北海道東部, 新第三紀火山岩類の岩石学的性質の変遷

Petrological variation with time and space in the Neogene volcanic rocks from east Hokkaido

Abstract

国分公貴*
岡村 聡*
八幡正弘**
古山勝彦***
長尾敬介****

*Kimitaka Kokubu**
*Satoshi Okamura**
*Masahiro Yahata***
*Katsuhiko Furuyama****
*Keisuke Nagao*****

1994年3月14日受付.
1994年6月27日受理.

* 北海道教育大学札幌校. Sapporo Campus,
Hokkaido Education University, Sapporo
002, Japan

** 北海道立地下資源調査所. Geological Survey of
Hokkaido, Sapporo 060, Japan

*** 大阪市立大学理学部地球学科. Department of
Geosciences, Osaka City University, Osaka
558, Japan

**** 岡山大学地球内部研究センター. Institute for
Study of the Earth's Interior, Okayama
University, Misasa, Tottori 682-02, Japan

The eastern Hokkaido has the Kitami and Abashiri magmatic provinces characterized by volcanism from Middle Miocene to historic times. The two magmatic provinces are divided by the N-S trending Abashiri Tectonic Line. Four stages of the Neogene volcanism from the Kitami and Abashiri magmatic provinces can be recognized based on volcanostratigraphy, radiometric age and petrography. The Neogene volcanism becomes young toward the south, followed by the Quaternary volcanism along the Kuril Arc.

The volcanic rocks of stage 1 (13.5-11.5 Ma) from the Kitami magmatic province are composed of calc alkalic andesite-dacite and icelandite. Those of stages 2 (11.5-8.0 Ma) and 3 (8.0-6.0 Ma) are characterized by the bimodal volcanism accompanied by N-S trending uplift and rifting, in which the incompatible elements of basalts increase across the arc, south to north away from the Kuril trench. These data suggest that the Middle to Late Miocene volcanism from the Kitami magmatic province took place under the island arc system associated with an extensional stress regime in the N-S uplift zone.

The volcanic rocks of stages 3 and 4 (6.0-2.0 Ma) from the Abashiri magmatic province show an across-arc variation in K_2O . However, the volcanic rocks of stage 3 from back arc side are distinguished from both stage 4 and Quaternary volcanic rocks by high alkali contents.

The volcanic rocks of stage 4 from the Kitami and Abashiri magmatic provinces show petrological features similar to those of the Quaternary rocks, suggesting that recent Kuril Arc magmas have commenced to erupt since Pliocene. In contrast, the Middle to Late Miocene volcanic rocks include non-orogenic volcanic rocks such as icelandite and alkali rocks, suggesting that the sources of the non-orogenic rocks are the upwelling mantle diapirs into the mantle wedge.

Key words : Neogene volcanism, east Hokkaido, K-Ar dating, petrology, bimodal volcanism, icelandite, Kuril Arc

はじめに

北海道北東部は千島弧内帯に属し, 従来「北見グリーンタフ地域」(Minato et al., 1965) と呼ばれ, 中新世以降活発な火山活動が生じた地域である. 最近, これらの新第三紀火山岩類について数多くの放射年代データが報告され, 第四紀千島弧火山に至る火山活動の変遷の特徴が明らかにされつつある(興水・金, 1986a, b, c, 1987; 渡辺・山口, 1988; 八幡・西戸, 1989; 渡辺ほか, 1991). 興水・金(1986b)によれば, 北見グリーンタフ地域の新第三紀火山岩類は, 14.5~13.7 Maの活動年代を示す早期グリーンタフと7.2~5.2 Maの後期グリーンタフに区分され, 前者は南北方向に配列する東西2列

の火山帯からなるのに対し, 後者は北東-南西方向であり現在の千島火山帯とほぼ類似の配列を示す. このことから, 興水・金(1986b)は, 北見グリーンタフ地域の火山活動が後期中新世以後に現在の千島弧方向へと転換したと考えた. 一方, 同地域の中新世火山岩類について, 渡辺・山口(1988), 八幡・西戸(1990), 渡辺ほか(1991)も興水・金と同様な南北方向の火山列の存在を報告しており, なかでも, 渡辺・山口(1988)と八幡・西戸(1990)は, それらの活動年代が北部から南部に向かって若くなることを指摘している.

この北海道北東部は千島海盆の拡大や日高変成帯のテクトニクスと密接に関連した地域である. 千島海盆は南北方向の右横ずれ断層運動によって拡大したと考えられているが

Fig. 1. Simplified geological map of Hokkaido, showing division of Tertiary magmatic provinces. V.F. is Quaternary volcanic front.

Table 1. K-Ar ages of Cenozoic volcanic rocks from east Hokkaido.

Sample No.	Rock Name	K(wt%)	Rad. ^{40}Ar (10^{-8} cc/g)	Non. Rad. Ar (%)	Age(Ma)
KS-01	Opx-Cpx andesite	1.28 ± 0.03	5.29 ± 0.09	82.32	1.05 ± 0.03
ST-02	Ol basalt	0.87 ± 0.02	13.32 ± 0.15	59.64	3.93 ± 0.12
ST-05	Ol-Cpx-Opx andesite	0.97 ± 0.02	23.56 ± 0.24	41.28	6.24 ± 0.19
TN-01	Cpx-Opx dacite	2.08 ± 0.06	90.76 ± 1.14	60.95	11.18 ± 0.36

(Kimura and Tamaki, 1986; Maeda, 1990; 小松ほか, 1990 など), 日本海の場合に比べ情報量が限られており, とりわけ海盆内のデータが非常に少なく, 火成活動との関連も十分解明されてはいない. したがって, 本地域の火成活動の変遷が千島海盆の拡大や日高変成帯のテクトニクスとどのように関連したのかを明らかにすることは, 北海道周辺のテクトニクスを理解するうえできわめて重要な課題である.

本論では, 北海道北東部に広く分布する新生代火山岩類について, K-Ar 年代と岩石化学的性質からみた変遷を検討し, 第四紀島弧火山活動に至るテクトニクスとの関連を考察する.

新生代火山岩類の活動年代と分布

北海道の新第三紀火山岩類は, その分布と岩石学的特徴をもとに西北海道, 名寄, 北見, 網走の4つの火成活動区に区分される (Fig. 1). これらのうち, 西北海道火成活動区と北見火成活動区南部 (十勝地域) を除く地域が従来, 北見グリーンタフ地域とされてきた部分である. 名寄火成活動区は, 先新第三系基盤岩類の構造区分 (君波ほか, 1990) および第三系の構造区分 (保柳ほか, 1986) によると, 空知-エゾ帯東縁部から日高帯, および枝幸-日高帯にかけたほぼ南北方向に延びた地域にあたる. 北見火成活動区は日高帯東部と常呂帯, および紋別-十勝帯にかけた南北方向に延びた地域である. 網走火成活動区は千島弧の内帯にあたり, 根室帯の北部に相当する. 常呂帯と根室帯の境界をなす網走構造線 (Kimura, 1981) は, 北見・網走両火成活動区の境界に相当することになる. 本章では, 新しく行いたいいくつかの火山岩試料について K-Ar 年代測定結果と, これまでに報告されている年代データを参考にして, 北見火成活動区と知床半島部を除く網走火成活動区の火山活動のステージ区分を行い, 両火成活動区の火山活動の変遷を検討する.

1. K-Ar 年代測定

測定した試料は、北見火成活動区から3個、網走火成活動区から1個の火山岩である。K-Ar年代測定のための試料は、全岩を粉碎し60-100メッシュに揃え、2分して一方をAr測定に、もう一方をさらに粉碎しKの定量分析に供した。Kの定量は北海道大学で、蛍光X線分析法で行った。Ar分析は、岡山大学地球内部研究センターの質量分析計で、 ^{38}Ar をスパイクとした同位体希釈法により行った。Arの分析法と年代計算法の詳細はNagao et al. (in preparation) にしたが、年代値の算出にはSteiger and Jäger (1977)の壊変定数を用いた。年代測定結果をTable 1に示す。

(1) KS-01; 斜方輝石-単斜輝石安山岩 ($\text{N}43^{\circ}36'15''$, $\text{E}144^{\circ}10'8''$)

屈斜路火山外輪山溶岩類(山口・佐藤, 1966)の板状節理の発達した塊状溶岩。斑晶は、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物からなる。斜方輝石は、まれに薄い単斜輝石結晶に取り囲まれている。石基は、ピロタキシティック組織を示し、斜長石、単斜輝石、不透明鉱物、シリカ鉱物からなり、変質鉱物は認められない。

勝井(1962)によれば、屈斜路外輪山溶岩は、藻琴山・サマッカリヌブリ・コトニヌブリなどの複数の成層火山を構成し、初〜中期更新世に噴出したとされている。通商産業省資源エネルギー庁(1990)は、屈斜路外輪山溶岩から1.01および2.89 MaのK-Ar年代値を報告している。年代測定の結果は、 1.05 ± 0.03 Maを示し、勝井(1962)や通商産業省資源エネルギー庁(1990)の結果と調和的な値である。

(2) ST-02; かんらん石玄武岩 ($\text{N}43^{\circ}33'15''$, $\text{E}143^{\circ}39'56''$)

