



# 帯磁率異方性を用いた岩体内部構造に基づく深成岩の貫入定置機構の検討：丹沢トータル岩複合岩体と東山梨火山深成複合岩体を例にして

金丸, 龍夫

---

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2005-03-25

(Date of Publication)

2013-02-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3418

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003418>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



# 博士論文

帯磁率異方性を用いた岩体内部構造に基づく  
深成岩の貫入定置機構の検討  
丹沢トータル岩複合岩体と  
東山梨火山深成複合岩体を例にして

平成17年2月

神戸大学大学院自然科学研究科

金丸龍夫

## 目次

Abstract	1
第1章 はじめに	3
第2章 帯磁率異方性から見た丹沢トーナル岩複合岩体の 貫入・定置機構	
2-1 はじめに	5
2-2 貫入・定置メカニズムに関するこれまでの研究	6
2-3 丹沢トーナル岩複合岩体	7
2-4 丹沢トーナル岩複合岩体の定置・固化年代	7
2-5 主期トーナル岩	
2-5-1. 地質	8
2-5-2. 岩石記載	9
2-5-3. 全岩化学組成	12
2-6 方法	
2-6-1. 帯磁率異方性	15
2-6-2. 残留磁化測定	17
2-7 結果	
2-7-1. 全岩帯磁率	17
2-7-2. 帯磁率楕円体の形状と異方度	22
2-7-3. 帯磁率面構造	23
2-7-4. 帯磁率線構造	24
2-7-5. 古地磁気方位	26
2-8 議論	
2-8-1. 岩体の傾動について	27
2-8-2. 定置ユニット	27
2-8-3. 定置と同時期の変形と苦鉄質岩脈について	28
2-8-4. 定置メカニズム	29
2-8-5. 丹沢主期トーナル岩の貫入プロセス	30
2-9 まとめ	32
Appendix2-1	34
Appendix2-2	39

### 第3章 東山梨火山－深成複合岩体の帯磁率異方性

3-1 はじめに	53
3-2 地質概略	53
3-3 研究史	57
3-4 測定方法	59
3-5 結果	
3-5-1. 全岩帯磁率	59
3-5-2. 帯磁率楕円体の形状と異方度	59
3-5-3. 帯磁率面構造	65
3-5-4. 帯磁率線構造	65
3-6 議論	
3-6-1. 岩体の傾動について	70
3-6-2. 全岩帯磁率からみた鉛直累帯構造	70
3-6-3. 溶結構造と帯磁率異方性	70
3-6-4. 小烏山花崗閃緑岩の帯磁率異方性	70
3-7 まとめ	71
Appendix3	72

### 第4章 丹沢主期トーナル岩と小烏山花崗閃緑岩の 不透明鉱物と帯磁率異方性の原因について

4-1 はじめに	86
4-2 不透明鉱物の産状	
4-2-1. 丹沢主期トーナル岩	86
4-2-2. 小烏山花崗閃緑岩	86
4-3 研究方法	86
4-4 分析結果	
4-3-1. 丹沢主期トーナル岩	90
4-3-2. 小烏山花崗閃緑岩	90
4-5 議論	97
4-6 まとめ	104

### 第5章 丹沢トーナル岩複合体中に産する同時性岩脈について

5-1 はじめに	105
5-2 産状と岩石記載	105

5-3 全岩化学組成	112
5-4 議論	112
5-5 まとめ	113
第6章 丹沢トータル岩複合岩体中に産する局所対流の証拠 いわゆる“的様”について	
6-1 はじめに	114
6-2 地質概略	114
6-3 岩石記載	121
6-4 分析方法	121
6-5 結果	
6-5-1. 全岩主成分組成	125
6-5-2. 鉱物組成	125
6-6 議論	126
6-7 まとめ	130
Appendix6	131
第7章 まとめ	147
謝辞	149
文献	150

## Abstract

The anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) of the Tanzawa tonalite and Higashi Yamanashi volcano-plutonic complex are studied in order to study the emplacement mechanisms of their magma. The Tanzawa main tonalite and Kogarasuyama granodiorite comprise ferromagnetic granite. The anisotropy of magnetic susceptibility of the above two plutons are caused by the shape of titanomagnetite clots and/or titanomagnetite grains included in elongated minerals such as hornblende and biotite.

The Tanzawa main tonalite is divided into four rock units based on magnetic foliation; the Kurokuragawa, Murokubogawa, Mizunokizawa, and Ishiwariyama units. Each unit is a laterally zoned pluton with mafic margin grading to felsic core. The dips of magnetic foliations are generally steep near the margin of each unit compared with core of the unit. The dip of magnetic lineation is steep around the margin of the units, representing the position of the feeder of magma. On the contrary, the dip of magnetic lineation in the inner part of the unit is gentle. The magnetic foliation and lineation in the Ishiwariyama unit are disturbed by the local thermal convection induced by the intrusion of the high temperature magma from the syn-plutonic dikes. Existence of the dikes and deformation in the last stage of solidification of magma by the left lateral strike-slip tectonic movement indicate that the tonalite magma may have been emplaced under the transtensional tectonic situation. The space of each unit might be created by the downdrop of floor. Magma migrated upward through ring-shaped feeder along the margin of the subsiding floor, constructing a lopolith-like pluton.

Higashiyamanashi volcano-plutonic complex consists of Konarayama volcanoclastics and Kogarasuyama granodiorite. The trend of magnetic foliation and magnetic lineation of the both rocks generally indicate NNE-SSW direction, which is concordant with elongation of the complex. The magnetic foliations of Konarayama volcanoclastics are concordant with the arraignment of the fiammes. The magnetic lineation of Konarayama volcanoclastics has to tends to be steeper around the contact of Kogarasuyama granodiorite. The result may indicate the effect of recrystallization of contact metamorphism. The dip of magnetic foliation of kogarasuyama granodiorite is generally steep. However, the dip of magnetic foliation is rather gentle in some places, which show existence of the roof of magma chamber. The dip of magnetic

lineation is steep around the center and the margin of the pluton, representing the position of the feeder of magma. Kogarasuyama granodiorite can be divided into a few units based on AMS data. These data suggest that the magma of Kogarasuyama pluton flowed around the center and the margin of the magma chamber.

Field evidence and microscopic feature of the syn-plutonic dikes and Mafic magmatic enclaves in Tanzawa tonalite indicate that they intruded into host tonalite. These rocks were mingled with the tonalite magma. They have medium-K, high alkali tholeiitic chemical composition. On the other hand, the Tanzawa tonalite has low-K, low Alkali tholeiitic feature. These features mean that syn-plutonic dike is derived from another basic magma. Parental magma of the syn-plutonic dike was generated in association with back-arc rifting caused by upwelling of mantle substance.

In northern part of Tanzawa tonalite complex, Concentric structure, which so called "Mato sama" occurred. "Mato sama" mainly consists of two types of melanocratic rocks, darker part and darkest part, and anorthositic rock. Field evidences indicate that intrusion of the dike has close relation to the melanocratic rock and anorthositic rock. In microscope, the anorthositic rock represents cumulus texture. Temperature of the dike is about 1000°C by using two pyroxene method. In Harker diagrams, composition of melanocratic rock can be explicable by subtracting composition of anorthositic rock from those of host quartz diorite. Chemical composition of the plagioclases of the host quartz diorite are similar to those of anorthositic rock and Darker part. Amphiboles of host quartz diorite, anorthositic rock and melanocratic rock have similar chemical composition. Field evidences, microscopic features and chemical characteristics of these rocks imply a model producing these rocks concerning with genesis. Hot syn-plutonic dike intruded into crystal-mush magma chamber which is mainly comprised by plagioclase and inter-crystal melt. Inter-crystal melt was moved by thermal anomaly. Inter-crystal melt became Darkest part. Inter-crystal melt with small amount of the plagioclase became Darker part. Movement of inter-crystal melt related to local thermal convection in Tanzawa tonalite magma chamber made the concentric structure with flow differentiation or formation of thermal plume.

## 第1章 はじめに

火成岩体の成因を考える上では、岩体を形成するに至ったマグマの成因とそのマグマの貫入・定置メカニズムの双方について検討される必要がある。貫入・定置メカニズムの検討のためには、その定置時に残される構造を調査することは非常に重要である。その手法はこれまでは肉眼観察や顕微鏡観察などによっていた。しかし、これらの手法では客観的・定量的な結果を得ることは困難であった。これに対し岩石の帯磁率異方性 (Anisotropy of Magnetic Susceptibility: AMS) を測定することにより、客観的・定量的なデータを比較的容易に得ることが出来るため様々な岩体についてその測定が行われている。深成岩体の貫入・定置メカニズムの解明には、帯磁率異方性に基づく岩石ファブリック解析が、近年多くの成果を収めている (Bouchez, 1997 など)。しかし、国内の火成岩体に於いて詳細にその測定を行った報告例はほとんど無い。本論では丹沢トータル岩複合岩体と東山梨火山-深成複合岩体に於いて帯磁率異方性測定を行った結果を報告する。まず、丹沢トータル岩複合岩体の例について報告し、同時性岩脈や変形組織についての調査を加え、その定置機構についての検討を行った。さらに、東山梨火山-深成複合岩体を構成する小檜山火山岩類と小烏山花崗閃緑岩で帯磁率異方性を測定した例を示した。さらに、小檜山火山岩類の構造を明らかにする上で帯磁率異方性が有効である事を示し、これまで無構造であると考えられていた小烏山花崗閃緑岩の構造を明らかにした。

弱磁場における全岩帯磁率は、古地磁気方位や現在の磁場強度とは無関係に鉱物の持つ磁化のしやすさによってのみ決まり、また鉱物粒子の形態や結晶軸の方向に依存した異方性を示す。このことを帯磁率異方性とよぶ。例えば鉱物が十分に大きく多磁区構造を持つ場合には、鉱物の長軸方向が最大帯磁率方向となる。帯磁率異方性は主として磁性を持つ鉱物の配列によって決まるので、帯磁率異方性を測定することで、岩石中の常磁性および強磁性鉱物の配列によって形成される面構造 (葉理) や線構造を科学的に知ることができる。帯磁率異方性によれば、肉眼的に鉱物の面構造や線構造が明瞭でない場合にも、岩石のファブリックを客観的かつ定量的に明らかにすることができるという利点がある。岩石試料における帯磁率異方性には、岩石中の強磁性鉱物や常磁性鉱物の個々の形状や結晶構造などに由来するものと、それらの鉱物の配列の度合いに原因するものがあり、両者をあわせたものが試料全体の全岩帯磁率異方性となる。特に強磁性鉱物 (例えば磁鉄鉱) を 0.1vol.% 以上含む場合には、観測される帯磁率異方性は基本的にそれらの強磁性鉱物に支配される (Talling and Hrouda, 1993)。このため、帯磁率異方性を用いる場合、その岩石に含まれる磁性鉱物を同定し、その産状を明らかにすることが重要となる。そこで、丹沢トータル岩と小烏山花崗閃緑岩について、EPMAによる鉱物分析と観察、元素マッピングにを用い磁性鉱物の同定と配列の観察を行った。

花崗岩体には、しばしばその活動と同時期に活動したと考えられる苦鉄質同時性

岩脈が認められる。これらは、珪長質火山噴火との関わりや花崗岩マグマの成因などとの関係があると考えられ、最近注目を多くの集めている。それらは、しばしば母岩の花崗岩と混合・混交した組織を示す。丹沢トーナル岩複合岩体には、岩体内数ヶ所で同時性岩脈が認められる。そこで、丹沢主期トーナル岩中に産する同時性岩脈について主に化学組成の面から検討し、丹沢トーナル岩複合岩体との関係について検討した。

丹沢トーナル岩中にはシュリーレン状の構造や斜長岩ポケットなど局所的に不均質な岩石が認められる。岩体北部室久保川河床には、有色鉱物の濃集した優黒質岩と斜長岩質岩からなる同心円構造が認められ、通称「的様」と呼ばれている。これは丹沢主期トーナル岩マグマに発生した局所対流の証拠であると考えられる。そこで、この同心円上構造の周辺の岩石の全岩化学組成と鉱物組成を行い、その成因についても検討した。

## 第2章 帯磁率異方性から見た 丹沢トータル岩複合岩体の貫入・定置機構

### 2-1 はじめに

はんれい岩からトータル岩まで幅広い組成の深成岩類からなる丹沢トータル岩複合岩体（滝田，1974）は，前期中新世から中期中新世の丹沢層群中に定置した新第三紀の深成岩体である（Fig. 2-1）．丹沢層群は様々な島弧海底火山岩類やその2次堆積物からなり，古伊豆・小笠原火山弧の一部を形成していたものと考えられている（有馬ほか，1999；天野ほか，2003など）．また，特に南部の丹沢層群の一部は緑色片岩相から角閃岩相に至る明瞭な変成作用を受けており，結晶片岩などの変成岩類となっておりいる（相馬・吉田，1968；Seki et al., 1969, 鳥海・荒井，1986；荒井，1987）．鳥海・荒井（1986）によるとその変成震度は1～2 kmから6～7 kmである．藤ノ木-愛川構造線と神縄断層に挟まれた丹沢層群と深成岩

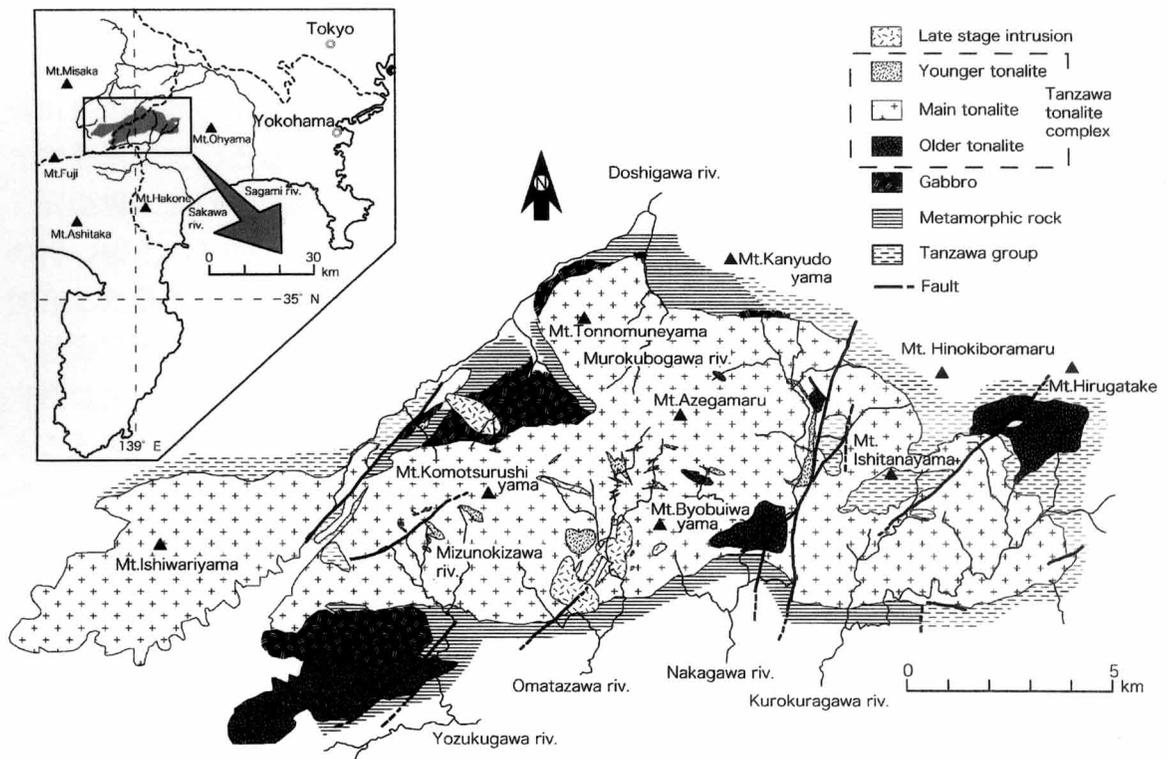


Fig.2-1. Map showing the geology of Tanzawa tonalite complex(modified after Takita, 1974 and Sugiyama, 1976).

類からなる丹沢ブロックは、フィリピン海プレートの北上にともなって6Ma頃に本州側に衝突付加したものと推定されている(天野,1986; Niitsuma,1989など)。また、丹沢トータル岩複合岩体は未成熟な島弧地殻の中部地殻を代表する深成岩体と考えられており(Taira et al.,1997など)、丹沢トータル岩複合岩体の形成過程を明らかにする事は、島弧地殻の発達過程を知る重要な手がかりとなる。丹沢トータル岩複合岩体を形成するに至ったマグマの成因については、これまで多くの議論がなされてきている(Ishizaka and Yanagi,1977;石原ほか,1976; Sato,1991; Kawate and Arima,1998など)。これに対して、岩体を形成するに至ったマグマの貫入・定置メカニズムについては、いくつかの仮説が提示されてきてはいるが、未だ明確な結論は得られていないのが現状である。

帯磁率異方性より得られた岩石ファブリックに基づきマグマの貫入・定置メカニズムを議論する際には、貫入・定置後に岩体が著しく傾動していないことを確かめておく必要がある。本章では、丹沢トータル岩複合岩体貫入・定置後の丹沢ブロックの傾動について検討するために古地磁気方位の測定を行い、さらに、帯磁率異方性の測定に基づく岩石ファブリックの解析により、丹沢トータル岩複合岩体、特に主要部を占めるトータル岩体の貫入・定置メカニズムについて検討を行った。

## 2-2 貫入・定置メカニズムに関するこれまでの研究

丹沢トータル岩複合岩体の形態の推定を含めた貫入・定置メカニズムに関連するこれまでの研究としては、Yoshii (1928)、森下 (1933)、森下 (1934)、見上 (1958)、相馬 (1968)、滝田 (1974)、荒井 (1987) などがある。Yoshii (1928) と森下 (1933) は、丹沢トータル岩複合岩体は東西に延びる構造線に沿って貫入した板状で底のすぼまる形態をもった一種の”ethmolith”であると考え、相馬 (1968) と滝田 (1974) も、内部の岩石ファブリック(葉理・面構造)解析から、同じくロート状の構造をもつ岩体であるとみなした。これに対して森下 (1934) は、鉱物配列の面構造(葉理)やシュリーレンの構造から、むしろ下方に広がるストックであると推定している。また見上 (1958) は、岩体北部に塊状のホルンフェルスがそして岩体南部に片状構造をもつ変成岩類が分布することなどから、東西に伸長した北傾斜の板状岩体が南方に衝上するように貫入することで後者が形成されたと考えた。一方、荒井 (1987) は、主として変成岩類の分布やその線構造そして変成作用のP-T-t経路解析の結果などから、丹沢トータル岩複合岩体が東方に大きく傾斜したダイアピル状岩体であることを主張した。以上のように、岩体の形態や貫入・定置メカニズムに関する議論には(1)底のすぼまるロート状岩体(2)底ひろがりのストック状岩体(3)南方向に衝上するように貫入した北傾斜の板状岩体(4)東傾斜したダイアピル状岩体など様々なものがあり、未だ決着がつかない。

## 2-3 丹沢トータル岩複合岩体

丹沢トータル岩複合岩体は、東西 25km 南北 3 ~ 8km の東西に伸長した細長い形態を有するバソリス規模の貫入岩体であり、はんれい岩質深成岩体および石英閃緑岩、トータル岩、トロニウム岩などからなる珪長質深成岩体から構成される。滝田 (1974) は、野外での貫入関係や顕微鏡による岩石記載および鉱物モード組成から、丹沢トータル岩複合岩体の岩相および岩体区分を初めて明らかにした。それによれば、丹沢トータル岩複合岩体は、最初期に活動したはんれい岩体を除くと、少なくとも 18 の独立した岩体と 10 の岩型から構成され、第 I 期から第 IV 期までの 4 つの貫入ステージからなる。第 I 期 (約 9 面積%) の大滝沢型はカミングトン閃石普通角閃石閃緑岩および普通角閃石石英閃緑岩、熊木沢型は普通角閃石石英閃緑岩、普通角閃石斜方輝石石英閃緑岩、含斜方輝石普通角閃石トータル岩からなる。第 II 期の深成岩類は複合岩体の大部分 (約 90 面積%) を占め、ユーシン型は普通角閃石黒雲母トータル岩、普通角閃石黒雲母トロニウム岩、畦ヶ丸型は黒雲母普通角閃石トータル岩、普通角閃石黒雲母トータル岩、普通角閃石黒雲母トロニウム岩、黒雲母普通角閃石石英閃緑岩からなる。より苦鉄質鉱物に乏しく優白質のユーシン型は岩体東部玄倉川流域のユーシン岩体と西部の石割山岩体に分布し (杉山, 1976)、畦ヶ丸型はそれ以外の岩体主要部を占める畦ヶ丸岩体を構成する。第 III 期と第 IV 期の深成岩類は量的にはきわめて少なく (約 1 面積%以下)、小型の貫入岩体からなる。第 III 期の箱根屋沢型と地藏沢型は黒雲母普通角閃石トータル岩および普通角閃石黒雲母トータル岩から、板小屋沢型は普通角閃石黒雲母石英閃緑斑岩から、用木沢型は普通角閃石黒雲母トータル斑岩から、モミの木沢型はカミングトン閃石黒雲母トロニウム岩および黒雲母カミングトン閃石トロニウム岩からなる。また第 IV 期の富士見型は黒雲母トロニウム岩および黒雲母トータル岩からなる。このうち畦ヶ丸岩体は周縁部で苦鉄質鉱物に富み色指数が高い傾向がある。

本研究では第 I 期トータル岩体を古期トータル岩体 (older tonalite)、第 II 期トータル岩体を主期トータル岩体 (main tonalite)、第 III 期および第 IV 期トータル岩体を新期トータル岩体 (younger tonalite) と呼ぶことにする (Fig. 2-1)。

## 2-4 丹沢トータル岩複合岩体の定置・固化年代

丹沢トータル岩複合岩体の放射年代を明らかにした研究としては、Kawano and Ueda (1966)、佐藤ほか (1986)、佐藤ほか (1990)、Saito et al. (1991)、Saito (1993) などがある。Kawano and Ueda (1966) は黒雲母の K-Ar 年代を測定し、東

部のユーシン岩体で5.2Ma, 畦ヶ丸岩体で4.3Ma, 西部の石割山岩体で7.6Maの年代を報告している。佐藤ほか(1986)では, 黒雲母のK-Ar年代については, ユーシン岩体で4.8Ma, 畦ヶ丸岩体北東部で4.6Ma, 畦ヶ丸岩体南西部で5.1Ma, 普通角閃石のK-Ar年代については, 畦ヶ丸岩体北東部で10.1Ma, 畦ヶ丸岩体南西部で10.7Maの値を得ている。さらに, これらの測定結果から, 丹沢トータル岩複合岩体は約11Maから4Maの間に平均で50°C/Maのゆっくりとした速度で冷却したと考えられている。また, 畦ヶ丸岩体南縁部の燐灰石のフィッシュトラック年代が2.5Maの年代を示すことから, 4Ma以降岩体の冷却速度が速まったと考えた(佐藤ほか, 1990)。一方, Saito et al. (1991)は, 主期トータル岩体中の多数の普通角閃石についてK-Ar年代を測定し, それらが約7Maの年代を示すことを明らかにした。彼らは, 10Maなどの古い年代は真の年代を代表せず, 普通角閃石中の過剰アルゴンによるものであると判断した。また, この7MaというK-Ar年代は, Saito (1993)の普通角閃石についてのAr-Ar法による測定によっても支持されることになった。したがって, 丹沢トータル岩複合岩体の主期トータル岩体は, 7Maには普通角閃石の閉鎖温度(約550°C)に到達しており, その貫入固化時期も, この年代と大きく異なることはないものと考えられる。

## 2-5 主期トータル岩体

### 2-5-1. 地質

丹沢トータル岩複合岩体の大部分を占める主期トータル岩体と母岩の丹沢層群(およびその変成岩類)との境界は観察し得る限りではきわめて明瞭であり, 脆性的に破壊された母岩の割れ目中に母岩の構造を切る形でトータル岩の貫入がみられるなど, 典型的ないわゆる”discordant pluton”の様相を呈する。母岩起源とみなされる捕獲岩は貫入境界部付近を除いて多くはみられないが, 岩体西部の石割山(いしわりやま)周辺などのように, 長径数10cmから数cm程度の丹沢層群を構成する岩石の捕獲岩が多数認められる場合もある。貫入境界の傾きはほとんどの場所で70°以上ときわめて急傾斜であるが, 岩体東部の石棚山から桧洞丸にかけての地域では傾斜が緩やかになってルーフを構成しており, 石棚山周辺には長径2km短径1km余りの大型のルーフペンダントがみられる(Fig. 1)。

滝田(1974)はユーシン岩体の一部にトータル岩質ペグマタイト岩脈を報告しているが, 主期トータル岩体中にはアプライト・ペグマタイトは基本的に認めることができず, 代わりに斜長岩質の優白質脈あるいは優白質レンズがよく発達する。

主期トータル岩体には, ほぼ全域で苦鉄質包有岩がみられる。苦鉄質包有岩のうち, 長径10cm以上のものの分布密度は0.5から1.5個/m<sup>2</sup>程度である。岩体中西部菰釣山(こもつるしやま)周辺や西部の石割山周辺には, 同時性岩脈(Syn-

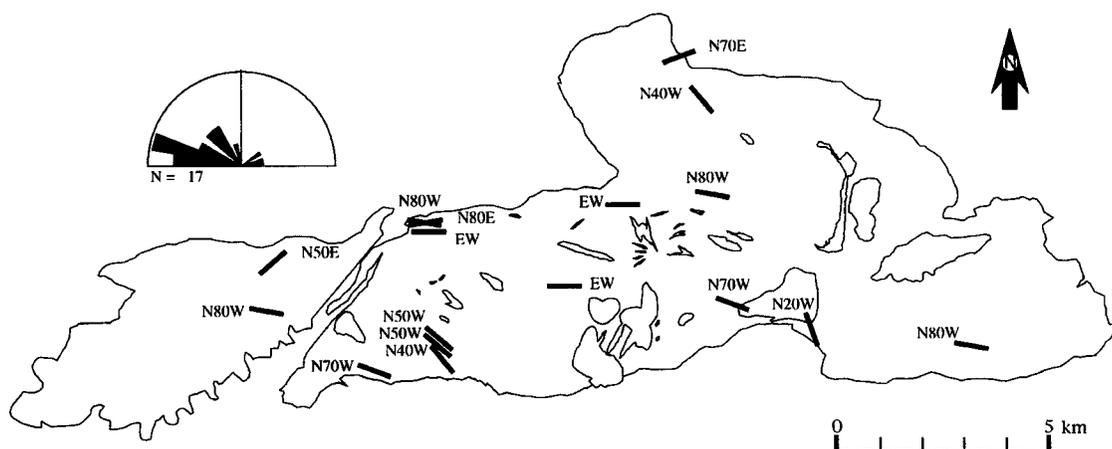


Fig.2-2. Map and rose diagram showing the location and strike of syn-plutonic dikes and enclave swarms.

plutonic dike) やそれに由来すると考えられる苦鉄質包有岩の密集地域が数カ所で認められる (Fig. 2-2). 特に石割山東部から北東部の約  $3\text{km}^2$  の地域および南西部の  $1\text{km}^2$  の地域では、苦鉄質包有岩が高密度で分布し、それらの多くはシート状の拡がりをみせている。同時性岩脈は、逆入脈 (back vein) などによって分断された岩脈であったり、あるいは苦鉄質包有岩が「岩脈状」に密に配列したものであったりする場合が多い (Fig. 2-3A). それらの走向はほぼ東西性のものが卓越する。上述の石割山東部から北東部および南西部では、同時性岩脈も良く発達する。一方、苦鉄質包有岩や同時性岩脈と母岩のトータル岩との境界部にはしばしば火炎状組織が発達し、急冷縁を有する場合もある (Fig. 2-3B). また、境界部ではしばしば両者が混交した組織を示す。

主期トータル岩体中西部水の木沢から菰釣山周辺には幅  $2\text{km}$  ほどの領域において顕著な片麻状組織が発達する (Fig. 2-4). 片麻状組織の平均的な走向傾斜はおよそ  $\text{N}50^\circ \text{W}80^\circ \text{N}$  である。この周辺に見られる苦鉄質包有岩や斜長岩質脈もこの構造に調和的に変形し引き延ばされている。苦鉄質包有岩のアスペクト比 (長径 / 短径比) は最大  $20.0$  以上にも達し、著しい扁平化を示す。また、優白質斜長岩脈の褶曲構造から、この剪断帯が左横ずれ変位を受けていることがわかる (Fig. 2-4A・B).

## 2-5-2. 岩石記載

主期トータル岩は中粒から粗粒のトータル岩、トロニウム岩、石英閃緑岩からなる。主要構成鉱物は、斜長石、普通角閃石、カミングトン閃石、石英、黒雲母であり、少量のカリ長石、単斜輝石、斜方輝石をとともなう。さらに副成分鉱物と

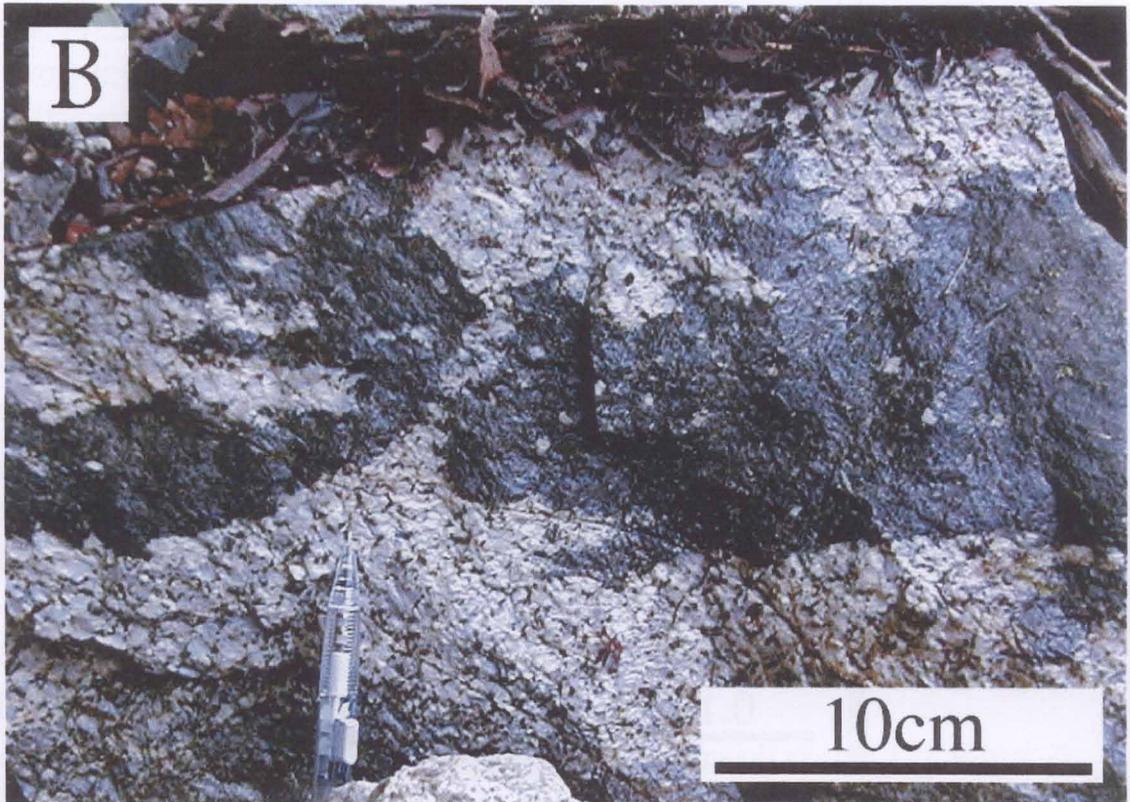


Fig.2-3. Syn-plutonic dike and mafic inclusion. (A) E-W trending syn-plutonic dike is cut by back-vein of host tonalite (arrow). (B) Flame-shaped margin of mafic enclave.

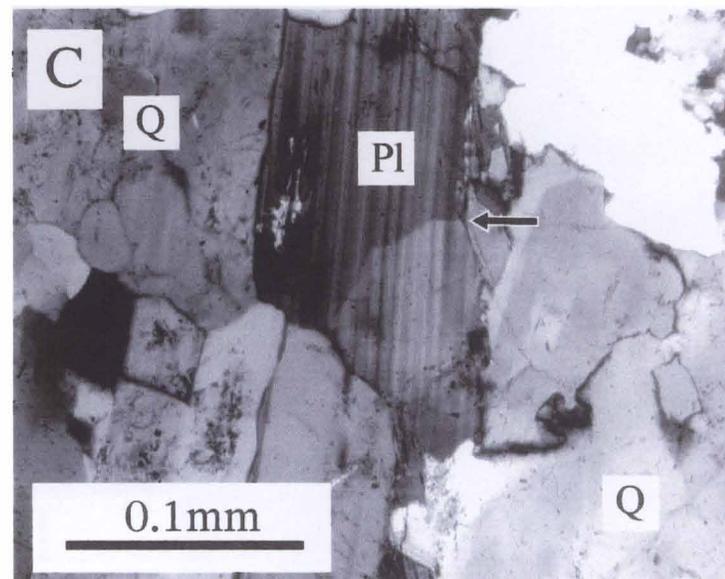
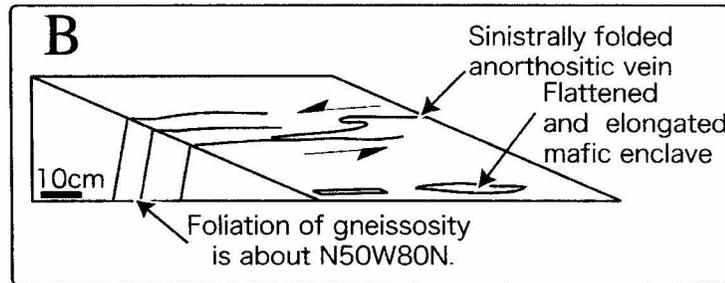
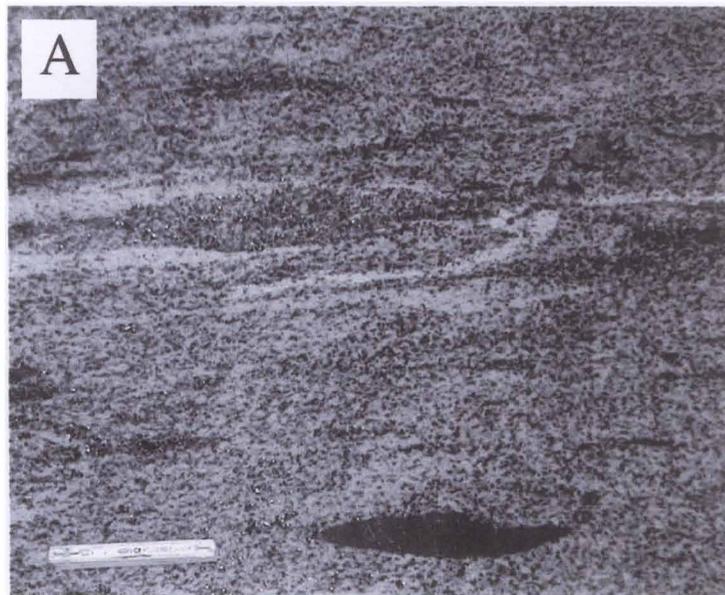


Fig.2-4. Deformed tonalite gneiss. (A) Foliation of gneissose tonalite. A leucocratic band with anorthitic composition is sinistrally folded, indicating the left-lateral strike slip movement. Mafic inclusions are flattened and elongated. Strike and dip of foliation are about  $N50^{\circ} W$  and  $80^{\circ} S$ , respectively. The scale bar is 15cm. (B) Sketch showing the outcrop of photograph A. (C) Texture of gneissose tonalite under the microscope (crossed nichol). A plagioclase is banded (arrow in the center), but the circumambient quartz is not so deformed. Q:quartz; Pl:plagioclase.

して磁鉄鉱，燐灰石，スフェーン，ジルコンなどを含む。斜長石は，自形から半自形で卓状から短柱状の形態を有し，累帯構造を示すものが多い。普通角閃石は青緑色から緑色ないしは褐緑色を示し，自形から半自形でポイキリティックに斜長石，磁鉄鉱を包有する。カミングトン閃石は普通角閃石に伴って産する。石英は他形充填的なものと斑状のものがああり，岩体東部と西部の優白質トーナル岩あるいはトロニウム岩で斑状組織を示すものが卓越する。黒雲母は褐色から濃褐色を示す他形充填的結晶が一般的であるが，普通角閃石とともに出現することが多く，しばしば磁鉄鉱を伴う。カリ長石は優白質トーナル岩の粒間を充填しており，また単斜輝石と斜方輝石は主として普通角閃石の中核部に虫食い状または不定形の残晶として産する。

優白質脈あるいは優白質レンズを構成する斜長岩質岩は，自形斜長石が集積しその粒間を他形石英，角閃石および黒雲母が充填する一種のキュームレイト組織を示す。

同時性岩脈構成岩および苦鉄質包有岩の斑晶量は様々であり，石基は完晶質であるが等粒状から長柱状結晶が配列した流状組織を示すものまで多様性に富む。構成鉱物は斑晶，石基ともにそのほとんどが斜長石と普通角閃石である。またこれらの中には，ふるい状組織などの液との分解反応組織を示す斜長石，さらに普通角閃石の反応縁を有する石英がみられる。

丹沢トーナル岩には多かれ少なかれ石英の波動消光が見られるが，岩体中西部水の木沢周辺に露出する片麻状組織を示す岩石には，著しい石英の波動消光やサブグレイン化，斜長石双晶の屈曲，キックバンド，鉱物内微小断層，黒雲母の劈開の湾曲，キックバンドなどの変形組織が発達する (Fig. 2-4C)。ただし，この周辺の苦鉄質包有岩が肉眼的に顕著な変形を被り，また面構造（葉理）の発達も著しいという肉眼的な特徴をもつが，顕微鏡下で観察される鉱物の変形度は小さく，結晶の著しい細粒化あるいは脆性破壊などの変形は微弱である。一方，このような変形組織を示す斜長石に接して，ほとんど変形を示さない他形充填的な石英が存在したり，斜長石の割れ目に沿って同様の石英が入り込んでいたりすることがある (Fig. 2-4C)。

### 2-5-3. 全岩化学組成

高橋ほか (2004) で使用した全岩化学分析値を Appendix 2-1 として添付する。主期トーナル岩体の全岩  $\text{SiO}_2$  量は，53～72wt.% と幅広い変化を示す (高橋ほか，2004)。 $\text{SiO}_2$  変化図上では，各酸化物ともほぼ直線的な変化トレンドを有し， $\text{SiO}_2$  量が増加するにつれて  $\text{TiO}_2$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{FeO}^*$ ， $\text{MnO}$ ， $\text{MgO}$ ， $\text{CaO}$ ， $\text{P}_2\text{O}_5$  が減少し， $\text{Na}_2\text{O}$ ， $\text{K}_2\text{O}$  が増大する (Fig. 2-5)。 $\text{K}_2\text{O}$  量に乏しいのが特徴であり，Gill (1981) の low-K 系列に属する (Fig. 5)。また  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  vs.  $\text{SiO}_2$  図ではカルクアルカリ系列の領域にプロットされる (Fig. 2-5)。

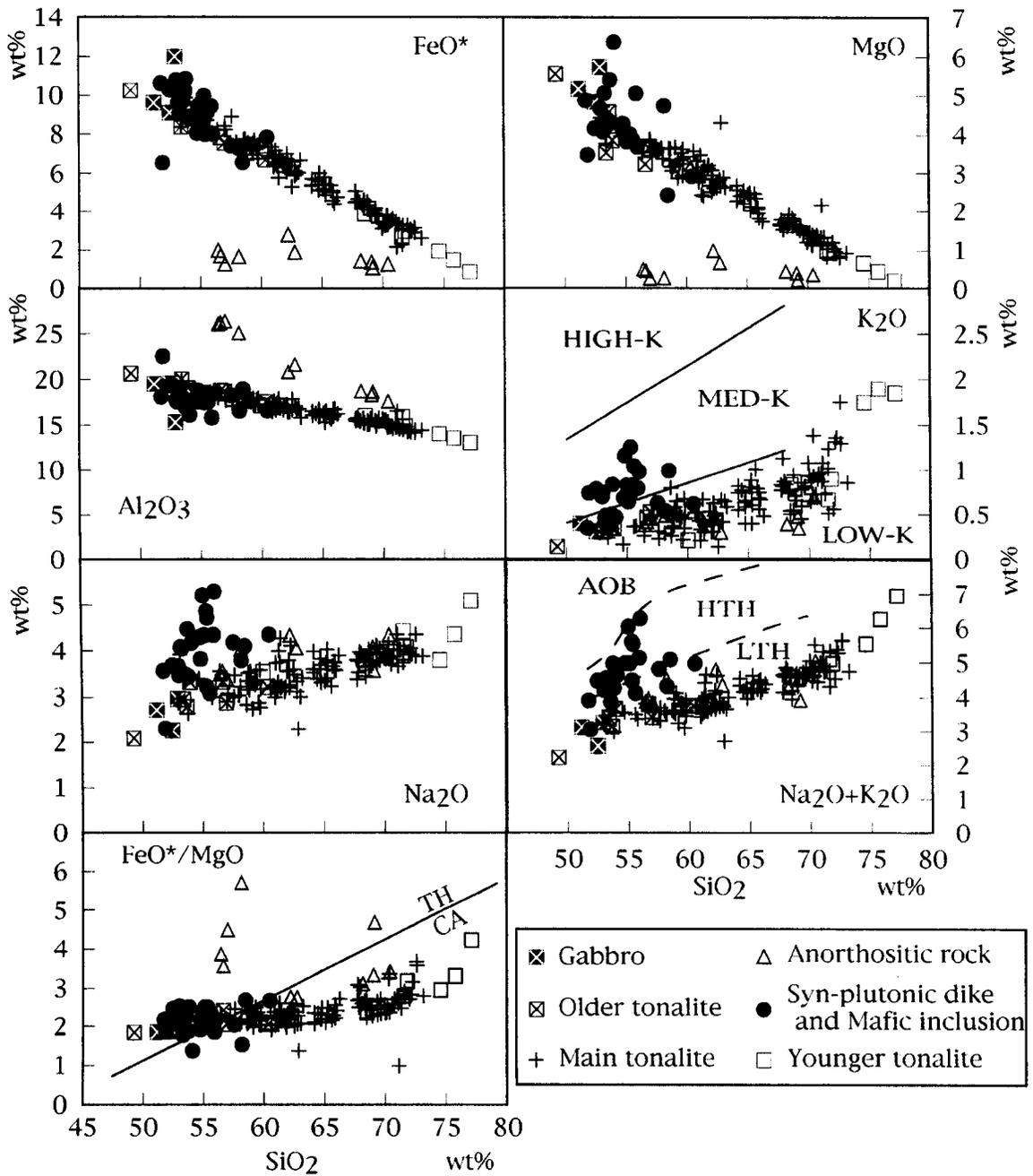


Fig.2-5. Silica variation diagrams for whole-rock major element chemistry of Tanzawa tonalite complex (after Takahashi et al., 2004). AOB: alkali- olivine basalt series; HTH: high-alkali tholeiite series; LTH: low-alkali tholeiite series; TH: tholeiitic rock-series; CA: calc-alkaline rock-series.

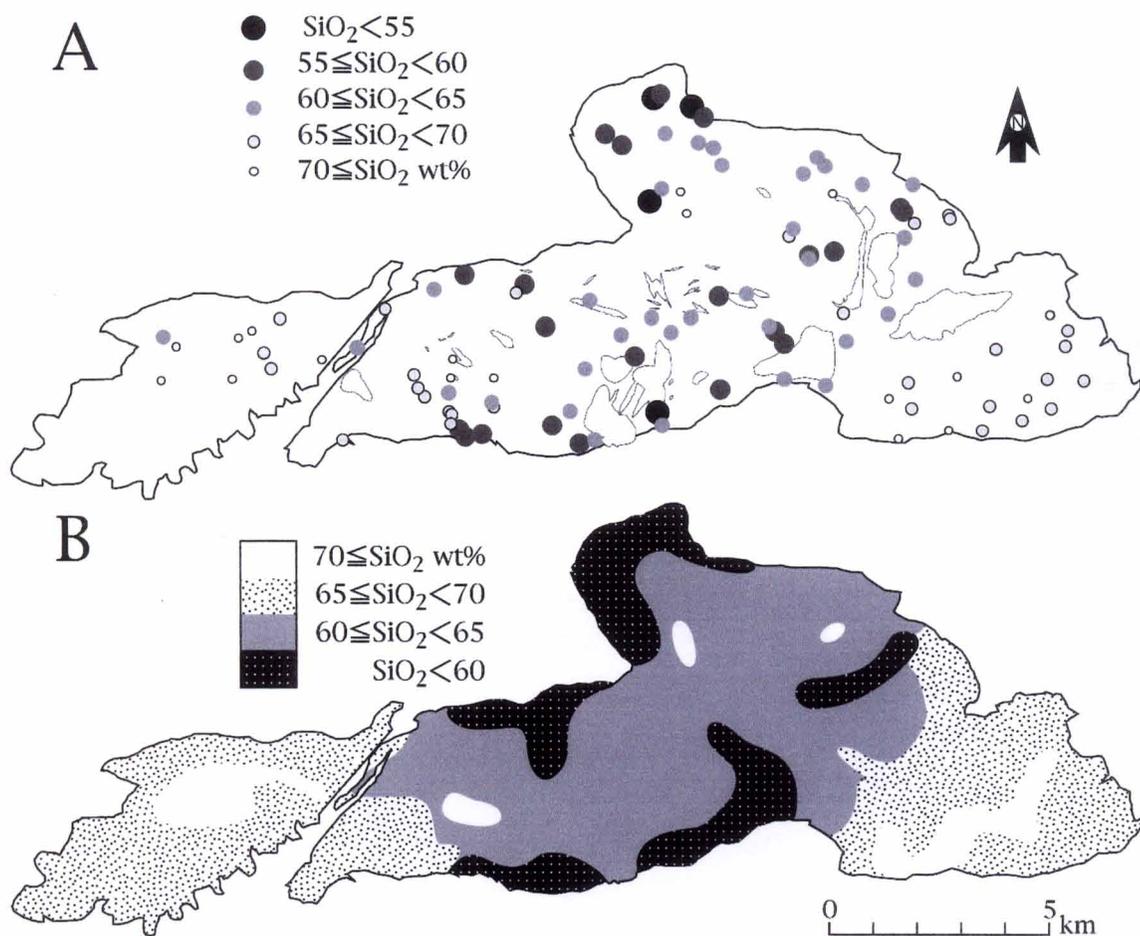


Fig.2-6. Spatial variation of whole-rock  $\text{SiO}_2$  content (wt.%). (A) Whole-rock  $\text{SiO}_2$  (wt%) content at each sampling point. (B) Contoured map showing spatial variation of whole-rock  $\text{SiO}_2$  content, which indicates normally zoned compositional structure with mafic margin grading to felsic core.

主期トータル岩体内における全岩  $\text{SiO}_2$  量の空間的变化をみると、岩体東部と西部に  $\text{SiO}_2 = 65\text{wt.}\%$  以上の珪長質岩の卓越する領域があり、中央部に  $\text{SiO}_2 = 65\text{wt.}\%$  以下の苦鉄質岩が卓越する領域がみられる (Fig. 2-6)。これらの領域は滝田 (1974) のユーシン岩体と石割山岩体、および畦ヶ丸岩体にほぼ相当する。それぞれの領域内では、周縁部が  $\text{SiO}_2$  に乏しく中心部が富むという、いわゆる正規組成累帯構造を示す水平方向の組成累帯深成岩体をみかけ上形成している (Fig. 6B)。東部と西部の領域では、周縁部が  $\text{SiO}_2 = 65 \sim 70\text{wt.}\%$ 、中心部が  $\text{SiO}_2 = 70\text{wt}\%$  以上であり、中央部の領域では、周縁部が  $\text{SiO}_2 = 60\text{wt.}\%$  以下、中心部が  $\text{SiO}_2 = 60 \sim 65\text{wt}\%$  であり、さらにその内側に  $\text{SiO}_2 = 70\text{wt.}\%$  以上の小領域が認められる。こうした「組成累帯構造」は、滝田 (1974) が示した岩体内の色指数分

布とほぼ調和的である。主期トータル岩体全体でみると、 $\text{SiO}_2 = 60\text{wt.}\%$ 未満が占める面積の割合が18%、60～65wt%が36%、65～70wt%が36%、そして70wt.%以上が10%となり、 $\text{SiO}_2 = 65\text{wt.}\%$ 以下のより苦鉄質な深成岩類が全体の54%と半分以上を占めていることになる。

岩体内にみられる斜長岩質岩の全岩 $\text{SiO}_2$ 量は58wt%から71wt%にわたり、母岩の $\text{SiO}_2$ 量と対応した組成変化を示す (Fig. 2-5)。母岩のトータル岩と比較すると、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{FeO}^*$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ に著しく乏しく、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ および $\text{CaO}$ に富んでおり、 $\text{SiO}_2$ 量の増大にともない $\text{CaO}$ および $\text{Al}_2\text{O}_3$ が減少する。

同時性岩脈の全岩 $\text{SiO}_2$ 量は51wt%から56wt%まで変化し、また、苦鉄質包有岩の全岩 $\text{SiO}_2$ 量は51wt%から60wt%まで変化する (Fig. 2-5)。これらは、トータル岩に比べて $\text{P}_2\text{O}_5$ に乏しく、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ に富む。 $\text{SiO}_2 = 51 \sim 55\text{wt.}\%$ の玄武岩から玄武岩質安山岩では、Gill (1981) のmedium-K系列および高アルカリソレイト系列に属する。このことは、low-K系列および低アルカリソレイト系列に属するトータル岩マグマがこれらのマグマからの単純な結晶分化作用で導くことはできないことをしめしている。尚、この同時性岩脈については第5章で詳細に報告する。

## 2-6 方法

### 2-6-1. 帯磁率異方性

ここでは、主期トータル岩体中で採取された107箇所分 (Fig. 2-7) の試料について帯磁率異方性の測定を行った。岩体内各試料採取地点1箇所より採取した2から4個の定方位岩石ブロック試料から、底面の直径2.5cm、高さ2.2cmの円柱形



Fig.2-7. Sampling cites for measurement of anisotropy of magnetic susceptibility in the Tanzawa main tonalite. The lines X-X'(chain line) and Y-Y'(dashed line) show the cross sections shown in Fig.12. Numeric numbers denote sample number.

試料を5～10個切り出し、それらについてAGICO社製Kappabridge KLY-3S帯磁率異方性測定器を用いて測定した。

帯磁率異方性は2階対称テンソルであり、互いに直交する3軸 { $k_1$  (最大帯磁率方向；長軸)  $\geq k_2$  (中間帯磁率方向；中軸)  $\geq k_3$  (最小帯磁率方向；短軸)} を有する帯磁率楕円体で表現される。 $k_1$ は帯磁率線構造 (magnetic lineation) を、 $k_3$ は帯磁率面構造 (magnetic foliation) に垂直な方向をそれぞれ表す。また、全岩帯磁率  $k_m$  は  $k_m=1/3(k_1+k_2+k_3)$  で与えられる。なお、ここでの帯磁率楕円体の軸方向平均値の算出にはJelinek (1978) の方法を用いた。測定結果をTable2-1に示し、ステレオ投影したものをAppendix2-2に示す。

測定データをステレオ投影し、測定結果を以下の3タイプに分類した。

- (1) 帯磁率楕円体の各軸がそれぞれ集中してプロットされ、面構造と線構造がともに確認できるもの (Fig. 2-8A).
- (2) 長軸だけが集中し線構造のみが確認できるもの (Fig. 2-8B).

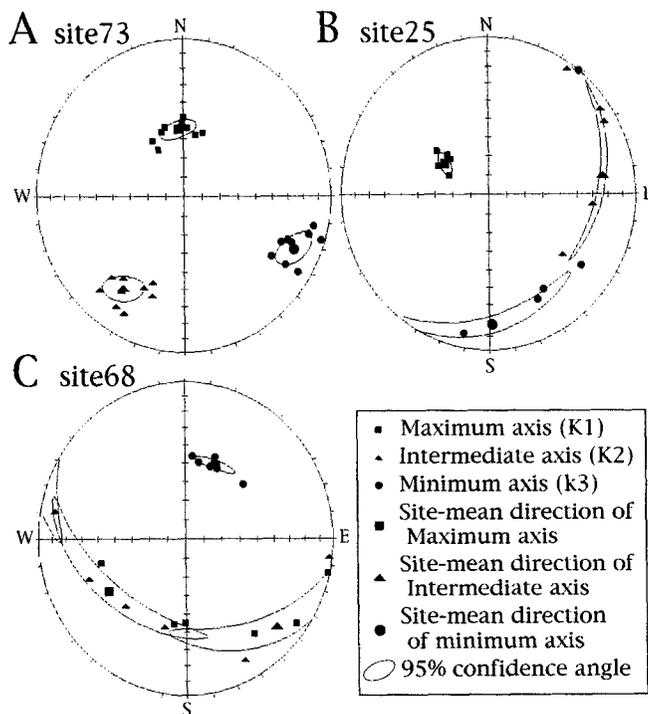


Fig.2-8. Stereographic projection for representative data of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS). (A) Triaxial susceptibility ellipsoid showing both foliation and lineation (site73). (B) Prolate susceptibility ellipsoid indicating only lineation (site25). (C) Oblate susceptibility ellipsoid displaying only foliation (site68).

(3) 短軸のみ集中し面構造のみが確認できるもの (Fig. 2-8C).

これをもとに、測定結果をマップ上に投影した (Fig. 2-9). ここで、線構造については、上向き側に矢印を付け、線の長さで水平からの傾斜角を表した。面構造については、短軸の平均方向がその面のポールとなる走向・傾斜を記した。

さらに、これら3軸の帯磁強度をもとにした帯磁率楕円体の形状についてのパラメータとして、Jelinek(1981)およびTalling and Hroudá(1993)によって提唱された、異方度を表す補正異方度  $P'$  と形状を表す形態パラメータ  $T$  について検討を加えた。なお、 $P'$  と  $T$  は次式で与えられる。

$$a=1/3(\ln k_1+\ln k_2+\ln k_3) \text{としたとき,}$$

$$P' = \exp[2(\ln k_1 - a)^2 + 2(\ln k_2 - a)^2 + 2(\ln k_3 - a)^2]^{1/2}$$

$$T = (2 \ln k_2 - \ln k_1 - \ln k_3) / (\ln k_1 - \ln k_3)$$

## 2-6-2. 残留磁化測定

主期トータル岩中に貫入している地蔵平侵入岩体 (松田, 1966) と苦鉄質同時性岩脈について残留磁化測定を行った。地蔵平侵入岩体を構成する岩石の K-Ar 年代としては、斑状デイサイト岩脈について 3.20 および 2.95Ma, 角閃石安山岩岩脈について 2.28 および 2.43Ma の各年代が得られている (今永・山下, 1999)。丹沢トータル岩類自体は、多磁区構造を持つ大型の磁鉄鉱を多く含むため正確な古地磁気を測定することが困難である。そこで、トータル岩そのものの代わりに、主期トータル岩体の石割山ユニット中に多数貫入している苦鉄質同時性岩脈の残留磁化を測定した。

帯磁率異方性測定用と同様の方法で採取した試料について段階熱消磁を 570°C または 600°C まで行った。熱消磁には夏原技研製熱消磁装置 DEM-8602 を用いた。熱消磁した試料について、2GEnterprises 社製超伝導磁力計 Model 750R を用いて残留磁化の測定を行った。測定結果はベクトル成分図 (Zijderveld, 1967) に投影し古地磁気方位を決定した。平均方向、95% 信頼限界半径、集中度パラメータの算出は Fisher (1953) の方法に従った。

## 2-7 結果

### 2-7-1. 全岩帯磁率

主期トータル岩体の全岩帯磁率 ( $k_m$ ) は  $4 \times 10^{-3} \sim 114 \times 10^{-3}$  SI unit の値を示し、磁鉄鉱系列花崗岩 (Ishihara, 1977) に属する。試料採取地点ごとの平均帯磁率を Fig. 2-10A に示す。岩体東部玄倉川流域から中川東部では  $10 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3}$  SI unit といった比較的低い値を示す。中川東部では  $10 \times 10^{-3} \sim 90 \times 10^{-3}$  の幅広い値を示す。岩体中部中川西部から道志川東部では、概ね  $30 \times 10^{-3}$  SI unit 以上の高い値を示す。特に岩体周縁部では  $70 \times 10^{-3} \sim 90 \times 10^{-3}$  の高い値を

Table 2-1. Data of anisotropy of magnetic susceptibility for 106 sampling sites in the Tanzawa main tonalite (mean values). N: number of specimens; K: bulk susceptibility (arithmetic mean of  $k_m$ ), Lination(K1): declination and inclination of maximum principal axis of AMS ellipsoid; Pole of foliation(K3): declination and inclination of minimum principal axis of AMS ellipsoid; P': corrected anisotropy degree; T: shape parameter.

