パーソナルコンピュータを用いた画像処理 システムとその応用例

Digital image processing system using a personal
computer and its applications

藤 川 修 (Osamu Fujikawa)*
松 枝 大 治 (Hiroharu Matsueda)*

A digital image processing system composed of personal computer, TV camera and image digitizing board, was developed for the analysis of optical properties of ore minerals under the microscope. The system can quantitatively carry out surface, line and point analyses of brightness and chromaticities in minerals.

Under reflected light, chromaticities of electrum were measured using the system. Good correlations were observed between Ag contents and chromaticities. Brightness and chromaticities of sphalerite with color zoning was also measured under transmitted light. They suggest that the color in sphalerite changes from pale yellow to orange with increase of Sb and Cd contents. This method is applicable for various studies on mineral textures.

I. はじめに

鉱石鉱物には、しばしば成長組織として色彩や反射能の違いによる累帯組織 (color zoning) が認められる。これらのうちの幾つかは、化学組成変化による累帯構造と考えられている。例えば、閃亜鉛鉱の薄片では透過光による鏡下観察で黄色から赤褐色の色彩変化が認められ、これは主に鉄含有量の差によるものと古くから言われてきた (例えば、Hurlbut and Klein, 1977)。一方、由井 (1983, 1985) は秋田県館内山産黒鉄鉱石中の閃亜鉛鉱について、透過光での色が1%以下の少量成分に関係している事 (黄褐色 (Cu, Sb), 赤色 (Cu, As), 褐色 (Cu, Fe, As)) を見出し、その不均質性の存在を示した。この閃亜鉛鉱の例に代表される様な、色彩および反射能変化を定量測定することは、鉱物の化学組成・組織変化の解析に有効な手段であると考えられる。しかし、従来の反射能や色彩の定量測定は、かなり高価な装置が必要なことや、任意面積内での色彩や反射能の不均質性を測定、表示することが難しい等の問題があった。

近年、岩石および鉱物組織の画像処理による解析が

盛んに行われ始めており、鉱物のモード分析、形状解析および岩石の割れ目解析等に応用されている (林・鈴木, 1990; 久恒ら, 1988; 西山ら, 1990)。これらの例は、画像処理による解析が目的物の平面分布解析に威力を発揮することを示している。現在、多種の画像解析装置が多数のメーカーから提供されているものの、それらは価格および機能拡張の容易さと言う点では問題が多い様に思われる。

そこで今回筆者らは、鉱物粒子内部に認められる反射能や色彩の不均質性を顕微鏡視野範囲で定量的に検討する目的で、顕微鏡画像をカラーで読み取り、画像処理するシステムを開発した。本画像処理システムは、パーソナルコンピュータにTVカメラとビデオデジタイズボードを装着しただけの廉価なものであり、それらはBASICによるプログラムで制御されているため手軽に機能拡張ができると言う特徴を持っている。

本稿では、主に本画像処理システムについてその概略を紹介し、これを用いた2・3の明度、色度に関する処理例を示す。また、閃亜鉛鉱の“color zoning”と鉄石組織の詳細については、稿を改めて報告する予定である。

* 北海道大学理学部地質学鉱物学教室
〒060 札幌市北区北10条西8丁目

(平成3年4月22日受付
平成3年6月24日受理)

II. 鉱物画像処理システム機器の構成

本システムは、光学顕微鏡画像および写真画像（例えば EPMA 化学組成像等）をデジタル化し、その明度、色度および形状等について定量的に解析処理するためのものである。

システムは、偏光顕微鏡（ニコン：MICROPHOTO-FX）、画像読み取り部（TV カメラ：日立 KP-C210；イメージスキャナー：EPSON GT-4000）、A/D・D/A 変換部（CPU01：PC-9801；ビデオデジタイズボード：NBCC-PC9805）、画像処理部（CPU02：PC-9801VX）および画像出力部（CRT モニター：PC-TV-541n；プリンター：PC-PR201V2）より構成される（図 1）。

