

377.51
19

北部フォッサ・マグナ、関田山脈一鳥甲山地域における
鮮新世-前期更新世マグマ活動の変遷

Pliocene-early Pleistocene magmatism in the Sekita mountains –
Mt. Torikabuto District, North Fossa Magna, Japan

横浜国立大学附属図書館



11606176

学籍番号	02TA001
氏名	五十嵐 聡
Name	Satoshi, Igarashi
責任指導教員	有馬 眞 教授
修了年月日	2005年3月25日

Pliocene-early Pleistocene magmatism in the Sekita mountains – Mt. Torikabuto District, North Fossa Magna, Japan

Satoshi IGARASHI

Abstract

Objectives of this study are to determine spatial distribution and stratigraphical relationships of volcanic rocks in The Sekita Mountains and Mt. Torikabuto District, Central Japan, to describe geological, petrological, and geochemical, and Sr- and Nd-isotopic characteristics of these rocks, and to construct the comprehensive petrogenetic model for these volcanic rocks. The study area lies at the northeastern end of the "Central Upheaval Zone" located within the North Fossa-magna region, extending from a southwestern part of the Niigata Prefecture to a northern part of the Nagano prefecture. In this area, the volcanic rocks ranging from late Pliocene to early Pleistocene age are widely distributed. Based on geological and geochemical characteristics, these volcanic rocks are subdivided into three distinct groups, the rocks in the Sekita Mountains-the Shikumi River basin, those in the Torikabuto Volcano, and those in the Kenashi Volcano.

The volcanic rocks in the area of the Sekita Mountains-the Shikumi river basin are composed mainly of basalt, andesite and dacite belonging to the tholeiitic rock series. Their stratigraphic positions are within the Amamizuyama and Kamigo Formations at the Sekita Mountains and within the Higashinosawa and Shikumigawa Formations in the Shikumi River (Shikumi River Collaborative Research Group, 1991). The Amamizuyama and Higashinosawa Formations consist mainly of alternated layers of sandstone and siltstone with subordinate amounts of porphyritic basalt and andesite lava, and dacitic pumiceous tuff. The Kamigo and the Shikumi River Formations consist mainly of volcanic mudflow deposit and alternated layers of sandstone and siltstone, with dacitic tuff and aphyric andesite lava and dacite lava. The ages of these formations range from ~2 Ma to 1.3 Ma and the volcanic rocks from the Sekita Mountains are older than those in the Shikumi River basin.

Volcanic rocks of the Torikabuto Volcano are composed of basic andesite and dacite lavas and volcanoclastics. The volcanic rocks belong to the calc-alkaline rock series. Based on their stratigraphic data, their volcanic activities are divided into Stage 1 (Maekura Stage), Stage 2 (Onizawa Stage), Stage 3 (Torikabuto Stage), and Stage 4 (Post Torikabuto Stage) (Igarashi, 1992). The rocks at Stage 1 are the pyroxene-andesite pyroclastic flows and lava flows. The rocks at Stage 2 are characterized by large amounts of pyroclastic flows, which are composed of the rocks ranging

from basic andesite to dacite. The lava flows ranging from basic andesite to dacite widely developed at Stage 3. Only a small quantity of dacitic pyroclastic flows was formed at Stage 4. The volcanic rocks at Stage 2 and Stage 3 contain gabbroic inclusions and in some places exhibit the layered structure. The K-Ar age dating data indicate that the age of the rocks at Stage 1 is ~3.2Ma and the age of those at Stage 3 is between 0.9-0.8 Ma (Kaneko et al., 1989).

The volcanic rocks of Kenashi Volcano consist predominantly of andesite lava and volcanoclastics. The volcanic activity of this volcano is divided into two stages. The rocks at formed at the older stage is composed of the products of Mizuo-Oiriyama Volcano and the western basal volcanic rocks. The rocks formed at the younger stage comprise the eruptive rocks of Kenashiyama Volcano and it is further subdivided into the lower and the upper groups. The K-Ar data suggest that age of the rocks formed at the older stage and that at the younger stage is 1.7-1.6Ma and 1.3-1.0Ma, respectively (Yanagisawa et al., 2001). The volcanic rocks of Kenashi Volcano belong to both the tholeiitic rocks series and the calc-alkaline rock series.

Base on the examination of the petrographical, mineralogical, whole-rock geochemical, and Sr-Nd isotopic characteristic of the volcanic rocks from the Sekita Mountains and Mt. Torikabuto District, the present study comes to the following conclusions.

- 1) Fractional crystallization processes of the tholeiitic magma formed the tholeiitic volcanic rocks distributed in the area of the Sekita Mountains-the Shikumi River basin. The fractionated minerals are plagioclase, clinopyroxene, orthopyroxene, and Fe-Ti oxides.
- 2) Fractional crystallization processes of the calc-alkaline magma formed the calc-alkaline volcanic rocks from the Torikabuto volcano. The fractionated minerals are plagioclase, clinopyroxene, orthopyroxene, Fe-Ti oxides and hornblende.
- 3) The range of Sr-Nd isotopic compositions of the tholeiitic rocks is nearly identical to that of the calc-alkaline rocks, suggesting a genetic link between the tholeiitic and calc-alkaline rocks.
- 4) Numerical modeling with the MELTS program suggests that the mineralogical and geochemical differences observed between the tholeiitic and the calc-alkaline rocks can be produced by the magmatic differentiation processes from the common basaltic magma at different crustal depth. The model suggests that the tholeiitic magma can be produced from the common primary magma at middle crustal level (~5kbar), while the calc-alkaline magma can be a product of fractional crystallization processes at shallower level (~2kbar).
- 5) The volcanic rocks from the Kenashi Volcano have similar geochemical and mineralogical characteristics to the volcanic rocks from the Shikumi River basin.

目次

I. 序	1
1. 研究目的	1
2. 研究史	1
1) 地質および構造発達史	2
2) 北部フォッサ・マグナ地域の火山及び火山岩	2
3) 中央隆起帯北縁地域へ本調査地域とその周辺への火山岩類	5
謝辞	6
II. 地質	7
1. 調査地域および周辺の地形	7
1) 関田山脈の北側の丘陵へ東頸城丘陵へ	7
2) 信濃川-千曲川左岸の関田山脈	8
3) 信濃川右岸地域の丘陵へ段丘	8
4) “グリンタフ”地域の山地	8
5) 前期更新世以降の火山	8
2. 調査地域および周辺の地質概説	9
1) 中新統	9
2) 鮮新-下部更新統	10
3) 中部-上部更新統	10
3. 関田山脈へ志久見川流域地域の鮮新へ前期更新統火山岩類	11
1) 信濃川左岸地域へ関田山脈周辺へ	11
2) 信濃川右岸地域へ志久見川流域へ	14
3) 貫入岩体	17
4) 地質構造	18
4. 鳥甲火山の火山噴出物	19
1) ステージ1噴出物	19
2) ステージ2噴出物	19
3) ステージ3噴出物	20
4) ステージ4噴出物	22
5) ステージ4貫入岩体	22
6) 鳥甲火山に見られる構造	22
5. 毛無火山の火山噴出物	23
1) 旧期噴出物	23
2) 新期噴出物	24
5. 鮮新世末へ前期更新世の火山活動場の環境と変遷	25
1) 天水山・東ノ沢累層堆積時 (2.3Ma-1.6Ma)	25
2) 上郷累層・志久見川累層堆積時 (1.6Ma-1.3Ma?)	25
3) 外丸累層・屈岨累層堆積時 (1Ma-0.7Ma?)	26
4) 鳥甲火山	26
III. 主な火成岩類の記載	27
1. 記載方法・機器分析方法	27
1) 主成分元素および微量元素の測定	27

2) 微量元素, 希土類元素の測定	28
3) Sr, Nd同位体化学組成	28
4) 鉱物化学組成の分析方法	28
2. 関田山脈～志久見川流域地域の鮮新～前期更新統火山岩類	28
1) 全般的な特徴	28
2) 主な火山岩の顕微鏡記載	29
3) 全岩化学組成	32
4) 鉱物の化学組成	34
3. 鳥甲火山噴出物	35
1) 全般的な特徴	35
2) 主な火山岩の顕微鏡記載	35
3) 全岩化学組成	38
4) 鉱物の化学組成	40
4. 毛無火山噴出物	41
1) 全般的な特徴	41
2) 主な火山岩の顕微鏡記載	41
3) 全岩化学組成	42
IV. 考察	44
1. 関田山脈～志久見川流域の鮮新～前期更新統火山岩類の生成過程 -ソレアイト系列マグマの分化過程-	46
1) 石基化学組成	47
2) 斜長石の形態	48
3) マスバランス計算	48
4) 温度・圧力条件の推定	50
2. 鳥甲火山噴出物の生成過程-カルク・アルカリ系列マグマの分化過程-	53
1) 石基化学組成	54
2) 斜長石の形態	54
3) マスバランス計算	55
4) 温度・圧力条件の推定	56
3. 関田山脈～志久見川流域の火山岩類と鳥兜火山噴出物の成因関係	59
1) ソレアイト系列火山岩類とカルク・アルカリ系列火山岩の比較	59
2) ソレアイト系列マグマからカルク・アルカリ系列マグマの生成に関する検討	61
3) ソレアイト系列マグマとカルク・アルカリ系列マグマの分化過程の検証	63
4. 関田山脈～志久見川流域のソレアイト系列初成マグマと鳥甲火山の カルク・アルカリ系列初成マグマについての検討	65
1) 希土類元素 (REE)からの検討	65
2) Sr, Nd同位体からの検討	66
3) 微量元素からの検討	66
V. 結論	67
引用文献	69

I. 序

本論文は、2004年度横浜国立大学大学院環境情報学府後期課程における博士論文として作成したものである。

1. 研究の目的

北部フォッサ・マグナの中央隆起帯（飯島，1962）北縁に位置する本調査地域（関田山脈―鳥甲火山地域）（Fig.1-1）には、前期―中期中新世の変朽安山岩を主体とする“グリンタフ”、後期中新世―更新世の火山岩類が分布している。中でも“中央隆起帯”と“堆積域”とに区分する構造線、すなわち津南-松本線（小坂，1985）沿いで活動したマグマは全般的に $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$ 図上で低アルカリソレイト系列（Kuno, 1968）＝ソレイト系列に属し、後期鮮新世―前期更新世の活動（関田山脈―志久見川流域）では、分別結晶作用を主とする分化過程でアイスランドイト様岩を生成するという、北部フォッサ・マグナ地域では特異なソレイト質マグマの分化過程が認められる（五十嵐ほか，1984；Shimazu et al.,1985 など）。

一方、“中央隆起帯”上で活動したマグマは低アルカリソレイト系列＝ソレイト系列に属すが、カルク・アルカリ安山岩―デイサイトが主体であり、前期更新世火山岩類（鳥甲火山噴出物）にはマグマ混合作用が認められ、また、集積岩類を多く含む（五十嵐，1992）。

本研究では、関田山脈―志久見川流域から鳥甲火山地域に分布する後期鮮新世―前期更新世の火山岩類を対象に

- 1) 関田山脈―志久見川流域に分布するソレイト系列火山岩類の形成過程、マグマの分化過程を明確にする事
- 2) 鳥甲火山を構成するカルク・アルカリ系列火山岩類の形成過程、マグマの分化過程を明確にする事
- 3) 関田山脈―志久見川流域から鳥甲火山地域におけるソレイト系列マグマとカルクアルカリ系列マグマの成因関係を明確にする事
- 4) 周辺地域火成岩類との比較・検討を行う事により、本地域火山岩類・火成活動の北部フォッサ・マグナにおける位置づけについて検討する事

を研究目的として、野外調査ならびに岩石学的検討を行い、新たな知見を得たので以下に報告する。

2. 研究史

本研究調査地域および周辺を含めた北部フォッサ・マグナ地域の研究史について、

- 1) 北部フォッサ・マグナ地域の地質および構造発達史
- 2) 北部フォッサ・マグナ地域の火山および火山岩
- 3) 中央隆起帯北縁地域ー本調査地域とその周辺ーの火山岩類に区分して概括する。

1) 地質および構造発達史

本研究が対象とする北部フォッサ・マグナ地域とは、糸魚川-静岡構造線と新発田-小出構造線（山下, 1970）と柏崎-銚子線（山下, 1970）にはさまれたフォッサ・マグナ地域のうち、赤石山地と関東山地の最も接近した長野-山梨県境付近以北の地域をいう（日本の地質『中部地方 I』編集委員会, 1988）（Fig.1-1）。さらに北部フォッサ・マグナ地域は、新発田-小出構造線の延長と考えられる津南-松本線（小坂, 1985）を境に北西側と南西側に二分される。津南-松本線の北西側には、おもに礫岩・砂岩・泥岩からなる層厚 3,000m を越す中部中新統一鮮新統が分布する。これら新第三系は、北北東-南南西ー北東-南西方向の軸をもち褶曲している。一方、津南-松本線の南東側は、おもに変質した安山岩・玄武岩質火山岩類からなる下部ー中部中新統とそれを貫く新第三紀花崗岩類が分布する。この津南-松本線を境に対照的な地域を、本間(1931)は褶曲区（北西側）と無褶曲区（南東側）とよんだ。また、南東側について、小林(1957)では安定地帯、飯島(1962)では中央隆起帯とよんだ。

北部フォッサ・マグナの地質構造発達史については、赤羽(1979,1980,1981a・b)の後期新生代構造発達史に関する研究のほか、Kato(1992)の地球物理学的データも含めたフォッサ・マグナ地域に関する総括的な研究がある。また、フォッサ・マグナ研究史も含めた全般に関しては山下(1995)の研究がある。さらに、近年、津南-松本線をプレート境界とする新たな提起が島津(2003)、Huילong Xu and Yasue Oki(2004)によってなされている。

2) 北部フォッサ・マグナ地域の火山及び火山岩

北部フォッサ・マグナ地域の新生代火山・火成作用についての総括的な研究は、島津(1984)、島津(1986)、島津(1990)、吉村ほか(1991)、島津(2003)などによりなされ、東北日本弧と伊豆-マリアナ弧の島弧会合部の火山活動としての問題点・課題が出されている。また、五十嵐ほか(1998)では、北部フォッサ・マグ

ナ地域の後期中新世～前期更新世の火山岩類について、岩石化学的な視点から概括している。

北部フォッサ・マグナ地域の火山活動・火山岩類に関する研究に関しては、中央隆起帯における前期～中期中新世の安山岩質～玄武岩質の活動（グリンタフ）以降のものについて、

- ① 後期中新世～鮮新世の火山活動
- ② 前期更新世の火山活動
- ③ 中期更新世以降の火山活動

に大きく分類しまとめることができる。ここでは特に①、②について概括する。(Fig.1-1、Fig.1-2)

①後期中新世～鮮新世の火山活動

この時代の火山活動については、糸魚川-静岡構造線に沿った地域、中央隆起帯（河東山地）、津南-松本線・新発田-小出線に沿った地域、米山地域に区分できる。

糸魚川-静岡構造線に沿った地域

南から聖山安山岩層、裾花凝灰岩層、荒倉山火砕岩層、戸隠火砕岩層、海川火山岩類、江星山火山岩類である。裾花凝灰岩層がデイサイト～流紋岩質の溶岩・火砕岩からなるほかは、カンラン石を含有する安山岩から角閃石安山岩およびデイサイトまで変化する火山岩類で、溶岩・ハイアロクラスタイト・火砕岩などからなる。荒倉山、戸隠、海川地域のものはハンレイ岩ゼノリスを特徴的に含む。それぞれの絶対年代については、聖山火砕岩 5.4Ma（加藤・佐藤，1983）、裾花凝灰岩層 6.1Ma（加藤・赤羽，1986）、荒倉山火砕岩 4.1Ma、4.2Ma（赤羽，1988）、および大峰累層下位の凝灰岩から 2.9Ma（緑ほか，1990）の K-Ar 年代の報告がある。

これら火山岩類についての全岩化学組成を含めた研究には、Takeshita et al.(1968a,b)の荒倉山・戸隠山などを形成するカルクアルカリ安山岩類と角閃石ハンレイ岩質捕獲岩類の成因に関する研究、鈴木ほか(1985)、茅原ほか(1984)の海川火山岩類と雨飾山貫入岩類をはじめとする難波山堆積・構造区の火山～深成作用に関する研究、江星山火山岩団体研究グループ(1983)の糸魚川市東方江星山地域の火山岩類の層序と岩石についての報告などがある。さらに、同位体化学組成を含めた研究には、Shuto et al.(1988)のカルクアルカリ安山岩とハンレイ岩質捕獲岩に関する研究がある。

中央隆起帯

牧内安山岩（沢村ほか，1967）、保基谷岳火山岩（八木，1941）、奇妙山火山岩（八木，1941）、高井溶岩（八木，1941）とよばれる、長野県から群馬県にわ

たり広範囲に分布する安山岩溶岩を主とする火山岩類が分布する。これらは一連の平坦面溶岩と考えられ、まとめて高井火山岩類(赤羽, 1976)とよばれる。年代については、奇妙山火山岩最下部の溶岩から 5.4Ma の K-Ar 年代(森本ほか, 1966)、草津周辺の相当する火山岩から 5.5~8.5Ma (倉沢ほか, 1985) の報告がある。

これら火山岩類の岩石学的研究としては、飯島(1953, 1962, 1963)のほかは、五十嵐(1986MS, 1990)、若杉(1992MS)が西田尻層の火山岩類との比較として研究したのみである。

津南-松本線・新発田-小出線に沿った地域

東山丘陵付近から魚沼丘陵東部地域に分布するデイサイト-安山岩質の火山岩類が分布する。これらは北から重倉山層、鳥屋ヶ峯層、一村尾層とよばれている。それぞれの絶対年代は、重倉層で $5.8 \pm 1.2\text{Ma}$, 7.1Ma (天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1982)、 $6.80 \pm 0.62\text{Ma}$ (村松, 1985) のフィッシュトラック年代、鳥屋ヶ峯層で $6.4 \pm 0.3\text{Ma}$ の K-Ar 年代(柳沢ほか, 1986)、一村尾層で $6.2 \pm 0.3\text{Ma}$ の K-Ar 年代(柳沢ほか, 1985)が出されている。また、さらに南の本研究調査地域では、玄武岩-デイサイトよりなる西田尻層が分布し、 $6.3 \pm 0.6\text{Ma}$, $6.8 \pm 0.3\text{Ma}$ の年代(島津ほか, 1993)が報告されている。

これらの全岩化学組成を含めた岩石学的検討は、五十嵐(1986MS, 1990)、常山ほか(1989)、若杉(1992MS)、島津ほか(1993)、五十嵐ほか(1998)によりなされ、本調査地域に分布する西田尻層の火山岩類は低アルカリソレイト系列であること、構造線に沿って北東に位置するものほどアルカリ量が高くなる傾向が明らかにされた。

米山地域

米山層の火山岩類については、米山団体研究グループ(1973, 1976)の層序学的な研究、小林ほか(1989)、小林ほか(1995)、竹内ほか(1996)の図幅調査報告がされている。火成岩類の年代に関しては、竹内ほか(1996)により貫入岩について $4.51 \pm 0.14\text{Ma}$, $2.54 \pm 0.13\text{Ma}$ の K-Ar 年代、小林ほか(1995)により火山岩について $2.75 \pm 0.14\text{Ma}$, $2.48 \pm 0.12\text{Ma}$ の K-Ar 年代が報告されている。

米山層火山岩類に関しての岩石学的な研究は、佐藤ほか(1975)によりなされ、化学組成上はアルカリ特に K_2O および Rb、Sr に富む特徴を示した。また、含有する角閃石や輝石の巨晶および角閃石ハンレイ岩捕獲岩についての検討を行っている。

②前期更新世の火山活動

この時代に火山活動として、東山丘陵地域、米山南東駒ノ間地域、関田山脈-毛無火山-鳥甲火山地域、志賀高原地域、美ヶ原-霧ヶ峰地域、糸魚川東方

江星山地域などで認められる。他に古斑尾・古飯縄火山などもあるが、時代が明確ではない。

これら火山岩について岩石学的記載・検討も行われているものは、東山丘陵地域（五十嵐，1986MS，1990；若杉，1992MS）、志賀高原地域（飯島，1953，1962；五十嵐1986MS，1990）、美ヶ原一霧ヶ峰地域（井須ほか，1986；Yamazaki，1965；手島ほか，1994；中井ほか，2000）、江星山地域（江星山火山岩団体研究グループ，1983）であり、本調査地域およびその周辺においては、毛無火山（金子，1988；五十嵐ほか，1984；島津ほか，1985）、鳥甲火山（五十嵐，1992；五十嵐ほか，1984；島津ほか，1983，1985）、志久見川流域（志久見川団体研究グループ，1991）である。また、北部フォッサ・マグナ地域全般的なマグマティズムに関しては Kaneko(1995)がある。

3)中央隆起帯北縁地域一本調査地域とその周辺一の火山岩類

北部フォッサ・マグナの中央隆起帯北縁地域は、グリンタフと新第三紀花崗岩類を不整合で覆って、上部中新世一更新世の火山岩類が分布している。これら火山岩類に関する地質学的・岩石学的研究は 1950 年代より始められた。八木・飯島（1952，1955）、長谷中（1976）、茅原ほか（1977）は苗場火山について、飯島（1953）は志賀火山群の火山岩の岩石学的な記載を行っている。また、飯島（1962，1963）は、フォッサ・マグナ北東部に分布する主に第四紀火山岩について主成分化学組成を含めた岩石学的な検討を行い、中央隆起帯周辺における“隆起域”の火山岩と“沈降域”の火山岩の成因の違いを討論している。その中で、“隆起域”火山岩類は低アルカリソレイト系列のマグマが主として花崗岩類を同化して生じ、“沈降域”火山岩類はアルカリに富むソレイト質マグマがアルミナに富む堆積岩類と混成することによって生じたものであると結論した。

1970年代以降、赤羽（1873，1976，1979，1980）が主に長野県側を、魚沼丘陵団体研究グループ（1983），島津ほか（1983，1985），五十嵐ほか（1984）が主に新潟県側の地質について総括し、本調査地域における層序はほぼ確立された。さらに志久見川団体研究グループ（1991）は、信濃川一千曲川流域（関田山脈から志久見川流域）に分布する魚沼層群に対比される火山岩類について報告した。また、島津・立石（1993）は地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）の中で西田尻層の火山岩類、志久見川流域の火山岩類、鳥甲火山岩類、苗場火山岩類などを記載・報告している。

火山岩類の岩石学的研究の面では、五十嵐ほか（1984）は、更新世の火山岩類について中央隆起帯の火山岩類と北西側“沈降域”の火山岩類に区分し、斑

晶鉱物組み合わせ・モード組成、全岩主成分化学組成に認められる相違について報告した。Shimazu et al. (1985) は、志久見川流域に分布する前期更新世のソレアイト質火山岩類の中から Icelandite (Carmaichael, 1964) に類似した岩石を発見し、それがソレアイト質火山岩類を形成したマグマの分化物であると報告した。金子 (1988) は、毛無火山の岩石について検討し、毛無火山を構成する火山岩が東北日本の火山フロント上の火山のものと比較的近い性質を持つことを指摘した。また、五十嵐 (1992) は、鳥甲火山の形成史と火山岩類の形成過程について報告している。

本地域のマグマ活動全般に関しては、金子ほか (1989) は、信越高原地域火山岩の K-Ar 年代を測定し、マグマの噴出量・噴出率を求め、志賀地域 (中央隆起帯) と比較して毛無地域 (中央隆起帯から“沈降域”にかけての地域) の方が噴出量・噴出率が高いことを示した。Kaneko (1995) は、微量元素を含めて信越高原地域を中心に検討し、“第四紀火山”に関して太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込みのマグマ活動への影響に関して述べている。一方、五十嵐・若杉 (1998) は、北部フォッサ・マグナ地域の後期中新世～前期更新世火山岩類について、微量元素を含めたそれらの特徴の変遷について報告している。

謝辞

本研究を進めるにあたり、横浜国立大学環境情報研究院 有馬 眞教授には、本稿作成にいたるまで、終始ご指導ならびにご援助をいただいた。新潟大学理学部周藤賢治教授には、同位体分析の便宜をはかっていただくとともに、研究内容についてご意見をいただいた。島根大学総合理工学部木村純一教授には、福島大学在任時より ICP-MS 分析を行わせていただくとともに、データ解析法を含め、多々ご指導いただいた。国立極地研究所本吉洋一教授、白石和行教授には XRF を使用させていただき、同研究所瀬野公美子氏には XRF 分析でお世話になった。新潟大学理学部志村俊昭助教授には、EPMA 使用にあたり便宜をはかっていただいた。また、具体的な同位体分析にあたっては新潟大学大学院佐藤 誠氏に、EPMA 分析にあたっては同大学院青木豊樹氏にお世話になった。

志久見川団体研究グループ、関田山地団体研究グループの諸氏からは、ご支援いただくとともに、岩石試料の一部を使用させていただいた。

新潟大学名誉教授島津光夫氏には、卒業論文作成から長年にわたりご支援いただいた。

以上の方々に厚く謝意を表する次第である。

II. 地質

本調査地域および周辺地域に関する地形・地質について、下記の項目に従い記載する。

1. 調査地域および周辺の地形
2. 調査地域および周辺の地質概説
3. 関田山脈一志久見川流域の鮮新-前期更新世火山岩類
4. 鳥甲火山の火山噴出物
5. 毛無火山の火山噴出物
6. 鮮新世末一前期更新世の火山活動

1. 調査地域および周辺の地形

Fig.2-1 に調査地域および周辺の地形・水系図図を示す。

調査地域北部を日本で最も長い千曲川-信濃川が流れる。千曲川は、飯山盆地では北北東に流れているが、本地域で東一東北東に、さらに十日町盆地で北北東に流路を変化させる。この流路の変化はその北側の関田山脈の連なりの方向と一致する。千曲川-信濃川の左岸から合流する河川としては、西から寒川、野々海川、中条川、足滝川、小池川があり、その多くは南南東方向に流れる。一方、その右岸から合流する河川には、西から志久見川、中津川、清津川・釜川があり、それらは大局的にはほぼ平行に北流している。中でも苗場火山体と鳥甲火山体の境を北流する中津川は、切明にて魚野川と雑魚川とが合流しているが、魚野川は群馬県野反湖に源を持ち、野反湖から中津川と信濃川の合流点の新潟県津南町までほぼ直線状の形態を示す。

調査地域および周辺の地形については、大きく 1)関田山脈の北側の丘陵、2)信濃川-千曲川左岸の関田山脈、3)信濃川右岸地域の丘陵一段丘、4)“グリントフ”地域の山地、5)前期更新世以降の火山 に区分して述べる。

1) 関田山脈の北側の丘陵一東頸城丘陵一

関田山脈の北側をつくる標高 500m 以下の東頸城丘陵は、主に上部中新統一鮮新統の泥岩がち泥岩・砂岩互層一フリッシュ型互層、砂質シルト岩などからなる(新潟大学東頸城地質調査グループ, 1987)、地滑り多発地である。そのため、多くの地滑り地形が認められる。Fig.2-1 に示した水系分布を見ると、菱ヶ

岳周辺から放射状に流れ出ていることがわかる。更新世以降の菱ヶ岳を中心とする関田山脈の隆起運動の結果ととらえることができる。

2) 信濃川-千曲川左岸の関田山脈

関田山脈は、信濃川-千曲川の流向に沿うようにその左岸域に連なる、鍋倉山、菱ヶ岳、天水山など標高 1000m 級の山々の連なりをいう。これらは鮮新-下部更新統の火山岩類よりなり、その地質構造は全般的には信濃川-千曲川に向かって 20-30 度傾斜し、信濃川-千曲川付近で緩やかになる。水系についても急流が多い。寒川、野々海川、中条川の流路に注目すると、これらは菱ヶ岳周辺から放射状に流れを発している。この傾向は、菱ヶ岳を中心とする火山岩類のつくる半ドーム状構造を反映している。

3) 信濃川右岸地域の丘陵-段丘

信濃川右岸には、魚野川水系と隔てる標高 1000m 以下の魚沼丘陵が清津川以北で北東方向に連なっている。魚沼丘陵と信濃川との間には、志久見川周辺から十日町にかけて河岸段丘が広がっている。津南周辺で河岸段丘の数は最も多く、ローム層との関係で基準とされる 9 段が確認されている（新潟平野団体研究グループ, 1972）。これら河岸段丘は、基盤となる鮮新-更新統魚沼層群の地質構造を反映し、信濃川に向かって古い段丘面ほど傾斜している。また、河岸段丘を横切り信濃川に合流する河川は、いずれも北西に向かって平行に流れており、各合流する河川間の段丘面は北東に傾動している。

4) “グリンタフ” 地域の山地

湯沢周辺から新潟・群馬・長野県境を経て志賀高原に至る中央隆起帯の地域は、標高 2000m 級の山地からなる。これらは、下部中新統上部-中部中新統火山岩類・堆積岩類とそれらを買入する新第三紀花崗岩類、および上部中新統-鮮新統火山岩類よりなる。水系は樹枝状に分布し谷は深く、この地域で最も古い時代からの隆起域であったことを示している。

5) 前期更新世以降の火山

Fig.2-1 に示したように、本地域には活動年代の古い順に、毛無山、鳥甲山、焼額山、高標山、苗場山、高社山、志賀山などの火山が火山体を残し分布している。そのうち、火山地形を残している物は、毛無火山の新期噴出物、高標山の火砕流台地、志賀山・高社山・苗場山の溶岩流等である。中でも苗場火山中期溶岩流は規模が大きく、苗場山の北側斜面から中津川を挟んだ対岸の高野山

面を形成している。また、鳥甲火山の溶岩類、高社山溶岩類の活動は、北西-南東方向に連なった地形を形成している。

2. 調査地域および周辺の地質概説

調査地域および周辺地域の地質に関しては、五十嵐ほか(1984)、島津ほか(1985)、志久見川団体研究グループ(1991)、島津ほか(1993)、竹内ほか(1994)、竹内ほか(2000)などが報告している。それらをもとに概説することとする。なお、20万分の1「高田」範囲内における重力図+構造図をFig.2-2に、地質概図をFig.2-3に示す。

1) 中新統

中新統は、中津川流域-志賀高原、および志久見川上流の釜川流域に分布している。中新統は下位より、“グリンタフ”よりなる結東変質火山岩層・志賀緑色火山岩類・雑魚川累層、秋山郷累層、西田尻層、高井火山岩類よりなる(五十嵐ほか, 1984; 島津ほか, 1985; 島津ほか, 1993)。

結東変質火山岩層・志賀緑色火山岩類・雑魚川累層は、中津川中流の逆巻から秋山郷にかけての地域、切明より上流の魚野川・雑魚川流域のほか、志久見川支流の釜川流域(Fig.2-4)、さらに鳥甲山北方の朝日沢に分布する。暗緑色の変質した安山岩火砕岩を主とし、同質の溶岩を挟み、一部に玄武岩質溶岩・枕状溶岩・ハイアロクラスタイトを挟む。魚野川流域で本層に挟まれる泥岩から中期中新世前期の新潟県標準層序の七谷階に相当する有孔虫化石が産出している。

秋山郷累層は結東変質火山岩層を不整合に覆い、小赤沢から切明にかけての中津川沿いに分布している。下位より切明部層、屋敷礫岩部層、和山凝灰岩部層に区分される。切明部層は、切明から下流の中津川沿いに分布するデイサイト質火山砕屑岩および安山岩溶岩で、最下部に溶結凝灰岩が認められる。屋敷礫岩部層は、小赤沢から屋敷付近の中津川沿いに分布する、暗緑灰色の安山岩凝灰角礫岩から火山角礫岩、不淘汰な火山礫岩および礫岩からなり、下部に厚さ数mの暗緑灰色凝灰質泥岩を挟在する。変質安山岩礫が最も多く、1mを越えるものもある。和山凝灰岩部層は、和山周辺から小赤沢にかけての中津川沿いに分布する淡黄色-淡青色デイサイト火山砕屑岩を主とし、デイサイト溶岩・火山円礫岩・凝灰質頁岩を挟む。これら秋山郷累層の年代は、層序関係から中期中新世中-後期と考えられる。

西田尻層 (Fig.2-5) は、清津川から中津川下流穴藤付近に、本地域では下位の結東変質火山岩層を不整合で覆い分布する。玄武岩から安山岩質の溶岩・枕状溶岩・ハイアロクラストイト・火砕岩を主とし、砂岩、泥岩を挟む。安山岩の K-Ar 年代として 6.3、6.8Ma が報告されており (島津ほか, 1993)、年代は後期中新世と考えられる。

高井火山岩類は、中津川上流右岸のエラクボ平および岩菅山周辺から雑魚川流域にかけて、下位層を不整合で覆い分布する。黒色～暗灰色の塊状ガラス質安山岩溶岩を主とし、基底面と調和的な流理面、板状節理が認められる。奥志賀地域の一部では、基底部に部分的に緑色変質した自破砕状溶岩、ハイアロクラストイトなど水底堆積相を示す。層序関係ほかから、年代は後期中新世～前期鮮新世と考えられる。

2) 鮮新-下部更新統

本調査地域の鮮新-下部更新統は、津南から十日町周辺に分布する魚沼層群に相当する火山岩類よりなり、信濃川左岸の関田山脈からその南側斜面、信濃川右岸の中津川から志久見川流域および鳥甲火山噴出物、毛無火山噴出物よりなる (五十嵐ほか, 1984; 島津ほか, 1985; 志久見川団体研究グループ, 1991; 島津ほか, 1993; 竹内ほか, 1994; 竹内ほか, 2000)。

信濃川左岸の関田山脈周辺 (Fig.2-6a) では、下位の砂質シルト岩からなる東川累層を整合で覆う礫・砂・シルトと安山岩質火山噴出物からなる。これらは、岩相上下位より天水山累層、上郷累層、外丸累層に区分される。また、前山、菱ヶ岳、山伏山および貝立山などには同時代の貫入岩体が分布している。

信濃川右岸志久見川流域では、下位の結東変質火山岩層、西田尻層を不整合で覆う安山岩～デイサイト質火山噴出岩類からなる。これらは、岩相上下位より、東ノ沢累層、志久見川累層および屈岨累層に区分される。屈岨累層は鳥甲火山起源の安山岩質泥流堆積物からなり、志久見川累層を不整合で覆う。

鳥甲火山噴出物は、中津川上流左岸域から志久見川支流北野川上流右岸地域に分布する。安山岩～デイサイト質溶岩・火砕岩よりなり、これらは大きく4つのステージに区分される。安山岩の K-Ar 年代としてステージ1噴出物 3.22Ma、ステージ3噴出物 0.85、0.77Ma が報告されている (金子ほか, 1989)。

毛無火山噴出物 (Fig.2-6b) は志久見川左岸地域から千曲川右岸地域に分布する安山岩溶岩・火砕岩よりなる。これらの K-Ar 年代は 1.66～0.99Ma が報告されている (金子ほか, 1989)。

3) 中部～上部更新統

中部更新統に相当するものは、中津川右岸地域の苗場火山噴出物、志賀高原地域の火山岩類であり、上部更新統は志賀山溶岩、発甫軽石層である（五十嵐ほか，1984；島津ほか，1985）。

苗場火山噴出物（Fig.2-7）は、大きく下部溶岩、中部溶岩、上部溶岩、最上部溶岩に区分され、いずれも安山岩質溶岩および火砕岩よりなる。中部溶岩の分布は広く、苗場火山北麓地域から中津川左岸にも分布し、高野山面を形成している。

志賀高原地域の火山岩類は、中期更新世前半の平隠火山岩類（赤羽，1976）の一部に相当する東館山溶岩、焼額山溶岩とそれらの上位に累重するカヤノ平火砕流堆積物、奥志賀湖成層、サラサラ沢火砕流堆積物、高標山山頂溶岩、彦衛門沢軽石層、大念山火砕流堆積物などである。カヤノ平火砕流堆積物がデイサイト質火砕岩よりなるほかは、安山岩質火山噴出物である。

上部更新統の志賀山溶岩は安山岩溶岩で、顕著な火山地形を残している。

3. 関田山脈－志久見川流域の鮮新－前期更新世火山岩類

関田山脈から志久見川流域に分布する、魚沼層群下部累層－中部累層に相当する火山岩類については、五十嵐ほか（1984）、島津ほか（1985）、志久見川団体研究グループ（1991）によってまとめられた。五十嵐ほか、島津ほかによる地質図を Fig.2-8 に、地質断面図を Fig.2-9 に、層序関係を Fig.2-10 に示す。

本地域の魚沼層群相当層は、信濃川左岸地域では、天水山累層、上郷累層、外丸累層に大きく区分され、さらに天水山累層は下位より、雁ガ峰部層、樽田川部層、中条川部層に、また、上郷累層は下位より、小池川部層、反里部層に区分される。

信濃川右岸地域では、東ノ沢累層、志久見川累層、屈岨累層に区分され、さらに志久見川累層は下位より極野部層、前子部層に区分される。

1) 信濃川左岸地域－関田山脈周辺－（Fig.2-11）

1-a) 天水山累層（志久見川団体研究グループ，1991）

〔模式地〕 中魚沼郡津南町樽田川

〔定 義〕 下限は東川累層の上位に重なる 10cm オーダーの砂・シルト互層、上限は名ヶ山 TB。

〔層序関係〕 下位層とは整合関係。

〔分 布〕 信濃川左岸の関田山脈の山稜付近に帯状に分布。

〔層 厚〕 700～800m。

〔層 相〕 下位より砂層主体の雁ガ峰部層、砂・シルト互層優勢の樽田川部層、凝灰角礫岩優勢の中条川部層に細分される。

1-a-1)雁ガ峰部層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

〔模式地〕 松之山町雁ガ峰峠東方の津南町樽田から松代町天水島への道路沿い。

〔定 義〕 上限は淘汰の良い砂層の上限。

〔分 布〕 関田山脈の北西斜面に帯状に分布。

〔層 厚〕 80～100m。

〔層 相〕 砂・シルト互層、砂層、砂礫層、シルト層などからなる。基底には厚さ 5～10m で 5～15cm 単位の砂・シルト互層があり、砂質シルト岩からなる東川累層とは区分される。

一般に、細粒砂から始まり粗粒砂を経て細礫を含む砂礫層で終わる 10～30m オーダーの上方粗粒化サイクルが認められる。全般的に淘汰が悪く植物片を多く含む。また、1～4mm の白色の軽石が散在する。上部には黒色の安山岩の火山礫を多く含む。雁ガ峰峠東方では砂礫層を頻繁に挟む。

上方粗粒化サイクルは、最下位に青灰色細粒砂と暗灰色シルトとの互層が認められる。この上位には生痕化石を多く含む細粒砂が重なり、さらに上位にはトラフ型斜交葉理の発達した中粒～粗粒砂ないし径 1～3cm の円～亜円礫を含む砂礫層が重なる。

砂礫層中の礫種は、赤褐色の溶結した火砕岩、黒色の脱ガラス化した火砕岩、斜長石斑晶の目立つ安山岩、頁岩、砂岩、チャートである。

1-a-2)樽田川部層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

〔模式地〕 樽田川上流。

〔定 義〕 上限は海老 TB の基底。

〔分 布〕 関田山脈の山稜付近に帯状に分布。

〔層 厚〕 500～550m。

〔層 相〕 砂・シルト互層、砂礫層からなる。陸成の砂・シルト互層を主体とする。層厚数 cm の褐炭層を頻繁に挟む。天水山付近では、犬伏含ガーネットパミス質火山灰層 (Igp) 付近より上位の層準で凝灰角礫岩層へ移化する。砂礫層は一般に層厚 2～5m で、粗粒砂および 2～5cm 大の礫からなり、トラフ型斜交葉理が発達する。砂・シルト互層は、層厚 10～100cm の細粒～粗粒砂層と層厚 10～200cm のシルト層との互層からなり、頻繁に褐炭層を挟む。

犬伏パミス質火山灰層 (Inp) から SK130 の層準にかけて、層厚 2～5m の砂礫層を数枚挟む。砂礫層中の礫は礫径 2～5cm で、礫種は雁ガ峰部層と同様である。

上蝦池ガラス質火山灰層 (Kag) 付近と犬伏含ガーネットパミス質火山灰層付近の 2 層準に良く連続する海成層 (Ma010、Ma020) (風岡ほか, 1986) が挟まれ、その周辺では軟体動物化石を産出する。また、菱ヶ岳から前山にかけての地域では、カキ化石層、褐炭層を数枚狭在する。

天水山付近では、斑晶の少ない安山岩溶岩とその上位に数枚の凝灰角礫岩層が認められる。

1-a-3)中条川部層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

本層は、五十嵐ほか(1984)の野々海川火山岩層に相当する。

〔模式地〕 中条川上流

〔定 義〕 下限を海老 TB の下限、上限を名ヶ山 TB の上限。

〔分 布〕 関田山脈南東斜面に帯状に分布。

〔層 厚〕 150m～300m と変化が大きく、中条川から野々海川にかけての地域で厚い。

〔層 相〕 凝灰角礫岩層を主体とし、砂・シルト互層を狭在する。北東ほど砂・シルト互層が厚くなり、一方、足滝川以西の地域では砂・シルト互層は尖滅する。中条川から野々海川にかけての地域では火砕岩類が卓越し、溶岩も多数狭在する。本層の火砕岩類の一部は、海老 TB、名ヶ山 TB として魚沼層群堆積域に連続する。

山伏山～深坂峠に至る林道沿いには最下部の厚さ 20m ほどの溶岩が露出する。その基底には数 10cm の厚さの枕状溶岩が発達し、その上位には不規則柱状節理 (2m)、さらに上位に板状節理の発達している様子が観察される。

1-b)上郷累層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

〔模式地〕 中魚沼郡津南町田沢川

〔定 義〕 下限は名ヶ山 TB の上限、上限は SK030 の上限。

〔層序関係〕 下位層とは整合関係。

〔分 布〕 信濃川の左岸に帯状に分布。

〔層 厚〕 350～380m。

〔層 相〕 凝灰角礫岩層、礫層、砂・シルト互層からなる。

層相から、砂・シルト互層主体の小池川部層、凝灰角礫岩層主体の反里部層に細分される。

1-b-1)小池川部層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

〔模式地〕 小池川中流域

〔定 義〕 上限は辰の口 TB の基底。

〔分 布〕 信濃川の左岸に帯状に分布。

〔層 厚〕 170～250m。

〔層 相〕 凝灰角礫岩層、礫層、砂・シルト互層からなる。砂・シルト互層中には層厚 5～20cm の褐炭層をまれに挟む。足滝川付近より以西では凝灰角礫岩層が主体となり、さらに寒川、桑名川付近では溶岩も狭在する。これらは、五十嵐ほか（1984）の桑名川火山岩層に相当する。

本層中には、SK110、中部桃灰色ガラス質火山灰層（Mpk）のほか、樽沢 TB を狭在する。

1-b-2)反里部層（志久見川団体研究グループ，1991）

〔模式地〕 津南町反里

〔定 義〕 下限は辰の口 TB の基底。上限は SK030 の上限。

〔分 布〕 信濃川の左岸に帯状に分布。

〔層 厚〕 130～180m。

〔層 相〕 黒色の無斑晶質安山岩を多く含む凝灰角礫岩層、火山礫層、火山砂層を主体とし、足滝川付近以東では礫層、砂・シルト互層を挟む。SK050 を狭在する辰の口 TB は連続性が良く、魚沼層群堆積域に広がる。

1-c)外丸累層（志久見川団体研究グループ，1991）

〔模式地〕 中魚沼郡津南町外丸。

〔定 義〕 下限は SK030 の上限。上限は不明。

〔層序関係〕 下位層とは整合関係。

〔分 布〕 信濃川の両岸に分布。

〔層 厚〕 220m 以上。

〔層 相〕 凝灰角礫岩層、礫層を主体とする。礫は径 15～30cm、時に 50cm 大で、安山岩を主体とし、上位ほど礫径は大きく、同一層準では南部ほど礫径は大きい。凝灰角礫岩層は、層厚 5～20m で礫径 10～40cm、両輝石安山岩の角礫と同質の基質からなり、これらは鳥甲火山起源であると考えられる。

2) 信濃川右岸地域～志久見川流域～（Fig. 2-12）

2-a)東ノ沢累層（志久見川団体研究グループ，1991）

本層は、五十嵐ほか（1984）の志久見川火山岩層下部に相当する。

〔模式地〕 長野県下水内郡栄村北野川上流ウスマル沢中流～東ノ沢付近

〔定 義〕 志久見川流域に分布する西樽沢火山灰層（Nis）、または斜長石斑晶の細かい安山岩が卓越する泥流堆積物の下限を上限。下限は不明。

〔層序関係〕 志久見川支流釜川で、下位層の結東変質火山岩層と不整合関係。

〔分 布〕 北野川中流から上流、および志久見川支流釜川に分布する。

〔層 厚〕 150m+。

〔層 相〕 主に凝灰角礫岩層よりなり、3-4層の溶岩、数層の白色火山灰層を狭在する。凝灰角礫岩層には亜円礫から亜角礫が多く、最大径 1m 程度である。礫種は、中新統の変質安山岩のほか、灰白色輝石安山岩、斜長石斑晶に富む輝石安山岩とごくまれに無斑晶質安山岩が認められる。基質は細粒から粗粒の火山灰・火山砂である。本累層中に狭在される溶岩は、下位より斜長石斑晶の大きな輝石安山岩、斜長石斑晶に富む輝石安山岩であり、東ノ沢付近では、斜長石斑晶の小さな安山岩、無斑晶質安山岩の溶岩も認められる。

2-b)志久見川累層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

本層は、五十嵐ほか (1984) の志久見川火山岩層上部に相当する。

〔模式地〕 長野県下水内郡栄村北野川沿い。

〔定 義〕 西樽沢火山灰層 (Nis) または斜長石斑晶の細かい安山岩の卓越する泥流堆積物の下限を下限とし、鳥甲火山起源の泥流堆積物の下限を上限とする。

〔分 布〕 志久見川とその支流の釜川、北野川流域に広く分布。

〔層序関係〕 下位の東ノ沢累層を整合に覆い、上位の鳥甲火山起源の泥流堆積物、苗場火山噴出物、段丘堆積物に不整合で覆われる。

〔層 厚〕 全層厚は不明だが、極野周辺で 350m。

〔層 相〕 主に火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩からなり、溶岩、白色火山灰層を挟む。最上部に SK030 を挟む。構成する火山岩類の岩質から、下位の極野部層と上位の前子部層に区分される。

2-b-1)極野部層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

〔模式地〕 下水内郡栄村北野川支流ウスマル沢中流付近

〔定 義〕 西樽沢火山灰層 (Nis) または斜長石斑晶の細かい安山岩の卓越する泥流堆積物の下限を下限とし、無斑晶質安山岩礫の卓越する火山碎屑岩の下底を上限とする。

〔分 布〕 北野川上流域から中流域および志久見川の信濃川への合流部付近に分布。

〔層序関係〕 下位層を整合に覆う。

〔層 厚〕 極野周辺で 125m。

〔層 相〕 主に火山礫凝灰岩よりなり、斜長石斑晶の細かい輝石安山岩溶岩、凝灰角礫岩と数層の白色火山灰を狭在する。火山礫凝灰岩は粘土化している部分が多く、斜長石に富む輝石安山岩、無斑晶質安山岩、スコリア、パミスなどを岩片として含む。

2-b-2) 前子部層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

〔模式地〕 中魚沼郡津南町横平川ー屈岨への林道沿い。

〔定義〕 無斑晶質安山岩礫の卓越する火山碎屑岩類の下限を下限とする。

〔分布〕 北野川、釜川、横平川、志久見川、信濃川などの各流域に分布する。

〔層序関係〕 北野川流域および釜川周辺では東ノ沢累層を、北野川中流域では極野部層を整合的に覆っている。上位の屈岨累層、段丘堆積物などには不整合で覆われる。

〔層厚〕 200m+。

〔層相〕 全般的に無斑晶質安山岩の卓越する火山碎屑岩類よりなり、その中に無斑晶質安山岩溶岩、SK030の白色軽石質火山灰層を狭在する。SK030の下位の堆積物は、細かい空隙が部分的に存在する暗褐色中粒火山灰層、無斑晶質安山岩質の粗粒火山灰層、火山礫層および同質の茶褐色中粒火山灰を基質とする火山礫凝灰岩層が数10cmから数mの互層をなしている。細粒ないし中粒火山灰層は露頭において突出して認められる。

屈岨への林道沿いに分布する火山礫凝灰岩層には赤褐色に風化し、ローム層状のものもある。また、礫径の比較的大きな部分では同質の暗紫灰色中粒ー粗粒火山灰を基質にし、礫は変色していないものもある。

極野から五宝木に向かう林道沿いのSK030の下位の火山碎屑岩類は、他地域のものと同構成物に変化はないが、礫および火山灰が特徴的に赤色化している。

本累層中に狭在される無斑晶質安山岩溶岩は、法師山周辺で最も厚く、数層の溶岩流を確認している。また、北野川最上流域にも同質の溶岩が狭在される。

2-c) 屈岨累層 (志久見川団体研究グループ, 1991)

本層は、五十嵐ほか(1984)の屈岨泥流堆積物に相当する。

〔模式地〕 中魚沼郡津南町屈岨南方の林道沿い。

〔定義〕 鳥甲火山起源の泥流堆積物。

〔分布〕 北野川から釜川、横平川にかけて広く分布。

〔層序関係〕 志久見川累層および東ノ沢累層を不整合に覆い、苗場火山噴出物および段丘堆積物に不整合で覆われる。

〔層厚〕 200m+

〔層相〕 主に安山岩礫主体の泥流堆積物で、下位に粗粒火山灰ー火山礫層が認められる。火山礫層の一部は成層、ラミナの発達した部分もあり、またスランプ構造も認められ、陸水域での堆積物と考えられる。火山礫層の厚さは数m程度、火山砂には層厚20cm程度の黄白色パミス層を層状に含むものや淘汰良く塊状のものなどがあるが、これらは局所的である。

泥流堆積物は主に火山砂ー火山礫層の層理に平行に重なるが、チャンネルを充

填する部分もある。泥流堆積物の礫は最大3mに達するが、1m以下のものが多い。基質は火山礫で一部弱いラミナの見られるところもある。全体としては未固結なところが多い。

3) 貫入岩体

関田山脈から志久見川流域地域で、天水山累層・東ノ沢累層、上郷累層・志久見川累層の火山岩類と同時期の貫入岩体について記載する。

3-a) 前山貫入岩体

中頸城郡牧村前山を形成する安山岩よりなる岩床状の貫入岩体で、樽田川部層に貫入する。1km規模の広がりをもつ。普通輝石紫蘇輝石安山岩で岩体縁辺部では空隙が多くなり、斑晶もまばらになる。

3-b) 菱ヶ岳貫入岩体

中頸城郡安塚町菱ヶ岳を形成する安山岩よりなる岩床状の貫入岩体で、雁ガ峰部層・樽田川部層に貫入する。1km規模の広がりをもつ。柱状節理の発達した岩体で厚さ150m前後と規模が大きい。斜長石斑晶の多い輝石安山岩で、岩体中央部では輝石斑晶が多くな傾向が認められる。

3-c) 伏野貫入岩体

菱ヶ岳西方の小黒川において、東川累層に北東-南西-北北東-南南西方向鉛直に貫入する幅20m程度の安山岩体である。この地域ではまれなカンラン石含有輝石角閃石安山岩よりなる。

3-d) 山伏山貫入岩体

津南町山伏山を形成する安山岩よりなる。樽田川部層に貫入していると考えられるが、崖錐の発達が著しく、直接の貫入関係は認められない。径300m以上と推定される。柱状節理の発達した斜長石斑晶に富む輝石安山岩で、節理の幅は約60-80cm、水平でN40W方向にのびる。

3-e) 貝立山貫入岩体

中条川部層の火山礫凝灰岩を貫く、大きな斜長石斑晶が多く含まれる輝石安山岩で、風化が著しい。ブロック状節理が発達する。長径500m程度の広がりをもつ。接触部では火山礫凝灰岩が幅数mにわたり赤色に変化している。

3-f) 中条川貫入岩体

中条川中流において、中条川部層に貫入し、側方で中条川部層中に狭在される溶岩流に移化する安山岩体。斜長石斑晶が目立つ暗灰色輝石安山岩で、貫入部は幅50m以上で、幅60cm程度の柱状節理が発達し、柱は水平にN60W方向にのびる。溶岩流部は厚さ30-40m、数cmオーダーの板状節理が発達し、ブロック状節理も認められる。

3-g) 貝立山北西無斑晶質安山岩貫入岩体

貝立山北西の林道沿いで、中条川部層の火山礫凝灰岩を貫く、幅約 8m の黒色無斑晶質安山岩の岩体である。風化面では N40E80S の流理構造が認められる。火山礫凝灰岩との接触部では比較的多孔質であり、火山礫凝灰岩は接触部から幅 2m 程度の範囲で赤色に変化している。

3-h) 釜川貫入岩体

釜川流域の極野から五宝木に向かう林道沿いで東ノ沢累層に貫入する斜長石が目立つ輝石安山岩の貫入岩体。ブロック状節理が発達している。周囲との関係は明確ではない。

4) 地質構造

関田山脈～志久見川流域の鮮新-前期更新世火山岩類に認められる地質構造としては、a) 信濃川向斜軸を挟んだ非対称の褶曲構造 と b) 貫入岩体の貫入方向の系統性 があげられる。

4-a) 信濃川向斜軸を挟んだ非対称の褶曲構造

信濃川向斜（魚沼丘陵団体研究グループ，1983）の延長が、本地域の信濃川-千曲川沿いにも認められる。

信濃川左岸地域では、関田山脈から信濃川に向かって、地層が山稜周辺では約 30～40 度、信濃川付近では約 10～20 度傾斜している。また、菱ヶ岳から野々海池周辺を中心に、その東側の地層の走向は N60E、西側では N70W へと南に凸の弧を描くように変化する。

それに対し、信濃川右岸地域志久見川流域では、10 度前後の北傾斜で、ほぼ地層形成時の地形面を反映しているようにとらえられる。

4-b) 貫入岩体の貫入方向の系統性

鮮新-前期更新世の貫入岩類の多くは信濃川左岸地域に分布する。それらは、前山貫入岩体、菱ヶ岳貫入岩体、伏野貫入岩体、山伏山貫入岩体、貝立山貫入岩体、中条川貫入岩体、貝立山北西無斑晶質安山岩貫入岩体である。そのうち、貫入方向が明らかなものは、伏野貫入岩体の NE-SW～NNE-SSW、山伏山岩体の N50E、中条川岩体の N30E、貝立山北西無斑晶質安山岩貫入岩体の N40E であり、全体的には NE-SW 方向に貫入している。また、前山貫入岩体-伏野貫入岩体-菱ヶ岳貫入岩体と貝立山貫入岩体-貝立山北西無斑晶質安山岩貫入岩体-中条川貫入岩体-山伏山貫入岩体の貫入岩列が存在し、前者の貫入岩列の活動が古く、貫入活動および火山活動は南東方向へ移動したと考えられる。

4. 鳥甲火山の火山噴出物

中津川上流左岸一雑魚川左岸地域に分布する鳥甲火山噴出物については、島津ほか(1983)、五十嵐ほか(1984)、島津ほか(1985)、五十嵐(1992)によりまとめられ、五十嵐(1992)では鳥甲火山噴出物についての岩石学的検討も含めて報告している。

鳥甲火山噴出物は、新第三系中新統の“グリンタフ”である結東変質火山岩層・雑魚川累層とそれを貫く新第三紀花崗岩類、および秋山郷累層とそれらを貫く貫入岩類を基盤とし、それらを不整合で覆って分布する。五十嵐(1992)は、鳥甲火山噴出物を前倉期、鬼沢期、鳥甲期、後鳥甲期に区分したが、本論ではそれぞれをステージ1、2、3、4として以下に記載する。なお、地質図をFig.2-13、層序関係をFig.2-14に示す。

1) ステージ1 噴出物 (Fig.2-15)

前倉溶岩・火砕岩(島津ほか, 1983; 五十嵐, 1992)

〔模式地〕長野県下水内郡栄村屋敷西方の大露頭から前倉南西の大露頭

〔分布〕布岩山東斜面の屋敷周辺から下流の中津川左岸および高山沢下流域。

〔層序関係〕結東変質火山岩層、秋山郷累層を不整合で覆う。

〔層厚〕200m。

〔層相〕柱状節理の発達した普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩および同質の火砕岩よりなる。火砕岩は火砕流から泥流堆積物で、礫は亜角一亜円礫で最大50cm、基質は凝灰質のほか砂質一泥質である。

〔K-Ar年代〕 3.22 ± 0.12 Ma(金子ほか, 1989)。

2) ステージ2 噴出物 (Fig.2-16)

鬼沢-高山沢火砕岩と上ノ原溶結凝灰岩(島津ほか, 1983; 五十嵐, 1992)よりなる。

2-a) 鬼沢-高山沢火砕岩

〔模式地〕布岩山東斜面の沢および鬼沢中-下流、高山沢勘五郎滝付近。

〔分布〕布岩山中腹から高山沢・朝日沢、鬼沢周辺から奥志賀から雑魚川左岸にのびる秋山林道沿い、および和山対岸の秋山林道沿い。

〔層序関係〕雑魚川累層、秋山郷累層(和山凝灰岩部層)、前倉溶岩・火砕岩を不整合で覆う。

〔層厚〕最大250m。

〔層相〕下部は含紫蘇輝石・黒雲母-角閃石デイサイト質、上部は主に普通輝

石-紫蘇輝石安山岩質火砕流堆積物で、塩基性安山岩-安山岩礫とデイサイト礫が本質岩片として混在する部分も認められる。暗灰色の溶結部、水底で淘汰されラミナの発達した部分も認められる。また、勘五郎滝付近からエビリュウ沢では黒雲母花崗岩礫を含む。

2-b)上ノ原溶結凝灰岩

〔模式地〕布岩山東斜面の標高 1,250m 付近および上ノ原から栃川中流に至る林道沿い。

〔分 布〕布岩山周辺から中津川を隔てた上ノ原東方斜面、大岩山北西斜面、栃川中流など。

〔層序関係〕布岩山周辺では鬼沢-高山沢火砕岩を覆い、屋敷南西方では前倉溶岩、中津川右岸では結東変質火山岩層・和山凝灰岩部層を不整合で覆う。

〔層 厚〕最大 200m。

〔層 相〕暗灰色紫蘇輝石-普通輝石安山岩の扁平礫と新第三系の泥岩・緑色火山岩を礫として、淡灰褐色安山岩-デイサイト質の基質からなる溶結凝灰岩で、柱状節理が発達している。

3) ステージ 3 噴出物 (Fig.2-17)

下位より布岩山溶岩、滝沢溶岩、尾根山溶岩、白くら山溶岩、鳥甲山頂溶岩および未区分鳥甲期火山噴出物（島津ほか，1983；五十嵐，1992）よりなる。

3-a)布岩山溶岩

〔模式地〕布岩山山麓標高 1,300m 付近以上。

〔分 布〕布岩山山頂周辺。

〔層序関係〕上ノ原溶結凝灰岩を覆う。

〔層 厚〕200m+。

〔層 相〕流理構造、板状節理の発達する普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩で石英を含有するものもある。最下部は凝灰角礫岩-火山角礫岩の岩相を呈する。溶岩は、2-3のフローユニットにわかれ、上部のものは赤鉄鉱化が著しい。

3-b)滝沢溶岩

〔模式地〕鳥甲山北東方の赤くら山から東方に流れ下る滝沢下流。

〔分 布〕鬼沢上流、白くら沢中-下流、滝沢中-下流、高山沢の勘五郎滝の上流。

〔層序関係〕鬼沢-高山沢火砕岩、上ノ原溶結凝灰岩、和山凝灰岩部層を覆う。

〔層 厚〕最大 350m。

〔層 相〕石英・黒雲母・角閃石含有紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩および火砕岩、石英含有角閃石紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩および火砕岩、石英含有紫蘇

輝石普通輝石安山岩溶岩および火砕岩からなる。溶岩には流理構造の認められるもの、細かい柱状節理、板状節理の発達したものがある。一部に輝石斑れい岩の捕獲岩を含む。

3-c)尾根山溶岩

〔模式地〕屋敷からの鳥甲山登山道、標高 1,460m の尾根山周辺。

〔分 布〕尾根山周辺、高山沢支流、赤くら沢中流、滝沢中流。

〔層序関係〕滝沢溶岩を覆う。尾根山南東斜面では上ノ原溶結凝灰岩を直接覆う。

〔層 厚〕最大 350m。

〔層 相〕柱状節理、板状節理の発達したカンラン石含有普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩からなる。一部に火山角礫岩—凝灰角礫岩を薄く挟み、数層のフローユニットが認められる。数 cm 大の輝石斑れい岩捕獲岩を含む。

3-d)白くら山溶岩 (Fig.2-18)

〔模式地〕鳥甲山南方の白くら山周辺

〔分 布〕白くら山周辺、鬼沢上流、白くら山南方の大水沢—小水沢、白くら沢および赤くら山山頂付近。

〔層序関係〕滝沢溶岩、尾根山溶岩を覆う。小水沢などでは鬼沢—高山沢火砕岩を直接覆う。

〔層 厚〕最大 500m。

〔層 相〕灰白色のやや粗粒な石英含有紫蘇輝石普通輝石デイサイト質安山岩溶岩、石英・黒雲母含有角閃石紫蘇輝石普通輝石デイサイト質安山岩溶岩よりなる。黒雲母、角閃石のほとんどはオパサイト化している。柱状節理、板状節理が発達し、一部に同質凝灰角礫岩—火山角礫岩を挟む。数 cm 大の斑れい岩質捕獲岩、玄武岩質捕獲岩および普通輝石の巨斑晶を含む (Fig.2-19)。

〔K-Ar 年代〕 0.77 ± 0.07 Ma (金子ほか, 1989)。

3-e)鳥甲山頂溶岩

〔模式地〕鳥甲山頂付近。

〔分 布〕鳥甲山頂周辺。

〔層序関係〕白くら山溶岩を覆う。

〔層 厚〕150m+。

〔層 相〕灰白色の普通輝石安山岩溶岩で、ごくわずかにカンラン石を含有するものもある。数 mm—数 cm の輝石斑れい岩質捕獲岩、玄武岩質捕獲岩を含む。

3-f)未区分ステージ3火山噴出物

〔定 義〕鳥甲山の北方から西方に分布する、ステージ2の火砕岩類の上位に重なる主に溶岩を主体とする噴出物。

〔分 布〕 高山沢支流エビリュウ沢から朝日沢上流、三ッ山周辺および遠見山周辺。

〔層序関係〕 鬼沢-高山沢火砕岩および志久見川累層、毛無火山噴出物を覆い、遠見山南方ではステージ4噴出物に覆われる。

〔層 厚〕 不明

〔層 相〕 主に暗灰色輝石安山岩と淡灰色角閃石輝石安山岩-デイサイトの banded lava などよりなり、板状節理が発達している。

4) ステージ4 噴出物

サラサラ沢火砕流堆積物、彦衛門沢軽石層、大念山火砕流堆積物（五十嵐ほか，1984；五十嵐，1992）よりなる。これらは、鳥甲火山の活動後、休止期を経て噴出した中期更新世以降の噴出物である。これらについては一括して記載する。

〔模式地〕 台倉山南方の彦衛門沢中一下流

〔分 布〕 台倉山南方の彦衛門沢中一下流、サラサラ沢中流域周辺。

〔層序関係〕 大部分は奥志賀湖成層、一部は八剣山溶岩の上位に重なる。

〔層 厚〕 15m+。

〔層 相〕 サラサラ沢火砕流堆積物は、鳥甲期火山噴出物起源の輝石安山岩角礫を含むデイサイト質火砕流堆積物よりなる。彦衛門沢軽石層は無層理塊状の降下軽石よりなり、大念山火砕流堆積物はデイサイト質軽石流堆積物である。

5) ステージ4 貫入岩体

五宝木北方の釜川沿いに柱状節理の発達した厚さ m 以上（下限不明）の輝石安山岩の岩床状貫入岩体が認められる。金子ほか（1989）の TKB-12 に相当し、その K-Ar 年代 $0.85 \pm 0.05\text{Ma}$ と報告している。

6) 鳥甲火山に見られる構造

鳥甲火山には、新第三期花崗岩類と秋山郷累層を隔てる NW-SE 方向にのびる切明断層の延長方向に、赤くら沢から北西に向かって北野川支流大シ沢まで著しい硫化変質帯が認められる。また大シ沢の三ッ山を挟んだ南東の沢では NW-SE 方向の溶岩を切る断層が認められる。このことは、鳥甲火山形成後にも NW-SE 方向の断層活動があったことを示している。

5. 毛無火山の火山噴出物

飯山盆地の北東縁、千曲川右岸に分布する毛無火山噴出物については、五十嵐ほか(1984)、島津ほか(1985)で記載され、その後、金子(1988)は、地質層序・K-Ar年代および岩石学的検討を行い報告した。また、柳沢ほか(2001)は毛無火山周辺部を含めた飯山地域の地質について報告している(Fig.2-20)。ここでは、金子(1988)、柳沢ほか(2001)に基づいて概括する。

毛無火山噴出物は、千曲川が北北東から東北東へ流れを変える、その右岸地域に分布する。基盤は、北部では関田山脈の火山岩類、西部では瑞穂火山岩類(金子, 1988)である。毛無火山噴出物は、新期、旧期に大きく2つに区分され、旧期噴出物は西部基底火山岩類と水尾-大入山火山体、新期噴出物は毛無山火山体下位グループと毛無火山体上位グループとから成る(柳沢ほか, 2001)。旧期噴出物は、金子(1988)のステージIとIIに、新期噴出物はステージIIIにほぼ相当し、それらのK-Ar年代値(金子ほか, 1989, 1999)から、旧期の活動は約1.7-1.6Ma、新期は1.3-1.0Maが中心であったと推定している(柳沢ほか, 2001)。噴出物は、毛無火山全般を通じて、輝石安山岩溶岩がほとんどであり、一部に玄武岩、カンラン石輝石安山岩およびデイサイト溶岩を認める。

以下に旧期および新期噴出物の構成についてまとめる。

1)旧期噴出物

1-a)西部基底火山岩類(柳沢ほか, 2001)

西部基底火山岩類は毛無火山の西部の山体基底部に分布する。毛無火山の他の溶岩に比べ変質の進んだ溶岩をまとめたもので、赤滝溶岩類、赤ダレ谷溶岩類および岩脈より成り、赤ダレ溶岩類は最も変質程度が高く、苦鉄質鉱物がすべて方解石、緑泥石、緑れん石などに置換されている。いずれも普通輝石紫蘇輝石安山岩を主体とする。

1-b)水尾-大入山火山体噴出物(柳沢ほか, 2001)

水尾-大入山火山体噴出物は、毛無火山の北部一帯を構成し、毛無山付近を中心に、水尾山周辺では北西に、大入山周辺では北東に傾斜している。これらは、金子(1988)の記載に基づき、下位より以下のように区分されている。

坪山溶岩(普通輝石含有安山岩溶岩)

高倉山下溶岩(普通輝石紫蘇輝石含有安山岩溶岩)

池の沢川溶岩(斜長石斑晶に富む安山岩溶岩)

池の沢溶岩(紫蘇輝石含有玄武岩溶岩)

水尾山中位溶岩(紫蘇輝石普通輝石安山岩-デイサイト溶岩)

高倉溶岩（斜長石斑晶の目立つ普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
高倉山溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
虫生溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
水尾山溶岩（普通輝石紫蘇輝石デイサイト溶岩）
水尾山山頂溶岩（カンラン石含有紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩）
本沢溶岩（紫蘇輝石含有普通輝石安山岩溶岩）
大入溶岩（カンラン石普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
大入山溶岩（普通輝石カンラン石玄武岩）
日陰林道溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
大入山山頂溶岩（カンラン石含有普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）

2)新期噴出物

2-a)毛無山火山体下位グループ（柳沢ほか，2001）

新期噴出物で毛無火山体を構成する下位グループは、毛無火山体主要部をなし、1.3Ma 前後を中心に活動したとされる。これらは、金子（1988）、赤羽ほか（1991）、赤羽（1976）、赤羽ほか（1992）、島津・立石（1993）の記載を基に、以下のように下位から区分されている。

福島溶岩（紫蘇輝石含有普通輝石デイサイト溶岩）
猿ヶ沢溶岩（紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩）
北竜湖溶岩（斜長石の目立つ普通輝石含有安山岩溶岩）
小菅神社溶岩（斜長石斑晶の目立つ普通輝石含有紫蘇輝石安山岩溶岩）
城山溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
万仏岩凝灰角礫岩（紫蘇輝石含有普通輝石デイサイトの火砕流堆積物）
日陰溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
中尾溶岩（普通輝石紫蘇輝石デイサイト溶岩）
柄の沢溶岩（普通輝石紫蘇輝石デイサイト溶岩）
毛無山東溶岩（紫蘇輝石普通輝石デイサイト溶岩）
巢鷹湖溶岩（カンラン石含有普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
スカイライン溶岩（カンラン石含有普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
巢鷹崖溶岩（普通輝石紫蘇輝石デイサイト溶岩）
毛無崖溶岩（普通輝石紫蘇輝石デイサイト溶岩）
野沢溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
滝ノ沢溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
平沢溶岩（カンラン石含有普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）
カヤノ平林道溶岩（普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩）

2-b)毛無山火山体上位グループ (柳沢ほか, 2001)

新期噴出物で毛無火山体を構成する上位グループは、1.0Ma 前後を中心に噴出したと推定され、部分的に火山地形原面を残す。これらは、金子 (1988)、赤羽ほか (1991)、赤羽 (1976)、赤羽ほか (1992)、島津ほか (1985)、島津・立石 (1993) の記載を基に、以下のように下位から区分されている。

樽滝溶岩 (普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩)

清水平林道溶岩 (カンラン石含有紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩)

地蔵山溶岩 (普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩)

志賀林道溶岩 (普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩)

上の平凝灰角礫岩

上の平溶岩 (普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩)

6. 鮮新世末～前期更新世の火山活動場の環境と変遷 (Fig.2-21)

志久見川団体研究グループ (1991) は、関田山脈～志久見川流域の鮮新～前期更新世の古環境についてまとめている。五十嵐 (1992) は、鳥甲火山の形成史について述べている。それらを参考にしながら、改めて火山活動場の環境と火山活動についてまとめる。

1) 天水山・東ノ沢累層堆積時 (2.3Ma～1.6Ma)

三角州 (雁ガ峰部層) から河川および氾濫原 (樽田川部層) という環境で、海退しつつある環境のもと、全体としては隆起しつつある関田山脈菱ヶ岳～野々海池付近を中心に北野川上流地域でも火山が活動し、その噴出物が当時の信濃川を流れ下り (中条川部層)、北東方の湾内に流入した。

火山の噴火は、北東～南西方向に前山貫入岩体～伏野貫入岩体～菱ヶ岳貫入岩体を結ぶ火山列から始まり、中条川部層堆積後半期には貝立山貫入岩体～貝立山北西無斑晶質安山岩貫入岩体～中条川貫入岩体～山伏山貫入岩体を結ぶ火山列へとより南方へ移動したと考えられる。

2) 上郷累層・志久見川累層堆積時 (1.6Ma～1.3Ma±)

南部の志久見川流域は、乾陸環境 (志久見川累層)、北部の現信濃川周辺は河川ないし氾濫原環境 (上郷累層) であった。

この時期の火山の噴火は、西方の毛無火山の活動も始まり、本地域では野々海川下流地域 (小池川部層)、志久見川上流から北野川中・上流地域で起こり (極野部層、前子部層)、その活動は南方へ移動していった。それらの噴出物は溶岩

流や火砕流、泥流として当時の信濃川に沿って流下したと考えられる。

3) 外丸累層・屈岨累層堆積時 (1Ma~0.7Ma±)

全般的には乾陸環境であるが、信濃川周辺では河川ないし氾濫原環境であった。

この時期の火山噴火は、次に後述する南方の鳥甲火山で起こった。その噴出物および山体崩壊物は、北側斜面を河川に沿って信濃川周辺へ流れ下り、泥流となって魚沼層群の堆積域まで達している。

4) 鳥甲火山

鳥甲火山は、新第三系を基盤とした陸上で活動し、その形成過程は大きく4つのステージに区分される。それら噴出物の分布域と古地形を概念的にFig.2-22に示す。ここでは、奥志賀高原での中期更新世以降の一連の火山活動の一部と考えられるステージ4をのぞき、ステージ1~3について述べる。

4-a)ステージ1 (3.2Ma)

鳥甲山北方の布岩山周辺で、グリンタフからなる陸地で火砕流の噴出と溶岩の噴出が起こった(前倉溶岩・火砕岩)。噴出物は、当時の中津川に沿って北方に流れ下った。

4-b)ステージ2 (0.9Ma±)

グリンタフよりなる基盤が若干低かったと考えられる、現在の鳥甲山付近を中心として、大規模な火砕流の噴出が起こった。初期~中期の火砕流には水底堆積相も認められ、盆状地形の内側に堆積したと考えられる(鬼沢-高山沢火砕岩)。中期~後期の火砕流は、布岩山~上ノ原にかけての地形の若干の高まりに堆積し、溶結構造が認められる(上ノ原溶結凝灰岩)。

これら火砕流の一部は、当時の志久見川、中津川に沿って北方に流下し、魚沼層群上部累層堆積域に達した。

4-c)ステージ3 (0.9Ma~0.7Ma±)

火砕流噴出の後、噴出場の北側の現布岩山付近で溶岩の噴出が始まり(布岩山溶岩)、その後、火砕流噴出の中心であった現鳥甲山周辺での溶岩ドーム形成を中心とする活動に移った(滝沢溶岩、尾根山溶岩、白くら山溶岩、鳥甲山頂溶岩など)。この時期には、鳥甲火山北方の火砕流噴出場の外側でマグマの岩床状の貫入も認められる。

これら溶岩を主とした山体の一部が崩壊し、その崩壊堆積物が当時の志久見川に沿って北方に流下し、魚沼層群上部累層堆積域に達した(屈岨累層、外丸累層など)。

Ⅲ. 主な火成岩類の記載

1. 記載方法・機器分析方法

本章では、本研究が対象とした「関田山脈―志久見川流域地域の鮮新―前期更新統火山岩類」と「鳥甲火山噴出物」、「毛無火山噴出物」を中心に、それぞれについて 1) 全体的な特徴、2) 主な火成岩類の顕微鏡記載、3) 全岩化学組成、4) 鉱物の化学組成 について記載を行う。

なお、全岩化学組成に関する分析方法、鉱物化学組成の分析方法は以下の通りである。

1) 主成分元素および微量成分元素の測定

主成分元素および微量成分元素について、蛍光 X 線分析装置で測定した。測定元素、測定方法は以下の通りである。

[新潟大学 (1982～1985)]

測定元素；主成分元素のみ。

理学電機工業製ガイガーフレックス IKF Cat. No.6064 を使用し、粉末試料と融剤の希釈率 1:5 のガラスビートを作成し、中川・小松(1983)の方法で測定を行った。なお、 Na_2O 、 MgO の一部については、島津製作所製原子吸光分析装置 AA-625-1 を用いて行った。

[福島大学]

測定元素；主成分元素

微量元素 (Ba, Co, Cr, Nb, Ni, Rb, Sr, V, Y, Zr, Ga, Ce, Pb, Th)

理学電機工業製 RIX2000 を使用し、粉末試料と融剤の希釈率 1:2 のガラスビートを作成し、Kimura & Yoshida(1996)の方法で測定を行った。

[国立極地研究所]

測定元素；主成分元素

微量元素 (Ba, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zr)

理学電機工業製 RIX3000 を使用し、粉末試料と融剤の希釈率を 1:2 のガラスビートを作成し、本吉ほか(1995,1996)、瀬野ほか(2002)の方法で測定を行った。

なお、それぞれの研究機関での主成分元素、微量元素の測定にあたり、標準試料 (JB-1, JB-2, JA-1 等) の測定も行った。それらの分析値について直接比較することは難しく、分析値に若干のばらつきは認められるが、優位な差はない。

また、XRF 分析値一覧表に分析機関の記号 (N；新潟大学、F；福島大学、P；国立極地研究所) を付記する。

2)微量元素、希土類元素の測定

福島大学および島根大学の ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)を使用し、Li、Be、Rb、Y、Zr、Nb、Sb、Cs、Ba、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Hf、Ta、Tl、Pb、Th、U (一部 Sc、V、Cr、Co、Ni、Ga、Sr、Mo、Cd、Sn、W、Bi も含む) についての測定を行った。試料作成方法・分析方法は Kumura et al., 1995 による。なお、Ba に関しては、含有量が多く検量線からはずれるため、XRF での測定量を用いる。

3)Sr、Nd 同位体化学組成

新潟大学の質量分析装置 MAT262 を使用し、Miyazaki and Shuto(1998)の方法で行った。

Sr 同位体比測定期間中に NBS987 を 5 回測定し、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710251\pm 0.000004$ に平均化した。また、Nd 同位体比測定期間中に JNdi-1 を 6 回測定し、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512106\pm 0.000003$ に平均化した。なお、Sr 含有量については XRF によるデータを、Sm、Nd 含有量については、ICP-MS によるデータを使用した。

なお、Sr、Nd 同位体化学組成については、すべてをまとめ、Table 3-8 に示す。

4)鉱物化学組成の分析方法

作成した岩石薄片に含まれる斑晶鉱物、石基鉱物、ガラス包有物などについて、新潟大学の JXA5A 型 EPMA および JXA8600SX 型 EPMA を用いて分析を行った。その際、加速電圧 15keV、試料電流 $1.3\times 10^{-8}\text{A}$ 、ビーム径 1μ で行い、補正計算は ZAF 法を用いた。

2. 関田山脈から志久見川流域の鮮新〜前期更新統火山岩類

前述の志久見川団研(1991)の層序区分に従い、火山噴出岩類および貫入岩を以下に記載する。

1) 全般的な特徴

下位から天水山累層の中条川部層と東ノ沢累層、上郷累層の小池川部層・反里部層と志久見川累層の極野部層・前子部層の火山噴出岩類と、天水山累層・東ノ沢累層を貫く貫入岩類がある。

中条川部層、東ノ沢累層を構成する火山岩類は、主に斜長石斑晶が大きく目立つ暗灰色輝石安山岩であるが、天水山周辺の関田山脈稜線付近には無斑晶質

安山岩溶岩も認められる。貫入岩類もほぼ同様の特徴を示すが、貝立山北方に小規模な無斑晶質安山岩貫入岩が認められる。

小池川部層・極野部層を構成する火山岩は、下位層のものと比較し斑晶鉱物の細かい輝石安山岩で、カンラン石輝石玄武岩も認められる。

反里部層・前子部層の火山岩は、無斑晶質安山岩ーデイサイトで、アイスラウンダイトに類似している (Shimazu et al., 1985)。

これら火山岩類について、2000 ポイントのモード測定を行った。その結果を Table 3-1 に示す。Fig.3-1a,b から、斑状岩における斑晶量は 30~40% を占め、多いものでは 50% を越える。全体的な傾向として、SiO₂ 含有量の増加に伴って若干斑晶量の減少傾向が認められる。また、斑晶に占める斜長石の割合は高く、多くの斑状岩では 90% を越える。無斑晶質岩をのぞく火山噴出岩のうち比較的斜長石斑晶の占める割合の低いものは、小池部層・極野部層層準のものである。

2) 主な火山岩類の顕微鏡記載

全岩化学分析を行った本調査地域に分布する主な火成岩類について、顕微鏡による記載を以下に行う。

2-a) 中条川部層の火山噴出岩類

sp.95080505(SE5) 伏野林道 紫蘇輝石安山岩溶岩

斑晶の斜長石は最大 3mm、自形で一部に塵状包有物を含むものがあるが顕著な累帯構造は認められない。紫蘇輝石は最大 1.5mm、自形~半自形で鉄鉱物を伴うものが多い。鉄鉱物は最大 0.3mm である。

集斑晶は 2mm 程度で紫蘇輝石、普通輝石、鉄鉱物を主とし斜長石を含むもの、3mm 程度で斜長石を主にするものがある。

石基は 0.1mm 程度の短冊状斜長石、わずかに紫蘇輝石を含むほかは微細な鉄鉱物、ガラスよりなる。ハイアロオフィティック組織を呈する。

sp.95080506(SE13) 伏野林道 紫蘇輝石安山岩溶岩

斑晶の斜長石は最大 4mm、自形~半自形で累帯構造の認められるものがある。紫蘇輝石は半自形で最大 1.5mm、単斜輝石の反応縁が認められる。鉄鉱物は最大 0.8mm。ほかに紫蘇輝石、斜長石、鉄鉱物よりなる 1.7mm 程度の集斑晶を含む。

石基は、0.1mm 程度の短冊状斜長石、0.05mm 程度の単斜輝石、鉄鉱物と斜方輝石よりなり、間粒状組織を呈する。

sp.95080603(SE17) 菱ヶ岳東沢 紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩

斑晶の斜長石は最大 2.5mm で自形~半自形を示す。紫蘇輝石、普通輝石はいずれも 0.5mm 程度で半自形を示す。ほかに 0.6mm 程度の鉄鉱物を含む。

石基は、0.15mm 程度の短冊状斜長石のほか、微細な単斜輝石、斜方輝石、鉄鋳物よりなる。インターサータル～ピロタキシティック組織を呈する。

sp.西東 10(SE10) 中条川部層中の紫蘇輝石安山岩溶岩

斑晶の斜長石は最大 3mm で自形を示し、微細な鉄鋳物やガラスを包有するものが認められる。紫蘇輝石は最大 0.8mm 程度で自形～半自形を示し、単斜輝石の反応縁の認められるものもある。鉄鋳物は最大 0.5mm 程度である。

石基は、0.3mm 以下の短冊状斜長石のほか、0.2mm 以下の斜方輝石、単斜輝石のほか微細な鉄鋳物、ガラスよりなる。ハイアロオフィティック組織を呈する。

sp.旧峠 05(SE27) 牧峠北東の沢 斜長石安山岩溶岩

斑晶の斜長石は最大 2.5mm 程度で自形～半自形を示し、微細な鉄鋳物、ガラスを包有するものもある。鉄鋳物は最大 0.7mm 程度である。また 4.5mm 程度の斜長石の集斑晶も認められる。

石基は、0.25mm 以下の短冊状斜長石、0.2mm 以下の単斜輝石、0.05mm 以下の鉄鋳物とわずかの斜方輝石よりなる。間粒状組織を呈する。

sp.旧峠 06(SE28) 牧峠北東の沢 斜長石安山岩

斑晶の斜長石は最大 2.5mm 程度で自形～半自形を示し、全般的に清澄であるが一部にガラス包有物も認められる。鉄鋳物は最大 0.3mm である。また、4.5mm 程度の斜長石の集斑晶も認められる。

石基は、0.2mm 以下の短冊状斜長石、0.15mm 以下の斜方輝石、アパタイトのほか微細な鉄鋳物よりなり、ガラスが埋める。ハイアロピリティック組織を呈する。

sp.8681807 中条川中流 カンラン石玄武岩

斑晶の斜長石は最大 1.5mm の自形～半自形で顕著な累帯構造が認められる。カンラン石は完全に変質しているが、ピジョン輝石の反応縁が認められる。

石基は拍子木状の斜長石、微細な単斜輝石、鉄鋳物とガラスよりなる。

2-b)東ノ沢累層の火山噴出岩類

sp.82302 北野川本流ウスマル沢と大シ沢の間 紫蘇輝石含有普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は 3mm に達し、自形～半自形を示す。普通輝石は最大 0.5mm の自形～半自形で、周辺部がオパサイト化しているものもある。また、まれに最大 0.5mm の自形～半自形の紫蘇輝石を含む。

石基は、0.1mm 土の針状斜長石と微細な斜方輝石、鉄鋳物とガラスからなる。

sp.US-01 ウスマル沢の北野川合流付近 紫蘇輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 0.6mm の自形～半自形で、累帯構造が著しい。紫蘇輝石は 0.2mm 土で自形～半自形で、反応縁をもつものがある。

石基は、拍子木状の斜長石、短柱状の単斜輝石およびガラスからなる。

2-c)極野部層・小池川部層中の火山噴出岩類

sp.US-09 ウスマル沢中流 普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 0.5mm の自形～半自形を示す。普通輝石は最大 0.5mm の半自形、紫蘇輝石は最大 0.5mm の半自形～他形で単斜輝石の反応縁をもつ。

石基は微細な単斜輝石（ピジョン輝石と普通輝石）と鉄鉱物、ガラスよりなる。

2-d)前子部層・反里部層中の火山噴出岩類

sp.MAEKO 前子集落奥 無斑晶質安山岩

斜長石、普通輝石、紫蘇輝石の自形～半自形の微斑晶が少量認められる。自形の斜長石は累帯構造がなく、最大 0.2mm、普通輝石は自形～半自形で最大 0.2mm、紫蘇輝石は半自形で最大 0.3mm である。

石基は針状の斜長石、ピジョン輝石、鉄オーザイトの微粒とガラスよりなる。

2-e)貫入岩類

sp.95080602(SE18) 菱ヶ岳西直登沢菱ヶ岳貫入岩体中央部 普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 4.5mm で自形～一部半自形を示す。また 7mm 以上の斜長石集斑晶も認められる。全般的に清澄であるが一部に最大 0.4mm 程度の紫蘇輝石、普通輝石を含むものもある。紫蘇輝石は最大 1mm 程度の半自形を示し、単斜輝石の反応縁を持つ。普通輝石は最大 0.5mm 程度で半自形を示す。0.4mm 程度の鉄鉱物のほか、紫蘇輝石、普通輝石、鉄鉱物、斜長石よりなる最大 2.5mm 程度の集斑晶も認められる。

石基は、0.3mm 程度の短冊状斜長石、0.15mm 程度の斜方輝石、単斜輝石と 0.1mm 程度の鉄鉱物よりなり、間粒状組織を呈する。

sp.95080603(SE8) 菱ヶ岳西直登沢菱ヶ岳貫入岩体縁辺部 普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 4mm、自形～一部半自形で全般的に清澄なものが多い。周辺部で累帯構造の認められるものもある。紫蘇輝石は 1mm 程度で半自形を示し単斜輝石の反応縁を持つ。普通輝石は 1mm 程度で半自形を示す。0.3mm 程度の鉄鉱物も含む。また、紫蘇輝石、普通輝石、鉄鉱物、斜長石よりなる 1mm 程度の集斑晶も認められる。

石基は、0.3mm 程度の短冊状斜長石、0.1mm 程度の斜方輝石、微細な単斜輝石、鉄鉱物よりなり、間粒状組織を呈する。

sp.前山西 4A(SE23) 前山貫入岩体 普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 3.5mm で自形～一部半自形を示す。全般的に清澄であるが一部に微細な輝石、鉄鉱物、ガラスの包有物が認められる。紫蘇輝石、普通輝石は最大 2.5mm 程度で半自形を示し、最大 0.5mm 程度の鉄鉱物、斜長石を含む。鉄鉱物は最大 0.5mm 程度である。また、5mm 程度の斜長石集斑晶、4mm 程度の紫蘇輝石、普通輝石、斜長石、鉄鉱物よりなる集斑晶も認められる。

石基は、0.5mm 以下の短冊状斜長石のほか、0.2mm 以下の斜方輝石、0.1mm 以下の単斜輝石、鉄鉱物よりなる。間粒状組織を呈する。

sp.前山西 02(SE29) 前山岩体縁辺部 普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶：斜長石は最大 2.5mm 程度で自形～一部半自形を示す。紫蘇輝石は最大 2.2mm で自形～半自形を示し、鉄鉱物を包有する。普通輝石は 1.7mm で自形～半自形を示し鉄鉱物と微細な斜長石を包有する。鉄鉱物は 0.4mm 以下である。また、普通輝石、紫蘇輝石、斜長石、鉄鉱物よりなる 7.5mm の集斑晶も認められる。

石基は、0.15mm 以下の短冊状斜長石、0.1mm 以下の単斜輝石、普通輝石のほか微細な鉄鉱物とガラスよりなる。ハイアロオフィティック組織を呈する。

sp.95080401(SE16) 伏野川貫入岩体 普通輝石カンラン石含有紫蘇輝石角閃石安山岩

斑晶の斜長石は最大 3.3mm で自形を示す。紫蘇輝石は 0.5mm 程度で破片状を示すものがわずかに認められる。ほかに最大 3mm 程度の形態から角閃石と思われる鉱物が認められるが、完全に方解石などに交代している。

石基は、0.15mm 程度の短冊状斜長石のほか、微細な斜長石、鉄鉱物、単斜輝石のほかガラスよりなる。ハイアロオフィティック組織を呈する。

sp.山伏山 山伏山貫入岩体 普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 1.5mm で自形～半自形を示す。普通輝石、紫蘇輝石はともに半自形で、単斜輝石の反応縁をもつ。

石基は細柱状の単斜輝石、拍子木状の斜長石とガラスからなる。

3) 全岩化学組成

以下に、主成分化学組成、微量成分化学組成、希土類元素組成、同位体組成に区分して記載する。なお、分析結果を Table 3-2 に示す。

3-a)主成分化学組成

SiO₂ 含有量は、信濃川左岸地域の中条川部層の斑状岩で 52～55%、無斑晶質岩で 55～57%と全般的に低い傾向を示し、やや上位の信濃川右岸地域の東ノ沢累層のもので 54～64%と幅の広い傾向を示す。極野部層（・小池川部層）の火山岩は 51～57%で、下位層のものと比較し SiO₂ が低下するが、中条川部層の

範囲にほぼ重なる。一方、前子部層は無斑晶質岩を主とし、60～70%と含有量が高い傾向を示す。全体を概観すると、中条川部層～東ノ沢累層、極野（・小池川部層）～前子部層の2回の下位層から上位層に向けて SiO_2 含有量が高くなる傾向が認められる。

ハーカー図 (Fig.3-2) からは、斑状岩で斜長石斑晶含有量に影響された分散が $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}$ をはじめ多くに認められる。中条川部層・東ノ沢累層中のもから極野部層（・小池川部層）、前子部層中のものへは、 Al_2O_3 のトレンドが低下し、 $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{MgO}$ のトレンドが上昇する顕著な傾向が認められる。これは、斑晶量特に斑晶に占める斜長石量の影響が表れたものといえる。 $\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}$ 図 (Fig.3-3) では、下位層のものほど低いトレンドを示す傾向が認められるが、斑晶量による分散が大きい。

MFA 図 (Fig.3-4) では、伏野岩体貫入岩をのぞいて KUNO (1968) のピジョン輝石質岩系の領域にプロットされる。また、 $\text{FeO}^*/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 図 (Fig.3-5) (MIYASHIRO, 1974) では、すべてがソレイト系列の領域にプロットされ概ね一連のトレンドを示すが、伏野貫入岩は FeO^*/MgO の高い方向に大きくはずれる。

Fig.3-6 の $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 図では、本地域火山岩類が低アルカリソレイト系列と高アルカリソレイト系列 (KUNO, 1968) 境界付近にプロットされる。また、 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 図ではすべてが MK (Le Maitre et al., 1989) の領域にプロットされる。

3-b)微量成分化学組成

微量成分に関して示したハーカー図 (Fig.3-7) も、主成分化学組成をほぼ同様の傾向を示すが、斑晶量による相違はあまり顕著ではない。Nb と V についてみると、信濃川右岸地域の東ノ沢累層、極野部層、前子部層中のもが示すトレンドが高い傾向が認められる。

