

コバルト資源：急増する需要に対応できるか？

渡辺 寧*・藤巻 勇帆・Mukuka SIMUSOKWE・
Carmela Alen J. TUPAZ

秋田大学国際資源学研究所

Cobalt Resources: Can We Scramble against the Increasing Demand?

Yasushi WATANABE*, Yuho FUJIMAKI, Mukuka SIMUSOKWE and Carmela Alen J. TUPAZ

Graduate School of International Resource Sciences, Akita University

1. はじめに

カーボンニュートラル社会を目指した電気自動車の普及により、リチウムイオンバッテリーの電極に使用されるコバルトの需要が2030年までに急増することが予想されている¹。米国地質調査所の資料²に基づくと、2020年の時点で、コバルトの約70%は中央アフリカ銅鉱化帯から産出しており、14%がロシアや豪州などの銅ニッケル硫化物鉱床、8%が低緯度地域のニッケルラテライト鉱床、1.3%がモロッコのリスフェナイト鉱床から生産されている。中央アフリカ銅鉱化帯の中でもコンゴ民主共和国が世界の約68%のコバルトを生産している²。コバルトの回収技術の向上やリサイクル率の増加が期待されているが³、急増する需要とコバルト生産地の遍在に対応するためには新たな資源の発掘が望まれる。海底鉱物資源であるコバルトリッチクラストの開発も期待されているが、環境評価や経済性の課題があり、開発への道のりは遠い。本講演では、陸上のいくつかの新たなコバルトの供給源の可能性について述べる。

2. コバルト資源の産状

2-1 ザンビア銅鉱化帯

コバルトの主産地である中央アフリカ銅鉱化帯は、北西部のコンゴ銅鉱化帯と南東部のザンビア銅鉱化帯に区分される。コバルトは北部のコンゴ銅鉱化帯の銅酸化鉱から副産物として生産されている³。南西部のザンビア銅鉱化帯の一部の鉱床にはコバルトが鉱石に含まれてい

ることが報告されている⁴。

ザンビア銅鉱化帯の鉱床のなかでも、比較的高いFishtie鉱床の銅鉱化帯の試錐コアの調査を行った。本鉱床の母岩は、下位より先カンブリカ系カタンガ累層群Nguba層群の礫岩、ドロストーン、砂岩・シルト岩・泥岩互層からなる (Fig. 1)。銅は主として化学的に還元的な泥岩卓越互層部に沈澱するが、コバルトはドロストーンと互層部の境界部、および地表部のサプロライトに濃集している。コバルトは、ドロストーン中には細脈中に輝コバルト鉱 (CoAsS) や含コバルトドロマイトとして、上部のサプロライト中では、マンガン酸化物に含まれる。また下部の礫岩を構成する鉱物の化学分析により、コバルトは緑泥石に~0.06% (CoO) 含有

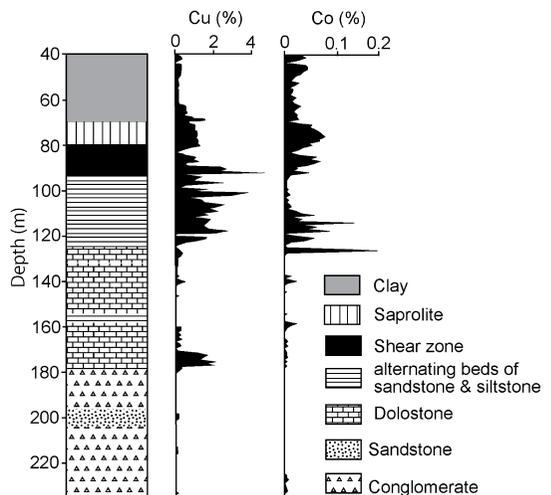


Fig. 1 Representative drill hole lithology with Cu and Co grades in the Fishtie deposit, Zambia

