

学位論文題名

北海道における後期新生代の熱水活動とその時空変遷

学位論文内容の要旨

地球表層部において進行する熱水活動は、火成活動や地殻変動の関与のもと、いろいろな場において熱水変質帯や金属非金属鉱床(鉱化帯)を形成する。形成された変質帯や鉱化帯は、熱水の物理化学的性質、火成活動の関与の程度、熱水の拡散の程度あるいは形成環境によって、さまざまな形態や性質を有する。同時に、それらの形成には時間空間的な共通性や偏在性が認められる。すなわち、熱水変質帯や熱水性鉱床の形成には時代性や地域性という地質古環境およびテクトニクスという包括的な要素が大きく寄与している。

本研究では、北海道の後期新生代に形成された熱水変質帯や鉱化帯を対象に、熱水活動がいつ、どこで、どのような環境で行われたのかを解析し、また、時代的・空間的な偏在性の原因とその背景について検討を行った。

(1) 熱水性鉱床および熱水変質帯とその形成環境

熱水性鉱床を浅熱水性鉱床(金銀、銅鉛亜鉛、マンガン、水銀、硫化鉄鉱)、スカルン鉱床(鉄)、黒鉱鉱床(銅鉛亜鉛、重晶石)、層状マンガン鉱床、鉱染状および昇華型硫黄・硫化鉄鉱鉱床(陸上火山噴気熱水性鉱床)に区分し、各タイプの熱水性鉱床の胚胎層準、形成環境、形成年代を明らかにし、鉱化ステージ区分を行った。さらに、熱水変質作用についても酸性変質作用・中性変質作用の区分と鉱物組み合わせによる分類、および成因にもとづく検討を行った。鉱化帯、変質帯の形成過程については、野外での観察および既存の文献をもとに整理した上で、とくに重要な勢多地域の浅熱水性金銀鉱床と虻田地域の陸上火山噴気熱水性鉱床(鉱染状および昇華型硫黄硫化鉄鉱鉱床)、およびそれらに伴って形成された熱水変質帯を詳細に検討した。

浅熱水性鉱床は、鉱脈型銅鉛亜鉛鉱床、鉱脈型硫化鉄鉱鉱床、鉱脈型マンガン鉱床、鉱脈型金銀鉱床、鉱脈型および鉱染状水銀鉱床からなる。これらの鉱床のうち、金銀鉱床や水銀鉱床では地表に近い環境での熱水活動を伴うケースが多い。東北北海道鉱床区南端の勢多鉱床では、鉱床形成当時の古地表面から地下約 500m までの熱水系の垂直断面とその形成プロセスを明らかにした。古地表面での諸現象として、シリカシンター、熱水角礫岩(角礫パイプを充填した角礫と地表に放出された角礫)、水平な拡がりをもつ溶脱珪化帯、カオリン帯と明ばん石帯の拡がり、溶脱珪化帯中の水銀鉱床の分布と石英からなる水平脈などが確認された。さらに、地表部で形成された硫酸酸性熱水が、裂か系に沿って深度約 500m までドレインバックしたこと、高品位の石英脈群(石英・氷長石脈群)と低品位の石英ネットワーク帯の拡がり、およびこれらの構造を規制した断層系の詳細についても明ら

かとなった。これらの熱水活動においては、天水起源の中性熱水と、その後に地下浅部で形成された酸性熱水が関与したことが、鉍化帯周辺部の熱水変質帯の分析や硫黄同位体、酸素同位体などのデータからも裏付けられた。このような地表浅部での熱水活動を示す現象は、北海道におけるいくつかの鉍床で観察され、熱水活動場の復元を可能にした。また、これらの熱水活動の多くは、深部で熱せられた主として天水起源の水が、地表付近まで上昇する熱水対流系を形成する低硫化系環境で進行したものであるが、一部にはマグマの揮発性成分がほとんど変化しないまま浅熱水環境に上昇し、熱水系を形成する高硫化系環境で進行した場合もあり、後者は西部北海道鉍床区に分布する。

陸上火山噴気熱水性鉍床である鉍染状および昇華型硫黄・硫化鉄鉍鉍床は、北海道では主に前期更新世の陸成火山の山頂、あるいは山体側部に層状に形成された。西部北海道鉍床区の虻田鉍床やその周辺の熱水変質帯は、火山ガス起源の酸性流体（硫酸酸性熱水）の拡散による溶脱型および付加型の珪化岩の形成、硫酸酸性熱水と岩石との反応による熱水組成の変化による珪化変質帯の下盤側および側方での粘土化変質帯（カオリナイト帯）の形成、側方に拡散した熱水と岩石との反応によるカオリナイト・スメクタイト帯、スメクタイト帯の形成というプロセスを経たことが明らかである。このことは、更新世の火山体内部において、火山ガス起源の流体による鉍床の形成とその周辺への硫酸酸性熱水の拡散という熱水活動系の存在が明らかとなった。

