

## 講演要旨\*

### 黒鉱鉱床の古くて新しい問題

石原 舜三

近年黒鉱鉱床の成因については、比較的浅い中新世盆地の周辺に貫入した流紋岩ドームを中心とする熱水環境により、主に海水から鉱床構成物質の供給をうけて生成したとする説が一般に支持されていた。ところがここ数年間に、次の3点で代表される新しい問題点が提案されている。

1) 生成深度：この問題は鉱床構成鉱物中に発泡現象が認められない点から指摘され、鉱床は1,000 m以深で生成したものと考えられた。この見地から有孔虫化石や地質条件の再評価がおこなわれ、陸地に近く4,000 mの海深を持つような特殊な環境、すなわち海底カルデラ説が提案された(大本, 1977)。この説は黒鉱鉱量のほとんどが北鹿盆地に限られて産出すること、比較的高温の鉱化作用が海底で可能であったことなどをうまく説明するものである。有孔虫化石種の解釈にはより浅所を推定する提案もあり(北里, 本誌)、また海底火山作用はより小さい単位の複雑なものであったらしい(古宇田・小出, 本誌)。

2) 構造規制：北鹿盆地の鉱床胚胎の場に関する近年の総括は“北鹿盆地”の縁であったが、中心部に近い深沢鉱床その他の発見によって、あらたな問題が生じた。この点が古くから知られていた北西系と北東系の裂かを再整理することにより説明された(Scott, 1978)。この考えでは、この裂か系列を基盤裂かに求めるものであるが、これは中新統の層厚変化その他に基づく東西系、南北系の構造的要素を強調する立場(藤井, 本誌)と対立するものである。

3) 鉱床構成物質の起源：この問題は一般にすべての成分を一括する形で扱われ、近年では主として海水から直接あるいは間接的に鉱床中に沈殿したとする考えが有力である。ところが主要な構成物質の一つであるイオウはマグマと共に深所から運ばれた可能性が提案された(石原・佐々木, 1978)。この考えは流紋岩ドームは循環熱水の熱源としては小さすぎる提案(CATHLES, 1978)と調和しているように見える。すなわち、酸性マグマは鉱床構成鉱物に沈殿の場をもたらしたのみならず、物質供給源としても重要であった可能性がある。

最近の黒鉱鉱床の成因論には、以上のように従来古典

的と思われた考え方が新しい形で再提案されている。これらの当否は今年から始められた国際交流研究計画その他により実証され、世界の黒鉱式塊状硫化物鉱床の理解と探査開発に貢献するものとして期待される。なお黒鉱研究の近況は鉱山地質28巻(1978年)4号・5号の諸論文に掲載されている。

(鉱床部)

### 秋田・山形県境地域における院内陥没構造の形成と鉱脈型鉱床の生成との関係

大沢 穠・大口健志・高安泰助

大沢(1968)は、『門前階・台島階および西黒沢階は、アルカリ岩系・高アルミナ玄武岩系(b型・c型)およびソレイアイト岩系の火山岩類の火成活動で特徴づけられる。なお、西黒沢階を細かくみると、同階後半には女川階と船川階に特徴的な岩系の火山岩類が急に多くなる。女川階および船川階は最大海侵もしくは最大沈降の時期であり、同時に隆起運動が行われ、広域にわたり造構造運動が行われた。女川階および船川階の火成活動は、高アルミナ玄武岩系(d型など)とカルク・アルカリ岩系の火山岩類および第三紀花崗岩類で特徴づけられる。この第三紀花崗岩類の大規模な広域にわたる火山一深成作用は、西黒沢階末期—女川階—船川階であって、女川階を最盛期として進入したものであろう。金属鉱床を生成した鉱化作用の時期は、西黒沢階後半から船川階までと考えられ、金属鉱床はこの時期に酸性火山活動の著しかった堆積盆の周縁部もしくは堆積盆内の微沈降区、換言すると相対的隆起地区で生成された。黒鉱々床の生成時

船川階	三途川層 (層厚200-400m)		台山石英閃緑岩類の 進入・院内凝灰岩部 層の堆積(火山一深 成作用)・院内陥没構 造の形成・院内鉱山 などの鉱脈型鉱床の 生成
女川階	女川層 (層厚300-600m)	院内凝灰岩部層 (酸性軽石凝灰 岩・火山礫凝 灰岩・流紋岩 熔岩)	
西黒沢階	須郷田層(層厚100-200m)		
台島階	畑村層・大仙山層 (層厚100-450m)		
階	飯沢層 (層厚100-500m)	雄勝川層 (層厚300-500m)	
西男鹿階	湯沢川層(層厚100-500m)		

\* 第134回研究発表会。昭和53年6月26日、本所において開催。

期は西黒沢階後半から女川階であり、大部分のものは西黒沢階後半であろう。鈹脈型鈹床の生成時期は西黒沢階後半から船川階であると考えられ、鈹脈型鈹床は黒鈹々床より遅くまで生成された』と述べた。