Site	N	K	Lination, K1		Foliation pole, K3		P'	T
			dec.	inc.	dec.	inc.		
1	8	49.61E-03	-	-	349.9	3.7	1.189	0.717
2	7	43.00E-03	79.7	50.8	170.6	0.7	1.161	0.513
3	7	30.90E-03	297.4	50.4	199.1	6.8	1.297	0.709
7	5	41.22E-03	-	-	32.3	25.2	1.077	0.502
8	9	42.94E-03	286.3	15.1	17.9	6.1	1.059	0.502
9	6	34.97E-03	-	-	359.2	2.1	1.153	0.594
11	9	62.34E-03	336.4	1.9	242.3	65.6	1.027	-0.124
13	9	36.41E-03	-	-	76.9	28.6	1.064	0.661
14	6	40.51E-03	314.6	43.9	82.9	32.8	1.068	0.623
15	9	32.52E-03	-	-	291.5	36.5	1.046	0.603
16	9	24.80E-03	-	-	201.9	65.1	1.032	-0.176
17	8	27.01E-03	289.6	5.8	51.4	79	1.089	0.477
18	6	31.67E-03	346.8	20.2	103.6	50.8	1.045	0.111
19	10	74.37E-03	292.6	53.6	160.3	26.4	1.364	-0.043
20	7	75.09E-03	272.6	58.8	129.5	25.9	1.167	-0.129
23	6	40.74E-03	83.6	34.2	337.8	21.8	1.1	0.057
24	6	30.92E-03	274.4	15.9	-	-	1.095	-0.274
25	5	20.20E-03	303.3	60.8	178.9	17.5	1.104	-0.277
26	9	27.89E-03	91	18.3	185.3	12.9	1.199	0.282
27	6	54.20E-03	85.2	34.5	181.7	9.4	1.07	0.621
28	6	22.57E-03	76.7	46	341.4	5.1	1.089	0.498
29	9	30.89E-03	-	-	301.4	0.6	1.099	0.456
32	9	57.47E-03	130	22.2	234.2	31.2	1.234	0.323
44	9	39.64E-03	108.7	40.5	221.4	24.3	1.525	0.879
45	9	40.27E-03	-	-	5.9	2.7	1.077	0.046
46	9	59.53E-03	90.8	4.5	182.8	23.2	1.123	0.639
47	9	47.79E-03	330.1	16.5	234	19.8	1.283	0.22
48	9	38.34E-03	317.2	18.6	223.5	11.1	1.478	0.319
50	7	74.61E-03	251.4	57.3	54.9	31.6	1.139	-0.155
52	9	24.14E-03	138.6	82.3	326.2	7.6	1.057	0.087
56	8	37.75E-03	203.3	66.7	58.3	19.5	1.062	0.074
57	6	69.46E-03	239.8	39.5	132.2	20.2	1.387	0.47
59	6	43.19E-03	329.1	46	209.9	25.3	1.449	0.419
60	6	22.67E-03	227	54.8	37.4	34.8	1.212	0.363
61	9	47.38E-03	303.2	35.7	35.6	3.3	1.289	0.56
62	6	35.04E-03	311.5	8.1	220.7	5.2	1.312	-0.065
63	9	26.42E-03	336.3	5.7	242.4	34.2	1.469	0.144
64	7	75.66E-03	166.8	63.7	331	25.4	1.141	-0.054
65	9	22.43E-03	87.3	13.4	333.3	59.6	1.084	0.204
66	9	26.30E-03	304.6	0.5	214.5	3.2	1.158	-0.513
67	9	31.57E-03	79.7	26.8	176	12.1	1.108	0.471
68	6	39.71E-03	-	-	22.9	47.2	1.087	0.613
69	6	74.94E-03	247.2	20.9	94.4	66.8	1.092	0.386
71	9	44.29E-03	103.2	58.6	272.9	31	1.085	-0.22
72	9	58.20E-03	94.1	81.4	294.2	8.1	1.093	0.108
73	9	53.96E-03	355	54.8	114.4	19.2	1.218	-0.085
74	9	49.93E-03	224.9	52.3	351	24.5	1.058	0.134
76	6	21.60E-03	-	-	288.2	71.4	1.106	0.748
77	5	30.15E-03	202.8	0.1	111.5	84.6	1.075	-0.104
79	5	15.68E-03	59.7	20.7	328.9	2.3	1.083	-0.448
80	6	14.28E-03	145.1	46.9	11.5	32.9	1.072	0.33
81	9	15.85E-03	150.7	2.2	242.7	42.2	1.172	0.301
82	5	17.07E-03	-	-	248.8	45.1	1.084	0.142
84	9	46.70E-03	294.3	49.9	25.4	0.9	1.095	0.363
85	9	55.55E-03	202.5	71.6	9.1	18	1.115	-0.166

Table 2-1. (continued)

Site	N	K	Lination, K1		Foliation pole, K3		P'	T
			dec.	inc.	dec.	inc.		
86	5	15.30E-03	36.3	37	266.6	40.3	1.059	0.537
87	7	31.51E-03	348.5	23.1	255.1	8.1	1.155	-0.031
88	6	18.60E-03	72.6	46.9	321.3	18.8	1.033	0.085
89	9	53.73E-03	58.8	84.5	199	4.3	1.285	-0.015
90	9	36.90E-03	344	62.6	224.5	14.3	1.391	-0.219
91	9	45.51E-03	115.6	6.9	17.3	49.7	1.117	0.062
93	8	48.11E-03	312.9	23.3	207.1	32.2	1.306	0.414
94	8	69.33E-03	329.6	51.2	226.2	10.6	1.337	-0.6
95	9	89.74E-03	331.2	82.3	-	-	1.534	-0.186
96	7	53.27E-03	294.8	26.1	30.7	11.8	1.087	-0.314
97	9	34.43E-03	308.6	44.4	38.8	0.2	1.112	0.146
98	10	35.78E-03	335	26.4	242.3	5.3	1.148	0.007
99	8	59.39E-03	328.3	70.6	192.3	14.2	1.232	-0.025
100	9	81.24E-03	342.5	57.4	193.1	28.8	1.334	0.223
101	8	58.12E-03	297	27.5	166	51.6	1.184	-0.38
102	7	73.90E-03	43.8	46.8	190.7	38.2	1.166	0.309
103	9	30.30E-03	28.4	65.2	283.1	6.9	1.096	0.174
104	9	25.80E-03	303.2	6.5	37.9	36	1.156	-0.348
105	8	28.71E-03	265.6	28	126.5	54.8	1.086	-0.294
106	7	36.86E-03	281	29.4	116.5	59.7	1.054	-0.436
107	9	15.97E-03	25.3	4.6	292.9	28	1.058	-0.073
108	9	38.85E-03	265.7	65.3	161.8	6.3	1.076	0.338
109	9	25.96E-03	334.5	82	144.9	7.9	1.081	0.41
110	10	84.77E-03	301.7	22.5	190.8	40.8	1.275	-0.082
111	6	24.93E-03	-	-	5.9	13.7	1.327	-0.207
112	8	39.53E-03	116.2	27.4	5.5	34.3	1.238	-0.408
113	6	39.50E-03	344.2	70	142.4	18.7	1.104	-0.21
114	6	57.28E-03	306.7	16	210.2	21.6	1.143	-0.176
115	8	20.92E-03	46.5	54	293.9	15.6	1.096	-0.164
116	9	19.65E-03	2.4	28.7	262.7	17.1	1.12	-0.232
117	8	16.78E-03	34.2	23.4	-	-	1.18	-0.697
118	8	22.79E-03	49.1	15.2	301.7	47.8	1.106	0.055
119	9	17.48E-03	11.7	39.2	256.1	28	1.218	-0.508
120	5	19.45E-03	102.3	49.6	224.9	24.6	1.054	0.077
121	5	16.09E-03	109.8	70	215.2	5.5	1.088	0.267
122	6	31.31E-03	29.9	2.2	125.7	69.2	1.063	0.313
123	7	34.28E-03	307.4	5.5	39.6	22.2	1.188	-0.618
124	8	42.16E-03	297.6	21	39.6	22.2	1.132	-0.154
125	6	31.20E-03	116.6	38.4	18.6	9.9	1.076	-0.069
126	5	25.61E-03	252.7	59.8	15.5	17.5	1.071	0.115
127	7	64.38E-03	351.3	72.7	200	15.3	1.113	0.159
128	5	62.52E-03	314.8	38.3	206.8	21.5	1.075	0.618
129	8	65.35E-03	313.9	52.7	188.6	23.8	1.217	-0.054
130	9	66.90E-03	325.8	20.3	226.2	24	1.291	0
131	9	61.07E-03	342.8	68.8	222.3	11.1	1.219	-0.012
132	6	49.86E-03	24.5	76.9	-	-	1.05	-0.266
133	9	51.19E-03	-	-	134.8	12.2	1.073	0.547
134	9	54.00E-03	249.9	67.6	111.7	17.1	1.063	0.368
135	5	42.29E-03	189.4	67.5	81.7	7.2	1.095	0.424
136	7	53.49E-03	65.1	59.6	224.5	28.8	1.101	0.151
137	8	68.14E-03	15.8	62.2	215.5	26.4	1.117	-0.062
138	9	58.07E-03	342.7	52.1	225.4	19.7	1.13	-0.146

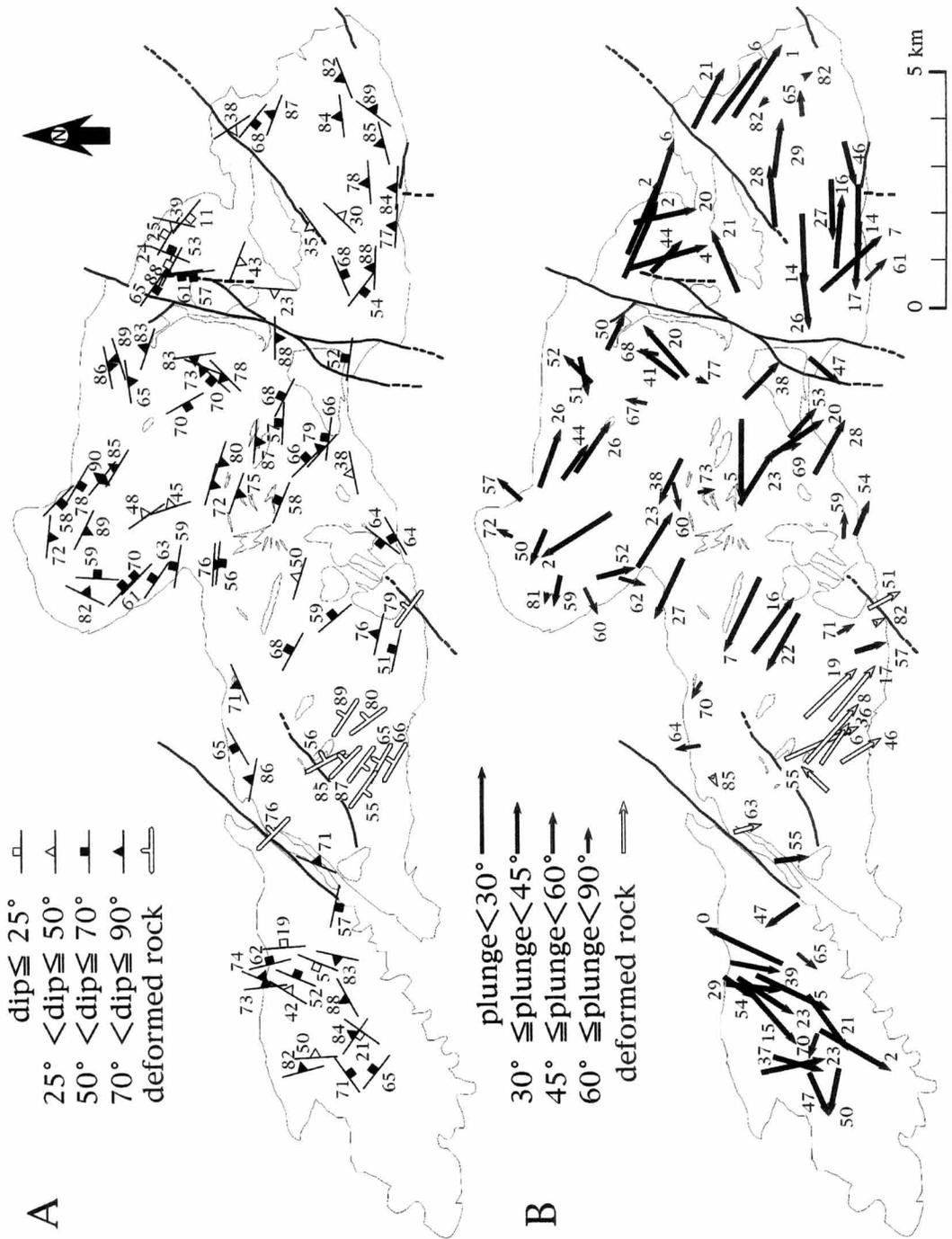


Fig.2-9. Map showing the magnetic fabrics of Tanzawa main tonalite. Solid lines indicate the fault. (A) Strikes and dips of magnetic foliation. Open marks indicate those of deformed rocks. Numeric numbers show the dip. (B) Directions and plunges of magnetic lineation. Arrows indicate upward direction. Open arrows depict those of deformed rocks. Numeric numbers denote the plunge of lineation.

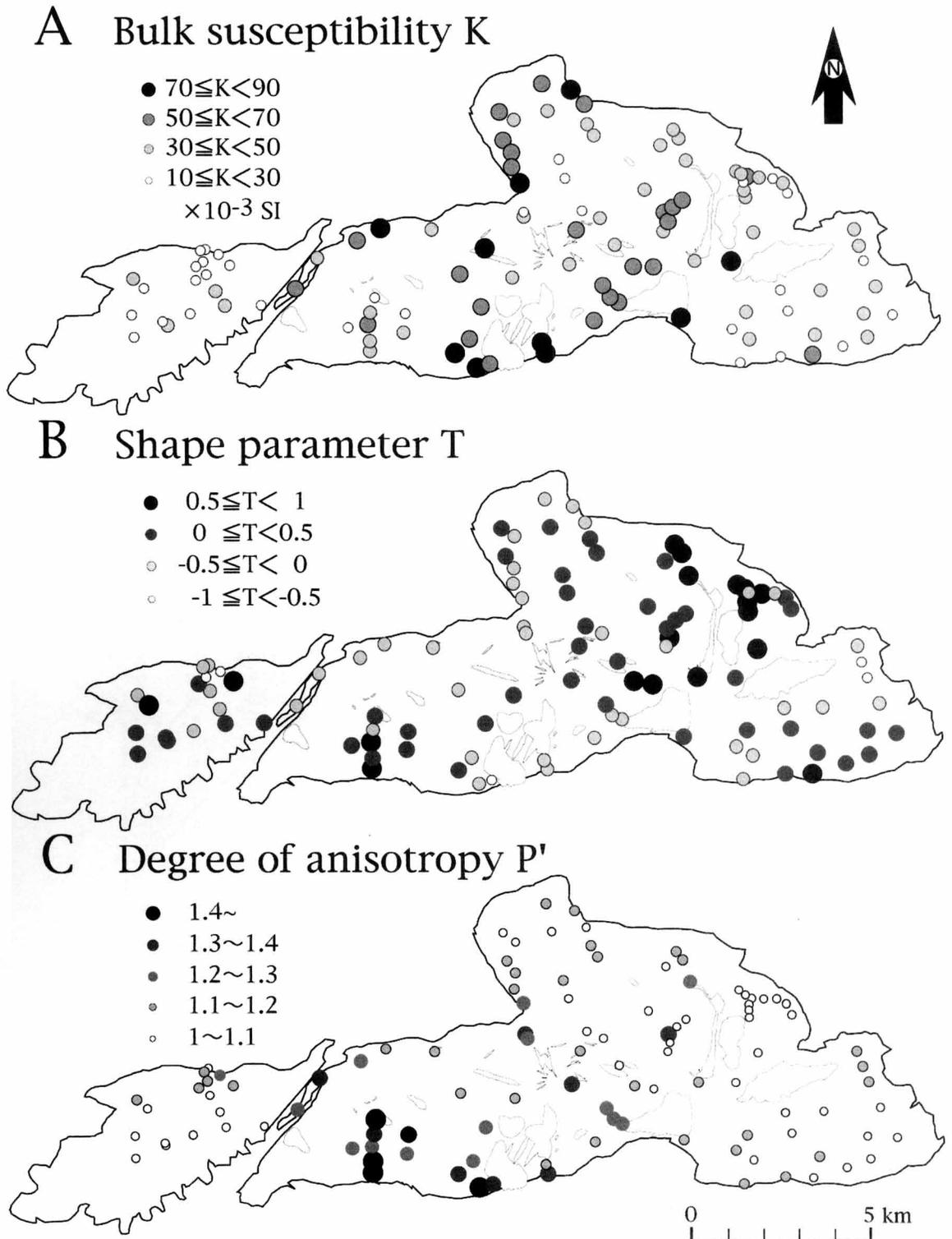


Fig.2-10. Distribution of various magnetic parameters in Tanzawa main tonalite. (A) Mean bulk magnetic susceptibility ( $K$ : arithmetic mean of  $k_m$ ). (B) Shape parameter ( $T$ ). (C) Degree of anisotropy ( $P'$ ).

示す。また、鳥ノ胸山から畦ヶ丸にかけてと水の木沢流域に帯磁率の低い値を示す岩石が分布している。岩体西部石割山周辺は2カ所を除いて岩体中で最も低い  $10 \times 10^{-3} \sim 30 \times 10^{-3}$  の値を示すものが卓越している。以上のような傾向は、すでに述べた岩体中の全岩  $\text{SiO}_2$  wt% 量の空間的分布 (Fig. 2-6A, B) と概ね調和的であり、全岩帯磁率の高いものは全岩  $\text{SiO}_2$  wt% 量に乏しく、逆に低いものは全岩  $\text{SiO}_2$  量に富む傾向がある。ただし、詳細にみると両者の間には一致しない点も認められる。

## 2-7-2. 帯磁率楕円体の形状と異方度

帯磁率楕円体の形状は、0を境にしてTの値が1に近いほどそれが扁平（パンケーキ型）(oblate) であることを表し、-1に近いほど扁平（葉巻型）(prolate) であることを示している (Fig. 2-11)。測定した試料では全体の約60%が正の値を示し、扁平な形状を示すものが多い (Fig. 10B, 11)。また、岩体中西

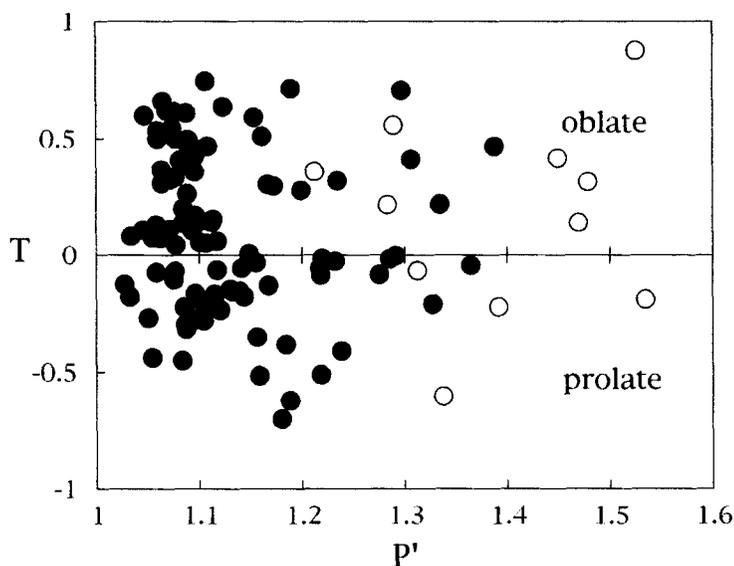


Fig.2-11. Diagram showing the relationship between the degree of anisotropy ( $P'$ ) and shape parameter ( $T$ ) for the Tanzawa main tonalite. closed circle: deformed rock; open circle: undeformed rock. The upper half of the diagram ( $T > 0$ ) indicates oblate-shaped

部水の木沢周辺に産する変形した岩石では、その約70%が正の値を有しており、扁平な形状示すものが卓越している (Fig. 2-10B, 11)。

これに対して、 $P'$  はその値が大きいほど異方性が強く変形度が大きいことを表している。測定した試料の多くは  $P' = 1.2$  以下の範囲に集中しているが、岩体中

西部の水ノ木沢流域から菰釣山西部および大又沢流域の変形した岩石では1.2～1.6の高い値を示す (Fig. 2-10C, 11). また中川上流から中流域, 屏風岩山南部などにもP' 値が若干高い地域が点在している (Fig. 2-10C). 玄倉川流域では南西部と北東部の岩石が1.1～1.2の値を示す.

### 2-7-3. 帯磁率面構造 (magnetic foliation)

帯磁率面構造の走向は, 岩体東部玄倉川流域周縁部では岩体の外形に調和的な方向を示し, また中川北東部でも岩体の外形に調和的な弧状の方向を示しており, 全体として石棚山付近を中心とした閉じた同心楕円状の形態を示す. 一方, 石棚山周辺のルーフペンダント付近では, ルーフペンダントの南東側では北東?南西方向の, また北西側では西北西から南北方向の走向を示し, 全体としてルーフペンダントを取り囲むような形態を有する (Fig. 2-9A). 帯磁率面構造は, 周縁部では北西部の一部を除き概ね70° 以上と急角度で内側に傾斜しているが, ルーフペン

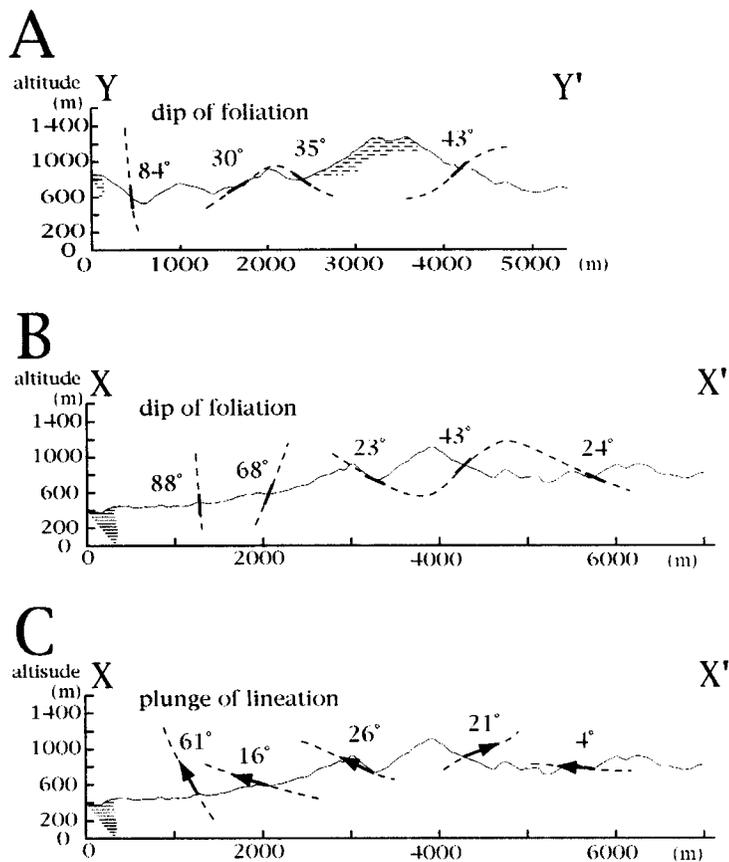


Fig.2-12. Cross sections of the Kurokuragawa unit showing the dip of foliation and plunge of lineation. The location of X-X' and Y-Y' are shown in Fig.2.

ダント付近ではほぼ  $40^{\circ}$  以下の緩傾斜となり、ドーム状に外側に向かって傾斜した構造を示す (Fig. 2-12A・B).

中川西部畦ヶ丸周辺では、畦ヶ丸を取り巻くような弧状の走向を有する  $70^{\circ}$  以上の急角度で内側に傾斜した帯磁率面構造がみられる。岩体中北部鳥ノ胸山 (とんのむねやま) から室久保川流域では、岩体周縁部で舌状の岩体の外形に調和的な走向を示す急角度で内側に傾斜した面構造が卓越し、畦ヶ丸に近い中心部で傾斜  $50^{\circ}$  以下の比較的緩傾斜な内側に傾斜した帯磁率面構造がみられる。これらは全体として畦ヶ丸付近を中心とした閉じた同心楕円状の形態を示す (Fig. 2-9A).

岩体中西部菰釣山北方から岩体中南部屏風岩山北方にかけて傾斜  $70^{\circ}$  前後の面構造がみられる。また、屏風岩山南部から大又沢南部にかけて、北東-南西走向の傾斜  $40 \sim 60^{\circ}$  前後の面構造が見られる。さらに、大又沢西部から北西部には北西-南東走向の傾斜  $60^{\circ}$  前後の面構造がみられる (Fig. 2-9A).

岩体中西部菰釣山から水ノ木沢、さらには大又沢流域では、岩体の境界と斜交するように発達した概ね  $N50^{\circ} W$  の走向を有する急傾斜の直線的な帯磁率面構造がみられる (Fig. 2-9A).

岩体西部石割山周辺では、岩体中心部に岩体の外形と調和的な走向を有する内側に傾斜した帯磁率面構造が発達し、石割山東方を中心とする同心楕円状の形態を示すが、その傾斜はさまざまである (Fig. 2-9A)。中心部以外では、帯磁率面構造の走向・傾斜ともに不規則に乱れているのがこの地域の特徴である。

また、野外において有色鉱物の配列による葉理構造が確認された地点について、それらと今回の測定により得られた帯磁率面構造との比較検討を行った。その結果によれば、肉眼観察による測定誤差を考慮すれば、各地点とも両者の値はよく一致しているといえる (Fig. 2-13)。また、今回の測定の結果得られた帯磁率面構造は、滝田 (1974) によって示された肉眼的に観察される鉱物配列に基づく葉理構造とほぼ調和的である。

#### 2-7-4. 帯磁率線構造 (magnetic lineation)

岩体東部玄倉川ユニットでの帯磁率線構造の方位は、概ねユニットの形態と調和的である (Fig. 2-9B)。傾斜については、東縁部と南縁部で  $60^{\circ}$  以上の急傾斜を有するが、岩体中央部では  $30^{\circ}$  以下の緩傾斜を、またそれ以外の岩体縁部でも緩傾斜を示す場合が多い (Fig. 2-12C)。

室久保川ユニットでは、帯磁率線構造の傾斜はユニット周縁部で  $60^{\circ}$  以上の急傾斜を示し、内部では緩傾斜を有する (Fig. 2-9B)。

水ノ木沢ユニットでは、帯磁率線構造の傾斜はユニット周縁部で室久保川ユニットと同じく  $60^{\circ}$  以上の急傾斜を有し、岩体内部では緩傾斜を示す (Fig. 2-9B)。水ノ木沢ユニット西部の横ずれ剪断変形帯では、帯磁率面構造の走向とほぼ平行な方位を持つ緩傾斜の帯磁率線構造がみられる。この帯磁率線構造の方位お

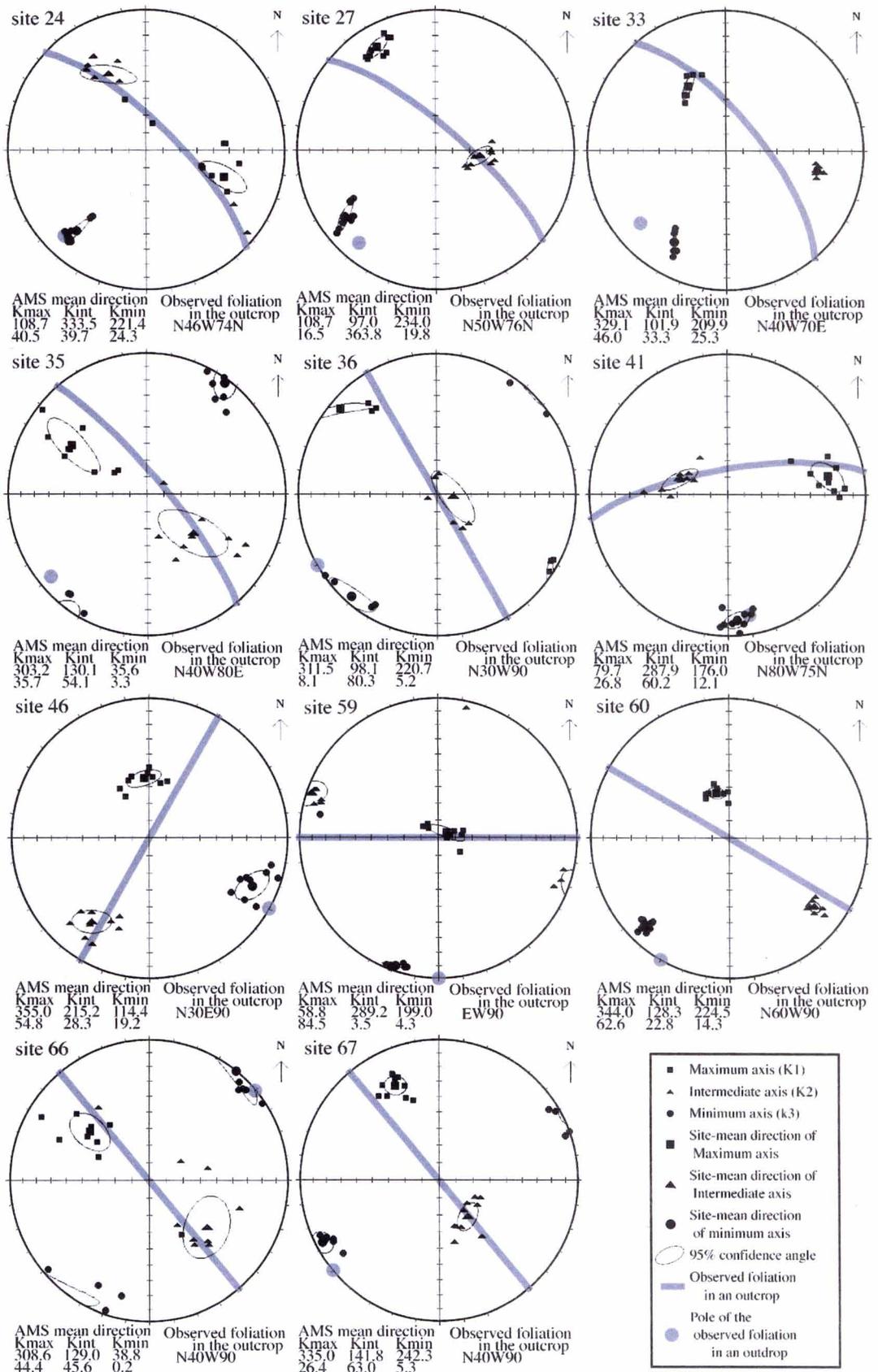


Fig.2-13. Stereographic projection showing the comparison of the AMS fabric and observed foliations in each outcrop.

よび傾斜は、横ずれ断層の変位と調和的である (Fig. 2-9B).

石割山ユニットでは、石割山周辺では緩傾斜の帯磁率線構造が卓越しており、それらは概ね北東-南西方向の方位角を示す (Fig. 2-9B). 急傾斜の帯磁率線構造は石割山北部および南西部で見られる。石割山ユニットでは、帯磁率線構造の方位はやや規則性に欠け乱れている。

### 2-7-5. 古地磁気方位

地蔵平侵入岩体を構成する岩脈の測定を行ったところ、段階熱消磁により抽出された高温成分はすべて逆磁極期を示していた。また抽出された磁化ベクトルは、偏角、伏角ともにほぼ現在のものとほぼ同じ値を示した (Fig. 2-14A). 苦鉄質同時性岩脈の古地磁気を測定した。同時性岩脈はトータル岩体が完全に固化する前に貫入固化したものであり、したがって、トータル岩体貫入・定置時とほぼ同時期の古地磁気方位を保存していると考えられる。段階熱消磁により抽出された測定結果は、ばらつきがやや大きいものの、逆磁極期であること、その平均値は偏

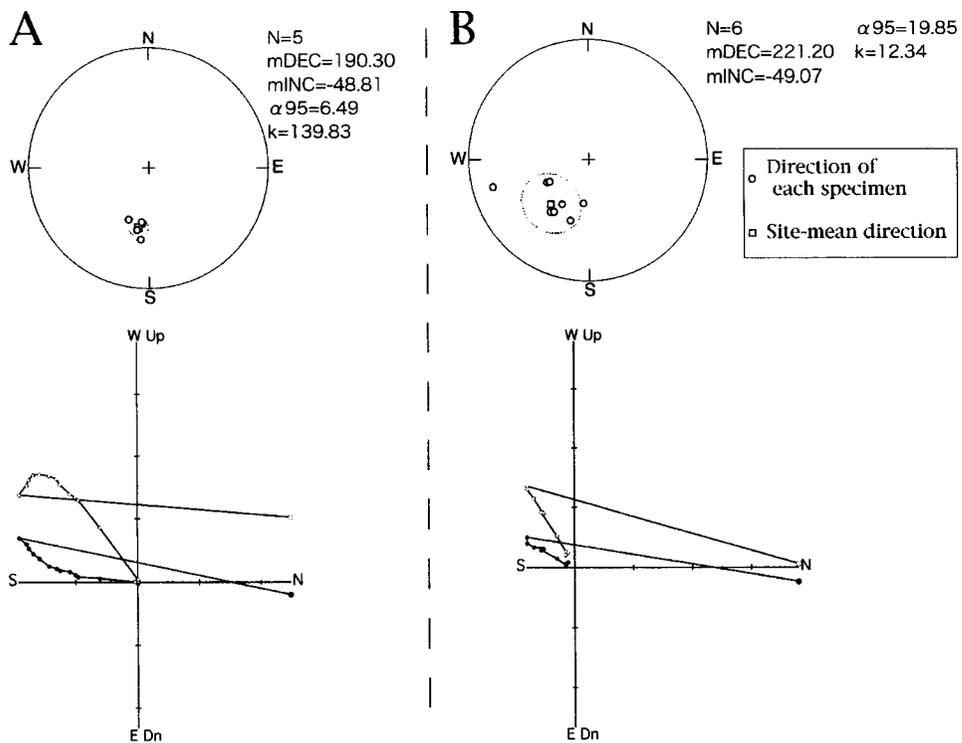


Fig.2-14. Stereographic projection of paleomagnetic orientation and representative vector component diagram of the dikes of Jizodaira intrusion and the syn-plutonic dikes of Ishiwariyama-unit. (A) Dikes of the Jizodaira intrusion (3Ma). (B) Syn-plutonic dikes of the Ishiwariyama-unit (7Ma). N: number of specimen; mDEC: declination of mean direction; mINC: inclination of mean direction;  $\alpha 95$ : radius of 95% confidence cone; k: precision parameters

角が30度ほど西偏することを除くと、伏角に関しては現在のものとほぼ同じ値を示した (Fig. 14B).

## 2-8 議論

### 2-8-1. 岩体の傾動について

丹沢トータル岩複合岩体の貫入・定置年代は約7Ma頃と考えられるが、丹沢トータル岩複合岩体を含む丹沢ブロックは6Ma頃に本州弧に衝突したものと推定されている。衝突直前に丹沢ブロックと本州弧との間にあったトラフ充填堆積物中の貝化石からは、それらが寒冷系の海洋に生息していたことが明らかにされており、衝突直前には丹沢ブロックは現在の緯度と大きく異なる場所に位置していた (鎮西, 1991)。したがって、丹沢トータル岩複合岩体も現在の位置に近い場所に貫入・定置したものと考えられる。

地蔵平侵入岩体を構成する岩脈の古地磁気測定の結果では、段階熱消磁の結果高温成分から抽出された磁化ベクトルは、逆磁極期に属することを除けば、偏角、伏角ともに現在のものとほぼ同じ値を示した (Fig. 2-14A)。したがって、地蔵平侵入岩体が活動した3Ma以降、丹沢トータル岩複合岩体は大規模な傾動などの著しい変形運動を受けていないものと考えられる。これまで、岩体東方石棚山周辺にルーフペンダントが存在することなどから岩体東方ほど浅所が露出していると考えられてきたが (荒井, 1987 など)、岩体西方石割山周辺の岩相と石棚山周辺の岩相は類似しており、石割山周辺にも丹沢層群のルーフに由来すると思われるブロックが多数存在していることなどから、従来いわれているような岩体の西方への傾動を積極的に支持する理由はない。また、主期トータル岩体中の同時性岩脈の伏角が現在とほぼ同じであることから (Fig. 2-14B)、岩体の垂直断面が露出するような著しい傾動は被っていないと考えられる。つまり、丹沢トータル岩複合岩体が貫入・固化した7Ma以降地蔵平侵入岩体の貫入した3Maまでの間、主期トータル岩体は若干の回転はしたかもしれないが、著しい傾動を被らなかったことが示唆される。以上を踏まえて、本論では、丹沢トータル岩複合岩体が、貫入・固化した7Ma以降隆起・上昇はしたものの、著しい傾動は受けなかったものとして議論を進めることにしたい。

### 2-8-2. 定置ユニット

帯磁率面構造からみると、丹沢トータル岩複合岩体の主期トータル岩体は、岩体の形態と調和的な複数のユニットとから構成されることがわかる。これらのユニットを東から順に、玄倉川ユニット、室久保川ユニット、水ノ木沢ユニット、石割山ユニットと名付けることにする (Fig. 2-15)。それぞれのユニットは、全岩SiO<sub>2</sub>量においても独立した閉じた水平方向の組成累帯構造を示している (Fig. 2-

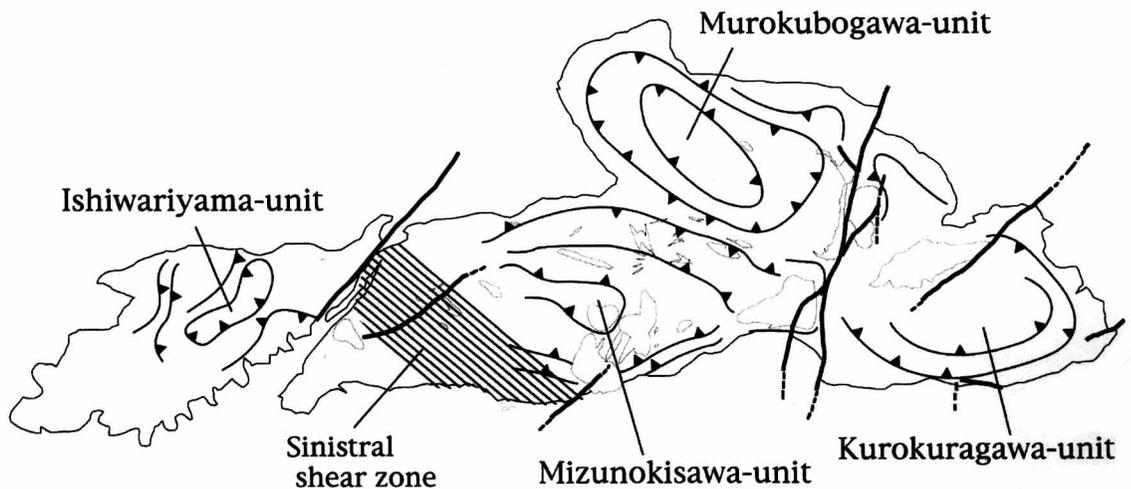


Fig.2-15. Emplacement units based on the trajectories of magnetic foliation. Closed elliptical patterns of trajectories of magnetic foliation represent the emplacement unit. They are Kurokuragawa, Murokubogawa, Mizunokisawa and Ishiwariyama units from east to west. The sinistral sheared zone develops in the western portion of the Mizunokisawa unit. Solid lines indicate the fault.

6B). これらのユニット間の境界は明瞭ではなく漸移していることから、ユニット間には片方のユニットが完全に冷却固化するほどの時間間隙は存在せず、それぞれが短時間に相次いで上昇・定置したものと考えられる。

玄倉川ユニットと室久保川ユニットを比べた場合、室久保川ユニットの組成累帯構造が玄倉川ユニットによって切られていないので、室久保川ユニットの方が後から上昇・定置した可能性があるが、各ユニット間の上昇・定置順序の詳細については情報に乏しく、現時点では明らかにできていない。

### 2-8-3. 定置と同時期の変形と苦鉄質岩脈について

水ノ木沢ユニットの西部には、ユニット固有の同心楕円状面構造を切るような形で北西-南東方向に延びた幅2kmにわたる片麻状面構造が発達している (Fig. 2-15). この地域の岩石にみられる変形組織は、sub-magmatic stage (Paterson et al., 1989; Blenkinsop, 2000) において、rheologically critical melt percentage (RCMP) に近いあるいはそれ以下の少量の粒間メルトをもつ。このことは、結晶が互いに接した状態の未固結ではあるが固体的ふるまいをする結晶マッシュが、全体として変形を受けた時に形成されたと考えられる (Schofield and D' Lemos, 1998; Kosaka et al., 1999). つまり、片麻状組織は、少量の粒間メルトを有する結晶マッシュが左横ずれ剪断変形を受けることによって生じた、マグマ固化時の高温変形組織である可能性が高い。

また、同時性岩脈は様々な産状を示す。すなわち、周囲の花崗岩物質が苦鉄質

岩脈に部分的に入り込む逆入脈岩脈，花崗岩物質によって完全に分断された分断岩脈，苦鉄質岩脈の一部がばらばらとなった崩壊岩脈，苦鉄質包有岩が列をなす包有岩岩脈などの産状を示す (Fig. 2-3). こうした同時性岩脈の野外での産状は，主期トーナル岩体が定置後まだ未固結の段階で苦鉄質岩脈の貫入を受けたことを示している. これらの同時性岩脈の走向は，東西性のものが卓越している (Fig. 2-2).

#### 2-8-4. 定置メカニズム

主期トーナル岩体は，侵食が進む前は，少なくとも現在の侵食レベルまでは，平坦なルーフと急傾斜のウォールからなるほぼ箱形の形態を有していた可能性が高い. また，帯磁率異方性によって示される面構造および線構造は，南方向に衝上するように貫入した北傾斜の板状岩体説あるいは東傾斜したダイアピル状岩体説といった，これまで提唱されてきたマグマの貫入・定置メカニズムの何れによっても説明が困難であり，これらの説にとっては否定的なデータといえる.

帯磁率異方性に基づく丹沢主期トーナル岩体の定置メカニズムのシナリオとしては以下のようなものが考えられる (Fig. 2-16).

岩脈を経由してマグマが移動する場合，深成岩体は数千年程度で形成され得ると考えられている (Clemens, 1998). このように岩体が急速に形成されたと考えられることや，母岩との境界部付近にみられるトーナル岩岩脈が本体と類似した組織を示すことは，丹沢トーナル岩は比較的結晶度の高い状態で貫入し，速やかに冷却したことを示唆しており，岩石は貫入時のファブリックを保持していることが考えられる. 帯磁率異方性のうち，帯磁率線構造はマグマの流動方向を反映しており，マグマの上昇部は，一般に線構造が急傾斜の場所に相当すると考えられている (Bouchez, 1997; McNulty et al., 2000 など). 主期トーナル岩体のうち室久保川ユニットと水ノ木沢ユニットでは，岩体周縁部にのみ急傾斜の線構造が発達しており，内部はむしろ緩傾斜となっている. このことは，岩体周縁部にマグマの供給路が存在していた可能性を示しており，ユニットの外縁に沿って，一種の「環状岩脈」からマグマが供給され，この「環状割れ目」の内側のブロックが沈降することによって，ユニット自体の空間を確保した可能性が考えられる. また，面構造の傾斜が内側を向いていること，線構造が内側に傾斜していることなどを考慮すると，沈降は単純なブロック沈降というよりは，複数の環状断層によって区切られたいくつかのブロックが，階段的に順次沈降することで，内側に傾斜したロート状の「床」が形成され，それに沿ってマグマが上昇移動したと考えられる. こうした形態は一種のロポリスであり，McNulty et al. (2000) によって提示された北米西部シエラネバダ・バソリスの Mount Givens 岩体の貫入・定置メカニズムと類似する. 玄倉川ユニットと石割山ユニットでは，室久保川ユニットや水ノ木沢ユニットほど明瞭ではないものの，やはり外縁部に沿って急傾

斜の線構造がみられ、これらも同様のプロセスで貫入・定置した可能性がある。また、多くの深成岩体は水平径 / 厚さの大きいテーブル状の形態をしていると考えられている (Cruden, 1998 など)。最大水平径 25km 程度の丹沢トータル岩体の場合、その厚さは厚くとも 5km 程度と考えられ、数千年で岩体が形成されることを考慮すると、この母岩の沈降速度は数 10cm ~ 1m/ 年程度であったと考えられる。

水ノ木沢ユニット西部にはマグマ固化時に形成された北西-南東走向の左横ずれ剪断帯が発達する (Fig. 2-15)。一方、主期トータル岩体中に発達する同時性岩脈には走向が東西性のものが多い (Fig. 2-2)。これらは、マグマ貫入・定置時に、この付近が東西性の水平最大主圧縮応力軸 ( $\sigma_{Hmax}$ ) と南北性の水平最小主圧縮応力軸 ( $\sigma_{Hmin}$ ) をもつ応力場に置かれていたことを意味する。横ずれ断層が卓越することを考慮すると、垂直圧縮主応力軸 ( $\sigma_v$ ) =  $\sigma_2$ ,  $\sigma_{Hmax}$  =  $\sigma_1$  (東西性),  $\sigma_{Hmin}$  =  $\sigma_3$  (南北性) の応力場が考えられる。こうした応力場は、岩体が大きく回転していないとすると、現在の丹沢山地付近の応力場とは大きく異なる。最近では、ヨーロッパや北アメリカ西部などで、多くのバソリスあるいは花崗岩体が、

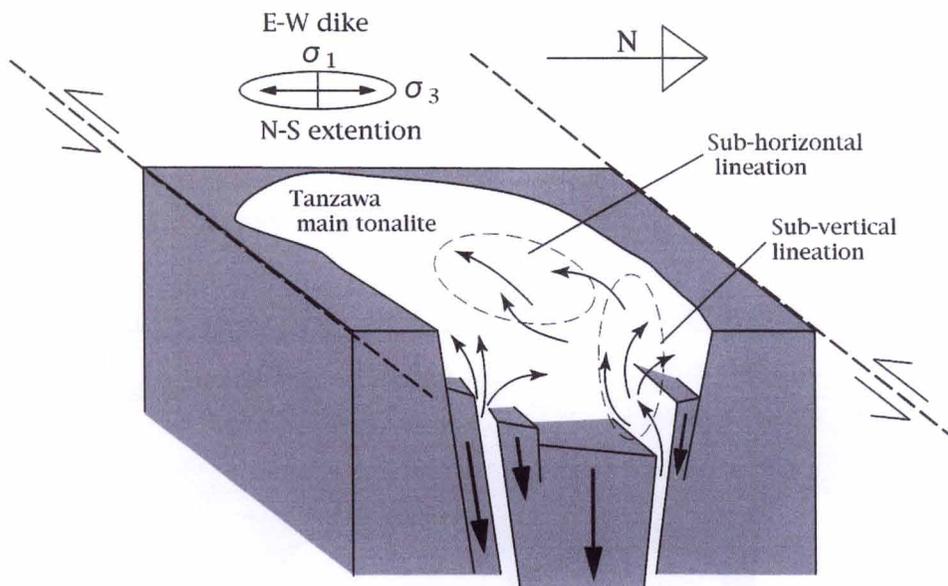


Fig.2-16. Cartoon showing the mode of emplacement of each unit of Tanzawa main tonalite. The emplacement model of Mount Givens pluton by McNulty et al. (2000) is referred to draw this cartoon. Tonalite magma, which moved upward through the ring-shaped feeders along the margin of the emplacement unit, filled the space produced by the floor dropdown. The pull-apart movement caused by the transcurrent tectonics favorable to the formation of such lopolith-like emplacement of magma. Strain ellipse shown on horizontal face of block diagram represents sinistral shear with NS extension and EW compression.

横ずれ変動帯のプリアパート空間を利用したマグマの上昇・定置によって形成されたと考えられるようになってきている (Tikoff and Teyssier, 1992; Vigneresse, 1995; Olivier, et al., 1999; Greiling and Verma, 2001など)。丹沢トータル岩複合岩体の占める空間も、こうした「横ずれ変動域」に形成された一種のプリアパート空間を利用したものである可能性がある。

### 2-8-5. 丹沢主期トータル岩の貫入プロセス

Kawate and Arima (1997) によれば、丹沢トータル岩複合岩体を構成するトロニウム岩、トータル岩および石英閃緑岩は、低カリウムソレアイト質角閃岩の融解度 46% の脱水分解融解によって生成された  $\text{SiO}_2 = 62\text{wt}\%$  の安山岩質マグマ、およびその結晶分化作用によって生じた  $\text{SiO}_2 = 62\text{wt}\%$  以上の分化メルトと結晶の濃集した  $\text{SiO}_2 = 62\text{wt}\%$  以下のキュームレイト質マグマの冷却固化物からなるという。Kawate and Arima (1997) のマグマ生成モデルに玄武岩質同時性岩脈の存在を考慮すると、丹沢トータル岩複合岩体主期トータル岩体の貫入・定置プロセスとして、以下のようなシナリオが考えられる。

含水玄武岩質島弧地殻物質（角閃岩）の脱水分解融解が生じ、 $\text{SiO}_2 = 62\text{wt}\%$  の安山岩質マグマが形成された。地殻深部のマグマ溜り内における結晶分化作用により、 $\text{SiO}_2 = 62\text{wt}\%$  以上の分化した珪長質マグマと、結晶に富む  $\text{SiO}_2 = 62\text{wt}\%$  以下の苦鉄質なキュームレイト質マグマが生成された。横ずれ断層を形成するよう

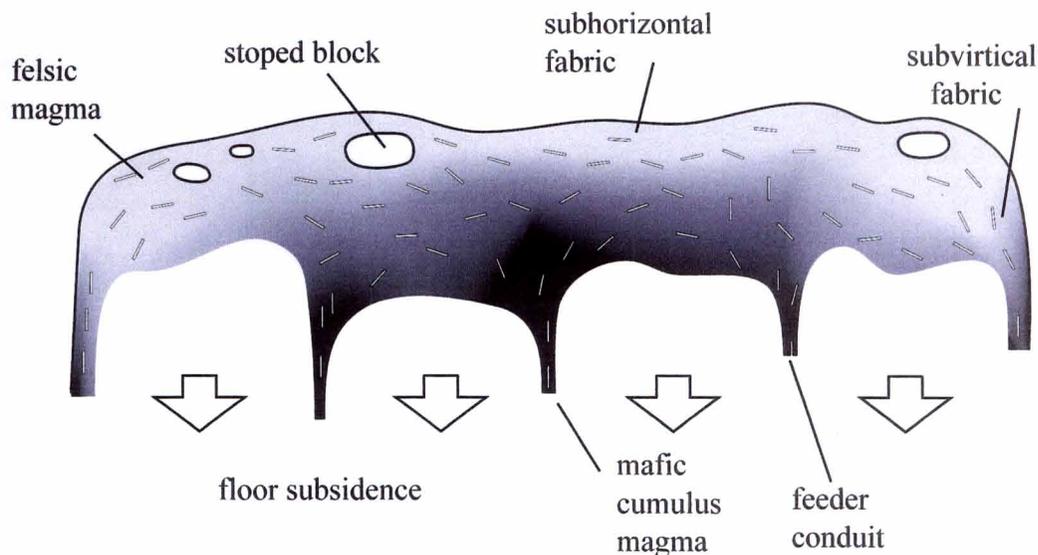


Fig. 2-17. Schematic overview of the mode of emplacement of the Tanzawa tonalite.

なテクトニクス場の下で、複数のユニットからなる「環状」に近いプルアパート割れ目が形成され、各貫入ユニットの周縁部に沿ってマグマが上昇し、地殻浅部において床の沈降により一種のロポリスを形成した。室久保川ユニットと水ノ木沢ユニットでは、最初に安山岩質マグマとその分化マグマが環状割れ目に沿って上昇し床の沈降によって形成された空間を占めるとともに、引き続いて $\text{SiO}_2 = 60\text{wt}\%$ 以下のキュームレイト質マグマが上昇しユニットの外縁部に定置固化した。一方、玄倉川ユニットおよび石割山ユニットでは最初に $\text{SiO}_2 = 65\text{wt}\%$ 以上の分化マグマが上昇し、引き続いて一部で $\text{SiO}_2 = 60 \sim 65\text{wt}\%$ の未分化マグマが上昇・定置した (Fig. 2-17)。石割山では多数の高温の玄武岩質ないしは玄武岩質安山岩質マグマからなる同時性岩脈が貫入したために局所的な熱対流が頻繁に生じ、帯磁率線構造などに乱れが生じた。

## 2-9 まとめ

丹沢トータル岩複合岩体主期トータル岩体の帯磁率異方性および古地磁気方位を検討した結果以下のことが明らかとなった。

1. 主期トータル岩体中の同時性岩脈および地蔵平侵入岩体中の岩脈の古地磁気方位の測定結果は、丹沢トータル岩複合岩体が7Ma以降現在に至るまでに若干の回転はしたかもしれないが著しい傾動を受けていないことを示している。
2. 主期トータル岩体では、閉じた同心楕円状の帯磁率面構造から、玄倉川、室久保川、水ノ木沢、石割山の4ユニットが識別できる。各ユニットは、周縁部で $\text{SiO}_2$ 量に乏しく中心部で富む「水平正規組成累帯構造」深成岩体を構成する。水ノ木沢ユニットの西部には、マグマ固化末期に左横ずれ剪断帯内に形成された、北西-南東走向・急傾斜の面構造が発達する。
3. 各ユニット内の帯磁率線構造の傾斜は、ユニット周縁部で急傾斜、内部で緩傾斜を示す傾向がある。このことは、マグマは各ユニットの周縁部から環状の割れ目を通して上昇したことを示している。石割山ユニットでは線構造の乱れがみられるが、これは同時性岩脈の貫入がもたらした熱的攪乱による局所対流に原因する可能性が高い。水ノ木沢ユニット西部の左横ずれ剪断帯では、帯磁率線構造の傾斜もきわめて緩傾斜であり、横ずれの変位センスと矛盾しない。
4. 丹沢トータル岩複合岩体の主期トータル岩体は、横ずれ断層が形成されるテクトニクス場において、プルアパート性開口割れ目を満たすようにトータル岩マグマが上昇することで形成された可能性が高い。各ユニットは、環状割れ目に

沿って底部が沈降することで確保された空間が、環状割れ目から供給されたマグマによって満たされたことにより形成された、一種のロポリスである可能性がある。

Appendix2-1. Whole rock XRF analysis after Takanashi and Kanamaru (2004)  
no. 1

Rock type	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total (wt%)
Gabbro	52.93	0.82	15.29	12.00	0.18	5.74	9.64	2.96	0.30	0.08	100.00
	52.49	0.73	19.60	9.10	0.16	4.84	10.38	2.26	0.31	0.07	100.00
	51.18	0.77	19.55	9.62	0.19	5.17	10.28	2.72	0.40	0.07	100.00
Older Tonalite	56.96	0.66	18.69	7.56	0.15	3.66	8.75	2.88	0.53	0.10	100.00
	60.37	0.63	17.53	6.69	0.14	3.25	7.47	3.22	0.54	0.10	100.00
	49.28	0.69	20.69	10.26	0.20	5.56	10.97	2.09	0.14	0.07	100.00
	56.66	0.88	18.84	7.85	0.17	3.24	8.41	3.33	0.47	0.11	100.00
	53.44	0.89	20.06	8.40	0.17	3.54	10.00	2.95	0.42	0.14	100.00
	53.70	0.84	18.84	9.28	0.18	4.58	9.35	2.79	0.35	0.09	100.00
	53.96	1.02	19.09	8.93	0.19	3.86	9.17	3.32	0.34	0.12	100.00
Main Tonalite	62.16	0.52	16.46	6.75	0.15	3.09	7.13	3.21	0.44	0.08	100.00
	62.21	0.51	16.61	6.62	0.14	2.96	7.12	3.27	0.49	0.08	100.00
	71.14	0.44	16.54	2.15	0.12	2.17	2.63	3.67	1.08	0.07	100.00
	65.28	0.43	15.94	5.44	0.13	2.36	6.19	3.41	0.75	0.08	100.00
	58.62	0.59	17.49	7.75	0.15	3.66	8.02	2.83	0.80	0.09	100.00
	64.46	0.44	16.27	5.67	0.14	2.42	6.34	3.40	0.77	0.09	100.00
	68.73	0.38	15.04	4.52	0.08	1.83	4.72	3.67	0.95	0.07	100.00
	61.36	0.72	16.91	6.57	0.13	2.85	7.27	3.75	0.30	0.12	100.00
	54.69	1.06	18.00	9.51	0.20	3.97	8.84	3.40	0.17	0.17	100.00
	62.51	0.57	16.71	6.61	0.16	2.77	6.81	3.60	0.14	0.12	100.00
	68.46	0.45	15.20	4.62	0.11	1.69	5.17	3.65	0.55	0.10	100.00
	63.23	0.73	15.82	6.69	0.15	2.64	6.64	3.41	0.59	0.10	100.00
	58.72	0.57	17.25	7.75	0.18	3.64	8.21	3.23	0.35	0.10	100.00
	65.28	0.50	16.42	5.05	0.11	2.02	6.09	4.03	0.40	0.10	100.00
	70.57	0.33	14.83	3.46	0.09	1.33	4.87	3.72	0.73	0.07	100.00
	53.79	0.85	18.04	9.89	0.20	4.43	9.70	2.65	0.34	0.12	100.00
	65.23	0.61	15.30	5.79	0.13	2.50	5.72	3.74	0.89	0.10	100.00
	60.87	0.73	16.47	7.38	0.17	3.09	7.41	3.23	0.53	0.12	100.00
	59.35	0.73	17.14	7.54	0.16	3.35	7.77	3.33	0.50	0.13	100.00
	65.90	0.51	15.97	5.03	0.12	1.96	5.99	3.74	0.69	0.09	100.00
	69.35	0.41	15.43	4.03	0.10	1.52	4.49	4.11	0.45	0.10	100.00
	64.18	0.57	16.51	5.37	0.13	2.28	6.30	4.00	0.55	0.11	100.00
	72.02	0.34	14.25	3.28	0.10	1.20	4.18	3.98	0.56	0.07	100.00
	71.59	0.29	14.91	3.06	0.07	1.05	4.66	3.81	0.51	0.06	100.00
	56.43	0.91	17.98	8.23	0.16	3.56	8.76	3.57	0.26	0.14	100.00
	64.78	0.45	16.01	6.01	0.18	2.41	6.11	3.32	0.66	0.07	100.00
	62.31	0.50	16.47	6.39	0.16	2.62	6.83	4.12	0.52	0.08	100.00
	58.94	0.74	17.59	7.56	0.17	3.18	7.55	3.55	0.59	0.13	100.00
	57.61	0.85	17.08	8.91	0.18	3.61	8.32	3.00	0.31	0.12	100.00
	61.30	0.66	17.39	6.40	0.14	2.44	7.14	4.00	0.41	0.11	100.00
	61.80	0.54	16.67	6.57	0.14	3.14	7.39	3.13	0.53	0.08	100.00
	72.18	0.31	14.41	2.99	0.06	1.05	3.54	4.07	1.31	0.07	100.00
	71.63	0.33	14.53	3.26	0.08	1.14	3.61	4.12	1.23	0.07	100.00
64.73	0.59	15.95	5.60	0.12	2.56	6.06	3.70	0.59	0.11	100.00	
55.58	0.85	18.48	8.74	0.19	3.78	8.76	3.15	0.36	0.11	100.00	
61.10	0.72	17.29	6.43	0.13	2.90	7.80	3.19	0.33	0.11	100.00	
66.26	0.54	16.23	4.76	0.11	1.74	5.87	3.91	0.48	0.10	100.00	
61.52	0.54	16.86	6.85	0.18	3.17	7.21	3.22	0.37	0.08	100.00	
61.42	0.53	17.20	6.61	0.19	3.05	7.33	3.21	0.39	0.08	100.00	
62.80	0.46	17.04	6.12	0.13	2.67	6.95	3.34	0.41	0.07	100.00	
61.98	0.72	17.08	6.30	0.13	2.68	7.13	3.56	0.31	0.13	100.00	
58.76	0.76	17.87	7.43	0.15	3.18	7.74	3.52	0.45	0.13	100.00	
65.90	0.53	15.99	5.09	0.10	2.10	5.68	3.76	0.75	0.10	100.00	
65.74	0.57	15.64	5.37	0.11	2.35	5.65	3.67	0.79	0.11	100.00	
61.43	0.62	17.90	5.76	0.11	2.40	7.03	4.28	0.38	0.11	100.00	

Appendix2-1. (continued no.2)

Rock type	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total (wt%)
Main Tonalite	59.48	0.79	17.08	7.71	0.15	3.25	7.59	3.34	0.47	0.13	100.00
	59.73	0.68	17.94	6.76	0.14	2.95	7.77	3.59	0.34	0.11	100.00
	61.05	0.65	17.62	6.35	0.15	2.78	7.33	3.74	0.21	0.13	100.00
	59.77	0.58	17.21	7.33	0.16	3.39	7.83	3.18	0.46	0.10	100.00
	59.33	0.69	17.95	7.19	0.13	2.87	7.92	3.28	0.47	0.12	100.00
	58.65	0.75	18.25	6.95	0.13	3.34	8.14	3.35	0.26	0.14	100.00
	62.11	0.62	17.20	6.06	0.12	2.52	7.10	3.80	0.31	0.10	100.00
	71.58	0.22	15.65	2.29	0.04	0.82	4.55	3.75	1.02	0.03	100.00
	53.00	0.90	19.07	9.41	0.16	4.43	9.66	2.88	0.32	0.12	100.00
	55.77	0.81	18.67	8.37	0.17	3.89	8.77	3.00	0.37	0.12	100.00
	53.13	1.00	17.76	9.95	0.20	4.72	8.72	3.93	0.41	0.13	100.00
	69.95	0.36	15.67	3.10	0.06	1.21	4.48	3.97	1.08	0.06	100.00
	65.31	0.51	16.53	4.88	0.11	2.12	5.99	3.80	0.61	0.10	100.00
	68.46	0.44	15.25	4.28	0.11	1.92	5.45	3.45	0.51	0.08	100.00
	58.12	0.71	18.44	7.20	0.14	3.39	8.31	3.23	0.29	0.11	100.00
	59.13	0.79	17.56	7.48	0.15	3.20	7.58	3.30	0.65	0.11	100.00
	57.02	0.82	18.07	8.43	0.16	3.88	8.07	2.91	0.48	0.12	100.00
	62.78	0.47	17.07	5.88	0.12	2.84	6.93	3.12	0.67	0.06	100.00
	65.90	0.45	16.71	4.57	0.11	2.06	5.90	3.60	0.56	0.09	100.00
	57.64	0.76	18.19	7.41	0.16	3.57	8.40	3.47	0.23	0.12	100.00
	59.74	0.57	17.28	7.42	0.14	3.64	7.62	2.78	0.68	0.08	100.00
	65.10	0.44	16.27	5.19	0.11	2.46	6.16	3.34	0.81	0.07	100.00
	65.62	0.46	15.84	5.38	0.11	2.48	5.75	3.24	1.01	0.06	100.00
	64.19	0.65	16.09	5.70	0.11	2.69	6.07	3.53	0.82	0.10	100.00
	64.73	0.57	16.74	5.11	0.12	2.21	6.13	3.83	0.40	0.10	100.00
	57.99	0.74	18.21	7.59	0.15	3.67	7.89	3.04	0.57	0.11	100.00
	53.44	1.04	19.90	8.37	0.13	3.78	9.50	3.39	0.24	0.15	100.00
	63.07	0.50	16.83	6.04	0.12	2.89	6.76	3.01	0.65	0.07	100.00
	59.12	0.56	17.82	7.32	0.14	3.68	8.01	2.74	0.49	0.07	100.00
	59.62	0.59	17.78	7.26	0.18	3.54	7.78	2.88	0.22	0.09	100.00
	66.01	0.48	16.76	4.40	0.10	1.82	6.06	3.58	0.67	0.07	100.00
	58.85	0.73	18.49	6.72	0.13	3.07	8.33	3.16	0.37	0.11	100.00
	73.17	0.28	14.46	2.61	0.06	0.93	3.63	3.89	0.86	0.06	100.00
	60.97	0.61	17.16	6.79	0.14	3.33	7.44	3.00	0.43	0.08	100.00
	64.16	0.60	16.51	5.34	0.11	2.58	6.26	3.60	0.75	0.10	100.00
	57.09	0.86	17.71	8.25	0.17	3.82	8.41	3.08	0.50	0.12	100.00
	60.62	0.62	17.25	6.90	0.16	3.59	7.07	3.19	0.52	0.07	100.00
	62.89	0.49	16.71	5.95	0.15	4.31	6.86	2.30	0.42	0.08	100.00
	67.72	0.45	15.66	4.49	0.12	1.67	5.18	3.81	0.84	0.09	100.00
	61.25	0.70	16.95	6.79	0.14	2.96	7.11	3.32	0.67	0.12	100.00
	61.19	0.56	16.66	7.17	0.16	3.48	7.12	3.14	0.44	0.08	100.00
	64.71	0.56	16.49	5.40	0.11	2.46	6.04	3.60	0.64	0.10	100.00
	62.53	0.47	17.83	5.30	0.11	2.63	7.16	3.48	0.41	0.09	100.00
	61.85	0.54	16.98	6.39	0.15	3.22	7.05	3.21	0.53	0.08	100.00
	68.09	0.38	15.42	4.49	0.12	1.72	4.91	3.94	0.84	0.08	100.00
	71.06	0.31	14.74	3.28	0.08	1.20	3.93	4.36	0.97	0.07	100.00
	71.34	0.33	14.58	3.32	0.08	1.34	4.19	4.02	0.73	0.08	100.00
	69.41	0.36	15.27	3.87	0.10	1.57	4.65	4.08	0.60	0.09	100.00
	68.73	0.36	15.41	4.11	0.10	1.63	5.00	4.04	0.55	0.08	100.00
	68.39	0.37	15.30	4.34	0.11	1.77	5.03	3.84	0.78	0.08	100.00
	69.40	0.38	14.88	4.16	0.10	1.63	4.65	3.93	0.78	0.08	100.00
	71.09	0.32	14.78	3.46	0.10	1.33	3.96	4.03	0.87	0.07	100.00
	70.74	0.32	14.85	3.53	0.10	1.38	4.22	3.89	0.90	0.07	100.00
	68.32	0.36	15.70	4.31	0.10	1.61	4.92	3.85	0.74	0.08	100.00
	70.81	0.32	14.62	3.61	0.09	1.33	4.16	4.03	0.96	0.08	100.00
	68.86	0.37	15.16	4.32	0.11	1.77	4.64	3.97	0.72	0.08	100.00

Appendix2-1. (continued no.2)