勲瀬別溶岩(鈴木・浅井, 1963)の板状節理の発達した塊状溶岩。斑晶は、斜長石、かんらん石からなる。斜長石は、一部粘土鉱物に置換されることがある。かんらん石は、まれに割れ目に沿ってイデイングサイト化することがあり、しばしば単斜輝石の粒状結晶に取り囲まれる。石基は、間粒状組織を示し、斜長石、単斜輝石、不透明鉱物からなる。ごくまれに石基斜長石の粒間に赤鉄鉱が充填するが、それ以外はきわめて新鮮である。

本層は、鈴木・浅井(1963)によって、鮮新世火山岩類の一つとされている。結果は、 3.93 ± 0.12 Maを示し、従来の層序対比と調和的な値を得た。

(3) ST-05; かんらん石-単斜輝石-斜方輝石安山岩 ($\text{N}43^{\circ}38'12''$, $\text{E}143^{\circ}34'58''$)

トマム川溶岩類(鈴木・浅井, 1963)の板状節理の発達した塊状溶岩。斑晶は、斜長石、かんらん石、単斜輝石、斜方輝石からなる。かんらん石は、まれに周縁部でイデイングサイト化しており、微斑晶のかんらん石は全体にイデイングサイト化が見られる。斜方輝石は、まれに薄い単斜輝石と平行連晶する。石基は、ピロタキシティック組織を示し、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物、シリカ鉱物からなる。まれに、石基の長石結晶の間に粘土鉱物が埋めている。

本層は、鈴木・浅井(1963)によって、勲瀬別溶岩の上位に重なる鮮新世火山岩類とされている。結果は 6.24 ± 0.19

Maで、後期中新世を示す。先の勲瀬別溶岩(ST-02)に比べ、誤差の範囲を越えた古い値を示し、鈴木・浅井(1963)の層序対比からの推定とは矛盾する。本火山岩とST-02は、ともにかんらん石斑晶が一部変質作用を受けているにすぎず、真の年代値から大きくかけ離れていたと考えなくてもよいであろう。通商産業省資源エネルギー庁(1990)は、ST-05試料の採取地点から北西に約9 kmのケトネイ川流域に分布する釧北火山岩類(鈴木・浅井, 1963)から6.08 MaのK-Ar年代値を報告している。これはトマム川溶岩類のさらに上位に対比されているものである。一方、勲瀬別溶岩(ST-02)の試料採取地点の西約5 kmでは、トマム川溶岩類に対比されている火山岩から4.05 Maの年代値を報告している。これらのことから、トマム川溶岩類は、6 Ma前後と4 Ma前後の活動年代を示す少なくとも2つのステージに区分され、釧北火山岩類は、6 Ma頃の年代を示すトマム川溶岩類とほぼ同時期を示し、勲瀬別溶岩は、4 Ma頃を示すトマム川溶岩類と同時期の活動であった可能性がある。鈴木・浅井(1963)も指摘しているように、勲瀬別溶岩をはじめ、周辺地域の火山岩類は露出が悪く、転石をてがかりに地質層序を組み立てている場合が多い。今後さらに、年代測定データの追加を含めた層序の再検討が必要である。

(4) TN-01; 単斜輝石-斜方輝石デイサイト ($\text{N}43^{\circ}36'24''$, $\text{E}143^{\circ}18'38''$)

長谷川・渡辺(1964)によって安山岩質集塊岩脈とされたもので、デイサイト質のハイアロクラスタイトである。斑晶は、斜長石、単斜輝石、斜方輝石からなる。輝石斑晶は大型のものは融食形を示すことがある。石基は、ハイアロピリティック組織を示し、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物、褐色ガラスからなる。石基にはしばしば円形の気泡が見られ、内壁に薄い粘土鉱物が生成されているが、それ以外はほとんど変質作用を受けていない。

年代測定の結果は 11.18 ± 0.36 Maを示し、中期中新世の年代である。長谷川・渡辺(1964)によれば、本層は鮮新世の活動であるとされているが、今回の結果は、それよりも古い値を示した。

2. 新第三紀火山活動のステージ区分と分布

北見・網走両火成活動区の新第三紀火山岩類は、今回の年代測定結果をはじめ、最近の放射年代データ(興水・金, 1986a, b, c, 1987; 渡辺・山口, 1988; 八幡・西戸, 1989; 渡辺ほか, 1991)にみられるように、従来の層序対比とは異なる活動年代を示すものが多い。以下には、これらの放射年代を中心にして、さらに層序対比・産状・岩石構成・岩石化学的性質の特徴をもとに、以下の4つのステージに区分した。Fig. 2には、両火成活動区の新第三紀火山岩類のステージごとの分布を示し、Figs. 3, 4には、火山岩類を主体とする層序の対比図を示す。

第1ステージ(13.5-11.5 Ma); 北見火成活動区の鴻之舞層、北見富士層の一部、網走火成活動区のイクルスベ層の一部に相当。鴻之舞層は安山岩〜デイサイト質の浅海成火砕岩類よりなる。北見富士層は安山岩〜デイサイト質の陸成溶岩、岩脈よりなる。イクルスベ層は、変質の著しい安山岩〜

Fig. 2. Simplified geological map of east Hokkaido, showing distribution of Cenozoic volcanic rocks. a=Stage 1, b=Stage 2 (Early), c=Stage 2 (Late), d=Stage 3, e=Stage 4, f=Quaternary volcano. The sample localities of K-Ar dating are also shown.

デイサイト質海成火砕岩類よりなる。

第2ステージ (11.5-8.0 Ma)；北見火成活動区の藻別層，北見富士層の一部，留岡層，紋別玄武岩，網走火成活動区の網走層の一部・美都層の一部・イクルシベ層の一部に相当。藻別層は陸成の流紋岩～デイサイト質の溶岩～火砕岩類からなり，一部玄武岩溶岩を伴う。流紋岩溶岩の一部はパーライトの岩相を示す。留岡層と紋別玄武岩はともに玄武岩溶岩～火砕岩を主体とし，陸上噴火の産物である。北見火成活動区は全体として中性火山岩の少ないバイモダルな火山活動で特徴づけられる。網走層と美都層は海成火砕岩類よりなり，イクルシベ層は陸成火砕岩類よりなる。これら網走火成活動区の火山岩は，安山岩を主体とするが，玄武岩・デイサイトを伴う。本ステージの北見火成活動区は，後述するように化

学組成の特徴から、藻別層にほぼ相当する前期 (11.5-10.0 Ma) と、留岡層・紋別玄武岩に相当する後期 (10.0-8.0 Ma) に細区分される。

第3ステージ (8.0-6.0 Ma)；北見火成活動区の社名淵層・浦島内川層・生田原層・トムイルベシベ層・恩根流紋岩類・矢矧層など、網走火成活動区の美都層の一部、網走層の一部に相当。社名淵層は、陸成の溶岩～火砕岩類よりなり岩質は玄武岩と流紋岩～デイサイトを主体とし、一部安山岩を伴う。流紋岩はしばしばパーライト質の産状を示す。浦島内川層は、安山岩質溶岩・火砕岩類よりなる。トムイルベシベ層は流紋岩質溶結凝灰岩よりなる。北見火成活動区は、陸成の玄武岩～玄武岩質安山岩と流紋岩のバイモーダル火山活動が主体をなし、安山岩～デイサイトを少量伴う。網走火成活動

Fig. 3. Summarized stratigraphy of the Kitami magmatic province. Numbers show isotopic ages: star; this study, a; Koshimizu and Kim (1986 a, b), b; Yahata (1989), c; Yahata and Nishido (1989), d; Yahata et al. (1994), e; MITI (1990), f; Maeda, H. (1986).

Fig. 4. Summarized stratigraphy of the Abashiri magmatic province. Numbers show isotopic ages: a; NEDO (1985), b; Koshimizu and Kim (1986 c), c; Yahata et al. (1992), d; DAFHDA (1991).

区は、第2ステージと同様安山岩質の海成火砕岩類よりなる。

第4ステージ (6.0-2.0 Ma) ; 北見火成活動区のホロカピリベツ川層・鮮新世火山岩類など、網走火成活動区の里美層、夕映川層・飽別層などに相当。いずれの火山岩類も陸成の溶

岩・火砕岩類が主体をなし、玄武岩・安山岩・流紋岩の広い組成範囲を示すが、安山岩〜デイサイトに富む傾向がある。

Fig. 2 から明らかなように、両火成活動区の新第三紀火山岩類は、南北方向に延びた分布を示し、この傾向は北見火成活動区で顕著である。一方、第四紀火山は、両火成活動区の南部に比較的集中し、これは千島列島に連なる北東-南西方向の千島火山弧の南西端を構成している。第1ステージ火山岩は、北見火成活動区では北端部の紋別から瀬戸瀬付近にかけてと、ほぼ中央部の置戸の西部に分布する。一方、網走火成活動区では南部の弟子屈の西部に小規模に分布する。第2ステージ火山岩は、北見火成活動区では紋別から生田原にかけて広がり、ごく小規模にさらに南の常元付近に分布する。網走火成活動区では北端部の網走周辺に限られる。第3ステージ火山岩は、北見火成活動区では北は上湧別付近から南は第四紀火山の広がる地域まで分布し、第2ステージの火山岩類と重複しながらも南部に広がっている。網走火成活動区は美幌から上里付近にかけて分布し、第2ステージよりも南部に片寄っている。第4ステージでは、北見火成活動区では瀬戸瀬付近から上土幌にかけて広がり、南部のかなりの地域を占めていることから、第3ステージのさらに南部に活動の中心が移動したとみられる。網走火成活動区では南部にほぼ限定されて広がり第四紀火山の基盤部を占めている。

以上の各ステージの火山岩の時空分布をまとめると、第1ステージ火山岩は北見火成活動区では北部から中央部にかけて、網走火成活動区では南部に分布し、第2ステージ以降第四紀火山にかけては、両火成活動区とも北部から南部へと活動の中心が移動する傾向がある。北見火成活動区の中新世火

Table 2. Major element composition of Neogene Tertiary volcanic rocks from the Kitami magmatic province.

