

学位論文題名

Epithermal Gold Mineralization and Hydrothermal Activity in Porozhistro-Asachinskaya Metallogenic Province of South Kamchatka, Russia

(ロシア、カムチャッカ半島南部 Porozhistro-Asachinskaya 金属鉱床区における浅熱水性金鉱化作用と熱水活動)

学位論文内容の要旨

カムチャッカ半島は4つの雁行配列する火山帯からなり、現在は東端に位置する東カムチャッカ火山帯において活発な火山活動が生じている。本半島全域における代表的な浅熱水性金銀鉱床の K-Ar 年代測定結果において、始新世から中新世までの火山活動史を持つ西カムチャッカ火山帯におけるものとして 41.1Ma の年代値が得られた。同様に、暁新世から鮮新世に活動した中央カムチャッカ火山帯からは 17-7Ma、中新世から現在まで活動を続ける東カムチャッカ火山帯からは 7.4-0.7Ma の年代値が得られており、各火山帯の活動史と密接に結びついていることが判明した。生成年代の古い鉱床群については、産出量における銀含有量比の上限が次第に低くなる傾向が見いだされ、生成深度の浅い鉱床の剝離が進行し比較的深部に存在するマグマの影響を強く受けた高い硫黄分圧をもつ鉱床が露出した結果と考えられる。特に南カムチャッカ地域における鉱床群については、年代の変化に伴う鉱床生成場の南東方向への遷移現象が確認された。またその遷移速度は 5-10Km/Ma 程度であり、鉱脈の走行は 5Ma 前後において時計回り方向への変化を生じていることも判明した。この一連の現象は北海道北東部においても観察され、応力場として鉱脈剪断断層形成に関与した大規模なテクトニクス変化を示している可能性がある。これら連続的な遷移を示す熱水活動の履歴は、地下のマグマ活動に機敏に反応する熱水循環の性質が反映されたものと考えられる。カムチャッカ半島 - チュコク地域の階段状(雁行状)火山帯を形成したテクトニクスについて、本研究では以下のような解釈を行った。(1) 太平洋プレート上のオホーツク古陸の北西方向への移動・オホーツク・チュコク火山帯の形成(200-50Ma)、(2) オホーツク古陸のアジア大陸への衝突によって引き起こされる西火山帯の発生(55-38Ma)、(3) 千島海盆の拡大および火山帯の北上を引き起こす太平洋プレート移動方向の変化、およびオホーツク古陸の北進開始(38-25Ma)、(4) 前弧スリバー成長による新たな中央火山帯の発生(25-7Ma)、(5) 前弧スリバー成長による東火山帯の発生(7-0Ma)。

鉱床生成条件の詳細な解明を行った南カムチャッカの Rodnikovoe 鉱床については、年代測

定・鉍化段階区分・熱水変質・鉍物化学・流体包有物・熱力学計算などの記載・分析を実施した。その結果、1.1-0.9±0.1Ma の鉍化年代値が得られ、金を沈殿させた鉍化熱水はおよそ 200°C・中性 pH、金の溶存形態は  $\text{Au}(\text{HS})_2$  であったことが判明し、地下 170m 前後において沸騰現象が生じ、脱ガス ( $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{S}$ ) 反応により金チオ錯体の分解を生じて金鉍化作用をもたらしたということが明らかになった。

Rodnikovoe 鉍床の近傍に位置する Mutnovsky 鉍床については、それぞれ南部、北部における多金属型鉍床および石英脈型金鉍床の鉍床形態区分を行い、両者の年代値として 1.3±0.1Ma および 0.7±0.1Ma を得た。また、鉍物化学的検討・流体包有物分析・熱力学計算を行い、それらの比較検討より 1.3Ma から 0.7Ma の時期において Rodnikovoe 鉍床と鉍床分化を生じた可能性が推定された。また、Rodnikovoe・Mutnovskoe 両鉍床の北西部に位置する鉍床群についても、流体包有物分析から生成深度の検討を行った。