3-c)希土類元素組成

希土類元素について、C1 コンドライト (Sun and McDonough, 1989) 規格化パターンを Fig.3-8 に示す。信濃川左岸地域の中条川部層、極野部層（小池川部層）と信濃川右岸地域の東ノ沢累層、極野部層、前子部層のものでは、LREE のパターンに顕著な相違が認められる。すなわち、前者の Pr、Ce、La へと低下するパターン、後者の Pr、Ce、La へと高くなるパターンである。貫入岩類のパターンは前者に近い。なお、これら貫入岩類のほとんどは信濃川左岸地域のものである。

$\text{Eu}/\text{Eu}^*-\text{SiO}_2$ 図 (Fig.3-9) からは、火山岩においては $\text{SiO}_2=55\%$ 付近から負の Eu アノーマリーが現れ、 SiO_2 の増加とともに Eu アノーマリーは増加する傾向

が認められる。

3-d) Sr、Nd 同位体化学組成

全岩の Sr、Nd 同位体化学組成を求めた結果を SiO₂-SrI、SiO₂-NdI 図 (Fig.3-10) に示す。噴出岩ではの SrI 値は、0.703871～0.704106 の 0.000235 の幅に入り、貫入岩は 0.704135 と若干高い値を示す。また、NdI 値では、噴出岩が 0.512915～0.512945 の 0.000030 の幅に入り、貫入岩は 0.512887 で若干低い値を示す。いずれも SiO₂ 含有量増加に伴う変化は認められず、ほぼ一定であるととらえられる。

4) 鉱物の化学組成

火山岩に含まれる斑晶斜長石、カンラン石、輝石および一部 Fe-Ti 鉱物と石基斜長石、輝石について分析を行った。分析結果の平均を Table 3-3 に示す。

4-a) 斜長石

分析した斜長石について、An-Ab-Or 図にそれぞれの薄片ごとにプロットし、層準ごとに区分したものを Fig.3-11 に示す。中条川部層中の斜長石組成範囲は、層準が上位になるほどその組成幅が An90±から Ab 側へ、より拡大していく。東ノ沢累層中のものは、最も下位の溶岩の全岩 SiO₂ 含有量が富む事もあり An50-70 に集中しているが、それ以降のものには中条川部層と同様に組成幅が An90±から Ab 側へ、より拡大していく傾向が認められる。極野部層中のものは、その組成幅は比較的狭く、斑晶 core の組成は An70～An90 である。前子部層中のものは、全般的にさらにその組成幅が狭くなる傾向がある。また、前子部層のものの中に、急冷により形成された斜長石微斑晶 (クリスタライト) が含まれ、それらは K に富むとともに液組成を反映し Fe なども含む。

全岩 SiO₂ 含有量に対する An% の関係を Fig.3-12 に示す。この図は、斑晶 core、rim、石基の平均組成に標準偏差幅を示したものである。斑晶 core 組成の変化については、分散は認められるものの、全岩 SiO₂ 含有量の増加に従い An% が減少していく傾向が認められる。それに対し斑晶 rim は、SiO₂ の増加に従い増加する傾向がある。また、両者から、SiO₂ 含有量が増すにつれ、斜長石斑晶の core と rim の組成差が小さくなることが読みとれる。石基斜長石 An% は、全岩 SiO₂ 含有量に対して余り変化していない。

Fig.3-13 に斜長石 An% に対するヒストグラムを示す。いずれの層準の斜長石の組成頻度分布をみても、core 組成をはじめそれぞれの組成で二極化することは認められない。

4-b) カンラン石、輝石

カンラン石、輝石の分析結果を、輝石台形図にそれぞれの層準ごとに各薄片

の値を区別してプロットし、Fig.3-14 に示す。

カンラン石は斑晶として中条川部層中と極野部層中のものに認められる。しかし、分析できたものは極野部層中のものであり、その値は Fo55-70 と全般的に Mg に低い傾向がある。

輝石は、斑晶として紫蘇輝石、普通輝石が認められ、それらは前述のカンラン石とほぼ平衡な XMg 値を示す。石基輝石はピジョン輝石と普通輝石とからなり、一部に鉄ピジョン輝石、サブカルシックオーゾイト、鉄普通輝石が認められる。

Fig.3-15 に全岩 SiO₂ 含有量に対する各薄片の斑晶単斜輝石と斜方輝石 core、rim の平均 XMg との関係を示す。単斜輝石の XMg は、全岩 SiO₂ 含有量の増加に伴った系統的な変化は全体としては認められない。しかし、層準単位では、極野部層中のものは SiO₂ 含有量の増加に従い XMg は減少していく。中条川部層中のものも SiO₂=50%のものを除けば、分散してはいるが SiO₂ 含有量の増加に従い XMg は減少傾向にある。一方、斜方輝石では、全岩 SiO₂ 含有量の増加に従い XMg は減少傾向を示す。

Fig.3-16 に単斜輝石、斜方輝石の XMg に対するヒストグラムを示す。斑晶に占める輝石含有率が低いため、それらの分析数も少なく、分散について議論を進めることは難しいが、中に度数に2つのピークの認められるものもある。これらの分析数の少なさが、前述の Fig.3-15 の特に単斜輝石に関する結果に反映している。

3. 鳥甲火山噴出物

五十嵐 (1992) の記載をもとに補足し、火山噴出岩類について以下に記載する。

1) 全般的な特徴

下位から、a)ステージ1噴出物の前倉溶岩・火砕岩、b)ステージ2噴出物の鬼沢-高山沢火砕岩、上ノ原溶結凝灰岩、c)ステージ3の布岩山溶岩、滝沢溶岩、尾根山溶岩、白くら山溶岩、鳥甲山頂溶岩よりなり、ほかに d)捕獲岩類がある。

これらのうち火山岩類について 2000 ポイントのモード測定を行った。その結果を Table 3-4 に示す。Fig.3-17a,b から、斑晶量は 40%前後を占め、多いものでは 50%を越える。SiO₂ 含有量の増加に伴った斑晶量の変化は全体的には認められない。斑晶鉱物組み合わせと SiO₂ 含有量との関係には、SiO₂ 含有量が 57%

以下のものにはカンラン石が、62%以上のものには石英、普通角閃石、黒雲母を含む傾向が認められる。また、斑晶に占める斜長石の割合は60~80%で、関田山脈から志久見川流域の火山岩類と比較して低い。

2) 主な火山岩類の顕微鏡記載

全岩化学分析を行った本調査地域に分布する主な火成岩類について、顕微鏡による記載を以下に行う。

2-a) ステージ1 噴出物

sp.70302 前倉溶岩 紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大3mmで自形~半自形でまれに破片状のものも認められる。正累帯構造を示し、輝石、鉄鉱物とガラスを含むものがある。紫蘇輝石、普通輝石は最大1.5mmで自形~半自形で、斜長石、鉄鉱物とごくまれにガラスを含むものがある。鉄鉱物は最大0.2mm。ほかに斜長石、普通輝石、紫蘇輝石、鉄鉱物よりなる2mm程度の集斑晶を含む。

石基は、0.02mm±の針状斜長石、0.01mm±の鉄鉱物のほかはほとんどガラスよりなり、ごくまれに単斜輝石、斜方輝石が認められることがある。ハイアロピリティック組織を呈する。

2-b) ステージ2 噴出物

sp.KG-1 鬼沢-高山沢火砕岩の本質岩片 紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大1.7mmで自形、一部半自形を示す。累帯構造、塵状包有物、鉄鉱物を含むものがある。普通輝石は最大1.5mmで自形~半自形を示し、鉄鉱物を含む。紫蘇輝石は最大1.5mmで自形~半自形を示し、鉄鉱物とまれに斜長石を含む。鉄鉱物は最大0.2mm。また、斜長石、普通輝石、紫蘇輝石、鉄鉱物からなる3mm程度の集斑晶を含む。

石基は、0.1mm±の拍子木状斜長石は主で、まれに単斜輝石、斜方輝石、鉄鉱物が認められ、ハイアロピリティック組織を呈する。

sp.OMP 鬼沢-高山沢火砕岩の本質岩片 黒雲母紫蘇輝石普通輝石含有角閃石 デイサイト

斑晶の斜長石は最大3mmで半自形~融食形を示す。累帯構造を示し、輝石、鉄鉱物、ガラス包有物を含むものがある。普通輝石は最大1mmの半自形、紫蘇輝石は最大1mmの自形~半自形で、鉄鉱物を含む。普通角閃石は最大2mmの自形~半自形で斜長石、鉄鉱物のほかごくまれに黒雲母を含む。黒雲母は最大1mmの自形~半自形で、斜長石、鉄鉱物を含む。また、普通角閃石、斜長石、鉄鉱物からなる4mm程度の集斑晶を含む。

石基は、0.05mm±の針状~拍子木状斜長石のほかはほとんどガラスからなる

ハイアロピリティック組織を呈する。

2-c)ステージ3 噴出物

sp.80507 布岩山溶岩 紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 1.5mm の自形一半自形で、ごくまれに輝石鉄鉱物を含む。普通輝石は最大 0.7mm の自形一半自形で、斜長石、鉄鉱物を含む。紫蘇輝石は最大 0.7mm の自形一半自形で、わずかに鉄鉱物を含む。また、普通輝石、紫蘇輝石、斜長石、鉄鉱物からなる集斑晶、玄武岩質安山岩捕獲岩が認められる。

石基は、0.02mm±の針状斜長石、斜方輝石、鉄鉱物がわずかに認められるが、ほとんどガラスよりなるハイアロピリティック組織を呈する。

sp.ON-06、sp.TZ-04 滝沢溶岩 石英・黒雲母・普通角閃石含有紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の石英は最大 1.5mm の融食形で、斜長石を含むものが認められる。斜長石は最大 2mm の自形一半自形で累帯構造を示すものが多く、輝石、鉄鉱物、ガラス包有物のほか塵状包有物も認められる。黒雲母は最大 0.3mm の融食形で、外縁がオパサイト化している。普通角閃石は最大 1mm の半自形一部融食形で緑褐色を呈し、オパサイト化が著しく、また、斜長石、鉄鉱物を含む。普通輝石は最大 0.8mm の自形一半自形で一部融食形を示し、鉄鉱物を含む。紫蘇輝石は最大 1mm の自形一半自形で、輝石、斜長石、鉄鉱物を含み、一部に累帯構造が認められる。また、普通輝石、紫蘇輝石、斜長石、鉄鉱物からなる 5mm 程度の集斑晶が認められる。

石基は、ハイアロピリティック組織で、0.02mm±の針状斜長石と微細な鉄鉱物のほかはガラスからなる。

sp.TT-03、sp.90513 尾根山溶岩 カンラン石含有紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 2mm の自形一半自形で、輝石、鉄鉱物、塵状包有物を含むもの、累帯構造を示すものがある。カンラン石は最大 0.4mm の半自形で鉄鉱物を含み、輝石の反応縁の認められるものがある。普通輝石は最大 1.5mm の半自形で、斜長石、鉄鉱物を含む。紫蘇輝石は最大 1mm の自形一半自形で、斜長石、鉄鉱物を含み、累帯構造を示すものがある。また、普通輝石、紫蘇輝石、斜長石、鉄鉱物からなる集斑晶、玄武岩質安山岩捕獲岩も認められる。

石基はインターサタル組織を呈し、0.05mm±の拍子木状斜長石、普通輝石、ピジョン輝石、鉄鉱物とガラスからなる。

sp.OM-18 白くら山溶岩 石英普通角閃石含有普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶の石英は最大 1.2mm の融食形を呈する。斜長石は最大 2.5mm の自形一他形で、輝石、鉄鉱物、ガラス包有物を含み、累帯構造を示すものもある。普通輝石は最大 0.8mm の半自形で、鉄鉱物、斜長石、輝石を含み、オパサイト化

している部分もある。紫蘇輝石は最大 1.4mm の自形一半自形で、鉄鉱物、斜長石を含む。普通角閃石は完全にオパサイト化している。また、普通輝石、紫蘇輝石、斜長石、鉄鉱物よりなる玄武岩質安山岩捕獲岩、集斑晶も認められる。

石基はハイアロオフィティック組織を呈し、0.03mm±の拍子木状斜長石、微細な鉄鉱物のほかはガラスからなる。

sp.WT-15 鳥甲山頂溶岩 カンラン石含有紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 2mm の自形一半自形で、輝石、鉄鉱物、ガラス包有物を含み、累帯構造を示すものがある。普通輝石は最大 0.5mm の自形一半自形で、鉄鉱物、斜長石を含む。紫蘇輝石は最大 1mm の自形で、鉄鉱物、斜長石を含む。カンラン石は自形一半自形で周辺部はサポーナイト化している。また、普通輝石、紫蘇輝石、斜長石、鉄鉱物からなる斑れい岩質捕獲岩、玄武岩質安山岩捕獲岩、集斑晶も認められる。

石基はハイアロピリティック組織を呈し、0.03mm±の拍子木状斜長石、微細な鉄鉱物、わずかな斜方輝石のほかはガラスからなる。

2-d)捕獲岩類

捕獲岩類には、カンラン石普通輝石紫蘇輝石斑れい岩、普通輝石紫蘇輝石斑れい岩一閃緑岩、黒雲母花崗岩、普通輝石紫蘇輝石玄武岩質安山岩があり、最も多いものは普通輝石紫蘇輝石斑れい岩一閃緑岩である。

sp.81007 普通輝石紫蘇輝石斑れい岩

斜長石は 0.2~3.6mm の自形一半自形で、微細な鉄鉱物を含むもの、累帯構造を呈するものがわずかに認められる。紫蘇輝石は最大 2mm で半自形を示し、微細な斜長石、鉄鉱物を含むものが認められる。普通輝石は最大 1.5mm で半自形を示し、微細な鉄鉱物、紫蘇輝石を含むものが認められる。ほかに 1.5mm±の鉄鉱物も含む。全般的に各鉱物の粒径にばらつきが大きい。

結晶の間隙には、二次的に形成された微細な鉄鉱物ほかの結晶により埋められているところもある。

3) 全岩化学組成

以下に、主成分化学組成、微量成分化学組成、希土類元素組成、同位体組成に区分して記載する。なお、分析結果を Table 3-5 に示す。

3-a) 主成分化学組成

SiO₂含有量は、ステージ1噴出物は62~64%であるが、ステージ2噴出物で57~67%と組成幅が拡大する。ステージ3噴出物では55~67%でステージ2噴出物の範囲とほぼ重なるが、SiO₂含有量の低い側へやや拡大する。

ハーカー図 (Fig.3-18) からは、ステージ1噴出物が他ステージの示すトレン

ドより K_2O 、 MgO で高く、 Al_2O_3 、 Na_2O で低い傾向が認められる。また、ステージ 2 噴出物の中の溶結凝灰岩の値は、ステージ 1 噴出物と他のステージの示すトレンドの中間的な位置にプロットされる。この傾向は K_2O - MgO 図 (Fig.3-19) でも認められ、ステージ 1 噴出物は K_2O 、 MgO の高い側に、さらにステージ 2 噴出物の中の溶結凝灰岩は他のステージの示すトレンドとの中間的な位置にプロットされる。

MFA 図 (Fig.3-20) では、ステージ 1 噴出物が KUNO (1968) の紫蘇輝石質岩系の領域にプロットされ、他のステージの噴出物と捕獲岩類は紫蘇輝石質岩系とピジョン輝石質岩系の境界周辺にプロットされるが、全般的には紫蘇輝石質岩系の一連のトレンドと見ることができる。また、 FeO^*/MgO - SiO_2 図 (Fig.3-21) (MIYASHIRO, 1974) では、すべてが一連のカルク・アルカリ系列のトレンドを示す。

Fig.3-22 の SiO_2 - (Na_2O+K_2O) 図では、捕獲岩類を含めた噴出物すべてが低アルカリソレイト系列 (KUNO, 1968) の領域にプロットされる。また、 SiO_2 - K_2O 図ではほぼすべてが MK (Le Maitre et al., 1989) の領域にプロットされる。

3-b) 微量成分化学組成

微量成分に関して示したハーカー図 (Fig.3-23) も、主成分化学組成をほぼ同様の傾向、すなわち、Cr、Cu、Nb、Ni、Rb、Zr でステージ 1 噴出物とステージ 2 噴出物の一部が、他の示すトレンドより高い含有量を示す傾向が認められる。

3-c) 希土類元素組成

希土類元素について、C1 コンドライト規格化パターンを Fig.3-24 に示す。全般的な REE パターンに相違は認められない。ステージ 3 の尾根山溶岩の示すパターンは、全般的に平坦で、他と比較し含有量が低い点で特徴がある。

Eu/Eu^* - SiO_2 図 (Fig.3-25) からは、火山岩においては $SiO_2=57\%$ 付近から負の Eu アノーマリーが現れ、 SiO_2 の増加とともに Eu アノーマリーは増加する傾向が認められる。

3-d) Sr、Nd 同位体化学組成

全岩の Sr、Nd 同位体化学組成を求めた結果を SiO_2 -SrI、 SiO_2 -NdI 図 (Fig.3-26) に示す。噴出岩では SrI 値は、0.703819~0.704009 の 0.000190 の幅に入り、捕獲岩類を含めると花崗岩質捕獲岩で若干高くなり 0.703819~0.704096 の 0.000282 の幅を持つ。また、NdI 値では、噴出岩が 0.512906~0.512930 の 0.000024 の幅に入り、捕獲岩類を含めると花崗岩質捕獲岩で若干高くなり 0.512906~0.512944 の 0.000038 の幅を持つ。いずれも SiO_2 含有量増加に伴う系統的な変化は認められず、ほぼ一定であるととらえられる。

4) 鉱物の化学組成

火山岩に含まれる斑晶斜長石、カンラン石、輝石と石基斜長石、輝石、角閃石、黒雲母についてと、捕獲岩類に含まれる斜長石、カンラン石、輝石、角閃石、黒雲母について分析を行った。分析結果の平均を Table 3-6 に示す。

4-a) 斜長石

分析した斜長石について、An-Ab-Or 図にそれぞれの薄片ごとにプロットし、層準ごとに区分したものを Fig.3-27 に示す。ステージ 1 噴出物の微斑晶も含めた斑晶 core が An56~An93 の組成範囲であるが、ステージ 2 以降その組成幅が An の低い側に拡大し An33~An90±となる。同様にステージ 3 では An42~An96 の組成幅を示す。また、石基斜長石および客晶斜長石の組成は全般的には斑晶 core の An% よりも低い値を示し、Z-02、T-12 ではアルカリ長石領域のものも認められる。

全岩 SiO₂ 含有量に対する An% の関係を Fig.3-28 に示す。この図は、斑晶 core、rim、石基の平均組成に標準偏差幅を示したものである。斑晶 core 組成の変化、斑晶 rim 組成の変化については、全岩 SiO₂ 含有量の増加に従い An% が減少していく傾向が認められるが、石基斜長石、客晶斜長石の組成変化については、データも少なくあまり系統的な変化は認められない。

Fig.3-29 に斜長石 An% に対するヒストグラムを示す。ステージ 3 噴出物の尾根山溶岩 (T-05、T-08、T-13)、鳥甲山頂溶岩 (WT-15) の斑晶 core 組成頻度分布で若干の二極化が認められ、ステージ 2 以降でステージ 1 噴出物と比較し組成幅が広がる事がわかる。

4-b) カンラン石、輝石

カンラン石、輝石の分析結果を輝石台形図に、ステージ 1、ステージ 2 a (鬼沢-高山沢火砕岩)、ステージ 2 b (上ノ原溶結凝灰岩)、ステージ 3 a (滝沢溶岩、尾根山溶岩)、ステージ 3 b (白くら山溶岩、鳥甲山頂溶岩) および捕獲岩類に区分し、各薄片ごとの値をプロットしたものを Fig.3-30 に示す。

カンラン石は尾根山溶岩と捕獲岩に認められ、尾根山溶岩のものは Fo61~76、捕獲岩で Fo68~77 であり、火山岩のものが若干 Fo% の低い傾向があるが、ほぼその領域は重なる。

輝石は、全般的に紫蘇輝石と普通輝石からなり、尾根山溶岩で石基および斑晶 rim の一部にピジョン輝石が認められる。斑晶紫蘇輝石 core の組成範囲についてみると、ステージ 1 で XMg57~62、ステージ 2 b で XMg57~66 と狭い傾向があり、ステージ 2 a ではデイサイトで低いものがあり XMg41~66、ステージ 3 a で XMg55~70、ステージ 3 b で XMg52~73 と全岩 SiO₂ 組成範囲の広が

りとともに拡大する。普通輝石についても同様の傾向が認められる。

Fig.3-31 に全岩 SiO₂ 含有量に対する各薄片の斑晶単斜輝石と斜方輝石 core、rim の平均 XMg との関係を示す。普通輝石 XMg-SiO₂ 図からは、ステージ1 とステージ2 にの core 組成において SiO₂ の増加に伴った XMg の減少傾向が認められるが、ステージ3 については系統的な変化が認められない。紫蘇輝石 XMg-SiO₂ 図では、分散が大きい、いずれのステージの core 組成についても SiO₂ の増加に伴った XMg の減少傾向が認められる。

Fig.3-32 に普通輝石、紫蘇輝石の XMg に対するヒストグラムを示す。いずれの薄片においても、core 組成に関して前述したような組成幅の拡大は認められても、明確な組成の二極化は認められない。

4-c)角閃石、黒雲母

角閃石、黒雲母についての XMg は、角閃石 core で 45~47、rim で 48~50、黒雲母は core で 47~50、rim で 48~51 である。

4. 毛無火山噴出物

金子 (1988)、柳沢ほか (2001) が詳細な岩石記載を行った。五十嵐ほか (1984) での記載とも照らし合わせ、代表的な火山噴出岩類について記載する。

1) 全般的な特徴

毛無火山噴出物を構成する火山岩類は、輝石安山岩を主体とし、カンラン石-普通輝石玄武岩、カンラン石含有輝石安山岩、輝石デイサイトも存在する。これらは、柳沢ほか (2001) では旧期噴出物 (金子, 1988 のステージ I と II に相当) と新期噴出物 (金子, 1988 のステージ III に相当) に区分される。

2) 主な火山岩類の顕微鏡記載

全岩化学分析を行った特徴的な火山岩の顕微鏡記載についてまとめる。

2-a)旧期噴出物

sp.K-08b 坪山溶岩 紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は最大 1mm、普通輝石は最大 0.3mm、紫蘇輝石は最大 0.3mm。金子 (1988) の記載によると無斑晶安山岩とあるが、今回分析を行ったのは斑状岩である。

sp.K-13,14,15 池の沢川溶岩 紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は自形~半自形、最大 4.5mm で累帯構造を示すもの、斜長石・輝石・鉄鉱物の客晶が認められるものもある。普通輝石は最大 1mm、紫蘇輝石

は最大 1.3mm でいずれも斜長石・鉄鉱物を含み、紫蘇輝石には薄い普通輝石の反応縁も認められる。他に、0.5mm 前後の鉄鉱物、3mm 前後の斜長石・鉄鉱物・輝石および輝石・鉄鉱物よりなる集斑晶も認められる。

sp.K-09,12 水尾山山頂溶岩 紫蘇輝石普通輝石安山岩

斑晶の斜長石は自形一半自形で最大 3mm、輝石・鉄鉱物・塵状包有物を含み、累帯構造を示すものがある。普通輝石は自形一半自形で最大 3mm、鉄鉱物、斜長石を含む。紫蘇輝石は自形一半自形で最大 1.5mm、輝石・斜長石・鉄鉱物を含み、単斜輝石の反応縁が発達する。他に 0.3mm 程度の鉄鉱物、半自形の普通輝石・斜長石・鉄鉱物とわずかの紫蘇輝石からなる 3mm 程度の集斑晶が認められる。

2-b)新期噴出物

sp.K-01 大次郎山溶岩、02,03 志賀林道溶岩 普通輝石紫蘇輝石安山岩

斑晶の斜長石は自形一半自形で最大 2.5mm、鉄鉱物と輝石、斜長石・輝石の蜂の巣状包有物を持つ。また、累帯構造を示すものもある。普通輝石は半自形で 0.5mm、鉄鉱物を含む。紫蘇輝石は自形で一部に外形の不明瞭なものがある。最大 1.5mm で斜長石・鉄鉱物を含み、単斜輝石の反応縁を持つものがある。他に 0.2mm 程度の鉄鉱物斑晶が認められる。また、両輝石・斜長石・鉄鉱物より成る集斑晶も存在する。

3) 全岩化学組成

以下に、本研究で行った全岩化学分析結果を主成分化学組成、微量成分化学組成、希土類元素組成、同位体組成に区分して記載する。なお、分析を行った試料は 23 で、柳沢ほか (2001) の区分による旧期噴出物の水尾-大入山火山体から 11、新期噴出物の毛無山火山体下位グループから 5、毛無山火山体上位グループから 7 である。分析結果を Table 3-7 に示す。

3-1)主成分化学組成

ハーカー図 (Fig.3-33) からは、 Al_2O_3 で若干のばらつきが認められる。また、金子 (1988) が指摘したステージⅡとステージⅢにおける K_2O 含有量の系統的な違いは、本研究での旧期噴出物と新期噴出物における K_2O 含有量の違いとして現れており、旧期噴出物の方が系統的に若干低いトレンドを形成する。さらに、 MgO 含有量も旧期噴出物の方が若干低く、反対に、 Na_2O 含有量は若干高い傾向を示す。この傾向は K_2O - MgO 図 (Fig.3-34) でも認められ、旧期噴出物 (水尾-大入山火山体) は K_2O 、 MgO の低い側にプロットされる。

MFA 図 (Fig.3-35) では、旧期噴出物の多くと新期噴出物のデイサイト質岩が KUNO (1968) のピジョン輝石質岩系の領域にプロットされ、新期噴出物の

安山岩質のものは紫蘇輝石質岩系の領域にプロットされる。また、 $\text{FeO}^*/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 図 (Fig.3-36) (MIYASHIRO, 1974) においても、MFA 図での特徴と同様な傾向が認められ、 SiO_2 含有量が 56~60wt% で新期噴出物のほとんどがカルク・アルカリ系列の領域に入る。

$\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 図 (Fig.3-37) では、すべての噴出物が低アルカリソレイト系列 (KUNO, 1968) の領域にプロットされる。また、 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 図ではほぼすべてが MK (Le Maitre et al., 1989) の領域にプロットされる。

3-2) 微量成分化学組成

微量成分に関して示したハーカー図 (Fig.3-38) も、主成分化学組成をほぼ同様の傾向、すなわち、Rb、Zr、Cr、Ni、Cu で旧期噴出物が、新期噴出物の示すトレンドより低い含有量を示す傾向が認められる。

3-3) 希土類元素組成

希土類元素について、C1 コンドライト規格化パターンを Fig.3-39 に示す。新期噴出物 (毛無山火山体下位 G、毛無山火山体上位 G) は、旧期噴出物 (水尾-大入山火山体) と比較し、LREE に富み、HREE に枯渇している急傾斜のパターンを示す。また、Eu アノーマリーは、旧期噴出物の池の沢川溶岩 ($\text{SiO}_2=55.50\text{wt}\%$) と高倉山溶岩 ($\text{SiO}_2=58.04\text{wt}\%$) でほとんど目立たないが、他では顕著なアノーマリーが認められる。

3-4) Sr、Nd 同位体化学組成

全岩の Sr、Nd 同位体化学組成を求めた結果を SiO_2-SrI 、 SiO_2-NdI 図 (Fig.3-40) に示す。旧期および新期噴出物をあわせた SrI 値は、0.703983~0.704221 の 0.000238 の幅に入る。また、旧期および新期噴出物をあわせた NdI 値は、0.512910~0.512949 の 0.000039 の幅に入る。データ数は少なく一部に若干高いものも含まれるが、いずれも SiO_2 含有量増加に伴う系統的な変化はなく、ほぼ一定であるととらえられる。

IV. 考察

本研究における一つの大きな成果は、(1)本調査地域に分布するソレイト系列とカルク・アルカリ系列鮮新-更新統火山岩類の岩石学的検討から、これらソレイト系列マグマとカルク・アルカリ系列マグマのそれぞれの分化過程・条件を明らかできた事、(2)それぞれのマグマ系列の Sr、Nd 同位体組成に差異がない事が明らかになった事、(3)最も未分化な岩石の主成分・微量成分化学組成が同様の特徴を示す事である。これらの成果から、これら両マグマ系列は、同様のマグマから異なった分別結晶作用によって生成したと推定した。

上記内容に関しての議論を行うにあたり、まず、安山岩マグマの成因、特に島弧に多く認められるカルク・アルカリ安山岩の成因についての、従来の議論を概括する。

カルク・アルカリ安山岩マグマの成因として、これまで提唱されている主な成因説は、(1)玄武岩質マグマの分別結晶作用、(2)地殻下部の融解、(3)玄武岩質マグマによる地殻物質の混成作用、(4)マントル内に沈み込んだ海洋地殻の部分融解、(5)水の存在下における上部マントルの部分融解、(6)マグマ混合作用などである。ここでは、特に(1)、(4)、(5)、(6)について記述する。

〔玄武岩質マグマの分別結晶作用〕

Bowen (1928) は、安山岩質マグマの成因として玄武岩質マグマの結晶分化作用を提唱した。Bowen が提唱した玄武岩質マグマの結晶作用は、分別結晶作用により残液が次第にシリカとアルカリに富むようになり、角閃石、黒雲母が結晶し、カルク・アルカリ系列が生成するとのものであった。それは、当時、主としてカルク・アルカリ系列の貫入岩体においてマグマの分化が研究され、ソレイト質マグマの貫入岩体における分化の研究がほとんどなされていなかった事による。一方、玄武岩質マグマの分別結晶作用で残液がシリカに濃集せずに Fe に濃集するというソレイト系列の分化トレンドは、Fenner (1929, 1931, 1948) により指摘された。その後この分化トレンドは、Skaergaard 貫入岩体 (Wager and Deer, 1939)、Iceland の火山岩 (Carmichael, 1964)、Galapagos の火山岩 (McBirney and Williams, 1969)、Cascades の玄武岩溶岩 (Kuno, 1965) などで実証された。

Kuno (1950) は、伊豆・箱根地域の火山岩において石基輝石により紫蘇輝石質系列とピジョン輝石質系列に区分し、分化経路の違いを明らかにした。前者はカルク・アルカリ系列、後者がソレイト系列に相当する。また、Miyashiro (1974) は、 FeO^*/MgO とシリカの関係からカルク・アルカリ系列とソレイト

ト系列の分化経路を区分した。

カルク・アルカリ系列とソレイト系列のマグマの分化経路の成因について、Osborn (1959, 1962) は玄武岩質マグマの結晶作用時の酸素分圧の相違による、磁鉄鉱晶出プロセスにあるとした。また、両系列の分化経路の成因を Irvine (1976) はカリ長石成分の差で説明した。さらに Tilley (1950) などは角閃石の分別作用によりカルク・アルカリ系列を説明した。

Grove and Baker (1984) は、ソレイト系列とカルク・アルカリ系列が同一の玄武岩マグマからの異なった圧力条件における分別結晶作用で生成されるモデルを提唱した。ソレイト系列とカルク・アルカリ系列の分化過程を、玄武岩の相平衡データから解析し、ソレイト系列はマントル起源玄武岩の比較的浅所での分別結晶作用で、カルク・アルカリ系列は中-上部地殻における分別結晶作用により生成している。これら分別結晶作用において、ソレイト系列では Ol、Pl、Aug の結晶作用、一方カルク・アルカリ系列では Ol、Pl、Aug のほぼ等量の結晶作用により生成されるモデルを推定した。

[マントル内に沈み込んだ海洋地殻の部分融解]

1960年代以降、プレートの沈み込みとの関連性からカルク・アルカリ系列マグマの起源について多くの研究が行われた。T. H. Green and Ringwood (1960) は、石英エクロジイトの高圧融解実験から安山岩マグマが生成可能であることを示したが一般化には問題があった。その後 Ringwood (1974) は、カルク・アルカリ安山岩マグマの生成機構として、沈み込んだ玄武岩質海洋プレートの部分融解で安山岩-デイサイトマグマを生じ、その後、マントルウェッジかんらん岩との反応などを通じて生成されるとした。最近では、Tatsumi (2001) などでは、高 Mg 安山岩の成因として同様のことを述べている。

[水の存在下における上部マントルの部分融解]

O'Hara (1965) は、初めて実験事実に基づいて上部マントルかんらん岩が H_2O 存在下で部分融解することで安山岩マグマを生じる可能性を指摘した。Mysen and Boettcher (1973) の天然かんらん岩 + H_2O の部分融解実験も安山岩質マグマの生成を示唆した。一方でこれらに対する反論として Nicholls and Ringwood (1974) などもある。

[マグマ混合作用]

Eichelberger (1975)、Sakuyama (1979, 1981) によって、島弧および陸弧で特徴的に産出するカルク・アルカリ安山岩を生成する一般的なプロセスとして提案された。ソレイト質玄武岩マグマと同系列分化物としてのフェルシクマグマとの混合「internal mixing (内部混合)」とソレイト質玄武岩マグマと下部地殻などに由来する異質マグマとの混合「external mixing (外部混合)」に

区分される。

以上、安山岩マグマ、特にカルク・アルカリ安山岩の成因論について概括した。本研究では鮮新-前期更新統のソレイト系列玄武岩-デイサイト、カルク・アルカリ系列安山岩-デイサイトおよびカルク・アルカリ系列岩に含まれる捕獲岩類を対象に岩石学的検討を行った。以下の項目にしたがって、議論を進めていく。

1. 関田山脈-志久見川流域の鮮新-前期更新統火山岩類の生成過程
-ソレイト系列マグマの分化過程-
2. 鳥甲火山噴出物の生成過程
-カルク・アルカリ系列マグマの分化過程-
3. 関田山脈-志久見川流域の火山岩類と鳥甲火山噴出物の成因関係
4. 関田山脈-志久見川流域のソレイト系列初生マグマと鳥甲火山のカルク・アルカリ系列初生マグマについての検討

1. 関田山脈-志久見川流域の鮮新-前期更新統火山岩類の生成過程
-ソレイト系列マグマの分化過程-

これまでに述べてきた関田山脈-志久見川流域のソレイト系列火山岩類の特徴を簡潔にまとめると下記の通りである。

- ①層序学的に、下位より中条川部層・東ノ沢累層、極野部層（・小池川部層）、前子部層（・反里部層）に区分できる。これらを構成する火山岩類は、斑晶鉱物に占める斜長石斑晶の割合が高く、特に中条川部層・東ノ沢累層の火山岩で90%±を占めるが、極野部層中の火山岩ではその割合が減少し、前子部層では無斑晶質岩がほとんどを占める。
- ②全岩主成分化学組成では、MFA 図 (Fig.3-4) ではほとんどがピジョン輝石質岩系、 $FeO^*/MgO-SiO_2$ 図 (Fig.3-5) では TH 岩系のトレンドを示す。その一方でハーカー図 (Fig.3-2) において、中条川部層・東ノ沢累層のものは Al_2O_3 で 20wt% を超えるものが多く、 Fe_2O_3 、 MgO では無斑晶質岩と比較し低く分散する傾向が認められる。この様な傾向は、30%（斑晶鉱物の 90%）を超える斜長石モード組成を反映している。また、微量成分化学組成に関しても、無斑晶質岩と比較して中条川部層・東ノ沢累層のものは、Rb、Ba、Th、V 等

で低い、Sr で高い含有量を示す傾向が認められる。

③REE の C1-chondrite 規格化パターン (Fig.3-8) からは、主に中条川部層の分布する信濃川左岸地域 (= 関田山脈地域) と主に東ノ沢累層・前子部層の分布する信濃川右岸地域 (= 志久見川地域) での LREE パターンでの相違が認められる。また、基本的に上位層準のものほど LREE に濃集するパターンを示し、さらに $\text{SiO}_2=55\text{wt}\%$ 以上で Eu アノーマリーが存在する。

③Sr、Nd 同位体比は、 SiO_2 含有量の変化に関連した系統的な変化を示さず、ほぼ一定の値を示す。

④鉱物の化学組成について、斜長石の An% は中条川部層、東ノ沢累層のもので上位層準ほど An% の拡大傾向が認められる (Fig.3-11)。また各岩石における斜長石 core の平均 An 組成は、全岩 SiO_2 含有量の増加に対して緩やかに減少する (Fig.3-12)。極野部層中に認められるカンラン石、輝石は、core 組成における X_{Mg} が同程度である。また、全般的に微斑晶輝石および石基輝石には、サブカルシックオーゾナイト、サブカルシックフェロオーゾナイトも認められる。(Fig.3-14)

以上の事から、ソレイト系列マグマは主にカンラン石、輝石、斜長石、鉄鉱物の分別結晶作用により分化したと考えられる。この分別結晶作用について、以下の解析を行った。

- 1) 石基化学組成
- 2) 斜長石の形態
- 3) マスバランス計算
- 4) 温度・圧力条件の推定

1) 石基化学組成

斑状岩及び無斑晶質岩の石基化学組成算出方法として、①1枚の薄片につき 2000 ポイントモード測定を行い各斑晶鉱物の体積%を出し、②それぞれの薄片における斑晶鉱物 core の平均化学組成を各鉱物の化学組成として①で求めた斑晶鉱物の割合で全岩化学組成から引き、③その結果をトータル 100wt% として再計算した。また、モード組成データがあり、鉱物化学組成のデータのないものについては、全岩化学組成上最も近い岩石に含まれている鉱物の化学組成データを使用した。なお、無斑晶質岩の斑晶モードは 5% 未満である。

求めた斑状岩と無斑晶質岩の石基化学組成、斑状岩および無斑晶質岩の全岩化学組成をハーカー図に示したものが Fig.4-1-1 である。この図から、無斑晶質岩とその石基化学組成はどの酸化物についても同様のトレンドを示す。一方、斑状岩とその石基化学組成についてみると、 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 MnO 、 MgO 、 Na_2O 、

P₂O₅で計算された石基化学組成で明らかに全岩化学組成よりも高い方にシフトし、また同様に無斑晶質岩とその石基化学組成の示すトレンドよりも高いものがある。反対に、Al₂O₃、CaO では明らかに含有量の低い方にシフトし、それらは無斑晶質岩とその石基化学組成の示すトレンドより低いものがある。また、斑状岩の石基化学組成は、特に Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、CaO で分散が大きい。

以上の結果から、算出した斑状岩石基組成の一部は、無斑晶質岩石基組成に較べて、高い TiO₂、Fe₂O₃、MnO、MgO、Na₂O、P₂O₅、低い Al₂O₃、CaO 含有量を示すものがある。この事は、斑状岩石基化学組成の算出において、斜長石斑晶の見積もりが過剰であった可能性を示している。

さらに、全岩 SiO₂ 含有量に対する An% の関係 (Fig.3-12) で、斜長石 core の An% の全岩 SiO₂ 含有量の増加に対しての減少傾向が小さい事、斑状岩において斑晶に占める斜長石が 90% をこえる事もふまえると、斑状岩における斜長石がマグマ溜まり内における集積相である可能性がある。

2) 斜長石の形態

極野部層中の紫蘇輝石普通輝石カンラン石玄武岩 (sp.9081901) 中の斜長石の形態から考えられることについて述べる。

顕微鏡観察によるスケッチならびに EPMA ライン分析結果を Fig.4-1-2 に示す。斜長石には、中程度の大きさ (0.5mm±) で周辺部にわずかに塵状包有物を認めるもの (PL1)、比較的小さく (0.2mm±) 比較的清澄な形態を示すもの (PL2)、比較的大きく (1mm±) 周辺部に塵状包有物が顕著なもの (PL3) が含まれている。斜長石の大きさにより、その core 部分の An% に違いが認められ、小さなものほど An% が高い傾向 (PL2:An85-90 > PL1:An80-85 > PL3:An70-75) があり、PL2 と PL1 には周縁部で急激な An% の低下 (正累帯構造) が認められる。一方、大きなもの (PL3) では、塵状包有物の内側では An% が低く、その外側で An85±まで上昇し、さらに縁辺部に向かって急激な低下を示す。

これらの事は、PL3 組成を含むマグマに、PL2 組成および PL1 組成を含むより苦鉄質マグマが新たに供給されたことによるか、もしくは、マグマ溜まり中の沈積相としての PL3 組成をはじめとする鉱物を取り込んだ事により、PL3 周辺部のマグマ温度が上昇したことによって形成されたものと考えられる。

3) マスバランス計算

ソレイト系列マグマにおける分別結晶作用を検証する目的で、マスバランス計算による検討を行った。その際に、前述のように関田山脈地域と志久見川

流域地域とで REE パターンに若干の相違が存在する事から、両者を区分し、それぞれについて主成分化学組成からマスバランス計算を行い、その結果を用いて微量元素、希土類元素含有量を算出して検討した。微量元素、希土類元素含有量の算出に当たっては、レイリー分別モデルを用い、各鉱物—メルト間の分配係数に関しては、Martin (1987)、Fujimaki et al. (1984)、Schock (1979)、Pearce and Norry (1979)、Nash and Crecraft (1985)、Watson and Harrison (1983) のデータから適切なものを選択した。

関田山脈地域火山岩類の計算に関して、極野部層（小池川部層）中の紫蘇輝石普通輝石カンラン石玄武岩 (sp.9081901、Fig.4-1-3 の SEKP、 $\text{SiO}_2=51.51\text{wt}\%$ 、 $\text{FeO}^*/\text{MgO}=2.31$) を親マグマ組成として用いた。計算に用いた岩石は、中条川部層中の輝石安山岩 (SEK1、SEK2) と中条川部層に貫入する無斑晶質輝石安山岩 (SEK3) である。一方、志久見川流域地域火山岩の本源マグマ組成としては、極野部層中のカンラン石含有輝石安山岩 (sp.73101、Fig.4-1-3 の SHIP、 $\text{SiO}_2=55.31\text{wt}\%$ 、 $\text{FeO}^*/\text{MgO}=3.12$) を選択し、計算には東の沢累層中の輝石安山岩 (SHI1) と前子部層中の無斑晶質安山岩—デイサイト (SHI2、SHI3) を用いた。また、それぞれの計算に用いた鉱物化学組成は、EPMA による分析結果の平均値の中から最も適当なものを使用した。

Table 4-1-1 に計算結果を示す。計算結果からは、若干の誤差は認められるものの、分別鉱物相は斜長石、単斜輝石、斜方輝石、鉄鉱物で現実のものと同整合性がある。ただし、斜長石斑晶の斑晶に占める割合はモード組成に比べ低くなっている。また、Fig.4-1-4 に全岩 SiO_2 含有量に対する分別鉱物量、残液量の変化を示す。このグラフから、全岩 SiO_2 含有量が増加するに従い、若干の分散は認められるが、分別鉱物の増加と液相の減少という系統的な変化を示している。

以上の主成分元素に関してのマスバランス計算からの分別鉱物量を基に、微量成分化学組成、希土類元素化学組成について検討を行った。Fig.4-1-5 に関田山脈地域、Fig.4-1-6 に志久見川流域地域の微量元素に関するハーカー図を示す。また、Fig.4-1-7 に関田山脈地域、Fig.4-1-8 に志久見川流域地域の REE の C1-chondrite 規格化パターンを示す。

関田山脈地域については、 SiO_2 含有量の幅が比較的狭い範囲であったため、SEKP から SEK1—SEK3 すべてをマスバランス計算により導いた。その為、算出した斜長石分別量がモード組成と比較して少ない。そこで、斜長石—メルト間の分配係数を変え、2つのケースについて示した。微量元素に関するハーカー図 (Fig.4-1-5) において、計算値の Rb が若干低い傾向を示す他は、ほぼ関田山脈地域ソレイト系列に属する火山岩類のトレンドと一致する傾向を示す。また、REE の C1-chondrite 規格化パターン (Fig.4-1-7) に関して実測値と計算さ

れたものとよく一致し、Ce(n)/Yb(n)-SiO₂ 図からも一連のトレンドを示す。

志久見川流域地域については、SHIP から SHI1、SHI1 から SHI2、SHI2 から SHI3 をマスバランス計算により導いた。微量元素に関するハーカー図 (Fig.4-1-6) では、計算値の Nb が若干低い傾向を示し、Sr が若干高い傾向を示す。Sr に関しては斜長石-メルト間の分配係数と関連が示唆される。全般的には、ほぼ志久見川流域地域ソレアイト系列火山岩類のトレンドと一致する傾向が認められる。また、REE の C1-chondrite 規格化パターン (Fig.4-1-8) に関して実測値と計算されたものとよく一致し、Ce(n)/Yb(n)-SiO₂ 図からも一連のトレンドを示す。

さらに、関田山脈地域と志久見川流域地域の火山岩類とに関するマスバランス計算結果を、総合的に検討した。全岩 SiO₂ 含有量に対する分別鉱物量、残液量の変化 (Fig.4-1-9) は、全般的に系統的な変化トレンドを示す。また、微量元素に関するハーカー図 (Fig.4-1-10) からは、火山岩における Rb、Nb 含有量の相違とそれに従ったマスバランス計算結果の相違が認められる。

4) 温度・圧力条件の推定

マグマの温度に関して、Wood and Banno (1973)、Wells (1977) の輝石温度計および Putirka et al. (1996) の Cpx-melt 組成を用いた玄武岩質マグマの温度・圧力計により温度・圧力を算出した。ただし、JXA5A で測定した結果については分析値がなく算出できていない。結果を Table 4-1-2 に示す。なお、Putirka et al. (1996) の算出方法の概略は以下の通りである。基本は、実験により得られた共存する単斜輝石と玄武岩組成の液相 (glass) における Na、Ca、Fe、Mg、Al の分配に基づいている。

$$T(K) = 10^4 / (6.73 - 0.26 * \ln(Jd^{px} * Ca^{liq} * Fm^{liq} / (DiHd^{px} * Na^{liq} * Al^{liq}))) - 0.86 * \ln(Mg^{liq} / (Mg^{liq} + Fe^{liq})) + 0.52 * \ln(Ca^{liq})$$

$$P(kbar) = -54.3 + 299 * T / 10^4 + 36.4 * T / 10^4 * \ln(Jd^{px} / ((Si^{liq})^2 * Na^{liq} * Al^{liq})) + 367 * (Na^{liq} * Al^{liq})$$

T : 温度、Jd^{px} : Jadeite 成分、Ca^{liq} : 液相中の Ca (cation)

Fm^{liq} : 液相中の Fe+Mg (cation) 以下液相中の元素に関しては同様

DiHd^{px} : Diopside・Hedenbergite 成分

輝石温度計による温度の算出に当たっては、各薄片における斜方輝石、単斜輝石それぞれの core および rim 組成の平均を求め、その値を基に計算を行った。輝石温度計による算出結果と全岩 SiO₂ との関係を示した Fig.4-1-11 では、全岩 SiO₂ 含有量の増加に従って、Wells(1977)によると core 温度は 1134°C~984°C、rim 温度は 1154°C~991°C、Wood & Banno (1973) によると core 温度は 1036°C

〜943°C、rim 温度は 1079°C〜949°Cと低下する傾向が認められる。ただし、モード組成からもわかるように輝石斑晶量が少なく、分析数も少ないため、分散が認められる。また、rim 温度が core 温度と比較して極野部層中の紫蘇輝石普通輝石カンラン石玄武岩で 31〜43°Cと上昇するが、他のものについては最大で -12〜14°Cと変化幅が小さい。

極野部層中の紫蘇輝石普通輝石カンラン石玄武岩 (sp.9081901) に含有される単斜輝石と全岩化学組成から Putirka et al. (1996) を用いて温度・圧力を算出した結果は、1169°C、4.9kbar であった。

以上の極野部層中の紫蘇輝石普通輝石カンラン石玄武岩に認められる斜長石の形態および輝石温度計により求めた温度の core から rim に向けての顕著な温度上昇傾向から、極野部層の形成時にマグマ溜まりへの新たな玄武岩質マグマの供給イベントがあったと推定できる。

さらに、Baker and Eggler (1987) の実験結果に基づいて圧力条件を推定してみる。Baker and Eggler (1987) は、Atka 島の高アルミナ玄武岩の含水溶融実験を行い、玄武岩から玄武岩質安山岩、玄武岩質安山岩から安山岩・デイサイトへの組成変化する結晶分化作用の条件について明らかにした。この実験結果から、2kbar と 5kbar で 2% H_2O 添加による液組成変化を求め、Di-Ol-Si+Or、Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections にコーテクティックを描いた。この Baker and Eggler (1987) の図に本地域ソレイト系列火山岩類をプロットすると (Fig.4-1-12)、斑状火山岩では 5kbar ($H_2O=2\%$) の Ol-Pl と Pl-(Si+Or)コーテクティック付近にプロットされ、前子部層の無斑晶質岩では 2kbar ($H_2O=2\%$) の Ol-Pl と Pl-(Si+Or)コーテクティックの付近にプロットされる傾向が認められる。

以上の事から、関田山脈〜志久見川流域の鮮新〜前期更新統火山岩類から推定されるソレイト系列マグマの分化は、およそ 5kbar〜2kbar のマグマ溜まりにおいて、主にカンラン石、輝石、斜長石の分別結晶作用によって形成されたと考えられる。関田山脈地域に多く分布する斑状岩類は、無斑晶質岩に比べてより深部のマグマ溜まりで分化した可能性が示唆される。

以上の関田山脈〜志久見川流域火山岩類についての検討をまとめると

- ① 全岩化学組成および求めた石基化学組成の検討から、関田山脈〜志久見川流域のソレイト系列火山岩類は一連のものと考えられ、斑状岩の一部については、マグマ溜まり内での分別結晶過程で斜長石が集積する状態で、噴出・形成されたと考えられる。
- ② 関田山脈地域の火山岩類、志久見川流域の火山岩類それぞれに区分し行ったマスバランス計算とそれに基づいて算出した微量元素および希土類元素含有

量から、それぞれ地域の火山岩はソレイト系列マグマからの分別結晶作用により生成されたと考えられる。また、両者には、微量元素化学組成におけるトレンド、希土類元素パターンに若干の相違が認められる。これは、本源マグマの性質の若干の違い、後者火山岩類が無斑晶質岩が主体であり斜長石含有量の斑晶に占める割合も前者と比較し小さい事と関係があると考えられる。

- ③ 斜長石の形態・化学組成から、極野部層堆積期に新たなマグマの供給が推定される。
- ④ マグマ溜まりは、Putirka et al. (1996) と Baker and Eggler (1987) を基に推定すると、およそ斑状岩 5kbar 程度、無斑晶質岩形成時は 2~3kbar 程度と推定される。

以上の点は、先に述べた本地域ソレイト系列マグマは主にカンラン石、輝石、斜長石、鉄鉱物の分別結晶作用により分化したとの結論を概ね指示する。すなわち本地域ソレイト系列マグマの分化過程は、およそ 5kbar~2kbar の環境下での主に斜長石、単斜輝石、斜方輝石、鉄鉱物の分別結晶作用によるものと説明できる。また、晶出した斜長石は、モード組成と石基化学組成およびマスバランス計算結果との関係から、分別しきれずにマグマ中を浮遊したものである可能性が高い。さらに、極野部層中の紫蘇輝石普通輝石カンラン石玄武岩 (sp.9081901) の斜長石斑晶の形態と輝石斑晶の core から rim への温度上昇、関田山脈地域火山岩 (主に中条川部層) と志久見川流域地域火山岩 (東の沢累層、極野部層、前子部層) の岩石学的性質の若干の相違から、極野部層層準において新たなマグマ供給イベントがあったと考えられる。

2. 鳥甲火山噴出物の生成過程

-カルク・アルカリ系列マグマの分化過程-

カルク・アルカリ系列火山岩類よりなる鳥甲火山噴出物の特徴について簡潔にまとめると下記の通りである。

- ①鳥甲火山噴出物は、層序学的に Stage 1～Stage 4 に区分される。本研究で Stage 1～Stage 3 について岩石学的検討を行った。Stage 1 は前倉溶岩・火砕岩、Stage 2 は鬼沢-高山沢火砕岩と上ノ原溶結凝灰岩、Stage 3 は布岩山溶岩、滝沢溶岩、尾根山溶岩、白くら山溶岩、鳥甲山頂溶岩と鳥甲山北西部に分布する未来分 Stage 3 噴出物より構成され、Stage 1 は輝石安山岩、Stage 2 は輝石安山岩-角閃石デイサイト、Stage 3 はカンラン石含有輝石安山岩-輝石安山岩-石英（・黒雲母）・角閃石含有輝石安山岩まで変化する。全般的なモード組成上、全岩 SiO_2 含有量が 63wt%以上で石英、角閃石、黒雲母を含む (Table 3-4)。なお、Stage 2 以降の火山噴出物中に輝石斑れい岩-閃緑岩および黒雲母花崗岩、玄武岩質安山岩の捕獲岩を含み、Stage 3 以降の溶岩には不均質部分や banded lava 等も認められる。
- ②これら火山岩類は、30～50%の斑晶を含むが、斑晶中に斜長石の占める割合は 65～80%と前述のソレイト質火山岩類と比較して低い。また、捕獲岩類は、いずれもアドキュームレイト (adcumulate) -メソキュームレイト (mesocumlate) (Wager et al., 1960) の形態を呈し、顕微鏡下におけるそれらと母岩との境界部は鮮明ではない。
- ③全岩主成分化学組成では、MFA 図 (Fig.3-20) ではほとんどがピジョン輝石質岩系と紫蘇輝石質岩系の境界から紫蘇輝石質岩系にプロットされ、 $\text{FeO}^*/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ 図 (Fig.3-21) では CA 岩系のトレンドを示す。ハーカー図 (Fig.3-18) においては、Stage 1 噴出物と Stage 2 噴出物の一部は、他の火山岩類の示すトレンドから K_2O に高く Na_2O に低い傾向を示す。その他の酸化物に関しては、捕獲岩類を含めて一連のトレンドを示す。微量成分化学組成に関しても Stage 1 および Stage 2 噴出物の一部が Rb に高い傾向を示すなど、主成分化学組成と同様の傾向が認められる。
- ④REE の C1-chondrite 規格化パターン (Fig.3-24) では、Stage 3 尾根山溶岩で Eu アノーマリーが認められないほかは、顕著な負のアノーマリーを示す。全般的には、ソレイト質火山岩類と比較し、HREE に枯渇し LREE に富む急傾斜のパターンを示す。
- ⑤Sr、Nd 同位体比は、 SiO_2 含有量の変化に関連した系統的な変化を示さず、ほぼ一定の値を示し、斑れい岩-閃緑岩、花崗岩の同位対比も火山岩類と同様

の範囲に入る。

⑥ 鈹物の化学組成では、Stage 3 噴出物に認められる斑晶斜長石 core の An% に認められる二極化、および Stage 2 噴出物以降での Stage 1 斑晶斜長石 core の An% と比較した組成幅の拡大、が認められる (Fig.3-29)。また、斑晶斜長石中に塵状包有物やガラス包有物などが多く認められるが、一方で顕著な逆累帯構造は斑晶斜長石にほとんど認められない。

以上の事から、カルク・アルカリ系列マグマは、Stage 2 の段階以降にマグマ混合が認められるものの、主には分別結晶作用により分化したと考えられ、さらにそれを解析するために以下の検討を行った。

5) 石基化学組成

6) 斜長石の形態

7) マスバランス計算

8) 温度・圧力条件の推定

4) 石基化学組成

石基化学組成算出方法として、① 1 枚の薄片につき 2000 ポイントモード測定を行い各斑晶鈹物の体積%を出し、② それぞれの薄片における斑晶鈹物の平均化学組成を各鈹物の化学組成として①で求めた斑晶鈹物の割合で全岩化学組成から引き、③ その結果をトータル 100%として再計算した。なお、モード組成データがあり、鈹物化学組成のデータのないものについては、全岩化学組成上最も近いものの鈹物化学組成データを使用した。

求めた石基化学組成、斑状岩の全岩化学組成をハーカー図に示したものが Fig.4-2-1 である。この図から、いずれの石基化学組成も鳥甲火山噴出物の示す計算前のトレンドの SiO_2 に富む方向にプロットされ、それらは大きくは計算前のトレンドの延長部分に当たる。ただし、 Al_2O_3 、 Na_2O では若干枯渇するトレンドを示し、特に Na_2O では分散が大きい。一方、 Fe_2O_3 、 P_2O_5 では若干富むトレンドを示す。

この結果は、モード組成を用いて全岩化学組成から過剰に斜長石成分を差し引いた事によると思われる。 P_2O_5 で富むことの原因は、顕微鏡下で観察されるアパタイト成分を計算に入れていないことによるものと考えられる。しかしながら石基化学組成の推定結果は、観察された全岩化学組成トレンドが分別結晶作用であることを強く指示している。

5) 斜長石の形態

火山岩中の斜長石には、ガラス包有物、斜長石・輝石・鉄鈹物などの客晶を

含むものが多く認められる。Stage 3 の白くら山溶岩 (Z01、 $\text{SiO}_2=62.05\text{wt}\%$) 中のものには累帯構造に沿った包有物とその外周は若干 An に富むもの (Fig.4-2-2) が認められる。また、カンラン石含有輝石安山岩には、2mm 程度からそれ以上の大きさの An90 を超える斜長石があり、その周辺部だけが急激に正累帯構造を呈し An 成分を急減するもの (Fig.4-2-3) などが存在する。鳥甲火山噴出物中の斜長石には、他に顕著な包有物がなく顕微鏡下で累帯構造を示す斜長石があるが、それらの多くは oscillatory zoning である (Fig.4-2-4)。

カンラン石含有輝石安山岩 (T-08、 $\text{SiO}_2=55.25\text{wt}\%$) の斜長石には Fig.4-2-3 に示すように、大きなものは core の An% が 90 を超え、その大きさが小さくなるに従い core の An% が減じる。ここに認められる大きなものは、マグマ溜まりにおける沈積相を取り込んだ可能性がある。

6) マスバランス計算

カルク・アルカリ系列マグマにおける分別結晶作用を検証する目的で、マスバランス計算による検討を行った。その際、カルク・アルカリ系列マグマの本源マグマとして、Stage 3 尾根山溶岩のカンラン石含有輝石安山岩 (sp.T-08、Fig.4-2-5 の TOP) を用いた。

計算に用いた岩石は、Stage 3 鳥甲山頂溶岩 (sp.T-12、Fig.4-2-5 の TO1)、Stage 3 白くら山溶岩 (sp.Z-02、TO2 および sp.T-10、TO3)、Stage 2 鬼沢-高山沢火砕岩中のデイサイト礫 (sp.OZpy2、TO4) と Stage 1 前倉溶岩 (sp.MAEKURA、TOS) である。また、鉱物化学組成は、鳥甲火山噴出物中の各鉱物の EPMA による分析結果の値の中から最も適当なものを使用した。

Table 4-2-1 に計算結果を示す。計算結果の誤差は、TOP から TOS を求める場合に $R_2=0.320$ とやや大きくなる他は、TOP から TO1、TO1 から TO2、TO1 から TO3、TO3 から TO4 をそれぞれ求める場合は $R_2=0.10$ 以下と小さい。分別鉱物相は、TO1 と TOS を求める場合は斜長石、単斜輝石、斜方輝石、鉄鉱物であり、TO2、TO3、TO4 を求める場合にさらに角閃石を加えた。これは現実のモード組成 (Table 3-4) と整合性がある。また、Fig.4-2-6 に示した全岩 SiO_2 含有量に対する分別鉱物量、残液量の変化を示す。全般的に分散も少なく、残液量は SiO_2 含有量の増加に伴いほぼ直線的な減少傾向を、分別斜長石量はほぼ直線的な増加傾向を示すが、いずれもそれらの傾斜は SiO_2 含有量の増加に従い若干緩くなる。

以上の主成分元素に関してのマスバランス計算からの分別鉱物量を基に、微量成分化学組成、希土類元素化学組成について検討を行った。Fig.4-2-7 に微量元素に関するハーカー図を示す。また、Fig.4-2-8 に REE の C1-chondrite 規格化

パターンを示す。

微量元素に関するハーカー図 (Fig.4-2-7) では、Sr の計算値が若干高いが、これは斜長石-メルト間の分配係数との関連が示唆される。また、Nb は分析値 (実測値) のばらつきが大きく、計算値が若干高いトレンドを形成する。しかし、全般的には、ほぼ鳥甲火山のカルク・アルカリ系列火山岩類のトレンドと一致するととらえられる。また、REE の C1-chondrite 規格化パターン (Fig.4-2-8) では、角閃石、磁鉄鉱の分配係数データの制限から求める事のできた希土類元素は限られるが、ほぼ実測値と計算値のパターンが一致する。Ce(n)/Yb(n)-SiO₂ 図からも、実測値、計算値とも一連のトレンドを示す。

7) 温度・圧力条件の推定

マグマの温度に関して、Wood and Banno (1973)、Wells (1977) の輝石温度計および Putirka et al. (1996) の Cpx-melt 組成を用いた玄武岩質マグマの温度・圧力計により温度・圧力を算出した。ただし、JXA5A で測定した結果については分析値がなく算出できていない。結果を Table 4-2-2 に示す。

輝石温度計による温度の算出に当たっては、各薄片における斜方輝石、単斜輝石それぞれの core および rim 組成の平均を求め、その値を基に計算を行った。輝石温度計による算出結果と全岩 SiO₂ との関係を示した Fig.4-2-9 では、全岩 SiO₂ 含有量の増加に従って、Wells (1977) によると core 温度は 1039°C~926°C、rim 温度は 1056°C~923°C、Wood & Banno (1973) によると core 温度は 968°C~905°C、rim 温度は 979°C~887°C と低下する傾向が認められる。また、core 温度と rim 温度を比較すると、Stage 1、Stage 2 では低下する傾向が認められるのに対し、Stage 3 では上昇する傾向が認められる。それらの変化量は、Wells (1977) によると Stage 1 で -27°C、Stage 2 で -44°C~+7°C、Stage 3 で -13.4°C~+56°C であり、Wood & Banno (1973) によると Stage 1 で -28°C、Stage 2 で -29°C~+1°C、Stage 3 で -20°C~+27°C である。

Stage 3 尾根山溶岩のカンラン石含有輝石安山岩 (T-08) に含有される単斜輝石と全岩化学組成から Putirka et al. (1996) を用いて温度・圧力を算出した結果は、1143°C、3.0kbar である。

さらに、Baker and Eggler (1987) による Di-Ol-Si+Or、Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections にプロットすると (Fig.4-2-10)、2kbar のコーテクティックよりも Pl 成分あるいは Di 成分の低い領域にプロットされる傾向がある。

以上の事から、鳥甲火山噴出物の火山岩類から推定されるカルク・アルカリ系列マグマの分化は、およそ 2kbar より低圧の環境下でのマグマ溜まりにおいて行われたと考えられる。その分化作用は、Stage 2 以降の全岩 SiO₂ 含有量等や

斑晶斜長石 An%に認められる広範化、輝石の core-rim 温度の関係等から、Stage 2 に新たなマグマが供給される事による混合作用が推測できる。Stage 2 以降、玄武岩質安山岩マグマの何回かの供給イベントが認められるものの、斜長石形態等から混合作用の影響は大きくはなく、主たる分化作用は分別結晶作用であると考えられる。

以上の鳥甲火山噴出物についての検討をまとめると

- ① 全岩化学組成および求めた石基化学組成は、Stage 1 をのぞきいずれも系統的なトレンドを形成し、一連の分化物であることがわかる。
- ② 斜長石の形態や化学組成上の特徴、斑晶輝石化学組成から求めた温度とその変化から、Stage 2 以降に新たなマグマの供給が示唆される。
- ③ マスバランス計算から、主たる分化作用は分別結晶作用と考え矛盾はしない。
- ④ マグマ溜まりは、Putirka et al. (1996) と Baker and Eggler (1987) を基に、およそ 3kbar 程度と推定される。

以上の点は、先に述べた鳥甲火山噴出物の特徴を指示する。すなわち、鳥甲火山噴出物を形成するカルク・アルカリ系列マグマの分化過程は、およそ 3kbar の環境下のマグマ溜まりで行われ、Stage 2 以降に $\text{SiO}_2=55\%$ 前後の尾根山溶岩に相当するような組成のマグマの供給が Stage 1 から分化したデイサイトマグマ中に行われた。このようなマグマの最初の供給によって Stage 2 の初期に爆発的な噴火とともに火砕流の噴出が起こったと推定できる。鳥甲火山噴出物から報告されたマグマ混合を示す縞状溶岩および Stage 2 火砕流における安山岩とデイサイトの混交現象（五十嵐，1992）は、新たなマグマ供給によるマグマ混合作用によるものと考えられる。カルク・アルカリ安山岩質マグマによる内部混合作用（internal mixing）であり、鳥甲火山噴出物は、内部混合作用を行いながら分別結晶作用によって形成されたと考えられる。また、斑れい岩-閃緑岩、花崗岩類包有物は集積相である可能性が高いと結論づけられる。

Fig.4-2-11 に鳥甲火山周辺の新第三系に貫入する貫入岩、すなわち、切明および小赤沢の石英閃緑岩、鳥甲山滝沢入り口と五宝木の石英流紋岩と本地域北北東に位置する清津峡-七ツ釜の石英閃緑玢岩類を含めたハーカー図を示す。これら鳥甲火山噴出物と貫入岩類は、いずれの酸化物についてもほぼ一連のトレンドを示す。川野（2000）は、本地域を含めた北部フォッサ・マグナの新第三紀花崗岩類の Sr、Nd 同位対比を報告している。Fig.4-2-12 に、本地域鮮新-更新統火山噴出物（捕獲岩、毛無火山噴出物を含む）、鮮新統米山火山岩類、上部中新統西田尻火山岩類、上部中新統-下部鮮新統高井火山岩類の同位体データ（本研究）と川野（2000）の須坂-上田地域と巻機-谷川地域の新第三紀花崗

岩類および Shuto et al. (1988) の北部フォッサ・マグナ西部に分布する鮮新世カルク・アルカリ安山岩とその斑れい岩質捕獲岩、Shimazu et al. (1991) の苗場火山噴出物中の斑れい岩質捕獲岩を ϵ Nd- ϵ Sr 図を示す。本地域火山噴出物、とりわけ“中央隆起帯”新第三紀花崗岩類上で噴出した鳥甲火山噴出物と高井火山岩類が、川野 (2000) の示す最もデプリートした、“中央隆起帯”北部を構成する須坂-上田地域のものとはほぼ重なる。この事は、これら新第三紀花崗岩類との関連を示唆するものかもしれない。しかしながら現段階でこれを結論づけることはできない。

3. 関田山脈～志久見川流域の火山岩類と鳥甲火山噴出物の成因関係

関田山脈～志久見川流域のソレアイト系列火山岩類と鳥甲火山のカルク・アルカリ系列火山岩類の成因関係について

- 1) ソレアイト系列火山岩類とカルク・アルカリ系列火山岩類の比較
- 2) ソレアイト系列マグマからカルク・アルカリ系列マグマの生成に関する検討
- 3) ソレアイト系列マグマとカルク・アルカリ系列マグマの分化過程の検証の項目に沿って検討する。

1) ソレアイト系列火山岩類とカルク・アルカリ系列火山岩類の比較

1-1) マグマ混合作用

本調査地域に分布する両岩系の火山岩類には、前述の通りマグマ混合作用を示す特徴が認められる。すなわち、ソレアイト系列火山岩類では、極野部層中の紫蘇輝石普通輝石カンラン石玄武岩 (sp.9081901) 中の斜長石の形態・化学組成であり、カルク・アルカリ系列火山岩類では、Stage 2 以降の火山岩 SiO_2 組成幅と斜長石 An% 幅の拡大や banded lava の存在などである。しかしながら、ソレアイト系列火山岩類に認められる混合作用は、Sakuyama (1981) が示したような内部混合によりカルク・アルカリ岩を形成するほどのものではない。また、カルク・アルカリ系列火山岩類に認められる混合作用は、ソレアイト系列火山岩類に認められるものより顕著なものであるが、同位体組成の変化幅がほとんどないことから、同様のカルク・アルカリ系列マグマ間における内部混合作用 (internal mixing) である。

1-2) 全岩化学組成に関する比較

全岩化学組成に関しては、関田山脈～志久見川流域の火山岩類、鳥甲火山噴出物についてのハーカー図 (Fig.4-3-1) に示すように、 K_2O および Fe_2O_3 、 MnO 、 CaO に関して同様のトレンドを示す。一方、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 P_2O_5 ではソレアイト質火山岩類がカルク・アルカリ系列火山岩類に比べ高いトレンドを示し、 MgO では、カルク・アルカリ系列火山岩類の方が高いトレンドを示すという違いがある。また、 $\text{MgO-K}_2\text{O}$ 図 (Fig.4-3-2) においても両者は明確に区分できる。

しかし、全岩石基化学組成について示したハーカー図 (Fig.4-3-3) では、 MgO でカルク・アルカリ系列火山岩類が高い傾向を示すことを除いて、カルク・アルカリ系列火山岩類が、より SiO_2 に富むほぼ一連のトレンドを示すようになる。Fig.4-3-4 に示した石基に関する $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2-\text{FeO}^*/\text{MgO}$ 、MFA の各図では、カルク・アルカリ質火山岩類に分散傾向が認められるようになり、ソ

レアイト質火山岩類と重なるものも現れてくる。

両岩系の塩基性火山岩についての Primitive mantle normalized spidergram (Fig.4-3-5) におけるパターンでは、大きな違いは認められない。

一方、REE に関しての C1-chondrite-normalized pattern (Fig.4-3-6) では、カルク・アルカリ系列火山岩類の方が、より HREE に枯渇し LREE に富むパターンを示す。

また、Sr、Nd 同位対比については、両岩系に有意な差は認められない。どちらの岩系も SiO₂ に対する系統的な変化はなく、Sr、Nd 同位対比は同様の狭い範囲に入る。

1-3)全岩化学組成・輝石温度計からの検討

1-3-1)マグマ分離震度の推定

吉田ほか(1995)は、62Ma→現在に至る東北日本弧の火山岩 data に基づき、SiO₂ で規格化したアルカリ量(Aramaki and Ui, 1983)を用いてマグマ分離深度の推定し、マグマ分離深度の時間的変遷とテクトニクスとの関係について述べ、さらにマグマ起源物質について検討している。また、推定した第四紀火山岩のマグマ分離深度が、地震学的に得られている低速度・高減衰域の領域内に入り、両者が密接に関連したものであることを示していることから、その有効性が認められる。

吉田ほか(1995)が示した SiO₂ で規格化したアルカリ量を用いてマグマ分離深度(DMS)の推定(あくまでも第一次近似的な概算としている)方法は、下記の通りである。

$$\text{DMS(kb)}=5.18 \times (\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O at SiO}_2=60\%)-4.74$$

$$\text{※ K}_2\text{O(SiO}_2=60\%)= [(1.19 \times \text{K}_2\text{O}+0.804)/(0.0365 \times \text{SiO}_2-1.0)] -0.674$$

$$\text{Na}_2\text{O(SiO}_2=60\%)=\text{Na}_2\text{O}-0.0825 \times (\text{SiO}_2-60.0)$$

なお、この前提は、圧力が 10-30kb の合成実験の範囲内であり、Tatsumi et al. (1983)における、カンラン石ソレアイト・高アルミナ玄武岩・アルカリカンラン石玄武岩の初成マグマは、それぞれ 0、1.5、3.0wt%の H₂O を含む場合、11kbar 1320°C、17kbar 1320°C、23kbar 1320°Cで複数相飽和点を持つという点である。つまり、DMS は 1320°Cの等温線を示している事になる。

この推定法を用いて両岩系のマグマ分離震度求めた。求めるに当たって、全岩化学組成の全データからの平均値を用いた。その結果は、ソレアイト系列火山岩類で 19.3Kbar、カルク・アルカリ系列火山岩類で 17.5kbar となった。

1-3-2)プロセス判定図からの検討

インコンパティブル元素同士を組み合わせる事により、マグマ起源物質における元素含有量比の違いの識別、部分融解度の大小を論じる事は可能であり、

異なる起源物質から派生したマグマを識別することも可能である。この事を基に Allegre et al.(1977, 1978)により提案されたプロセス判定法、さらに Hofmann et al.(1983)により改良されたプロセス判定法を、吉田ほか (1988, 1995) は具体的に東北日本弧の火山岩類に適用した。その吉田ほか (1988, 1995) のプロセス判定図にフォッサ・マグナ地域の火山岩類と合わせてプロットしたのが Fig.4-3-7 である。このプロセス判定図から、同様の起源物質を基にしていることと、ソレイト系列火山岩類の方がカルク・アルカリ系列火山岩類より部分融解度の高いことが示される。

1-3-3) 分化過程の圧力環境 (マグマ溜まりの深さ) の検討

Putirka et al. (1996) は、玄武岩質岩における単斜輝石と液相組成との関係の実験結果から、その温度・圧力を算出する方法を提案した。また、Baker and Eggler (1987) は、アラスカの高アルミナ玄武岩の融解実験を基に、ノルム図上で 2kbar、5kbar のコーテクティックを示している。

Putirka et al. (1996) を基に計算すると、ソレイト系列火山岩 ($\text{SiO}_2=51.15\%$) では 4.9kbar-1116°C、カルク・アルカリ系列火山岩 ($\text{SiO}_2=55.25\%$) では 3.0kbar-1143°Cとなる。

また、Baker and Eggler (1987) の図にプロットした Fig.4-3-8 では、ソレイト系列火山岩が 5kbar のコーテクティックに沿って、カルク・アルカリ系列火山岩が 2kbar と 5kbar のコーテクティックの間にプロットされる。また、ソレイト系列火山岩の中の無斑晶質岩は、カルク・アルカリ系列火山岩類のトレンドと重なる傾向が認められる。

以上のことから、ソレイト系列火山岩類の形成環境 (マグマ溜まり) は、5kbar~3kbar、カルク・アルカリ系列火山岩類のそれは 3kbar 以下と考えられる。

1-3-4) 輝石温度計からの検討

Wells (1977)、Wood and Banno (1973) の輝石温度計を用いて、両岩系火山岩の温度を算出し、全岩 $\text{SiO}_2(\text{wt}\%)$ に対しての変化を示したのが Fig.4-3-9 である。温度を算出するに当たっては、各輝石 core の組成平均を求め、その値を使用した。

Fig.4-3-9 から明らかなように、ソレイト系列火山岩類の示す温度はカルク・アルカリ系列火山岩類の示すものより高く、傾斜が緩い傾向がある。この事は、温度低下に伴う分別結晶量は、ソレイト系列マグマの方がカルク・アルカリ系列マグマに比較して若干多いと考えられる。

2) ソレイト系列マグマからカルク・アルカリ系列マグマの生成に関する検討

Yamaguchi (1990) は、武尊火山のソレイト系列火山岩類と赤城火山のカルク・アルカリ系列火山岩類を比較・検討し、結晶分化作用の条件の違いによって両岩系が形成されるとしている。具体的には、両者の同じ SiO_2 含有量変化の間における温度低下量が赤城火山のマグマのほおが大きい点、石基 SiO_2 含有量に対する石基 Al_2O_3 含有量が赤城火山のマグマの方が高い点を示し、その相違が赤城火山の親マグマの H_2O 含有量が武尊火山の親マグマの H_2O 含有量に比べ多いとした。そして、 SiO_2 - FeO^*/MgO 図における両マグマの分化トレンドの違いは、それぞれの斜長石分別量の違いによると結論づけた。

本調査地域におけるソレイト系列火山岩類とカルク・アルカリ系列火山岩類の石基化学組成は前述 (Fig.4-3-3) の通りであり、 Al_2O_3 含有量については、ソレイト系列無斑晶質岩とカルク・アルカリ火山岩の石基組成は一連のトレンドを形成するが、ソレイト系列斑状岩の石基組成はそれらに対して低く、ややばらつきプロットされる。Yamaguchi (1990) の議論に基づけば、ソレイト系列無斑晶質岩とカルク・アルカリ火山岩の石基組成に有意な差がないことから、マグマ溜まり内における H_2O 含有量に大差はないということになる。にもかかわらず、カルク・アルカリ系列火山岩類にはデイサイト組成で角閃石等の含水鉱物が認められる。この事は、石基化学組成に認められるカルク・アルカリ系列火山岩類の SiO_2 含有量の高い事 (Fig.4-3-3)、輝石温度計による温度と SiO_2 含有量との関係からカルク・アルカリ系列火山岩類の示す値が低く、温度低下がソレイト系列火山岩類より大きい事 (Fig.4-3-9) と関係するとも考えられる。

そこで、 H_2O 含有量を仮に同程度と考え、検討素材から除外し、ソレイト系列火山岩類からカルク・アルカリ系列火山岩類を形成することの可能性を検討する。方法としてマスバランス計算を用い、 FeO^*/MgO 値の低いソレイト系列玄武岩 (TGP、TP1) - 玄武岩質安山岩 (TP2) から最も SiO_2 に乏しいカルク・アルカリ安山岩 (CP) を生成できるかどうかを検討した (Fig.4-3-10)。その結果、マスバランス計算上は、

- ① 斜長石(23.7%)、カンラン石(4.6%)、斜方輝石(2.1%)、Fe-Ti 鉱物(3.0%)の分別
- ② 斜長石(31.3%)、単斜輝石(0.1%)、斜方輝石(0.2%)、Fe-Ti 鉱物(2.6%)の分別
- ③ 斜長石(13.5%)、カンラン石(0.8%)、Fe-Ti 鉱物(1.6%)の分別

等で生成することは可能である。

さらにこの結果について、インコンパティブル元素と REE について検証を行う。検証方法は、レイリー分別モデルを用い、インコンパティブル元素の分配

係数については Gill (1981) を、REE の分配係数については Martin (1987) を使用し、生成されたカルク・アルカリ安山岩におけるそれらの含有量を求めた。そして、その結果について、インコンパティブル元素に関しては吉田ほか(1988、1995)のプロセス判定図 (Fig.4-3-11) に、REE に関しては C1-chondrite normalized pattern 図 (Fig.4-3-12) に示した。

プロセス判定図からは、求めた値はいずれも関田地域の示す値より原点に近い側に、鳥甲火山の示す値とは反対側にプロットされる。C1-chondrite normalized pattern 図からは、最も未分化なカルク・アルカリ安山岩より REE に高く、特に HREE に高いパターンを示し、また Eu の負のアノーマリーが認められるようになる。

以上の結果から、本地域においては、ソレイト系列マグマからカルク・アルカリマグマを形成することはできない事が明確となり、Yamaguchi (1990) が示したような、結晶分化作用の条件の違いによって両岩系が形成されるという事は否定される。

3) ソレイト系列マグマとカルク・アルカリ系列マグマの分化過程の検証

1)、2)の検討から、ソレイト系列火山岩類とカルク・アルカリ系列火山岩類の分化過程についてまとめると

- ① Sr、Nd 同位対比が同様に狭い範囲にはいることから、マグマ起源物質は同様のものと考えられる。この点は、プロセス判定図 (吉田ほか、1988、1995) によっても支持される。
- ② プロセス判定図から推定される起源物質の部分融解度は、ソレイト系列火山岩類の方がカルク・アルカリ系列火山岩類よりも高い。
- ③ アルカリ含有量から推定したマグマ分離震度 (吉田ほか、1995) は、ソレイト系列火山岩類=19.3kbar、カルク・アルカリ系列火山岩類=17.5kbar を示す。
- ④ マグマ溜まりの深さ (結晶分化作用の圧力条件) の違いについて、Putirka et al. (1996)、Baker and Eggler (1987) によって推定すると、ソレイト系列火山岩類≒5-3kbar、カルク・アルカリ系列火山岩類≒3-kbar となる。
- ⑤ マグマ溜まり (結晶分化作用時) の温度はカルク・アルカリ系列火山岩類の方がソレイト系列火山岩類より低温で、温度減少傾向はカルク・アルカリ系列火山岩類の方がソレイト系列火山岩類より大きい。
- ⑥ ⑤との関係で、マグマ溜まり内での最終的な H₂O 含有量は、カルク・アルカリ系列マグマの方がソレイト系列マグマより高い。カルク・アルカリ系列デイサイトマグマにおける H₂O 含有量は、Sakuyama (1979) が示した、お

よそ 5kbar における石英・角閃石・黒雲母の晶出順序による H₂O 量の推定法に基づけば、鳥甲火山噴出物では石英・角閃石がほぼ同じ全岩 SiO₂ 含有量で認められる事から、2wt%±と考えられる。

以上の事柄に基づき、Melts プログラムを用い、マグマ溜まり内におけるソレイト系列火山岩類およびカルク・アルカリ系列火山岩類の分別結晶作用をシミュレートした。その条件として、ソレイト系列火山岩類には 5000→3000bar、1250→950°C、QFM+1 のバッファーを、カルク・アルカリ系列火山岩類は 3000bar、1150→850°C、QFM+1 のバッファーをそれぞれに設定し、それぞれの H₂O 含有量を変化させ、その計算結果が最も適切なものを推定した。その結果、ソレイト系列火山岩類では親マグマ (SiO₂=53.85wt%) に H₂O=0.5wt% を、カルク・アルカリ系列火山岩類では親マグマ (SiO₂=55.25wt%) に H₂O=1.2wt% を添加した場合、それぞれの計算結果は、それぞれの火山岩類についてのハーカー図 (Fig.4-3-13、Fig.4-3-14) におけるトレンドをほぼ再現する。

以上の事から、H₂O 含有量はカルク・アルカリ系列マグマの方が高い事が推定された。

4. 関田山脈―志久見川流域のソレイト系列初成マグマと鳥甲火山のカルク・アルカリ系列初成マグマについての検討

前項までで、関田山脈―志久見川流域の火山岩類はソレイト系列マグマの分別結晶作用、鳥甲火山噴出物がカルク・アルカリ系列マグマの分別結晶作用で生成されたことを明らかにした。また、ソレイト系列玄武岩―塩基性安山岩マグマからカルク・アルカリ系列安山岩を分別結晶作用により生成することが不可能であることも示した。しかしながら、本地域のソレイト系列およびカルク・アルカリ系列火山岩の Sr、Nd 同位対比がほぼ一致する事、また、プロセス判定図上で同一のトレンドにのる事からも、同様のマントル起源マグマから生成されたと考えられる。

本項では、ソレイト系列初成マグマとカルク・アルカリ系列初成マグマの起源について検討する。

1) 希土類元素 (REE) からの検討

Fig.4-4-1 に REE に関するハーカー図を示す。なお、鳥甲火山噴出物のデイサイトの REE に関しては、ICP-MS と XRF での Zr 含有量の比較から、ICP-MS 分析に際して作製した試料溶液にジルコン、アパタイト等が溶解切れていない事が考えられるため、プロットから外した。

全般的な傾向として関田山脈地域および志久見川流域のソレイト系列火山岩類の示すトレンドと毛無火山噴出物の示すトレンドは大まかに一致し、同様の傾斜を示す。一方、鳥甲火山噴出物の示すトレンドは、他と比較し明らかに傾斜が緩く、それは HREE で顕著である。また、関田山脈地域、志久見川流域地域、毛無火山の火山岩類の示すトレンドについて詳細に見ると、志久見川流域地域と毛無火山のトレンドは、特に HREE において鳥甲火山のトレンドに近づく傾向も認められる。さらに特徴的なことは、それぞれの近似直線が $\text{SiO}_2=50\text{wt}\%$ 付近で全てのトレンドが一点に集中することである。

この結果を基に、 $\text{SiO}_2=50\text{wt}\%$ 、 $\text{SiO}_2=55\text{wt}\%$ 、 $\text{SiO}_2=60\text{wt}\%$ 、 $\text{SiO}_2=65\text{wt}\%$ の REE 含有量を計算によって求め、C1-chondrite normalized pattern に示したのが Fig.4-4-2 である。4つの地域の $\text{SiO}_2=50\text{wt}\%$ でのパターンが類似すること、鳥甲火山地域のものが、他の地域のものが分化に従い REE の平行濃集が認められるのに対し、分化するにつれ LREE が HREE に比較して富む右下がりの急傾斜のパターンを示す。これは鳥甲火山のマグマの分化に角閃石の分別が関わっていること（前述）による。

2) Sr、Nd 同位体からの検討

Fig.4-4-3 に、関田山脈地域、志久見川流域地域、鳥甲火山、毛無火山からの火山岩類、鳥甲火山噴出物中の捕獲岩の SrI、NdI と全岩 SiO₂ 含有量の関係を示す。これら火山岩類と捕獲岩類の示す SrI、NdI はほぼ同様な値を示し、SiO₂ 含有量の変化に伴う系統的な変化は認められない。

3) 微量元素からの検討

Fig.4-4-4 に、関田山脈地域、志久見川流域地域、鳥甲火山、毛無火山からの火山岩類について、SiO₂=55wt%での K、Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Ba、Ce 含有量を求め、Primary mantle (Sun & McDonough, 1989) で規格化したパターンを示す。この図からも Fig.4-4-2 と同様に、志久見川流域と毛無火山の火山岩類の類似性が認められる。また、これらは LILE では鳥甲火山の火山岩類に類似し、HFSE では関田山脈地域火山岩類の示すパターンに類似する。

REE の特徴等から、関田山脈～志久見川地域のソレイト系列マグマと鳥甲火山のカルク・アルカリ系列マグマには、SiO₂=50wt%前後での同一性が認められる。そこで、Fig.4-4-5 に示すソレイト系列無斑晶質岩の示すトレンドとカルク・アルカリ系列火山岩類の示すトレンドとから、SiO₂=50wt%程度の共通マグマを設定し、その共通マグマからソレイト系列マグマ、カルク・アルカリ系列マグマを生成できるか、Melts プログラムを使用し分別結晶モデルで検討した。設定条件は、①5kbar、QFM+1 バッファー、H₂O=1.2wt% と②2kbar、QFM+1 バッファー、H₂O=1.2wt% である。その結果を Table 4-4-1 に示す。ハーカー図 (Fig.4-4-6) では、若干 Fe₂O₃ と MgO など計算結果が低くプロットされるが、ほぼ復元できたものととらえられる。また、SiO₂-FeO*/MgO 図 (Fig.4-4-7) では、5kbar での分別結晶モデルがソレイト系列の分化トレンドを、2kbar での分別結晶モデルがカルク・アルカリ系列の分化トレンドを再現している。また、その際の各鉱物の分別結晶量と液量の全岩 SiO₂ 量に対する変化を Fig.4-4-8 に示す。初期段階における分別鉱物に関する相違は Cpx 量が 5kbar で多い事があげられる。

以上の結果から、共通のマグマから初期分別結晶作用の圧力条件の相違によりソレイト系列、カルク・アルカリ系列のマグマを生成する事が可能である事がわかる。

V. 結論

本研究では、北部フォッサ・マグナの“中央隆起帯”北縁地域、関田山脈～志久見川流域地域、鳥甲火山地域、毛無火山地域の鮮新世末から前期更新世のマグマ活動について、地質学的・岩石学的な検討を行った。それにより得られた結論は

- 1) 鮮新世末から前期更新世の火山活動は、関田山脈地域から始まり志久見川流域地域および毛無火山地域、そして鳥甲火山地域へと南南東に向かって移動した。
 - 2) 関田山脈地域と志久見川流域地域の火山岩類はソレイト系列であり、鳥甲火山の火山岩はカルク・アルカリ系列である。また、毛無火山の火山岩はソレイト系列のものが多く、火山体の南側を構成するものほど、新しい時代のものほどカルク・アルカリ系列のものが認められるようになる。また、岩石化学的な特徴から、毛無火山噴出物は志久見川地域の火山岩類に近い性質を示す。
 - 3) 関田山脈地域、志久見川流域地域のソレイト系列火山岩は、ソレイト系列マグマのカンラン石、輝石、斜長石、Fe-Ti 鉱物による分別結晶作用により生成された。
 - 4) 鳥甲火山のカルク・アルカリ系列火山岩は、内部混合は認められるものの、主な分化は輝石、斜長石、Fe-Ti 鉱物と角閃石による分別結晶作用により生成された。
 - 5) ソレイト系列火山岩とカルク・アルカリ系列火山岩の初成マグマは、共通のマグマから生成可能であり、その生成条件は 5kbar と 2kbar という分別結晶作用の行われた深さのちがいによる。
 - 6) 現在認められるソレイト系列火山岩およびカルク・アルカリ系列火山岩のいずれにも未分化な岩石は認められない。すなわちマグマ溜まりでの分化以前に既に分化している。
- である。

なお、以下に残された課題を挙げておく。

- 1) 本地域の鮮新世末～前期更新世のマグマ活動の北部フォッサ・マグナでの位置づけ、テクトニクスとの関係は、今後の検討課題である。6Ma 前後のマグマ活動と合わせて検討する必要がある。
- 2) 6Ma 前後に、本地域では、鮮新世末～前期更新世のマグマ活動と同様のものが認められる。すなわち“中央隆起帯”北縁部に沿って分布する西田尻層火

山岩に認められるソレイト質火山岩と“中央隆起帯”地域に分布する高井火山岩に認められるカルク・アルカリ質火山岩の存在である。これらについて、今回同位体分析を行った。その結果、西田尻層の火山岩は高井火山岩、鮮新世末～前期更新世の火山岩と比べ Sr 同位対比が高い点で違いが認められる (Fig.5-1)。広瀬・大場 (2004) の示した清津峡半深成岩体の Sr 同位対比も西田尻層火山岩と同様の値を示すことから両者の関連が示唆される。“中央隆起帯”に分布する新第三紀花崗岩類との関係も含めて更に検討していく必要がある。

- 3) ソレイト系列未分化マグマとカルク・アルカリ系列未分化マグマの生成プロセスについて未確認の問題として、マントル起源物質とマントルの部分融解プロセスの推定があげられる。
- 4) 鮮新世末～前期更新世のマグマ活動が関田山脈地域から南南東方向へ移動するにつれ、ソレイト質マグマからカルク・アルカリ質マグマにマグマの性質も変化する。Fig.5-2 に示すようなマグマ分離深度が南南東方向へ向かって、時間経過に従っての浅部へ移動する。これが最上部マントルにおける溶融体の移動と見ると、カルク・アルカリ質マグマへの H₂O の濃集も理解しやすい。しかしながら、これを証明する証拠が現在のところない。
- 5) 全般的な岩石学的検討に際し、マグマ生成に対する Fluid の関与についての検討が重要となる。その際、Pb 同位体をはじめ様々な同位体による検討が必要になってくる。

引用文献

- 赤羽貞幸 (1973) 志賀高原周辺の第四紀火山の基盤岩類と構造. 信州大学教育学部志賀自然教育研究施設研究業績, 12, 121-131.
- 赤羽貞幸 (1976) 志賀高原周辺の地質. 信州大学教育学部志賀自然教育研究施設研究業績, 15, 21-30.
- 赤羽貞幸 (1979) 北部フォッサ・マグナ地域における後期新生代の地質構造発達史 (I). 信州大学教育学部志賀自然教育研究施設研究業績, 18, 1-23.
- 赤羽貞幸 (1980) 北部フォッサ・マグナ地域における後期新生代の地質構造発達史 (IV). 信州大学教育学部志賀自然教育研究施設研究業績, 19, 1-17.
- 赤羽貞幸 (1988) 北部フォッサ・マグナ地域における後期新生代層の層序. 総研連絡紙「日本海」, 1, 19-20.
- 赤羽貞幸 (1981a) 北部フォッサ・マグナ地域における後期新生代の地質構造発達史 (II). 信州大学教育学部紀要, 44, 191-200.
- 赤羽貞幸 (1981b) 北部フォッサ・マグナ地域における後期新生代の地質構造発達史 (III). 信州大学教育学部紀要, 45, 273-282.
- Allegre, C. J., Treuil, M., Minster, J. F., Minster, B. and Albarede, F. (1977) Systematic use of trace element in igneous process, part 1. Fractional crystallization processes in volcanic suites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 60, 57-75.
- Allegre, C. J. and Minster, J. F. (1978) Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38, 1-25.
- Aramaki, S. and Ui, T. (1983) Alkali mapping of the Japanese Quaternary volcanic rocks. *Journal of volcanology and geothermal research*, 18, 549-560.
- Baker D. R. and Eggler D. H. (1987) Compositions of anhydrous and hydrous melts coexisting with plagioclase, augite, and olivine or low-Ca pyroxene from 1 atm to 8 kbar; Application to the Aleutian volcanic center of Atka. *American Mineralogist*, 72, 12-28.
- Carmichael, I. S. E. (1964) The petrology of Thingmuli, a Tertiary volcano in eastern Iceland. *Journal of Petrology*, 5, 435-460.
- 茅原一也・周藤賢治・北脇裕士・鈴木雅彦 (1984) 難波山堆積、構造区における火成活動, 特に hypabyssal-extrusive association について. *地質学論集*, 24, 31-44.
- 茅原一也・布施 弘・土屋彰義 (1977) 苗場山の地質. *新潟の自然*, 第3集, 37-52.

