

3) これに反し石油中の炭素はさらに ^{12}C を濃縮している

ことを用いている(第5図).

また Urey その他は酸素の同位体比($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)により古代海水温度の推定を行なっている.

将来の堆積岩の地球化学

堆積岩の化学分析の数は火成岩のそれにくらべると圧倒的に少なく また化学組成の変化は火成岩よりはるかに

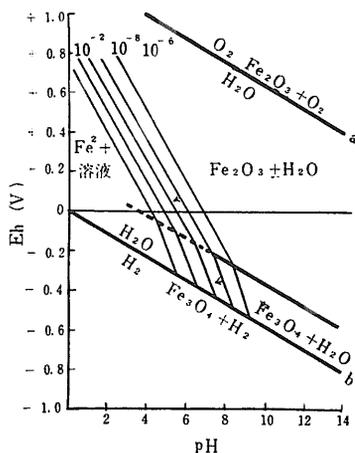
に大きいため 地球化学的立場からさらに多くの化学分析を行なうことが望まれている.

堆積環境推定のために非常に大きな役割を果たしている 粘土鉱物の生成条件を知るための多くの実験が必要であり 主成分を含めて多くの元素および同位体の分配についての知識もゆるがせにできない. また続成作用(diagenesis)による堆積岩の変化 元素の移動・交換などの地球化学的研究の充実が期待される.

金属鉱床・非金属鉱床 と地球化学

はじめに

地殻を構成している物質は 火成岩や堆積岩あるいは変成岩などの岩石で大部分がしめられている. これらの岩石中にある特定の元素が 普通の岩石に比較して濃縮している場合がしばしば見出される. このように特定の元素を主成分とする物質を比較的多量に含んでいる場合 普通の岩石と区別して **鉱床** とよんでいる(第1表). 地球化学の立場からは特殊な元素分布を示す鉱床が なぜできたかを化学的に検討することが最も重要である. すなわち 堆積性鉱床であれば 鉱石を詳細に研究して元素の濃縮をもたらした物理化学的因子 (pH Eh 溶液の濃度 圧力など)を検討すべきであるし 熱水鉱床の場合には 鉱床を生成した熱水の性質の解明 生成した個々の鉱物の共生関係 化学的性質 さらにこれら鉱物生成時の物理化学的因子などを一つ一つ検討



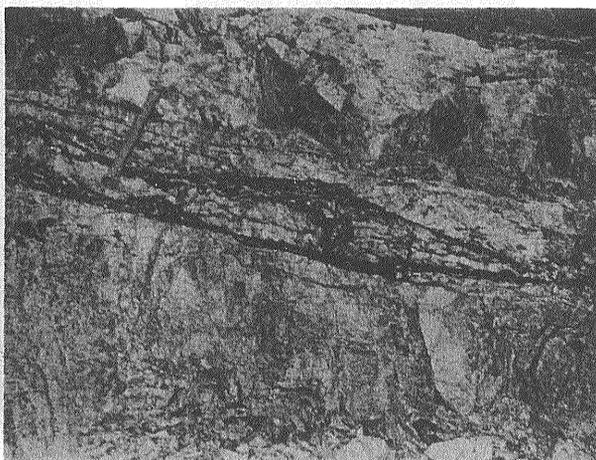
第1図 水中における Fe_2O_8 , Fe_3O_4 の安定域 Garrels (1960) による 溶解種の全活量: 10^{-6}mol/l の場合を太線で示す (25°C 1気圧)

討して行かねばならない.

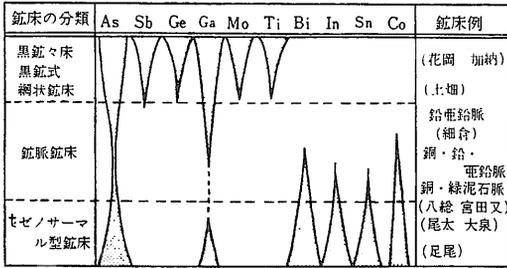
鉱床周辺の元素の分散を利用して 鉱床発見の一手段とする **地化学探鉱** も 鉱床の地球化学の大きな応用面である. この場合には 鉱床が風化その他の環境で元素をどのように分散して行くか またその鉱床がどのような元素を濃縮しているかを十分に理解する必要がある. 地球化学的立場からの鉱床成因論 あるいは地化学探鉱を研究する場合には これまでの地質学的な成因論 鉱物共生関係 鉱床の二次風化の地質的關係などを十分理解し 地質 鉱床学者との緊密な連携の下に行なわれねばならない.