画像取り込み部では、偏光顕微鏡に取り付けたカラーカメラユニットを通じて得られた顕微鏡画像を PC9801（CPU01）上のビデオデジタイズボード（A/D・D/A 変換部）で 256×256 画素（65,536 画素）、R（赤）、G（緑）、B（青）各 8 ビット（1,677 万色）のデジタルデータに変換後、ボード上のメモリーに格納すると同時に、CPU01 のフロッピーディスクに一時保存している。CPU01 上のデジタルデータは、RS-232C ポートを介して PC-9801VX（CPU02：画像処理部）の RAM ディスクへ転送している。また、写真画像（EPMA 化学組成像、特性 X 線像等）は、イメージスキャナーで 100 dpi (dots per inch) 程度（最大 400 dpi）および RGB 各 8 ビットのデジタルデータとして取り込んで、直接 CPU02 の RAM ディスクに転送し

ている。

画像処理部（CPU02：PC-9801VX）では、画像取り込み部から RAM ディスクに転送されたデジタルデータについて各種画像処理を行っている。

PC-9801VX（CPU02）は、そのハードウェアの制約上 16 色までしか表示できないため、処理中の画像（デジタル画像）は、通常 16 階調モノクロ像または 16 色カラーマッピング像としてモニターに表示している。しかし、コンピュータ内部では RGB 各 8 ビットのデータを処理しており、RS-232C を介して CPU01 のビデオデジタイズボード上のメモリーに転送する事により、カラーモニター上に 1,677 万色での表示も可能である。カラープリンターへは、16 階調ディサ（モノクロ、カラー）として出力している。

III. 画像解析処理ソフトウェアの概要

本システムの画像処理ソフトウェアは、鉱石組織画像を面・線・点で解析するため今回新たに MS-DOS 上の BASIC (N88-basic (86)) で開発したものである。BASIC による画像処理は、処理速度が遅いと言う欠点を持つ半面、使用目的に応じて処理内容の変更を容易に行うことができるという長所を持っている。

本システムでは、ラムディスクに転送された RGB 各 8 ビットのデータを解析目的に応じて、色度、モノクロ明度等に変換して、各成分毎に解析を行っている。色度変換については、読み取った RGB データを必要に応じて CIE-RGB 表色系、CIE-XYZ 表色系色度（尾崎・谷口、1983）や HIS (Hue, Intensity and Satur-

図 1. 画像処理システムの構成図。

表 1. 画像処理項目

1. 画像 I/O	4. 明度・色度の分析
(1) 画像の入力	(1) 検量線の作成
(2) 画像の表示	(2) 面分析
(3) 処理画面の保存	(3) 線分析
(4) 画像のカラーハードコピー	(4) 点分析
2. 濃度変換処理	5. 形状分析
(1) コントラスト変換	(1) 境界の抽出
(2) 二値化 (カラー・濃淡画像)	(2) 膨張・縮退
(3) 抽出	(3) 境界線の認識
(4) 反転	(4) 閉曲線の認識
(5) カラーマッピング	(5) 閉曲線の測定*
(6) 原画像参照・参照画面の登録	
3. 画質改善処理	
(1) 平均化 (平滑化)	
(2) メディアン	
(3) 1 次微分	
(4) 2 次微分 (ラブラシアン)	

* 面積, 周長, 個数および長径/短径比.

tion) (Russ, 1990) 等のデータに数値変換して使用している。この様に解析目的に応じて数値変換された成分を, 256 階調のデータとしてコンピュータ本体内のメモリーに格納すると同時に, 16 階調データに変換しモニターに表示する。画像処理は, これら本体メモリー内の 256 階調および 16 階調データを用いて行われる。

主な処理内容は,

- 1: 明度, 色度の面, 線, 点分析
- 2: 画像改善のためのフィルター処理およびコントラスト処理
- 3: 鉱物モード分析のための二値化, 抽出処理
- 4: 特徴抽出のための微分処理
- 5: 形状分析のための境界線の抽出および閉曲線の抽出
- 6: 閉曲線の面積, 周長, 個数, 直径/短径比等の測定

等である。具体的な処理内容を表 1 に示した。これら処理は独立メニューとして分かれており, メニュー選択で対話的に処理を行う事ができる。しかし, これら処理は独立しているものの, 実際の分析では幾つかのメニューの組み合わせで解析が行われる。処理速度は内容によって異なるが, 256×256 画素の画像を一回処理するのに一番長いもので約 5 分程度を要する (CPU 80286, 10 MHz)。