- 江星山火山岩団体研究グループ (1983) 糸魚川市東方江星山周辺の第三紀末の火山岩. 地団研第 37 回総会シンポジウム資料集, 204-208.
- Fujimaki H., Tatsumoto M. and Aoki K. (1984) Partition coefficients of Hf, Zr and REE between phenocrysts and groundmasses. Proceedings of the fourteenth lunar and planetary science conference, Part 2. J. Geophys. Res., 89, Suppl. B662-B672.
- Gill, J. B. (1981) Orogenic Andesites and Plate Tectonics. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Gust, D. A., Arculus, R. J. and Kersting, A. B. (1997) Aspects of magma sources and processes in the Honshu arc. The Canadian Mineralogist, 35, 347-365.
- 長谷中利昭 (1976) 苗場火山の地質と岩石 (演旨). 火山, 第 2 集, 21, 211.
- 長谷中利昭・吉田武義・早津賢二 (1995) 妙高火山群溶岩の化学組成とマグマ溜まり過程. 東北大学核理研研究報告, 第 28 巻, 第 1 号, 43-82.
- Hofman, A. W. and Feigenson, M. D. (1983) Case studies on the origine of basalt
1. Theory and reassessment of Grenada basalts. Contrib. Mineral. Petrol., 84, 382-389.
- 本間不二男 (1931) 信濃中部地質誌. 古今書院, 331p.
- Huilong Xu and Yasue Oki (2004) The expulsion of geopressed hydrothermal system associated with the destructive earthquakes and buried active faults in the Shinanogawa seismic belt, Japan. The Island Arc, 13
- 五十嵐聡 (1986) 北信地域第四紀火山岩の岩石学的研究 (手記). 新潟大学大学院理学研究科修士論文
- 五十嵐聡 (1990) 北部フォッサ・マグナ, 北信地域鮮新世-更新世火山岩類. 法政大学第二高等学校「研究と評論」, 44, 24-40.
- 五十嵐聡 (1992) 北部フォッサ・マグナ, 志賀高原-津南町周辺の鮮新世-更新世火山岩類. その 1 ; 鳥甲火山の火山岩類. 地球科学, 46, 325-338.
- 五十嵐聡・若杉肇 (1998) 北部フォッサ・マグナ地域の後期中新世-前期更新世の火山岩類. 地団研第 52 回総会シンポジウム資料集
- 五十嵐聡・高橋尚靖・大橋 克・喜多孝行・島津光夫 (1984) 新潟, 長野県境付近の津南-志賀地域の鮮新-更新世の火山岩類. 地質学論集, 24, 3-19.
- 飯島南海夫 (1953) 志賀火山群の岩石学地質学的研究. 信州大学教育学部研究論集, 3, 205-218.
- 飯島南海夫 (1962) フォッサ・マグナ北東部の火山層序学的並びに岩石学的研究 (その 1) -火山層序学的研究-. 信州大学教育学部紀要, 12, 86-133.
- 飯島南海夫 (1962) フォッサ・マグナ北東部の火山層序学的並びに岩石学的研

- 究 (その1). 信州大学教育学部紀要, 12, 86-133.
- 飯島南海夫 (1963) フォッサ・マグナ北東部の火山層序学的並びに岩石学的研究 (その2). 信州大学教育学部研究論集, 14, 91-112.
- 井須紀文・吉田武義・青木謙一郎 (1986) 北八ヶ岳火山噴出物の地球化学的研究. 東北大学核理研研究報告, 19, 321-334.
- 金子隆之 (1988) 志賀高原北部, 毛無火山の地質と岩石. 地質雑, 92, 75-89.
- Kaneko, T. (1995) A kinematic subduction model for the genesis of back-arc low-K volcanoes at a two-overlapping subduction zone, central Japan: another volcanic front originated from the Philippine Sea plate subduction. *Journal of volcanology and geothermal research*, 66, 9-26.
- 金子隆之・清水 智・板谷徹丸 (1989) K-Ar 年代から見た信越高原地域の火山活動. 岩鉱, 84, 211-225.
- Kato Hirokazu (1992) FOSSA MAGNA - A masked border region separating southwest and northeast Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 43, 1-30.
- 加藤碩一・赤羽貞幸 (1986) 長野地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 120p.
- 加藤碩一・佐藤岱生 (1983) 信濃池田地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 93p.
- 川野良信 (2000) 北部フォッサマグナ新第三紀花崗岩類の起源. 地球, 号外, 30, 227-231.
- 風岡 修・立石雅昭・小林巖雄 (1986) 新潟県魚沼地域の魚沼層群の層序と層相. 地質雑, 92, 829-853.
- Kimura, J., Yoshida, T. and Takaku, Y. (1995) Igneous rock analysis using ICP-MS with internal standardization, isobaric ion overlap correction, and standard addition methods. *Science Report of Fukushima University*, 56, 1-12.
- Kimura, J. and Yamada, Y. (1996) Evaluation of major and trace element XRF analyses using a flux to sample ratio of two to one glass beads. *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 91, 62-72.
- Kimura, J., Yoshida, T. and Iizumi, S. (2002) Origin of Low-K Intermediate lavas at Nekoma Volcano, NE Honshu Arc, Japan: Geochemical Constraints for Lower-Crustal Melts. *Journal of Petrology*, 43, 631-661.
- 小林国夫 (1957) フォッサ・マグナ地域の構造発達史. 地団研松本支部, 44p.
- 小林巖雄・立石雅昭・黒川勝己・吉村尚久・加藤碩一 (1989) 岡野町地域の地

- 質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 112p.
- 小林巖雄・立石雅昭・吉村尚久・上田哲郎・加藤碩一 (1995) 柏崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 102p.
- Kobayashi, K. and Nakamura, E. (2001) Geochemical Evolution of Akagi Volcano, NE Japan: Implications for Interaction Between Island-arc Magma and Lower Crust, and Generation of Isotopically Various Magmas. *Journal of Petrology*, 42, 2303-2331.
- 小坂共栄 (1985) 信越方向, 大峰方向ならびに津南-松本線. 信州大学理学部紀要, 19, 121-141.
- Kuno, H. (1968) Differentiation of basalt magmas. Basalts(H. H. Hess and A. Poldervaart eds.), New York, 623-688.
- 倉沢辰巳・佐藤 明・木崎善雄 (1985) 草津白根火山およびその基盤岩類の地質年代. 22,4(no.,332-348,(日本地熱調査会)
- Le Maitre R. W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre Le Bas M. J., Sabine P. A., Schmid R., Sorensen H., Streckeisen A., Woolley A. R. and Zanettin B. (1989) A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford.
- Martin, H (1987) Petrogenesis of Archean trondhjemites, tonalites, and granodiorites from Eastern Finland: major and trace element geochemistry. *Journal of Petrology*, 28, 921-953.
- Matsuhisa, Y. and Kurasawa, H. (1983) Oxygen and Strontium isotopic characteristics of calc-alkalic volcanic rocks from the central and western Japan arcs: Evaluation of contribution of crustal components to the magmas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 18, 483-510.
- 緑 鉄洋・小坂共栄・保柳康一。久保田正史 (1990) 北部フォッサマグナ中央部の新第三系層序・対比. 総研報告「日本海沿岸後期新生代層の層序と古環境の変遷」, 21-29.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274, 321-355.
- Miyazaki, T. and Shuto, K. (1998) Sr and Nd isotope ratios of twelve GSJ rock reference samples. *Geochemical Journal*, 32, 345-350.
- 森本良平・村井 勇・松田時彦・中村一明・恒石幸正・吉田鎮男 (1966) 松代群発地震地域とその周辺地方の地質. 東京大学地震研究所彙報, 44, 423-445.
- 本吉洋一・白石和行 (1995) 蛍光 X 線分析装置による岩石の定量化学分析:(1)

- 主要元素. 南極資料, 39, 40-48.
- 本吉洋一・石塚英男・白石和行 (1996) 蛍光 X 線分析装置による岩石の定量化学分析: (2) 微量元素. 南極資料, 40, 53-63.
- 村松敏雄 (1985) 新潟県下に分布する新第三系のフィッシュン・トラック年代. 新潟大学理学部研究生研究業績報告書, 20p.
- 中川 充・小松正幸 (1983)
- 中井光一・内山 慶・山田 大・河内晋平 (2000) 霧ヶ峰火山、池のくるみ-車山-虫倉の地質・岩石・活断層. 信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績, 31, 1-9.
- Nash W. P. and Crecraft H. R. (1985) Partition coefficients for trace elements in silicic magmas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 2309-2322.
- 日本の地質『中部地方 I』編集委員会 (1988) 日本の地質 4 『中部地方 I』 共立出版
- 新潟大学東頸城地域地質調査グループ (1987) 新潟県東頸城地域の中新-鮮新統の層序. *地球科学*, 41, 165-181.
- 新潟平野団体研究グループ (1972) 十日町盆地の河岸段丘. *地質学論集*, 7, 267-283.
- Notsu, K. (1983) Strontium isotope composition in volcanic rocks from the Northeast Japan arc. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 18, 531-548.
- Notsu, K., Aramaki, S Oshima, O. and Kobayashi, Y. (1987) Two overlapping plates subducting beneath central Japan as revealed by Strontium isotope data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 32, 195-207.
- Notsu, K., Arakawa, Y., Nakano, S. and Yamasaki, M (1989) Lateral variation in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of volcanic rocks from central Japan. *Geochem. Journal*, 23, 45-55.
- Ohki, J., Shuto, K. and Kagami, H. (1994) Middle Miocene bimodal volcanism by asthenospheric upwelling: Sr and Nd isotopic evidence from the back-arc region of the Northeast Japan arc. *Geochem. Journal*, 28, 473-487.
- Pearce J. A. and Norry M. J. (1979) Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, 33-47.
- Putirka, K., Johnson, M., Kinzler, R., Longhi, J. and Walker, D. (1996) Thermobarometry of mafic igneous rocks based on clinopyroxene-liquid equilibria, 0-30 kbar. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 123, 92-108.

- Sakuyama, M (1979) Evidence of Magma Mixing: Petrological study of Shirouma-Oike calc-alkaline andesite volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5, 179-208.
- Sakuyama, M (1981) Petrological Study of Myoko and Kurohime Volcanoes, Japan: Crystallization Sequence and Evidence for Magma Mixing. *Journal of Petrology*, 22, 553-583.
- 佐藤隆春・米山団体研究グループ (1975) 新潟県米山地域の火山岩類. *地球科学*, 29, 211-226.
- 沢村孝之助・垣見俊弘・曾我部正敏・小林 勇・長谷紘和 (1967) 松代震源域の地質と地質構造. *防災科学技術総合研究速報*, 5, 3-11.
- Schock H. H. (1979) Distribution of rare-earth and other trace elements in magnetites. *Chem. Geol.*, 26, 119-133.
- 瀬野公美子・石塚英男・本吉洋一・白石和行 (2002) 蛍光 X 線分析装置による岩石の定量化学分析: (3) 希土類元素. *南極資料*, 46, 15-33.
- Shibata, T. and Nakamura, E. (1997) Across-arc variation of isotope and trace element compositions from Quaternary basaltic volcanic rocks in northeastern Japan: Implications for interaction between subducted oceanic slab and mantle wedge. *Journal of Geophysical Research*, 102, B4, 8051-8064.
- 志久見川団体研究グループ (1991) 新潟一長野県境地域の魚沼層群の層序と火山活動. *地球科学*, 45, 345-362.
- 島津光夫 (1984) 北部フォッサ・マグナ地域の第四紀火山の時代とその配列. *地質学論集*, 24, 21-30.
- 島津光夫 (1986) 東北日本の棚倉構造線の両側の新生代火山作用の比較. *北村信教授記念地質学論集*, 393-402.
- 島津光夫 (1990) 北部フォッサマグナにおける褶曲形成と火山活動. *地質学論集*, 34, 99-104.
- 島津光夫 (2003) 新潟県の基盤と白亜紀以降の火成作用-2000 年版新潟県地質図とその後の知見-. *新潟応用地質研究会誌*, 60, 9-17.
- 島津光夫・五十嵐聡・喜多孝行・門馬直一・滝沢松雄 (1983) 千曲川および中津川流域の鮮新一更新世火山岩類. *地団研専報*, 26, 魚沼層群, 47-56.
- 島津光夫・五十嵐聡・高橋尚靖 (1985) 北部フォッサ・マグナ, 津南一志賀地域の第三系の新第三系の地質構造と鮮新一更新世火山. *新潟大・理・地鉱研究報告*, 5, 79-90.
- Shimazu, M., Igarashi, S. and Ohashi, M. (1985) Tholeiitic andesite and dacite of early Pleistocene age in Shikumi area, Niigata Prefecture, Japan. *J. Japan.*

- Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 80, 119-127.
- Shimazu, M., Kawano, Y., Kaji, K. and Igarashi, S. (1991) Chemical compositions and Sr, Nd isotope ratios of gabbroic xenoliths in calc-alkali andesites of Naeba and Torikabuto volcanoes, North Fossa Magna, central Japan. J. Min. Petr. Econ. Geol., 86, 53-64
- 島津光夫・立石雅昭 (1993) 苗場山地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 90p.
- Shuto, K., Kagami, H., Shimazu, M. and Yano, T. (1988) Sr and Nd isotopic study of gabbroic inclusions in calc-alkaline andesites from the northern Fossa Magna region, Central Japan. J. Min. Petr. Econ. Geol., 83, 77-84.
- Sun, Shen-Su and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. Magmatism in the Ocean Basins (A. D. Saunders & M. J. Norry, eds.). Blackwell Scientific Publ., London, U. K. (313-345).
- 鈴木雅彦・北脇裕士・周藤賢治・茅原一也 (1985) フォッサマグナ北西部の海川火山岩類及び雨飾山貫入岩類. 新潟大学理学部地鉱研究報告, 5, 49-77.
- Takeshita, H. and Oji, Y. (1968a) Hornblende gabbroic inclusions in the calc-alkaline andesites from northern district of Nagano Prefecture, Japan. J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 60, 1-26.
- Takeshita, H. and Oji, Y. (1968b) Hornblende gabbroic inclusions in the calc-alkaline andesites from northern district of Nagano Prefecture, Japan. J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 60, 57-74.
- 竹内圭史・加藤碩一・柳沢幸夫 (1994) 地質図「高田」. 地質図, 1:200,000, NJ-54-35, 1 sheet, (地質調査所)
- 竹内圭史・吉村尚久・加藤碩一 (1996) 柿崎地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 48p.
- 竹内圭史・加藤碩一 (1994) 高田東部地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 67p.
- 竹内圭史・吉川敏之・釜井俊孝 (2000) 松之山温泉地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 76p.
- Tatsumi, Y., Sakuyama, M., Fukuyama, H. and Kushiro, I. (1983) Generation of Arc Basalt Magmas and Thermal Structure of the Mantle Wedge in Subduction Zones. Journal of Geophysical Research, 88, B, 5815-5825.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会 (1982) 日本の石油・天然ガス資源

- 手島秀一・河内晋平 (1994) 和田峠東方・鷹山火山岩類の地質と岩石. 信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績, 37, 23-35.
- Togashi, S., Tanaka, T., Yoshida, T., Ishikawa, K., Fujinawa, A. and Kurasawa, H. (1992) Trace elements and Nd-Sr isotopes of island arc tholeiites from frontal arc of Northeast Japan. *Geochem. Journal*, 26, 261-277.
- 常山 太・渡辺其久男・島津光夫 (1989) 新潟県, 長岡市東方, 東山丘陵の地質. 石油技術協会誌, 54, 202-218.
- 魚沼丘陵団体研究グループ (1983) 魚沼層群の地質. 地団研専報, 26, 魚沼層群, 5-21.
- Wager, L. R., Brown, G.M. and Wadsworth, W. J. (1960) Types of Igneous Cumulates. *Journal of Petrology*, 1, 73-85.
- 若杉 肇 (1992) 新潟堆積盆南縁部の新第三紀火山岩類の地質学的・岩石学的研究 (手記). 新潟大学大学院理学研究科修士論文
- Watson E. B. and Harrison M. T. (1983) Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64, 295-304.
- Wells, P. R. A. (1977) Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 62, 129-139.
- Wood, B. J. and Banno, S. (1973) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 42, 109-124.
- 八木貞助 (1941) 上高井郡地質誌. 上高井教育会, 230p.
- 八木健三・飯島南海夫 (1952) 苗場火山とその付近の地質 (予報). 信州大学教育学部研究論集, 3, 219-236.
- 八木健三・飯島南海夫 (1955) 下高井郡塚村秋山地域の地質および地下資源. 長野県地質調査報告, 29-38.
- Yamaguchi, T. (1990) Comparative petrology of the Hotaka and Akagi volcanoes. *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 85, 229-248.
- 山本玄珠・高野聖之 (2001) 足柄層群に於ける安山岩類の化学組成について. 東海大学紀要海洋学部, 第 51 号, 45-62
- 山下 昇 (1970) 柏崎-銚子線の提唱. 星野通平・青木斌編『島弧と海洋』, 179-191, 東海大学出版会
- 山下 昇 (1995) フォッサマグナ. 東海大学出版
- Yamazaki, T. (1965) Petrography and petrochemistry of Kirigamine volcano, central Japan (II). *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 54, 92-103.
- 柳沢幸夫・茅原一也・鈴木尉元・植村武・小玉喜三郎・加藤碩一 (1985) 十日

町地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所,
104p.

柳沢幸夫・小林巖雄・竹内圭史・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一 (1986) 小千
谷地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所,
177p.

米山団体研究グループ (1973) 新潟県米山地域における新第三系. 地球科学,
27, 1-18.

米山団体研究グループ (1976) 米山地域における火山活動開始期の造構運動.
地球科学, 30, 81-86.

吉田武義・青木謙一郎 (1988) 東北本州弧第四紀火山岩類へのプロセス判定図
の適用. 東北大学核理研研究報告, 第21巻, 301-318.

吉田武義・大口健志・阿部智彦 (1995) 新生代東北本州弧の地殻・マントル構
造とマグマ起源物質の変遷. 地質学論集, 44, 263-308.

吉村尚久・足立久男・小坂共栄・中村庄八・野村 哲 (1991) フォッサマグナ
地域の新第三紀後期の火山活動. 地団研専報, 38, 149-158.

I. 序

- Fig. 1-1 Index map of the Sekita mountains~Torikabuto volcano area
Fig. 1-2 Late Miocene~early Pleistocene volcanic rocks of North Fossa Magna

II. 地質

- Fig. 2-1 Water system and geographical map in the Sekita mountains~Torikabuto volcano area
Fig. 2-2 Gravity anomaly, topography and geological structure in the Takada (1/200,000) area
Fig. 2-3 Distribution of Miocene to early Pleistocene volcanic rocks in the Takada (1/200,000) area
Fig. 2-4 Miocene volcanic rocks in the Kama-gawa area
Fig. 2-5 Photographs of Nishitajiri formation
Fig. 2-6 a ; Higashi-Kubiki hilly terrain b ; geographical view of Mt. Kenashi
Fig. 2-7 a ; Naeba volcano b ; The Middle lavas of Naeba volcano
Fig. 2-8 Geological map of around the Sekita mountains~Torikabuto volcano area
Fig. 2-9 Geological cross section
Fig. 2-10 Geological sequence of the Sekita mountains~Torikabuto volcano area
Fig. 2-11 Photographs of the Amamizu-yama formation
Fig. 2-12 a ; Higashinosawa formation in the Shikumi-gawa area
b ; Sori · Maeko member in the Shinano-gawa area
c ; SK030 (Joetsu ash) in the Maeko member
d ; Lappili in the Maeko member
e ; Lappili~ash flow deposits in the Maeko/Sori member
Fig. 2-13 Geological map of Torikabuto volcano
Fig. 2-14 Stratigraphical sequence of Torikabuto volcano
Fig. 2-15 Effusive rocks of Stage 1, Stage 2 and Stage 3
Fig. 2-16 Pyroclastic flow deposits of Stage 2 and fragment of Uenohara welded tuff
Fig. 2-17 Torikabuto volcano
Fig. 2-18 Effusive rocks of Stage 3
Fig. 2-19 Inclusions in Stage 3 kavas
Fig. 2-20 Geological map of Kenashi volcano
Fig. 2-21 Plio-Pleistocene volcanic activity magmatic movement in the Sekita mountains~Torikabuto volcano area
Fig. 2-22 Distribution of Torikabuto volcanic rocks and estimated paleo-topography

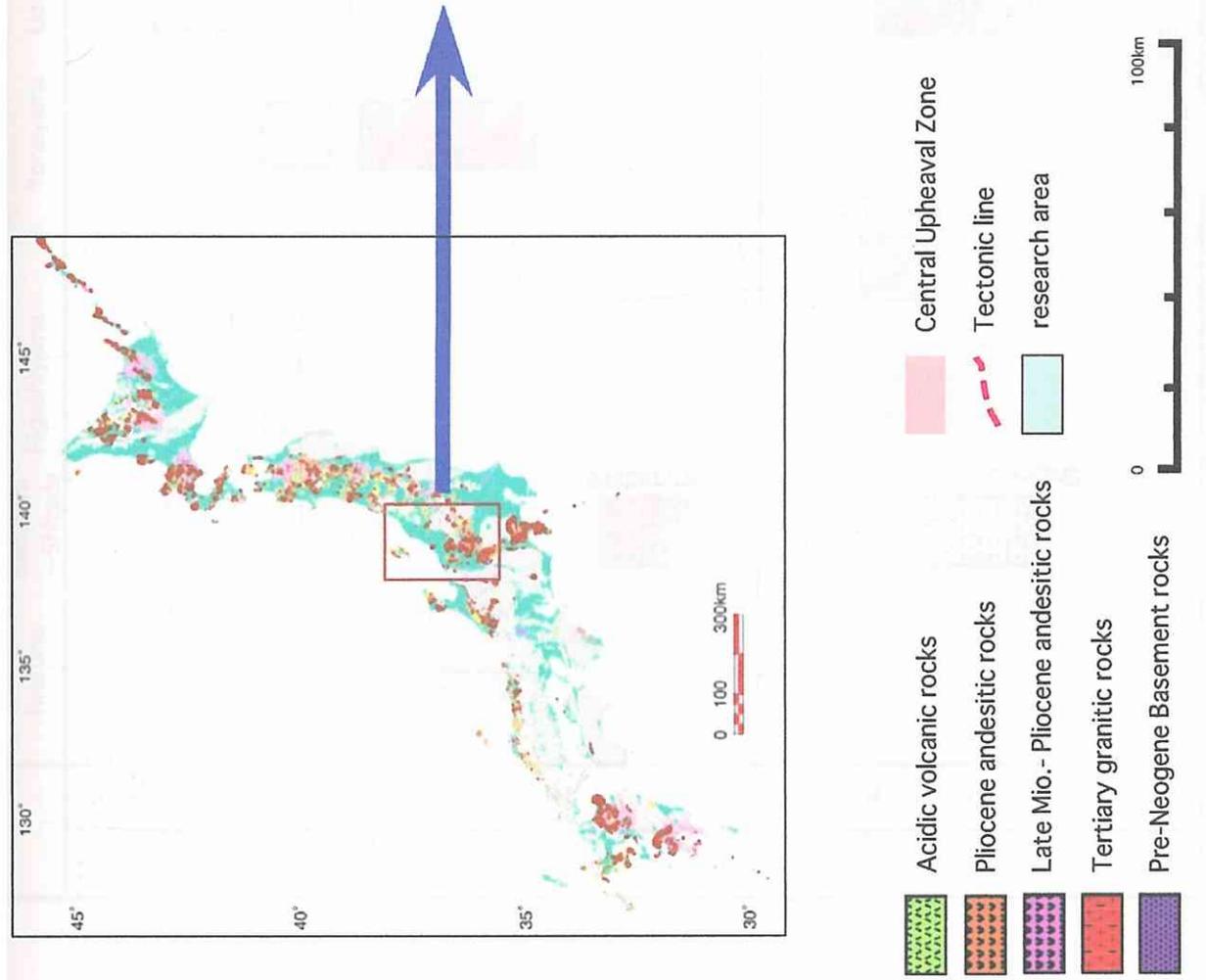


Fig. 1-1 ; Index map of the Sekita mountains~Torikabuto volcano area.

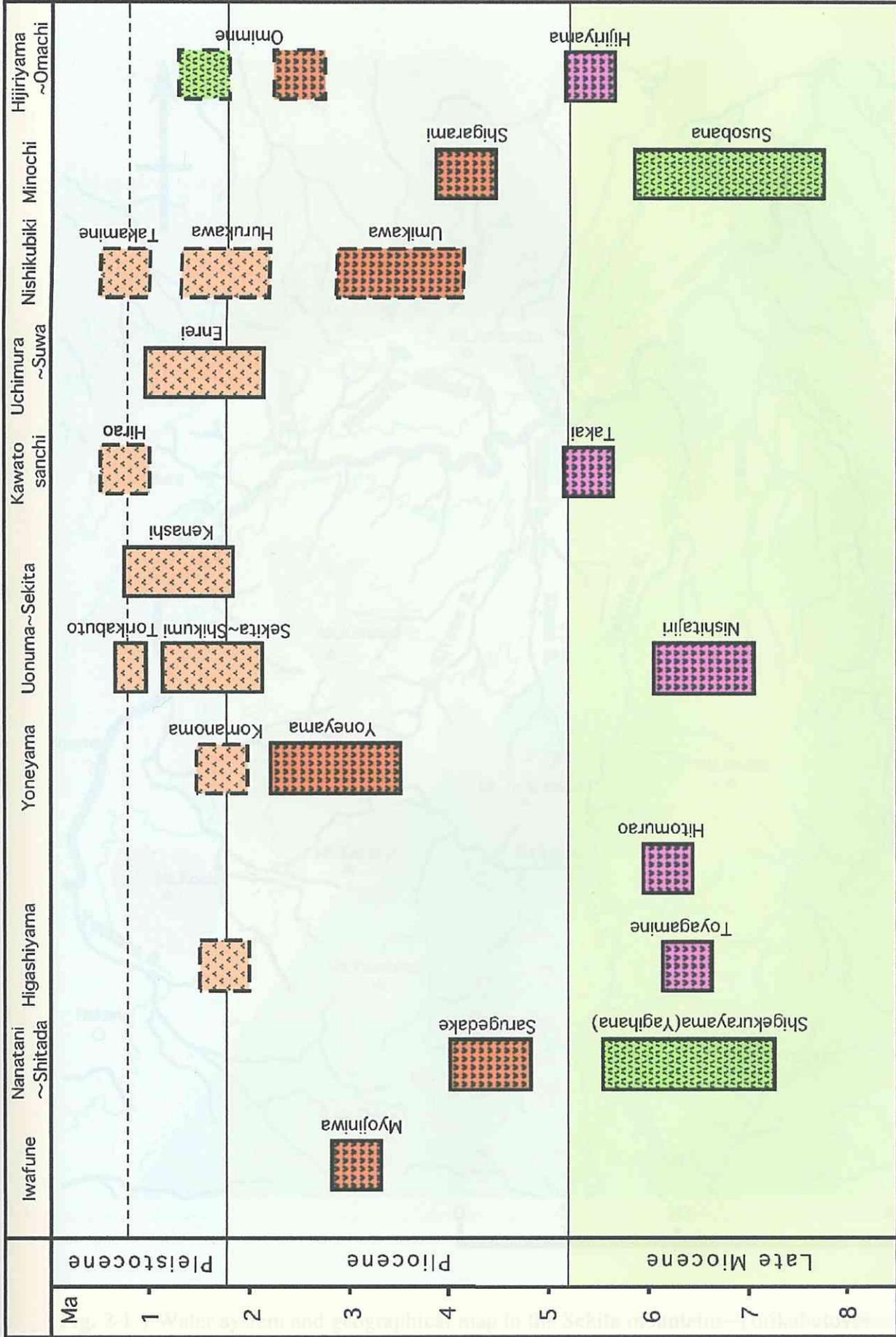


Fig. 1-2 ; Late Miocene ~early Pleistocene volcanic rocks of the North Fossa Magna.

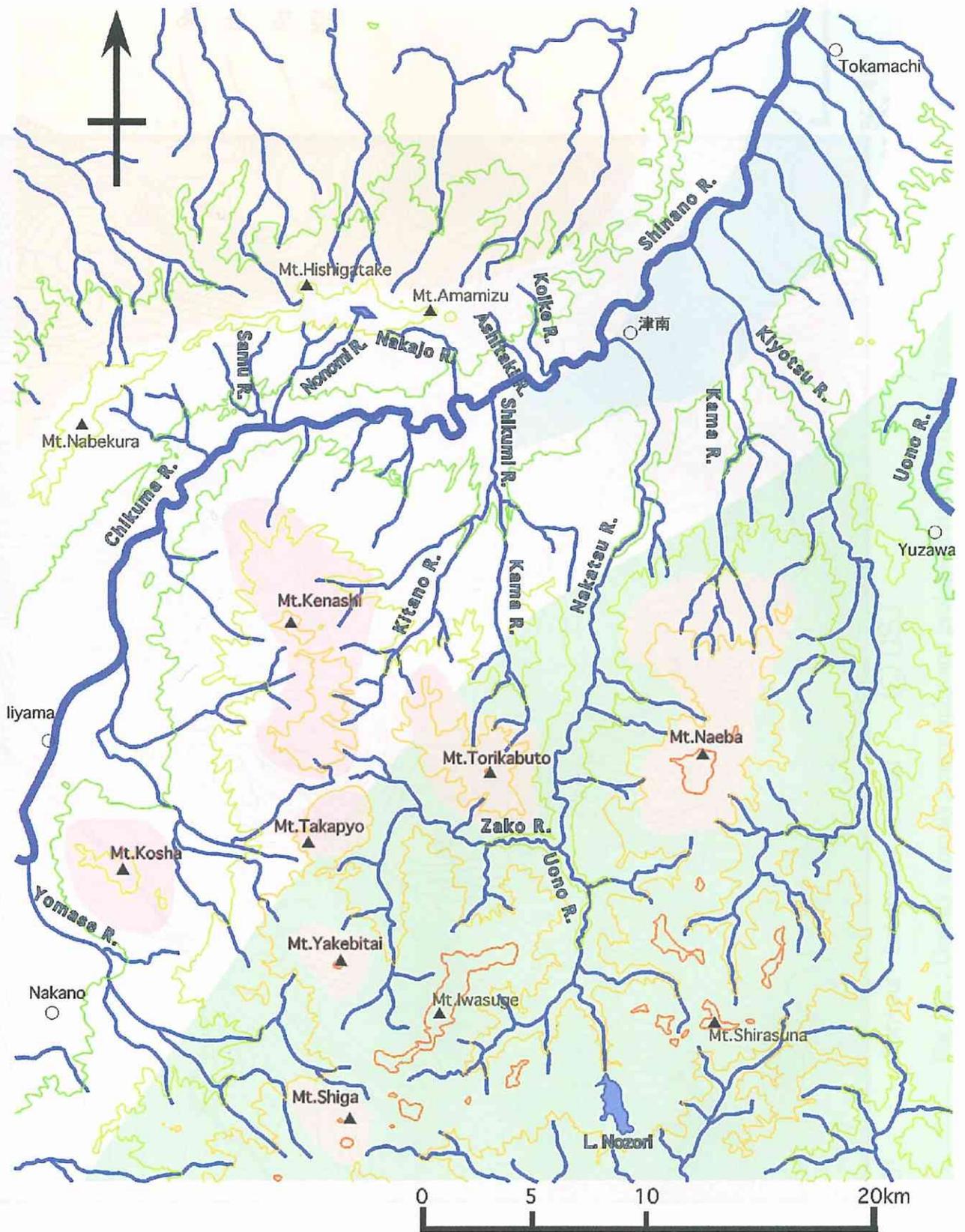


Fig. 2-1 ; Water system and geographical map in the Sekita mountains~Torikabuto volcano area.
 pale green ; "Central Upheaval Zone" composed of Miocene altered volcanic rocks and sediments.
 pale orange ; Higashi Kubiki hilly terrain. light blue ; terrace. pale red ; Pleistocene volcanos.

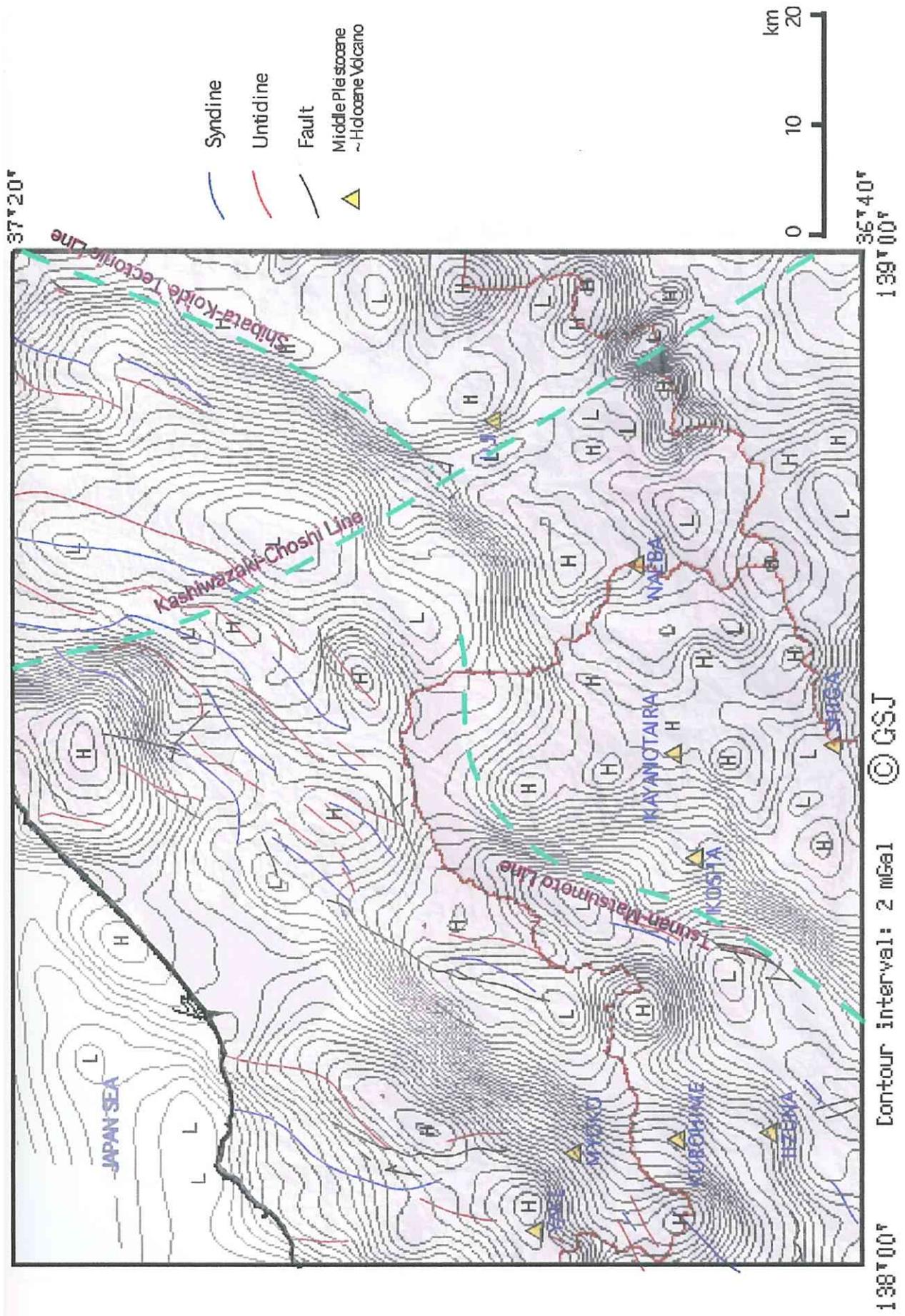


Fig. 2-2 ; Gravity anomaly, topography and geological structure in the Takada (1/200,000) area.

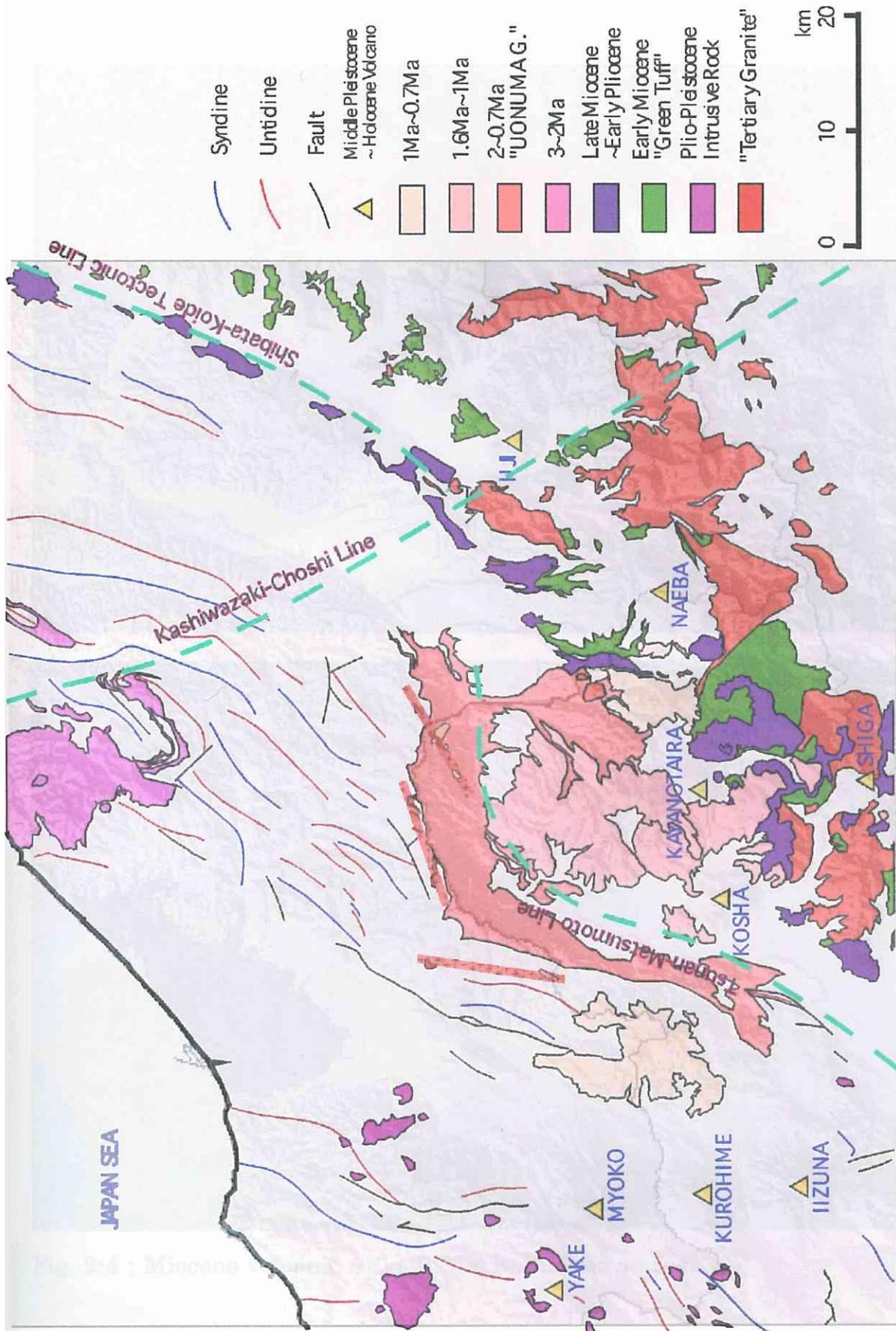


Fig. 2-3 ; Distribution of Miocene to early Pleistocene volcanic rocks in the Takada(1/200,000) area.



Fig. 2-4 ; Miocene volcanic rocks in the Kama-gawa area.

a



b



Fig.2-5 ; Photographs of Nishitajiri formation.

a ; The base of Nishitajiri formation.

b ; Pillow lava.

c ; Lava and hyaloclastite.

c





Fig. 2-6a ; Higashi-Kubiki hilly terrain.

The highest hill in this photograph is Mt.Hishigatake.

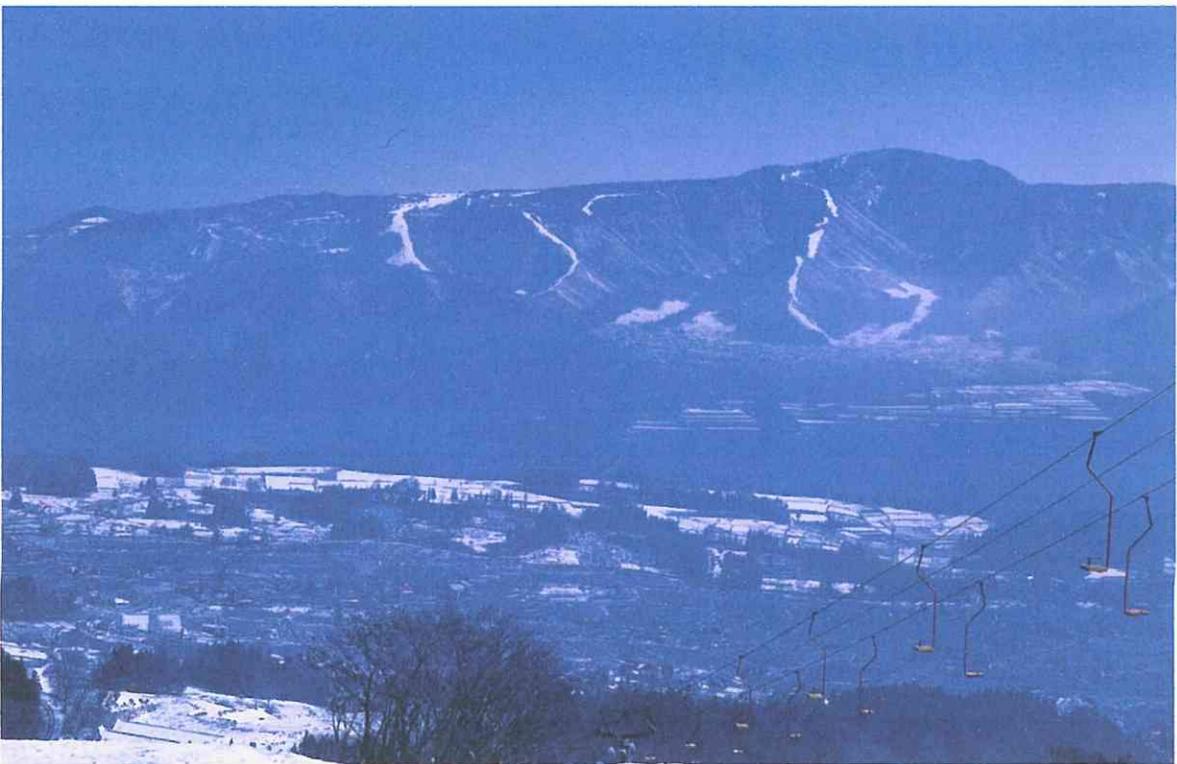


Fig. 2-6b ; Geographical view of Mt. Kenashi.



Fig. 2-7a ; Naeba volcano. The flat geographical plane is formed by the Upper most lavas.



Fig. 2-7b ; The Middle lavas of Naeba volcano.

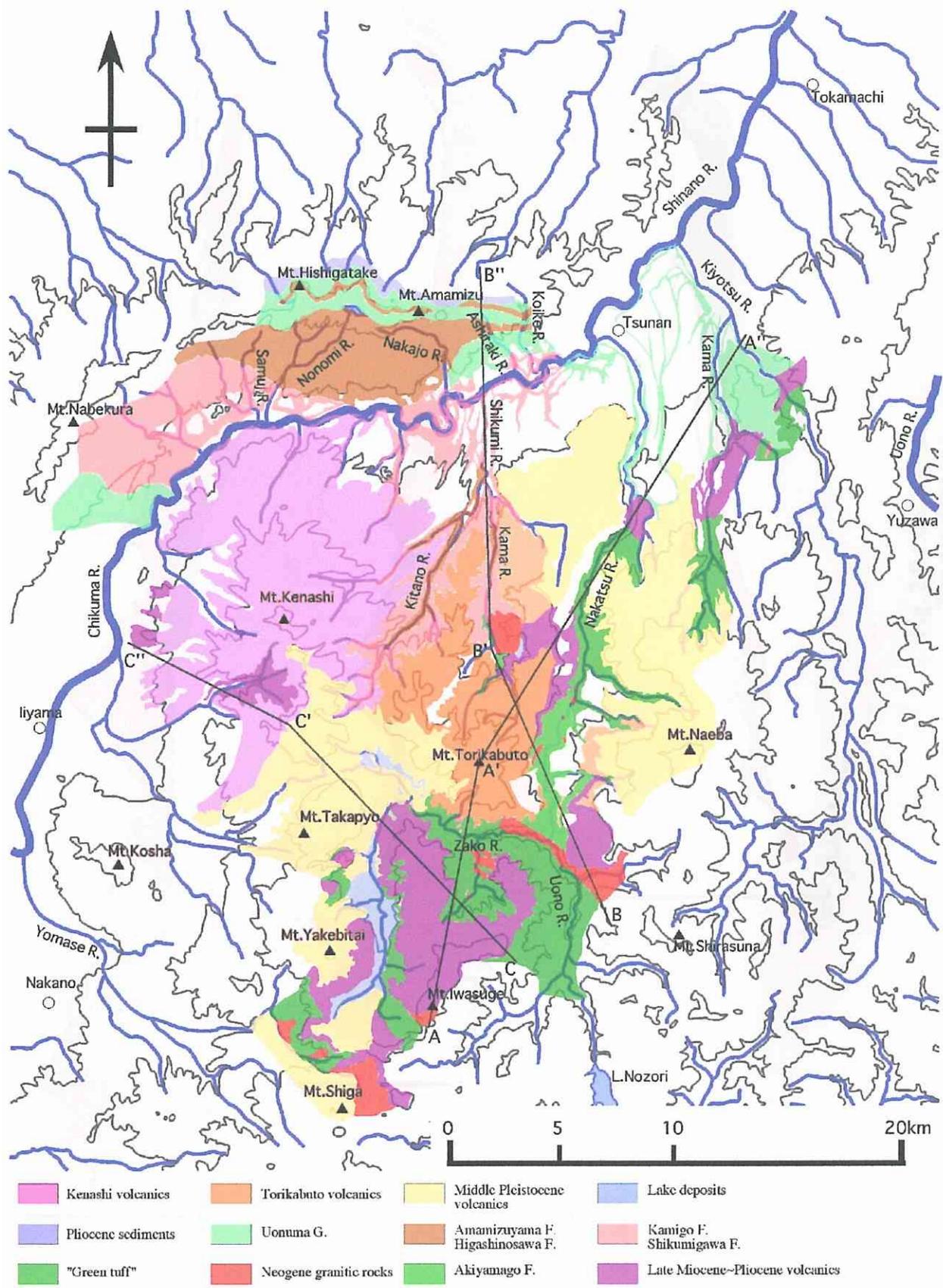


Fig. 2-8 ; Geological map of around the Sekita mountains~Torikabuto volcano area, compiled from Igarashi et al.(1984) and Shimazu et al.(1985).



Fig. 2-9 ; Geological cross section.
 The positions of the cross sections are shown in Fig. 2-8.

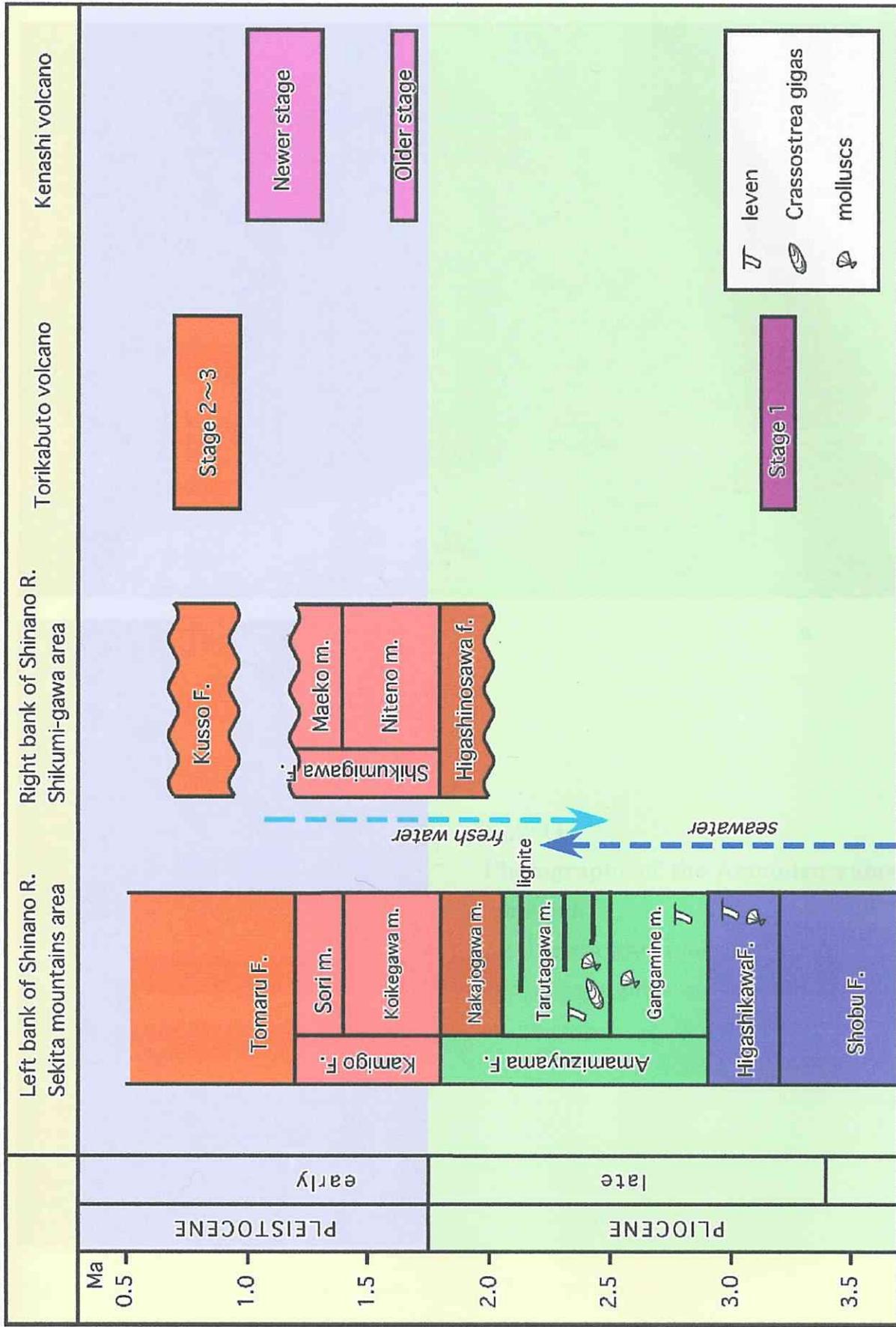
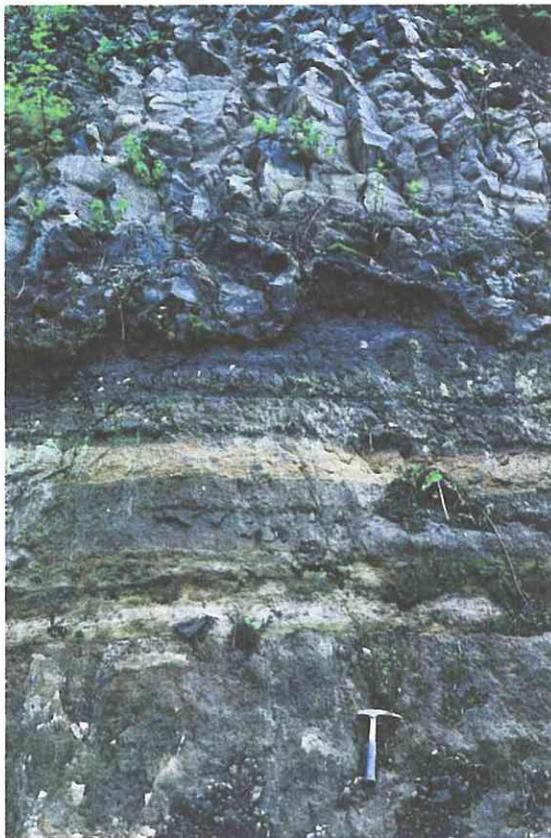


Fig. 2-10 ; Geological sequence of the Sekita mountains~Torikabuto volcano area.
 (after Igarashi et al.(1984), Shimazu et al.(1985), Shikumigawa collaborative research group(1991), Kaneko(1988), Kaneko et al.(1980) and Yamaguchi et al.(2001))



a



b

Fig.2-11

Photographs of the Amamizu-yama formation.

a ; Taruta-gawa member

b ; Nakajo-gawa member



Fig2-12a ; Higashinosawa formation in the Shikumi-gawa area.



Fig. 2-12b ; Sori • Maeko member in the Shinano-gawa area.



Fig.2-12c ; SK030(Joetsu ash) in the Maeko member

Fig. 2-12d ; Lappili in the Maeko member



Fig. 2-12e ; Lappili~ash flow deposits in the Maeko/Sori member.

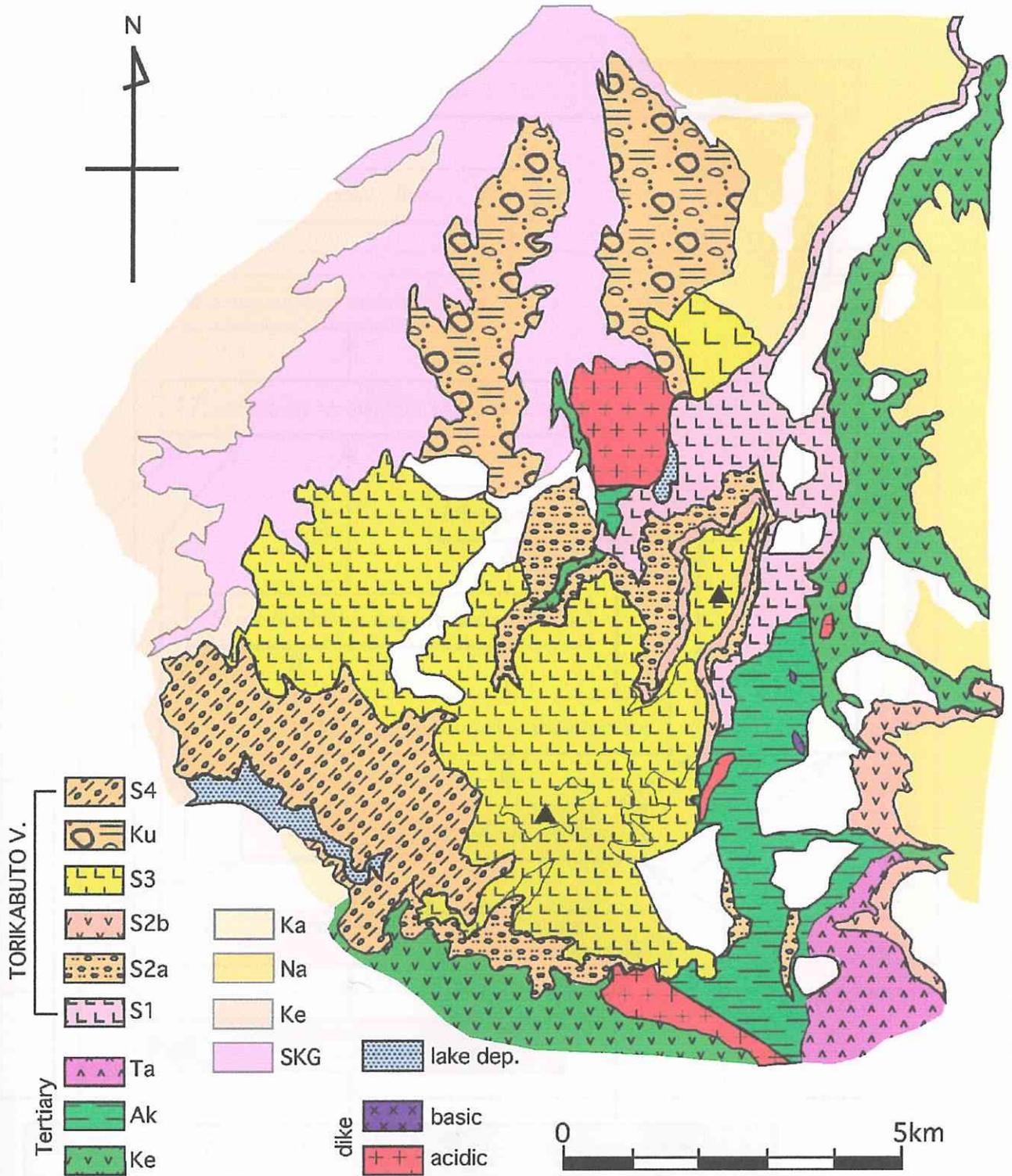


Fig. 2-13 ; Geological map of Torikabuto volcano.

Ke:Ketto altered volcanic formation, Ak:Akiyamago formation, Ta:Takai volcanic rocks
 SKG:volcanic rocks of Shikumi-gawa formation, Ke:Kenashivolcanic rocks, Na:Naeba volcanic rocks, Ka:Kayanotaira volcanic rocks.

Torikabuto volcanic rocks (S1:Stage 1, S2a:Stage 2(Onizawa-Takayamazawa pyroclastic rocks), S2b:Stage 2(Uenohara welded tuff), S3:Stage 3, Ku:Kusso mud flow deposits, S4:Stage 4).

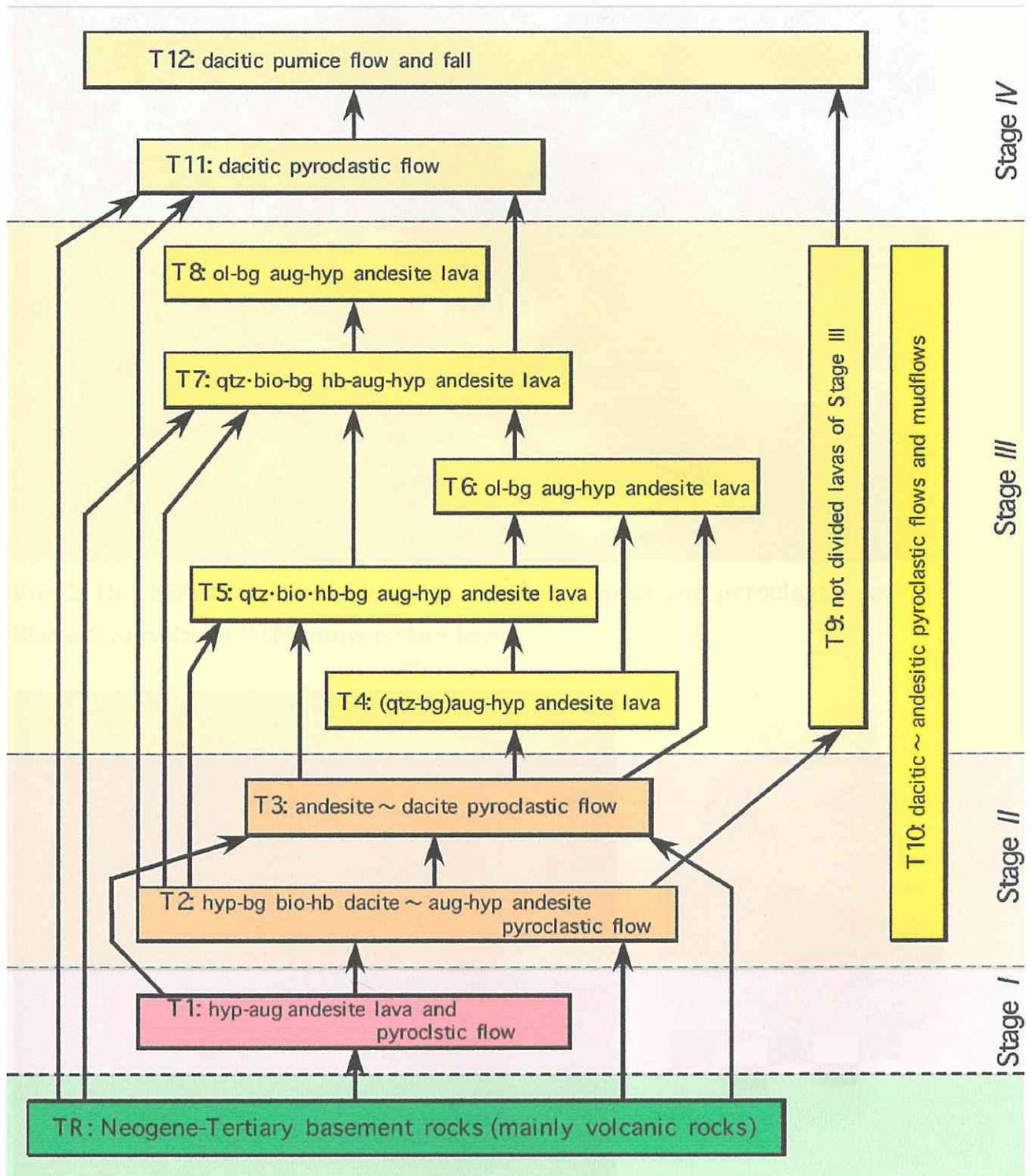


Fig. 2-14 ; Stratigraphical sequence of Torikabuto volcano.



Fig. 2-15 ; Effusive rocks of Stage 1 (Maekura lavas and pyroclastic rocks), Stage 2 and Stage 3 (Nunoiwayama lava).



Fig. 2-16 ; Pyroclastic flow deposits of Stage 2 and fragment of Uenohara welded tuff(right side).



Fig. 2-17 ; Torikabuto volcano.

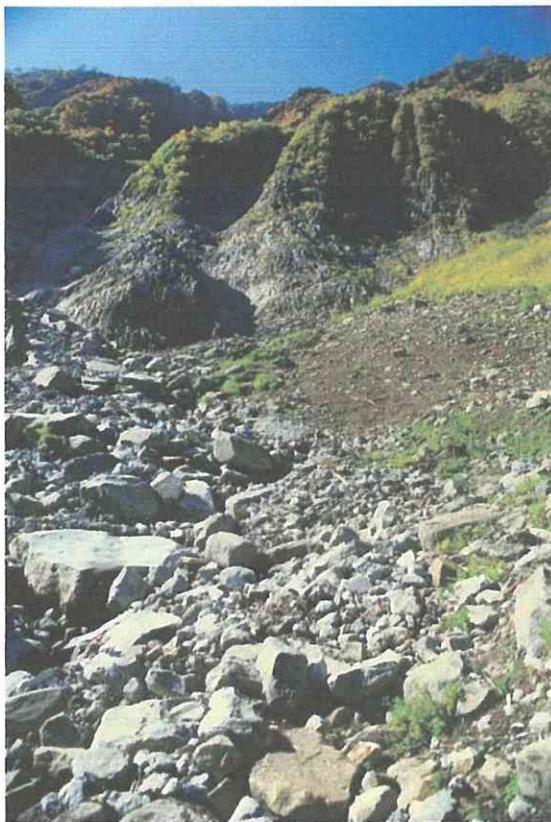


Fig. 2-18 ; Effusive rocks of Stage 3 (Shirakura-yama lavas).

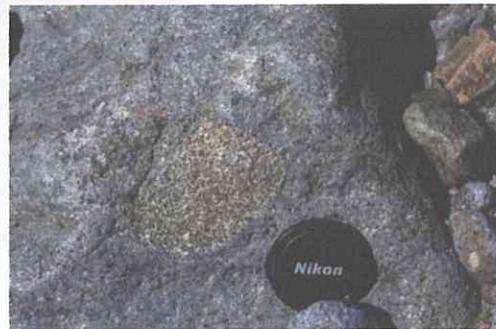
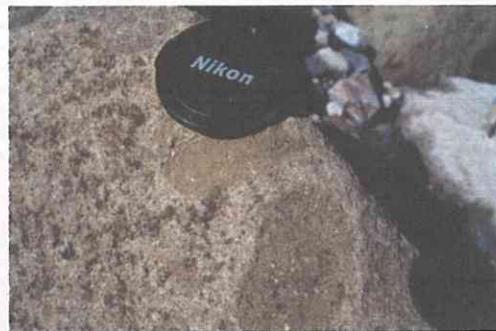


Fig. 2-19 ; Inclusions in Stage 3 lavas

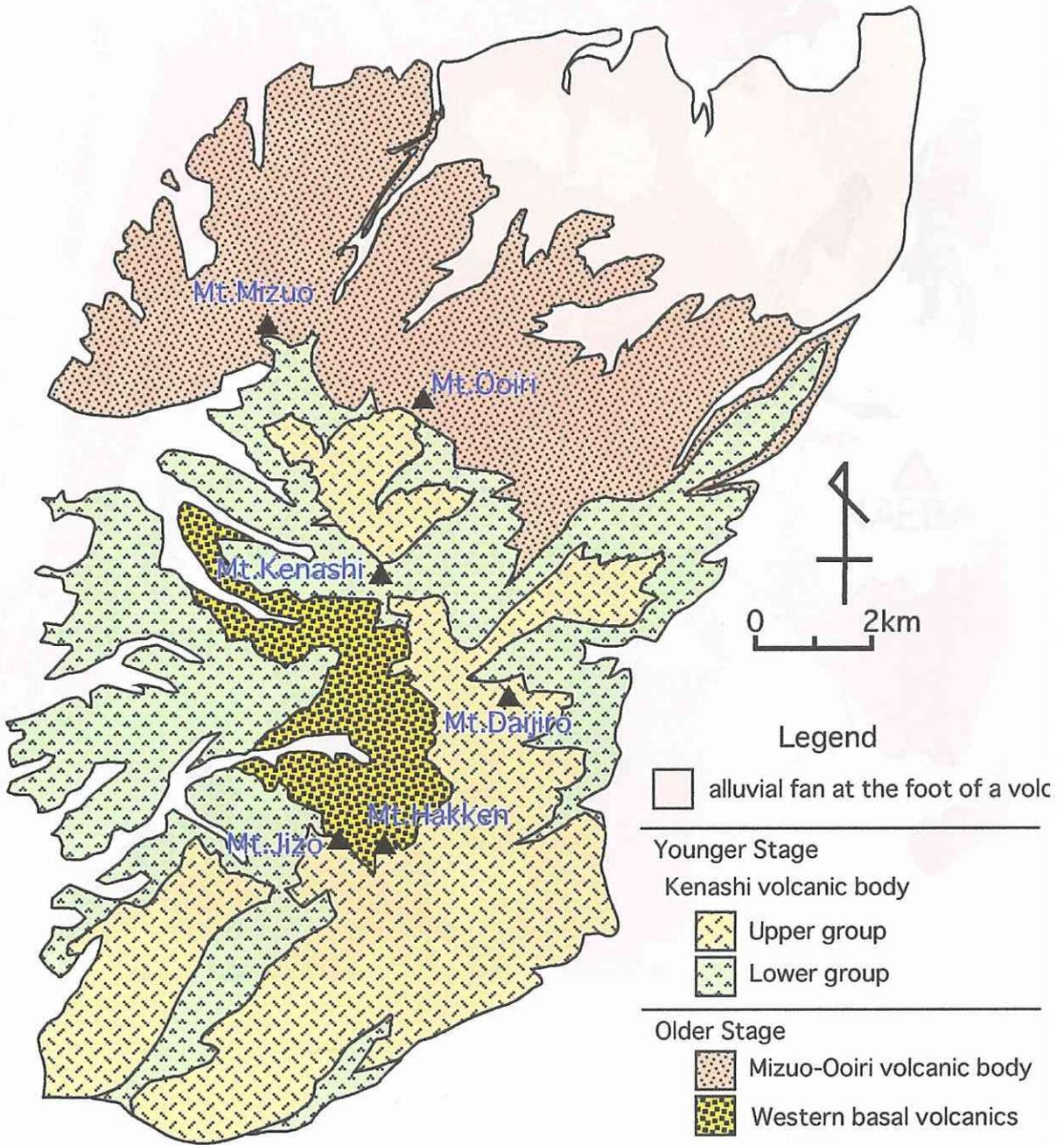


Fig. 20; Geological map of Kenashi volcano (after Yanagisawa(2001)).

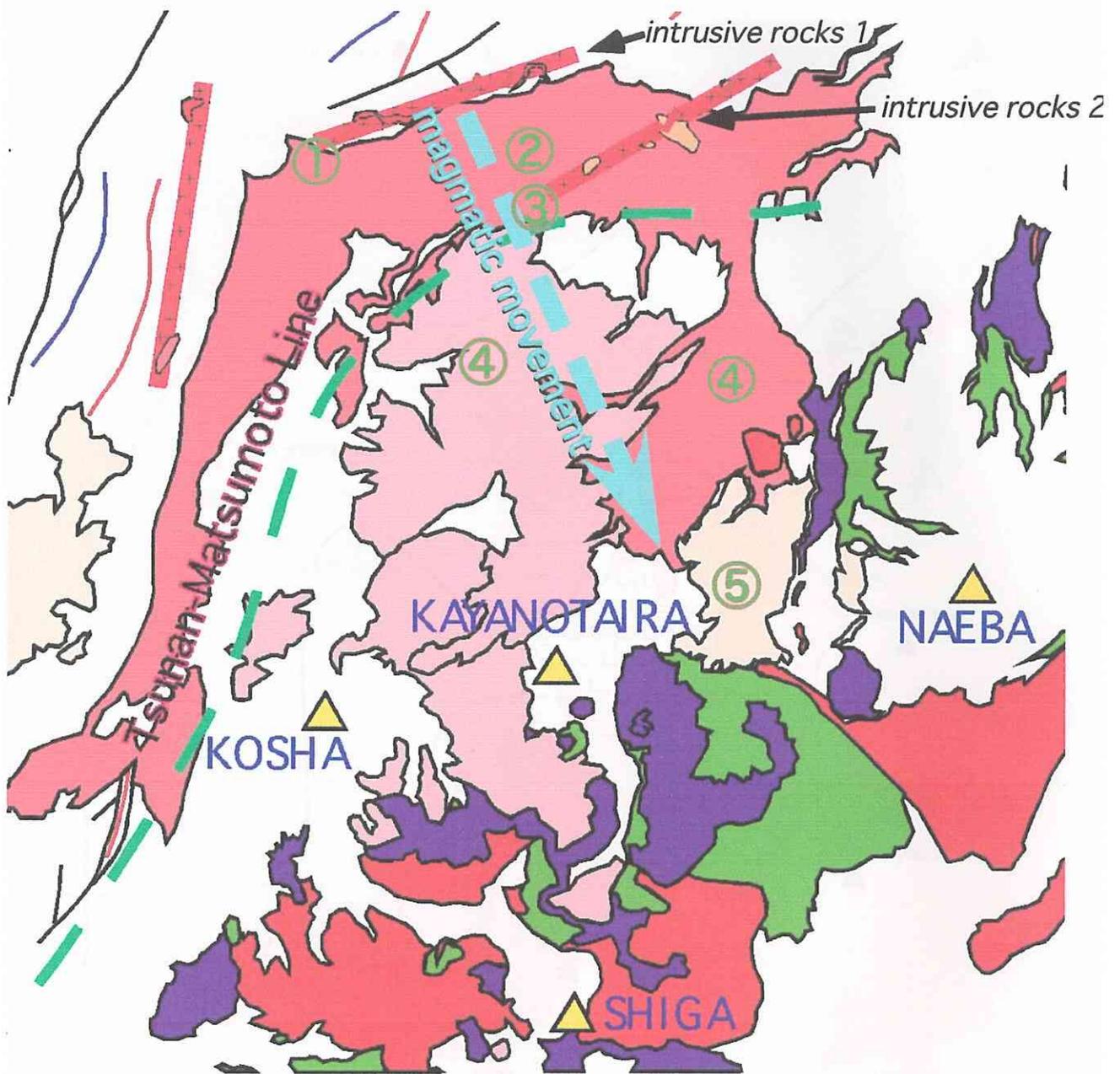


Fig. 2-21 ; Plio-Pleistocene volcanic activity magmatic movement in the Sekita mountains ~ Torikabuto volcano area. Arrow indicates southward secular movement of magmatic activity.

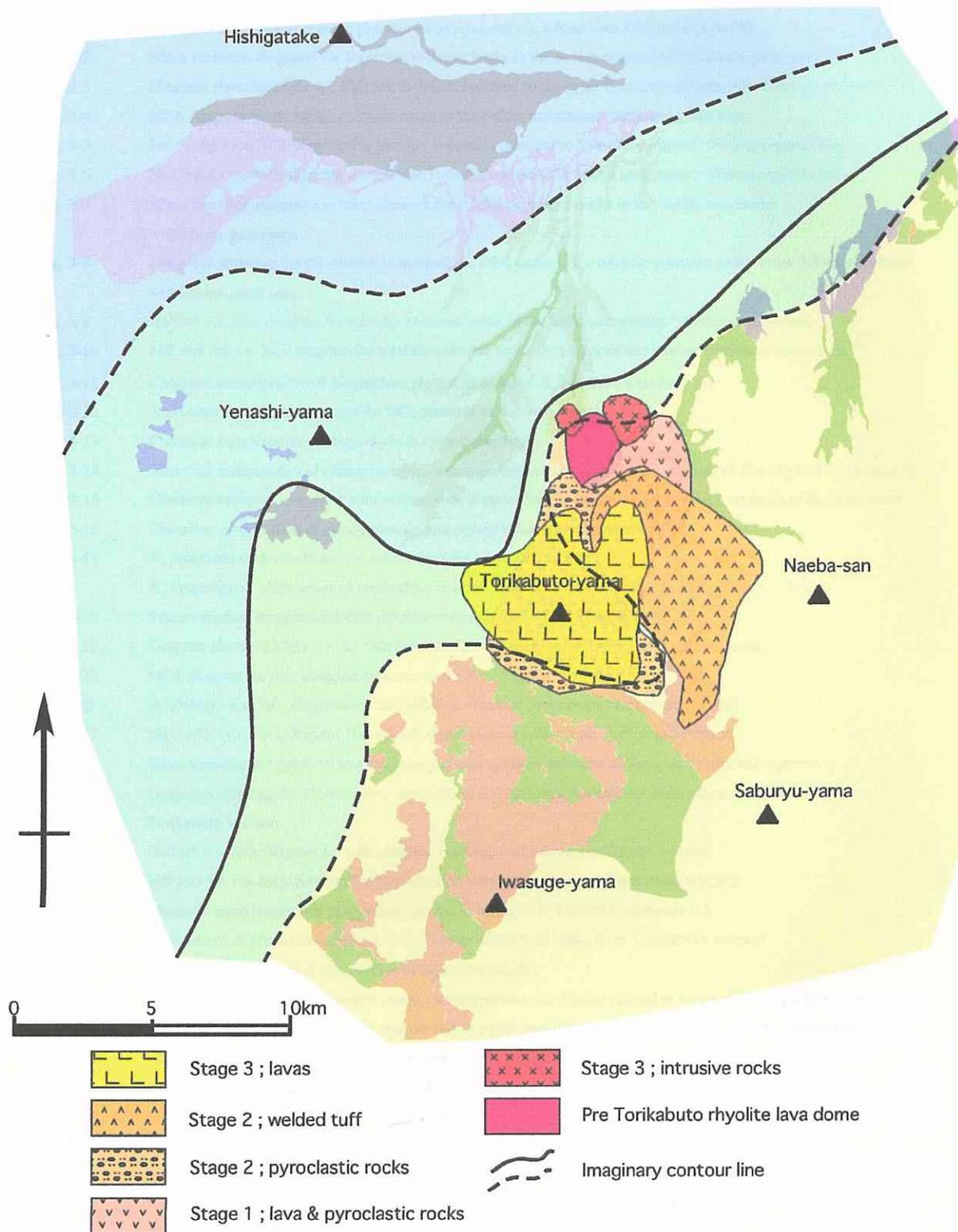


Fig. 2-22 ; Distribution of Torikabuto volcanic rocks and estimated paleo-topography.

Ⅲ. 主な火成岩類の記載 (Fig.)

- Fig. 3-1 a ; propotion of groundmass v.s. whole rock SiO_2 content (wt%)
b ; Propotion of plagioclase in phenocryst in minerals v.s. whole rock SiO_2 content (wt%)
- Fig. 3-2 Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-3 Diagram showing MgO v.s. K_2O for tholeiitic volcanic rocks in thr Sekita mountains~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-4 MFA diagram for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-5 FeO^*/MgO v.s. SiO_2 diagram for toleiitic volcanic rocks in the Sekita mountains~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-6 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ v.s. SiO_2 diagram for toleiitic volcanic rocks in the Sekita mountains~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-7 Silica variation diagrams in trace element for toleiitic volcanic rocks in the Sekita mountains
~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-8 Diagrams showing the C1-chondrite normalized REE patterns for toleiitic volcanic rocks in the Sekita mountains
~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-9 Eu/Eu^* v.s. SiO_2 diagram for toleiitic volcanic rocks in the Sekita mountains~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-10 NdI and Srl v.s. SiO_2 diagram for toleiitic volcanic rocks in the Sekita mountains~Shikumi-gawa area
- Fig. 3-11 Chemical compositions of plagioclase plotted in terms of K, Na and Ca (atomic %)
- Fig. 3-12 An contents of plagioclase against SiO_2 contents of the host rocks
- Fig. 3-13 Chemical composition of plagioclase in the volcanicrocks
- Fig. 3-14 Chemical composition of clinopyroxene, orthopyroxene and olivine plotted in terms of Ca, Mg and Fe (atomic %)
- Fig. 3-15 Chemical composition of the core and the rim of pyroxenes phenocrysts against SiO_2 contents of the host rocks
- Fig. 3-16 Chemical composition of clinopyroxene and orthopyroxene in the volcanicrocks
- Fig. 3-17 a ; propotion of groundmass v.s. whole rock SiO_2 content (wt%)
b ; Propotion of plagioclase in phenocryst in minerals v.s. whole rock SiO_2 content (wt%)
- Fig. 3-18 Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-19 Diagram showing MgO v.s. K_2O for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-20 MFA diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-21 FeO^*/MgO v.s. SiO_2 diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-22 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ v.s. SiO_2 diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-23 Silica variation diagrams in trace element for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-24 Diagrams showing the C1-chondrite normalized REE patterns for calc-alkaline volcanic rocks from
Torikabuto volcano
- Fig. 3-25 Eu/Eu^* v.s. SiO_2 diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-26 NdI and Srl v.s. SiO_2 diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-27 Chemical compositions of plagioclase plotted in terms of K, Na and Ca (atomic %)
- Fig. 3-28 An contents of plagioclase against SiO_2 contents of the host rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-29 Chemical composition of plagioclase in the volcanicrocks
- Fig. 3-30 Chemical composition of clinopyroxene, orthopyroxene and olivine plotted in terms of Ca, Mg and Fe (atomic %)
- Fig. 3-31 Chemical composition of the core and the rim of pyroxenes phenocrysts against SiO_2 contents of the host rocks
- Fig. 3-32 Chemical composition of clinopyroxene and orthopyroxene in the volcanicrocks
- Fig. 3-33 Silica variation diagrams for volcanic rocks from Kenashi volcano
- Fig. 3-34 Diagram showing MgO v.s. K_2O for volcanic rocks from Kenashi volcano
- Fig. 3-35 MFA diagram for volcanic rocks from Kenashi volcano
- Fig. 3-36 FeO^*/MgO v.s. SiO_2 diagram for volcanic rocks from Kenashi volcano
- Fig. 3-37 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ v.s. SiO_2 diagram for toleiitic volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Fig. 3-38 Silica variation diagrams in trace element for volcanic rocks from Kenashi volcano
- Fig. 3-39 Diagrams showing the C1-chondrite normalized REE patterns for volcanic rocks from Kenashi volcano
- Fig. 3-40 NdI and Srl v.s. SiO_2 diagram for volcanic rocks from Kenashhi volcano

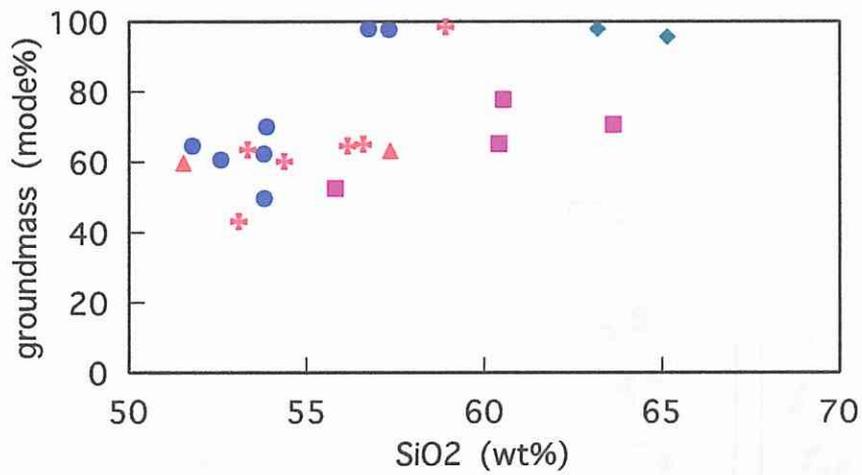


Fig. 3-1a; Proportion of groundmass vs. whole rock SiO₂ content (wt%).

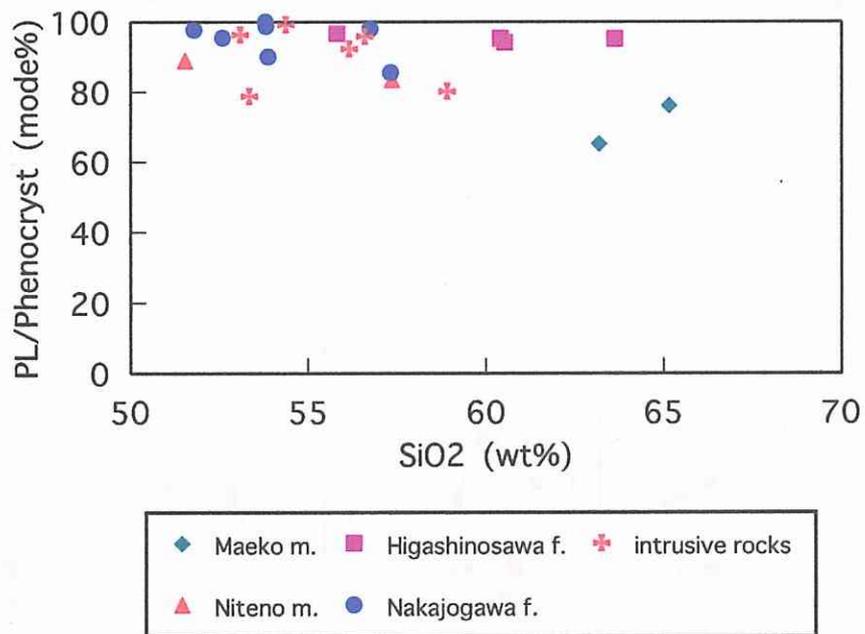


Fig. 3-1b; Proportion of plagioclase in phenocryst minerals vs. whole rock SiO₂ content (wt%).

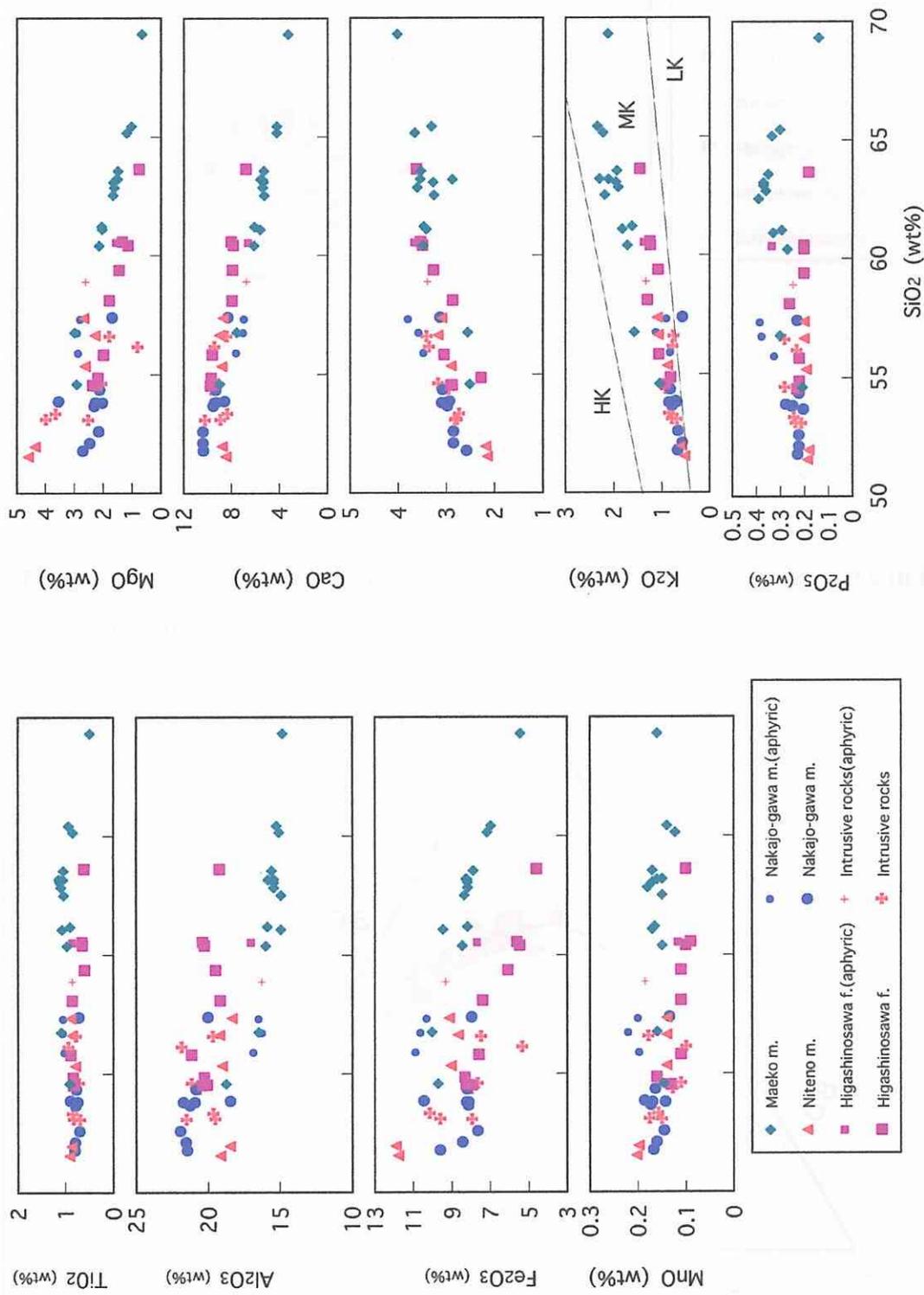


Fig. 3-2; Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

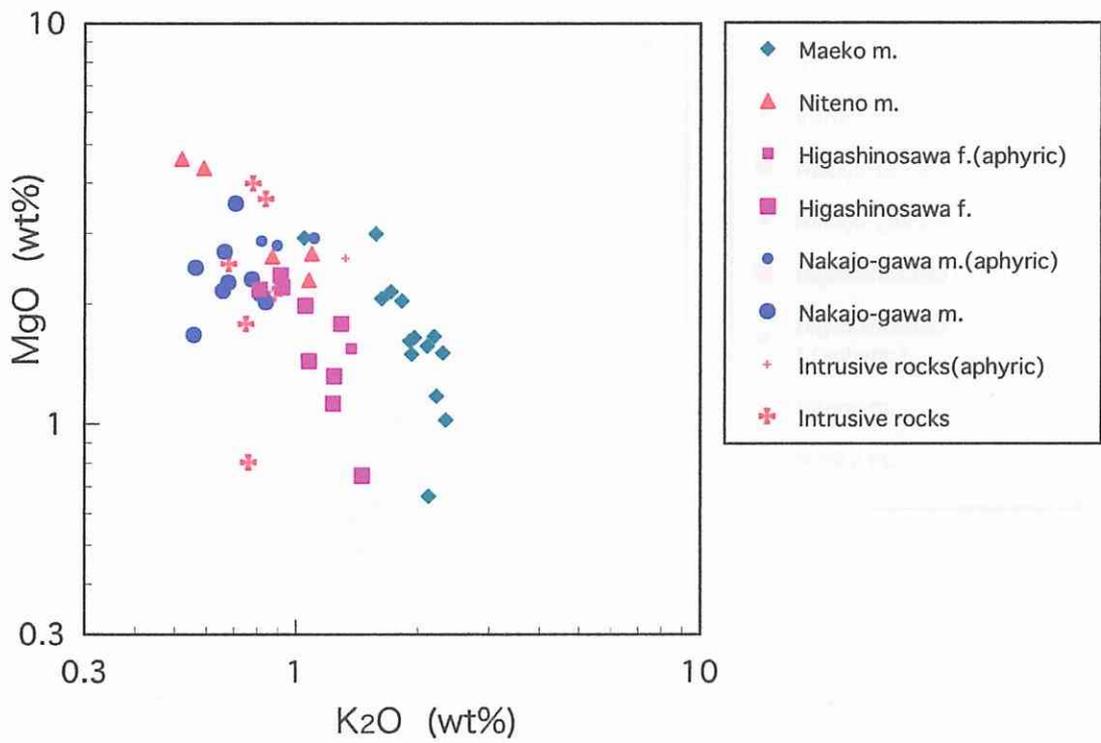


Fig. 3-3; Diagram showing MgO vs. K₂O for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

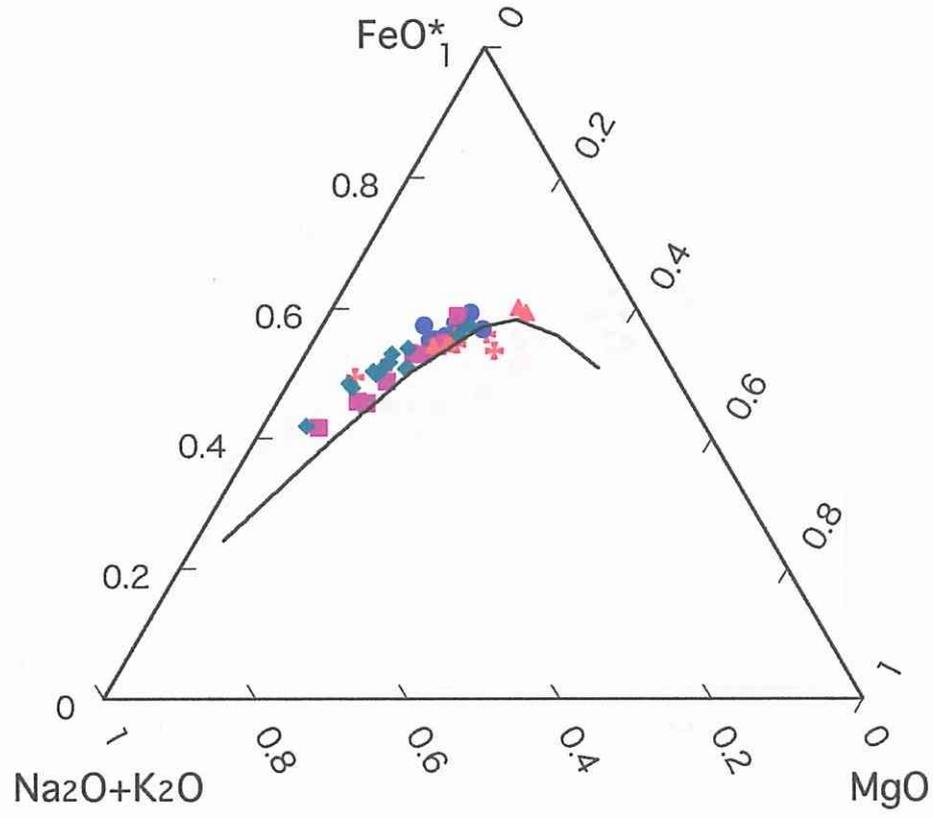


Fig. 3-4; MFA diagram for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

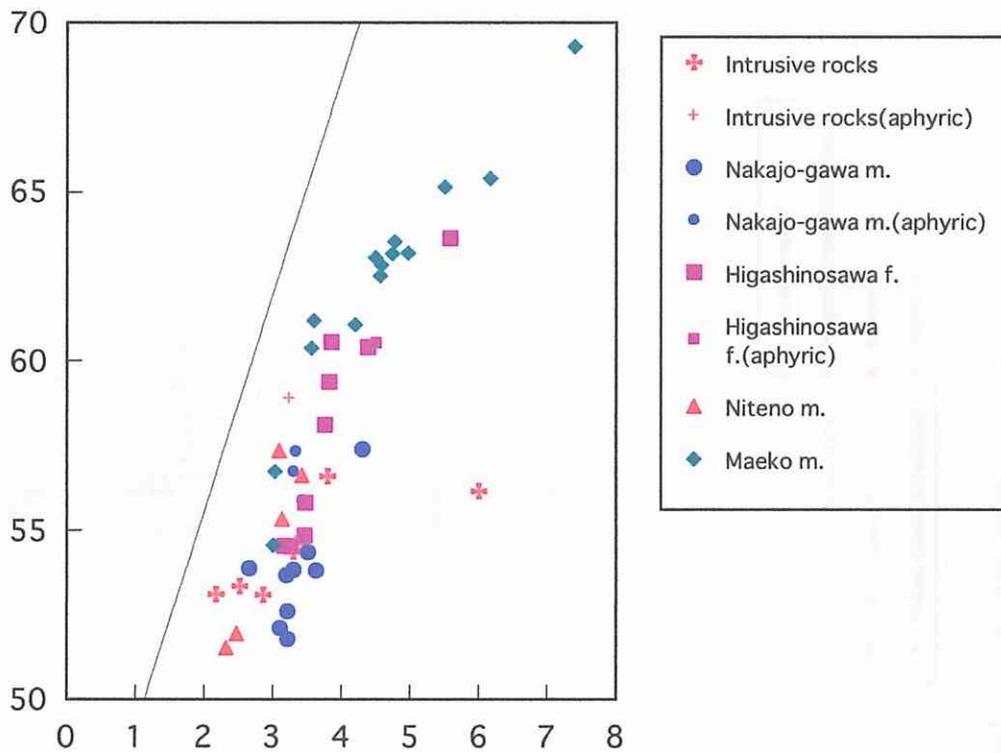


Fig. 3-5; FeO*/MgO vs. SiO₂ diagram for for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area. The boundary is after Miyashiro (1974).