Rock type	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	(wt%)
Main Tonalite	67.83	0.39	15.68	4.48	0.11	1.79	5.04	3.78	0.82	0.08	100.00	
	69.64	0.33	15.41	3.82	0.10	1.40	4.37	4.05	0.80	0.08	100.00	
	70.20	0.32	15.52	3.25	0.09	1.31	4.36	3.95	0.89	0.06	100.00	
	69.37	0.36	15.37	3.77	0.10	1.63	4.67	3.75	0.86	0.07	100.00	
	68.95	0.36	15.67	3.83	0.09	1.68	4.97	3.68	0.66	0.06	100.00	
	69.65	0.32	15.74	3.41	0.08	1.46	4.61	3.80	0.82	0.06	100.00	
	70.03	0.33	15.51	3.34	0.08	1.42	4.37	3.84	0.94	0.06	100.00	
	70.38	0.32	15.35	3.29	0.08	1.39	4.32	3.83	0.93	0.06	100.00	
	70.15	0.36	15.40	3.44	0.09	1.45	4.51	3.83	0.65	0.07	100.00	
	67.86	0.45	15.77	4.51	0.11	1.66	4.88	3.54	1.13	0.10	100.00	
	67.74	0.49	15.47	5.08	0.11	1.64	5.20	3.39	0.77	0.11	100.00	
	70.31	0.37	15.02	3.78	0.10	1.17	4.54	3.90	0.73	0.08	100.00	
	72.62	0.26	14.46	2.89	0.07	0.81	3.16	4.36	1.30	0.07	100.00	
	72.60	0.32	14.17	3.14	0.08	0.85	3.14	3.89	1.75	0.06	100.00	
	62.14	0.64	16.58	7.02	0.16	2.86	6.29	3.57	0.63	0.10	100.00	
	70.36	0.38	14.77	3.79	0.09	1.13	3.88	4.14	1.38	0.08	100.00	
	67.97	0.46	15.55	4.65	0.09	1.53	4.79	3.98	0.87	0.10	100.00	
	72.27	0.30	14.19	3.07	0.08	0.97	3.77	3.93	1.36	0.07	100.00	
	Anorthosite	57.01	0.09	26.41	1.28	0.02	0.28	11.05	3.39	0.46	0.00	100.00
56.46		0.15	26.12	2.00	0.02	0.51	10.85	3.51	0.38	0.01	100.00	
56.65		0.12	26.22	1.71	0.02	0.48	10.82	3.55	0.42	0.01	100.00	
62.21		0.35	20.92	2.79	0.06	1.00	7.75	4.35	0.46	0.07	100.00	
62.75		0.21	21.73	1.89	0.03	0.68	8.26	4.07	0.30	0.04	100.00	
58.15		0.18	25.13	1.66	0.02	0.29	9.96	4.04	0.49	0.05	100.00	
70.41		0.16	17.65	1.27	0.02	0.37	4.98	4.36	0.70	0.04	100.00	
69.06	0.13	18.35	1.37	0.02	0.41	6.02	4.09	0.48	0.03	100.00		
Anorthosite	69.15	0.08	18.69	1.08	0.01	0.23	6.75	3.58	0.35	0.02	100.00	
	68.17	0.16	18.76	1.44	0.03	0.46	6.65	3.90	0.40	0.03	100.00	
Syn-plutonic dike and Mafic inclusion	55.91	0.79	15.81	9.45	0.25	5.07	7.46	4.35	0.80	0.11	100.00	
	51.75	1.01	18.11	10.63	0.22	4.88	9.34	3.57	0.35	0.15	100.00	
Mafic inclusion	58.20	0.78	16.54	7.29	0.17	4.75	7.83	3.80	0.54	0.11	100.00	
	54.09	0.74	16.13	8.80	0.23	6.39	8.87	4.18	0.47	0.09	100.00	
	53.18	0.83	18.79	9.60	0.19	4.08	8.65	4.08	0.46	0.12	100.00	
	60.49	0.69	16.56	7.85	0.18	2.93	6.22	4.35	0.62	0.09	100.00	
	55.03	0.65	18.19	8.73	0.23	3.96	7.06	5.22	0.83	0.09	100.00	
	54.74	0.57	18.87	8.07	0.21	4.18	8.29	4.30	0.69	0.07	100.00	
	56.00	0.61	18.43	8.03	0.22	3.69	6.66	5.30	0.98	0.08	100.00	
	55.32	0.66	18.10	8.76	0.24	3.98	7.24	4.87	0.74	0.09	100.00	
	58.48	0.58	18.98	6.56	0.12	2.44	7.67	4.10	0.99	0.09	100.00	
	57.54	0.53	18.25	7.42	0.17	3.61	7.60	4.19	0.63	0.06	100.00	
	55.40	0.56	18.56	8.02	0.19	4.01	7.63	4.72	0.83	0.08	100.00	
	53.30	0.74	18.46	9.05	0.20	5.07	8.52	4.06	0.49	0.07	100.00	
	53.82	0.89	17.21	10.84	0.25	4.32	8.31	3.44	0.84	0.09	100.00	
	54.84	0.78	17.56	9.45	0.26	4.28	7.75	3.82	1.16	0.09	100.00	
	55.14	0.82	17.64	9.62	0.20	3.83	7.65	4.34	0.64	0.12	100.00	
	52.48	0.82	19.38	10.31	0.21	4.16	8.07	3.69	0.79	0.09	100.00	
	52.98	0.90	17.78	10.34	0.24	4.67	8.60	3.67	0.70	0.12	100.00	
	55.33	0.80	17.49	9.98	0.21	3.98	7.65	3.23	1.25	0.09	100.00	
	53.02	0.89	17.61	10.77	0.24	4.25	8.90	3.47	0.75	0.10	100.00	
53.57	0.84	17.97	9.72	0.19	4.26	9.48	3.48	0.39	0.12	100.00		
51.89	0.45	22.57	6.54	0.15	3.49	11.80	2.31	0.74	0.05	100.00		
55.60	0.72	17.53	9.13	0.20	3.88	8.76	3.09	1.04	0.07	100.00		
53.76	0.87	16.97	10.24	0.24	5.41	7.42	4.48	0.50	0.12	100.00		
Younger Tonalite	60.01	0.74	17.10	7.30	0.16	3.05	7.76	3.54	0.21	0.13	100.00	
	77.15	0.12	13.06	0.87	0.01	0.21	1.58	5.10	1.85	0.05	100.00	
	71.58	0.31	15.91	2.72	0.11	0.97	3.14	4.43	0.67	0.10	100.00	
	71.83	0.36	14.87	2.96	0.08	0.93	3.86	4.08	0.90	0.07	100.00	
	74.59	0.22	14.04	1.95	0.03	0.66	2.85	3.80	1.75	0.06	100.00	
	68.52	0.39	16.00	3.87	0.11	1.64	4.76	3.74	0.84	0.10	100.00	
	75.79	0.22	13.59	1.48	0.04	0.45	2.12	4.36	1.90	0.04	100.00	

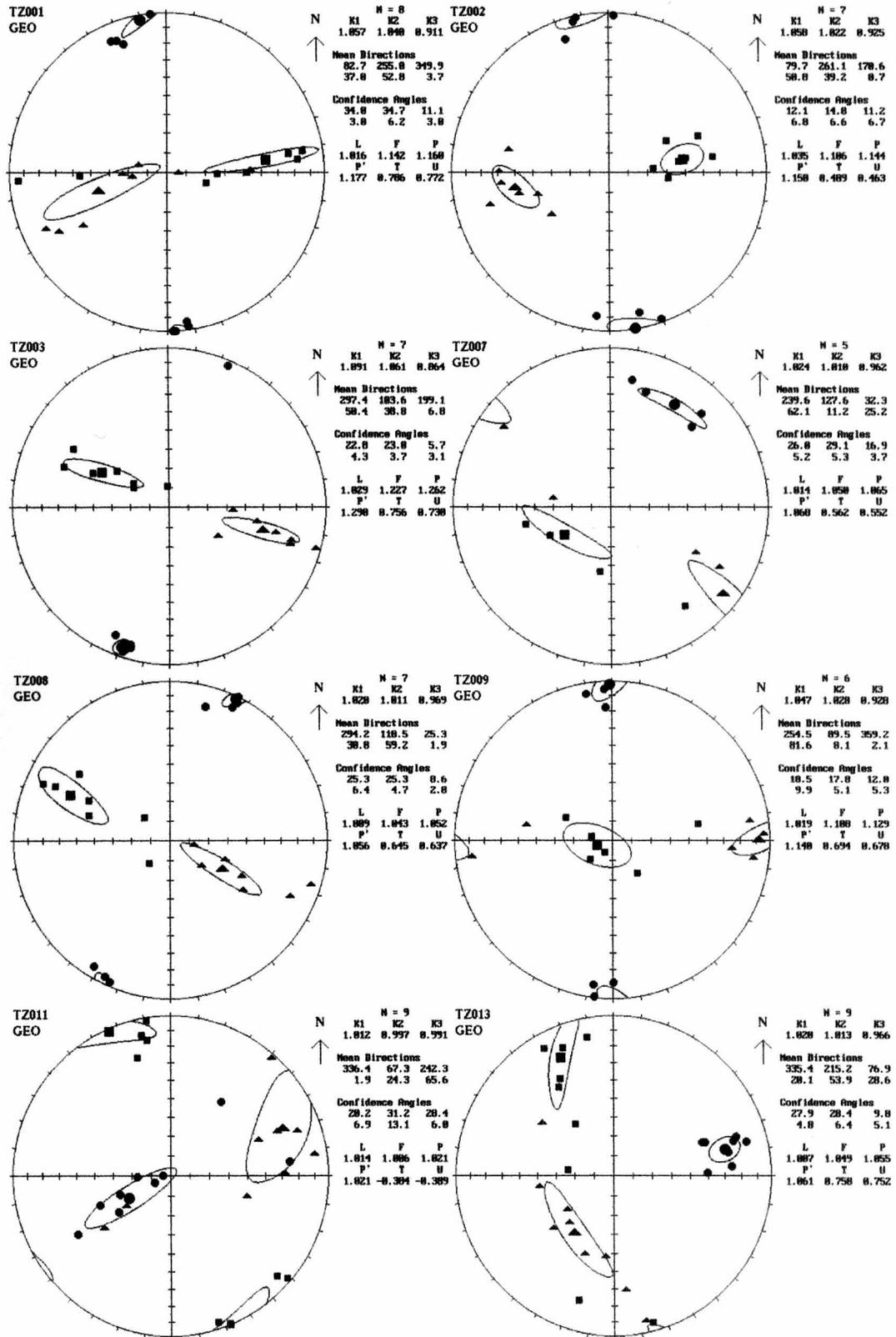
Appendix2-1. (continued no. 4)

Rock type	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	V	Cr	Ni (ppm)
Gabbro	4.70	226.50	113.00	23.20	45.20	315.50	27.50	24.70
	5.40	290.00	123.90	38.70	31.50	248.60	15.40	14.60
Older Tonalite	7.90	293.00	158.00	22.60	55.40	179.40	10.10	9.80
	7.70	265.60	172.90	25.60	76.70	147.70	12.20	11.60
	1.80	324.00	25.20	16.70	20.80	231.20	7.50	9.30
	6.40	241.40	104.60	25.00	52.60	183.70	8.30	4.80
Main Tonalite	16.76	262.55	178.35	18.66	51.87	203.77	9.42	7.73
	16.14	204.60	287.49	19.22	104.36	91.93	0.26	3.10
	6.72	259.90	78.26	26.98	71.72	283.73		3.73
	14.24	233.88	166.85	13.59	91.26	54.80	8.81	3.99
	8.81	267.31	96.44	20.69	42.84	286.75	0.53	5.52
	9.46	243.89	149.29	26.88	95.68	176.70	0.19	2.58
	12.42	247.46	184.67	21.93	99.67	122.40	1.09	4.06
	6.79	257.95	91.16	31.22	100.11	236.56	1.03	3.54
	9.69	219.48	261.14	20.59	85.77	120.27	3.51	6.06
	7.50	255.85	114.22	27.10	71.21	235.51	3.31	4.65
	25.68	238.30	428.17	19.87	116.43	60.61	4.04	3.59
	7.78	263.91	134.66	19.51	59.05	227.23		2.50
	8.64	252.80	131.82	25.27	111.96	101.80		1.79
	8.64	252.80	131.82	25.27	111.96	101.80		1.79
	7.30	299.30	125.30	33.00	70.40	195.50	10.80	7.10
	4.20	294.40	80.40	22.60	65.30	163.70	12.60	9.60
	3.60	275.80	103.60	28.40	97.30	124.30	9.30	10.70
	15.10	212.40	387.30	8.70	71.40	45.70	5.30	5.20
	2.50	306.40	113.60	30.10	65.40	235.60	10.20	10.30
	4.90	310.60	112.60	18.90	59.60	195.00	6.30	9.00
	4.80	341.90	155.10	37.90	27.20	232.70	8.60	10.30
	16.70	268.00	371.70	17.20	110.60	61.70	9.10	8.40
	8.20	248.30	236.40	24.90	85.90	105.20	7.80	6.70
	7.80	248.90	177.90	18.80	84.60	98.80	7.10	8.10
	4.10	321.70	94.80	20.70	63.30	166.30	9.30	8.50
	9.00	273.60	188.20	31.60	98.80	158.90	7.10	7.60
	7.40	268.60	136.20	25.50	58.60	192.60	13.50	10.50
	9.80	258.90	227.70	17.80	46.60	129.40	12.40	11.20
	8.50	270.10	202.60	12.80	101.20	99.40	7.60	7.60
	2.30	271.80	93.50	24.30	67.80	180.70	9.70	8.00
	2.30	283.90	100.40	20.40	51.40	165.50	15.60	9.20
	9.50	272.30	228.00	24.20	92.50	94.80	12.20	6.10
	6.10	323.00	140.00	27.60	78.10	160.40	9.00	6.50
	13.30	207.00	329.30	15.60	98.60	44.10	4.10	2.90
	5.70	279.90	153.00	15.70	36.00	156.50	16.50	9.20
	11.34	204.91	274.12	18.69	99.22	80.97		1.48
	13.77	194.55	306.90	17.33	93.19	63.36		0.70
14.79	191.51	296.60	17.91	102.39	64.45		2.32	
14.54	219.08	257.67	18.33	109.01	87.51		1.54	
12.00	209.00	328.00	12.20	94.60	61.80	0.80	9.10	
9.90	232.00	306.80	13.60	82.50	65.80	2.00	3.30	
13.50	210.20	288.60	12.80	92.60	63.80	3.10	5.70	
12.10	210.70	289.60	13.10	84.50	64.60	2.20	3.90	
7.50	220.10	227.00	14.60	88.50	64.70	4.60	5.10	
15.55	214.06	185.30	17.80	113.19	97.48		0.81	
12.20	187.53	233.64	19.61	89.72	76.20		1.28	
30.33	139.55	359.68	22.94	106.78	55.54		1.77	
25.33	192.46	284.44	20.41	93.63	75.06		1.50	
17.31	202.19	241.51	19.03	107.75	89.27	0.02		

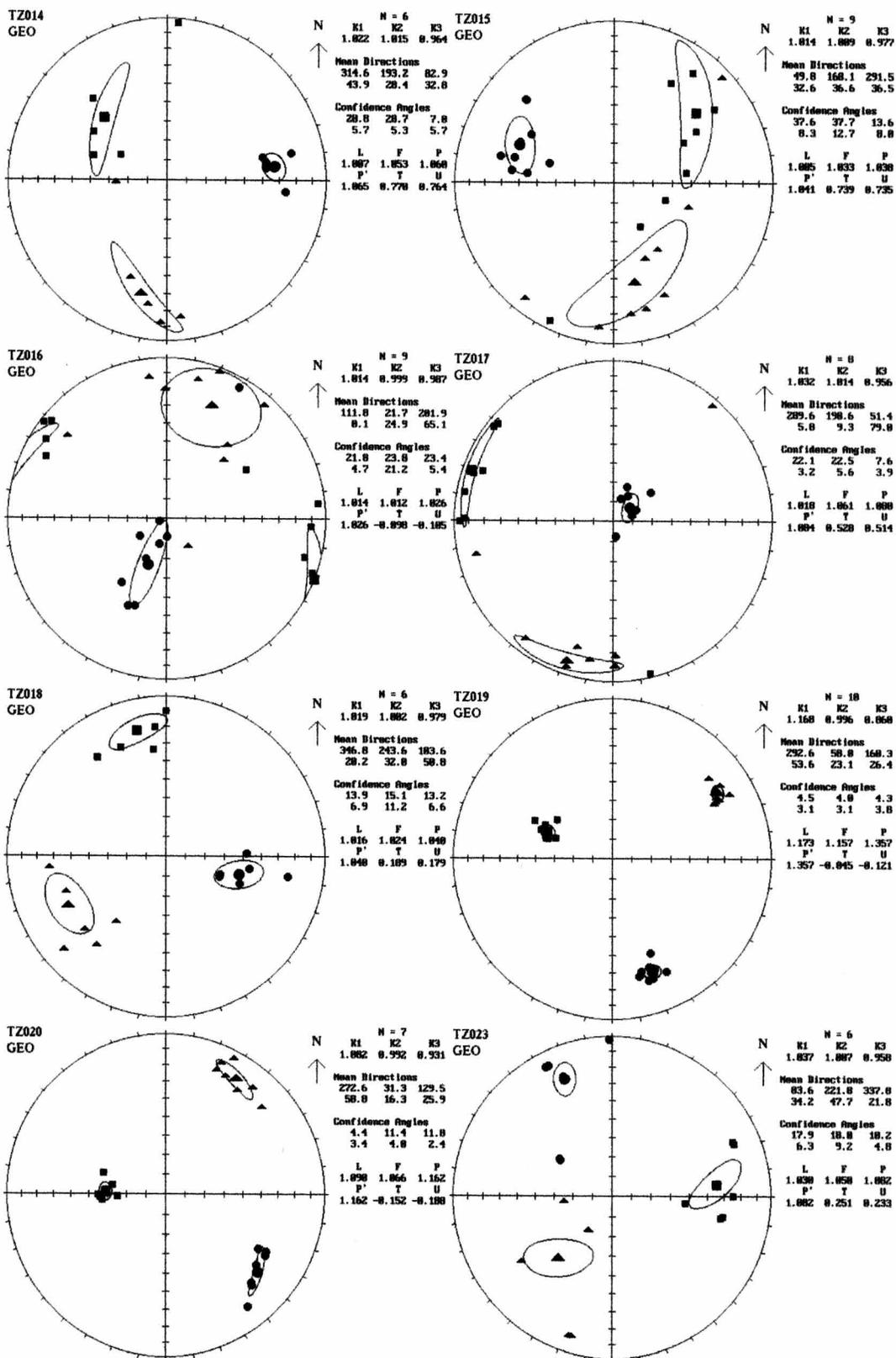
Appendix2-1. (continued no.5)

Rock type	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	V	Cr	Ni (ppm)
Anorthosite	6.60	346.10	161.20	10.30	45.90	61.80	2.30	3.60
	4.10	400.20	89.10	6.40	45.40	48.70	2.20	9.60
	5.30	422.10	128.20	2.90	30.10	39.70	3.50	2.40
	8.00	347.20	280.30	6.50	47.40	31.10	2.40	4.90
	5.50	278.00	192.50	5.30	48.20	33.80	1.80	5.20
	3.30	288.10	125.70	2.30	35.70	30.10		8.10
Syn-plutonic dike and	13.33	195.84	177.91	29.29	42.59	345.81	13.69	4.08
	23.12	191.31	207.87	29.41	40.31	273.21	29.69	9.58
Mafic inclusion	14.40	198.80	148.95	23.39	50.41	355.41	17.02	5.88
	11.83	230.18	150.00	31.72	29.37	282.51	13.06	9.49
	24.95	191.51	238.67	22.77	51.02	275.44	0.43	3.61
	12.43	191.74	143.11	25.78	47.93	317.81	13.47	3.96
Younger Tonalite	5.49	292.10	92.04	25.40	61.83	193.28	0.13	2.56
	10.50	253.80	235.40	18.20	110.80	34.10	1.90	4.80
	22.20	179.00	531.70	9.90	98.30	33.90	1.70	4.90

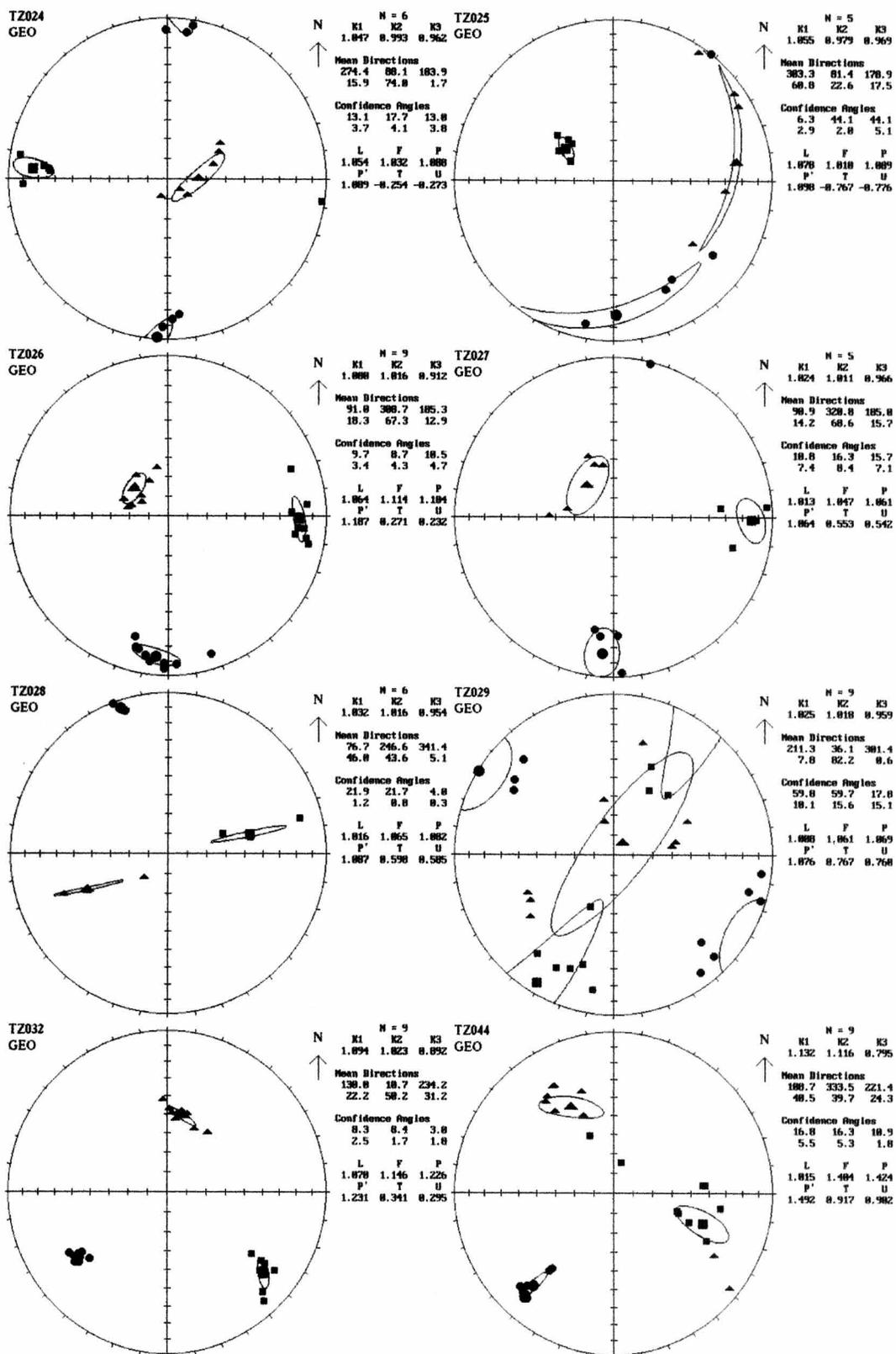
Appendix2-2. Stereographic projection of AMS measurement in Tanzawa tonalite (no. 1).



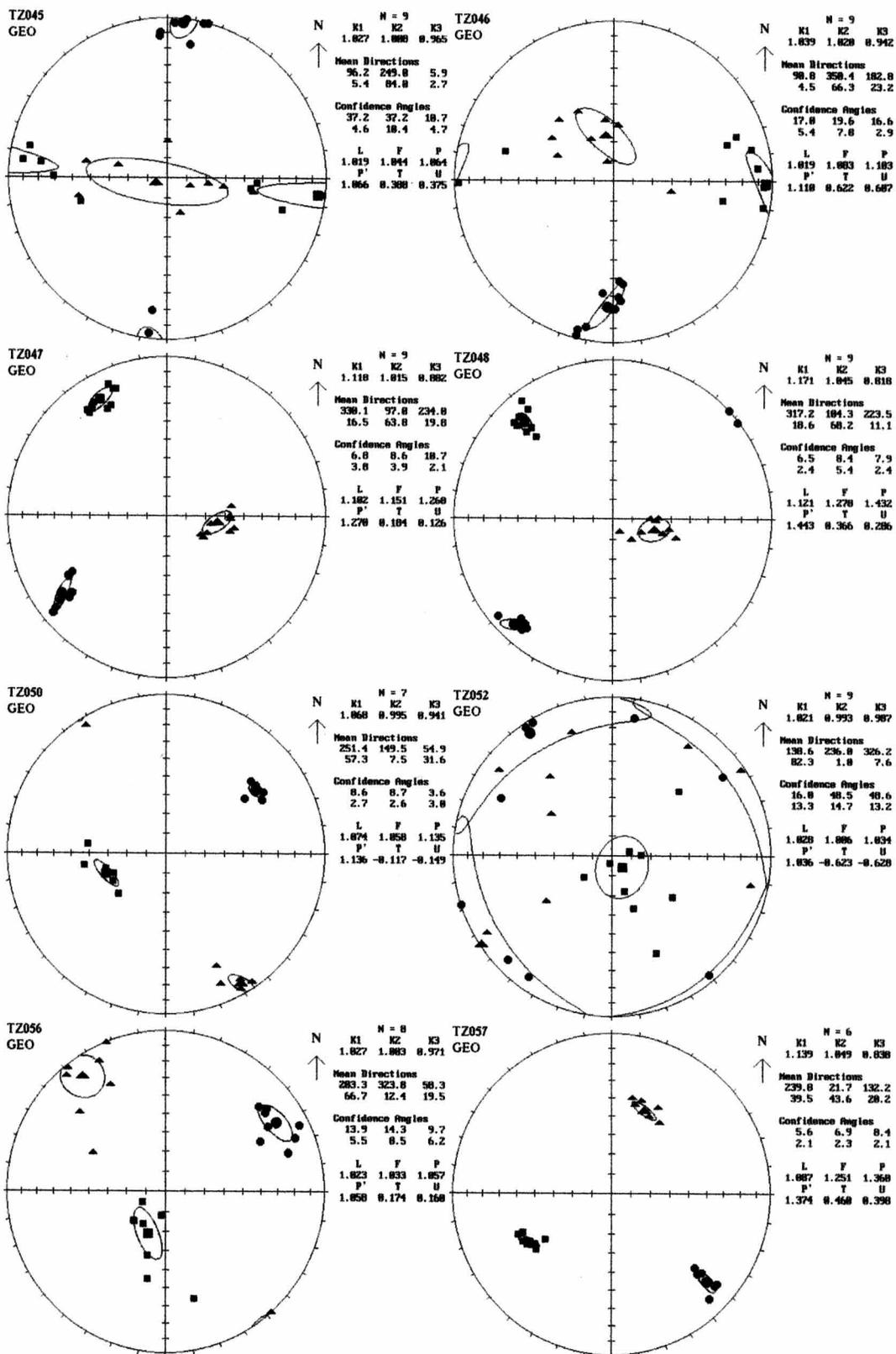
Appendix2-2. (continued no.2)



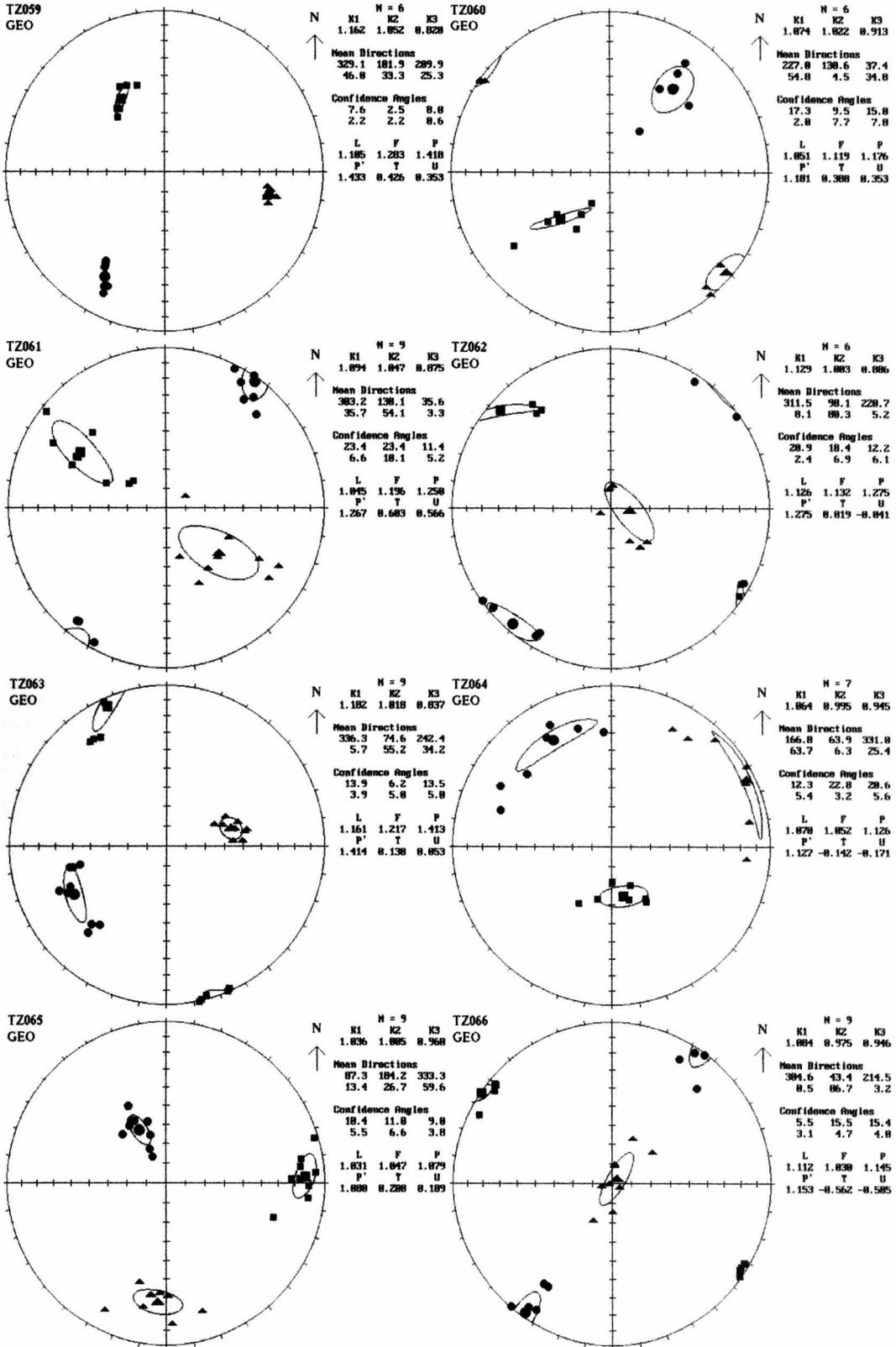
Appendix2-2. (continued no.3)



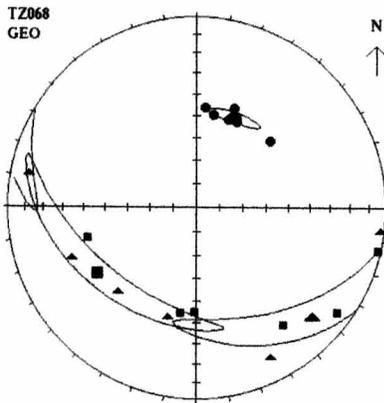
Appendix2-2. (continued no. 4)



Appendix2-2. (continued no.5)

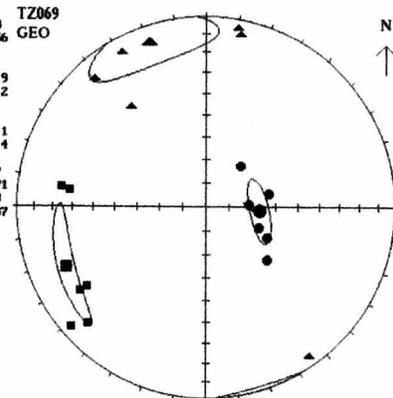


Appendix2-2. (continued no.6)



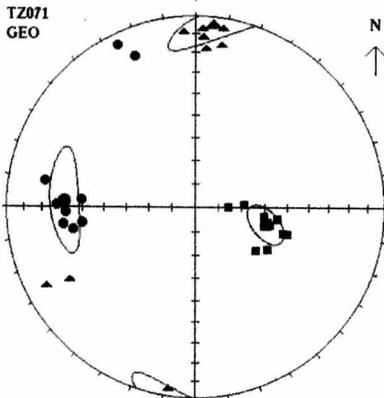
N ↑

N = 6		
K1	K2	K3
1.825	1.821	0.956
Mean Directions		
236.9	132.8	22.9
37.5	17.6	47.2
Confidence Angles		
55.2	55.3	11.1
5.8	7.8	2.4
L	F	P
1.084	1.067	1.071
P'	T	U
1.081	0.891	0.887



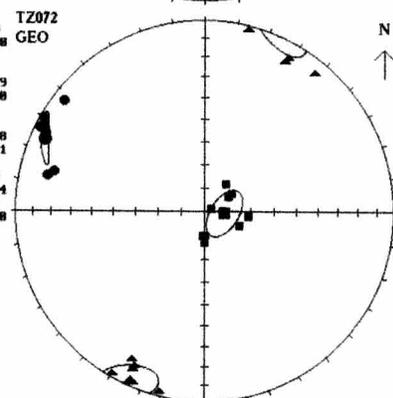
N ↑

N = 6		
K1	K2	K3
1.834	1.812	0.956
Mean Directions		
247.2	348.9	94.4
28.9	9.7	66.8
Confidence Angles		
22.3	23.8	13.7
4.5	12.3	4.2
L	F	P
1.022	1.058	1.082
P'	T	U
1.084	0.447	0.431



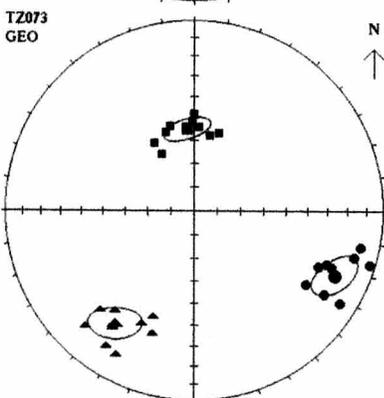
N ↑

N = 9		
K1	K2	K3
1.842	0.998	0.978
Mean Directions		
183.2	5.6	272.9
58.6	4.6	31.8
Confidence Angles		
18.1	19.6	19.8
5.5	6.7	7.1
L	F	P
1.053	1.028	1.074
P'	T	U
1.076	-0.446	-0.468



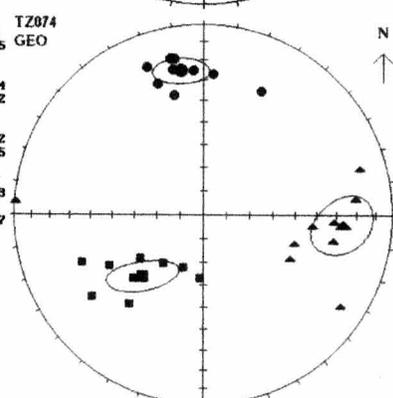
N ↑

N = 9		
K1	K2	K3
1.041	1.004	0.957
Mean Directions		
94.1	283.8	294.2
81.4	2.9	8.1
Confidence Angles		
11.1	11.5	18.8
6.8	7.3	2.8
L	F	P
1.037	1.049	1.080
P'	T	U
1.088	0.136	0.116



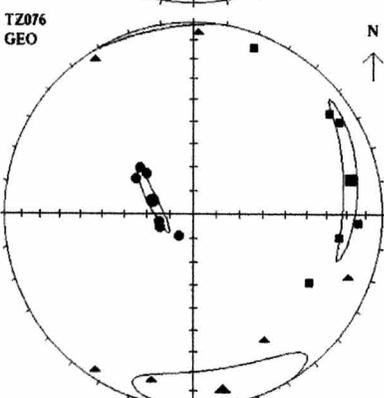
N ↑

N = 9		
K1	K2	K3
1.181	0.994	0.915
Mean Directions		
355.8	215.2	114.4
54.8	28.3	19.2
Confidence Angles		
18.1	11.6	11.2
4.4	6.6	6.5
L	F	P
1.187	1.087	1.283
P'	T	U
1.283	-0.182	-0.147



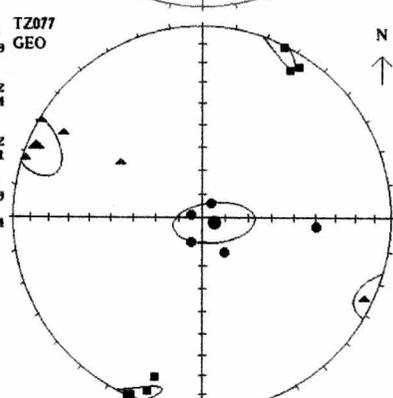
N ↑

N = 9		
K1	K2	K3
1.824	1.083	0.973
Mean Directions		
224.9	94.3	351.8
52.3	25.7	24.5
Confidence Angles		
16.2	16.8	18.5
6.1	18.1	6.3
L	F	P
1.021	1.031	1.053
P'	T	U
1.053	0.178	0.165



N ↑

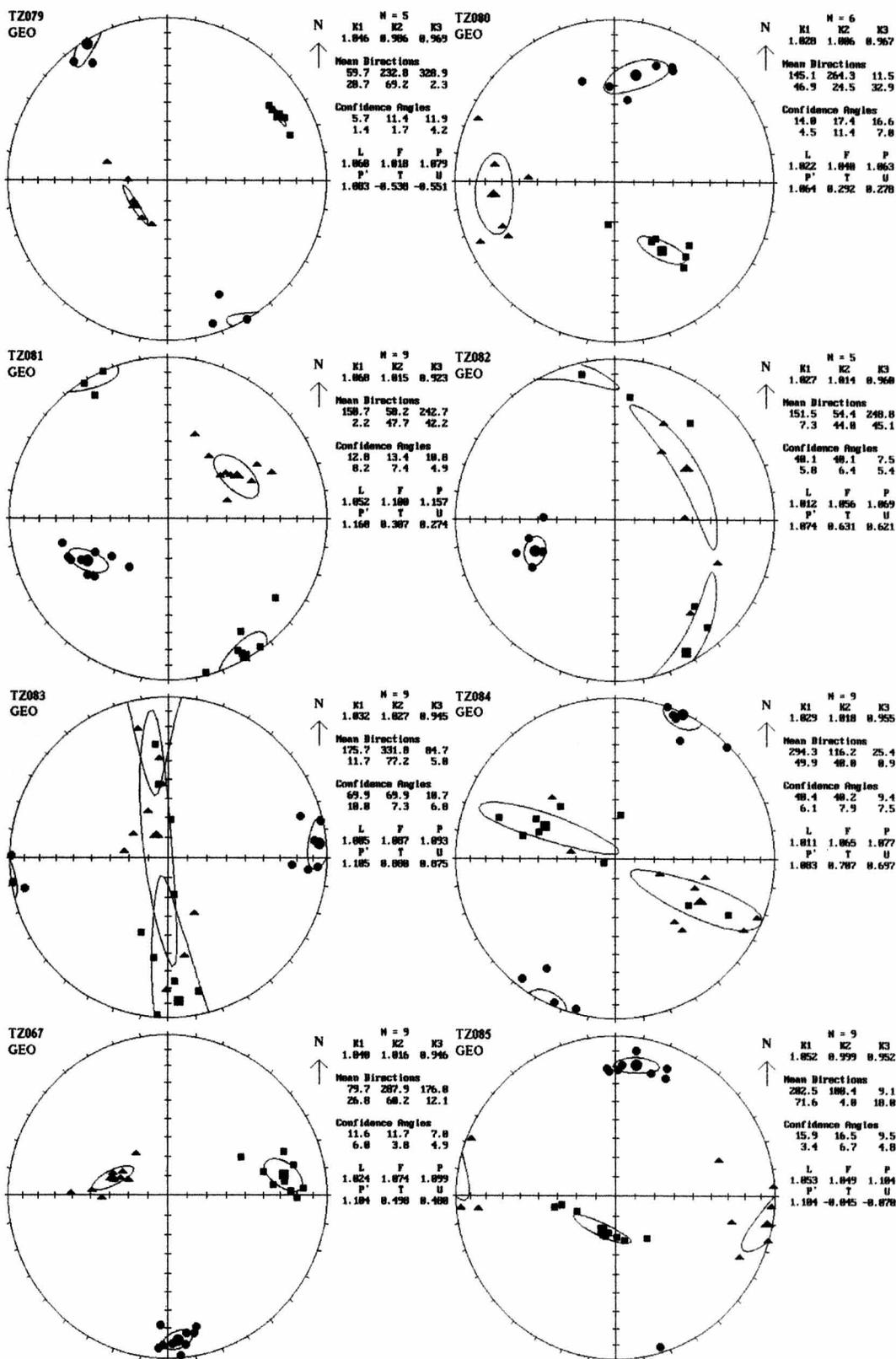
N = 6		
K1	K2	K3
1.833	1.821	0.949
Mean Directions		
77.7	178.3	288.2
16.1	8.9	71.4
Confidence Angles		
28.7	29.7	15.2
3.6	11.2	2.1
L	F	P
1.011	1.077	1.089
P'	T	U
1.097	0.743	0.734



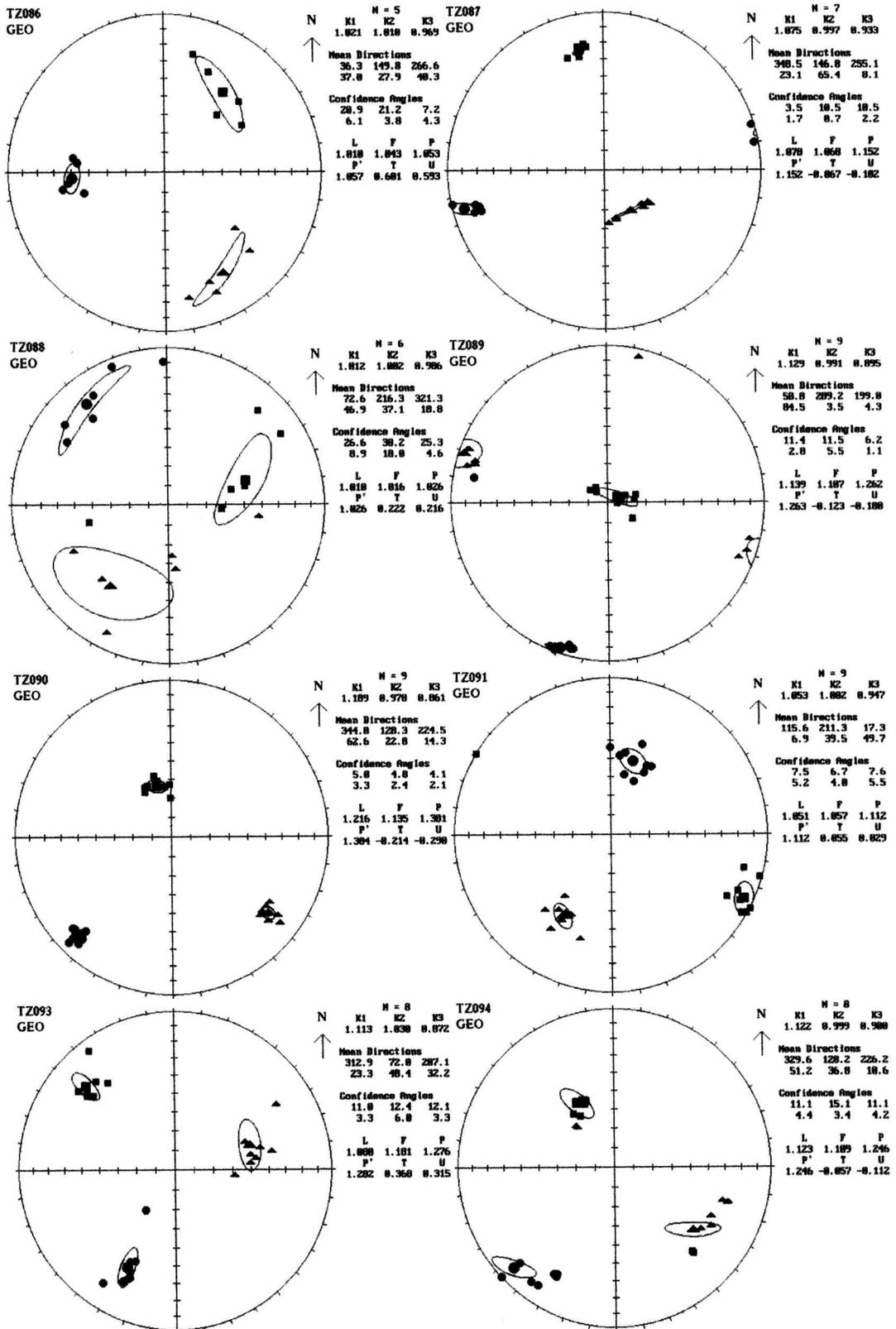
N ↑

N = 5		
K1	K2	K3
1.835	0.995	0.971
Mean Directions		
282.8	292.8	111.5
8.1	5.4	84.6
Confidence Angles		
13.7	16.5	17.6
3.2	7.6	8.5
L	F	P
1.040	1.025	1.066
P'	T	U
1.066	-0.227	-0.243

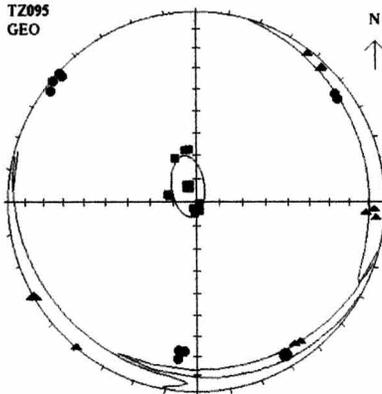
Appendix2-2. (continued no.7)



Appendix2-2. (continued no. 8)



Appendix2-2. (continued no.9)



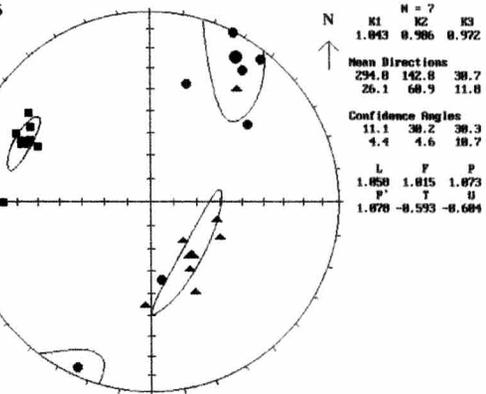
**N = 9**

K1	K2	K3
1.236	0.923	0.888

Mean Directions  
331.2 239.9 149.9  
82.3 8.2 7.7

Confidence Angles  
13.1 56.8 57.1  
7.1 7.9 2.6

L	F	P
1.339	1.839	1.391
P'	T	U
1.435	-0.778	-0.882



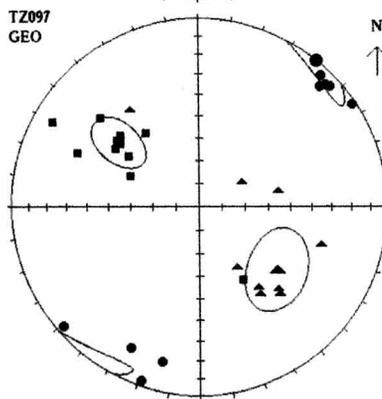
**N = 7**

K1	K2	K3
1.043	0.986	0.972

Mean Directions  
294.8 142.8 30.7  
26.1 60.9 11.8

Confidence Angles  
11.1 38.2 38.3  
4.4 4.6 18.7

L	F	P
1.058	1.015	1.073
P'	T	U
1.078	-0.593	-0.684



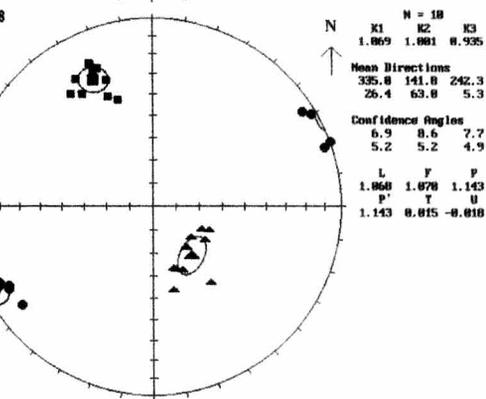
**N = 9**

K1	K2	K3
1.044	1.086	0.952

Mean Directions  
388.6 129.8 38.8  
44.4 45.6 8.2

Confidence Angles  
14.8 17.6 17.6  
8.8 13.7 5.6

L	F	P
1.038	1.057	1.056
P'	T	U
1.057	0.288	0.178



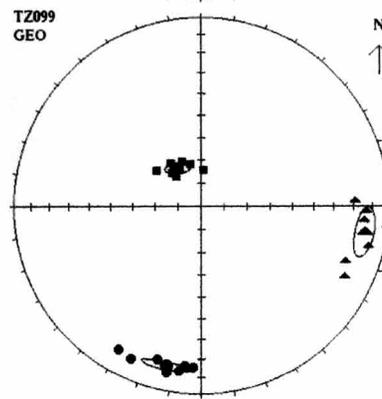
**N = 18**

K1	K2	K3
1.069	1.081	0.935

Mean Directions  
335.8 141.8 242.3  
26.4 63.8 5.3

Confidence Angles  
6.9 8.6 7.7  
5.2 5.2 4.9

L	F	P
1.060	1.078	1.143
P'	T	U
1.143	0.015	-0.018



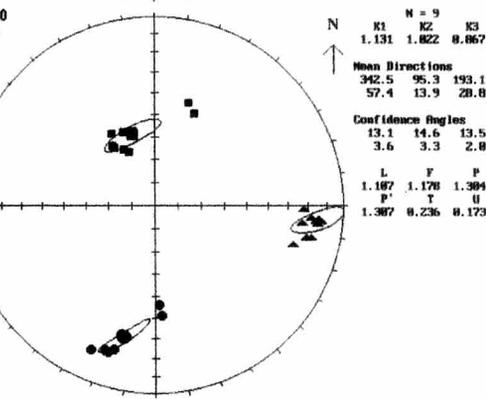
**N = 8**

K1	K2	K3
1.189	0.997	0.984

Mean Directions  
328.3 99.8 192.3  
78.6 12.9 14.2

Confidence Angles  
5.5 8.7 8.8  
2.2 5.2 2.8

L	F	P
1.112	1.183	1.226
P'	T	U
1.226	-0.041	-0.092



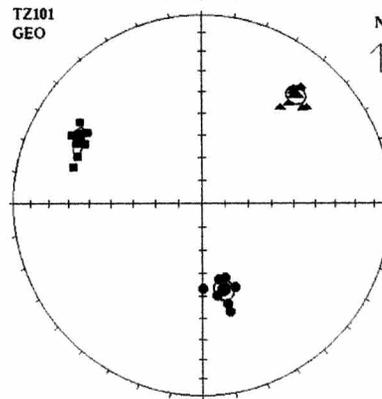
**N = 9**

K1	K2	K3
1.131	1.022	0.867

Mean Directions  
342.5 95.3 193.1  
57.4 13.9 28.8

Confidence Angles  
13.1 14.6 13.5  
3.6 3.3 2.8

L	F	P
1.187	1.178	1.304
P'	T	U
1.307	0.236	0.173



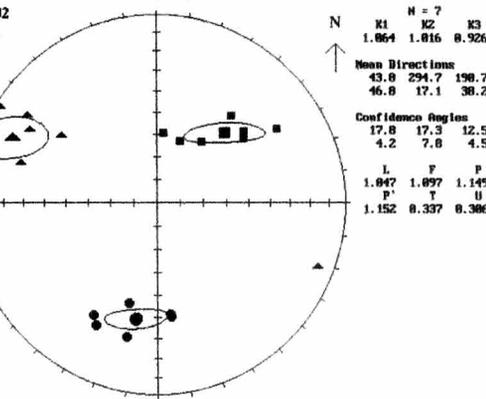
**N = 8**

K1	K2	K3
1.096	0.988	0.932

Mean Directions  
297.8 48.7 166.8  
27.5 24.6 51.6

Confidence Angles  
5.7 4.3 4.9  
2.4 3.7 3.8

L	F	P
1.118	1.052	1.176
P'	T	U
1.181	-0.388	-0.414



**N = 7**

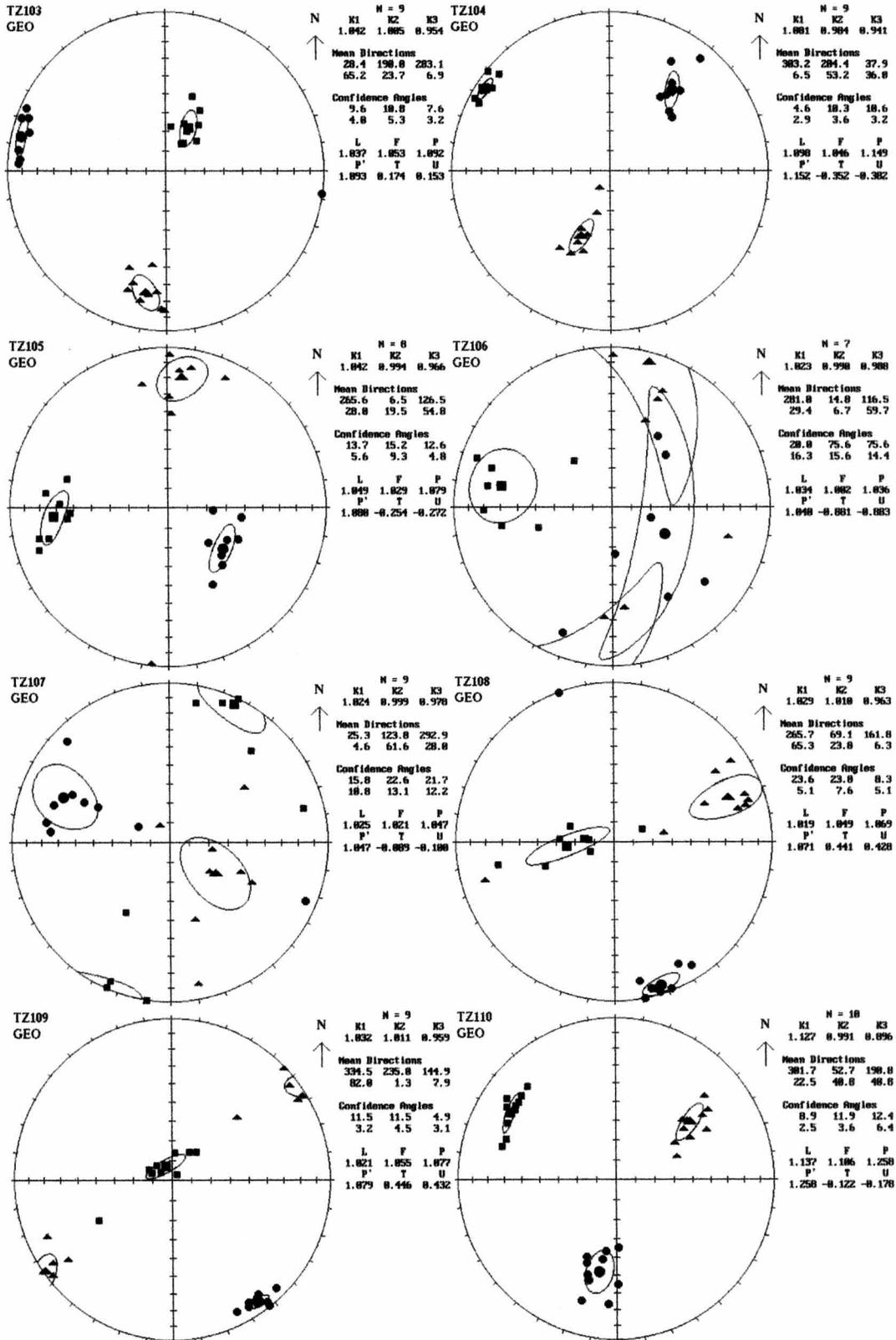
K1	K2	K3
1.064	1.016	0.926

Mean Directions  
43.8 294.7 198.7  
46.8 17.1 38.2

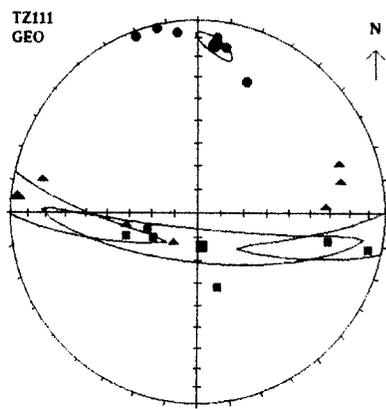
Confidence Angles  
17.8 17.3 12.5  
4.2 7.8 4.5

L	F	P
1.047	1.097	1.149
P'	T	U
1.152	0.337	0.386

Appendix2-2. (continued no.10)

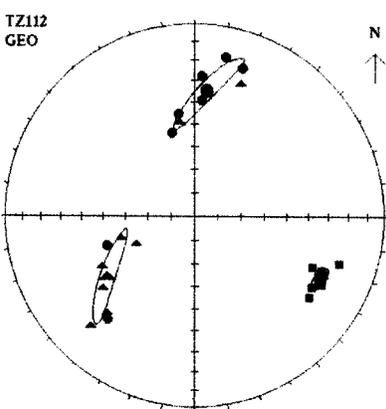


Appendix2-2. (continued no.11)



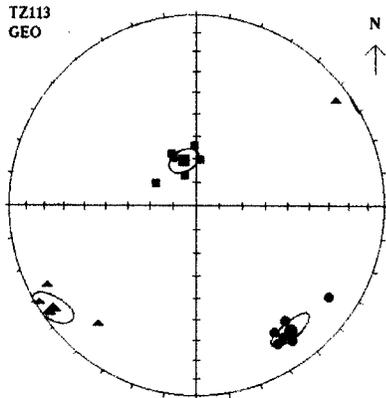
N

N = 6		
K1	K2	K3
1.837	1.813	0.886
Mean Directions		
172.5	275.2	5.9
75.9	3.2	13.7
Confidence Angles		
75.1	75.1	9.1
7.2	6.2	3.1
L	F	P
1.823	1.178	1.197
P'	T	U
1.216	0.745	0.725



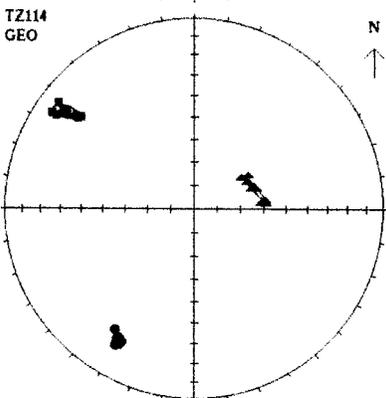
N

N = 8		
K1	K2	K3
1.123	0.952	0.926
Mean Directions		
116.2	235.5	5.5
27.4	43.3	34.3
Confidence Angles		
4.6	22.4	22.2
2.7	3.2	3.3
L	F	P
1.167	1.839	1.212
P'	T	U
1.226	-0.687	-0.636



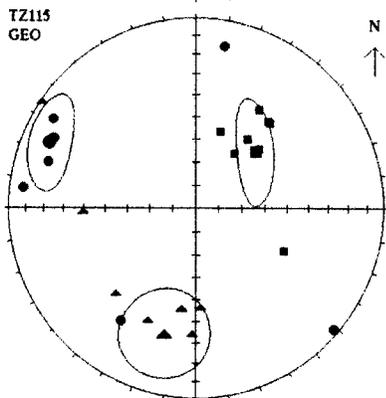
N

N = 6		
K1	K2	K3
1.852	0.993	0.957
Mean Directions		
344.2	234.8	142.4
70.8	6.9	18.7
Confidence Angles		
6.8	3.3	8.4
4.6	5.3	4.3
L	F	P
1.859	1.830	1.899
P'	T	U
1.188	-0.216	-0.239



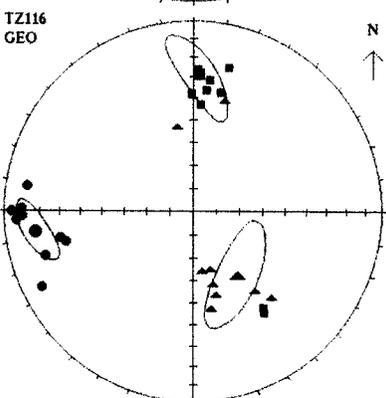
N

N = 6		
K1	K2	K3
1.878	0.956	0.939
Mean Directions		
386.7	79.3	218.2
16.8	62.6	21.6
Confidence Angles		
6.8	6.9	2.7
2.8	0.9	1.8
L	F	P
1.875	1.868	1.148
P'	T	U
1.148	-0.184	-0.136



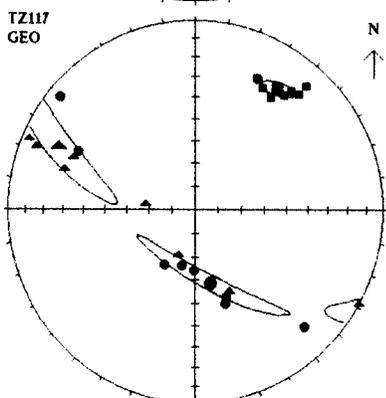
N

N = 8		
K1	K2	K3
1.848	0.991	0.971
Mean Directions		
46.5	194.1	293.9
54.8	31.5	15.6
Confidence Angles		
23.1	22.1	17.5
8.8	17.1	11.2
L	F	P
1.858	1.828	1.871
P'	T	U
1.873	-0.426	-0.448



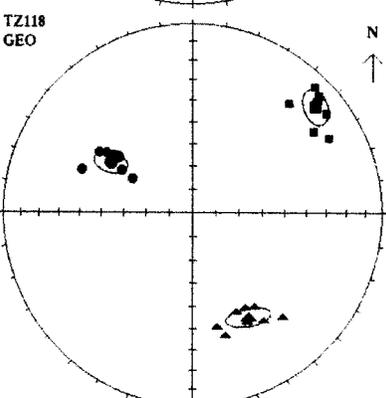
N

N = 9		
K1	K2	K3
1.841	1.888	0.953
Mean Directions		
2.4	145.8	262.7
28.7	55.7	17.1
Confidence Angles		
23.2	24.7	13.8
6.6	9.8	6.8
L	F	P
1.832	1.858	1.892
P'	T	U
1.893	0.276	0.256



