

氏名(本籍)	バトエルデン ハシゲレル (モンゴル)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博甲第5360号		
学位授与年月日	平成22年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	<b>Geology, Whole-rock Geochemistry, Mineralogy and Stable Isotopes (O, H and S) of Sericitic and Advanced Argillic Alteration Zones, Oyu Tolgoi Porphyry Cu-Au Deposits, Mongolia</b> (モンゴル国、オユトルゴイ斑岩型銅-金鉱床におけるセリサイト質および酸性変質帯の地質、全岩化学組成、鉱物学および安定同位体(酸素、水素、硫黄)に関する研究)		
主査	筑波大学教授	理学博士	林 謙一郎
副査	筑波大学教授	理学博士	荒川 洋二
副査	筑波大学講師	理学博士	小室 光世
副査	(独)産業技術総合研究所 主任研究員	理学博士	渡辺 寧

### 論文の内容の要旨

オユトルゴイ斑岩型銅-金鉱床はデボン紀後期の石英モンゾニ岩の活動に伴い生成し、玄武岩や堆積岩類中に胚胎している。確認鉱量は1,390百万トン、品位1.33% Cu、0.47 g/t Auと世界屈指の規模を有する。同鉱床には8ヶ所の鉱化中心が存在し、本研究では高品位銅鉱化作用で特徴づけられるヒューゴドメット鉱体の母岩について、熱水変質帯の産状、岩石化学組成、変質鉱物の鉱物学的記載、変質鉱物や硫化鉱物の酸素、水素、硫黄安定同位体比などを明らかにした。酸性変質帯は地表下50 - 1,500 mに広範囲に認められ、変質鉱物として葉蠟石が最も卓越するが、その他に紅柱石、コランダム、ダイアスポア、明礬石、ズニアイト、トパーズ、カオリナイト、硬石膏、石膏およびディッカイトが確認される。本変質帯は高品位銅鉱化帯を取り巻くように分布し、セリサイト質変質帯を交代する。酸性変質作用によって初生の玄武岩からSi, Al, Ti, P以外の主要元素は著しく溶脱している。微量元素ではV, Zr, Hf, Nb, Ta, U, Thは殆ど変化しないが、軽希土類、Sr, Ba, Gaが付加、中希土類はやや溶脱、重希土類とY, Sc, Cs, Tbが著しく溶脱している。

葉蠟石、緑泥石、セリサイトなどの酸素および水素同位体比から求められた熱水の同位体比は、 $\delta^{18}\text{O} = 1.0 \sim 7.3\%$ 、 $\delta\text{D} = -102 \sim -67\%$ で、熱水の起源は主にマグマ水だが天水の影響も認められる。末期に生成したディッカイトは天水の影響を強く受けたと考えられ、デボン紀当時の天水の同位体値として $\delta\text{D} = -160\%$ が推定された。硫化鉱物の硫黄同位体比( $\delta^{34}\text{S} = -16.0 \sim -1.4\%$ )は共存する硫酸塩鉱物の同位体比( $\delta^{34}\text{S} = 4.2 \sim 17.9\%$ )よりも重く、両者の同位体比の差から熱水は酸化態硫黄( $\text{SO}_2$ )に富み、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比はほぼ1:1にバッファーされていたと推定できる。しかしながら、鉱化作用の末期にはより酸化的な環境となり、マグマ水由来の $\text{H}_2\text{S}$ は酸化されて硫酸イオンとして溶存していたことが示唆される。明礬石はマグマ性ガス由来の熱水から生成し、葉蠟石やセリサイトとは異なる酸素・水素同位体比を有する。葉蠟石は、

浅所では酸性変質帯の高温変質鉱物を交代し、また深所ではフィリック変質帯中のセリサイトを交代してみられ、産状や安定同位体比の証拠から鉱化作用の末期の生成物であることが明らかとなった。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

オユトルゴイ斑岩型銅－金鉱床はモンゴル南部のゴビ砂漠に発見され、2001年以降ボーリングによる探査が続けられている。現在なお開発途上の段階で鉱石の生産はされていないが、生産が開始されれば世界最大の銅－金鉱床となることが確実である。斑岩型銅鉱床の地質、鉱化作用、母岩の変質などについては世界各地で詳細に研究が進んだ結果、地質モデルがほぼ確立している。開発されている斑岩型鉱床の殆どは地下浅部に胚胎し、露天掘りで採掘されている。そのため鉱床上部に広がっていたと推察される浅部の変質帯は削剥されてしまい、残っていない場合が大半である。オユトルゴイ鉱床のヒューゴドメット鉱体は地表下1,700mに位置し、これまでに発見された銅鉱床中では最も深い。鉱床上部には酸性変質帯が広く分布し、深部の貫入岩体から浅熱水性環境への遷移を研究する最良のフィールドだと言える。本論文では、変質鉱物の産状、変質岩の化学組成、変質鉱物の水素・酸素・硫黄同位体比などの情報から、酸性変質帯の産状、酸性変質帯の発達の時空分布、変質に関与した熱水の起源などを議論している。その結果、変質帯の母岩は主に輝石玄武岩であること、酸性変質帯は主にマグマ水によって形成されたこと、後期の熱水によって高温変質鉱物が交代され多量の葉蠟石が生成したこと、酸性変質帯が深部のセリサイト質変質帯を交代したこと、最末期の熱水 (< 150℃) は天水の影響を受け、この熱水からカオリナイトやディッカイトが生成したことなどが明らかになった。

本研究はこれまで情報が少なかった斑岩型鉱床の浅部を詳細に調べたものであり、論文が公表されれば典型的な例として今後多くの研究者に引用されると期待できる。以上は著者が研究者として自立して研究活動を行うに足る能力と、その基礎となる学識を有していることを示している。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。