Stage	Sample	Latitude	Longitude	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
Stage 1	K-18-9	44° 12' 58"	143° 20' 54"	64.47	0.95	14.66	8.17	0.21	0.54	4.59	3.66	1.74	0.18	99.17
	K-18-8	44° 10' 51"	143° 20' 18"	63.76	1.01	14.57	8.57	0.13	1.21	5.08	3.36	1.62	0.17	99.48
	K-18-7	44° 5' 48"	143° 20' 16"	62.30	1.52	14.68	9.40	0.15	1.63	5.80	3.14	1.15	0.16	99.93
	K-18-2	44° 0' 37"	143° 26' 24"	66.77	0.44	16.05	3.45	0.06	2.19	4.77	3.48	2.02	0.08	99.31
Stage 2 (Early)	K-18-101	44° 14' 34"	143° 26' 56"	52.31	1.20	16.76	8.42	0.14	7.63	8.65	3.25	1.12	0.26	99.74
	K-18-103	44° 14' 34"	143° 26' 56"	57.35	1.01	15.88	7.03	0.12	5.59	6.85	3.32	1.75	0.22	99.12
	k-18-105	44° 14' 34"	143° 26' 56"	51.24	1.28	16.76	8.86	0.15	7.20	8.91	3.27	1.06	0.30	99.03
	K-18-106	44° 14' 34"	143° 26' 56"	52.47	1.21	16.55	8.39	0.14	7.38	8.69	3.23	1.08	0.27	99.41
	K-18-107	44° 14' 34"	143° 26' 56"	52.12	1.21	16.74	8.56	0.14	7.01	9.62	3.29	0.99	0.29	99.97
	TN-01	43° 36' 24"	143° 18' 38"	65.86	0.64	15.54	5.25	0.06	0.99	3.91	3.51	2.45	0.13	98.34
Stage 2 (Late)	k-18-11	44° 21' 3"	143° 20' 29"	53.19	1.10	16.86	8.47	0.13	6.85	8.32	3.39	0.95	0.28	99.54
	MON-bas	44° 21' 3"	143° 20' 29"	52.89	1.17	17.95	8.58	0.13	7.13	8.86	3.05	0.61	0.26	100.63
	k-17-13	44° 3' 41"	143° 28' 42"	50.57	1.35	16.61	10.07	0.15	6.48	9.01	3.26	0.87	0.34	98.71
	B *	44° 1' 33"	143° 28' 19"	60.04	0.87	16.50	7.28	0.13	2.84	6.20	3.93	1.43	0.19	99.41
	EX1 *	43° 57' 23"	143° 24' 2"	56.14	1.74	16.44	10.61	0.15	3.03	6.04	4.42	1.09	0.36	100.02
Stage 3	K-17-11	44° 7' 7"	143° 29' 36"	49.30	1.31	16.60	9.69	0.17	6.72	11.18	3.03	0.32	0.14	98.46
	K-17-12	44° 4' 41"	143° 24' 30"	49.90	1.23	17.12	9.32	0.17	7.04	10.57	2.99	0.56	0.22	99.12
	K-18-3	44° 0' 42"	143° 26' 20"	63.25	1.03	15.08	6.98	0.13	1.39	4.34	4.03	2.35	0.30	98.88
	K-18-4	44° 0' 42"	143° 26' 20"	64.07	1.10	15.37	6.23	0.11	1.13	4.36	4.65	1.54	0.30	98.86
	K-18-5	44° 1' 49"	143° 27' 14"	53.60	1.13	16.17	9.38	0.16	6.39	8.66	2.98	0.97	0.23	99.67
	K-18-6	44° 1' 42"	143° 27' 14"	52.39	1.20	16.55	9.49	0.17	6.76	9.65	2.72	0.82	0.22	99.97
	MSS-03R	43° 55' 58"	143° 18' 18"	68.28	0.54	15.57	4.71	0.10	0.99	2.99	4.11	2.80	0.15	100.24
	MSS-03L	43° 55' 58"	143° 18' 18"	67.40	0.52	15.69	4.78	0.10	0.95	2.98	3.95	2.80	0.14	99.31
	MSS-02	43° 54' 54"	143° 19' 19"	67.74	0.54	15.72	4.85	0.10	1.02	3.04	4.07	2.68	0.14	99.90
	IK-01	43° 52' 20"	143° 31' 7"	74.55	0.18	13.50	1.33	0.01	0.02	0.82	4.68	4.11	0.02	99.22
	V-26 *	43° 40' 8"	143° 34' 18"	60.01	1.01	16.22	8.83	0.12	2.12	5.62	3.86	1.82	0.23	99.84
	V-36 *	43° 39' 17"	143° 41' 57"	54.90	0.89	19.01	7.81	0.12	2.96	9.24	2.83	1.24	0.15	99.15
	ST-05	43° 38' 12"	143° 34' 58"	55.85	0.89	16.78	8.98	0.15	4.41	8.26	2.85	1.16	0.15	99.48

Stage	Sample	Latitude	Longitude	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
Stage 4	V-21 *	43° 48' 58"	143° 23' 28"	49.59	0.91	18.32	10.07	0.18	6.07	11.10	2.31	0.51	0.09	99.15
	KF-05	43° 47' 15"	143° 23' 29"	65.74	0.86	15.19	5.29	0.14	1.29	4.07	4.44	1.74	0.25	99.01
	KF-04	43° 47' 4"	143° 26' 44"	71.13	0.47	14.08	3.28	0.07	0.49	1.93	4.96	2.65	0.10	99.16
	RB-03	43° 47' 4"	143° 33' 36"	61.39	1.01	16.40	7.98	0.11	1.87	5.67	3.89	1.67	0.19	100.18
	RB-04	43° 47' 4"	143° 33' 36"	59.43	1.13	16.90	8.81	0.13	2.40	5.74	3.73	1.56	0.19	100.02
	RB-01	43° 45' 52"	143° 32' 3"	58.83	1.28	15.96	8.57	0.13	2.93	6.67	2.96	2.12	0.32	99.77
	RB-02	43° 45' 28"	143° 36' 22"	49.88	1.00	16.89	10.62	0.18	7.02	10.30	2.51	0.66	0.19	99.25
	V-25 *	43° 45' 19"	143° 36' 27"	50.59	1.02	16.66	10.68	0.18	7.61	9.63	2.55	0.72	0.20	99.84
	KF-07	43° 44' 15"	143° 18' 42"	72.62	0.19	13.26	2.92	0.21	0.09	1.49	4.61	2.95	0.03	98.37
	KF-01	43° 40' 30"	143° 23' 56"	54.72	1.05	17.68	8.06	0.15	3.82	9.61	2.69	1.12	0.21	99.11
	KF-02	43° 40' 28"	143° 23' 51"	54.06	1.02	17.59	8.18	0.18	4.33	9.86	2.58	1.05	0.19	99.04
	KF-03	43° 40' 18"	143° 23' 44"	52.04	1.02	17.56	9.28	0.16	5.34	9.63	2.85	0.78	0.20	98.86
	TN-02	43° 34' 12"	143° 28' 36"	53.96	1.36	16.39	12.35	0.16	3.49	8.14	3.23	0.98	0.19	100.25
	ST-01	43° 33' 38"	143° 39' 6"	57.44	1.20	17.04	9.64	0.14	2.54	6.62	3.96	1.22	0.30	100.10
	ST-03	43° 33' 17"	143° 40' 4"	58.19	1.40	15.93	11.09	0.16	2.76	5.73	3.30	1.49	0.27	100.32
	ST-02	43° 33' 15"	143° 39' 56"	52.99	1.30	16.07	12.97	0.17	4.21	8.38	2.73	0.97	0.17	99.96
	RK-011	43° 29' 55"	143° 34' 11"	53.74	1.05	16.68	10.16	0.16	4.47	8.51	2.74	1.03	0.16	98.70
	RK-012	43° 29' 55"	143° 34' 11"	55.03	1.05	16.76	9.98	0.15	4.23	8.11	2.72	1.14	0.16	99.33
	RK-021	43° 28' 6"	143° 33' 27"	52.63	1.37	16.04	12.64	0.18	4.42	8.86	2.60	0.93	0.20	99.87
	RK-022	43° 28' 6"	143° 33' 27"	52.10	1.37	15.87	12.73	0.18	4.43	8.81	2.52	0.99	0.19	99.19
	AS-2	43° 28' 2"	143° 23' 7"	61.98	0.68	15.94	6.62	0.12	3.38	6.37	2.85	1.82	0.09	99.85
	MT-02	43° 24' 52"	143° 21' 42"	62.11	0.73	16.30	6.83	0.13	2.95	6.26	2.91	1.80	0.11	100.13
	MT-03	43° 23' 32"	143° 22' 7"	63.40	0.80	15.80	6.36	0.10	1.95	5.52	3.12	1.90	0.13	99.08
	MT-04	43° 20' 3"	143° 21' 51"	61.95	0.88	16.91	6.55	0.09	1.42	6.30	3.47	1.35	0.15	99.07

Table 3. Major element composition of Neogene Tertiary volcanic rocks from the Abashiri magmatic province.

