	5.71	10YR 6/3	5.07
観察者8	10YR 8/4	3.13	5YR 5/6	3.10	5YR 7/6	3.60	10YR 7/4	1.23
観察者9	10YR 8/3	1.31	5YR 5/6	3.10	7.5YR 6/6	3.10	10YR/6/4	3.39
平均値	9.59YR 7.99/3.20		3.93YR 5.00/6.02		6.02YR 5.94/5.36		9.42YR 6.99/3.91	
測色計	10YR 7/3	1.98	5YR 4/4	4.31	7.5YR 6/4	3.58	10YR 6/4	2.18
	10YR 8/3	2.14	5YR 5/4	4.38	5YR 6/6	3.61	10YR 7/4	3.04
	2.5Y 7/3	3.80	2.5YR 5/6	4.52	5YR 6/4	4.45	10YR 7/3	3.88
	10YR 7/4	3.82	5YR 4/6	4.66	7.5YR 6/6	4.56	7.5YR 6/4	3.92
	10YR 8/4	3.85	2.5YR 5/4	4.84	7.5YR 5/4	4.90	10YR 6/3	3.95
参考値	9.83YR 6.90/2.87		3.49YR 5.01/5.18		6.08YR 5.98/5.01		9.24YR 5.91/3.70	

表1 観察表

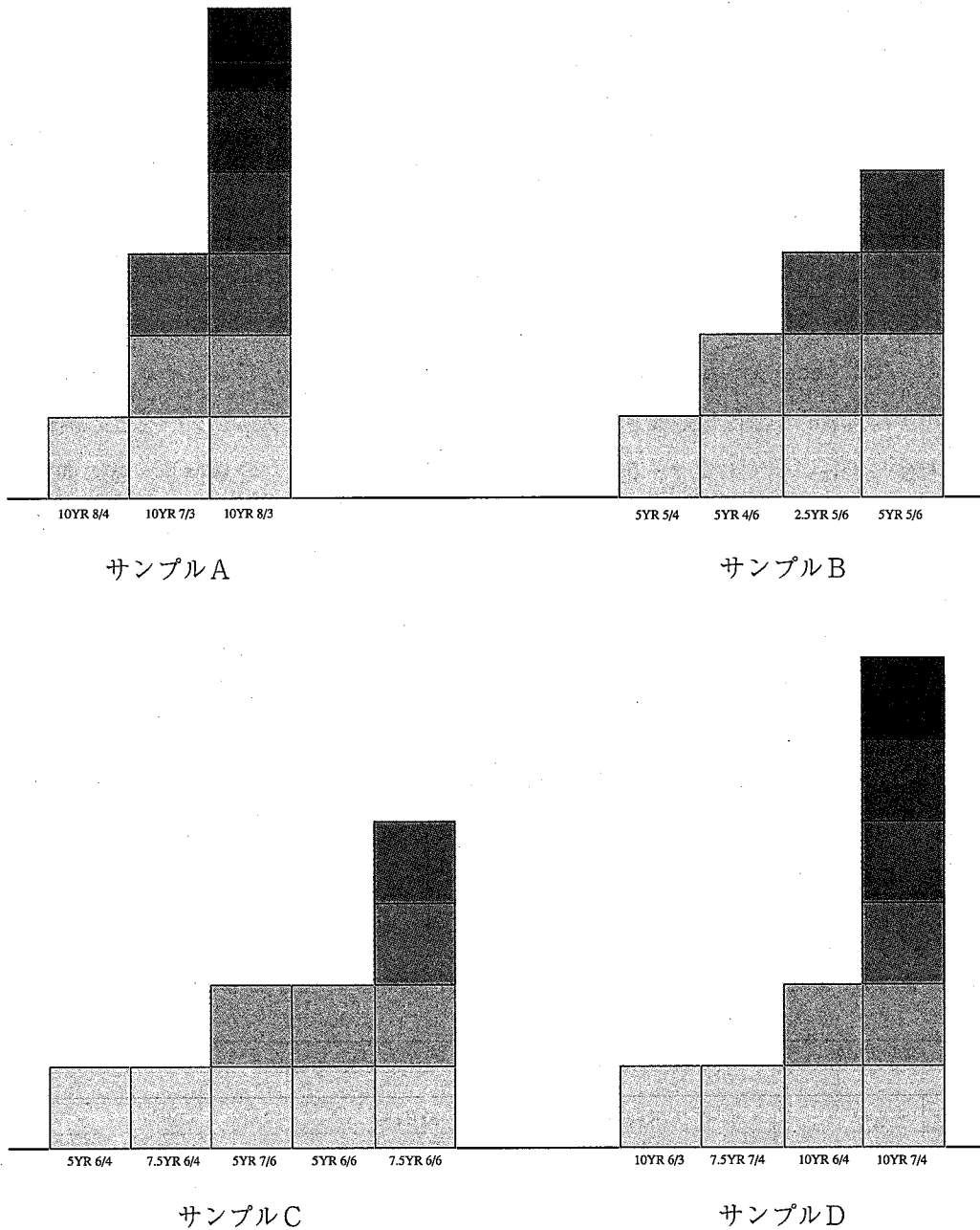


図2 ヒストグラム

表中の「平均値」とは、実際に土色帖の色標を測色計で計測し、得られたスペクトルデータを加重平均計算し求めたMunsell表色系 (JIS Z 8721) での値である。なおサンプルそれぞれの色差は平均値からの色差である。また、実際に土器を計測して得られたスペクトルデータも、Munsell値に変換し「参考値」として使用した。

測定の際しての標準光源はD65、色差である ΔE の算出は、英国の染色および色彩家協会の色彩測定委員会 (the Colour Measurement Committee of the Society of Dyes and Colourists) で提案されているCMC公式 (2:1) を使用した。

サンプルAに関しては、土器の色調が土色帖の色標と近いため、観測値が非常にまとまっているのが色ヒストグラムからも分かる。また、観察表を見ると比較的人間と測色計のデータも近似しているといえる。

