

希土類元素組成からみた東北日本中新世アイスランダイトの成因

The REE composition of Miocene icelandite in Northeast Japan, and implication for the origin of icelandite magma

Abstract

There are two types of Miocene icelandites in Northeast Japan. One is characterized by high K_2O and Ce/Yb, and the other by low K_2O and Ce/Yb. High K_2O -Ce/Yb type icelandite is distributed in the northeast Kanto (Motegi and Daigo) and northern Abukuma (Kenashiyama) districts, whereas low K_2O -Ce/Yb type icelandite occurs in the central region of the Tohoku back-bone range (between Furukawa and Shinjo). The former was probably generated by melting of the lower crust, and the latter produced by simple crystallization differentiation from mafic tholeiitic magma. The estimated chemical compositions of the primitive magma for the two types of icelandite are different. The K_2O/TiO_2 ratios of the high K_2O -Ce/Yb type icelandite are higher than those of the low K_2O -Ce/Yb type. Chemical composition and mineralogy of these icelandites suggest that hot, dry, and reducing conditions existed in the crust where the icelandites evolved. The mode of occurrence of these icelandites and their geological relation indicate that they erupted in an extensional regime. These conditions were probably related to the opening of the Sea of Japan which was caused by upwelling of a mantle-plume during a short time span in the early to middle Miocene.

Key words : Northeast Japan, volcanic rocks, magmatism, icelandite, rare earth element

高橋正樹*

野口高明**

田切美智雄*

*Masaki Takahashi**

*Takaaki Noguchi***

*Michio Tagiri**

1995年1月19日受付.

1995年6月30日受理.

* 茨城大学理学部地球生命環境科学科.

Department of Environmental Sciences,
Ibaraki University, Bunkyo 2-1-1, Mito
310, Japan

** 茨城大学理学部自然機能科学科.

Department of Materials and Biological
Sciences, Ibaraki University, Bunkyo
2-1-1, Mito 310, Japan

はじめに

日本海の拡大が生じたとされる前期～中期中新世の北海道を含めた東北日本には、著しく FeO^* に濃集した、いわゆるアイスランダイト質の珪長質マグマが特徴的に出現する（白水ほか, 1983; 周藤・八島, 1985; 高橋, 1986, 1989; 周藤・猪俣, 1992; 国分ほか, 1994など）。アイスランダイトは、アイスランドのような海洋島でよくみられ、島弧での出現は比較的まれであるといわれている。本論では、関東地方北東部および東北地方中部脊梁地域に産する中新世アイスランダイトを例として、主として希土類元素の視点から、その成因について議論してみたい。なお、 SiO_2 60wt.%以上のソレアイト質珪長質火山岩のことを、ここではアイスランダイトとよぶことにする。

分析方法

主化学組成分析は、ガラスビードを作成し、茨城大学工学部のX線マイクロアナライザーおよび東京大学地震研究所の蛍光X線分析装置を使用して行われた。X線マイクロアナライザーおよび蛍光X線分析装置による分析方法は、それぞれ白水ほか（1983）および荒牧（1987）に従った。希土類元素組成分析は茨城大学理学部地球科学教室（現在は茨城大学機器分析センター）のプラズマ発光分析装置を使用した。プラ

ズマ発光分析装置による分析方法は、田切・藤縄（1988）に従った。また、蛍光X線分析装置によるデータは全て無水100%に換算して使用した。

火山活動年代

1. 関東地方北東部

栃木県宇都宮市西方から東方の烏山、茂木にかけての地域、および茨城大子付近から福島県いわき市周辺地域には、前期中新世の火山岩類が広く分布している（Fig.1）。このうち、茂木および大子地域には、アイスランダイトが出現する。本地域の中新世火山岩類の年代は、宇都宮西方の鹿沼地域で基盤上に直接噴出した火山岩類からなる日向層直上の縦山層の浮遊性有孔虫年代がN.8（約16Ma）（布川ほか, 1986）、烏山・茂木地域で日向層に対比される。アイスランダイトを含む主として火山岩類からなる中川層群の上位の小花層の浮遊性有孔虫年代がN.10～N.12（約15～12Ma）、大子地域の男体山アイスランダイトの下位の中川層群に対比可能な大沢口凝灰岩のジルコンのフィッシュントラック年代が約16.7Ma（天野ほか, 1989）であり、上位苗代田層からは、ほぼN.9（15Ma）相当の軟体動物化石が産出する。また、いわき市周辺地域では、火山活動の出現は平層に限られており、その浮遊性有孔虫年代がN.6（17～18Ma）、ナンノ化石年代がCN2（17～18Ma）である（小泉, 1986）。このよ

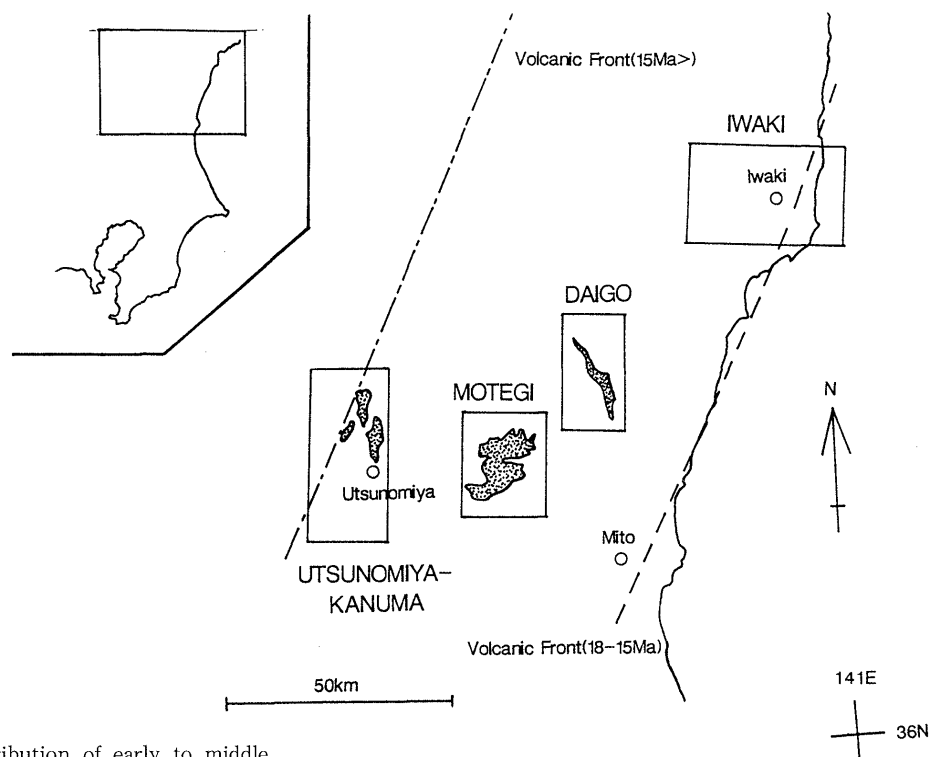


Fig. 1. Map showing the distribution of early to middle Miocene volcanic rocks in the northeastern Kanto. dotted area: early to middle Miocene volcanic rocks.

