

関東山地北部, 三波川帯御荷銻緑色岩類の超苦鉄質岩体 ジュラ紀海台火成活動との関連

Ultramafic mass of the Mikabu Greenstones in Northern Kanto mountains :
Relation to Jurassic ocean plateau magmatism

井澤 一輝*
Kazuki Izawa

キーワード: 海台, かんらん石, 集積岩, フェロピクライト, アルカリ玄武岩

Key words : Ocean plateau, Ultramafic rocks, Cumplate, Ferropicrite, Alkali basalt

はじめに

海台と付加緑色岩体

海台は, 一般にホットブルームの上昇に伴う火成活動によって形成された, 海洋底の溶岩台地であると考えられている。海台は, プレーートの沈み込みによって付加体に取り込まれ, 海台の断片が帯状分布を示す, 緑色岩体を形成する。御荷銻緑色岩類は, このような緑色岩体の一種で, 三波川帯南縁部に沿って800kmに渡って分布する。その起源は, 海嶺玄武岩 (MORB) に類似したソレアイトや, ブルームに関係するソレアイト, あるいはアルカリ玄武岩マグマであるとされる (Ozawa et al. 1997, 1999 ; Tatsumi et al. 1998 ; 上杉・荒井 1999)。Kimura (1997) や Ichiyama et al., (2014) は, 御荷銻緑色岩類が東アジア大陸縁に付加された, ジュラ紀後期の単一の巨大な海台であると考えた。

超苦鉄質岩体

付加した緑色岩体中には, 直径数百 m ~ 数km程度の超苦鉄質岩体が存在する (Nivia et al. 1992 ; Kerr et al. 1998)。Kerr et al. (1998) は, カリブ海-コロンビア海台の超苦鉄質岩体は, 岩石学的モホ面の上部に形成されたマグマだまりから結晶分別して形成されたとした。そして, 海台が沈み込む際に深部の岩石がはぎ取られ, 付加されたと考えた。御荷銻緑色岩類中の超苦鉄質岩体は, これと同様の付加過程を経たと考えられている (Ichiyama et al. 2014)。御荷銻帯の超苦鉄質岩体は, ダナイト, ウェールライト, パイロキシナイト, 斑レイ岩類からなる集積岩である (Tazaki 1966 ; 猪俣 1978 ; Agata 1994 ; 上杉・荒井 1999)。これらの起源となるマグマは, 海洋島ソレアイトやピクライト玄武岩, アルカリ玄武岩等とされている。超苦鉄質岩体は, 単一のマグマで

はなく, 異なる火成活動を経て形成されたことがうかがえる。
北関東山地の超苦鉄質岩体

Tazaki (1966) によって報告された, 下仁田地域の超苦鉄質岩体は, 上部マントルの部分熔融の結果, メルトから結晶集積作用して形成したと考えた。その後, Inomata・Tazaki (1974) は, Tiに富む雲母, 角閃石の存在から, アルカリ玄武岩マグマを起源とすると考えた。Ozawa et al. (1997) は, 黒内山岩体に貫入したピクライト質玄武岩の角閃石の K-Ar 年代測定から, 142~153Ma の形成年代をもとめた。御荷銻緑色岩類の緑色岩が活動した時期は, チャートのゼノリスの化石年代から, 最下限でジュラ紀中期~後期と推定されている (Kurimoto 2013)。これら研究から, 関東山地の黒内山岩体は, 御荷銻緑色岩類の緑色岩との時間的な整合性をもち, 海台火成活動との関係性が示唆される。本研究では, 関東山地北部に分布する三波川帯御荷銻緑色岩類の超苦鉄質岩体を検討し, 海台火成活動との関係性を解明することを目的とする。

地質概説

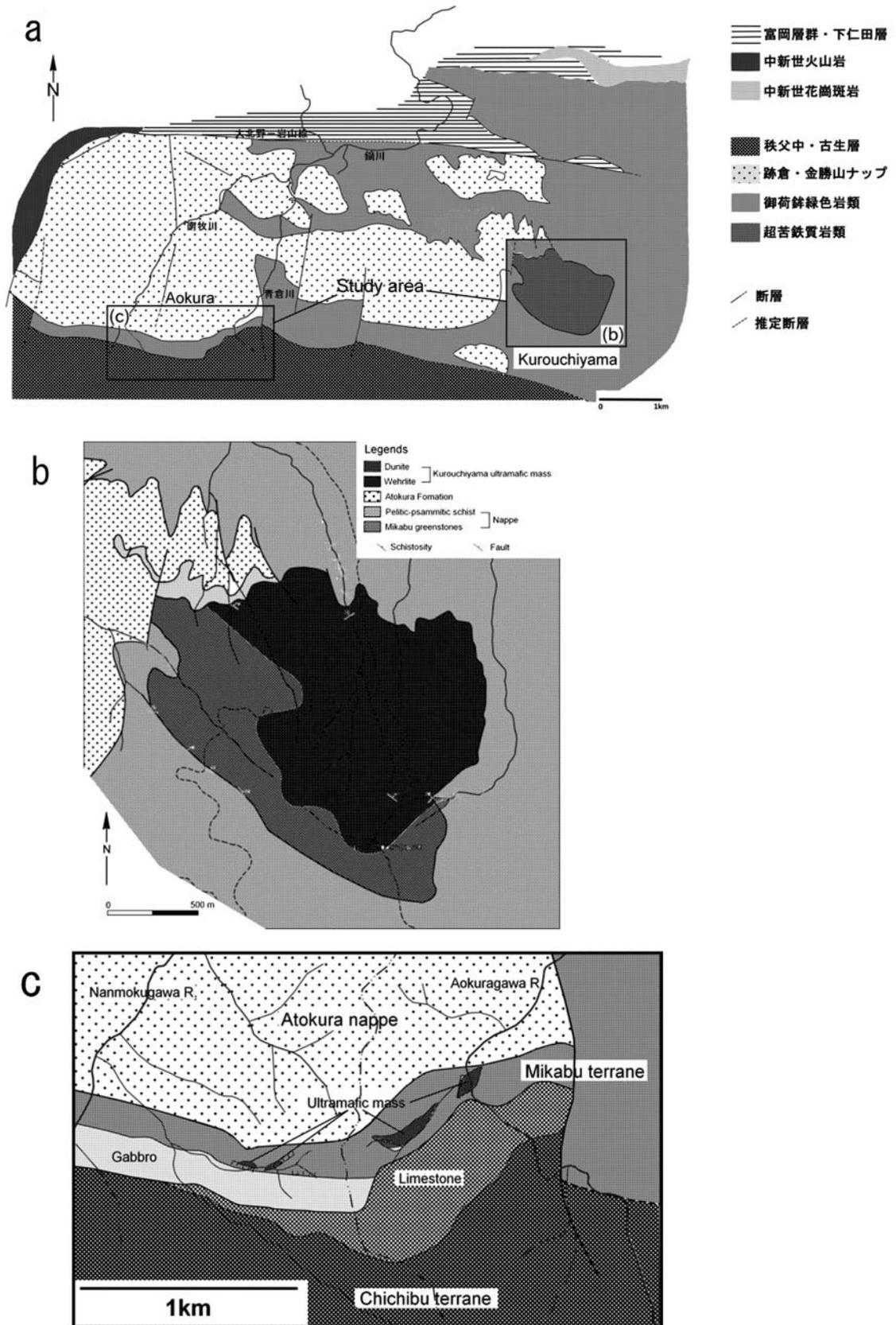
下仁田地域の地質は, 北部から富岡層群・下仁田層, 跡倉・金勝山ナップ, 御荷銻緑色岩類, 秩父帯堆積岩類が分布する (小林・荒井 2002)。特に御荷銻緑色岩類は, 西部で支配的である。御荷銻緑色岩類は, 緑色岩及び泥質片岩からなり, 砂質片岩, 石灰質片岩, 超塩基性岩を伴う。黒内山超苦鉄質岩体, 青倉岩体はこれに含まれる (第1図 a)。

