

学 位 論 文 題 名

Geochemical study of early to middle Miocene volcanic rocks from Hokkaido: Magma types and their genetic relationship during the formation of Japan Basin.

(前期～中期中新世の北海道の火山岩に関する地球化学的研究：
日本海盆形成時のマグマタイプとその成因関係)

学位論文内容の要旨

ユーラシア大陸東縁に日本海が形成された前期～中期中新世には、日本海周辺地域で広範囲に及ぶ火成活動があった。このような背弧拡大に関与する火成活動に対して地球化学的制約を与えることは、島弧-背弧系の形成過程を解明する上で有効な手段である。特に、地球化学的特徴の水平変化および時間変化を捉えることが重要である。日本海盆は大陸縁に形成されたため、周辺地域に活動した火山岩の露出がよく、これまでに多くの研究がなされて来た。そのほとんどは東北本州弧や極東ロシア地域に分布する火山岩に対して行われており、これらの地域は背弧拡大方向に位置する。一方、北海道地域は背弧拡大軸の延長線上に位置しており、この地域の特徴を明らかにすることで日本海形成機構を体系的に理解できることが期待されるが、北海道地域については、広域的な地球化学的検討がこれまでなされてこなかった。本研究では、日本海拡大の最盛期から末期にあたる 20～14Ma に北海道地域で活動した火山活動について、まず活動域東縁にあたる中央部の地球化学的特徴を明らかにした。さらに、南西部を含めた活動中心部から縁辺部まで拡大軸方向の連続的な地球化学的特徴の水平変化を明らかにし、拡大方向のコンパイルデータと合わせて、日本海周辺地域のマグマ生成機構を検討した。

北海道地域における日本海拡大に関係する火山活動は、日本海側の南西部を中心に起こり中央部まで及んだ。火山活動域の東縁にあたる北海道中央部では、中間組成の安山岩およびデイサイトを欠く苦鉄質岩と珪長質岩のバイモーダルな火山活動が起こっていた。北海道中央部の苦鉄質岩は、地球化学的特徴から 3 タイプに分けられ、地域によって異なったタイプが分布する。北海道中央部の東側に活動した苦鉄質岩には、Nb 負異常などの島弧的な特徴が認められない (Eastern type: E-type)。また東側の地域に近い浦河地域で活動した苦鉄質岩は液相濃集元素に著しく富み、プレート内玄武岩に類似した特異な特徴を有する (Ur-Type)。一方、西側地域では島弧的な特徴が認められる (W-Type)。これらのマグマタイプは、Sr, Nd 同位体比でも区別される。E タイプは MORB よりやや肥沃な組成を示し、

W タイプはより肥沃な組成を持つ。これらに対して Ur タイプは著しく肥沃な EM1 組成を有する。北海道中央部の珪長質岩もまた、その地球化学的特徴から、高アルカリタイプ、アダカイトタイプ、高シリカタイプの 3 タイプに分けられる。高シリカタイプは第四紀北海道南西部に産する島弧流紋岩と類似した組成を示す一方、高アルカリタイプは K_2O や Nb に著しく富み、またアダカイトタイプは Sr/Y 比および軽希土類 (LREE) /重希土類 (HREE) が著しく高い特徴的な組成を有する。これらの組成は、近接する地域に産する苦鉄質岩からの結晶分別作用や同化分別結晶作用 (AFC) による成因では説明できず、下部地殻の部分溶融によってのみ、生成可能であった。従って珪長質岩の多様性は、多様な下部地殻の存在を示しており、北海道地域がおかれてきた複雑なテクトニクス場を反映していることがわかった。一方、マントルに由来する苦鉄質岩は、日本海拡大の影響を直接的に受けたと考えられるが、これらの組成は他の日本海周辺地域にくらべて Nb/Yb 比が高く、また顕著な EM1 組成も認められる。このような組成は北海道中央部だけに認められており、拡大軸延長部の特徴である可能性が高い。次に南西部を含めた広域的な検討を、苦鉄質岩に注目して行った。