うに、本地域の火山活動の年代はほぼ18~17Maに限られ、最後期の男体山アイスランダイトで、16~15Maと推定される。宇都宮西方地域ではこの後も火山活動が継続するが、それより東方の地域では、これより後は火山活動が途絶えてしまう。すなわち、この地域の火山活動は100~200万年というきわめて短期間だけ継続したきわめてepisodicな活動であり、当時の火山フロントは、15Ma以降太平洋沿岸地域から内陸部へと水平距離で約50Km以上急速に後退したことになる (Fig.1)。

2. 東北地方中部脊梁地域 (古川~新庄間)

古川~新庄間の東北地方中部脊梁地域には、中期中新世の火山岩類が広く分布している (Fig. 2)。本地域の東側の北上川流域に分布する笹岳安山岩類からは、13~15MaのK-Ar年代が得られており (石井・柳沢, 1984)、北部に位置する石越安山岩類もほぼ同じ頃の活動である可能性が高い。脊梁地域に分布する主として火山岩類からなる魚取沼層、長尾層からはCN4~CN5に相当するナンノ化石およびN.13の有孔虫化石が見い出されていて、これらの火山岩類の年代はほぼ12~15Maであることが判明しており、上位に整合的に重なる銀山層、宇津野層もほぼ同年代のものと推定されている (佐藤, 1986)。脊梁地域の西川の庄内地域には、主として玄武岩類からなる青沢層が広範囲に分布している。青沢層の火山岩からは15MaのK-Ar年代が得られている (Ohki et al., 1993)。

火山活動様式

1. 関東地方北東部

いわき市周辺地域の石森山では、水中自破砕溶岩および水中火砕流とその2次の堆積物からなる小規模な単成火山がみられる。茂木地域でも、やはり水底~陸上噴出の溶岩流を中心とした、おそらく規模はあまり大きくない単成火山群が発達し、一部に火砕流を伴う。これらのうちアイスランダイトは、おそらく陸上噴出の小規模な溶岩円頂丘からなる。これに対して、大子地域の男体山アイスランダイト岩体は巨大であり、海底pull-apart堆積盆 (天野, 1991) 中を埋積した、長径が約24km、短径が4km以上の細長い楕円形の底部を持つ、溶岩流のみからなる一種の楕状火山である。総体積は36km³以上あり、主として水中自破砕溶岩とその中心部をなすmassive sheet flowから構成され、最上部は海面上に顔を出し陸上溶岩流となっている。複数のflow unitからなるが、間に時間間隙を示す堆積物などはほとんど認められないので、きわめて短期間に噴出した単成火山に近い活動様式の火山であると思われる。

2. 東北地方中部脊梁地域 (古川~新庄間)

笹岳安山岩類は、水中自破砕溶岩と水中火砕流およびそれらの2次堆積物からなり、おそらくは単成火山的で小規模な水底火山活動を行ったものと推定される。これに対して、石越安山岩類は単成火山的な溶岩円頂丘および厚い溶岩流群からなる陸成火山である。一方、脊梁地域の魚取沼層、長尾層、銀山層、宇津野層を構成する火山岩類は、主として水中自破砕溶岩と水中火砕流からなり、底面の直径が数km程度のいく

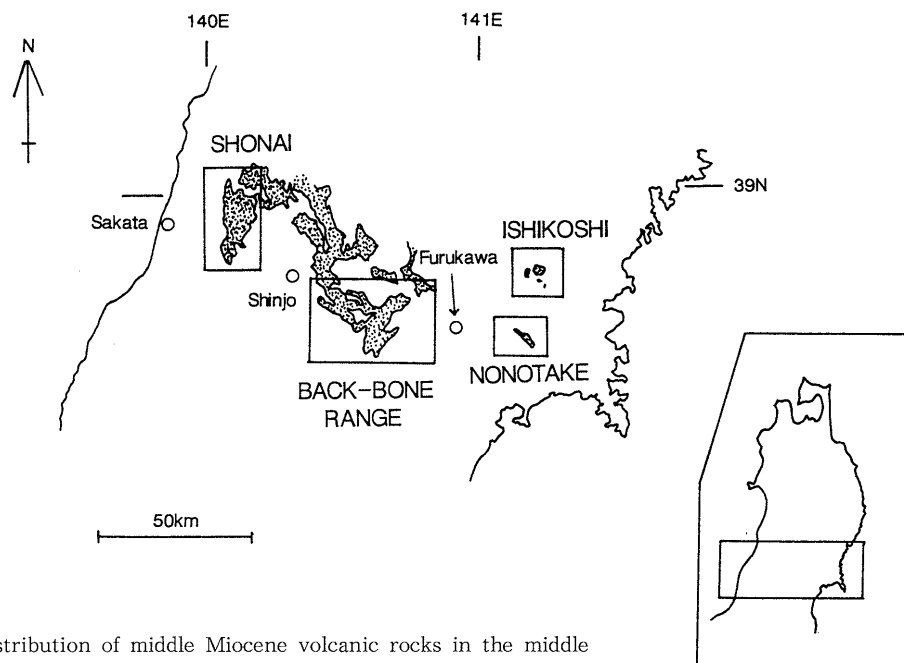


Fig. 2. Map showing the distribution of middle Miocene volcanic rocks in the middle Tohoku back-bone range.
dotted area: middle Miocene volcanic rocks.

つかの比較的規模の大きな水底複成火山を形成していたらしい。アイスランドタイトは、この長尾層、銀山層、宇津野層中の溶岩の主要部分を構成している。青沢層を構成する膨大な玄武岩類は、主として水中溶岩およびハイアロクラスタイトなどからなり、比較的深海の環境下において、NNE-SSWあるいはNE-SW方向に配列した多数の平行岩脈群からの単成火山的な割れ目噴火の繰り返しにより形成されたものと推定されている（例えば、Tsuchiya, 1990）。

岩石記載

1. 関東地方北東部

本地域のアイスランドタイトは、斑晶量10vol.%以下で無斑晶質に近いが、少量の斑晶として、斜長石、鉄に富んだ輝石、鉄カンラン石を特徴的に有する。茂木地域のは、斑晶として鉄ハイパーシン、鉄ピジョン輝石、鉄オージャイト、鉄ホルトノライトが共存する（白水ほか, 1983）。また、大子地域の場合は、斑晶として鉄ハイパーシンとホルトノライトが共存する（周藤・八島, 1985）。