黒内山岩体は, 周囲の緑色片岩, 泥質片岩とは非調和的である。周囲との接触関係は断層で, 西部の北西走向, 北東傾斜の断層と, 南東部の北東走向, 北西傾斜の低角断層が境界

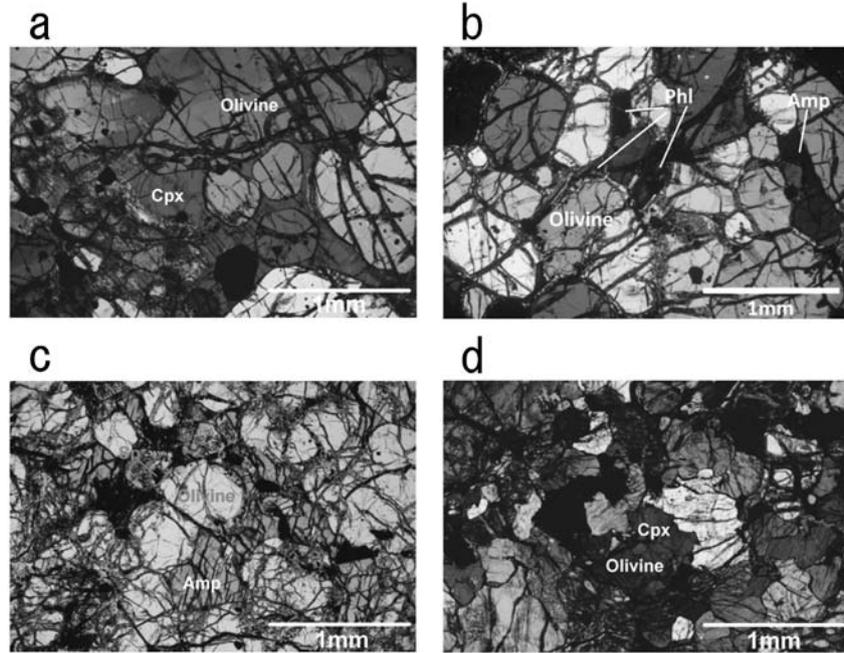
2017年12月3日受付, 2018年2月25日受理。

*株式会社デイ・シー

〒210-0005 神奈川県川崎市川崎区東田町8 パーレル三井ビルディング17階 (本社)



第1図 a 下仁田地域の地質図. 小林・新井 (2002) より改変. b 黒内山周辺の地質図. c 青倉地域の地質図.



第2図 顕微鏡下におけるかんらん岩の産状. a-c は黒内山岩体, d は青倉岩体.

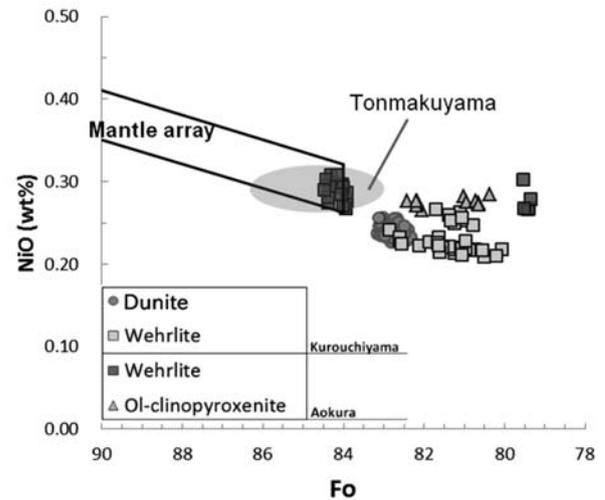
として見出されている (竹内・田村 1994). 黒内山岩体は、ダナイトとウェールライトを主体とする. ダナイトは黒内山のピークより北側の大半を占め、西端から南端にかけてウェールライトが露出する (第1図 b). 両者の境界は漸移的である.

青倉地域の御荷鉾緑色岩類は、跡倉ナップと秩父帯に挟まれた、南北約200~400mの幅で、東西に帯状に広がる (第1図 c). この地域の緑色岩類は、著しい変形を被っているが、わずかに火山砕屑岩やそれに貫入するカンラン石に富む玄武岩が観察された. 緑色岩類は、しばしば長径数十cm~数m程度のレンズ状石灰岩を挟む. 青倉地域は、長径1km超の斑レイ岩ブロック、長径数十~数百mの超苦鉄質岩体が点在する. いずれも緑色岩類とは高角の断層で接する. かんらん岩と斑レイ岩が連続する産状は観察されなかった.

岩石学的特徴

黒内山岩体

ダナイト・ウェールライトの鉱物組み合わせは、含有量の多い鉱物から順にカンラン石、単斜輝石、角閃石、スピネル、金雲母である. スピネルやカンラン石は自形~半自形をもつ (第2図 a-c). 単斜輝石や角閃石、金雲母は他形で、カンラン石の粒間を充填する (第2図 a-c). 特に単斜輝石や角閃石は、しばしばカンラン石を包有するポイキリティック組織を示す (第2図 a, c). また角閃石や金雲母は、褐色~赤褐色で、カンラン石と単斜輝石の間隙のポケットに存在することが多い (第2図 b, c). このように、組織は集積組織を示す.



第3図 カンラン石のFo値(=100×Mg/[Mg+Fe] mol%)とNiO含有量の組成関係図. Mantle arrayは高橋(1986)に基づく.

青倉岩体

ウェールライト・カンラン石単斜輝石岩から構成される. 両岩ともに鉱物組み合わせは、含有量の多いものからカンラン石、単斜輝石、角閃石、スピネルである. 一部の試料では、斜方輝石が観察される. 単斜輝石はカンラン石を包有するポイキリティック組織を示すこともあるが、黒内山岩体の単斜輝石よりも小さい場合が多い. そのため、粒間を複数の中粒他形の単斜輝石が充填する (第2図 d). 角閃石は褐色~赤褐色で他形、単斜輝石と同様にカンラン石の粒間を充填す