今回、第1報として表題の地域について述べる。本地域の地質層序は表に示したとおりである。院内陥没構造は女川層の堆積時から三途川層堆積前までの間の院内構造運動によって形成されたと考えられる。この運動は、副次的に褶曲構造を作るが、多数の断層群による地塊化によって特徴づけられている。なお、この院内構造運動によって第三紀花崗岩である台山石英閃緑岩類(大沢・角, 1961)の進入・膨大な量(現在までに侵食された厚さを加えると層厚は600-800m)の院内凝灰岩部層の堆積、ひきつづいて院内陥没構造の形成と鈹脈型鈹床の生成があった。台山石英閃緑岩の進入時期については、須郷田層までの各層をつらぬき、三途川層の基底礫岩中に礫としてとり込まれていることから、女川層の堆積時に進入したと考えられる。院内陥没構造は、まわりを山の田断層群・松山断層群および南沢断層群などに切られる。南沢断層群が、三途川層に被覆されていることから、三途川層の堆積時より前に院内陥没構造が形成されたことが明らかである。院内鈹山の含銀鈹脈型鈹床は、南沢断層群にある場合には切られ、またある場合には南沢断層群に属する亀盛断層をはさんでつづいている。なお、坑内のデータによれば、院内凝灰岩部層中まで劣化した細脈がつづいている。このことから、院内陥没構造の形成時に、南沢断層群に属する断層および断裂帯に沿って鈹化作用が行われ、多数の鈹脈型鈹床を生成したと考えられる。

次に、秋田・山形県境地域について、広域にみると、Champion veinの平均走向方向はN 80°Eであって、基盤をなす神室山花崗岩類の長軸方向および台山石英閃緑岩類の長軸方向にほぼ直角である。また、2, 3の鈹脈型鈹床は台山石英閃緑岩類中に胚胎されている。

以上のことから、女川階の堆積盆の周縁部で、院内構造運動が起り、台山石英閃緑岩類の進入、これに関連した火山活動として院内凝灰岩部層の堆積があった。ひきつづいて院内陥没構造が形成され金・銀・銅・鉛・亜鉛を含む鈹脈型鈹床が多数生成されたと考えられる。なお、女川階の堆積盆の中心部、例えば日本海沿岸地域で、西黒沢一女川一船川階と、最大層厚2,500 m以上の泥岩相がひきつづき堆積したのと対照的である。

(地質部・秋田大学・同)

## 北鹿ベースンの生成機構と鈹化作用との関係

藤井 敬三

### 要 旨

北鹿地域を例として広域的にみた黒鈹鈹床胚胎の場について考えてみたい。これまでの黒鈹鈹床の場についての研究にふれると、木下(1944)は、黒鈹および黒鈹式鈹床の分布が本州弧内帯側にかぎられ、特に東北脊梁山脈の西方に、それとほぼ平行に走る中央窪地帯とその付近に鈹床が多いこと、特に鹿角盆地(現在の北鹿地域に相当)は東西両縁を断層で切られた地溝帯で黒鈹鈹床は盆地内ないし盆地周辺の断層帯内に発達することをのべている。また、堀越(1960)は、鈹床は基盤岩類の背斜部で、第三紀層のうすくなるところに集中することを指摘している。太由垣ほかや坂崎ほか(1965-1966)は、北鹿ベースン構造という考え方を提唱し、鈹床はベースン構造の周辺部に位置すると考えている。一方、地質調査所による広域調査の結果から、藤井ほか(1967, 1968, 1974)は、北鹿地域のおもな火成活動と鈹化作用は引張り応力の場で地塊化した基盤相互間に発達した深部裂かにそって生じたと結論している。つづいて谷村(1972)によると、鈹床の形成はマグマの噴出にともなう陥没による断層運動と関係づけられている。

このように、黒鈹鈹床形成の場についてはベースン構造ないし地塊化に関する構造運動を解明する必要がある。そのためには、北鹿地域をミクロ的にみるよりは、グリーンタフ造構運動の中で北鹿地域をとらえる必要がある。

グリーンタフの造構発達史をみると、白垩紀末から、東北日本は隆起帯として長期にわたる侵食をうけてきたが、漸新世末ないし中新世初期に、盛岡一白河線を境として、その西側に著しい火成活動とともに海浸が始まり、門前階、台島階、西黒沢階、女川階とへるにしたがって深海化し、地向斜的堆積盆として発展し、船川階後期にいたって反転し、地背斜的隆起運動となり、現在に至っている。

黒鈹鈹床形成と関係が深いベースン構造または地塊は、グリーンタフ造構運動の前期である西黒沢階および女川階に形成された。これらの時階におけるグリーンタフ造構運動の運動様式を知るために、東北日本内帯における各地での岩相、層厚、火成活動の規模と様式などを検討した。この結果、5つの大構造区分が可能であり、盛岡一白河線から西にむかって、北上川河谷区、脊梁山脈区、出羽丘陵区、日本海沿岸区、男鹿・佐渡区と区分

できる。

そして、これら大構造は、階段状地塊ないし HORST-GRABEN 構造をなし、引張りの場のもとで形成されたと考えられる。北鹿地域は、脊梁山脈区と出羽区との境界部付近に相当し、層相と層厚との変化、火成活動の様式などから、東から西へむかって、瀬の沢隆起帯、花輪沈降帯、高森隆起帯、大館沈降帯、二井田隆起帯に分けられる。隆起帯は、丘陵部に一致し、10-15 km の幅をもつ複背斜帯となり、45-60 ミリガルに達する正の重力異常を示す。沈降帯は、盆地を形成し、隆起帯に比べ、幅がせまく、5-7 km で、25-30 ミリガルの正の低重力異常を示す。これら構造帯の境界は、400 m をこえる落差の断層で、流紋岩、玄武岩などの大規模な岩脈が進入している。

