

講演要旨*

熱水変質帯調査および変質鉱物分析に用いられる機器

金原 啓司

地熱(熱水)変質帯では、岩石と熱水流体の相互反応により、その場の生成条件に応じた様々の変質鉱物が生じている。これらの変質鉱物(粘土鉱物、硫酸塩鉱物、シリカ鉱物、沸石など)は一般に微細であるため、その研究には通常X線回折法が用いられる。変質鉱物の詳細な研究により、広域的な変質帯分布図を作成し、地下の地熱構造を推定する手がかりを得ることができる。

広域的(100 km² オーダ)な変質帯調査より得られた多数(0.5 kmにつき1-2個)の変質岩試料中の変質鉱物を、人手を使わず、迅速かつ正確に測定し、また個々の鉱物についてもより詳細な性質を知ることができるように、今回回転対陰極式X線回折装置(理学電機製ロータフレックス, RU-200型)を設置した。次にこの装置の概要について述べる。

回転対陰極式とは、従来のX線管球が陰極(フィラメント)と陽極(対陰極)が固定された封入型(密閉型)であるのに対して、冷却効果を増し、より大きい負荷を与えることができるように、陽極である対陰極(ターゲット)を可動にし、かつターゲットおよびフィラメントの交換ができるようにした開放型(組立型)の管球のことである。回転対陰極を使用した強力X線発生装置の歴史は古く、すでに1930年代に制作されていたが、回転対陰極部の真空保持技術が進まず、長時間連続使用が困難であった。しかしこの問題は1960年代末国産技術のオイル・シール方式により解決された。

ロータフレックス(RU-200型)のX線強度(輝度)は、表に示すように封入型に比べて約16倍(焦点サイズが幅0.5 mmと狭いので、実際は20-25倍)である。対陰極は直径99 mmの銅で、回転数は2,500 rpmである。X線取り出し窓は2個で、ライト・ポイント共用である。ゴニオメータは左右に2台設置されており、半径は従来のものよりも大きく250 mm、2θ測定範囲は-5°~+160°である。計数記録装置とゴニオメータにはサイマルスタート機構、ステップ・スキップスキャン機構、プログラム機構、デジタルプリンター、自動試料交換装置が付属しており、最大100試料までの自動測定と、ステップスキャンのときの計数値の打ち出しができるように

	焦点サイズ	電圧-電流	輝度	比
封入型	1mm×10mm	50kV-30mA (1.5kW)	0.15	1
ロータフレックス (RU-200)	0.5mm×10mm	60kV-200mA (12.0kW)	2.4	16

なっている。

本装置はX線源が強力なため微少ピークの検出ができ、8°/min程度の迅速測定が精度を落とすことなく出来るし、また試料高温装置を取り付けて、最高1350°C(空气中)までの鉱物の状態変化を明瞭に追跡できる。さらにグラファイトのわん曲型結晶モノクロメータでX線を単色化するためにS/N値が大きく、ステップスキャン法の利用により高精度の実験(強度測定)ができるようになってい。また粉末試料の粒子の定方位配向を防ぐために回転試料台も用意されている。

(地殻熱部)

サーモカメラ(地上熱映像)による放熱量調査

川村 政和

物体が放射している赤外線エネルギーを測定することにより、その物体の表面温度を非接触で知ることができる。これを利用したのが赤外線放射温度計であるが、対象物の測温を一点毎に行わず、熱映像としてブラウン管上に表面温度分布を表示するのがサーモカメラ(サーマルカメラ)である。また、この表面温度分布を利用して対象地熱地域からの放出熱量を見積ることができる。

サーモカメラは、ミラー光学系の作動により被写体面を走査し、チョッパーにより被写体面の各スポットから放射される赤外線の熱エネルギーを基準温度(液化窒素:-196°C)に保たれた検出器から放射される赤外線の熱エネルギーと比較しながら、随時検出器の検出素子に集束し、この半導体の検出素子により熱エネルギーを電気エネルギー(ビデオ信号)に変換し、電子回路によりこの信号を所要の電圧・波形に整形してブラウン管に伝え、ブラウン管上に被写体の温度分布を輝度の相異による熱像図として表示するとともに温度を読みとれるようにしたものである。

キャノンサーモカメラ CT-5B は撮像部と表示部とからなり、その仕様は以下の通りである。

測定温度範囲:-20-1850°C

* 昭和51年10月6日本所において開催

測定温度範囲切換：-20-40, 30-120, 100-250, 200-440, 400-850, 800-1850°C (6段階)

黒白温度範囲：各測温範囲切換段の温度差の 2, 5, 10, 20, 50, 100%

検出温度差：0.12°C (30°Cにて)