2021年6月17日 第139回学術講演会において発表
*e-mail: y-watanabee@gipc.akita-u.ac.jp

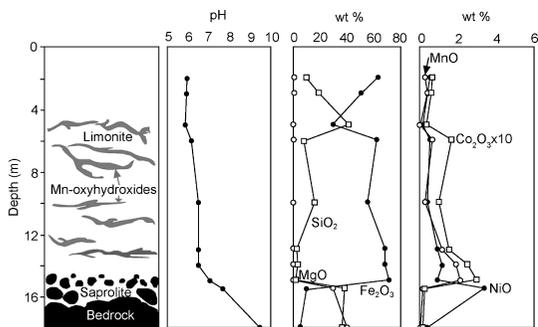


Fig. 2 Typical profile of Ni laterite in the Berong deposit, Philippines⁵

されており、緑泥石を置換する黒雲母にはほとんど認められない。このことは緑泥石を含む変塩基性岩がコバルトの起源であることを示す。

2-2 ニッケルラテライト鉱床

フィリピン、パラワン島の Berong ニッケルラテライト鉱床はかんらん岩の風化により、層厚約 10 m のラテライトが発達している (Fig. 2)。ラテライト層は下部から蛇紋岩層、サブロライト層、リモナイト層に区別される。サブロライト層は蛇紋岩片とリモナイトとの混合物からなり、蛇紋石に富む。ニッケルに富むガルニエライトも肉眼で認められる。リモナイト層は主として針鉄鉱、赤鉄鉱からなり、部分的にギブサイト、マンガン酸化物、アモルファスシリカを含む。

ニッケルはサブロライト層に最も濃集し (NiO: ~ 4 wt%), 上部のリモナイト層にも 0.1~1 wt% (NiO) 含有される。コバルトはリモナイト層下部の pH が 6 程度のマンガン酸化物が形成している部分に最も濃集する (Co₂O₃: 0.01-0.6%)。コバルトを含有する鉱物は Lithiophorite [(Al,Li)MnO₂(OH)₂]-Asbolane[(Ni,Co)_{2-x}Mn⁴⁺(O,OH)_nH₂O] 固溶体であり ~ 7 wt.% 含まれている。コバルトとニッケルは母岩を構成するかんらん石や直方輝石にそれぞれの ~ 0.38 wt% (NiO), ~ 0.03 wt% (CoO) 含まれており、これらの鉱物の変質により形成した蛇紋石の風化・分解によりリモナイト層、サブロライト層に供給されている⁵。

2-3 リスウェナイト鉱床

リスウェナイトとは熱水変質を受け、珪化、炭酸塩化した超塩基性岩を指す用語で、しばしばニッケルやコバルト鉱化作用を伴う。モロッコの Bou Azzer 鉱床が代表的な鉱床であるが⁷、日本国内にも変質した蛇紋岩に伴われる鉱床が報告されている (Fig. 3)。

新潟県大倉鉱床、兵庫県夏梅一大屋鉱床、埼玉県長瀬地域の蛇紋岩体に伴う鉱床を検討した結果、これらの岩体では、含 Cr 白雲母および滑石、緑泥石、アクチノ閃

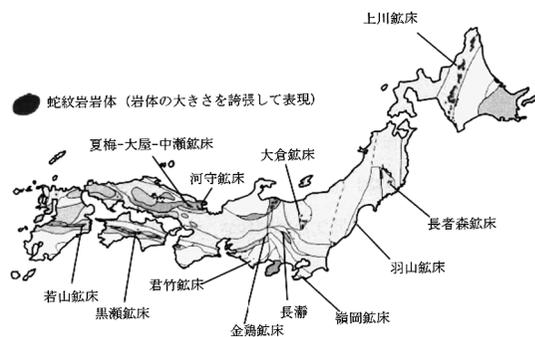


Fig. 3 Distribution of serpentinite blocks and associated Ni-Co deposits in Japan