Stage	Sample	Latitude	Longitude	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
Stage 2	K-17-9	44° 6' 24"	144° 14' 33"	51.96	0.99	17.72	9.65	0.17	3.98	10.13	3.02	1.15	0.19	98.96
	K-17-6	44° 2' 52"	144° 15' 50"	60.48	0.62	17.31	6.30	0.16	1.86	5.69	3.98	2.06	0.29	98.75
	K-17-7	44° 2' 52"	144° 15' 50"	60.64	0.65	17.85	5.08	0.05	1.62	5.53	4.38	2.11	0.30	98.21
	Ab-7	44° 2' 50"	144° 15' 33"	53.56	0.94	18.51	8.22	0.14	2.90	9.85	3.14	1.37	0.20	98.83
	K-17-3	44° 2' 34"	144° 15' 36"	61.58	0.64	17.89	4.72	0.04	1.46	5.52	4.33	2.17	0.31	98.66
	K-17-4	44° 2' 34"	144° 15' 36"	59.88	0.61	17.24	6.31	0.17	1.90	5.63	3.93	2.17	0.29	98.13
	K-17-1	44° 0' 57"	144° 17' 18"	53.51	0.64	17.67	9.95	0.14	4.52	9.95	2.55	1.25	0.17	100.35
	K-17-2	44° 0' 57"	144° 17' 18"	52.34	0.63	17.47	9.85	0.20	4.96	10.35	2.40	1.10	0.19	99.49
	Ab-3	44° 0' 55"	144° 17' 20"	52.59	0.66	17.60	9.78	0.19	5.01	10.20	2.34	1.20	0.18	99.75
	Ab-5	44° 0' 6"	144° 15' 25"	53.27	1.00	16.86	9.69	0.12	4.94	8.44	2.76	1.29	0.18	98.55
Stage 3	TG-03	43° 57' 24"	144° 15' 30"	61.39	1.31	17.75	5.62	0.05	0.63	5.01	3.50	3.70	0.49	99.45
	K-16-7	43° 33' 45"	144° 8' 13"	61.94	0.71	17.32	5.77	0.13	1.83	5.88	3.11	2.28	0.20	99.17
	K-16-8	43° 33' 45"	144° 8' 13"	61.23	0.71	17.38	6.02	0.13	1.83	5.99	3.00	2.29	0.19	98.77
	K-16-9	43° 33' 11"	144° 7' 56"	62.46	0.70	17.47	6.28	0.10	1.68	5.82	3.61	1.99	0.19	100.30
Stage 4	BH-01	43° 41' 24"	144° 7' 51"	64.86	0.91	14.85	8.05	0.10	1.01	3.86	3.97	2.37	0.31	100.29
	V-48 *	43° 33' 50"	144° 13' 40"	66.32	0.73	14.96	5.79	0.11	1.01	3.95	4.10	1.86	0.19	99.02
	K-16-14	43° 28' 3"	144° 19' 51"	57.97	1.41	14.58	12.24	0.18	2.39	7.81	2.82	0.42	0.24	100.06
	TY-104	43° 27' 58"	144° 20' 44"	61.75	1.31	13.41	11.12	0.15	2.23	5.94	3.01	0.99	0.20	100.11
	AK-1	43° 27' 18"	144° 2' 42"	63.28	0.69	16.45	6.55	0.20	1.26	4.40	4.36	2.00	0.26	99.45
	V-51 *	43° 26' 34"	144° 12' 7"	53.90	1.14	18.40	11.28	0.20	3.31	9.03	3.12	0.87	0.21	101.46
	K-16-13	43° 26' 11"	144° 19' 20"	60.28	0.89	16.25	8.95	0.20	2.35	6.15	3.95	1.74	0.53	101.29
	TY-94	43° 26' 11"	144° 19' 20"	72.35	0.61	14.53	3.41	0.12	0.60	3.44	4.61	1.16	0.13	100.96
	TY-153	43° 24' 42"	144° 42' 38"	71.57	0.55	13.97	3.15	0.12	0.69	3.18	4.68	1.19	0.11	99.21
	AK-4	43° 21' 57"	144° 8' 14"	50.75	0.85	21.18	9.11	0.17	2.71	10.99	3.04	0.61	0.15	99.56

山岩類について、八幡・西戸 (1990) は、11.5 Ma 以降南北性の内陸盆地において火山活動が生じ、鮮新世まで順次南南東ないし南へその盆地の中心が移動していることを明らかにしており、本論の第2ステージ以降の特徴と調和する。渡辺・山口 (1988) は、北見火成活動区のさらに西側の名寄・旭川地域の中新世火山岩類の検討から、南北方向の3列の火山配列を示す中期中新世後半～後期中新世初頭の火山岩類が分布し、北から南へと活動が広がっていることを明らかにした。これらの点から、北海道北部から東部に広く分布する新第三紀火山岩類の多くが、いずれも南北方向の火山配列を示し、活動の中心が南へ移動あるいは広がっていったことを示唆する。ただし、第1ステージ火山岩類については、特に、網走火成活動区においては南部に偏在しており、第2ステージ以降の規則的な火山活動の変遷とは無関係に活動したのかもしれない。しかし、前述のように、このステージの火山岩は、変質作用を強く受けているものもあり、今後、年代測定をはじめとした詳細な検討が必要である。

火山岩類の化学組成

北海道東部の新第三紀火山岩類について化学組成を検討するために、採取した試料について岩石薄片を作成・検鏡し、新鮮なものを選び出し主成分元素の分析を行った。分析は北海道大学の蛍光 X 線分析装置 (フィリップス社製 PW 1404) を用い、分析方法は Tsuchiya et al. (1989) にしたがった。分析結果を Tables 2, 3 に示す。以下には今回の分析データとともに、すでに公表されている同地域火山岩のデータをも

あわせた特徴を記載する。

1. 北見火成活動区

SiO₂-FeO*/MgO 図 (Fig. 5) による Miyashiro (1974) の分類では、第1ステージはカルクアルカリ系列 (CA) とソレライト系列 (TH) の異なる2グループが存在する。第2ステージ前期は主として CA にプロットされるが、第2ステージ後期の多くは CA と TH の境界付近にプロットされる。第3ステージは SiO₂ の増加に伴い TH と CA の2つの組成トレンドに分かれる。第4ステージは、SiO₂ の増加に伴い TH の組成トレンドを示すものと、TH と CA の境界付近からやや CA よりプロットされるものが認められる。

(K₂O+Na₂O)-SiO₂ 図 (Fig. 6) による Kuno (1968) の分類では、第1ステージは TH の領域にプロットされる。第2ステージ前期は玄武岩～安山岩は高アルミナ玄武岩系列 (HAB)、デイサイト～流紋岩は TH にプロットされる。本ステージの藻別層中のデイサイト～流紋岩の一部 (富美石英安山岩部層; 八幡ほか, 1988) は、TH ゾーンの中でも異常に低いアルカリ量を示す。ちなみにこの低アルカリ火山岩は、CaO, MgO に富み、他の火山岩類とは異なる組成トレンドを示す (Fig. 7)。第2ステージ後期はすべて HAB に落ちる。第3ステージはほとんどが HAB に落ちるが、玄武岩～玄武岩質安山岩は HAB と TH の境界付近にプロットされ、第2ステージの同一 SiO₂ 火山岩より低アルカリである。同ステージの流紋岩はばらつきが大きく、TH から HAB、一部アルカリ玄武岩系列 (AOB) にまたがってプロットされる。第4ステージは、SiO₂ の増加とともに TH と HAB の境界付近

Fig. 5. SiO_2 versus FeO^*/MgO diagram for Neogene Tertiary volcanic rocks from the Kitami magmatic province. Solid line shows boundary between calc-alkali (CA) and tholeiite (TH) series (Miyashiro, 1974). Data sources are this study and MITI (1990).

Fig. 6. $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ versus SiO_2 diagram for Neogene Tertiary volcanic rocks from the Kitami magmatic province. Solid curves show boundary between alkali olivine basalt (AOB), High alumina basalt (HAB) and tholeiite (TH) series (Kuno, 1968). Symbols as for Fig. 5.