IV. 実際の処理例

今回, 明度および色度の定量化に向けて 2・3 の予備実験を行ったので, 以下に具体的な測定結果について述べる

1. 鉱石鉱物の明度と色彩

ここでは, 各種鉱石中に産する代表的な 11 種の鉱物について, 反射率と明度の関係および色彩について既存データと比較検討した。

今回, 画像の取り込みに際して顕微鏡に特別の工夫は行っていない。また, 標準物質の使用や光源のドリフトの測定も行わなかった。条件は, 光源 (ハロゲンランプ), 電圧 10V, NCB10 フィルター挿入, 対物レンズ×10, 測光視野 0.7×0.7 mm で画像を取り込んだ。測定範囲には, 研磨状態の良い, できるだけ粗粒の鉱物が入る様にした。解析手順は以下の通りである。

- (1) 取り込まれた画像をモノクロ 256 階調の明度データに変換し, 16 色のカラーマッピング像としてモニターに表示する。
- (2) マウスを用い, モニター上で微少な傷や凹凸による明度ムラがある所は避けて, 分析ポイントを指定する。
- (3) 4 近傍の隣接画素を加えた 5 画素について RGB データの平均値を求め, 明度および色度データに変換して表示するとともに, それらをディスクファイルとして保存する。

図 2 は, 横軸に明度を取り, 縦軸に Criddle and Stanley (1986) の反射率データ ($\lambda=500$ nm in air) を取り, 比較したものである。両者のデータは比較的良好な相関を示し, 5% オーダーの反射率差は区別できそうである。閃亜鉛鉱では, 5 試料について測定を行ったが, 試料毎に読み取り明度に差が生じており, それをエラーバーで示した (図 2)。これら試料差による明度差の原因として, 機械的誤差, 共存鉱物の影響 (周囲の明るさの違い), 本質的な反射能差 (組成差, 内部

図2. 鉱石鉱物の測定明度と Criddle and Stanley (1986) による反射率 (500 nm, in air) との関係。試料：赤鉄鉱，磁鉄鉱（高知県子持鉱山産）；黄鉄鉱，磁硫鉄鉱（山口県河山鉱山産）；輝安鉱（北海道稲倉石鉱山産）；その他の鉱物（北海道豊羽鉱山産）。

反射の影響 etc.)等が考えられ、これらについては測定法を含めて現在検討中である。また、光源の明るさの違いにより図2上での関係が曲線になる事がある。この原因として、光源の明るさがビデオカメラの明度に関するラティチュードの範囲外になっている事が考えられる。従って、測定に際してはこれら目的の明度範囲が、ビデオカメラの露出限界内になる様に調整する必要がある。

図3は、横軸に読み取りデータをCIE-XYZ表色系色度(x, y)*に変換した値を、縦軸にCriddle and Stanley (1986)の色度データ(x, y)を取り、色彩について比較したものである。両者のデータは、比較的良好な相関を示す。しかし、測定色度がx, y両者ともCriddle and Stanley (1986)の色度データより高い値を示し、且つxとyで傾斜が若干異なっている。この事は、入力RGBデータの色バランスが悪い事を示しており、今後、測定法の改善および適当な標準物質の

使用による装置の調整を行う事により、より一層の精度向上が期待される。

以上に示した様に、本方法によれば鉱物粒子内の反射率と色度について、点、線および面でそれらの変化を測定する事ができ、鉱石組織の詳細な解析（単一鉱物粒子内の反射能の変化等）を行う上で有効である。

2. ZnS 鉱物の色彩変化

豊羽鉱床産ZnS鉱物について、透過光条件での色度および明度の変化を測定した。今回測定したZnS鉱物は黄色から赤橙色を呈し、本鉱床中でも希なものである。測定条件は、光源（ハロゲンランプ）、電圧9V、NCB10, ND6 フィルター挿入、対物レンズ×2.5、測光視野3×3 mmで3画像に分けて取り込んだ。測定は反射光の時と同様に画像をモニター上に表示、マウスで測線を設定し、色度および明度について線分析を行った。

図4は、色度($r=R/(R+G+B)$; $g=G/(R+G+B)$)

* 色度xおよびyは、CIE-XYZ表色系の3原色の刺激値X, Y, Zにおいて、
 $x=X/(X+Y+Z)$, $y=Y/(X+Y+Z)$

の式で求められる。

図3. 鉱石鉱物における測定CIE-XYZ表色系色度(x, y)とCriddle and Stanley (1986)による色度との関係。図中の記号は図2と同じ。