N

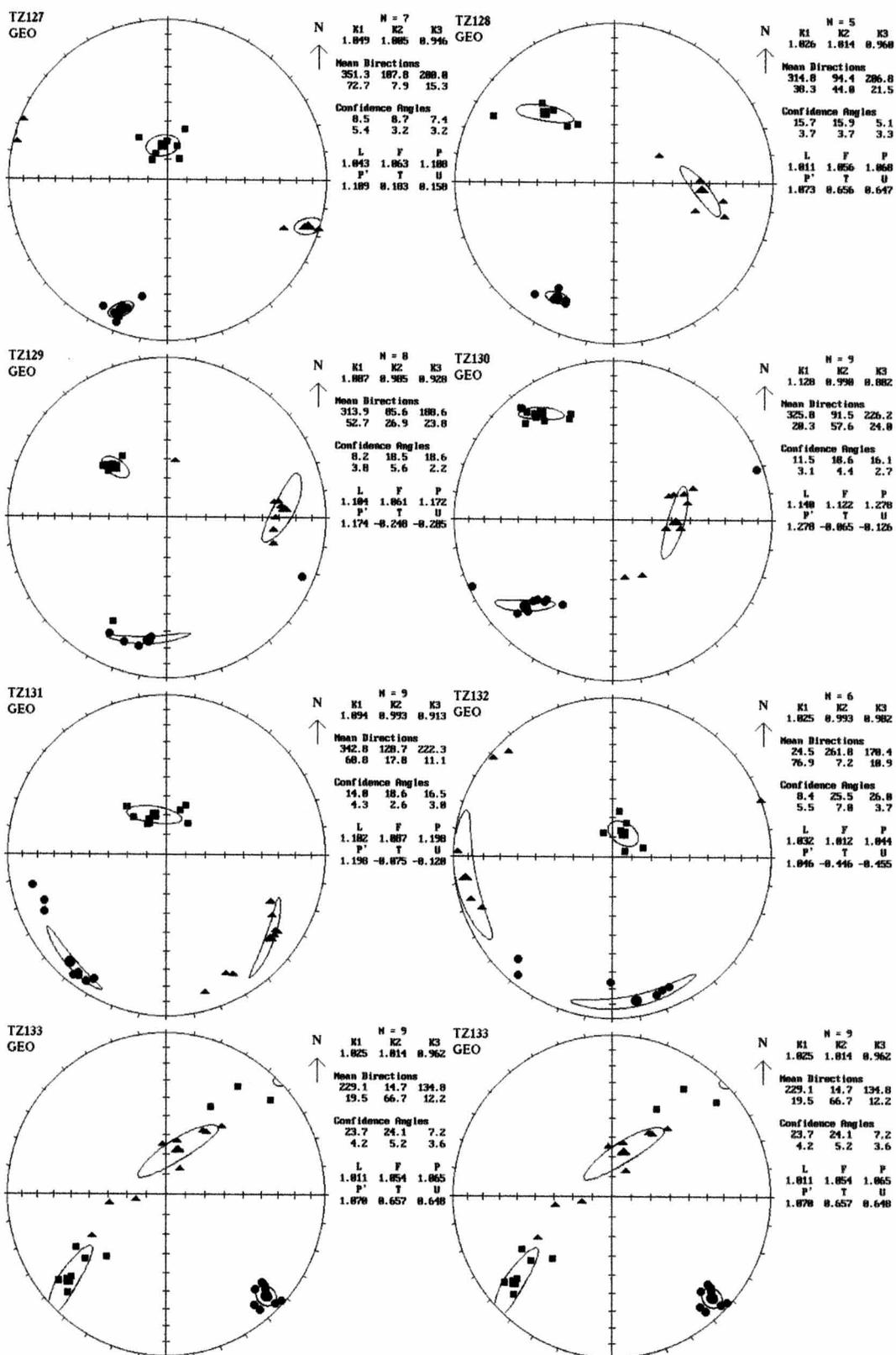
N = 8		
K1	K2	K3
1.856	0.968	0.958
Mean Directions		
34.2	294.7	167.6
23.4	28.8	57.9
Confidence Angles		
7.1	38.8	37.8
3.1	5.1	3.1
L	F	P
1.142	1.811	1.154
P'	T	U
1.173	-0.851	-0.861



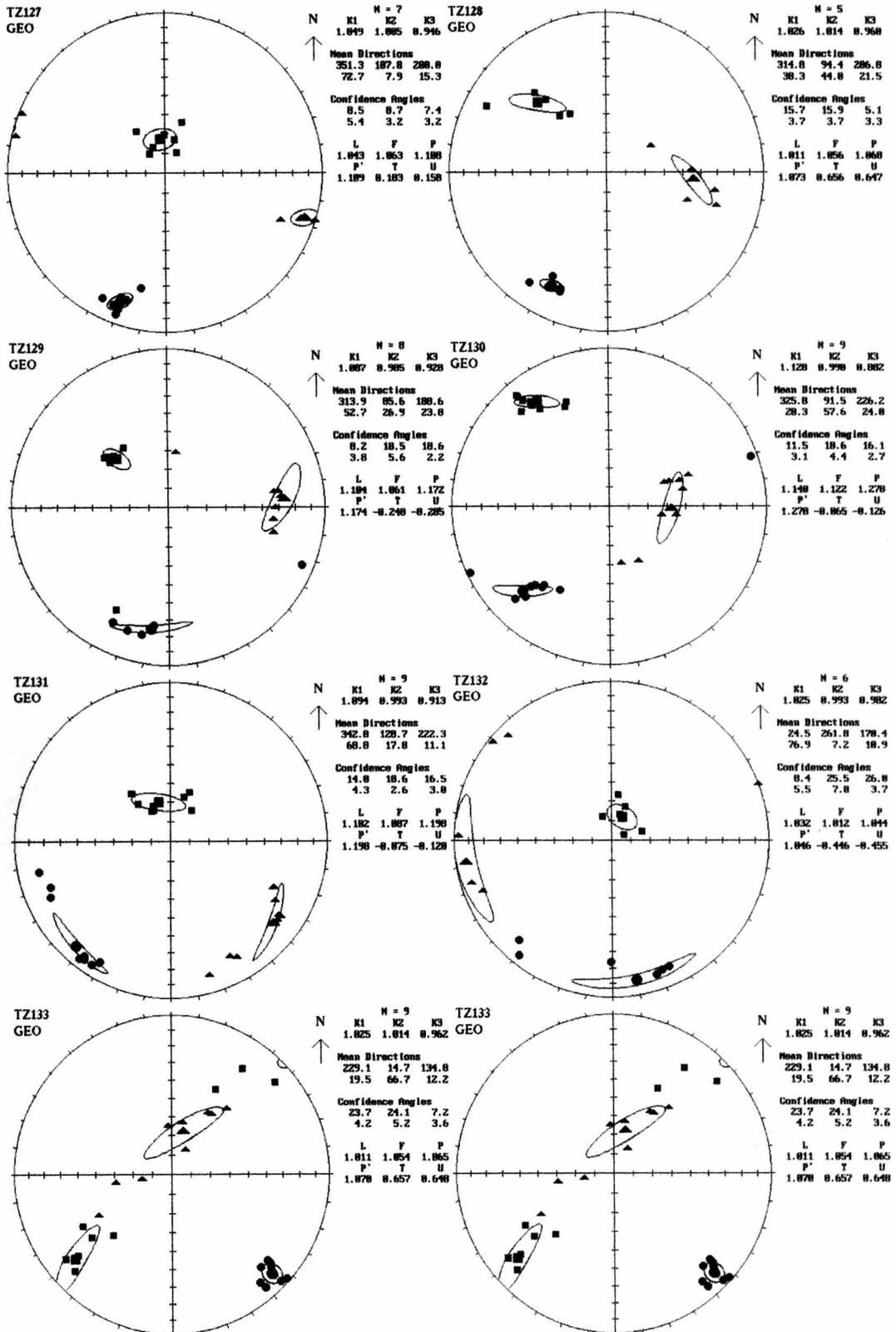
N

N = 8		
K1	K2	K3
1.848	1.888	0.951
Mean Directions		
49.1	151.4	381.7
15.2	38.2	47.8
Confidence Angles		
7.3	9.8	7.8
5.5	4.8	4.2
L	F	P
1.848	1.852	1.182
P'	T	U
1.182	0.839	0.815

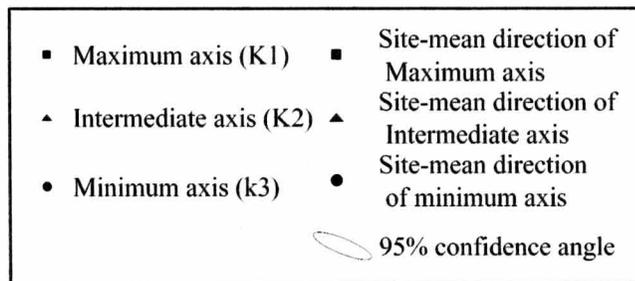
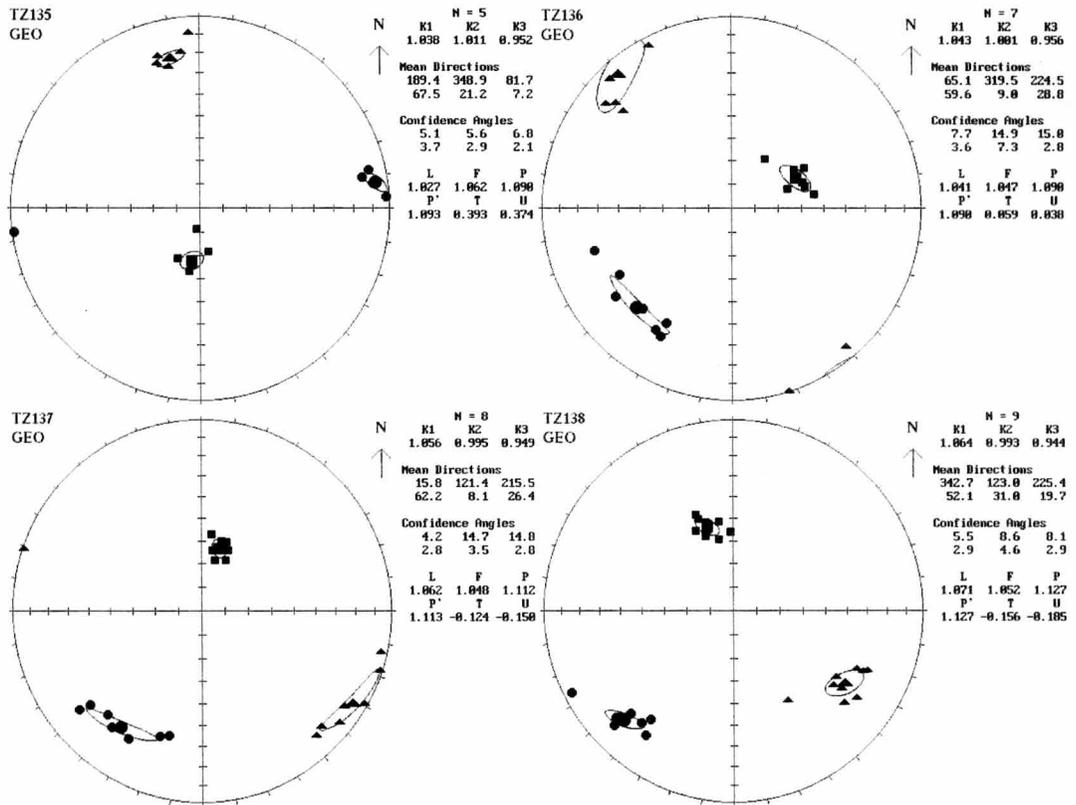
Appendix2-2. (continued no.12)



Appendix2-2. (continued no.13)



Appendix2-2. (continued no.14)



## 第3章 東山梨火山—深成岩体の帯磁率異方性

### 3-1 はじめに

東山梨火山—深成複合岩体（三村・山田, 1972）は、第三紀中新世後期から鮮新世初期に活動した火山活動とその最末期の深成活動により形成されたと考えられている（三村ほか, 1984など）。本岩体は山梨県北東部、関東山地南縁部に位置する南北25km以上、東西5kmの南北に伸張した細長い火成岩体であり、笛吹川上流部の急峻な地形を形作っている（Fig. 3-1）。その南限は新期の火山岩類に覆われ確認することは出来ない。また、北部は西沢上流域に達している。概ね北方ほど地形的に高度となる本岩体は、高低差1500m以上を有する。このことから、本岩体の調査により、火山—深成複合岩体の水平方向だけでなく鉛直方向の構造が明らかになる事が期待される。本岩体を構成する岩石類についてはこれまでいくつかの地質記載の報告があるものの（三村ほか, 1984, 角田, 1989など）、その構造を明らかにした報告はいままでにない。また、本岩体を構成する岩石の多くは塊状で肉眼的にその構造を知る事は困難である。岩体の形成過程を知る為には、その構造を明らかにする事が必要であり、それを定量的に知るには、帯磁率異方性を測定すること以外に方法がない。

### 3-2 地質概略

東山梨火山—深成複合岩体は、主に流紋岩質からデイサイト質の溶結凝灰岩からなる小樺山火山岩類と、花崗閃緑岩からトータル岩からなる小鳥山花崗閃緑岩からなる。小鳥山花崗閃緑岩は小樺山火山岩類に貫入し、それに熱変成を与えている（Fig. 3-1）。

小樺山火山岩類は、東部で基盤の甲府花崗岩を不整合に覆い、西部では断層でそれに接している。小樺山火山岩類の露出の大部分は小樺山周辺からその南方、馬場周辺に分布している流紋岩質溶結凝灰岩と、岩体中央から北端部までに分布するデイサイト質溶結凝灰岩からなる。溶結凝灰岩類は、暗灰色から灰緑色の岩石で、しばしば伸張した溶結レンズ（Fig. 3-2D）が認められる。流紋岩質溶結凝灰岩の斑晶鉱物は石英、斜長石、普通角閃石、黒雲母、カリ長石、不透明鉱物である。デイサイト質溶結凝灰岩の斑晶鉱物は斜長石、単斜輝石、斜方輝石、不透明鉱物である。両溶結凝灰岩とも顕微鏡下ではユータキシティック組織を示す。また、溶結凝灰岩類は数mm～数10cmのチャート、砂岩、泥岩、花崗岩などの岩片を様々な量比で含み、岩体の周縁部付近では角礫岩状の組織を示す。特に岩体東部徳和付近では亜円礫から角礫からなる基質支持の角礫岩（Fig. 3-2B）となり、岩片の大きさは大きなものでは1m程度となる。岩体南東部馬場付近や中東部乾徳山山頂付近には著しく破

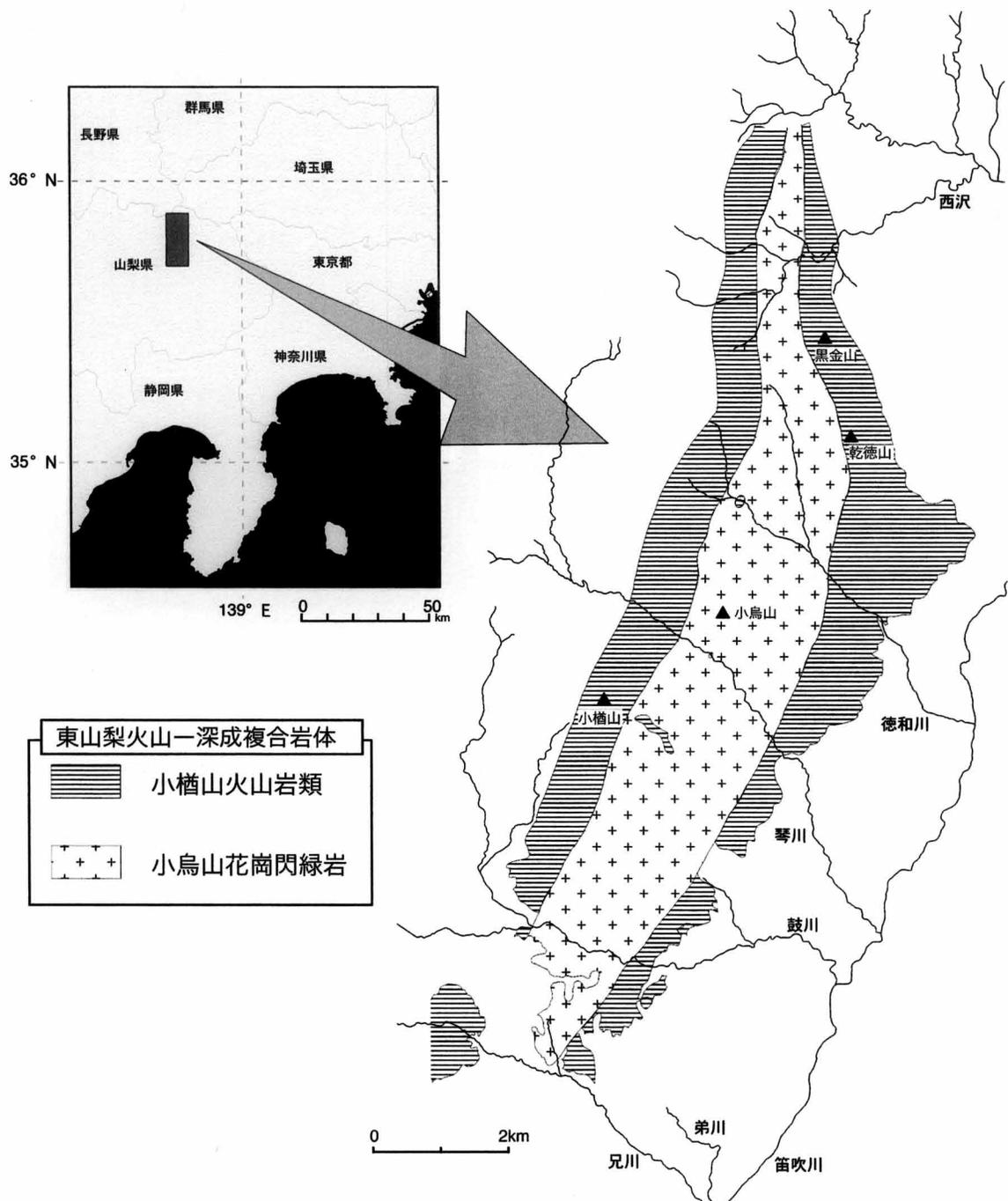


Fig. 3-1. Geologic map of Higashiyamanasi volcano-plutonic complex. modified after Mimura(1984) and Tsunoda(1989)

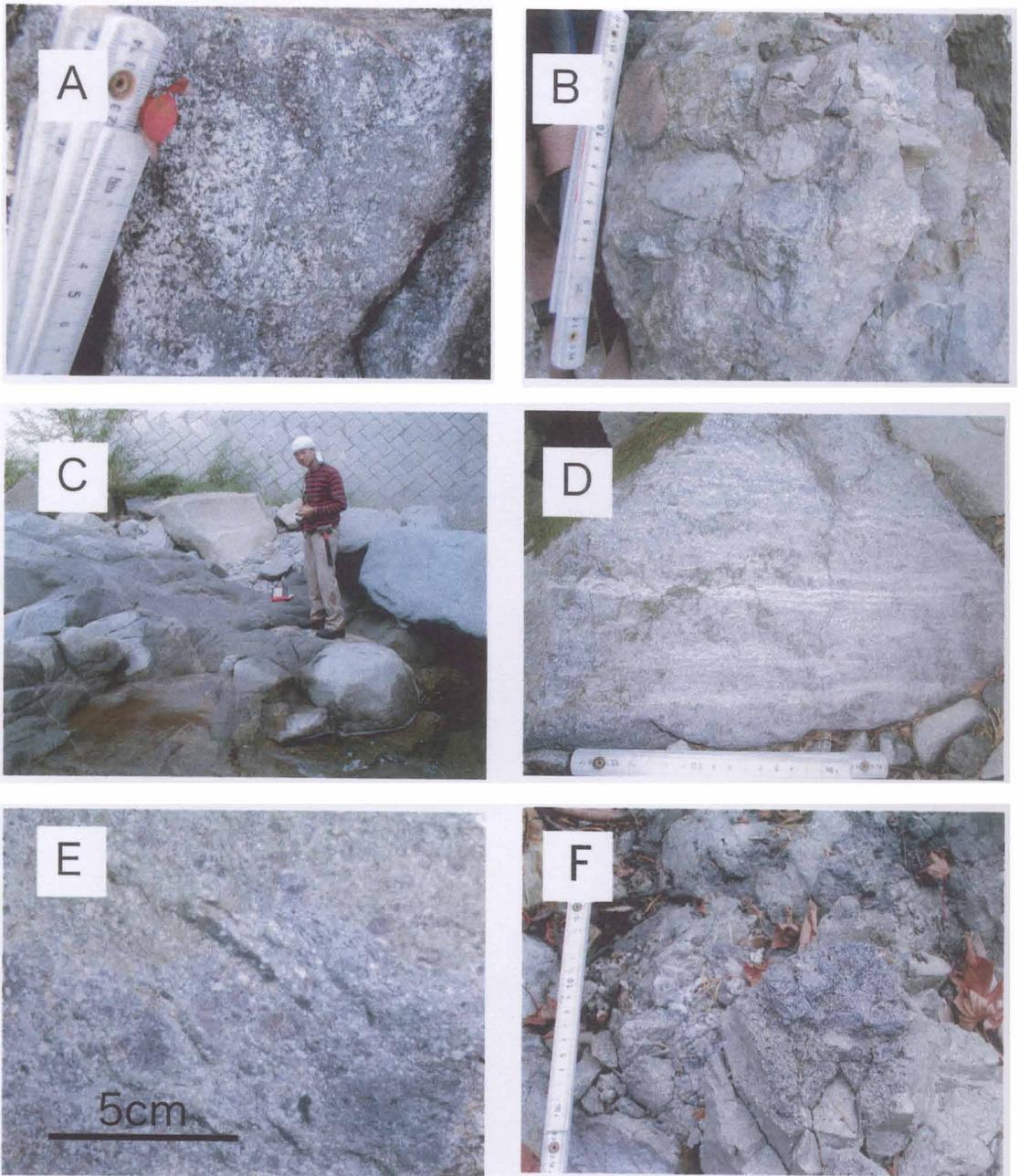


Fig.3-2. Photographs showing (A)vent breccia occurred near the summit of Mt. Kentoku, (B)Tokuwa volcanic breccia, (C)aplite occurred in Kogarasu granodiorite, (D)(E)fiamms of Konarayama volcanoclastics and (F)mineralized welded tuff.

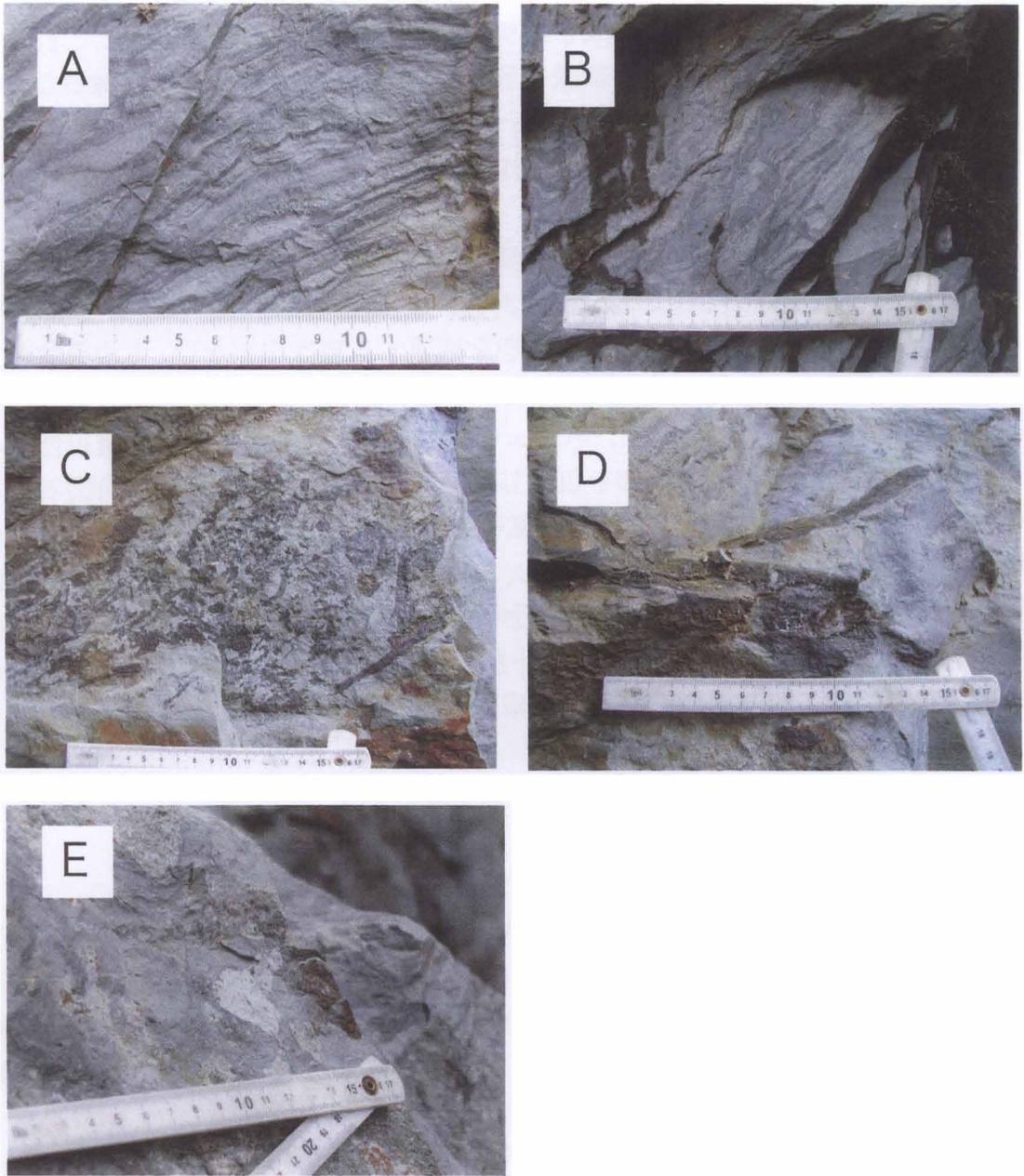


Fig.3-3. Photographs showing (A) laminated rock, which contains (B) planeless fault, (C) (D) plant fossils and (E) rock fragments of welded tuff.

砕かれた基盤の花崗岩角礫を含む火道角礫岩様の岩石が見られる (Fig. 3-2A) 岩体西部で基盤の花崗岩を直接覆い溶結凝灰岩に直接被覆される泥岩が報告されているが (三村ほか, 1984), 現在では確認する事は出来ない. 今回の調査により, 岩体中東部徳和付近のこの角礫岩の分布地域にこれまで報告の無かった植物化石や岩片を含む砂泥互層 (Fig. 3-3) が見いだされたが, その延長や角礫岩等との被覆関係等は不明である. 溶結凝灰岩類は小烏山花崗閃緑岩との接触部では数十~数百mにわたり小烏山花崗閃緑岩による熱変成を被り, 灰白色の岩石と成っている. これらは顕微鏡下ではグラノブラスチック組織を示し, 再結晶した黒雲母や紫蘇輝石などの鉱物が認められる. 岩体北部西沢上流の一部の岩石は著しい鉱化作用を被っており, 黄鉄鉱や方解石などの二次鉱物が晶出したり, 岩石が白く変色したりしている (Fig. 3-2E).

小烏山花崗閃緑岩は, 東山梨火山-深成複合岩体の中心部に東西幅約 2km, 南北延長 25km にわたり露出している (Fig. 3-1). 中細粒, 灰白色から暗灰色の岩石で, 一般に塊状で肉眼では鉱物配列等の構造を確認する事は出来ない. 主成分鉱物は黒雲母, 普通角閃石, 単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物, 石英, 斜長石, カリ長石である. 副成分鉱物はアパタイト, スフェーンである. 普通角閃石, 黒雲母はポイキリチックに斜長石や不透明鉱物を包有している. 輝石はしばしば普通角閃石中の残晶として出現し, 普通角閃石, 不透明鉱物と集合して出現することもある. 有色鉱物はしばしばクロットを形成している. およそ標高 1500m 以上の地域の岩石は顕微鏡下で文象構造を示す. また, この付近の岩石は変質し有色鉱物がしばしば緑泥石化している. 岩体中数カ所でアプライト脈が認められる (Fig. 3-2C). これらの走向は岩体の伸びの方向と調和的なものが卓越する (Fig. 3-4).

### 3-3 研究史

三村ほか(1984)は, 小檜山火山岩類を被覆関係をもとに下位から馬場溶結凝灰岩, 西平等川泥岩, 徳和火山角礫岩, 上岩下溶岩, 大平溶結凝灰岩に分類し, 西北西-東南東方向の引張場に於いて, 流紋岩質火砕流噴出→泥岩堆積→角礫岩に引き続き安山岩溶岩噴出→デイサイト質火砕流噴出→断層活動→割れ目に沿った花崗閃緑岩の貫入という火成活動史が起こったとした.

柴田ほか(1984)は, これらの岩石について, 馬場溶結凝灰岩ホルンフェルスで  $4.67 \pm 0.19\text{Ma}$ , 上岩下溶岩で  $6.05 \pm 0.57\text{Ma}$ , 大平溶結凝灰岩で  $4.49 \pm 0.30\text{Ma}$ ,  $5.09 \pm 0.27\text{Ma}$ , 小烏山花崗閃緑岩で  $4.38 \pm 0.27\text{Ma}$ ,  $4.27 \pm 0.14\text{Ma}$  の K-Ar 年代を報告している. このうち大平溶結凝灰岩は変質による年代の若返りが起こっているとしている. また, 馬場溶結凝灰岩ホルンフェルスは小烏山花崗閃緑岩の貫入による熱変成の年代を示しているとした. つまり, 本地域では遅くとも 6Ma 頃に火山活

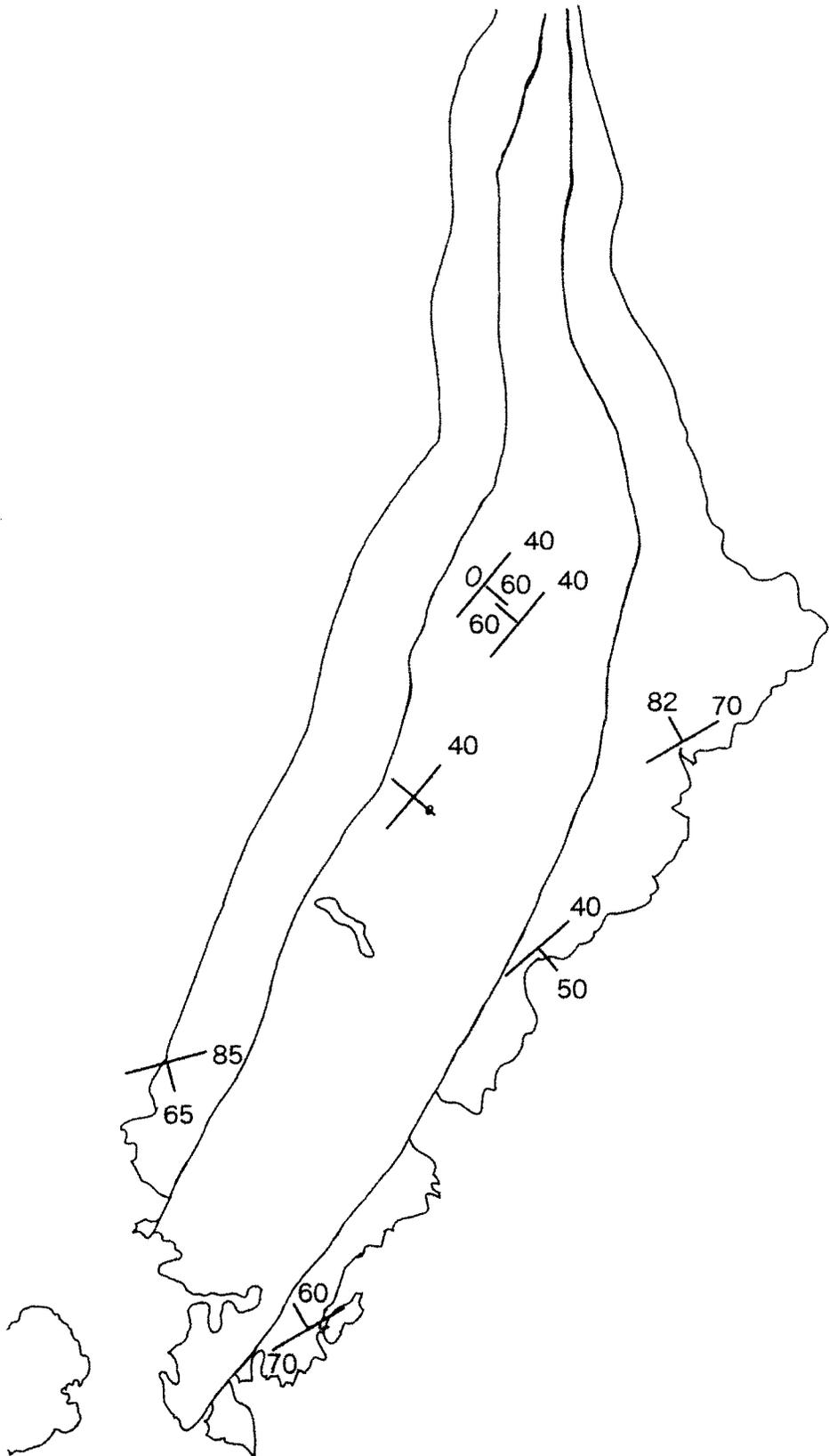


Fig.3-4. Map showing the structure of aplites in the granodiorite and those of fiammes of the welded tuff.

動が開始し、その最末期4.5Ma頃に小烏山花崗閃緑岩マグマが貫入したことが示唆されるとしている。

角田(1989)はそれまで不明であった本岩体北部の分布を明らかにし、その岩石学的特徴について報告した。また、本岩体の北東部に小烏山花崗閃緑岩と類似の岩体が存在する事を発見した。

Takahashi(1990)は小烏山花崗閃緑岩の主成分元素含有量は高度により変化しない事を示し、これらの岩石に急冷組織が見られる事や岩体の規模が小さい事などから、このことは噴出時の揮発性成分の急激な減少による急速な結晶化によりもたらされたと考えた。

### 3-4 測定方法

ここでは、小檜山火山岩類と小烏山花崗閃緑岩で採取された115箇所分(Fig. 3-5)の試料について帯磁率異方性の測定を行った。試料採取、成形、測定方法は第2章と同様の方法に従った。帯磁率異方性測定結果をTable1に示し、ステレオ投影したものをAppendix3-1に示す。

### 3-5 結果

#### 3-5-1. 全岩帯磁率

小檜山火山岩類の全岩帯磁率分布を見ると(Fig. 3-6)、岩体南部小檜山南方、馬場付近では $K < 30SI$ の値を示す。岩体中部琴川流域では $20 < K < 40SI$ の値を示す。徳和川上流域では $60SI < K$ の値を示し、下流域では $K < 30SI$ のこの周辺のなかでは低い値を示す。この付近の小烏山花崗閃緑岩との境界部付近では $30 < K < 50SI$ の値を示す。岩体北部では $K < 10SI$ から $60SI < K$ の幅広い値を示す。

小烏山花崗閃緑岩の全岩帯磁率分布(Fig. 3-6)を見ると、全体として $30 < K < 50SI$ の中程度の値をしめすものが卓越する。鼓川中流域、小檜山西方、琴川中流域では $K < 20SI$ の低い値を示す。徳和川よりも北方では $50SI < K$ のものが卓越している。

帯磁率と標高をとったグラフ(Fig. 3-7)を見ると、小檜山火山岩類、小烏山花崗閃緑岩共に高度が上がる程に、若干ではあるが、帯磁率が高くなる傾向を示す。

#### 3-5-2. 帯磁率橢円体の形状と異方度

小檜山火山岩類の帯磁率橢円体形状パラメーターT(Fig. 3-8)は、正の値をしめすものが全体の約74%を占め、帯磁率橢円体が扁平な形を示すものが卓越する。小烏山花崗閃緑岩のTは全体の約63%が正の値を示し、小檜山火山岩類と同様に帯磁率橢円体が扁平な形を示すものが卓越する。

小檜山火山岩類の帯磁率橢円体の異方度 $P'$ (Fig. 3-8)は、ほぼ $P' < 1.1$ の値を示

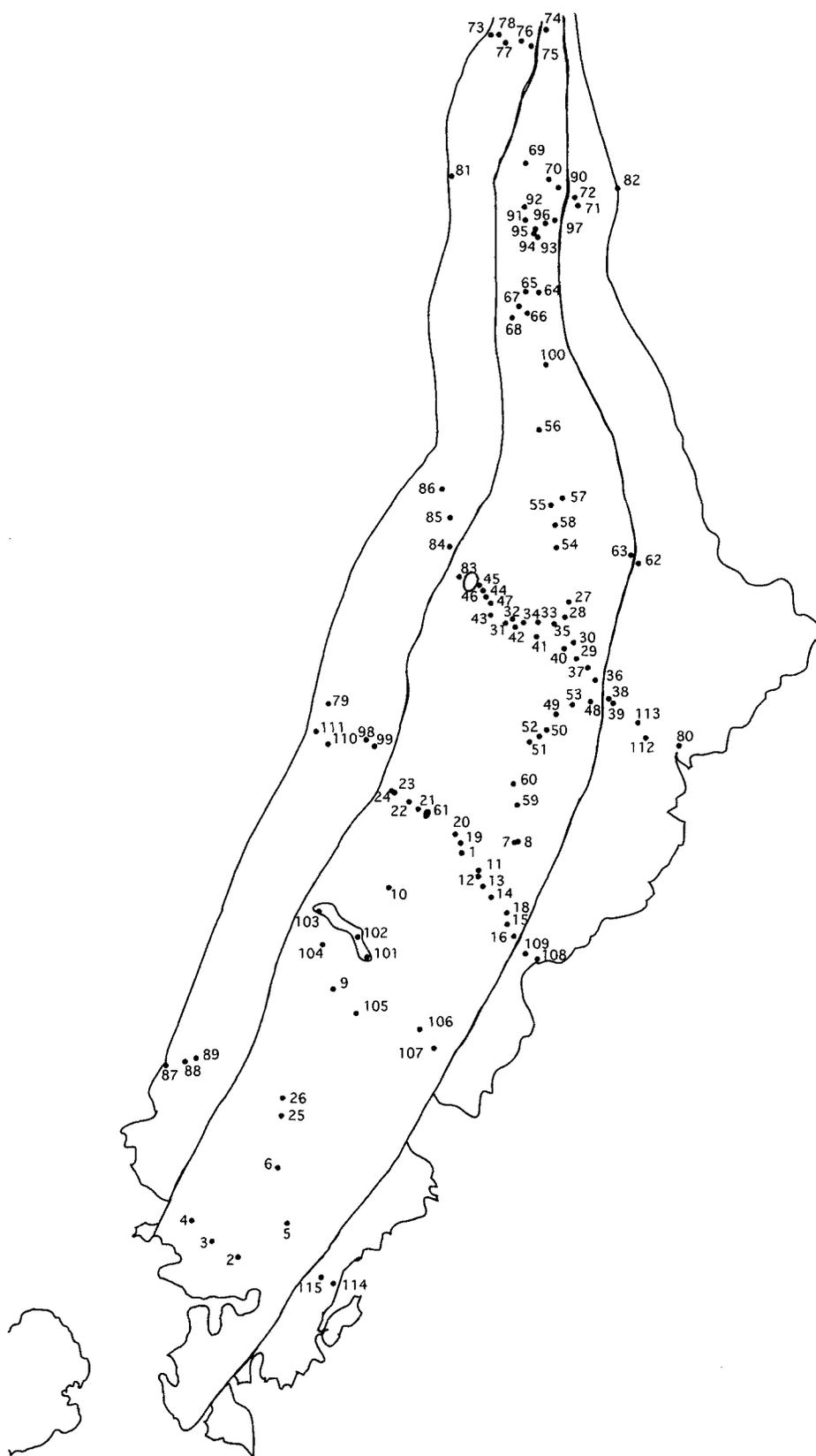


Fig.3-5. Sampling sites for measurement of AMS in Higashiyamanashi volcano-plutonic complex.

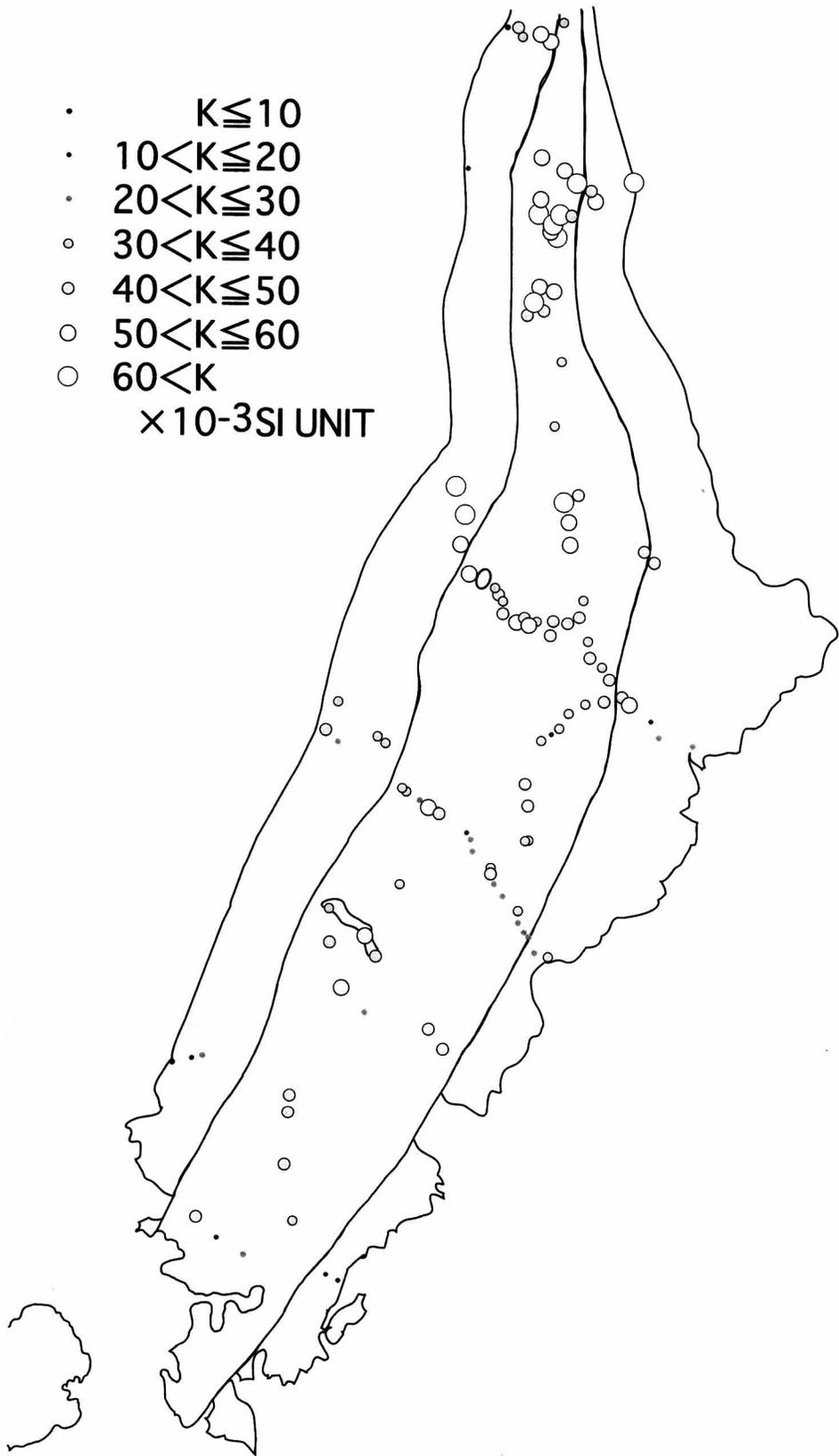


Fig.3-6. Distributhin of mean bulk magnetic susceptibility.

Table 1. Data of anisotropy of magnetic susceptibility for 115 sampling sites in the Higashiyamanashi volcano-plutonic complex (mean values). N: number of specimens; K: bulk susceptibility (arithmetic mean of  $k_m$ ), Lination (K1): declination and inclination of maximum principal axis of AMS ellipsoid; Pole of foliation(K3): declination and inclination of minimum principal axis of AMS ellipsoid; P • corrected anisotropy degree; T: shape parameter.

Site	N	K	Lination, K1		Foliation pole, K3		P'	T
			dec.	inc.	dec.	inc.		
1	8	49.61E-03	-	-	349.9	3.7	1.189	0.717
2	7	43.00E-03	79.7	50.8	170.6	0.7	1.161	0.513
3	7	30.90E-03	297.4	50.4	199.1	6.8	1.297	0.709
7	5	41.22E-03	-	-	32.3	25.2	1.077	0.502
8	9	42.94E-03	286.3	15.1	17.9	6.1	1.059	0.502
9	6	34.97E-03	-	-	359.2	2.1	1.153	0.594
11	9	62.34E-03	336.4	1.9	242.3	65.6	1.027	-0.124
13	9	36.41E-03	-	-	76.9	28.6	1.064	0.661
14	6	40.51E-03	314.6	43.9	82.9	32.8	1.068	0.623
15	9	32.52E-03	-	-	291.5	36.5	1.046	0.603
16	9	24.80E-03	-	-	201.9	65.1	1.032	-0.176
17	8	27.01E-03	289.6	5.8	51.4	79	1.089	0.477
18	6	31.67E-03	346.8	20.2	103.6	50.8	1.045	0.111
19	10	74.37E-03	292.6	53.6	160.3	26.4	1.364	-0.043
20	7	75.09E-03	272.6	58.8	129.5	25.9	1.167	-0.129
23	6	40.74E-03	83.6	34.2	337.8	21.8	1.1	0.057
24	6	30.92E-03	274.4	15.9	-	-	1.095	-0.274
25	5	20.20E-03	303.3	60.8	178.9	17.5	1.104	-0.277
26	9	27.89E-03	91	18.3	185.3	12.9	1.199	0.282
27	6	54.20E-03	85.2	34.5	181.7	9.4	1.07	0.621
28	6	22.57E-03	76.7	46	341.4	5.1	1.089	0.498
29	9	30.89E-03	-	-	301.4	0.6	1.099	0.456
32	9	57.47E-03	130	22.2	234.2	31.2	1.234	0.323
44	9	39.64E-03	108.7	40.5	221.4	24.3	1.525	0.879
45	9	40.27E-03	-	-	5.9	2.7	1.077	0.046
46	9	59.53E-03	90.8	4.5	182.8	23.2	1.123	0.639
47	9	47.79E-03	330.1	16.5	234	19.8	1.283	0.22
48	9	38.34E-03	317.2	18.6	223.5	11.1	1.478	0.319
50	7	74.61E-03	251.4	57.3	54.9	31.6	1.139	-0.155
52	9	24.14E-03	138.6	82.3	326.2	7.6	1.057	0.087
56	8	37.75E-03	203.3	66.7	58.3	19.5	1.062	0.074
57	6	69.46E-03	239.8	39.5	132.2	20.2	1.387	0.47
59	6	43.19E-03	329.1	46	209.9	25.3	1.449	0.419
60	6	22.67E-03	227	54.8	37.4	34.8	1.212	0.363
61	9	47.38E-03	303.2	35.7	35.6	3.3	1.289	0.56
62	6	35.04E-03	311.5	8.1	220.7	5.2	1.312	-0.065
63	9	26.42E-03	336.3	5.7	242.4	34.2	1.469	0.144
64	7	75.66E-03	166.8	63.7	331	25.4	1.141	-0.054
65	9	22.43E-03	87.3	13.4	333.3	59.6	1.084	0.204
66	9	26.30E-03	304.6	0.5	214.5	3.2	1.158	-0.513
67	9	31.57E-03	79.7	26.8	176	12.1	1.108	0.471
68	6	39.71E-03	-	-	22.9	47.2	1.087	0.613
69	6	74.94E-03	247.2	20.9	94.4	66.8	1.092	0.386
71	9	44.29E-03	103.2	58.6	272.9	31	1.085	-0.22
72	9	58.20E-03	94.1	81.4	294.2	8.1	1.093	0.108
73	9	53.96E-03	355	54.8	114.4	19.2	1.218	-0.085
74	9	49.93E-03	224.9	52.3	351	24.5	1.058	0.134
76	6	21.60E-03	-	-	288.2	71.4	1.106	0.748
77	5	30.15E-03	202.8	0.1	111.5	84.6	1.075	-0.104
79	5	15.68E-03	59.7	20.7	328.9	2.3	1.083	-0.448
80	6	14.28E-03	145.1	46.9	11.5	32.9	1.072	0.33
81	9	15.85E-03	150.7	2.2	242.7	42.2	1.172	0.301
82	5	17.07E-03	-	-	248.8	45.1	1.084	0.142
84	9	46.70E-03	294.3	49.9	25.4	0.9	1.095	0.363
85	9	55.55E-03	202.5	71.6	9.1	18	1.115	-0.166

Table 1. (continued)

Site	N	K	Lination, K1		Foliation pole, K3		P'	T
			dec.	inc.	dec.	inc.		
86	5	15.30E-03	36.3	37	266.6	40.3	1.059	0.537
87	7	31.51E-03	348.5	23.1	255.1	8.1	1.155	-0.031
88	6	18.60E-03	72.6	46.9	321.3	18.8	1.033	0.085
89	9	53.73E-03	58.8	84.5	199	4.3	1.285	-0.015
90	9	36.90E-03	344	62.6	224.5	14.3	1.391	-0.219
91	9	45.51E-03	115.6	6.9	17.3	49.7	1.117	0.062
93	8	48.11E-03	312.9	23.3	207.1	32.2	1.306	0.414
94	8	69.33E-03	329.6	51.2	226.2	10.6	1.337	-0.6
95	9	89.74E-03	331.2	82.3	-	-	1.534	-0.186
96	7	53.27E-03	294.8	26.1	30.7	11.8	1.087	-0.314
97	9	34.43E-03	308.6	44.4	38.8	0.2	1.112	0.146
98	10	35.78E-03	335	26.4	242.3	5.3	1.148	0.007
99	8	59.39E-03	328.3	70.6	192.3	14.2	1.232	-0.025
100	9	81.24E-03	342.5	57.4	193.1	28.8	1.334	0.223
101	8	58.12E-03	297	27.5	166	51.6	1.184	-0.38
102	7	73.90E-03	43.8	46.8	190.7	38.2	1.166	0.309
103	9	30.30E-03	28.4	65.2	283.1	6.9	1.096	0.174
104	9	25.80E-03	303.2	6.5	37.9	36	1.156	-0.348
105	8	28.71E-03	265.6	28	126.5	54.8	1.086	-0.294
106	7	36.86E-03	281	29.4	116.5	59.7	1.054	-0.436
107	9	15.97E-03	25.3	4.6	292.9	28	1.058	-0.073
108	9	38.85E-03	265.7	65.3	161.8	6.3	1.076	0.338
109	9	25.96E-03	334.5	82	144.9	7.9	1.081	0.41
110	10	84.77E-03	301.7	22.5	190.8	40.8	1.275	-0.082
111	6	24.93E-03	-	-	5.9	13.7	1.327	-0.207
112	8	39.53E-03	116.2	27.4	5.5	34.3	1.238	-0.408
113	6	39.50E-03	344.2	70	142.4	18.7	1.104	-0.21
114	6	57.28E-03	306.7	16	210.2	21.6	1.143	-0.176
115	8	20.92E-03	46.5	54	293.9	15.6	1.096	-0.164
116	9	19.65E-03	2.4	28.7	262.7	17.1	1.12	-0.232
117	8	16.78E-03	34.2	23.4	-	-	1.18	-0.697
118	8	22.79E-03	49.1	15.2	301.7	47.8	1.106	0.055
119	9	17.48E-03	11.7	39.2	256.1	28	1.218	-0.508
120	5	19.45E-03	102.3	49.6	224.9	24.6	1.054	0.077
121	5	16.09E-03	109.8	70	215.2	5.5	1.088	0.267
122	6	31.31E-03	29.9	2.2	125.7	69.2	1.063	0.313
123	7	34.28E-03	307.4	5.5	39.6	22.2	1.188	-0.618
124	8	42.16E-03	297.6	21	39.6	22.2	1.132	-0.154
125	6	31.20E-03	116.6	38.4	18.6	9.9	1.076	-0.069
126	5	25.61E-03	252.7	59.8	15.5	17.5	1.071	0.115
127	7	64.38E-03	351.3	72.7	200	15.3	1.113	0.159
128	5	62.52E-03	314.8	38.3	206.8	21.5	1.075	0.618
129	8	65.35E-03	313.9	52.7	188.6	23.8	1.217	-0.054
130	9	66.90E-03	325.8	20.3	226.2	24	1.291	0
131	9	61.07E-03	342.8	68.8	222.3	11.1	1.219	-0.012
132	6	49.86E-03	24.5	76.9	-	-	1.05	-0.266
133	9	51.19E-03	-	-	134.8	12.2	1.073	0.547
134	9	54.00E-03	249.9	67.6	111.7	17.1	1.063	0.368
135	5	42.29E-03	189.4	67.5	81.7	7.2	1.095	0.424
136	7	53.49E-03	65.1	59.6	224.5	28.8	1.101	0.151
137	8	68.14E-03	15.8	62.2	215.5	26.4	1.117	-0.062
138	9	58.07E-03	342.7	52.1	225.4	19.7	1.13	-0.146

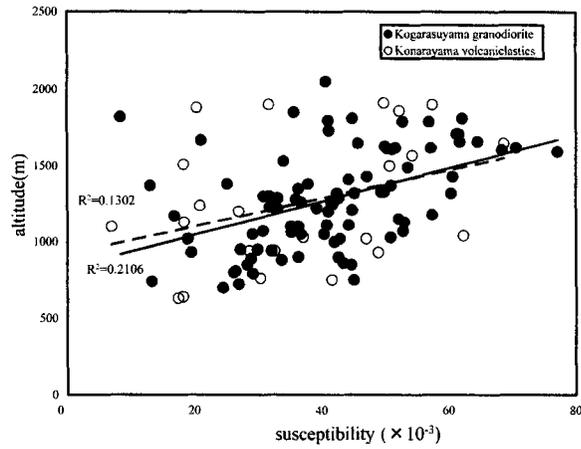


Fig. 3-7 Diagram showing the relationship between the bulk susceptibility and altitude for the Higashiyamanashi volcano-plutonic complex. closed circle: Kogarasuyama granodiorite; open circle: Konarayama volcanics.  $R^2$ : correlation coefficient.

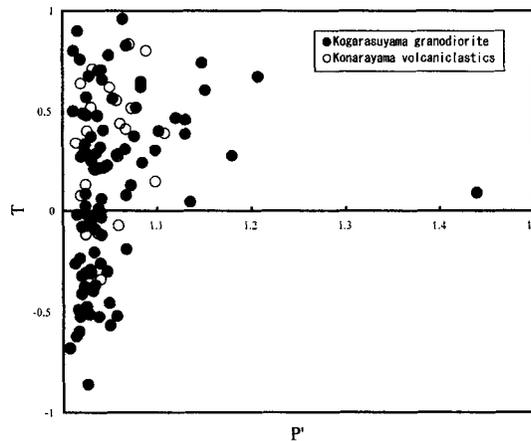


Fig. 3-8 Diagram showing the relationship between the degree of anisotropy ( $P'$ ) and shape parameter ( $T$ ) for the Higashiyamanashi volcano-plutonic complex. closed circle: Kogarasuyama granodiorite; open circle: Konarayama volcanics. The upper half of the diagram ( $T > 0$ ) indicates oblate-shaped ellipsoid and lower half ( $T < 0$ ) indicates prolate-shaped ellipsoid.

す。その分布 (Fig. 3-9) を見ると、徳和川流域、西沢流で小烏山花崗閃緑岩との接触部付近でその値が高くなる傾向がみられる。小烏山花崗閃緑岩では、 $P' < 1.1$  のものが卓越するが、岩体中心部付近で  $P' > 1.1$  となるものがみられ、岩体北部黒金山北方では 1.4 を超える値を示すものもみられる (Fig. 3-8, Fig. 3-9)。

### 3-5-3. 帯磁率面構造

小檜山火山岩類の帯磁率面構造 (Fig. 3-10) の走向は、岩体の伸びと調和的な北北東-南南西方向を示すものが卓越する。その傾斜は小烏山花崗閃緑岩の西側の岩体では  $65^\circ$  以上の急傾斜なものが卓越する。その傾斜方向は岩体南部小檜山南方で東落ち、中部琴川上流域で西落ち、中北部徳和川上流域で東落ち、北部西沢流域で東落ちのものがそれぞれ卓越する。東側の岩体は、 $45^\circ$  以上の傾斜を示すものが卓越するが、岩体南部馬場付近、中北部徳和川下流域で  $25^\circ$  以下の緩傾斜なものがみられる。これらの傾斜方向は岩体南部馬場付近、中部琴川流域、徳和川下流部の一部では東落ちを示し、岩体中北部徳和川下流部から北部西沢流域にかけては西落ちとなる。

小烏山花崗閃緑岩の帯磁率面構造 (Fig. 3-10) の走向も、岩体の伸びと調和的な北北東-南南西方向を示す。その傾斜は、岩体南部では  $45^\circ \sim 65^\circ$  のものが卓越する。岩体中南部小檜山東方では東落ち傾斜  $65^\circ$  以上のものが卓越する。岩体中部琴川流域は  $45^\circ$  以上の傾斜を示すが、東方へ行く程より緩傾斜となる。小烏山東方では  $45^\circ$  以下の傾斜を示すものがみられる。岩体中北部徳和川流域も  $65^\circ$  以上の傾斜を示すものが卓越するが、琴川流域と同様にその東方ではより緩傾斜となる傾向がある。岩体中北部乾徳山西方では西落ち傾斜  $65^\circ$  以下のものが卓越し一部では  $25^\circ$  以下を示すものもみられる。岩体北部黒金山西方では東落ち  $65^\circ$  以上のものが卓越する。岩体北部西沢流域では  $0^\circ \sim 65^\circ$  の緩傾斜なものが卓越している。

深成岩類や溶結凝灰岩類の帯磁率面構造と、その露頭周辺にみられた溶結凝灰岩の溶結レンズやアプライト脈の走向・傾斜は、概ね一致している (Fig. 3-11)。

### 3-5-4. 帯磁率線構造

小檜山火山岩類の帯磁率線構造 (Fig. 3-12) の方位角は、概ね岩体の伸びの方向と調和的な北北東-南南西方向を示す。その傾斜は、小烏山花崗閃緑岩との境界部付近でより急傾斜となる傾向がある。

小烏山花崗閃緑岩の帯磁率線構造 (Fig. 3-12) の方位角は、全体的に岩体の伸びと調和的な北北東-南南西方向を示すものが卓越する。特に、帯磁率面構造が急傾斜な地点はその方向を示す傾向がある。一方、帯磁率面構造が比較的緩傾斜な岩体中南部小檜山東方、岩体中部小烏山東方、岩体北部黒金山西方などの地点には北西-南東方向をしめすものがみられる。その傾斜は比較的緩傾斜なものが卓越するが、岩体南部鼓川上流域、小檜山東方、岩体中部琴川下流域、琴川上流域、岩体中北部

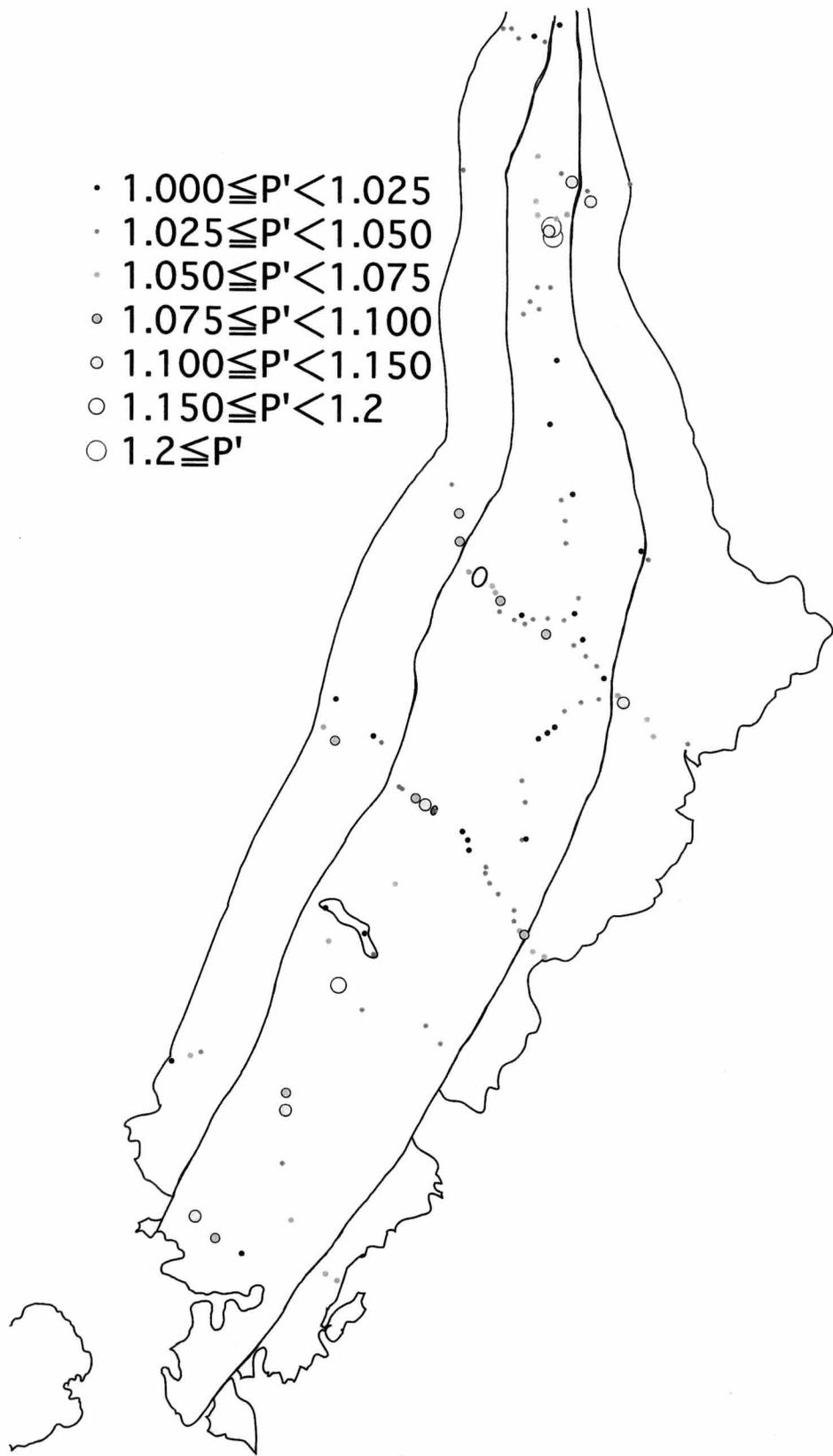


Fig.3-9. Distribution of Degree of anisotropy ( $P'$ ) in Tanzawa main tonalite.