から HAB の領域にプロットされる。

次に、各酸化物の含有量に注目して主な特徴を記載する。第1ステージ火山岩の FeO^* 量 (Fig. 7) は SiO_2 のわずかな増加に伴って急減する。このうち SiO_2 に乏しく FeO^* に富むグループは Miyashiro (1974) の TH に属し、他のステージの火山岩に比べても高い FeO^* 量トレンドを示す。それ以外の第1ステージ火山岩は CA に属し、他のステージの火山岩とはほぼ類似か低い FeO^* トレンド上にある。第3および第4ステージ火山岩は、玄武岩質火山岩において高 FeO^* 量と低 FeO^* 量の2つのトレンドに分かれ、特に第4ステージでこの傾向が顕著である。ただし、両ステージとも中～酸性火山岩では一連のトレンドを示し区別できない。

TiO_2 量は、ほとんどが 1.4% 以下の値を示すが、第1ステージの TH の一部と第2・3ステージの一部の火山岩は 1.5～1.8% に達し (Fig. 7)、世界の典型的島弧火山岩 (Gill, 1981) に比べ高い含有量である。第1ステージ火山岩の

Al_2O_3 量は、CA に属する火山岩では他のステージと類似かそれより高い値を示すのに対し、TH に属する火山岩は低い傾向を示す。第2ステージ火山岩は、玄武岩質火山岩に注目すると、他のステージより K_2O , Na_2O , P_2O_5 にやや富み、 CaO , FeO^* にわずかながら乏しい (Fig. 7)。第3ステージの火山岩は、デイサイト～流紋岩において $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含有量にばらつきがあり、2つの組成トレンドに分かれているように見える (Fig. 6)。前述の第3ステージ玄武岩質火山岩の FeO^* の組成トレンドおよび SiO_2 - FeO^*/MgO 図による Miyashiro (1974) の分類とをあわせると、本ステージの玄武岩質火山岩において FeO^* に富み、デイサイト～流紋岩で $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ に富む火山岩は Miyashiro (1974) の TH に、それらに乏しい火山岩は CA にほぼ属する。

2. 網走火成活動区

本火成活動区では、第1ステージに相当するイクルシベ層が著しく変質を被っているため、化学組成の検討からは除外した。

Miyashiro (1974) の分類 (Fig. 8) では、第2～4ステージ火山岩の全体をとおして、一部が TH と CA の境界付近にプロットされるほかは、すべて TH にプロットされる。

Kuno (1968) の分類 (Fig. 9) では、第2ステージは HAB の領域、第3ステージは AOB と HAB の異なる2つの領域にプロットされる。第4ステージも第3ステージと同様に2つの異なる組成トレンドを示し、一方は HAB、もう一方は TH 領域にプロットされる。第3および第4ステージのそれぞれにおける2つの組成トレンドは、後述するように千島海溝からの距離の違いに対応し、海溝に近い火山岩はアルカリ含有量が低い傾向がある。

次に同一 SiO_2 量で各酸化物含有量を比較する。 FeO^* 含有量 (Fig. 10) は、全ステージをとおしてみると、第2, 3, 4ステージの順で FeO^* 含有量が増加する傾向がある。第4ステージはデータのばらつきが大きい、南東側 (海溝側) に位置する高 FeO^* 量の火山岩と、 FeO^* の比較的乏しい北西側 (背弧側) 火山岩に区別される。第3ステージにみられる

Fig. 7. Harker diagram for Neogene Tertiary volcanic rocks from the Kitami magmatic province. Symbols as for Fig. 5.

アルカリ量の島弧横断方向の変化は、 TiO_2 、 P_2O_5 にも認められ海溝側で低い値を示す。一方、同ステージ火山岩の CaO 、 MgO は海溝側で高く背弧側で低い傾向がある。第4ステージ火山岩では、 P_2O_5 、 Al_2O_3 がアルカリ量と同様に海溝側で低く背弧側で高い。一方、同ステージの CaO 、 MgO は FeO^* と同様に海溝側で高く背弧側で低い傾向が見られる。

化学組成からみた新生代火山岩の時間空間分布

1. 北見火成活動区

Fig. 11 には各ステージ火山岩の SiO_2 含有量の頻度図を示

す。これら化学分析を行った試料は、各ステージ火山岩についてはばランダムに採取したものを扱っており、分析個数が噴出量にほぼ比例していると考えられる。第1ステージ火山岩は、安山岩～デイサイトの中性岩だけからなるのに対し、第2ステージから第3ステージにかけては、玄武岩質火山岩とデイサイト～流紋岩のバイモーダルな火山活動で特徴づけられる。ただし、両ステージとも少量の中性火山岩が含まれ、その量は第3ステージの方が富む傾向にある。一方、第4ステージにおいては玄武岩から流紋岩にいたる広い組成領域の火山岩が活動しているが、それ以前のステージとは異なり玄

Fig. 8. SiO_2 versus FeO^*/MgO diagram for Neogene Tertiary volcanic rocks from the Abashiri magmatic province. Data sources are this study, MITI (1990) and Yamagishi and Goto (1991).

Fig. 9. $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ versus SiO_2 diagram for Neogene Tertiary volcanic rocks from the Abashiri magmatic province. Symbols as for Fig. 8.

玄武岩質安山岩～安山岩の中性火山岩がもっとも卓越している。前述のように、第1ステージを除く各ステージの火山活動の中心は、おおむね時代とともに北から南へ移動し第四紀火山へと引き継がれており、このことは、各ステージの岩石構成とその活動域の変遷の間に密接な相関関係があることを示唆する。次に、各ステージの岩石学的性質の時間変化について検討する。

第1ステージは、THとCAの2つの岩石系列に属する中性火山岩からなる。両者は SiO_2 のわずかな増加に伴って FeO^* 、 TiO_2 、 MnO が急減し、同一マグマからの一連の結晶作用トレンドとは考えにくい。このうち、THに属する火山岩は FeO^*/MgO 比が高く、最大13.6に達する (Fig. 5)。このような異常に高い FeO^*/MgO 比をもつ中性火山岩は通常の島弧火山岩には見られず、アイスラングタイトに類似する。Carmichael (1964) によれば、アイスラングタイトは全岩化学組成上、一般の島弧火山岩に比べAlに乏しくFeに富む。Carmichael (1964) によって報告されたアイスラングタイトと第1ステージのうちもっとも高い FeO^*/MgO 比を示す火山

岩を比較すると、両者は SiO_2 、 FeO^* 、 Al_2O_3 など主成分元素においてよく似ており、第1ステージの高 FeO^*/MgO 比を示すTHの火山岩をアイスラングタイトと呼んでさしつかえない。したがって、本ステージは、CAの安山岩類とTHのアイスラングタイトが同時に活動する特徴をもつ。

第2～3ステージ火山岩は、全体としては中性火山岩の少ないパイモダルな岩石構成で特徴づけられる。これらのうち、第2ステージではCAが主体をなすのに対し、第3ステージはCAとTHの両系列がみられ後者が目立ってくる。第2ステージ前期に活動したデイサイト～流紋岩は、 K_2O 、 Na_2O の組成トレンドに大きなばらつきを示し、両元素に異常に乏しいものがある。このことは、本ステージのパイモダル火山活動において、デイサイト～流紋岩質火山岩は、玄武岩質マグマからの単純な分別結晶作用だけでは形成されえないことを示している。第3ステージは、前述のようにアルカリやFe含有量から2つのトレンドに区別され、それぞれMiyashiro (1974) のTHとCAに属する。Fig. 12には、第3ステージ火山岩の分布範囲に2つの岩石系列区分を示したが、北側にCAの火山岩が卓越し、南にTHが増加する傾向があり、さらに南の置戸付近では両系列が共存している。

第4ステージは、それ以前の第2～3ステージとは異なり中性火山岩が卓越するが、第3ステージと同様に2つの組成トレンドが存在し、一方はMiyashiro (1974) のCAとTHの境界からCA、他方はTHにプロットされる。両者は、 Na_2O 、 TiO_2 、 FeO^* にも差が認められ、同一 SiO_2 で比較すると前者の方がこれらに乏しい。Fig. 13には、第3ステージと同様に、両岩石タイプを区別し前者をCA、後者をTHとしてそれらの分布を示したが、南北方向に60 km以上の広範囲に広がる本ステージ火山岩では、両系列がランダムに分布し、岩石系列と火山活動の場との間には何ら規則性はみられない。

Fig. 14には、新第三紀～第四紀火山岩類について、 $\text{SiO}_2 = 60\%$ に規格化した時の K_2O 含有量の時空分布を示した。一般に、島弧の第四紀火山岩では火山フロントから背弧側にか

Fig. 10. Harker diagram for Neogene Tertiary volcanic rocks from the Abashiri magmatic province. Symbols as for Fig. 8.

けて K₂O 量の増加が知られている。北見火成活動区付近では千島弧に属する第四紀火山が北東-南西方向に配列しており、火山フロント側火山（然別火山）は背弧側の火山（大雪-十勝火山列）に比べ低い K₂O 量を示すが、より背弧側に向かったの系統的な K₂O の増加は認められない。石崎ほか (1990) によれば、大雪-十勝火山列のなかでは逆に火山フロントに近づく方向に K₂O が増加する。したがって、北海道中央部付近では島弧横断方向の化学組成の系統的变化が存在せず、第三紀火山岩の組成を検討する場合にその点を考慮する必要がある。Fig. 14 から明らかなように、第 1 ステージから第 4 ステージにかけての K₂O 量は、南北方向に延べ 100 km

以上にわたって火山岩が分布するにもかかわらず、時間的にも空間的にも系統的な組成変化が見られない。この傾向は、第 3・4 ステージにみられる 2 つの岩石系列を区別してそれぞれの系列どうしを比較しても同じである。しかし、前述のように、北見火成活動区の第 2, 3 ステージはパイモダルな火山活動で特徴づけられ、玄武岩質火山岩と流紋岩質火山岩は化学組成の特徴から、同一マグマ起源では説明できない可能性がある。そこで、上部マントルからもたらされた初生マグマに比較的近いと考えられる玄武岩だけに注目して比較すると、第 2 ステージは、それ以後の第 3, 4 ステージに比べ高い K₂O 量を示す (Fig. 7)。これと同様な傾向は、TiO₂,

Fig. 11. SiO_2 frequency diagram for Neogene Tertiary volcanic rocks from the Kitami and Abashiri magmatic provinces. Data sources are this study, MITI (1990) and Yamagishi and Goto (1991).