南西部を含めた北海道地域では、18 Ma 以降に火山活動域が東へ広がった。噴出した火山岩の地球化学的特徴も、18 Ma を境に変化した。20~18 Ma の玄武岩は同位体組成や液相濃集元素に肥沃な特徴をもち、これらは背弧拡大前の陸弧活動期に活動した火山岩の特徴と類似する。この中で、南西部の玄武岩は低い LIL 元素/HFS 元素比を示し、同時期に中央部で活動した W-Type とは異なって非島弧的で、当時の東北本州弧背弧側に活動した玄武岩と類似した組成を持つ。18~14 Ma に活動した玄武岩は全体的に非島弧的で、南西部のものは MORB のように涸渇した組成を示す。一方中央部では、液相濃集元素に富む E-Type および Ur タイプが活動した。これらの地球化学的特徴の多様性を、マグマソースと部分溶融度の変化によって説明することができた。すなわち、20~18 Ma の玄武岩は肥沃な大陸下リソスフェアが 1 GPa の条件で 2~5 % 部分溶融することによって生成可能であり、18~14 Ma に南西部で活動した玄武岩は、残存相にザクロ石を含まない涸渇したマントルが 1 GPa の条件で 5 % 以上溶融することで生成可能である。18~14 Ma に北海道中央部で活動した E-Type はザクロ石の含まれる涸渇したマントルからの 1~5% の部分溶融で、Ur-Type は、3 GPa の深部で EM1 マントルがごく僅かに溶融した場合に生成されうる。以上のことは、日本海側で部分溶融度が大きくなったことや、深部に EM1 が存在した可能性を強く示唆しており、マグマ起源マントルが大陸下リソスフェアからアセノスフェアへ変換したことに加えて、背弧側における熱源の上昇があったことや、深部由来の EM1 プルーフが存在したことを意味する。このように、マグマソースの組成だけでなく、部分溶融度の変化を捉えたのは、本研究が初めてである。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	中 川 光 弘
副 査	教 授	竹 下 徹
副 査	教 授	鈴 木 徳 行
副 査	准教授	新井田 清 信
副 査	講 師	前 田 仁一郎
副 査	教 授	岡 村 聡 (北海道教育大学札幌校)

学 位 論 文 題 名

Geochemical study of early to middle Miocene volcanic rocks from Hokkaido: Magma types and their genetic relationship during the formation of Japan Basin.

(前期～中期中新世の北海道の火山岩に関する地球化学的研究：

日本海盆形成時のマグマタイプとその成因関係)

島弧-背弧系の形成過程の解明は、特に背弧海盆については、近年の深海底掘削プロジェクトの推進に伴い、地球化学的手法による解明が進んでいる。しかしながら、これら多くの研究は島弧火山との比較や拡大軸方向のみに注目した例がほとんどで、面的に広く火山岩組成を検討した例はなく、背弧海盆形成の3次元的なモデルの解明には至っていない。本研究は日本海盆を対象とし、これまで系統的な地球化学的データが報告されていない、日本海盆拡大の最盛期から末期にかけて北海道地域で活動した火山岩の地球化学的特徴を明らかにした。そして北海道は日本海盆拡大軸方向にあたることに注目して、拡大方向にあたる東北地方やロシアのシホデアリンやサハリンの既存データと合わせて、日本海周辺地域のマグマ生成機構の3次元的なモデルを構築した。

本論文ではまず、20~14 Maにおける、北海道中央部地域の地球化学的特徴を明らかにした。当時の北海道中央部は日本海拡大に関連した火山活動域の東端にあたり、中間組成を欠く苦鉄質岩と珪長質岩のバイモーダルな火山活動が起こっていたことが特徴である。まず珪長質岩について検討し、その地球化学的特徴から、高アルカリタイプ、アダカイトタイプ、高シリカタイプの3タイプに分けられることを示した。これらの珪長質岩は共存する苦鉄質岩の結晶分化作用や同化・結晶分別作用で生成されず、想定される下部地殻の部分溶融によ

