

氏名（本籍）	Reza Al Furqan（インドネシア）
専攻分野の名称	博士（理学）
学位記番号	国博甲第14号
学位授与の日付	令和4年9月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	国際資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	インドネシアパプア島における深部グラスベルグ斑岩システムの熱水変質および流体の進化 (Hydrothermal alteration and fluid evolution of the deep Grasberg porphyry system, Papua, Indonesia)
論文審査委員	(主査) 教授 渡辺 寧 (副査) 教授 Andrea Agangi (副査) 教授 大場 司 (副査) 教授 Antonio Arribas

論文内容の要旨

本博士論文研究は、インドネシアパプア島にあるグラスベルグ斑岩銅鉱床深部の鉱化作用の実態を解明するために行われた。グラスベルグ斑岩銅鉱床は、従来、単一のマグマ貫入による鉱化作用と考えられてきたが、最近の研究では、2つの異なる鉱化作用が重複した可能性が指摘された。本研究では、グラスベルグ鉱床深部の1) 熱水変質鉱物の分布、2) 熱水変質鉱物の K-Ar 年代測定、3) 硫化物—硫酸塩鉱物の硫黄同位体平衡に基づく熱水の温度構造、4) 金属元素の濃集分布、に基づき鉱化作用の実態を論じたものである。また熱水変質鉱物の1つである白雲母の化学組成とスペクトル解析に基づき、白雲母を用いた熱水系の拡がりを通じ、鉱床探査への指標として利用できることに言及している。

本鉱床は、先行研究で、浅部の主グラスベルグ斑岩システムと深部のガジャティドゥール斑岩システムに区分されることが示唆された。グラスベルグ斑岩システムでは黒雲母—磁鉄鉱からなる高温の変質鉱物組み合わせに銅鉱化作用が伴うのに対し、ガジャティドゥール斑岩システムでは黒雲母の変質に重複する形で、広い範囲に白雲母変質が認められ、随伴鉱物の組み合わせから1) 白雲母—硬石膏、2) 白雲母—緑泥石—硬石膏、3) 白雲母—硬石膏±パイロフィライトの変質帯に区分された。

1) 1試料の K-Ar 年代（黒雲母2試料、白雲母9試料）測定結果に基づくと、両鉱物とも 4.25～3.26Ma の年代を示し、1試料（4.25Ma）を除くと 3.78～3.26Ma の年代に集中することが明らかになった。この年代は、グラスベルグ斑岩銅鉱床の母岩の一部のダラム火成複合岩やガジャティドゥール複合岩体の年代と重複し、主グラスベルグ火成複合岩およびそれに伴う鉱化作用の年代（3.3-3.0Ma）よりも古い。

ガジャティドゥール斑岩システムの硫黄同位体組成分析をもとに求められた同位体平衡温度は、550~280°C の温度範囲を示し、450°C 以下では、著しく硫酸塩鉱物（硬石膏）の硫黄同位体組成が変動することから、硫化水素に卓越する熱水から鉱化作用が生じたと推定される。この温度範囲は主グラスベルグ斑岩システムで求められた温度（632-555°C）よりも明らかに低い。

元素の濃集度分布は、ガジャティドゥール斑岩システムで、銅以外には、モリブデン、フッ素、バナジウム、タングステン、錫に富み、銅と金に富む主グラスベルグ斑岩システムとは明瞭に異なる。

ガジャティドゥール斑岩システムの白雲母の組成とスペクトル解析による Al-OH の吸光波長の比較から、鉄に富む白雲母は波長が長いことが明らかになった。また鉄に富む白雲母は Na にも富み、より高温の熱水から白雲母が形成されたことを示した。

以上の結果から、グラスベルグ斑岩銅鉱床は、ガジャティドゥール斑岩システムと上部の主グラスベルグ斑岩システムの明らかに異なる 2 つの鉱化作用が重複して形成されたことが明らかになった。すなわち下部のガジャティドゥール斑岩システムの形成後、その中央部を貫いて上部の主グラスベルグ斑岩システムが形成されている。主グラスベルグ斑岩システム形成後、その上部が削剥され現在の配置になったと推定される。また白雲母のスペクトル解析から、側方的には、中心部の短波長から縁辺部への長波長、浅部の短波長から深部へ長波長へ変化が認められ、斑岩システムの探査に応用できることが示された。

論文審査結果の要旨

白雲母のスペクトルに関する内容は、論文 Reza Al Furqan, Yasushi Watanabe, Antonio Arribas, Clyde Leys, Takuya Echigo, Rici Anggun Putri, Renanda Sevirajati (2022) Chemical and short-wave infrared characteristics of white mica associated with the Gajah Tidur porphyry copper system at the deep Grasberg Cu-Au-(Mo) deposit, Indonesia. *Resource Geology*, 2022;72:e12296. doi.org/10.1111/rge.12296 に公表されている。以上の結果は学位審査委員会で審査され、秋田大学博士後期学位論文審査基準を満たしていると判定された。

最終試験は2022年8月2日にオンラインで実施された。学位審査委員会委員で、論文提出者の資格審査を行った後、提出者による40分の研究内容の発表が行われた。その発表内容について、40分間の質疑が行われた。主な質疑の内容は以下の通り。

- 1) 主グラスベルグ斑岩システムの高温の鉱化変質帯が地表に露出しているがなぜか？
- 2) 緑色の白雲母変質はいわゆるグリーンセリサイトと呼ばれるものに相当するのではないか
- 3) グラスベルグ斑岩銅鉱床の2つのシステムについて特徴を要約した図表を示すべきである
- 4) 2つのシステムの金属量や違いを明確に示せるか？断層が鉱化作用に与えた影響は何か？
- 5) ダラム複合岩体とガジャティドゥール岩体の違い・関係はどうなっているのか？
- 6) 主グラスベルグ斑岩システムの磁鉄鉱の成因について

以上の質問に対して、論文提出者から適切に回答が行われた。質疑の後、学位審査委員会委員で本試験の結果を審議し、本論文提出者の博士審査を合格とすることが認められた。