P_2O_5 , Na_2O にも見られる。先の各ステージの岩石系列の区分と対応させると、特に、第2～3ステージ全体を通してみると、より北側でCAの火山岩が卓越し、 K_2O をはじめとするインコンパティブル元素に富む傾向があり、南側ではTHの火山岩に富みインコンパティブル元素は乏しい。このことは、第2～3ステージにおいては、現在の火山フロントから背弧側に向けた島弧横断方向の化学組成の変化が存在していたことを意味するのであろう。

2. 網走火成活動区

本火成活動区の新第三紀火山活動は、北見火成活動区に比べ小規模ではあるが、第2ステージから第四紀にかけて、北から南へと活動の中心が移動する点は北見火成活動区と共通している。本火成活動区ではいずれのステージもCAとTHの境界からTHにかけた領域にプロットされ (Fig. 8), 典型的なCAの組成トレンドを示すものは存在しない。

Fig. 11の SiO_2 量頻度図では、データ量は多くないが、第2ステージが玄武岩から安山岩、第3ステージは安山岩、第4ステージは玄武岩から流紋岩の組成範囲を示し、どのステージも玄武岩質安山岩～安山岩に富む傾向がある。 $\text{SiO}_2=60\%$ で規格化した K_2O 量と比較すると、本火成活動区の第四紀火山では、火山フロントに位置する摩周および武佐岳火山は低 K_2O 量、わずかに背弧側に位置する雌阿寒岳、雄阿寒岳や屈斜路カルデラなどは明瞭に高い K_2O 量を示す (Fig. 14)。一方、第3および第4ステージ火山岩においても、第四紀火山と同様に、現在の火山フロントから背弧側にかけて K_2O 量が増加する。ところで、第3ステージ火山岩のうち、北部の網走周辺に分布する背弧側火山岩は、アルカリ岩よりなり (Fig. 9), 粗面安山岩に分類される (Yamagishi and Goto, 1991)。この粗面安山岩の K_2O 量は、第四紀火山の火山フロントからの距離に対する K_2O 量の増加率から予想される値に比べかなり高く、現在の千島弧火山の特徴をそのまま適用することは困難である。

アイスランドイト質マグマとバイモーダル火山活動

北見火成活動区の第1ステージには、カルクアルカリ安山岩とともに非島弧的性質を示すアイスランドイト質安山岩～デイサイトが含まれる。類似の火山岩は、東北日本の前～中期中新世火山岩中に認められる (白水ほか, 1983; 周藤・八島, 1985 など)。高橋 (1989) によれば、日本海が拡大したと考えられる18～15 Maの東北日本は岩石学的に共通した特徴があり、火山フロント沿いの島弧的カルクアルカリ質安山岩の認められるゾーン、その背後の TiO_2 に富むアイスランドイトの出現で特徴づけられるゾーン、そして日本海側の縁海的玄武岩の卓越するゾーンが存在する。この時期は、島弧で一般的な火山フロントから背弧側へ向かっての K_2O やアルカリ量の系統的増加がみられない。分化のいちじるしく進んだアイスランドイト質デイサイトは、大陸内部の引張応力場において、ソレイト質玄武岩とデイサイト～流紋岩が、バイモーダルな活動を行っている場所や、アイスランドのような、ホットスポット性の特殊な海洋底拡大軸部などでみられるので、東北日本においては島弧的なカルクアルカリ系列安山岩を伴うことから、引張応力場の下におかれている島弧であり、日本海の拡大に密接に関連したテクトニクス場であつたらしい (高橋, 1986)。

東北日本にみられる非島弧的なアイスランドイト質マグマの成因については、現在のところ統一した見解は得られていない。たとえば、高橋 (1989) は、当時の東北日本の地下に、広い範囲にわたって非島弧的組成のマントル・ダイアピルあるいはホット・リージョンが上昇して来ており、そこから

Fig. 12. Simplified geological map of Cenozoic volcanic rocks in the Kitami magmatic province, showing distribution of calc-alkali (solid squares) and tholeiite (stars) series from stage 3 volcanic rocks. Other symbols as for Fig. 2.

Fig. 13. Simplified geological map of Cenozoic volcanic rocks in the Kitami magmatic province, showing distribution of calc-alkali and tholeiite series from stage 4 volcanic rocks. Symbols as for Figs. 2 and 12.

MORB 的組成の玄武岩質マグマが供給され、このマグマが分化するか、あるいは固化した後再溶融するかして、アイスランドイト質マグマが形成されたと考えている。一方、周藤・猪股 (1992) は、アイスランドイトと、それに密接に伴って活動した島弧性安山岩とを比較し、前者の Sr 同位体初生値が後者よりいちじるしく高いことから、アイスランドイト質マグマが下部地殻の溶融によって形成された可能性がある、と主張している。

北見火成活動区の第 1 ステージでは、アイスランドイトとともに CA に属する安山岩～デイサイトが活動しており、主成分元素の特徴からは両者が異なるマグマに由来したと考えられる。さらに、同時期ではないものの、直後の第 2 ステージから第 3 ステージにかけてバイモダル火山活動が生じている。これらの特徴は、当時の北見火成活動区周辺が東北日本と同様、引張応力場におかれた島弧であったことを示唆している。本火成活動区では、八幡・西戸 (1990) によると、第 1 ステージに相当する海成層の鴻之舞層の堆積後、大規模な不整合を境に広域にわたって隆起し陸成の藻別層に代表さ

れる第 2 ステージに移行した。この転換は、両ステージの示す放射年代が接近していることから、きわめて短期間のうちに生じたい。第 2 ステージの火山活動は、南北方向に延びる地溝帯 (紋別-上士幌地溝帯; 八幡・岡村, 1992; Koizumi et al., 1992) の形成を伴っており、第 2・3 ステージのバイモダルな火山活動は、広域的な隆起運動に起因する引張応力場で生じた地溝帯内のできごととみなすことができる。前述のように、北見火成活動区は、先新第三系基盤岩である日高帯と常呂帯が南北方向に接するところに沿って位置し、地溝帯の形成は基盤構造のいわば弱線に沿って形成されたといえる。第 1 ステージのアイスランドイトを伴う火山活動は、この地溝帯形成の先駆的活動だったのであろう。

一方、網走火成活動区は、第 2 ステージでの隆起運動の証拠はなく、堆積盆は逆に浅海から徐々に深化する沈降域であった (Koizumi et al., 1992)。どのステージの岩石構成も中性火山岩が主体をなし北見火成活動区と異なるのは、両火成活動区の造構場の違いを反映しているのであろう。ただし、本火成活動区では、少規模ながらアルカリ岩 (第 3 ステージ)

Fig. 14. Regional variation in K_2O wt.% ($SiO_2=60\%$) of Cenozoic volcanic rocks from east Hokkaido. Data sources are this study, Yokoyama et al. (1976), Katsui et al. (1978, 1979, 1986), MITI (1990), Yamagishi and Goto (1991) and Funayama and Nakagawa (1991).

が認められるので、アイスラングイトやバイモダル火山活動との何らかの関連性が予想される。

北海道の新生代テクトニクスとの関連

千島海盆の拡大は、南北性の右横ずれ運動による古千島弧の南下、あるいはオホーツク古陸の北上によって起こったと考えられているが、その時期については、漸新世～前期中新世（福沢，1989；小松ほか，1990など）と中期中新世（前田仁，1986など）の2つの考えがある。福沢（1989）や小松ほか（1990）は、北海道東部の後期漸新世～前期中新世の火山岩や珪質頁岩の特徴から、千島海盆のリフティングは35 Maに始まり、拡大は29～17 Maの間に起こったと考えた。さらに、日高変成帯との関連については、主要な変成作用ののち、北から南への水平すべりによるduplexの形成が、千島海盆の拡大による右横ずれ運動に対応し、次に右横ずれトランスプレッションによるナップが形成され、これは太平洋プレートのNNW方向への移動-沈み込みによる押しが加わり、横ずれと衝上断層が組み合った運動に対応すると解釈した。また、15 Ma以降、東西性の圧縮場になって北海道の全域にわたって南北性の隆起-沈降帯が形成されているので（保柳ほか，1986；宮坂ほか，1986）、前述のナップが形成された事件は、南北性の右横ずれから東西性圧縮への移行期にあたると考えた。