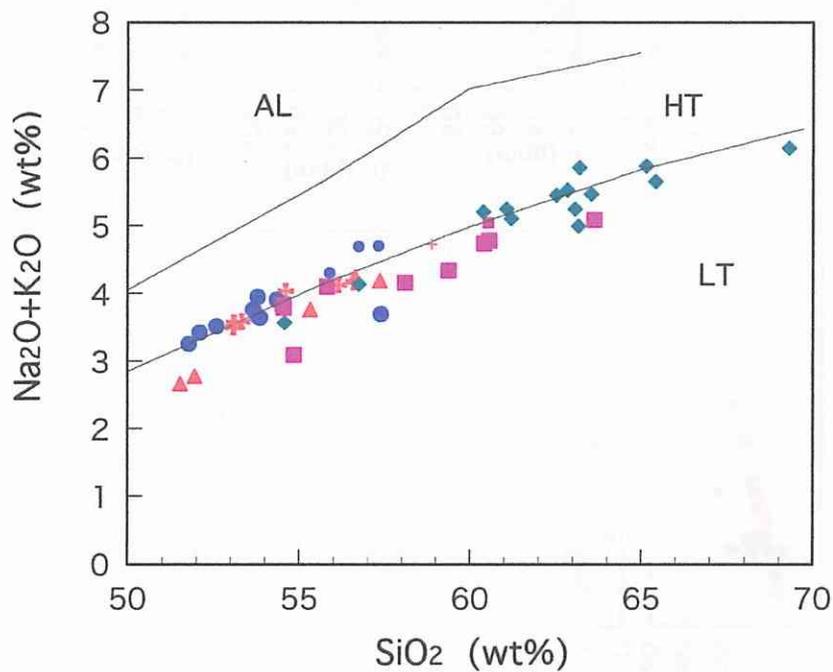


Fig. 3-6; Na₂O+K₂O vs. SiO₂ diagram for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area. The boundary is after Kuno (1968).

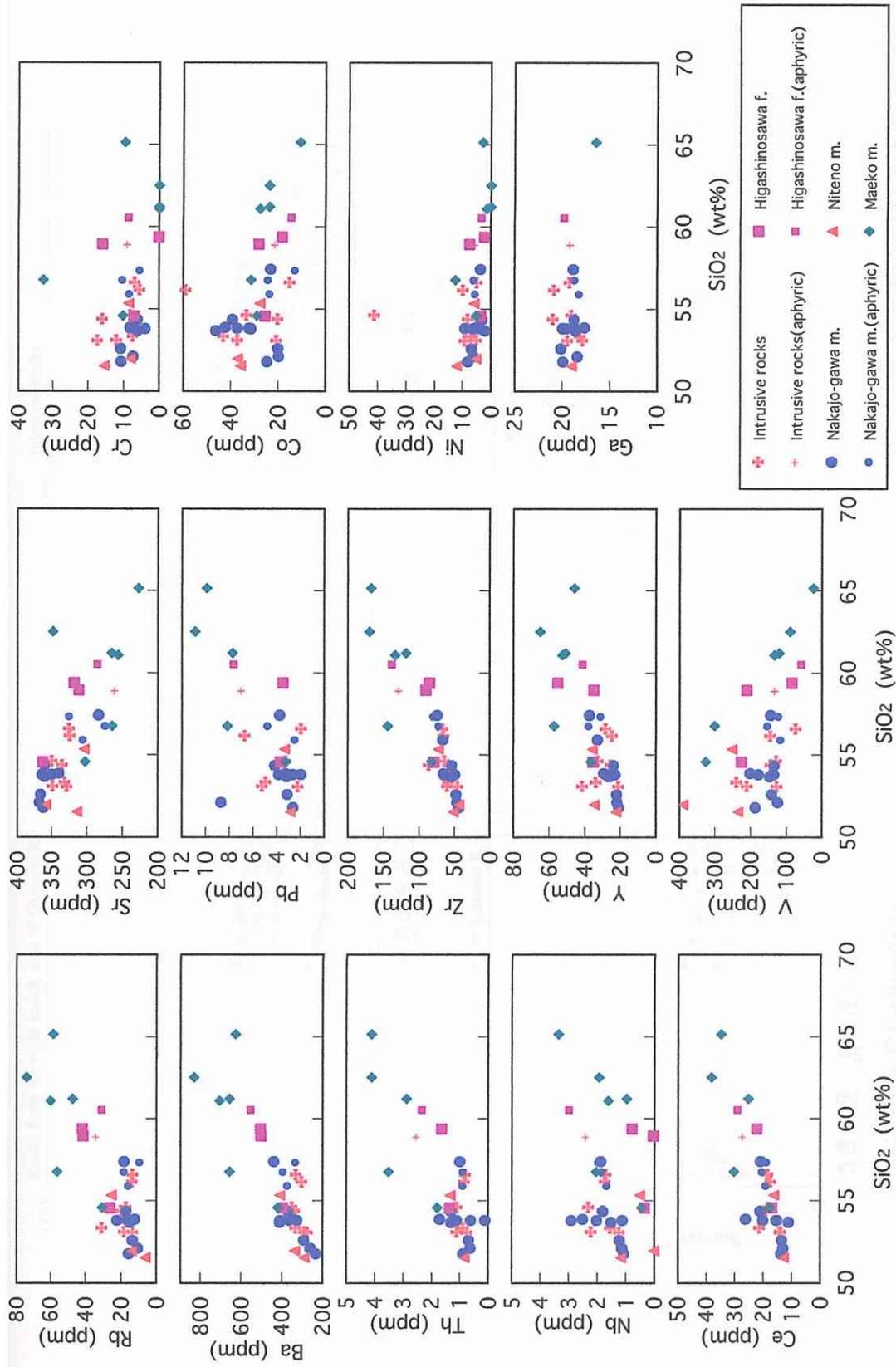


Fig. 3-7; Silica variation diagrams in trace element for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

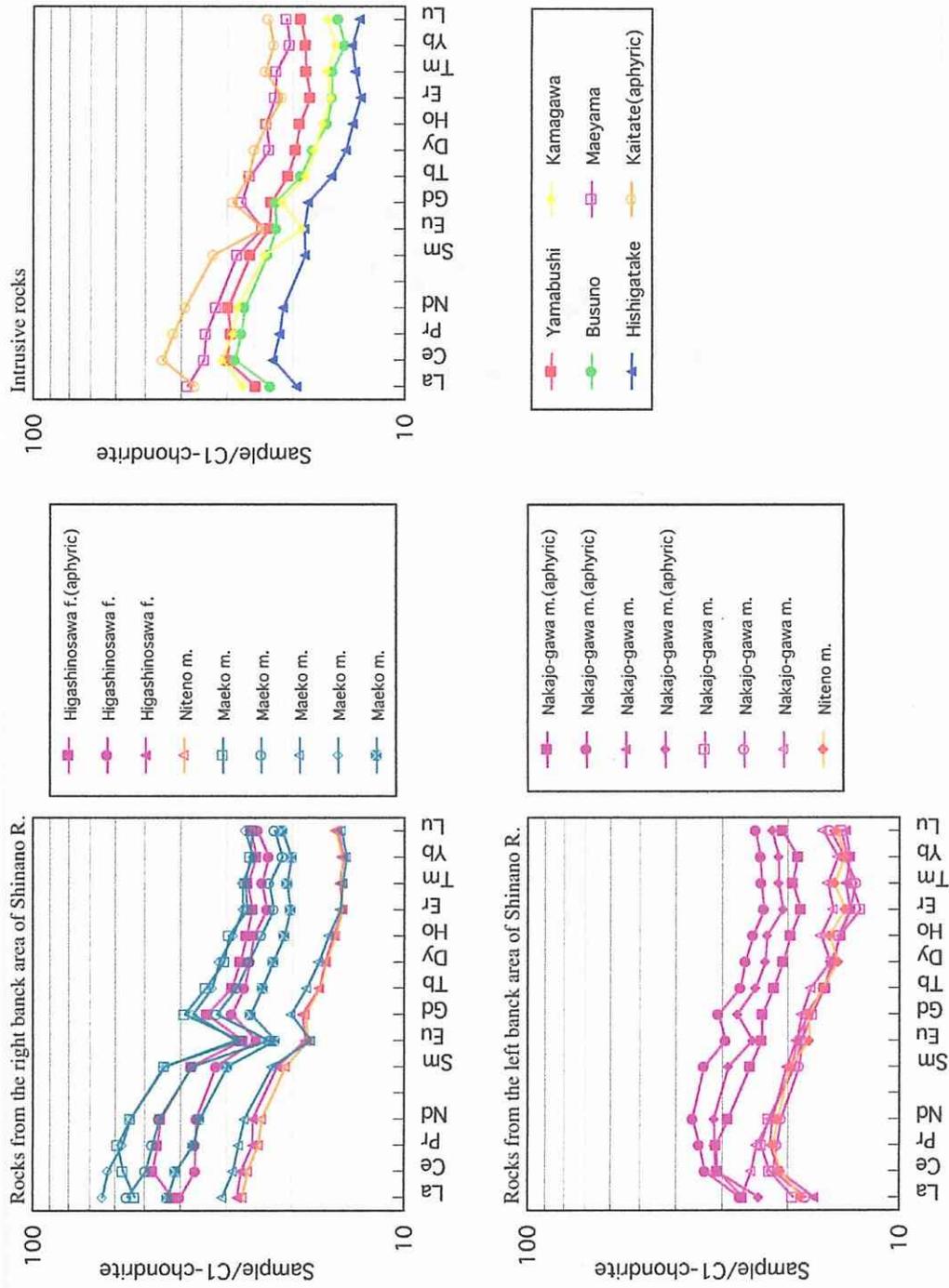


Fig. 3-8; Diagrams showing the C1-chondrite normalized REE patterns for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

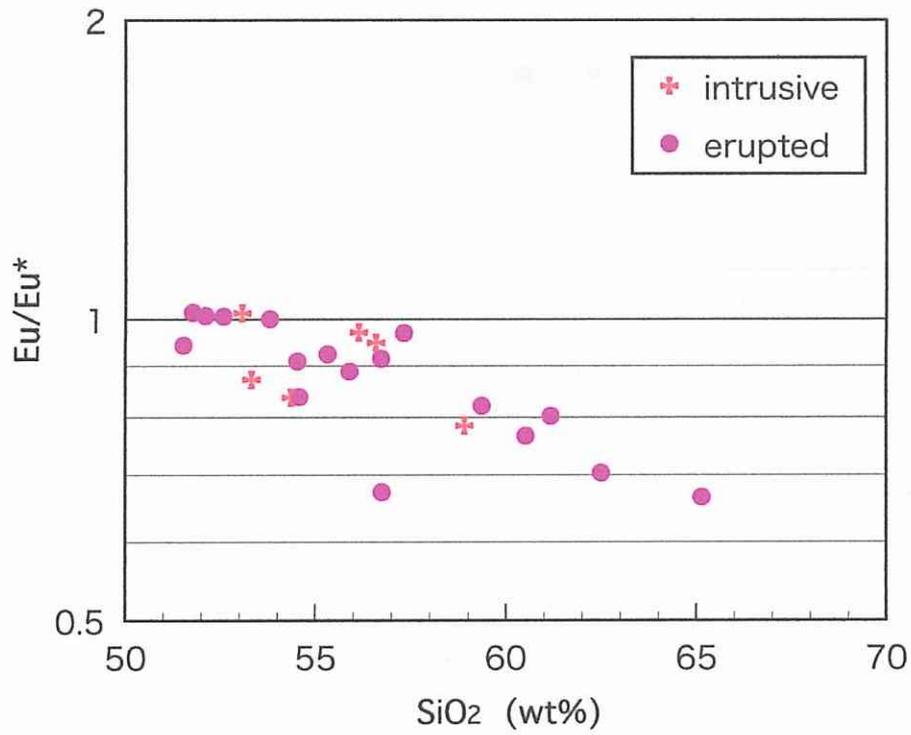


Fig. 3-9; Eu/Eu* vs. SiO₂ diagram for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

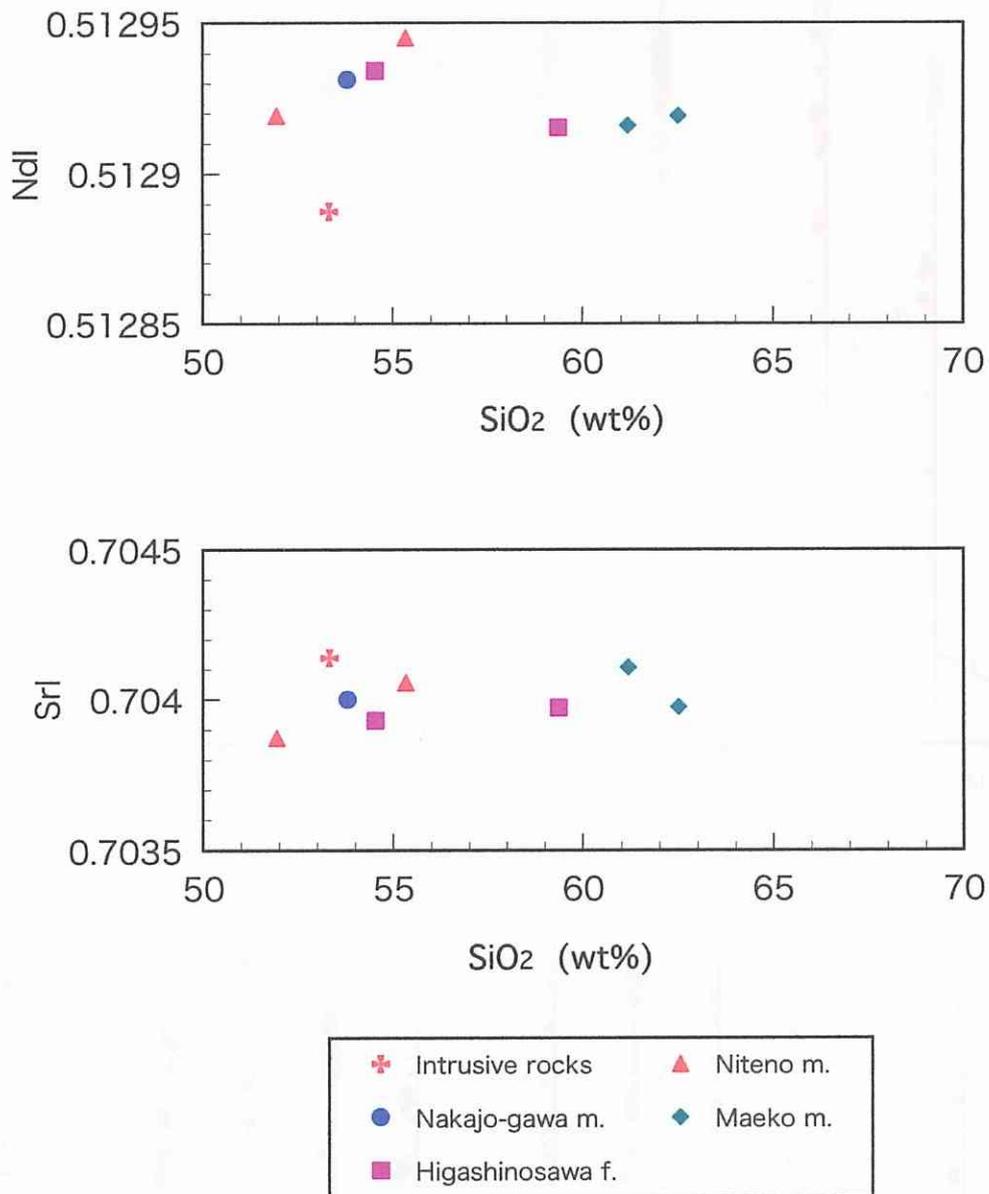


Fig. 3-10; NdI and SrI vs, SiO₂ diagram for tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

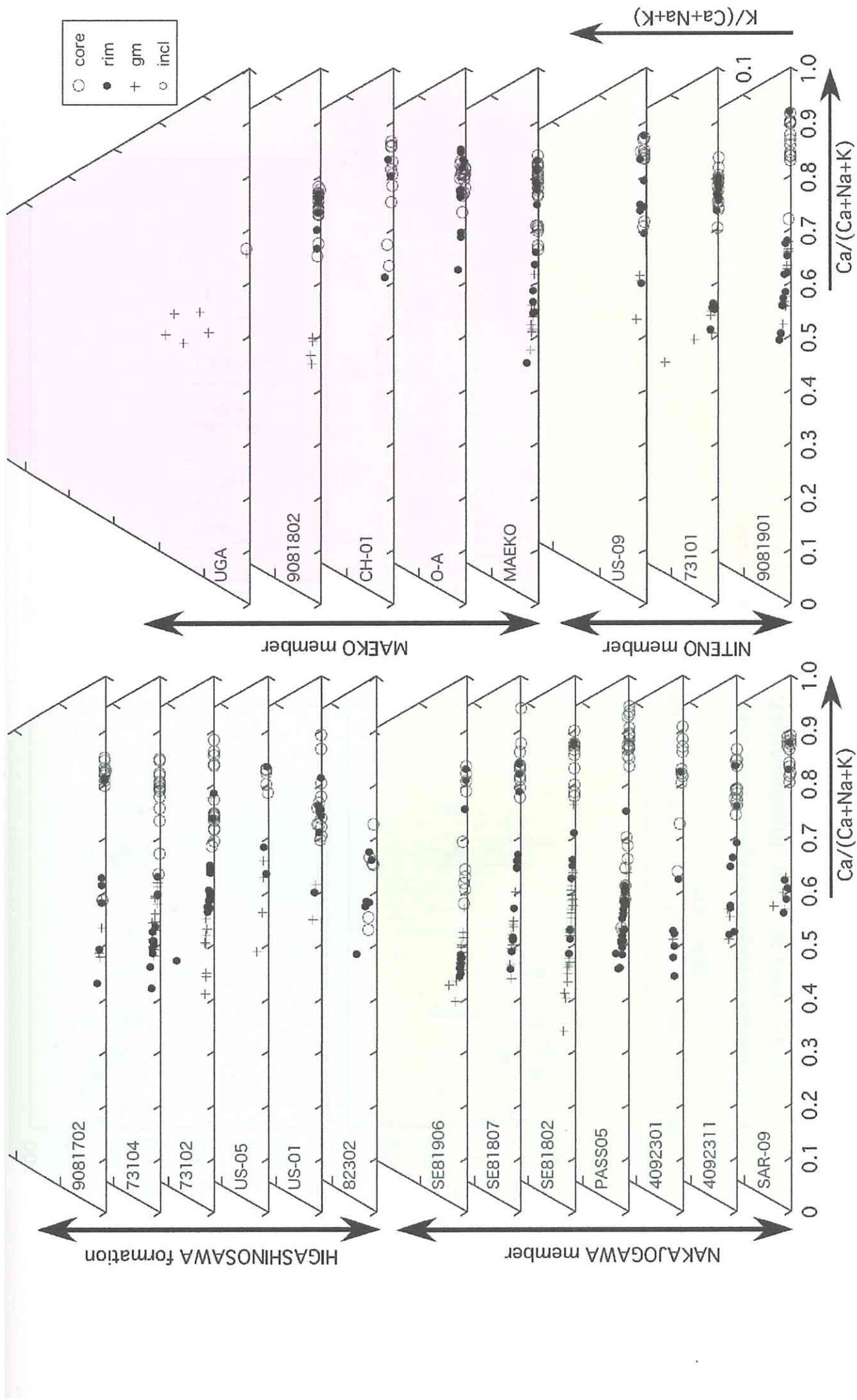


Fig. 3-11; Chemical compositions of plagioclase plotted in terms of K, Na and Ca (atomic %).

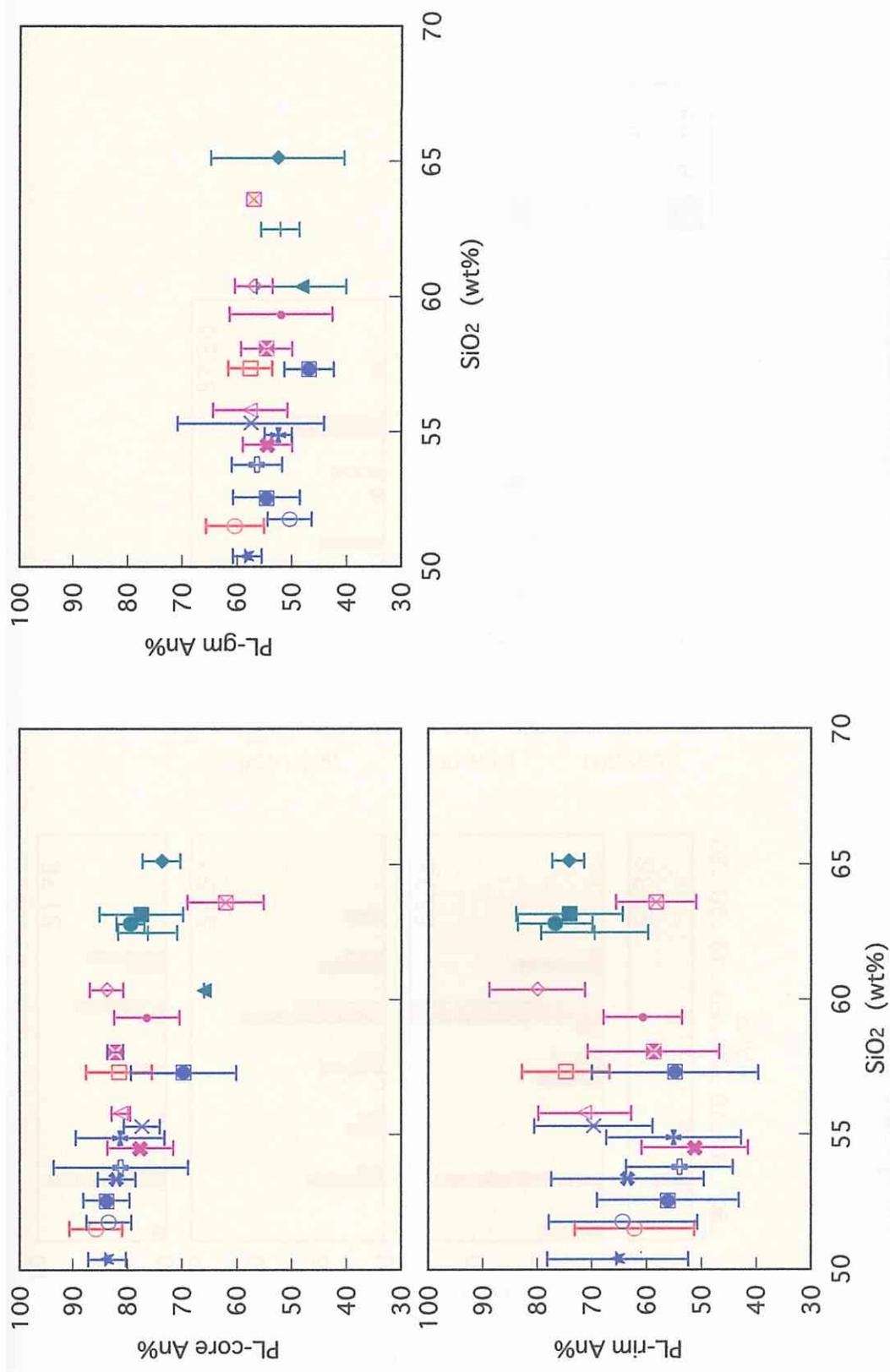


Fig. 3-12; An contents of plagioclase against SiO₂ contents of the host rocks.
 purple ; Nakajo-gawa m. blue ; Higashinosawa f. red ; Niteno m. dark green ; Maeko m.

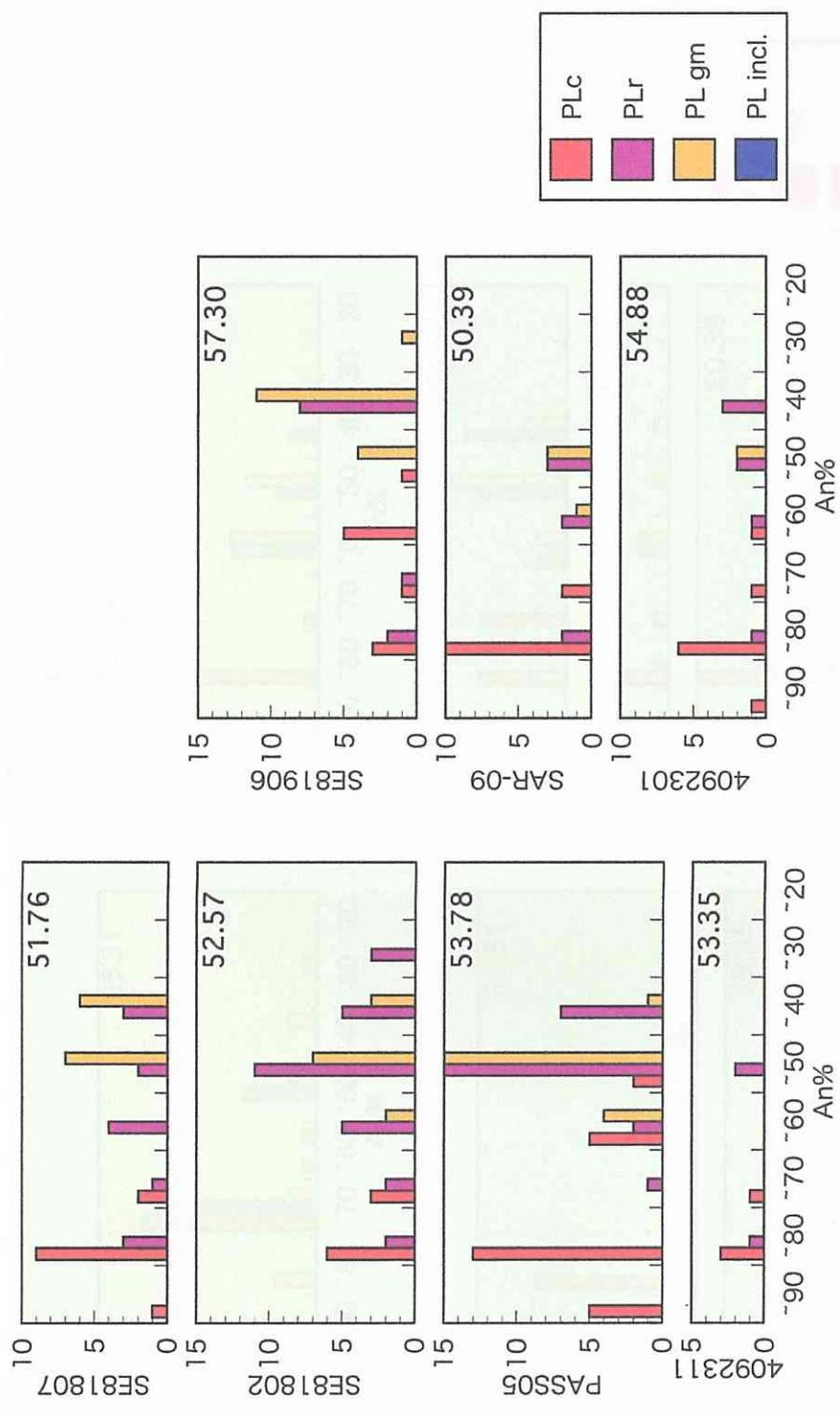


Fig. 3-13a; Chemical composition of plagioclase in the volcanic rocks of Nakajo-gawa member.
 Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

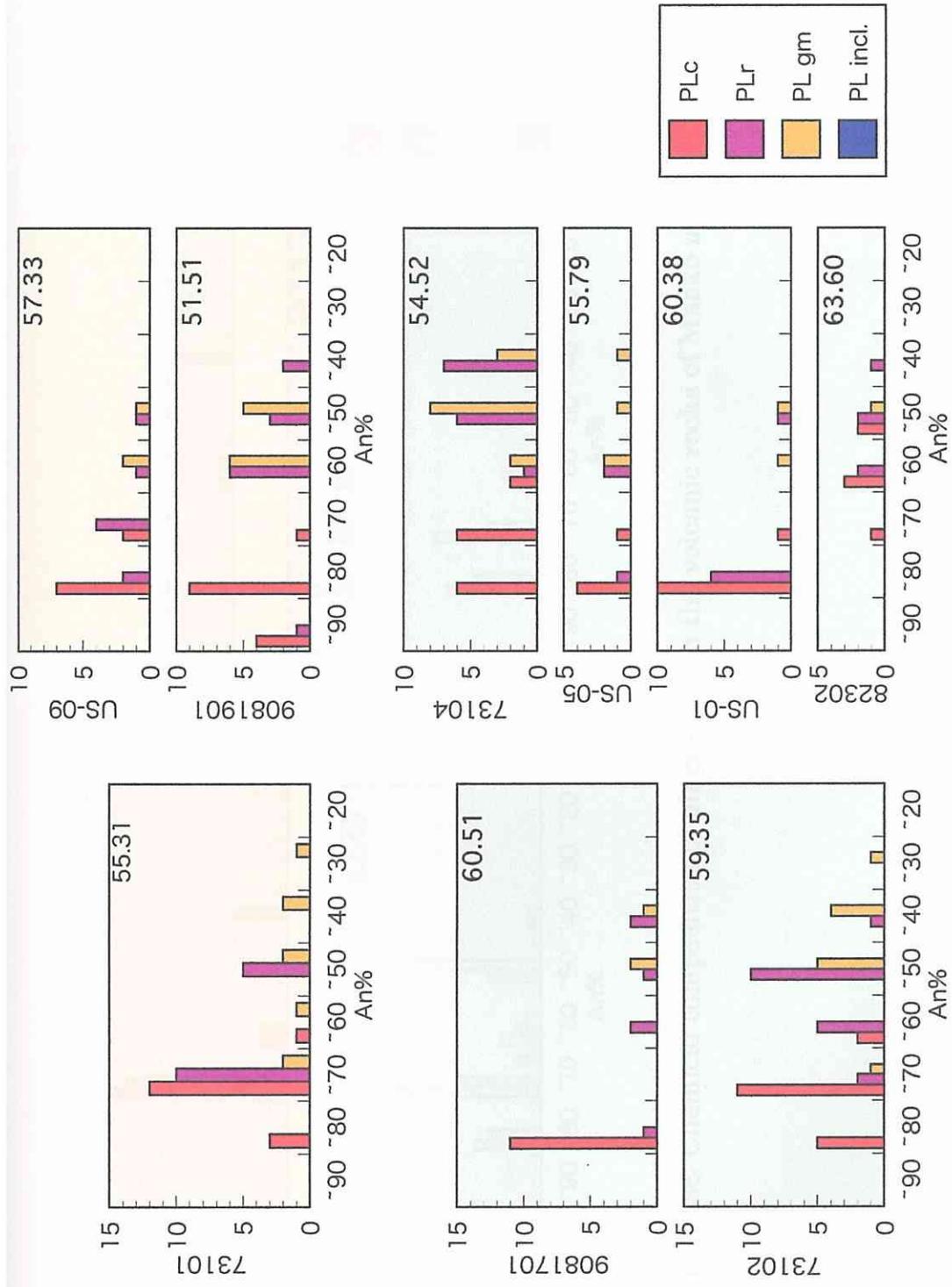


Fig. 3-13b; Chemical composition of plagioclase in the volcanic rocks of Higashinosawa and Niteno member.

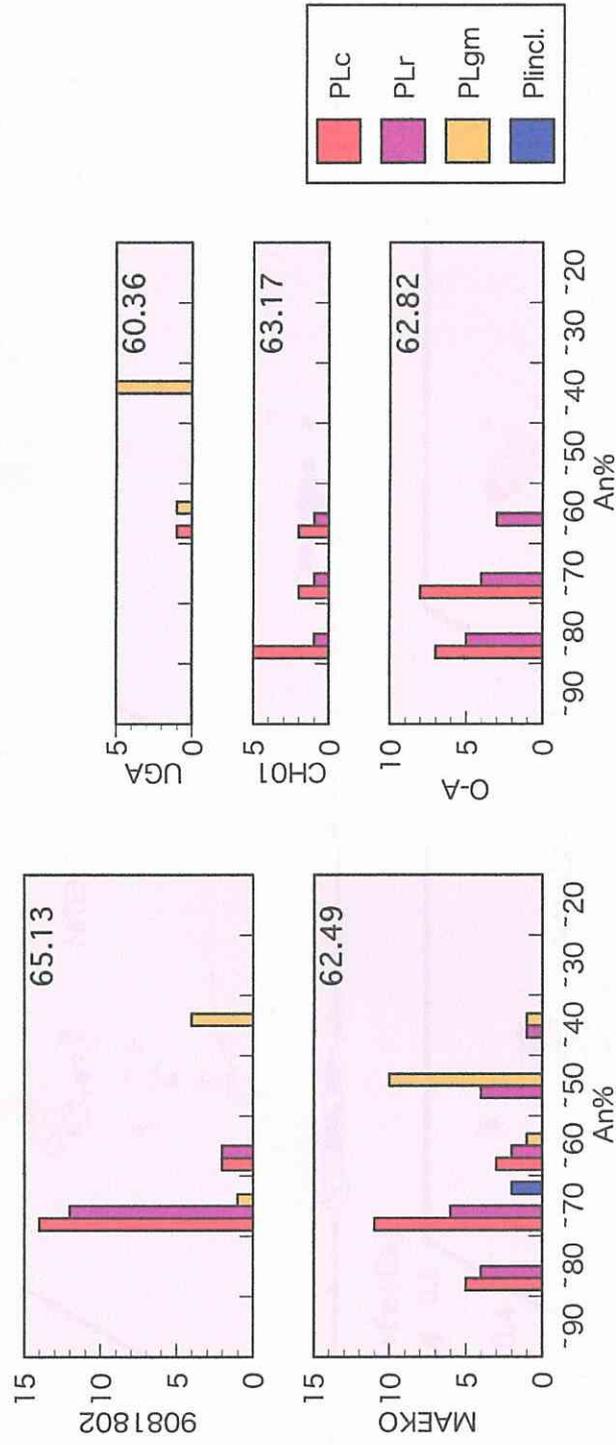


Fig. 3-13c: Chemical composition of plagioclase in the volcanic rocks of Maeko member.

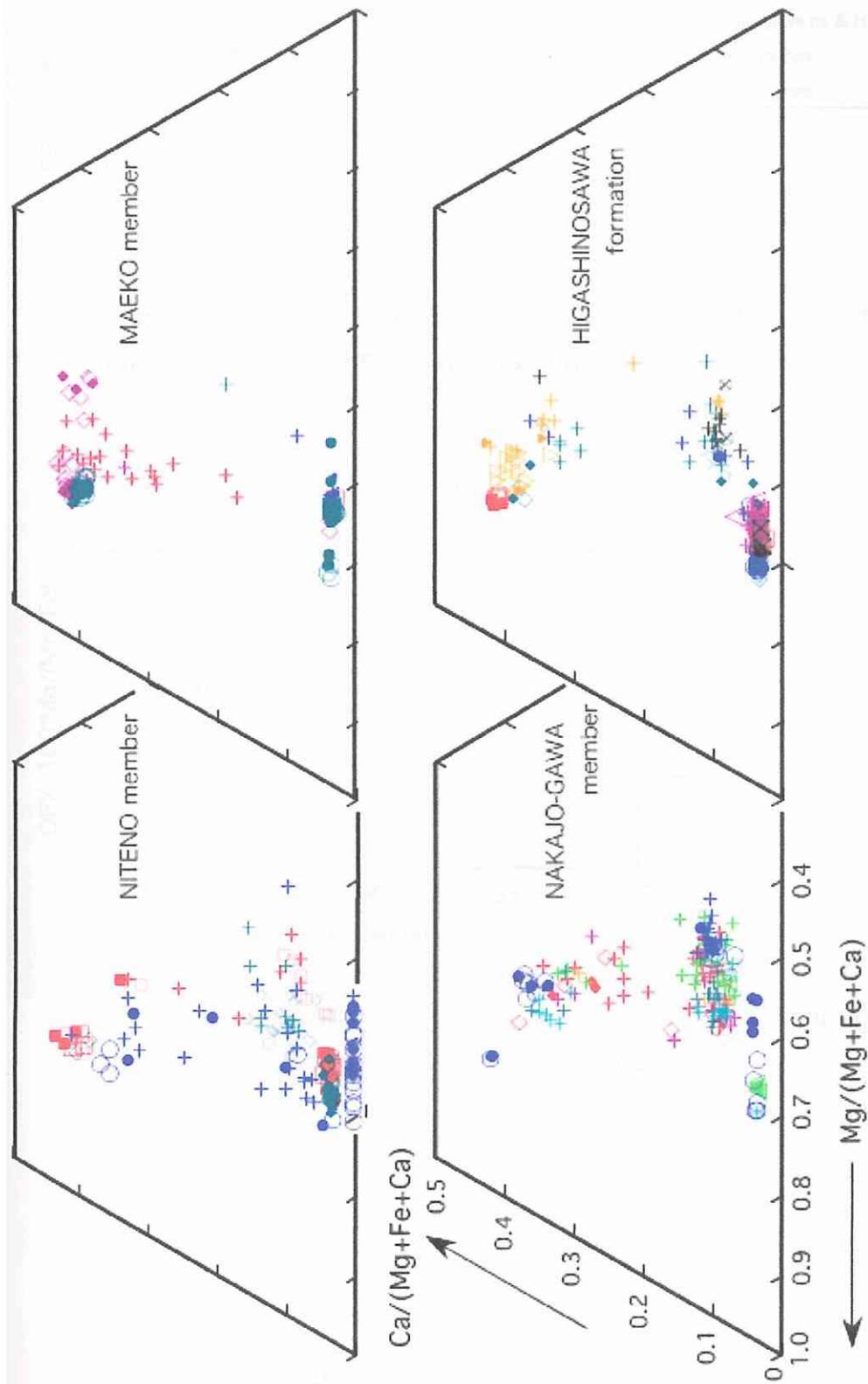


Fig. 3-14; Chemical composition of clinopyroxene, orthopyroxene and olivine plotted in terms of Ca, Mg and Fe (atomic %). Open symbols represent the core of phenocryst. Solid symbols are the rim of phenocrysts and the reaction rim. Crosses are the core of groundmass.

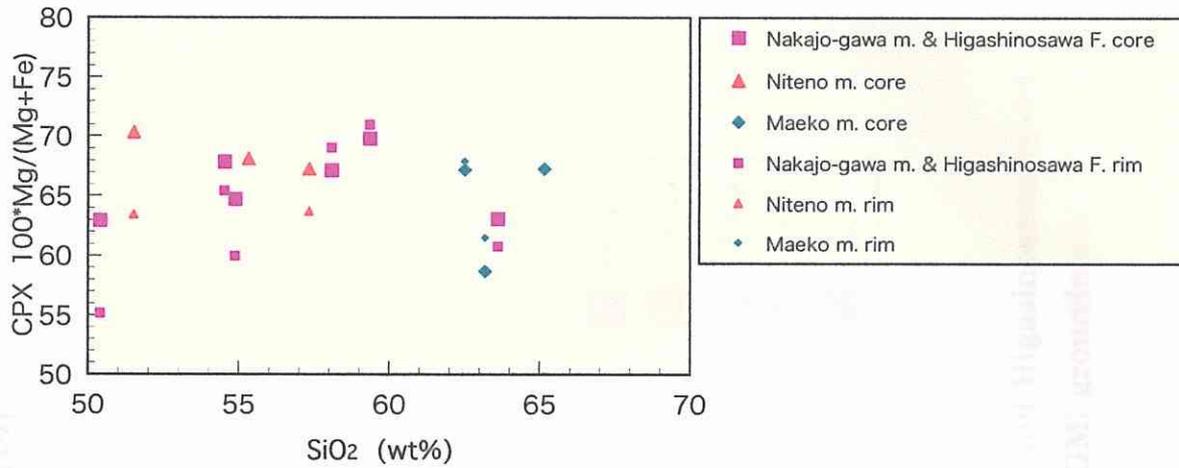


Fig. 3-15a; Chemical composition of the core and the rim of clinopyroxene phenocrysts against SiO₂ contents of the host rocks

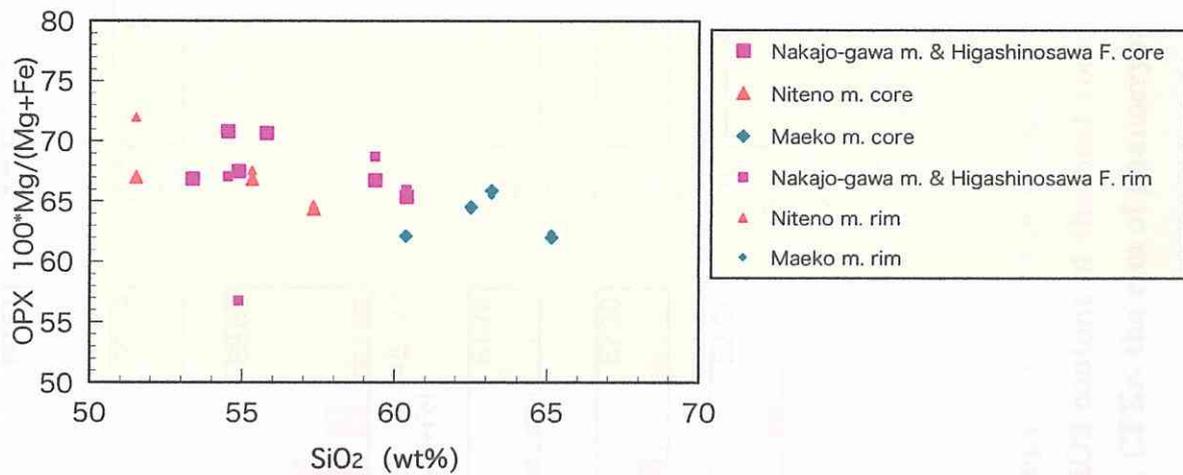


Fig. 3-15b; Chemical composition of the core and the rim of orthopyroxene phenocrysts against SiO₂ contents of the host rocks

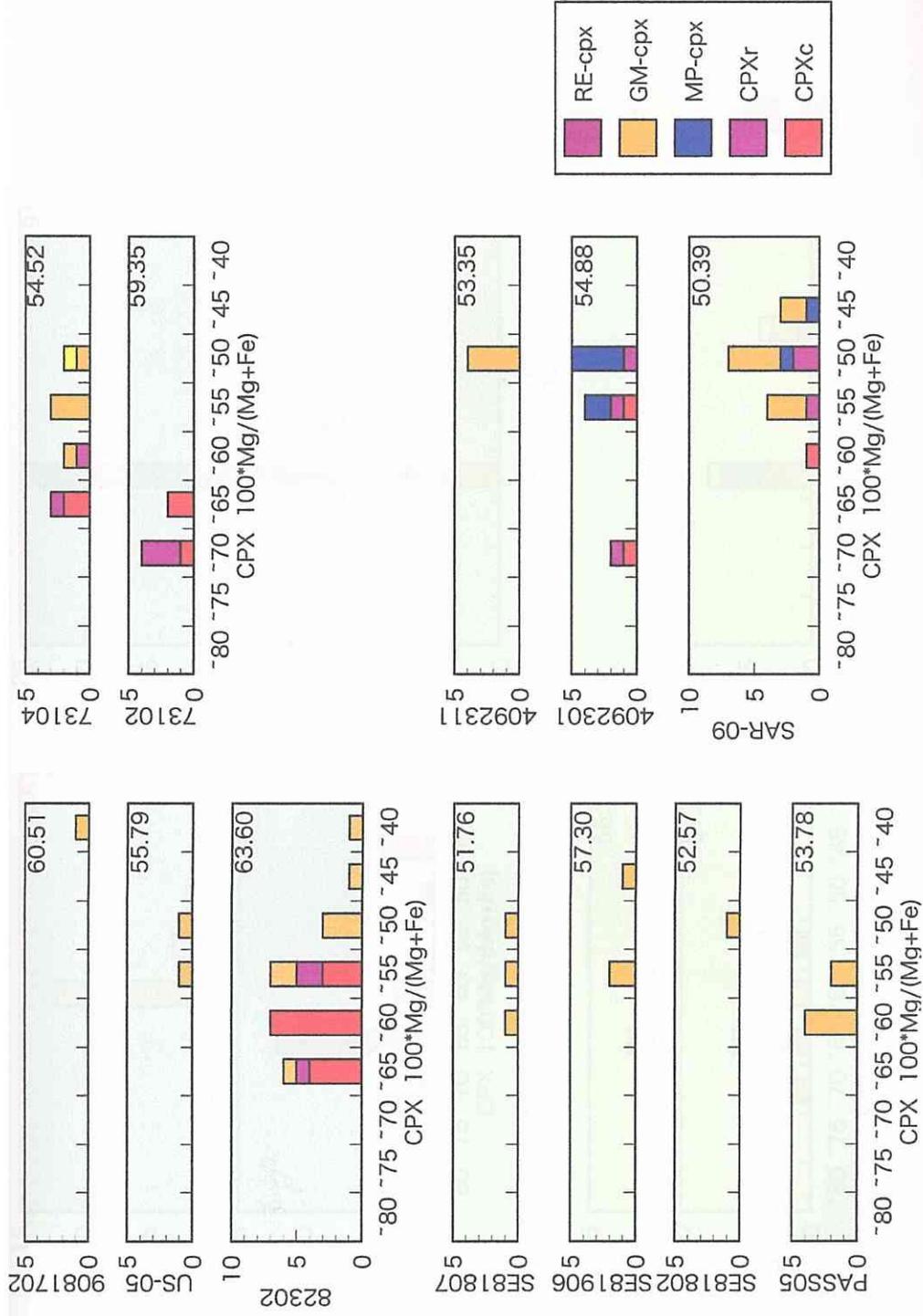


Fig. 3-16a: Chemical composition of clinopyroxene in the volcanic rocks of Nakajo-gawa and Higashinosawa member. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock. RE; reaction rim, GM; groundmass, MP; micro phenocryst, CPXc; the core of phenocryst, CPXr; the rim of phenocryst.

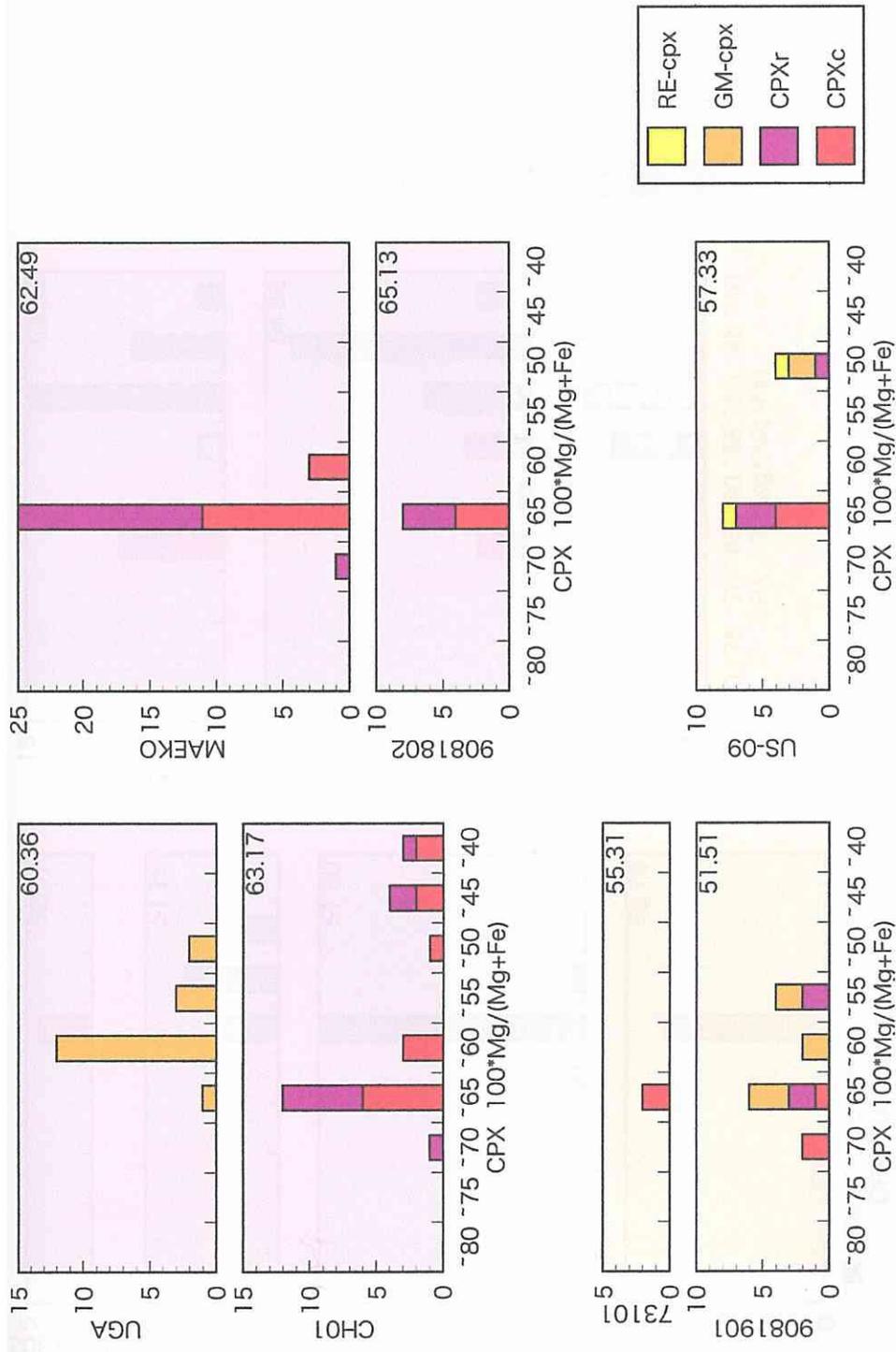


Fig. 3-16b; Chemical composition of clinopyroxene in the volcanic rocks of Niteno and Maeko member. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

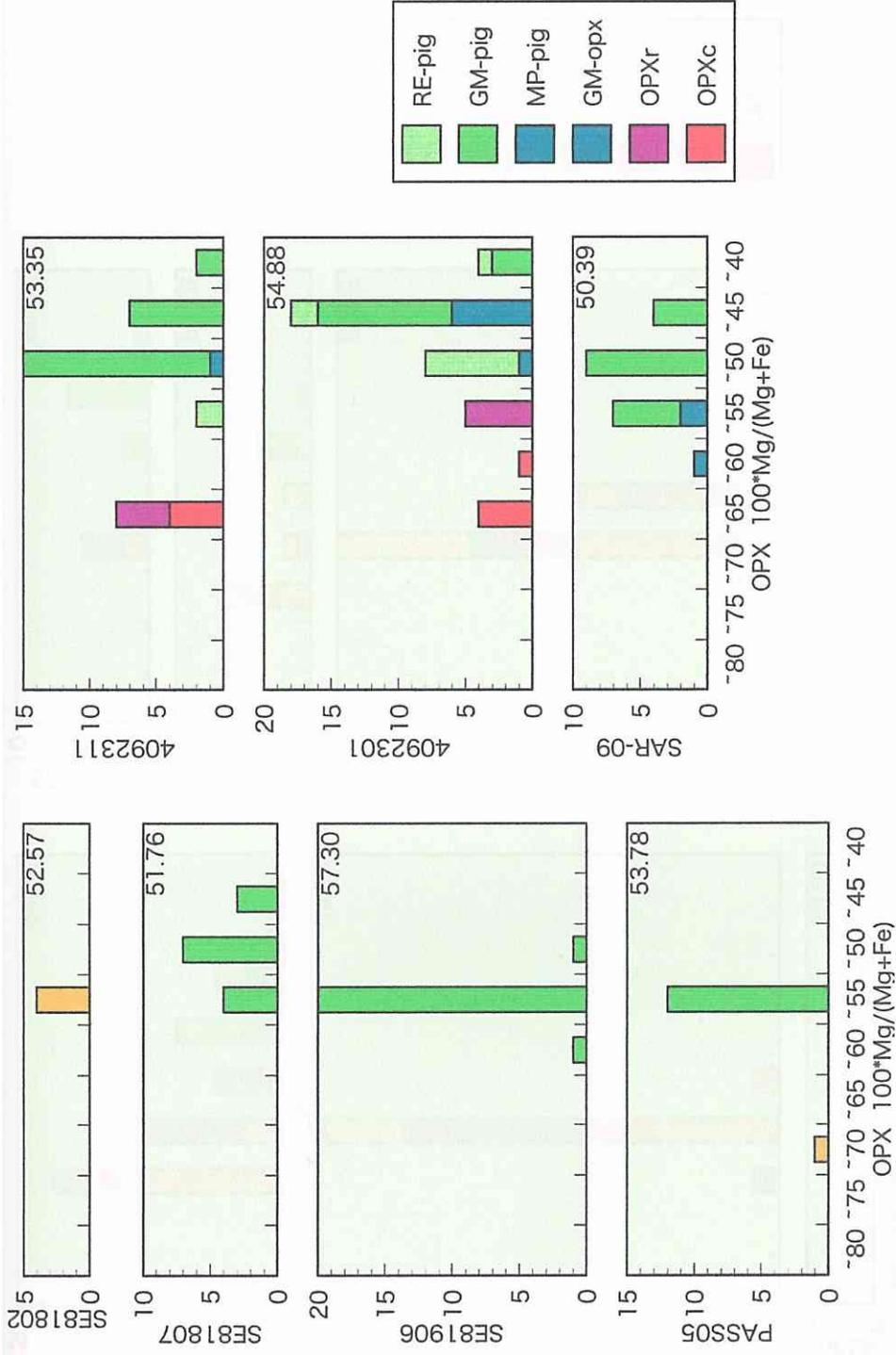


Fig. 3-16c: Chemical composition of orthopyroxene in the volcanic rocks of Nakajo-gawa member. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock. pig; pigeonite

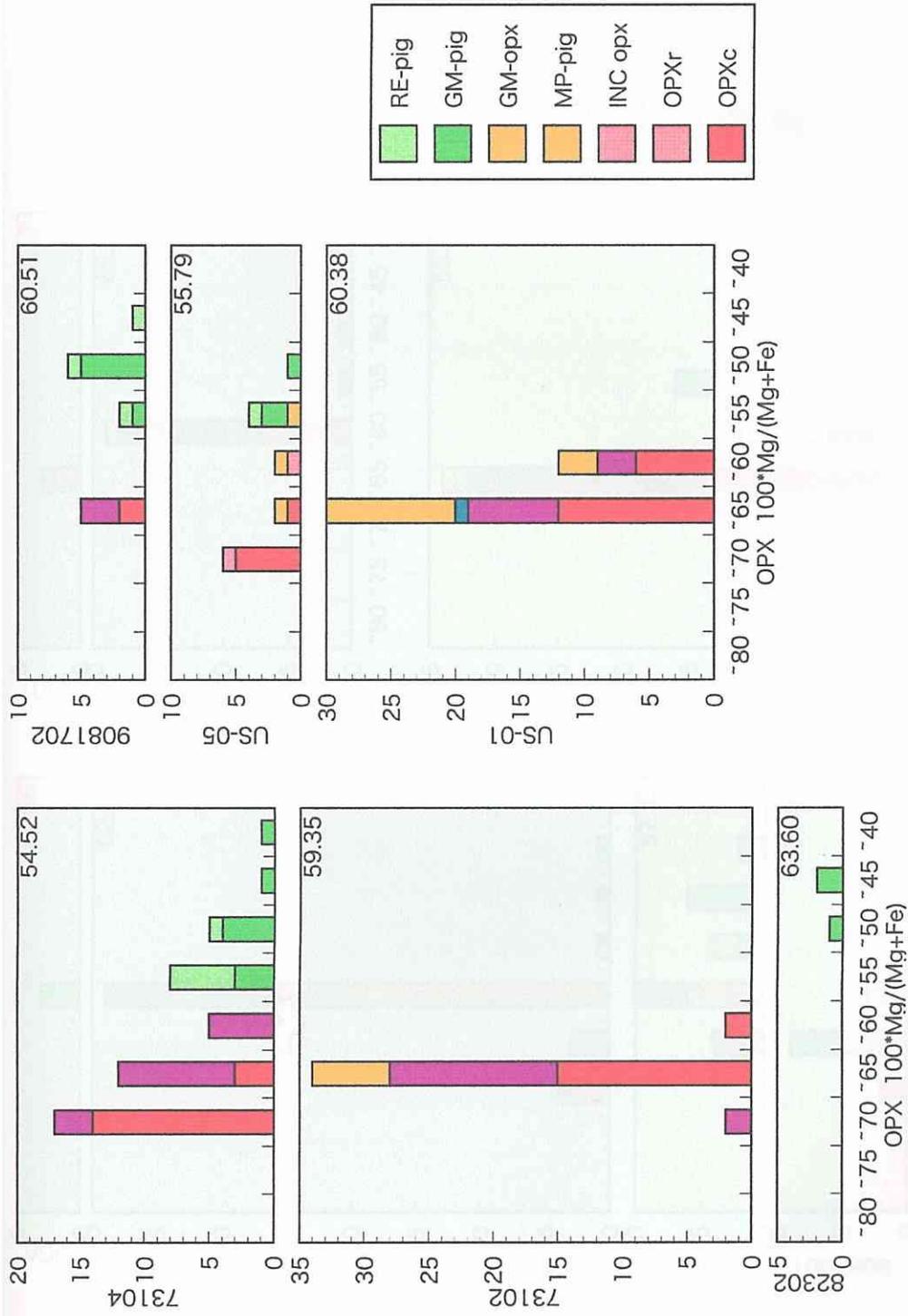


Fig. 3-16d: Chemical composition of orthopyroxene in the volcanic rocks of Higashinosawa member. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

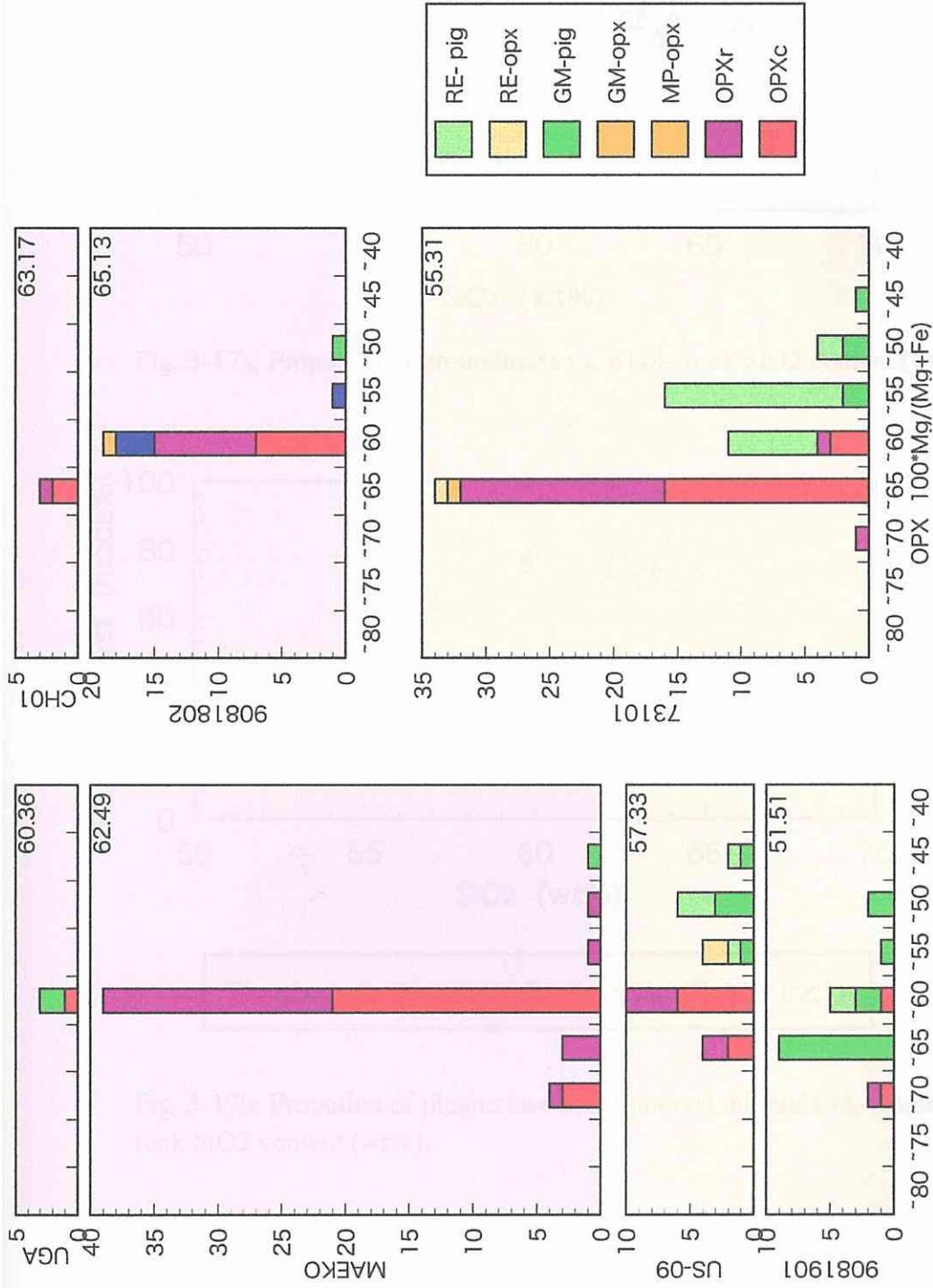


Fig. 3-16e; Chemical composition of orthopyroxene in the volcanic rocks of Niteno and Maeko member. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

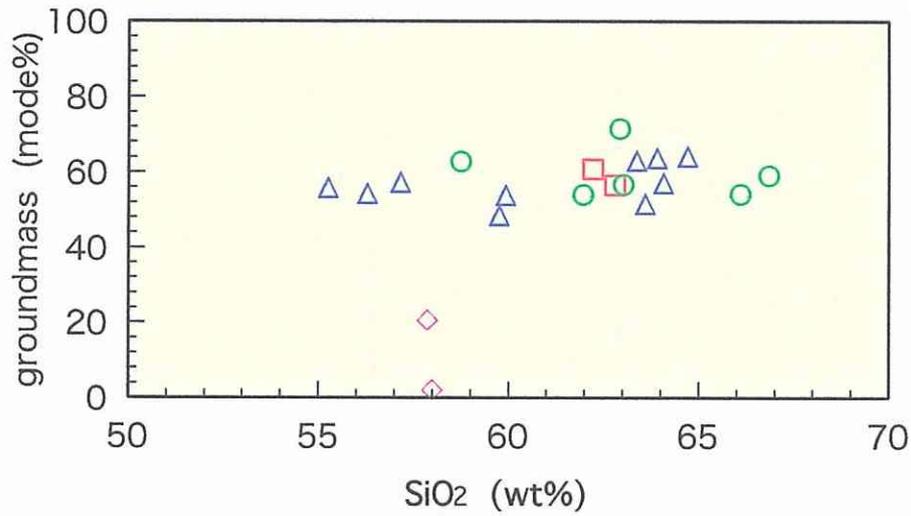


Fig. 3-17a; Proportion of groundmass vs. whole rock SiO₂ content (wt%).

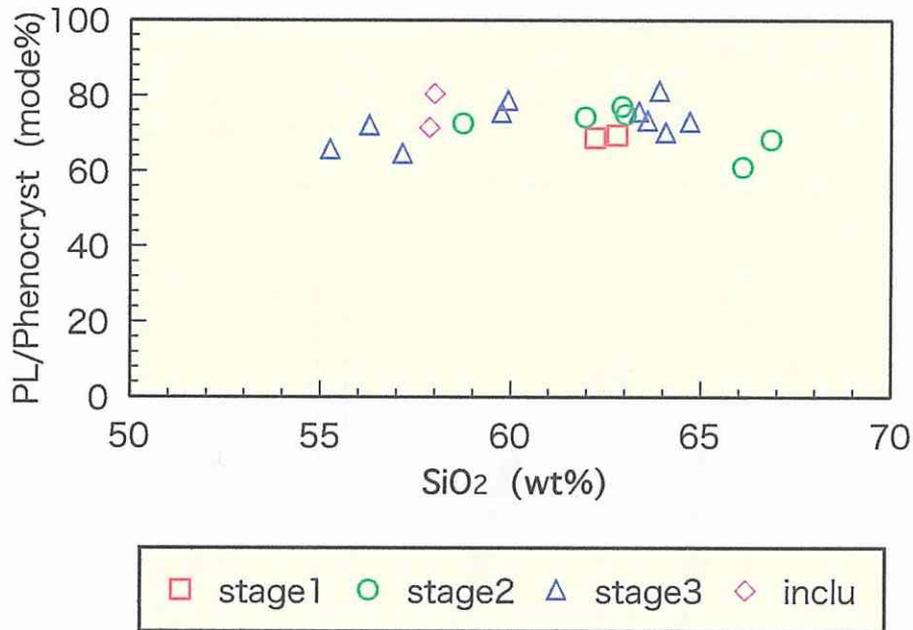


Fig. 3-17b; Proportion of plagioclase in phenocryst minerals vs. whole rock SiO₂ content (wt%).

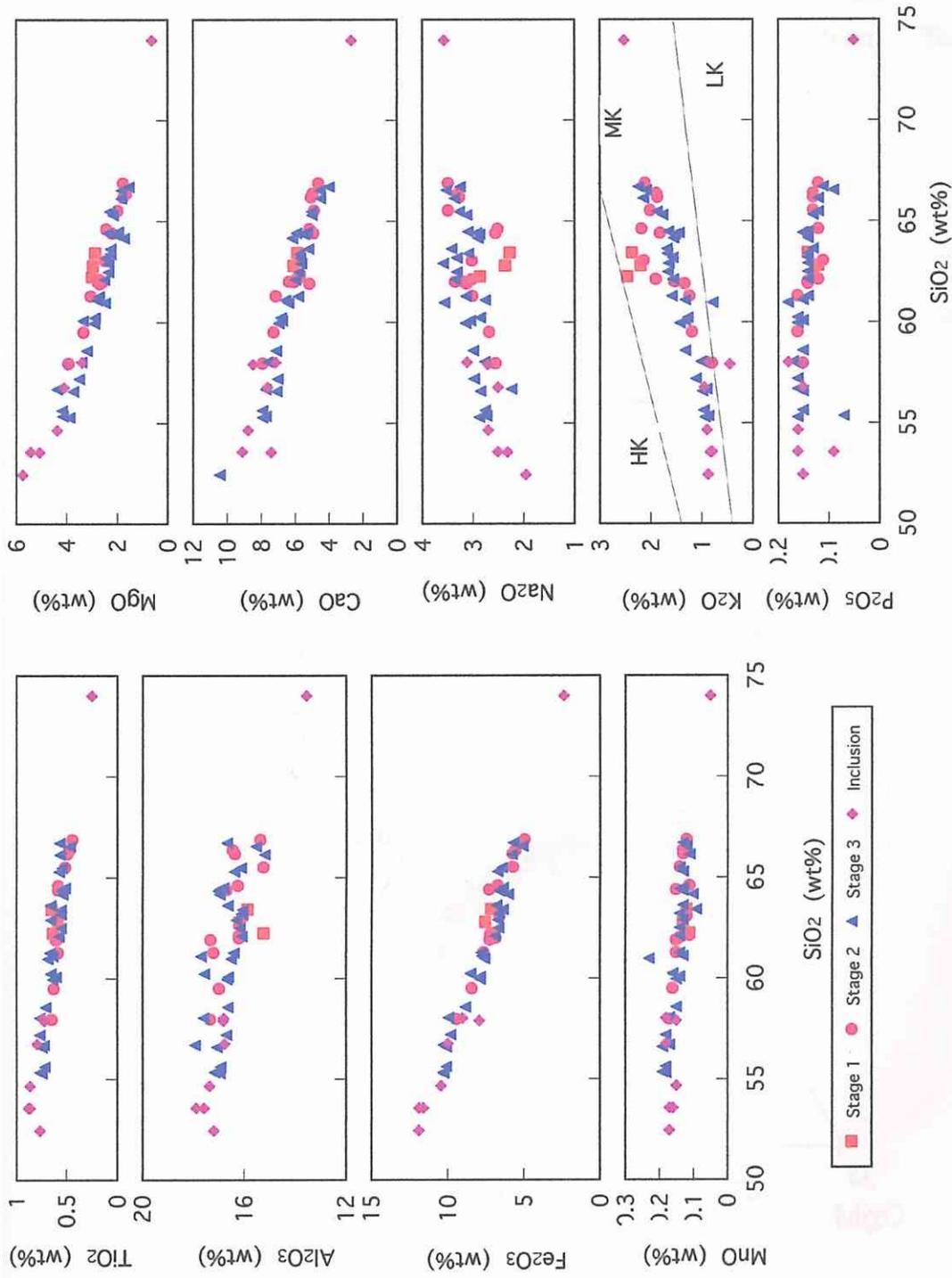


Fig. 3-18; Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

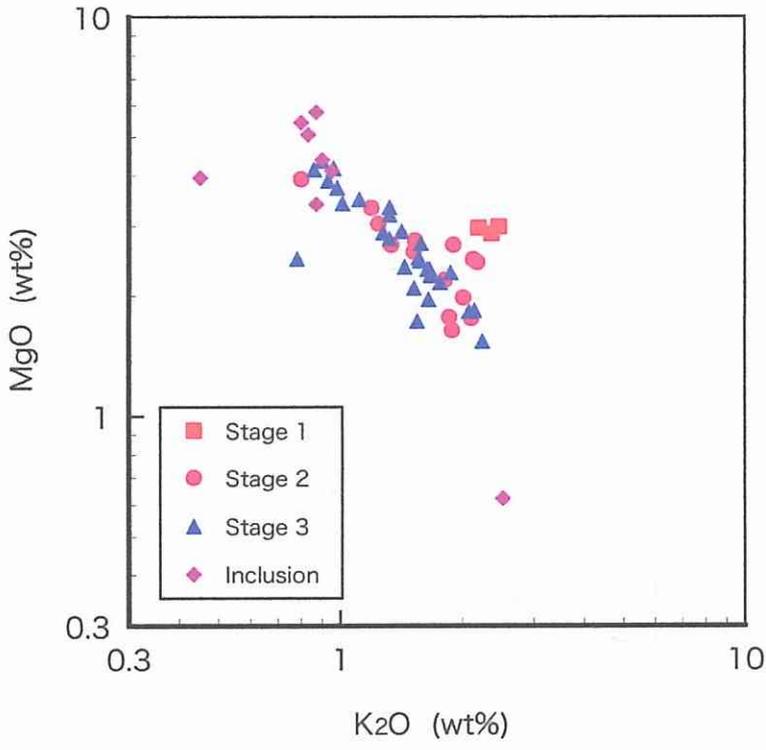


Fig. 3-19; Diagram showing MgO vs. K₂O for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

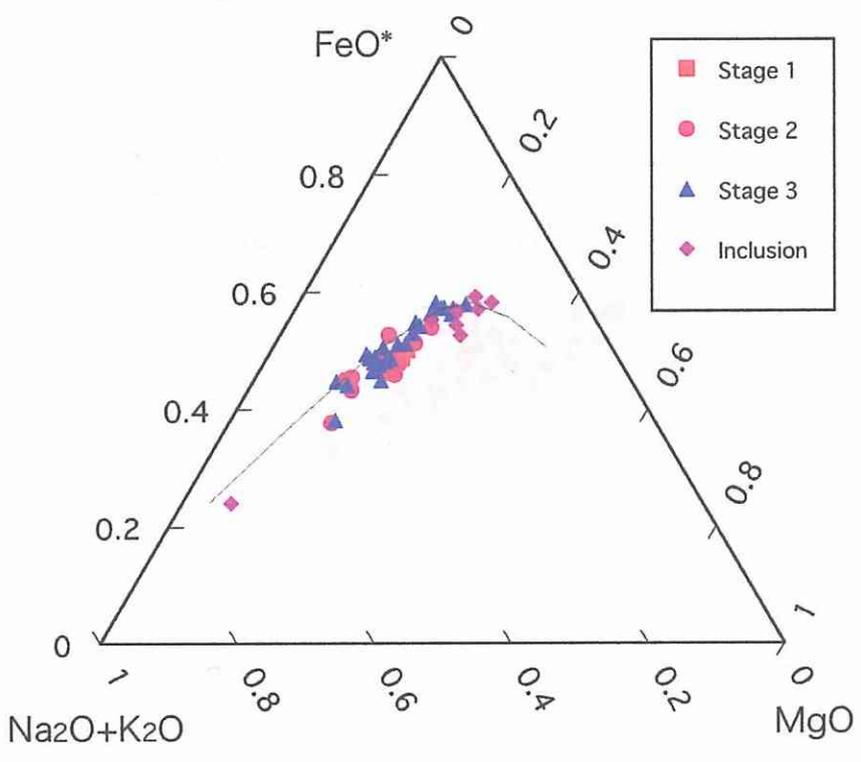


Fig. 3-20; MFA diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

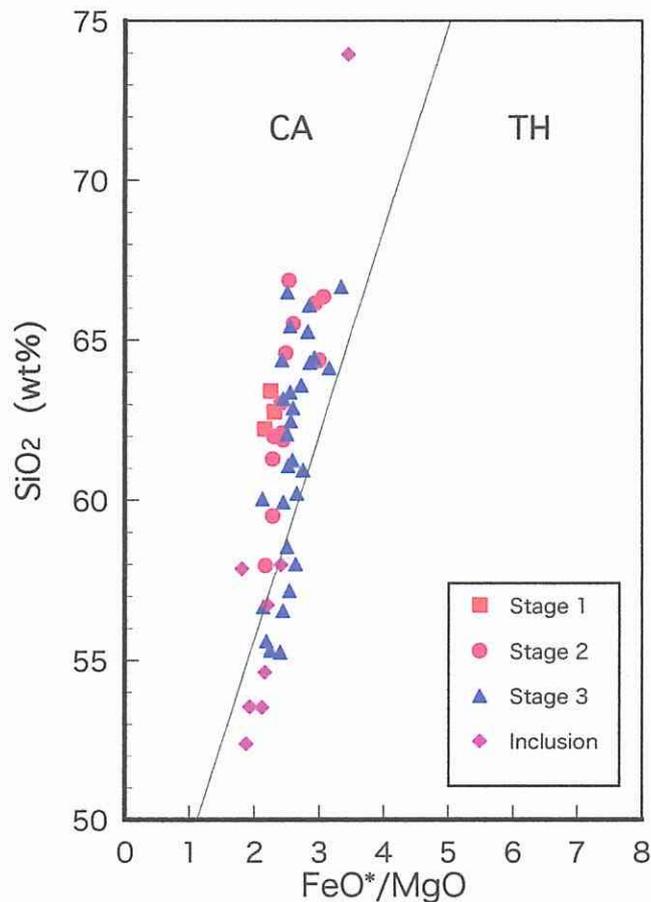


Fig. 3-21; FeO*/MgO vs. SiO₂ diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano. The boundary is after Miyashiro (1974).

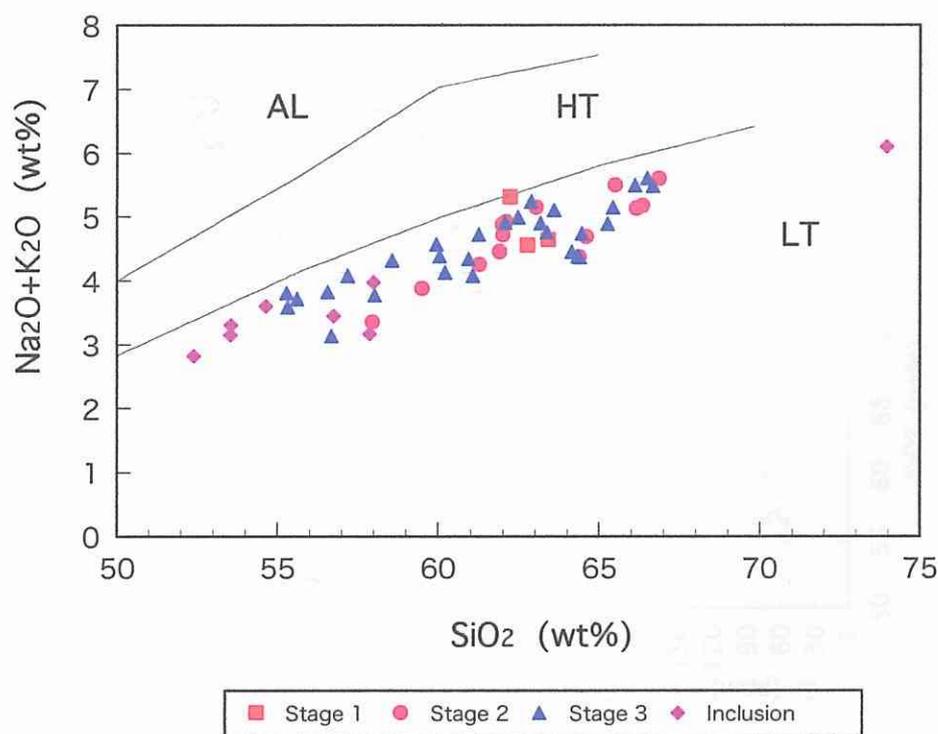


Fig. 3-22; Na₂O+K₂O vs. SiO₂ diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano. The boundary is after Kuno (1968).

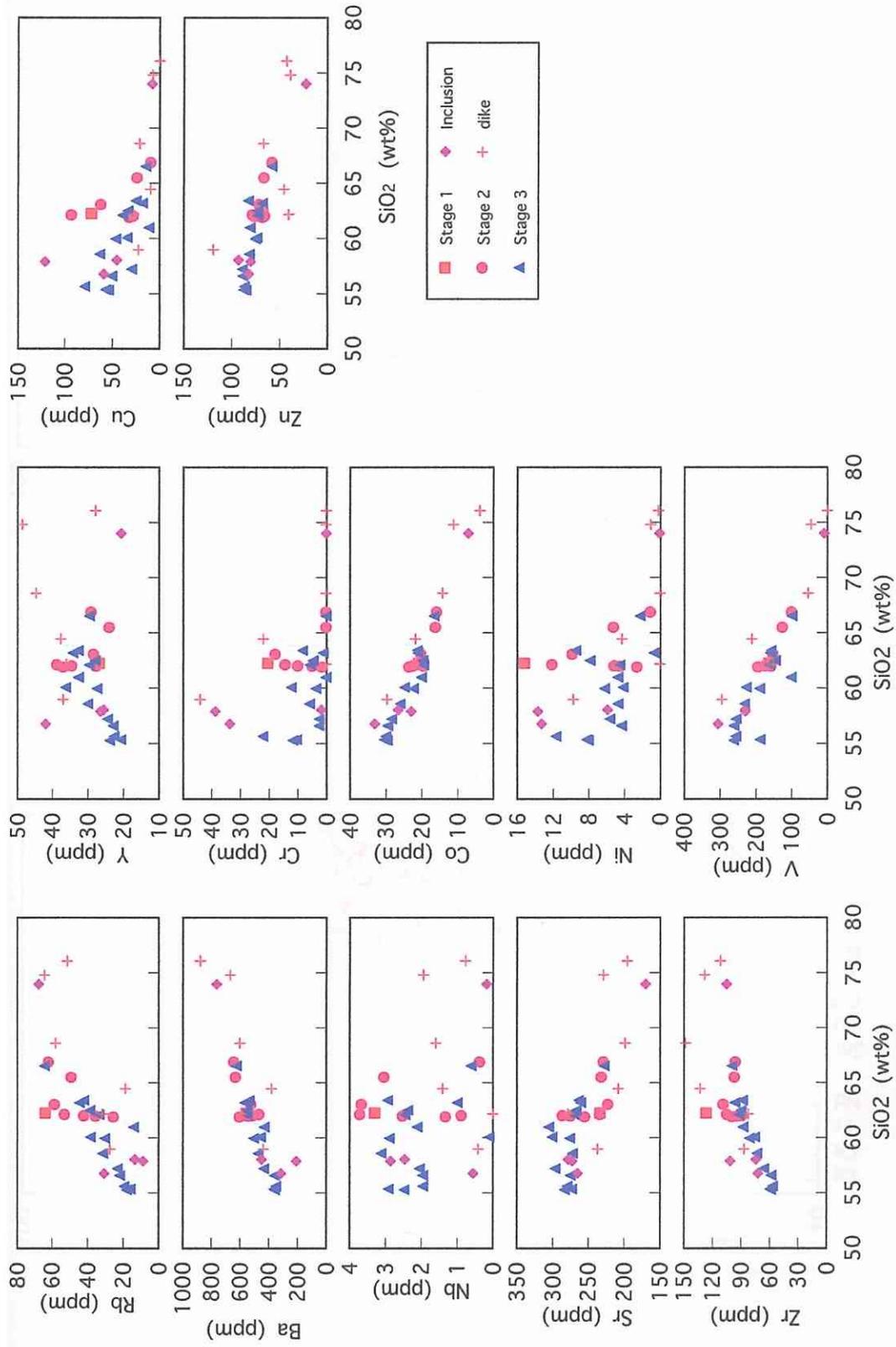


Fig. 3-23; Silica variation diagrams in trace element for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

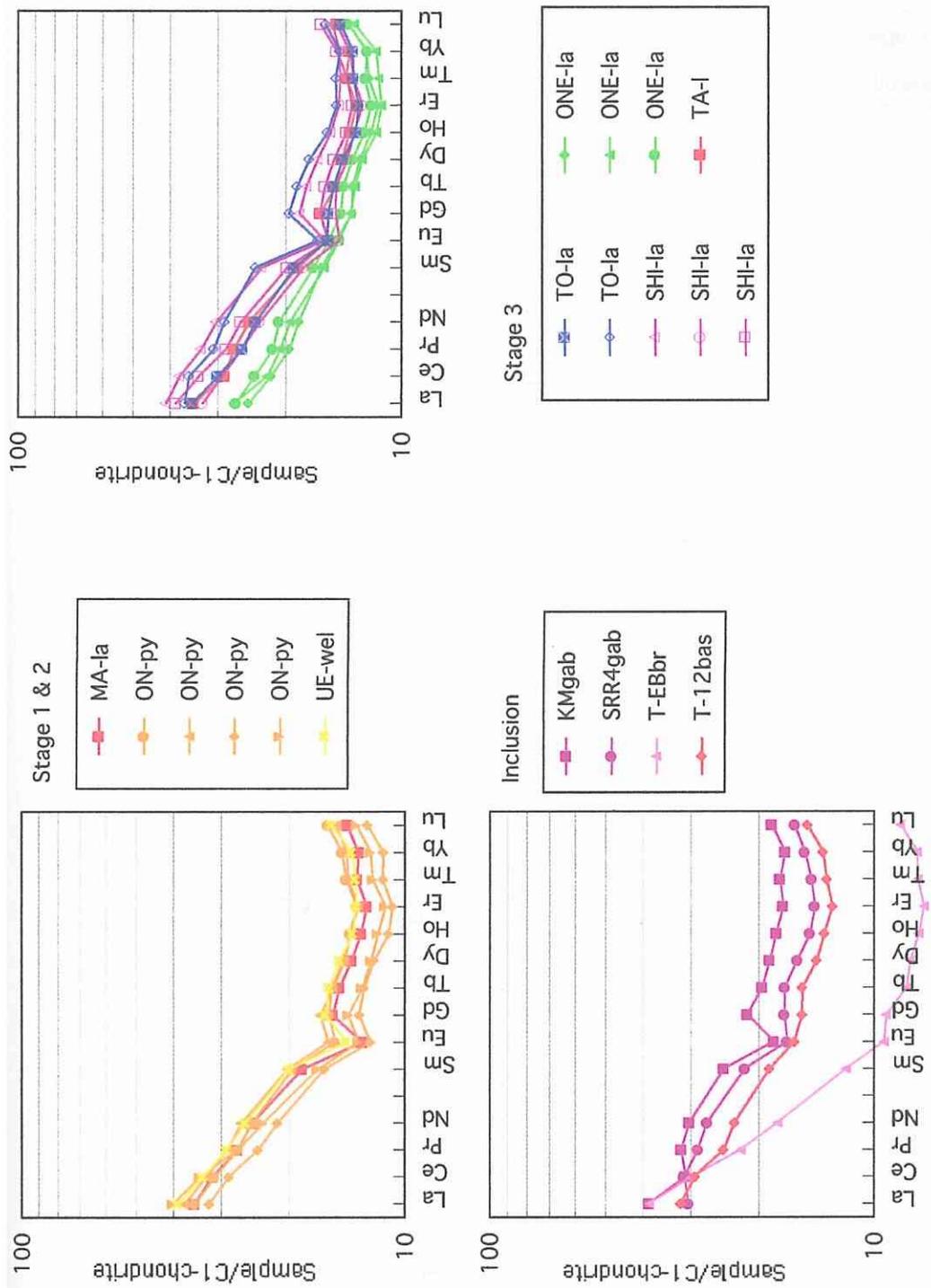


Fig. 3-24: Diagrams showing the C1-chondrite normalized REE patterns for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

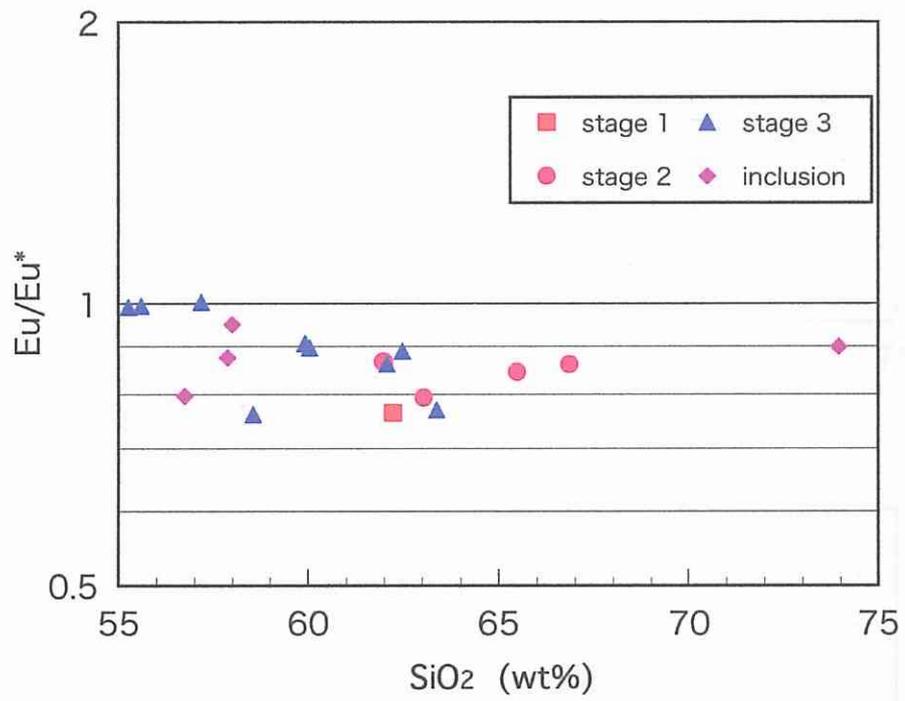


Fig. 3-25; Eu/Eu* vs. SiO₂ diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

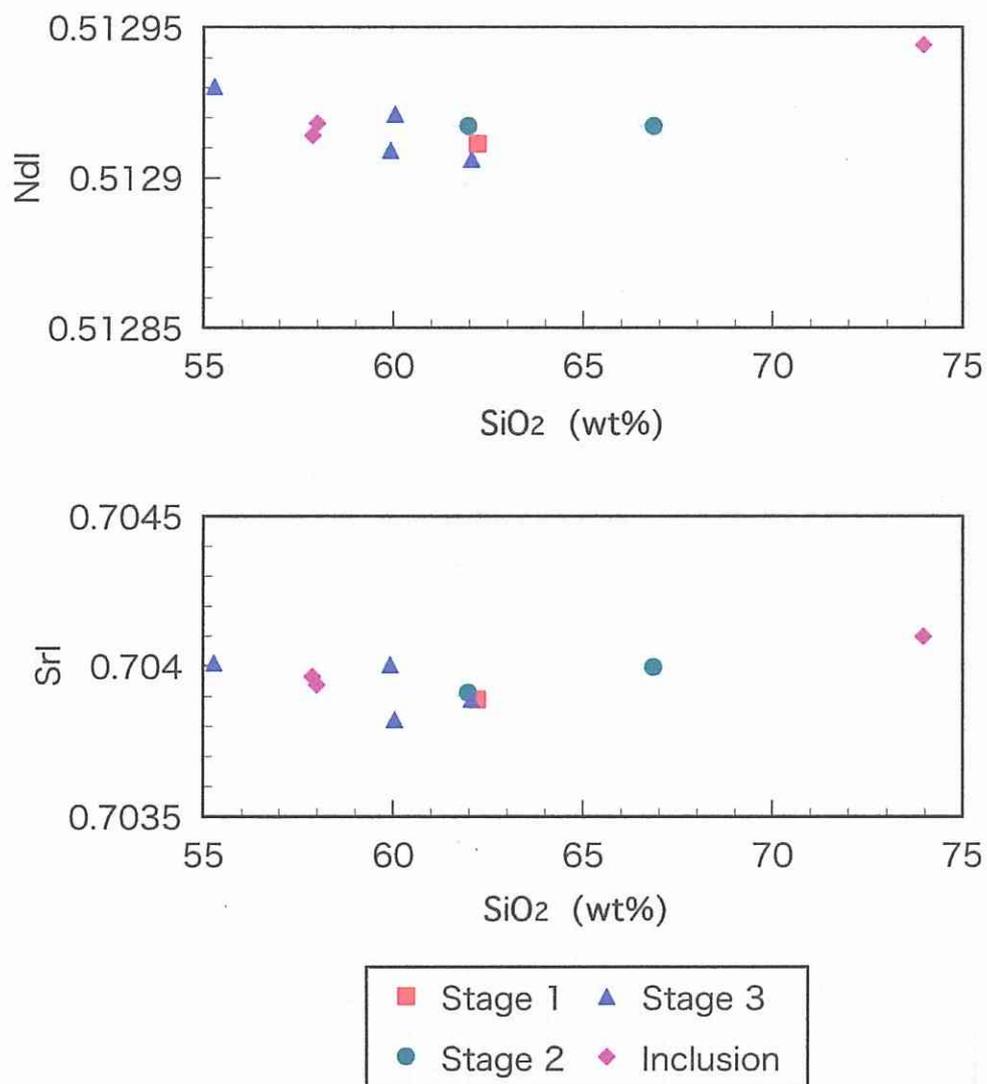


Fig. 3-26; NdI and SrI vs, SiO₂ diagram for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

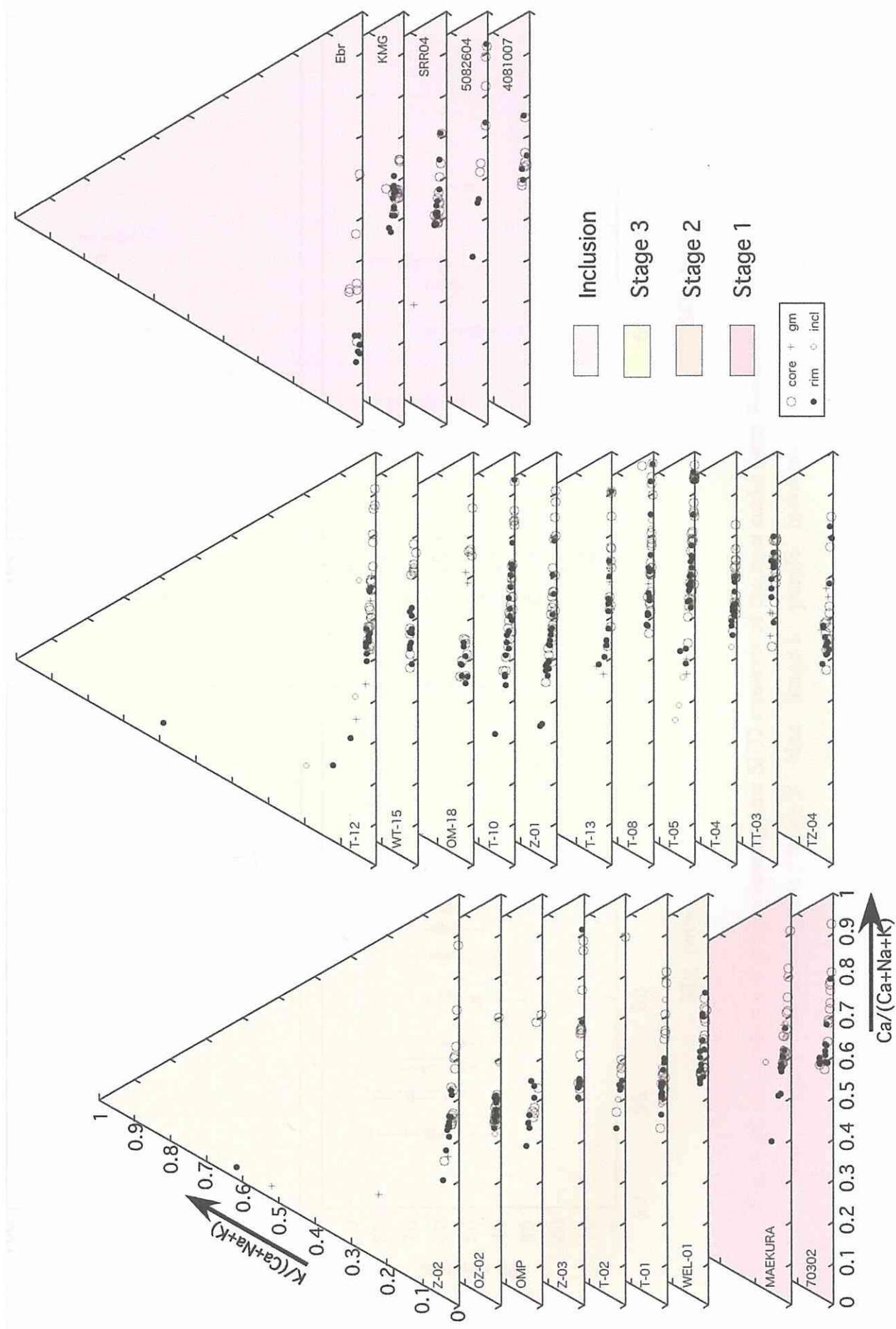


Fig. 3-27; Chemical compositions of plagioclase plotted in terms of K, Na and Ca (atomic %).