（２）鉍化ステージ区分と鉍化帯・熱水変質帯の時間・空間的偏在性

熱水活動・鉍化作用のステージは、M-I（19.0-15.5Ma；スカルン鉍床）、M-II（15.5-10.0Ma；層状マンガニ鉍床と黒鉍鉍床および浅熱水性鉍床）、M-III（10.0-6.0Ma；浅熱水性鉍床）、M-IV（6.0-0Ma；浅熱水性鉍床と陸上火山噴気熱水性鉍床）に区分される。各ステージ毎の鉍化帯や熱水変質帯の時間空間的偏在性の中で、とくに重要な点として、(A) 西部北海道鉍床区において、M-II ステージに西部で層状マンガニ鉍床が、東部で黒鉍鉍床が形成されたこと、(B) 西部北海道鉍床区において、M-III ステージから M-IV ステージにかけて、浅熱水性鉍床の形成場が時代とともに火山フロント側に収束したこと、(C) 東北北海道鉍床区において、浅熱水性鉍床の形成場が時代とともに南下したこと、(D) 両鉍床区において鮮新世末以降に鉍染状および昇華型硫黄・硫化鉄鉍鉍床の形成域が火山フロント側に収束したことなどが挙げられる。

これらの偏在性の要因として、形成時の地質環境（堆積環境・基盤構造・母岩の物性・地下水の供給環境・火山活動など）が大きな制約条件として挙げられ、とりわけ鉍化作用に関与した火山岩類の量と組成、鉍床胚胎母岩の物性、そして熱水流体の循環する環境が主要な要因であることが明らかとなった。

以上の鉍化帯や熱水変質帯の形成は２つの島弧の形成過程と重要な関連が考えられる。西部北海道鉍床区では、中期中新世の引張裂かの形成前には陸域での火山活動が活発だったにもかかわらず、地下水の供給および循環が不十分で、花崗岩類の貫入に伴うスカルン型鉍化作用が行われたにすぎない。しかし、引張応力が顕著となると深部に通じる断裂系が形成され、これを通路として海水が深部まで循環し、海底火山活動によって加熱された熱水による変質帯の形成と、珪長質溶岩と玄武岩のバイモーダル火山活動に関連した熱水

活動による黒鉱鉱床と海底玄武岩の活動による層状マンガン鉱床の形成が行われた。後期中新世以降の圧縮応力または中間応力環境では、隆起運動に伴って陸域が形成され、浅熱水性鉱床の形成が広い範囲で始まった。鮮新世末以降は隆起運動がより顕著になり、とくに火山フロント側で、安山岩の活動が陸域の広い範囲で進行した。これにより金銀鉱床や硫黄・硫化鉄鉱床が多く形成された。このように西部北海道鉱床区では中期中新世に島弧の基盤をなす地殻における断裂系が発達し、その後のステージでは一旦形成された断裂が再利用され、また、圧縮応力によって形成された新たな裂かを利用した熱水循環系が成立した。

東北海道鉱床区のうち、西部では中期中新世頃の浅海域～陸域での小規模な火山活動に伴って、鉱脈型金銀鉱床や鉱脈型銅鉛亜鉛鉱床の形成が開始した。東部の知床半島地区では、流紋岩-玄武岩のバイモーダル火山活動に伴う黒鉱鉱床が形成された。中期中新世末の広域圧縮応力環境下では、隆起運動と陸域での火山活動により浅熱水性の金銀鉱床、水銀鉱床、銅鉛亜鉛鉱床が広い範囲で形成され、時間とともに北から南へとその形成域が移動した。この鉱化帯の南下は、火山活動域が南に収束したことに加え、熱水活動場が多孔質岩分布域以外を選択したという古環境的な背景がある。また、東部でも隆起運動に伴って、浅海域での海底火山活動と陸域での火山活動が混在し、知床半島などの陸域で浅熱水性鉱床の形成が行われた。鮮新世末以降、火山フロント沿いに火山活動域が収束し、また、鉱化作用も同様にフロント側に収束し、とくに金銀鉱床、硫黄・硫化鉄鉱床が集中した。これらの鉱化帯のフロント側への収束は、千島弧の島弧としての性格が、後期中新世以降に明瞭になったことに起因するものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 枝 大 治