東西性圧縮による南北性の隆起-沈降帯形成の原因は、日本海の拡大を原動力とするユーラシア（アムール）プレート

とオホーツク（北米）プレートの衝突（保柳ほか，1986；保柳，1989）と、太平洋プレートの斜め沈み込みによる千島弧の西進（木村，1981，1990）が提案されている。宮坂（1987）によると、千島弧の西進テクトニクスによる日高山脈の上昇は、中期中新世の末期から鮮新世の直前まで続いた。

一方、前田仁（1986）、前田ほか（1990）、Maeda（1990）は、日高山脈の東側で15～12 Maにかけてアルカリ質火成活動で特徴づけられるビパイロ-豊頃火成活動が起こっており、これが古千島弧の南下・千島海盆の南への拡大に伴う伸張応力場で発生したと考えた。本論で検討している中新世火山活動については、ビパイロ-豊頃火成活動と一部年代が重複するものの、その後に活動し、太平洋プレートの新たな沈み込みの開始を示す可能性があるとした。

北見・網走両火成活動区の火山活動は、13 Ma以降の活動年代を示しており、先の福沢（1989）・小松ほか（1990）のモデル、あるいは前田仁（1986）らのモデルによると、千島海盆の拡大の直接の原因とはなりえず、その後に生じた南北性隆起-沈降帯の形成に関連していたことになる。このことは、これらの火山活動が、東北日本における広域的引張応力場でのホルスト・グラベン形成とその後の日本海拡大（天野・佐藤，1989）とは異なる造構場にあったことを意味する。すなわち当時の北海道は、東西性圧縮の場に置かれており、北海道東部にみられる非島弧的性格を示すアイスラングイトやバイモダル火山活動は、南北性隆起域内での引張場で生じたのである。この隆起運動を伴った特異な火山活動の原因は、高橋（1989）が主張した、非島弧的性格のマントル

物質の上昇が最も考えやすい。おそらく両火成活動区に見られる高 Ti 火山岩やアルカリ岩の活動もそれに関連するであろう。

前田ほか(1990)は、本論で検討した中新世火山活動が、南に向かって若くなることから、太平洋プレートの新たな沈み込みがすでに北部で開始されており、火山フロントの南進はプレートの沈み込み角度が徐々に急になったためかもしれないとした。また、中新世火山岩類の南北方向の帯状配列の原因は、上部マントル・下部地殻を構成する日高火成活動帯や中生界の構造方向がすでに存在し、それらがマグマの発生源だった可能性があるとしている。北見・網走両火成活動区の火山岩類が第1ステージを除き、ほぼその中心が北から南へと移動していること、どのステージも島弧に特徴的な化学組成の火山岩を含んでいること、北見火成活動区の第2～3ステージ、網走火成活動区の第3～4ステージでは、現在の火山フロントから背弧側にかけた島弧横断方向の化学組成、特にアルカリ元素の系統的变化が認められることは、現在とほぼ同方向の太平洋プレートの沈み込みが当時から存在し、その沈み込み角度が徐々に急になったという考えを支持している。

ただし、前述のように、非島弧的性質を示す種々の火山活動の存在は、下部地殻～上部マントルの南北方向の帯状配列と、そこへ沈み込む太平洋プレートの角度の時間変化が、非島弧的性格のマントル物質の上昇と密接に関連していたことを示唆する。

広岡ほか(1994)によれば、本地域の古地磁気学的データは、12 Ma 頃に 30° 近い時計回りの回転運動があったことを示し、千島弧の西進テクトニクスとの関連が予想される。このことは、現在の南北性の火山配列や地溝帯を作った隆起-沈降帯が、当時はプレートの沈み込み方向にほぼ直交していた可能性がある。しかし、本地域の火山岩類の多くは南北方向への規則的な岩石学的性質の変化が認められるので、必ずしも古地磁気学的データと調和してはいない。広岡らの試料採取地点は網走火成活動区にあたるので、網走構造線の東側ブロックだけが時計回りの回転をしたのかもしれない。今後、広域的な古地磁気学的調査と岩石学的性質との比較検討が必要となろう。

前田(1986)は、太平洋プレートの斜め沈み込みによって形成された上支湧別構造帯(木村ほか, 1982)に関連した火成活動が 10 Ma に起こっており、この活動帯が大雪山-十勝火山列と並行していることなどから、これが現在の千島弧火成活動の先駆とみなした。北見・網走両火成活動区の火山岩類の特徴からみれば、第4ステージ火山岩において、岩石化学的特徴や分布の上で現在の島弧火山岩との共通性が多数認められるので、6 Ma 以降には現在みられる島弧火成活動が成立していたことは間違いない。

ま と め

(1) 北海道東部の新第三紀火山岩類は、南北性の網走構造線を境に、西の北見火成活動区と東の網走火成活動区に区分され、それら中期中新世から鮮新世の火山活動は4つのス

テージに区分される。

(2) 両火成活動区の火山活動の中心は時間とともに徐々に南へ移動した。ただし、第1ステージ火山岩は南部においても活動しており、その規則性はみられない。

(3) 北見火成活動区の第1ステージでは、島弧性カルクアルカリ安山岩～デイサイトとともに、アイスラングナイトが活動している。これらは異なるマグマに由来し、引張テクトニクスにおいて活動したらしい。

(4) 北見火成活動区の第2～3ステージは、バイモーダル火山活動で特徴づけられ、広域的隆起域内での南北性の地溝帯形成を伴う活動であった。先の第1ステージ火山活動は、この地溝帯形成の先駆的活動であったと考えられる。第2～3ステージの火山岩は、玄武岩類において現在の火山フロント側から背弧側にかけて岩石系列やインコンパティブル元素の規則的变化がみられる。一方、第4ステージでは、中性火山岩が卓越し、CA, TH の両系列火山岩が混在し、インコンパティブル元素の規則的な地域的变化がみられない。

(5) 網走火成活動区の第2～4ステージ火山岩は、島弧性安山岩類が主体をなす。第3～4ステージは、アルカリ元素の島弧横断方向の帯状配列が存在する。このうち、第4ステージは同地域の第四紀火山岩と類似のアルカリ元素その他の岩石化学的性質を示すが、第3ステージ火山岩では、より背弧側の火山岩はアルカリが異常に高く、現在の島弧火山岩とは異なる性質を示す。

(6) 両火成活動区の火山活動は、第4ステージの6 Ma 以降になって、現在の島弧火山活動とほぼ同じ岩石化学的性質を示すようになった。それ以前のステージは、島弧を特徴づけるカルクアルカリ火山岩の存在や島弧横断方向の規則的組成変化に加え、非島弧的性格を示す火山岩や岩石構成が見られ、この時期は、島弧性火山活動とともに非島弧のマントル物質の上昇があったらしい。両火成活動区における時間経過にともなう火山活動域の南進は、現在とほぼ同方向の太平洋プレートの沈み込みが当時から存在し、その沈み込み角度が徐々に急になったという前田ほか(1990)の考えを支持している。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、北海道大学の中川光弘博士には有益なご助言をいただいた。蛍光 X 線分析に際しては、中川光弘博士をはじめ、北海道大学の中村耕二教授、寺田省一技官の便宜をはかっていただいた。金属鉱業事業団調査部の中村研治課長からは、分析試料の一部をこころよく提供していただいた。査読者である佐藤博明博士のコメントは、本論文をまとめるにあたり大変有意義であった。本研究の一部には、文部省科学研究費補助金(課題番号 03302022, 研究代表者 周藤賢治教授)を使用した。記して謝意を表します。

文 献

- 天野一男・佐藤比呂志, 1989, 東北本州弧中部地域の新生代テクトニクス, 地質学論集, no. 32, 81-96.
Carmichael, I. S. E., 1964, The petrology of Thingmuli, a Tertiary