検出素子：Hg Cd Te

検出波長域：8-11 μ

基準温度源：液化窒素

水平走査型式：4面ミラードラム回転方式

垂直走査型式：平面ミラー揺動方式

走査角度：30°(左右)×18°(上下)

焦点距離：235 mm

焦点合せ：0.12m-∞

画像走査時間：1秒, 5秒

水平走査線数：60本(1秒), 300本(5秒)

画素数：120,000(5秒写真)

表示サイズ：130(左右)×100(上下)mm

表示画像：黒白熱像図¹⁾, 5段階(10段階)等温度帯熱像図²⁾, 等温度帯熱像図³⁾, 水平温度波形図⁴⁾, 像拡大装置(×2)

記録方式：写真撮影(ポラロイドまたは30mmカメラ), 磁気テープ

消費電力：AC 100V, 120W, 50/60 Hz

大きさ：撮像部 535(幅)×322(高さ)×323(長さ)mm
表示部 320(幅)×370(高さ)×550(長さ)mm

- 1) 熱像を白ないし黒(高温ないし低温)の濃淡で表示す。
- 2) 熱像を黒から白までを5段階または10段階の温度幅による異なる濃度帯で表示する。
- 3) 選択するレンジの等温度帯のみを白で表示する。
- 4) 黒白熱像図の中から任意に選択した1本の水平走査線上の温度分布を波形で表示する。

熱映像の撮影結果から得られた地熱地の地表面温度情報に対し、次式を用いることによって対象地から放出される熱量を見積ることができる。

$$\Delta G = \epsilon(1 - 0.09m)(0.52 + 0.065\sqrt{e_w})\sigma AT_0^4 + \rho_a C_p D(1 + \gamma)\Delta\theta_0$$

ΔG : 地熱流量の差

ϵ : 土壤放射率

m : 雲量

e_w : 水蒸気圧

T_0 : 地表面温度(°K)

θ_0 : " (°C)

ρ_a : 空気密度

D : 外部拡散係数

γ : Bowen 比の逆数

σ : Stefan-Bolzman Const.

($\approx 1.36 \times 10^{-8}$ cal/cm² · deg⁴ · sec)

C_p : 空気の定圧比熱(≈ 0.239 cal/cm² · g · deg)

以上のようにして1975年9月に長野県発哺温泉の火地獄で調査を行ったが、その放熱量は6,620 cal/sec(約120 m²)であることが知られた。

放熱量を算出するには温度分布の領域を正しく知る必要があるが、これについては対象地内に標的を設置し、画像上におけるそれらの間隔の歪を知ることで熱映像のゆがみを補正している。これらの点についても未だ問題があり、面積計算機等を導入してより簡便な方法で地熱探査ができることをめざしている。(地殻熱部)

映像解析装置と地熱概査

長谷 紘和

空中写真を含む、リモートセンシング映像データの地熱探査利用面における最大の利点は、広域地質、地質構造、地熱徴候の迅速把握にある。多量の映像データを迅速に処理する機能を持つ映像解析装置はこの利点をより促進する有効な手段である。

本発表では地質調査所に設置された映像解析システムについて説明を行い、映像データのうち、とくに空中熱赤外線映像による地表高地温異常地の把握に関連して、1)放熱量の定量的把握上の問題点の指摘、2)地表高地温異常地の変質 Halo としての把握、3)熱史的観点に立った地表高地温異常地の評価法について提案する。

映像解析システムはカラーデータ解析装置、エッジ強調装置およびグラフペンシステムから構成される。グラフペンシステムは構成が未完であることから説明は省略した。前2装置はテレビカメラに連結され、撮影された映像信号が各装置に入力される。カラーデータ解析装置は映像データの濃淡を12段階に区分し、カラー画像として表示するとともに、設定された画域の等濃度部分の面積を内蔵プラニメーターにより百分比値として表示する。エッジ強調装置は、原データの陽陰両信号をわずかにずらせて画面上に表示する機能を持ち、微弱なリニアメントの迅速強調抽出に効果がある。その他、画面上にXY座標軸を設定し、Y軸カーソル線上の濃度断面のアナログ表示、XY交点の濃度値測定が可能な装置である。

空中熱赤外線映像による地熱地域のマッピングは、全国地熱基礎調査の一環として、八幡平、伊豆、草津白根、白山、指宿の5地域が選定され、調査が完了した。

これらの地域を含む地熱地域は一般に山岳地域に位置し、撮影条件には恵まれない。このような地域で得られた映像データをもとに、高地温異常地表面からの放射による熱放出量測定が有意義な結果を導びき得るかどうかを検討した。映像濃度と放射温度との関係をチェックした結果、スキャナー検知器へのイラジアンズは設定温度レンジ内ではほぼ正當に濃度表示されているらしい。航空機の揺動に基づく映像のひずみ、地形変化による V/H 比変化は映像のひずみにかなり大きな影響を与える。他方、回転鏡の skew motion、対象地点の走査方向に対する shadowing の影響は比較的小さい。地表面一検知器間の大気の影響はかなり大きいものと考えられる。撮像飛行と同時に行われた、山岳道路を利用しての大気温度測定結果によれば、気温の逆転層が局地的には普遍的に形成されるらしい。この結果、大気逆転層が存在するところでは高地温異常地表面からの有効放射は影響を受ける。