2. 東北地方中心部脊梁地域（古川～新庄間） 本地域のアイスランドタイトは一般に斑晶量10vol.%以下で斑晶に乏しく、無斑晶質に近い。少量の斑晶として、斜長石、鉄オージャイト、鉄ハイパーシンなどを含む。

全岩主化学組成

1. 関東地方北東部

本地域に分布する火山岩類としては、①ソレイト系列の玄武岩～安山岩、②カルクアルカリ系列の安山岩、③著しくFeとTiに富むFETI玄武岩、そして④アイスランドタイトの4種類が認められる。①は主として茂木地域に、②は主にいわ

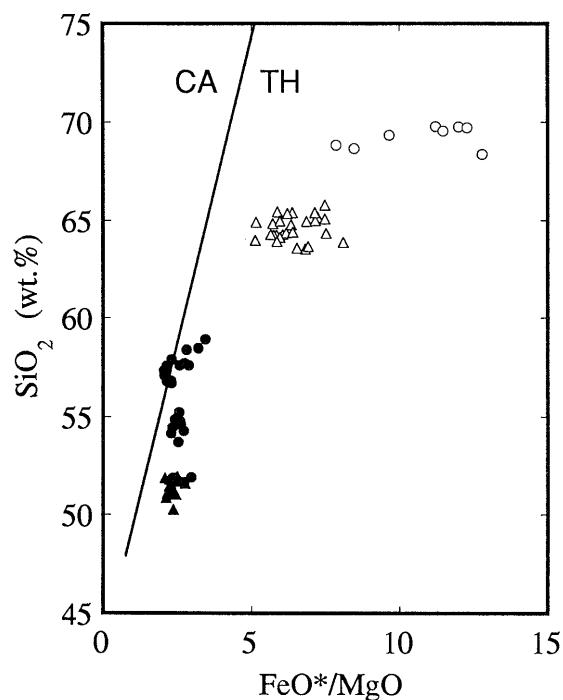


Fig. 3. Bulk-rock FeO^*/MgO vs. SiO_2 diagram for Miocene volcanic rocks in Motegi and Daigo districts. solid triangle: FETI basalts; solid circle: tholeiitic basalts and andesites; open triangle: Nantaisan icelandites; open circle: Motegi-icelandites; TH: tholeiitic rock-series; CA: calc-alkalic rock-series. The boundary is after Miyashiro (1974).

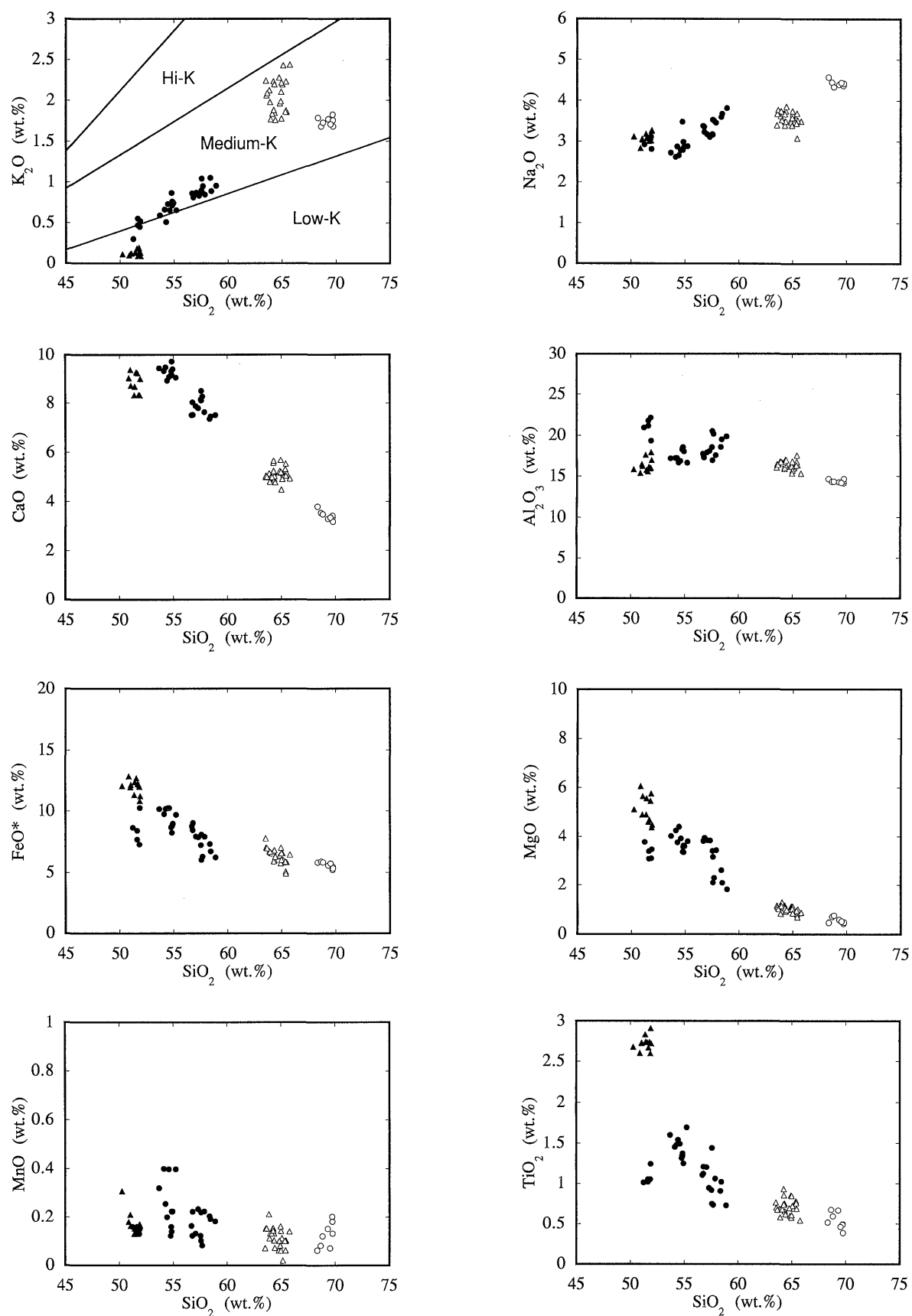


Fig. 4. Silica variation diagrams for Miocene volcanic rocks in Motegi and Daigo districts.

Symbols in the figures are the same as those in Fig. 3. The classification in K_2O vs. SiO_2 diagram is after Gill (1981).

