

地下資源とは何か

地下資源のほとんどは化石である

編集 この辺で地下資源のことをお聞きしたいのですが……

井尻 地下資源がどこにあるかというのは、先ほど湊さんが話されたように、でたらめに分布しているのではなく、造山運動の原則にしたがって地下に存在しているわけですが、この地下資源といわれるものをよくみてみますと、そのほとんどが化石なんです。

まず生物の遺体の化石としては、珪藻土がありますね。珪藻土というのは、断熱レンガ、絶縁体、吸着剤、ろ過剤などに使われているもので、いまの家庭では使われていないかも知れませんが、七輪の原料がこの珪藻土です。これは、その名前のとおり、珪藻という単細胞植物の遺体が集合してできたものです。

また、御影石の話が先ほどから何回となく出ておりましたが、同じ建築材料でも大理石の話が出てこなかったの、それを申し上げますと、このもとがやはり生物なんです。

大理石というのは、石灰岩が再結晶してできたものですが、この石灰岩——これは生石灰・カーバイト・セメントの原料としてガラス工業・製鉄・ソーダ工業などが必要とする地下資源ですが——これも、有孔虫のような単細胞動物の遺骸が非常にたくさん集まってできたものです。石灰岩には有孔虫以外にも、石灰藻、紡錘虫、サンゴ、巻貝、二枚貝、ウニ、アンモナイト、あるいはココリスとよばれる単細胞生物の超微化石など、いろいろの化石が含まれていて、それは石灰岩のできる地質時代によって違っていきますが、いづれにしても、こういった生物遺骸がたくさん集ってできたものです。

ですから、建物の柱などに使われている大理石のうち、変成度のすくない大理石——赤、黄、白などは変成度が強いので、どちらかといえば黒っぽい大理石を注意して見ていますと、こういった化石が入っているものにぶつかることもあるわけです。また最近では、チャート（珪石の一種）は、たいいていのものが放散虫とよばれる珪質の殻をもった、単細胞動物の殻の化石の集合であることもわかってきました。

バクテリアの働き——

石炭・石油からさまざまな金属資源まで

それから先ほども話に出ておりました石炭です

が、これは植物の遺体が変形したり、変質してできたものです。ただそこにもう一つ、バクテリアの働きも加わっています。植物体をつくっているリグニン、せんい素、たんぱく質、脂肪、ワックス、樹脂、キチンなどは、酸素のとばしい水底でゆっくりと分解して、泥炭や石炭に変わっていくわけですが、その植物体の分解には、腐生菌、糸状菌など数十種のバクテリアが働いていて、その活動の産物が石炭として残されているわけです。つまり、石炭というのは、バクテリアの化石でもあるわけです。

石油も同じようなもので、石油はプランクトンを主体にした海の生物の遺体の変形、変質したものです。この場合にも、生物体を分解する時に、硫酸還元菌をはじめいろいろのバクテリアの働きが作用しています。

では金属資源はどうか。普通の人は、金属資源といえば、地球の内部からマグマが運び出してくるというように考えがちですが、これが案外そうでないのです。

たとえば、ソ連、アメリカ、中国など、世界の大きな鉄鉱床は、先カンブリア時代の鉄バクテリアの遺骸が集ってできたようなものですし、マンガン鉱床にしても、その一部はマンガンバクテリアの遺骸の集まりであることがわかってきています。硫黄鉱床の一部も硫黄バクテリアの働きでできたものです。

これ以外にも最近では、まさかと思うような金属資源まで——バリウム、銅、亜鉛、ストロンチウム、ヴァナジウムなどの鉱床も、何らかの形で生物源と考えられるようになってきています。というのは、一般に生物体というものには、こういった金属元素が非常にわづかにですが含まれています。はやりの言葉で言えば ppm の単位で含まれているわけです。

