

エル ラコ磁鉄鉱溶岩をめぐる最近の話題

石原 舜 三¹⁾

1. まえがき

チリ北部, アルゼンチン国境にごく近い高所に位置するエル ラコ火山の磁鉄鉱塊(写真1, 2)は鉱石マグマ(ore magma)が地表に溢流した典型例として, Park (1961)によって紹介され, それが彼自身の教科書(Park and MacDiarmid, 1975)に引用されることによって世界に広まった. 筆者もかつてチリのITITプロジェクトを実施時に, これは鉱石マグマの溢流と供給通路(feeder dike)であった解釈を本誌の口絵などで紹介したことがある(石原・エンリケス, 1983). 共著者のエンリケス教授は鉱石マグマ論者で, 磁鉄鉱の濃集機構としてはマグマ溜まりにおける酸化鉱物相の不混和溶融説を主張していた.

ところが最近, これは磁鉄鉱マグマではなく, 熱水性交代作用で生成した説が強くと主張された. そのように考えると, この巨大磁鉄鉱鉱床はオリンピックダム鉱床(石原, 1999)と同様に, CuやAuについても巨大量をその近傍に含有する可能性があり, 探査上のホットな話題となってきたのである. エル

ラコは今やIOCG (Iron Oxide Copper-Gold deposit, Porter ed., 2002)の最も若い例として注目を集めているので最近の議論を紹介してみたい.

2. ダートマス カレッジの研究者達

スウェーデン北部のキルナ鉱床を代表とする巨大な熱水性鉄鉱床の存在から, エル ラコ火山の磁鉄鉱マグマ説を疑問視する考えは1980年代から出されていた(Hildebrand, 1986; Hitzman *et al.*, 1992). ニューハンプシャー州のダートマス大学の研究者達は1993年と1994年の2回の夏休暇を利用して標高4,600-5,200mのエル ラコ周辺域の地質調査と変質調査をやり直した(Rhodes and Oreskes, 1999; Rhodes *et al.*, 1999). エル ラコ付近には第三紀安山岩類(K-Ar全岩年代が 2.0 ± 0.3 Ma)が広く分布し, エル ラコ ピークは安山岩-流紋デイサイトからなる.

ピークの周辺の北西-南東方向に8km, 北東-南西方向5kmの区域に熱水変質岩類がみられ, その中に磁鉄鉱塊が分布する(第1図). ピークの南



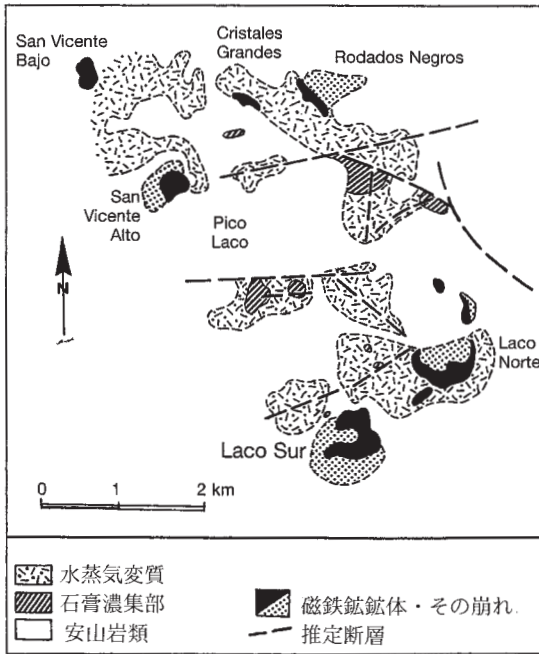
写真1 5,000mに達する高所, アルティ プラーノの火山群(遠方)とエル ラコ ピーク北方の磁鉄鉱鉱体(黒色部). 右: ロダドス ネグロス鉱体, 左の小さな黒い突起はクリスタレス グランデス鉱体(1982年撮影).



写真2 鉱体の一つ, サン ヴィセンテ アルト(黒色部). この鉱体では最も溢流の形が残っている(1982年撮影).