以上の誤差要素、放熱全体における放射放熱の比重を考慮した結果、空中熱赤外映像を用いての放熱量測定は行わなかった。

噴気を伴う地熱異常地を観察すると、高地温異常地の周囲には変質裸地が発達し、その外側には丈の短い草地、丈の高い草地、かん木帯、喬木帯がみられる。それらは高地温異常の中心部から基本的には同心円状に発達する。変質裸地と草地との境界は、地熱活動の消長により変化し、そのような好例は八幡平地域後生掛地熱地帯で観察される。

地表地熱徴候が、open fissure や多孔質岩層を通して地熱エネルギーが地表に供給された結果形成されるものと考え、地表地熱徴候の形成初期には、高地温異常地分布面積と、草地帯で境される変質裸地分布面積比は相対的に大きいものと推定される。時間経過とともに、地表への地熱流体の運搬通路は変移し、衰微した地熱徴候地では上記の面積比が相対的に低下するものと考えられる。

以上のような熱史的観点に立てば、空中熱赤外線映像によってとらえられた高地温異常地の面的発達状態を把握することは意義のあることと考えられる。発表ではこのような提案をするとともに、主として八幡平地域で得られた解析結果について説明を行った。

(環境地質部)

静水圧下での鉱物合成

西沢 修

静水圧下での鉱物合成研究に関し、圧力の定義・測定

法、実験例、装置の特徴等について概説した。

(1) 圧力の定義について

圧力=力/面積で定義される。したがって、高い圧力を得るには、大きな力を加えるか、圧力を受ける部分の面積を小さくすればよい。大量の試料が必要なときには、大きな力のかかる装置を使用し、試料が少量でも高い圧力が必要なときには面積の小さな装置を使用する。

圧力の単位は通常バールである。

$$1 \text{ バール} = 0.987 \text{ 気圧} = 1.02 \text{ kg/cm}^2 = 10^6 \text{ ダイン/cm}^2$$

またインチ、ポンド系では

$$1 \text{ psi} = 0.068 \text{ 気圧} = 0.069 \text{ バール}$$

最近物理量の単位は MKS 系に統一されつつあるが、このときはニュートン/m² を使用し、これをパスカル (Pa) と呼ぶ。

$$1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ バール}$$

であるが通常高圧のとり扱いには小さすぎるので、現在でもなおバール、キロバールがよく使われる。

(2) 圧力の測定について

高圧力の測定は金属の電気抵抗の変化によって行う。ビスマスは25.5キロバールと77キロバールとに抵抗が明瞭な不連続を示す点がある。荷重をかけながらこれらの不連続点を電圧計で調べる。これらの点をもとに圧力-荷重曲線を作り、これを校正曲線とする。圧力測定の一例としてブリッジマンアンビルによる測定例を示した。校正に使った圧力定点は Bi I→II, Bi III→V, Sn I→II, Pb I→II であり140キロバールまでの校正がなされた。

(3) テトラヘドラルアンビル型超高压発生装置及び六面体超高压発生装置を使用した実験例について

現在利用している東大物性研のテトラヘドラルアンビル型超高压発生装置によってなされた実験の実例をいくつか紹介した。(1) CaMnSi₂O₆ の bustamite → johannsenite の相図、(2) 高圧下における、カンラン石-斜方輝石間の Fe-Mg の分配、(3) 高圧下における単斜輝石-スピンネル間の Fe-Mg の分配などである。

また、六面体型超高压発生装置による超高压下での弾性定数の測定例を紹介した。MgO の単結晶について50キロバールまでタテ波の弾性波速度の測定が可能である。

(4) その他の装置について

非常に高い圧力を得るには現在ダイヤモンドアンビルがもっとも簡便である。ただし試料はごく少量しか得られない。また岩石学的に興味のある問題にはピストンシリンダが適している。これは圧力はあまり上がらないが、大容量の試料に長時間、安定に圧力、温度をかける

ことができる。また、多面体アンビルは操作及び試料部の構成が簡単のため非常に能率的である。ただ装置の構成が前二者に比べやや複雑となるため製作に費用のかかるのが弱点である。しかし費用の点が解決すればこれを

使用するのがもっとも良いと考えられる。発生圧力はダイヤモンドアンビルには及ばないが、ピストンシリンダよりは高い圧力を加えることができる。

(地殻熱部)