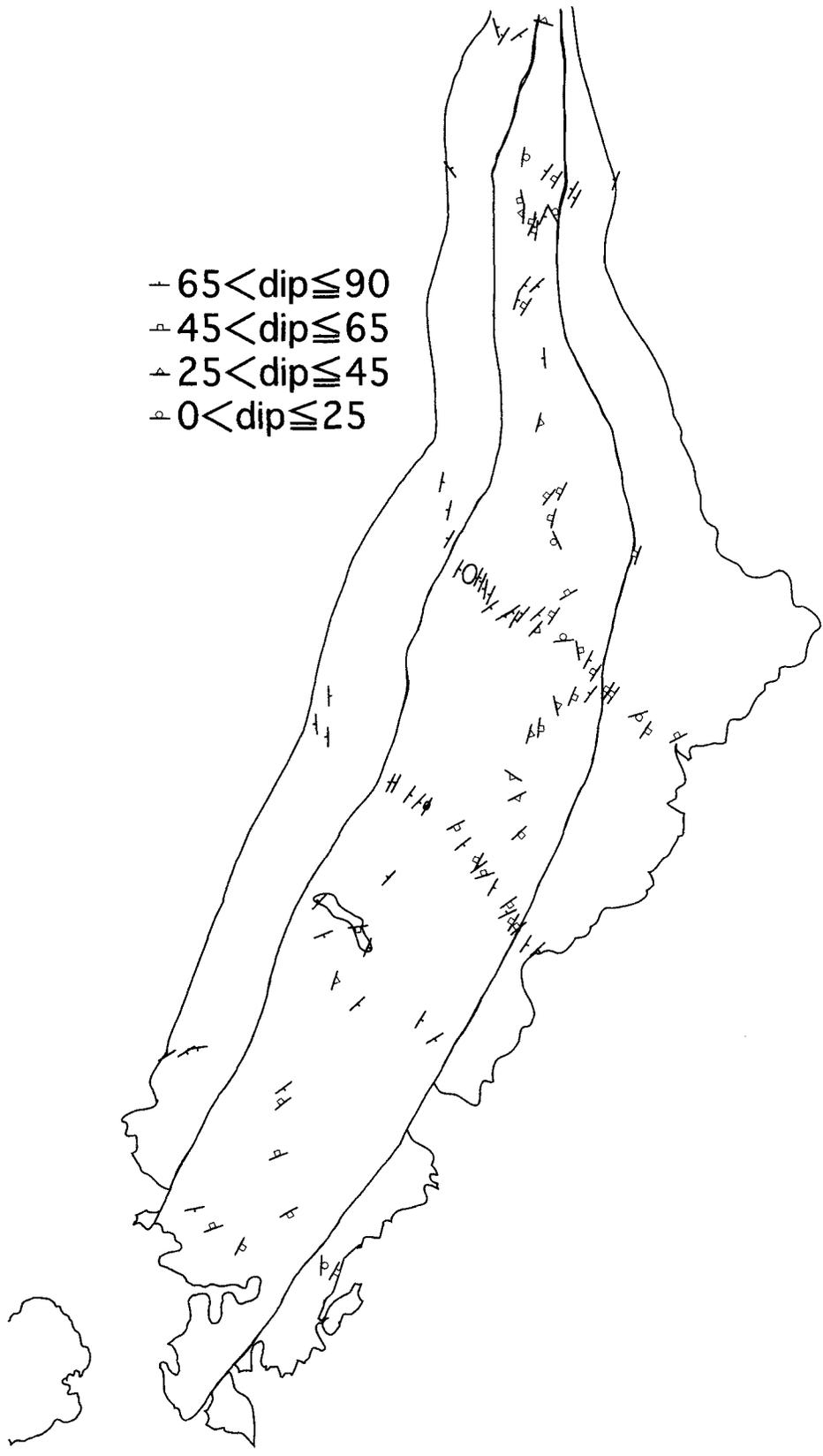


Fig3-10. Map showing the strikes and dips of magnetic foliation of Higashiyamanashi volcano-plutonic complex.

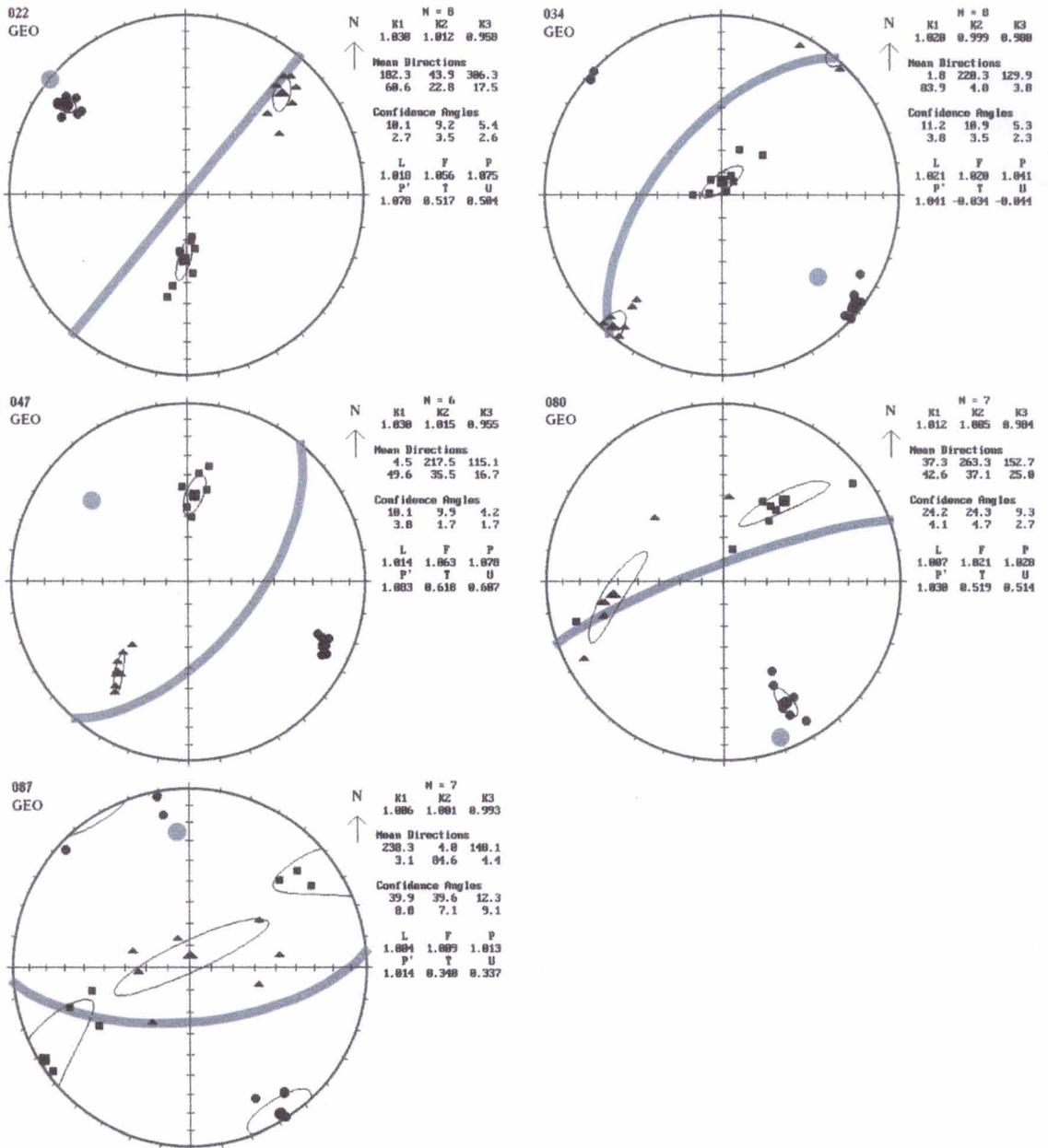


Fig.3-11. Stereographic projection showing the comparison of the AMS fabric and observed foliations in each outcrop.

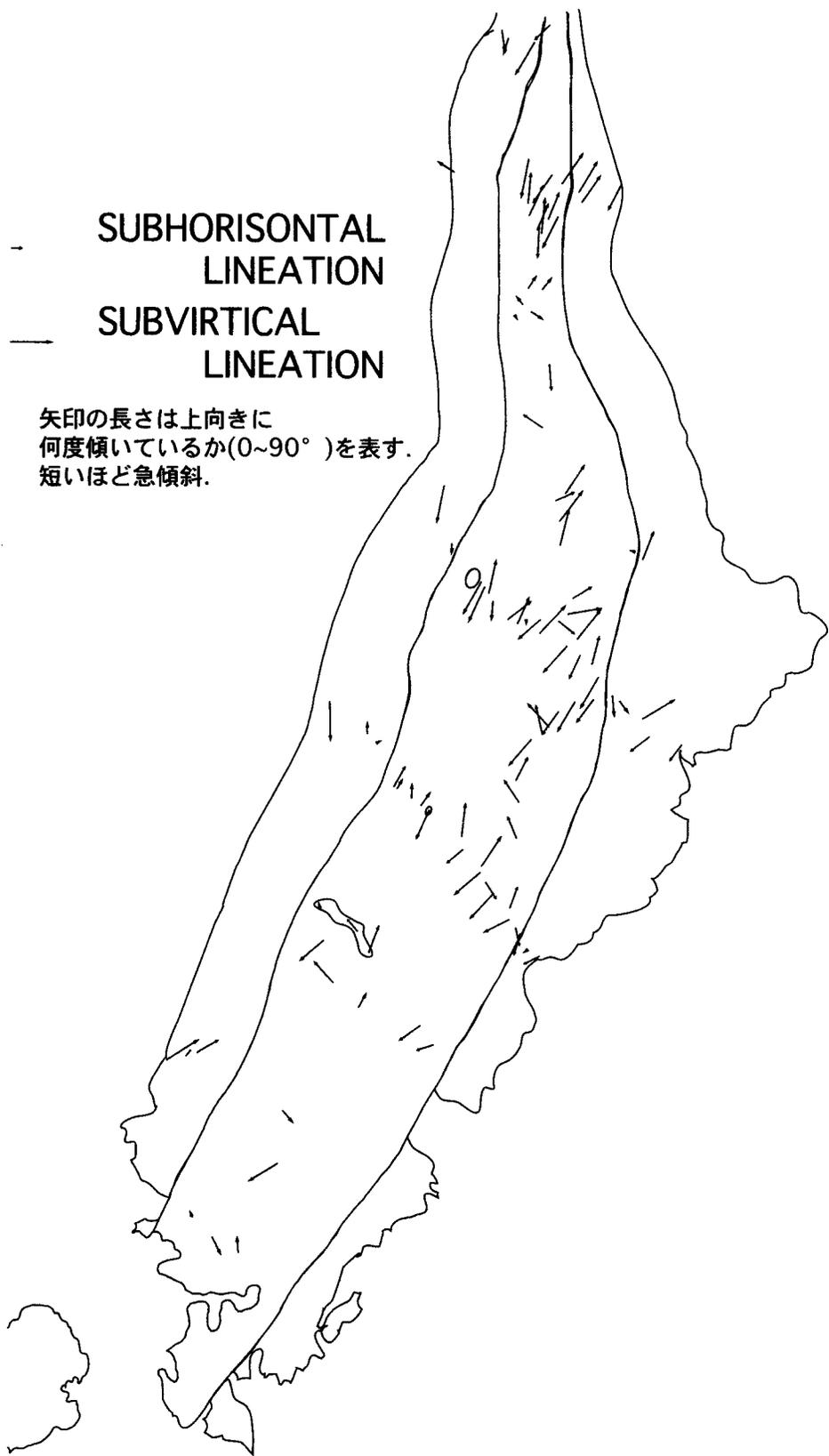


Fig.3-12. Map showing the directions and plunges of magnetic lineations of Higashiyamanashi volcano-plutonic complex. Arrows indicate upward direction.

徳和川中流域，乾徳山西方，岩体北部黒金山西方などで急傾斜なものがみられ，岩体周縁部ではしばしば急傾斜を示している．また，岩体北部黒金山付近を除き，急傾斜の帯磁率線構造が見られる地点では，しばしばP'の値が周辺に比べて高くなっている．

## 3-6 議論

### 3-6-1. 岩体の傾動について

まず，岩体の傾動についてであるが，天野ほか(1998)による4～6 MaのK-Ar年代を示す山梨県北東部に産する岩脈類の古地磁気測定結果をみると，それらは時計回りの回転を示すものの，その偏角は現在の値とほぼ同じ値を示している．また，小烏山花崗閃緑岩には高高度地域に急冷組織を示す浅所の岩相がみられる事から，小烏山花崗閃緑岩は貫入後現在まで大きな傾動は被っていないと考えられる．

### 3-6-2. 全岩帯磁率からみた鉛直累帯構造

小檜山火山岩類のうち高度の低い小檜山火山岩類の南部にはよりSiO<sub>2</sub>含有量の高い流紋岩質溶結凝灰岩が，高度が高い中一北部はよりSiO<sub>2</sub>含有量の低い安山岩質溶結凝灰岩が露出している(三村ほか，1984)．全岩帯磁率はSiO<sub>2</sub>含有量が低い程高くなる傾向(Fig. 3-7)は，SiO<sub>2</sub>含有量が低いほど，磁性鉱物が多いことに起因していると考えられる．Takahashi(1990)によると小烏山花崗閃緑岩は鉛直方向の組成累帯構造は示さないとしているが，小烏山花崗閃緑岩が示す高度と共に帯磁率が高くなる傾向を示している(Fig. 3-7)．これは変質により生じた二次的な磁鉄鉱の存在などが影響しているのかもしれない．

### 3-6-3. 溶結構造と帯磁率異方性

帯磁率異方性は火砕流堆積時の水平方向を知る手段として用いられている(例えば，Otofujii et al., 1999)．小檜山火山岩類に於いて帯磁率面構造とその露頭で確認される溶結構造が概ね一致することは(Fig. 3-11)，本岩体に於いても帯磁率異方性測定により火砕流堆積時の水平方向を知りうるという事を意味している．一方，岩体中部琴川流域，中北部徳和川流域の熱変成を被った岩石の帯磁率面構造，線構造は，それらよりも接触部から遠い岩石よりも明らかに急傾斜となっている．また，徳和川流域では全岩帯磁率にも変化がみられる．これらの岩石は熱変成による再結晶により初生の帯磁率異方性変化してしまっている可能性も考えられ，今後調査を進めるにあたっては注意が必要である．

### 3-6-4. 小烏山花崗閃緑岩の帯磁率異方性

帯磁率線構造が急傾斜部分は小烏山花崗閃緑岩体の中心部付近と壁面付近に存在し

ている (Fig. 3-12). 花崗岩体に於いて急傾斜の帯磁率線構造を示す部分はマグマが鉛直方向に流動した部分であると考えられている (Talling and Hrouda, 1993, Bouchez, 1997 など). これらの部分では, 岩体北部を除き異方度  $P'$  が高くなっている (Fig. 3-9). おそらくマグマが比較的狭いエリアに於いて移動した事によりその異方度が高くなったのであろう.

岩体中に見られるアプライト脈の方向は, 帯磁率面構造と調和的な北東-南西方向を示す (Fig. 3-4, Fig. 3-11). このことにより帯磁率面構造はアプライト形成時, つまり岩体の冷却過程で形成されたものである事が示唆される. 帯磁率面構造が緩傾斜となる部分が小檜山南方, 小烏山東方, 乾徳山西部, 西沢上流部などでみとめられる (Fig. 3-11). 帯磁率面構造が緩傾斜となる部分は, マグマ溜まりの貫入もしくは冷却のユニットの天井部や床部に形成されると考えられる. 境界相対流などにより側面や天井部, 床部から結晶化する事により冷却時に冷却面に対応したファブリックが形成され, 壁岩付近や中心部に鉛直方向の線構造が形成される可能性はある. しかし, Takahashi (1990) によると小烏山花崗閃緑岩は鉛直方向の累帯構造を示さず, 急速に冷却していると考えられる事から, 組成累帯構造を生成するに至ると考えられる境界相対流を帯磁率面構造形成のメカニズムとして断定する事は現段階ではできない. 岩体の形状と調和的な面構造が出来るメカニズムについては今後のさらなる調査・検討が必要である.

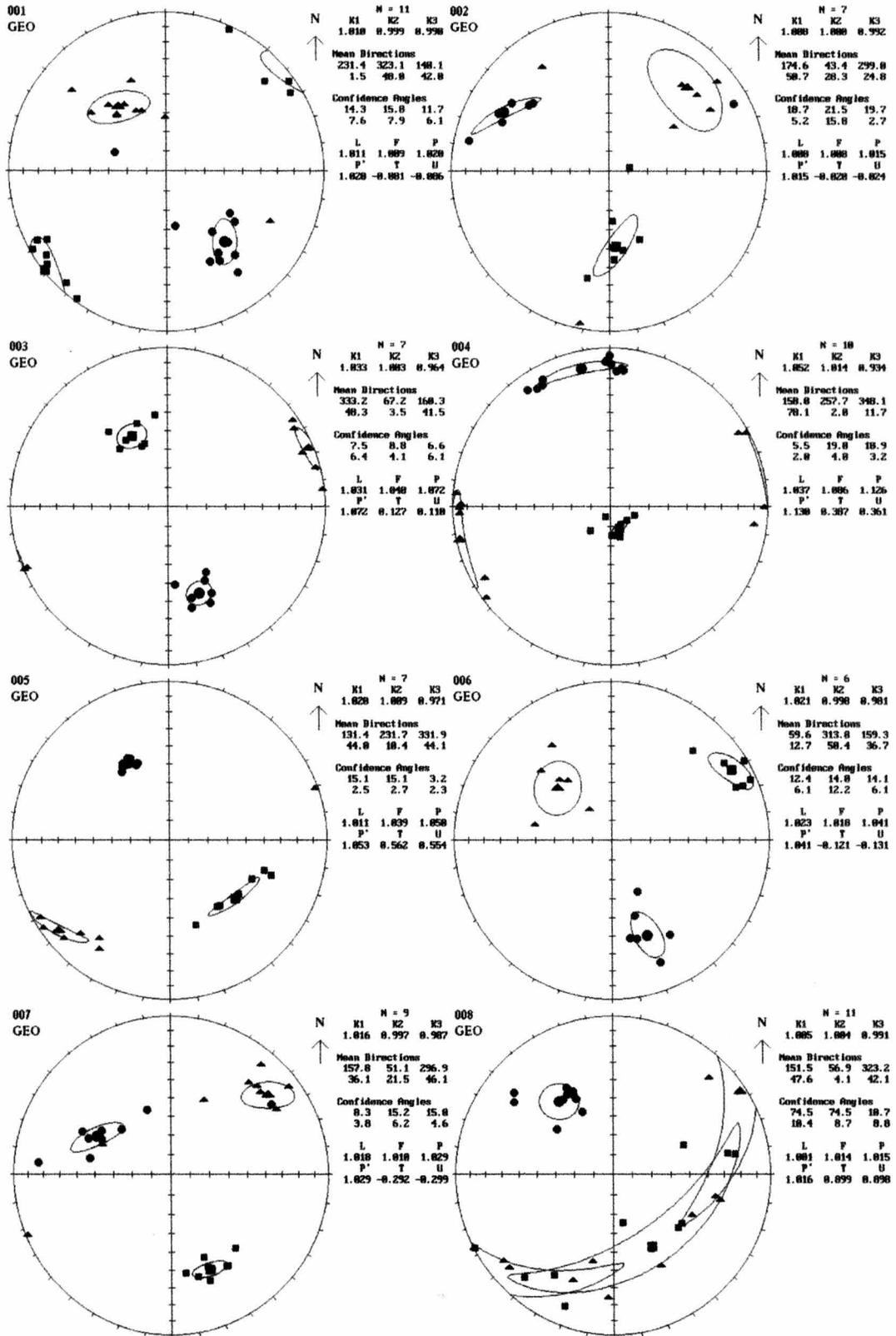
今回の帯磁率異方性測定により小烏山花崗閃緑岩は, 同質のマグマが複数回貫入した, もしくは複数の対流ユニットに分割されており, その中心部や壁面付近でマグマの移動が起こっていた可能性がある事が判明した.

### 3-7 まとめ

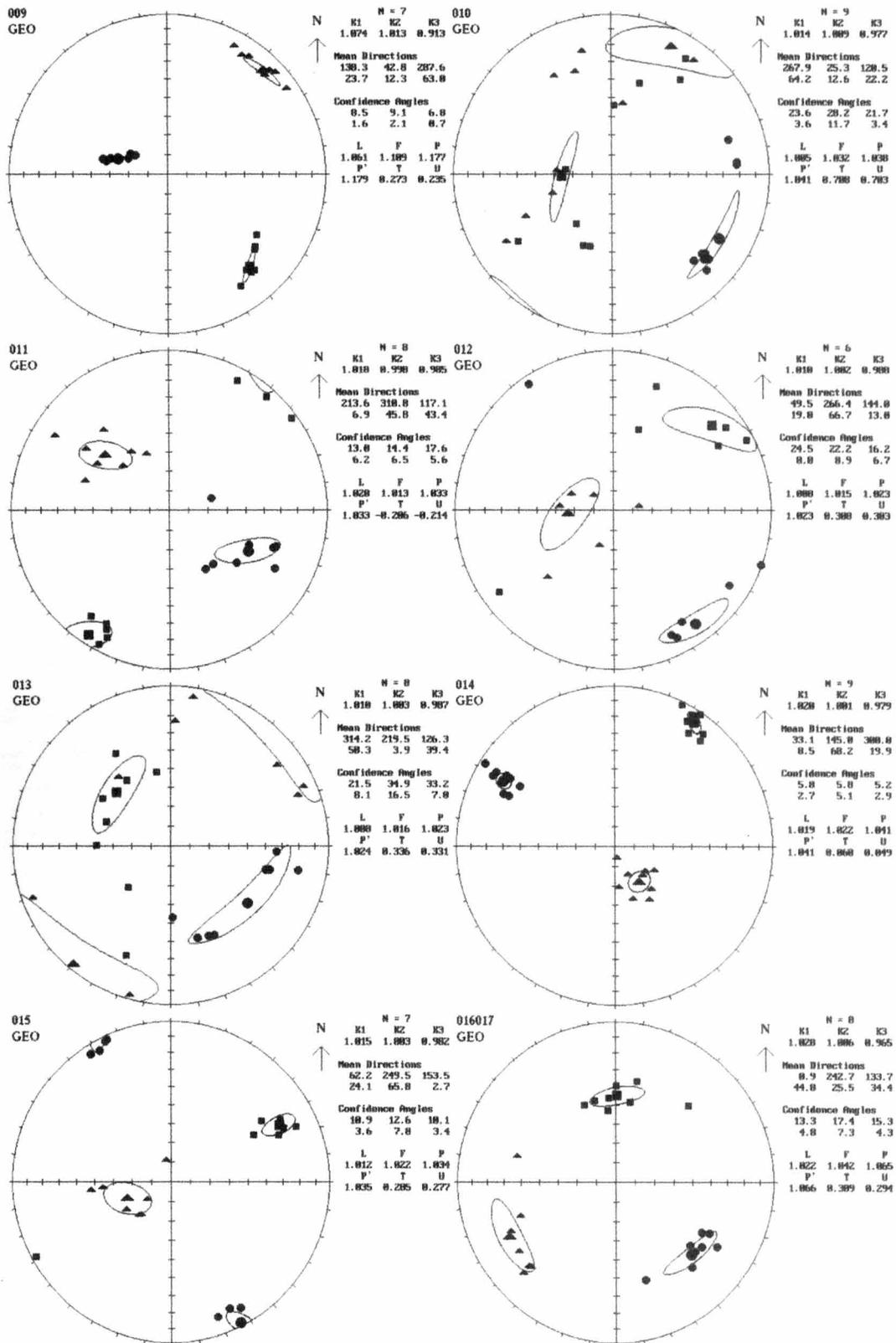
(1) 小檜山火山岩類の帯磁率異方性の測定により, 帯磁率面構造と溶結レンズの構造が調和的であり, 今後の調査により小檜山火山岩類全体の構造を明らかに出来る可能性が見出された..

(2) 小烏山花崗閃緑岩の帯磁率異方性測定により, 小烏山花崗閃緑岩は複数のユニットに分割可能であり, その中心部や壁面には鉛直方向のマグマ流動があった事が判明した.

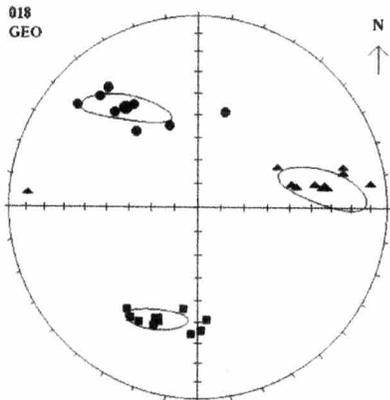
Appendix3-1. Stereographic projection of AMS measurement in Higashiyamanashi volcano-plutonic complex (no.1).



Appendix3-1. continued no.2

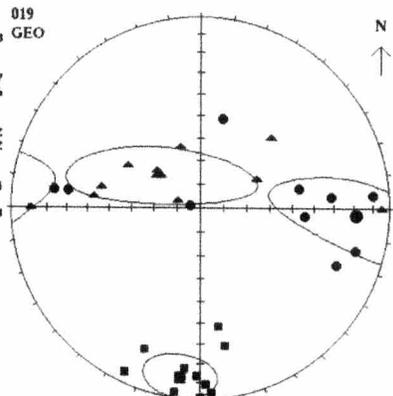


Appendix3-1. continued no.3



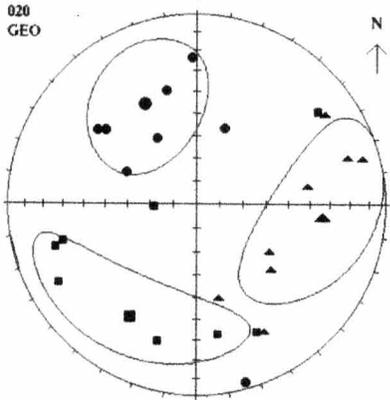
N

N = 8		
K1	K2	K3
1.012	1.000	0.980
Mean Directions		
209.3	88.9	323.7
37.5	32.6	35.6
Confidence Angles		
12.4	21.8	20.2
4.7	6.5	5.2
L	F	P
1.012	1.012	1.024
P'	T	U
1.024	0.024	0.010



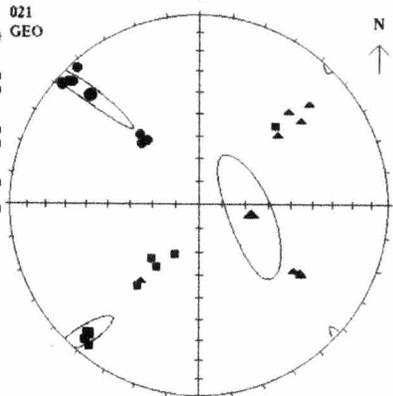
N

N = 10		
K1	K2	K3
1.010	0.997	0.993
Mean Directions		
186.9	386.1	92.7
12.2	67.3	18.9
Confidence Angles		
12.7	42.3	42.3
11.7	12.1	12.2
L	F	P
1.013	1.003	1.016
P'	T	U
1.017	-0.599	-0.602



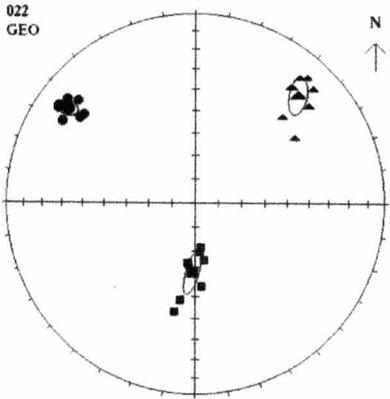
N

N = 8		
K1	K2	K3
1.004	1.002	0.994
Mean Directions		
211.1	96.3	332.9
32.4	33.4	39.0
Confidence Angles		
46.4	43.1	30.9
19.6	24.2	24.0
L	F	P
1.003	1.000	1.010
P'	T	U
1.011	0.501	0.500



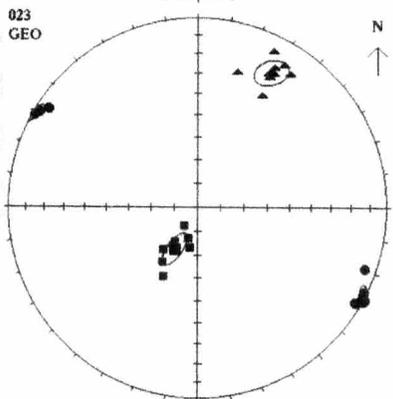
N

N = 8		
K1	K2	K3
1.029	1.016	0.955
Mean Directions		
221.0	101.4	315.2
11.0	67.1	19.3
Confidence Angles		
15.2	20.3	26.5
3.1	9.5	2.7
L	F	P
1.013	1.004	1.070
P'	T	U
1.003	0.647	0.636



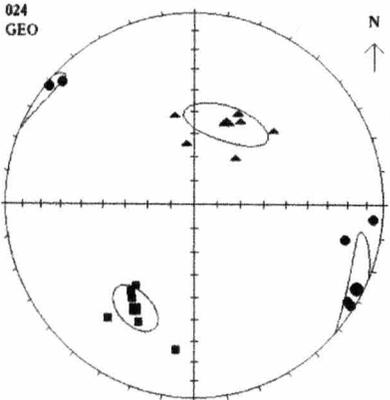
N

N = 8		
K1	K2	K3
1.030	1.012	0.950
Mean Directions		
102.3	43.9	306.3
60.6	22.8	17.5
Confidence Angles		
10.1	9.2	5.4
2.7	3.5	2.6
L	F	P
1.010	1.056	1.075
P'	T	U
1.070	0.517	0.504



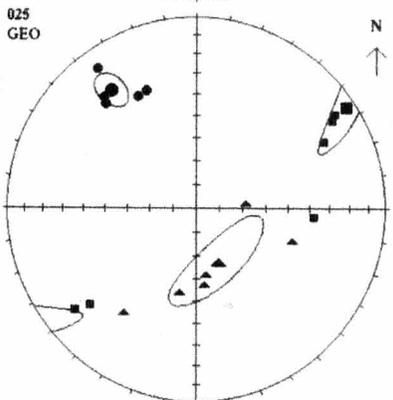
N

N = 7		
K1	K2	K3
1.021	1.003	0.976
Mean Directions		
209.2	20.7	110.7
69.7	20.3	0.2
Confidence Angles		
0.1	0.4	6.0
3.1	4.0	2.1
L	F	P
1.010	1.020	1.046
P'	T	U
1.047	0.224	0.213



N

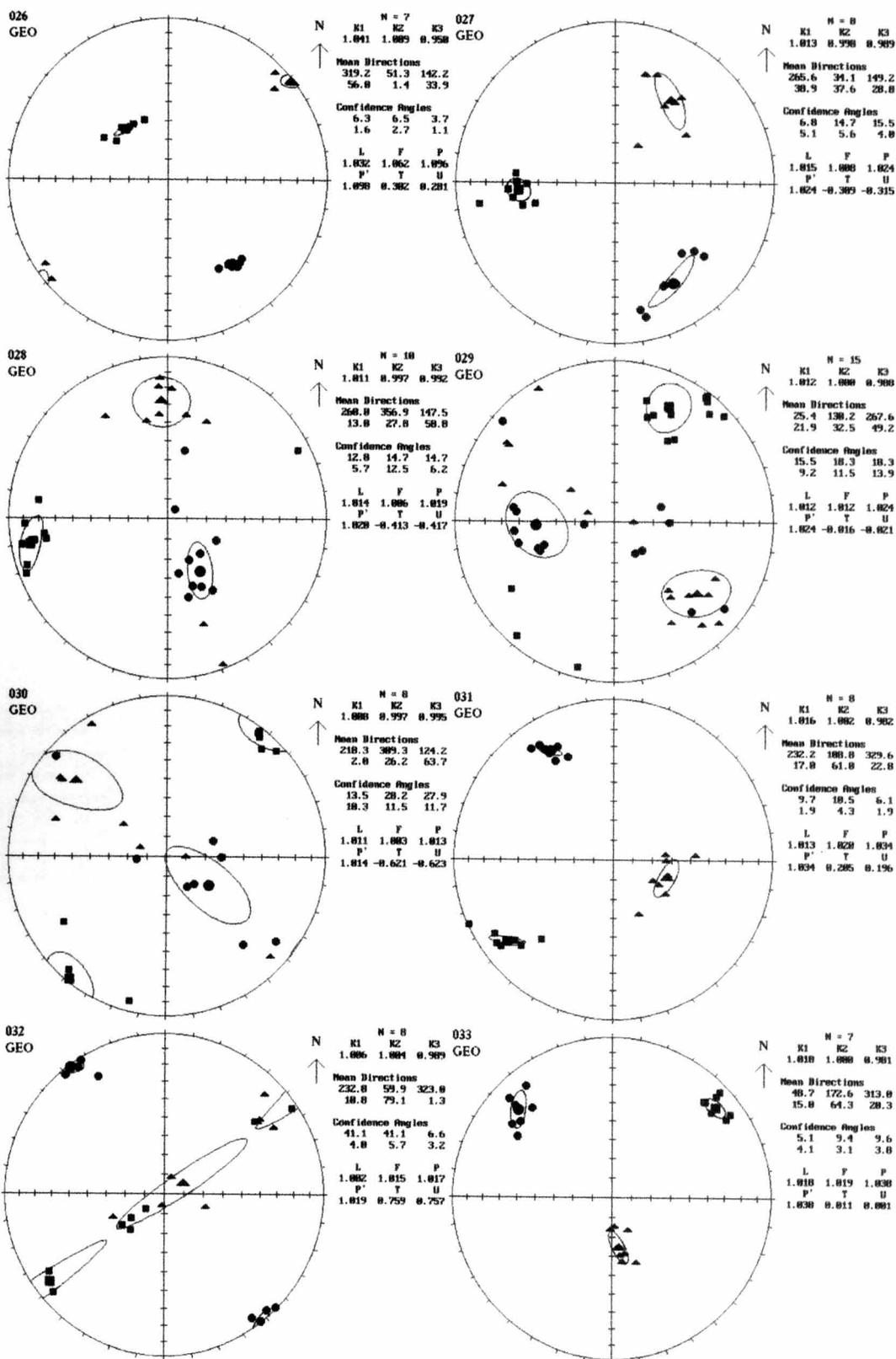
N = 6		
K1	K2	K3
1.016	1.000	0.904
Mean Directions		
209.9	21.9	117.0
37.3	52.5	3.9
Confidence Angles		
10.0	10.0	19.5
7.7	0.0	5.2
L	F	P
1.017	1.015	1.032
P'	T	U
1.032	-0.037	-0.045



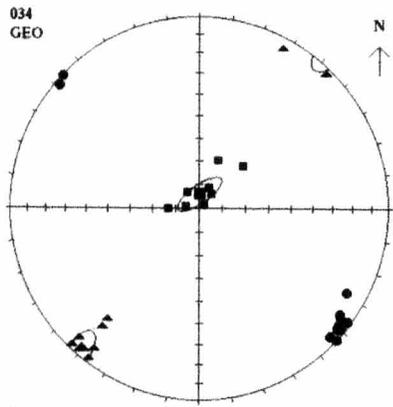
N

N = 6		
K1	K2	K3
1.050	1.017	0.933
Mean Directions		
56.4	150.2	323.9
5.5	64.7	24.6
Confidence Angles		
26.1	26.3	10.0
4.6	0.7	4.9
L	F	P
1.032	1.090	1.125
P'	T	U
1.130	0.450	0.434

Appendix3-1. continued no.4



Appendix3-1. continued no.5



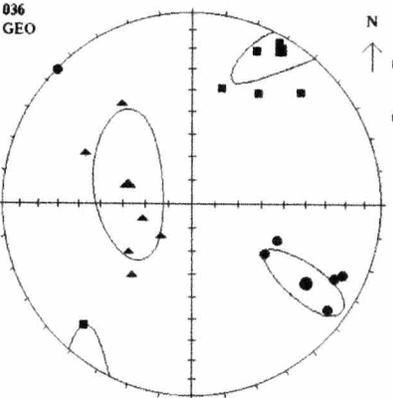
N = 8

K1	K2	K3
1.020	0.999	0.990

Mean Directions  
1.0 220.3 129.9  
83.9 4.8 3.8

Confidence Angles  
11.2 18.9 5.3  
3.0 3.5 2.3

L	F	P
1.021	1.028	1.041
1.041	-0.034	-0.044



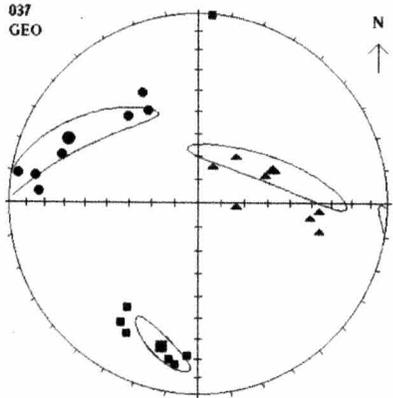
N = 6

K1	K2	K3
1.009	1.000	0.990

Mean Directions  
30.2 226.3 124.2  
7.6 60.9 27.9

Confidence Angles  
27.3 31.9 24.3  
7.3 15.2 6.6

L	F	P
1.009	1.010	1.019
1.019	0.076	0.072



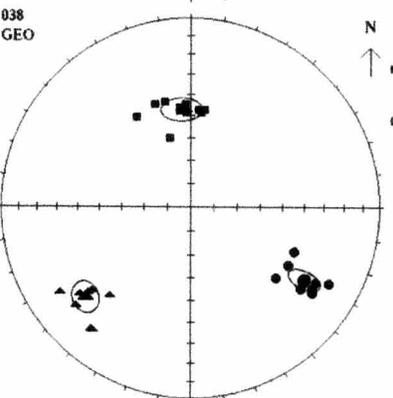
N = 7

K1	K2	K3
1.013	0.997	0.990

Mean Directions  
194.8 66.2 226.3  
23.0 54.7 24.5

Confidence Angles  
15.1 37.4 30.6  
4.6 5.6 6.6

L	F	P
1.016	1.007	1.023
1.023	-0.377	-0.301



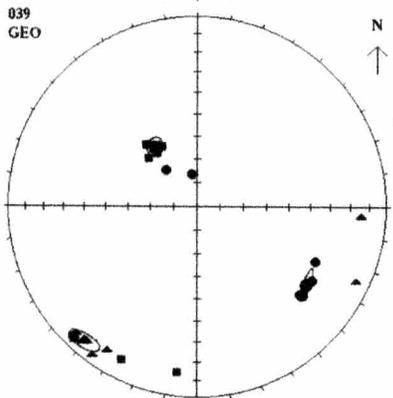
N = 9

K1	K2	K3
1.026	1.005	0.970

Mean Directions  
354.7 229.9 122.1  
46.8 20.1 29.7

Confidence Angles  
8.3 6.9 8.7  
5.5 5.7 3.3

L	F	P
1.021	1.036	1.050
1.050	0.269	0.256



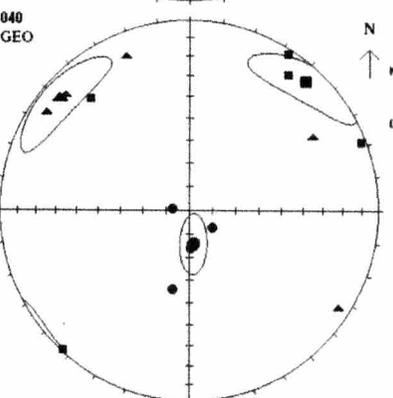
N = 8

K1	K2	K3
1.044	1.012	0.944

Mean Directions  
324.3 220.2 125.3  
50.7 0.4 29.9

Confidence Angles  
4.1 5.0 6.6  
3.3 3.9 1.6

L	F	P
1.031	1.072	1.105
1.100	0.390	0.369



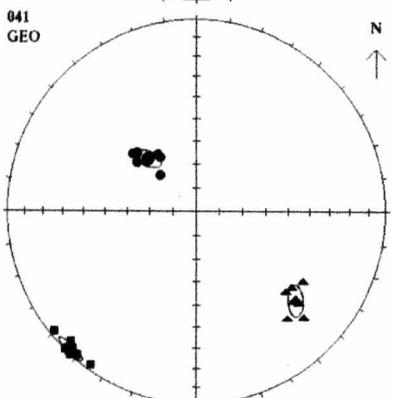
N = 5

K1	K2	K3
1.010	1.006	0.904

Mean Directions  
42.2 310.4 173.3  
9.6 10.7 75.5

Confidence Angles  
21.7 21.3 13.1  
9.6 9.5 5.0

L	F	P
1.004	1.022	1.026
1.020	0.676	0.672



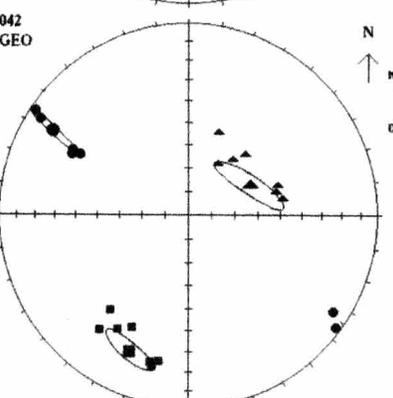
N = 6

K1	K2	K3
1.037	1.006	0.957

Mean Directions  
222.8 131.3 316.9  
2.4 30.6 59.3

Confidence Angles  
4.9 6.0 6.3  
2.3 3.2 2.9

L	F	P
1.031	1.051	1.003
1.004	0.239	0.220



N = 7

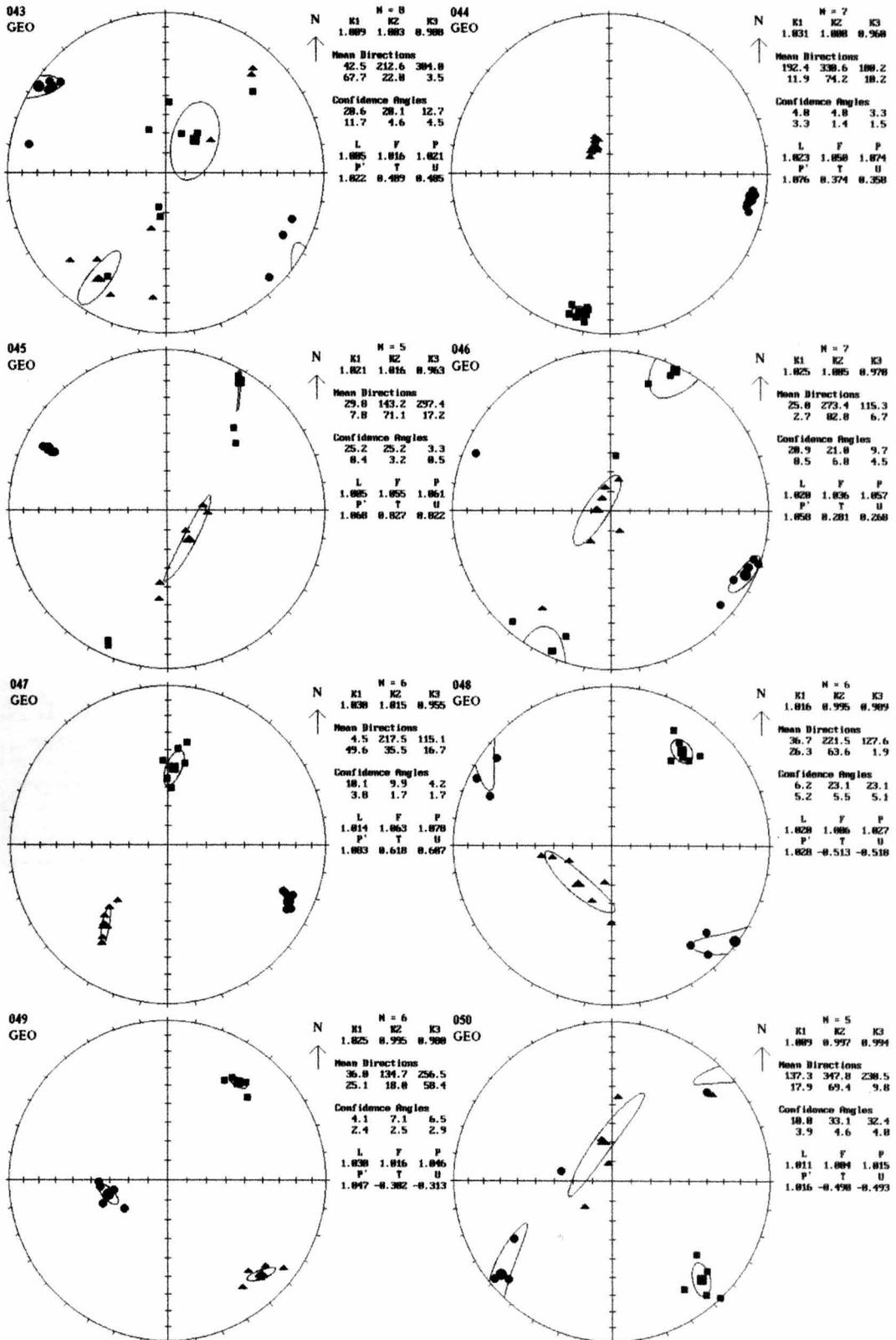
K1	K2	K3
1.011	1.001	0.900

Mean Directions  
203.9 63.6 301.6  
23.0 60.2 16.9

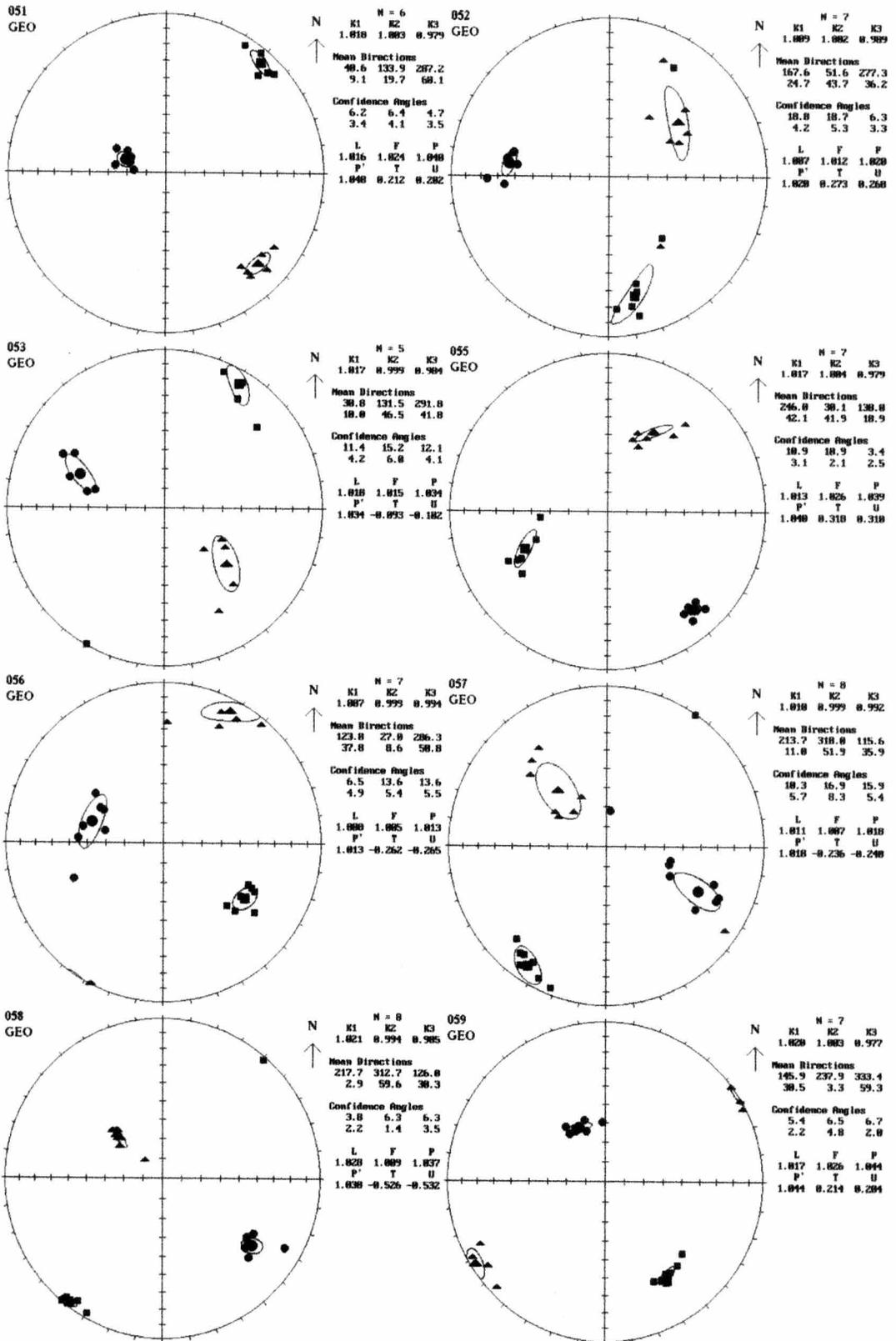
Confidence Angles  
11.4 17.5 20.4  
4.1 4.0 1.2

L	F	P
1.011	1.013	1.024
1.024	0.005	0.079

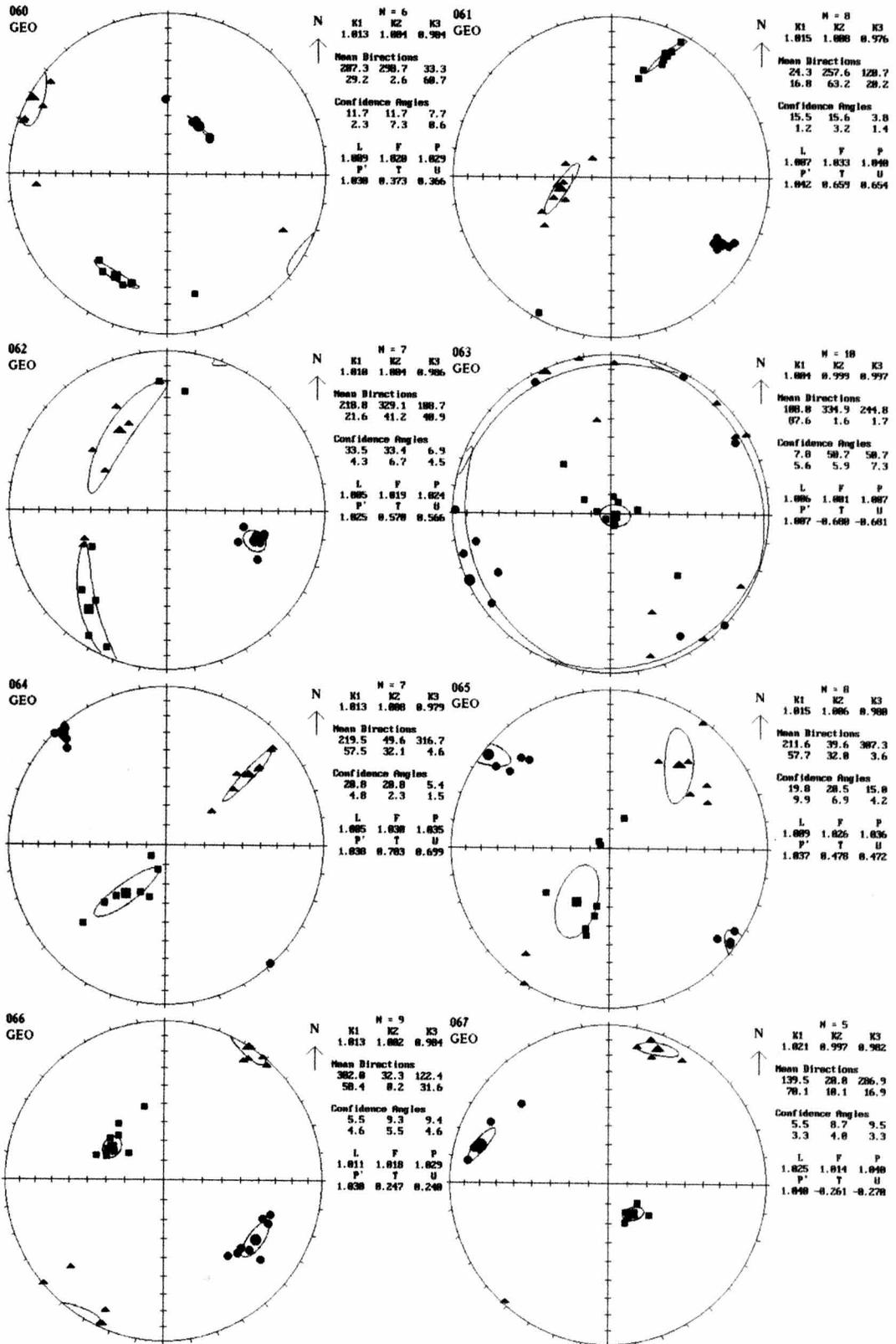
Appendix3-1. continued no.6



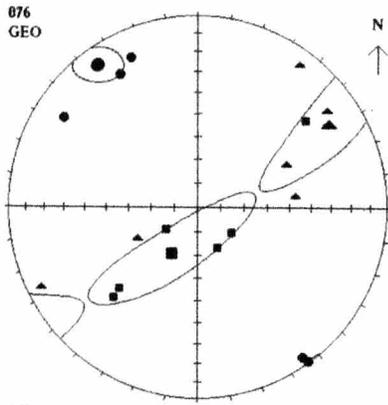
Appendix3-1 continued no. 7



Appendix3-1. continued no.8



Appendix3-1. continued no.9



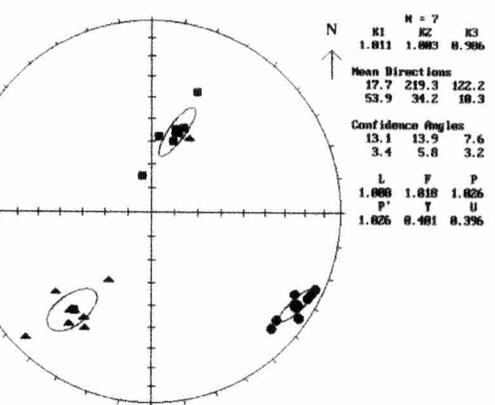
N = 6

K1	K2	K3
1.007	1.004	0.989

Mean Directions  
289.4 58.2 324.6  
67.4 28.8 18.8

Confidence Angles  
43.5 43.5 11.8  
18.8 9.4 6.9

L	F	P
1.003	1.015	1.018
1.019	0.639	0.637



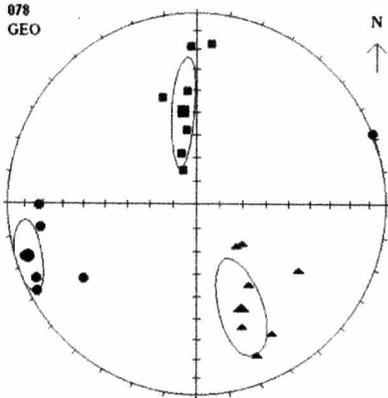
N = 7

K1	K2	K3
1.011	1.003	0.986

Mean Directions  
17.7 219.3 122.2  
53.9 34.2 18.3

Confidence Angles  
13.1 13.9 7.6  
3.4 5.8 3.2

L	F	P
1.008	1.018	1.026
1.026	0.481	0.396



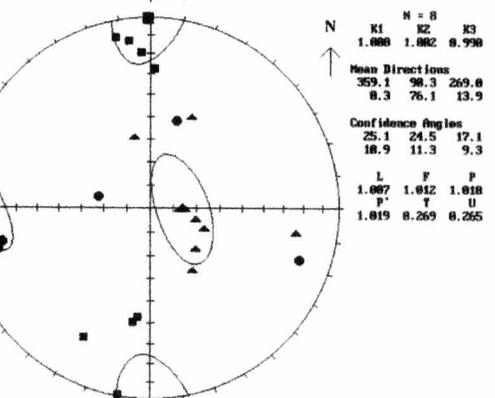
N = 7

K1	K2	K3
1.012	1.001	0.987

Mean Directions  
351.5 156.7 253.8  
48.9 48.1 7.4

Confidence Angles  
25.1 23.6 11.8  
4.6 8.7 7.6

L	F	P
1.011	1.014	1.024
1.024	0.131	0.125



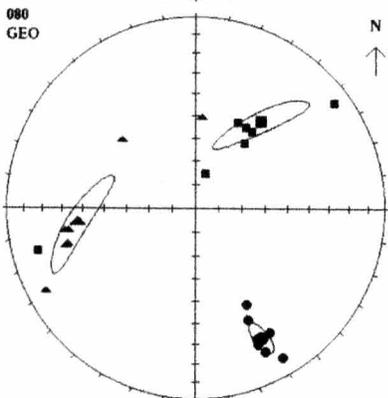
N = 8

K1	K2	K3
1.008	1.002	0.990

Mean Directions  
359.1 98.3 259.8  
8.3 76.1 13.9

Confidence Angles  
25.1 24.5 17.1  
18.9 11.3 9.3

L	F	P
1.007	1.012	1.018
1.019	0.269	0.265



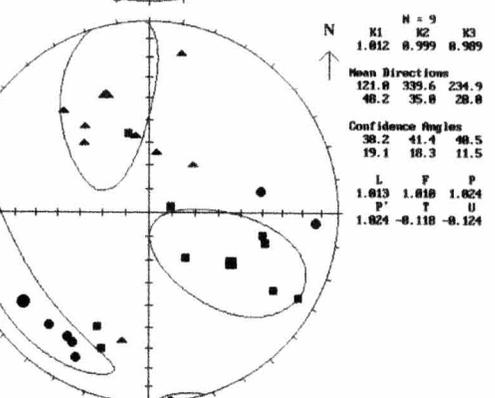
N = 7

K1	K2	K3
1.012	1.005	0.984

Mean Directions  
37.3 263.3 152.7  
42.6 37.1 25.8

Confidence Angles  
24.2 24.3 9.3  
4.1 4.7 2.7

L	F	P
1.007	1.021	1.020
1.038	0.519	0.514



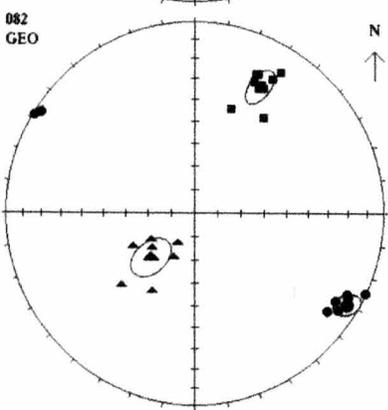
N = 9

K1	K2	K3
1.012	0.999	0.989

Mean Directions  
121.8 339.6 234.9  
48.2 35.8 28.8

Confidence Angles  
38.2 41.4 48.5  
19.1 18.3 11.5

L	F	P
1.013	1.018	1.024
1.024	-0.118	-0.124



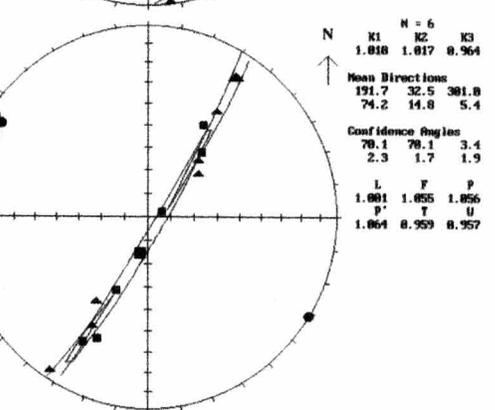
N = 8

K1	K2	K3
1.015	1.002	0.983

Mean Directions  
27.3 224.5 128.7  
26.8 62.9 6.9

Confidence Angles  
9.9 18.2 7.8  
3.8 6.4 3.7

L	F	P
1.013	1.019	1.032
1.033	0.288	0.288



N = 6

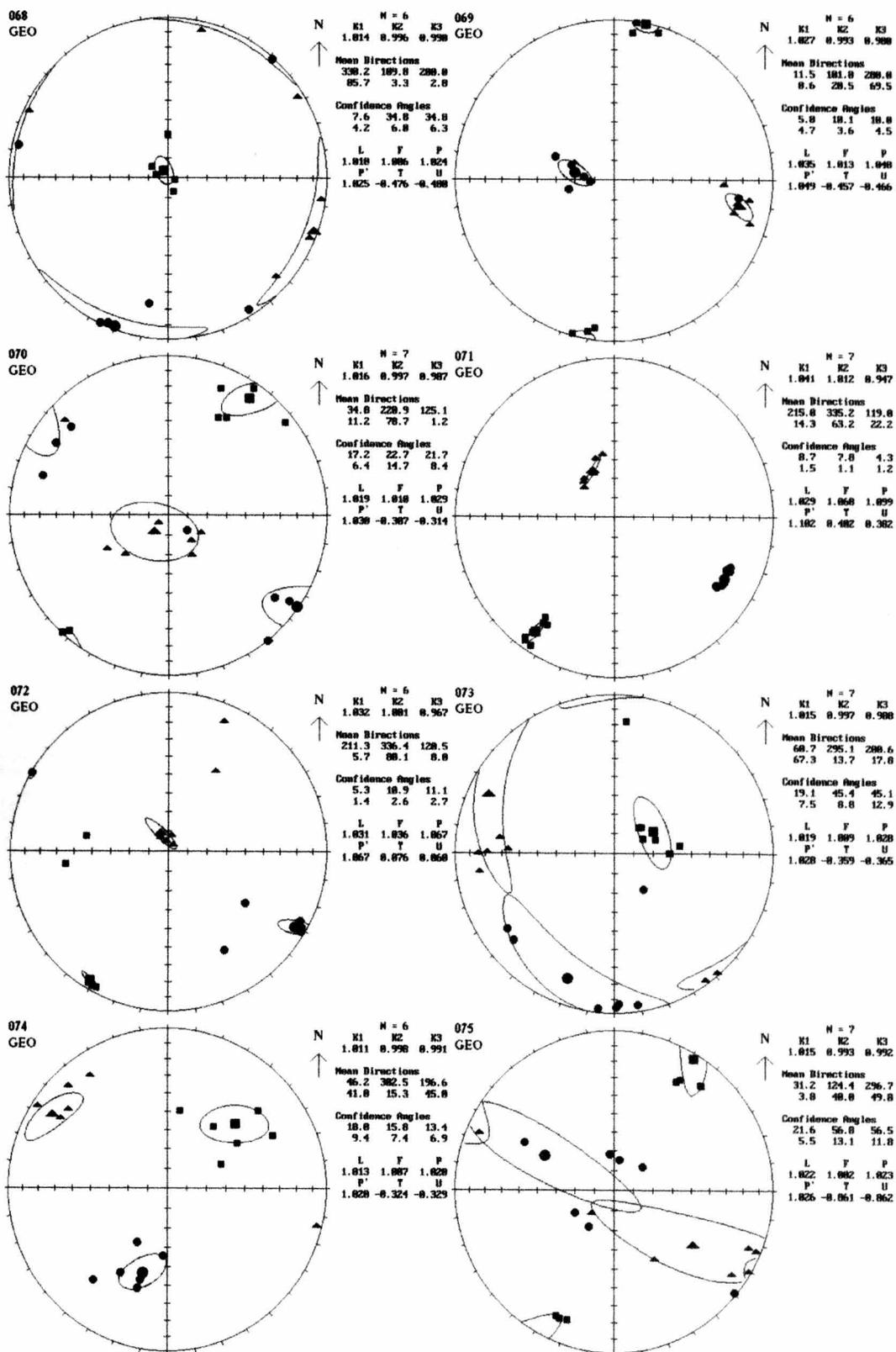
K1	K2	K3
1.018	1.017	0.964

Mean Directions  
191.7 32.5 381.8  
74.2 14.8 5.4

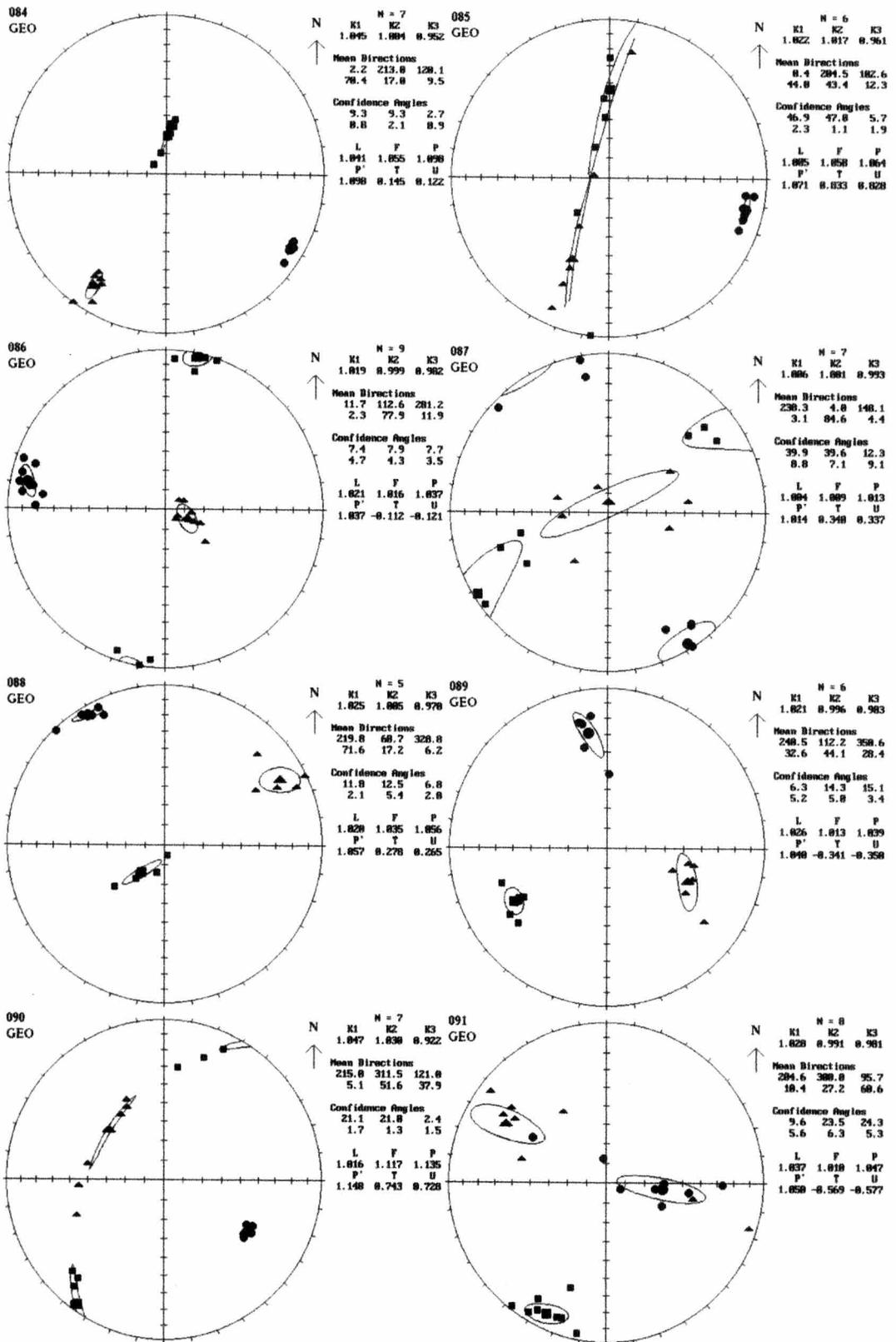
Confidence Angles  
78.1 78.1 3.4  
2.3 1.7 1.9