そしてそういった生物がたくさん集まって死に、何百万年、何千万年とかかれば、大へんな量がある地域に蓄積されます。

もちろん、この間に生化学的作用で同じ種類の元素が集積されたり、あるいは食物連鎖の過程での濃縮という作用もおこなわれるでしょう。そのようなところに先ほどからの話にあるように、いろいろな火山岩が貫いてくれば、元素は濃集されて鉱床になってしまうわけです。なるほど見かけ上はマグマからできたものの中に入っているけれども、その金属元素がほんとうにたまった場所というのは、生物の遺骸がたまった

ところで、そこからしぼり出されるようにして金属鉱床ができるというわけです。こういう見方が最近強くなってきています。

それからまた、生物の中には、その体内にフッ素、リン、マグネシウム、マンガン、ゲルマニウム、コバルト、ニッケル、モリブデン、タリウム、ビスマスなどを集積する種類があることもわかってきております。これに最近の生化学の進歩とあわせ考えますと、将来、予想外のものが生物源として見直されてくる可能性も強いわけです。

金属鉱床に対する従来の考え方

舟橋 いまの井尻さんのお話の続きということになりますが、少し前までは、金属鉱床というのはすべて火成岩を源としていわれていると言われておりました。

たとえばマンガン鉱ができる過程というのは、次のように説明されていました。すなわち、どろどろに溶けたマグマのなかにいろんな種類の雑多な金属が微量に溶かされている。そしてマグマに含まれる大部分の元素は、みんな結晶して岩石の構成鉱物として固まってしまうが、最後の残り汁といいますが、残液の中に、微量金属がみんなはきだめのようにはき寄せられて、そしてマグマが上に上がってくる通り道を追っかけてきて、そのマグマの固まった火成岩のまわりにむらがって沈澱して鉱脈になる。というのが、今までの金属鉱脈のでき方とされていたわけなんです。

堆積岩に固定される金属

ところが近ごろは、その考え方ががらりと変わってきてまして、やはりそういういろんな金属というようなものは、本来マグマの中に含まれているものも確かにあるけれども、とくに銅、鉛、亜鉛といったようなどこにでもあるような金属は、みんな一度は堆積岩の中に入った、そういう経歴をもつものだということがわかってきたんです。

それといいいますのも、さきほども花こう岩のおいたちのところでお話ししましたように、地表の岩石に含まれるいろいろな金属元素というのは、まず風化作用によって、ふるい分けられます。マグネシウム、カルシウム、鉄、カリウム、ナトリウム、そういうものは風化作用の場ではやく溶かされて、さきに流されてしまいます。そのあとに、珪素とかアルミニウムのようないくつかの比較的残留性の強い金属が、泥と一緒になっ

てあとを追っかけて流されていきます。
ですから、はじめに玄武岩石の中に分散して含まれていた金属が、そういう風化の過程で、すでに大きく振り分けられて、海にもっていかれるわけです。それからあとが井尻さんがいま言われたように、ほとんどの金属元素は生物の体内を一度通って、生物の生活作用を通して堆積岩の中に固定される。

ですから、いろんな場所の泥や砂の微量を分析しますと、銅、鉛、亜鉛といったものは0.001ぐらいのオーダーでみんな入っているのです。

深部からの酸性スチームのはたらき

それで、地向斜の海の底にはそういうものが、銅、鉛、亜鉛というものが、いま言った過程で陸地からはき出されて厚くたまってきます。そこに、先ほど申しました地球の深部からのスチーム、それが何万mもの通路をとあって、しみ通りながら上がってきます。

ところでこのスチームというのは、非常に酸性度の強いものなんです。そういうことがはっきりと分かってきた。そうしますと、酸性の強いスチームが堆積岩の中を通るのですから、まず一番先に銅、鉛、亜鉛といった重金属はみんなこの酸性スチームに溶かされていく。そうしながらこのスチームは、上へ上へとどんどん上がってきます。そして上の方にくれば、こんどはその酸性度がだんだんと中和されて落ちてきて、あるところにそういうpHがからみますと、金属というのはみんな沈澱してしまいます。