B))および明度変化を示したものである。これらの測定精度については検討を行っていないが、明度、色度の変化パターンともに肉眼観察での結果と調和的である。図4には、EPMAによるFe K α , Cd L α , Sb L α の線分析の結果も示した。色度および明度の変化パターンとCd, Sbの変化パターンとの間には明瞭な対応関係が認められる。この事は、本試料における色彩変化が、主にこれら2元素の含有量変化によるものであり、鉄含有量変化の色彩変化に対する寄与がそれほど大きくない事を示している。今回用いた試料は多成分元素の組み合わせよりなるため、化学組成と色度(明度)との間に定量的な関係を導く事ができなかった。

本方法は、鉱物等におけるcolor zoningのパターン解析等に有効に使用する事ができるものと思われる。

3. エレクトラムの明度と色彩

エレクトラムはAu-Agの合金でAu-Ag間で連続固溶体を作り、銀含有量とともに淡色化し、反射率が高くなる事が知られている(荏木・北風, 1988)。

ここでは、エレクトラム中の銀含有量と色度・明度との関係を明らかにするために、合成エレクトラム(銀含有率: $N_{Ag}=0.10\sim0.90$ まで0.10きざみ)について、明度と色度の測定を行った。測定条件は、光源(ハロゲンランプ)、電圧10V、対物レンズ $\times 10$ 、測光視野 0.7×0.7 mmで画像を取り込んだ。その際、明度測定ではGIFフィルター($\lambda=546$ nm)を、色度測定ではNCB10フィルターをそれぞれ挿入した。なお、測定法は前述した鉱石鉱物の明度・色彩測定と同じである。

図5-Aは、横軸に合成エレクトラムの銀含有量

(N_{Ag})を、縦軸に測定明度($\lambda=546$ nm in air)を取ったものである。測定明度は、銀含有量の増加に伴い53→62%と増加するものの、各組成毎の明度差は極めて僅かである。一方、色度($R/(R+G+B)\times 100\%$)は銀含有量の増加にともない52→32%に減少し、特に、 $N_{Ag}=0\sim0.5$ の範囲で急激に減少する(図5-B)。測定色度は、同一化学組成で最大2%程度の幅を持っており、 $N_{Ag}=0\sim0.5$ の範囲では0.05程度の精度であることから、測定色度からの化学組成推定が可能であるものと考えられる。

4. EPMA 化学組成像からの特徴抽出(鮮鋭化)

EPMA 化学組成像の様な画像データでは、鮮明な境界を持つ画像が得られない事がしばしばある。これらの原因には、高倍率での分解能限界、コントラスト不良、組織境界における緩慢な組成変化等幾つかの事が考えられる。いわゆる“ぼけ”は、平均化あるいは積分演算の結果として近似でき、微分演算を行う事によって画像を鮮鋭化し、組織の持つ特徴を強調する事が可能であると考えられる。この様な微分演算を用いた画像からの特徴抽出は、リモートセンシングデータからのリエアメントの抽出等に応用されている(大地ら, 1987)。今回、Harlowton 隕石中のEPMA 化学組成像で観察された微細なプレッサイト組織について、微分演算を用いてその鮮鋭化を試みた。以下にその解析手順を示す。

- (1) 目的の化学組成像をイメージスキャナーでモノクロ256階調120 dpiの分解能で読み取る。
- (2) 読み込んだ画像を明度についてカラーマッピング

図4. 測線 A-B における ZnS 鉱物の色度および明度の線分析と EPMA による線分析。

グ表示するとともに明度ヒストグラムを表示する。

- (3) これら明度分布に基づいて、ダイナミックレンジが広がる様に明度を線型変換する（コントラストの改善）。
- (4) 注目画素の 8 近傍についてそのデータ読み込

み、2 次微分（差分で近似）を行う。これを原画像から減算し、同時にコントラストの改善を行う。

図6は原画像（左）と処理画像（右）を示したものである。処理画像は画面全体にエッジが強調され、組織が明瞭となっているのが判る。特に中央部における

図5. 合成エレクトラムの明度 ($\lambda=546\text{ nm}$, in air) (左) および色度 ($R/(R+G+B) \times 100\%$) (右) と銀含有率 (N_{Ag}) との関係。