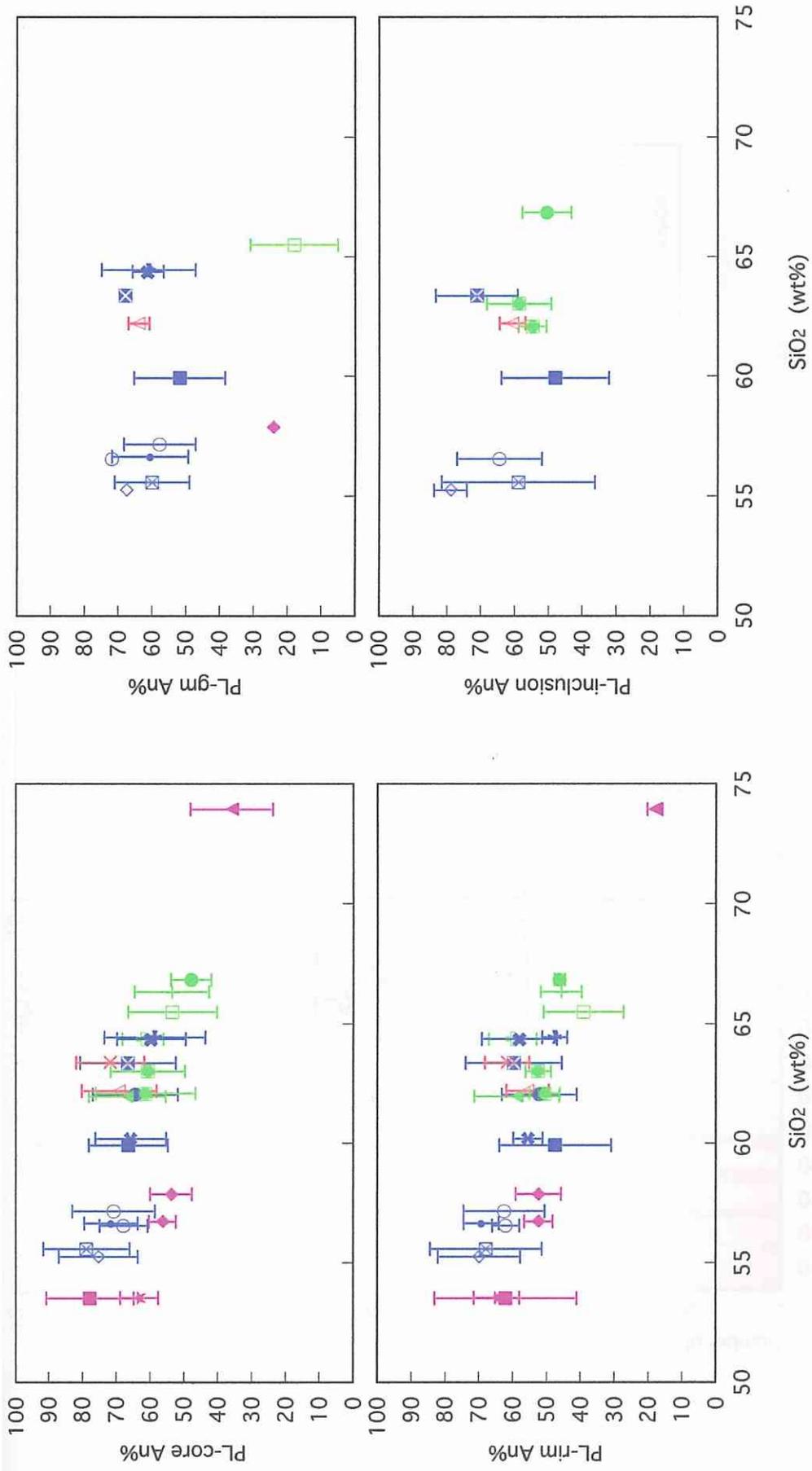


Fig. 3-28; An contents of plagioclase against SiO₂ contents of the host rocks from Torikabuto volcano.

red : Stage 1 yellowish green ; Stage 2 blue ; Stage 3 purple ; inclusion

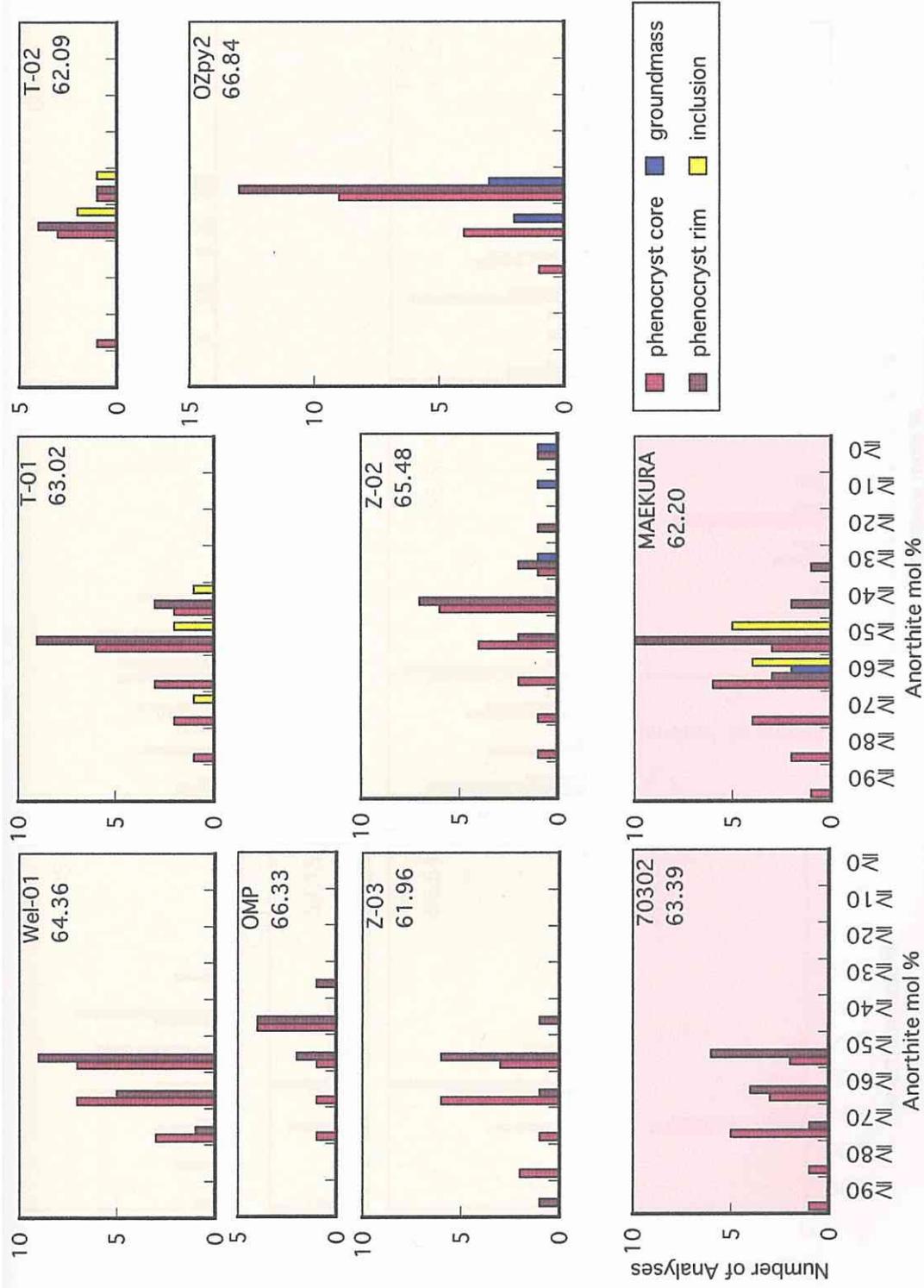


Fig. 3-29a; Chemical composition of plagioclase in the volcanic rocks of Stage 1 and Stage 2.

Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

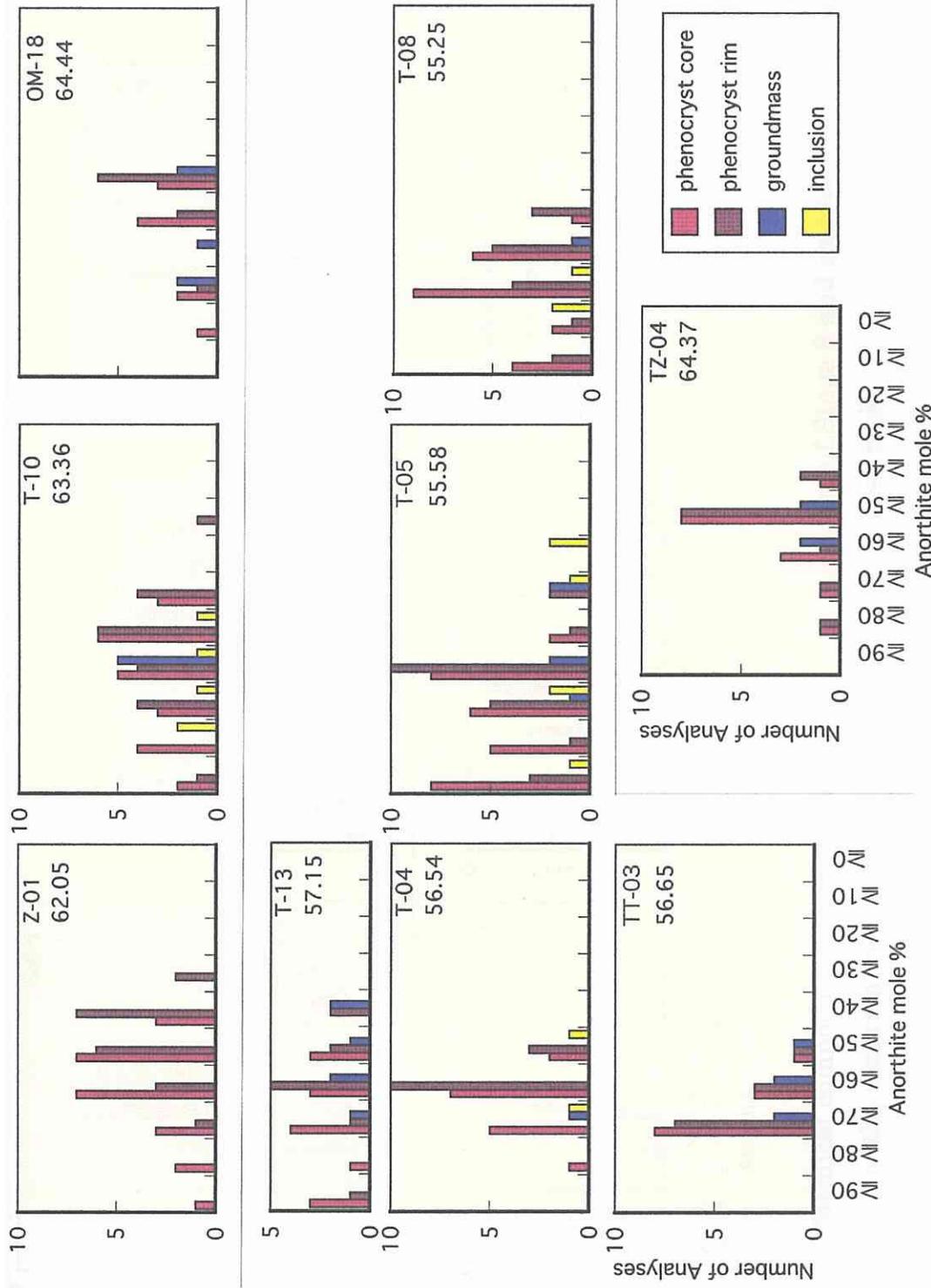


Fig. 3-29b; Chemical composition of plagioclase in the volcanic rocks of Stage 3.

Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

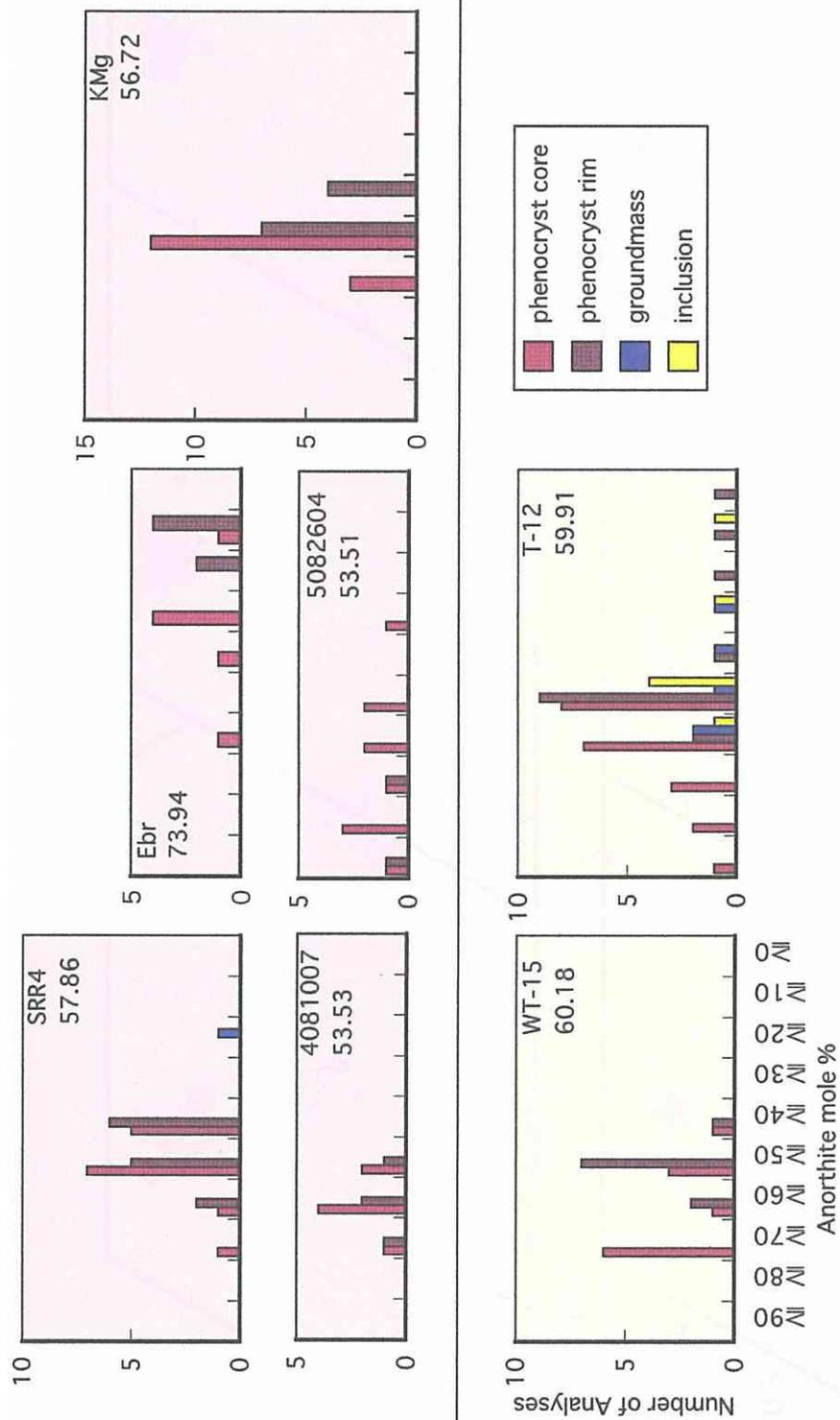


Fig. 3-29c: Chemical composition of plagioclase in the volcanic rocks of Stage 3 and inclusions. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

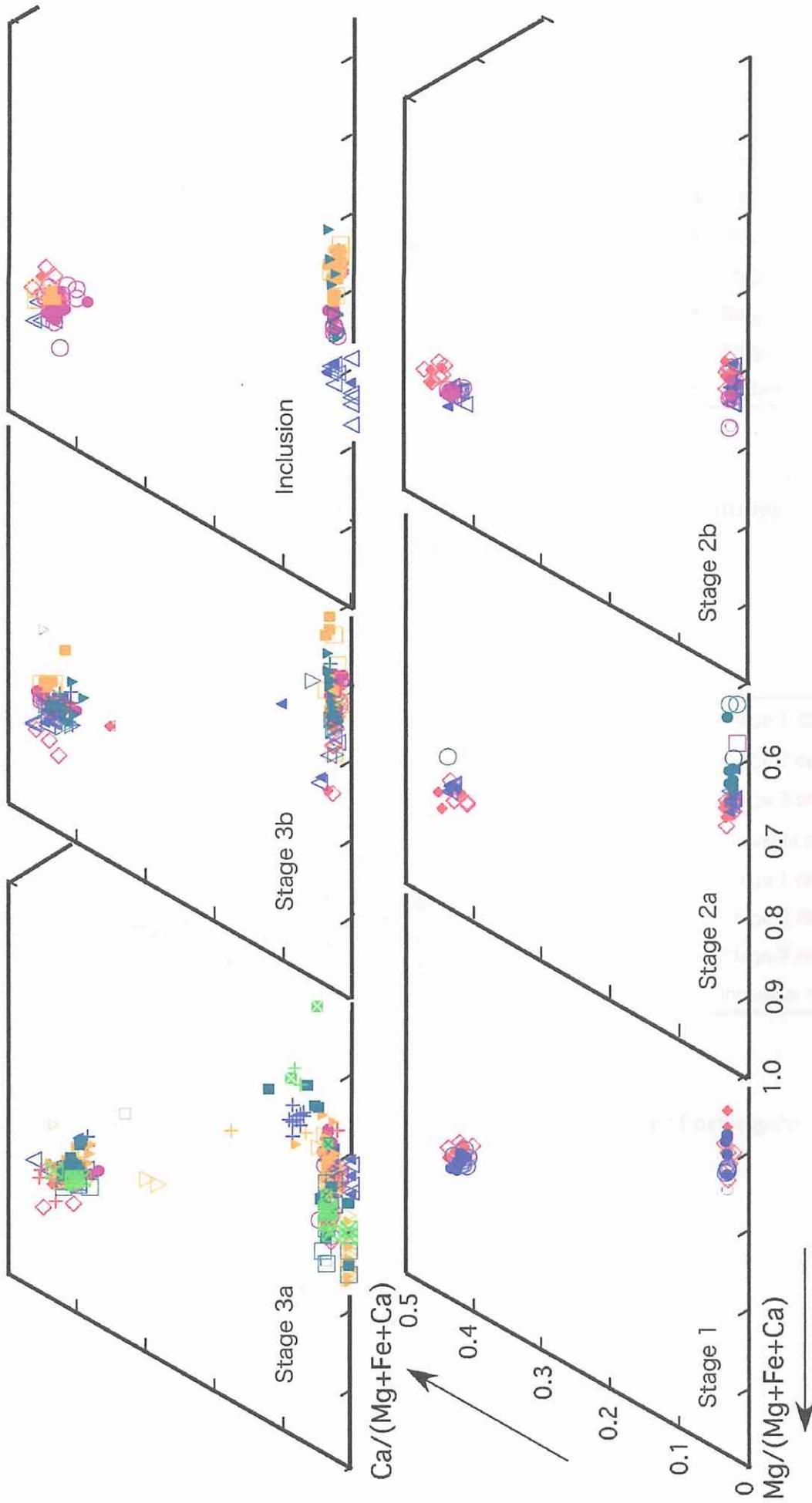


Fig. 3-30; Chemical composition of clinopyroxene, orthopyroxene and olivine plotted in terms of Ca, Mg and Fe (atomic %). Open symbols represent the core of phenocryst. Solid symbols are the rim of phenocrysts and the reaction rim. Crosses are the core of groundmass.

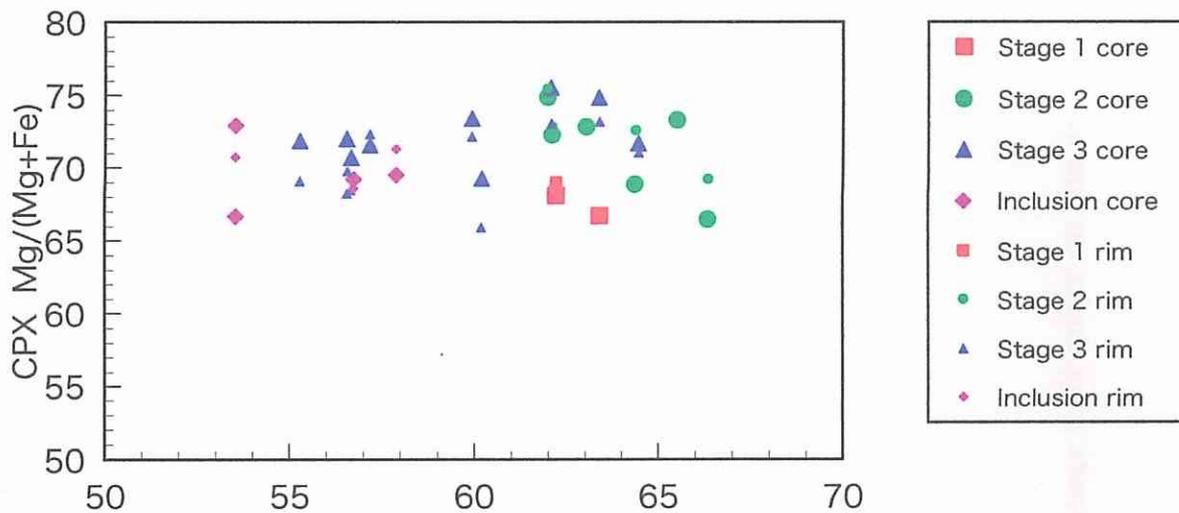


Fig. 3-31a; Chemical composition of the core and the rim of clinopyroxene phenocrysts against SiO₂ contents of the host rocks

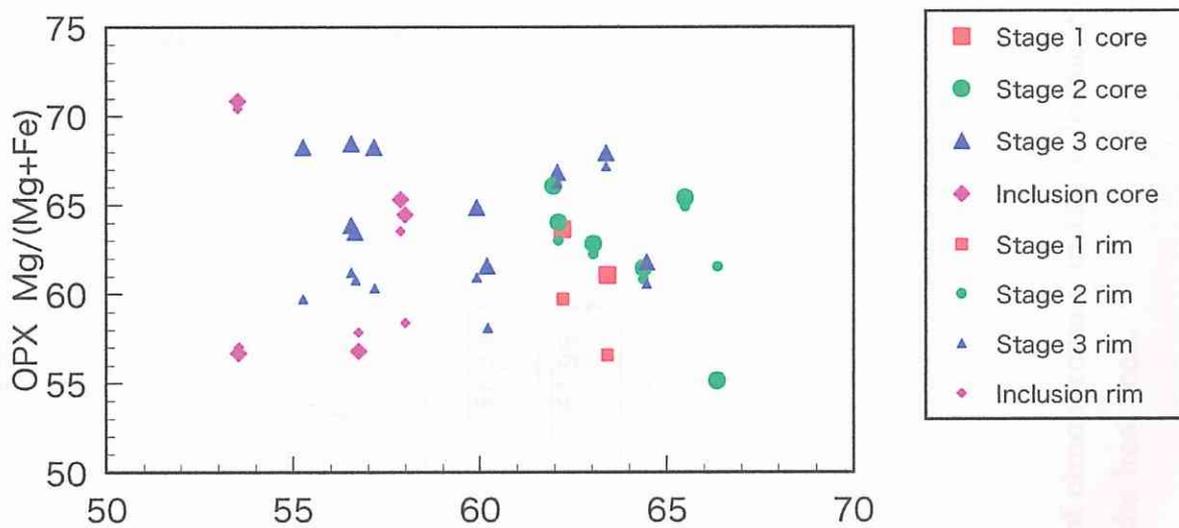


Fig. 3-31b; Chemical composition of the core and the rim of orthopyroxene phenocrysts against SiO₂ contents of the host rocks

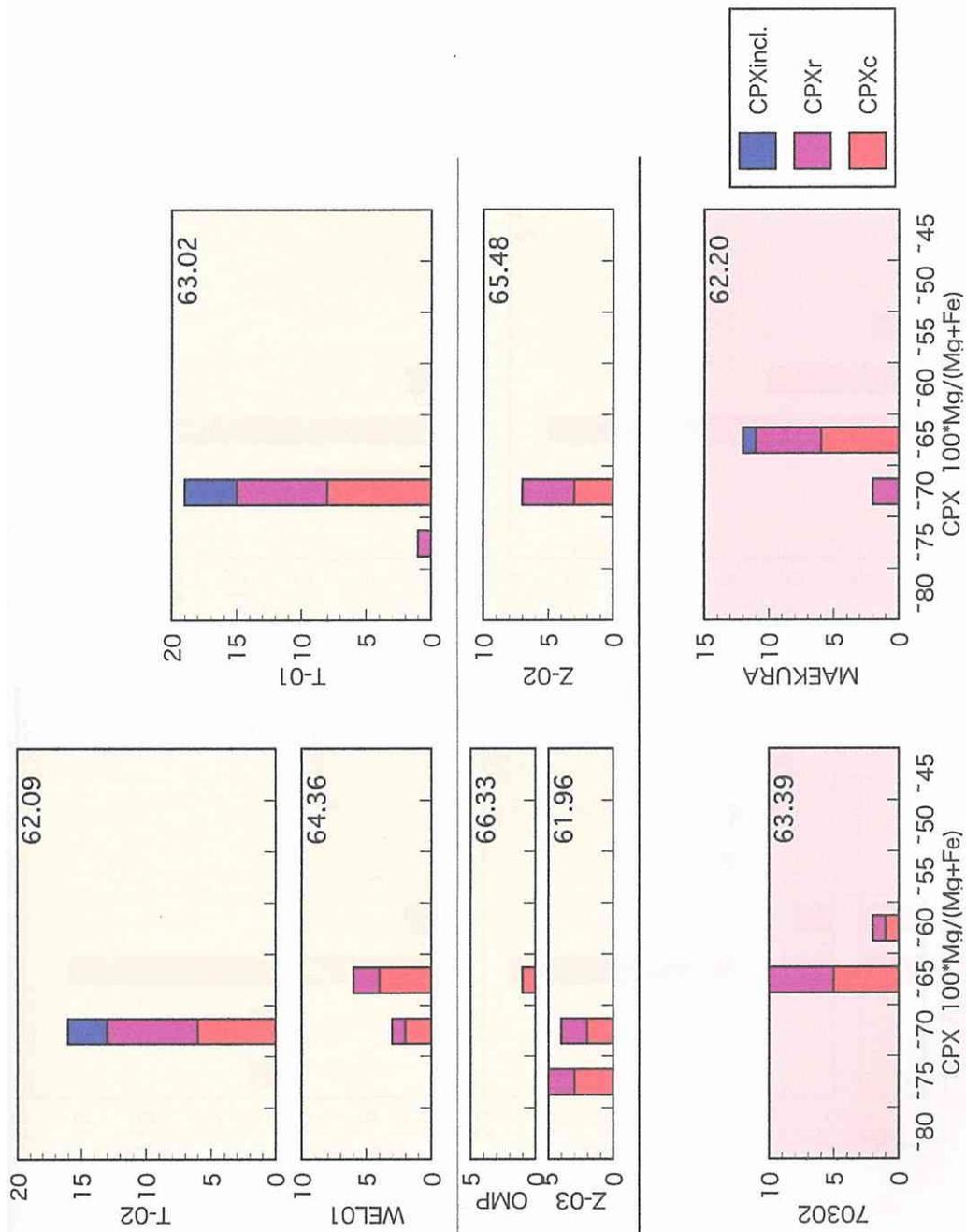


Fig. 3-32a; Chemical composition of clinopyroxene in the volcanic rocks Stage 1 and Stage 2. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

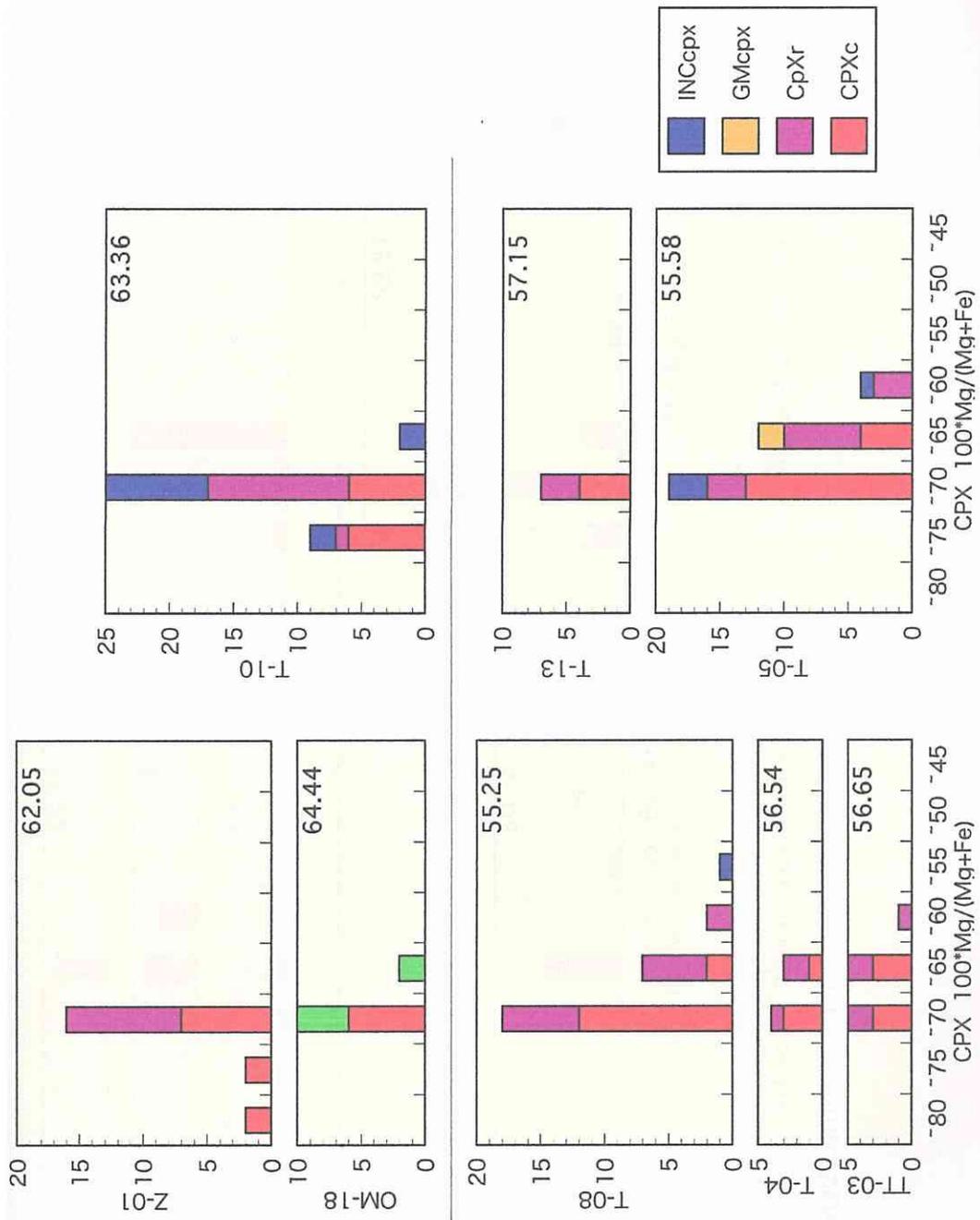


Fig. 3-32b; Chemical composition of clinopyroxene in the volcanic rocks Stage 3. Number on the diagram indicate bulk SiO2 content of the host rock.

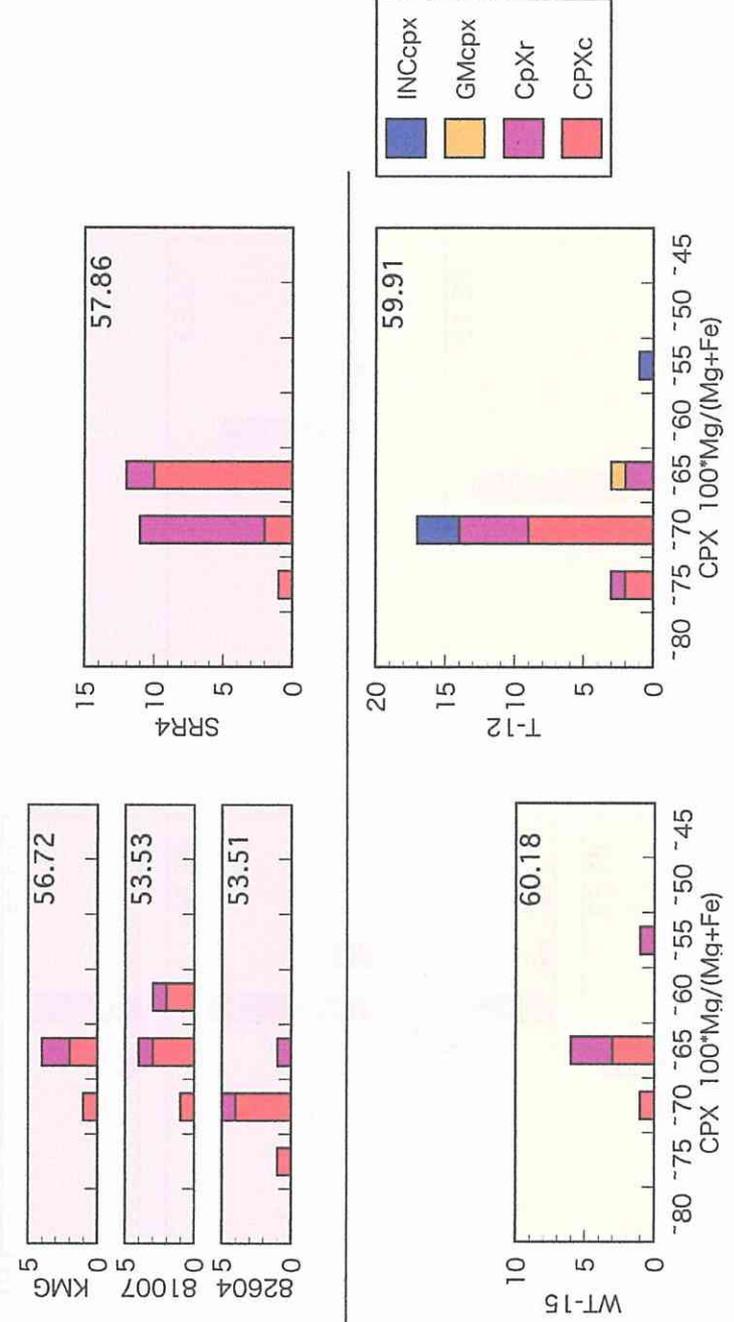


Fig. 3-32c: Chemical composition of clinopyroxene in the volcanic rocks Stage 3 and inclusions. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

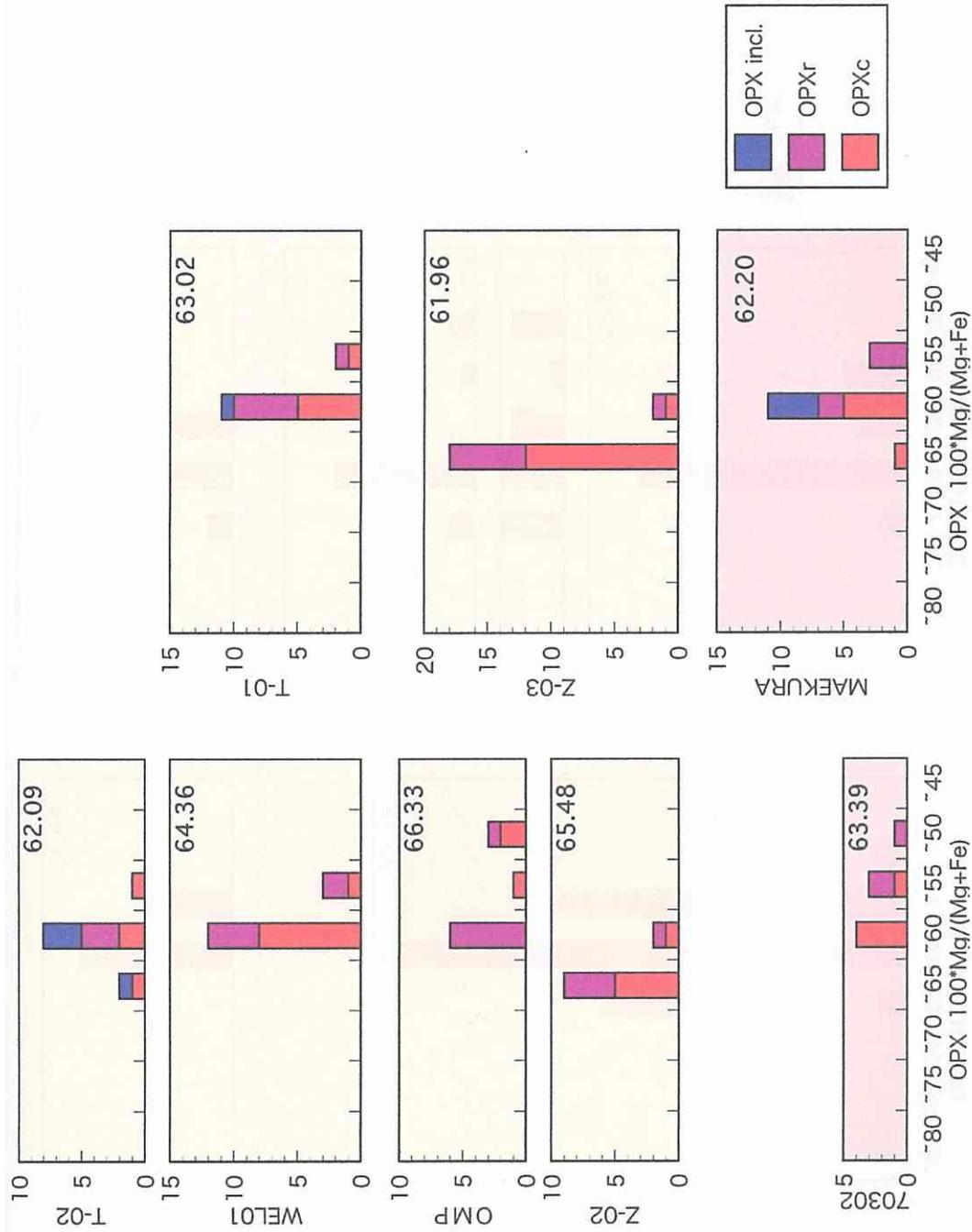


Fig. 3-16d: Chemical composition of orthopyroxene in the volcanic rocks of Stage 1 and Stage 2. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

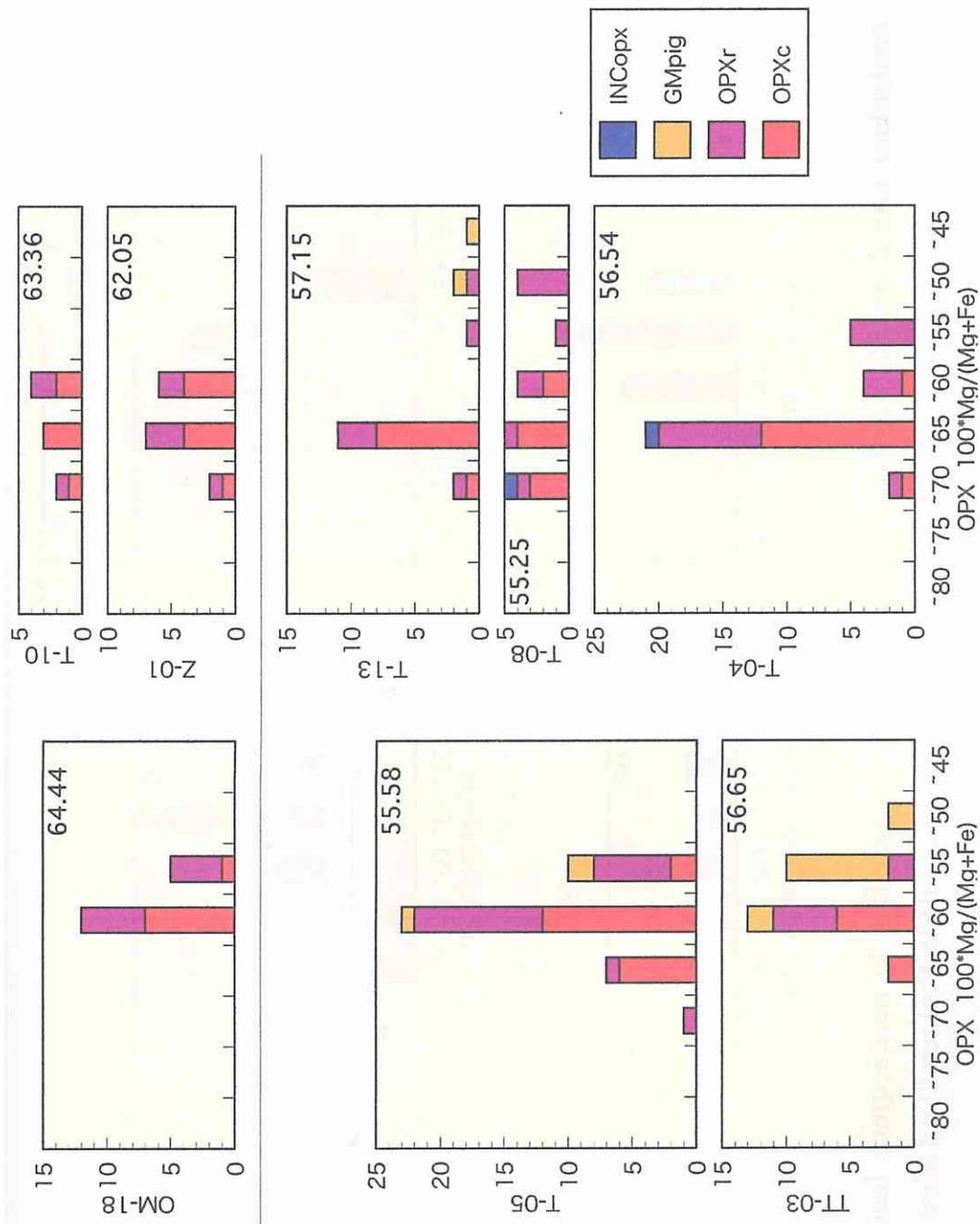


Fig. 3-16e; Chemical composition of orthopyroxene in the volcanic rocks of Stage 3. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

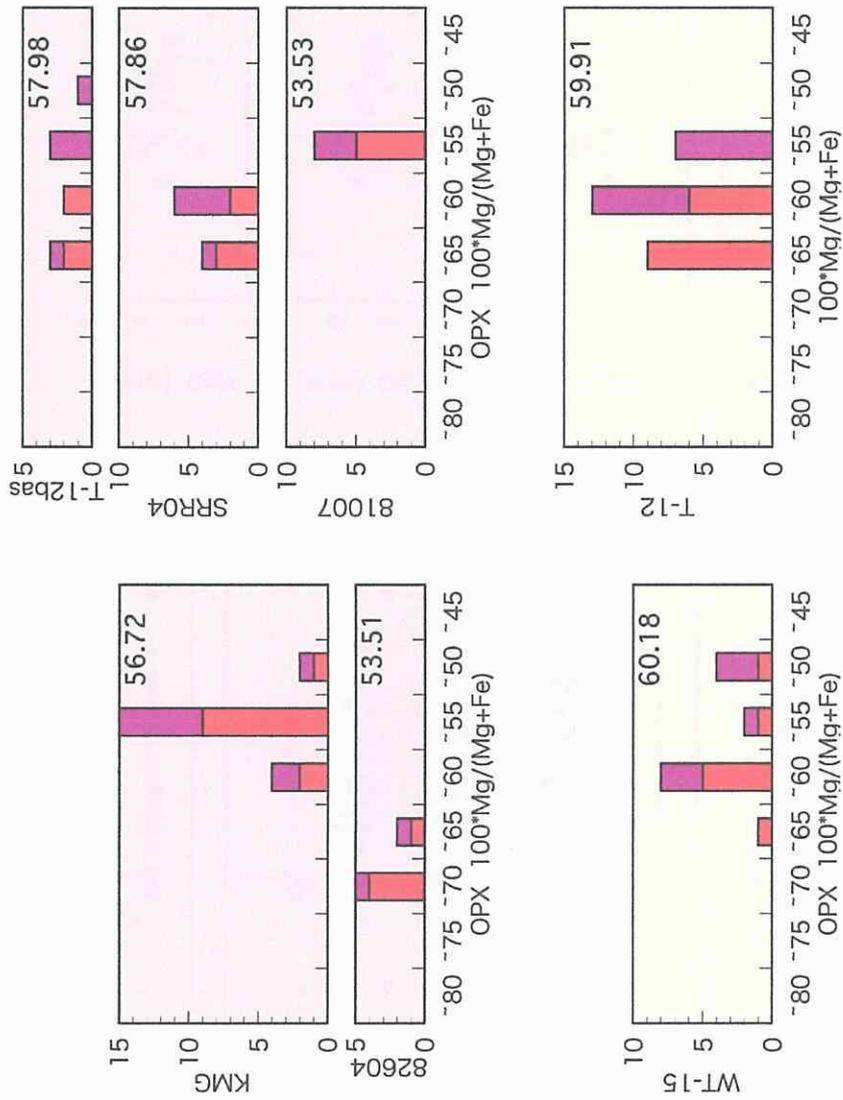


Fig. 3-16f; Chemical composition of orthopyroxene in the volcanic rocks of Stage 3 and inclusions. Number on the diagram indicate bulk SiO₂ content of the host rock.

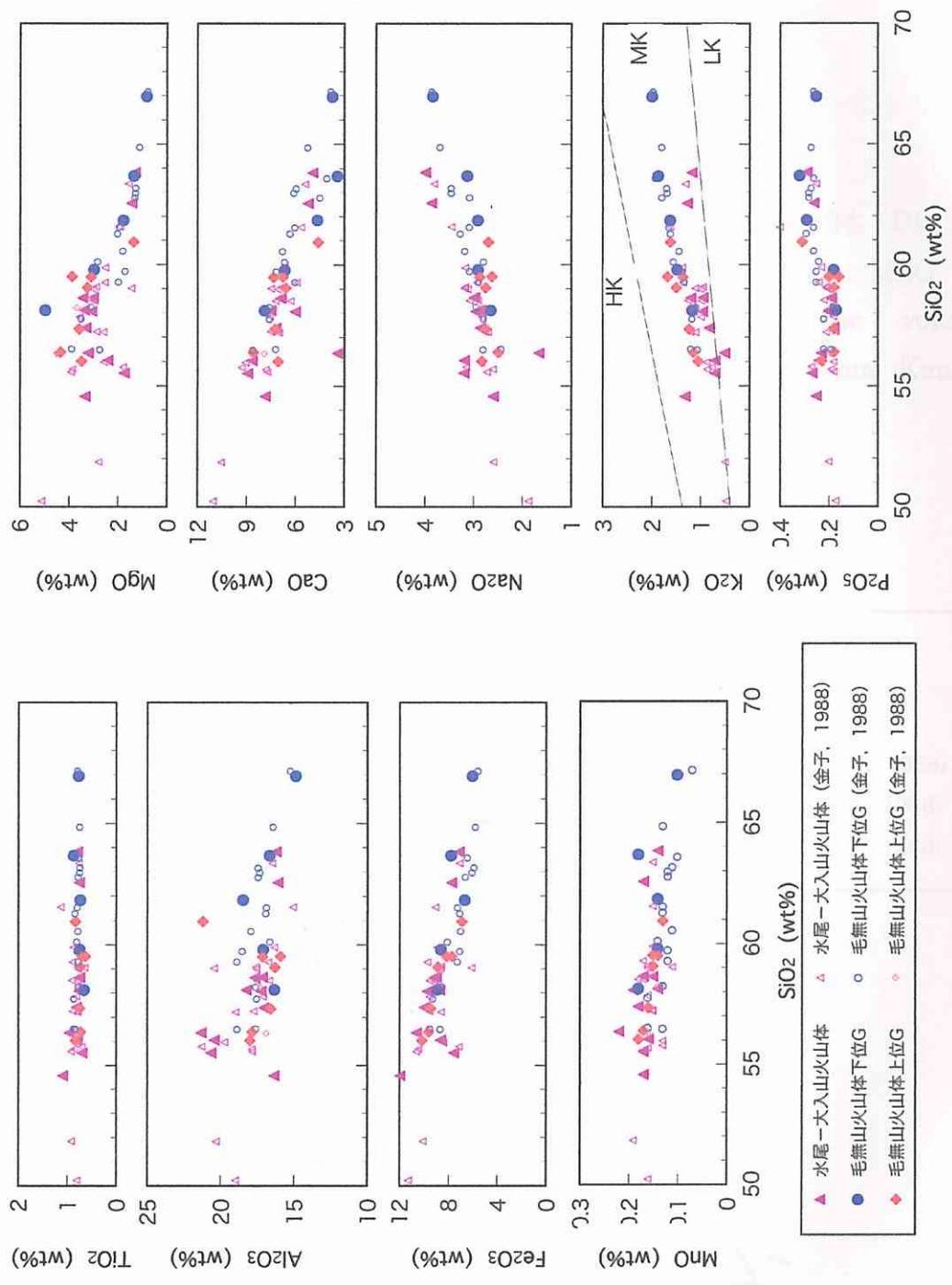


Fig. 3-33; Silica variation diagrams for volcanic rocks from Kenashi volcano.

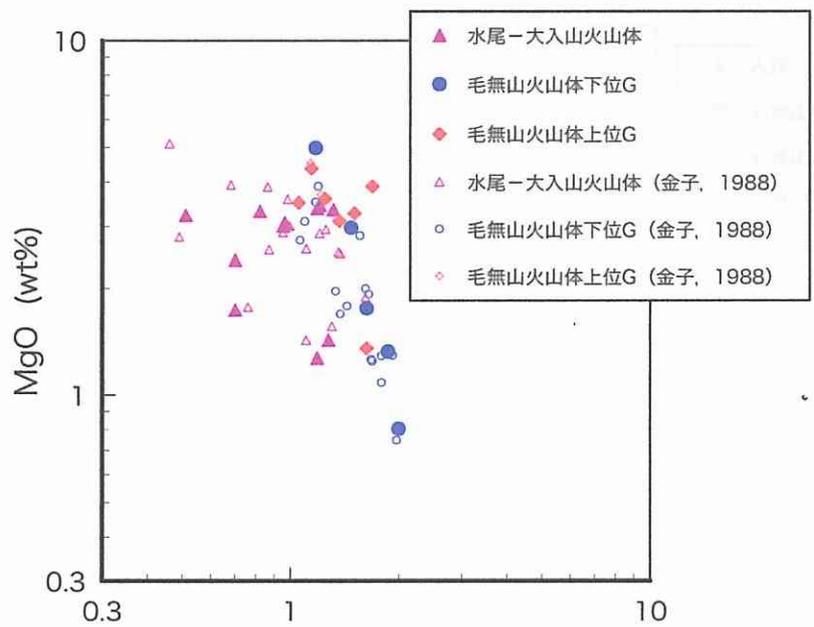


Fig. 3-34; Diagram showing MgO vs. K₂O for volcanic rocks from Kenashi volcano.

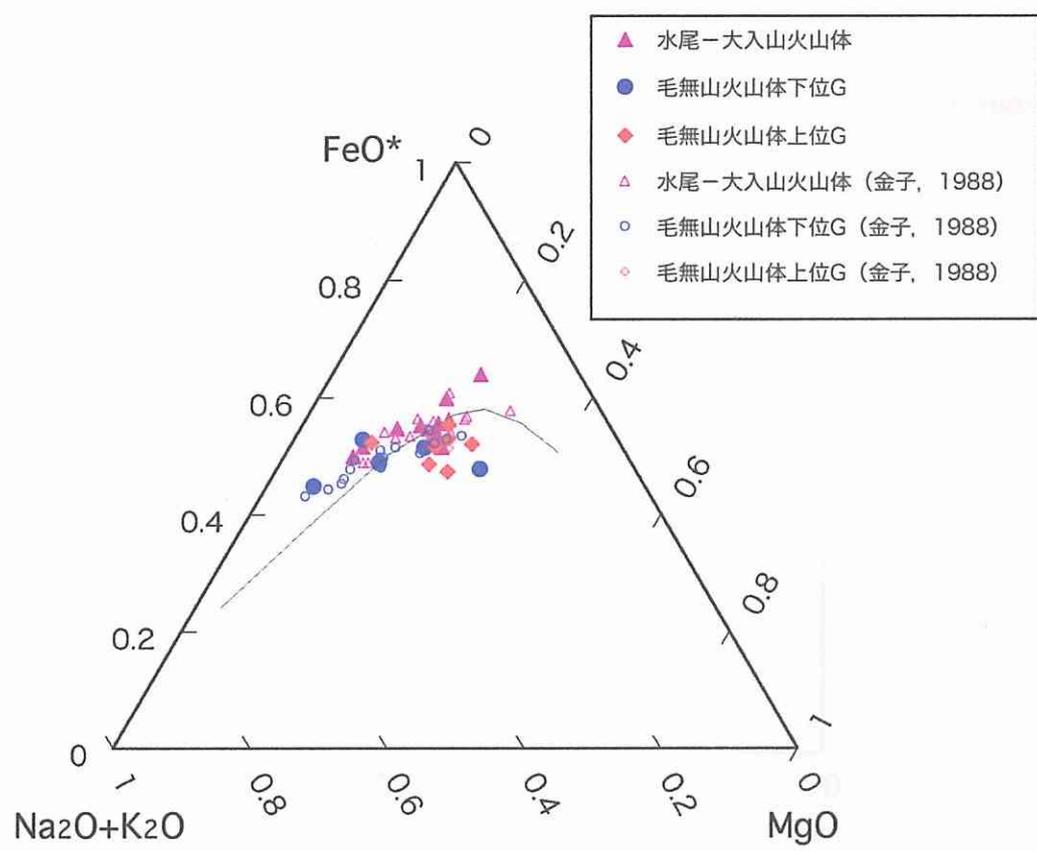


Fig. 3-35; MFA diagram for volcanic rocks from Kenashi volcano.

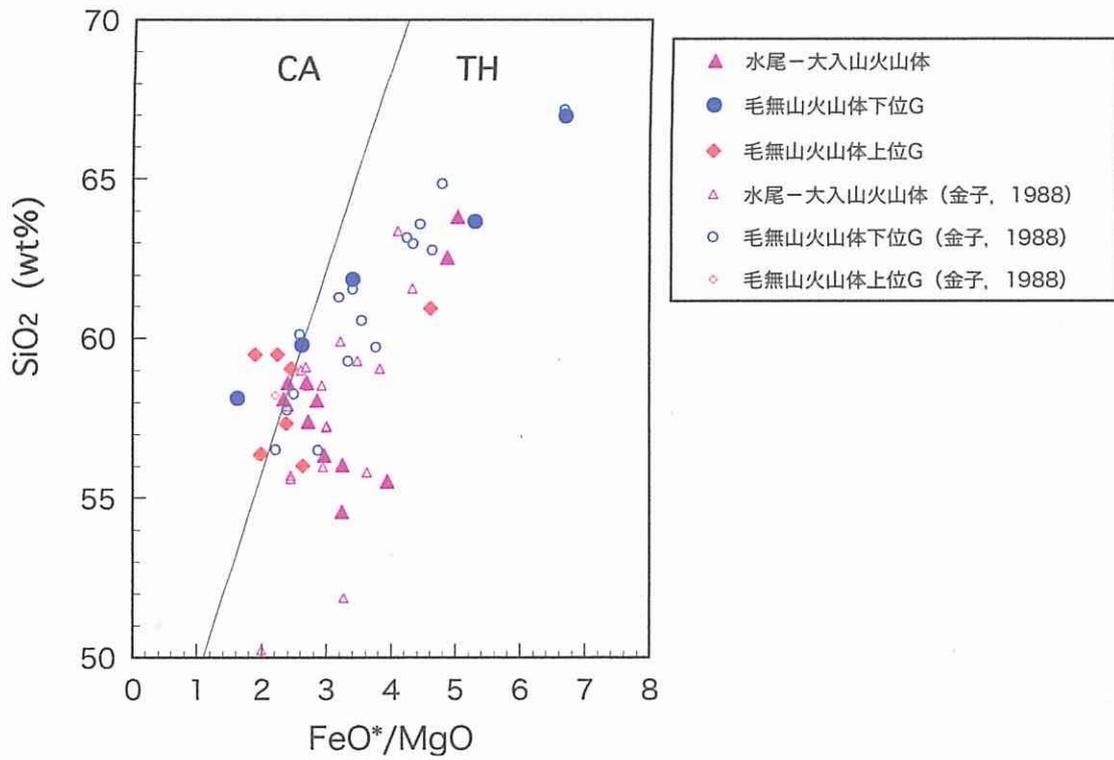


Fig. 3-36; FeO^*/MgO vs. SiO_2 diagram for volcanic rocks from Kenashi volcano. The boundary is after Miyashiro (1974).

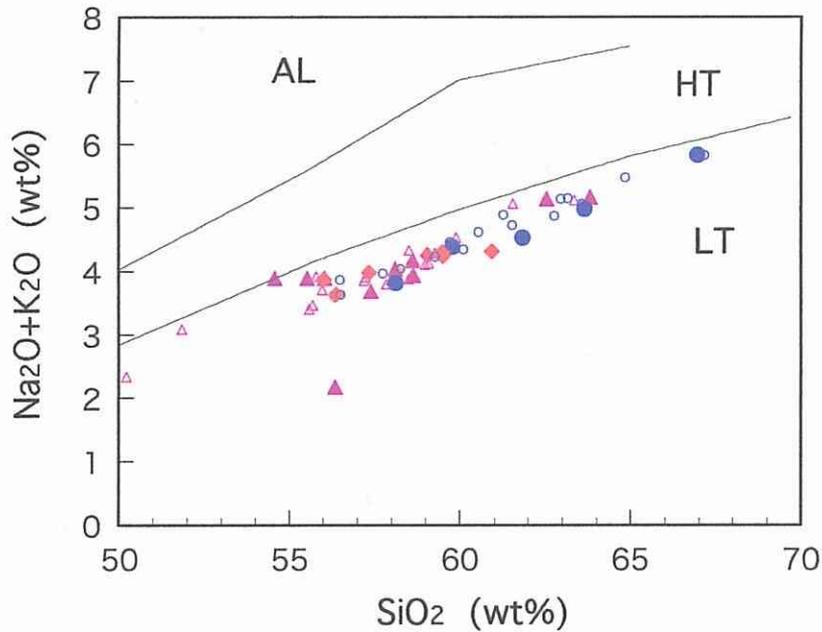


Fig. 3-37; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. SiO_2 diagram for volcanic rocks from Kenashi volcano. The boundary is after Kuno (1968).

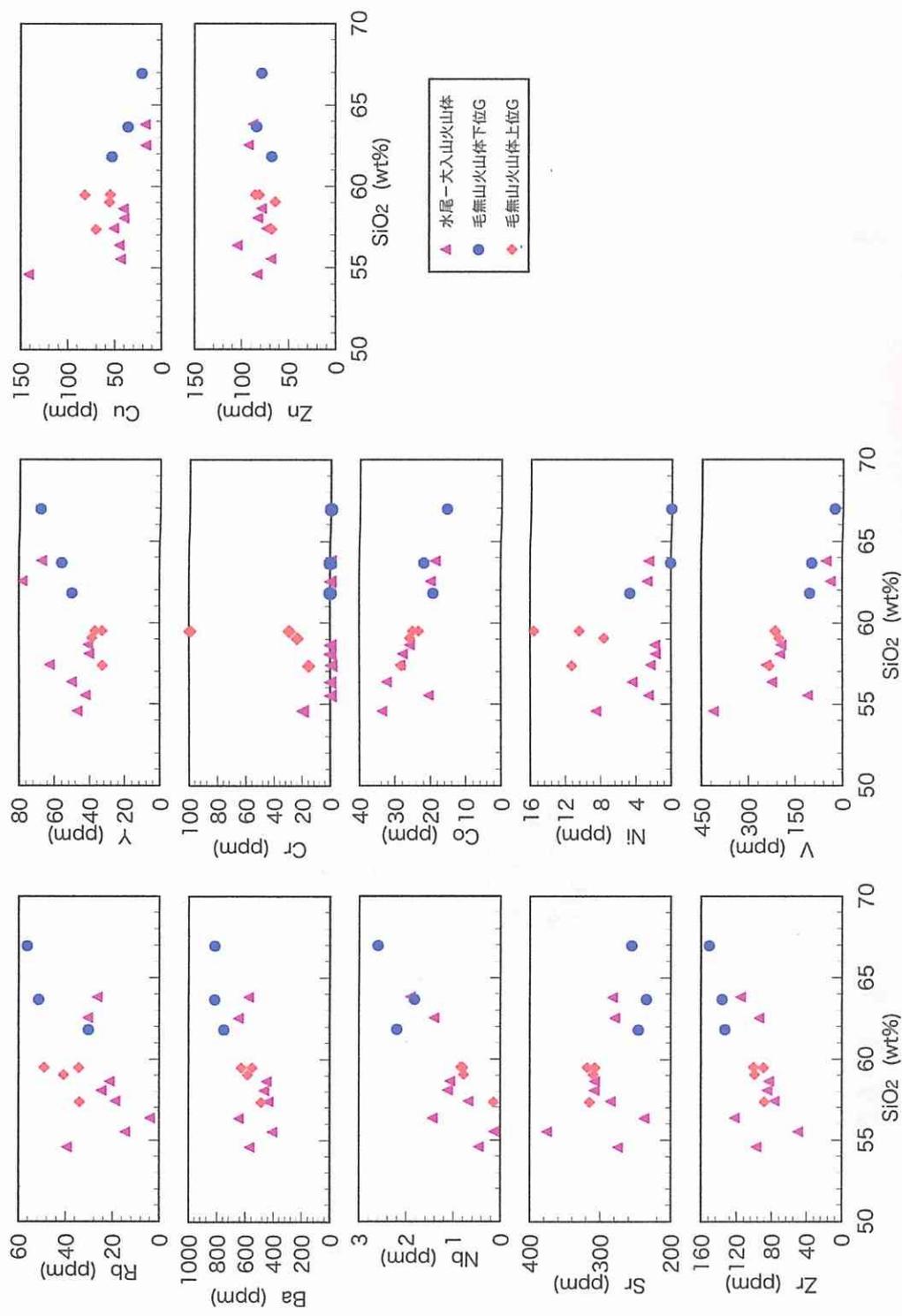


Fig. 3-38; Silica variation diagrams in trace element for volcanic rocks from Kenashi volcano.

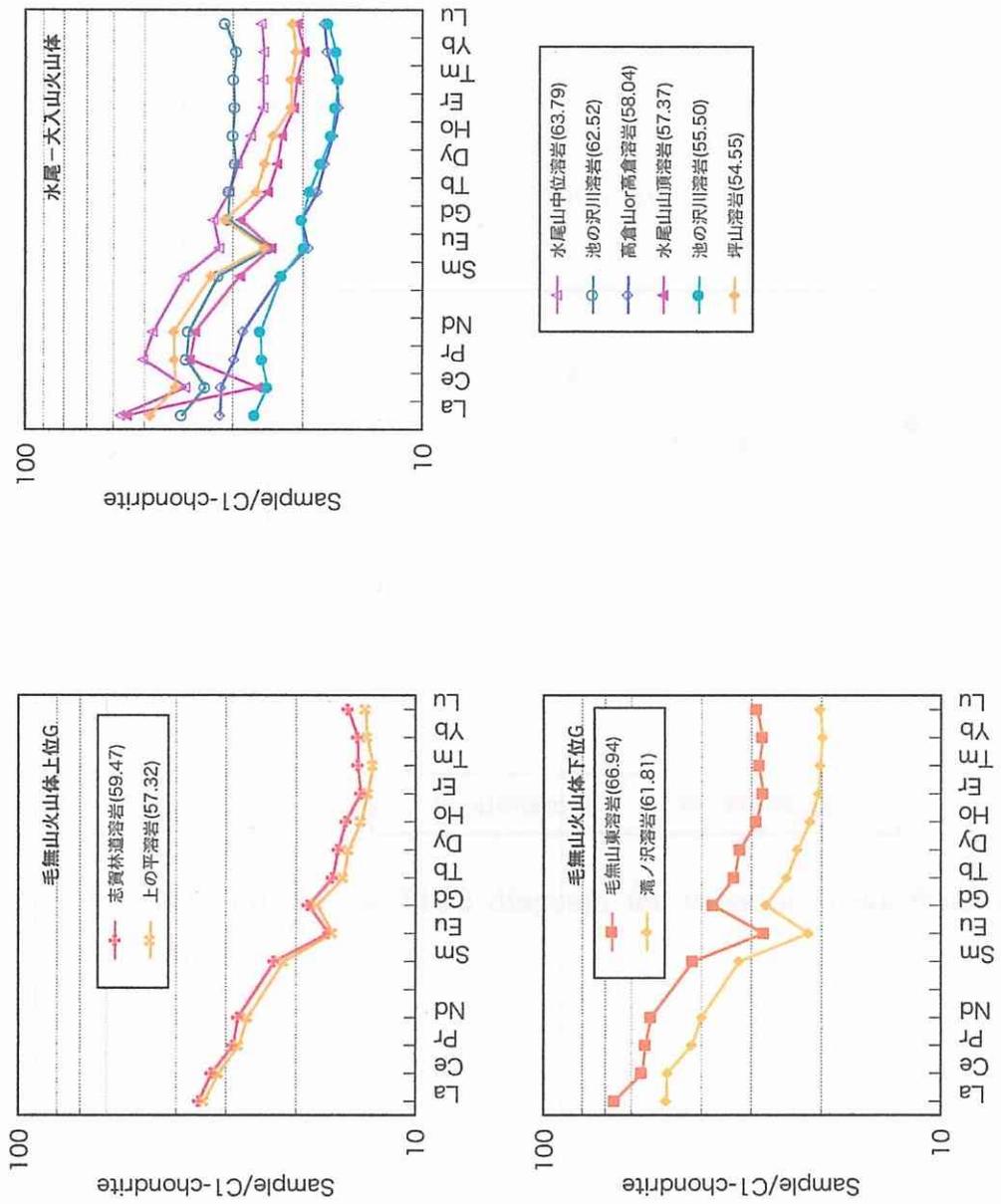


Fig. 3-39; Diagrams showing the C1-chondrite normalized REE patterns for volcanic rocks from Kenashi volcano.

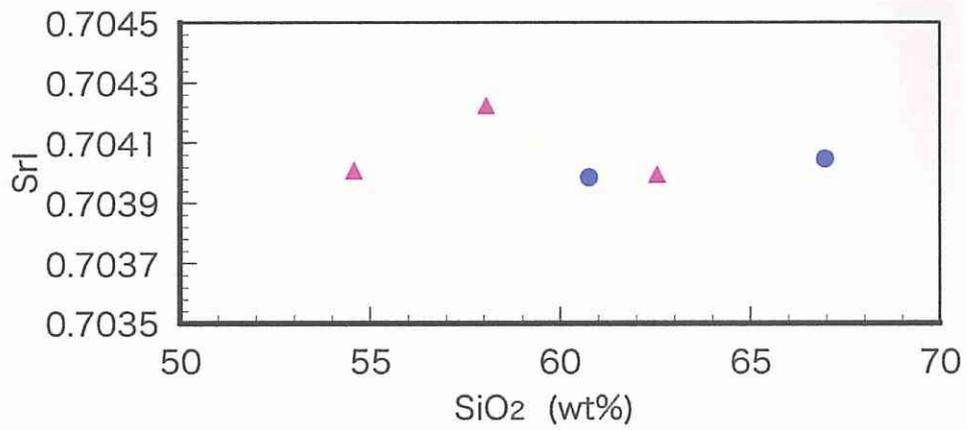
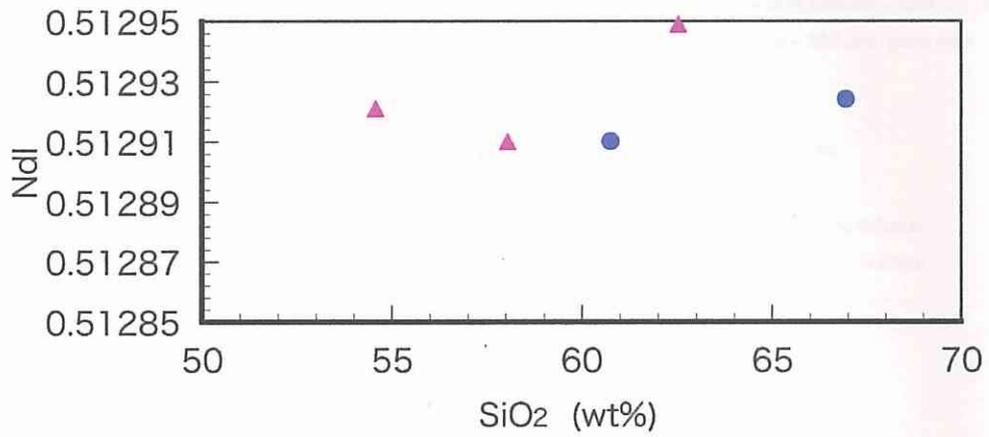


Fig. 3-40; NdI and SrI vs, SiO₂ diagram for volcanic rocks from Kenashi volcano.

Ⅲ. 主な火成岩類の記載 (Table)

Table 3-1	Modal compositions of tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area
Table 3-2a	Major and trace element composition of tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area
Table 3-2b	Trace and REE elements composition of tholeiitic volcanic rocks in the Sekita ~ Shikumi-gawa area
Table 3-3a	Average chemical composition of plagioclase core in tholeiitic volcanic rocks
Table 3-3b	Average chemical composition of Opx core in tholeiitic volcanic rocks
Table 3-3c	Average chemical compositions of Cpx and Olivine core in tholeiitic volcanic rocks
Table 3-4	Modal compositions of calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
Table 3-5a	Major and trace element composition of calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
Table 3-5b	Trace and REE elements composition of calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano
Table 3-6a	Average chemical composition of plagioclase core in calc-alkaline volcanic rocks
Table 3-6b	Average chemical composition of Opx core in calc-alkaline volcanic rocks
Table 3-6c	Average chemical composition of Cpx core in calc-alkaline volcanic rocks
Table 3-6d	Average chemical composition of Olivine core in calc-alkaline volcanic rocks
Table 3-6e	Average chemical compositions of Biotite and Hornblende core in calc-alkaline volcanic rocks
Table 3-7a	Major and trace element composition of volcanic rocks from Kenashi volcano
Table 3-7b	Trace and REE elements composition of volcanic rocks from Kenashi volcano
Table 3-8	Sr, Nd isotopic ratio for volcanic rocks and inclusions

	層順	SiO ₂	PL	OPX	CPX	OL	HB	OPQ	GM	PL/pheno
CH01	前子	63.17	1.5	0.2	0.4			0.2	97.8	68.18
9081802	前子	65.13	3.5	0.3	0.4			0.4	95.5	77.78
9081901	極野	51.51	36.0	0.3	0.5	3.3		0.5	59.6	89.11
US-09	極野	57.33	30.8	2.3	3.1			0.8	63.1	83.47
9081701	東ノ沢2	60.51	21.2	0.5	0.4			0.5	77.5	94.22
US-05	東ノ沢	55.79	46.1	0.7	0.5			0.5	52.3	96.65
US-01	東ノ沢	60.38	33.4	0.4	0.7			0.6	65.0	95.43
82302	東ノ沢	63.60	28.2	0.5	0.4			0.6	70.5	95.59
林道6	中条川	53.79	49.9	0.2				0.6	49.4	98.52
林道2	中条川	53.85	27.1	2.2	0.4			0.6	69.8	89.74
噴出岩	中条川	53.78	37.7	0.0	0.0			0.1	62.2	99.74
中条川	中条川	52.57	37.6	1.4	0.2			0.3	60.5	95.19
中条川ol-and	中条川	51.76	34.8			0.6		0.4	64.4	97.48
天水	中条川2	56.72	2.3					0.1	97.7	97.83
天水ap	中条川2	57.30	2.1		0.1			0.2	97.5	85.29
山伏山貫入岩	貫入岩	56.57	33.7	1.1				0.4	64.8	95.74
伏野貫入岩	貫入岩	56.13	32.8	0.8	0.1	0.2	1.9	0.0	64.4	92.01
菱ヶ岳貫入岩	貫入岩	53.06	54.9	1.5	0.5			0.3	42.9	96.15
釜川貫入岩	貫入岩	54.35	39.7	0.4					60.0	99.00
前山貫入岩	貫入岩	53.32	28.8	6.7				1.2	63.4	78.55
貝立無斑晶貫入岩	貫入岩2	58.89	1.4		0.2			0.2	98.3	80.00

Table 3-1 ; Modal compositions of tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

SiO₂; whole rock SiO₂ content(wt%), PL; phenocryst plagioclase, OPX; phenocryst orthopyroxene, CPX; phenocryst clinopyroxene, OL; phenocryst olivine, HB; phenocryst hornblende, OPQ; phenocryst opaque minerals, GM; groundmass, PL/pheno; the proportion of plagioclase in phenocryst minerals.

Laboratory	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Sample	mabushi-y	SE16	SE18	Se-8	Kama 02	前山西02	前山西4		Ten 81903
	山伏山貫入岩 伏野貫入岩 菱ヶ岳貫入岩 菱ヶ岳縁辺 釜川貫入岩 前山貫入岩 前山貫入岩 立無斑晶貫入岩								
北緯	37°01'22"	37°01'34"	37°01'42"	37°01'41"	36°54'25"	37°00'37"	37°00'47"	37°00'32"	
東経	138°34'58"	138°29'14"	138°29'35"	138°29'37"	138°35'19"	138°25'11"	138°25'36"	138°32'16"	
stage	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩2	中条川
XRF(wt%)									
SiO ₂	56.57	56.13	53.06	54.59	54.35	53.32	53.08	58.89	57.37
TiO ₂	0.76	0.93	0.69	0.71	0.82	0.84	0.82	0.84	0.71
Al ₂ O ₃	19.66	21.83	21.49	21.12	20.54	19.64	19.48	16.22	19.99
Fe ₂ O ₃	7.46	5.32	7.93	7.63	7.94	10.13	9.58	9.31	7.95
MnO	0.18	0.10	0.15	0.11	0.13	0.16	0.18	0.18	0.13
MgO	1.77	0.80	2.50	2.05	2.17	3.63	3.98	2.59	1.66
CaO	8.36	9.42	10.17	9.14	9.66	8.29	8.91	6.73	8.27
Na ₂ O	3.40	3.36	2.81	3.17	2.95	2.73	2.78	3.39	3.12
K ₂ O	0.75	0.76	0.68	0.85	0.91	0.84	0.78	1.33	0.56
P ₂ O ₅	0.28	0.23	0.21	0.28	0.22	0.24	0.23	0.24	0.23
total	99.20	98.88	99.68	99.64	99.69	99.81	99.80	99.73	100.00
FeO*/MgC	3.79	5.99	2.85	3.35	3.29	2.51	2.17	3.23	4.30
FeO*	6.71	4.79	7.13	6.87	7.15	9.11	8.62	8.38	7.16
XRF(ppm)									
Ba	341.2	325.4	279.2	349.0	358.6	358	288.0	547.3	438.69
Co	19.4	60.9	23.3	33.0	25.3	44	37.0	25.8	22.96
Cr	6.8	5.4	17.3	8.0	16.0	13	12.0	8.9	
Cu									
Nb	1.9	1.9	1.5	2.3	1.7	2.5	2.2	2.8	1.86
Ni	3.3	10.9	17.2	41.0	6.8	6	5.0	4.5	3.56
Rb	11.8	13.2	11.6	17.0	18.0	29	18.0	29.9	18.10
Sr	354.7	366.4	358.8	349.0	351.3	331	348.0	260.7	283.13
V	97.4	176.7	151.3	127.0	194.5	212	209.0	153.8	142.85
Y	29.7	27.0	22.4	32.3	26.4	34.2	41.1	34.3	37.00
Zn									
Zr	70.3	74.2	51.7	63.0	86.9	60	59.0	122.0	73.61
Ga	18.3	20.2	18.0	19.0	19.0	18.1	17.8	17.8	18.76
Ce	20.3	21.2	9.9	18.0	23.1	19	14.0	31.2	20.80
Pb	1.7	7.2	3.3	3.2	5.2	6.2	5.2	7.5	3.70
Th	2.4	1.6	0.8	1.1	0.7	1.1	1.1	2.1	0.99

Table 3-2a; Major and trace element composition of tholeiitic volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Sample	Ten 81906	tonomi-pat	8581805	8581804	8681807	8681802	旧峠5a	Se-2	Se-13
	天水 ^{ap}	天水	中条川 ^{サウ}	中条川	中条川 ^{ol-anc}	中条川	噴出岩	林道2	林道6
北緯	37°01'10"	37°01'39"	37°00'13"	37°00'05"		37°00'45"	37°00'25"	37°01'05"	37°01'05"
東經	138°32'18'	138°31'05'	138°34'14'	138°34'12"		138°33'19'	138°26'03'	138°29'08'	138°29'08'
stage	中条川2	中条川2	中条川	中条川2	中条川	中条川	中条川	中条川	中条川
wt%									
SiO ₂	57.30	56.72	52.09	55.88	51.76	52.57	53.78	53.85	53.79
TiO ₂	1.04	1.04	0.78	1.01	0.79	0.69	0.77	0.89	0.73
Al ₂ O ₃	16.45	16.23	21.51	16.81	21.44	21.90	20.89	18.41	21.70
Fe ₂ O ₃	10.30	10.61	8.42	10.86	9.58	7.64	8.09	10.43	8.21
MnO	0.20	0.22	0.16	0.20	0.17	0.15	0.17	0.19	0.14
MgO	2.79	2.90	2.44	2.86	2.69	2.14	2.01	3.54	2.24
CaO	6.92	7.01	10.37	7.56	10.33	10.37	9.40	8.52	9.24
Na ₂ O	3.79	3.58	2.84	3.47	2.58	2.85	3.09	2.93	2.97
K ₂ O	0.90	1.11	0.56	0.82	0.66	0.66	0.84	0.71	0.68
P ₂ O ₅	0.38	0.38	0.22	0.32	0.23	0.22	0.25	0.28	0.25
total	100.07	99.80	99.40	99.79	100.22	99.17	99.29	99.72	99.95
FeO*/MgC	3.33	3.29	3.10	3.42	3.21	3.21	3.63	2.65	3.29
FeO*	9.27	9.55	7.57	9.78	8.62	6.88	7.28	9.38	7.39
XRF(ppm)									
Ba	456.1	462.8	245.5	398.8	230.7	261.8	374	338.0	323.0
Co	31.6	29.9	24.6	30.6	30.9	21.7	29	42.0	37.0
Cr	5.4	10.2	7.2	8.3	10.6	10.7	5	8.0	7.0
Cu									
Nb	1.9	1.9	1.5	1.6	0.4	1.2	1.8	2.5	2.9
Ni	3.9	6.5	4.6	4.9	6.5	5.6	1	5.0	9.0
Rb	16.1	15.9	8.9	13.7	13.8	11.1	20	12.0	13.0
Sr	291.5	290.7	397.0	314.4	373.2	363.9	363	339.0	349.0
V	147.9	149.6	157.3	154.7	209.8	146.4	134	201.0	135.0
Y	36.7	37.5	22.6	33.1	21.2	22.5	24.2	28.9	27.0
Zn									
Zr	66.7	66.3	50.0	63.3	46.3	49.9	54	65.0	64.0
Ga	16.7	17.5	17.9	16.6	18.4	18.7	18.5	17.6	19.5
Ce	19.0	23.9	16.3	17.0	16.1	20.0	17	26.0	15.0
Pb	3.9	5.1	9.3	3.2	3.6	4.8	3.6	3.2	1.9
Th	0.5	1.3	0.4	0.1	0.8	0.3	1.8	1.7	0.1

Table 3-2a; continue.

Sample	F	F	F	N	N	N	N	N	N
	Se-19	旧峠6	西東10						
	保倉川西	噴出岩	噴出岩	82302	250704	KIT-01	82301	US-01	81702
北緯	37°01'41"	37°00'25"	37° 00'34"	36°53'20"	36°53'06"	36°53'49"	36°54'09"	36°54'01"	36°52'43"
東經	138°31'07'	138°26'03'	138° 26'2"	138°32'53'	138°32'26'	138°33'25'	138°33'38'	138°33'39'	138°32'15'
stage	中条川	中条川	中条川	東ノ沢	東ノ沢	東ノ沢	東ノ沢	東ノ沢	東ノ沢
wt%									
SiO2	53.79	54.33	53.65	63.60	54.50	54.82	60.53	60.38	58.07
TiO2	0.73	0.76	0.78	0.60	0.79	0.83	0.64	0.63	0.84
Al2O3	21.70	20.81	21.25	19.21	20.39	20.24	20.36	20.25	19.16
Fe2O3	8.21	8.18	8.12	4.58	7.91	8.28	5.59	5.45	7.38
MnO	0.14	0.16	0.17	0.10	0.13	0.16	0.09	0.10	0.11
MgO	2.24	2.10	2.29	0.74	2.19	2.16	1.31	1.12	1.77
CaO	9.24	9.30	9.49	6.76	9.75	9.67	7.98	7.82	7.91
Na2O	2.97	3.08	2.98	3.62	2.91	2.27	3.53	3.49	2.86
K2O	0.68	0.82	0.78	1.45	0.92	0.81	1.24	1.23	1.29
P2O5	0.25	0.22	0.20	0.18	0.23	0.22	0.20	0.20	0.26
total	99.95	99.76	99.70	100.84	99.24	98.97	101.47	100.67	99.65
FeO*/MgC	3.29	3.51	3.19	5.57	3.25	3.45	3.84	4.38	3.75
FeO*	7.39	7.36	7.31	4.12	7.12	7.45	5.03	4.91	6.64
XRF(ppm)									
Ba	360.0	369.0	408.0						
Co	32.0	39.0	46.0						
Cr	8.0	6.0	6.0						
Cu									
Nb	2.0	1.8	1.5						
Ni	4.0	3.0	2.0						
Rb	16.0	17.0	15.0						
Sr	363.0	359.0	359.0						
V	134.0	133.0	145.0						
Y	27.6	23.5	26.1						
Zn									
Zr	63.0	53.0	53.0						
Ga	19.9	18.7	18.5						
Ce	20.0	21.0	11.0						
Pb	2.6	4.1	3.1						
Th	0.6	1.3	1.3						

Table 3-2a; continue.

Sample	N	F	P	P	N	N	F	P	P
	US-05	9081701	73102	73104	82206	US-09	9081901	73101	SHIRATORI
北緯	36°53'39"	36°52'48"	36°53'50"	36°53'05"	36°55'11"	36°53'34"	36°59'17"	36°55'12"	
東經	138°33'57'	138°32'16'	138°33'26'	138°32'26'	138°34'01'	138°34'13'	138°30'18'	138°34'22"	
stage	東ノ沢	東ノ沢2	東ノ沢	東ノ沢	極野	極野	極野	極野	極野
wt%									
SiO2	55.79	60.51	59.35	54.52	56.61	57.33	51.51	55.31	51.93
TiO2	0.88	0.84	0.59	0.82	0.85	0.88	0.90	0.78	0.86
Al2O3	21.12	16.99	19.47	20.06	19.21	18.29	19.14	19.00	18.43
Fe2O3	7.57	7.67	6.06	8.22	8.64	9.11	11.76	9.03	11.89
MnO	0.11	0.12	0.11	0.13	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20
MgO	1.97	1.54	1.43	2.34	2.28	2.66	4.58	2.61	4.35
CaO	9.57	6.60	7.88	9.38	9.01	8.65	8.43	8.77	8.73
Na2O	3.04	3.66	3.26	2.87	3.17	3.09	2.14	2.90	2.18
K2O	1.05	1.37	1.07	0.91	1.07	1.09	0.52	0.87	0.59
P2O5	0.22	0.33	0.20	0.22	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18
total	101.32	99.61	99.42	99.47	101.18	101.44	99.38	99.59	99.34
FeO*/MgC	3.46	4.49	3.81	3.16	3.41	3.08	2.31	3.12	2.46
FeO*	6.81	6.90	5.46	7.40	7.78	8.20	10.58	8.13	10.70
XRF(ppm)									
Ba		554.9	502.5	393.9			308.1	408.5	334.3
Co		19.7	18.0	25.2			39.1	27.5	36.7
Cr		8.6	0.0	7.0			15.3	8.5	8.0
Cu			40.6	70.0				38.2	96.0
Nb		3.6	0.8	0.3			1.5	0.5	0.0
Ni		5.3	2.1	3.3			10.5	5.7	5.2
Rb		29.0	41.6	25.9			5.2	25.3	13.9
Sr		293.2	317.5	362.1			346.9	303.5	357.3
V		99.1	83.6	224.4			315.7	251.5	389.4
Y		41.5	54.8	35.0			23.8	35.6	34.4
Zn			56.9	74.1				69.5	75.7
Zr		130.7	84.7	78.5			51.2	72.0	43.5
Ga		17.9					17.3		
Ce		29.0					14.2		
Pb		9.5					3.5		
Th		3.6					2.3		

Table 3-2a; continue.