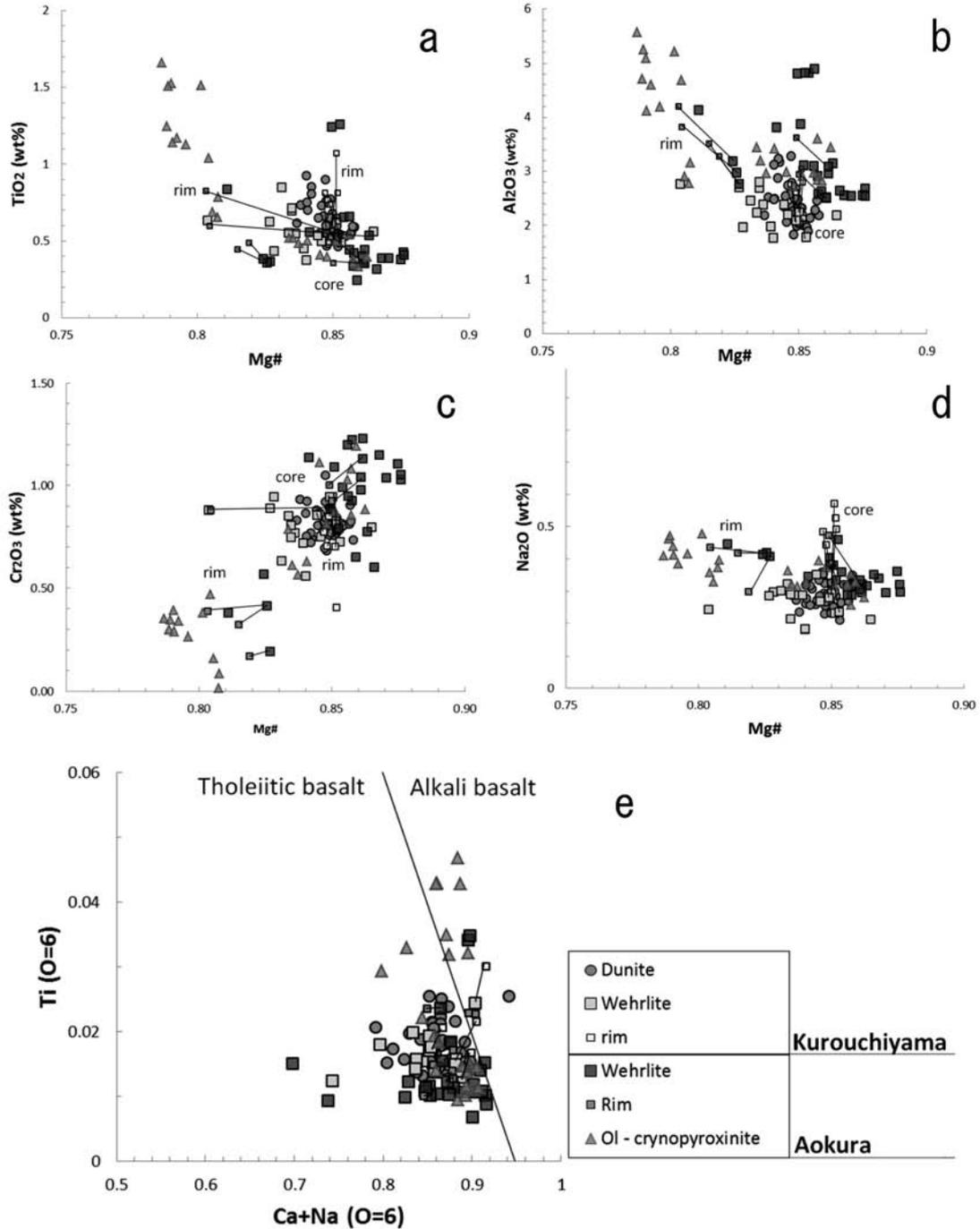
る (第2図 d).

青倉岩体の単斜輝石のモード比は、12-58%と変化に富む。単斜輝石含有量のもっとも少ない岩体は、青倉地域西部の小岩体群であり、もっとも多い岩体は、青倉川西縁部の岩体であった (第1図 c)。また、西部小岩体群は、角閃石のモード比が7-9%と高い含有量を示す。

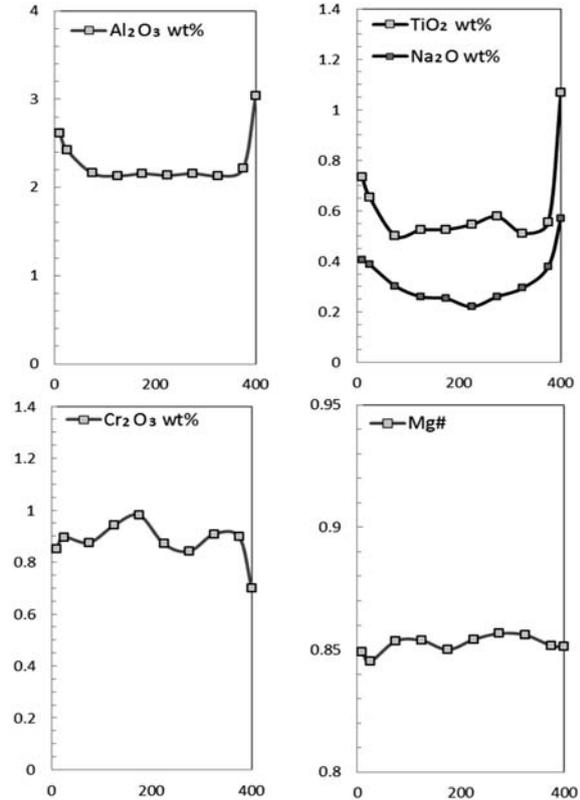
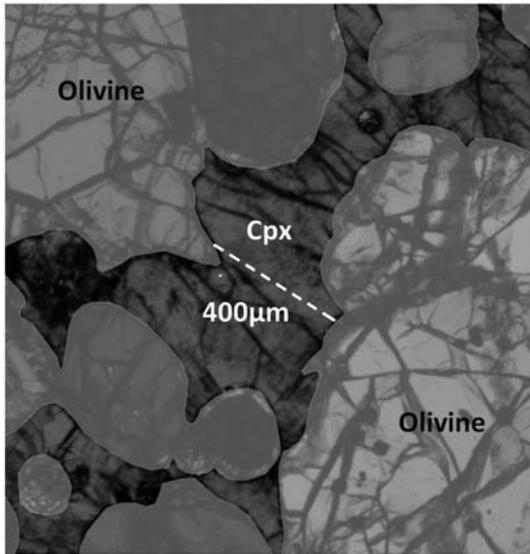
鉍物化学組成

手 法

鉍物化学組成は、新潟大学自然科学研究科に設置されている、波長分散型分光器 (WDS) 付き EPMA (JEOLJXA8600SX) を用いた定量分析によるものである。測定条件は、単斜輝



第4図 単斜輝石の組成関係. a-dは Mg# と TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, Na₂O の組成関係図. e は Leterrier et al. (1982) に基づく組成区分図.



第5図 黒内山岩体のウェールライトの単斜輝石の組成累帯構造.

石、角閃石、金雲母、スピネルは加速電圧15kV、試料電流 1.30×10^{-8} A で行い、分析補正值には Oxide ZAF 法を用いた。カンラン石は、加速電圧25kV、試料電流 2.0×10^{-8} A で行い、Oxide ZAF 法を用いた。作成した黒内山岩体、青倉岩体の試料のうち13試料について、単斜輝石の REE 組成の測定を行った。分析は、新潟大学自然科学研究科に設置されているレーザー照射型誘導結合プラズマ質量分析装置 (LA-ICP-MS: Agilent 7500a) を用いた。検量線用の標準試料として NIST SRM612 を使用し、Pearce et al. (1997) の推奨値を参照した。

かんらん石

黒内山岩体のカンラン石の NiO 含有量 (0.21~0.27wt%) と比較して、青倉地域の岩体は、やや高い NiO 含有量 (0.27~0.31wt%) を示す (第3図)。青倉岩体のウェールライトの一部は、推定されるマントルかんらん岩のカンラン石の組成領域である Mantle array (高橋 1986) の末端にプロットされる。また、いずれの試料も Mantle array の低 Fo 値方向の延長にプロットされる。

単斜輝石

黒内山岩体、青倉岩体ともに、TiO₂、Al₂O₃含有量は、コアに対してリムでは増加する (第4図 a, b; 第5図)。一方、コアの Cr₂O₃含有量は、コアに対してリムでは減少する (第4図 c; 第5図)。とくに青倉岩体は大きな組成差を示す。黒

内山岩体ではリムで Na₂O 含有量が増加するが、青倉岩体はほとんど変化しない (第4図 d; 第5図)。リムで含有量の多い元素は不適合元素である。

単斜輝石の希土類元素存在度は、黒内山岩体のダナイト、ウェールライトは、ともに Middle Rare Earth Element (MREE) に富み、Light REE (LREE)、Heavy REE (HREE) に枯渇する (第6図 a)。両者とも広い組成幅をもつ。青倉岩体もまた MREE に最も富む組成を示すが、LREE は枯渇したものから MREE に匹敵する存在度を示す (第6図 b)。試料ごとに組成差の程度は異なるが、LREE の存在度の低いものは単斜輝石のコア、高いものはリムで計測された。LREE に富むものは、やや HREE の存在度も高い傾向を示す。

単斜輝石の REE 組成から推定したメルトの REE 組成からは、黒内山岩体のダナイトやウェールライトは、ともに若干 LREE に富み、HREE に枯渇することがわかる (第6図 c)。青倉岩体は、La と Ce は枯渇するものが多いが、他の元素は重い元素になるほど存在度が低くなる右下がりの傾向を示す (第6図 d)。La、Ce まで存在度の高い組成を示すものは、単斜輝石のリムで計測された。

角閃石

角閃石の化学組成による組成区分図 (Leake et al. 1997) では、かんらん岩中の角閃石は、いずれも Ca の陽イオン比

(atoms per formula units : apfu) が1.50以上, (Na+K) の apfu が0.50以上の値をもつことから, カルシウムに富む角閃石グループに区分される (第7図). さらに Si の apfu は5.5~6.5, Mg# (=Mg/[Mg+Fe]) は0.5以上にプロットされる. Ti の apfu はほとんどが0.5未満であり, パーガス閃石に分類されるが, ごく一部は Ti の apfu が0.5を超え, ケルスート閃石に分類される.