火成岩の鉱物は資源にならない

ところで、一般に金属というのは、火成岩の中にありますと、たいてい珪素と結びついて、珪酸塩鉱物をつくるのですが、このように珪素と金属が結びついてしまいますと、これは離すのにものすごいエネルギーがいるのです。実験室などでは、一応溶かして金属だけを分離することができますが、これを普通の製錬所などでやったらものすごく金がかかって、とても採算に合わない。ですから珪酸塩鉱物という形では、いくら金属があっても資源にはならないのです。

鉱脈・鉱床のでき方

しかし先ほど申しましたように、堆積岩から溶けて上がってきたものはどうかといいますと、それは火成岩などにくらべれば、かなり温度の低いところで溶けて、そしてやがて沈んでしまったものです。ですから、みんな酸化物とか硫化物（硫黄と金属が結合している）、あるいは

炭酸塩鉱物というようなものになっている。

こういうものは、原始人がやったように、その鉱物を一緒にして燃やすと、還元されて重金属がどんどんできます。エネルギーが非常に少なくてすみますから、経済的にも非常に利点があるわけです。しかもこういうプロセスをたどってできた酸化物や硫化物は、スチームによってはき出されてくるものですから、ある狭い割れ目があれば、そこに全部沈んでくるわけです。ですから、その量も非常に多くなります。こうして鉱脈ができて上がります。

このように金属鉱床に対する考え方が、いまではがらりと変わってきております。かつては鉱床というのは、すべてのマグマの直接の産物であるというように、わからない部分はみんなマグマのせいになっていたのですが、いまではそういうことはありません。一つの金属を取り出しても、それは風化の場を経て堆積の場に運ばれ、生物の媒介を経て堆積岩のうちに固定される。堆積の場では、だんだんと深部へ沈められますが、より深部から上がってきたスチームによって、また上のレベルに運ばれ、そして酸化物とか硫化物となって、適当な狭い場所につぎ

つぎと沈澱され、そこに高い金属濃度の鉱脈・鉱床をつくりあげる。こういうプロセスをたどることがわかってきたわけです。

ですから、先ほど井尻さんが言われましたように、鉄鉱とかマンガンとか、そういうものは、堆積の場ですでに高い濃度に達し、それぞれ鉄鉱床、マンガン鉱床とよばれる状態に到達しているのです。日本でも大部分の鉱床、たとえば東北地方にある銅の尾去沢、あるいは黒鉱とよばれるものは、そういうスチームの媒介によって、下位の堆積岩中に稀薄な分散状態にあった重金属が抽出され、これが浅いレベルに溶液の形で運搬され、適当な場所に沈澱したのだ——このように考えられています。

グリントフ造山と黒鉱

——初期火成活動の中心地帯に——

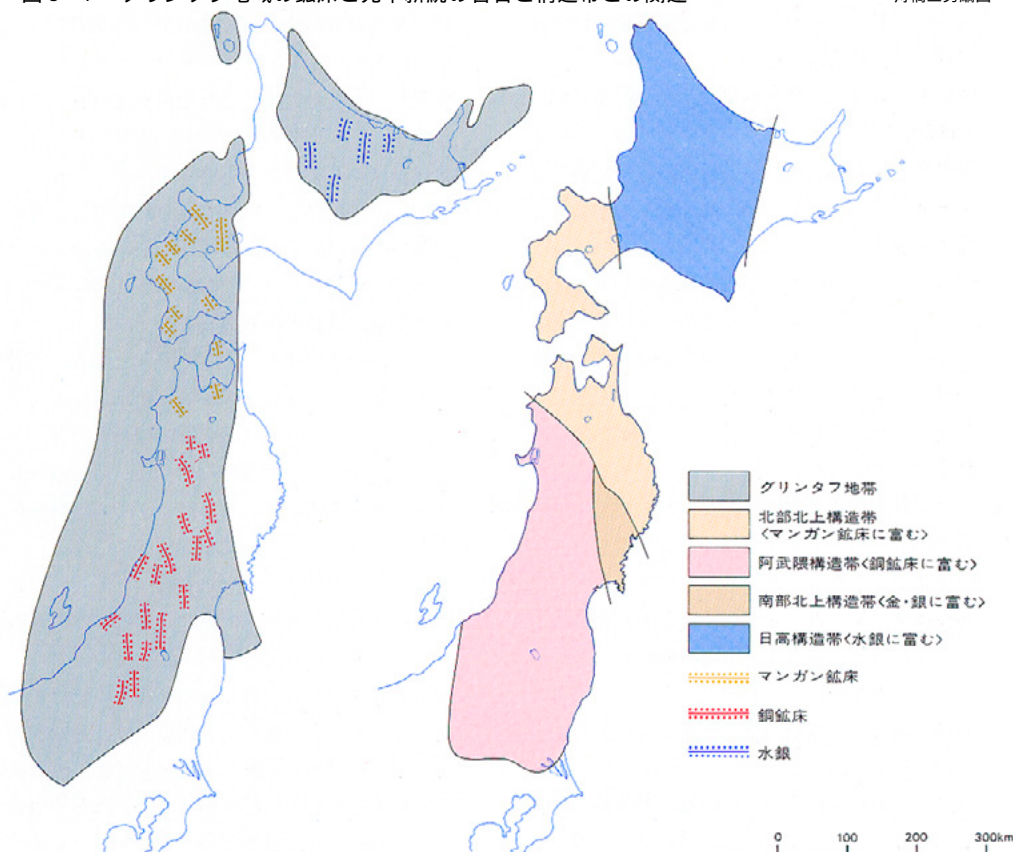
編集 そうすると、日本の地下資源のあり方というものも、グリントフ造山運動などと密接な関連をもっているわけですか。