L	F	P
1.001	1.055	1.056
1.064	0.959	0.957

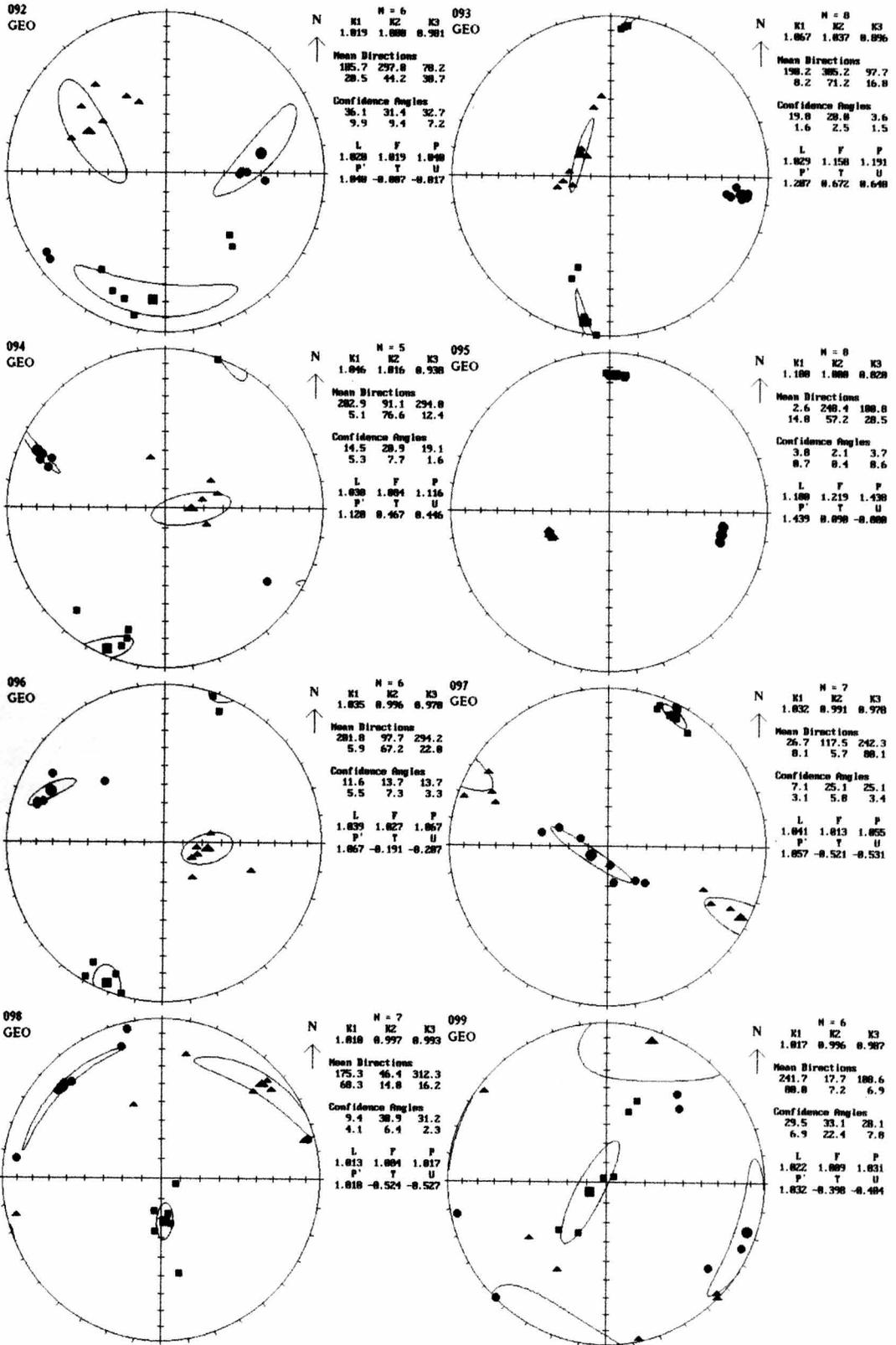
Appendix3-1. continued no.10



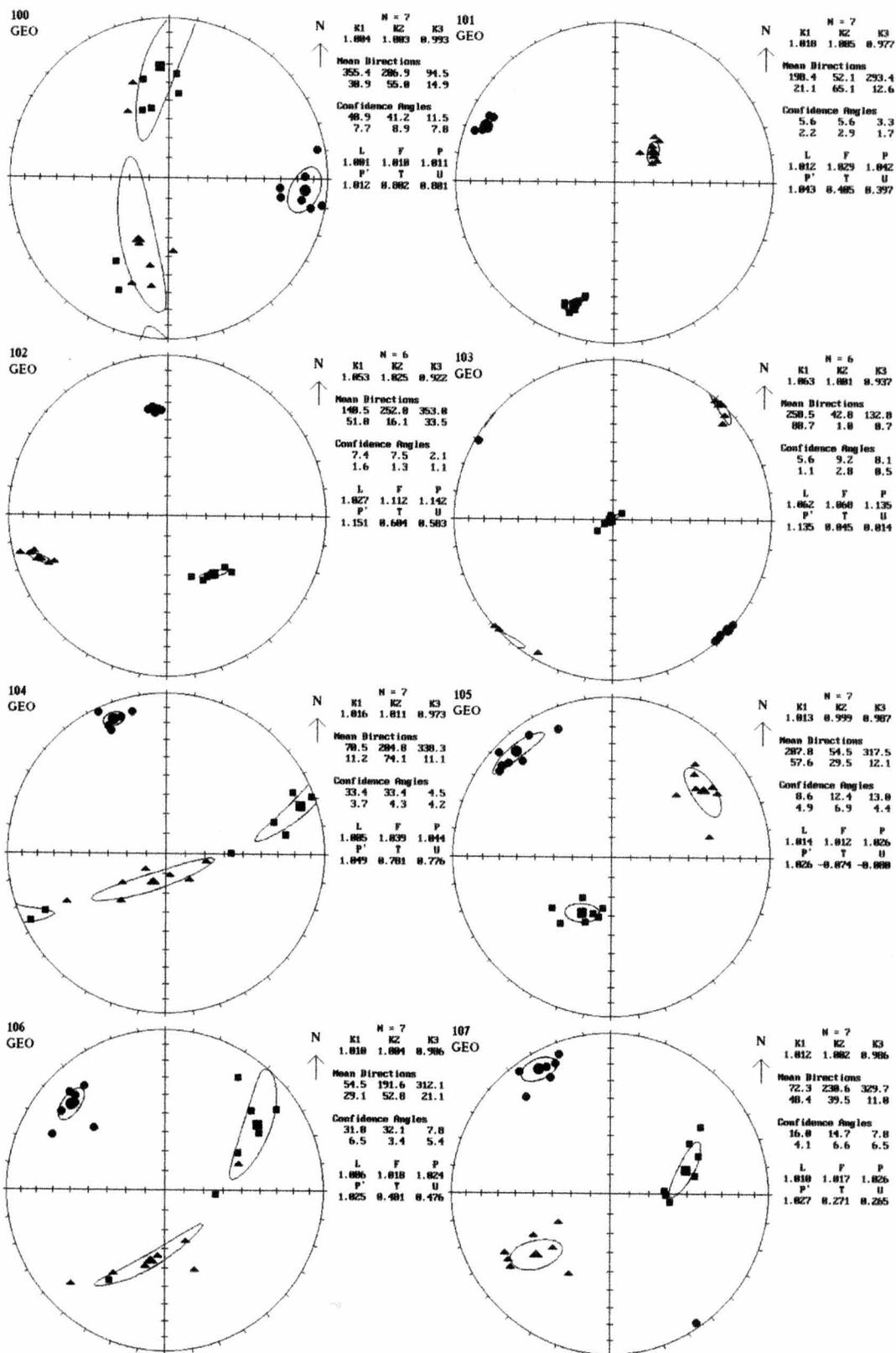
Appendix3-1. continued no.11



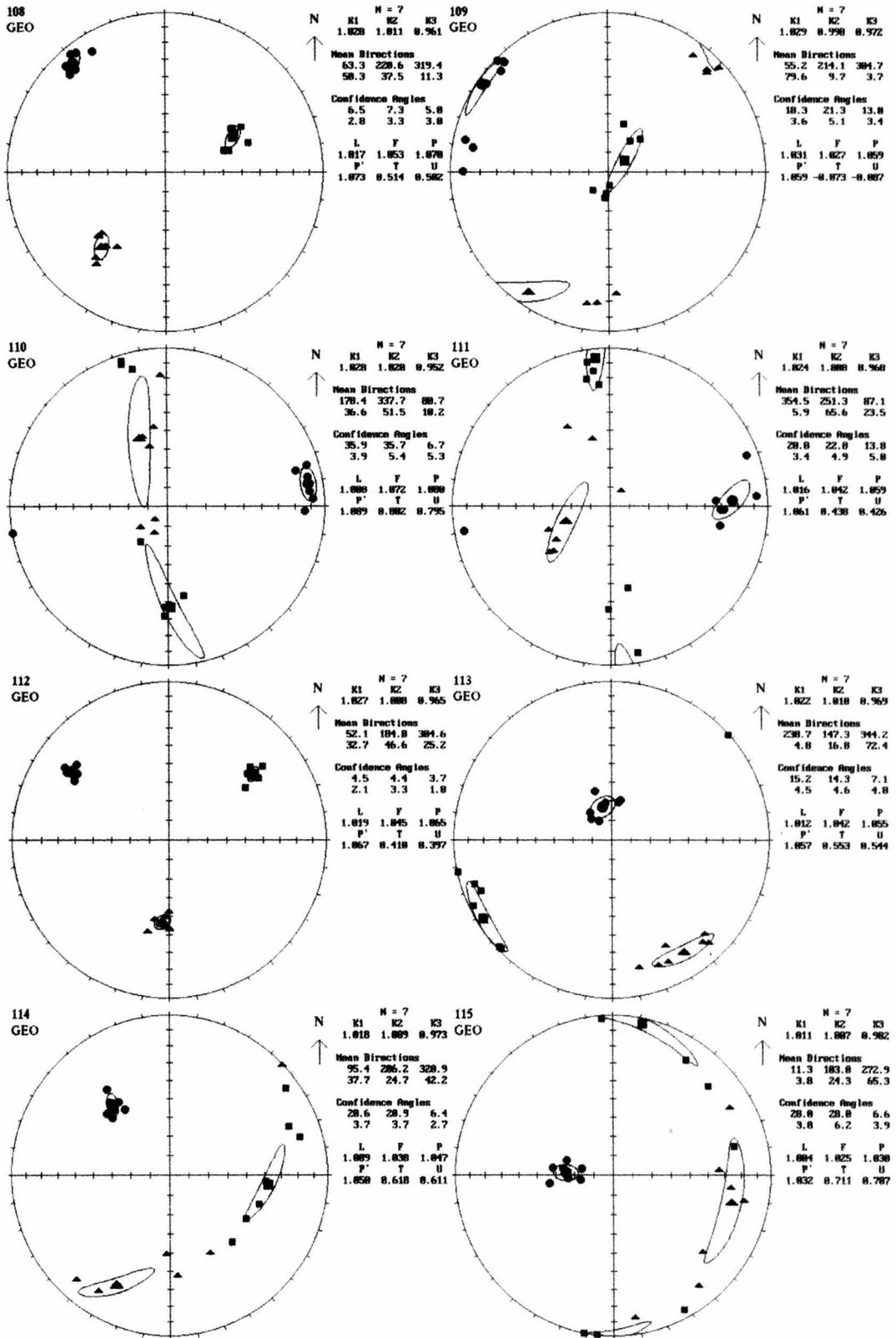
Appendix3-1. continued no.12



Appendix3-1. continued no.13



Appendix3-1. continued no.14



## 第4章 丹沢主期トータル岩と小烏山花崗閃緑岩の 不透明鉱物と帯磁率異方性の原因について

### 4-1 はじめに

岩石の帯磁率は、主に含まれる強磁性・常磁性鉱物に依存している。強磁性鉱物を0.1vol.%以上含む場合には、観測される帯磁率異方性は基本的にそれらの強磁性鉱物の大きさ、形状、配列の程度に支配されることになる (Talling and Hrouda, 1993)。丹沢主期トータル岩類と小烏山花崗閃緑岩は共に1~2vol.%程度の不透明鉱物を含む。火成岩に含まれる不透明鉱物は主にチタン磁鉄鉱とチタン赤鉄鉱である。どちらも強磁性を示す鉱物であり、帯磁率異方性の原因を知る上で、その産状や組成を観察・分析することは重要である。ここでは、主にEPMAを用い丹沢主期トータル岩と小烏山花崗閃緑岩に含まれる不透明鉱物について観察し、それらの帯磁率異方性の原因について検討した。尚、ここでは、Ilmenite-Hematite join上の組成をもつ鉱物をチタン赤鉄鉱、Ulvospinel-Magnetite join上の組成をもつ鉱物をチタン磁鉄鉱と呼ぶ。

### 4-2 不透明鉱物の産状

#### 4-2-1. 丹沢主期トータル岩

丹沢主期トータル岩に含まれる不透明鉱物の粒径は数十~数百 $\mu\text{m}$ 程度である。丹沢主期トータル岩において、不透明鉱物は、複数集合してクロットを形成したり、普通角閃石や黒雲母などの苦鉄質鉱物に包有されたりしている (Fig. 4-1)。

#### 4-2-2. 小烏山花崗閃緑岩

小烏山花崗閃緑岩に含まれる不透明鉱物の粒径は数 $\mu\text{m}$ ~百 $\mu\text{m}$ 程度である。小烏山花崗閃緑岩において、比較的大型の不透明鉱物は複数集合してクロットを形成したり、普通角閃石や黒雲母などの有色鉱物に包有されたりしている (Fig. 4-2)。緑色の普通角閃石中には、しばしば数 $\mu\text{m}$ の細粒の不透明鉱物が包有されている (第3図A~C)。細粒の不透明鉱物は緑色の普通角閃石や黒雲母を伴う単斜輝石中にも認められる (Fig. 4-3D~F)。

### 4-3 研究方法

丹沢主期トータル岩と小烏山花崗閃緑岩に含まれる磁性鉱物の同定するためにEPMAによる不透明鉱物の化学組成分析・元素マッピングを行った。また、丹沢主期

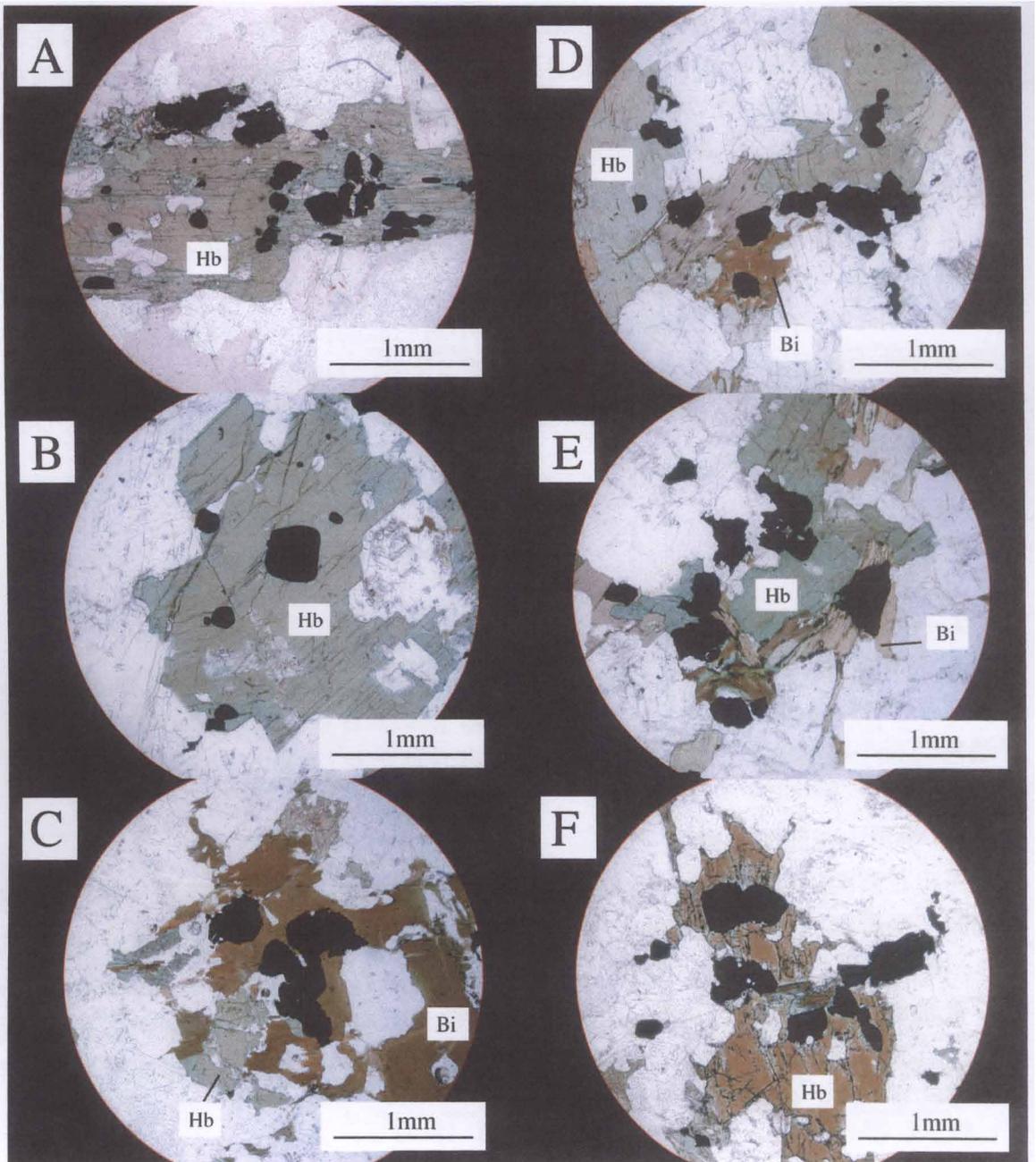


Fig. 4-1. Occurrences of opaque minerals in the Tanzawa tonalite. (open nicol)

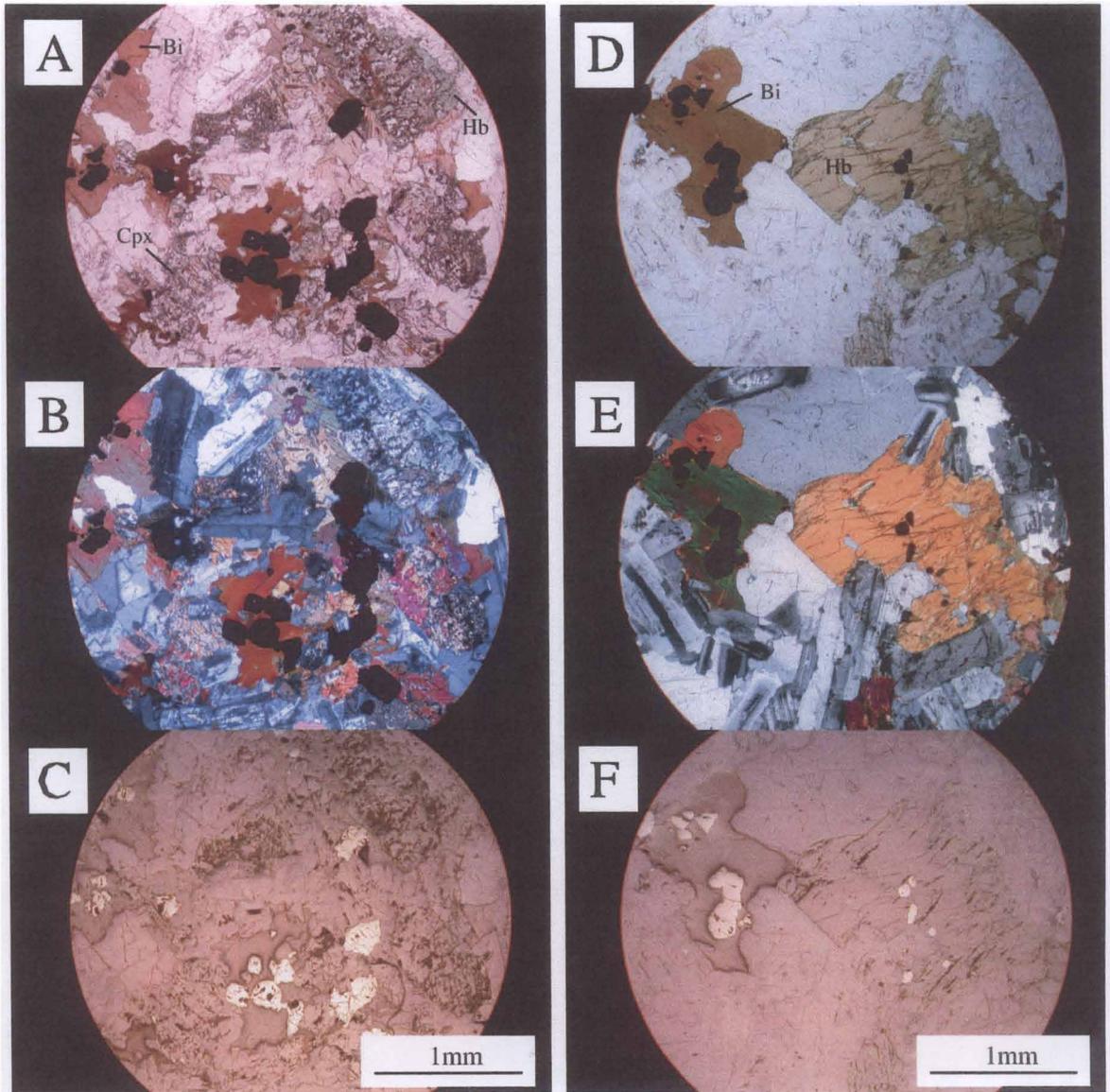


Fig. 4-2. Occurrences of opaque minerals in the Kogarasuyama granodiorite. (A,D: open nicol, B,E: crossed nicol, C,F: reflected light)

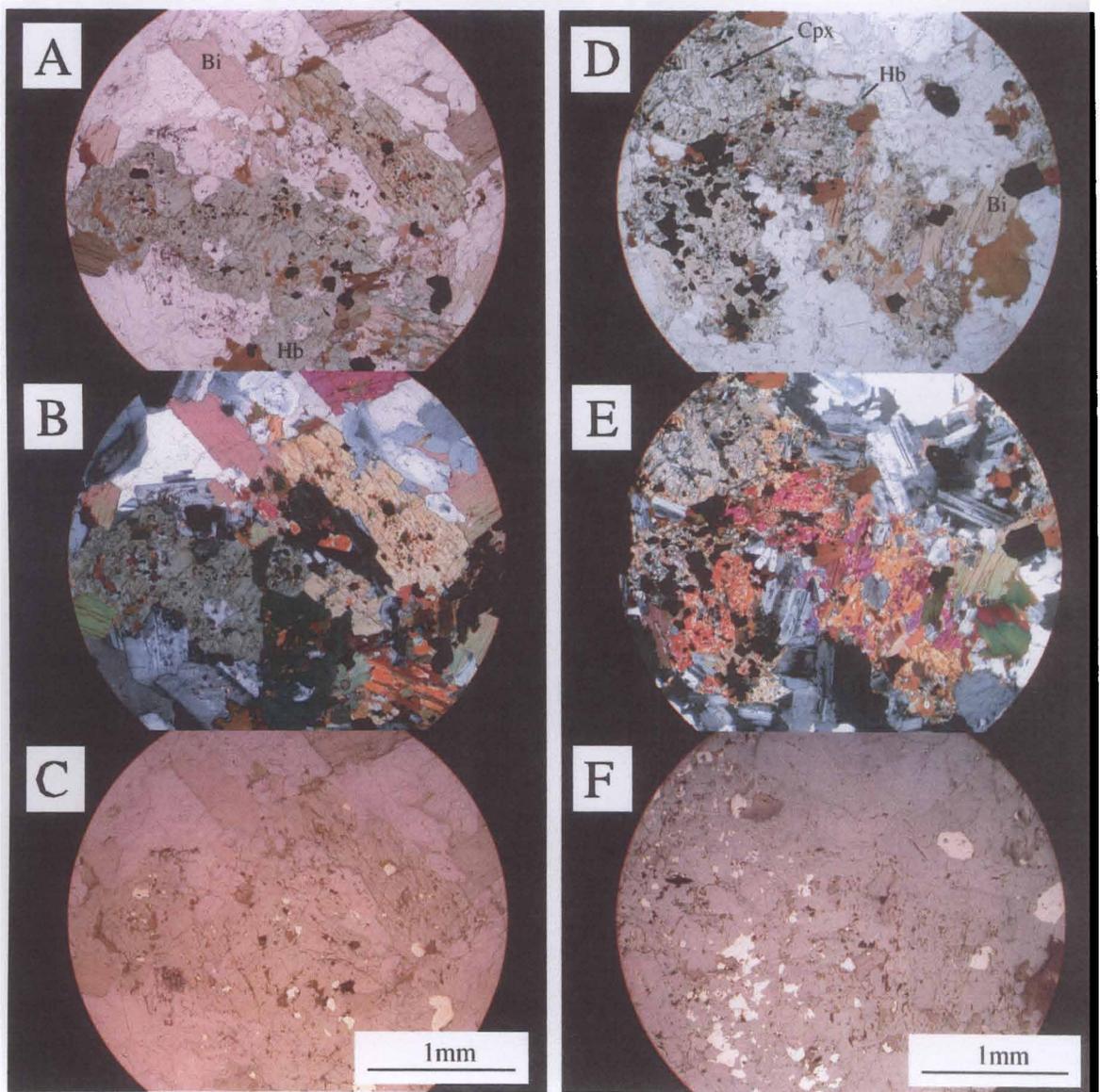


Fig.4-3. Occurrences of fine-grained opaque minerals in the Kogarasuyama granodiorite. (A,D: open nicol, B,E: crossed nicol, C,F: reflected light)

トータル岩について有色鉱物や不透明鉱物がどのように配列しているかを検討するために、帯磁率異方性を測定した試料を用い、帯磁率面構造に平行な薄片を作成し観察すると共に広範囲の元素マッピングを行った。

測定には、JEOL社製JEOL-8900M electron microprobe analyzerを電流 $1.2 \times 10^{-8}$ A、加速電圧15kVで使用した。

### 4-3 分析結果

#### 4-3-1. 丹沢主期トータル岩

電子顕微鏡観察や元素マッピング、化学組成分析の結果、丹沢主期トータル岩に含有される不透明鉱物には主に、粒径 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ のチタン磁鉄鉱の周縁部に幅 $50 \mu\text{m}$ 程度のチタン赤鉄鉱が付着したもの (Type-A) (Fig. 4-4) と、粒径 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ チタン磁鉄鉱の{111}面に沿って幅数 $\mu\text{m}$ 程度のチタン赤鉄鉱のラメラが発達したもの (Type-B) (Fig. 4-5) と、粒径 $\sim 300 \mu\text{m}$ の不均質な組成を有するチタン赤鉄鉱 (type-C) (Fig. 4-6) が存在する事が判明した。Type-Aのチタン磁鉄鉱はウルボスピネル成分10mol%以下の磁鉄鉱端成分に近い組成を示し、チタン赤鉄鉱もイルメナイト成分90mol%以上のイルメナイト端成分に近い組成を示す (第1表, 第7図)。Type-Bのチタン磁鉄鉱もウルボスピネル成分10mol%以下の磁鉄鉱端成分に近い組成を示すが、チタン赤鉄鉱ラメラはイルメナイト成分10~80mol%の幅広い組成値を示す (Table1, Fig. 4-7)。Type-Cのチタン赤鉄鉱は全岩SiO<sub>2</sub>量が70wt%を超える岩石にのみ認められる。これらはイルメナイト成分50~95mol%の幅広い組成を示す (Table1, Fig. 4-7)。

帯磁率面構造に平行に作成した薄片の観察・元素マッピングを行った結果、有色鉱物の長軸は、ほぼ線構造と平行に一定方向に配列する傾向がみられた (Fig. 4-8A, B)。また、チタン磁鉄鉱クロットの伸長方向もほぼ同様な傾向を示す (Fig. 4-8B, C)。これらの鉱物配列によって示される線構造は、帯磁率線構造の方向と概ね調和的である。

#### 4-3-2. 小烏山花崗閃緑岩

小烏山花崗閃緑岩に含まれる不透明鉱物は、Type-Bと同様な粒径 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ 程度のチタン磁鉄鉱の{111}面に沿って幅数 $\mu\text{m}$ 程度のチタン赤鉄鉱のラメラが発達したもの (Type-D) (Fig. 4-9)、粒径 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ 程度のチタン磁鉄鉱に挟まれるようにチタン赤鉄鉱が存在しているもの (Type-E) (Fig. 4-10)、Type-Aと同様な粒径 $100 \sim 200 \mu\text{m}$ のチタン磁鉄鉱の周縁部に幅数 $\mu\text{m}$ 程度のチタン赤鉄鉱が付着したもの (Type-F) (Fig. 4-11)、角閃石や輝石など有色鉱物中に包有される $10 \mu\text{m}$ 程度のチタン磁鉄鉱 (Type-G) (Fig. 4-12) の4タイプが認められる。Type-Dのチタン磁



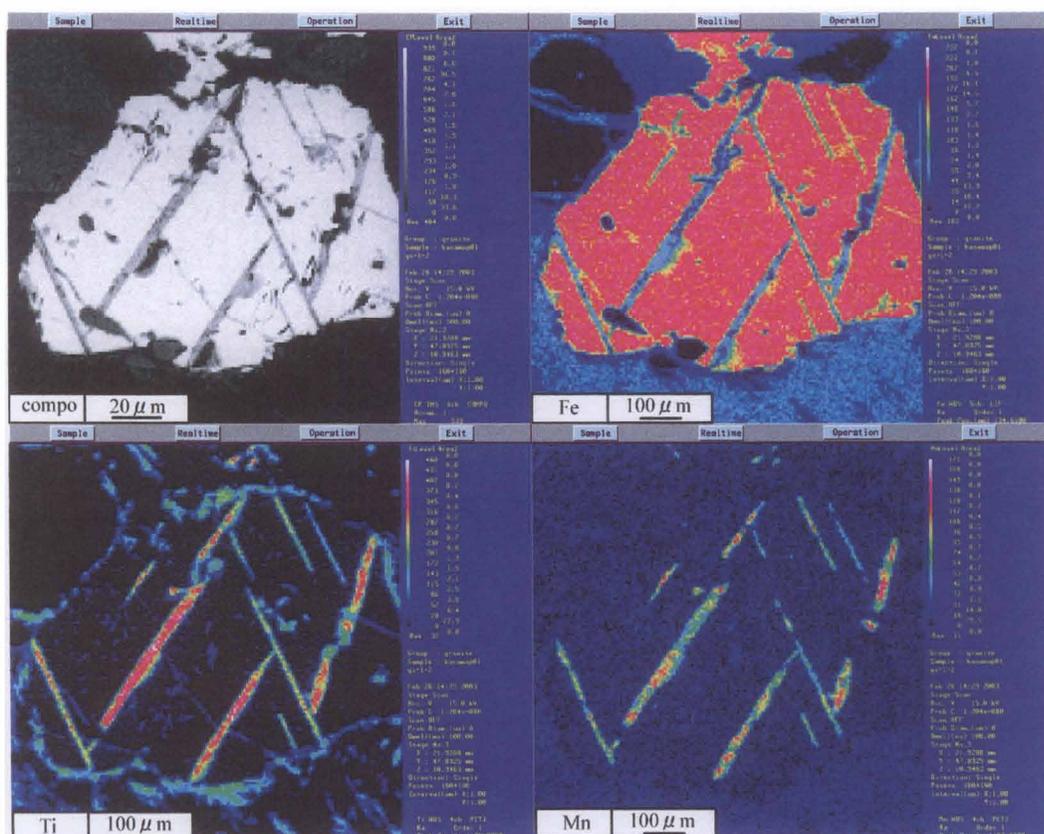


Fig.4-5. Photographs showing back scattered electron images and chemical map of opaque minerals in the Tanzawa tonalite. (Type-B, Trellis type).

Table 4-1. Representative chemical compositions of opaque minerals in the Tanzawa tonalite.

	A				B				C			
SiO <sub>2</sub>	0.053	0.042	0.009	0.044	0.072	0.411	0.141	0.313	0.071	0.025	0.035	
TiO <sub>2</sub>	0.091	0.212	48.825	50.969	0.211	0.374	39.104	8.957	49.994	41.817	30.399	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.156	0.164	0.010	0.009	0.155	0.132	0.038	0.436	0.011	-	-	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.019	0.031	-	0.028	0.070	0.081	-	0.047	-	-	-	
FeO	92.593	92.522	43.585	42.396	92.049	91.156	51.414	82.379	40.573	48.542	60.475	
MnO	0.078	0.116	6.740	6.098	0.066	0.060	6.388	0.314	8.234	6.839	4.406	
MgO	0.010	0.030	0.124	0.129	0.013	0.033	0.105	0.105	0.070	0.079	0.075	
CaO	0.002	0.020	-	0.017	0.026	0.321	0.039	0.063	0.383	0.052	0.054	
Na <sub>2</sub> O	0.063	-	-	0.075	0.035	-	0.042	0.007	0.069	0.006	0.006	
K <sub>2</sub> O	-	-	-	0.006	-	-	0.014	-	-	-	-	
Total	93.065	93.137	99.293	99.771	92.697	92.568	97.065	92.621	99.405	97.360	95.450	
recalculated												
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	68.363	68.229	7.451	3.252	67.998	67.605	25.182	82.833	4.973	20.041	41.959	
FeO	31.079	31.129	36.880	39.470	30.863	30.324	28.635	7.845	36.098	30.509	22.720	
Total	99.914	99.973	100.040	100.097	99.510	99.341	99.688	100.920	99.903	99.368	99.654	
Xusp	0.003	0.006			0.006	0.011						
Xilm			0.932	0.967			0.737	0.176	0.947	0.790	0.569	

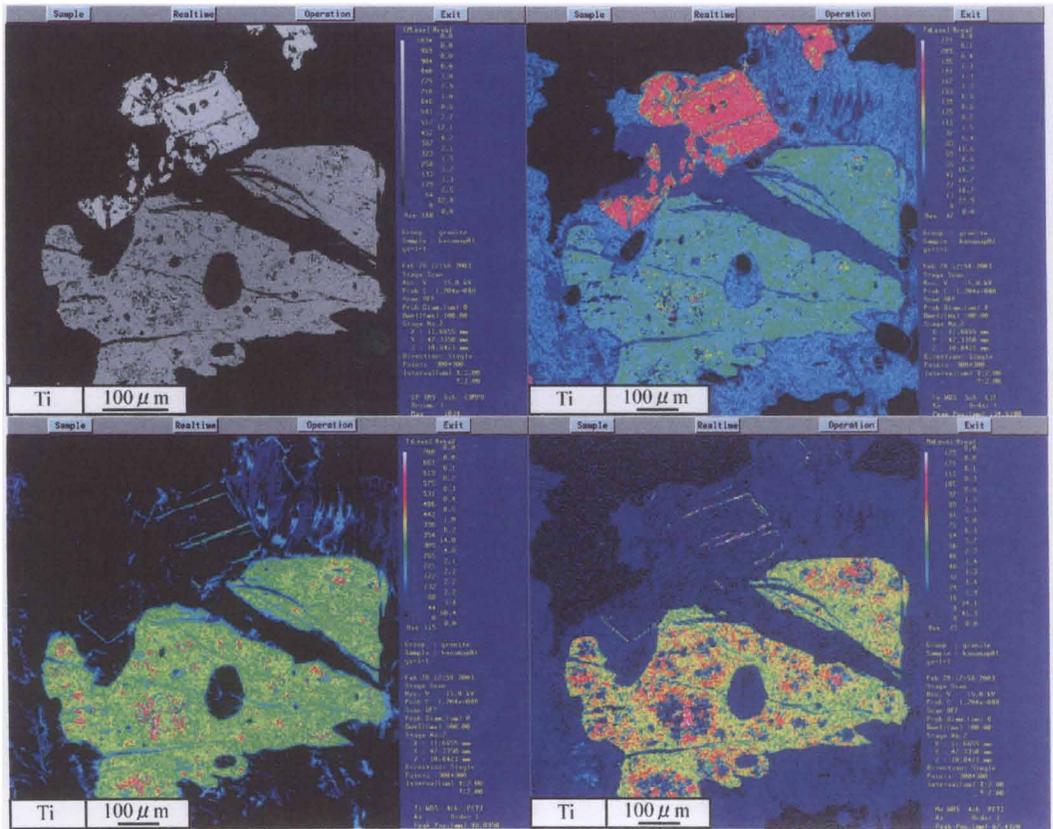


Fig.4-6. Photographs showing back scattered electron images and chemical map of opaque

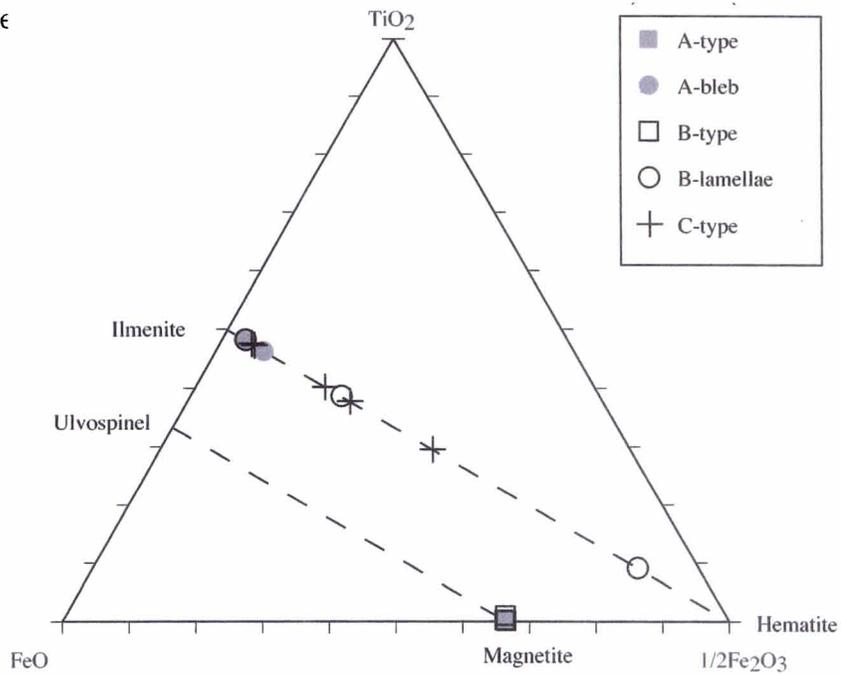


Fig.4-7.  $TiO_2$ - $FeO$ - $1/2Fe_2O_3$  diagram showing chemical compositions of opaque minerals in the Tanzawa tonalite.

# Site 59

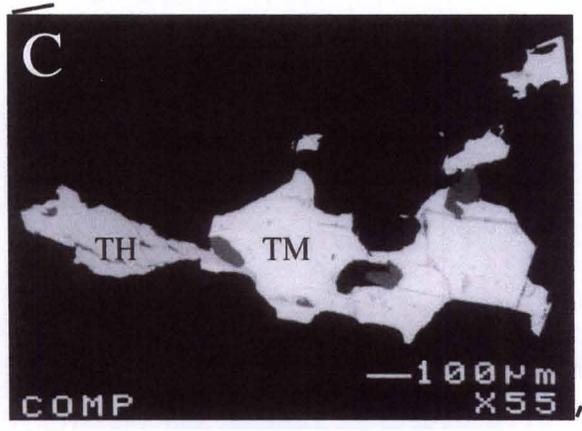
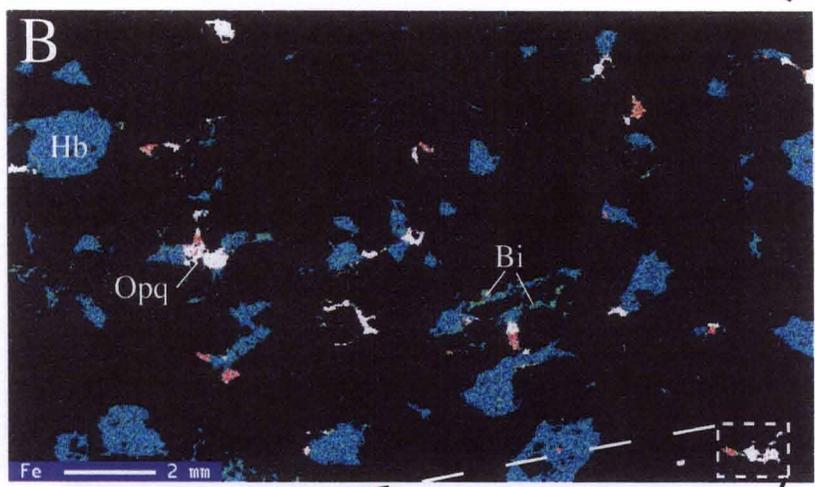
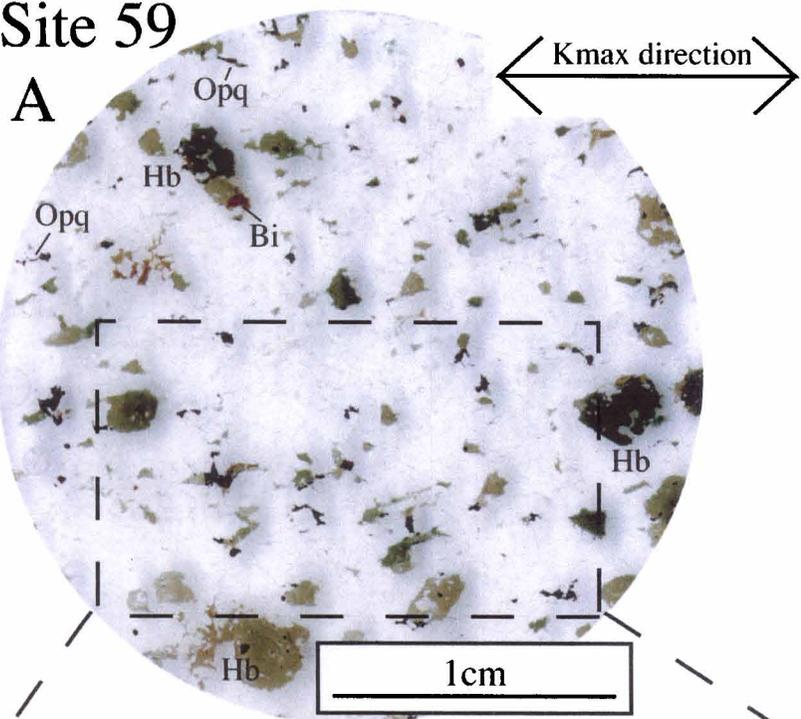


Fig.4-8. (A) The photograph of thin section cut in a plane parallel to the magnetic foliation. (natural light). (B) The chemical map of the framed part of photograph A by EPMA, showing the distribution of Fe. (C) The back scattered image of a clot of opaque mineral, framed by dashed line in B. Opq: Opaque mineral, Hb: Hornblende, Bi: Biotite, TH: titanohematite, TM: titanomagnetite.

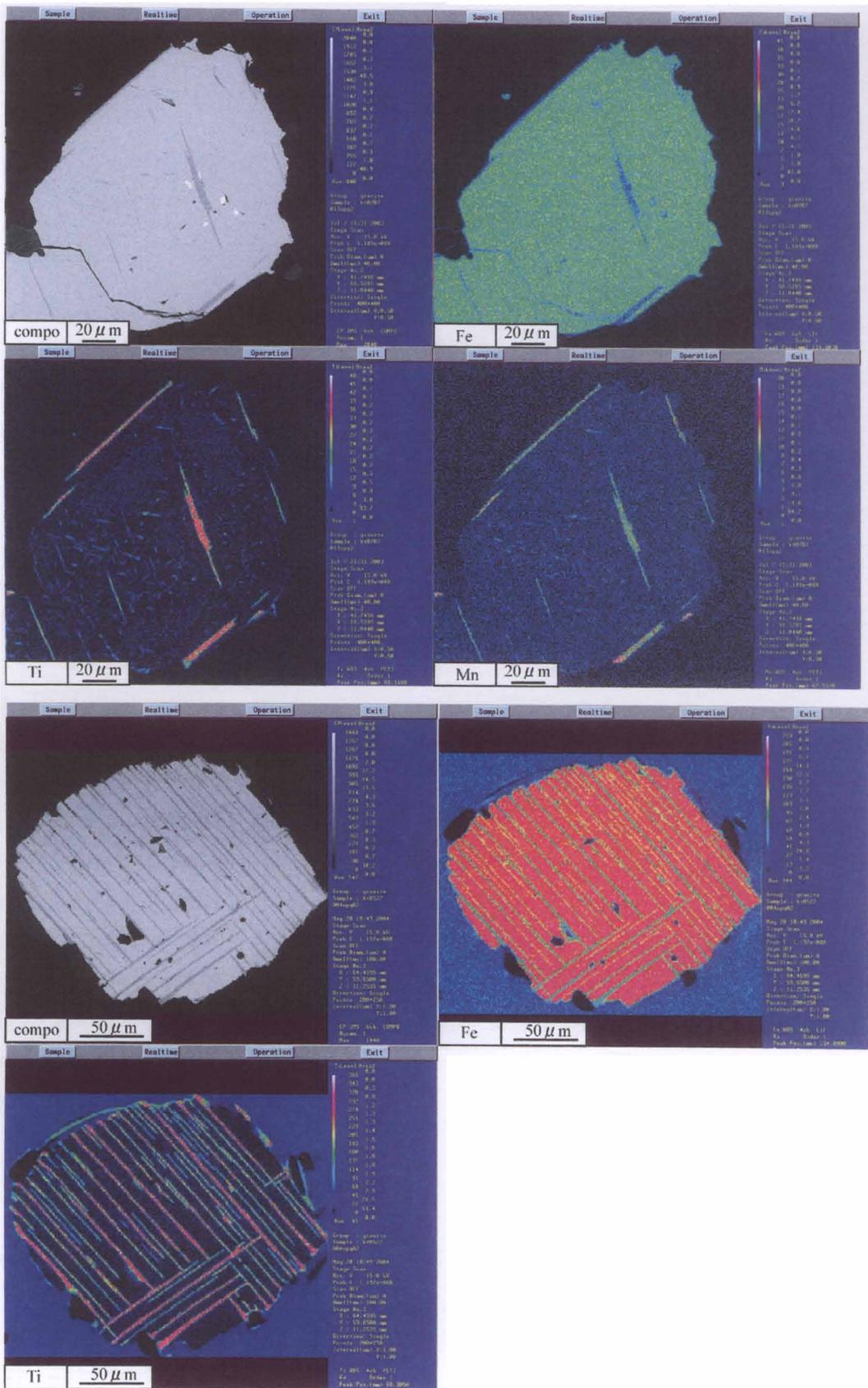


Fig.4-9. Photographs showing back scattered electron images and chemical

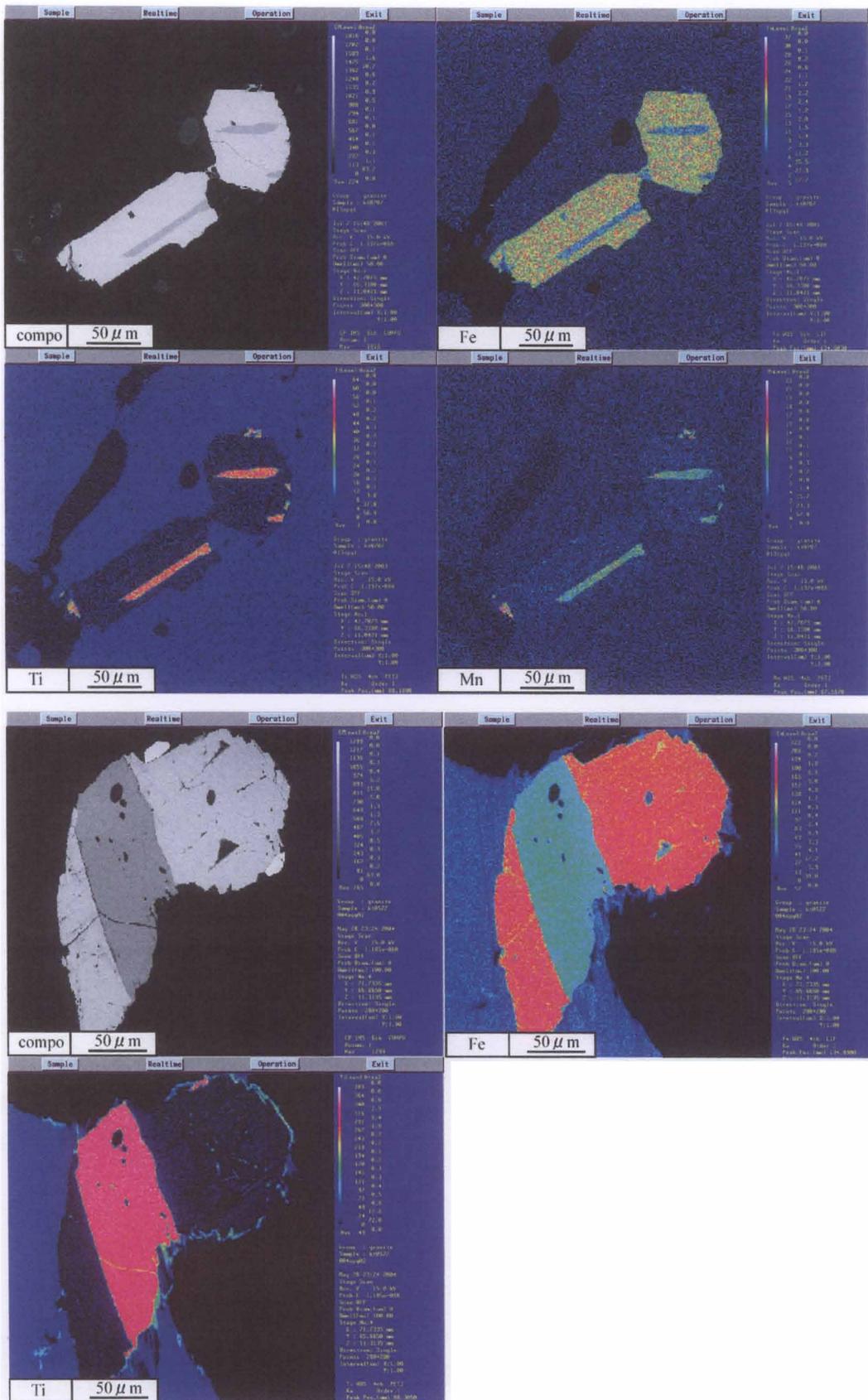


Fig.4-10. Photographs showing back scattered electron images and chemical map of opaque minerals of Kogarasuyama granodiorite. (Type-E, Sandwich type).  
96

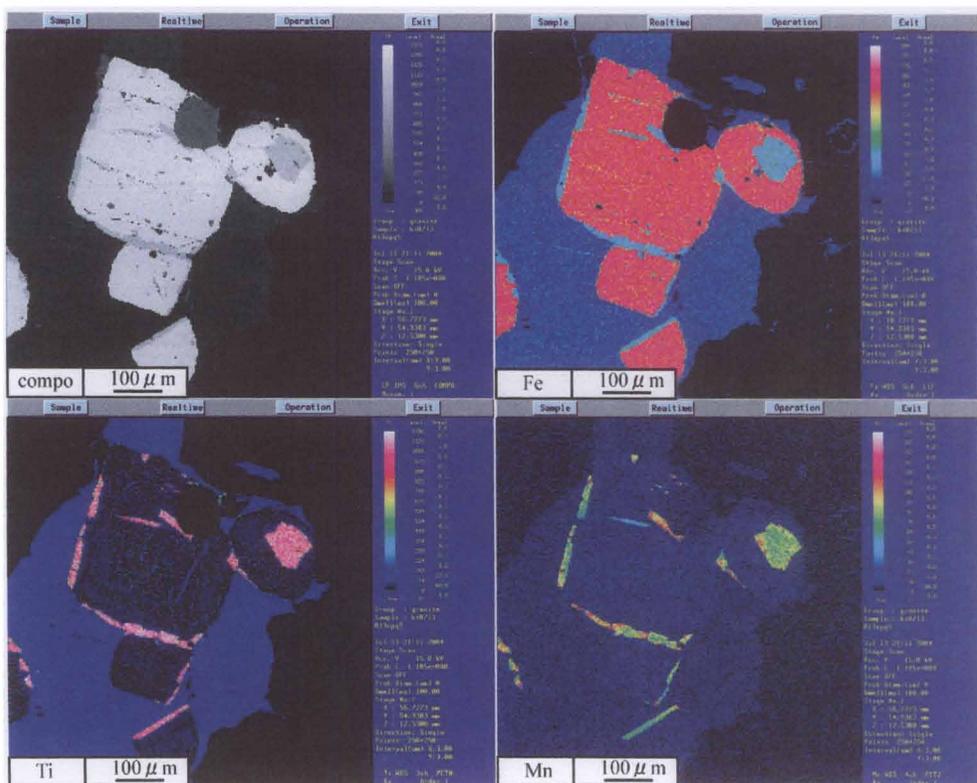


Fig. 4-11. Photographs showing back scattered electron images and chemical map of opaque minerals of Kogarasuyama granodiorite. (Type-F, Com-

鉄鉱はウルボスピネル成分10mol%以下の磁鉄鉱端成分に近い組成を示し、チタン赤鉄鉱はイルメナイト成分50～70mol%の組成を示す (Table2, Fig. 4-13). Type-Eのチタン磁鉄鉱はウルボスピネル成分10mol%以下の磁鉄鉱端成分に近い組成を示し、チタン赤鉄鉱はイルメナイト成分90mol%以上のイルメナイト端成分に近い組成を示す (Table2, Fig. 4-13). Fig. 4-11から判断すると、Type-Fの宿主鉱物はTiをほとんど含んでいない事から、これもType-DやType-E同様磁鉄鉱端成分に近い値を示すであろう. Type-Fのチタン磁鉄鉱はウルボスピネル成分10mol%以下の磁鉄鉱端成分に近い組成を示す (Table2, Fig. 4-13).

#### 4-4 議論

丹沢主期トータル岩と小烏山花崗閃緑岩に含まれる不透明鉱物のほとんどは自形チタン磁鉄鉱であり、どちらもいわゆる強磁性花崗岩 (ferromagnetic granite) に属する (Bouchez, 1997). Type-A (Fig. 4-4), type-F (Fig. 4-11) はHaggerty (1991) のComposite Typeに相当し、Type-E (Fig. 4-10) はSandwich Typeに、Type-B (Fig. 4-

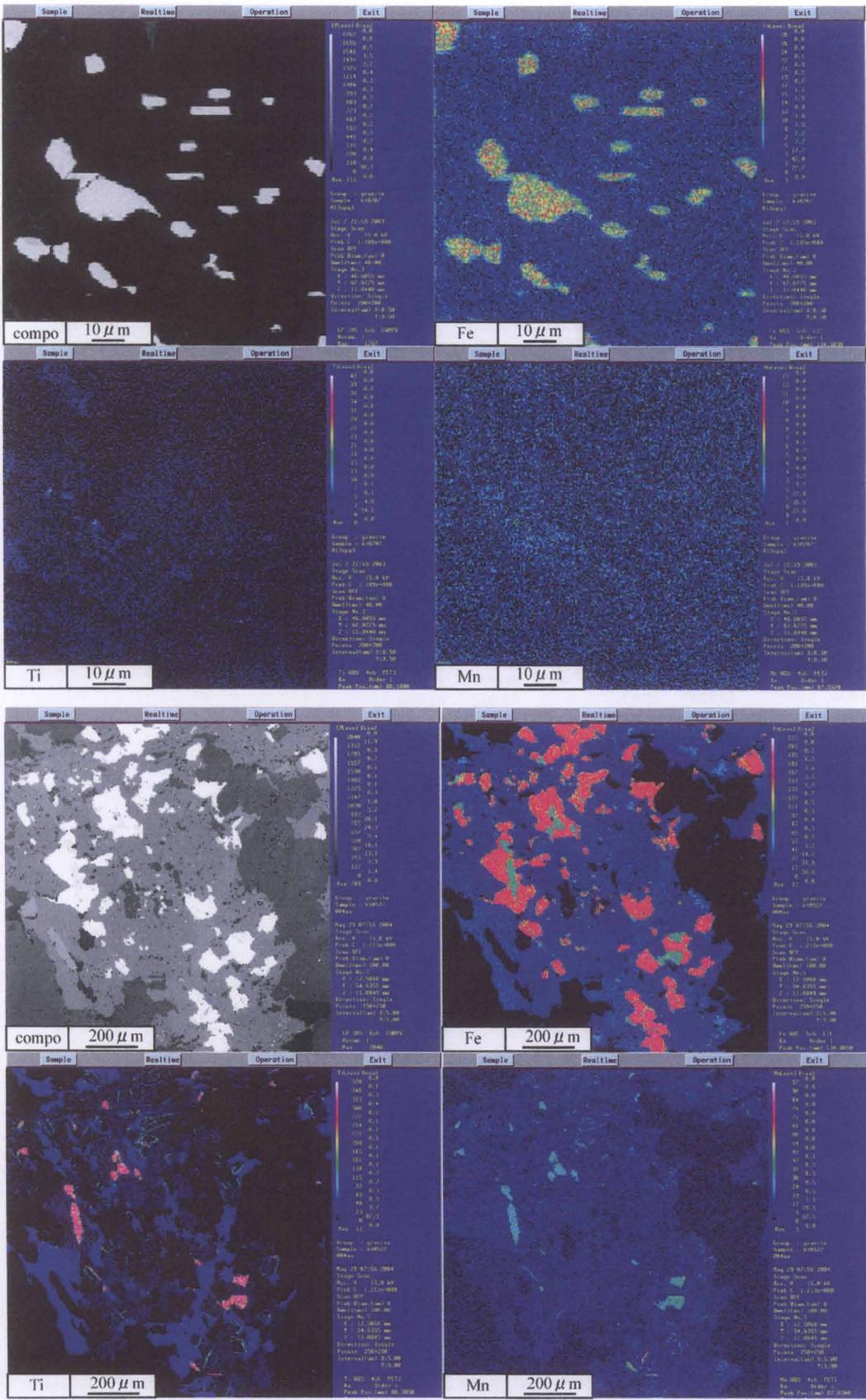


Fig. 4-12. Photographs showing back scattered electron images and chemical

Table 4-2. Representative chemical compositions of opaque minerals in the Kogarasuyama granodiorite.