き市周辺地域に産する。③は両地域に分布するが、④は茂木地域にのみみられる。茂木・太子地域の火山岩類は、FETI玄武岩を除いて、そのほとんどがmedium-Kのソレライト系列に属する (Fig.3およびFig.4)。FETI玄武岩は著しく K_2O に乏しく、low-Kの領域にその組成がプロットされる。ソレライト系列の玄武岩～安山岩類とアイスランダイトの間には SiO_2 組成上の間隙がみられる。FETI玄武岩は、他のソレライト質火山岩類と比べて、 FeO^* と TiO_2 に富み、 K_2O 、 Al_2O_3 と CaO に乏しい (Fig.4)。ソレライト質苦鉄質火山岩類は、ばらつきは大きいがほぼ同一のトレンドを示すようにみえる。アイスランダイトは、 FeO^* と Na_2O 、 TiO_2 などのいくつかの酸化物において、このトレンドからはずれてくる (Fig.4)。さらに、男体山アイスランダイトは、 SiO_2 に乏しいにもかかわらず、茂木地域のアイスランダイトよりも明らかに K_2O に富んでいる。これらの事実は、ソレライト質玄武岩質マグマからアイスランダイト質マグマを、また同様のアイスランダイトであっても、男体山のものから茂木のものを、それぞれ単純な結晶分化作用によって形成するのは困難であることを示している。

2. 東北地方中部脊梁地域 (古川～新庄間)

北上川流域の麓岳・石越地域にはカルクアルカリ系列の安山岩類が出現するが、脊梁地域にはソレライト系列の安山岩、アイスランダイトのみが分布しており、カルクアルカリ系列の火山岩類は認められない (Fig.5)。本地域の火山岩類は概ねlow-K系列のものであり K_2O 量に乏しいが、一部はmedium-K系列に属する (Fig.6)。 SiO_2 量は55%から75%まで連続的に変化し、組成的な間隙は認められない。また、すべての酸化物においてほぼ同一のトレンドを示す (Fig.6)。本地域のアイスランダイトは、茂木・太子地域のものに比べて、 MgO と TiO_2 に富んでいる。

希土類元素組成

関東地方北東部および東北地方中部脊梁地域の中新世アイスランダイトの全岩希土類元素をTable 1. に示す。これらの地域のアイスランダイトおよび共存する他の火山岩類の希土類元素組成の特徴は以下の通りである。

1. 関東地方北東部

本地域のアイスランダイトと、FETI玄武岩およびソレライト質玄武岩の代表的サンプルとの希土類元素組成を比較すると次のような特徴がみられる。アイスランダイトは、 K_2O 量の違いにもかかわらず、茂木地域、男体山ともよく似たコンドライト規格化パターンを示し、重希土類元素に対して軽希土類元素に富み、Eu負異常も顕著に認められる (Fig.7)。これに対して、ソレライト質玄武岩は軽希土類元素に乏しく平坦なパターンを示し (Fig.7A)、FETI玄武岩は中間希土類元素に富み、上に凸の特異なパターンを有する (Fig.7B)。両者とも、アイスランダイトの示すパターンと著しく異なり、これらの玄武岩質マグマからの単純な結晶分化作用ではアイスランダイトを生成することは困難である。以上のことは、 Ce/Yb vs. Ce のプロセス判定図上でより一層明瞭に示される (Fig.8)。軽希土類元素と重希土類元素

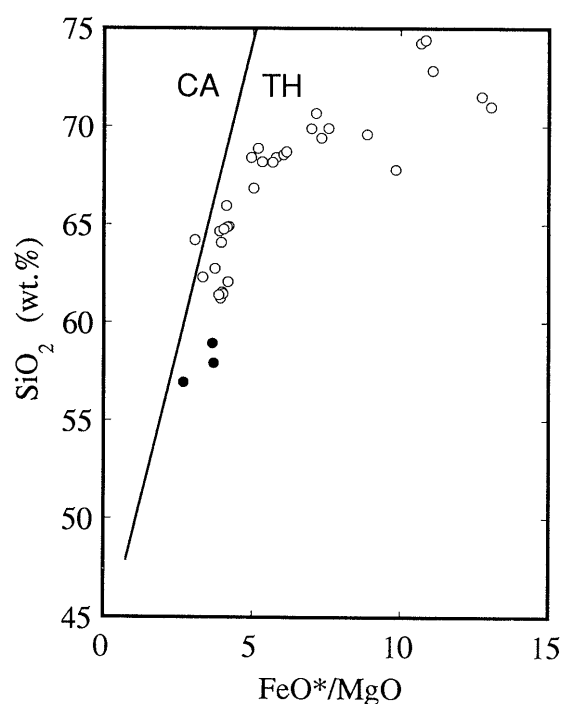


Fig. 5. FeO^*MgO vs. SiO_2 diagram for Miocene volcanic rocks in the Tohoku back-bone range.

solid circle: tholeiitic andesites; open circle: icelandites; TH: tholeiitic rock-series; CA: calc-alkalic rock-series. The boundary is after Miyashiro (1974).

素の比を代表する Ce/Yb 比は、希土類元素に対する分配係数の小さな、カンラン石、輝石、斜長石 (ただし、Euを除く) などの結晶分化作用によっては大きく変化しない。すなわち、結晶分化作用の進行に伴って Ce 量が増大して行っても、 Ce/Yb 比はほとんど変化しないと考えてよい。Fig.8では、 Ce 量が多いほど Ce/Yb 比が高くなり、アイスランダイトをソレライト質玄武岩やFETI玄武岩からの単純な結晶分化作用で生成することは困難である。希土類元素の視点からは、茂木・太子地域のソレライト質火山岩類は、 Ce/Yb 比の低い苦鉄質火山岩類と高いアイスランダイトとに区分でき、しかも両者の間に結晶分化作用を介しての単純な親子関係は認められないことになる。

2. 東北地方中部脊梁地域 (古川～新庄間)

本地域のソレライト質安山岩もアイスランダイトも、軽希土類元素に乏しいかなり平坦な希土類元素組成パターンを示し、 SiO_2 が増加するにつれて、全体として平行移動しながら希土類元素の絶対量だけが增大して行く、典型的な結晶分化作用の様相を呈する (Fig.9)。Euについては、 SiO_2 が増加するにつれて徐々に減少する傾向が認められる。 Ce/Yb vs. Ce のプロセス判定図においても、 Ce 量が増加しても Ce/Yb 比がほとんど変化しない。典型的な結晶分化作用のパターンを示す (Fig.10)。 SiO_2 変化図上で連続的な組成変化がみられることも、結晶分化作用によってよく説明することが可能である。本地域のアイスランダイトは、ソレライト質安山岩

