中国山東半島の金鉱床の成因

島崎英彦* 季海章* 胡受奚**

Genesis of Gold Deposits in Shandong Peninsula, China

Hidehiko SHIMAZAKI*, Haizhang JI* and Shouxi HU**

I. はじめに

中華人民共和国山東省の山東半島には、始生代のグリーンストーンベルトが80km×100km程度の規模で広がっているが、この地域を中心として多数の金鉱床が胚胎していることが知られている。本地域の産金量は中国第一と言われ、明瞭な金の鉱床生成区を形成している。これまで始生代のグリーンストーンベルトは、カナダ・オーストラリア・アフリカなど世界各地の大陸において、金の鉱化作用の強い地域として知られており、山東半島もこの例外ではないと考えられる。しかし山東半島における実際の金の鉱化作用は、グリーンストーンベルトを貫いている中生代の花崗岩類に伴っていると報告されており、このような関係は世界のグリーンストーンベルトの金の鉱化作用としては異例である。

本研究はこの特異な産状に注目し、グリーンストーン・花崗岩類・金鉱化作用の三者間の関係を明らかにする目的で開始された。平成5年に約3週間の現地調査を行ない、グリーンストーンや花崗岩類の野外での産状を検討したほか、本地域の代表的な金鉱床で、それぞれ胚胎している地質環境が異なる焦家(Jiaojia)・馬家窪(Majiay-

ao)・金青頂(Jinqingding)の三鉱床から試料を採取した。またその後に引き続き室内研究により、金の移動と濃集の機構を考察することを試みた。研究は現在も続行中であるが、これまでに得られた検討結果のうちから、軽安定同位体組成による鉱化溶液の起源について主として報告する。

II. 調査地域の地質概要

山東半島の地質の概要と、今回調査した鉱床の位置を図1に示す。始生界は胶東(Jiaodong)層群とよばれるグリーンストーンベルトで、玄武岩から流紋岩の組成をもつソレライト系列～カルクアルカリ系列の火山岩や火山砕屑岩で構成されている(Ji *et al.*, 1994a)。形成の年代はおよそ24-26億年前とされる(Qiu, 1989)。この胶東層群の南半分を取り巻くような形で、高度の変成をうけた下部原生代の堆積岩類が分布する。これは荆山(Jingshan)層群とよばれ、典型的なコングライトシリーズに属することが分かっている(Ji *et al.*, 1994b)。原岩の堆積年代は、18-24億年前とされている(Lin and Yu, 1988)。

これら先カンブリア代の岩石は、その一部がその後の堆積岩類によって覆われているほか、様々な花崗岩類による貫入をうけている。花崗岩類の

* 東京大学大学院理学系研究科

** 南京大学地球科学系

* Division of Science, Graduate School, the University of Tokyo

** Department of Earth Sciences, Nanjing University

図 1 山東半島の地質概略と調査鉍山位置図

1. greenstone, 2. khondalite, 3. granite, 4. migmatite,
5. gold deposit, 6. late Proterozoic to Phanerozoic sediments

多くは中生代の燕山期に貫入したものであるが、半島の東には約 6 億 8 千万年前に形成されたとされる (Xu *et al.*, 1989) ミグマタイトも分布している。金鉍床はこれらの様々な岩石中に胚胎しており、石英脈の形をとるもののほか、鉍染状を呈するものなどが知られている。また金の鉍化地域には多数のランプロファイアーの岩脈がみられる。これまでにも世界各地で、ランプロファイアーは金の鉍化と密接な関係をもつことがあると指摘されているが (Rock, 1991), 本地域はこのような関係を考察するのに絶好のフィールドとなっている。

III. 焦家鉍床

本鉍床は胶東層群のグリーンストーンと燕山期花崗岩類との境界部付近に位置する。鉍床地域ではこれらの岩石は、ミロナイト化した断層帯で接している。鉍化作用はこのミロナイトを上盤として花崗岩類の中に拡がっており、石英-黄鉄鉍の細脈による鉍染型鉍床である。鉍化に伴って強いフィリック変質-カリ変質が観察される。金はエ

レクトラムの形で、黄鉄鉍中の包有物あるいは黄鉄鉍に付着する粒子として存在しており、金品位は鉍石中の黄鉄鉍の量と比例しているという鉍山の見解を裏付けている。鉍化年代については 100-110Ma であるとの報告がある (Luo and Wu, 1987)。