藤田 そのとおりです。いま舟橋さんが触れた黒鉱、あるいは石油や天然ガスなども、グリントフ造山運動の過程で生じたものです。

黒鉱というのは、1959年に秋田県の小坂内で、

図8・1 - グリントフ地域の鉱床と先中新統の岩石と構造帯との関連

<舟橋三男編図>



埋蔵量1,000万トン規模の金属鉱床が発見されて、鉱業界にセンセーションをまきおこしたもので、銅・鉛・亜鉛・金・銀などの資源として欠かせないものの一つです。これは、グリンタフ造山運動の初期の地向斜の時期に行なわれた海底の火山活動、その噴出物にともなうものです。造山運動における初期火成活動の産物というわけです。

グリンタフ造山の場合、こうした初期火成活動の舞台は、東北地方でいいますと、今の背梁山脈の地帯が中心だったのです。そのために、黒鉱というのは、東北地方の中央部にたくさん知られているのです。

グリンタフ造山と石油

——造山運動後期の変動地帯に——

それから、グリンタフ造山が残したもう一つの資源として、石油や石油ガスがあります。黒鉱をもたらした初期火成活動が終った後も、引きつづき地向斜の海底はどんどん沈みながら、そこに厚い泥や砂がたまります。海中に大繁殖したプランクトンなどの生物遺骸は、海底につもると同時に泥や砂におおわれ、地下へおしこめられ、各種の化学反応をうけながら、いわゆる原油が生じるといわれます。しかし、こうして原油が生じたとしても、それがあつ場所集油されなくては資源とはなりえないのです。幸いにしばしば、このような集油に都合のよい変動が生じます。造山運動の後期に生じる地層のしわ（褶曲）の運動、ドーム状の隆起、地層のずれ（断層）などの構造が、原油を集める役割を果たします。

ところで、さきほど将棋倒し構造としてお話ししましたように、地向斜のはじまる背梁山脈付近には、古い沈降期の地層が発達し、日本海側には、より新しい地降期の地層が発達しました。このために、同じグリンタフ造山運動の産物といっても、その生成時期が異なるために、黒鉱と石油の産出する地域はあきらかに異なっています。造山運動の初期の産物である黒鉱が背梁山脈側にあつて、造山運動の後期の変動と関係のある石油が、日本海沿岸の秋田とか新潟地方に分布するのは、こうした将棋倒し構造と関係があるのです。