1) 産総研 特別顧問

キーワード: エル ラコ, チリ, 磁鉄鉱, 溶岩



第1図 エル ラコ周辺の地質図 (Sillitoe and Burrows, 2002).

南東側にLS (Laco Sur), LN (Laco Norte), 北西側にSVB (San Vicente Bajo), SVA (San Vicente Alto), CG (Cristales Grandes), RN (Rodados Negros) などの鉱体が位置する。サン ヴィンセントパハ鉱体を写真2に掲げるが、いかにも火山の側噴火の様相を呈する。

変質作用はまず安山岩類の弱いプロピライト化 (緑泥石, 絹雲母, 粘土鉱物), Na-K変質鉱物化 (スカポライト, アルバイト, カリ長石, チタン石), 珪化, そして透輝石±磁鉄鉱化である。ついで磁鉄

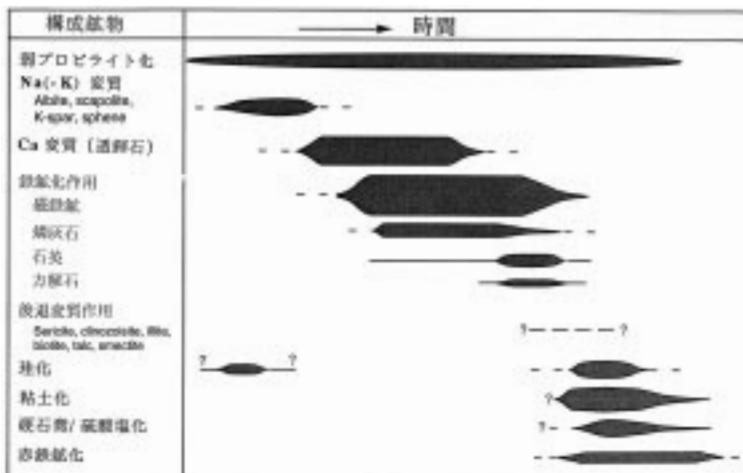


写真3 地表晶出を思わせる粒状 (左上), 自形 (中央) の磁鉄鉱 (1982年撮影)。

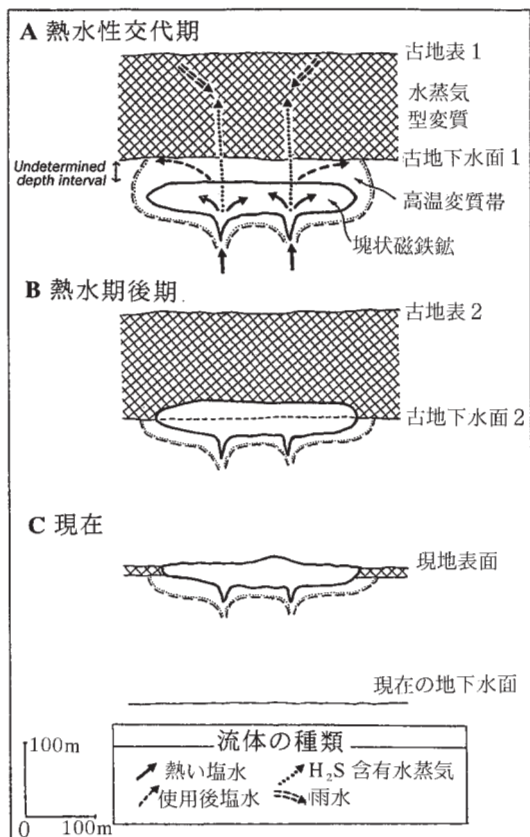
鉱-燐灰石の形成期があり, 少量の石英と方解石も沈殿した。最末期は珪化, 粘土化, 硬石膏・硫酸塩鉱物化と赤鉄鉱化である (第2図)。