これらの北鹿地域内における構造帯は、さらに小さい 5 km ていどの小地塊に分けられ、黒鉱および鉱脈鉱床が、種々の地塊の境界部に賦存する。また、鉱床胚胎層準も雪沢層最上部から茂内層下部にわたるが、特に、茂内層下部と雪沢層一籠谷層境界部付近に集中する。

しかし、北鹿地域内における鉱床の分布は決して一様ではなく、大館一白沢地区、小坂地区、深沢・宝倉地区、小真木地区、尾去沢地区、山館地区などに偏在し、これらの地区で、時間間隔をおいて鉱床が形成されている。

以上のように、鉱床形成のためには、まず深部裂かを伴う地塊化が必要であり、ついでマグマ留りの形成と、重金属の鉱集—鉱液の形成・供給がくり返される必要があると考えられる。

(燃料部)

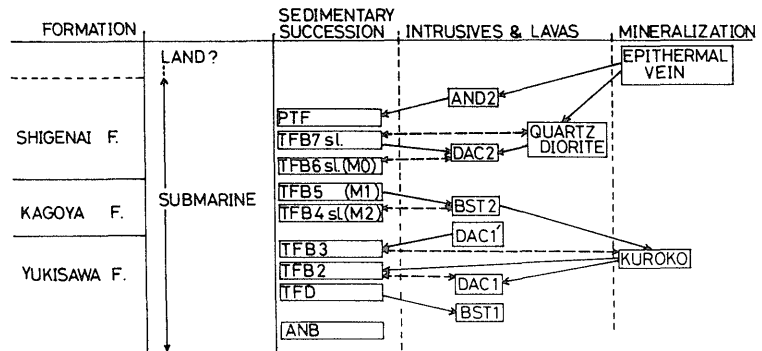
## 大滝トータル岩体周囲の環状構造と黒鉱鉱床

—海底再生カルデラ説の提案—

古宇田 亮一・小出 仁

CASADEVALL and OHMOTO (1977) は、米国サンホアン地域のサニーサイド鉱山の同位体データをまとめて、シルバートン・カルデラの岩石の酸素同位体減退は、鉱液の通り道だとすることで説明しようことを示した。STEVEN *et al.* (1974) によれば、サンホアン地域の多くの鉱床は再生カルデラ (resurgent cauldron) に伴われるらしい。多くの熱水鉱床がマグマ活動に関係しているといわれている。岩石中で水をまわしやすい機構として、一つには断裂系があり、マグマに起因する断裂系をもっとも発達させやすいものの一つに、cauldron があることを考えれば、再生カルデラに鉱床が伴われる可能性が大きい。

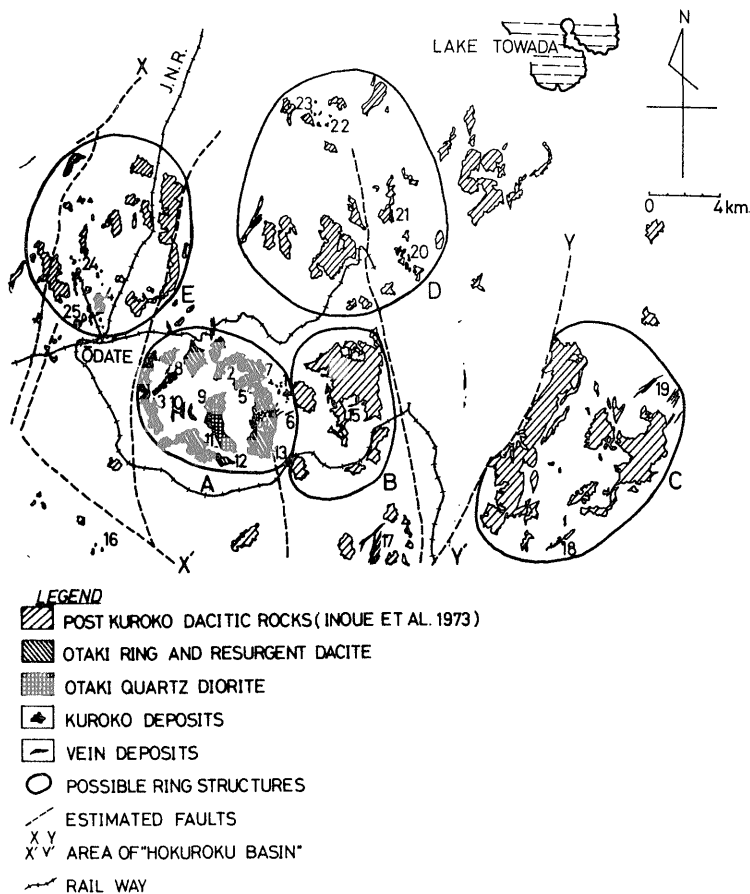
### MAGMATIC HISTORY OF EAST ODATE IN MIOCENE AGE



#### LEGEND

PTF = pumiceous tuff. TFB = dacitic tuff breccia & alternation of muddy tuff and tuff.  
TFD = TFB + dacitic lava. ANB = andesitic tuff breccia.  
AND = andesitic lava & intrusion. DAC = dacitic lava & intrusion.  
BST = basaltic andesite & dolerite. sl = with slumping structures.  
—→ = time relation: The rock of arrow's head is the produce of former activity.  
- - - - -> = roughly simultaneous activity.