A. Original image

B. Image treated by differential filter

図6. 微分処理による EPMA 化学組成像 (Harlowton 隕石中のプレッサイト組織) の鮮鋭化。

明度変化が強調され、原画像では解析が困難な情報が示されている。しかしながら、大地ら (1987) でも述べている様に、この微分演算による方法はノイズにも敏感に反応し、処理画像を解析する場合はこの点を十分に注意する必要がある。

V. おわりに

本画像処理システムは、パーソナルコンピュータに TV カメラとビデオデジタイズボードを装着した、廉価かつ簡単なものである。また、必要に応じて装置や

機能の拡張等を容易に行うことができる。これまでに述べた画像処理法では、明度、色彩について任意面積内の変化をカラーマッピング像として同一面上に一度に表示することができ、鉱石組織の解析にはかなり有効な手段であると言える。さらに、エレクトラムの様に、色度とその化学組成との関係が明瞭なものについては、顕微鏡観察時に本システムを併用することによって、化学組成の推定も可能となる。しかしながら、本来アナログデータである画像をデジタル化するわけであるから、解析画像は原画像を反映しているものの、

それ自身ではあり得ない。解析画像はできるだけ原画像に忠実である必要がある。今回の測定では、TVカメラやビデオデジタイズボードのカラーやホワイトバランスについて充分には調整を行っていない。これらの点については、標準白色板やカラー単色フィルター等を用いた装置の調整が必要であると思われる。また、処理内容によっては本来画像が持っている情報を消去したり、ノイズを抽出したりする可能性が少なくない(特に幾つかの処理を重ねて用いた場合)。この点については、サンプルの充分な観察やそのほかの情報等を通じて画像処理結果を考察する事が必要である。

現在、TVカメラを用いた写真画像の取り込み、フレームメモリーを用いた多階調カラーマッピング表示等について検討中である。

謝 辞 本小論を書くにあたって、未発表の Harlowton 隕石の EPMA 化学組成像の使用を許可して頂いた秋田大学の小野麻由子氏に深く感謝申し上げます。また、本研究には文部省科学研究費補助金(一般研究(B)、課題番号 63470043)を使用した。記して感謝致します。

引用文献

Criddle, A.J. and Stanley, C.J. (1986), The quantitative data file for ore minerals (2nd Issue). pp. 420, The Commission on Ore Microscopy, the

International Mineralogical Association, British Museum, London.

林 武広・鈴木盛久 (1990), 画像解析による花崗岩類のモード測定, 岩鉱, 85, 60-65.

久恒政幸・中村威一・越智英里 (1988), 鉱物画像解析システム SMITAS, 日本鉱業会誌, 1202, 212-216.

Hurlbut, C.S., Jr. and Klein, C. (1977), Manual of mineralogy. pp. 510, John Wiley & Sons, New York.

西山 孝・楠田 啓・北川元紀 (1990), 蛍光剤を添加した樹脂による微小割れ目の視覚化と自動抽出, 資源・素材学会誌, 106, 573-579.

大地正高・駒井二郎・荒井勝男・藤岡洋介・徳尾貴昭・大谷健二 (1987), 衛星 MSS データからのリニアメントの自動抽出とその地質学的評価, 鉱山地質, 37, 99-108.

尾崎 弘・谷口慶治 (1983), 画像処理(第2版)―その基礎から応用まで―, pp. 288, 共立出版, 東京.

Russ, J.C. (1990), Computer-assisted microscopy. The measurement and analysis of images. pp. 453, Plenum Press, New York.

菅木浅彦・北風 嵐 (1988), エレクトラムの組成と反射率および微小硬度の関係, 菅木浅彦編: 鉱石顕微鏡と鉱石組織, テラ学術図書出版, 241-248.

由井俊三 (1983), 秋田県餌釣鉱床産閃亜鉛鉱の微細組織 ("chalcopyrite disease"?) (要旨), 三鉱学会講演要旨集, 53.

由井俊三 (1985), 秋田県餌釣鉱床産閃亜鉛鉱 (5)―含 Ga (EPMA) 閃亜鉛鉱―(要旨), 鉱石鉱物総研第1回シンポジウム要旨集, 75-77.