スピネル

黒内山岩体のダナイト, ウェールライトのスピネルの Cr# (=Cr/[Fe³⁺+Cr+Al]) の組成範囲は0.59~0.72, Fe³⁺ # の組成範囲は0.21~0.54, TiO₂含有量は1.40~8.40wt%の範囲に集中する (第8図). 青倉岩体のウェールライト, カンラン石単斜輝石岩の Cr# の組成範囲は0.42~0.61, Fe³⁺ # の組成範囲は0.17~0.80, TiO₂含有量は0.25~3.65wt%の範囲に集中する. Arai (1994) の形成場による分類において, 黒内山岩体はプレート内玄武岩, 青倉地域はプレート内玄武岩, あるいは MORB の領域にプロットされる (第8図 a). また, 御荷銻緑色岩類の超苦鉄質岩体と比較して, 青倉岩体は

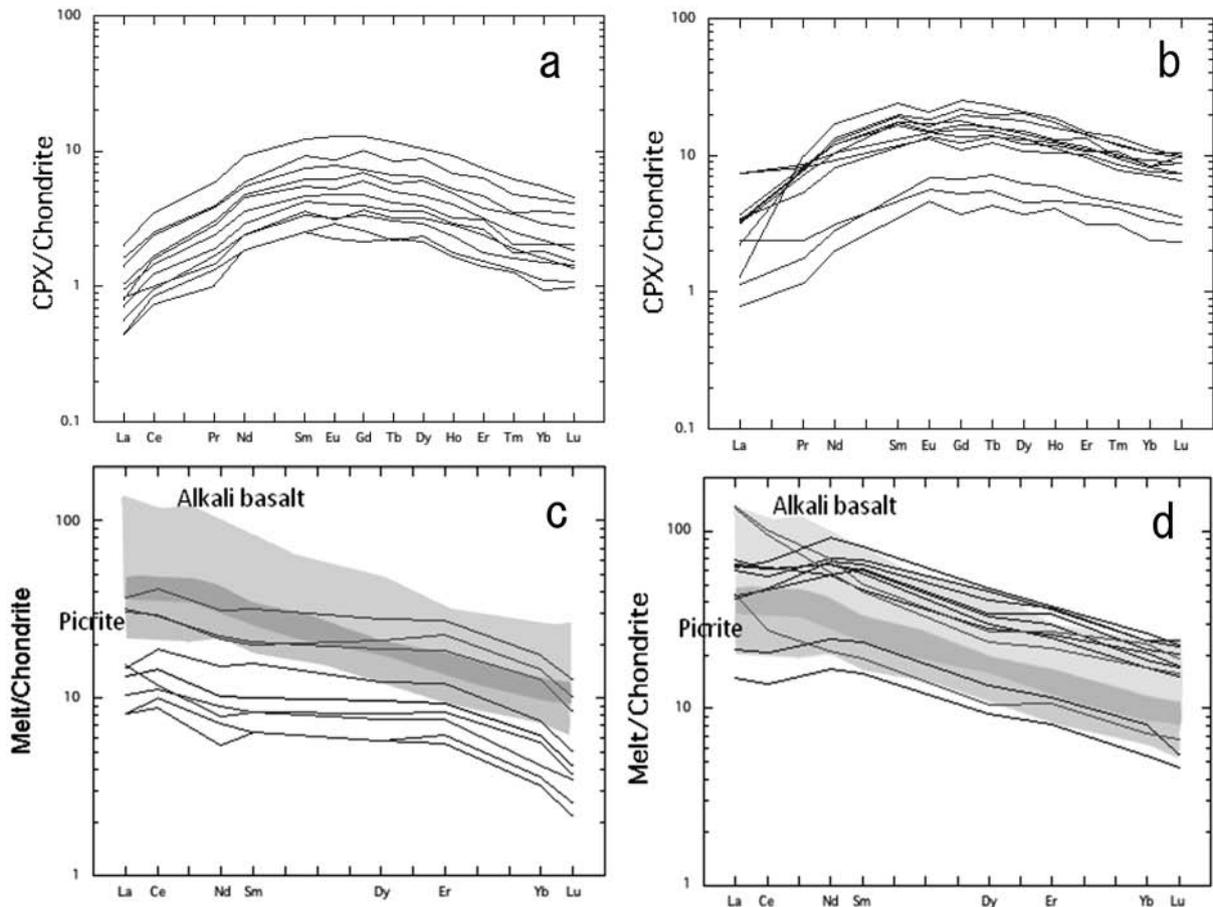
Ichiyama et al. (2014) で報告された岩体の組成に類似するが, 黒内山岩体と同様の組成をもつ岩体は報告されていない (第8図 a, c). 黒内山岩体の TiO₂含有量の増加は, Fe³⁺ # の増加に対して非常に著しい正の相関を示す (第8図 c). 一方, 青倉岩体は, TiO₂含有量の増加に対し, Fe³⁺ # が著しく増加する.

考 察

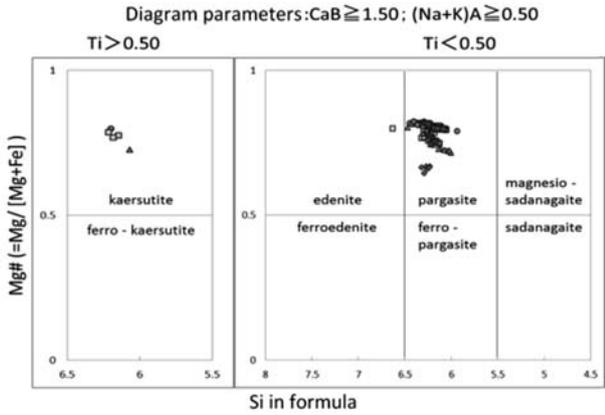
超苦鉄質岩体の成因

黒内山岩体は, 集積鉱物であるカンラン石とスピネルおよび, 粒間を充填する単斜輝石, 角閃石, 金雲母から構成される (第2図 a-c). 集積組織の産状から, 晶出順序はカンラン石・スピネル>単斜輝石>角閃石>金雲母であることがわかる. 青倉岩体では金雲母は観察されないが, 晶出順序は黒内山岩体と同様の晶出順序をもつ.

鉱物化学組成においては, 黒内山岩体のスピネルは, 高い Cr# や TiO₂含有量を示す (第8図 a, b). 対して青倉岩体



第6図 a, b 単斜輝石の REE 組成パターン. c, d 単斜輝石の REE 組成から推定したメルトの REE 組成パターン. いずれも C1 chondrite (Sun and McDonough 1989) で規格化した. 単斜輝石とメルトの分配係数は Hart and Dann (1993) 用いた. a, c は黒内山岩体, b, d は青倉岩体. c, d の塗色領域は, GEOLOC (<http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/>) からコンパイルした海洋島のピクライトおよびアルカリ玄武岩の組成領域である.