グリンタフ造山運動は古い鉱床の金属を選鉱・精錬した

湊 いまの黒鉱の話をもう少し補充しますと、一つには、グリンタフ地帯だからといって、そ

のすべての地域に黒鉱があるわけではないのです。それから、地域によって鉱床の性質がちがいます。

たとえば、秋田県の大館市周辺の北鹿^{ほくろく}地帯は、銅がかなりある。鉛、亜鉛もあるし金・銀もあるといつていいと思います。ところが北鹿から南にいくと、金・銀も少し入っているけれども銅はずつと少ない。また北海道の方に行くと、マンガンが多いんです。このように黒鉱に関する限り、グリンタフの中でも偏在している。どうして偏在しているのかといつますと、グリンタフの下には、古い造山帯が存在するからなんです。その古い造山運動のときにも、すでにそれぞれの鉱床がつくられている。造山運動からいつますと、日本は、さきほどの藤田さんの話にもありましたように、三階建、四階建ぐらいになっている。先カンブリアの時代、古生代の末、それから日高造山の時代、それから最後にグリンタフ造山というのがおきています。それで先ほど舟橋さんのお話にもありましたように、鉱脈というのは、下からのスチームが上がってくるときに、金属を溶かしこんできて出来上がるわけです。ですからグリンタフ造山は、古い鉱床の金属をもう一度、選鉱、精錬していることになる。そのため、古い造山帯のあり方、古い鉱床のあり方によって、グリンタフのさいにできる鉱床の中の金属の性質や量が違ってくるわけです。図8-1をみれば、その辺の事情がよくおわかりいただけると思います。

このように、黒鉱というのは何回もの造山運動はよつて、人間が使える程度に金属を濃集させてきた、そういう点に特徴があると思います。大陸の地下資源のあり方大陸の大山脈ですと、もう一回きりの造山運動で十分使えるような鉱床がつくられているんですが、日本の場合には、金属の種類という点からいえば、非常に豊富なんですが、何しろ入れ物が小さいですから、万事につけてスケールが小さい、そういうことになります。

それから、いまはグリンタフ造山と関連して資源の話が出ましたので、火成作用による鉱床のことが話題になりましたが、鉱床というのは、何も火成作用だけを通じてできるものではありません。もともと鉱脈というものは、先ほど井尻さんや舟橋さんの話にもありましたように、生物源のものが非常に多いわけで、それが造山運動のさいの火成活動によって濃集されてくる。

何回も造山運動があれば、濃集の度合いも強くなつて、人間が使えるだけの量がたまっていくわけです。ですから場合によっては、生物がただそこで死んで、堆積したものだけでも膨大なスケールの鉱床ができあがります。

さきほどの井尻さんの話にもありましたように、大陸の安定帯の方には、鉄バクテリアによってつくられたスケールの大きい鉄鉱床があります。銅についても、堆積岩のような層をなしているものがあります。それは銅・サントと言つて、世界のいろんな地域にある。日本の近くでは、ソ連のアムール川流域にあるウドカンというのが有名です。アフリカにも、カナダにもこういう層が大量にあります。

編集 どんなところに、どんな資源があるかというのは大体はわかっているんですか？

湊 陸上のほうは、かなりわかつてきていますね。いまは次第に海底ということになっていると思うんですが、ただ資源というのは変わつていまして、たとえば石油のように、あと30年しかないと言つていたのが30年たつと、またあと30年というぐあいになる。（笑）

たとえば中国では、四川省を除いたらなかったんですが、東北地方から大慶油田をみつけたり、その後、渤海湾岸からも多量に出しているわけですね。だから、技術が進歩していけば、それだけ資源の確定鉱量はふえるわけです。

現在、海底油田は50mぐらゐの浅海が限度ではないでしょうか。ところが、近い将来に1000mの深海まで掘れるということになれば、これはまたふえるということになりますね。ただし、これは大陸棚以外の地域ですね。そういうところまでやれるということになると、石油は、そう簡単になくなるものではない。

そして、資源がどこに存在するかといえは、これは、さき程からお話ししているように、でたらめにあるわけではなく、やはり造山運動の過程でできていくものですから、そうした発生学的な原則と理論に従つてさがしていく、そういうことになるといふ思います。