って説明可能であることを示した。そして、珪長質岩の多様性は多様な下部地殻の反映であり、これらは日本海拡大時のマグマの特徴とは無関係であると議論した。

一方、北海道中央部の苦鉄質岩は、地球化学的特徴から 3 タイプに分けられ、それらは Nb 負異常などの島弧的な特徴が認められない Eastern type (E タイプ)、東側の地域に近い浦河地域の液相濃集元素に著しく富みプレート内玄武岩に類似した特徴を有する Urakawa type (Ur タイプ)、そして西側地域の島弧的な特徴が認められる (W タイプ) である。同位体比からは E タイプは MORB よりやや肥沃で、W タイプはより肥沃な組成を持ち、Ur タイプは著しく肥沃な EM1 組成を有することがわかった。これら苦鉄質岩は、他の日本海周辺地域に産する同時期の苦鉄質岩と比べて Nb/Yb 比が高く、また Ur タイプも北海道中央部だけに認められていることから、これらは北海道が拡大軸延長部に位置することの反映である可能性が高い。

次に本論文では、北海道南西部を含めた広域的な検討を、苦鉄質岩に注目して行った。北海道地域では、18 Ma 以降火山活動域が東へ広がったが、火山岩の地球化学的特徴も 18 Ma を境に変化していることを示した。20~18 Ma の玄武岩は液相濃集元素に富み肥沃な同位体組成を持ち、背弧拡大前の陸弧活動期に活動した火山岩と類似する。この中で、南西部の玄武岩は同時期に中央部で活動した W-Type とは異なって非島弧的で、当時の東北本州弧背弧側に活動した玄武岩と類似した組成を持つ。18~14 Ma に活動した玄武岩は全体的に非島弧的で、南西部のものは MORB のように涸渇した組成を示す。一方中央部では、液相濃集元素に富む E タイプおよび Ur タイプが活動した。これらの地球化学的特徴の多様性は、マグマソースと部分熔融度の変化によって説明することができた。20~18 Ma の玄武岩は、背弧拡大前に活動した火山岩と同様に、肥沃な大陸下リソスフェアが数%程度の熔融度で部分熔融することにより生成された可能性が高い。一方、18~14 Ma に南西部で活動した玄武岩は、涸渇したマントルがマグマ起源となりその部分熔融度は 5 % 以上と見積もられたのに対し、同時期に中央部で活動した E タイプはザクロ石を含む涸渇したマントルからの数%の部分熔融で、Ur タイプは深部で EM1 マントルがごく僅かに熔融した場合に生成され得ることがわかった。以上のことから、日本海盆拡大時に、日本海側で部分熔融度が大きくなったことや、深部に EM1 が存在したことが明らかとなった。また同時期に産する W タイプに代表される島弧タイプのマグマは東北~北海道~シホテアリンまで分布し、これが拡大前の陸弧の特徴の反映であると主張した。これらの結果をもとに、日本海盆形成時に起源マントルが大陸下リソスフェアからアセノスフェアへ変換したことに加えて、背弧側における熱源の上昇や深部由来の EM1 プルームが存在したことを考慮したモデルを提案した。

以上のように本論文は、背弧海盆拡大軸方向と拡大方向を意識して面的な組成分布を捉えるという斬新な視点を持ち、拡大軸方向にあたる北海道地域の地球化学的特徴から、マグマ起源物質の変遷のみならず部分熔融度の変化を捉え、日本海拡大に関連する火成活動に対し

て三次元的なモデルの構築に成功した。この成果は岩石学的・地球化学的に重要であるだけでなく、今後の背弧海盆形成過程の解明に大きく貢献するものである。

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があるものと認める。