	Host of D type				Host of E type		Fine grained	
Na <sub>2</sub> O	-	0.013	-	0.026	-	0.064	-	-
SiO <sub>2</sub>	0.045	0.038	0.092	0.052	0.074	0.044	0.103	0.204
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	0.01	0.025	0.004	0.051
TiO <sub>2</sub>	0.093	0.214	1.369	1.162	1.1	1.231	0.223	0.402
FeO	90.681	91.067	89.129	89.826	89.193	89.39	89.7	89.433
MgO	0.016	0.004	0.125	0.099	0.05	0.075	0.026	0.095
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.381	0.408	0.717	1.082	0.538	0.323	0.165	0.111
CaO	-	-	-	-	-	-	0.137	0.191
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.142	0.187	0.179	0.176	0.244	0.276	0.931	0.517
MnO	0.074	0.089	0.51	0.468	0.319	0.15	0.105	0.162
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.058	0.061	0.244	0.19	0.715	0.721	0.024	0.081
Total	91.49	92.08	92.37	93.08	92.24	92.30	91.42	91.25
recalc								
FeO	30.60	30.88	31.62	31.73	31.51	31.71	30.36	30.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	66.77	66.89	63.91	64.57	64.11	64.10	65.95	65.66
Total	98.12	98.72	98.52	99.36	97.95	96.78	98.00	97.74
Xusp	0.01	0.02	0.08	0.07	0.07	0.07	0.02	0.04
Xilm								

	Lamellae of D type		Lamellae of E type	
Na <sub>2</sub> O	0.025	-	0.043	0
SiO <sub>2</sub>	0.114	0.136	0.056	0.125
K <sub>2</sub> O	-	0.015	0.006	0.004
TiO <sub>2</sub>	42.829	35.97	49.032	48.985
FeO	44.984	50.903	42.343	41.111
MgO	0.2	0.08	0.302	0.305
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.148	0.275	0.012	0.024
CaO	-	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.086	0.176	0.029	0.034
MnO	7.759	7.972	4.939	5.45
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.158	4.596	5.981	6.226
Total	101.30	100.12	102.74	102.26
recalc				
FeO	30.44	24.30	38.63	38.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.16	29.57	4.13	3.29
Total	102.92	103.09	103.16	102.59
Xusp				
Xilm	0.66	0.51	0.82	0.83

5), Type-D (Fig. 4-9) は Trellis Type にそれぞれ相当する。これらは、より高温で晶出したチタン磁鉄鉱が冷却時に酸化離溶 (Oxy-exsolution) を被ったことにより形成されたものであり (Frost and Lindsley, 1991; Haggerty, 1991), 酸化離溶の進行の程度の違いにより異なる産状や化学組成を示すに至ったと考えられる。丹沢主期トータル岩に見られるチタン磁鉄鉱と同様なものは丹沢主期トータル岩の周辺に産するはんれい岩中にも見られる (滝田, 1980)。小鳥山花崗閃緑岩の Type-G は、緑色の普通角閃石に包有されていること (Fig. 4-3A~C) や周縁部に細粒の緑色普通角閃石や黒雲母などを伴う輝石中に見られること (Fig. 4-3D~E) から、輝石の変質の際に二次的に晶出した磁鉄鉱であると考えられる。

磁鉄鉱を多く含む強磁性花崗岩では、岩石中の磁鉄鉱量比の増大に伴い、磁鉄鉱

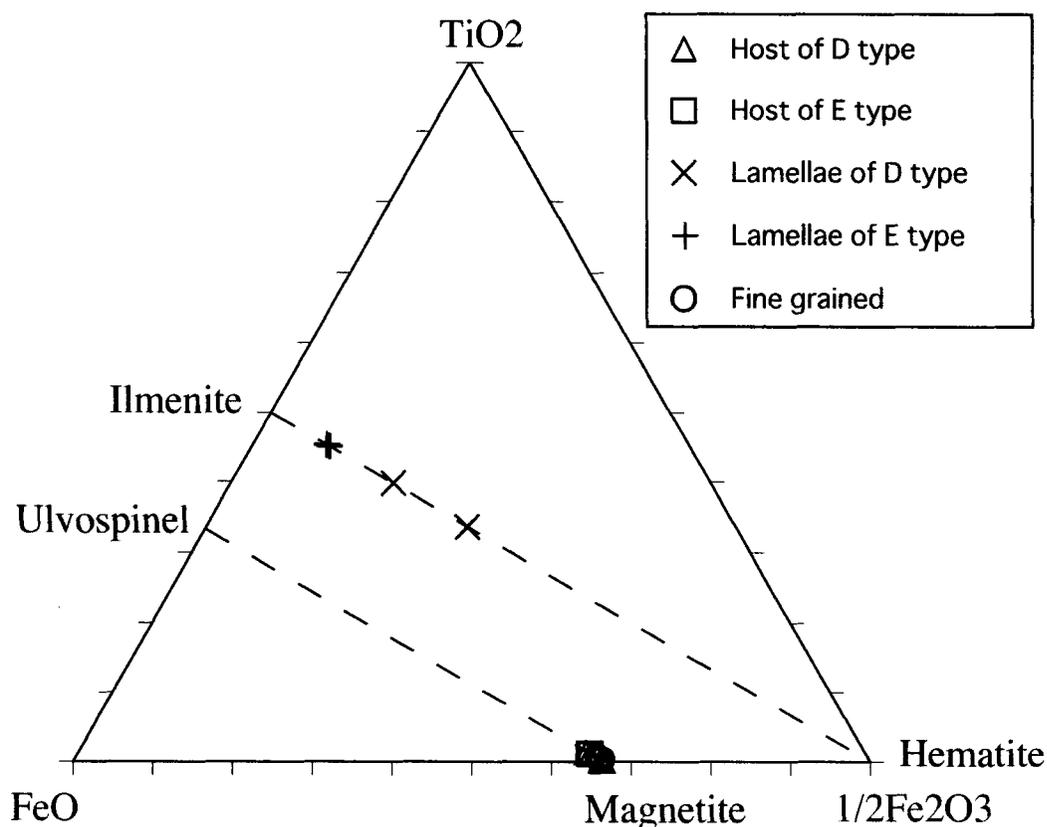


Fig. 4-13.  $\text{TiO}_2\text{-FeO-}1/2\text{Fe}_2\text{O}_3$  diagram showing chemical compositions of opaque minerals in the Kogarasu granodiorite.

同士の磁性相互作用 (magnetic interaction) による配列異方性 (distribution anisotropy) が生ずるため、帯磁率異方性が鉱物配列に基づく岩石ファブリックそのものを必ずしも代表しなくなる可能性が指摘されてきた (Hargraves et al., 1991; Grégoire et al., 1995; Bouchez, 1997; Cañón-Tapia, 1996 など)。しかし、最近の研究によれば、磁鉄鉱を多く含む強磁性花崗岩においても、その全岩帯磁率異方性は、少なくとも方位に関しては鉱物配列に基づく岩石ファブリックをほぼ忠実に反映していることが明らかにされてきている (Archanjo et al., 1995; Grégoire et al., 1998 など)。チタン磁鉄鉱がクロットを形成する場合にはそのクロットの形態の伸長方向に帯磁率異方性が生じることが考えられる (Grégoire et al., 1995; Cañón-Tapia, 1996)。また、角閃石などの苦鉄質鉱物に包有されている場合には、チタン磁鉄鉱を包有する苦鉄質鉱物の伸長方向に帯磁率異方性が生ずるであろう。丹沢主期トータル岩においても苦鉄質鉱物の配列による面構造と帯磁率面構造はよく一致し (Fig. 4-14)、有色鉱物や磁性鉱物のクロットの伸長方向は帯

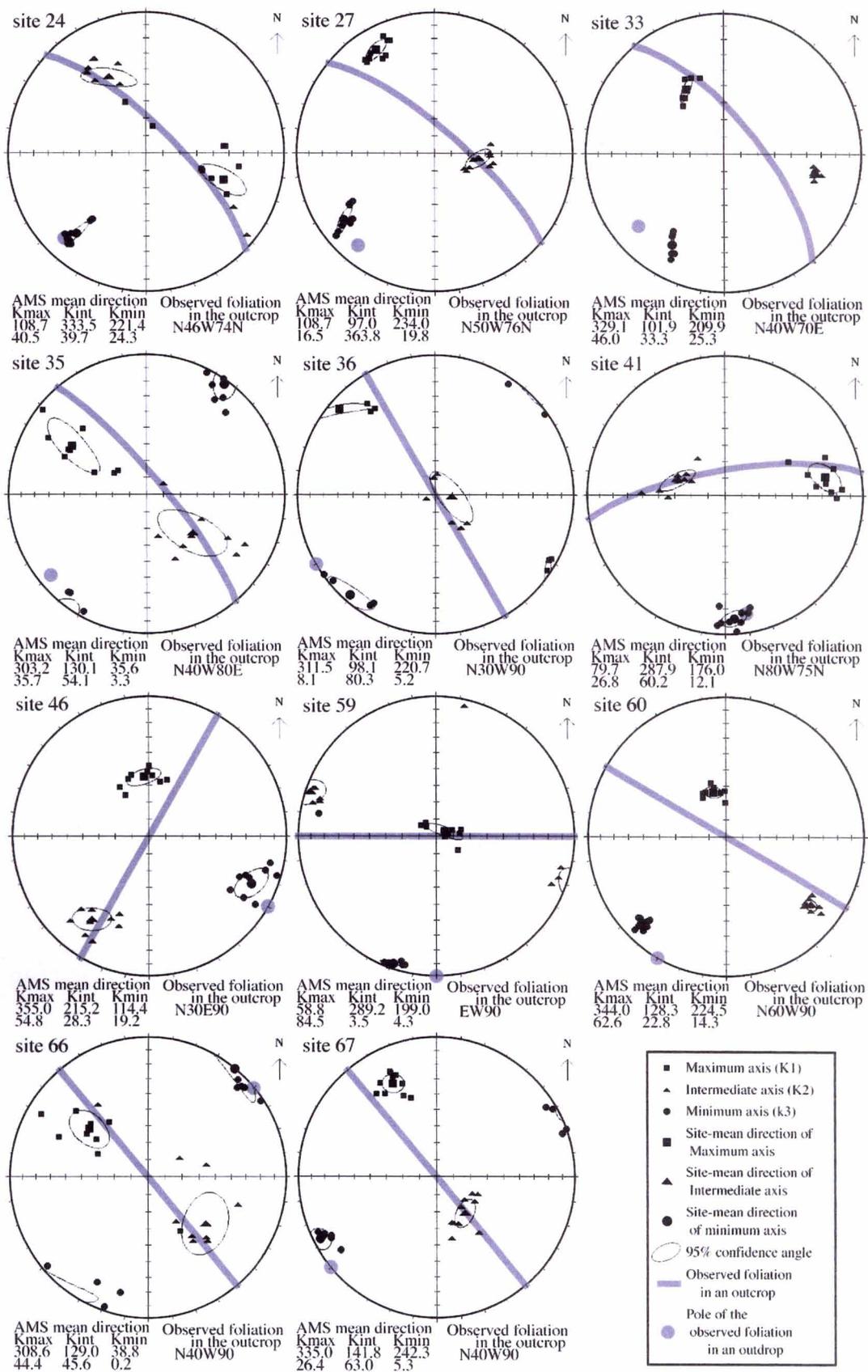


Fig.3-14. Stereographic projection showing the comparison of the AMS fabric and observed foliations in each outcrop in Tanzawa tonalite.

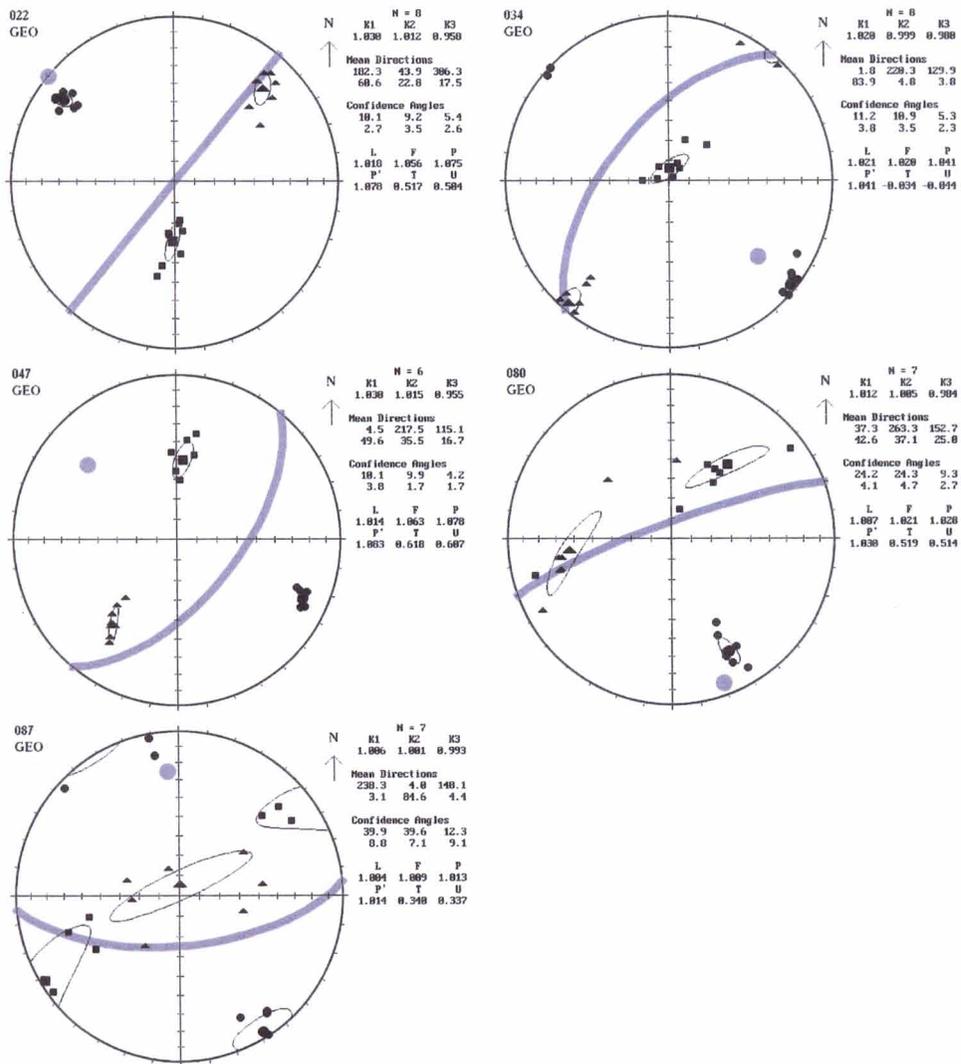


Fig.3-15. Stereographic projection showing the comparison of the AMS fabric and observed foliations in each outcrop in Higashiyamanashi volcano-plutonic complex. Site22, 34, 47: aplite vein, site80, 87: fiammes.

磁率線構造と一致する (Fig. 4-8). 以上のように, 丹沢主期トータル岩について今回の測定により得られた全岩帯磁率異方性は, 有色鉱物の配列・形態に規制されたチタン磁鉄鉱の分布およびチタン磁鉄鉱クロットの形態の異方性の両方に由来すると考えられ, 少なくとも帯磁率線構造や帯磁率面構造のような方位に関するデータについては, 岩石ファブリックを基本的に反映しているとみなしてもさしつかえないものと思われる. 小烏山花崗閃緑岩では周辺のアプライト脈の方向と帯磁率面構造は調和的であり, 小檜山火山岩類では溶結構造と調和的であり (Fig. 4-15), 周辺の地質構造を反映していると言える. 小烏山花崗閃緑岩と丹沢主期トータル岩のチタン

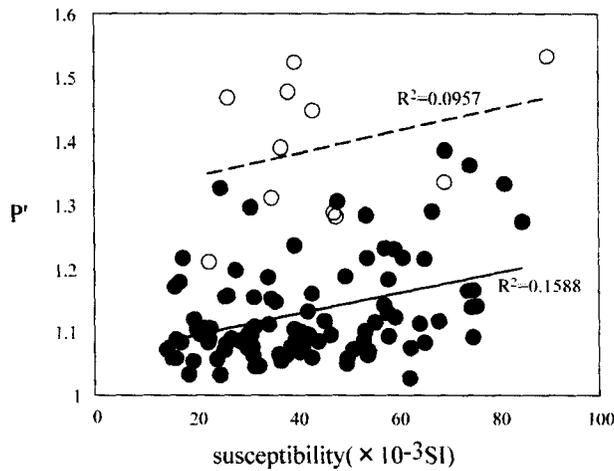


Fig.4-16. Diagram showing the relationship between the bulk susceptibility and degree of anisotropy ( $P'$ ) for the Tanzawa main tonalite. open circle: deformed rock; closed circle: undeformed rock; solid and dashed lines: the trend of deformed (dashed line) and undeformed (solid line) rocks drawn by the least-square method.  $R^2$ : square of correlation coefficient.

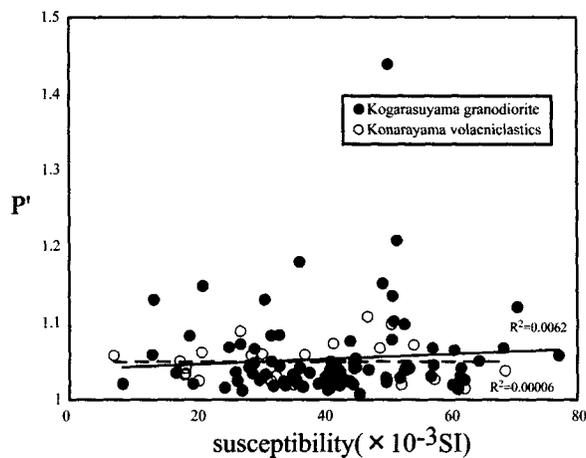


Fig.4-17. Diagram showing the relationship between the bulk susceptibility and degree of anisotropy ( $P'$ ) for the Higashiyamanashi volcano-plutonic complex. closed circle: Kogarasuyama granodiorite; open circle: Konarayama volcanics; solid and dashed lines: the trend of Konarayama volcanics (dashed line) and Kogarasuyama granodiorite (solid line) drawn by the least-square method.  $R^2$ : square of correlation coefficient.

磁鉄鉱の産状は類似しており、小烏山花崗閃緑岩に於いて測定された帯磁率線構造や帯磁率面構造も岩石ファブリックを反映しているといえよう。

一方、丹沢主期トーナル岩では $P'$ と全岩帯磁率の間には弱い正の相関が見られる (Fig. 4-16)。こうした帯磁率の増加に伴い $P'$ が増大する傾向は、磁鉄鉱を主要な磁性鉱物として含む強磁性花崗岩の特徴として報告されており、磁鉄鉱の磁性相互作用によってみかけの $P'$ が増大するためであると考えられている (Bouchez, 1997; Cruden et al., 1999; Siegesmund and Becker, 2000; Ferré et al., 2002; López de Luchi et al., 2002 など)。そのため、 $\log k_{\text{m}} = -2.5$  以上の場合には、 $P'$ を岩石ファブリックの異方度のパラメータとして適用することは危険であるとされている (Bouchez, 1997)。丹沢主期トーナル岩体の場合、 $\log k_{\text{m}} = -2.5$  以上となるため、それらの $P'$ については必ずしも岩石ファブリック上での異方度あるいは変形度を表していない可能性が考えられる。しかしながら、丹沢主期トーナル岩体では、全岩帯磁率が同じでも一般のトーナル岩に比べて変形岩では明らかに $P'$ が高くなっている (第2章, Fig. 11)。これは変形作用による異方度が大きく、磁性相互作用による異方度の効果を大きく上まわっているためと考えられる。

小烏山花崗閃緑岩では全岩帯磁率の増大と共に $P'$ が増大する傾向はほとんど見られない (Fig. 4-17)。

#### まとめ

主期トーナル岩体と小烏山花崗閃緑岩は、磁鉄鉱が多く含まれる強磁性花崗岩であり、その帯磁率異方性は主に磁鉄鉱の配列に由来する。磁鉄鉱の配列は、磁鉄鉱クロットの形態および磁鉄鉱を含有する角閃石や黒雲母の配列に支配されている。このように今回測定された帯磁率異方性は含まれる鉱物の配列を反映しているといえる。

## 第5章 丹沢トータル岩複合岩体中に産する同時性岩脈について

### 5-1 はじめに

花崗岩体中には同時性岩脈 (Syn-plutonic dike) と呼ばれる花崗岩マグマが未固結であった時期にその花崗岩体に貫入したと考えられる岩脈が存在する (Didier and Barbarin, 1991, 吉倉・熱田, 2000 など). 花崗岩体には, しばしば苦鉄質包有岩 (Enclave) やそれが配列した包有岩岩脈 (Enclave swarm) が認められ, これらの中には同時性岩脈に由来すると考えられるものが存在する. 珪長質マグマと同時期に活動した苦鉄質マグマについては, 珪長質火山噴火との関わりや花崗岩マグマの成因などとの関係があると考えられ近年注目を集めている. 丹沢主期トータル岩中には東西性の走向を示す同時性岩脈およびそれに由来する苦鉄質包有岩岩脈が数カ所で認められる (Fig. 5-1). 特に岩体西部石割山周辺では一定方向に配列した包有岩岩脈 (Fig. 5-2A, B) が広範囲に認められる. がここでは, 主に化学組成の面から丹沢主期トータル岩とそこに貫入した同時性岩脈およびそれに由来する苦鉄質包有岩との関係について検討した.

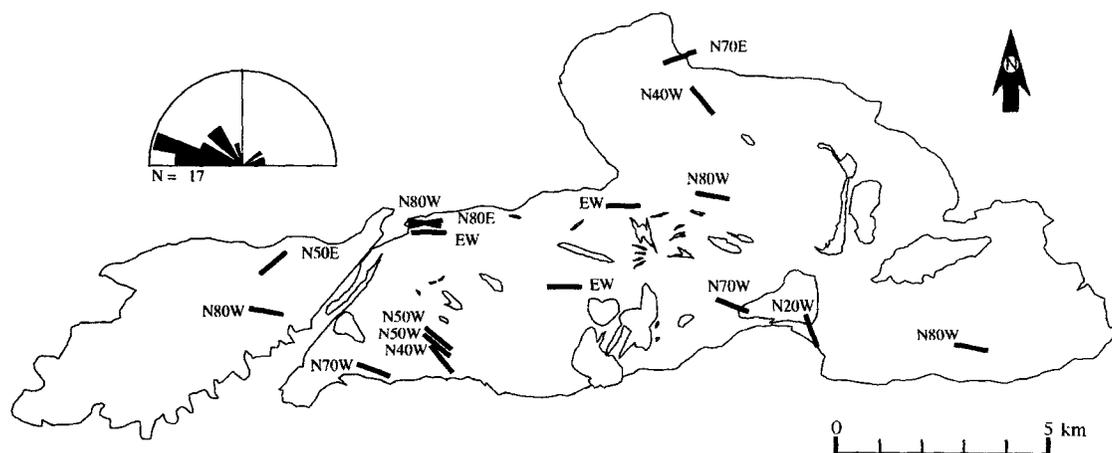


Fig. 5-1. Map and rose diagram showing the location and strike of syn-plutonic dikes and enclave swarms in the Tanzawa tonalite.

### 5-2 産状と岩石記載

同時性岩脈は逆入脈によって母岩のトータル岩により切られる (Fig. 5-2D, Fig. 5-3C). 同時性岩脈由来と考えられる苦鉄質包有岩の大きさは数cmから数十cmであり, それらは一定方向に伸張し配列している (Fig. 5-2A, B). 同時性岩脈由来

と考えられる苦鉄質包有岩と母岩であるトーナル岩の境界部はしばしば火炎状の組織を示し (Fig. 5-2A, 第Fig. 5-3E), 急冷縁をもつ場合 (Fig. 5-3B) や混交した組織 (Fig. 5-3F) をしめすこともある. 同時性岩脈由来と考えられる苦鉄質包有岩中には母岩のトーナル岩を構成する石英に類似した大型の石英が含まれている (Fig. 5-4C,

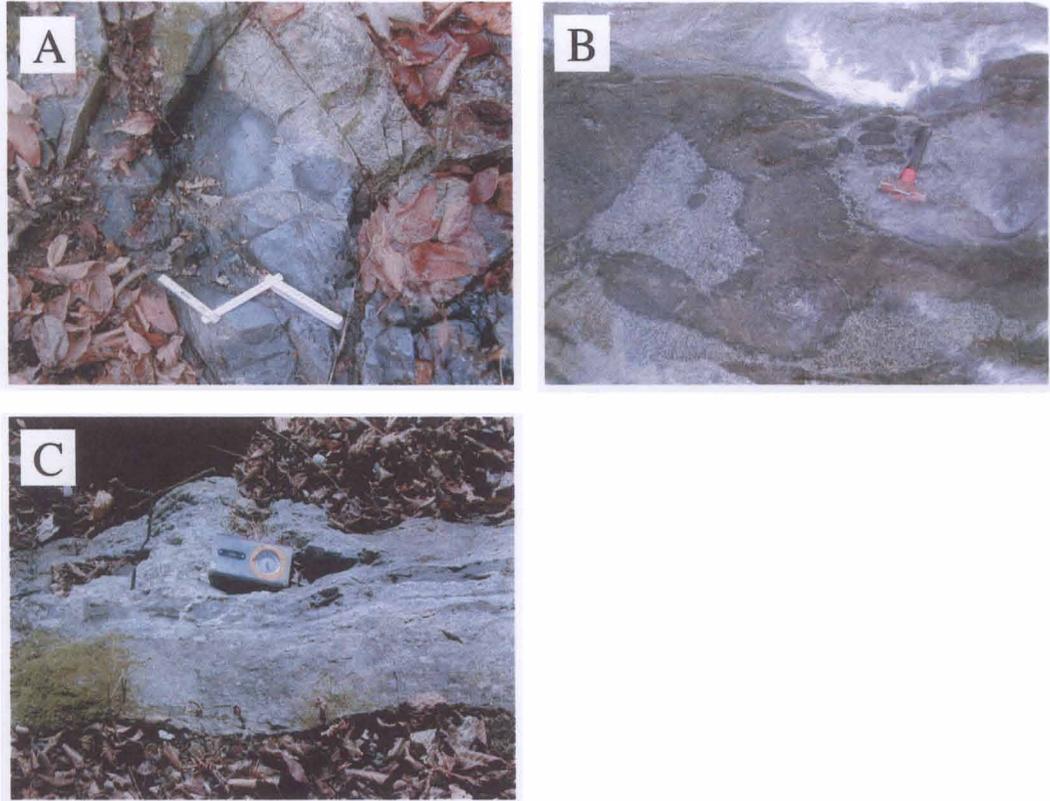


Fig. 5-2. Photographs of syn-plutonic dike and enclave swarm from Tanzawa tonalite. (A) Enclave swarm. (B) Syn-plutonic dike with chilled margins. (C) Syn-plutonic dike cut by back vein.

D). 顕微鏡下では, 細粒完晶質で半深成岩組織を示す. 石基は顕晶質もしくは非顕晶質であり, 間粒状組織を示す事が多い. また, 石基はしばしばピロタキシティック組織を示す (Fig. 5-4E, F). 主要成分鉱物は, 斑晶石基とともに斜長石, 石英, 普通角閃石, 不透明鉱物で単斜輝石, 斜方輝石を含む事がある. 一般に斑晶量は少なく, 斑晶には篩い状組織を持つ斜長石 (Fig. 5-4A, B) や普通角閃石の反応縁を持つ石英 (Fig. 5-4C, D) などがみられる.

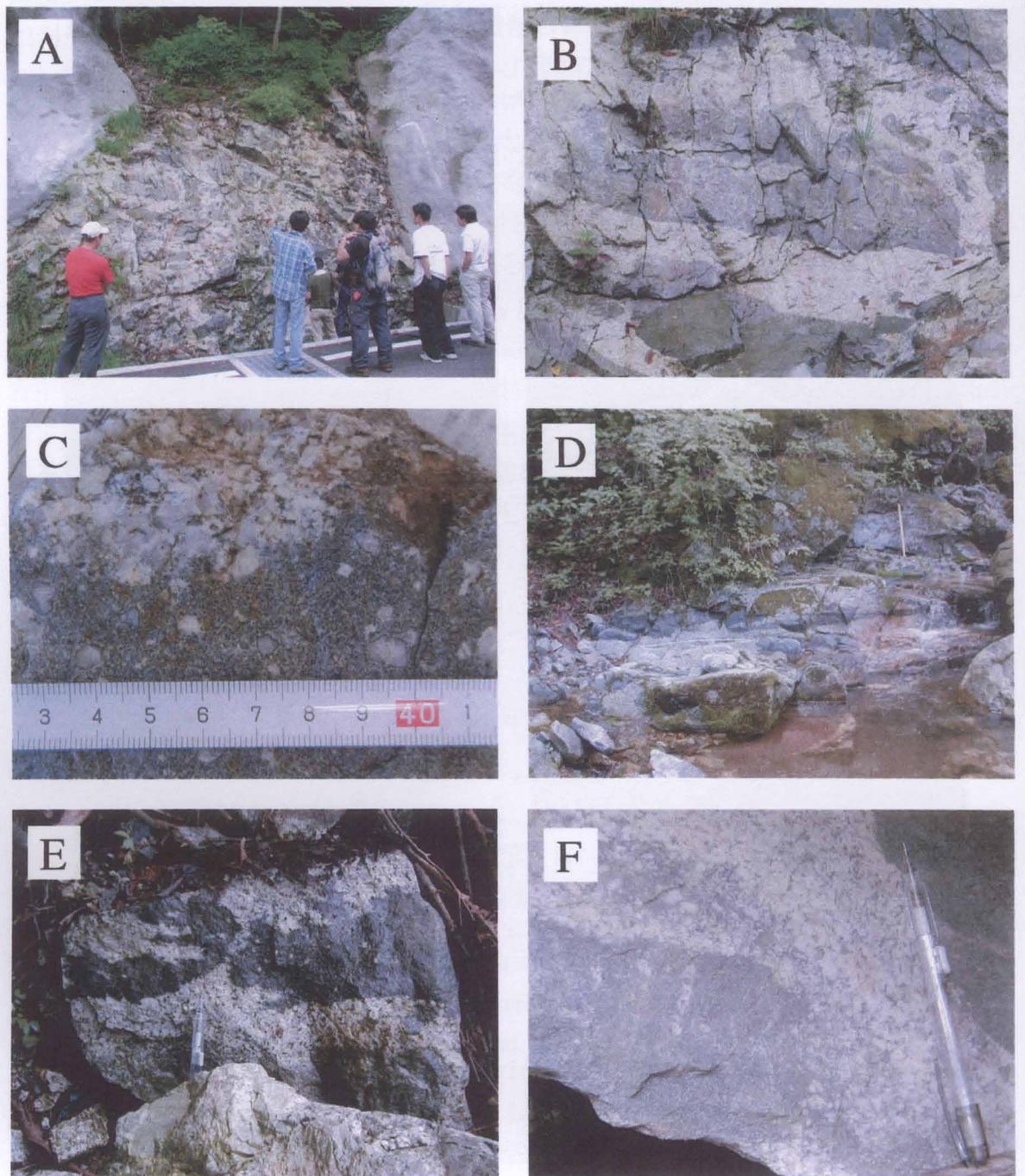


Fig.5-3. Occurrences of enclave swarms in Mt. Ishiwariyama, western part of the Tanzawa tonalite. (A) (B) (D)Horizontally aligned enclave swarm. (C) (E) (F)Occurrence of contact between enclaves and host tonalite.

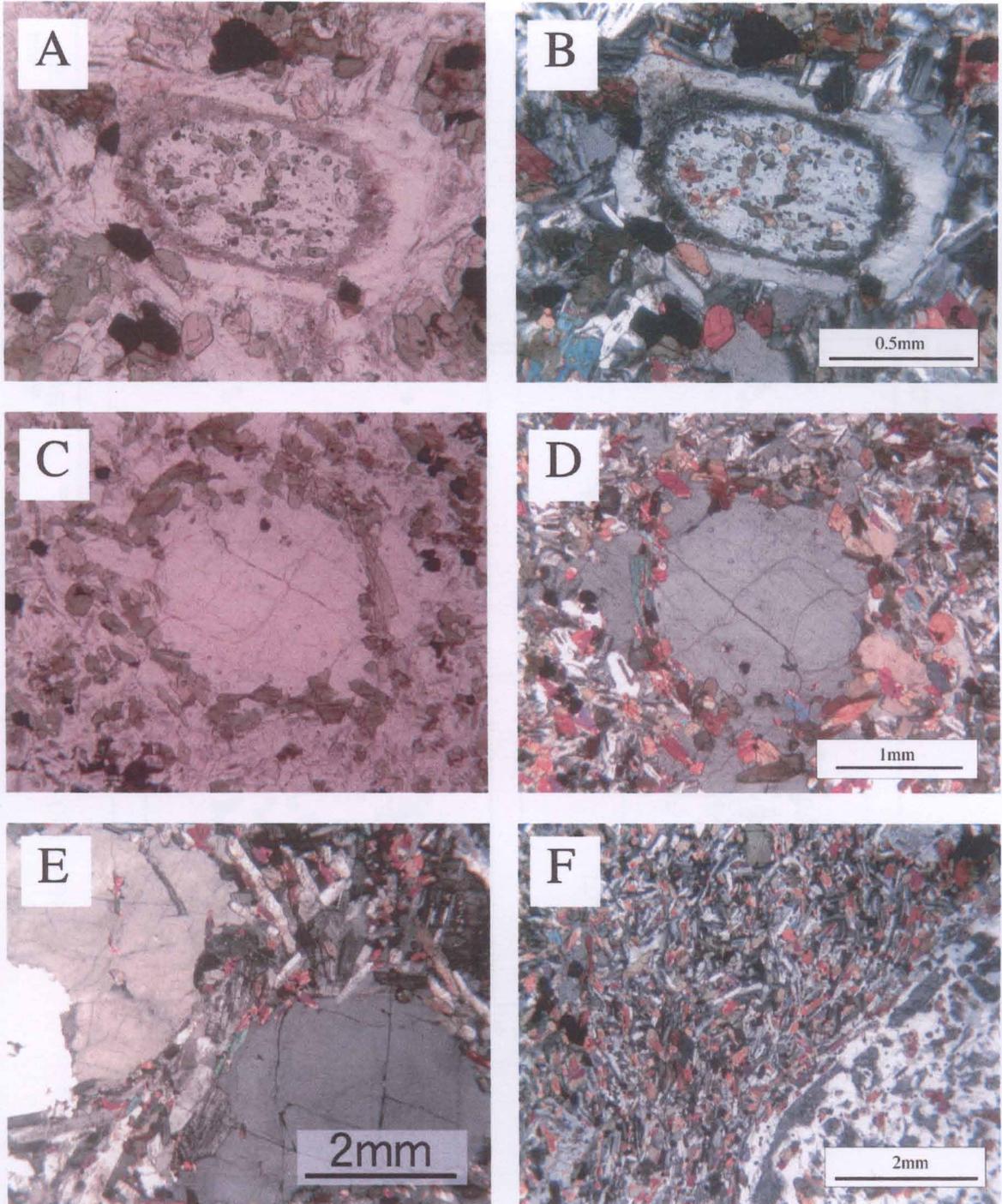


Fig.5-4. Photomicrographs of enclaves. (A)(B) Plagioclase with sieve texture. (C)(D) Quartz xenocryst mantled with mafic minerals. (E)(F) Ground masses of the enclaves show pilotaxitic texture. (A)(C)open nicol, (B)(D)(E)(F)crossed nicol.

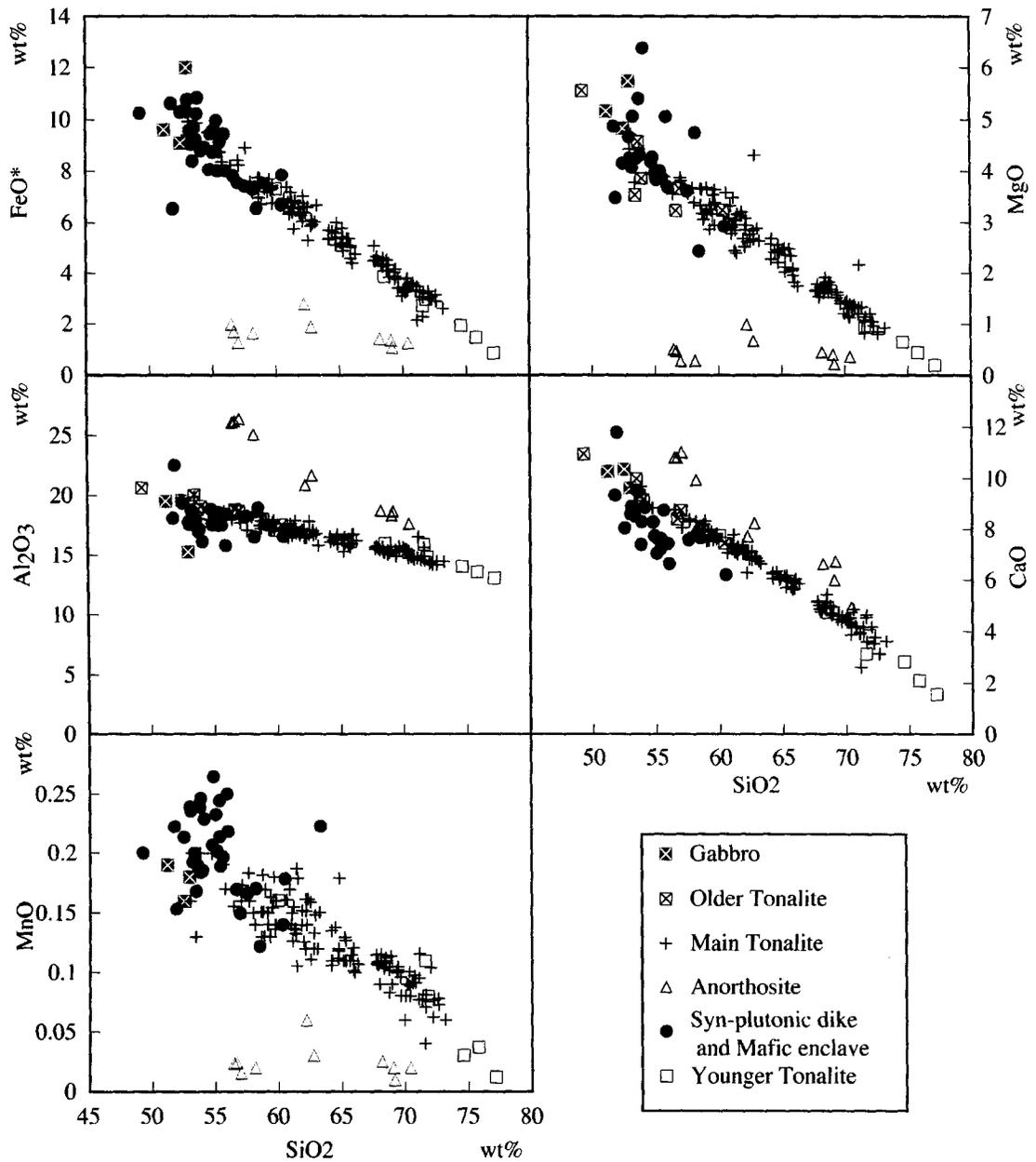


Fig.5-5. Silica variation diagrams for whole-rock major element chemistry of Tanzawa tonalite complex.

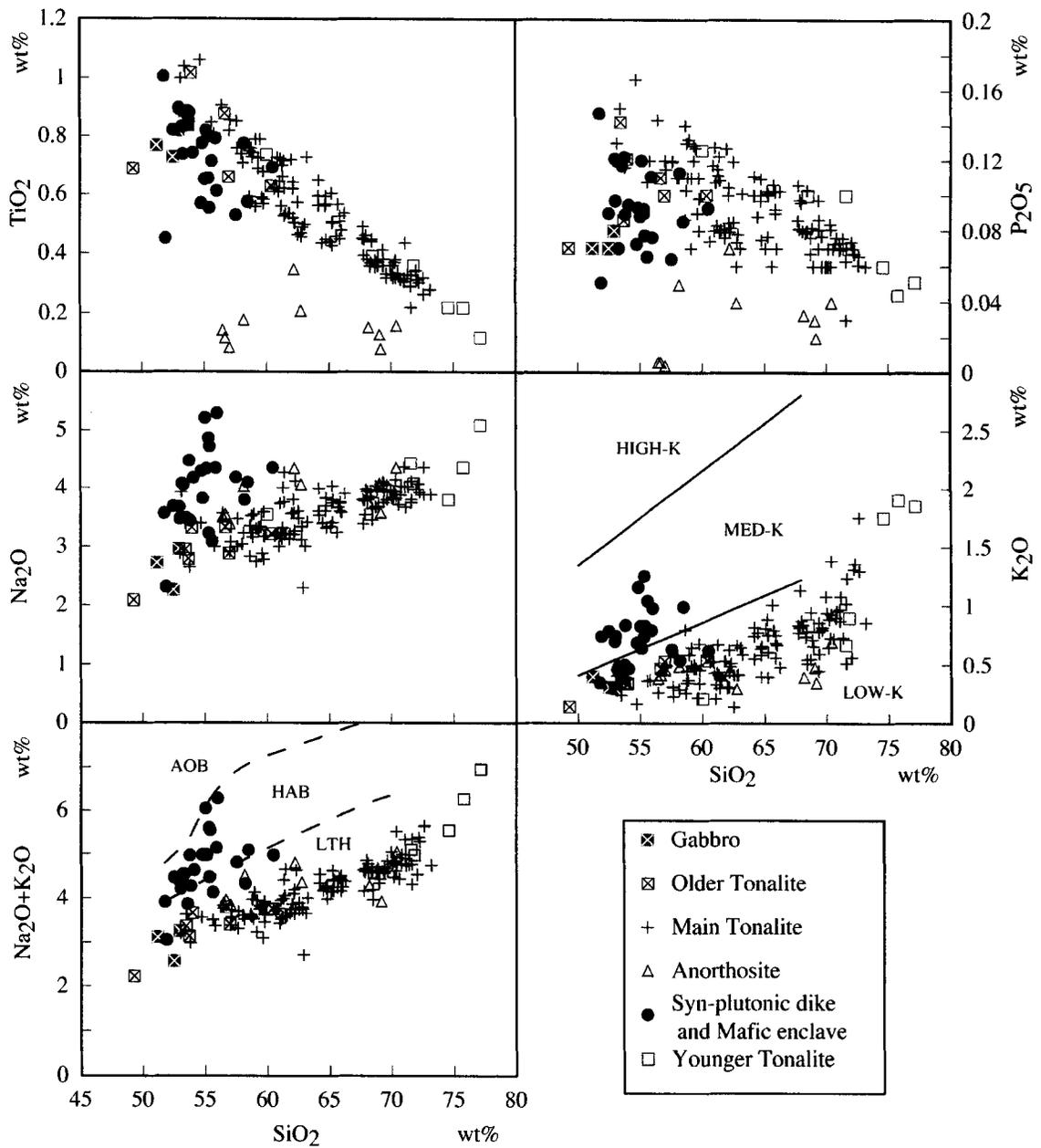


Fig. 5-5. (continued)

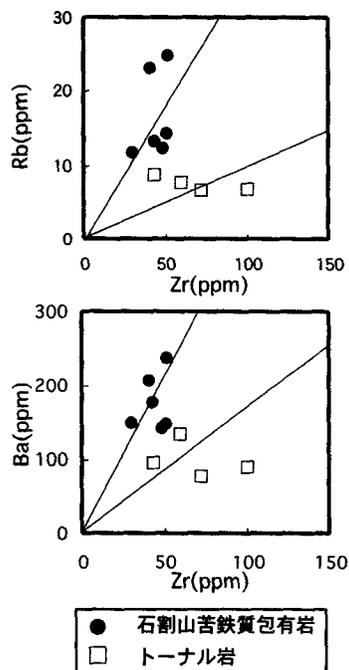


Fig. 5-7. Diagram showing the ratio of incompatible element.

Table 5-1. Chondrite normalized REE element content.

	Main tonalite				Mafic enclave	
	1	2	3	4	5	6
La	3.810	13.470	7.166	7.725	10.817	9.444
Ce	6.355	13.740	8.446	9.104	11.717	10.579
Nd	8.106	10.717	8.920	10.962	10.310	9.464
Sm	8.414	8.614	7.786	11.781	8.406	7.237
Eu	7.804	6.620	7.636	10.200	7.098	5.915
Gd	7.443	6.213	6.658	11.290	7.724	7.471
Dy	7.411	5.158	6.229	9.286	7.431	7.225
Er	7.198	4.822	6.146	9.377	7.955	7.661
Yb	7.501	4.966	6.703	8.807	7.803	7.153

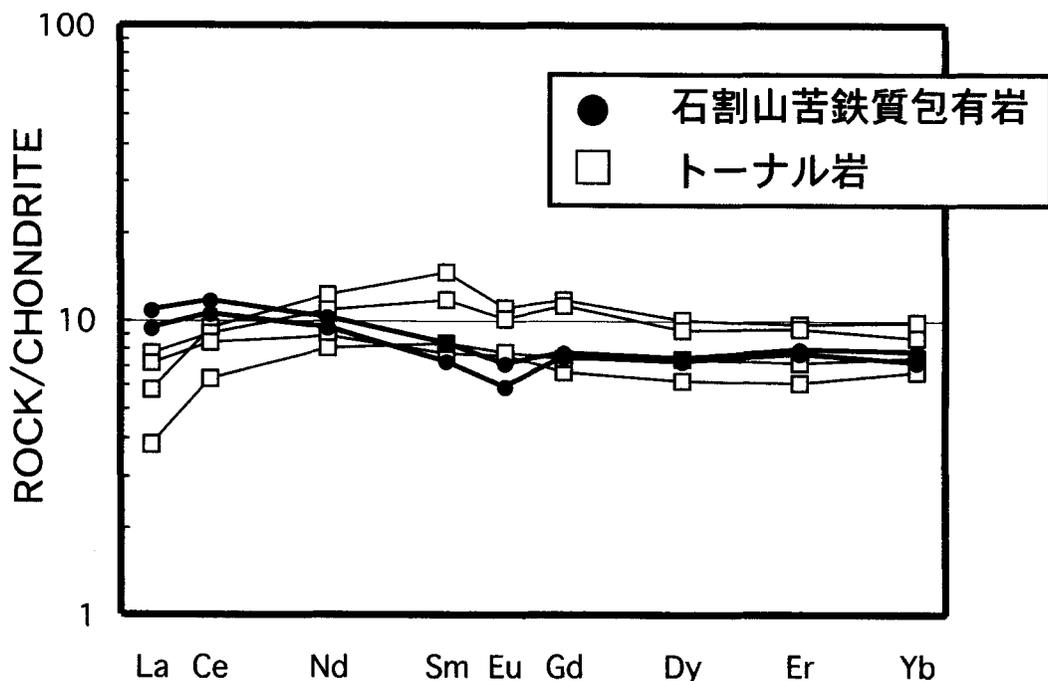


Fig. 5-8. Chondrite normalized REE pattern of the Tanzawa tonalite and the enclaves.

### 5-3 全岩化学組成

同時性岩脈と苦鉄質包有岩の全岩  $\text{SiO}_2$  含有量は 51wt% ~ 60wt% まで変化する。これらは母岩のトーナル岩に比べ  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  に乏しく,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  に富む。また, これらは Gill (1981) の Medium-K 系列および高アルカリソレライト (HAT) 系列に属する (Fig. 5-5, Fig. 5-6)。これらの苦鉄質包有岩の液相濃集元素比  $\text{Ba}/\text{Zr}$ ,  $\text{Rb}/\text{Zr}$  は母岩のそれとは明らかに異なっている (Fig. 5-7)。Masuda et al. (1973) の Leedy コンドライトで規格化した希土類元素パターンを見ると, 苦鉄質包有岩は母岩のトーナル岩に比べ高い LREE/ HREE 比を示す (Table1, Fig. 5-8)。

### 5-4 議論

母岩の逆入脈に切られる事 (Fig. 5-2C, Fig. 5-3D) や母岩との境界部が火炎状組織を示す事 (Fig. 5-2A, Fig. 5-3E) は母岩と苦鉄質包有岩がどちらも流動性を保った状態で共存していた事を示している。篩い状組織を持つ斜長石 (Fig. 5-4A, B) や普通角閃石の反応縁を持つ石英 (Fig. 5-4C, D) はもともと母岩を構成していた斜長石や石英が苦鉄質包有岩に取り込まれた事により形成された分解反応組織である

と考えられる (Didier and Barbarin, 1991, 吉倉・熱田, 2000 など). これら外来結晶を含む岩石の石基が, その外来結晶を回り込むようなピロタキシティック組織を持つ事 (Fig. 5-4E, F) も苦鉄質包有岩が未固結であった時に母岩と接した事を示している.

Low-K系列および低アルカリソレイト系列に属するトータル岩に対し, 苦鉄質包有岩はMedium-K系列および高アルカリソレイト系列に属する (Fig. 5-5, Fig. 5-6). また, 液相濃集元素比 (Fig. 5-7) や希土類元素パターン (Fig. 5-8) がトータル岩と苦鉄質包有岩では異なっている. このような全岩化学組成の特徴を示す両岩をどちらかからの単純な結晶分化作用で導くことは出来ず, 両岩は親マグマの異なる活動の産物であると言える.

苦鉄質包有岩の主成分元素や希土類元素パターンの特徴は, Kawate (1997), 有馬ほか (1999) で示された丹沢トータル岩の貫入母岩である丹沢層群のうち, ET-型の岩石と類似している. Kawate (1997), 有馬ほか (1998) によると, ET-型マグマは背弧海盆のリフティングと関係するE-MORB的特徴をもつアセノスフェア・マントルの上昇に伴う減圧融解により形成されたものであるとされている. また, 川手 (1998) は, 佐藤ほか (1986) により示された丹沢トータル岩類の冷却年代を考慮すると, その生成時期と熱異常が発生した時期が同時期であると推定できる事から, ET-型を形成した様なマントル物質の上昇によりもたらされた熱異常が丹沢トータル岩類を生成した熱源であると考えられるとしている. さらに, Kawate and Arima (1998) は, 丹沢トータル岩親マグマは伊豆孤の火山フロントに特徴的な島孤ソレイトの部分融解により生成されたものであるとしている.

以上のような事を考慮すると丹沢トータル岩類と同時性岩脈の形成について以下のようなモデルが考えられる. 背弧リフティングに伴いET-型丹沢層群マグマが形成されると共に, 周辺にもたらされた熱異常により島孤ソレイトが部分融解し丹沢トータル岩親マグマが形成された. その丹沢トータル岩マグマ溜まりが未だ未固結であった時期に, その熱源と関わったET-型丹沢層群マグマが貫入し, それらはその境界部に於いて一部混交した.

## 5-5 まとめ

丹沢トータル岩中に見られる同時性岩脈やそれに由来する苦鉄質包有岩の産状から, それらは丹沢トータル岩が未固結であった時期に貫入したものであることが判明した.

同時性岩脈マグマはリフティングに伴うマントル物質の減圧融解により生成され, マントル物質上昇に伴う熱異常により火山フロント側で生成した丹沢トータル岩マグマ溜まりに貫入した可能性がある.

## 第6章 丹沢トータル岩複合岩体中に産する局所対流の証拠、 いわゆる“的様”について

### 6-1 はじめに

新第三紀中新世の丹沢トータル岩複合岩体（滝田，1974）北端部にあたる山梨県道志村の室久保川には，あたかも的の形態をなす，斜長岩質岩（Anorthositic rock）と優黒質岩（Melanocratic rock）からなる同心円構造が見られる．通称「的様」と呼ばれ，源頼朝が弓の鍛錬を行ったなどの伝説が伝えられており，村の観光資源の一つとして知られている．本地域には，かつて3つの同心円構造が見られたようであるが，現在は上流の堰堤工事のために埋もれてしまい1つしか見ることができない．

本地域には，産状から，母岩であるトータル岩が未固結であった時期に貫入したと考えられる同時性岩脈がみられる．この岩脈には的様を構成する岩石と同様な岩石がしばしば密接に伴い露出しており，岩脈の貫入がそれらの形成に関与していることが示唆される．「的様」を構成する岩石を直接採取することはできないので，その周辺に産する「的様」の構成岩石と同質と考えられる岩石類の産状と化学分析から「的様」の成因について検討した．

### 6-2 地質概略

丹沢トータル岩複合岩体は滝田（1974）によって詳細な岩体区分がなされている．本地域は丹沢トータル岩複合岩体の主岩相である畦が丸型岩体の北端部に位置し，畦が丸型中でもっとも苦鉄質（ $\text{SiO}_2$ :56%）な岩石が露出している．また，本地域は貫入母岩である丹沢層群起源の変成岩との境界部付近である．また，周辺には丹沢トータル岩複合岩体に先行して活動したと考えられているはんれい岩類が露出している（Fig. 6-1）．

「的様」周辺のルートマップを第2図に示す．以下東側に露出する岩石から順にその産状と岩石記載を述べる．

Fig. 6-2(1)付近には幅50cm程の岩脈状に産する優黒質岩がみられる．南部では幅20cm程の2本の平行な岩脈に分岐する．この優黒質岩は的様の周囲を取り囲む様に半円状の形態をなしている（Fig. 6-3A）．また，一部で石英閃緑岩をブロック状に取り込んでいる．露頭欠如のためこの岩石の延長を確認する事は出来ない．本論ではこの岩石をDarkest partと呼ぶ．

Fig. 6-2(2)には「的様」が見られる．「的様」は斜長岩質岩と優黒質岩からなる直径約50cmの七重の同心円構造とその外周を取り囲む長径約150cm短径約130cmの斜

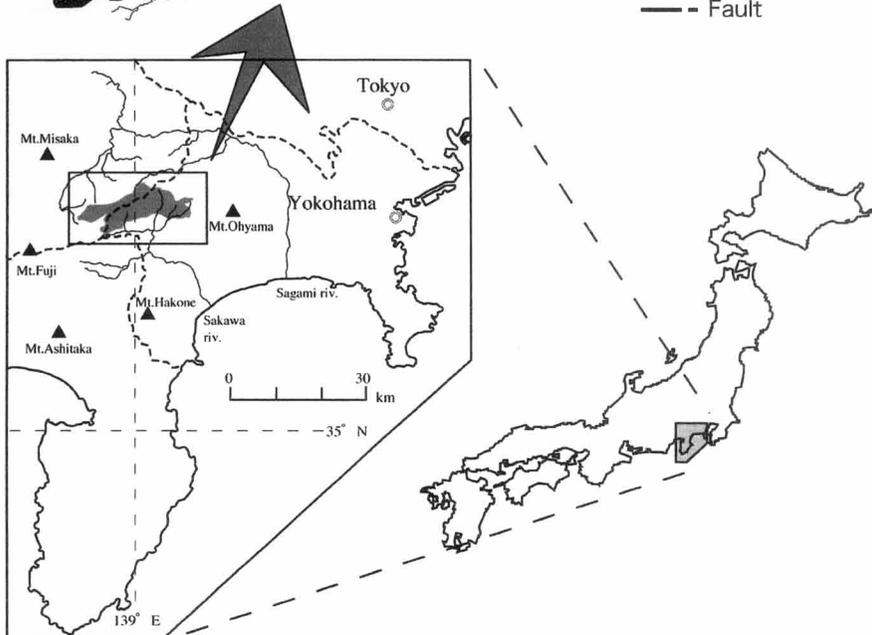
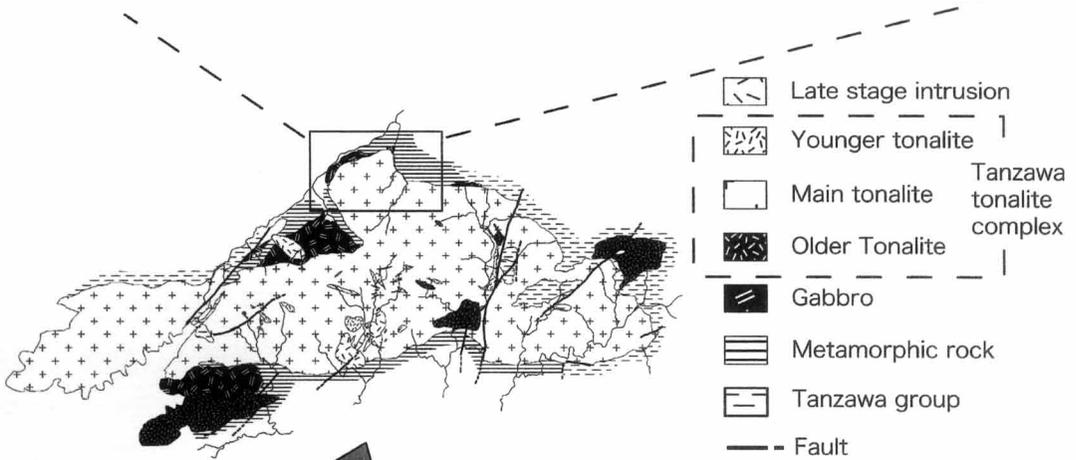
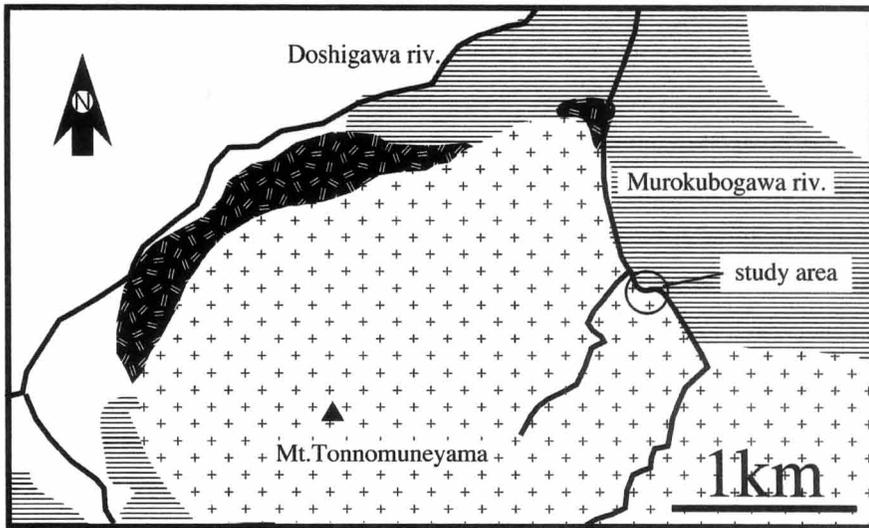


Fig.6-1. Geologic map of the Tanzawa tonalite complex.

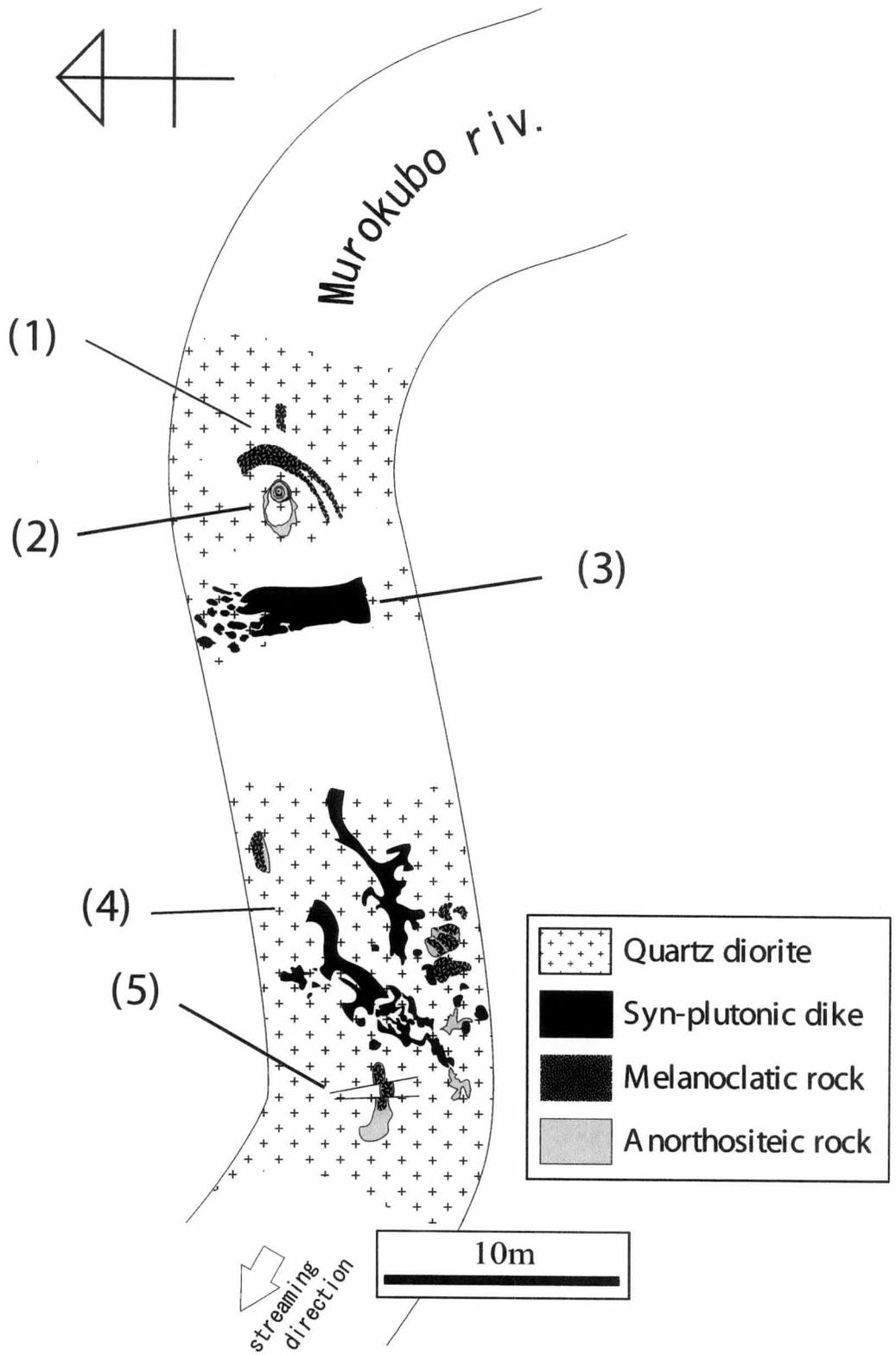


Fig.6-2. Route map of study area.