- volcano in eastern Iceland. *Jour. Petrol.*, **5**, 435-460.
- 福沢仁之, 1989, Biosiliceous shaleの時空分布からみた日本海・オホーツク海の形成 (予報). 月刊地球, **11**, 284-291.
- 船山 淳・中川光弘, 1991, 北海道東部, 武佐火山の地質と岩石. 岩鉱, **86**, 410-423.
- Gill, J.B., 1981, *Orogenic andesite and plate tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, 390p.
- 長谷川潔・渡辺 順, 1964, 5 万分の一地質図幅説明書「常元」. 北海道開発庁, 28p.
- 広岡公夫・田中彰子・森定 尚・福沢仁之, 1994, 道東・北部地域の第三系の古地磁気. 月刊地球, **16**, 186-190.
- 北海道開発局農業水産部, 北海道立地下資源調査所 (DAFHDA), 1991, 中国地区表層地質調査報告書, 43p.
- 保柳康一, 1989, 中央北海道中新統タービタイトと日本海拡大. 月刊地球, **11**, 292-297.
- 保柳康一・宮坂省吾・渡辺 寧・木村 学・松井 愈, 1986, “衝突帯”のタービタイト相形成とテクトニクス—中新世・中央北海道の例—. 地団研専報, no. 31, 265-284.
- 石崎泰男・中川光弘・勝井義雄, 1990, 大雪—十勝火山列, トムラウシ火山の地質と岩石. 日本火山学会講演予稿集 1990 年度春季大会, 66.
- 勝井義雄, 1962, 5 万分の一地質図幅説明書「屈斜路湖」. 北海道開発庁, 42p.
- Katsui, Y., Oba, Y., Ando, S., Nishimura, S., Masuda, Y., Kurasawa, H. and Fujimaki, H., 1978, Petrochemistry of the Quaternary volcanic rocks of Hokkaido, north Japan. *Jout. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **18**, 449-484.
- 勝井義雄・横山 泉・伊藤太一, 1979, 旭岳, 火山地質・活動の現況および防災対策. 北海道防災会議, 42p.
- ・———・岡田 弘・西田泰典・松本佳久・川上則明, 1986, アトサヌプリ摩周 (カムイヌプリ), 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策. 北海道防災会議, 104p.
- 君波和雄・川村信人・新井田清信・渡辺暉夫・加藤 誠, 1990, 中・古生界, 概説. 日本の地質「北海道地方」編集委員会編, 日本の地質 1, 北海道地方, 共立出版, 東京, 5-6.
- Kimura, G., 1981, Abashiri Tectonic Line—with special reference to the tectonic significance of the southwestern margin of the Kurile Arc. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. IV*, **20**, 98-111.
- 木村 学, 1981, 千島弧南西端付近のテクトニクスと造構応力場. 地質雑, **87**, 757-768.
- , 1990, 千島弧の西進テクトニクス. 日本の地質「北海道地方」編集委員会編, 日本の地質 1, 北海道地方, 共立出版, 東京, 241-242.
- ・宮坂省吾・紺谷吉弘・宮下純夫・保柳康一・渡辺 寧, 1982, 日高変成帯の“山脈化”における上支湧別構造帯の意義. 構造地質研究会誌, **27**, 167-177.
- Kimura, G. and Tamaki, K., 1986, Collision, rotation, and back-arc spreading in the region of the Okhotsk and Japan Seas. *Tectonics*, **5**, 389-401.
- Koizumi, I., Yahata, M. and Okamura, S., 1992, Late Cenozoic Tectonics of the Southern Part of the Sea of Okhotsk: Middle Miocene to Pliocene Sedimentary Sequences and volcanic rocks. 29th IGC Field Trip Guide Book Vol.2: Island Arc: Cenozoic Stratigraphy and Tectonics of Japan, 1-23.
- 小松正幸・榊原正幸・福沢仁之・豊島剛志, 1990, 千島海盆の拡大と日高変成帯の構造運動. 月刊地球, **12**, 501-506.
- 奥水達司・金 詰佑, 1986a, 北海道中～東部地域の新生界のフィッシュン・トラック年代 (その 1)—上支湧別・北見富士地域—. 地質雑, **92**, 477-487.
- , 1986b, 北海道中～東部地域の新生界のフィッシュン・トラック年代 (その 2)—西部帯・中央帯の“グリーン・タブ”岩層—. 地質雑, **92**, 559-568.
- , 1986c, 北海道中～東部地域の新生界のフィッシュン・トラック年代 (その 3)—東部帯の“グリーン・タブ”岩層—. 地質雑, **92**, 871-878.
- , 1987, 北海道中～東部地域の新生界のフィッシュン・トラック年代 (その 4)—陸上火山活動による火砕岩類—. 地質雑, **93**, 217-227.
- Kuno, H., 1968, Differentiation of basalt magmas. In Hess, H. H. and Poldervaart, A., eds., *Basalts: The Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition*, Wiley-Interscience, New York, 623-688.
- 前田寛之, 1986, 北海道北東部北ノ王鉱床地域の熱水変質帯. 三鉱学会昭和 61 年度秋季連合学術講演会要旨, 24.
- 前田仁一郎, 1986, 日高火成活動帯の形成と千島海盆の拡大およびユーラシア・北米プレートの衝突. 地団研専報, no.31, 459-473.
- Maeda, J., 1990, Opening of the Kuril Basin deduced from the magmatic history of Central Hokkaido, North Japan. *Tectonophysics*, **174**, 235-255.
- 前田仁一郎・宮坂省吾・池田保夫・末武晋一・戸村誠司・河内晋平・松井 愈, 1990, 北海道中央部の第三紀進入岩類 K-Ar 年代と火成活動の時空変遷. 地球科学, **44**, 231-244.
- Minato, M., Gorai, M. and Hunahashi, M., 1965, *The geologic development of the Japanese Islands*. Tsukijishokan, Tokyo, 442p.
- 宮坂省吾, 1987, 衝突帯における山地形成—日高山脈の上昇史. 松井愈教授記念論文集, 195-202.
- ・保柳康一・渡辺 寧・松井 愈, 1986, 礫岩組成から見た中央北海道の後期新生代山地形成史. 地団研専報, no.31, 285-295.
- Miyashiro, A., 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. Jour. Sci.*, **274**, 321-355.
- Nagao, K., Ogata, A., Miura, Y.N. and Akimoto, S., 1994, Ar isotope analysis for K-Ar dating using two modified-VG 5400 mass spectrometers. (in preparation, to be submitted to J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.)
- 新エネギー総合開発機構 (NEDO), 1985, 地熱開発促進調査報告書 No. 6 (弟子屈西部地域). 554p.
- 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ン輝石デイサイト. 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トノライト安山岩. 岩鉱, **80**, 398-405.
- ・猪股恵理, 1992, 北部阿武隈地域に産する中期中新生アイスラングタイト岩様デイサイト. 新潟大理学地質鉱物学研報, **7**, 103, 110.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 鈴木 守・浅井 宏, 1963, 5 万分の一地質図幅説明書「小利別」. 北海道開発庁, 31p.
- 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.
- , 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.
- Tsuchiya, N., Shibata, T., Koide, Y., Owada, M., Takazawa, E., Goto, Y., Choi, J.H., Terada, S. and Hariya, Y., 1989, Major element analysis of rock samples by X-ray fluorescence spectrometry, using Scandium anode tube. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **22**, 489-502.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (MITI), 1990, 平成元年度広域地質構造調査報告書「北海道北部 B 地域」. 265p.
- 渡辺 寧・山口昇一, 1988, 北部北海道名寄・旭川地域の中新生火山岩の K-Ar 年代とその造構場. 地球科学, **42**, 91-99.
- ・内海 茂・宇都浩三, 1991, 北海道北東部北見グリーンタフ地域の新生代玄武岩の K-Ar 年代. 地質雑, **97**, 61-64.
- 八幡正弘, 1989, 北海道北東部, 紋別・留辺蘂間の新第三系火山層序. 日本地質学会北海道支部例会個人講演要旨集, 13.
- ・田辺 淳・黒沢邦彦・松波武雄, 1988, 5 万分の一地質図幅説明書「丸瀬布北部」. 北海道立地下資源調査所, 110p.
- ・西戸裕嗣, 1989, 東部北海道, 北見・紋別地域の中新生の火山活動—地質・岩石・K-Ar 年代—. 日本地質学会第 96 回学術大会演旨, 532.
- , 1990, 東部北海道“北見グリーンタフ地域”の新第三系とその特徴. 春日井昭教授退官記念論文集, 47-60.
- ・岡村 聡, 1992, 北海道北部地域の新生代火山にみられる噴火・堆積環境. 地学団体研究第 46 回総会シンポジウム要旨

集, 66-69.

———・西戸裕嗣・岡村 聡, 1992, 東部北海道, 網走-屈斜路地域の第三紀火山岩類の K-Ar 年代. 日本地質学会北海道支部支部報, no. 3, 16.

———・黒沢邦彦・大津 直・高橋徹哉・戸間替修一・川森博史・毛利元躬, 1994, 温泉型金鉱床形成期の熱水変質作用と堆積作用-北海道勢多鉱山を例にして-. 資源地質, 44, 1-16.

Yamagishi, H. and Goto, Y., 1991, Trachyandesite pillow lava

from the Abashiri area, Northeast Hokkaido, Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 36, 177-181.

山口昇一・佐藤博之, 1966, 5 万分の一地質図幅説明書「上里」. 地質調査所, 38p.

横山 泉・勝井義雄・江原幸雄・小出 潔, 1976, 雌阿寒岳, 火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策. 北海道防災会議, 138p.

(要 旨)

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. (Kokubu, K., Okamura, S., Yahata, M., Furuyama, K. and Nagao, K., 1994, Petrological variation with time and space in the Neogene volcanic rocks from east Hokkaido. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 100, 658-674.)

北海道東部の新第三紀火山岩類は, 南北性の網走構造線を境に, 西の北見火成活動区と東の網走火成活動区に区分され, それら中期中新世から鮮新世の火山活動は4つのステージに区分される. 北見火成活動区の第1ステージでは, カルクアルカリ安山岩〜デイサイトとともに, アイスランドイトが活動し, 第2〜3ステージは, バイモータル火山活動で特徴づけられる. 網走火成活動区の第2〜4ステージ火山岩は, 島弧性安山岩類が主体をなし, 第3〜4ステージは, アルカリ元素の島弧横断方向の帯状配列が存在するが, 第3ステージ火山岩では, より背弧側の火山岩はアルカリが異常に高く, 現在の島弧火山岩とは異なる. 両火成活動区の火山活動は, 第4ステージの6 Ma以降になって, 現在の島弧火山活動と同じ岩石化学的性質を示すようになった. それ以前のステージは, 島弧火山岩とともにアイスランドイトやアルカリ岩を特徴的に含み, 非島弧的のマントル物質の上昇があったことを示唆する.