IV. 馬家窑鉍床

本鉍床は胶東層群のグリーンストーン中に発達した典型的な石英脈で、NNW 方向に延びた断層に沿って胚胎している。断層の幅は約 7.5m で長さ約 1 km 深さ 300m 以上にわたって鉍化作用が追跡できる。ここでもフィリック変質-カリ変質が認められる。主な脈石鉍物は石英で、他に少量の菱鉄鉍・灰重石・電気石・緑泥石・絹雲母・カリ長石・方解石などが認められた。また硫化鉍物としては黄鉄鉍・方鉛鉍・閃亜鉛鉍・黄銅鉍などがみられる。金はエレクトラムの形で、特に細粒の硫化鉍物と密接に伴って産出している。鉍化年代は 120Ma と報告されており (Luo and Wu, 1987), 地表には露出していないものの、ボーリ

ングによって鉱床の下部に燕山期の花崗岩類の存在が確認されている。

V. 金青頂鉱床

本鉱床はミグマタイト中に胚胎する幅約 2 m 程の石英脈で、N15° E の走行方向で長さ 1,100 m 深さ 800 m にわたって追跡される。脈際では通常フリック変質が卓越しており、その外側にカリ変質が及んでいるが、カリ長石はしばしば網目状に生成している。主な脈石鉱物は石英と菱鉄鉱であるが、これに黄鉄鉱・斑銅鉱・黄銅鉱などが伴っている。ここでも金の品位は、鉱石中の黄鉄鉱の量に比例していると言われる。鉱化年代についての測定例は報告されていないが、山東半島のほかの金鉱床と同様に燕山期の生成と考えられる。

VI. 安定同位体による鉱化流体の起源の推定

上記の三鉱床について、構成鉱物の相関係の解析による生成条件の解明、流体包有物の加熱・冷却顕微鏡下での観察による鉱床生成温度や流体の塩濃度の推定、軽安定同位体比測定による鉱化流体や炭素・硫黄の起源の推定、鉛同位体比測定による鉱床構成物質の起源の推定、などを行ないつつある。ここでは水素・酸素同位体比の測定結果から、鉱化作用をもたらした流体が、どのような起源をもつ水であるのかを検討した結果を示す。

酸素同位体組成については、鉱化流体そのものを測定することはできないので、鉱床に沈殿している石英の値から推定する方法によった。前述のように石英はどの鉱床においても最も多量に沈殿しており、また生成後の変化をうけにくいことが知られているので (Criss *et al.*, 1987)、鉱化流体の同位体比を推定するのに適している。各鉱床の代表的な試料から少量の石英を分離し、通常の BrF₅ 法により酸素同位体比を測定した。得られた結果は、石英-水間の同位体分別のデータ (Matsuhisa *et al.*, 1979) に基づいて水の値に換算した。換算の際に必要な生成温度については、それぞれの鉱床における流体包有物の充填温度の測定値から、焦家鉱床と金青頂鉱床については 250°C、馬家窪鉱床については圧力補正を考慮し

図 2 鉱化流体の水素・酸素同位体組成
水素・酸素ともに SMOW スケールで示してある。図中の左上の直線は天水の変化を示す。右の箱は一般的なマグマ水の変化範囲を示す。

たうえて 350°C として計算した。

水素同位体比については、鉱化流体そのものを測定するデクレピテーション法をとった。すなわち、酸素同位体比を測定した石英の試料を用い、粉碎し粒度をそろえた後に 2-3 g をとって真空中で 500°C まで加熱し、石英中に含まれる流体包有物を破裂させることにより、水を回収した。得られた水は金属亜鉛により還元し、水素ガスとした後に質量分析器へ導入した。一部の試料では試験的に、石英の代わりにカリ長石や菱鉄鉱も用いた。

得られた結果を図 2 に示す。焦家鉱床と金青頂鉱床では、水素同位体比には大きな変化はなく、酸素同位体比が大きく変化している。これに対し馬家窪鉱床では酸素同位体組成も水素同位体組成も、さほど大きな変動を示さず、ほぼ纏まった範囲に入っている。焦家鉱床と金青頂鉱床でみられる流体の同位体組成のこのような変化は、一般に酸素シフトとしてよく知られている変化として解釈できる。この場合シフトを起こしている水は、焦家鉱床では水素同位体組成が -85‰ 程度の値をもつ天水、金青頂鉱床では、-90‰ 程度の値をもつ天水、と推定される。中国大陸では、中生代の頃の天水の同位体組成が推定されており、これによれば山東半島付近では天水の水素同位体組成は約 -90‰ となっている (Zhang, 1989)。このデー