サンプルBは平均値と色差差のばらつきから考察すると、元々の土器の色調（特に色相が）が「2.5YR 5/6」と「5YR 5/6」のほぼ中間に位置し、土色帖中の既存の色標と離れているので、結果的に人間の観測値もばらついているのがヒストグラムに良く現れている。しかし、それらの平均値を求めると、測色計による計測値（参考値）と近くなっている。

サンプルCもサンプルBと同じく、土器の色調が土色帖の中の色標と離れているので計測結果が散らばっている。ただしこのデータも観測値の平均を取ることによって測色計の参考値と非常に近くなっている。

サンプルDはサンプルAと同じく、土器の色調が土色帖の標準色標と近いいため観測値はあまりばらついておらず、比較的まとまっている。観察表とヒストグラムにもその傾向は現れている。

総じていえるのは、人間による観測値も個々のデータを見れば一見散らばっているようだが、複数の観察者で測定回数を増やし、結果の平均を取ってみると精度が上がって行くのが分かる。しかし、マンセル表色方式を基本にした土色帖は色相の値が2.5刻みで変化しており、サンプルB・Cの観察結果からも微妙な土器の表面を観察する基準としては少々間隔が広すぎるものと考えられる。今回は主に土師器を測定したが、色相はYR、明度は5から8、彩度は3から6に集中しているので、その限られた範囲で細分化された専用の「土器色帖」を作成すれば、土器観察の際の色彩観測精度は、いっそう向上するだろう。

測色計で測定された値は人間の感覚と比較的近似しており、一回の測定で人間が複数回測定し平均化した値と近い数値が得られた。このことにより、条件さえ整えば土器の色調観察に測色計を用いることも可能である。土器の色彩情報を機械計測するメリットは、

1. 個人の経験・視覚差に左右されない。
2. 照明光源を選ばない。
3. 対象物の大きさに影響されない。
4. 観察する背景色に影響されない。
5. 迅速な計測が可能である。

などが挙げられる。

ただし機械計測する時は測定して得られた色彩値とそれに最も近いマンセル色標や土色帖の色標と、それからの色差（ ΔE ）を併記する方が良いだろう。また、その色彩情報の保存には必ずスペクトルデータの形式で保存する方が、将来に渡ってデータの柔軟性を確保することにつながる。さらに土器のスペクトル曲線は胎土や焼成方法などの様々な特性を表しているとも考えられ、このスペクトルデータを解析することにより、胎土の組成や焼成温度、あるいは土器の産地などを特定する際の因子の一つとして利用できる可能性もある。

8. 色彩を観察するときの環境

自然光を用いて対象物の色を観察をする時は、「光源演色性評価カード」を使い、照明光が標準光源に近似しているのを確認してから作業を始めるべきである。ただし、自然光は季節や時刻、