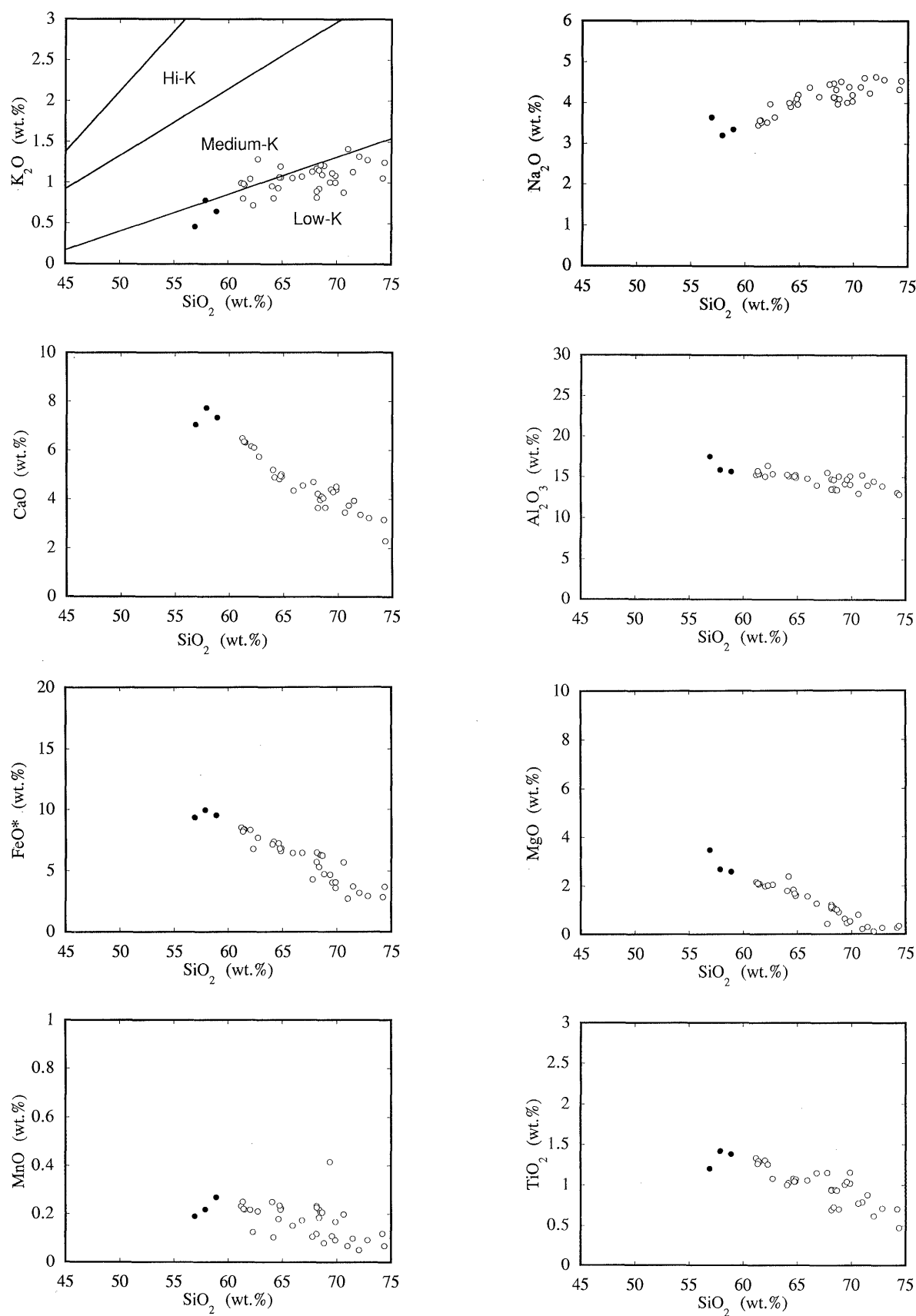
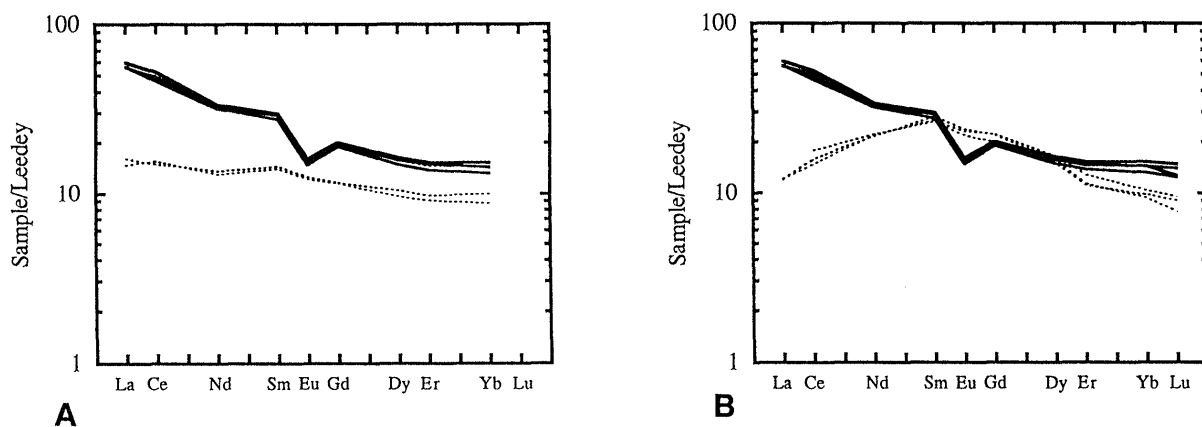


Fig. 6. Silica variation diagrams for Miocene volcanic rocks in the middle Tohoku back-bone range. Symbols in the figures are the same as in Fig. 5.

Table 1. Representative major and rare earth element analyses of Miocene icelandites and their related tholeiitic andesites in Northeast Japan.

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	69.31	65.16	71.01	69.89	69.88	57.90	54.88
TiO ₂	0.67	0.69	0.79	1.16	1.02	1.42	1.79
Al ₂ O ₃	14.28	16.11	15.22	14.06	15.10	15.84	15.80
FeO*	5.57	6.02	2.72	4.07	3.61	9.95	11.34
MnO	0.15	0.02	0.07	0.17	0.09	0.22	0.22
MgO	0.58	0.83	0.21	0.54	0.52	2.69	4.62
CaO	3.28	5.09	3.73	4.51	4.39	7.74	7.88
Na ₂ O	4.39	3.65	4.61	4.20	4.04	3.20	2.68
K ₂ O	1.77	2.43	1.41	1.00	1.09	0.78	0.43
P ₂ O ₅	n. a.	n. a.	0.22	0.42	0.27	0.27	0.36
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(ppm)							
La	21.50	21.39	18.18	8.76	8.21	5.28	4.15
Ce	43.04	45.27	37.07	21.55	19.97	13.71	11.33
Nd	23.78	22.90	25.34	15.30	13.05	9.73	8.33
Sm	6.86	6.34	8.48	5.31	4.36	3.55	2.90
Eu	1.40	1.28	2.02	1.70	1.34	1.28	1.15
Gd	6.06	5.91	7.98	5.13	4.28	3.68	3.17
Dy	6.24	5.79	9.99	5.96	4.85	4.14	3.36
Er	3.63	3.51	6.11	3.82	2.95	2.70	1.97
Yb	3.50	3.29	5.19	3.47	2.83	2.56	1.77
Lu	0.55	0.48	0.88	0.69	0.52	0.46	0.37
Y	33.58	31.06	58.12	30.79	24.82	21.99	18.14

1~5: icelandite; 1: Motegi (Hachimanyama); 2: Daigo (Nantaisan); 3: Ginzan Formation; 4: Utsuno Formation; 5: Nagao Formation; 6~7: tholeiitic andesites; 6: Utsuno Formation; 7: Nagao Formation. n.a.: not analyzed.