タは、焦家と金青頂の二鉱床の鉱化流体が、酸素シフトを起こした天水起源の水であるとの推定を裏付けている。

これに対して、馬家窪鉱床の場合には、推定された水の同位体組成がほぼ完全にマグマ水の値の範囲に入っており、種々の起源の水の混合物との考えも成り立つが、最も単純には燕山期の花崗岩類から放出されたマグマ水と考えるのが妥当であろう。ボーリングによって鉱床の下部に花崗岩類の存在が確認されていることも、この考えを支持している。

このような鉱化流体の起源の推定は、鉱化流体の発生が単純なモデルでは律しきれないことを示している。恐らく本地域の金鉱床に集積している金は、初成的にはグリーンストーンベルトを形成したマグマ活動によってマントルから地表付近へともたらされ、いったんは始生界の岩石中に逸散していたものが、燕山期の花崗岩類の活動により一部は花崗岩マグマの中に取り込まれた後にマグマ水へと移行し、また一部は花崗岩類を熱エンジンとする天水起源の循環熱水系により溶脱されて、現在の場所へと運ばれてきたことが考えられる。世界のグリーンストーンベルトにおいてこのような産状が稀であるのは、始生代に形成されたグリーンストーンベルトが、殆どの場合大陸地殻の中心を作り、その後に強烈な火成作用を蒙ることがないことによるのであろう。中国大陸においてはたまたまグリーンストーンベルトが中生代に大陸の縁辺部にもち来たらされており、クラプレートの沈み込みによる燕山期の花崗岩類の貫入をうけることによって、物質の移動と再濃集が引き起こされたものであろう。今後は、このようなモデルが妥当であるか否か、鉛同位体などによる検討をも加えていく予定である。

謝 辞

本研究は東京地学協会の平成5年度研究助成金をうけて進められたものである。酸素同位体比の測定にあたっては中国地質科学院宜昌地質研究所の張理剛教授に、また現地での野外調査では南京大学地質科学系の任啓江教授に種々お世話頂いた。深く感謝する次第である。

文 献

- Criss, R.E., Gregory, R.T. and Taylor, H.P., Jr. (1987): Kinetic theory of oxygen isotopic exchange between minerals and water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **51**, 1099-1108.
- Ji, H.Z., Shimazaki, H., Hu, S.X. and Zhao, Y.Y. (1994a): Two types of greenstone belts and gold mineralization in Shandong province, China. *Resource Geol.*, **44**, 101-110.
- Ji, H.Z., Shimazaki, H., Hu, S.X. and Zhao, Y.Y. (1994b): Occurrence and geochemistry of khondalite series in the Shandong Peninsula, China. *Resource Geol.*, **44**, 39-49.
- Lin, R.S. and Yu, Z.C. (1988): The Jingshan Group in the Jiaobei uplift, Shandong. *Geol. Shandong*, **4**, 1-21. (in Chinese with English abstract)
- Luo, M.C. and Wu, X.C. (1987): The determination of gold mineralization age using altered minerals in Shandong Peninsula. *Chinese Sci. Bull.*, **10**, 1245-1248. (in Chinese with English abstract)
- Matsushita, Y., Goldsmith, J.R. and Clayton, R.N. (1979): Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **43**, 1131-1140.
- Qiu, U.S. (1989): *The regional geology and gold mineralization in the Shandong Peninsula*. The Liaoning Scientific Publishing House. (in Chinese with English abstract)
- Rock, N.M.S. (1991): *Lamprophyres*. Van Nostrand Reinhold, N.Y., 285p.
- Xu, J.F., Shen, B.K., Niu, L.Z. and Zhen, W.S. (1989): On the granitoid relation to gold mineralization in Jiaobei block. *Geol. Shandong*, **5-2**, 7-32. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, L.G. (1989): *Stable isotopic geochemistry of main type ore deposits and granitoids of China*. Press of Beijing University of Technology, 200p.