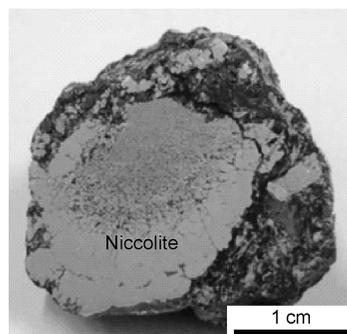


Fig. 4 Nickeline [NiAs] ore of the Natsume deposit, Hyogo Prefecture

石が認められ、典型的なリスウェナイト変質を蒙っている。大倉鉱床では硫砒ニッケル鉱 [NiAsS], 夏梅鉱床では紅砒ニッケル鉱 [NiAs] (Fig. 4) と硫砒ニッケル鉱, 大屋鉱床では針ニッケル鉱 [NiS], 長瀬地域では含ニッケル輝コバルト鉱, ペントランド鉱 [(Ni,Fe,Co)₉S₈] が産出する。各地域において鉱床の源岩である蛇紋岩中の蛇紋石とクロム鉄鉱にニッケルとコバルトが含まれることから、これらの鉱物がそれぞれの元素の供給源といえる。

3. コバルトの濃集機構

ザンビア銅鉱化帯やニッケルラテライト鉱床でのコバルトの供給源はいずれも塩基性岩~超塩基性岩であり、これらの岩石中に含まれるかんらん石や輝石がコバルトの供給源になっている。ザンビア銅鉱化帯では、熱水の酸化還元、ニッケルラテライト鉱床では地表水の酸化還元状態の変化に対応してコバルトの濃集が生じている。前者では銅、後者ではニッケルよりもコバルトがより酸化環境で沈殿するため、銅やニッケルの濃集帯とコバルトの濃集帯は必ずしも一致しない。両鉱床に共通する点は、母岩の風化で生じたマンガン酸化物にコバルト

が濃集する点である。

一方リスウェナイト鉱床では、コバルトはクロム鉄鉱を起源としており、前2者のタイプの鉱床とは異なっている。比較的高温の熱水との反応によりクロム鉄鉱が分解し、溶脱されたコバルトは、熱水のpHの上昇を経て砒化物ないし硫化物として再沈殿している。

4. 新しい資源の可能性

現在のコバルトの多くは中央アフリカ銅鉱化帯のコンゴ銅鉱化帯において銅の副産物として生産されている。ザンビア銅鉱化帯においてもコバルトの濃集が認められるが、銅の濃集帯とコバルトの濃集帯が必ずしも一致しないこと、コバルトの一部は砒素化合鉱物として存在することから、鉱石の分離、銅精錬過程で課題が残る。一方鉱体上部の風化帯では、マンガン酸化物にコバルトが濃集している。ニッケルラテライト鉱床と合わせて、地表付近のマンガン酸化物中のコバルト資源ポテンシャルの評価、マンガン酸化物中のコバルトの存在形態の解明と抽出方法の確立が今後の課題である。

リスウェナイト中のコバルト資源は一部の鉱床を除いてこれまでほとんど評価されてこなかった。今後、世界

各地のリスフェナイトの再評価をすることで新たなコバルト資源が見出される可能性がある。ただ砒化物を多く含むことから、砒素の処理が課題となることが予想される。

References

1. X. Fu, D.N. Beatty, G.G. Gaustad, G. Ceder, R. Roth, R.E. Kirchain, M. Bustamante, C. Babbitt, E.A. Olivetti: *Environmental Science & Technology*, **54**, pp. 2985–2993 (2020) 1, pp. 1–12 (1977)
2. U.S. Geological Survey: Cobalt, *Mineral Commodity Summaries*, U.S. Geological Survey (Washington), pp. 51–52 (2021)
3. 赤堀道弘：金属資源レポート，石油天然ガス鉱物資源機構（東京）19-05-vol. 49, pp. 1–27 (2019)
4. M.W. Hitzman, A.A. Bookstrom, J.F. Slack, M.L. Zientek: *Cobalt—Styles of Deposits and the Search for Primary Deposits*, U.S. Geological Survey, Open-File Report 2017-1155, pp. 1–53 (2017)
5. C.A.J. Tupaz, Y. Watanabe, K. Sanematsu, T. Echigo: *Ore Geol. Rev.*, **125**, 103686 (2020)
6. 村上浩康：地球科学，**57**, pp. 319–321 (2003)
7. A.H. Ahmed, S. Arai, M. Ikenne: *Econ. Geol.*, **104**, pp. 249–266.