第1図 大滝トータル岩体を中心とした地域の火成活動史  
火山岩などの時期は、堆積物との貫入と削剝関係によって推定される。このような順序は、海底における再生カルデラを強く示唆する。(図は、KOUDA and KOIDE (1978) より引用)。



第 2 図 北鹿地域の黒鉱後の中新世火山岩などの分布  
いくつかの環状分布に分けられる。数字は各鉱山(図は KOUDA and  
KOIDE (1978) より引用)。

OHMOTO (1977) は、鉱石の流体包有物のデータから、鉱液が海底で沸騰をおこしていないためには、黒鉱の生成深度が数 km に及ぶかもしれない、比較的狭い地域で深くするにはカルデラが都合がよいと考え、北鹿地域=中新世海底カルデラ説を提唱した。同じ頃、HODGSON and LYDON (1977) は、黒鉱生成と再生カルデラとの関係を論じているが、証拠は特になかった。

具体的な地質学的証拠によって構造を説明する試みはきわめて不十分だったので、日本最大の黒鉱鉱床が多数集合する北鹿地域の地質に着目して研究した結果、カルデラと考えられそうな構造は、北鹿全体(東西、約 35 km)以上の規模に及ぶよりも、せいぜい 10 km 前後の規模のものにいくつか分けられることがわかった。特に、北鹿中央の深沢黒鉱鉱床と、新発見の餌釣黒鉱鉱床、及び宝倉鉱脈鉱床を含む。大館東方の大滝トール岩体を中心とした地域の中新世地質構造は、中心の隆起・環状

に分布する dacite の岩脈と熔岩・Slumping structure の存在・正断層・地層の層厚変化などの証拠から、海底に発生した、一種の再生カルデラであることが推定される(第 1 図)。すなわち、尖頭的マグマの上昇、火山岩噴出に続いて、最初のカルデラ陥没が発生する。この時できた環状の断裂系に沿って上昇した熱水溶液によって黒鉱が海底で沈殿したらしい。次いで、中心付近の隆起と再生 dome 形成がなされ、この構造的運動によって slumping structure ができる。さらに、環状に分布する dacite の貫入・噴出後に浅熱水鉱脈鉱床がそれらを買いたと考えられる。この最終段階では、海は浅くなるか、陸化したらしい。

以上のような cauldron の発生機構としては、KOIDE and BHATTACHARJI (1975) による、尖頭的なマグマの貫入で地表付近が押し広げられて、環状の陥没構造が發展するモデルで説明できる。

そして、この程度の大きさの環状構造を持つ cauldron が、北鹿地域の中に少なくとも5つ存在して、その各々が各黒鉱鉬床群と関係したと考えられる(第2図)。

## 文 献

- CASADEVALL, T. and OHMOTO, H. (1977) Sunnyside Mine, Eureka Mining district, San Juan County, Colorado: Geochemistry of gold and base metal ore deposition in a volcanic environment. *Econ. Geol.*, 72, 1285-1320.
- HODGSON, C. J. and LYDON, J. W. (1977) Geological setting of volcanogenic massive sulphide deposits and active hydrothermal systems: some implications for exploration. *C. I. M. Bull.*, October, 95-106.
- KOIDE, H. and BHATTACHARJI, S. (1975) Formation of fractures around magmatic intrusions and their role in ore localization. *Econ. Geol.*, 70, 781-799.
- KOUDA, R. and KOIDE, H. (1978) Ring structures, resurgent cauldron, and ore deposits in the Hokuroku volcanic field, northern Akita, Japan. *Mining Geol.*, 28, no. 4 (in press).
- OHMOTO, H. (1977) Genetical process of the ore deposits of sea water origin (abstr.). *Mining Geol.*, 27, p. 53 (in Japanese).
- STEVEN, T. A., LUEDKE, R. G. and LIPMAN, P. W. (1974) Relation of mineralization to calderas in the San Juan volcanic field, Southwestern Colorado. *Jour. Research U. S. G. S.*, 2, (4), 405-409.

(鉬床部・環境地質部)

## 黒鉬鉬床・金銀鉬床をもたらした鉬液の生成要因

鹿園直建

グリーンタフ地域には、多くの鉬床が存在するが、その中でも黒鉬鉬床、金銀鉬脈鉬床は最も普遍的に存在する。これらの鉬床をもたらした鉬液の生成要因を主として地球化学的観点から論じた。

まずはじめに、鉬物の化学組成 (sphalerite, electrum tetrahedrite, chlorite)、鉬物の組み合わせ、流体包有物の研究をまとめ、これらをもとに、黒鉬鉬液、金銀鉬液の立ち、より定量的に鉬液の生成要因を解き明かしてい

化学的性質(特に酸素ガスフガシティー( $FO_2$ ), pH)に違いがあることがしめされた。次に、流体包有物の同位体組成( $\delta D$ )の違いについてのべた。

黒鉬鉬床、金銀鉬床といっても、その地質的産状、鉬物種、産出する金属量等からいくつかのタイプにわけられる。そのタイプの違いにより、鉬液の化学的性質に違いがあることが簡単にのべられた。

この相違は、鉬床生成の場での鉬液の化学的性質の変化(例えば地下水や海水と鉬液との mixing)ではなく、もともとの上昇鉬液の相違によると思われる。それでは、なぜその相違が生じたのであろうか。鉬液の化学的諸性質の中でも、特に $FO_2$ , pHを支配する要因についての考察を行なった。pHは、熱水溶液中のCl濃度、および鉬床母岩の珪酸塩鉬物につよく影響される。また硫黄濃度、水/岩石比(W/R)とも大きく関係している。 $FO_2$ は、硫黄濃度、炭素濃度、W/Rと大きく関係している。Cl、硫黄、炭素濃度の鉬液生成過程における変化、その変化要因についての考察は行わなかった。