**Fig. 7.** Diagrams showing the chondrite normalized REE patterns for Miocene volcanic rocks in Motegi and Daigo.

A: Nantaisan and Motegi icelandites (solid line) and tholeiitic basalts (dotted line); B: Nantaisan and Motegi icelandites (solid line) and FETI basalts (dotted line)

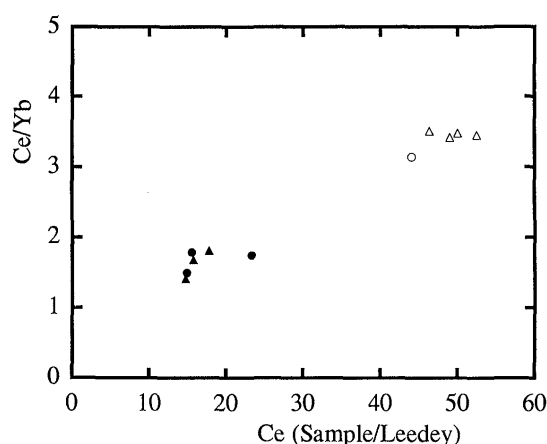


Fig. 8. Diagram showing Ce/Yb ratio vs. Ce contents for Miocene volcanic rocks in Motegi and Daigo districts. Symbols in the figure are the same as those in Fig. 3.

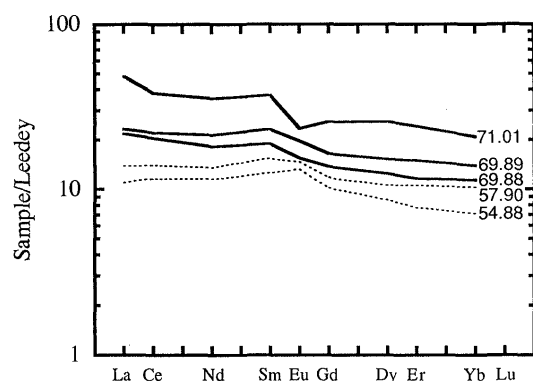


Fig. 9. Diagram showing the chondrite normalized REE pattern for Miocene volcanic rocks in the Tohoku back-bone range. The numerals within the diagram are bulk SiO_2 wt.% of each sample. solid line: icelandites; dotted line: tholeiitic andesites.

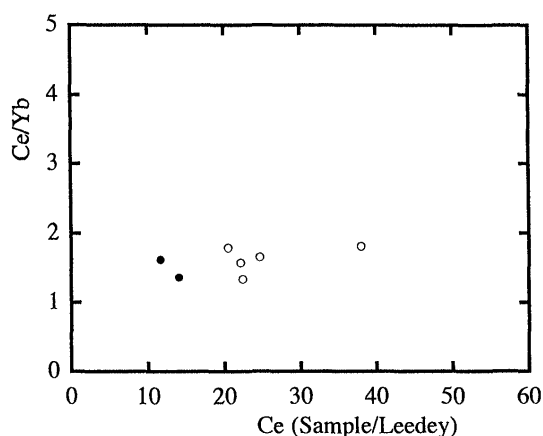


Fig. 10. Diagram showing Ce/Yb ratio vs. Ce content for Miocene volcanic rocks in the middle Tohoku back-bone range. Symbols in the figure are the same as those in Fig. 5.

質マグマからの斜長石を含む斑晶の単純な結晶分化作用によって形成されたと考えられる。

議 論

茂木・大子地域のアイスランダイトは高Ce/Yb比を示し、低Ce/Yb比を有するソレイト質玄武岩から単純な結晶分化作用によって導くことは困難である。周藤・猪俣 (1992) によれば男体山アイスランダイトは、0.70673~0.70681という高い $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比初生値を持ち、近傍の茂木地域のソレイト質玄武岩の示す低い値 (0.70497~0.70518) (Shuto et al., 1993) とは大きく異なる。この事実も、両者が異なる初源マグマに由来しており、結晶分化作用を介しての単純な親子関係にないことを示している。周藤・猪俣 (1992) によれば、茂木・大子地域のアイスランダイトと同じく K_2O に富んだ北部阿武隈地域に分布する中新世の毛無山アイスランダイトにおいても、同様なSr同位体比初生値の違いがみられ、アイスランダイト (0.70551~0.70558) の方が周辺の苦鉄質火山岩類 (0.70432) よりも高い値を示す。こうしたデータから周藤・猪俣 (1992) は、これらのアイスランダイトが下部地殻物質の部分融解によって形成された可能性を指摘している。すでに述べたように、ソレイト質苦鉄質マグマから単純な結晶分化作用でアイスランダイトを生成することは、全岩主化学組成の上からも困難である (白水ほか, 1983)。また、男体山アイスランダイトは、茂木アイスランダイトよりも SiO_2 量が乏しいにもかかわらず K_2O 量、Ce量、Ce/Yb比は高く、したがって同一マグマからの結晶分化作用によって両者をともに生成することもかなり難しい。以上のことから、高 K_2O 量・Ce/Yb比アイスランダイト質マグマは、周藤・猪俣が指摘したように、複数の若干性質を異にする下部地殻物質の部分融解によって形成された可能性は高いように思われる。その場合 H_2O が十分に存在する条件下での融解や角閃石を含む岩石の脱水分解溶融によって形成される珪長質メルトは、一般にカルクアルカリ系列であってアイスランダイト質ではないので (例えば、Beard and Lofgren, 1991など)、無水状態に近く、しかも FeO^*/MgO 比の高い苦鉄質火山岩類を、高温条件下で融解させる必要がある。事実、アイスランダイトは含水珪酸塩を斑晶として含まないので、マグマ中に含まれる H_2O 量はかなり少なかった可能性がある。角閃石などの含水珪酸塩を含まない下部地殻物質は一般の島弧では考えにくいので、 H_2O の供給の断たれた非島弧的地殻環境が要請されるかもしれない。さらにこの場合、アイスランダイトは斑晶量が乏しいので、融解の場からメルトだけを効率よく分離させてやるメカニズムも必要となる。これに対して、東北地方中部脊梁地域のアイスランダイトは、低 K_2O 量・Ce/Yb比で特徴づけられ、全岩主化学組成およびCe/Yb vs. Ceプロセス判定図においても、ソレイト質苦鉄質マグマからの単純な結晶分化作用で生成することが可能である。ただし、この場合にも、結晶の晶出の場から液相だけが分離して移動・上昇する、boundary layer fractionation (例えば、McBirney, 1993など) のような分化メカニズムを考えてやる必要がある。