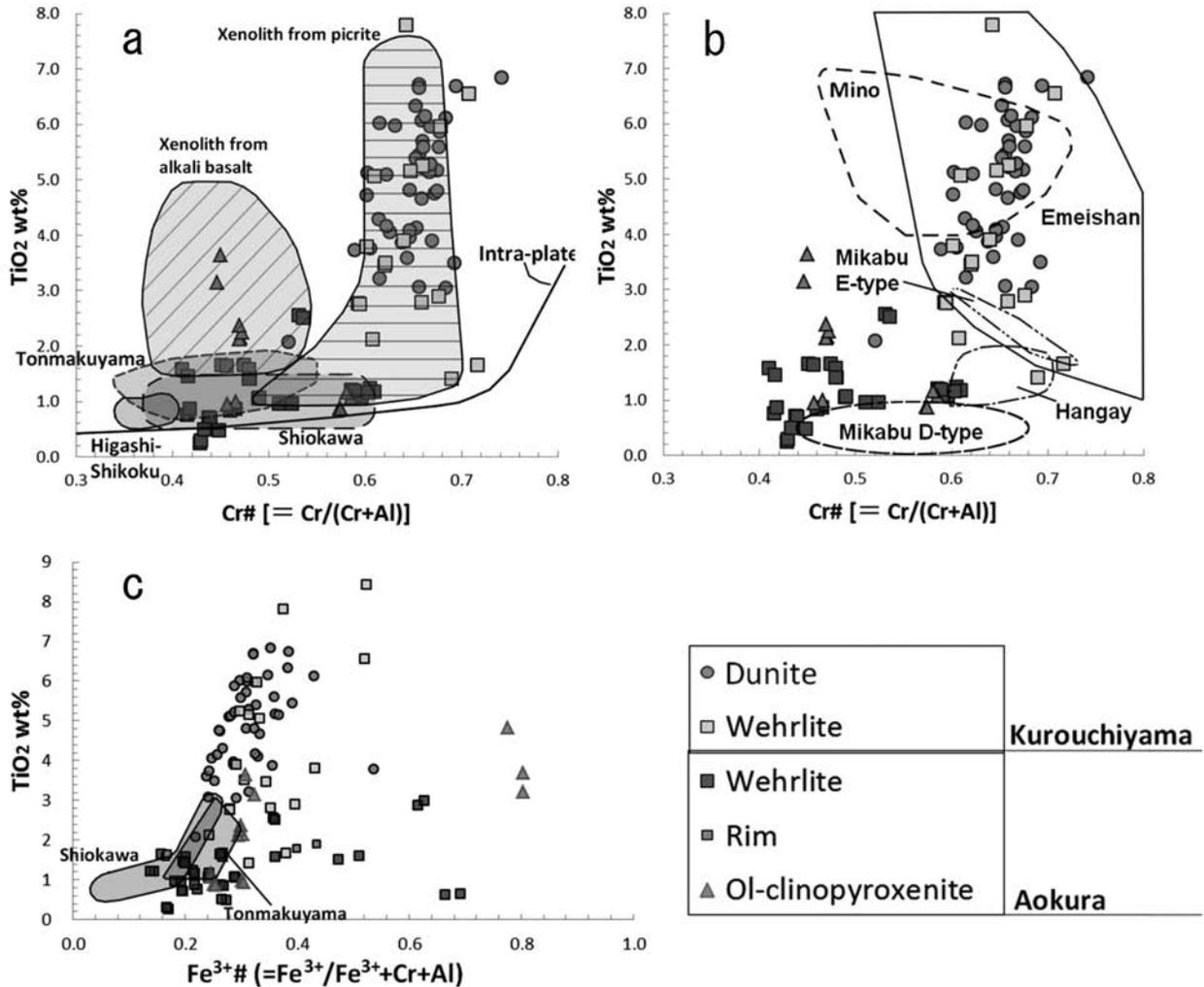


第7図 Leake et al. (1997) に基づく角閃石の組成区分図.

は、低い Cr# や TiO_2 含有量を示す (第8図 a, b). さらに、単斜輝石の REE 組成から推定されたメルトの組成は、青倉岩体が黒内山岩体と比較してかなり肥沃な組成をもつ (第9図 a, b). これらの特徴は、青倉岩体は部分熔融度の低いマグマ、黒内山岩体はそれよりも部分熔融度の大きいマグマが関与したことが示唆される.

超苦鉄質岩体の初生的なマグマの組成

北関東山地の超苦鉄質岩体は、御荷鉾緑色岩類における他の超苦鉄質岩体と比較して、同様に低いカンラン石の Fo 値を示す (第3図). また、青倉岩体のスピネルの組成は、塩川岩体 (上杉・荒井 1999) や富幕山岩体 (Ichiyama et al. 2014) に比較的近い組成を示す (第8図 a). しかし、青倉岩体の高い TiO_2 含有量や Fe^{3+} # は一致しない (第8図 a, c). また、黒内山岩体は、同様の組成範囲をもつ超苦鉄質岩体の存在は報告されていない (第8図 a, c). 以上の結果から、超苦鉄質岩体は、他の超苦鉄質岩体とは異なる



第8図 スピネルの組成関係. 塗色領域は御荷鉾緑色岩類の超苦鉄質岩体である東四国岩体 (Takeda 1980), 塩川岩体 (上杉・荒井 1999), 富幕山岩体 (Ichiyama et al. 2014) の組成領域を示す.

プロセスを考える必要がある。そこで、本研究では新たに海洋島の超苦鉄質集積岩ゼノリスと比較を行った。海洋島の超苦鉄質集積岩ゼノリスは、海洋島最下部、岩石学的モホ面付近のマグマだまりから形成されると考えられている (Clague 1988)。これは、海台の超苦鉄質集積岩の形成場と同様であり (Kerr et al. 1998)、比較対象として有用である。海洋島の超苦鉄質集積岩ゼノリスと比較したところ、黒内山岩体はピクライト質マグマを起源とするゼノリス (Sen and Presnall 1986)、青倉岩体はアルカリ玄武岩マグマを起源とするゼノリスのスピネルの化学組成 (Clague 1988) に類似する (第8図 a)。青倉岩体は、構成鉱物や推定されたメルトの化学組成もまたアルカリ玄武岩の特徴に合致する。青倉岩体のウェールライトからカンラン石単斜輝石岩にかけてのスピネルの Fe^{3+} # の増加は、分化による水の濃集の影響と考えられる (第8図 c)。黒内山岩体は、推定されたメルトの LREE がピクライトかそれよりも枯渇した組成を示す (第6図 c, d)。しかし、一般的に部分溶融度の低いマグマから晶出する、Ti に富む角閃石や金雲母が存在することが矛盾する。鉱物化学組成において、ピクライト質マグマの影響を示す鉱物は、集積鉱物であるスピネルと単斜輝石の微量元素の含有量が少ないコア部である。対してそれ以降に晶出する単斜輝石のリムや含水鉱物は、不適合元素含有量が高い。以上のことから、集積鉱物であるカンラン石とスピネルおよび単斜輝石のコアとそれ以降に晶出する鉱物には、何らかのマグマの組成変化の要因があったことが考えられる。