副 査 教 授 鈴 木 徳 行

副 査 教 授 米 田 哲 朗 (北海道大学大学院工学研究科)

副 査 助 教 授 藤 原 嘉 樹

副 査 石 原 舜 三 (産総研地質調査総合センター顧問)

学 位 論 文 題 名

北海道における後期新生代の熱水活動とその時空変遷

近年、熱水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。

地球表層部において進行する熱水活動は、火成活動や地殻変動の関与のもとで、様々な場において熱水変質帯や鉱床を形成する。形成された変質帯や鉱化帯は、熱水の物理化学的性質、火成活動の関与の程度、熱水の拡散の程度あるいは形成環境によって、種々の形態や性質を有する。同時に、それらの形成には時代性や地域性などの地質古環境およびテクトニクスという包括的な要素が大きく寄与している。

本論文は、詳細な現地地質調査と既存の研究報告の再検討を行い、このような背景における北海道の熱水活動の特性とその時間的空間的変遷、及びその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。

(1) 熱水性鉱床および熱水変質帯とその形成環境

熱水性鉱床をタイプごとに分類し、それぞれの胚胎層準、形成環境、形成年代の決定と鉱化ステージ区分を行うと共に、熱水変質作用の区分と成因の検討を行った。特に勢多地域の浅熱水性金銀鉱床と虻田地域の陸上火山噴気熱水性鉱床、およびそれらに随伴する熱水変質帯を詳細に検討した。前者では、その熱水活動が天水起源の中性熱水と地下浅部形成の酸性熱水の関与によることを熱水変質帯の検討や硫黄・酸素同位体データから裏付けた。一方、後者では更新世火山体内部における火山ガス起源の流体による鉱床形成と、その周辺への硫酸酸性熱水の拡散という熱水活動系の存在を明らかにした。

(2) 鉱化ステージ区分と鉱化帯・熱水変質帯の時間・空間的偏在性

熱水活動・鉍化作用のステージを M-I (19.0-15.5Ma ; スカルン鉍床)、M-II (15.5-10.0Ma ; 層状マンガン、黒鉍、浅熱水性鉍床)、M-III (10.0- 6.0Ma ; 浅熱水性鉍床)、M-IV (6.0-0Ma ; 浅熱水性鉍床、陸上火山噴気熱水性鉍床) の 4 期に区分した。各ステージにおける鉍化帯や熱水変質帯の時空的偏在性の特徴を明らかにし、これらの要因として、形成時の地質環境が大きな制約条件と考え、特に鉍化作用の関係火山岩類の量と組成、鉍床胚胎母岩の物性、さらには熱水流体の循環環境が主要な要因であることを明らかにした。これらの鉍化帯や熱水変質帯の形成は、2つの島弧の形成過程と重要な関係を有している。西部北海道鉍床区では、中期中新世以降の引張応力場での張力裂かの発達に伴う深部到達の断裂系の形成と、これを通路とする海水の深部循環に加え、海底火山活動に伴う加熱熱水による変質帯形成や黒鉍鉍床・層状マンガン鉍床の形成が生じた。後期中新世以降の圧縮応力または中間応力環境で、陸域の形成と浅熱水性鉍床形成が広範囲で生じた。西部北海道鉍床区では、中期中新世の島弧基盤をなす地殻での断裂系の発達とその後のステージにおける既存の断裂の再利用に加え、圧縮応力による新たな裂かを利用した熱水循環系が成立した。

東北北海道鉍床区における中期中新世末の広域圧縮応力環境で、浅熱水性鉍床の形成が時間経過に伴い南下を生じた現象は、火山活動域が南に収束したことに加え、熱水活動場が多孔質岩分布域以外を選択したという古環境的な背景がある。また、東部でも浅海域での海底火山活動と陸域での火山活動が混在し、知床半島などの陸域で浅熱水性鉍床の形成が生じた。鮮新世末以降、火山活動域や鉍化作用が共に火山フロント側に収束し、この事は、千島弧の島弧としての性格が後期中新世以降に明瞭になったことに起因する。

これを要するに、著者は、北海道における後期新生代の熱水活動とその時空変遷についての新知見を得たものであり、本研究成果は島弧会合部に位置する北海道の熱水活動と鉍床形成史を広域的・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北海道の詳細なテクトニクス場の解明と古地理復元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。