Rodnikovoe・Mutnovskoe 両鉍床を含む地域は現在も活発な熱水活動が生じており、同地域において火山ガス・温泉水・河川水・温泉沈殿物などを採取し、安定同位体分析・溶存成分分析・化学分析等を行った。その結果、Mutnovsky 火山を熱源とする周辺の温泉地帯は、距離に比例してマグマ水-天水の混合現象が生じていることが判明した。その性質は、熱源→蒸気加熱型強酸性域→シリカ卓越酸性域 →シリカ卓越中性域 →炭酸塩卓越弱アルカリ域という変化傾向が認められた。これらの熱水の進化区分と温泉沈殿物の性質を考慮することにより、現在の地下においては高硫化型および低硫化型の熱水鉍化作用とそれらの分化が生じていると推定される。

本研究で得られた熱水活動域の遷移、各鉍床の成因論、現世の熱水系の進化をまとめると、Vilyucinsko - Mutnovskaya 鉍化帯における浅熱水性鉍化作用は時空間軸を考慮して次のとおり説明される；1) 1.3-0.9Ma において、熱水鉍化作用は Mutnovskoe 鉍床の多金属鉍化作用と Rodnikovoe 鉍床の石英脈金鉍化作用へと分化した。2) その後、熱源が南東方向へ移動し両鉍床からの距離が離れることにより、0.9-0.7Ma における Mutnovskoe 鉍床の石英脈金鉍化作用および Rodnikovoe 鉍床における炭酸塩鉍化作用の分化が生じた。3) 現在の熱源は Mutnovsky 火山であり、Mutnovskoe 鉍床北部地下において金鉍化作用が生じていることが推定され、さらに進化した熱水は Rodnikovoe 鉍床における炭酸塩鉍化作用を継続させている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 枝 大 治  
副 査 教 授 蒲 生 俊 敬  
副 査 教 授 米 田 哲 朗 (大学院工学研究科)  
副 査 助 教 授 新 井 田 清 信

## 学 位 論 文 題 名

### Epithermal Gold Mineralization and Hydrothermal Activity in Porozhistro-Asachinskaya Metallogenic Province of South Kamchatka, Russia

(ロシア、カムチャッカ半島南部 Porozhistro-Asachinskaya 金属鉱床区における浅熱水性金鉱化作用と熱水活動)

近年、熱水性金属鉱床の成因に関する研究が精力的に行われている。しかし、その多くは生成条件の推定と元素輸送や母岩の変質作用に関与した熱水の起源の解明を主な目的としており、鉱化作用に関わる熱水活動の時空的変遷や詳細な熱水流動とその進化過程の解明は未開拓の分野で、今後の詳細な研究の発展が待たれている状況にある。

本論文は、現地における詳細な地質調査およびサンプリングと各種室内実験結果を実施し、南カムチャッカにおける熱水活動と関連金属鉱化作用の特性およびその時間的空間的変遷に加え、その地質・テクトニクス背景について解明したものである。その成果は以下のように要約される。

カムチャッカ半島は4つの雁行配列する火山帯からなり、現在は東端に位置する東カムチャッカ火山帯において活発な火山活動が生じている。本半島全域における代表的な浅熱水性金銀鉱床の K-Ar 年代測定結果により、始新世～中新世の火山活動を示す西カムチャッカ火山帯については 41.1Ma の年代値が得られた。同様に、暁新世から鮮新世に活動した中央カムチャッカ火山帯からは 17-7Ma、中新世から現在まで活動を続ける東カムチャッカ火山帯からは 7.4-0.7Ma の年代値が得られ、各火山帯の活動史と密接に結びついていることが判明した。生成年代の古い鉱床群については、産出量における銀含有量比の上限が次第に低くなる傾向が認められ、生成深度の浅い鉱床の削剥が進行して比較的深部に存在するマグマの影響を強く受けた高い硫黄分圧を示す鉱床部分が露出した可能性