以上は主として地球化学的議論であるが、地球化学的議論と地球物理学的議論をつなぐものとしてW/Rがあげられる。鉬床母岩の化学組成データをもとに、黒鉬と金銀鉬床の生成の場におけるW/Rの推定を行ない、相違があることを示唆した。黒鉬鉬床の方が金銀鉬床の生成の場でのW/Rより大きいことが示され、これは酸素同位体の研究からも支持される。しかし、W/Rは熱水系の位置の関数、および時間の関数としてあらわされる変数であるので、簡単に比較することはできない。このW/Rは、鉬液と岩石の化学組成、同位体組成のみならず、鉬液の流速といった物理的性質とも関係している。鉬液の流速は岩石の透水係数と大いに関連があり、この透水係数は、いろいろな因子と関連しているが、例えば、差応力と関係のある変数である。したがって、W/Rは、鉬床生成の場のテクトニクスと大いに関連がある。

最後に、黒鉬鉬床、金銀鉬床の生成の場の地質環境、テクトニクスの違いについて若干論じた。鉬床の分布、方向性、生成時期、伴う岩石の相違について簡単にまとめ、これらの鉬床の生成の場の地質環境、テクトニクスは、大いに異なっていたであろうとのべた。したがって、これらの鉬液の鉬床生成の熱水系における流動の仕方、流量、岩石/水の相互作用は大いに異なり、その結果、異なる鉬液が生成されると思われる。

今後は、鉬液の生成要因についての定性的考察にとどまらず、地球化学的、地球物理学的、地質学的な見地に

ねばならない。

(東京大学理学部)

有孔虫化石からみた黒鉱形成期の海の高環境

北 里 洋

秋田県北鹿地域の黒鉱胚胎層準の泥岩より産する有孔虫化石にもとづき、黒鉱形成期の海の高さを推定した。

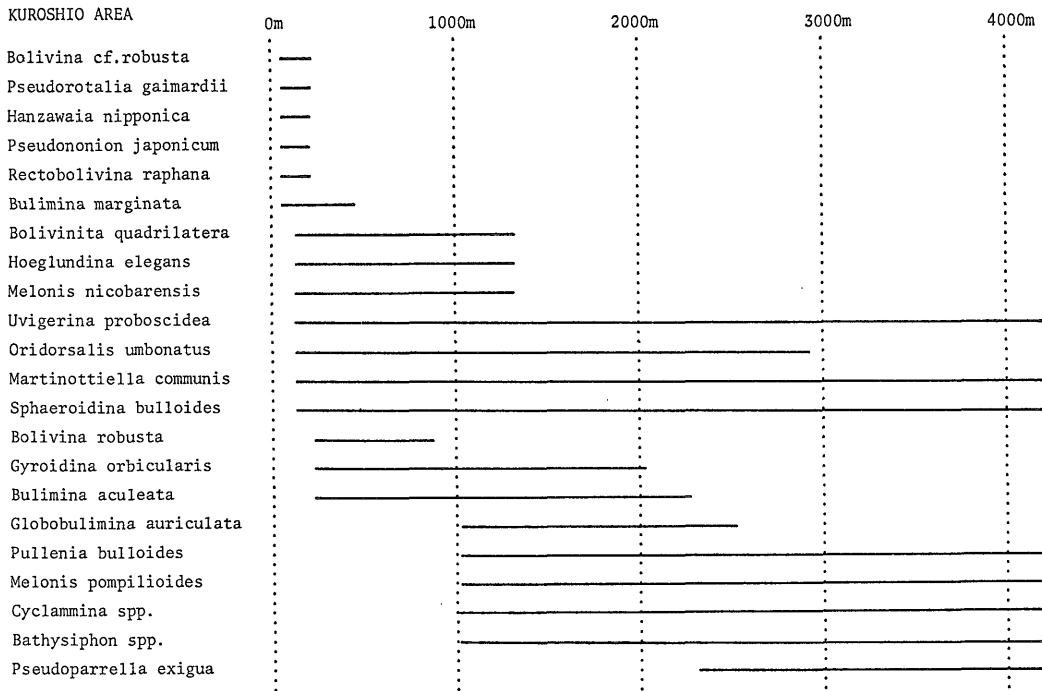
一般に生物の分布はさまざまな環境要素に支配されている。どの環境要素がどのように群集の分布に関与しているか個々の要素についていえるほどわかっていない。しかし経験的には、特定の環境に特有の生物群集が繁栄していることが多い。このことから生物群集を調べることによって環境要素の総合された全体としての特徴を推定することが可能となるわけである。有孔虫類の場合、群集の分布は水塊系と水深との両者によって規定されていると考えられる場合が多い。

日本の近海では黒潮・親潮の 2 大海流があり、東北日本の沖合で会合している。表面水の性質からみると、日本近海は黒潮水塊系、親潮水塊系、そしてそれらが会合し混じりあう混合水塊系の 3 つにわけられている。有孔虫類はそれぞれの水塊系で異なった種類が生息していることが多く、また同一種が 2 つ以上の水塊系に分布する