アルカリ玄武岩マグマとの反応の証拠

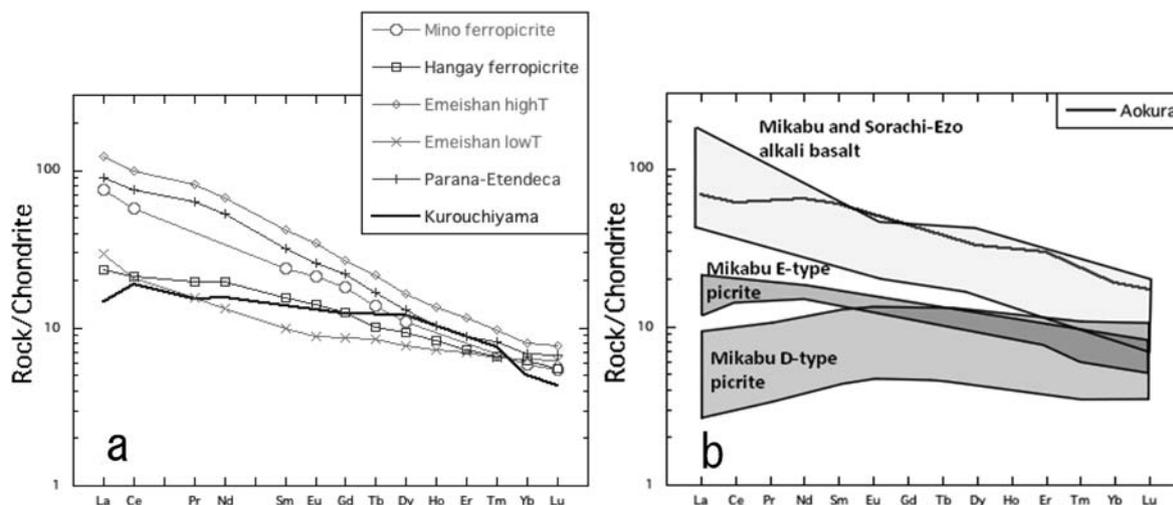
単斜輝石のリムは、コアと比較して不適合元素含有量が増加する (第4図 ; 第5図)。Leterrier et al. (1982) の単斜輝

石の Ca+Na と Ti のモル分率の組成関係図からは、黒内山岩体の単斜輝石のリムの組成がアルカリ玄武岩の単斜輝石の組成範囲の方向へと移動していることがわかる (第4図 e)。このような組成変化の要因として、単斜輝石の晶出に伴う粒間マグマの不適合元素の濃集や、アルカリ玄武岩マグマの貫入が考えられる。しかし前者の場合、単一のピクライトマグマでは、単斜輝石のリムの晶出に続く含水鉱物の晶出の説明ができない。したがって、アルカリ玄武岩マグマの貫入が予想される。

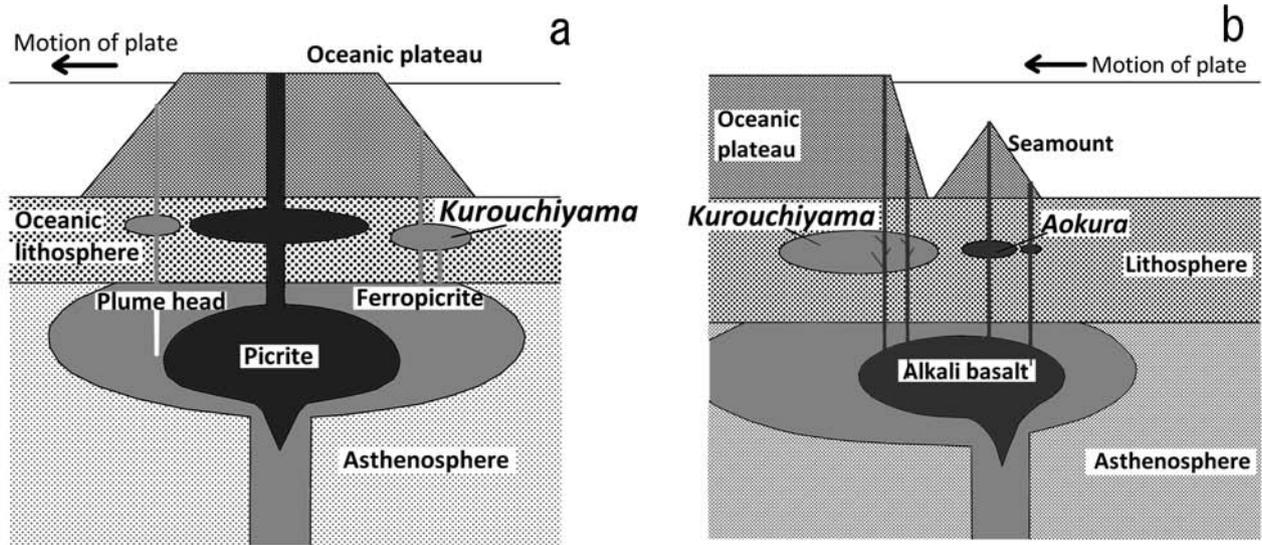
不適合元素に富む単斜輝石のリムは、鉱物境界から 50~100 μ m までの範囲にみられる (第5図)。このような狭い範囲の組成変化は、単斜輝石の晶出がある程度進んだ段階でアルカリ玄武岩マグマの貫入が始まったことを示唆している。貫入したアルカリ玄武岩マグマは、もともと存在していた粒間マグマと混合し、不適合元素に富むマグマが形成された。このマグマからやがて単斜輝石のリム、含水鉱物が晶出したと考える。黒内山岩体のスピネルや単斜輝石の REE 組成から、初生的なマグマはピクライト質であったと考えられる。大規模なカンラン石の晶出もこれを支持する。

超苦鉄質岩体を形成したマグマと海台火成活動の関係性

一般的に海台火成活動の主體的なピクライトは、部分溶融度の高いマグマから大規模に形成され、微量元素に枯渇した組成を示す。これに対し黒内山岩体のピクライト質マグマは、Fe に富むカンラン石の組成や、Ti に富むスピネルの組成など、より微量元素が肥沃な組成をもつ (第3図 ; 第8図 a)。Fe に富むピクライトは、総 FeO 含有量が 14wt% 以上のとき、一般的にフェロピクライトと呼ばれる。海台火成活動において、通常のピクライトマグマは、最も高温なホット



第9図 各岩体の推定されたメルトの組成の平均値と緑色岩類との組成関係。aは黒内山岩体、bは青倉岩体。引用した緑色岩は、フェロピクライト：Mino (Ichiyama et al. 2006)、Emeishan, China (Kamenetsky et al. 2012)、Hangay, Mongolia (Erdensaihan et al. 2013)。ピクライト：Mikabu Depleted and Enriched type (D : depleted and E : enriched, Ichiyama et al. 2014)。アルカリ玄武岩：みかぶ帯および空知-蝦夷帯 (榊原ほか 1999 ; Ozawa et al. 1999) である。



第10図 北関東山地の超苦鉄質岩体の形成モデル。aは海台火成活動の活性期。bは、海台火成活動後期。

ブルームヘッドの中心で形成される (Gibson et al. 2000 ; Gibson 2002 ; Ichiyama et al. 2014)。これに対し Gibson (2002) は、ホットブルーム火成活動におけるフェロピクライトは、ブルームヘッドの中心から離れた末端部で形成されるとし、成因について以下のように考えた。フェロピクライトの形成場であるホットブルーム末端部は、高温のホットブルームの影響が小さくなり、中心と比べて温度が低下する。温度低下の影響で、マンテルかんらん岩の熔融度は、中心と比較して小さくなる。温度低下および地殻との接触部であることから、マンテルかんらん岩よりも熔融点の低い周囲の地殻物質が熔融し、マンテルかんらん岩と反応したと考えられている。この地殻物質は、鉄に富むザクロ石単斜輝石岩のような岩石であったと考えられている。これが部分熔融することでマンテルの再肥沃化が起きたと考えられている。