典型的な堆積性層状鉄鉱床(インド Noamundi 鉱山)
写真の上部は massive ore 下部は powdery ore



熱水鉛鉄-石英脈 (島根県東山鉱山 大延鉄床 3号脈)



第2図 東北日本内帯鉄床区の鉄床の形態別鉄石鉱物（閃亜鉛鉱および黄銅鉱）の微量成分の挙動（高橋清 1963 から）

地球化学的な問題点

鉄床はその型式によって 火成鉄床 堆積性鉄床および変成鉄床に分類される。火成鉄床にはペグマタイト鉄床 気成鉄床 接触鉄床 熱水鉄床などに分けられさらに火山活動に伴う噴気性鉄床や温泉作用による鉄床まで含まれる。濃縮する元素も クロム・鉄・チタン・金・銀・銅・鉛・亜鉛・ニッケル・コバルト・錫・タングステン・アンチモン・砒素・イオウなど多種にわたっている。堆積性鉄床は 岩石の風化作用・海底や湖底での機械的・化学的あるいは生物による沈殿堆積作用で生成した鉄床で ポーキサイト・鉄・ニッケル・マンガンあるいは石灰石などの各種の鉄床がある。

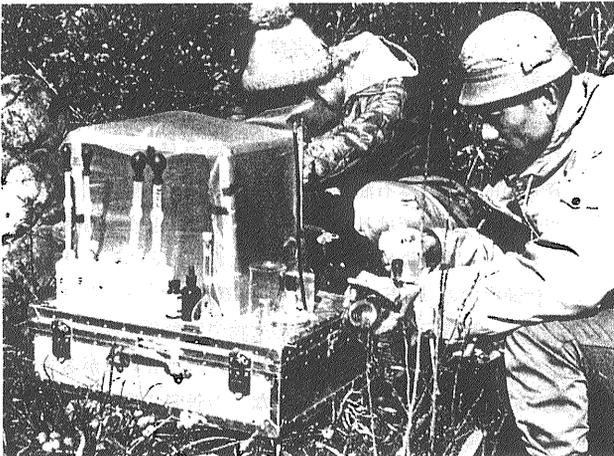
これらの鉄床の中で 堆積性鉄床は 堆積作用が非常に化学的要素が強く支配し 常温常圧に近い状態で行なわれるために古くから地球化学的研究が行なわれた。すなわち pH と酸化還元電位 (Eh) の役割や イオン化電圧やコロイドの役割などが詳細に研究され ポーキサイト 層状鉄 マンガン鉄床の成因の究明に役立っている。第 1 図は熱力学的計算から鉄の沈殿反応における pH Eh の関係を検討した状態図で 赤鉄鉱 (Fe₂O₃) 磁鉄鉱 (Fe₃O₄) および溶液中の Fe²⁺ の間の平衡関係を示している。このような関係は多くの元素について 多くの陰イオンの存在の下に研究が進められ より天然に近い状態での状態図の作製に努力されている。

第1表 地殻中の鉄床の部分に濃縮した元素の存在量

元 素	地殻における元素の存在量 (wt.%)	有用鉄床としての存在量		濃 縮 率
		最低存在量 (wt.%)	標準品位 (wt.%)	
Al	8.13	30	35~40	4
Fe	5.00	30	50	6
Mn	0.10	35	45	350
Cr	0.02	30	40	1,500
Cu	0.007	1	1~1.5	140
Ni	0.008	1.5	1~3	175
Sn	0.004	1	2~3	250
Pb	0.0016	4	5~6	2,500
U	0.0002	0.1	0.1	500
Ag	0.000005	0.05	0.05	10,000
Au	0.0000001	0.001	0.001	10,000
Zn	0.013	4	8	300

(渡辺武男：現代の自然観 2 P.269 1961から)

ところが 火成鉄床の場合には 火成作用の進化に伴って各種の鉄床の作られる状態は断片的にみられるに過ぎず 鉄床を生成した熱水溶液の性質 鉄床をつくるほどの多量の元素の移動の形態など主要な点は未だほとんどわかっていない有様である。また生成した鉄物についても硫化鉄物の合成実験がいとぐちについたばかりでありさらに多くの実験が望まれている。これらの火成鉄床の地球化学としては 熱水溶液の性質の物理化学的解明 硫化鉄物の合成などの理論的・実験的な面とともに構成鉄物中の微量成分・安定同位体比を含めた元素の分配・液体包有物の検討など行なうべき問題は数多くある。たとえば硫化鉄物の合成実験は現在までは比較的単純な系を珪酸塩の合成実験のために考案され確立された方法で行なわれ 天然での硫化鉄物の生成条件とはかけ離れている場合が多かった。最近 これらの問題で最も重要であったイオウの圧力を自由に調節できる方法 (electrum-tarnish 法) をアメリカ地質調査所の Barton らが考案し これからの画期的な発展が期待されている。鉄床の成因を解明する一手段として 鉄物の共生関係と密接な関係をもつ鉄物中の微量成分の研究がある。多くの場合 微量成分の分布は鉄床の生成条件を反映しているが(第2図)そのためには鉄物中の微量成分がどの