Sample	N	F	N	N	N	N	N	N	N
I	81803	9081802	UGA	CH01	UAA	MAEKO	O-A	KU-TR	KU-F
北緯	36°51'47"	36°51'50"	36°59'27"	36°53'03"	36°56'31"	36°56'28"	36°56'40"	36°56'22"	36°56'22"
東經	138°31'44'	138°31'54'	138°36'44'	138°31'32'	138°35'42'	138°35'30'	138°35'47'	138°36'11'	138°36'11'
stage	前子								
wt%									
SiO2	65.40	65.13	60.36	63.17	63.15	63.04	62.82	63.52	69.28
TiO2	0.93	0.85	0.96	1.13	1.05	1.11	1.09	1.04	0.49
Al2O3	15.26	15.08	15.99	15.44	15.84	15.44	15.44	15.58	14.84
Fe2O3	6.97	7.17	8.46	8.27	8.20	8.17	8.18	7.68	5.42
MnO	0.14	0.12	0.15	0.15	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16
MgO	1.02	1.17	2.14	1.50	1.56	1.64	1.61	1.49	0.66
CaO	4.23	4.24	6.14	5.59	5.42	5.34	5.41	5.30	3.28
Na2O	3.31	3.66	3.49	3.55	2.88	3.28	3.61	3.53	4.02
K2O	2.34	2.22	1.71	2.30	2.11	1.96	1.91	1.93	2.12
P2O5	0.30	0.33	0.27	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.14
total	99.90	99.97	99.67	101.47	100.11	100.00	100.00	100.00	100.00
FeO*/MgC	6.15	5.50	3.56	4.96	4.73	4.48	4.57	4.64	7.40
FeO*	6.27	6.45	7.61	7.44	7.38	7.35	7.36	6.91	4.88
XRF(ppm)									
Ba		811.9							
Co		18.9							
Cr		9.5							
Cu									
Nb		3.9							
Ni		8.9							
Rb		56.3							
Sr		235.4							
V		38.7							
Y		44.9							
Zn									
Zr		164.2							
Ga		16.2							
Ce		36.9							
Pb		10.2							
Th		4.6							

Table 3-2a; continue.

Sample	P	P	P	P	P
	73105	73106	MAEKO	極野	SHItb
北緯	36°53'07"		36°56'27"	36°55'28"	
東經	138°31'27"		138°35'31"	138°34'37"	
stage	前子	前子	前子ap	前子ap	前子
wt%					
SiO2	56.73	54.56	62.49	61.05	61.17
TiO2	1.08	0.91	1.03	1.06	0.90
Al2O3	16.47	18.72	14.94	14.93	15.88
Fe2O3	10.02	9.70	8.35	9.45	8.19
MnO	0.16	0.15	0.15	0.17	0.17
MgO	2.98	2.92	1.65	2.03	2.05
CaO	7.55	9.01	5.28	5.63	6.09
Na2O	2.56	2.52	3.26	3.42	3.47
K2O	1.57	1.05	2.19	1.82	1.62
P2O5	0.30	0.21	0.39	0.33	0.29
total	99.43	99.74	99.72	99.88	99.82
FeO*/MgC	3.02	3.00	4.56	4.19	3.59
FeO*	9.02	8.73	7.52	8.50	7.37
XRF(ppm)					
Ba	656.4	419.9	831.7	706.6	656.7
Co	31.2	28.9	23.5	27.5	23.6
Cr	32.6	10.1	0.0	0.0	0.0
Cu	138.9	117.5	23.3	30.4	19.2
Nb	2.0	0.4	1.9	1.6	1.0
Ni	12.4	5.3	0.0	1.5	0.0
Rb	55.9	30.4	73.8	59.8	47.2
Sr	264.5	302.0	347.7	255.8	265.0
V	300.5	325.5	88.4	133.1	118.7
Y	57.2	36.4	64.7	52.5	50.7
Zn	86.4	70.4	85.4	87.9	83.8
Zr	143.8	82.1	169.2	133.2	118.0
Ga					
Ce					
Pb					
Th					

Table 3-2a; continue.

Sample	amabushi-yai SE16	SE18	Kama 02	前山西02		Ten 81903	Ten 81906	Nonomi-path	
	山伏山貫入岩	山伏野貫入岩	菱ヶ岳貫入岩	釜川貫入岩	前山貫入岩	無斑晶貫入岩	中条川	天水	天水
北緯	37°01'22"	37°01'34"	37°01'42"	36°54'25"	37°00'37"	37°00'32"		37°01'10"	37°01'39"
東経	138°34'58"	138°29'14"	138°29'35"	138°35'19"	138°25'11"	138°32'16"		138°32'18"	138°31'05"
stage	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩	貫入岩2		中条川2	中条川2
ICP-MS(ppm)									
Li	7.07	5.34	5.71	6.24	6.75	10.68	6.70	4.48	7.98
Be	0.62	0.64	0.52	0.61	0.62	0.73	0.78	0.68	0.77
Sc	26.15	26.71	28.20	28.73	29.48	32.80	32.74	20.36	34.10
V	73.08	144.58	125.92	142.99	238.96	132.66	142.85	121.66	153.10
Cr	6.80	5.44	17.27	15.96	7.34	8.86		5.43	10.22
Co	15.03	58.63	20.48	20.10	42.97	21.13	22.96	12.77	24.13
Ni	4.81	9.64	9.19	7.96	7.04	5.60	3.56	3.16	5.90
Ga	19.17	20.82	19.40	20.95	18.10	19.15	18.76	18.69	18.64
Rb	13.28	13.83	13.31	19.73	30.55	33.94	18.10	9.44	18.25
Sr	324.76	323.49	327.72	334.60	331.00	260.57	283.13	324.64	273.75
Y	28.13	24.53	20.75	25.14	33.52	34.97	37.00	31.02	37.76
Zr	66.33	65.03	45.29	85.52	57.25	128.70	73.61	79.55	71.84
Nb	1.69	1.72	1.22	1.80	1.52	2.40	1.86	1.96	1.84
Mo	0.26	0.27	0.34	0.48	0.35	1.14	0.43	0.16	0.72
Cd	0.28	0.28	0.18	0.26	0.20	0.56	0.26	0.23	0.29
Sn	0.81	1.31	0.54	0.73	0.80	1.45	1.17	0.86	1.39
Sb	0.10	0.27	0.29	0.25	0.06	1.28	0.22	0.17	0.51
Cs	0.35	1.20	0.23	1.22	1.72	3.14	0.85	0.85	1.87
Ba	329.36	301.78	274.21	337.48	330.40	493.91	438.69	333.20	394.90
La	5.96	5.44	4.62	6.45	9.10	8.68	6.32	6.26	6.35
Ce	18.45	17.49	13.82	18.93	21.19	27.33	20.80	18.86	20.38
Pr	2.79	2.61	2.06	2.76	3.25	3.97	3.36	2.96	3.28
Nd	13.96	12.58	9.92	13.16	15.02	18.17	17.16	13.49	16.82
Sm	3.99	3.58	2.83	3.65	4.33	5.00	5.08	3.85	5.13
Eu	1.34	1.29	1.08	1.09	1.41	1.40	1.69	1.36	1.70
Gd	4.70	4.58	3.74	4.40	5.63	5.96	6.42	4.79	6.31
Tb	0.77	0.71	0.59	0.69	0.98	0.98	1.03	0.81	1.00
Dy	4.99	4.50	3.65	4.45	5.88	6.45	6.84	5.21	6.59
Ho	1.08	0.92	0.78	0.94	1.34	1.33	1.45	1.11	1.40
Er	2.97	2.60	2.17	2.62	3.70	3.54	4.06	3.04	3.83
Tm	0.47	0.40	0.35	0.41	0.57	0.60	0.64	0.49	0.60
Yb	3.14	2.47	2.35	2.61	3.47	3.82	4.21	3.19	4.02
Lu	0.48	0.38	0.34	0.41	0.53	0.59	0.66	0.52	0.62
Hf	2.12	2.05	1.47	2.56	1.67	3.78	2.39	2.32	2.14
Ta	0.13	0.13	0.10	0.14	0.13	0.19	0.19	0.16	0.12
W	nd.	0.07	nd.	0.06	58.16	0.45	0.15	0.04	0.23
Tl	0.08	0.29	0.06	0.07	0.20	0.22	0.08	0.05	0.08
Pb	1.90	6.65	2.17	3.97	4.88	7.00	3.70	3.66	4.75
Bi					0.00				
Th	0.80	0.85	0.74	1.31	0.87	2.54	0.99	1.02	0.88
U	0.26	0.26	0.25	0.41	0.31	0.81	0.35	0.27	0.33

Table 3-2b; Trace and REE elements composition of tholeiitic volcanic rocks in the Sekita ~ Shikumi-gawa area.

Sample	8581805	8581804	8681807	8681802	旧峠5a	9081701	73102	73104	9081901
	中条川クジラ	中条川	中条川ol-anc	中条川	噴出岩				
北緯	37°00'13"	37°00'05"		37°00'45"	37°00'25"	36°52'48"	36°53'50"	36°53'05"	36°59'17"
東経	138°34'14"	138°34'12"		138°33'19"	138°26'03"	138°32'16"	138°33'26"	138°32'26"	138°30'18"
stage	中条川	中条川2	中条川	中条川	中条川	東ノ沢2	東ノ沢	東ノ沢	極野
ICP-MS(ppm)									
Li	4.68	6.11	4.83	5.40	5.74	4.85	6.69	6.32	7.35
Be	0.50	0.72	0.52	0.51	0.76	0.85	0.66	0.61	0.53
Sc	26.96	33.52	30.85	26.70	30.04	24.68			39.61
V	122.64	115.33	185.97	138.95	176.38	57.21			234.09
Cr	7.22	8.32	10.63	10.70	3.88	8.57			15.31
Co	19.48	23.48	24.43	19.82	31.27	14.23			35.68
Ni	6.06	5.42	8.06	6.78	6.13	3.25			11.92
Ga	18.35	18.17	19.89	20.08	18.50	19.74			18.97
Rb	10.33	15.72	15.32	13.22	21.97	30.59	27.35	14.96	6.18
Sr	367.32	305.27	361.21	365.14	363.00	284.58			313.65
Y	21.45	32.47	20.58	21.60	22.72	40.76	36.69	22.35	22.24
Zr	45.41	66.18	42.93	46.73	48.59	137.41	80.87	78.37	50.75
Nb	1.12	1.66	1.04	1.20	1.10	2.98	1.72	1.69	1.16
Mo	0.37	0.46	0.23	0.17	0.38	0.79			0.49
Cd	0.18	0.23	0.09	0.16	0.25	0.35			0.27
Sn	0.68	1.00	0.67	0.69	0.59	1.46			0.73
Sb	0.51	0.23	0.21	0.49	0.09	0.37	0.23	0.12	0.26
Cs	0.54	0.70	0.50	0.62	0.99	1.44	6.84	0.77	0.39
Ba	257.48	373.21	229.66	289.83	407.00	552.91	446.80	336.50	288.33
La	4.02	5.66	4.58	4.23	6.31	9.97	9.41	6.66	4.36
Ce	12.92	19.07	13.67	13.39	15.30	28.96	22.09	16.83	12.77
Pr	2.11	2.98	2.24	2.03	2.30	4.37	3.43	2.43	2.08
Nd	10.26	14.73	10.51	9.72	10.41	21.09	16.76	11.96	9.93
Sm	3.07	4.41	2.93	2.84	2.97	5.71	4.86	3.36	3.01
Eu	1.10	1.44	1.07	1.06	1.09	1.58	1.44	1.07	1.01
Gd	3.62	5.60	3.53	3.66	3.76	6.96	5.92	3.87	3.59
Tb	0.59	0.91	0.60	0.59	0.65	1.08	1.00	0.63	0.60
Dy	3.88	5.82	3.86	3.78	3.89	7.01	6.55	4.16	3.71
Ho	0.81	1.28	0.82	0.83	0.92	1.50	1.43	0.88	0.87
Er	2.25	3.40	2.11	2.25	2.49	4.24	3.84	2.43	2.32
Tm	0.35	0.54	0.34	0.33	0.40	0.67	0.61	0.38	0.38
Yb	2.31	3.59	2.35	2.38	2.49	4.26	3.91	2.48	2.38
Lu	0.35	0.56	0.36	0.39	0.41	0.66	0.63	0.38	0.37
Hf	1.49	2.06	1.32	1.42	1.51	4.06	2.28	2.11	1.55
Ta	0.10	0.12	0.12	0.12	0.13	0.20	0.12	0.11	0.11
W	0.01	nd.	nd.	0.02	92.82	0.15			0.04
Tl	0.05	0.05	0.05	0.05	0.17	0.14	0.03	0.02	0.04
Pb	8.66	2.44	2.57	3.07	3.76	7.59	3.44	3.62	2.84
Bi					0.02				
Th	0.62	0.90	0.87	0.68	1.10	2.33	1.64	1.34	0.83
U	0.21	0.30	0.29	0.24	0.37	0.72	0.53	0.43	0.26

Table 3-2b; continue.

Sample	73101	9081802	73105	73106 MAEKO	SHItb	
北緯	36°55'12"	36°51'50"	36°53'07"	36°56'27"		
東經	138°34'22"	138°31'54"	138°31'27"	138°35'31"		
stage	極野	前子	前子	前子	前子ap	前子
ICP-MS(ppm)						
Li	5.87	10.17	7.46	4.75	11.52	10.40
Be	0.56	0.93	0.75	0.51	0.91	0.74
Sc		24.55				
V		22.88				
Cr		9.55				
Co		10.49				
Ni		2.79				
Ga		16.44				
Rb	17.52	58.20	38.60	21.59	56.30	34.70
Sr		226.80				
Y	22.61	45.55	36.43	23.30	43.99	31.75
Zr	69.62	167.14	130.90	77.95	180.00	110.90
Nb	1.39	3.36	2.47	1.52	3.36	2.27
Mo		1.50				
Cd		0.52				
Sn		1.89				
Sb	0.19	0.49	0.29	0.13	0.40	0.19
Cs	1.17	3.16	3.99	1.49	2.45	3.18
Ba	401.80	628.24	543.90	347.20	901.30	565.90
La	6.45	12.55	13.18	7.31	15.30	10.22
Ce	16.11	34.84	30.35	17.67	38.20	25.13
Pr	2.34	5.59	4.52	2.65	5.43	3.50
Nd	11.29	25.45	21.31	12.59	25.39	16.56
Sm	3.19	6.76	5.69	3.47	6.71	4.57
Eu	1.05	1.60	1.34	1.04	1.64	1.29
Gd	3.80	8.01	6.57	4.14	7.58	5.31
Tb	0.63	1.28	1.05	0.68	1.22	0.90
Dy	4.12	7.74	6.65	4.32	7.96	5.71
Ho	0.87	1.67	1.38	0.91	1.63	1.19
Er	2.42	4.38	3.72	2.46	4.48	3.35
Tm	0.38	0.68	0.59	0.37	0.69	0.53
Yb	2.50	4.42	3.63	2.44	4.33	3.42
Lu	0.39	0.65	0.57	0.38	0.68	0.54
Hf	1.91	5.07	3.91	2.11	4.79	3.05
Ta	0.10	0.25	0.17	0.10	0.22	0.16
W		0.59				
Tl	0.02	0.31	0.19	0.03	0.17	0.24
Pb	3.30	9.87	8.14	3.20	10.86	7.69
Bi						
Th	1.33	4.11	3.51	1.81	4.10	2.87
U	0.44	1.33	1.11	0.58	1.29	0.87

Table 3-2b; continue.

Sample	73101	73102	73104	81802	81807	81906	9081702	9081802	9081901	MAEKO	PASS05
SiO2	49.117	48.016	47.312	47.757	46.801	50.876	47.830	49.622	46.500	48.451	45.902
TiO2	0.002	0.027	0.007	0.046	0.029	0.030	0.035	0.052	0.020	0.002	0.004
Al2O3	32.239	31.243	31.821	33.285	32.770	30.600	32.653	31.969	33.337	32.078	31.779
Cr2O3	0.041	0.027	0.002	0.012	0.021	0.010	0.007	0.000	0.011	0.014	0.018
FeO	0.737	0.592	0.740	0.612	0.631	0.741	0.716	0.604	0.868	0.660	0.571
MnO	0.008	0.096	0.032	0.009	0.009	0.023	0.005	0.018	0.004	0.000	0.008
MgO	0.089	0.073	0.081	0.059	0.065	0.076	0.079	0.064	0.070	0.072	0.075
CaO	15.796	15.412	15.839	16.736	16.790	14.226	16.236	15.044	17.057	15.777	15.846
Na2O	2.544	2.620	2.515	2.014	1.807	3.380	2.239	2.904	1.603	2.723	2.001
K2O	0.007	0.005	0.007	0.024	0.037	0.068	0.039	0.088	0.022	0.003	0.041
NiO	0.003	0.052	0.004	0.024	0.027	0.026	0.004	0.000	0.035	0.001	0.093
BaO	0.005	0.005	0.003	0.011	0.005	0.010	0.000		0.000	0.000	0.030
Total	100.589	98.168	98.361	100.588	98.991	100.065	99.842	100.363	99.528	99.781	96.367
SiO2	48.829	48.912	48.100	47.477	47.278	50.843	47.906	49.442	46.721	48.558	47.633
TiO2	0.002	0.027	0.007	0.046	0.030	0.030	0.035	0.052	0.020	0.002	0.004
Al2O3	32.050	31.826	32.351	33.090	33.104	30.580	32.705	31.853	33.495	32.149	32.977
Cr2O3	0.041	0.028	0.002	0.012	0.022	0.010	0.007	0.000	0.011	0.014	0.018
FeO	0.733	0.603	0.752	0.608	0.638	0.740	0.717	0.601	0.872	0.661	0.592
MnO	0.008	0.098	0.032	0.009	0.009	0.023	0.005	0.018	0.004	0.000	0.008
MgO	0.088	0.074	0.082	0.058	0.066	0.076	0.079	0.064	0.071	0.073	0.077
CaO	15.703	15.700	16.103	16.638	16.961	14.217	16.261	14.990	17.138	15.811	16.444
Na2O	2.529	2.669	2.557	2.002	1.826	3.378	2.242	2.893	1.611	2.729	2.076
K2O	0.006	0.005	0.007	0.024	0.037	0.068	0.039	0.087	0.022	0.003	0.042
NiO	0.003	0.053	0.004	0.024	0.027	0.026	0.004	0.000	0.035	0.001	0.096
BaO	0.005	0.005	0.003	0.011	0.005	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Formula											
Si	6.159	6.173	6.084	6.005	5.985	6.387	6.056	6.222	5.924	6.132	6.024
Ti	0.000	0.003	0.001	0.004	0.003	0.003	0.003	0.005	0.002	0.000	0.000
Al	4.765	4.734	4.823	4.933	4.939	4.528	4.872	4.725	5.006	4.785	4.916
Cr	0.004	0.003	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002
Fe	0.077	0.064	0.080	0.064	0.068	0.078	0.076	0.063	0.092	0.070	0.063
Mn	0.001	0.011	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001
Mg	0.017	0.014	0.016	0.011	0.012	0.014	0.015	0.012	0.013	0.014	0.015
Ca	2.122	2.123	2.182	2.255	2.301	1.913	2.202	2.021	2.328	2.139	2.228
Na	0.619	0.653	0.627	0.491	0.448	0.823	0.550	0.706	0.396	0.668	0.509
K	0.001	0.001	0.001	0.004	0.006	0.011	0.006	0.014	0.004	0.000	0.007
Ni	0.000	0.005	0.000	0.002	0.003	0.003	0.000	0.000	0.004	0.000	0.010
Total	13.766	13.783	13.818	13.771	13.768	13.763	13.782	13.770	13.770	13.809	13.774
O	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
An%	77.401	76.452	77.644	82.002	83.517	69.654	79.848	73.734	85.349	76.190	81.198
Ab%	22.561	23.520	22.314	17.856	16.267	29.951	19.924	25.756	14.518	23.794	18.554
Or%	0.038	0.028	0.042	0.142	0.216	0.395	0.227	0.511	0.133	0.016	0.248

Table 3-3a; Average chemical composition of plagioclase core in tholeiitic volcanic rocks.

Element	73101	73102	73104	9081702	9081802	9081901	MAEKO
SiO2	52.202	51.954	52.554	53.553	52.863	53.881	52.626
TiO2	0.198	0.272	0.214	0.149	0.356	0.254	0.275
Al2O3	1.396	1.077	1.403	1.049	0.793	1.020	0.993
Cr2O3	0.023	0.049	0.010	0.000	0.102	0.000	0.021
FeO	20.525	20.370	18.525	20.150	22.711	19.725	22.281
MnO	0.532	0.696	0.432	0.692	0.808	0.637	0.529
MgO	23.205	22.879	25.150	23.027	20.845	22.625	22.778
CaO	1.831	1.587	1.735	1.431	1.730	2.923	1.748
Na2O	0.045	0.029	0.032	0.045	0.038	0.062	0.002
K2O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000
NiO	0.012	0.051	0.010	0.014	0.013	0.006	0.006
BaO	0.036	0.046	0.006				0.024
Total	100.000	99.011	100.071	100.108	100.281	101.132	101.283
SiO2	52.201	52.474	52.517	53.495	52.715	53.278	51.960
TiO2	0.198	0.275	0.214	0.149	0.355	0.251	0.272
Al2O3	1.396	1.088	1.402	1.048	0.790	1.008	0.980
Cr2O3	0.023	0.049	0.010	0.000	0.102	0.000	0.021
FeO	20.525	20.573	18.512	20.128	22.647	19.504	21.999
MnO	0.532	0.703	0.432	0.691	0.806	0.630	0.522
MgO	23.205	23.108	25.133	23.002	20.786	22.372	22.489
CaO	1.831	1.603	1.733	1.429	1.726	2.890	1.726
Na2O	0.045	0.030	0.032	0.044	0.038	0.061	0.002
K2O	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000
NiO	0.012	0.051	0.010	0.014	0.013	0.006	0.006
BaO	0.036	0.046	0.006	0.000	0.000	0.000	0.023
Total	100.004	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Formula							
Si	7.115	7.153	7.086	7.249	7.248	7.232	7.131
Ti	0.020	0.028	0.022	0.015	0.037	0.026	0.028
Al	0.224	0.175	0.223	0.167	0.128	0.161	0.159
Cr	0.002	0.005	0.001	0.000	0.011	0.000	0.002
Fe	2.339	2.346	2.089	2.281	2.604	2.214	2.525
Mn	0.061	0.081	0.049	0.079	0.094	0.072	0.061
Mg	4.715	4.696	5.055	4.646	4.261	4.527	4.601
Ca	0.267	0.234	0.251	0.207	0.254	0.420	0.254
Na	0.012	0.008	0.008	0.012	0.010	0.016	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
Ni	0.001	0.006	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Total	14.758	14.732	14.785	14.658	14.652	14.670	14.761
O	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Fe	31.953	32.237	28.248	31.969	36.580	30.916	34.213
Mg	64.396	64.545	68.363	65.123	59.849	63.215	62.349
Ca	3.652	3.218	3.389	2.908	3.571	5.870	3.438

Table 3-3b; Average chemical composition of Opx core in tholeiitic volcanic rocks.

Element	73101	73102	73104	9081802	9081901	MAEKO	Element	9081901
SiO2	50.511	50.023	50.132	52.092	51.155	50.922	SiO2	35.953333
TiO2	0.512	0.529	0.497	0.541	0.618	0.537	TiO2	0.0190833
Al2O3	2.448	2.665	2.487	1.564	3.273	1.900	Al2O3	0.028
Cr2O3	0.029	0.004	0.000	0.081	0.000	0.033	Cr2O3	0.01475
FeO	12.112	10.912	12.483	12.068	11.693	12.430	FeO	31.795833
MnO	0.336	0.451	0.306	0.496	0.359	0.346	MnO	0.6020833
MgO	14.472	14.113	14.747	13.903	15.542	14.248	MgO	31.938333
CaO	19.273	19.530	18.288	19.040	17.393	19.478	CaO	0.213
Na2O	0.293	0.354	0.324	0.252	0.236	0.235	Na2O	0.0370833
K2O	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	K2O	0
NiO	0.014	0.033	0.004	0.027	0.015	0.018	NiO	0.0269167
BaO	0.000	0.085	0.000			0.007	BaO	0
Total	100.000	98.699	99.267	100.084	100.284	100.155	Total	100.284
SiO2	50.511	50.682	50.502	52.048	51.010	50.844	SiO2	35.851515
TiO2	0.512	0.536	0.501	0.541	0.617	0.536	TiO2	0.0190293
Al2O3	2.448	2.700	2.505	1.562	3.264	1.897	Al2O3	0.0279207
Cr2O3	0.029	0.004	0.000	0.080	0.000	0.033	Cr2O3	0.0147082
FeO	12.112	11.055	12.575	12.058	11.660	12.411	FeO	31.705789
MnO	0.336	0.457	0.308	0.495	0.358	0.345	MnO	0.6003783
MgO	14.472	14.299	14.856	13.891	15.498	14.226	MgO	31.847885
CaO	19.273	19.787	18.423	19.024	17.344	19.448	CaO	0.2123968
Na2O	0.293	0.359	0.326	0.252	0.236	0.235	Na2O	0.0369783
K2O	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	K2O	0
NiO	0.014	0.033	0.004	0.027	0.015	0.018	NiO	0.0268404
BaO	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000	0.007	BaO	0
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	Total	100.34344
Formula							Formula	
Si	6.985	6.992	6.980	7.173	6.983	7.042	Si	5.381
Ti	0.053	0.056	0.052	0.056	0.063	0.056	Ti	0.002
Al	0.399	0.439	0.408	0.254	0.527	0.310	Al	0.005
Cr	0.003	0.000	0.000	0.009	0.000	0.004	Cr	0.002
Fe	1.401	1.275	1.454	1.390	1.335	1.437	Fe	3.979
Mn	0.039	0.053	0.036	0.058	0.042	0.041	Mn	0.076
Mg	2.983	2.941	3.061	2.854	3.163	2.937	Mg	7.126
Ca	2.856	2.925	2.728	2.809	2.544	2.886	Ca	0.034
Na	0.079	0.096	0.087	0.067	0.063	0.063	Na	0.011
K	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	K	0.000
Ni	0.002	0.004	0.000	0.003	0.002	0.002	Ni	0.003
Total	14.800	14.781	14.807	14.675	14.721	14.777	Total	16.619
O	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	O	22
Fe	19.348	17.861	20.069	19.705	18.956	19.798	Fe	35.724827
Mg	41.209	41.182	42.264	40.466	44.917	40.455	Mg	63.968566
Ca	39.443	40.957	37.667	39.829	36.126	39.747	Ca	0.3066069

Table 3-3c; Average chemical compositions of Cpx and Olivine core in tholeiitic volcanic rocks.

	SP-No.	Loc.	SiO ₂	Qz	Pl	Bi	Hb	Hy	Au	OI	Mt	Gm	Pl/Pheno
Incl.	T-12b	inclu	57.98		78.9			11.7	3.3		3.8	2.3	80.7
	SRR04gab	inclu	57.86	8.6	54.9			5.6	7.5		2.9	20.7	71.7
Stage 3	T-12h	TO-la	59.91		36.4			5.3	2.0		2.6	53.8	78.7
	WT-15	TO-la	59.74		38.9			5.1	5.6		2.1	48.4	75.4
	OM-18	SHI-la	64.07	3.4	30.2		4.8	2.6	1.0		1.3	57.0	70.2
	T-10	SHI-la	63.36	3.0	28.2		1.6	1.1	1.4		1.9	62.9	75.8
	T-13	ONE-la	57.15		27.7			4.3	7.8		3.1	57.1	64.6
	TI-03	ONE-la	56.27		33.0			4.5	6.1	0.3	2.0	54.2	72.1
	T-08	ONE-la	55.25		29.1			6.0	6.3	0.1	2.8	55.8	65.7
	TZ-04	TA-la	63.89	0.7	29.5	0.1	1.8	2.5	1.0		1.8	63.7	81.3
	ON-06	TA-la	63.59	2.3	35.6	0.2	0.3	2.5	4.7		3.0	51.5	73.4
	80507	NU-la	64.70		26.2			3.6	4.3		1.9	64.1	73.0
	Stage 2	T-01	UE-wel	63.02	0.3	32.5			5.0	4.1		1.5	56.8
80907		UE-wel	62.92		21.9		0.2	2.7	2.6		1.2	71.6	77.1
OZpy2		ON-py	66.84	2.1	27.9	0.7	8.7	0.1			1.4	59.2	68.4
OMP		ON-py	66.10	7.6	28.0	0.3	7.7	0.4			1.9	54.2	61.1
Z-03a		ON-py	61.96		34.2			5.0	4.9		1.8	54.0	74.3
KG-01		ON-py	58.75		27.0			1.8	6.8		1.6	62.8	72.6
St. 1	70302	MA-la	62.78		30.2			5.9	5.8		1.7	56.6	69.6
	MAEKURA	MA-la	62.20		27.1			4.6	6.0		1.7	60.8	68.9

Table 3-4 ; Modal compositions of calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

SiO₂; whole rock SiO₂ content(wt%), Qz; phenocryst quartz, Pl; phenocryst plagioclase, Bi; phenocryst biotite, Hb; phenocryst hornblende, Hy; phenocryst hypersthene, Aug; phenocryst augite, Ol; phenocryst olivine, Mt; phenocryst magnetite, Gm; groundmass, Pl/pheno; the proportion of plagioclase in phenocryst minerals.

Laboratory	P	N	N	N	N	N	P	P	P
Sample	MAEKUR/	72004	70302	ON-01	KG-01	ON-03	KG	Z-03	OZpy1
北緯	36°51'28"	36°51'47"	36°51'27"	36°49'01"	36°51'18"	36°49'20"	36°51'28"	36°48'57"	36°51'17"
東經	138°37'07'	138°37'32'	138°37'04'	138°34'42'	138°36'20'	138°34'44'	138°36'24'	138°34'54'	138°36'15'
stage	1	1	1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
wt%									
SiO2	62.20	62.75	63.39	57.94	59.47	61.25	61.87	61.96	61.98
TiO2	0.63	0.58	0.64	0.64	0.62	0.58	0.60	0.58	0.57
Al2O3	15.22	16.16	15.85	17.32	16.97	17.18	17.31	16.18	16.17
Fe2O3	7.08	7.51	7.10	9.41	8.36	7.62	7.21	6.82	7.00
MnO	0.11	0.13	0.12	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14
MgO	2.97	2.95	2.86	3.91	3.31	3.02	2.67	2.57	2.75
CaO	5.70	6.07	5.85	7.89	7.24	7.13	5.14	6.05	6.33
Na2O	2.85	2.36	2.27	2.55	2.67	3.00	3.11	3.35	3.19
K2O	2.46	2.19	2.36	0.80	1.19	1.24	1.33	1.52	1.53
P2O5	0.13	0.12	0.14	0.15	0.16	0.16	0.14	0.14	0.14
total	99.35	100.82	100.57	100.78	100.15	101.32	99.52	99.30	99.78
XRF(ppm)									
Ba	553.9						603.0	544.0	512.8
Co	20.8						23.5	19.4	22.3
Cr	20.4						1.5	4.9	9.9
Cu	71.5						31.7	30.3	27.4
Nb	3.3						1.3	2.5	0.9
Ni	15.2						2.6	4.5	5.1
Rb	63.7						25.2	35.5	42.0
Sr	233.1						254.7	274.5	285.4
V	162.7						194.1	157.1	175.0
Y	26.8						36.9	27.7	34.5
Zn	66.4						67.1	75.0	64.8
Zr	126.3						99.4	93.3	88.8

Table 3-5a; Major and trace element composition of calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

Laboratory		N	N	P	P	P	N	N	N
Sample	Z-02	GG-11	OMP	OZpy2	T-02	T-01	80907	UR-03	80909
北緯	36°49'00"	36°52'24"	36°48'54"	36°51'17"	36°50'58"	36°50'58"	36°51'51"	36°50'43"	36°51'51"
東經	138°35'59"	138°36'24"	138°36'21"	138°36'15"	138°36'58"	138°37'00"	138°37'10"	138°38'54"	138°37'03"
stage	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	3.1
wt%									
SiO2	65.48	66.14	66.33	66.84	62.09	63.02	64.36	64.57	65.25
TiO2	0.51	0.49	0.47	0.44	0.61	0.57	0.58	0.58	0.57
Al2O3	15.23	16.36	16.44	15.36	16.18	16.04	16.67	16.24	16.37
Fe2O3	5.68	5.71	5.53	4.92	7.18	6.58	7.25	6.67	6.71
MnO	0.14	0.13	0.13	0.12	0.11	0.12	0.15	0.11	0.13
MgO	1.97	1.76	1.63	1.75	2.67	2.46	2.18	2.42	2.15
CaO	4.86	5.03	4.93	4.60	5.92	5.64	4.90	5.15	4.98
Na2O	3.49	3.27	3.28	3.49	3.01	3.01	2.55	2.50	3.12
K2O	2.01	1.86	1.89	2.11	1.90	2.13	1.81	2.18	1.76
P2O5	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.14	0.12	0.13
total	99.48	100.88	100.75	99.75	99.77	99.67	100.60	100.55	101.18
XRF(ppm)									
Ba	630.0			641.6	467.5	521.9			
Co	16.1			15.8	21.5	20.2			
Cr	0.0			0.0	14.3	17.9			
Cu	23.9			9.4	92.7	62.0			
Nb	3.0			0.4	3.7	3.7			
Ni	5.2			1.1	12.1	9.8			
Rb	48.9			61.8	52.9	58.4			
Sr	231.1			228.7	233.7	222.3			
V	124.7			98.7	170.0	151.4			
Y	24.0			29.1	38.7	28.4			
Zn	65.6			57.2	77.4	71.0			
Zr	96.8			96.1	104.6	108.7			

Table 3-5a; continue.

Laboratory	N	P	N	N	N	N	P	P	P
Sample	80507 S-04		81303 TZ-06	ON-06	TZ-04	T-08	T-07	T-05	
北緯	36°52'29"		36°49'49"	36°50'27"	36°49'37"	36°50'21"	36°50'41"	36°50'44"	36°50'58"
東經	138°37'05"		138°36'07'	138°36'23'	138°35'08'	138°36'33'	138°36'08'	138°36'12'	138°36'44'
stage	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3
wt%									
SiO ₂	65.43	60.03	61.05	64.12	64.30	64.37	55.25	55.30	55.58
TiO ₂	0.54	0.60	0.63	0.53	0.54	0.54	0.74	0.76	0.71
Al ₂ O ₃	16.12	16.61	17.67	16.95	16.99	16.94	16.94	17.15	16.92
Fe ₂ O ₃	6.42	7.82	7.71	6.00	6.59	6.34	10.26	10.25	10.08
MnO	0.14	0.14	0.13	0.10	0.13	0.14	0.18	0.19	0.18
MgO	2.28	3.33	2.77	1.72	2.08	2.36	3.87	4.13	4.16
CaO	5.00	6.75	6.55	6.16	5.44	5.90	7.91	7.71	7.91
Na ₂ O	3.27	3.05	2.75	2.89	2.86	2.92	2.87	2.72	2.75
K ₂ O	1.87	1.32	1.32	1.55	1.52	1.44	0.93	0.86	0.96
P ₂ O ₅	0.12	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.07	0.15
total	101.17	99.79	100.74	100.16	100.59	101.10	99.11	99.13	99.40
XRF(ppm)									
Ba		454.7					358.0	361.8	348.8
Co		24.7					29.5	30.3	29.9
Cr		12.2					11.6	10.4	22.0
Cu		33.7					53.9	56.9	78.7
Nb		0.1					2.5	2.9	2.0
Ni		4.1					8.0	8.2	11.6
Rb		38.4					17.9	15.9	19.3
Sr		300.8					282.9	272.4	278.7
V		225.9					261.0	188.4	255.8
Y		36.2					23.7	20.7	22.6
Zn		73.1					84.5	86.9	86.1
Zr		75.4					58.8	59.3	56.3

Table 3-5a; continue.

Laboratory	P	N	P	N	P	P	P	N	P
Sample	T-04	TT-03	T-13	90513	Z-01	SRR4host	T-10	OM-18	T-11
北緯	36°50'58"	36°50'58"	36°51'02"	36°50'49"	36°48'55"	36°49'53"	36°50'28"	36°49'13"	36°50'12"
東經	138°36'46'	138°36'42'	138°36'31'	138°36'22'	138°36'20'	138°36'24'	138°35'50'	138°36'14'	138°35'23'
stage	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5
wt%									
SiO2	56.54	56.65	57.15	58.00	62.05	62.45	63.36	64.44	58.54
TiO2	0.74	0.72	0.76	0.76	0.57	0.55	0.55	0.51	0.70
Al2O3	17.05	17.91	16.68	17.57	16.08	16.15	16.03	16.80	16.62
Fe2O3	10.08	10.27	9.79	9.92	6.88	6.61	6.35	6.33	8.83
MnO	0.19	0.17	0.18	0.17	0.14	0.14	0.09	0.13	0.15
MgO	3.72	4.35	3.48	3.40	2.49	2.33	2.25	1.95	3.18
CaO	7.06	7.70	7.00	7.61	5.95	5.76	5.71	5.29	7.09
Na2O	2.84	2.23	2.97	2.76	3.35	3.32	3.08	3.09	2.99
K2O	0.98	0.90	1.11	1.01	1.56	1.66	1.67	1.65	1.32
P2O5	0.15	0.16	0.16	0.17	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15
total	99.33	101.07	99.26	101.37	99.22	99.12	99.22	100.34	99.56
XRF(ppm)									
Ba	358.0		433.1		548.1	552.5	534.4		471.1
Co	29.3		28.3		19.4	19.6	21.2		25.9
Cr	2.4		2.4		5.5	4.5	8.3		5.8
Cu	50.0		29.3		38.7	33.2	24.6		63.1
Nb	2.0		2.0		2.4	2.4	2.9		3.1
Ni	4.3		5.6		4.5	7.8	9.4		4.7
Rb	21.6		23.1		33.4	38.7	42.0		31.3
Sr	274.0		295.8		269.0	266.2	263.2		271.4
V	260.3		254.5		161.2	145.7	157.9		231.3
Y	22.7		24.4		29.5	28.0	32.7		30.0
Zn	87.8		88.2		72.2	72.1	81.8		81.1
Zr	58.4		65.7		92.0	89.6	88.3		72.8

Table 3-5a; continue.

Laboratory	P	N	N	N	P	N	N	P	N
Sample	T-12host	WT-15	408100	410160	EBRB	510150	510150	EBRW	510150
北緯	36°50'10"	36°50'10"	36°51'39"	36°51'11"	36°51'14"	36°50'39"	36°50'39"	36°51'14"	36°50'41"
東經	138°35'14'	138°35'14'	138°35'19'	138°35'06'	138°36'18'	138°33'55'	138°33'55'	138°36'18'	138°33'58'
stage	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
wt%									
SiO2	59.91	60.18	61.23	62.86	63.15	63.58	66.09	66.49	66.66
TiO2	0.63	0.65	0.66	0.65	0.55	0.65	0.56	0.46	0.56
Al2O3	16.66	17.54	16.39	16.29	16.09	16.62	15.19	15.53	16.66
Fe2O3	7.80	8.47	7.74	6.69	6.63	6.76	5.78	5.07	5.67
MnO	0.15	0.16	0.14	0.13	0.14	0.13	0.11	0.12	0.13
MgO	2.89	2.88	2.70	2.33	2.45	2.24	1.83	1.82	1.53
CaO	6.95	6.82	5.80	5.62	5.68	5.18	4.48	4.51	3.97
Na2O	3.15	2.85	3.14	3.59	3.32	3.42	3.36	3.52	3.25
K2O	1.42	1.27	1.58	1.64	1.57	1.68	2.14	2.08	2.24
P2O5	0.16	0.16	0.14	0.14	0.14	0.13	0.12	0.09	0.11
total	99.70	100.99	99.52	99.94	99.74	100.39	99.66	99.69	100.78
XRF(ppm)									
Ba	504.7				566.5			623.8	
Co	22.2				21.0			16.4	
Cr	3.6				1.1			0.0	
Cu	45.6				17.8			14.2	
Nb	2.9				1.0			0.6	
Ni	6.2				0.7			2.2	
Rb	30.3				44.5			64.1	
Sr	275.5				260.0			227.6	
V	188.9				159.4			97.8	
Y	27.4				34.2			29.5	
Zn	74.6				67.1			57.2	
Zr	81.3				96.4			99.2	

Table 3-5a; continue.

Laboratory	N	N	N	N	P	P	P	P	P
Sample	41016B	82604	408100	41016A	KMgab	SRR4gab	T-EBbr	T-12bas	280801B
北緯	36°51'14"		36°51'40"	36°51'14"	36°48'55"	36°49'53"	36°51'14"	36°50'10"	
東經	138°35'00"		138°35'21"	138°35'00"	138°36'20"	138°36'24"	138°36'18"	138°35'14"	
stage	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion
wt%									
SiO ₂	52.39	53.51	53.53	54.62	56.72	57.86	73.94	57.98	60.92
TiO ₂	0.76	0.86	0.88	0.86	0.79	0.72	0.25	0.73	0.68
Al ₂ O ₃	17.19	17.58	17.88	17.36	16.76	16.81	13.54	16.80	16.49
Fe ₂ O ₃	11.88	11.87	11.58	10.44	9.98	7.88	2.37	9.03	7.53
MnO	0.17	0.17	0.16	0.15	0.18	0.15	0.05	0.18	0.23
MgO	5.74	5.06	5.41	4.37	4.10	3.95	0.62	3.39	2.47
CaO	10.43	7.41	9.09	8.77	7.63	8.47	2.67	7.15	6.39
Na ₂ O	1.95	2.32	2.50	2.70	2.50	2.71	3.57	3.11	3.56
K ₂ O	0.87	0.83	0.80	0.90	0.95	0.45	2.52	0.87	0.78
P ₂ O ₅	0.15	0.09	0.16	0.16	0.15	0.15	0.05	0.18	0.18
total	101.53	99.70	101.99	100.33	99.75	99.17	99.58	99.39	99.22
XRF(ppm)									
Ba					313.5	205.9	761.7	449.0	430.1
Co					33.1	22.9	7.0	26.5	19.9
Cr					33.6	38.7	0.0	1.8	0.0
Cu					58.7	120.7	7.9	45.0	11.1
Nb					0.5	2.9	0.2	2.5	2.1
Ni					13.3	13.7	0.1	5.9	4.7
Rb					30.7	8.7	67.6	13.3	14.0
Sr					264.4	272.1	169.8	277.7	305.5
V					305.2	229.3	8.9	229.3	100.0
Y					41.8	26.4	20.6	25.5	32.6
Zn					81.8	79.8	22.1	92.5	80.2
Zr					72.4	101.5	105.1	74.3	87.9

Table 3-5a; continue.

Sample	MAEKURA	Z-03	OZpy1	Z-02	OZpy2	T-01	S-04	T-08	T-05	T-13
北緯	36°51'28"	36°48'57"	36°51'17"	36°49'00"	36°51'17"	36°50'58"		36°50'41"	36°50'58"	36°51'02"
東經	138°37'07"	138°34'54"	138°36'15"	138°35'59"	138°36'15"	138°37'00"		138°36'08"	138°36'44"	138°36'31"
stage	1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	3.2	3.3	3.3	3.3
ICP-MS(ppm)										
Li	9.72	8.96	9.69	13.99	11.42	9.65	9.36	6.07	7.50	5.09
Be	0.62	0.70	0.68	0.71	0.59	0.61	0.62	0.51	0.51	0.53
Rb	43.07	26.98	30.57	28.94	41.24	45.85	25.31	16.55	17.88	17.82
Y	20.18	20.59	21.32	16.01	16.98	20.65	20.65	19.22	17.92	18.20
Zr	128.77	86.66	86.32	20.17	41.41	64.48	61.04	60.69	54.97	61.22
Nb	3.41	2.37	1.74	2.64	1.94	3.07	1.41	1.68	1.50	1.76
Sb	0.29	0.15	0.11	0.06	0.17	0.21	0.02	0.25	0.15	0.21
Cs	2.30	1.86	2.38	2.07	3.48	1.86	1.13	0.55	0.58	0.65
Ba	534.79	453.18	449.77	676.77	627.90	504.39	339.06	393.89	339.13	319.97
La	8.34	8.33	8.86	7.65	9.49	9.20	8.22	6.39	6.45	5.92
Ce	19.33	19.10	20.07	17.55	20.82	20.46	17.66	14.74	13.66	13.38
Pr	2.58	2.58	2.75	2.29	2.58	2.76	2.59	2.05	1.96	1.86
Nd	11.66	11.64	12.41	10.00	10.91	12.12	11.63	9.73	9.12	8.64
Sm	2.83	3.00	3.09	2.48	2.57	3.06	2.85	2.59	2.43	2.47
Eu	0.75	0.88	0.92	0.71	0.76	0.82	0.90	0.90	0.84	0.86
Gd	3.16	3.23	3.40	2.70	2.88	3.30	3.35	2.96	2.78	2.77
Tb	0.55	0.58	0.57	0.48	0.48	0.59	0.55	0.53	0.49	0.50
Dy	3.49	3.67	3.64	3.06	3.11	3.76	3.63	3.41	3.21	3.25
Ho	0.74	0.79	0.78	0.62	0.66	0.77	0.77	0.71	0.66	0.68
Er	2.08	2.21	2.19	1.78	1.86	2.22	2.17	1.98	1.87	1.91
Tm	0.34	0.36	0.36	0.29	0.31	0.34	0.35	0.32	0.29	0.31
Yb	2.24	2.48	2.41	1.93	2.09	2.34	2.32	2.08	1.98	2.10
Lu	0.36	0.40	0.38	0.32	0.34	0.39	0.37	0.35	0.34	0.35
Hf	3.71	2.74	2.27	1.02	1.52	2.21	1.75	1.81	1.73	2.02
Ta	0.37	0.26	0.14	0.31	0.19	0.40	0.11	0.15	0.14	0.17
Tl	0.42	0.28	0.16	0.17	0.29	0.34	0.17	0.10	0.15	0.13
Pb	13.02	9.41	6.16	10.87	8.75	10.63	4.44	8.64	6.62	9.78
Th	4.38	2.37	2.30	2.54	3.96	4.54	2.03	1.36	1.41	1.62
U	1.39	0.73	0.71	0.63	1.17	1.19	0.62	0.44	0.46	0.47

Table 3-5b: Trace and REE elements composition of calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano.

Sample	Z-01	SRR4host	T-10	T-11	T-12host	KMgab	SRR4gab	T-EBbr	T-12bas
北緯	36°48'55"	36°49'53"	36°50'28"	36°50'12"	36°50'10"	36°48'55"	36°49'53"	36°51'14"	36°50'10"
東經	138°36'20"	138°36'24"	138°35'50"	138°35'23"	138°35'14"	138°36'20"	138°36'24"	138°36'18"	138°35'14"
stage	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion
ICP-MS(ppm)									
Li	8.71	7.55	4.81	6.47	5.97	5.03	14.63	8.46	7.44
Be	0.66	0.63	0.90	0.55	0.62	0.58	0.60	0.66	0.56
Rb	28.61	23.50	31.51	25.49	27.84	20.47	6.48	48.97	11.41
Y	21.79	19.02	22.07	23.31	20.63	27.57	22.31	12.23	20.04
Zr	86.14	70.99	61.43	59.61	78.97	19.36	23.29	2.00	72.72
Nb	2.34	2.24	2.33	1.82	2.05	1.73	2.55	2.08	2.11
Sb	0.18	0.11	0.14	0.19	0.15	0.03	0.08	-0.01	0.09
Cs	0.79	1.24	1.46	0.88	0.77	1.46	0.59	4.67	0.53
Ba	412.10	469.62	447.20	474.30	496.66	312.47	240.04	665.56	494.61
La	9.15	7.80	9.71	8.68	8.30	9.10	7.20	9.11	7.54
Ce	20.62	17.94	23.13	21.85	18.39	18.92	19.08	18.23	17.92
Pr	2.72	2.47	3.15	2.92	2.46	3.01	2.73	2.11	2.34
Nd	12.24	10.94	14.15	13.49	11.19	14.13	12.70	8.32	10.79
Sm	3.04	2.75	3.54	3.67	2.91	3.77	3.32	1.81	2.87
Eu	0.90	0.84	0.92	0.96	0.90	1.06	0.98	0.55	0.94
Gd	3.35	3.05	3.79	4.03	3.19	4.39	3.52	1.91	3.16
Tb	0.59	0.55	0.66	0.70	0.56	0.73	0.64	0.31	0.58
Dy	3.80	3.52	4.19	4.41	3.61	4.75	4.02	2.04	3.58
Ho	0.79	0.75	0.86	0.88	0.74	1.02	0.83	0.43	0.76
Er	2.22	2.09	2.41	2.44	2.14	2.86	2.36	1.23	2.12
Tm	0.35	0.34	0.37	0.38	0.34	0.45	0.37	0.20	0.34
Yb	2.51	2.32	2.47	2.46	2.27	2.90	2.57	1.31	2.31
Lu	0.41	0.37	0.38	0.40	0.37	0.47	0.41	0.22	0.38
Hf	2.59	2.35	2.25	2.30	2.48	0.76	1.13	-0.19	2.32
Ta	0.22	0.27	0.25	0.18	0.21	0.12	0.23	0.21	0.22
Tl	0.21	0.21	0.14	0.14	0.18	0.00	0.12	0.25	0.09
Pb	8.37	9.06	10.25	9.93	9.46	5.29	7.87	4.95	9.94
Th	2.34	2.48	2.53	1.82	2.35	1.57	0.83	3.93	1.91
U	0.70	0.80	0.75	0.51	0.68	0.41	0.23	0.54	0.56

Table 3-5b; continue.

Rock SiO2	55.25	56.54	63.02	62.09	55.58	63.36	59.91	57.15	62.05
Sample	T-08	T-04	T-01	T-02	T-05	T-10	T-12	T-13	Z-01
SiO2	50.019	49.540	51.136	51.757	48.227	51.105	51.043	49.318	51.712
TiO2	0.054	0.000	0.002	0.000	1.411	0.014	0.011	0.001	0.023
Al2O3	28.589	30.145	28.645	29.261	31.124	29.849	30.374	30.675	29.815
Cr2O3	0.076	0.037	0.040	0.042	0.041	0.027	0.014	0.023	0.008
FeO	1.684	0.668	0.398	0.304	1.528	0.453	0.495	0.621	0.517
MnO	0.037	0.000	0.001	0.000	0.040	0.004	0.021	0.009	0.031
MgO	1.745	0.077	0.043	0.034	0.808	0.029	0.029	0.044	0.044
CaO	14.382	13.790	12.215	12.353	15.220	13.697	13.640	14.799	13.069
Na2O	2.898	3.547	4.314	4.188	2.300	3.656	3.660	3.157	4.228
K2O	0.113	0.033	0.107	0.177	0.105	0.171	0.230	0.048	0.182
NiO	0.036	0.008	0.005	0.000	0.006	0.013	0.008	0.000	0.026
BaO	0.028	0.000	0.003	0.012	0.055	0.017	0.033	0.000	0.042
Total	99.660	97.845	96.909	98.127	100.865	99.034	99.558	98.695	99.696
SiO2	50.189	50.632	52.767	52.745	47.814	51.603	51.270	49.970	51.870
TiO2	0.054	0.000	0.002	0.000	1.399	0.014	0.011	0.001	0.023
Al2O3	28.686	30.809	29.559	29.819	30.857	30.140	30.509	31.081	29.906
Cr2O3	0.076	0.038	0.042	0.043	0.040	0.028	0.014	0.023	0.008
FeO	1.690	0.682	0.411	0.309	1.515	0.457	0.497	0.630	0.519
MnO	0.038	0.000	0.001	0.000	0.040	0.004	0.021	0.009	0.031
MgO	1.751	0.079	0.045	0.035	0.801	0.029	0.029	0.044	0.044
CaO	14.431	14.094	12.604	12.589	15.090	13.831	13.700	14.995	13.109
Na2O	2.908	3.625	4.451	4.268	2.280	3.691	3.677	3.199	4.241
K2O	0.113	0.033	0.110	0.180	0.104	0.173	0.231	0.049	0.182
NiO	0.036	0.008	0.006	0.000	0.006	0.013	0.008	0.000	0.026
BaO	0.028	0.000	0.003	0.012	0.054	0.017	0.033	0.000	0.042
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Formula									
Si	2.312	2.313	2.396	2.393	2.208	2.352	2.339	2.288	2.365
Ti	0.002	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.001
Al	1.557	1.659	1.582	1.595	1.679	1.619	1.640	1.677	1.607
Cr	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Fe	0.065	0.026	0.016	0.012	0.058	0.017	0.019	0.024	0.020
Mn	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001
Mg	0.120	0.005	0.003	0.002	0.055	0.002	0.002	0.003	0.003
Ca	0.712	0.690	0.613	0.612	0.746	0.676	0.670	0.736	0.640
Na	0.260	0.321	0.392	0.375	0.204	0.326	0.325	0.284	0.375
K	0.007	0.002	0.006	0.010	0.006	0.010	0.013	0.003	0.011
Ni	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Total	5.040	5.018	5.011	5.002	5.009	5.005	5.010	5.016	5.024
O	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
An%	72.784	68.109	60.627	61.329	78.026	66.763	66.415	71.946	62.422
Ab%	26.537	31.699	38.744	37.626	21.335	32.243	32.252	27.775	36.544
Or%	0.678	0.192	0.630	1.045	0.640	0.995	1.333	0.279	1.034

Table 3-6a: Average chemical composition of plagioclase core in calc-alkaline volcanic rocks.

Rock SiO2	65.48	61.96	62.20	66.84	73.94	56.72
Sample	Z-02	Z-03	MAEKURA OZ-02	Ebr		KMg
SiO2	53.701	51.300	51.073	56.150	59.144	54.247
TiO2	0.026	0.046	0.002	0.000	0.003	0.000
Al2O3	28.413	30.589	30.739	27.491	25.481	28.931
Cr2O3	0.006	0.004	0.054	0.018	0.022	0.015
FeO	0.336	0.556	0.605	0.067	0.162	0.195
MnO	0.015	0.014	0.087	0.000	0.000	0.000
MgO	0.018	0.035	0.048	0.014	0.002	0.014
CaO	11.256	13.970	14.131	9.891	7.474	11.479
Na2O	5.269	3.769	3.268	5.747	7.147	4.670
K2O	0.271	0.121	0.229	0.203	0.339	0.359
NiO	0.036	0.054	0.016	0.000	0.014	0.014
BaO	0.084	0.068	0.009	0.000	0.000	0.000
Total	99.431	100.526	100.260	99.580	99.789	99.924
SiO2	54.008	51.032	50.940	56.387	59.270	54.288
TiO2	0.026	0.046	0.002	0.000	0.003	0.000
Al2O3	28.575	30.429	30.659	27.607	25.535	28.953
Cr2O3	0.007	0.004	0.054	0.018	0.022	0.015
FeO	0.338	0.553	0.604	0.067	0.162	0.195
MnO	0.015	0.013	0.087	0.000	0.000	0.000
MgO	0.018	0.035	0.048	0.014	0.002	0.014
CaO	11.320	13.896	14.094	9.933	7.490	11.488
Na2O	5.299	3.749	3.259	5.771	7.162	4.673
K2O	0.272	0.120	0.229	0.204	0.340	0.360
NiO	0.036	0.054	0.015	0.000	0.014	0.014
BaO	0.085	0.067	0.009	0.000	0.000	0.000
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Formula						
Si	2.450	2.332	2.326	2.534	2.648	2.453
Ti	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.528	1.638	1.650	1.462	1.345	1.542
Cr	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001
Fe	0.013	0.021	0.023	0.003	0.006	0.007
Mn	0.001	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.002	0.003	0.001	0.000	0.001
Ca	0.550	0.680	0.689	0.478	0.359	0.556
Na	0.466	0.332	0.289	0.503	0.620	0.409
K	0.016	0.007	0.013	0.012	0.019	0.021
Ni	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001
Total	5.026	5.017	4.999	4.992	4.999	4.991
O	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
An%	53.314	66.730	69.551	48.175	35.915	56.387
Ab%	45.159	32.581	29.106	50.650	62.144	41.511
Or%	1.526	0.688	1.343	1.176	1.941	2.101

Table 3-6a; Average chemical composition of plagioclase core in calc-alkaline volcanic rocks (continue).

Element	T-08	T-04	T-01	T-02	T-05	T-10	T-12	T-13	Z-01
SiO2	52.244	52.330	51.894	52.265	51.693	51.968	51.515	52.607	52.241
TiO2	0.250	0.152	0.141	0.125	0.243	0.199	0.280	0.196	0.197
Al2O3	1.110	0.941	0.562	0.674	1.017	1.672	0.795	1.095	1.135
Cr2O3	0.088	0.034	0.054	0.052	0.031	0.036	0.035	0.023	0.018
FeO	19.831	19.925	23.354	22.459	22.474	20.090	23.864	19.845	20.724
MnO	0.635	0.583	0.714	0.755	0.696	0.723	0.913	0.580	0.820
MgO	23.898	24.258	22.117	22.415	22.256	23.809	20.846	23.916	23.393
CaO	1.642	1.712	1.066	1.202	1.447	1.424	1.343	1.698	1.250
Na2O	0.050	0.022	0.023	0.014	0.007	0.011	0.022	0.035	0.027
K2O	0.017	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.052	0.006	0.021
NiO	0.065	0.033	0.017	0.028	0.011	0.012	0.039	0.000	0.058
BaO	0.172	0.010	0.058	0.012	0.109	0.056	0.295	0.000	0.116
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
SiO2	52.244	52.330	51.894	52.265	51.693	51.968	51.515	52.607	52.241
TiO2	0.250	0.152	0.141	0.125	0.243	0.199	0.280	0.196	0.197
Al2O3	1.110	0.941	0.562	0.674	1.017	1.672	0.795	1.095	1.135
Cr2O3	0.088	0.034	0.054	0.052	0.031	0.036	0.035	0.023	0.018
FeO	19.831	19.925	23.354	22.459	22.474	20.090	23.864	19.845	20.724
MnO	0.635	0.583	0.714	0.755	0.696	0.723	0.913	0.580	0.820
MgO	23.898	24.258	22.117	22.415	22.256	23.809	20.846	23.916	23.393
CaO	1.642	1.712	1.066	1.202	1.447	1.424	1.343	1.698	1.250
Na2O	0.050	0.022	0.023	0.014	0.007	0.011	0.022	0.035	0.027
K2O	0.017	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.052	0.006	0.021
NiO	0.065	0.033	0.017	0.028	0.011	0.012	0.039	0.000	0.058
Total	99.828	99.990	99.941	99.988	99.891	99.944	99.705	100.000	99.884
Formula									
Si	1.940	1.941	1.954	1.958	1.942	1.928	1.953	1.948	1.945
Ti	0.007	0.004	0.004	0.004	0.007	0.006	0.008	0.005	0.006
Al	0.049	0.041	0.025	0.030	0.045	0.073	0.036	0.048	0.050
Cr	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe	0.616	0.618	0.735	0.704	0.706	0.623	0.757	0.614	0.645
Mn	0.020	0.018	0.023	0.024	0.022	0.023	0.029	0.018	0.026
Mg	1.323	1.341	1.242	1.252	1.246	1.317	1.178	1.320	1.299
Ca	0.065	0.068	0.043	0.048	0.058	0.057	0.055	0.067	0.050
Na	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.001
Ni	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002
Total	4.029	4.035	4.030	4.023	4.029	4.029	4.022	4.024	4.026
O	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Mg%	66.011	66.159	61.464	62.476	61.989	65.948	59.224	65.940	65.131
Fe%	30.729	30.485	36.407	35.116	35.114	31.217	38.033	30.695	32.367
Ca%	3.260	3.356	2.129	2.408	2.896	2.835	2.743	3.365	2.502
Mg/(Mg+Fe)	0.682	0.685	0.628	0.640	0.638	0.679	0.609	0.682	0.668

Table 3-6b; Average chemical composition of Opx core in calc-alkaline volcanic rocks.

Element	Z-02	Z-03	MAEKURA OZ-02		KMg
SiO2	52.189	52.218	52.049	54.689	51.583
TiO2	0.202	0.199	0.252	0.168	0.129
Al2O3	0.909	0.983	0.874	1.646	0.693
Cr2O3	0.000	0.003	0.002	0.000	0.047
FeO	21.516	21.146	21.173	21.015	26.159
MnO	0.921	0.862	0.572	0.918	1.029
MgO	22.776	23.058	20.388	19.636	19.295
CaO	1.142	1.244	4.527	1.666	0.991
Na2O	0.041	0.029	0.065	0.254	0.009
K2O	0.024	0.024	0.000	0.000	0.000
NiO	0.121	0.097	0.013	0.007	0.034
BaO	0.158	0.136	0.087	0.000	0.031
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
SiO2	52.189	52.218	52.049	54.689	51.583
TiO2	0.202	0.199	0.252	0.168	0.129
Al2O3	0.909	0.983	0.874	1.646	0.693
Cr2O3	0.000	0.003	0.002	0.000	0.047
FeO	21.516	21.146	21.173	21.015	26.159
MnO	0.921	0.862	0.572	0.918	1.029
MgO	22.776	23.058	20.388	19.636	19.295
CaO	1.142	1.244	4.527	1.666	0.991
Na2O	0.041	0.029	0.065	0.254	0.009
K2O	0.024	0.024	0.000	0.000	0.000
NiO	0.121	0.097	0.013	0.007	0.034
Total	99.842	99.864	99.913	100.000	99.969
Formula					
Si	1.952	1.949	1.958	2.023	1.968
Ti	0.006	0.006	0.007	0.005	0.004
Al	0.040	0.043	0.039	0.072	0.031
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Fe	0.673	0.660	0.666	0.650	0.835
Mn	0.029	0.027	0.018	0.029	0.033
Mg	1.270	1.283	1.143	1.083	1.098
Ca	0.046	0.050	0.182	0.066	0.041
Na	0.003	0.002	0.005	0.018	0.001
K	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Ni	0.004	0.003	0.000	0.000	0.001
Total	4.024	4.025	4.018	3.946	4.012
O	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Mg%	63.858	64.381	57.401	60.191	55.635
Fe%	33.841	33.121	33.440	36.137	42.312
Ca%	2.302	2.497	9.160	3.671	2.053
Mg/(Mg+Fe)	0.654	0.660	0.632	0.625	0.568

Table 3-6b; Average chemical composition of Opx core in calc-alkaline volcanic rocks (continue).

Element	T-08	T-04	T-01	T-02	T-05	T-10	T-12	T-13	Z-01
SiO2	50.743	51.306	51.488	51.799	50.897	51.416	51.432	50.831	51.346
SiO2	50.743	51.305	51.488	51.799	50.897	51.416	51.433	50.830	51.348
TiO2	0.485	0.302	0.318	0.271	0.483	0.325	0.423	0.447	0.365
Al2O3	2.139	1.646	1.573	1.245	2.629	2.116	1.859	2.421	2.135
Cr2O3	0.105	0.075	0.071	0.052	0.046	0.088	0.013	0.021	0.115
FeO	10.515	10.617	9.943	10.122	10.982	8.931	9.671	10.641	8.785
MnO	0.379	0.429	0.358	0.348	0.346	0.379	0.375	0.343	0.357
MgO	15.041	15.268	14.893	14.732	14.993	14.850	14.964	15.000	15.154
CaO	20.021	20.018	21.020	21.138	19.264	21.555	20.739	20.023	21.331
Na2O	0.248	0.267	0.265	0.268	0.228	0.242	0.269	0.238	0.300
K2O	0.025	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.032	0.000	0.011
NiO	0.090	0.037	0.023	0.008	0.017	0.038	0.015	0.016	0.064
BaO	0.208	0.034	0.047	0.015	0.100	0.060	0.208	0.021	0.035
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
SiO2	50.743	51.305	51.488	51.799	50.897	51.416	51.433	50.830	51.348
TiO2	0.485	0.302	0.318	0.271	0.483	0.325	0.423	0.447	0.365
Al2O3	2.139	1.646	1.573	1.245	2.629	2.116	1.859	2.421	2.135
Cr2O3	0.105	0.075	0.071	0.052	0.046	0.088	0.013	0.021	0.115
FeO	10.515	10.617	9.943	10.122	10.982	8.931	9.671	10.641	8.785
MnO	0.379	0.429	0.358	0.348	0.346	0.379	0.375	0.343	0.357
MgO	15.041	15.268	14.893	14.732	14.993	14.850	14.964	15.000	15.154
CaO	20.021	20.018	21.020	21.138	19.264	21.555	20.739	20.023	21.331
Na2O	0.248	0.267	0.265	0.268	0.228	0.242	0.269	0.238	0.300
K2O	0.025	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.032	0.000	0.011
NiO	0.090	0.037	0.023	0.008	0.017	0.038	0.015	0.016	0.064
Total	99.792	99.966	99.953	99.985	99.900	99.940	99.792	99.979	99.965
Formula									
Si	1.910	1.926	1.932	1.944	1.909	1.923	1.928	1.908	1.918
Ti	0.014	0.009	0.009	0.008	0.014	0.009	0.012	0.013	0.010
Al	0.095	0.073	0.070	0.055	0.116	0.093	0.082	0.107	0.094
Cr	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.000	0.001	0.003
Fe	0.331	0.333	0.312	0.318	0.345	0.279	0.303	0.334	0.274
Mn	0.012	0.014	0.011	0.011	0.011	0.012	0.012	0.011	0.011
Mg	0.844	0.855	0.833	0.824	0.838	0.828	0.836	0.839	0.844
Ca	0.807	0.805	0.845	0.850	0.774	0.864	0.833	0.805	0.854
Na	0.018	0.019	0.019	0.020	0.017	0.018	0.020	0.017	0.022
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001
Ni	0.003	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.002
Total	4.037	4.037	4.033	4.030	4.027	4.029	4.029	4.035	4.034
O	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Mg%	42.575	42.875	41.859	41.380	42.838	42.007	42.398	42.420	42.792
Fe%	16.696	16.725	15.678	15.949	17.603	14.172	15.372	16.882	13.916
Ca%	40.729	40.400	42.463	42.671	39.559	43.821	42.230	40.698	43.291
Mg/(Mg+Fe)	0.718	0.719	0.728	0.722	0.709	0.748	0.734	0.715	0.755

Table 3-6c; Average chemical composition of Cpx core in calc-alkaline volcanic rocks.

Element	Z-02	Z-03	MAEKURA KMg	
SiO2	52.005	51.343	51.224	52.314
SiO2	52.005	51.343	51.223	52.314
TiO2	0.336	0.403	0.384	0.232
Al2O3	1.281	2.331	1.769	1.143
Cr2O3	0.012	0.000	0.013	0.039
FeO	9.542	9.165	11.719	10.503
MnO	0.505	0.359	0.254	0.421
MgO	14.663	15.306	14.007	13.224
CaO	21.002	20.615	20.328	21.897
Na2O	0.341	0.262	0.282	0.222
K2O	0.019	0.026	0.000	0.000
NiO	0.133	0.047	0.001	0.007
BaO	0.161	0.145	0.020	0.000
Total	100.000	100.000	100.000	100.000
SiO2	52.005	51.343	51.223	52.314
TiO2	0.336	0.403	0.384	0.232
Al2O3	1.281	2.331	1.769	1.143
Cr2O3	0.012	0.000	0.013	0.039
FeO	9.542	9.165	11.719	10.503
MnO	0.505	0.359	0.254	0.421
MgO	14.663	15.306	14.007	13.224
CaO	21.002	20.615	20.328	21.897
Na2O	0.341	0.262	0.282	0.222
K2O	0.019	0.026	0.000	0.000
NiO	0.133	0.047	0.001	0.007
Total	99.839	99.855	99.980	100.000
Formula				
Si	1.950	1.918	1.932	1.967
Ti	0.009	0.011	0.011	0.007
Al	0.057	0.103	0.079	0.051
Cr	0.000	0.000	0.000	0.001
Fe	0.299	0.286	0.370	0.330
Mn	0.016	0.011	0.008	0.013
Mg	0.820	0.852	0.787	0.741
Ca	0.844	0.825	0.821	0.882
Na	0.025	0.019	0.021	0.016
K	0.001	0.001	0.000	0.000
Ni	0.004	0.001	0.000	0.000
Total	4.025	4.029	4.028	4.009
O	6.000	6.000	6.000	6.000
Mg%	41.763	43.405	39.803	37.942
Fe%	15.246	14.580	18.681	16.905
Ca%	42.991	42.016	41.516	45.154
Mg/(Mg+Fe)	0.733	0.749	0.681	0.692

Table 3-6c: Average chemical composition of Cpx core in calc-alkaline volcanic rocks (continue).

Element	T-08	T-05	T-13
SiO2	37.422	37.177	36.375
TiO2	0.104	0.099	0.021
Al2O3	0.046	0.025	0.000
Cr2O3	0.068	0.057	0.075
FeO	23.003	24.125	27.144
MnO	0.289	0.378	0.534
MgO	38.512	37.494	35.604
CaO	0.192	0.192	0.152
Na2O	0.018	0.007	0.000
K2O	0.007	0.005	0.000
NiO	0.135	0.110	0.059
BaO	0.203	0.332	0.036
Total	100.000	100.000	100.000
SiO2	37.422	37.177	36.375
TiO2	0.104	0.099	0.021
Al2O3	0.046	0.025	0.000
Cr2O3	0.068	0.057	0.075
FeO	23.003	24.125	27.144
MnO	0.289	0.378	0.534
MgO	38.512	37.494	35.604
CaO	0.192	0.192	0.152
Na2O	0.018	0.007	0.000
K2O	0.007	0.005	0.000
NiO	0.135	0.110	0.059
Total	99.797	99.668	99.964
Formula			
Si	0.982	0.983	0.974
Ti	0.002	0.002	0.000
Al	0.001	0.001	0.000
Cr	0.001	0.001	0.002
Fe	0.505	0.533	0.608
Mn	0.006	0.008	0.012
Mg	1.507	1.478	1.422
Ca	0.005	0.005	0.004
Na	0.001	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000
Ni	0.003	0.002	0.001
Total	3.015	3.015	3.024
O	4.000	4.000	4.000
Mg%	74.701	73.281	69.893
Fe%	25.031	26.450	29.892
Ca%	0.268	0.269	0.215
Mg/(Mg+Fe)	0.749	0.735	0.700

Table 3-6d: Average chemical composition of Olivine core in calc-alkaline volcanic rocks.

Biotite			Hornblende		
Element	OZ-02	Ebr	Element	OZ-02	Ebr
SiO2	37.215	36.770	SiO2	48.426	49.379
TiO2	3.731	3.826	TiO2	0.919	0.960
Al2O3	14.556	13.959	Al2O3	6.722	5.579
Cr2O3	0.019	0.038	Cr2O3	0.007	0.032
FeO	17.172	20.496	FeO	15.547	15.161
MnO	0.129	0.499	MnO	0.516	0.773
MgO	13.420	11.262	MgO	14.685	14.321
CaO	0.130	0.070	CaO	9.638	10.735
Na2O	0.615	0.135	Na2O	1.131	1.243
K2O	9.185	10.211	K2O	0.202	0.378
NiO	0.009	0.052	NiO	0.008	0.037
BaO	0.673	0.534	BaO	0.000	0.003
Total	96.855	97.851	Total	97.800	98.598
SiO2	38.423	37.577	SiO2	49.515	50.081
TiO2	3.852	3.910	TiO2	0.940	0.973
Al2O3	15.029	14.265	Al2O3	6.873	5.659
Cr2O3	0.020	0.038	Cr2O3	0.007	0.032
FeO	17.730	20.946	FeO	15.896	15.376
MnO	0.133	0.510	MnO	0.528	0.784
MgO	13.855	11.509	MgO	15.015	14.525
CaO	0.135	0.072	CaO	9.855	10.887
Na2O	0.635	0.138	Na2O	1.156	1.260
K2O	9.483	10.435	K2O	0.207	0.383
NiO	0.010	0.053	NiO	0.008	0.037
BaO	0.695	0.545	BaO	0.000	0.003
Total	100.000	100.000	Total	100.000	100.000
Formula			Formula		
Si	5.574	5.574	Si	7.094	7.199
Ti	0.420	0.436	Ti	0.101	0.105
Al	2.570	2.494	Al	1.160	0.959
Cr	0.002	0.005	Cr	0.001	0.004
Fe	2.151	2.598	Fe	1.904	1.848
Mn	0.016	0.064	Mn	0.064	0.095
Mg	2.997	2.545	Mg	3.207	3.113
Ca	0.021	0.011	Ca	1.513	1.677
Na	0.179	0.040	Na	0.321	0.351
K	1.755	1.975	K	0.038	0.070
Ni	0.001	0.006	Ni	0.001	0.004
Total	15.686	15.748	Total	15.404	15.425
O	22.000	22.000	O	23.000	23.000
Mg%	57.977	49.372	Mg%	48.412	46.892
Fe%	41.618	50.408	Fe%	28.752	27.847
Ca%	0.405	0.221	Ca%	22.836	25.261
Mg/(Mg+Fe)	0.582	0.495	Mg/(Mg+Fe)	0.627	0.627

Table 3-6e; Average chemical compositions of Biotite and Hornblende core in calc-alkaline volcanic rocks.

Laboratory	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K08b	K09	K10
	大次郎山溶岩	志賀林道溶岩	志賀林道溶岩	毛無山東溶岩	毛無山東溶岩	上の平溶岩	坪山溶岩	水尾山山頂	滝ノ沢溶岩
	毛無山火山	毛無山火山	毛無山火山	毛無山火山	毛無山火山	毛無山火山	水尾一大入	水尾一大入	毛無山火山
	CA	CA	CA	TH	TH	CA	TH	TH	TH
北緯	36°52'33"	36°53'03"	36°53'07"	36°53'32"	36°53'55"	36°54'15"	36°55'28"	36°55'53"	36°55'17"
東経	138°30'58"	138°30'32"	138°30'34"	138°29'46"	138°29'37"	138°29'10"	138°25'49"	138°27'32"	138°28'23"
SiO ₂	59.03	59.47	59.48	66.94	63.65	57.32	54.55	56.33	61.81
TiO ₂	0.72	0.70	0.62	0.76	0.86	0.74	1.09	0.95	0.72
Al ₂ O ₃	16.30	17.13	15.93	14.86	16.66	16.58	16.34	21.31	18.46
Fe ₂ O ₃	8.85	7.70	8.13	5.96	7.77	9.43	11.94	10.58	6.62
MnO	0.15	0.14	0.15	0.10	0.18	0.16	0.17	0.22	0.14
MgO	3.25	3.09	3.87	0.80	1.32	3.58	3.33	3.21	1.75
CaO	6.58	7.34	6.76	3.71	3.40	7.27	7.82	3.39	4.62
Na ₂ O	2.75	2.87	2.62	3.83	3.12	2.74	2.59	1.66	2.90
K ₂ O	1.50	1.36	1.68	1.99	1.86	1.24	1.31	0.51	1.62
P ₂ O ₅	0.18	0.20	0.16	0.25	0.32	0.18	0.25	0.23	0.29
total	99.31	100.01	99.39	99.20	99.14	99.24	99.38	98.38	98.93
FeO*/MgO	2.45	2.24	1.89	6.68	5.29	2.37	3.23	2.96	3.40
XRF									
Ba	581.38	549.67	624.83	812.26	811.22	485.22	567.70	642.63	747.11
Co	25.68	23.18	24.86	15.28	21.53	28.18	33.56	32.23	19.02
Cr	23.84	29.35	99.67	0.00	0.00	15.44	19.87	0.26	0.00
Cu	55.04	81.63	54.19	20.27	34.82	69.68	141.27	44.30	52.37
Nb	0.77	0.79	0.83	2.59	1.81	0.14	0.45	1.43	2.19
Ni	7.59	10.38	15.56	0.00	0.00	11.23	8.47	4.36	4.60
Rb	40.72	34.27	48.93	56.15	51.26	33.94	39.36	3.77	30.06
Sr	309.22	317.65	306.82	254.46	233.44	314.22	274.26	237.19	245.02
V	202.58	212.30	214.46	24.68	95.88	233.79	410.24	225.17	101.24
Y	38.41	32.54	36.60	67.95	55.35	32.57	46.88	50.10	49.49
Zn	63.63	80.85	84.96	77.83	83.34	67.42	82.65	104.09	67.32
Zr	99.08	88.79	100.45	150.41	135.39	87.86	97.15	121.67	132.15

Table 3-7a: Major and trace element composition of volcanic rocks from Kenashi volcano.

	P	P	P	P	P	P	N	N	N	
	K11	K12	K13	K14	K15	K16				
	水尾山中位			水尾山山頂			池の沢川溶		池の沢川溶	
*下位G	水尾-大入			水尾-大入			水尾-大入		高倉山or高1カワクルミ	
	水尾-大入			水尾-大入			水尾-大入		毛無山火山	
	水尾-大入			水尾-大入			水尾-大入		水尾-大入	
北緯	36°55'51"			36°56'06"			36°57'21"		36°57'47"	
東経	138°28'07"			138°27'42"			138°29'20"		138°29'43"	
SiO2	63.79	57.37	58.62	62.52	55.50	58.04	58.10	58.60	56.03	
TiO2	0.78	0.81	0.73	0.75	0.69	0.74	0.65	0.75	0.78	
Al2O3	16.24	17.03	17.14	16.10	20.64	17.21	16.31	17.63	20.42	
Fe2O3	7.11	9.93	8.95	7.73	7.53	9.70	8.89	9.15	8.60	
MnO	0.14	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.15	0.16	
MgO	1.27	3.29	2.99	1.43	1.73	3.06	4.95	3.43	2.39	
CaO	4.93	7.18	6.85	5.21	8.91	6.00	7.88	6.92	8.64	
Na2O	3.98	2.86	2.98	3.86	3.19	2.94	2.64	2.97	3.18	
K2O	1.18	0.82	0.95	1.27	0.70	0.96	1.17	1.20	0.70	
P2O5	0.29	0.18	0.19	0.26	0.27	0.20	0.17	0.19	0.24	
total	99.70	99.65	99.57	99.30	99.32	99.05	100.95	100.99	101.16	
FeO*/MgO	5.02	2.71	2.69	4.86	3.93	2.85	1.62	2.40	3.24	
XRF										
Ba	573.43	430.05	446.46	645.05	404.73	463.01				
Co	18.40	28.33	25.60	19.76	20.33	27.71				
Cr	0.00	-0.56	0.00	0.00	0.00	0.30				
Cu	16.61	50.63	39.83	16.33	42.94	38.94				
Nb	1.90	0.67	1.06	1.40	0.13	1.11				
Ni	2.46	2.30	1.81	2.65	2.53	1.69				
Rb	26.31	18.45	21.11	30.44	14.33	24.57				
Sr	281.38	284.15	306.96	278.81	375.37	307.35				
V	50.17	242.01	193.96	35.55	108.80	197.60				
Y	66.88	62.44	40.55	77.71	42.01	40.12				
Zn	87.58	73.27	78.12	92.26	68.08	82.49				
Zr	114.51	76.13	82.54	93.81	49.22	84.63				

Table 3-7a; continue.

N N N N N

大次郎山 大入沢 八剣山 八剣山 毛無

山火山体 毛無山火山 水尾-大入 毛無山火山 毛無山火山 毛無山火山体下位G

北緯
東經

SiO2	60.91	58.09	56.37	56.00	59.77
TiO2	0.82	0.74	0.72	0.82	0.73
Al2O3	21.20	18.23	17.83	17.99	17.09
Fe2O3	6.90	8.69	9.59	10.15	8.57
MnO	0.13	0.14	0.17	0.18	0.14
MgO	1.35	3.36	4.35	3.48	2.95
CaO	4.59	7.48	8.58	7.07	6.64
Na2O	2.69	2.84	2.49	2.82	2.90
K2O	1.62	1.18	1.14	1.05	1.47
P2O5	0.31	0.20	0.18	0.23	0.18
total	100.52	100.96	101.41	99.78	100.43
FeO*/MgO	4.61	2.33	1.98	2.63	2.62

XRF

Ba
Co
Cr
Cu
Nb
Ni
Rb
Sr
V
Y
Zn
Zr

Table 3-7a; continue.

	K02	K04	K06	K07	K08b	K10	K11	K12	K14	K15	K16
	志賀林道溶け	毛無山東溶け	上の平溶岩	北電湖	坪山溶岩	滝ノ沢溶岩	水尾山中位	水尾山山頂	池の沢川溶け	池の沢川溶け	高倉山or高
	毛無山火山	毛無山火山	毛無山火山体上位G		水尾-大入	毛無山火山	水尾-大入	水尾-大入	水尾-大入	水尾-大入	水尾-大入
北緯	36°53'03"	36°53'32"	36°54'15"	36°54'10"	36°55'28"	36°55'17"	36°55'51"	36°56'06"	36°57'47"	36°57'53"	36°57'20"
東経	138°30'32"	138°29'46"	138°29'10"	138°25'38"	138°25'49"	138°28'23"	138°28'07"	138°27'42"	138°29'43"	138°29'52"	138°29'38"
ICP-MS											
Li	5.05	10.49	5.60	10.10	6.88	6.67	7.99	6.39	6.61	6.39	7.12
Be	0.53	1.12	0.52	1.08	0.76	0.79	0.96	0.63	0.80	0.56	0.65
Rb	27.54	43.46	25.37	66.28	37.58	22.87	18.38	13.78	22.63	9.79	18.05
Y	21.50	45.57	20.71	48.63	39.24	31.97	42.64	40.33	52.38	26.50	25.55
Zr	84.58	168.28	85.63	227.61	142.88	126.11	101.91	69.19	88.03	49.29	79.55
Nb	1.80	3.00	1.76	3.41	2.21	2.47	2.26	1.57	1.90	1.27	1.78
Sb	0.20	0.24	0.28	0.37	0.04	0.22	0.16	0.35	0.27	0.13	0.27
Cs	1.14	1.72	1.30	1.88	3.07	1.88	0.67	0.57	0.86	1.15	0.96
La	8.30	15.69	8.05	18.49	11.44	11.60	13.61	13.08	9.53	6.26	7.63
Ce	19.92	34.44	19.11	36.39	25.50	29.75	24.02	15.88	21.50	15.02	19.61
Pr	2.73	5.24	2.64	5.53	3.99	4.01	4.77	3.64	3.72	2.41	2.82
Nd	13.05	25.00	12.34	25.11	19.64	18.64	22.16	17.39	18.05	11.94	13.18
Sm	3.46	6.42	3.27	6.23	5.20	4.91	6.05	4.40	4.98	3.46	3.49
Eu	0.96	1.62	0.94	1.39	1.45	1.25	1.88	1.39	1.41	1.15	1.12
Gd	3.82	7.68	3.63	7.37	6.45	5.66	6.88	5.89	6.34	4.14	4.13
Tb	0.60	1.24	0.57	1.21	0.98	0.91	1.14	0.92	1.14	0.72	0.69
Dy	3.98	8.12	3.74	7.86	6.33	5.81	7.40	5.88	7.50	4.58	4.48
Ho	0.85	1.65	0.78	1.66	1.34	1.21	1.53	1.28	1.69	0.96	0.95
Er	2.28	4.63	2.18	4.53	3.54	3.35	4.15	3.48	4.90	2.74	2.69
Tm	0.36	0.73	0.33	0.73	0.54	0.51	0.64	0.53	0.76	0.41	0.42
Yb	2.37	4.77	2.25	4.88	3.53	3.37	4.25	3.37	5.00	2.81	2.95
Lu	0.37	0.74	0.34	0.72	0.54	0.51	0.64	0.52	0.79	0.44	0.45
Hf	2.57	4.23	2.51	5.94	3.17	3.61	3.15	2.14	2.69	1.56	2.48
Ta	0.11	0.20	0.12	0.26	0.14	0.16	0.14	0.11	0.14	0.08	0.12
Tl	0.14	0.25	0.16	0.28	0.19	0.19	0.14	0.12	0.06	0.06	0.11
Pb	6.18	7.45	4.92	14.86	7.12	8.21	6.64	2.93	4.97	4.97	4.13
Th	2.08	3.33	1.88	5.23	2.65	3.05	1.59	1.07	1.58	0.68	1.33
U	0.66	1.04	0.63	1.52	0.91	0.94	0.47	0.34	0.49	0.24	0.42

Table 3-7b; Trace and REE elements composition of volcanic rocks from Kenashi volcano.

sample No.	層準	SiO ₂ wt%	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	±	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	T(Ma)	Sr1	Ndi
Y-06	米山層	46.21	0.703699	11	0.512842	14	0.218595	0.163397	3	0.703690	0.512838
Y-03	米山層	51.12	0.703940	14	0.512839	14	0.152529	0.151855	3	0.703933	0.512836
Y-09	米山層	57.70	0.703700	14	0.512871	14	0.253066	0.146164	3	0.703690	0.512868
NT-1	西田尻層	68.84	0.704247	14	0.512879	14	0.581196	0.154256	6	0.704198	0.512873
MNT	西田尻層	49.87	0.704589	14	0.512941	13	0.076078	0.188708	6	0.704582	0.512933
NT-2	西田尻層	54.86	0.704588	14	0.512872	6	0.143174	0.162909	6	0.704576	0.512866
MNT3	西田尻	62.21	0.704735	14	0.512864	14	0.348413	0.176779	6	0.704705	0.512857
73108	高井火山岩典志	54.97	0.704014	11	0.512910	14	0.172049	0.160733	5	0.704002	0.512905
73109	高井火山岩貫入	57.16	0.704047	13	0.512901	20	0.117775	0.174651	5	0.704039	0.512896
T05	高井火山岩類五	60.18	0.703971	13	0.512934	14	0.457386	0.155169	5	0.703938	0.512929
旧峠5A	関田・志久見川	53.78	0.704000	14	0.512932	10	0.175017	0.172561	1.5	0.703997	0.512931
前山西02	関田・志久見川	53.32	0.704140	10	0.512889	9	0.266912	0.174035	1.5	0.704135	0.512887
白鳥	関田・志久見川	51.93	0.703872	12	0.512921	12	0.051527	0.203299	1.5	0.703871	0.512919
73101	関田・志久見川	55.31	0.704059	13	0.512947	14	0.166962	0.170935	1.5	0.704055	0.512945
73102	関田・志久見川	59.35	0.703975	14	0.512916	14	0.249148	0.175261	1.5	0.703970	0.512915
73104	関田・志久見川	54.52	0.703930	11	0.512936	14	0.119479	0.169899	1.5	0.703927	0.512934
MAEKO	関田・志久見川	62.49	0.703984	14	0.512921	14	0.468315	0.159752	1.5	0.703974	0.512919
信濃川Tb	関田・志久見川	61.17	0.704114	12	0.512918	14	0.378695	0.166793	1.5	0.704106	0.512916
T-12h	鳥甲火山	59.91	0.704006	12	0.512910	12	0.292260	0.157254	0.9	0.704002	0.512909
MAEKURA	鳥甲火山	62.20	0.703910	13	0.512914	14	0.534403	0.146952	3.3	0.703885	0.512911
S04	鳥甲火山	60.03	0.703822	12	0.512921	12	0.243351	0.147943	0.9	0.703819	0.512921
Z03	鳥甲火山	61.96	0.703911	13	0.512917	14	0.284220	0.155865	0.9	0.703908	0.512917
Z01	鳥甲火山	62.05	0.703892	12	0.512907	14	0.307634	0.150294	0.9	0.703888	0.512906
T-08	鳥甲火山	55.25	0.704011	12	0.512931	13	0.169251	0.161232	0.9	0.704009	0.512930
OZpy2	鳥甲火山	66.84	0.703999	14	0.512918	12	0.521533	0.142536	0.9	0.703993	0.512917
SRR04GAB	鳥甲火山 (捕獲)	57.86	0.703968	10	0.512917	14	0.068836	0.158084	3.3	0.703964	0.512914
T-12bas	鳥甲火山 (捕獲)	57.98	0.703939	10	0.512919	14	0.118871	0.160638	0.9	0.703937	0.512918
Ebbr	鳥甲火山 (捕獲)	73.94	0.704135	12	0.512947	14	0.834224	0.131495	3.3	0.704096	0.512944
K04	鳥甲火山	66.94	0.704052	14	0.512925	14	0.494036	0.155337	1.3	0.704043	0.512924
K06	毛無火山	60.75	0.703987	13	0.512911	14	0.233534	0.160388	1.3	0.703983	0.512910
K08	毛無火山	54.55	0.704013	13	0.512922	26	0.396260	0.159845	1.3	0.704006	0.512921
K14	毛無火山	62.52	0.703998	13	0.512950	14	0.234781	0.166768	1.3	0.703993	0.512949
K16	毛無火山	58.04	0.704224	13	0.512912	14	0.169829	0.160082	1.3	0.704221	0.512910
JB-1a			0.704084	13	0.512758	13					

Table 3-8; Sr, Nd isotopic ratio for volcanic rocks and inclusions.

IV. 考察

1. 関田山脈～志久見川流域の鮮新～前期更新統火山岩類の生成過程

- Fig. 4-1-1 Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated groundmass in the Sekita mountains area ~ Shikumi-gawa area
- Fig. 4-1-2 Sketch and graphs of line analysis of plagioclase phenocrysts in pyroxene-olivine basalt (sp.9081901)
- Fig. 4-1-3 FeO*/MgO vs. SiO₂ diagram for tholeiitic volcanic rocks and selected data to mass-balance calculation
- Fig. 4-1-4 Estimated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO₂ content
- Fig. 4-1-5 Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated contents from the Sekita mountains area
- Fig. 4-1-6 Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated contents from the Shikumi-gawa area
- Fig. 4-1-7 Cl-chondrite normalized REE pattern for calculated volcanic rocks in the Sekita mountains area
- Fig. 4-1-8 Cl-chondrite normalized REE pattern for calculated volcanic rocks in the Shikumi-gawa area
- Fig. 4-1-9 Estimated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO₂ content for the volcanic rocks from the Sekita mountains area and the Shikumi-gawa area
- Fig. 4-1-10 Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated contents from the Sekita mountains area and the Shikumi-gawa area
- Fig. 4-1-11 Estimated temperature against SiO₂ contents of the host rocks
- Fig. 4-1-12 Di-Ol-Si+Or and Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections for tholeiitic volcanic rocks
- Table 4-1-1a Results from mass-balance calculation for the volcanic rocks from the Sekita mountains area
- Table 4-1-1b Results from mass-balance calculation for the volcanic rocks from the Shikumi-gawa area
- Table 4-1-2 Estimated magmatic temperature and pressure for tholeiitic volcanic rocks

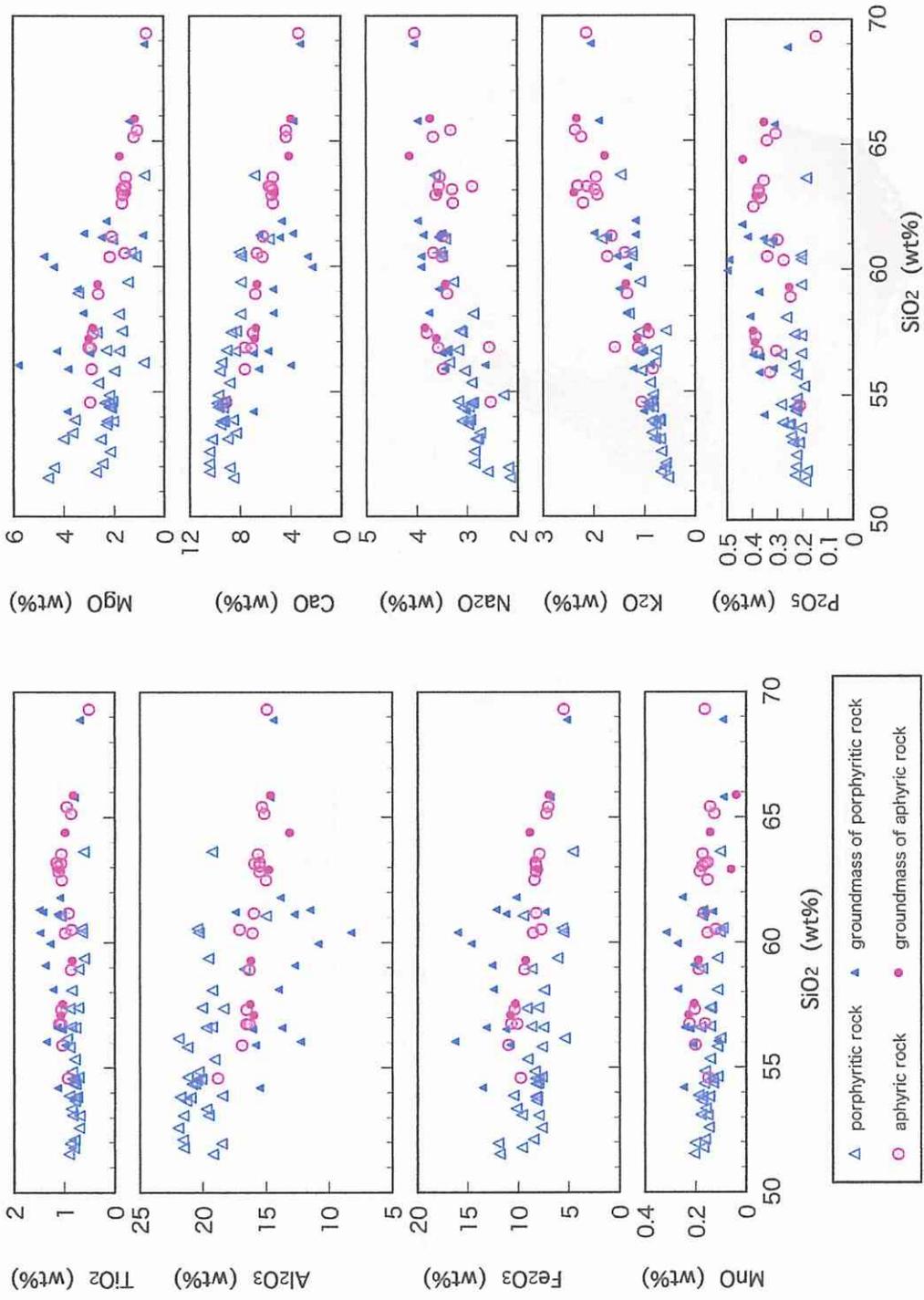


Fig. 4-1-1; Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated groundmass in the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area.