ダートマス大学のRhodes *et al.* (1999)は熱水交代起源の証拠として次の諸点を挙げている。

- (1) 磁鉄鉱の溶岩流様の組織があるが, 実はこれは安山岩流を磁鉄鉱が交代して生じたものである。
- (2) 空隙組織を持つ磁鉄鉱は, 安山岩角礫が部分的あるいは完全に磁鉄鉱により交代されて生じた。この組織は刃状透輝石, 輝石鑄型を持つが, これらは磁鉄鉱化前に母岩の安山岩が石灰質変質を経験した部分である。
- (3) 鏡下観察によると, 透輝石が磁鉄鉱と燐灰石に直接交代されている。
- (4) 熱水性磁鉄鉱と考えられる粗粒八面体結晶,



第2図 エル ラコ磁鉄鉱鉱床における構成鉱物の生成順序 (Rhodes *et al.*, 1999)。



第3図 エル ラコ鉱床の生成モデル図 (Sillitoe and Burrows, 2002).

晶洞性石英と共存する結晶、チューブ状結晶などが存在する。

(5) 磁鉄鉱細脈が透輝石に富む変質角礫を切る。これは下盤安山岩が水圧破碎化を受けた後、熱水性磁鉄鉱が生じた証拠である。

3. R. H. シリトウの提案

エル ラコの磁鉄鉱鉱床については、1970年代以前に日本にも開発の打診があったと聞かすが、その頃は小規模な試験採掘が行われていたに過ぎなかった。1990年代に入って、最大の南鉱体 (Laco Sur) は鉱量5億トン (Fe 60%) を持つことが判明し、露天ピットで採掘された。

著名なコンサルタントである R. H. Sillitoe はそのピットの壁面の観察から、塊状磁鉄鉱鉱体は脈状磁鉄鉱や母岩の変質安山岩岩片を含んでおり、明らかに熱水交代性であるとする。磁鉄鉱鉱体中の

煙突状構造や脈状部分に自由成長する輝石や磁鉄鉱脈は、これらがガス相としてでなく、水溶液相から晶出したことを意味する、と解釈した。

南鉱体と北鉱体 (Laco Norte) との間には、自然硫黄を含みクリストバライト-明礬石に富む著しい熱水変質が見られ、巨視的には磁鉄鉱の形成と同時期である。この事実は、磁鉄鉱が古地下水面上の水蒸気発生地帯で生成したことを示している、とする。その深度は地表下300m以深であったであろう。彼は第3図のような生成モデルを提案した。

4. F. エンリケスの反論

これに対して Henriquez *et al.* (2003) は6枚のカラー写真と共に反論した。

- (1) まず同じラコ南鉱体で、塊状磁鉄鉱石と急冷相を持つ大きな捕獲火山岩塊の写真を示した。これは両者がマグマとして地表溢流し、急冷・固結したことを意味する。
- (2) ラコ南鉱体下部で変質安山岩を切る磁鉄鉱岩脈の存在。磁鉄鉱は微粒で発泡しておらず、接触部を離れると磁鉄鉱は粗粒となり発泡している。すなわちこれは地表溢流部とその直下の現象である。
- (3) 水蒸気変質相 (SHA, 写真4) はラキト鉱体 (LQ, 4,940m) やラコ ノルテ鉱体 (LN, 4,960m) の160mも下方にあり、場所も離れており無関係に見える。
- (4) ラコ南鉱体は一般に空隙に富んでおり (写真5)、この磁鉄鉱は地表で固結したものである。
- (5) サン ヴィンセント アルト鉱体の磁鉄鉱の産状はアア溶岩にそっくりである。その荒れた表面には外

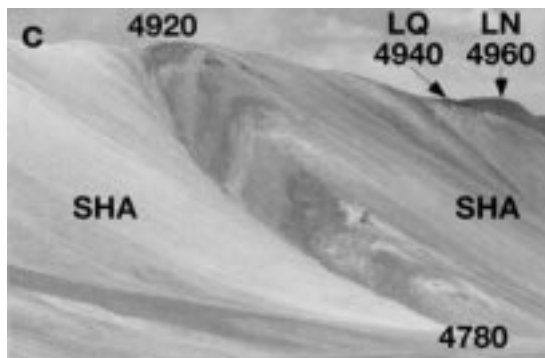


写真4 水蒸気変質相 (SHA) と磁鉄鉱鉱体 (LQ, LN) との位置的関係 (Henriquez *et al.*, 2003)。数字は海拔標高メートル。



写真5 空隙に富む南鉱体の磁鉄鉱鉱体 (Henriquez *et al.*, 2003).