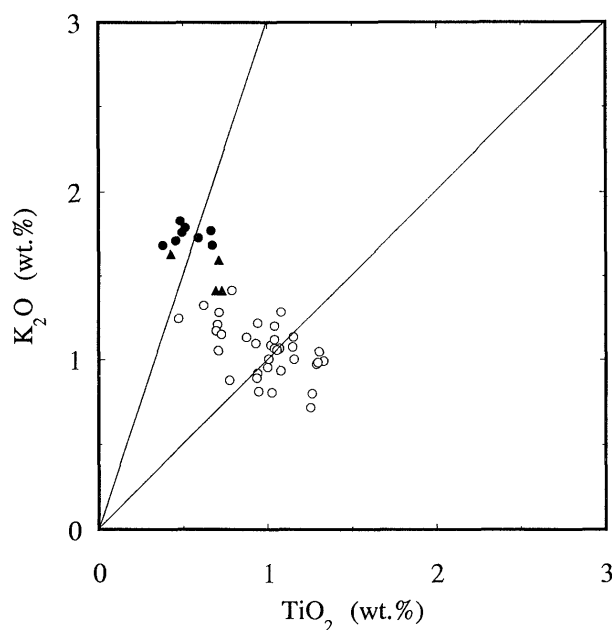


Fig. 11. Diagram showing K_2O vs. TiO_2 for Miocene icelandite in Northeastern Japan.

solid circle: Nantaisan and Motegi icelandites; solid triangle: Kenashiyama icelandites (Shuto and Inomata, 1992); open circle: icelandites in the middle Tohoku back-bone range.

以上のように、18~12Ma頃の東北日本において活動したアイスランダイトには、茂木・大子地域や北部阿武隈地域で見られるような高い K_2O 量・ Ce/Yb 比のものと、東北地方中部脊梁地域に産するような低 K_2O 量・ Ce/Yb 比のものの2種類が認められ、前者は高温条件下での下部地殻物質の部分融解、また後者はソレライト質苦鉄質マグマの結晶分化作用という異なるメカニズムで形成された可能性が考えられる。さらに、例えば、 K_2O/TiO_2 比をとると、前者の方が後者よりも明らかに高い値を示しており (Fig. 11), LREE/HREE比ばかりでなく初源マグマの液相濃集元素組成比自体も大きく異なっていた可能性が高い。この場合、前者の方が相対的にLILEに富みHFSEに乏しかったものと思われる。

アイスランダイトは、極端に高い FeO^*/MgO 比と少ない斑晶によって特徴づけられる。極端に FeO^*/MgO 比に富む性格は、下部地殻物質の部分融解によって形成される場合にはかなり H_2O に乏しく高温な環境が、また結晶分化作用によって導かれる場合にも、鉄の濃集を防げる磁鉄鉱や角閃石斑晶の大量晶出が防げられるような、還元的で H_2O に乏しい環境が必要であろう。事実、茂木地域のアイスランダイト質マグマの温度・酸素分圧 (900~950°Cで 10^{-12} ~ 10^{-13} atm) は温度・酸素分圧図上でほぼFMG緩衝線に載っており (白水ほか, 1983), アイスランドのThingmuliアイスランダイト (Carmichael, 1967) とよく似た高温・低酸素分圧を示している (Fig. 12)。島弧カルクアルカリ珪長質マグマは、一般にこれより高い酸素分圧を有する。さらに、これに加えてマグマ混合が生じにくいような閉鎖系のマグマ供給系の発達が見込ま

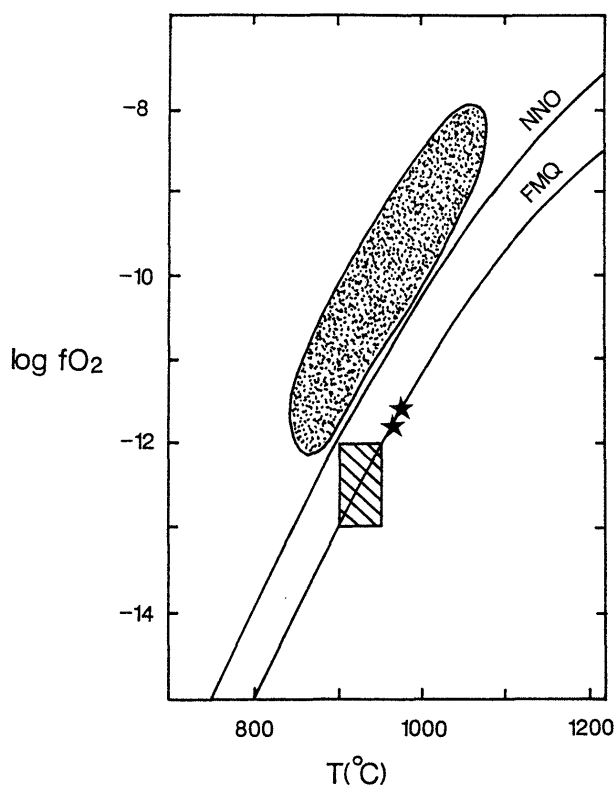


Fig. 12. Diagram showing oxygen fugacity (fO_2) vs. (T) temperature for icelandites and calc-alkalic arc volcanic rocks (Gill, 1981 revised).

solid star: icelandites (Thingmuli: Carmichael, 1967); diagonally ruled rectangular: Motegi icelandites; dotted area: calc-alkalic arc volcanic rocks.