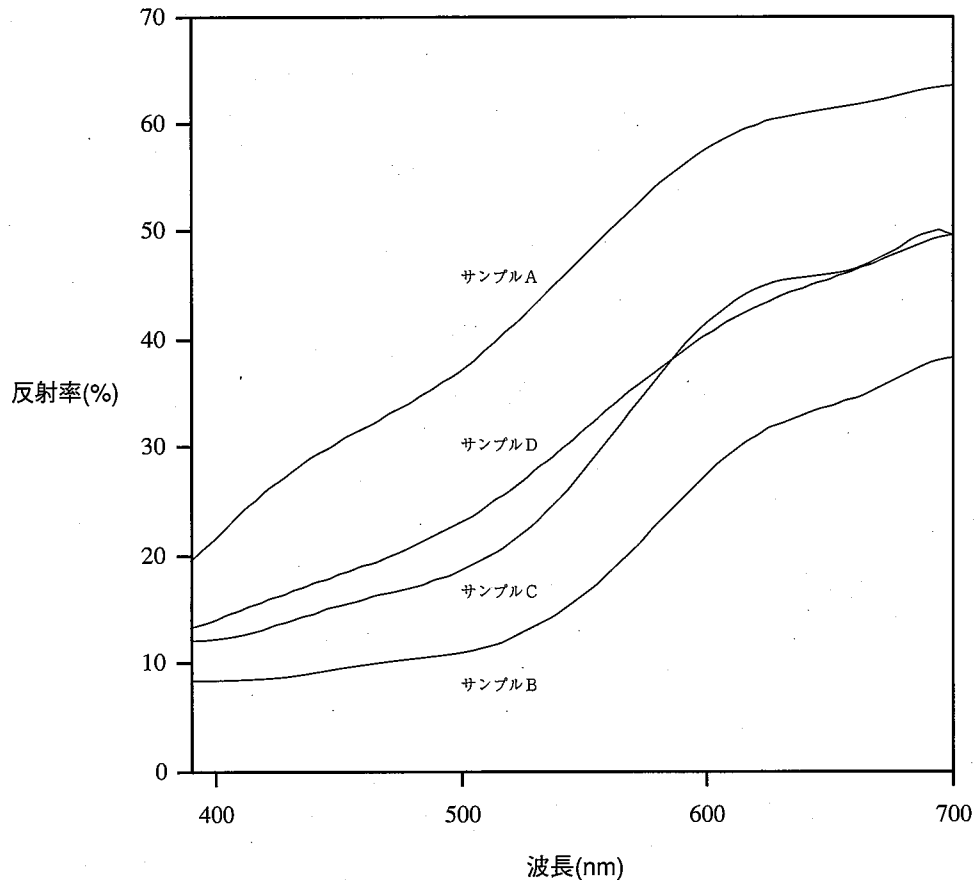


図3 各サンプルの分光スペクトル曲線

天候などによって著しく変化するので、光源の安定性や作業効率という面から考えると、JIS Z 8720（測色用の標準光及び標準光源）で規定する、以下のような条件を満たす色彩評価用の人工光源を用いるのが望ましい。

1. 演色評価指数が太陽の100に近いこと。
2. 色温度が5,000-6,000Kに近いこと。
3. 十分な明るさ（1000ルクス以上）があること。
4. 面光源に近い拡散光であり、均斉度が高いこと。

最近ではCIEで定義されている標準光源D（昼光光源）と分光分布特性が近似しており、JIS Z 9112（演色性区分AAA級）に適合する色比較・検査用蛍光ランプが常用光源として開発されて比較的安価に入手可能となり、それを使用すると容易に資料評価用の安定した光源が得られる。また、印刷物などの色校正時にも相互でその標準照明光源を、使用することも重要である。

9. 木器類の撮影について

当研究所の下鳥羽収蔵庫では、1996年10月より遺物（木器）の撮影・略測にあたり、従来のフィルム式カメラからデジタル式カメラによる撮影・略測に全面的に移行した。デジタル式カメラから得られる画像は当然の事ながらデジタル画像なので、銀塩写真のように画像を可視化するのに化学現像処理が不要なため、撮影後、即座に画像を確認して次の作業に移れる利点が非常に