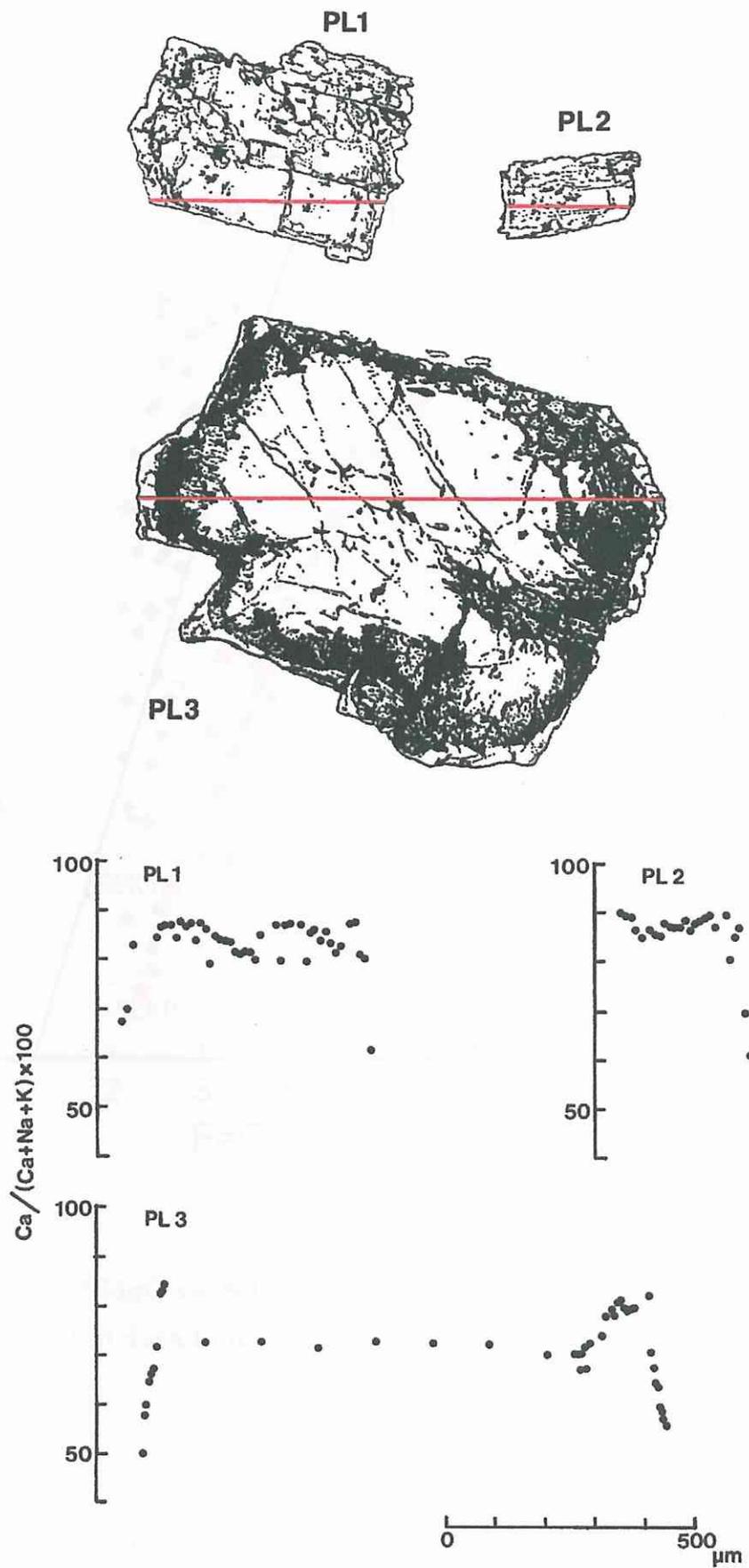


Fig. 4-1-2; Sketch and graphs of line analysis of plagioclase phenocrysts in pyroxene-olivine basalt (sp.9081901).

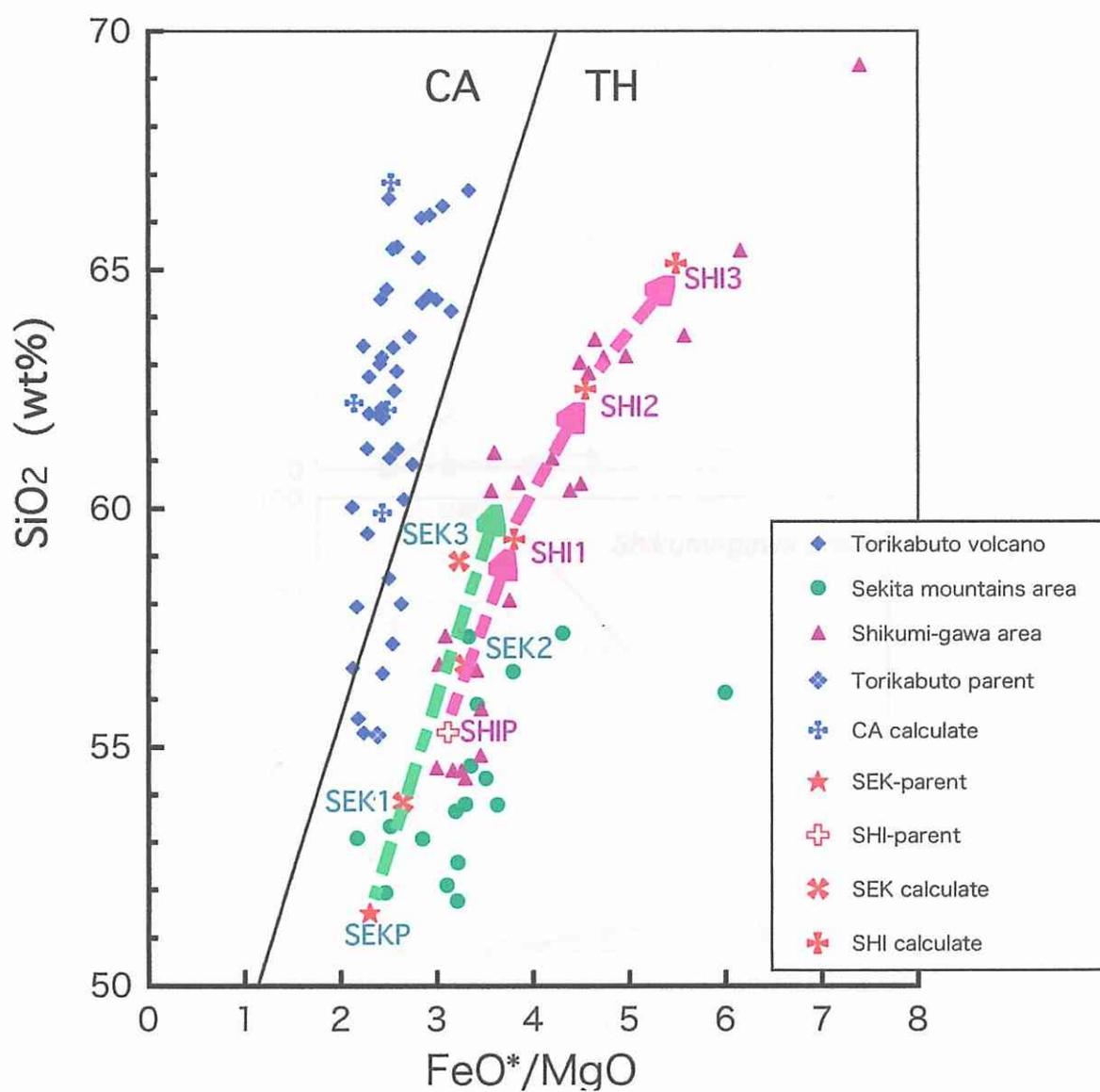


Fig. 4-1-3; FeO*/MgO vs. SiO₂ diagram for for tholeiitic volcanic rocks and selected data to mass-balance calculation.

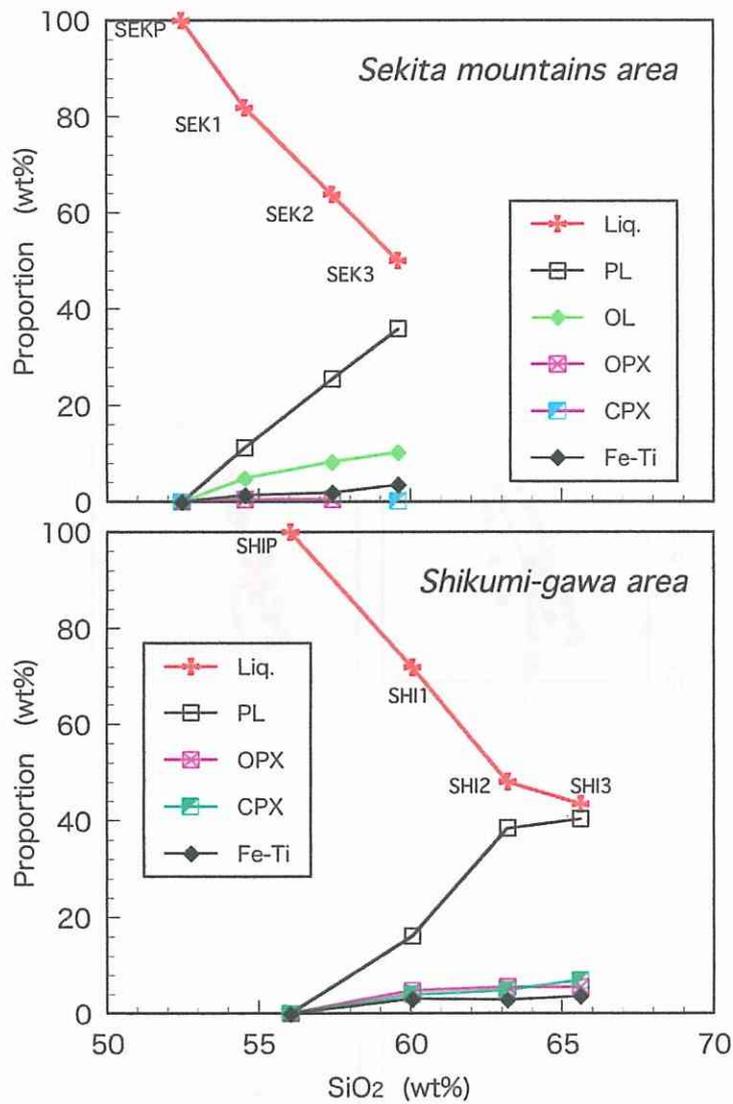


Fig. 4-1-4; Estimated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO₂ content. PL; plagioclase, OL; olivine, CPX; clinopyroxene, OPX; orthopyroxene, Fe-Ti; Fe-Ti oxide mineral, Liq; liquid.

Fig. 4-1-5; Silica saturation

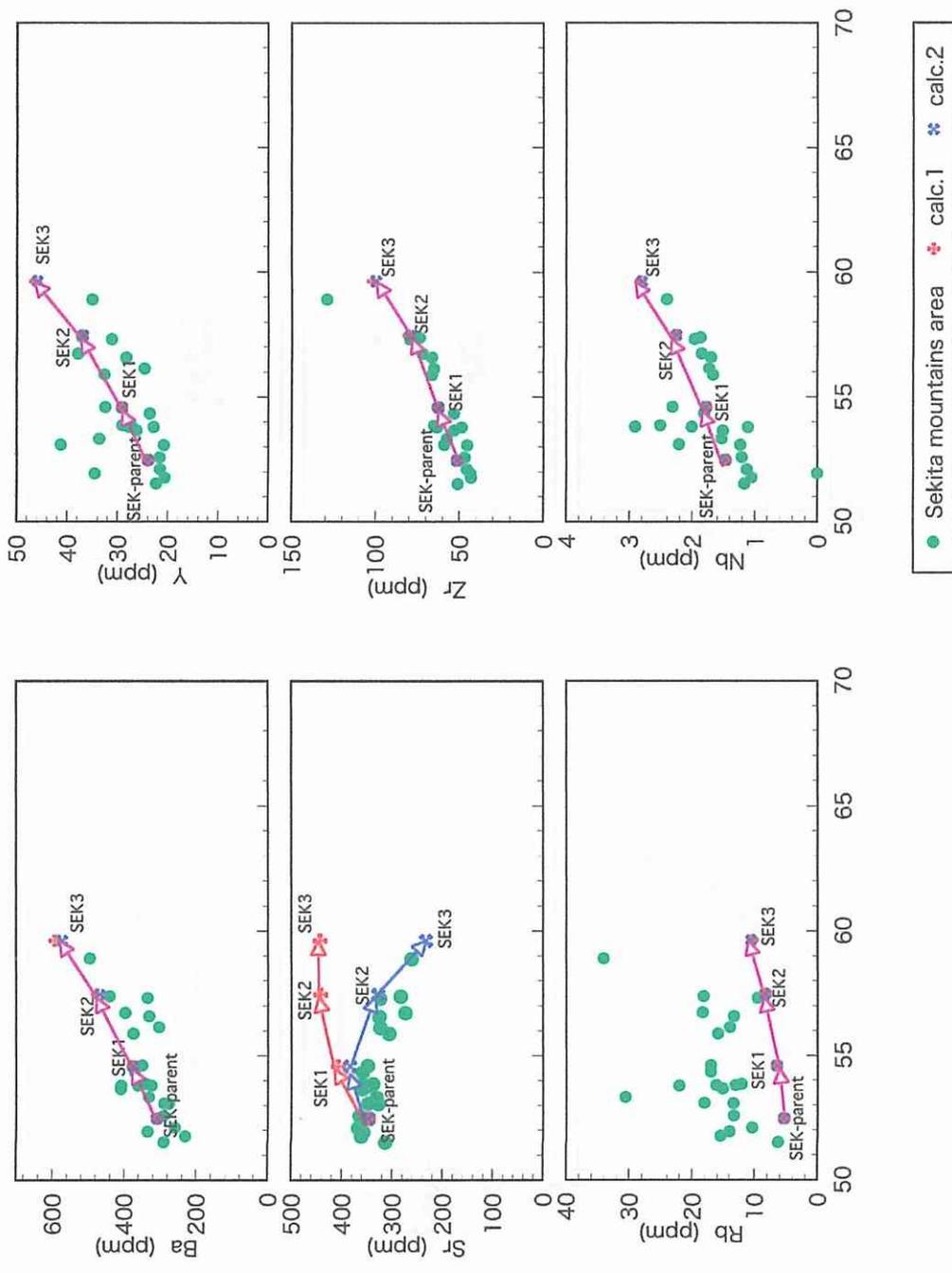


Fig. 4-1-5: Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated contents from the Sekita mountains area.

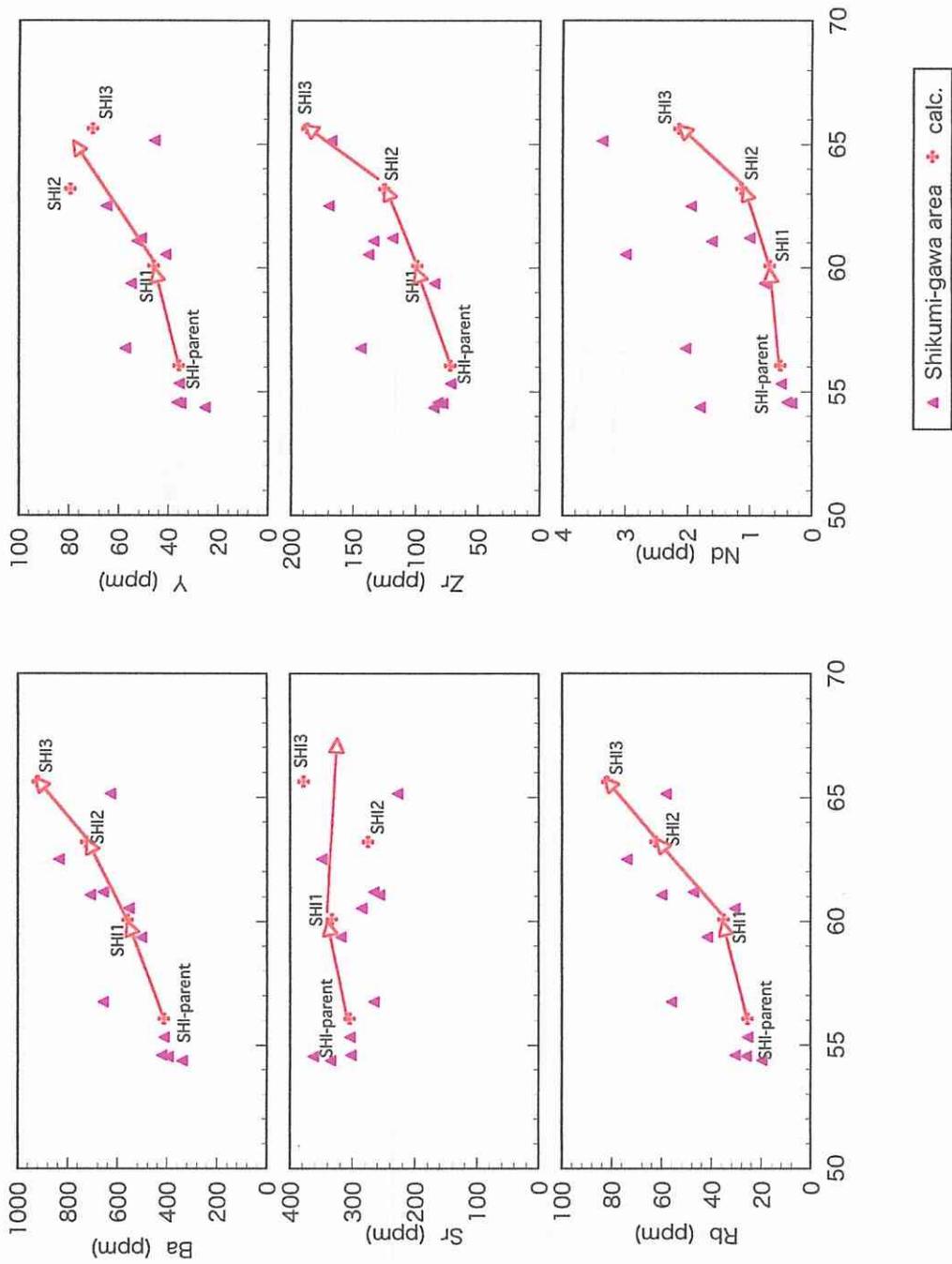


Fig. 4-1-6; Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated contents from the Shikumi-gawa area.

Sekita mountains area

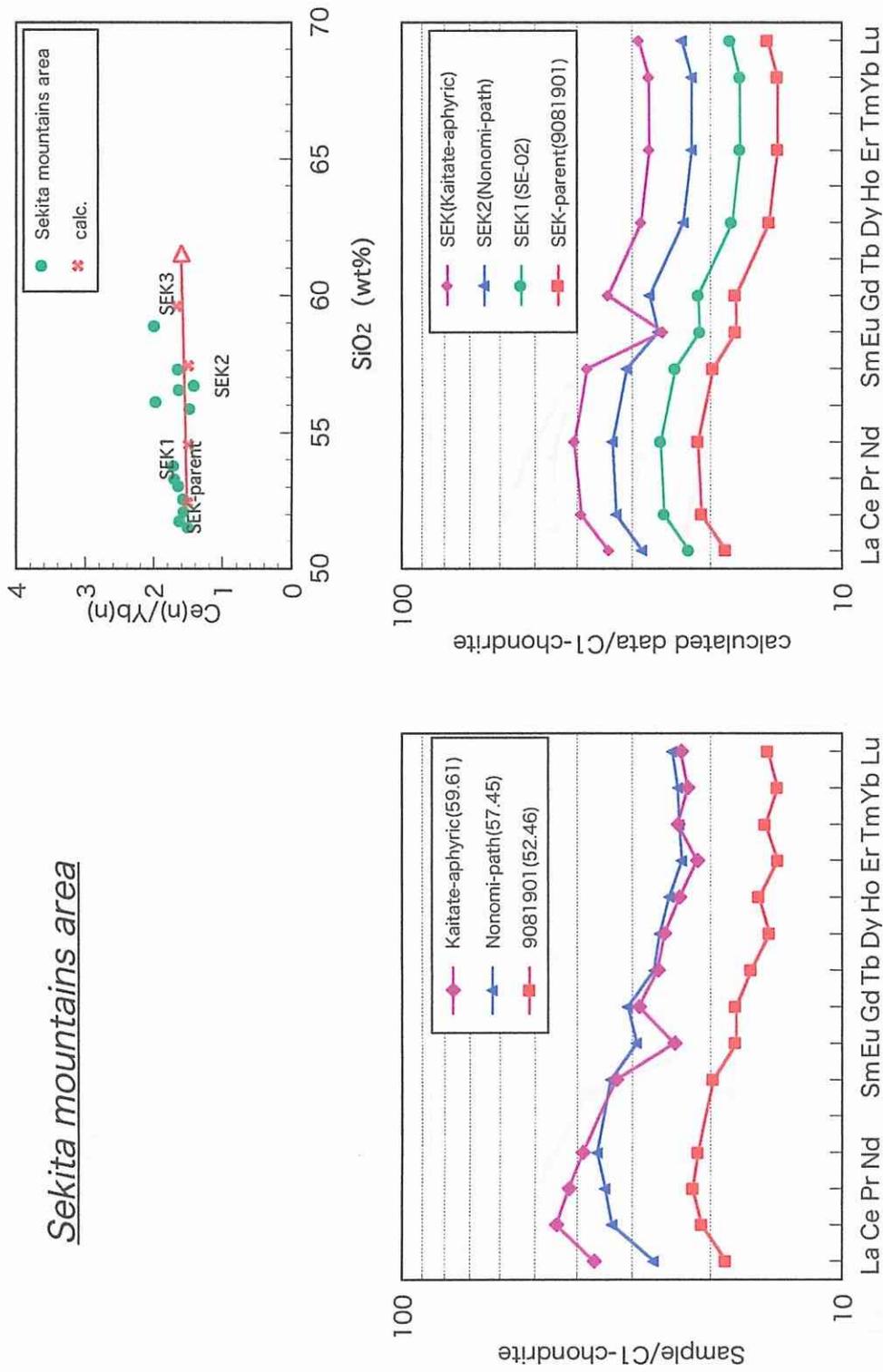


Fig. 4-1-7; C1-chondrite normalized REE pattern for calculated volcanic rocks in the Sekita mountains area. Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

Shikumi-gawa area

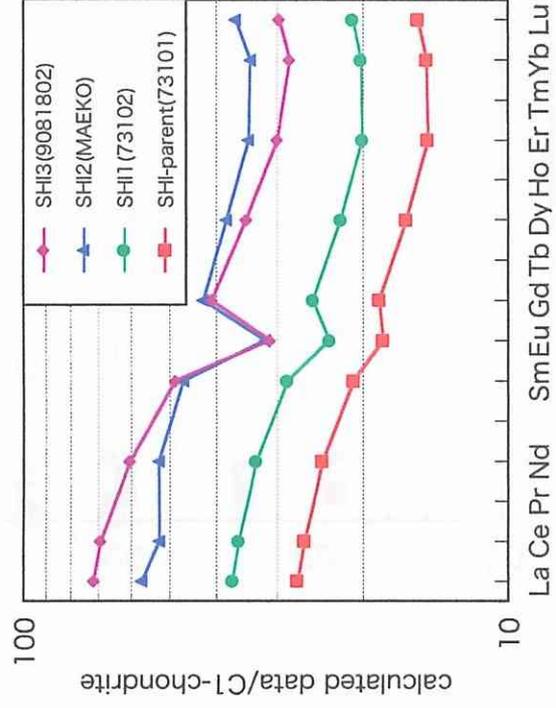
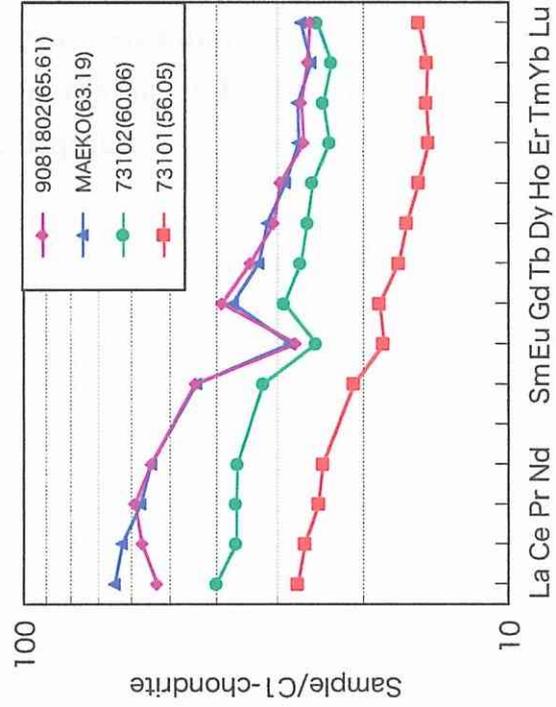
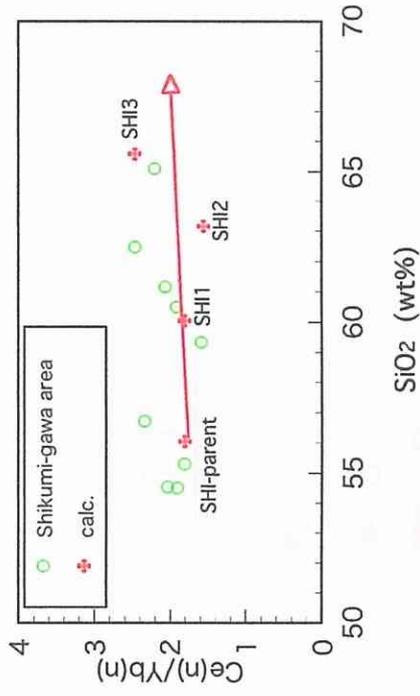


Fig. 4-1-8; C1-chondrite normalized REE pattern for calculated volcanic rocks in the Shikumi-gawa area. Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

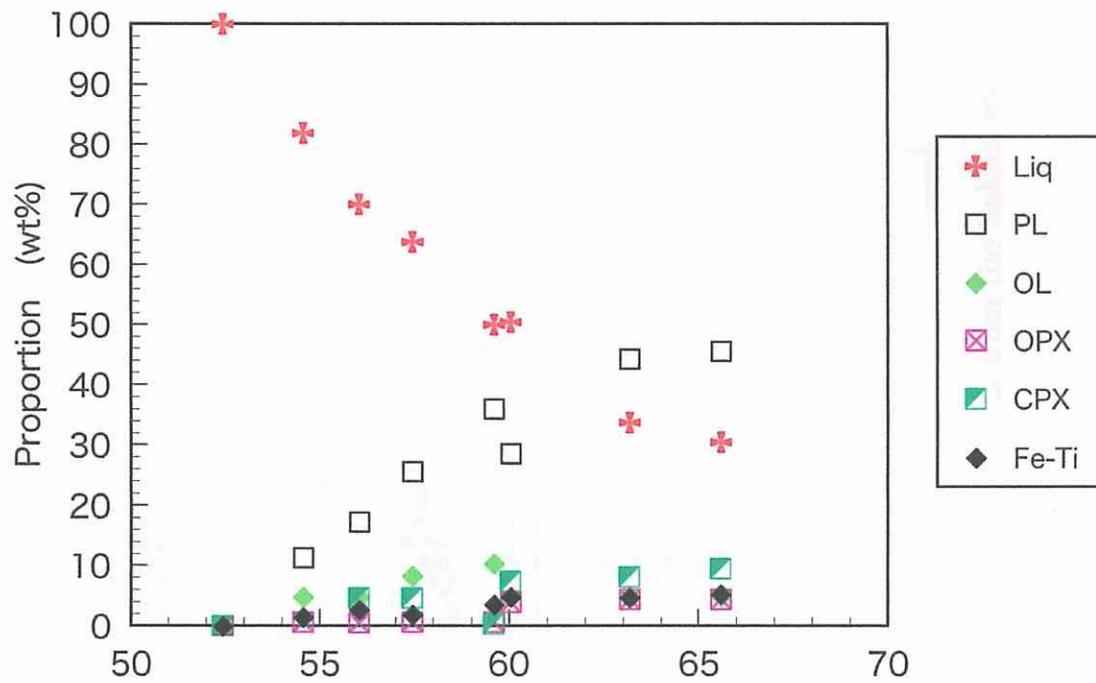


Fig. 4-1-9; Estimated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO₂ content for the volcanic rocks from the Sekita mountains area and the Shikumi-gawa area. PL; plagioclase, OL; olivine, CPX; clinopyroxene, OPX; orthopyroxene, Fe-Ti; Fe-Ti oxide mineral, Liq; liquid.

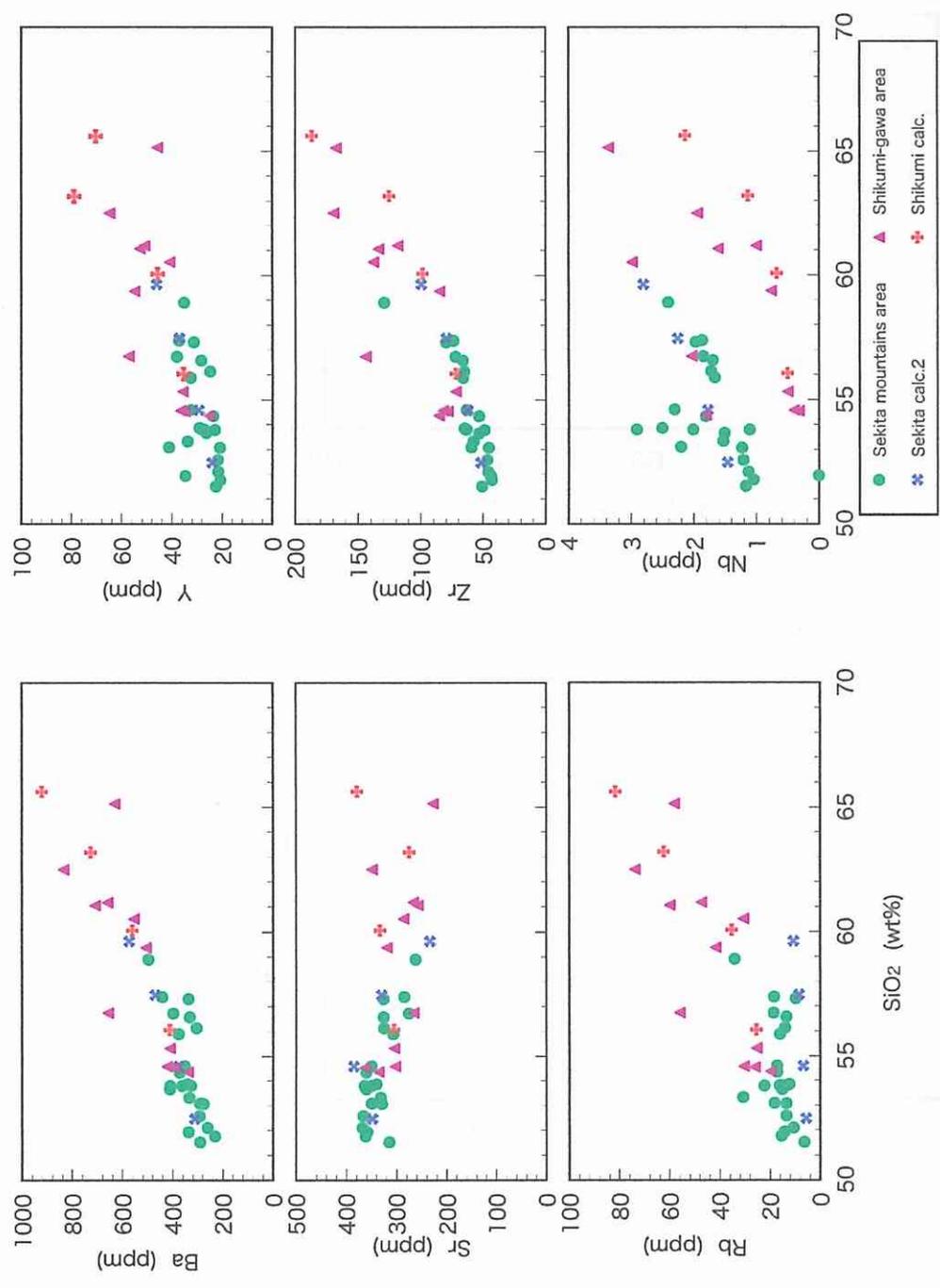


Fig. 4-1-10; Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calculated contents from the Sekita mountains area and the Shikumi-gawa area.

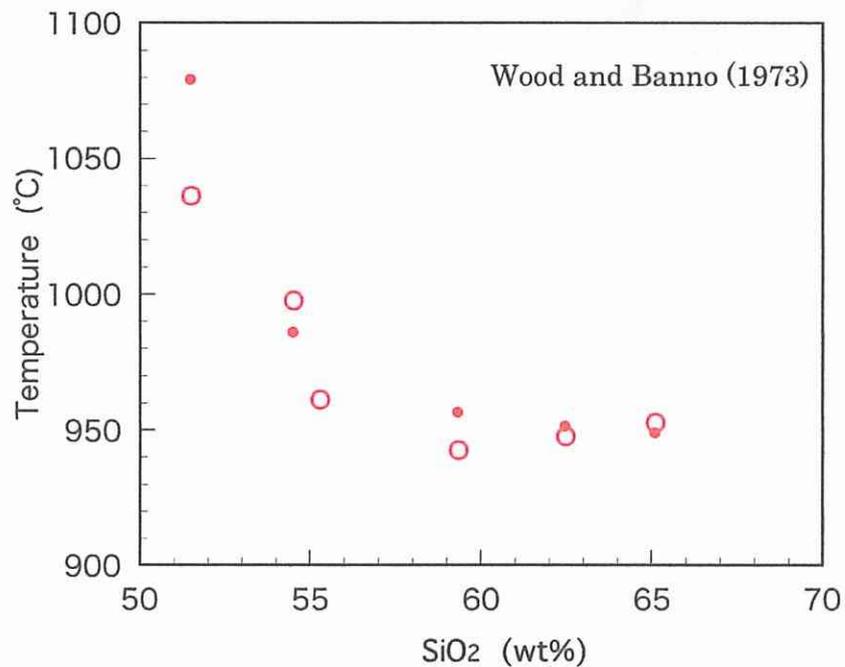
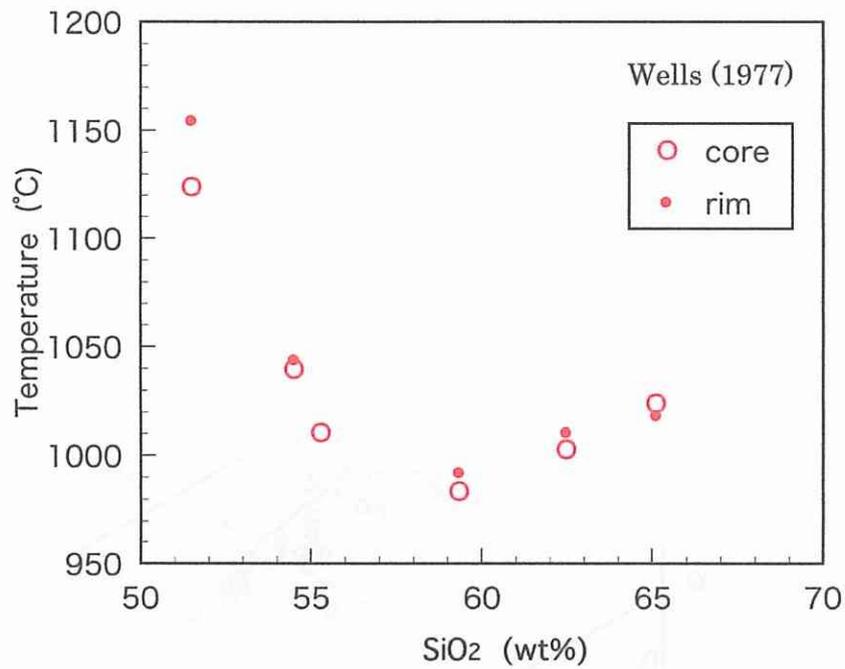


Fig. 4-1-11; Estimated temperature against SiO₂ contents of the host rocks. The temperatures are calculated by average chemical composition of pyroxene cores and rims, from Wells (1977) and Wood and Banno (1973).

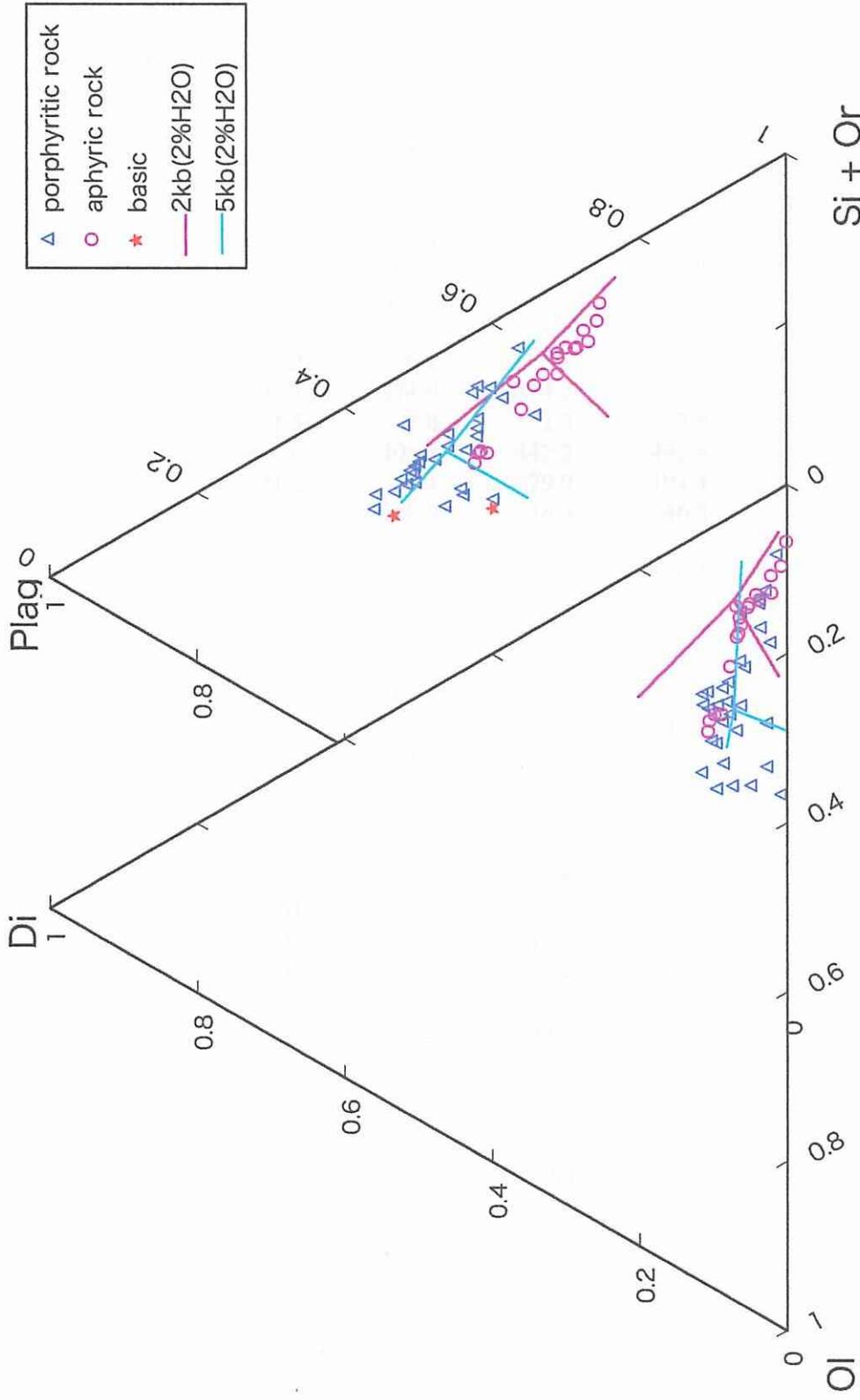


Fig. 4-1-12; Di-Ol-Si+Or and Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections for tholeiitic volcanic rocks (from Baker and Eggler (1987)).

Sp. No.	SEK-parent 9081901	SEK1 SE-02	SEK2 Nonomi-patl	SEK3 Kaitate-aphy
SiO ₂ of parental rock		52.46	52.46	52.46
SiO ₂ (wt%)	52.46	54.57	57.45	59.61
Result from mass balance calculation				
doughter		81.9	63.8	50.0
PL		11.2	25.5	35.9
OL		4.9	8.3	10.3
OPX		0.6	0.5	
CPX				0.2
Fe-Ti		1.4	1.9	3.6
Sum of R2=		0.55	0.64	0.68
calculated contents for trace elements (ppm)				
calc. 1				
Rb	5.2	6.4	8.1	10.3
Ba	308.1	374.9	474.2	591.2
Nb	1.5	1.8	2.3	2.8
Sr	346.9	406.8	442.2	442.6
Zr	51.2	62.4	79.9	101.4
Y	23.8	29.0	36.9	46.2
calc. 2				
Rb	5.2	6.4	8.2	10.4
Ba	308.1	373.7	466.2	569.9
Nb	1.5	1.8	2.2	2.8
Sr	346.9	383.7	328.1	231.7
Zr	51.2	62.3	79.1	99.2
Y	23.8	29.0	36.7	45.8
calculated contents for REEs (ppm)				
La	4.36	5.29	6.75	8.03
Ce	12.77	15.52	19.94	23.98
Pr				
Nd	9.93	12.08	15.54	18.97
Sm	3.01	3.66	4.72	5.81
Eu	1.01	1.22	1.52	1.48
Gd	3.59	4.36	5.62	6.98
Tb				
Dy	3.71	4.52	5.83	7.27
Ho				
Er	2.32	2.82	3.64	4.54
Tm				
Yb	2.38	2.90	3.74	4.67
Lu	0.37	0.46	0.59	0.74

Table 4-1-1a; Results from mass-balance calculation for the volcanic rocks from the Sekita mountains area.

Sp. No.	SHI-parent 73101	SHI1 73102	SHI2 MAEKO	SHI3 9081802
SiO ₂ of parental rock		56.05	60.06	63.19
SiO ₂ (wt%)	56.05	60.06	63.19	65.62
Result from mass balance calculation				
doughter		72.0	66.8	90.4
PL		16.1	31.0	3.9
OL				
OPX		4.8	1.1	-0.1
CPX		4.0	1.3	4.2
Fe-Ti		3.1	-0.2	1.5
Sum of R2=		0.02	0.25	0.06
calculated contents for trace elements (ppm)				
Rb	25.3	35.0	62.2	81.5
Ba	408.5	557.2	723.2	918.0
Nb	0.5	0.7	1.1	2.1
Sr	303.5	331.5	273.2	377.0
Zr	72.0	98.2	124.7	186.5
Y	35.6	45.7	79.0	70.3
calculated contents for REEs (ppm)				
La	6.45	8.79	13.52	16.97
Ce	16.11	22.02	32.06	42.37
Pr				
Nd	11.29	15.46	24.53	28.15
Sm	3.19	4.37	7.15	7.43
Eu	1.05	1.36	1.84	1.80
Gd	3.80	5.19	8.74	8.40
Tb				
Dy	4.12	5.63	9.69	8.82
Ho				
Er	2.42	3.31	5.68	4.96
Tm				
Yb	2.50	3.42	5.79	4.80
Lu	0.39	0.53	0.93	0.75

Table 4-1-1b; Results from mass-balance calculation for the volcanic rocks from the Shikumi-gawa area.

Wells(1977)

Sample	SiO ₂ (wt%)	core(°C)	rim(°C)	rim-core(°C)
73101	55.31	1010		
73102	59.35	984	992	8
73104	54.52	1040	1044	4
9081802	65.13	1024	1018	-6
9081901	51.51	1124	1154	31
MAEKO	62.49	1003	1010	8

Wood & Banno(1973)

Sample	SiO ₂ (wt%)	core(°C)	rim(°C)	rim-core(°C)
73101	55.31	961		
73102	59.35	943	957	14
73104	54.52	998	986	-12
9081802	65.13	953	949	-4
9081901	51.51	1036	1079	43
MAEKO	62.49	948	951	4

Putirka et al. (1996)

Sample	SiO ₂ (wt%)	FeO*/MgO	T(°C)	P(Kb)
9081901	51.51	2.31	1169	4.9

Table 4-1-2: Estimated magmatic temperature and pressure for tholeiitic volcanic rocks (from Wells(1977), Wood and Banno(1973) and Putirka(1996)).

2. 烏甲火山噴出物の生成過程

- Fig. 4-2-1 Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks and calculated groundmass from Torikabuto volcano
- Fig. 4-2-2 Plagioclase phenocryst includes gl ss zone and clear rim
- Fig. 4-2-3 Plagioclase phenocryst in olivine pyroxene andesite (T-08)
- Fig. 4-2-4 Plagioclase phenocryst in biotite hornblende dacite (OZ-02)
- Fig. 4-2-5 FeO*/MgO vs. SiO₂ diagram for calc-alkaline volcanic rocks and selected data to mass-balance calculation
- Fig. 4-2-6 Estimated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO₂ content
- Fig. 4-2-7 Silica variation diagrams for calc-alkalic volcanic rocks and calculated contents from Torikabuto volcano
- Fig. 4-2-8 Cl-chondrite normalized REE pattern for calculated volcanic rocks in Torikabuto volcano
- Fig. 4-2-9 Estimated temperature against SiO₂ contents of the host rocks
- Fig. 4-2-10 Di-Ol-Si+Or and Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections for calc-alkaline volcanic rocks
- Fig. 4-2-11 Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano and dike rocks in Neogene system
- Fig. 4-2-12 ϵ Nd vs. ϵ Sr diagram for the volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Torikabuto volcano area and the Yoneyama area
- Table 4-2-1 Results from mass-balance calculation for the volcanic rocks from Torikabuto volcano
- Table 4-2-2 Estimated magmatic temperature and pressure for calc-alkaline volcanic rocks

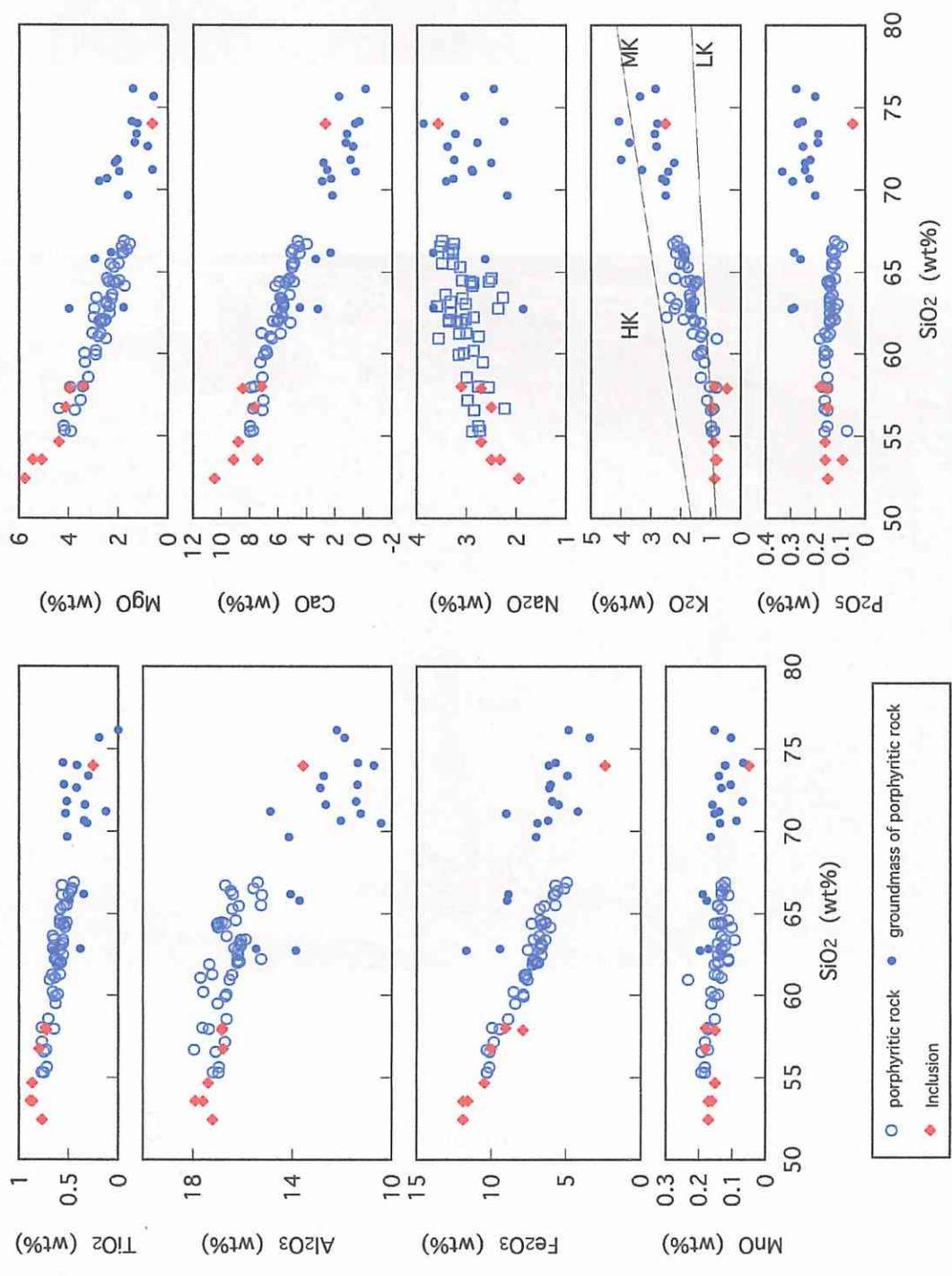


Fig. 4-2-1; Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks and calculated groundmass from Torikabuto volcano.

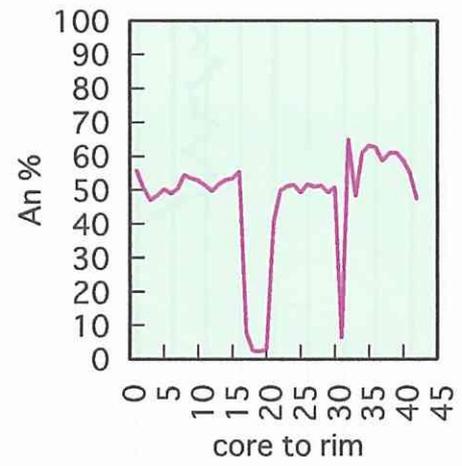
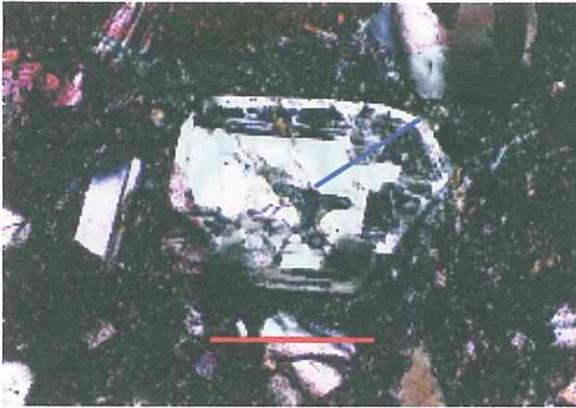


Fig. 4-2-2; Plagioclase phenocryst includes glass zone and clear rim. Result for line analysis along the blue line shows the graph. Red line is the scale (1mm).

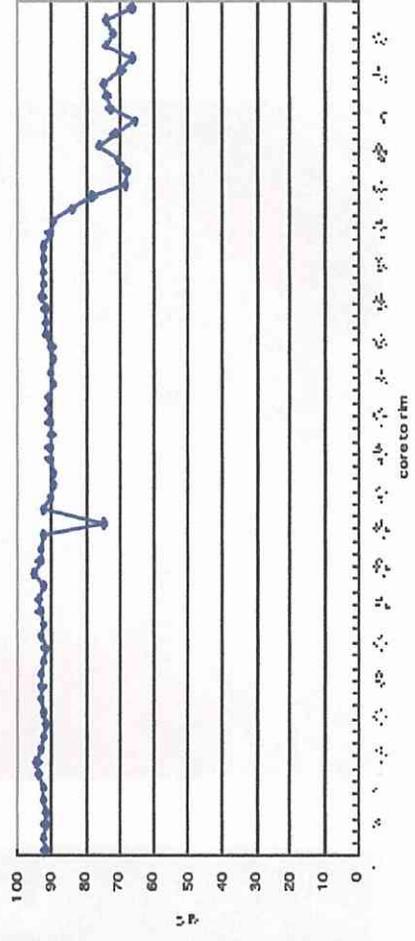
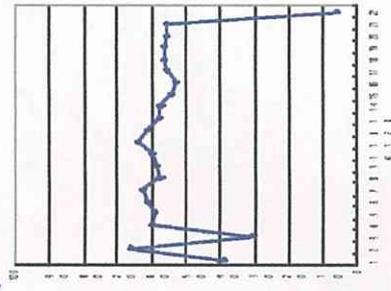
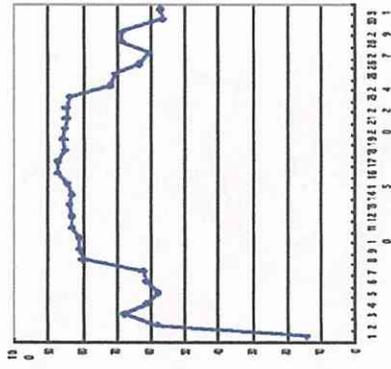
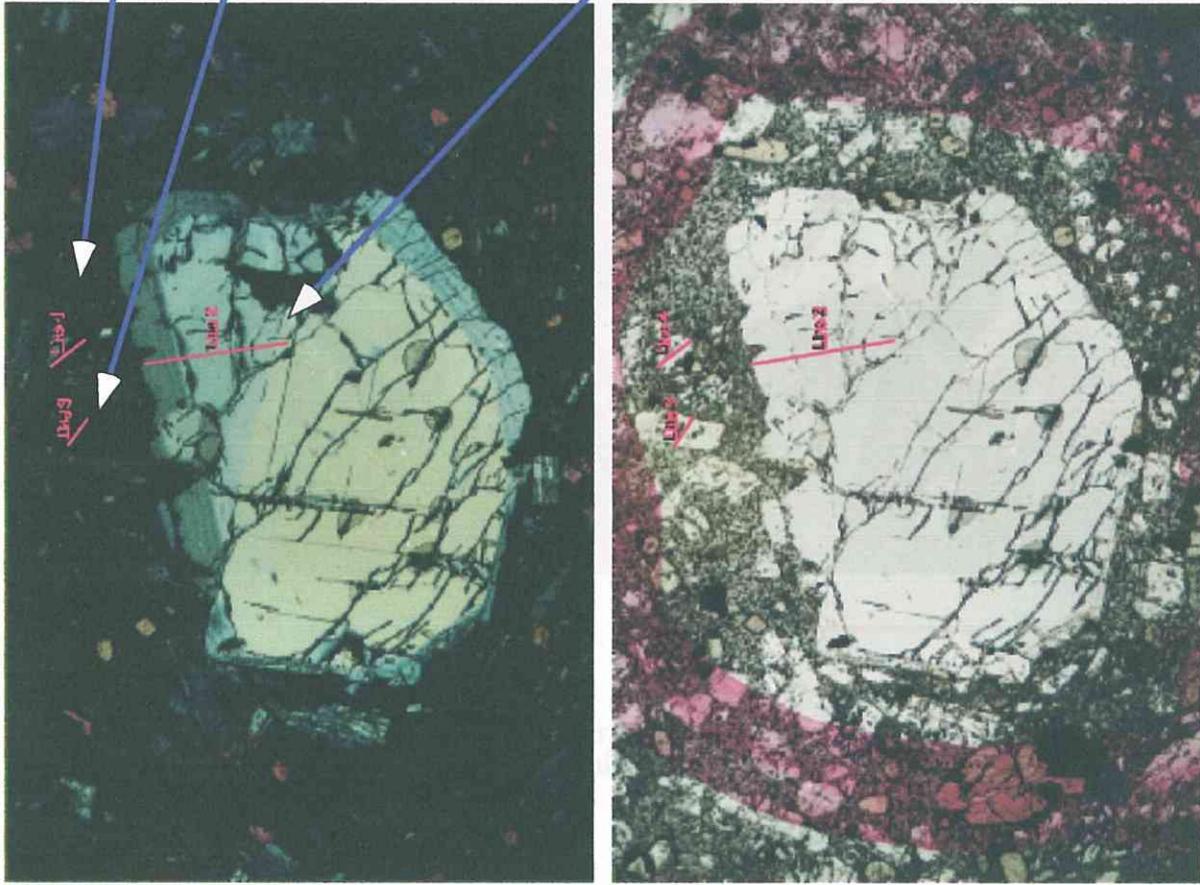


Fig. 4-2-3; Plagioclase phenocryst in olivine pyroxene andesite (T-08). Result for line analysis along the pink lines shows the graph. Red line is the scale (2mm).

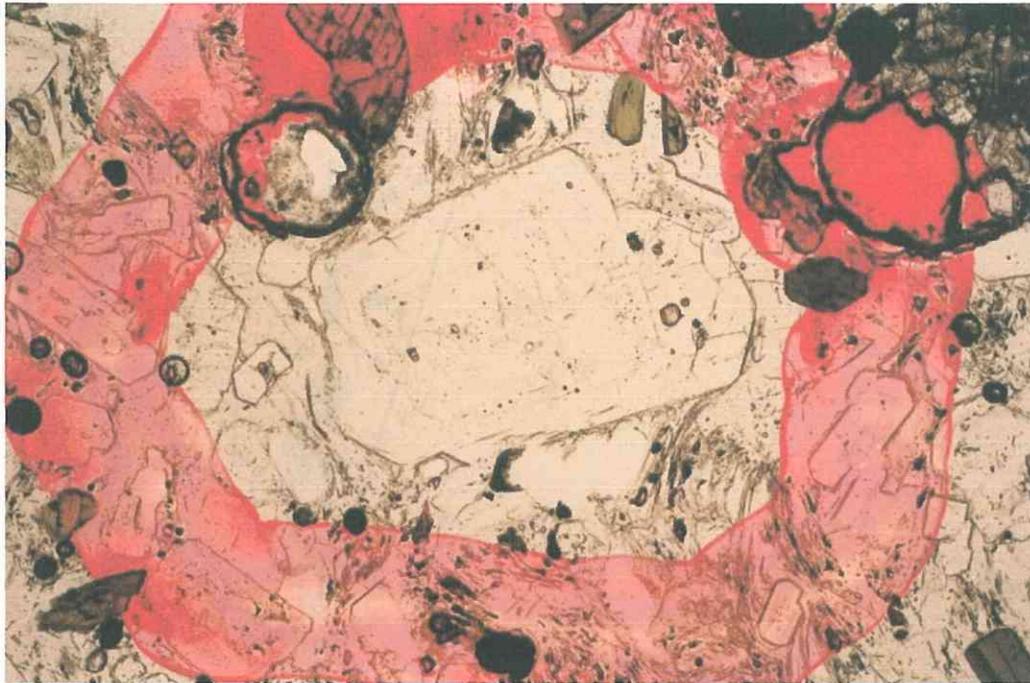


Fig. 4-2-4; Plagioclase phenocryst in biotite hornblende dacite (OZ-02).
The graph shows line analysis data. Red lin is the scale (2mm).

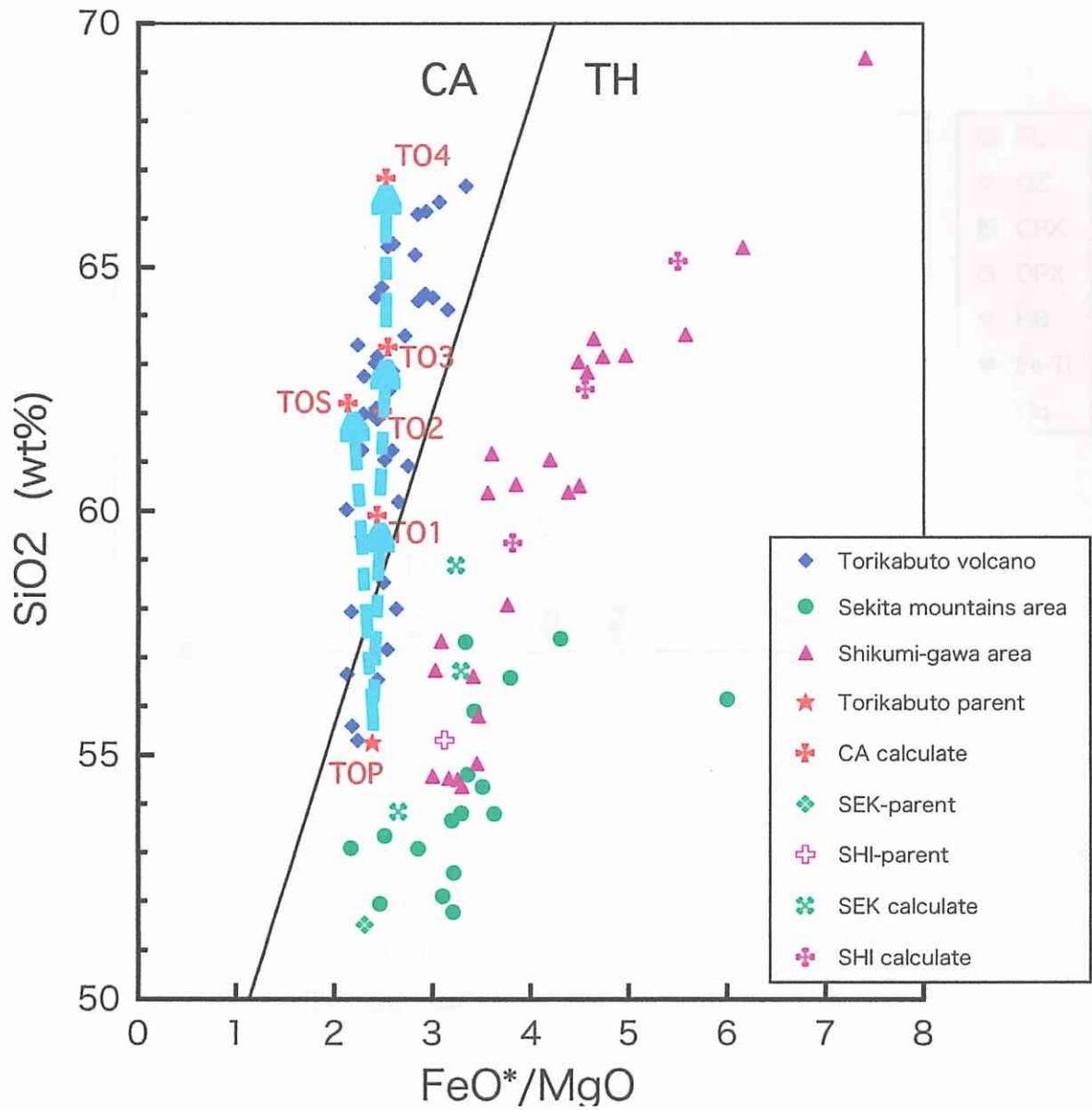


Fig. 4-2-5; FeO*/MgO vs. SiO₂ diagram for calc-alkaline volcanic rocks and selected data to mass-balance calculation.

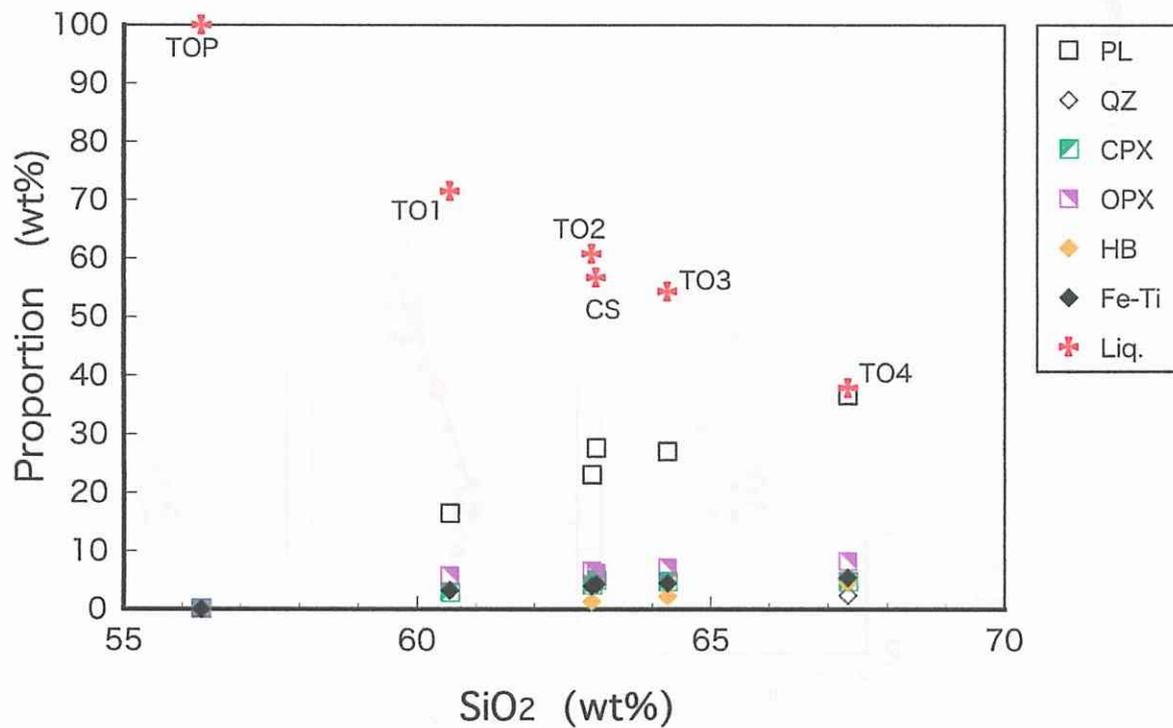


Fig. 4-2-6; Estimated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO₂ content. PL; plagioclase, QZ; quartz, CPX; clinopyroxene, OPX; orthopyroxene, HB; hornblende, Fe-Ti; Fe-Ti oxide mineral, Liq; liquid.

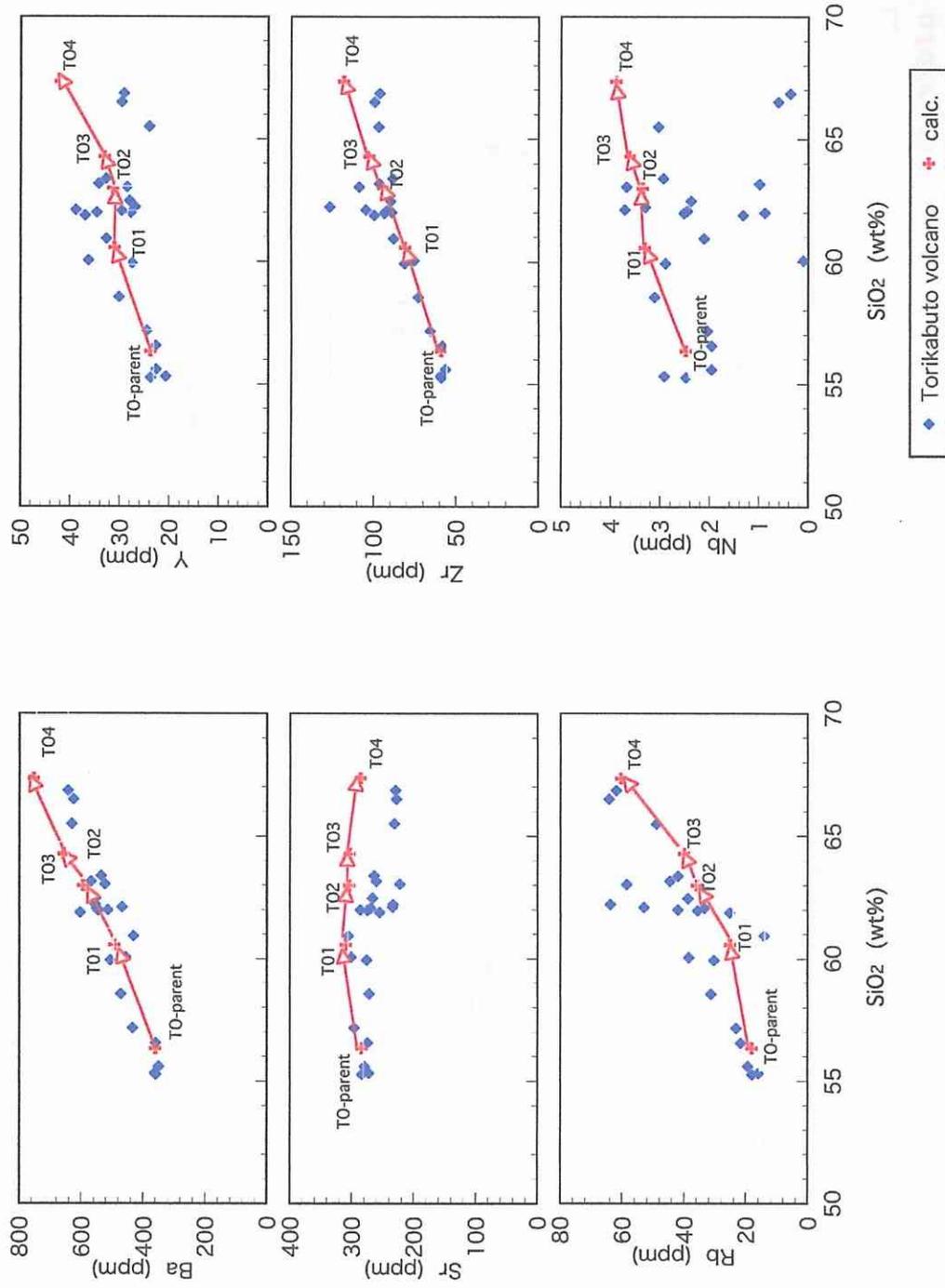


Fig. 4-2-7; Silica variation diagrams for calc-alkalic volcanic rocks and calculated contents from Torikabuto volcano.

Torikabuto volcano

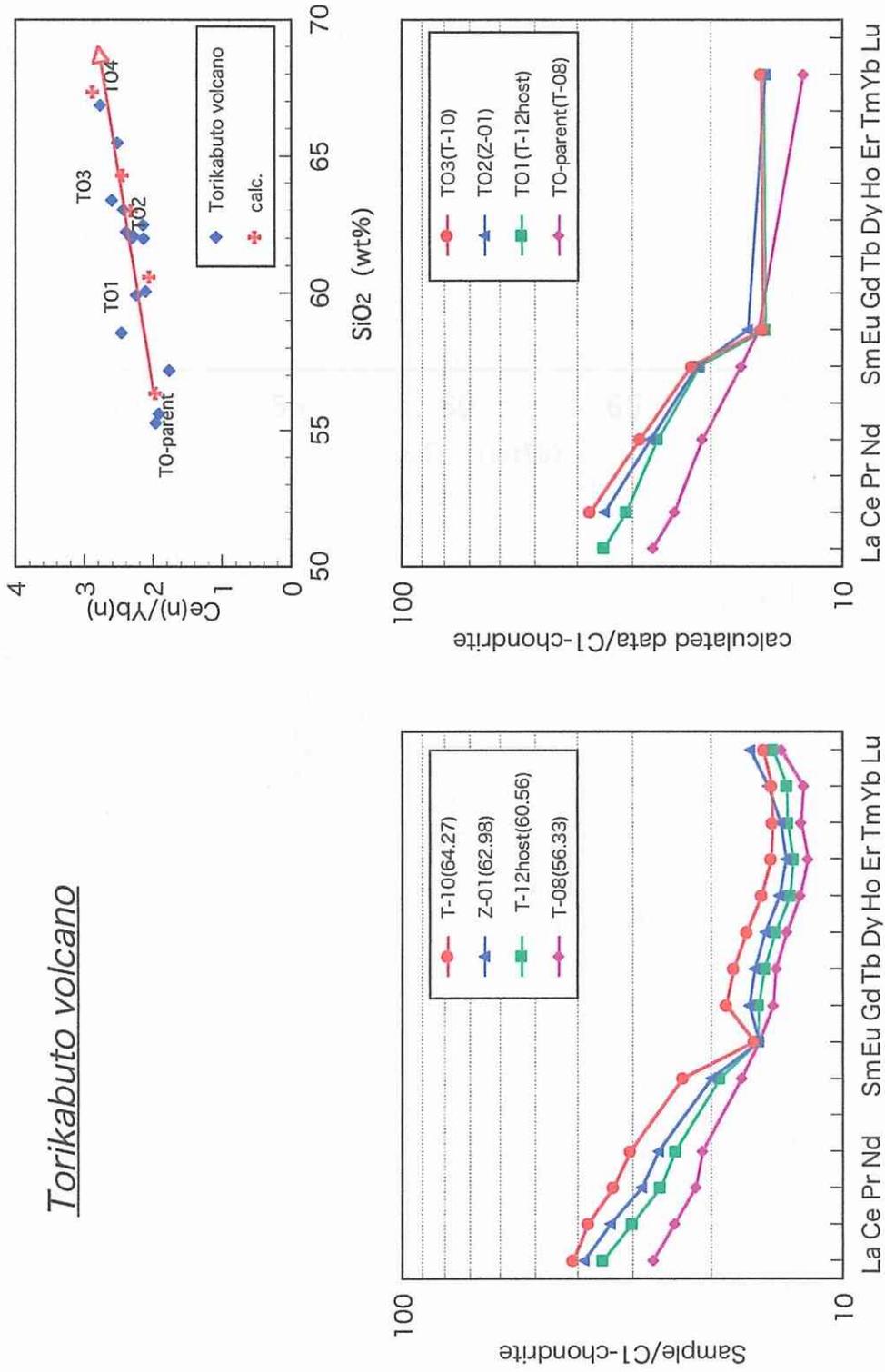


Fig. 4-2-8; C1-chondrite normalized REE pattern for calculated volcanic rocks in Torikabuto volcano. Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

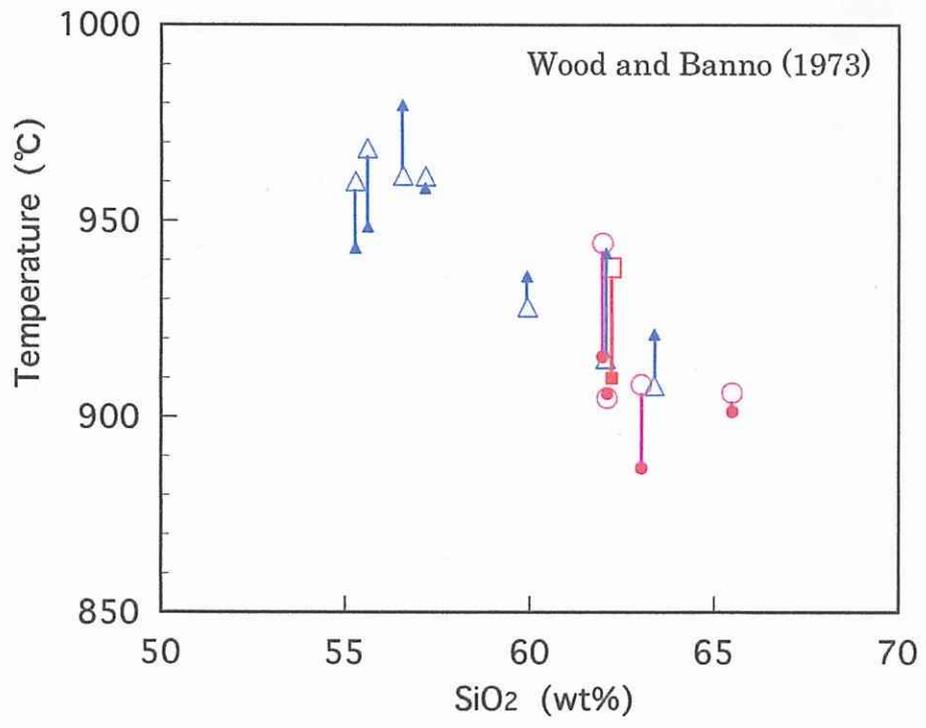
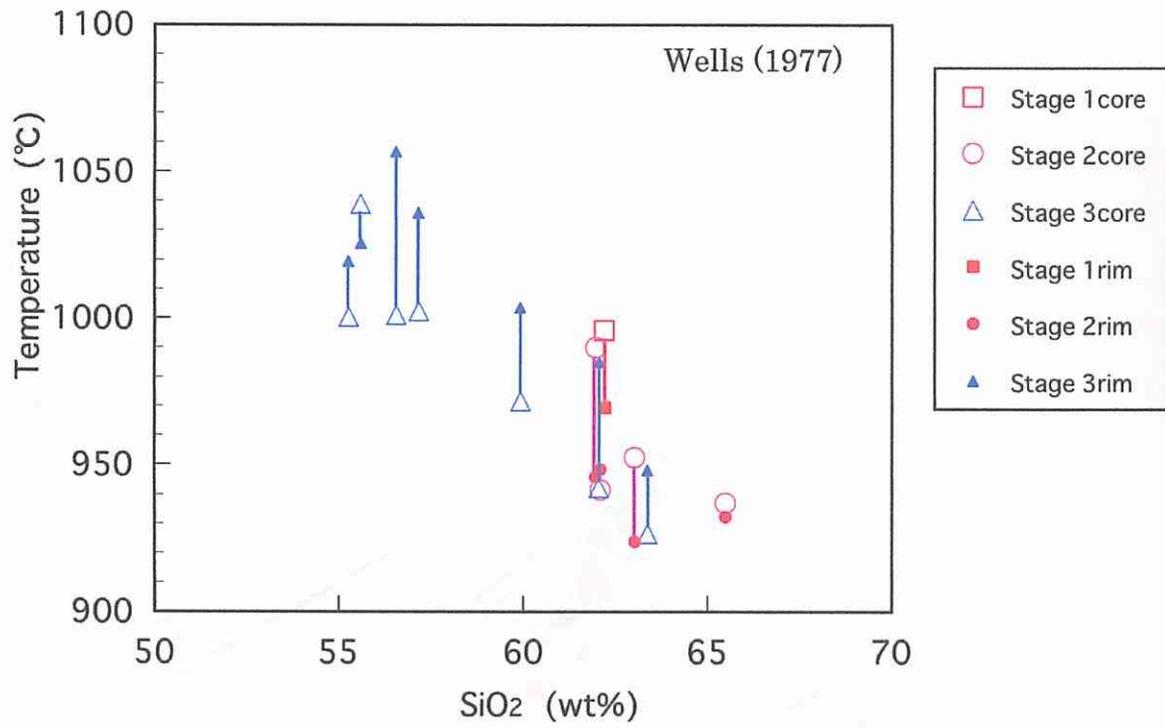


Fig. 4-2-9; Estimated temperature against SiO₂ contents of the host rocks. The temperatures are calculated by average chemical composition of pyroxene cores and rims, from Wells (1977) and Wood and Banno (1973).

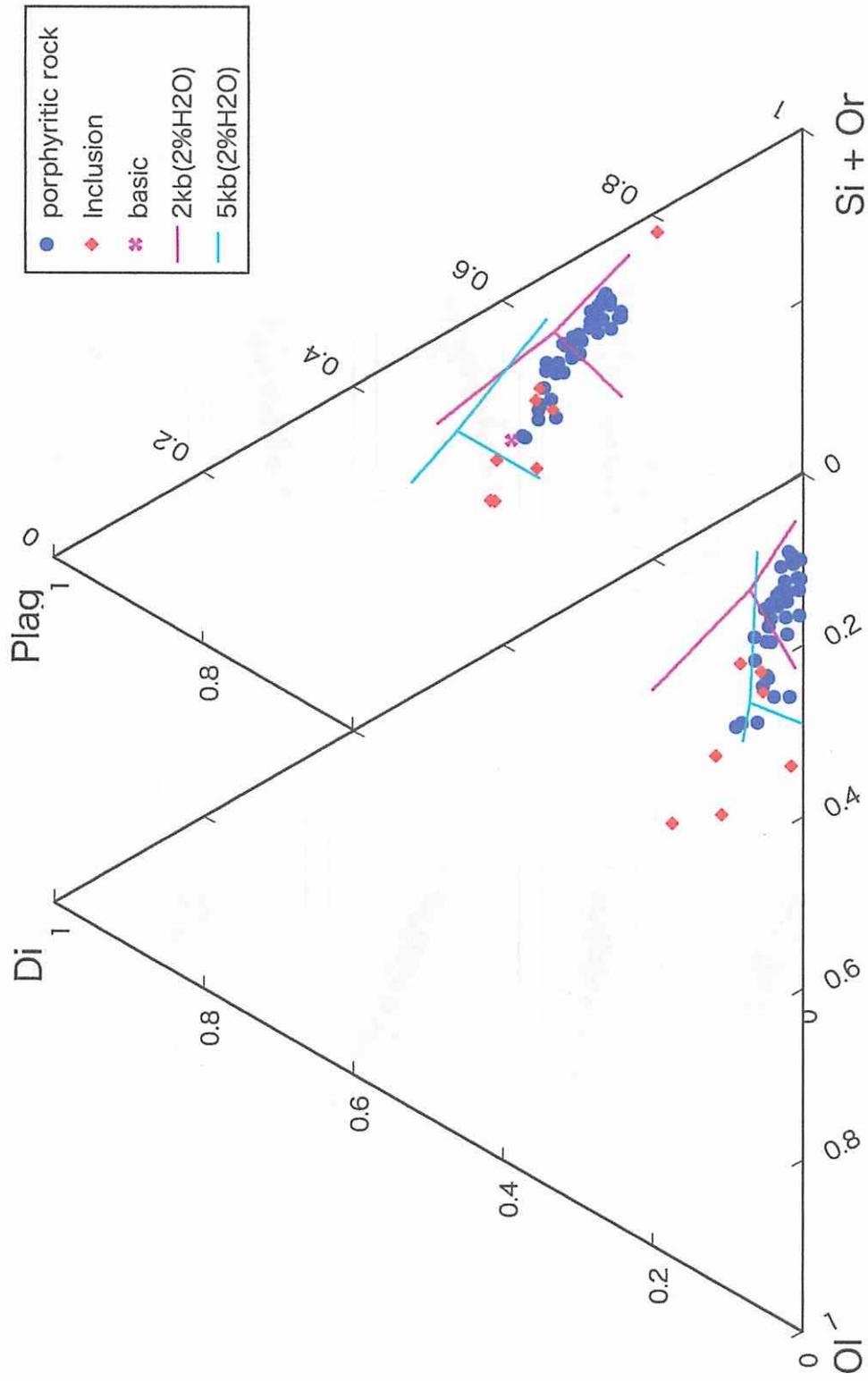


Fig. 4-2-10; Di-Ol-Si+Or and Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections for calc-alkaline volcanic rocks (from Baker and Eggler (1987)).

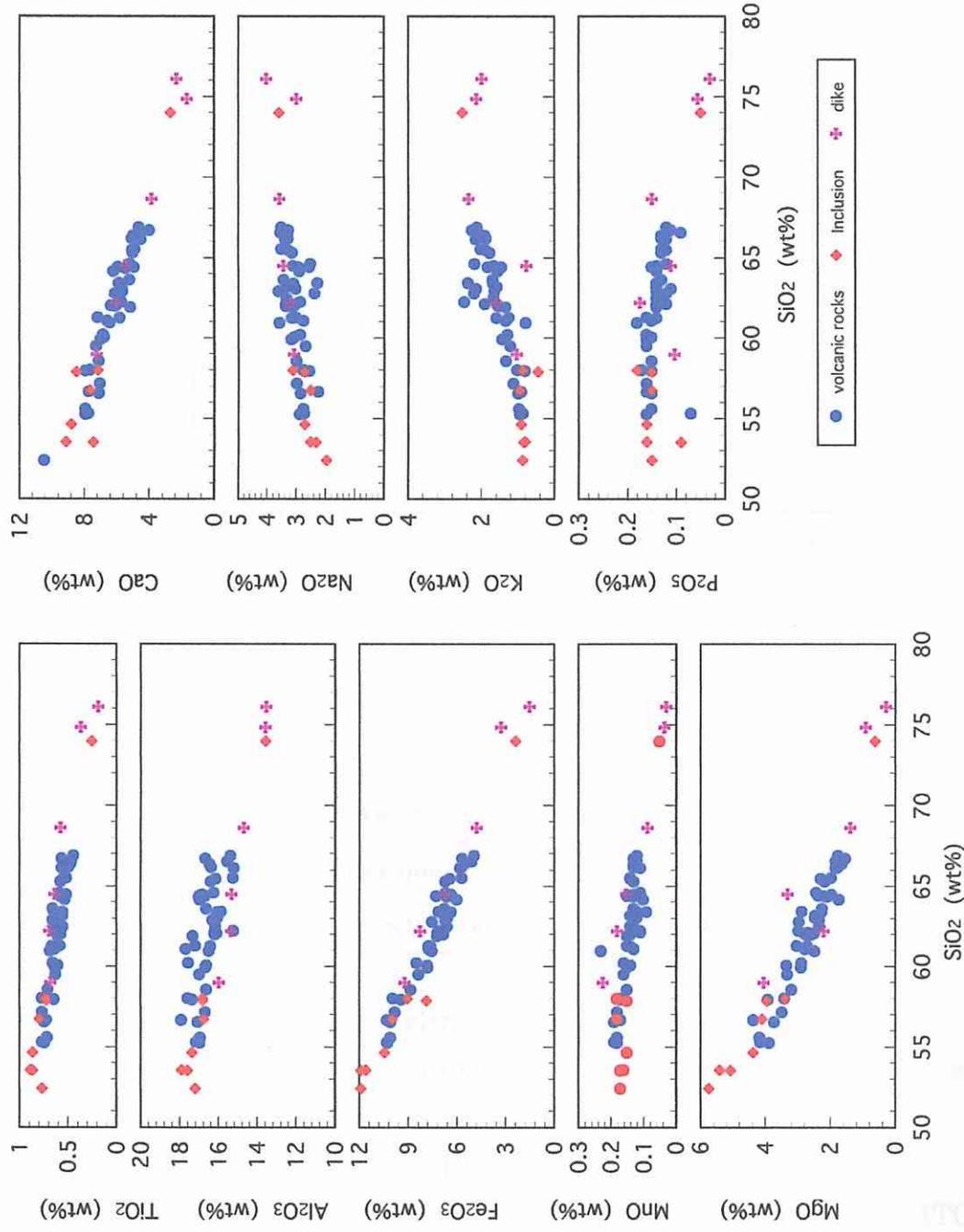


Fig. 4-2-11; Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks from Torikabuto volcano and dike rocks in Neogene system.

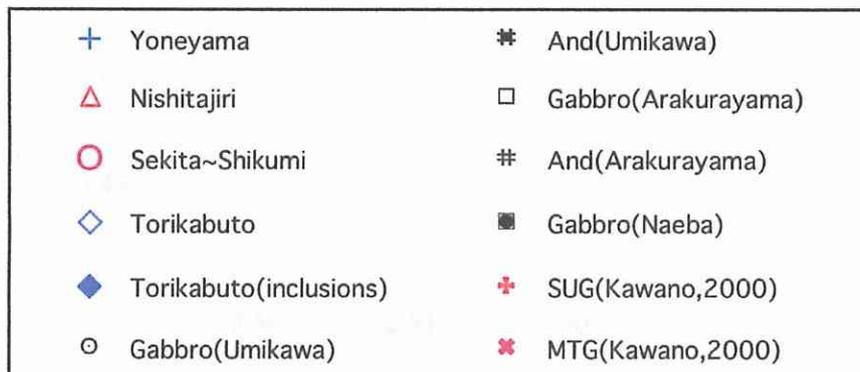
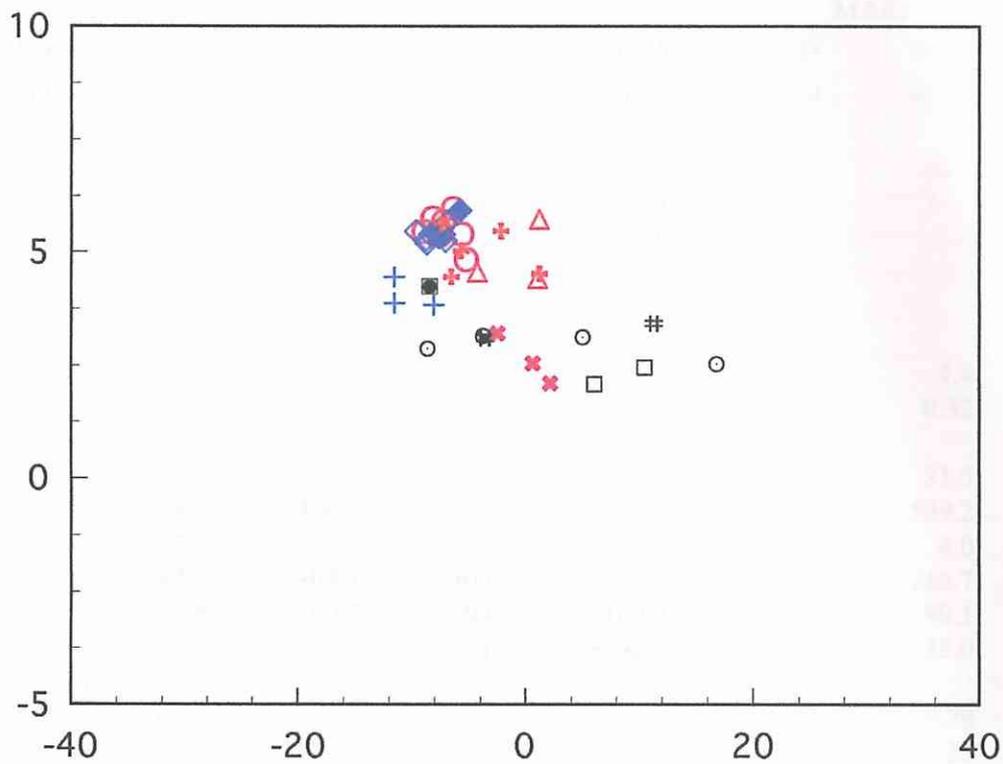


Fig. 4-2-12; ϵ_{Nd} vs. ϵ_{Sr} diagram for the volcanic rocks in the Sekita mountains ~ Torikabuto volcano area and the Yoneyama area.