しい。また、斑晶に乏しいマグマであるためには、地殻内部に長期間滞留して冷却を受けることなく、すみやかに上昇することが要求される。こうした条件を満たすためには、① H_2O に乏しく高温かつ還元的な状態であること、②地殻を含むリソスフェアが水平方向に急速に移動することによって、マグマの供給源であるマントル・ダイアピルあるいはホット・プルームから地殻内マントル供給系が隔離されてしまい、繰り返しマグマを供給することが困難になること (マグマ供給系が閉鎖系になりやすく、マグマ混合が起こりにくくなる)、③伸長地殻応力場におかれることにより、マグマが地表へ上昇・噴出しやすくなること、などが達成できればよい。プレート沈み込みとは直接的には無関係なマントル・プルームの上昇により、急速に日本海が拡大するというテクトニクス場 (例えば Otofujii et al., 1985; Tatsumi et al., 1989; Shuto et al., 1993 など) は、こうした状況を生み出すのに好都合かもしれない。

ま と め

1. 18~12Maの東北日本には、高 K_2O 量・ Ce/Yb 比および低 K_2O 量・ Ce/Yb 比の2種類のアイスランダイトが認められる。

2. 前者は H_2O な乏しい高温・還元条件下でのやや組成の異なる複数の下部地殻物質の部分融解によって、後者はソレライト質苦鉄質マグマの H_2O に乏しく還元的な雰囲気での結晶分化作用によって、それぞれ形成された可能性が高い。
3. K_2O/TiO_2 比は前者で高く後者で低い。これは、両者の初源マグマにおける液相濃集元素組成比の違いを反映しているものと思われる。
4. 日本海の急速な拡大をもたらしたマントル・プリュームの上昇による非島弧的地殻環境 (H_2O に乏しく高温で還元的) と伸長地殻応力場の存在が、これらのアイスランドイト質マグマの生成に大きな役割を果たした可能性が考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、周藤賢治氏からは多大な御援助・御配慮をいただいた。さらに、天野一男、佐藤比呂志の両氏からは、研究地域の地質について御教示頂き、池田幸雄氏にはアイスランドイトの成因について御議論を頂いた。荒牧重雄氏（当時東大地震研）にはXRF使用の便宜をはかって頂いた。また、周藤総研のメンバーの方々には、集会の際に様々な御討論を頂き、沢田順弘氏からは論文の改善に役立つ貴重な御助言を頂いた。以上の方々に感謝の意を表します。なお、本研究には文部省科学研究費（研究課題番号03302022，研究代表者，新潟大学周藤賢治教授）を使用した。

文 献

- 天野一男，1991，棚倉断層に沿って発達する横ずれ堆積盆。構造地質，no.36，77-82。
- 天野一男・越谷 信・高橋治之・野田浩司・八木下晃司，1989，棚倉破砕帯の構造運動と堆積作用。日本地質学会第96年学術大会見学旅行案内書，55-86。
- 荒牧重雄，1987，カメルーンニオス湖1986年8月ガス噴出災害の地学的背景。火山，第2集，32，57-72。
- Beard, J.S. and Lofgren, G.E., 1991, Dehydration melting and water-saturated melting of basaltic and andesitic greenstones and amphibolites at 1, 3, and 6.9kb. *Jour. Petrol.*, **32**, 365-401.
- Carmichael, I.S.E., 1967, The mineralogy of Thingmuli, a Tertiary volcano in eastern Iceland. *Amer. Mineral.*, **52**, 1815-1841.
- Gill, J., 1981, *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, 390p.
- 石井武政・柳沢幸夫，1984，旧北上川沿いに分布する追戸層の地質時代について。地調月報，**35**，623-635。
- 小泉 格，1986，常磐炭棚第三系の珪藻年代層序。北村 信教授記念地質学論文集，175-191。
- 国分公貴・岡村 聡・八幡正弘・古山勝彦・長尾敬介，1994，北海道東部，新第三紀火山岩類の岩石学的性質の変遷。地質雑，**100**，658-674。
- McBirney, A.R., 1993, *Igneous petrology*. 2nd, ed. Jones and Bartlett Pub. Boston, 508p.
- 布川嘉英・天野一男・酒井豊三郎，1986，大谷石の層序学的位置。日本地質学会第92年学術大会講演要旨，126。
- Ohki, J., Watanabe, N., Shuto, K. and Itaya, T., 1993, Shifting of the volcanic fronts during early to late Miocene in the Northeast Japan arc. *The Island Arc*, **2**, 87-93。
- Otofujii, Y., Matsuda, T. and Nohda, S., 1985, Paleomagnetic evidence for the Miocene counter-clockwise rotation of Northeast Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **75**, 265-277。
- 佐藤比呂志，1986，東北地方中部地域（酒田～古川）の新生代地質構造発達史（第I部）。東北大理地質古生物研究邦文報，**88**，1-32。
- 白水 明・高橋正樹・池田幸雄，1983，栃木県茂木地域に産するビジョソ輝石デイサイト。岩鉱，**78**，255-266。
- 周藤賢治・八島隆一，1985，茨城県大子地域に産するホルノトノライト安山岩。岩鉱，**80**，398-405。
- 周藤賢治・猪俣恵理，1992，北部阿武隈地域に産する中期中新世アイスランドイト様デイサイト。新潟大理地質研報，no.7，103-110。
- Shuto, K., Ohki, J., Kagami, H., Yamamoto, M., Watanabe, N., Yamamoto, K., Anzai, N. and Itaya, T., 1993, The relationships between drastic changes in Sr isotope ratios of magma sources beneath the NE Japan arc and the spreading of the Japan Sea back-arc basin. *Mineral. Petrol.*, **49**, 71-90。
- 高橋正樹，1986，日本海拡大前後の“島弧”マグマ活動。科学，**56**，103-111。
- 高橋正樹，1989，マグマ活動からみたフォッサマグナ地域の18～12 Ma期のテクトニクス。月刊地球，**11**，544-551。
- 田切美智雄・藤縄明彦，1988，ICPによる日本標準岩石試料中のREE及び微量金属元素の分析。岩鉱，**83**，102-106。
- Tatsumi, Y., Otofujii, Y., Matsuda, T. and Nohda, S., 1989, Opening of the Sea of Japan back-arc basin by asthenospheric injection. *Tectonophysics*, **166**, 317-329。
- Tsuchiya, N., 1990, Middle Miocene back-arc rift magmatism of the basalt in the NE Japan arc. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **41**, 473-505。

(要 旨)

高橋正樹・野口高明・田切美智雄，1995，希土類元素組成からみた東北日本中新世アイスランドイトの成因。地質学論集，no.44，65-74。（Takahashi, M., Noguchi, T. and Tagiri M., 1995, The REE composition of Miocene icelandite in Northeast Japan, and implications for the origin of icelandite magma. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no.44, 65-74）

18～12Maの東北日本に出現するアイスランドイトは、高 K_2O 量・Ce/Yb比タイプと低 K_2O 量・Ce/Ybの2種類に区分できる。前者は関東地方北部（茂木・大子地域）や北部阿武隈地域（毛無山）に産し、後者は東北地方中部脊梁地域（古川～新庄間）に分布する。周辺の苦鉄質火山岩類の化学組成との関係から、前者はある種の下部地殻物質の部分融解によって、また後者はソレライト質苦鉄質マグマの結晶分化作用によって生成されたものと推定される。 K_2O/TiO_2 比は前者で高く後者で低い。これは、両者における初源マグマの化学組成上の違いを反映しているものと考えられる。前期中新世に生じた、マントル・プリュームの上昇による日本海の急速な拡大と日本列島の移動は、高温で H_2O に乏しく還元的な地殻環境と伸長応力場の発達を促し、アイスランドイト質マグマの生成に寄与したものと思われる。