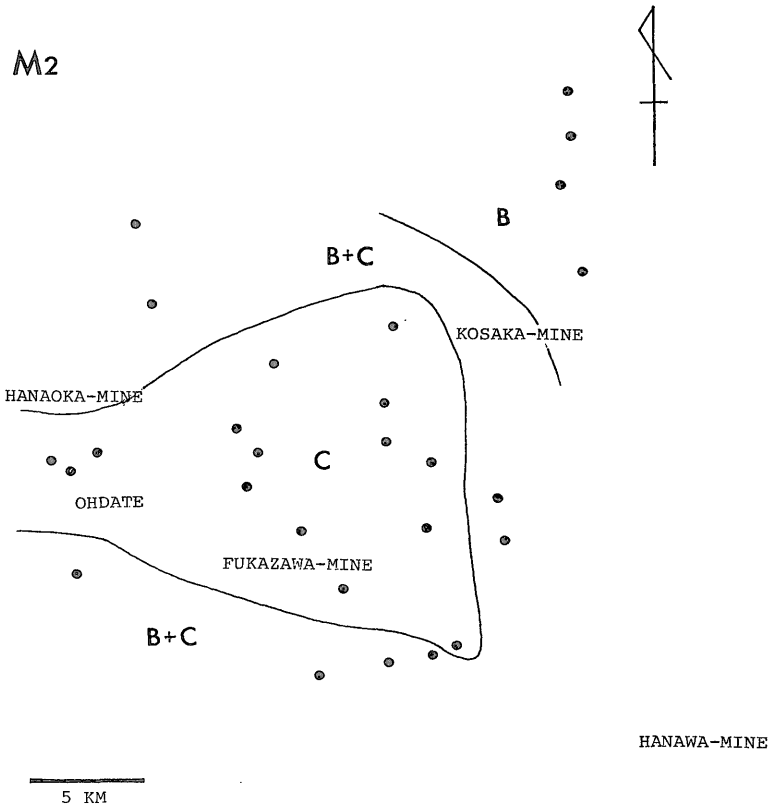
場合でも、水塊系によって異なった深度分布をもつことがある。第 1 図に黒潮水塊系での底生有孔虫類の深度分布を示す。この図で *Martinottiella*, *Cyclammina*, *Bathysiphon* は砂質の殻を形成する種類で砂質有孔虫と呼ばれる。その他の種は炭酸カルシウムの殻を形成する種類であり、石灰質有孔虫と呼ばれる。*Bulimina aculeata* は黒潮水塊系で 200-2300m の深度に生息するが、混合水塊系では 1000m 以下にのみ分布する。このように有孔虫類は水塊系によってその分布が大きく左右されていることがわかる。したがって底生有孔虫にもとづいて過去の水深を推定する場合、その場所がどの水塊系の影響下にあったかを考える必要がある。

黒鉱胚胎層準より産する浮遊性有孔虫化石は *Globigerina praebulloides*, *Globigerinoides sicanus*, *Globorotalia peripheroronda*, *Globoquadrina altispira*, *Gqd. dehiscens*, *Sphaeroidinellopsis seminulina* などである。*G. sicanus*, *G. peripheroronda* が産出することにより、黒鉱胚胎層準が Blow の N. 8 ~ N. 9 ぐらいの時期に対比されることがわかり、また暖流系水塊に生息する種類が多く産することから北鹿地域が黒潮の影響下にあったことがわかる。このことは貝類化石群集からも支持される。

黒鉱層準は東北日本の西黒沢層相当層準にあたり、この時期には 3 つの底生有孔虫化石群集が認められてい



第 1 図 現在の黒潮水塊系での底生有孔虫類の深度分布

第2図 M<sub>2</sub>層準の有孔虫化石群集の分布

る。A-群集は *Miogyopsina*, *Operculina*, *Ammonia tochiyensis*, *Hanzawaia tagaensis* などから構成され、現在の海洋でいう上部浅海帯群集である。B-群集は *Amphicoryna fukushimaensis*, *Bulimina marginata* などであり、下部浅海帯群集にあたる。C-群集は *Bulimina aculeata*, *Gyroidina orbicularis*, *Melonis pompilioides*, *Vvigerina proboscidea*, *Cyclammina* spp. などからなり、漸深海帯中部群集に相当する。実際にはこれらの中間、すなわち A+B, B+C の群集が存在する。

北鹿地域には上位より下位に、M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> の泥岩層が認められている。それぞれの層準毎に底生有孔虫化石群集の分布を検討すると次のようになる。M<sub>3</sub> 層準は B+C, C の群集からなる。M<sub>2</sub> 層準では C 群集が地域の中心に分布し、B+C 群集がそれをとりまいている。B 群集も現われるが地域の北東部に分布するにすぎない。M<sub>1</sub> では C 群集は消え、B, B+C の群集が認められる。このことから M<sub>2</sub> より M<sub>1</sub> に向かって海が浅くなっていることがわかる。第2図に M<sub>2</sub> 層準の有孔虫化石群集の分布を示す。黒鉱鉱床は M<sub>2</sub> 層準にある。現在の黒潮水塊系の底生有孔虫類の分布と北鹿地域のそれとを直接比較すると、黒鉱胎層準の水深は200-1000m程度であり、

最も深い場合でも2000m以深の水深を考えることは難しい。第2図でB群集とB+C群集との境界がほぼ200mの水深を、B+CとCとの境界がほぼ500mの水深を示していると考えられる。