ホットブルームの活動時期によってフェロピクライトの産状や化学組成は変化する。ブルーム活動が活発な時期のフェロピクライトは、海台を構成する大規模な溶岩の産状を示す (Gibson et al. 2002 ; Kamenetsky et al. 2012 ; Erdensaihan et al. 2013)。また、化学組成はやや肥沃な組成を示す。対してブルーム活動が不活性になる後期活動期 (海山火成活動と同等) のフェロピクライトは、部分熔融度が低く、供給量が少ない。そのため噴出の規模は小さく、海台ソレアイト質玄武岩の貫入岩として確認されている (Ichiyama et al. 2008)。これは、部分熔融度の低さを反映して、火成活動の活発な時期より肥沃な化学組成をもつ。

第8図bは、黒内山岩体とホットブルーム起源の火山岩類のスピネルの化学組成を比較したものである。この組成関係図から、黒内山岩体は御荷鉾緑色岩類のピクライト (Ichiyama et al. 2014) よりも Emeishan (Kamenetsky et al. 2012) や美濃帯 (Ichiyama et al. 2006) に分布するフェロピク

ライトに近い組成をもつことがわかる。また、REE 組成の比較では、フェロピクライトの中でも部分熔融度の高い Emeishan low Ti type (Kamenetsky et al. 2012) や Hangay, Mongolia (Erdensaihan et al. 2013) の組成に類似する (第9図)。スピネルの TiO_2 含有量は、一般的に部分熔融度の低いフェロピクライトの方が多くなる傾向を示す。しかしマンテルかんらん岩に同化した地殻物質の量やその Ti の濃集の程度によっても変化するため、必ずしも部分熔融度の高いフェロピクライトが低い TiO_2 含有量を示すわけではない。黒内山岩体は、大規模なカンラン石の集積や推定されたメルトの組成から、初生的なマグマは、ホットブルーム活動の活発な時期におけるブルームヘッド末端部で形成されたフェロピクライトであったと予想される。

青倉岩体を形成したマグマは、含水鉱物の晶出、スピネルや推定されたメルトの組成から、部分熔融度の低いマグマからの形成を示唆している。また、ホットブルーム活動後期のフェロピクライトと比較して、スピネルの Cr# や TiO_2 含有量が低い。アルカリ玄武岩マグマは、海台火成活動後期の海山や貫入岩を構成すると考えられている (Ichiyama et al. 2006, 2008)。このような緑色岩は、みかぶ帯および空知-蝦夷帯において、海山の断片やソレアイト質玄武岩に貫入した岩石として存在している (榎原ほか 1999 ; Ozawa et al. 1999 ; 新井ほか 2011)。御荷鉾緑色岩類のアルカリ玄武岩と青倉岩体の推定されたメルトの REE 組成は調和的であることがわかる。したがって、青倉岩体はアルカリ玄武岩から分別結晶作用して形成されたと考えられる。

これまでの考察から予想される、関東山地北縁部の超苦鉄質岩体と海台火成活動との関係を第10図に示す。ジュラ紀後期の海台火成活動が活発な時期に、ホットブルームの末端部から供給されたフェロピクライト質マグマが、モホ面付近で

マグマだまりを形成した。黒内山岩体の集積鉱物や単斜輝石のコアは、そのマグマだまりから晶出したと考える。その後、海台火成活動後期のアルカリ玄武岩マグマから青倉岩体が分別結晶作用して形成された。また、アルカリ玄武岩は、すでに晶出の進んだフェロピクライトのマグマだまりに貫入し、不適合元素に富む単斜輝石のリムや含水鉱物を晶出させたと予想される。

まとめ

海台が付加されることで形成された御荷鉾緑色岩類は、付加過程で深部の超苦鉄質岩を緑色岩体に取り込んだ。北関東山地における超苦鉄質岩体は、そのような過程を受けた超苦鉄質岩体の一種であると考えられている。

関東山地北縁部の岩体は、ダナイト・ウェールライト・カンラン石単斜輝石岩から構成される。これらはプレート内マグマから分別結晶作用して形成された集積岩である。

黒内山岩体の集積鉱物であるカンラン石やスピネルは、Fe や Ti に富み、部分熔融度の大きいマグマからの晶出が示唆された。これは海台フェロピクライトの特徴に類似する。黒内山岩体の集積鉱物や単斜輝石のコアは、フェロピクライト質マグマから晶出した。その後、アルカリ玄武岩マグマが粒間に貫入し、不適合元素に富む単斜輝石のリムや含水鉱物が晶出した。

青倉岩体は、黒内山以上に不適合元素に濃集し、部分熔融の小さいマグマからの形成が示唆された。これはプレート内アルカリ玄武岩の特徴に類似する。

海台火成活動とマグマの組成関係から、海台火成活動活性期に黒内山岩体が晶出を開始した。その後火成活動後期のアルカリ玄武岩質マグマから青倉岩体が形成されるとともに、黒内山にそのマグマが供給された。

謝 辞

本研究を行うにあたり、新潟大学の高澤栄一教授には野外調査から室内作業にいたるまで、多大な御指導、御助言をして頂いた。新潟大学の小林健太講師には、地質、構造について貴重な御助言を頂いた。岩石セミナーの皆様には議論や御助言をして頂き、大変お世話になった。同研究室の先輩である、金子龍氏、藤井悟氏には、薄片作成、化学組成分析をはじめとした室内作業、野外調査において御指導頂いた。下仁田自然学校の保科裕氏には、野外調査に同行していただき、貴重な資料や意見を頂いた。下仁田自然学校の皆様には、野外調査中の宿舎の手配から衣食住に至るまで、大変お世話になった。そして、新潟大学大学院自然科学研究科の学生諸氏には、様々な御助言を頂いた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

文 献

- Agata T (1994) The Asama igneous complex, central Japan : an ultramafic-mafic layered intrusion in the Mikabu greenstone belt, Sambagawa metamorphic terrane. *Lithos*, 33, 241-263.
- 新井宏嘉・宮下敦・田辺克幸・村田守 (2011) 群馬県下仁田地域に分布する御荷鉾緑色岩類中のひすい輝石とその岩石鉱物学的特徴. *岩石鉱物科学*, 40, 177-194.
- Arai S (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships : review and interpretation. *Chemical Geology*, 113, 191-204.
- Barrero D (1979) Geology of the Central western Cordillera, west of Buga and Roldanillo, Colombia. Ingeominas, Bogota Special Publish, 4, 1-75.
- Clague D (1988) Petrology of ultramafic xenoliths from Loihi seamount, Hawaii. *Jour. Petr.*, 29, 1161-1186.
- Dallmeyer R D, Takasu A and Yamaguchi K (1995) Mesozoic tectonothermal development of the Sambagawa, Mikabu and Chichibu belts, south-west Japan : evidence from ⁴⁰Ar/³⁹Ar whole-rock phyllite ages. *Jour. Meta. Geol.*, 13, 271-286.
- Erdenesaihan G, Ishiwatari A, Orolmaa D, Arai S and Tamura A (2013) Middle Paleozoic greenstones of the Hangay region, central Mongolia : remnants of an accreted oceanic plateau and forearc magmatism. *Jour. Min. Petr. Sci.*, 108, 303-325.
- GEOLOC. <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/>
- Gibson S A, Thompson R N and Dickin A P (2000) Ferropicrites : geochemical evidence for Fe-rich streaks in upwelling mantle plumes. *Earth and Planetary Science Letters*, 174, 355-374.
- Gibson S A (2002) Major element heterogeneity in Archean to recent mantle plume starting-heads. *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 59-74.
- Hart S and Dnnn T (1993) Experimental cpx/melt partitioning of 24 trace elements. *Contribute Min. Petr.*, 113, 1-8.
- Ichiyama Y, Ishiwatari A, Hirahara Y and Shuto K (2006) Geochemical and isotopic constraints on the genesis of the Permian ferropicritic rocks from the Mino-Tamba belt, SW Japan. *Lithos*, 89, 47-65.
- Ichiyama Y, Ishiwatari A and Koizumi K (2008) Petrogenesis of greenstones from the Mino-Tamba belt, SW Japan : Evidence for an accreted Permian oceanic plateau. *Lithos*, 100, 127-146.
- Ichiyama Y, Ishiwatari A, Kimura J, Senda R and Miyamoto T (2008) Jurassic plume-origin ophiolites in Japan : accreted fragments of oceanic plateaus. *Contribute Min. Petr.*, 168, 1019.
- Ichiyama Y, Ishiwatari A, Kimura J, Senda R, Miyamoto T (2014) Jurassic plume-origin ophiolites in Japan : accreted fragments of oceanic plateaus. *Contribute Min. Petr.*, 168, 1019.
- Inomata M and Tazaki K (1974) , Phlogopite and Tivargasite bearing ultramafic rocks from the Mikabu