写真6 南鉱体の層状-級化構造を示す部分. 古地表か? (Henriquez *et al.*, 2003).

来岩片は認められず, この事実は地中に埋まったことがないことを示している.

(6) 南鉱体下の路傍には, 層状構造とサイズ級化を持つ磁鉄鉱が青緑色の燐酸塩鉱物を伴ってみられるが(写真6), これは揮発性成分に富む磁鉄鉱マグマの噴出で生じた古地表と解釈される.

5. むすび

以上, 代表的な3者の観察事実と解釈とを紹介したが, どちらにも解釈できる現象もあり, 更なる証拠の蓄積が必要である. その中で筆者が重要だと思うことは, まず鉱体の立体的な形である. 交代したものであれば溢流物とはおのずと地表下の形が異なるはずである. そのためにはボーリングが必要であるが, 開発と共にそれは可能であろう. ついで興味深いのは, 磁鉄鉱体と変質岩との実質的な関係である. 現状では自然硫黄を含むクリストパライト-明礬石熱水変質は磁鉄鉱の形成とは別時期とも考えられる. その判定方法の一つとして両者の時間的關係を精度よく測定することが望ましい.

文 献

Henriquez, F., Nasulund, H. R., Nyström, J. O., Vivallo, W., Aguirre, R., Dobbs, F. M. and Lledo, H. (2003): New field evidence bearing on the origin of the El Laco magnetite deposit, northern Chile-A discussion. *Econ. Geol.*, 98, 1497-1500.

Hildebrand, R. S. (1986): Kiruna-type deposits: Their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone, Northwest Canada. *Econ. Geol.*, 81, 640-659.

Hitzman, M. W., Oreskes, N. and Einaudi, M. T. (1992): Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precam. Res.*, 58, 241-287.

石原舜三 (1982): 中国の鉱物資源 (1) ひん岩鉄鉱鉱床. *地質ニュース*, no.334, 20-32.

石原舜三 (1999): オーストラリアのオリンピック ダム鉱床-近代探査法の勝利. *地質ニュース*, no.536, 7-18.

石原舜三・エンリケス, F. (1983): チリ北部, エル・ラコの磁鉄鉱溶岩. *地質ニュース*, no.345, 口絵 1-4.

Park, C. F. Jr. (1961): A magnetite "flow" in northern Chile. *Econ. Geol.* v.56, 431-441.

Park, C. F. Jr. and MacDiarmid, R. A. (1975): *Ore deposits*. 3rd ed. W. H. Freeman & Co., San Francisco 530p.

Porter, T. M. edited (2002): *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*. Vols.1 and 2, PGC Publishing.

Rhodes, A. L. and Oreskes, N. (1999): Oxygen isotope composition of magnetite deposits at El Laco, Chile: Evidence of formation from isotopically heavy fluids. *Soc. Econ. Geol., Spec. Pub.* 78, 333-351.

Rhodes, A. L., Oreskes, N. and Sheets, S. (1999): Geology and rare earth element geochemistry of magnetite deposits at El Laco, Chile. *Soc. Econ. Geol., Spec. Pub.*, 7, 299-332.

Sillitoe, R. H. and Burrows, D. R. (2002): New field evidence bearing on the origin of the El Laco magnetite deposit, northern Chile. *Econ. Geol.*, 97, 1101-1109.

ISHIHARA Shunso (2004): Recent topics on the geneses of the El Laco magnetite flow deposits, Chile.

< 受付: 2004年2月16日 >