北鹿地域の有孔虫群集には2つの型がある。1つは砂質有孔虫だけからなる群集であり、他は石灰質有孔虫と砂質有孔虫とが共産する群集である。現在の海洋において、砂質有孔虫群集は内湾と CCD 以下の深海によく分布している。北鹿地域の砂質有孔虫群集は CCD 以下の深海に生息していたのであろうか。もしもそうだとすると4000-4500mの水深を考えることになり、その上下の層準より産する石灰質有孔虫から推定した水深と大きくくいちがう。

現在の鹿児島湾の湾奥部では、海底から火山ガスが噴出し、海底近くの海水の pH は6.5程度まで酸性になっていることが知られている。そこに生息する底生有孔虫類は全て砂質有孔虫類である。これに似た海況を北鹿地域で考えれば、浅い海であっても砂質有孔虫だけの群集が存在することの説明になりそうである。

(東京大学理学部)

## LANDSAT 画像からみた東北地方の構造特性 と火山性陥没の例について

長谷 紘和

地殻内部に形成された断裂は、たとえ断裂形成後激しい地殻運動がない場合でも、地質学的時間尺度からみるときわめて速やかに上位層中を伝播して地表にそのトレースが現われるものと考えられる。リモートセンシングデータ中に多数観察されるリニアメントはその事実を示している。

東北地方を対象に行なわれた LANDSAT 衛星画像による同地域のリニアメント抽出結果は、縮尺40万分の1の白黒画像(バンド4, 5, 6, 7)と同縮尺のカラー合成画像をもとに、2グループが独立して解析した結果から、両グループが共通して抽出したリニアメントを再抽出編集したものである。この編集方法には問題点が提起されているが、画像情報を主体に客観性の高い地質情報を抽出する解析作業には知覚心理学上の問題が加わり、詳細解析には主観が支配的となる。東北地方の解析結果を見ると、顕著なリニアメントについては両グループの結果に高い共通性が見られる。

解析の結果、従来注目されなかった主な特徴には次の2点があげられる。

### 1) 北東—南西方向のリニアメント

#### 2) 環状地形

環状地形はグリーンタフ地域中にも発達し、同地域の火山性造構運動を解明する上で重要な手がかりを与えるものと考えられる。

グリーンタフ地域から第四紀火山活動地域にかけて、LANDSAT 衛星画像から識別される大規模かつ明瞭な環状地形には、1)八幡平地域に発達する環状地形、2)十和田湖北西域に発達する環状地形などがあり、ともに直径が14-16 km に達するものである。これらについては評価のための地上調査が行われ、ともに火山性構造運動に帰因する地形特徴であることが結論された。

前者はグリーンタフ陥没地域内に発達するマグマの再生活動に関連すると考えられ、これについてのべる。

八幡平地域に発達する環状地形の評価は、広域地熱資源の賦存状態を明らかにするための研究の一環としてこれを行ったものである。

環状地形は、直接的には玉川とその支流が形成する流系パターンによって特徴づけられ、東西にやや偏平な円形を示す。環状地形発達地域は、「玉川熔結凝灰岩類」として一括される流紋岩質—デイサイト質凝灰岩類によ

って広く覆われ、環状地形を説明し得る独立火山は発達しない。

### 1) 基盤の特徴

「玉川熔結凝灰岩類」およびその上位の第四紀火山岩類の「基盤」をなすのは、第三紀中新世の頁岩およびグリーンタフ類で、南北に長軸をもつ山稜と谷の配列が、窓状の露出から推定できるが、環状地形発達地域ではそれが見られず、「基盤」の陥没が推定される。

### 2) 層位・構造上の特徴

「玉川熔結凝灰岩類」は堆積様式から大別すると、熔結した陸域堆積物と層理凝灰岩層をさむ水域堆積物とに分けられる。この湖成堆積物の一部は、環状地形の外側を取り巻いて分布し、同地形の形成に一部関与しているが、水域がカルデラ湖であるかどうかは現在不詳である。

環状地形の内域の一部には、湾曲する向斜軸が、同地形に調和的に発達するのが追跡される。

熔結凝灰岩の一部は環状地形の中心から外側に向かって約20°傾斜しており、熔結凝灰岩堆積後、中心域の隆起が推定できる。

### 3) 断裂系

「玉川熔結凝灰岩類」は塊状を示し、断裂系の発達頻度は低い。同岩類中に発達する系統的な断裂は下位層中に発達する主要な断裂の上方伝播の結果と、同岩類堆積以降のテクトニクスを反映すると考えられる。断裂系測定の結果、環状水系に沿う断裂の発達には顕著ではないが一部に認められ、環状地形の中心から放射状に発達すると考えると調和的な断裂系の発達が確かめられた。

### 4) 重力・磁力データ

なお本地域は、重力ならびに空中磁気測定が行われており、重力データは測定点が少ないものの環状地形発達地域が基盤の相対的隆起域であることを示唆している。空中磁気図では逆にこの地域が低磁力域になっており、これは基盤内の磁氣的性質を反映するものと解釈されている(小川克郎談話)。空中磁気図の低磁力域の広がりには環状地形と調和的である。

以上の諸事実から、八幡平地域では酸性火砕流噴出後マグマ活動が地下深部で再び活発となり、それが環状地形に反映されたと考える。

(地殻熱部)