- zone, central Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 69, 205-214.
- 猪俣道也 (1978) 浜名湖北方雨富山・富幕山周辺における“みかぶ緑色岩”と超塩基性複合岩体の地質. *地球科学*, 32, 336-344.
- Isozaki Y, Maruyama S and Furuoka F (1990) , Accreted oceanic materials in Japan. *Tectonophysics*, 181, 179-205.
- Kamenetsky V S, Chung S, Kamenetsky M B and Kuzmin D V (2012) Picrites from the Emeishan large igneous province, SW China : a compositional continuum in primitive magmas and their respective mantle sources. *Jour. Petr.*, 53, 2095-2113.
- Kerr A C, Tarney J, Nivia A, Marriner G F and Saunders A D (1998) The internal structure of oceanic plateaus : inferences from obducted Cretaceous terranes in western Colombia and the Caribbean. *Tectonophysics*, 292, 173-188.
- Kiminami K, Miyashita S and Kawabata K (1994) Ridge collision and in-situ greenstones in accretionary complexes. *The Island Arc*, 3, 101-111.
- Kimura G (1994) The latest Cretaceous-early Paleogene rapid growth of accretionary complex and exhumation of high pressure series metamorphic rocks in the northwestern Pacific margin. *Journal Geophysical Research*, 99, 2147-2164.
- Kimura G (1997) Cretaceous episodic growth of the Japanese Islands. *Island Arc*, 6, 52-68.
- 小林健太・新井宏嘉 (2002) 関東山地の跡倉・金勝山ナップと中央構造線. *日本地質学会第109年学術大会 (2002 新潟)*, 21p.
- Kurimoto C (2013) K-Ar ages of the Mikabu Greenstones in the northwestern part of Wakayama Prefecture, Southwest Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 64, 113-119.
- Leake B E, Woolley A R, Arps C E S, Birch W D, Gilbert M C, Grice J D, Hawthorne F C, Kato K, Kisch H J, Krivovichev V G, Linthout K, Laird J, Mandarino J A, Maresch W V, Nickel E H, Schumacher J C, Smith D C, Stephenson N C N, Ungaretti L, Whittaker E J C and Youzhi G (1997) Nomenclature of amphiboles : report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *The condition Mineralogist*, 35, 219-246.
- Leterrier J, Maury R C, Thonon P, Girard D and Marchal M (1982) Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 139-154.
- 宮下純夫・新井孝志・長橋 徹 (1997) 日高帯の緑色岩の意義 : 海嶺の多重衝突. *地質学論集*, 47, 307-323.
- Nivia A, Galvis N and Maya M, (1992) *Geologia de la Plancha 242-Zarzal*. Ingeominas, Bogota, 163.
- Ozawa H, Murata M, Nishimura H and Itaya T (1997) Petrological feature and dating of igneous rocks of the Mikabu belt. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 42 (Special Issue) , S231-S237.
- Ozawa H, Motoyama S, Inoue S, Kato Y and Murata M (1999) Petrology of basic volcanics of the Mikabu greenstone complex in the eastern Shikoku. In : Miyashita, S. et al. (eds) *Ophiolites and accretionary tectonics*. The Memoirs of the Geol. Sci, Japan, 52, 217-228.
- Pearce N, Perkins W, Westgate J, Gorton M, Jackson S, Neal C, Chenery S (1997) A complication of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 Glass Reference Materials. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 21, 115-144.
- Takada K, Geological and Petrological studies of the Mikabu greenstones in Eastern Shikoku, Southwest Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C, B*, 221-282.
- 榎原正幸・堀 利栄・池田倫治・甲本智之・木村 学・加藤宏海 (1999) 北海道中軸部，白亜紀付加体から復元された空知海台の形成年代および岩石化学的性質. *地質学論集*, 52, 1-15.
- Sen G and Presnall D C (1986) Petrogenesis of dunite xenoliths from Koolau Volcano, Oahu, Hawaii ; implications for Hawaiian volcanism. *Jour. Petr.*, 27, 197-217.
- Sun S S and McDonough W F (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes. *Geological Society (Special Publication)* , 42, 313-345.
- 高橋栄一 (1986) 玄武岩マグマの起源－高温高压実験の結果を踏まえて－. *火山*, 30, 17-40.
- 竹内圭史・田村直宏 (1994) 関東山地三波川帯黒内山超苦鉄質岩体の跡倉ナップへの帰属. *日本地史学会第101年学術大会講演要旨*, 48.
- Tanaka T (1977) Rare earth abundances in Japanese Paleozoic geosynclinal basalts and their geological significance. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 28, 529-559.
- Tatsumi Y, Kani T, Ishizuka H, Sager W W And Kiaus A (1998) Geochemical evidence for a mid-Cretaceous superplume. *Geology*, 26, 151-154.
- Tazaki K (1966) Ultra basic rocks in the northern Kwanto Mountains, central Japan. *Earth Science*, 84, 14-25.
- 上杉次郎・荒井章司 (1999) 長野県みかぶ帯，塩川かんらん岩体 : プレート内マグマからの集積岩. *地質学論集*, 52, 229-242.
- Yoshida T, Onuki H, Hamamatsu S and Aoki K (1984) Geochemistry of differentiated dolerite sills in the Mikabu belt, Shizuoka Prefecture. *Reserch and Report Laboratory Nuclear Science Tohoku University*. 17, 182-196.

(要 旨)

井澤一輝 (2018) 関東山地北部, 三波川帯御荷鉾緑色岩類の超苦鉄質岩体 ジュラ紀海台火成活動との関連. 下仁田町自然史館研究報告, 3, 33-43.

海台が付加されることで形成された御荷鉾緑色岩類は, 付加過程で深部の超苦鉄質岩を緑色岩体に取り込んだ. 北関東山地における超苦鉄質岩体は, そのような過程を受けた超苦鉄質岩体の一種であると考えられている.

関東山地北縁部の岩体は, ダナイト・ウェールライト・カンラン石単斜輝石岩から構成される. これらはプレート内マグマから分別結晶作用して形成された集積岩である.

黒内山岩体の集積鉱物であるカンラン石やスピネルは, Fe や Ti に富み, 部分熔融度の大きいマグマからの晶出が示唆された. これは海台フェロピクライトの特徴に類似する. 黒内山岩体の集積鉱物や単斜輝石のコアは, フェロピクライト質マグマから晶出した. その後, アルカリ玄武岩マグマが粒間に貫入し, 不適合元素に富む単斜輝石のリムや含水鉱物が晶出した.

青倉岩体は, 黒内山以上に不適合元素に濃集し, 部分熔融の小さいマグマからの形成が示唆された. これはプレート内アルカリ玄武岩の特徴に類似する.

海台火成活動とマグマの組成関係から, 海台火成活動活性期に黒内山岩体が晶出を開始した. その後火成活動後期のアルカリ玄武岩質マグマから青倉岩体が形成されるとともに, 黒内山にそのマグマが供給された.