Umikawa, and Arakurayama; Shuto et. al. (1988)

Naeba; Shimazu et al. (1991).

SUG; Neogene granitic rocks from Suzaka-Ueda area, MTG; Neogene granitic rocks from Makihata-Tanigawa area. (from Kawano, 2000).

Sp. No.	TO-parent T-08	TO1 T-12	TO2 Z-01	TO3 T-10	TO4 OZpy2	TOS MAEKURA
SiO ₂ of parental rock		56.33	60.56	60.56	64.27	56.33
SiO ₂ (wt%)	56.33	60.56	62.98	64.27	67.34	63.06
Result from mass balance calculation						
doughter		71.6	84.9	75.9	69.7	56.7
PL		16.4	9.2	14.7	17.7	27.6
CPX		2.9	1.8	2.6		5.0
OPX		5.8	1.3	1.9	2.0	6.3
Hb			1.8	3.1	4.4	
Qtz					4.5	
Fe-Ti		3.3	1.0	1.7	1.7	4.4
Sum of R2=		0.10	0.01	0.02	0.08	0.32
calculated contents for trace elements (ppm)						
Rb	17.9	25.0	35.7	39.9	60.2	31.5
Ba	358.0	490.9	591.5	655.7	751.3	599.2
Nb	2.5	3.3	3.3	3.6	3.9	4.0
Sr	282.9	308.8	303.3	302.4	285.1	246.7
Zr	58.8	80.7	94.2	102.4	117.8	99.1
Y	23.7	30.9	31.2	32.9	41.9	35.0
calculated contents for REEs (ppm)						
La	6.39	8.24				9.28
Ce	14.74	18.94	21.22	22.89	31.05	21.25
Pr						
Nd	9.73	12.29	12.76	13.48	18.22	13.43
Sm	2.59	3.23	3.27	3.37	4.33	3.44
Eu	0.90	0.87	0.95	0.88	0.85	0.56
Gd						
Tb						
Dy	3.41					
Ho						
Er						
Tm						
Yb	2.08	2.56	2.54	2.60	3.00	2.67
Lu	0.35					

Table 4-2-1; Results from mass-balance calculation for the volcanic rocks from Torikabuto volcano.

Wells(1977)

Sample	Stage	SiO ₂ (wt%)	core(°C)	rim(°C)	rim-core(°C)
MAEKURA	Stage 1	62.20	996	969	-27
Z-03	Stage 2	61.96	990	945	-44
T-02	Stage 2	62.09	941	948	7
T-01	Stage 2	63.02	952	923	-29
Z-02	Stage 2	65.48	937	932	-5
T-08	Stage 3	55.25	1000	1019	19
T-05	Stage 3	55.58	1039	1025	-13
T-04	Stage 3	56.54	1001	1056	55
T-13	Stage 3	57.15	1002	1036	34
T-12	Stage 3	59.91	972	1003	32
Z-01	Stage 3	62.05	942	985	43
T-10	Stage 3	63.36	926	948	22
KMg	Inclusion	56.72	877		
SRR4	Inclusion	57.86	913	915	3

Wood & Banno(1973)

Sample	Stage	SiO ₂ (wt%)	core(°C)	rim(°C)	rim-core(°C)
MAEKURA	Stage 1	62.20	938	910	-28
Z-03	Stage 2	61.96	944	915	-29
T-02	Stage 2	62.09	905	906	1
T-01	Stage 2	63.02	908	887	-21
Z-02	Stage 2	65.48	906	901	-5
T-08	Stage 3	55.25	960	943	-17
T-05	Stage 3	55.58	968	948	-20
T-04	Stage 3	56.54	961	979	18
T-13	Stage 3	57.15	961	958	-3
T-12	Stage 3	59.91	928	936	8
Z-01	Stage 3	62.05	915	941	27
T-10	Stage 3	63.36	908	921	13
KMg	Inclusion	56.72	841		
SRR4	Inclusion	57.86	947	960	13

Putirka et al. (1996)

Sample	Stage	SiO ₂ (wt%)	FeO*/MgO	T(°C)	P(Kb)
9081901	Stage 3	55.25	2.39	1143	3.0

Table 4-2-2: Estimated magmatic temperature and pressure for calc-alkaline volcanic rocks (from Wells(1977), Wood and Banno(1973) and Putirka(1996)).

3. 関田山脈～志久見川流域の火山岩類と鳥甲火山噴出物の成因関係

- Fig. 4-3-1 Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and calc-alkaline volcanic rocks
- Fig. 4-3-2 MgO vs. K₂O diagram for volcanic rocks from the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area and from Torikabuto volcano
- Fig. 4-3-3 Silica variation diagrams for calculated groundmass of tholeiitic volcanic rocks and calc-alkaline volcanic rocks
- Fig. 4-3-4 Na₂O+K₂O vs. SiO₂, SiO₂ vs. FeO*/MgO and MFA diagrams for calculated groundmass of tholeiitic volcanic rocks and calc-alkaline volcanic rocks
- Fig. 4-3-5 Primary mantle normalized spidergram for basic rocks from the Sekita mountains area and Torikabuto volcano
- Fig. 4-3-6 C1-chondrite normalized REE pattern for basic rocks from the Sekita mountains area and Torikabuto volcano
- Fig. 4-3-7 Process identification diagram for the SiO₂=55wt% normalized compositions
- Fig. 4-3-8 Di-Ol-Si+Or and Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections for tholeiitic and calc-alkaline volcanic rocks
- Fig. 4-3-9 Estimated temperature against SiO₂ contents of the host rocks for volcanic rocks from Torikabuto volcano and the Sekita-Shikumi area
- Fig. 4-3-10 SiO₂ vs. FeO*/MgO diagram for selected parental magmas of TH and CA
- Fig. 4-3-11 Process identification diagram for the SiO₂=55wt% normalized compositions
- Fig. 4-3-12 C1-chondrite normalized REE pattern for basic rocks from Torikabuto volcano and calculated calc-alkaline basic andesite
- Fig. 4-3-13 Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and data from Melts calculation
- Fig. 4-3-14 Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks and data from Melts calculation

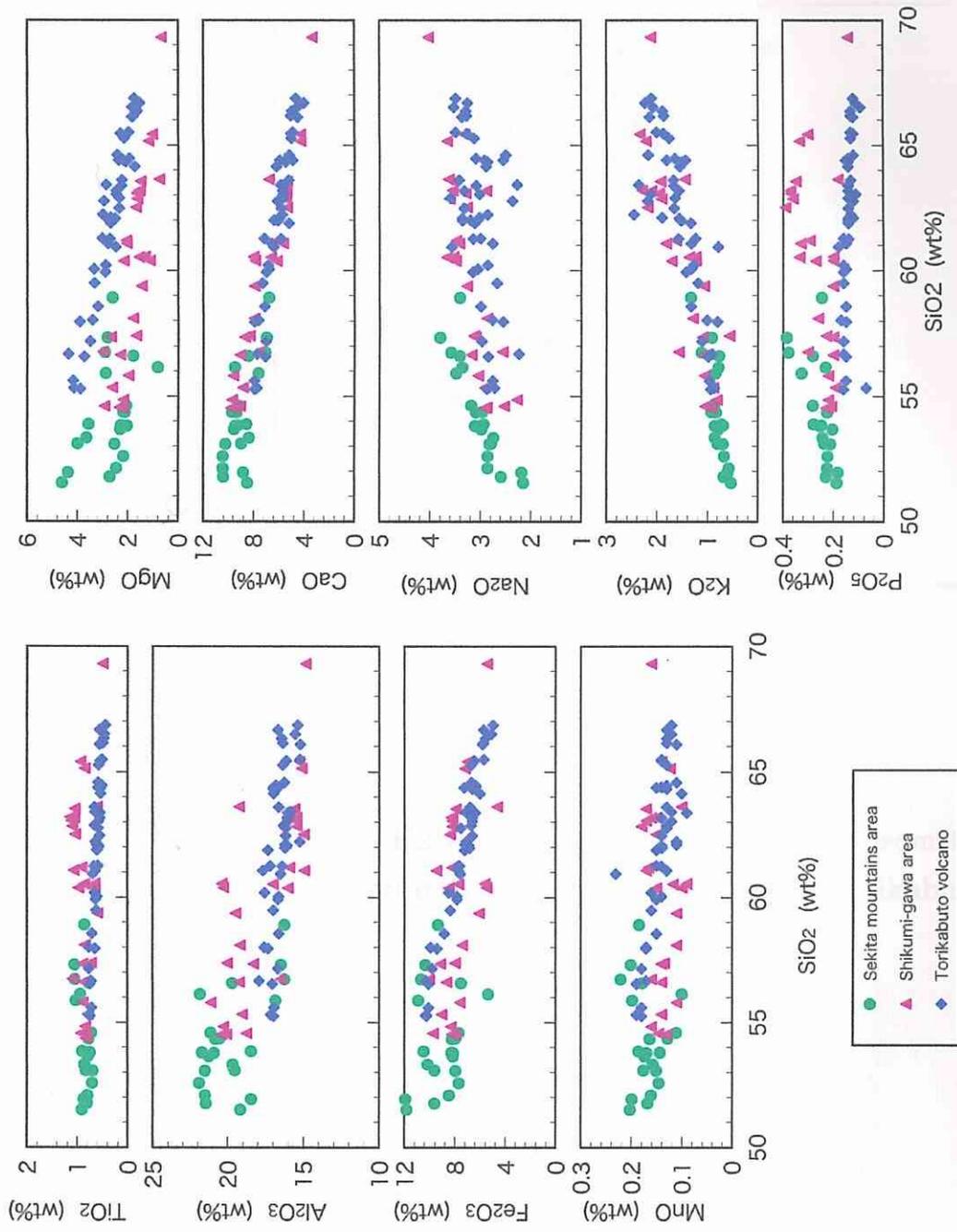


Fig. 4-3-1; Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks (from the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area) and calc-alkaline volcanic rocks (from Torikabuto volcano).

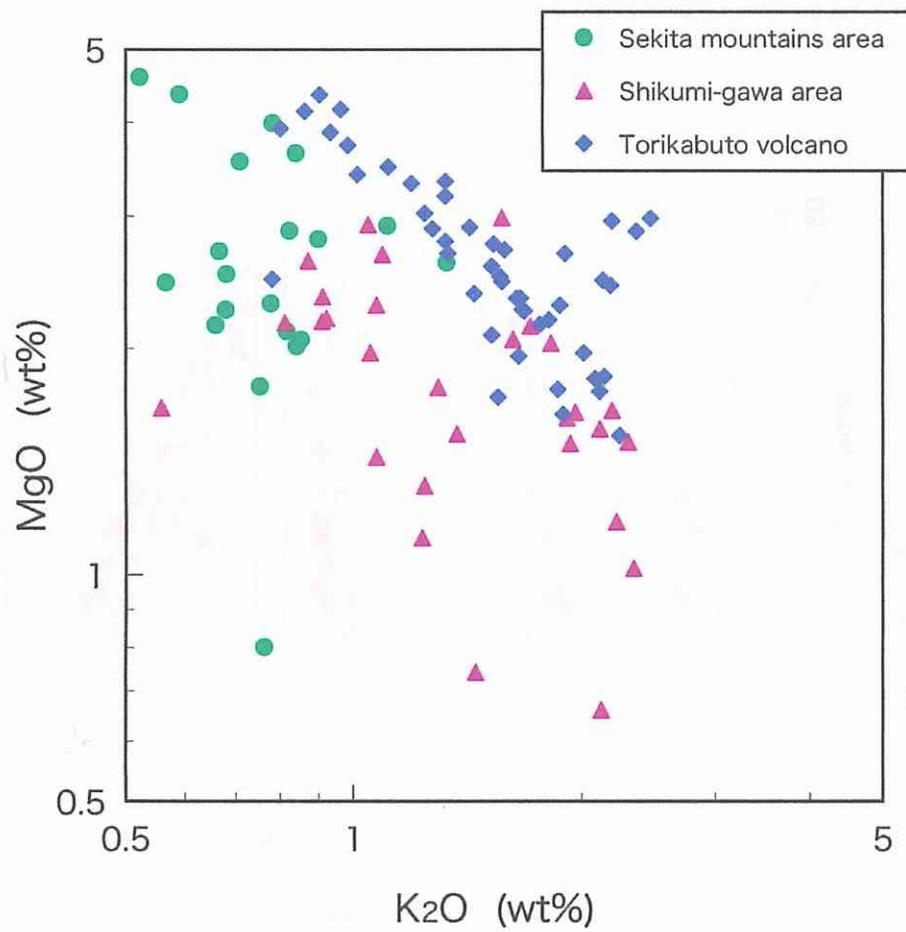


Fig. 4-3-2; MgO vs. K₂O diagram for volcanic rocks from the Sekita mountains ~ Shikumi-gawa area (TH) and from Torikabuto volcano (CA).

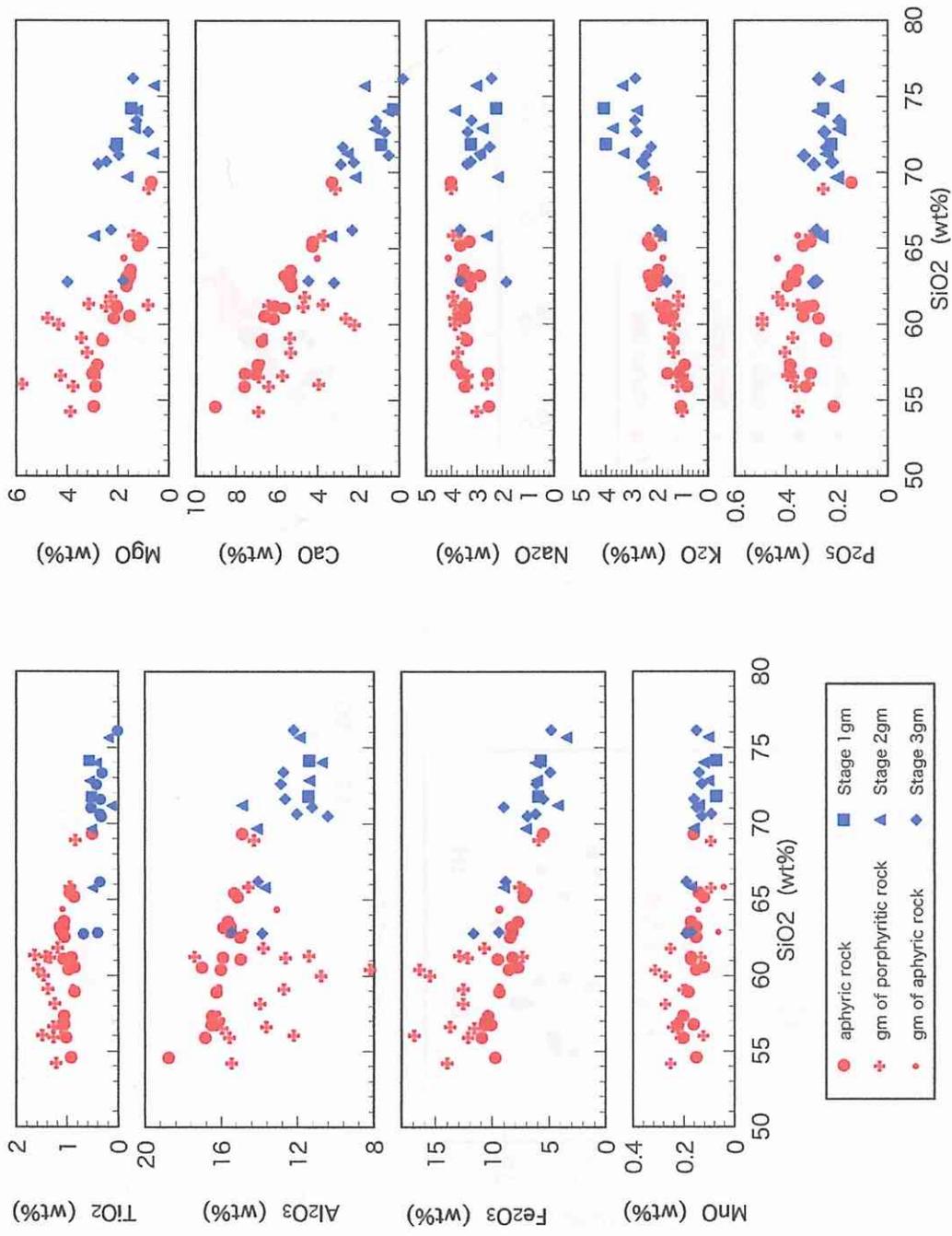


Fig. 4-3-3; Silica variation diagrams for calculated groundmass (gm) of tholeiitic volcanic rocks (red symbols) and calc-alkaline volcanic rocks (blue symbols).

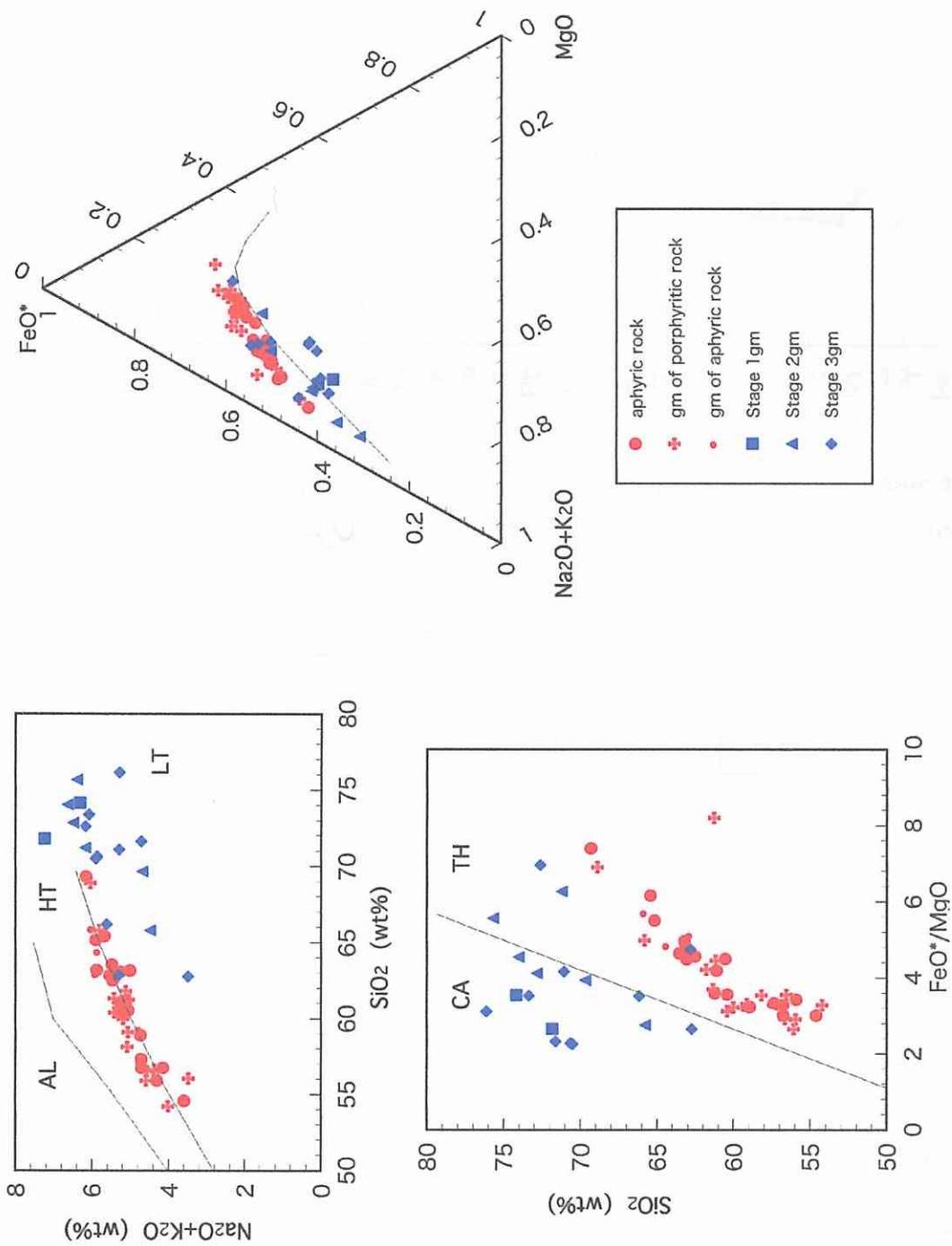


Fig. 4-3-4; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. SiO_2 , SiO_2 vs. FeO^*/MgO and MFA diagrams for calculated groundmass of tholeiitic volcanic rocks (red symbols) and calc-alkaline volcanic rocks (blue symbols).

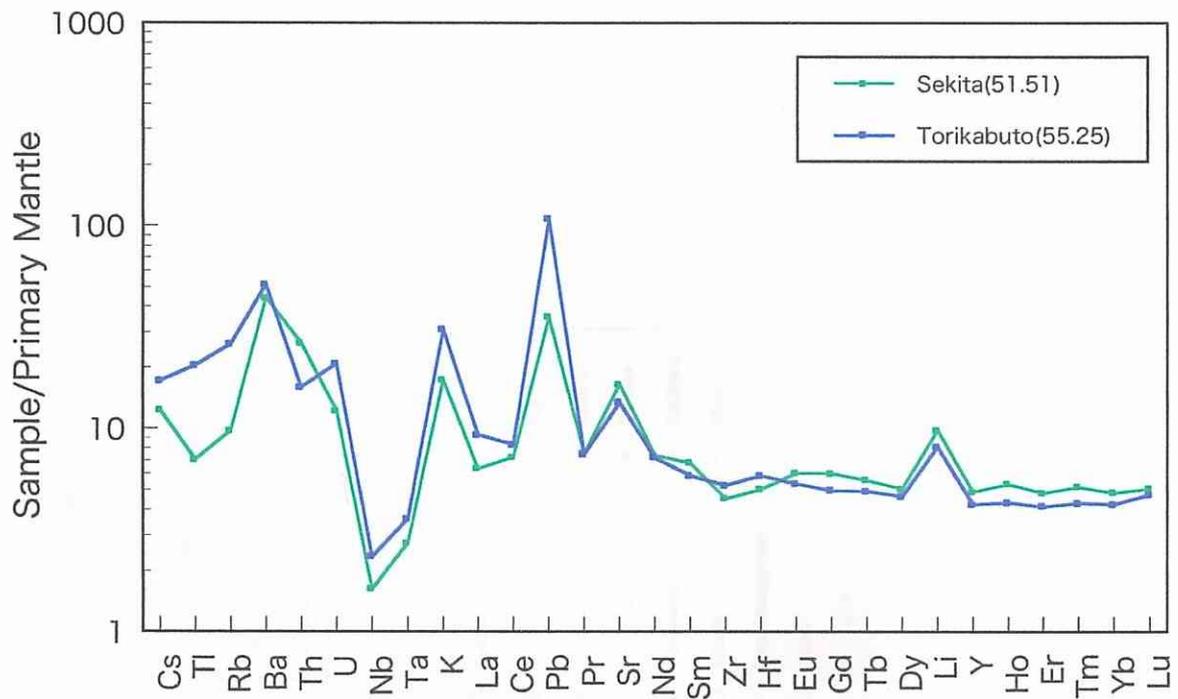


Fig. 4-3-5; Primary mantle normalized spidergram for basic rocks from the Sekita mountains area (TH) and Torikabuto volcano (CA). Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

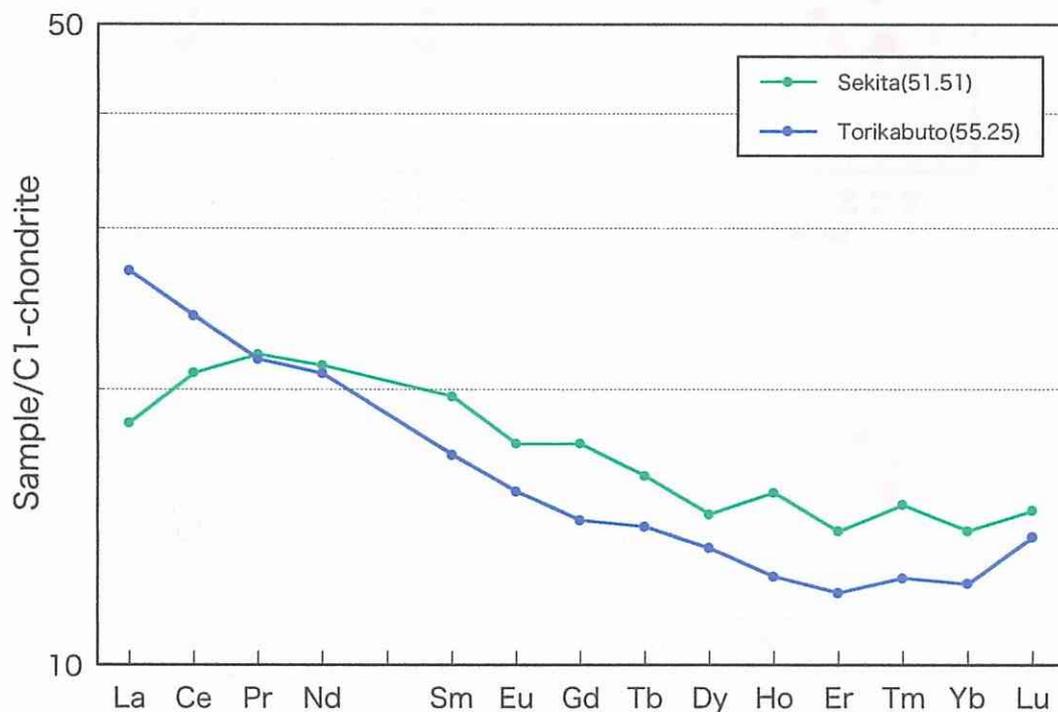


Fig. 4-3-6; C1-chondrite normalized REE pattern for basic rocks from The Sekita mountains area (TH) and Torikabuto volcano (CA). Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

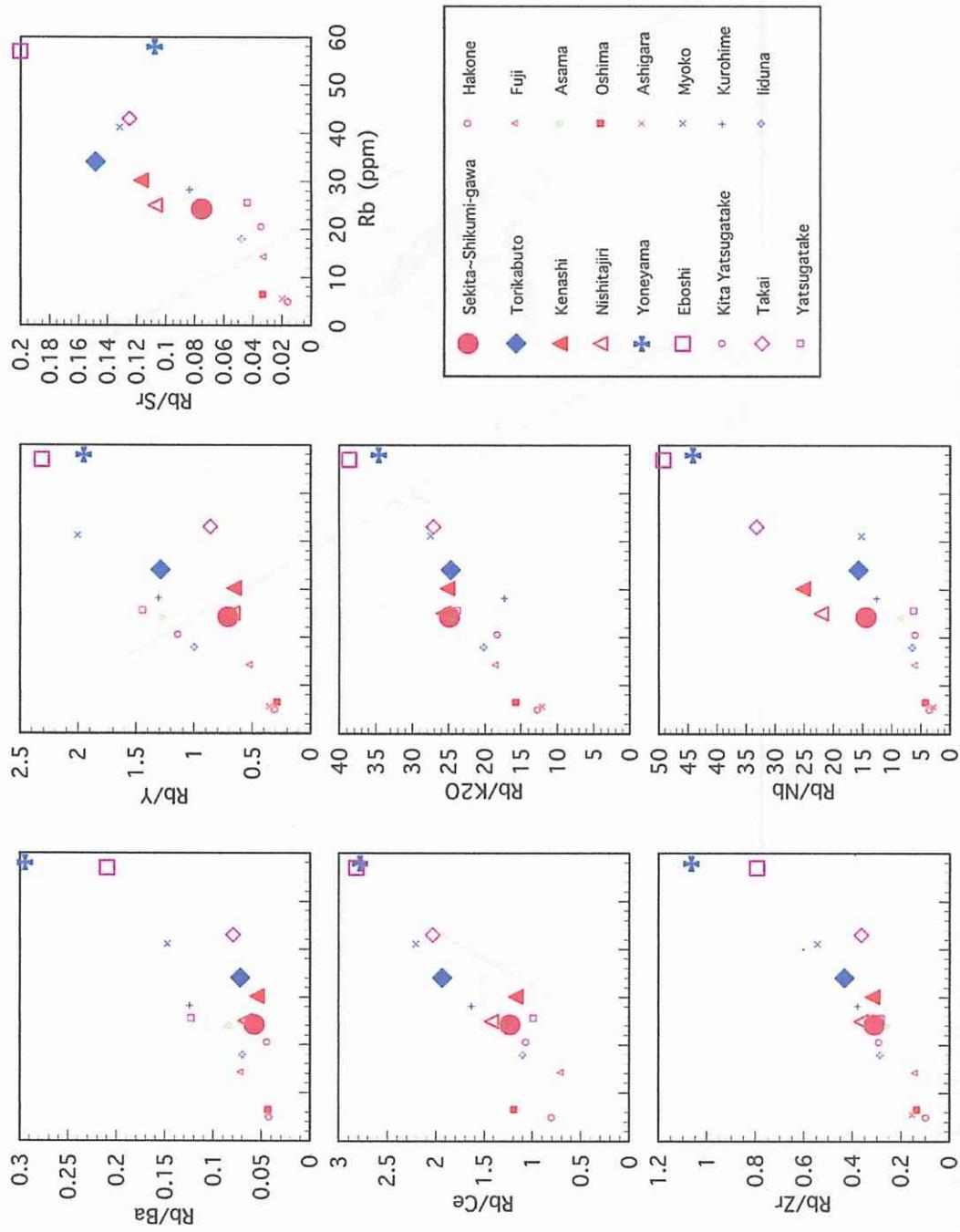


Fig. 4-3-7; Process identification diagram for the SiO₂=55wt% normalized compositions.

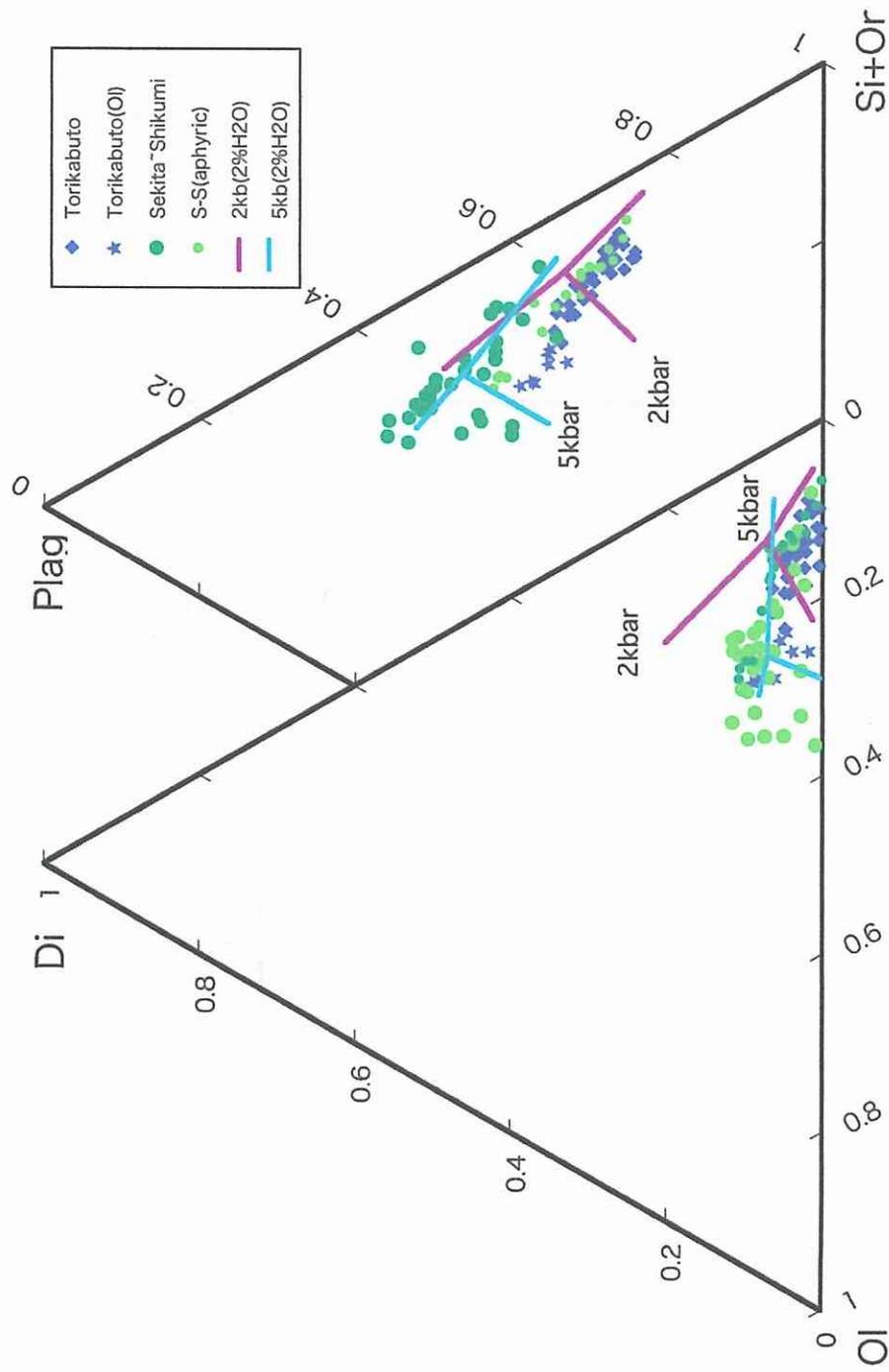


Fig. 4-3-8; Di-Ol-Si+Or and Plag-Ol-Si+Or pseudoternary projections for tholeiitic (Sekita~Shikumi ; red symbols) and calc-alkaline (Torikabuto ; blue symbols) volcanic rocks (from Baker and Eggler (1987)).

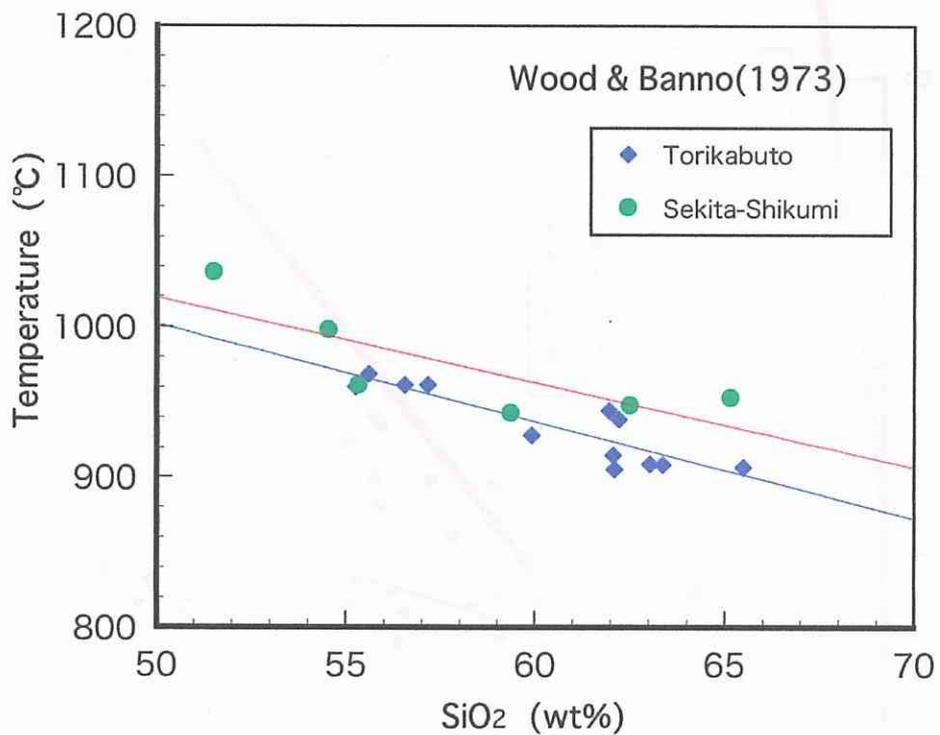
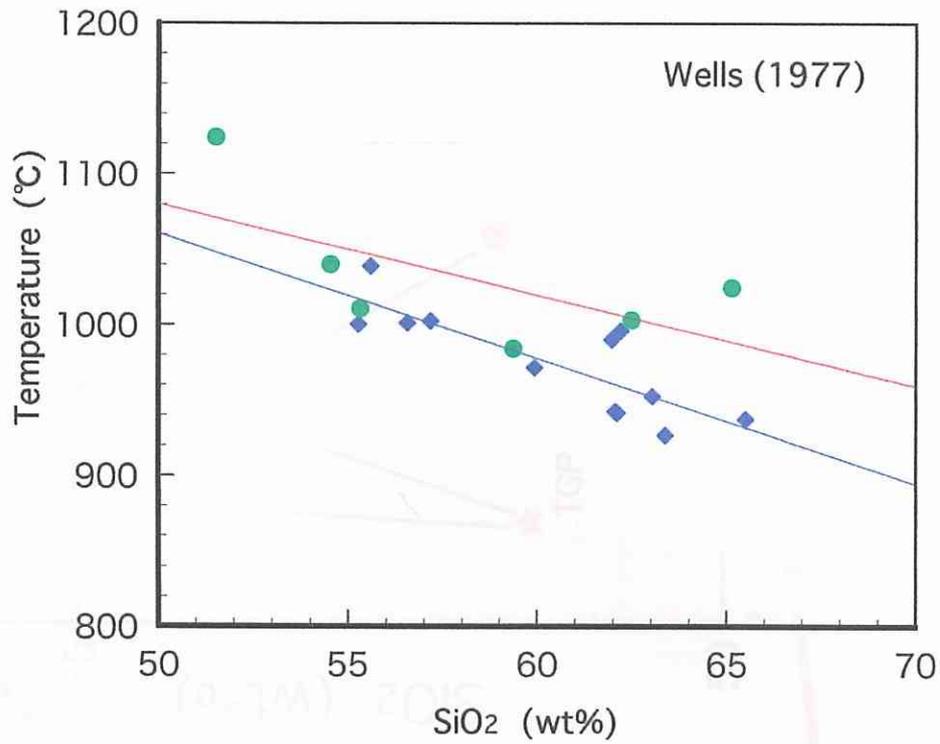


Fig. 4-3-9; Estimated temperature against SiO₂ contents of the host rocks for volcanic rocks from Torikabuto volcano (CA) and the Sekita-Shikumi area (TH). The temperatures are calculated by average chemical composition of pyroxene cores and rims, from Wells (1977) and Wood and Banno (1973).

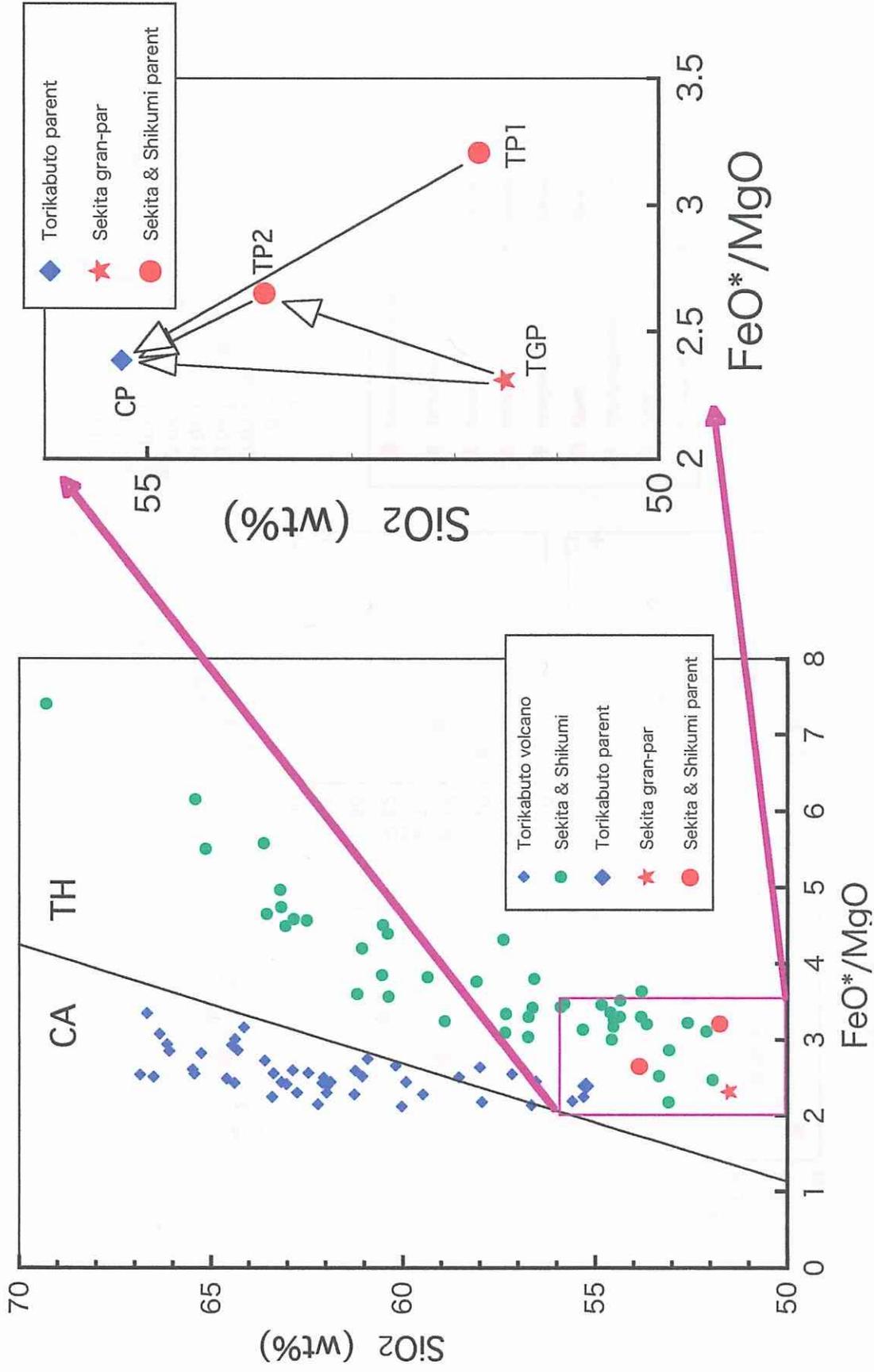


Fig. 4-3-10; SiO_2 vs. FeO^*/MgO diagram for selected parental magmas of TH and CA.

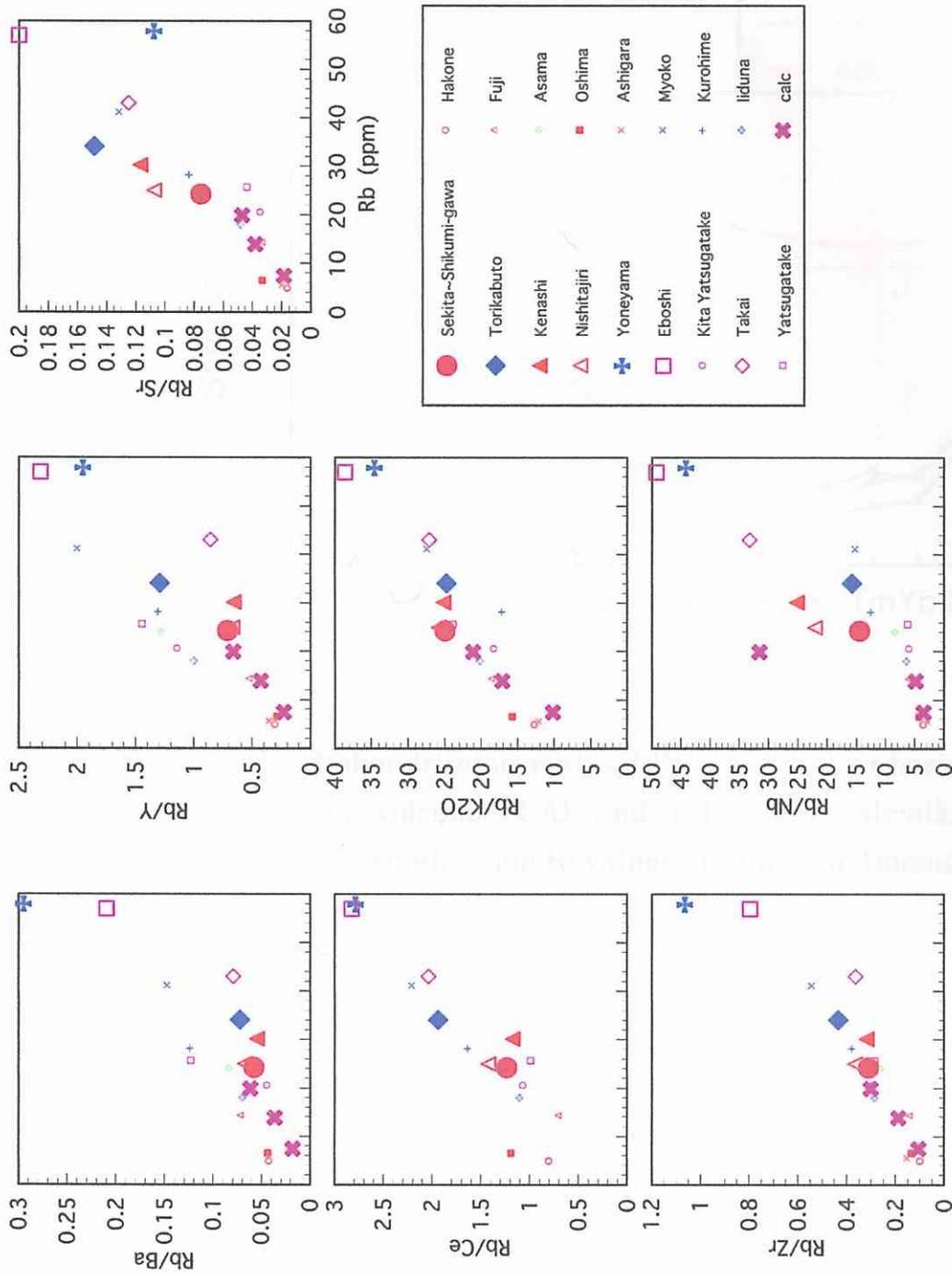


Fig. 4-3-11; Process identification diagram for the SiO₂=55wt% normalized compositions. Purple cross symbol; estimated calc-alkaline volcanic rocks from tholeiitic magma by mass balance calculation.

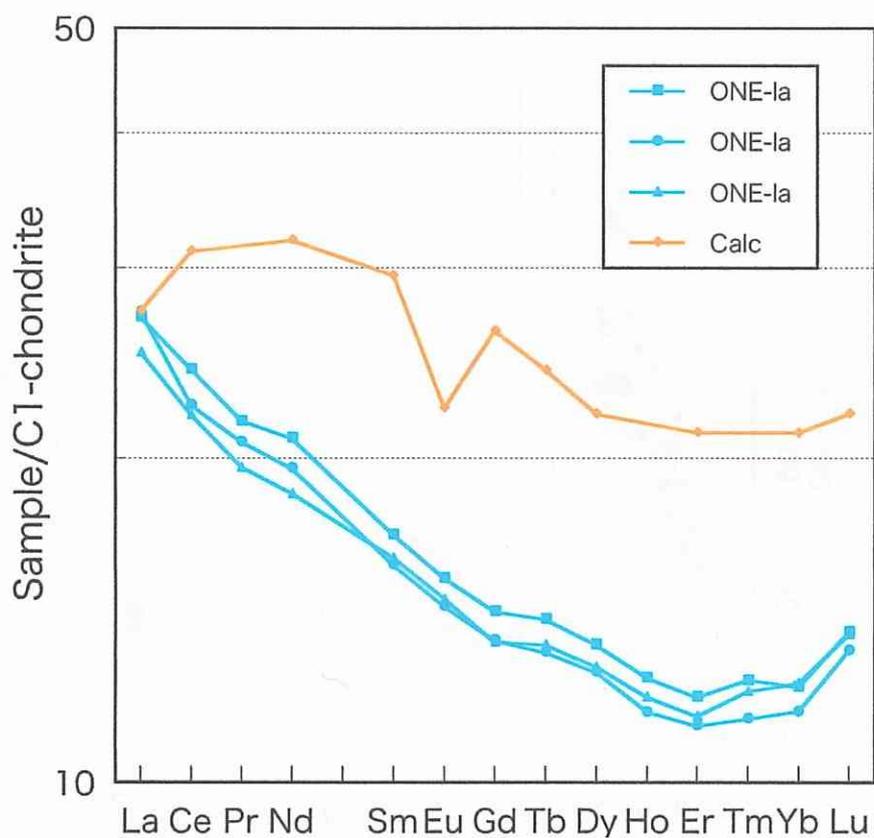


Fig. 4-3-12; C1-chondrite normalized REE pattern for basic rocks from Torikabuto volcano (CA) and calculated calc-alkaline basic andesite. Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

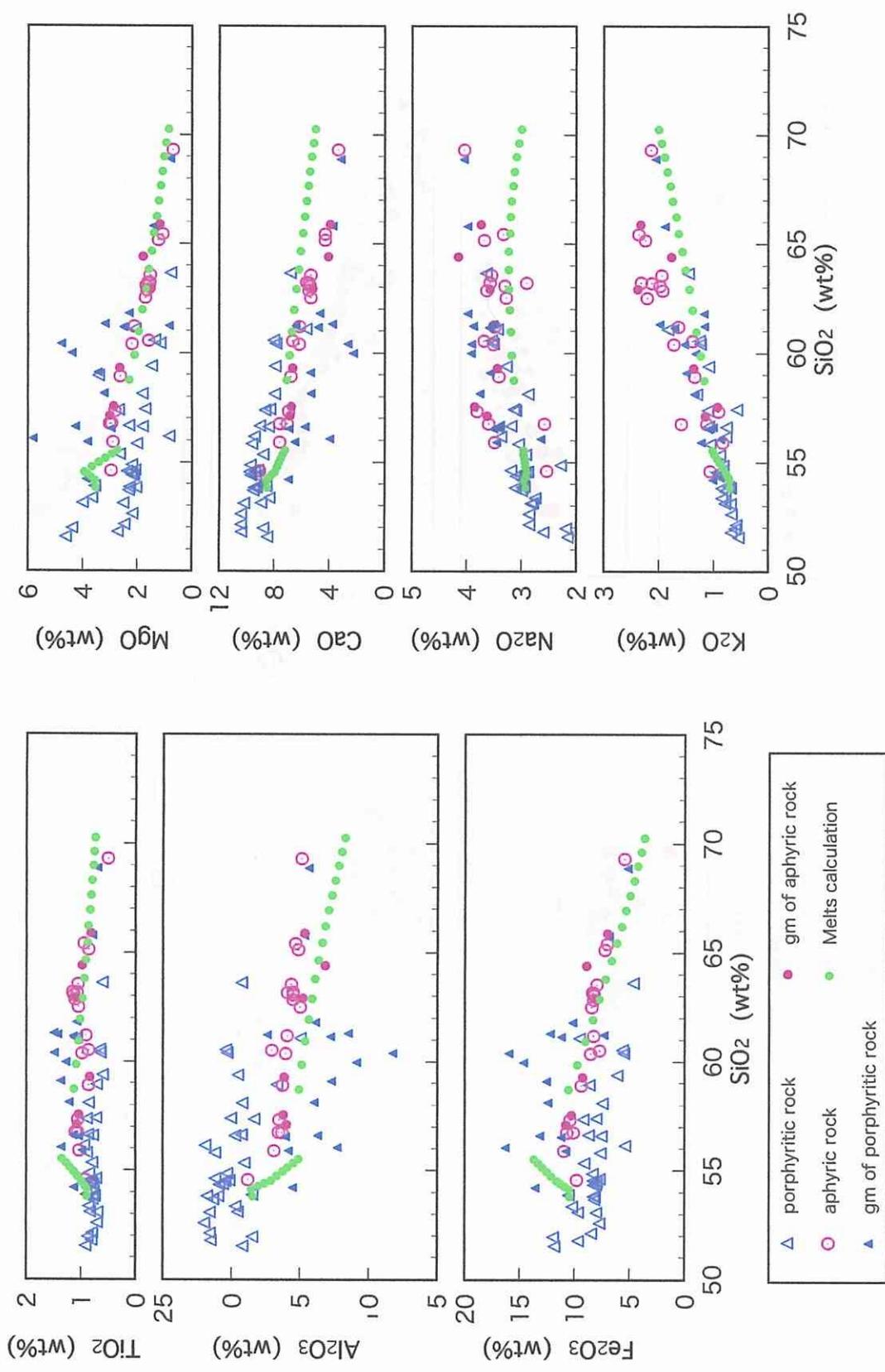


Fig. 4-3-13; Silica variation diagrams for tholeiitic volcanic rocks and data from Melts calculation.

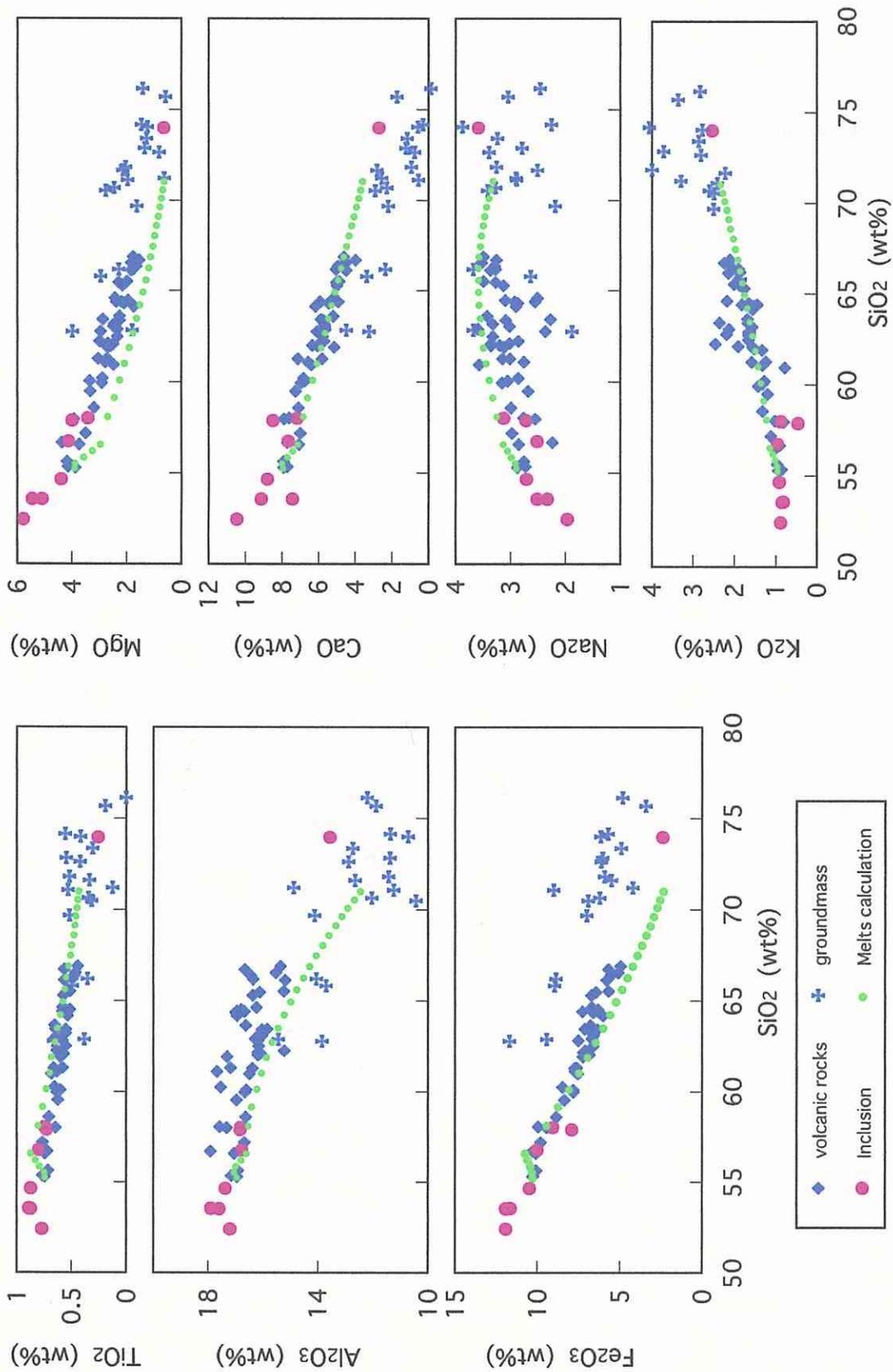


Fig. 4-3-14; Silica variation diagrams for calc-alkaline volcanic rocks and data from Melts calculation.

4. 関田山脈へ志久見川流域のソレイト系列初生マグマと鳥甲火山のカルク・アルカリ系列初生マグマについての検討

- Fig. 4-4-1 Silica variation diagrams in REEs for volcanic rocks
- Fig. 4-4-2 Cl-chondrite normalized REE pattern for calculated contents
- Fig. 4-4-3 NdI and Srl vs, SiO₂ diagram for volcanic rocks and inclusions
- Fig. 4-4-4 Primary Mantle normalized trace element pattern for calculated rocks
- Fig. 4-4-5 Silica variation diagrams for tholeiitic aphyric rocks and calc-alkaline rocks
- Fig. 4-4-6 Silica variation diagrams for tholeiitic, calc-alkaline volcanic rocks and data from Melts calculation

- Fig. 4-4-8 Calculated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO₂ content

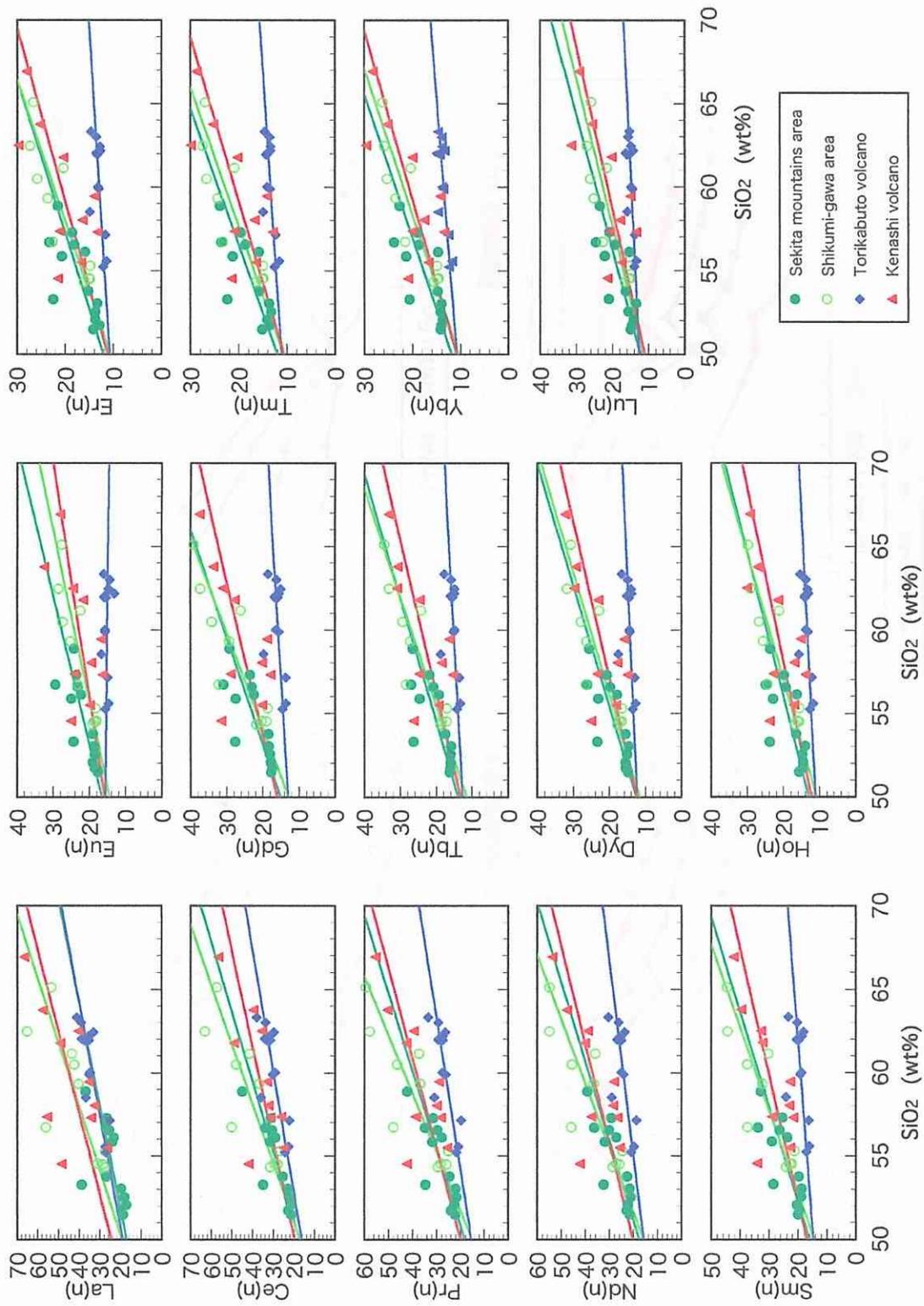


Fig. 4-4-1 ; Silica variation diagrams in REEs for volcanic rocks.

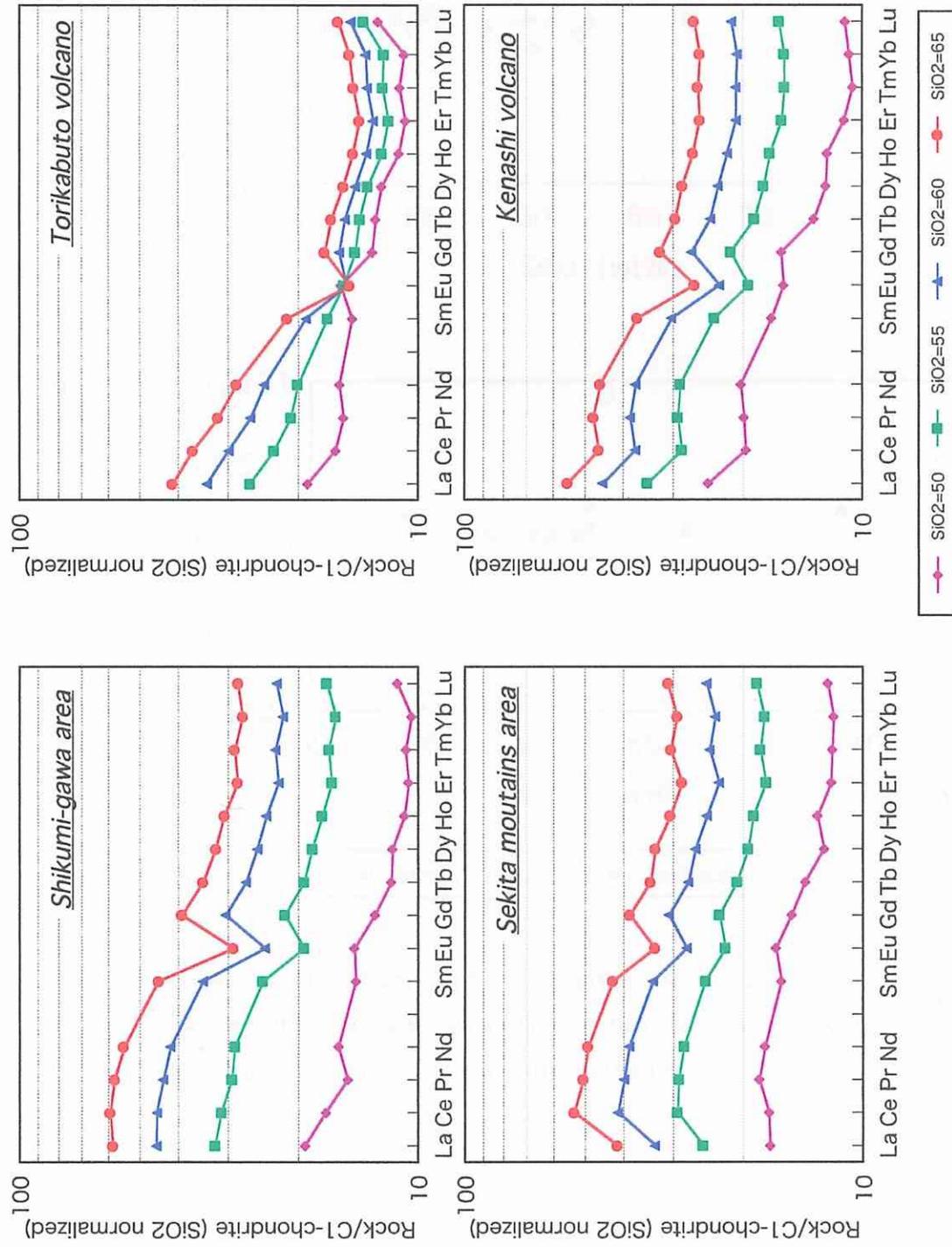


Fig. 4-4-2; C1-chondrite normalized REE pattern for calculated contents. Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

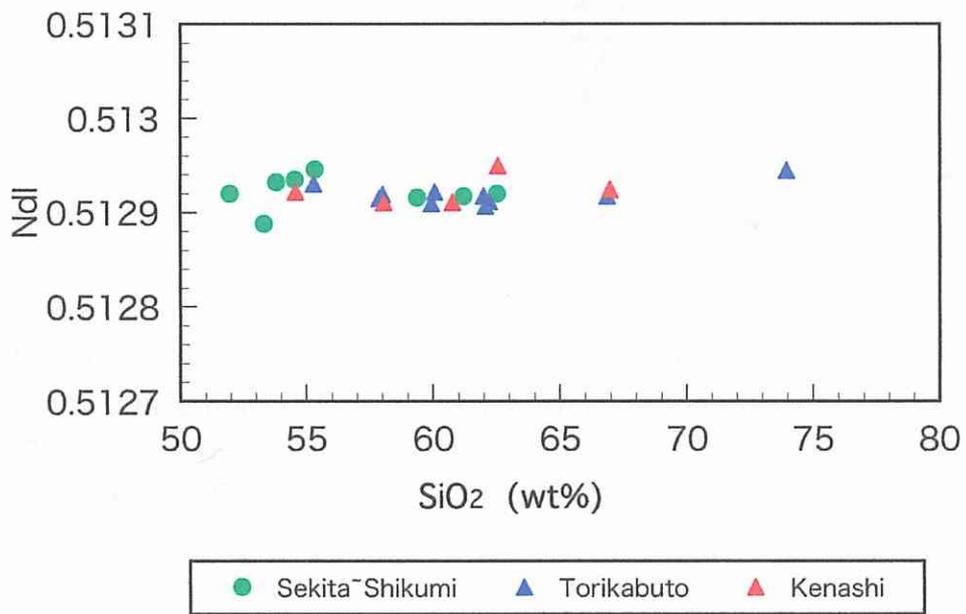
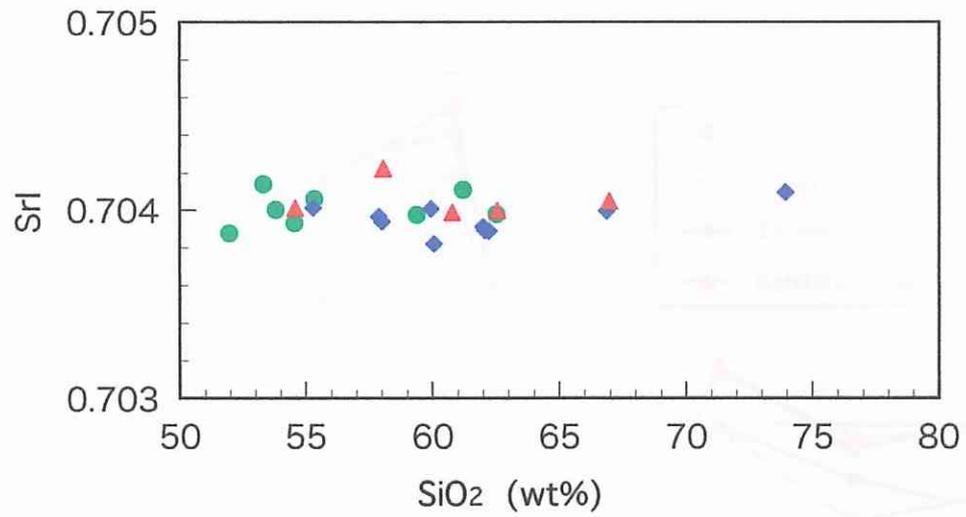


Fig. 4-4-3; NdI and SrI vs, SiO₂ diagram for volcanic rocks (from the Sekita~Shikumi-gawa area, Torikabuto volcano and Kenashi volcano) and inclusions (from Torikabuto volcano).

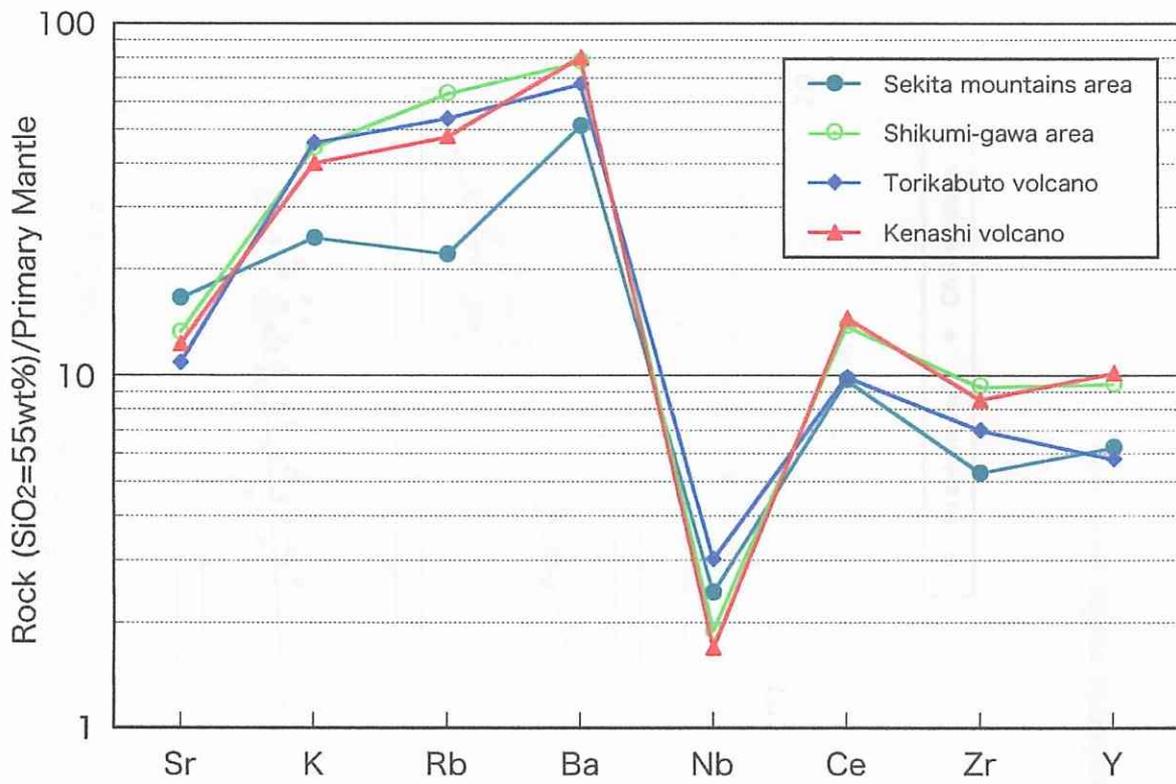


Fig. 4-4-4; Primary Mantle normalized trace element pattern for calculated rocks. Normalization to values of Sun & McDonough (1989).

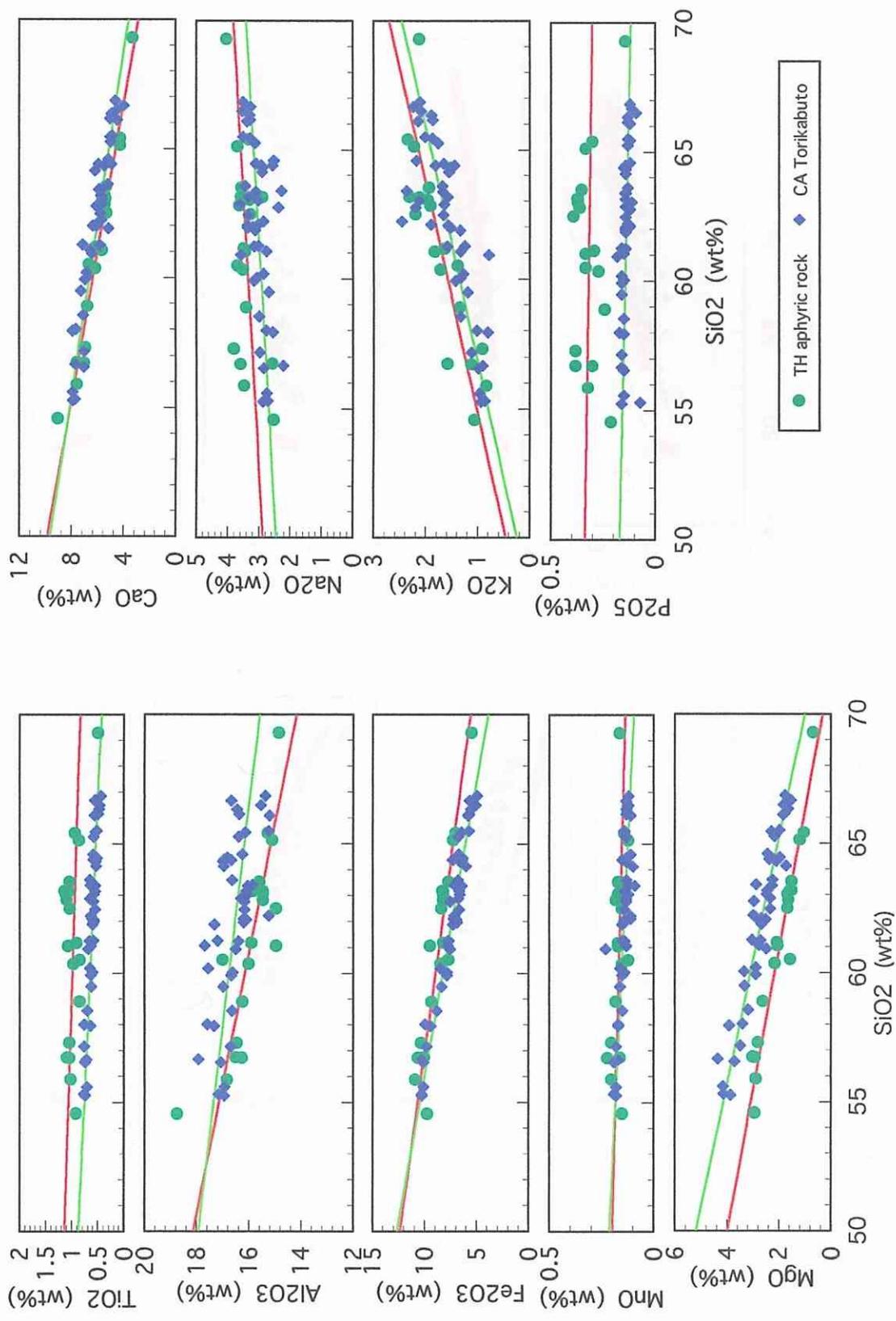


Fig. 4-4-5 ; Silica variation diagrams for tholeiitic aphyric rocks and calc-alkaline rocks.

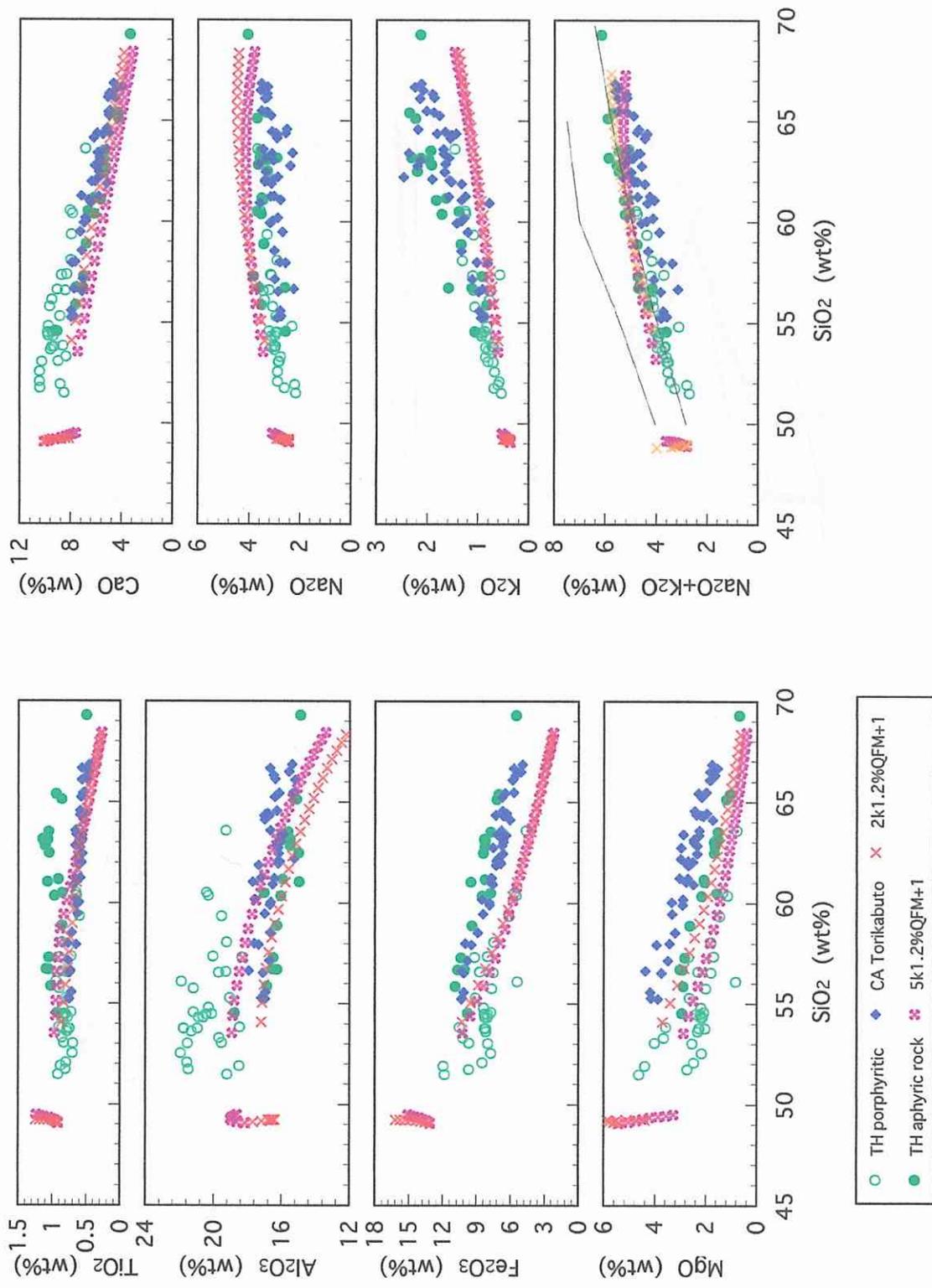


Fig. 4-4-6 ; Silica variation diagrams for tholeiitic, calc-alkaline volcanic rocks and data from Melts calculation.

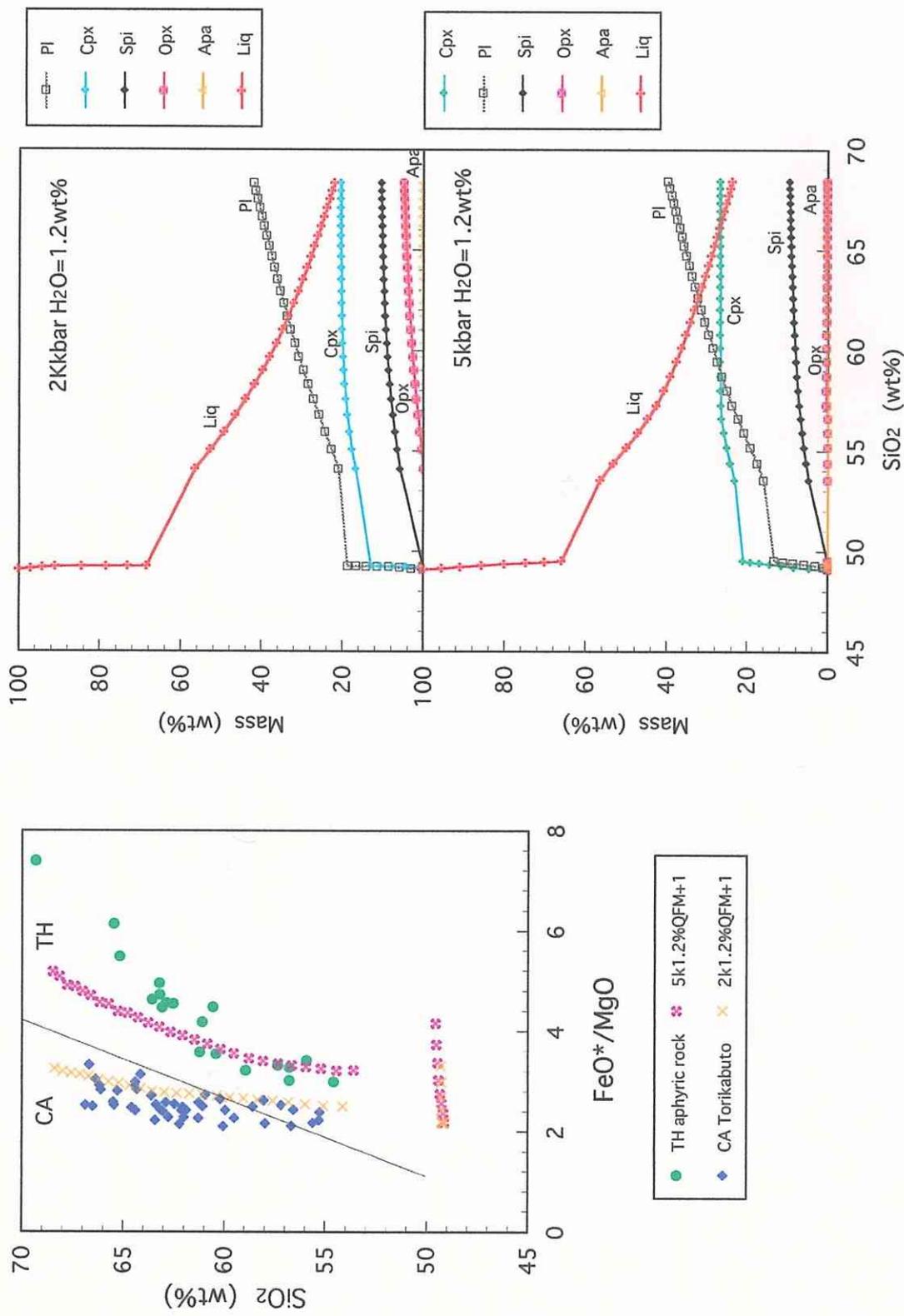


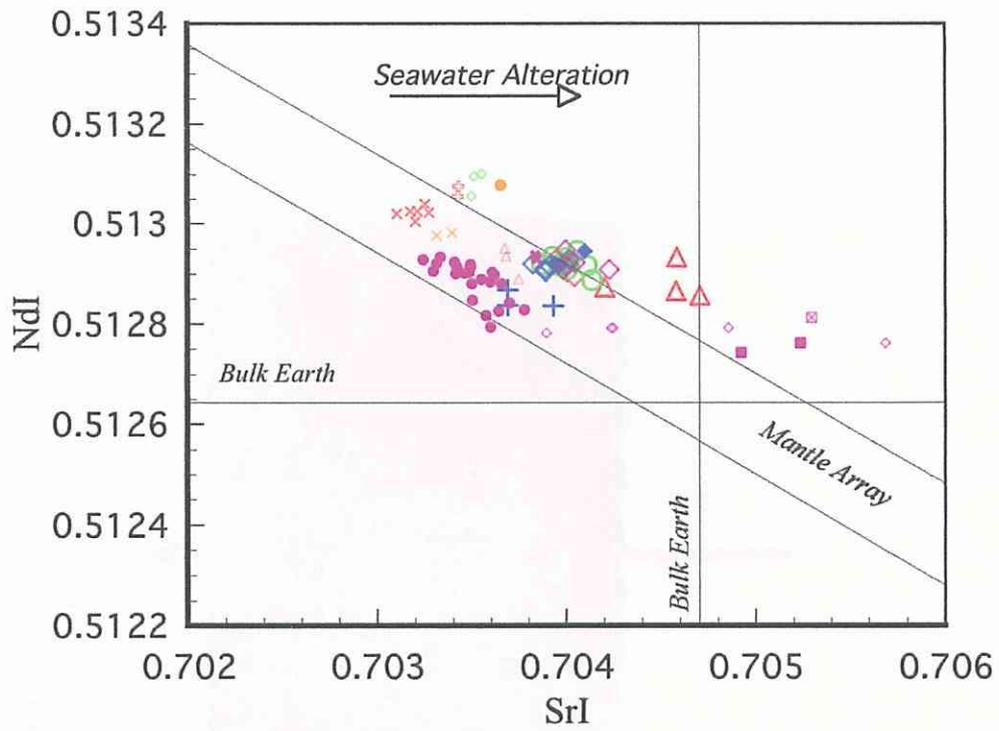
Fig. 4-4-7 ; SiO_2 vs. FeO^*/MgO diagrams for data from Melts calculation.

Fig. 4-4-8 ; Calculated proportion of phenocryst minerals and liquid against SiO_2 content.

V. 結論

Fig. 5-1 NdI vs, SrI diagram for volcanic rocks in Fossa Magna

Fig. 5-2 Model for the secular movement of volcanic and magmatic activities



+	米山層	◇	海川gabbro(Shuto et al.)
△	西田尻層	■	荒倉山gabbro(Shuto et al.)
◇	高井火山岩類	⊠	荒倉山andesite(Shuto et al.)
○	関田・志久見川	●	明神岩(Kondo et al.)
◇	鳥甲火山	△	八ヶ岳(GUST D. A. et al.)
◆	鳥甲 (捕獲岩)	◇	箱根(GUST D. A. et al.)
◇	毛無火山	⊠	富士(GUST D. A. et al.)
×	間瀬(Ohki et al.)	⊠	浅間(GUST D. A. et al.)
×	角田(Ohki et al.)	●	大島(GSJ)

Fig. 5-1; NdI vs, SrI diagram for volcanic rocks in Fossa Magna

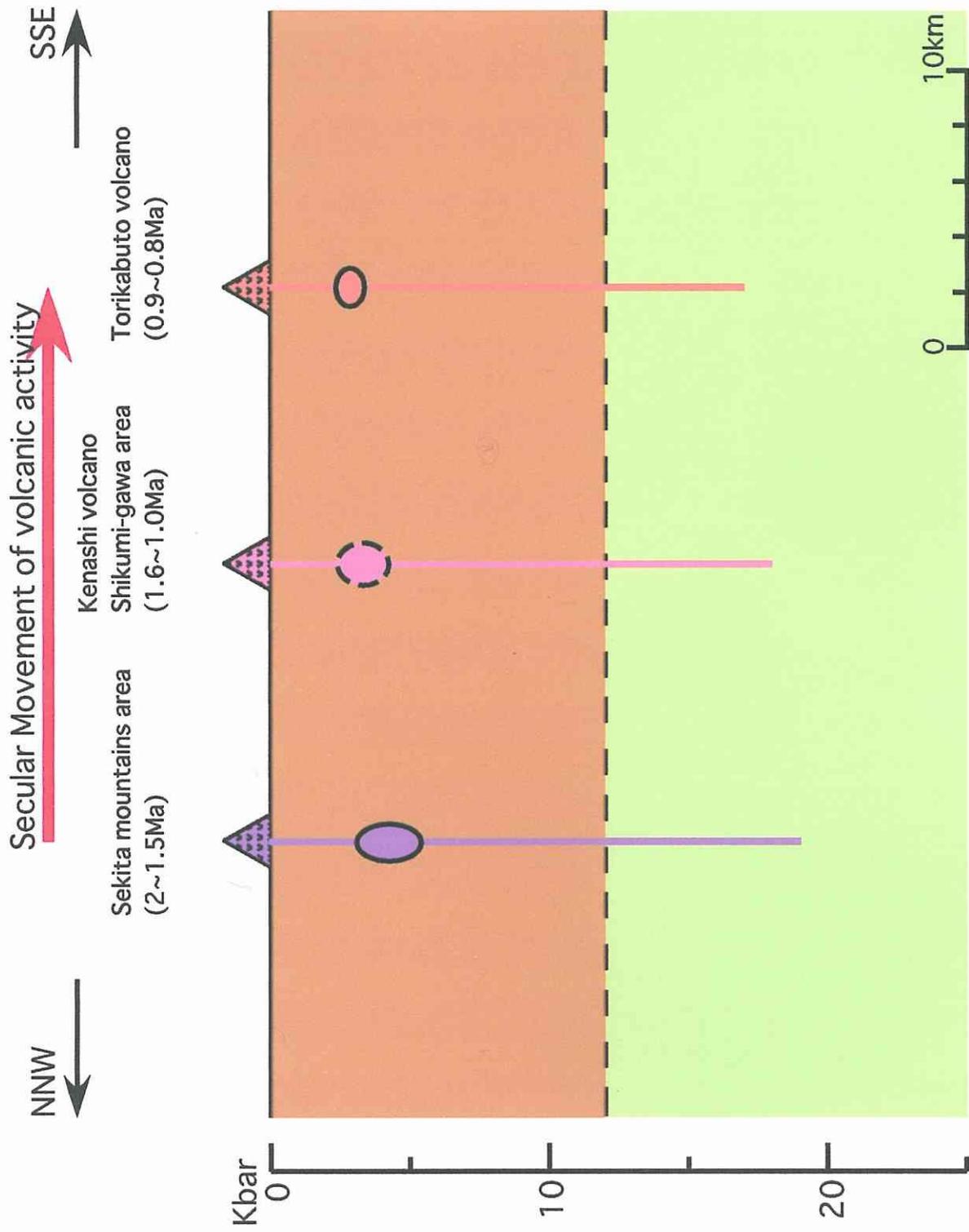


Fig. 5-2; Model for the secular movement of volcanic and magmatic activities