## 酸素及び水素同位体によるカルデラ 底熱水系の復元

松久 幸敬

カルデラの形成にともなって、熱水の活動とともにしばしば鉱床の形成が観察される。この鉱床を形成した鉱化溶液と熱水とは、密接な関係があると考えられる。一方、今日の地熱地域から得られる水は、周囲の高温の岩石と同位体交換反応を起した結果、酸素18に富んでいる例がしばしば見られる。このとき、熱水が天水起源であれば、高温で多量の水と反応した岩石は、新鮮な岩石にくらべて酸素18に乏しくなる。いいかえれば、地熱活動の記録は、その活動が終了後でも、岩石の同位体組成に記録されている。そこで、カルデラに伴う地熱活動地域の岩石の酸素及び水素同位体組成の研究は、地熱活動のひろがりや、地熱活動と地質構造の関係、熱水の起源、岩石と水の量比といったことについての情報を与えてくれるだろう。またそこから、熱水と鉱化溶液の関係についても、示唆が得られるであろう。

浜田陥没体は、西南日本の大阪の西方約 300 km の日本海側に位置し、直径約 10 km の古第三紀の陥没体で、安山岩質から流紋岩質の火山岩類と閃緑岩質から花崗岩質の貫入岩類からなる。ここでは、この陥没体を例として、岩石の酸素及び水素同位体組成にもとづいて、陥没体内部での熱水系の復元を試みたい。

浜田陥没体は、中生代の火山岩類及び変成岩類の中に、周囲を断層でかこまれて形成されている。陥没体の東縁及び西縁は、それぞれ花崗岩及び石英閃緑岩の貫入岩体につらぬかれている。石英閃緑岩の小岩株は、陥没体内部にもいくつか見られる。陥没体東縁の雲城花崗岩体は、もともとは鉱物組成も化学組成も均質な岩体であったと思われるが、黒雲母に対する磁鉄鉱の量比が外側にいくほど高くなる累帯構造を示している。黒雲母は多かれ少なかれ緑泥石化し、鉄含有量は岩石中の磁鉄鉱の量が増加するほど低下する。おそらく黒雲母は二次的に酸化されて磁鉄鉱をはき出したと考えられる。熱水によって溶脱されたと思われる白色の石英-セリサイト岩も岩体周縁部で見られる。これらの事実は、かつて陥没体内に活発な地熱活動が存在し、花崗岩体に外から熱水が浸透していったことを示唆している。

全岩の  $\delta^{18}\text{O}$  値 (SMOW に対する) は、火山岩類で

-2.3から+4.9‰、花崗岩類で-1.8から+7.0‰の範囲を示す。 $\delta\text{D}$  値は-101から-88‰である。岩石の  $\text{SiO}_2$  含有量と  $\delta^{18}\text{O}$  値との相関は見られない。これらの低い  $\delta^{18}\text{O}$  値は、高温で酸素18に乏しい天水起源の水との同位体交換反応があったこと、いいかえれば、過去における地熱活動の存在を示唆している。また、 $\delta^{18}\text{O}$  値の低い岩石が陥没体全体にわたって分布していることは、その地熱活動が陥没全体にひろがっていたことを示している。

全岩の  $\delta^{18}\text{O}$  値の分布には累帯構造が見られ、最も低い値(-2.3‰)は陥没体の中心部に見られる。この陥没体の岩石のもともとの同位体組成は狭い範囲にあったと推定されるので、現在のより低い  $\delta^{18}\text{O}$  値は、反応におけるより高い水-岩石比か、より高い反応温度を反映しているものと考えられる。 $\delta^{18}\text{O}$  値の分布のパターンは、熱源となったと思われる貫入岩体の分布ではなく、陥没体内の割れ目の分布に関係しているように見える。熱水は、割れ目にそってより容易に浸透し、その結果、割れ目の周辺で水-岩石比が高くなり、 $\delta^{18}\text{O}$  値の低い岩石が形成されたのであろう。 $\delta^{18}\text{O}$  値の低い岩石(結晶片岩の-2.0‰)は、貫入岩体と壁岩との接触部にも見られる。異なる岩体の境界も、熱水の通りやすい通路であるだろう。

雲城花崗岩体内部では酸素同位体組成の累帯構造がみられ、岩体の外側ほど  $\delta^{18}\text{O}$  値が低くなる。これは、すでに述べた岩石の酸化の程度のパターンと一致している。長石は共存する石英に比べて酸素18の低下の程度が大きい。熱水変質によって生じたセリサイトの  $\delta^{18}\text{O}$  値は-2.8‰、 $\delta\text{D}$  値は-78‰である。岩体の中心部ではもとの新鮮な岩石が残っていて、その  $\delta^{18}\text{O}$  値は+7.0‰である。この岩石中の石英-アルカリ長石-磁鉄鉱の組合せは、およそ650°Cでの同位体平衡を示す。

セリサイトと250°Cで平衡にあると仮定した熱水の同位体組成は、この地域の現在の天水の組成範囲におちる( $\delta^{18}\text{O} = -7.5\%$ ,  $\delta\text{D} = -50\%$ )。もし温度がもっと高ければ、水はさらに酸素18に富んでいたことになる。いずれにせよ、浜田陥没体の熱水は、天水起源の地下水そのものか、少なくとも若干の酸素18シフトをおこした天水起源の水であろう。このような水との平衡モデルにもとづいて計算される岩石の熱水変質の反応温度は200°Cから400°C、その際の水と岩石の重量比はほぼ1である。

(鉱床部)