も考えられる。特に南カムチャツカ地域における鉱床群では、年代の変化に伴う南東方向への鉱床生成場の遷移現象が確認された。またその遷移速度は5-10Km/Ma程度であり、鉱脈の走行は5Ma前後において時計回り方向への変化を生じていることも判明した。この一連の現象は北海道北東部においても観察され、応力場として鉱脈剪断断層形成に関与した大規模なテクトニクス変化を示している可能性が高い。

南カムチャツカ Rodnikovoe 鉱床については、年代測定・鉱化段階区分・熱水変質・鉱物化学・流体包有物・熱力学計算などの詳細な記載・分析を実施した。その結果、1.1-0.9±0.1Maの鉱化年代値が得られ、金を沈殿させた鉱化熱水はおよそ200℃で中性pH条件、金の溶存形態はAu(HS)<sub>2</sub>であったことが推定され、古地下水面下170m前後において沸騰現象が生じ、脱ガス(CO<sub>2</sub>・H<sub>2</sub>S)反応による金チオ錯体の分解に伴う金の沈殿をもたらしたことが明らかになった。

Rodnikovoe 鉱床近傍に位置する Mutnovskoe 鉱床については、それぞれ南部・北部における多金属型鉱床および石英脈型金鉱床の鉱床形態の識別を行い、両者の年代値としてそれぞれ1.3±0.1Maおよび0.7±0.1Maを得た。また、鉱物化学的検討・流体包有物分析・熱力学計算の実施とそれらの比較検討より、1.3Ma～0.7Maの時期にRodnikovoe 鉱床から鉱床分化を生じた可能性が推定された。また、Rodnikovoe・Mutnovskoe 両鉱床北西部の鉱床群についても流体包有物分析から生成深度の検討を行った。

Rodnikovoe・Mutnovskoe 両鉱床を含む地域では現在も活発な熱水活動が生じており、同地域において火山ガス・温泉水・河川水・温泉沈殿物などを採取し、安定同位体分析・溶存成分分析・化学分析等を行った。その結果、Mutnovsky 火山を熱源とした付近の温泉地帯では、距離に比例したマグマ水-天水の混合現象が生じていることが判明した。その性質は、熱源→蒸気加熱型強酸性域→シリカ卓越弱酸性域→シリカ卓越中性域→炭酸塩卓越弱アルカリ域という変化傾向が認められた。これらの熱水の進化と温泉沈殿物の性質を考慮することにより、現在の地下において高硫化型および低硫化型の熱水鉱化作用と、それらの分化が生じていると推定される。

本研究で得られた熱水活動域の遷移、各鉱床の成因論、現世の熱水系の進化をまとめると、Vilyuchinsko - Mutnovskaya 鉱化帯における浅熱水性鉱化作用は時空間軸を考慮して次のとおり説明される；1) 1.3-0.9Maにおいて、熱水鉱化作用はMutnovskoe 鉱床の多金属鉱化作用とRodnikovoe 鉱床の石英脈型金鉱化作用へと分化した。2) その後、熱源が南東方向へ移動し両鉱床からの距離が離れることにより、0.9-0.7MaにおけるMutnovskoe 鉱床の石英脈金鉱化作用およびRodnikovoe 鉱床における炭酸塩鉱化作用の分化が生じた。3) 現在の熱源はMutnovsky 火山であり、Mutnovskoe 鉱床北部地下において金鉱化作用が生じていることが推定され、さらに進化した熱水はRodnikovoe 鉱床における炭酸塩鉱化作用を継続させている。

これを要するに、著者は、南カムチャッカにおける第四紀以降の熱水活動とその時空変遷および熱水の進化についての新知見を得たものである。本研究成果は、島弧会合部に位置する南カムチャッカの熱水活動と鉱床形成史を広域的・総括的な観点から明らかにすると共に、後期新生代におけるそこでの詳細なテクトニクス場の解明と熱水活動に対して大きく貢献し、これらの成果は国際的にも同様な島弧・テクトニクス環境場にある地域での新たな資源探査にも多大な貢献をすると期待される。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。