石灰石鉄床の現地分析 現地では Ca Mg; 現地実験室で P Mn などの分析を行なう



金属鉄床の地化学探鉱における土壌の採取

ような形態で存在しているかを確かめなければならない。このためにはX線マイクロアナライザーの活用が望まれる。また イオウおよび炭素の同位体比 ($S^{32}/S^{34}C^{12}/C^{13}$) も鉱床の成因解明に役立っている。このように鉱床の地球化学的研究は大きな視野に立ってみれば 熱水溶液の性質 元素の移動の機構 硫化鉱物の生成条件など多くの点で未解決な問題点が多い。

地 化 学 探 鉱

地球化学の応用分野である地化学探鉱は 近年世界各地でおおいに活用されはじめてきた。 鉱床周辺の元素の分散には 一次的に鉱床生成時に鉱液の作用により種々の元素が鉱体周辺に分散供給されるなどの場合と 二次的に鉱体やその周辺にある元素が風化などによって水・土壌・植物などに分散する場合などが考えられる。地化学探鉱は これらの元素の分散異常を測定して鉱床の発見に寄与する目的で行なわれる。 サンプリングの対象としては 探鉱地域の土壌と岩石 地下水 植物 河川水 現河川の堆積物などが挙げられる。 サンプリングと元素の分散異常を求めることは一般に簡単であるが、その解釈にはたいへんな困難を伴う場合が多い。そのためには地質学者との密接な連携のもとに地域の地質環境を把握し、さら予備的な研究を行なって 元素分

散異常の原因を確かめておかねばならない。

分析方法も単元素あるいは2〜3の元素に適用できる比色法から分光分析法により多くの元素を分析し 多元素相関により 鉱床探査への適用度を高めてゆく方向に進んでいる。

地化学探鉱も今後の発展のためには 広く各鉱化帯ごとの地化学探鉱図の作製とともに 種々の型式の鉱床について 詳細な元素の分布を明らかにして適用し得る元素をえらび またこれらからの元素の二次的分散の機構などもより詳細に研究すべきであろう。



金属鉱床の地化学探鉱における河川水の採取(採取した試料水は pH Hg Cu Pb Zn SO_4^{2-} などの分析が行なわれる)

燃料鉱床と地球化学

燃料鉱床とは 可燃性天然ガス 石油 石炭の各鉱床をいう。これらの鉱床に関する地球化学的研究は 炭化水素の気圏 水圏 岩石圏(主として堆積岩)における分布 各圏相互間の循環と鉱床の微量元素の分布などに関する基礎的な研究と 鉱床の成因 探査などの応用的研究に分けられる。しかし両者を分離して考えることはできない。

炭化水素の分布と循環

この問題は 生物圏の地球化学の主要な部分を占めている。炭素 水素 炭化水素の各圏における分布と循環を調べることは 直接炭化水素鉱床の成因の研究に結びつくことになる。たとえば 炭素の循環についてみ

ると 気圏 水圏の炭酸ガスは 光合成 生化学作用などの過程をへて生物体の生成に関与し この生物体は堆積 分解 変質されて各種有機物となる さらにこの有機物は酸化環境の下で酸化されて炭酸ガスとなり 気圏 水圏にもどる一連の循環がある。この循環の過程で濃縮された炭化水素が燃料鉱床である。

微量元素の分布

生物圏は地球上できわめてわずかの部分を占めているにすぎないが われわれの生命 生活に最も関係のある元素が存在する。生物とその分解物中には30種以上の元素が存在しているが 燃料鉱床においてとくに濃縮され資源的に重要な元素は 天然ガス中の He (現在の He 資源のほとんどは石油系天然ガス 不燃性天然ガスから回収 また当所では日本の天然ガス中のヘリウム資源について5カ年計画で調査研究が行なわれている) 天然ガス付随水中の I_2 石油中の Ni V 石炭中の Ge などがある。微量元素は 原物質の生物中に含有するものあるいは続成作用の過程で2次的に入ったものがあり 鉱床成因および鉱床の堆積環境などの研究に重要な役割りをもっている。