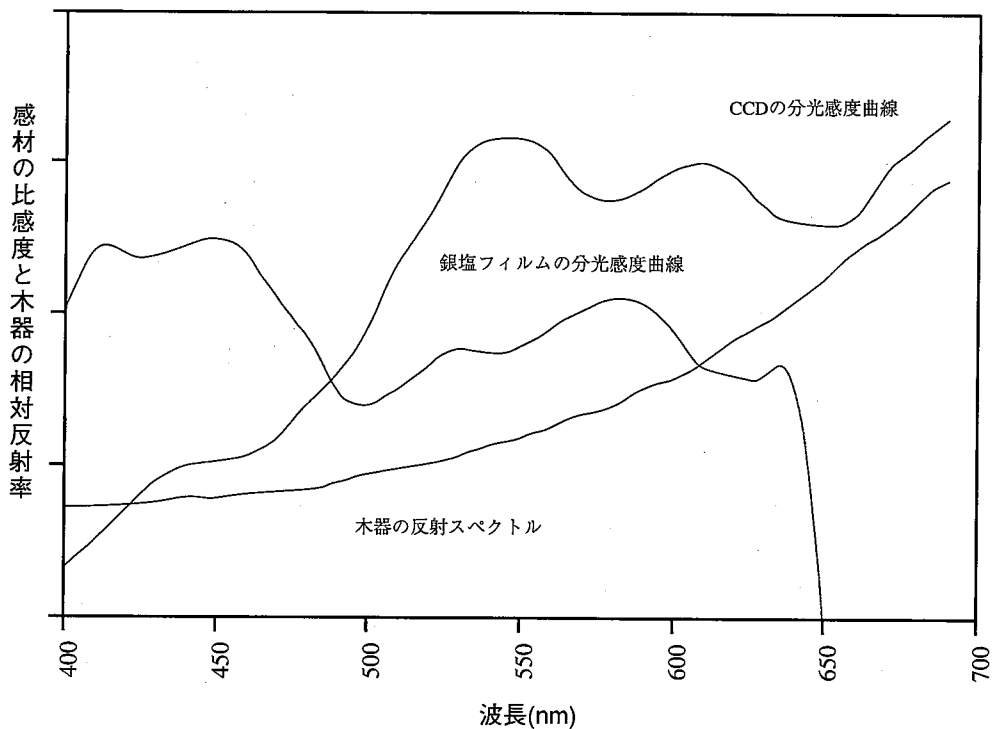


図4 感材の比感度と木器のスペクトルデータ

行われるようになり、作業効率が著しく向上した。また、デジタル式カメラは撮影時の属性情報（撮影日時、絞り値、シャッター速度、露出補正值、焦点距離、撮影距離）が自動的に記録できるので「記録写真」という観点から考えると優れている。しかも、この画像データはデジタルデータなので非常に扱いやすく、容易かつ正確に任意の大きさに拡大・縮小できるので、撮影された画像が写真と実測（図面）の両面で活用できる利点も非常に大きい。

さらに木器類の撮影に使用しているデジタル式カメラの半導体撮像素子であるCCD(Charge Coupled Device)は、800nmから900nmまでの近赤外域まで感色性があるので、「赤外線吸収フィルター」を取り外すことにより「近赤外線カメラ」として利用している。その結果、このデジタル式カメラで撮影された画像から木器表面の木目や加工跡なども容易に識別できるようになった。

図4は無作為抽出した木器を複数回測定し、平均することによって得られた木器表面のスペクトルデータと銀塩フィルム（ネオパン400プレスト：昼光：5400K）、CCD(KODAK KAF-1600)の分光感度曲線である。この図を見て分かるように、木器（特に水漬けのもの）は相対的に長波長である赤色から近赤外域(600~700nm)での反射が大きいにもかかわらず、銀塩フィルムはその領域から急激に感色性が低下している。したがって増感色素を用いて光学増感をしても650nm程度しか感色性のない銀塩フィルムを使つての撮影より、近赤外域まで感色性のあるデジタル式カメラを使つての撮影の方が有効なのが良く分かる。

10. おわりに

いままでつかみどころのなかった「色彩」というものも、計測可能な「物理的量」として捉えることができるようになると、そこに様々な規則性が存在するのが分かる。その特性を正しく理

宮原 健吾

解することにより、どのようにその情報を記録して保存・研究し、またそれらを交換・活用させて行くかが今後の課題だろう。

この原稿を書くに当たって、千葉工業大学 伊與田 光宏氏、関西文化財調査会 吉川 義彦氏、(財)大阪市文化財協会 高井 健司氏、(株)T o o 松本 孝司氏、日本コダック株式会社 福留 幸広氏、大上 富浩氏、および、同僚の辻 純一氏にお世話になりました。この場をかりて心から感謝申し上げます。

参考文献

- (1)『新版 標準土色帖 1994年版』 色研事業株式会社 1994年
- (2)『J I Sハンドブック 色彩』 日本企画協会 1994年
- (3)宮原健吾『写真資料のデジタル化について(2)』 「研究紀要 第3号」 (財)京都市埋蔵文化財研究所 1996年
- (4)日本リモートセンシング研究会『図解リモートセンシング』 日本測量協会 1992年
- (5)川上元郎『新版 色の常識』 日本規格協会 1987年
- (6)伊與田光宏、宮原健吾『埋蔵文化財関連画像のデジタル圧縮とネットワーク広域利用への定量的考察』 文部省科学研究費補助金重点領域研究(課題番号 07207112) 1995年度研究成果報告書 1996年

研究紀要 第4号

発行日 1998年3月31日

編集行 財団法人 京都市埋蔵文化財研究所

住所 〒602-8435 京都市上京区今出川大宮東入ル
元伊佐町265-1 TEL (075) 415 - 0521

印刷 株式会社写真化学 TEL (075) 432 - 1151