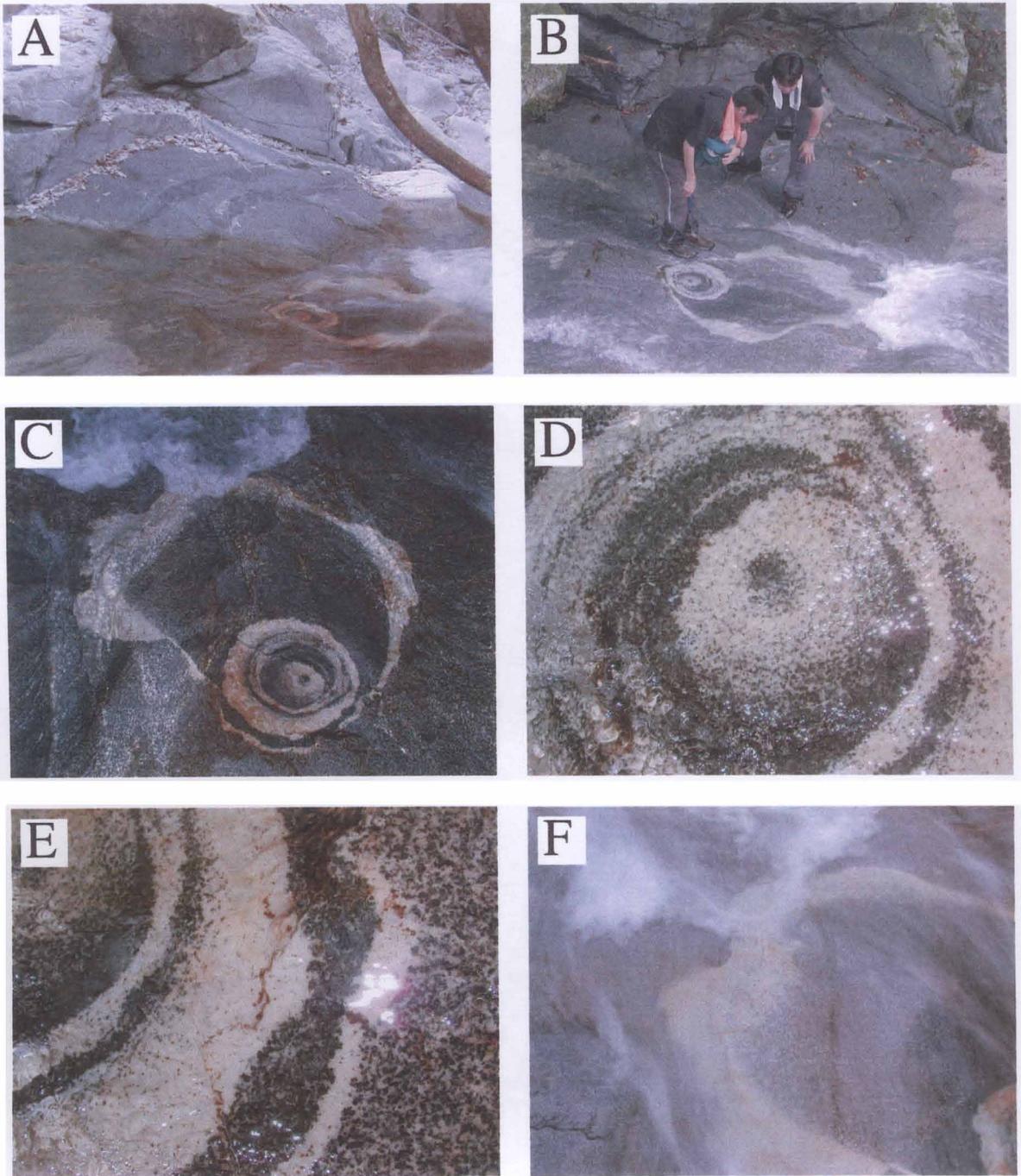


Fig. 6-3. Photographs of occurrence of “Mato sama”. (A) Arcuate dike of the melanocratic rock occur at the left side of “Mato sama”. (B) Diameter of “Mato sama” is about 50 cm, major axis of outer anorthositic ring is about 150 cm, minor axis of the ring is about 130 cm. (C) (D) (E) Closeup images of “Mato sama”. (F) Closeup image of outer ring of “Mato sama”.

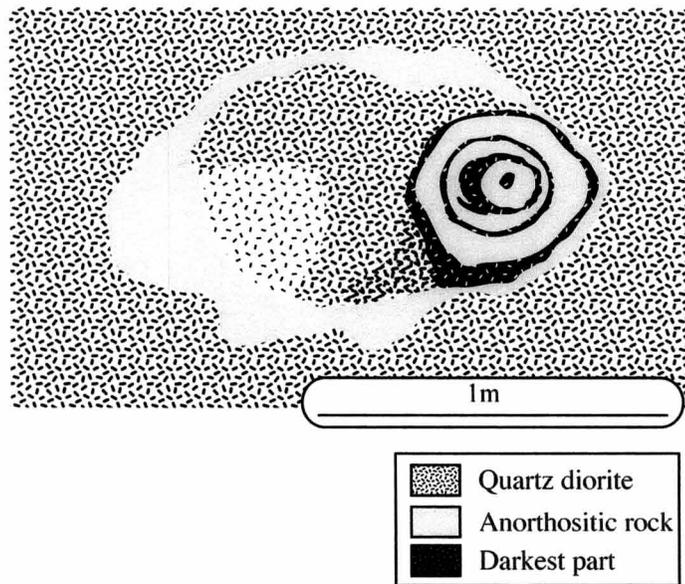


Fig. 6-4. Sketch of occurrence of “Mato sama” .

長岩質岩リングからなる (Fig. 6-3B～F, 第5図). 斜長岩質岩と周辺の石英閃緑岩との境界は明瞭であるが, 切った切られたの関係は認められない. 外周を取り囲む斜長岩質岩リングの内側は周辺の石英閃緑岩に比べ有色鉱物富む部分と乏しい部分がみられ, それらは漸移的に変化している (Fig. 6-3C, F). 同心円構造を形成する優黒質岩はさらに有色鉱物に富み肉眼では(1)に産する岩脈状の優黒質岩 (Darkest part) に類似する (Fig. 6-3D, E, Fig. 6-4).

Fig. 6-2(3), (4)には同時性岩脈 (Syn-putonic dike) がみられる. (3)にみられる同時性岩脈は, 南側では急冷縁をもつ明瞭で直線的な境界で母岩である石英閃緑岩と接する (Fig. 6-5B) が, 北側では分断され次第に包有岩岩脈 (Enclave swarm) 状に変化する (Fig. 6-5A). 西側には母岩の逆入脈がみられる (Fig. 6-5C) が, 東側は露頭欠如のためその延長を確認する事は出来ない. (4)にみられる同時性岩脈は幅 0.5-3m で蛇行しながら 5-10m 続く (Fig. 6-5D). 枝状に分岐し不規則な形態を示す. 石英閃緑岩との境界部には急冷縁が発達している (Fig. 6-5E). 主に粗粒な斜長石 (~1.5cm) からなるゼノリスを含む (Fig. 6-5F).

Fig. 6-2(4)の同時性岩脈の周辺には優黒質岩や斜長岩質岩が様々な産状でみられる. 優黒質岩はシュリーレン状 (Fig. 6-6A) であつたり不定形のパッチ状 (Fig. 6-6B) であつたりする. シュリーレン状の優黒質岩と斜長岩質岩はしばしば対になって産する (Fig. 6-7A). 斜長岩質岩はシュリーレン状や脈状になど様々な産状を示し, しばしば斜長岩質岩は同時性岩脈と接して産する (Fig. 6-6E). これらの優黒質岩や斜長岩質岩と周辺の石英閃緑岩は漸移している.

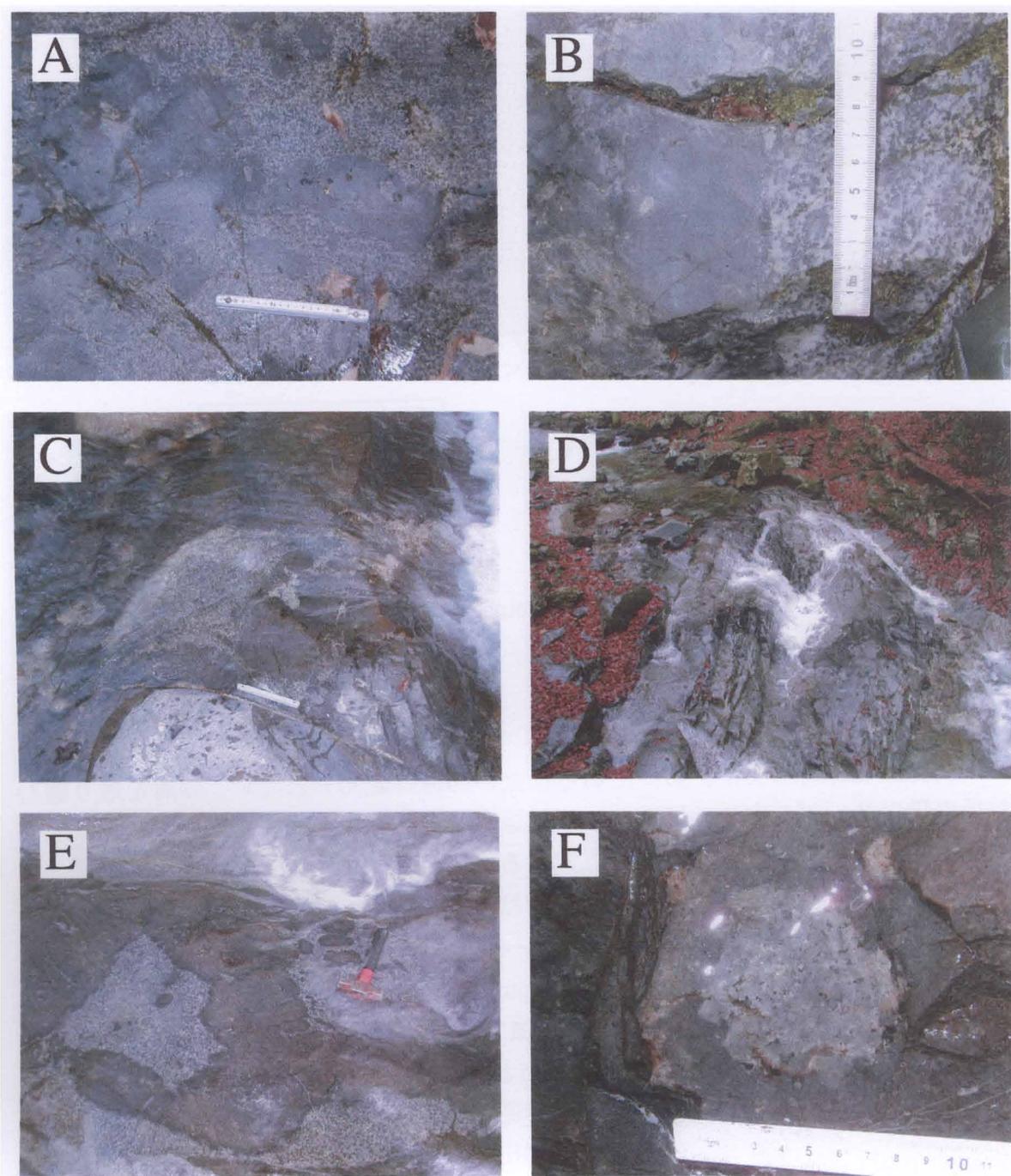


Fig.6-5. Occurrences of syn-plutonic dikes. (A)The dike transform into enclave swarm gradually. (B)Rectilinear contact between the dike and host quartz diorite. (C)Back vein of host rock. (D)Meandering syn-plutonic dike. (E)Chilled margins develop at the contact. (F)Aggregate of plagioclase contained in syn-lutonic dike.

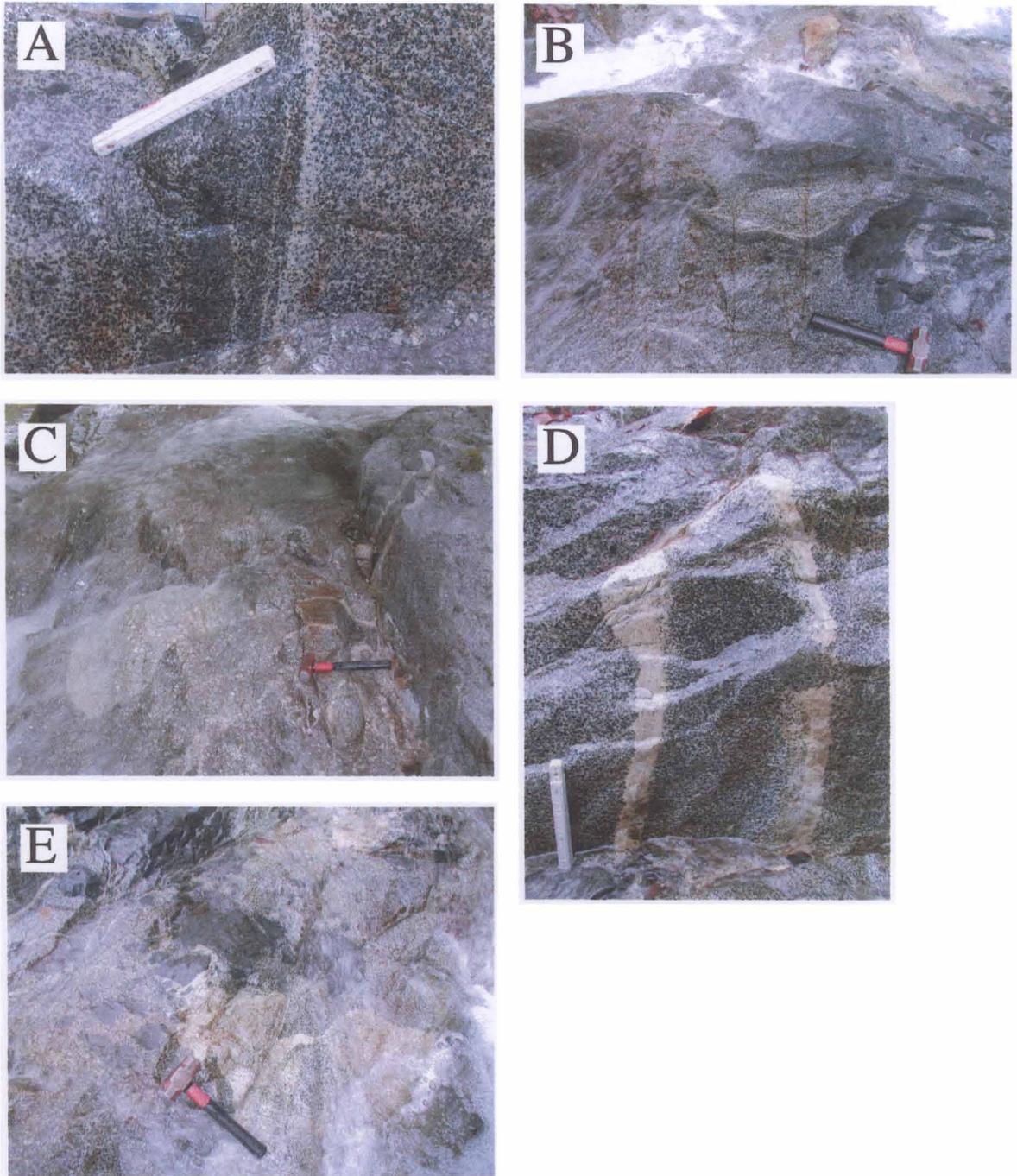


Fig.6-6. Photographs of melanoclastic and anorthositic rock. (A)Melanoclastic rock and anorthositic rock showing a texture as a sort of schlieren. (B) Melanoclastic rock and Anorthositic rock adjoin syn-plutonic dike. (C) (D) Anorthositic ring with tongue-shaped anorthositic rock. Inner part of the ring is slightly enriched in mafic minerals compared to the host quartz diorite. (E)Anorthositic rock occurred with fragment of syn-plutonic dike.

Fig. 6-2(5)では的様の外周部を構成するリングと同様な斜長岩質岩のリングがみられる。水平断面と鉛直断面が露出しており細長いパイプ状の形態をしていることがわかる (Fig. 6-6C, D)。斜長岩質岩で取り囲まれる岩石は周辺の石英閃緑岩 (有色鉱物含有量約30%) よりも有色鉱物に富んでいる (約50%)。本論では, Fig. 6-2(4)および(5)に産する優黒質岩を Darker part と呼ぶ。

### 6-3 岩石記載

母岩は角閃石石英閃緑岩である。顕微鏡下では中粒半自形等粒状組織を示す。普通角閃石はポイキリチックに斜長石や不透明鉱物を包有する。また, 角閃石中には単斜輝石, 斜方輝石の残晶がみられる。斜長石は一般に累帯構造を示し, その粒径は約2mm程度のものが卓越する。モード組成は斜長石69%, 石英1%, 普通角閃石23%, 輝石4%, 不透明鉱物3%である。

Darkest part は粗粒完晶質黒色の岩石で, 顕微鏡下では大型 (約1cm) で他形充填的の普通角閃石が斜長石や不透明鉱物をポイキリチックに包有しており, 普通角閃石中には輝石の残晶が見られる (Fig. 6-7A)。モード組成は斜長石30-40%, 石英2-6%, 普通角閃石50%, 輝石3-9%, 不透明鉱物5%である。

同時性岩脈は完晶質で半深成岩組織を示す (Fig. 6-7B)。石基は間粒状組織を示す。石基, 斑晶ともに構成鉱物は半自形の斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 普通角閃石からなる。斑晶鉱物はしばしば集斑状の組織を示す (Fig. 6-4B)。輝石の周縁部に普通角閃石が見られる事が多い。

darker partは顕微鏡下で, 中粒等粒状の組織を示し, 普通角閃石はポイキリチックに斜長石や不透明鉱物を包有する (Fig. 6-8B)。普通角閃石中には輝石の残晶がみられる。斜長石は累帯構造を示し, その粒径は約2mmものが卓越する。モード組成は, 斜長石40-59%, 石英1.5-3%, 普通角閃石輝石30-50%, 輝石3-9%, 不透明鉱物4-7%である。

斜長岩質岩は自形から半自形の斜長石からなり, これらは付加集積組織を示す。斜長石は弱い累帯構造を示す。また, この岩石の斜長石は粒径0.5~1.5mmで, 周辺の石英閃緑岩や優黒質岩のものに比べ若干小さい。モード組成は斜長石90%, 石英4%, 普通角閃石2-4%, 不透明鉱物1%である (Fig. 6-8A)。

### 6-4 分析方法

全岩主成分元素分析は, 四ホウ酸リチウム溶剤: 粉末試料 = 10:1 で作成したガラスビードを用いリガク製蛍光X線分析装置 System-3270 により測定した。鉱物分析には, JEOL 社製 JEOL-8900M electron microprobe analyzer を電流  $1.2 \times 10^{-8}$ A, 加速電圧 15kV で使用した。

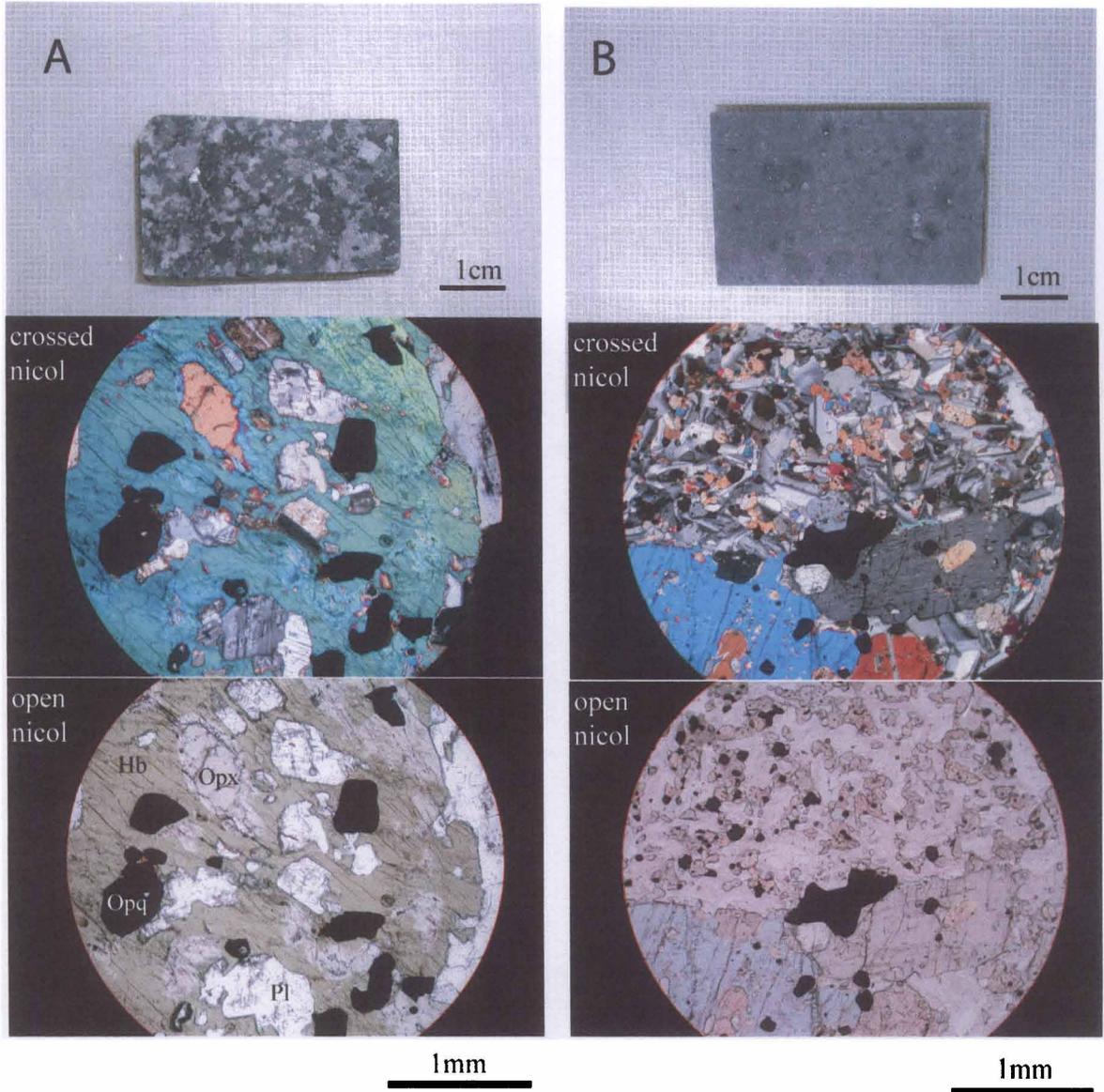


Fig.6-7. Photographs of slab and photomicrograph of the rock. (A)Darkest part. (B)Syn-plutonic dike.

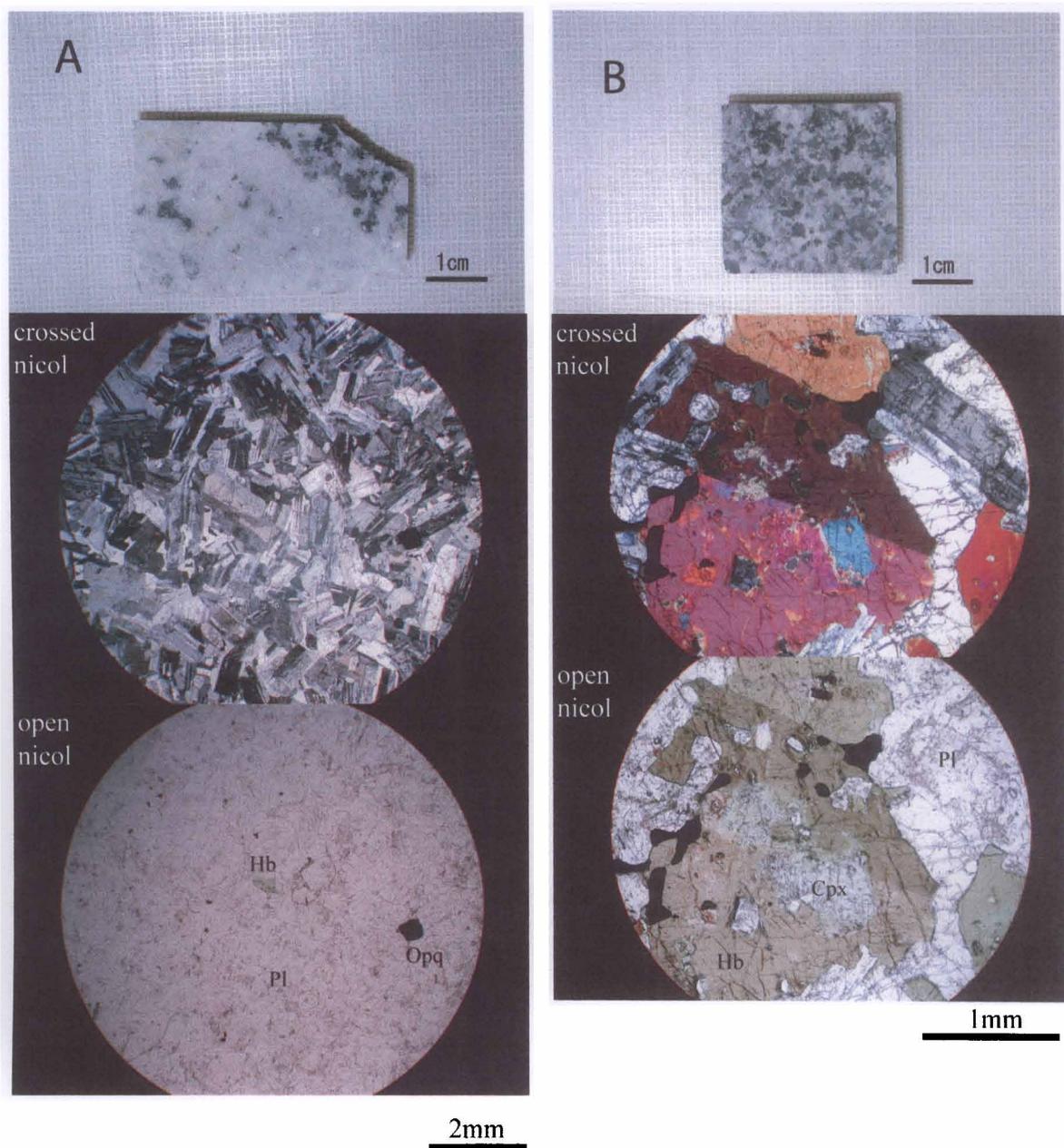


Fig.6-8. Photographs of slab and photomicrograph of the rock. (A) Anorthositic rock. (B) Darker part.

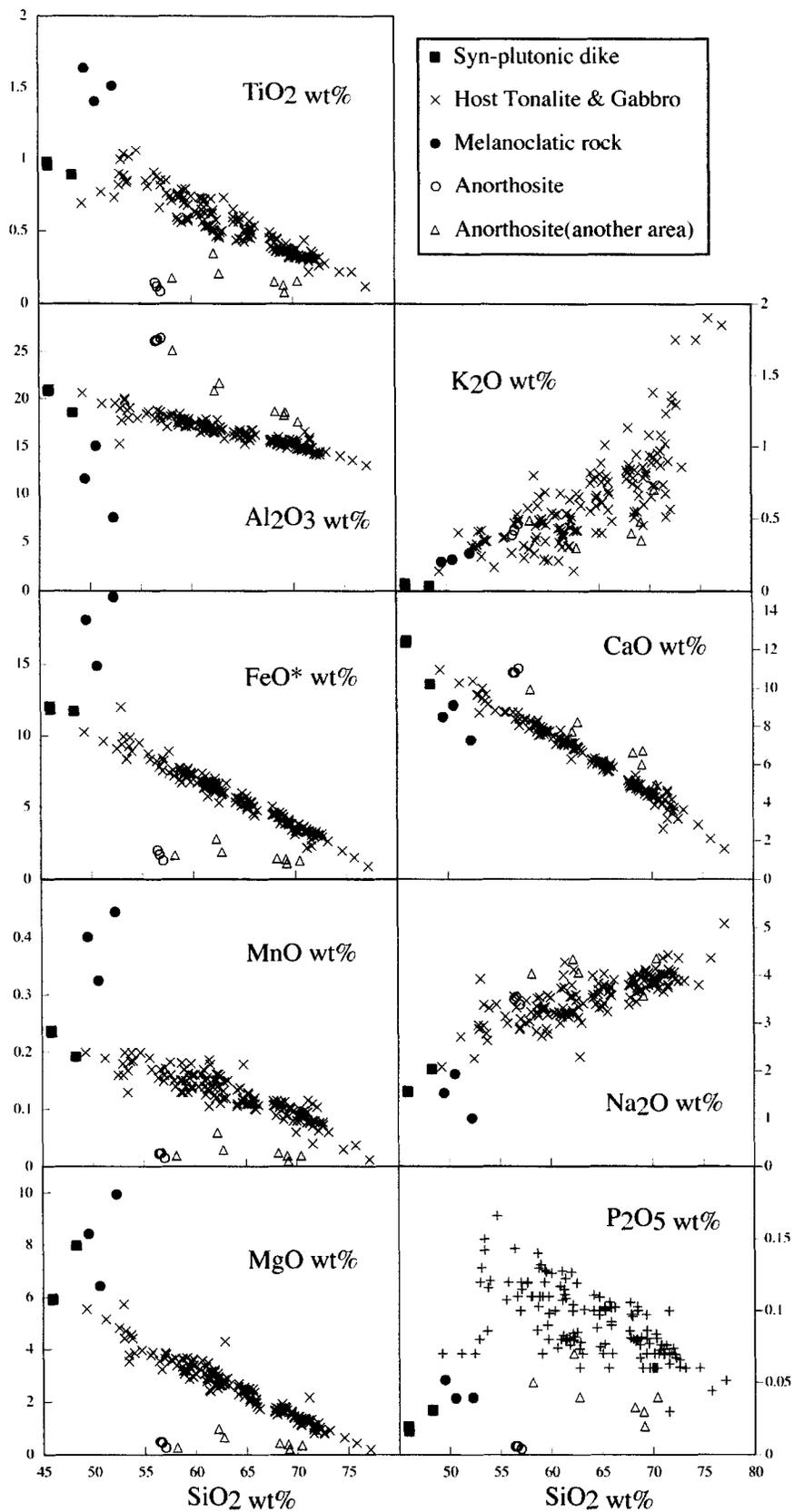


Fig.6-9. Silica variation diagrams for whole-rock major element chemistry of Tanzawa tonalite complex and related rocks.

## 6-5 結果

### 6-5-1. 全岩主成分組成

優黒質岩 (Darkest part & Darker part) の全岩化学組成は、母岩のトーナル岩に比べ、TiO<sub>2</sub>, FeO\*, MnO, MgO に富み、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> に乏しい。また、斜長岩質岩の全岩化学組成は母岩のトーナル岩に比べ、CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に富み、TiO<sub>2</sub>, FeO, MnO, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> に乏しい。この斜長岩質岩の特徴は丹沢トーナル岩複合岩体中の他地域に産する斜長岩質岩と共通している。同時性岩脈はSiO<sub>2</sub>量43-45wt%で、丹沢トーナル岩中の他地域に産出する同時性岩脈または苦鉄質包有岩よりもSiO<sub>2</sub>量に乏しく、Medium-K, 高アルカリソレイト系列に属するそれらと同様な特徴を示さない(Fig. 6-9)。

### 6-5-2. 鉱物組成

鉱物分析の結果を Appendix6-1 ~ 15 として章末に添付する。

同時性岩脈の石基の An 値は60-90を示す。斑晶の An 値は45-95を示し、石基より

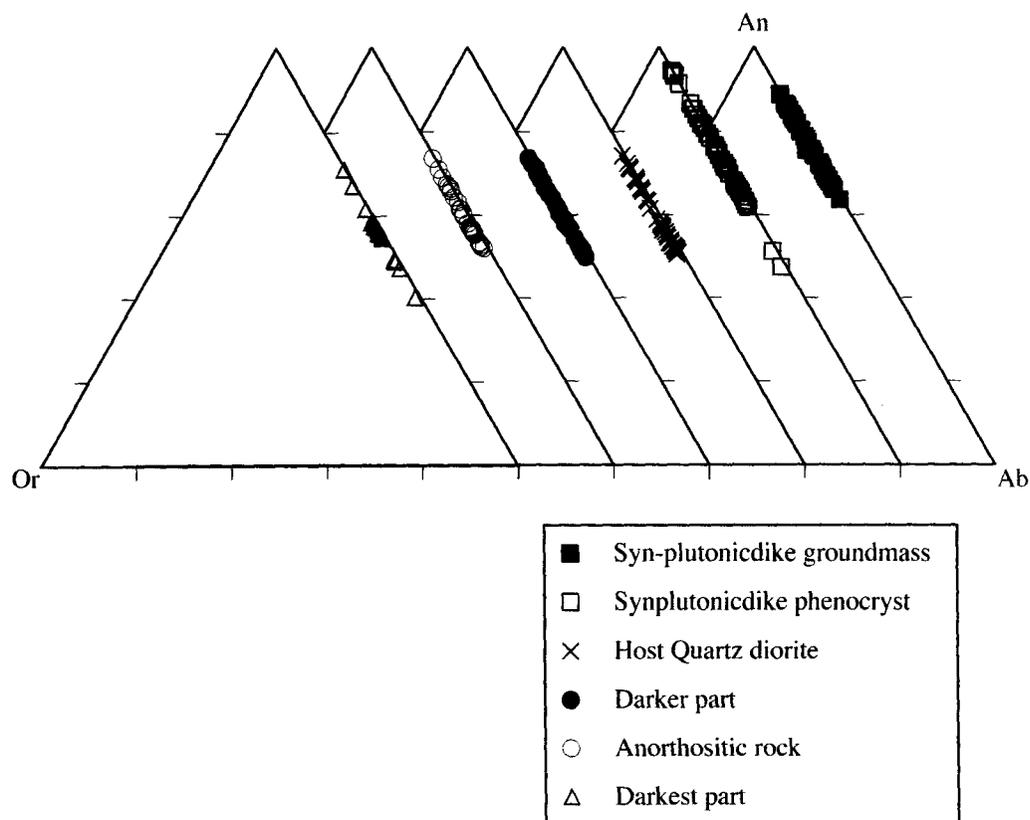


Fig.6-10. An-Or-Ab diagram showing chemical compositions of the plagioclases of the rocks occurred in this area.

も幅広い値を示す。周辺の石英閃緑岩の An 値は 50-75 の値を示す。Darker part の An 値も 50-75 の値を示す。斜長岩質岩の An 値は 52-75 の値を示す。Darkest part

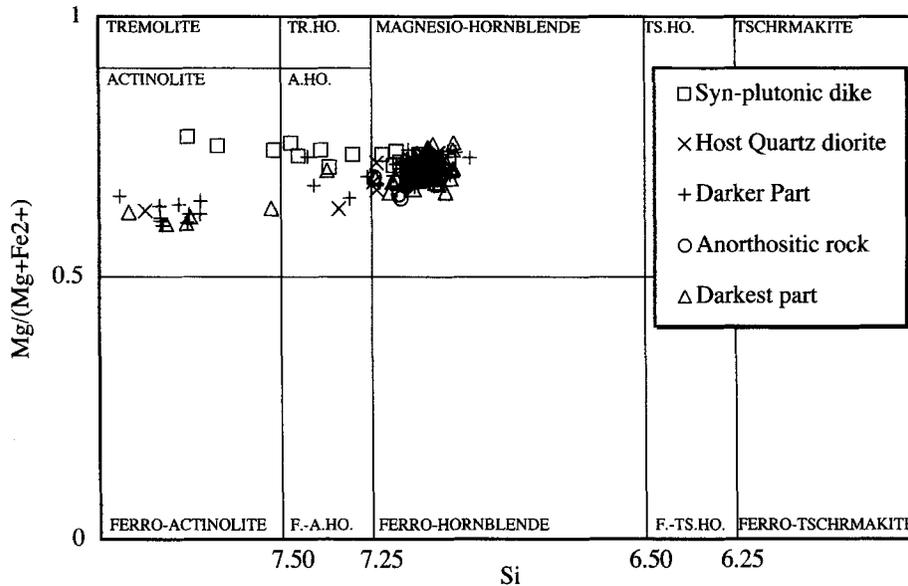


Fig.6-11. Chemical compositions of amphiboles. Nomenclature of amphiboles after Leak(1978).

の An 値は 40-75 の値を示す (Fig. 6-10).

今回測定した岩石の角閃石は全てMagnesio-HornblendeからActinoliteの組成を持つが、同時性岩脈は系統的に高い Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) 値を示す (Fig. 6-11).

今回測定した岩石の単斜輝石はサーライトからオーゾイトの組成を持ち、斜方輝石はハイパーシンの組成を持つ。QUILF95 (Frost and Lindsley, 1992, Lindsley and Frost, 1992) を用いた両輝石温度計によると、同時性岩脈の石英は約740~830℃、同時性岩脈の斑晶は約875~980℃、darkest partは約790~890℃、darker partは約850~945℃の温度をそれぞれ示す。

## 6-6 議論

本地域に分布する石英閃緑岩のSiO<sub>2</sub>含有量は約56wt%である。この組成は優黒質岩と優白質岩の中間の組成にあたり、本地域に産する優黒質岩 (Darkest part & Darker part) と斜長岩質岩と石英閃緑岩の間には、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>Oを除く各元素でハーカー図上でテコの原理が成り立つ (第9図)。Darker partと斜長岩と周辺の石英閃緑岩の斜長石の An 値はおよそ 50-75 で大きな違いは見いだせない (Fig. 6-

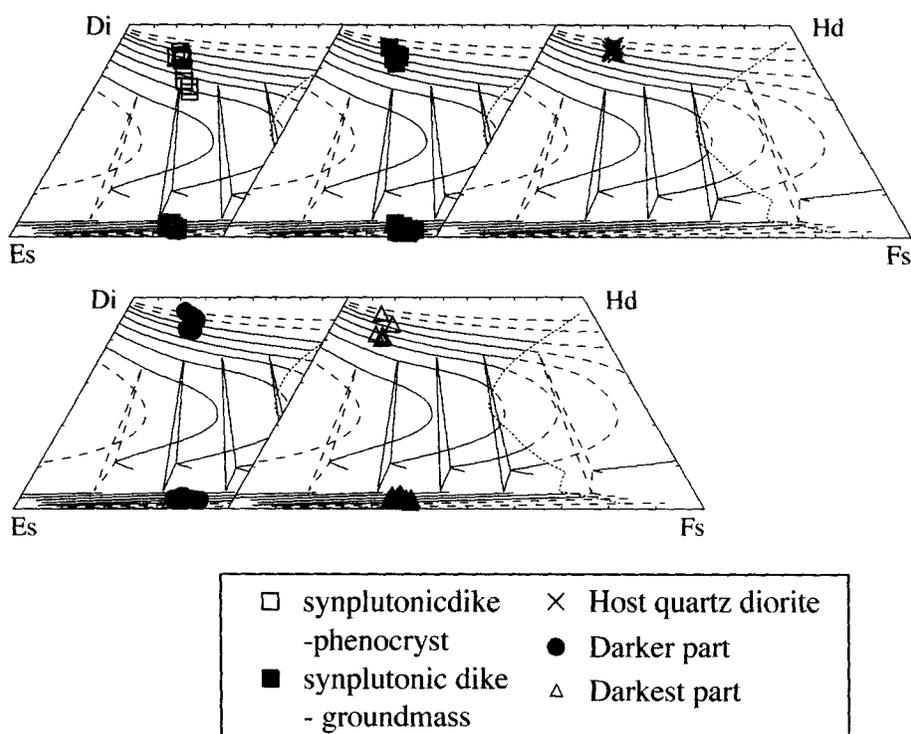


Fig. 6-12. Chemical composition of pyroxenes. Solid lines and dashed lines indicate isotherms of Lindsley (1983).

10). また、優黒質岩 (Darkest part & Darker part) と周辺の石英閃緑岩と斜長岩質岩の角閃石はMagnesio-hornblende～Actinoliteの組成をもち、こちらも大きな違いを見いだせない (Fig. 6-11)。ここで、(1) 斜長岩質岩とdarker partと周辺の石英閃緑岩が漸移関係にあること (Fig. 6-5A, B), (2) 斜長岩質岩が付加集積組織をもつこと (Fig. 6-8A), (3) 石英閃緑岩の全岩化学組成から斜長石の全岩化学組成を差し引くことで優黒質岩の全岩化学組成は説明可能であること (Fig. 6-9), (4) 普通角閃石は充填的な組織を示し粒間のメルトから晶出したものと考えられること (Fig. 6-7A, Fig. 6-8B) などから、斜長石+不透明鉱物 (+輝石?) +メルトにより構成される石英閃緑岩マグマから、斜長石が集積する事により斜長岩質岩が形成され、完全に斜長石が取り去られなかったものがDarker partを形成し、完全に斜長石が取り去られたメルト+不透明鉱物 (+輝石?) からDarkest partが形成された (Fig. 6-13) と考えると、Darker partと斜長岩質岩と石英閃緑岩の斜長石組成が共通し、Darkest partとDarker partと斜長岩質岩と石英閃緑岩の角閃石組成が共通しているという鉱物組成の特徴は説明可能である。斑晶量が少ないDarkest partメルトは流動性に富み、岩脈状に貫入することが可能であったのであろう。

同時性岩脈は輝石温度計によると1000℃程度の温度を示し、貫入時クリスタルマッシュを形成していたと考えられる石英閃緑岩マグマよりも高温であったと考え

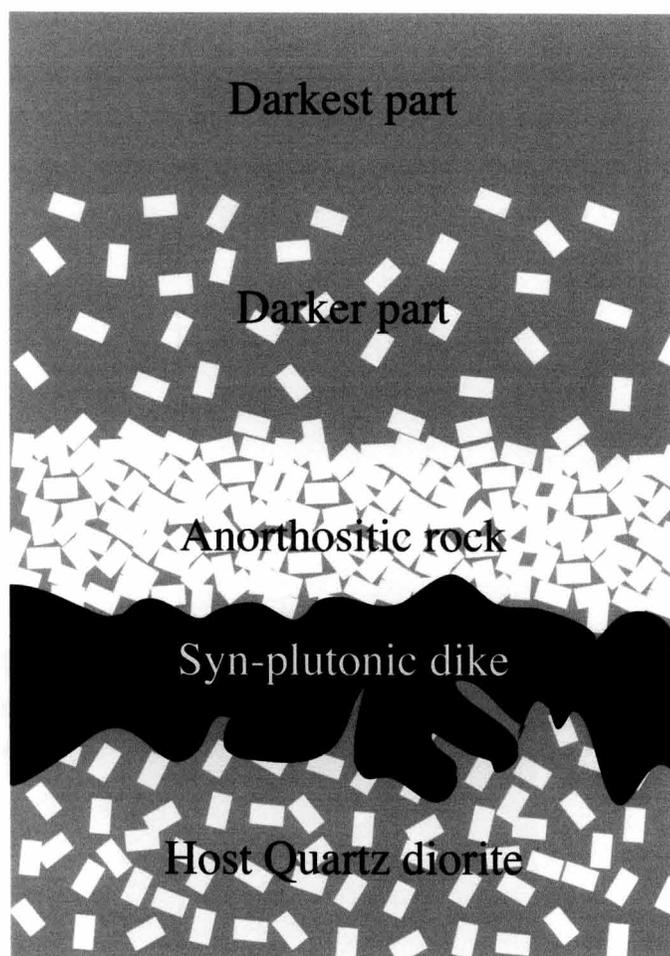


Fig. 6-13. Delineation of petrogenesis of anorthositic rock, Darker part and Darkest part. Intrusion of the syn-plutonic dike into crystal mush of host quartz diorite induced accumulation of plagioclase. Inter-cumulous melt moved and formed Darker part and Darkest part.

られる。この事は同時性岩脈に急冷縁が発達している事 (Fig. 6-5E) と調和的である。同時性岩脈の周囲にはDarker partや斜長岩質岩がしばしば認められ (Fig. 6-6B, E), それらの成因に同時性岩脈の貫入が密接に関わっている事が示唆される。クリスタルマッシュ状態であった丹沢トータル岩マグマ溜まりに高温の苦鉄質同時性岩脈が貫入した事により温められた粒間のメルトは上方へ移動した, その結果, 石英閃緑岩マグマから斜長石の分別が生じ斜長岩質岩が形成された。「的様」の外側のリングやFig. 6-2(5)のリングはメルトの濃集過程をあらわしているのかもしれない。

結晶を含むマグマが流動する場合, 速度勾配の小さい部分に粒径や比重の大きい

粒子が集まりやすい、いわゆる流動分化という現象が知られている (Komor, 1972). 「的様」の同心円構造の最も外側はDarkest part (メルト) からなり斜長岩質岩がその内側に存在している. このような構造は、パイプの中を結晶を含むメルトが通過した際に流動分化が起こったと考えると説明可能かもしれない. 同時性岩脈により供給された熱により Darker part が流動する際、比較的大きな斜長石結晶が速度

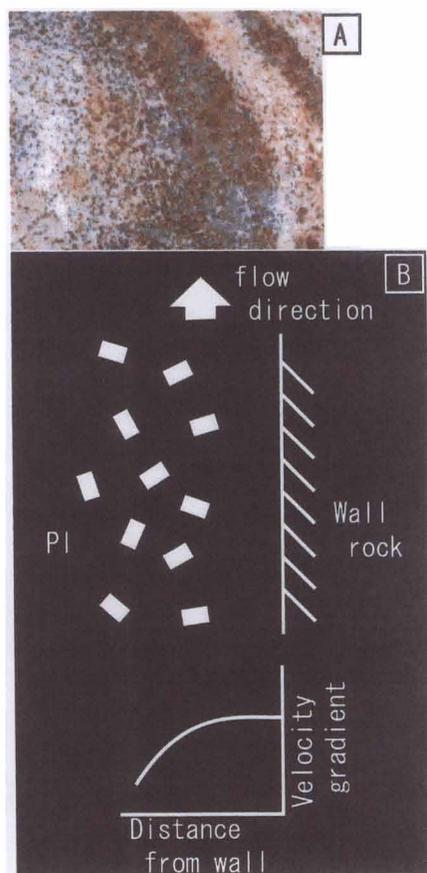


Fig.6-14. Comparison between the “Mato sama” and the flow differentiation model. (A) Closeup photograph of the “Mato sama”. (B) Cartoon of the flow differentiation model. Pl:plagioclase

勾配の小さい中心部へと移動し「的様」を形成している斜長岩質岩とDarkest part が形成された. さらに内側で同様な分化がおこり同心円上構造が形成されたのかもしれない (Fig.6-14). ブラジル北部Tavares plutonに産するellipsoidsの成因は、未固結の pluton への diorite intrusion による熱の供給により引き起こされる thermal plume の形成で説明されている (Weinberg et al., 2001). このような

thermal plumeによっても「的様」の同心円構造は、形成可能かもしれない。Tavars plutonにおいてはdioriteとplumeとの関係は直接観察できないようであるが、今回の研究地域における同時性岩脈、優黒質岩、斜長岩質岩が密接に伴われる産状はまさにそのような現場を表しているのであろう。

## 6-7 まとめ

「的様」周辺の野外調査、顕微鏡観察、主成分化学組成分析、鉱物分析により以下の事が判明した。

主に斜長石からなるクリスタルマッシュ状態にあった丹沢トータル岩体に、より高温の苦鉄質マグマが貫入した。苦鉄質マグマにより供給された熱により、粒間のメルトの移動が起こり、斜長岩質岩が集積した。その粒間のメルトは岩脈状に母岩である丹沢トータル岩に貫入した。メルトと斜長石を含むマグマの流動時の流動分化、もしくはthermal plumeの形成により同心円状の構造を持つ「的様」が形成されたのかもしれない。

このように、丹沢トータル岩体では苦鉄質マグマの注入により、岩体の一部に組成不均質を形作るような局所的な対流が生じていた。

Appendix6-1 Representative chemical compositions of plagioclases of groundmass of syn-plutonic dike.

Syn-plutonic dike ground mass											
wt%											
Na2O	2.351	4.141	2.808	3.276	1.663	2.142	1.822	3.432	1.999	3.039	3.358
Al2O3	31.965	29.829	31.470	30.381	33.136	32.200	32.763	30.581	32.275	31.072	30.450
K2O	0.029	0.068	0.065	0.077	0.000	0.050	0.017	0.086	0.028	0.048	0.045
TiO2	0.024	0.000	0.012	0.000	0.000	0.009	0.044	0.019	0.029	0.000	0.012
FeO	0.250	0.470	0.191	0.281	0.301	0.341	0.282	0.432	0.238	0.398	0.206
MgO	0.000	0.021	0.025	0.031	0.002	0.000	0.030	0.028	0.034	0.024	0.017
SiO2	48.471	52.143	49.144	50.854	47.300	48.614	47.268	50.505	47.621	49.425	50.766
CaO	15.884	13.274	15.128	13.974	17.240	15.994	16.587	14.150	16.503	14.338	13.947
P2O5	0.000	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.013	0.013
MnO	0.000	0.000	0.016	0.052	0.007	0.000	0.010	0.000	0.026	0.036	0.000
Total	98.974	99.979	98.859	98.926	99.649	99.350	98.823	99.233	98.792	98.393	98.814
cation	O=24										
Na	0.632	1.096	0.755	0.877	0.446	0.574	0.492	0.918	0.540	0.820	0.899
Al	5.226	4.800	5.142	4.941	5.402	5.244	5.377	4.970	5.298	5.094	4.955
K	0.005	0.012	0.012	0.014	0.000	0.009	0.003	0.015	0.005	0.009	0.008
Ti	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.005	0.002	0.003	0.000	0.001
Fe	0.029	0.054	0.022	0.033	0.035	0.039	0.033	0.050	0.028	0.046	0.024
Mg	0.000	0.004	0.005	0.006	0.000	0.000	0.006	0.006	0.007	0.005	0.004
Si	6.724	7.119	6.813	7.017	6.542	6.717	6.581	6.964	6.632	6.874	7.009
Ca	2.361	1.942	2.247	2.066	2.555	2.368	2.475	2.091	2.463	2.137	2.063
P	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	0.002
Mn	0.000	0.000	0.002	0.006	0.001	0.000	0.001	0.000	0.003	0.004	0.000
Total	14.980	15.030	14.999	14.958	14.981	14.952	14.973	15.015	14.982	14.991	14.964
Syn-plutonic dike ground mass											
wt%											
Na2O	2.484	2.719	3.406	1.791	3.305	1.668	2.004	3.030	3.809	2.510	2.728
Al2O3	31.160	31.545	30.469	33.131	29.748	33.360	32.907	31.096	30.241	31.939	31.786
K2O	0.228	0.039	0.057	0.025	0.051	0.013	0.007	0.034	0.063	0.008	0.043
TiO2	0.000	0.000	0.029	0.040	0.042	0.000	0.006	0.000	0.047	0.037	0.000
FeO	1.649	0.307	0.411	0.222	0.305	0.352	0.537	0.312	0.555	0.330	0.625
MgO	0.170	0.019	0.015	0.000	0.018	0.000	0.017	0.010	0.000	0.000	0.015
SiO2	48.764	49.468	50.611	46.836	48.693	46.797	47.475	50.231	51.621	48.695	49.430
CaO	14.750	14.934	13.275	17.241	13.808	17.430	16.564	14.649	13.623	15.653	15.463
P2O5	0.000	0.000	0.000	0.053	0.000	0.033	0.000	0.000	0.007	0.013	0.060
MnO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	99.205	99.031	98.273	99.339	95.997	99.653	99.517	99.362	99.966	99.185	100.150
cation	O=24										
Na	0.670	0.729	0.916	0.482	0.913	0.448	0.538	0.809	1.010	0.674	0.726
Al	5.107	5.139	4.980	5.423	4.998	5.447	5.371	5.045	4.872	5.210	5.139
K	0.041	0.007	0.010	0.005	0.009	0.002	0.001	0.006	0.011	0.002	0.008
Ti	0.000	0.000	0.003	0.004	0.005	0.000	0.001	0.000	0.005	0.004	0.000
Fe	0.192	0.036	0.048	0.026	0.036	0.041	0.062	0.036	0.063	0.038	0.072
Mg	0.035	0.004	0.003	0.000	0.004	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.003
Si	6.780	6.837	7.019	6.504	6.940	6.483	6.574	6.914	7.056	6.739	6.780
Ca	2.197	2.212	1.973	2.565	2.109	2.587	2.458	2.160	1.995	2.321	2.273
P	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	15.022	14.962	14.951	15.015	15.017	15.013	15.009	14.971	15.013	14.988	15.007

Appendix6-2 Representative chemical compositions of plagioclases of phenocrysts of syn-plutonic dike.

Syn-plutonic dike phenocryst											
wt%											
Na2O	2.573	2.853	3.160	3.768	4.141	4.047	3.729	0.713	0.665	0.740	1.466
Al2O3	31.726	30.831	30.817	29.407	28.894	29.436	28.859	34.392	34.124	34.327	33.496
K2O	0.062	0.077	0.059	0.092	0.103	0.103	0.061	0.027	0.015	0.011	0.010
TiO2	0.036	0.000	0.037	0.000	0.000	0.029	0.048	0.003	0.010	0.005	0.015
FeO	0.248	0.281	0.331	0.298	0.320	0.323	0.335	0.251	0.360	0.256	0.351
MgO	0.006	0.043	0.023	0.012	0.039	0.026	0.022	0.004	0.018	0.012	0.000
SiO2	49.049	50.093	50.230	51.396	53.005	51.904	51.520	44.630	44.720	44.657	46.608
CaO	15.294	14.431	14.372	13.290	12.380	12.887	13.165	18.299	18.662	18.925	17.488
P2O5	0.026	0.000	0.016	0.062	0.036	0.039	0.020	0.026	0.029	0.013	0.032
MnO	0.055	0.010	0.042	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055	0.026
Total	99.075	98.619	99.087	98.338	98.918	98.794	97.759	98.345	98.603	99.001	99.492
cation	O=24										
Na	0.690	0.766	0.846	1.013	1.102	1.082	1.008	0.195	0.181	0.201	0.394
Al	5.173	5.033	5.014	4.805	4.675	4.783	4.740	5.701	5.651	5.668	5.477
K	0.011	0.014	0.010	0.016	0.018	0.018	0.011	0.005	0.003	0.002	0.002
Ti	0.004	0.000	0.004	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.001	0.001	0.002
Fe	0.029	0.033	0.038	0.035	0.037	0.037	0.039	0.030	0.042	0.030	0.041
Mg	0.001	0.009	0.005	0.002	0.008	0.005	0.005	0.001	0.004	0.003	0.000
Si	6.786	6.938	6.933	7.124	7.276	7.156	7.178	6.276	6.283	6.256	6.465
Ca	2.267	2.142	2.126	1.974	1.821	1.904	1.965	2.758	2.809	2.841	2.599
P	0.003	0.000	0.002	0.007	0.004	0.005	0.002	0.003	0.003	0.002	0.004
Mn	0.007	0.001	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.003
Total	14.970	14.935	14.982	14.977	14.941	14.993	14.952	14.968	14.978	15.009	14.987
Syn-plutonic dike phenocryst											
wt%											
Na2O	1.769	3.628	3.708	3.077	3.451	2.068	3.716	3.042	2.231	1.629	2.616
Al2O3	33.134	30.011	29.805	30.991	29.782	31.915	29.430	30.781	31.839	33.077	32.134
K2O	0.038	0.077	0.057	0.055	0.059	0.029	0.071	0.077	0.048	0.030	0.026
TiO2	0.000	0.000	0.016	0.000	0.024	0.000	0.046	0.000	0.000	0.013	0.000
FeO	0.351	0.409	0.289	0.331	0.295	0.369	0.453	0.373	0.292	0.372	0.372
MgO	0.014	0.028	0.029	0.007	0.024	0.042	0.023	0.000	0.008	0.024	0.021
SiO2	46.844	51.296	51.339	50.250	51.197	48.001	51.615	49.699	49.219	46.008	48.662
CaO	17.175	13.773	13.318	14.443	13.604	16.051	12.767	14.604	15.882	17.525	15.707
P2O5	0.003	0.039	0.000	0.029	0.000	0.019	0.010	0.006	0.058	0.016	0.045
MnO	0.000	0.010	0.000	0.055	0.010	0.032	0.000	0.013	0.000	0.013	0.052
Total	99.328	99.271	98.561	99.238	98.446	98.526	98.131	98.595	99.577	98.707	99.635
cation	O=24										
Na	0.477	0.968	0.994	0.822	0.927	0.559	0.999	0.819	0.596	0.443	0.700
Al	5.426	4.867	4.857	5.033	4.861	5.246	4.810	5.039	5.167	5.463	5.224
K	0.007	0.014	0.010	0.010	0.010	0.005	0.013	0.014	0.009	0.005	0.005
Ti	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003	0.000	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000
Fe	0.041	0.047	0.033	0.038	0.034	0.043	0.053	0.043	0.034	0.044	0.043
Mg	0.003	0.006	0.006	0.001	0.005	0.009	0.005	0.000	0.002	0.005	0.004
Si	6.509	7.057	7.098	6.924	7.089	6.694	7.157	6.903	6.776	6.446	6.712
Ca	2.557	2.030	1.973	2.132	2.018	2.399	1.897	2.173	2.343	2.631	2.321
P	0.000	0.005	0.000	0.003	0.000	0.002	0.001	0.001	0.007	0.002	0.005
Mn	0.000	0.001	0.000	0.006	0.001	0.004	0.000	0.002	0.000	0.002	0.006
Total	15.019	14.994	14.974	14.970	14.947	14.962	14.938	14.993	14.932	15.042	15.020

Appendix6-3 Representative chemical compositions of plagioclases of host quartz diorite.

Host quartz diorite											
Wt%											
Na2O	3.125	2.808	3.531	3.495	5.533	3.438	3.121	5.456	3.505	3.759	3.381
Al2O3	31.086	31.457	30.494	30.833	28.003	30.532	30.687	27.924	31.062	30.126	30.196
K2O	0.080	0.085	0.096	0.072	0.100	0.117	0.097	0.137	0.078	0.118	0.080
TiO2	0.008	0.007	0.038	0.000	0.000	0.024	0.018	0.027	0.006	0.006	0.000
FeO	0.216	0.281	0.242	0.073	0.110	0.289	0.217	0.206	0.211	0.251	0.299
MgO	0.003	0.014	0.000	0.000	0.019	0.008	0.024	0.010	0.002	0.000	0.000
SiO2	51.006	50.194	51.768	51.433	55.853	51.335	51.206	56.009	51.253	52.399	51.707
CaO	14.496	14.997	13.824	14.004	10.833	14.061	14.317	10.598	14.302	13.283	13.839
P2O5	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.010	0.026	0.020	0.013
MnO	0.043	0.029	0.023	0.029	0.049	0.000	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000
Total	100.063	99.885	100.016	99.939	100.500	99.807	99.687	100.377	100.511	99.962	99.515
cation	O=24										
Na	0.827	0.746	0.934	0.925	1.443	0.912	0.828	1.424	0.924	0.992	0.898
Al	5.002	5.080	4.901	4.959	4.440	4.924	4.951	4.429	4.979	4.835	4.875
K	0.014	0.015	0.017	0.013	0.017	0.020	0.017	0.024	0.014	0.021	0.014
Ti	0.001	0.001	0.004	0.000	0.000	0.003	0.002	0.003	0.001	0.001	0.000
Fe	0.025	0.032	0.028	0.008	0.012	0.033	0.025	0.023	0.024	0.029	0.034
Mg	0.001	0.003	0.000	0.000	0.004	0.002	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000
Si	6.963	6.877	7.058	7.017	7.513	7.023	7.009	7.536	6.969	7.134	7.082
Ca	2.120	2.202	2.020	2.047	1.562	2.061	2.100	1.528	2.084	1.938	2.031
P	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.002	0.002
Mn	0.005	0.003	0.003	0.003	0.006	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000
Total	14.956	14.960	14.963	14.972	14.997	14.978	14.937	14.969	15.005	14.951	14.935
Host quartz diorite											
Wt%											
Na2O	3.496	5.093	5.172	5.495	5.045	3.703	2.987	4.859	4.771	3.917	3.167
Al2O3	30.359	27.141	27.766	27.641	27.967	30.511	30.389	28.754	28.610	29.440	30.880
K2O	0.100	0.238	0.171	0.171	0.123	0.097	0.070	0.223	0.141	0.143	0.081
TiO2	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.014	0.027	0.000
FeO	0.273	0.248	0.180	0.228	0.130	0.214	0.231	0.183	0.226	0.232	0.206
MgO	0.018	0.001	0.000	0.013	0.010	0.000	0.005	0.001	0.009	0.000	0.028
SiO2	51.483	54.976	55.353	55.596	55.290	51.733	50.739	54.429	54.784	52.268	51.352
CaO	14.091	10.800	10.837	10.573	10.834	13.602	14.446	11.656	11.638	12.723	14.314
P2O5	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.023
MnO	0.000	0.039	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000	0.000
Total	99.822	98.536	99.482	99.782	99.399	99.860	98.870	100.141	100.210	98.750	100.051
cation	O=24										
Na	0.927	1.356	1.362	1.444	1.329	0.980	0.800	1.276	1.250	1.046	0.837
Al	4.895	4.391	4.446	4.415	4.477	4.909	4.945	4.590	4.557	4.777	4.963
K	0.018	0.042	0.030	0.030	0.021	0.017	0.012	0.039	0.024	0.025	0.014
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000
Fe	0.031	0.029	0.021	0.026	0.015	0.025	0.027	0.021	0.026	0.027	0.024
Mg	0.004	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.006
Si	7.042	7.546	7.519	7.534	7.509	7.062	7.005	7.371	7.403	7.195	7.002
Ca	2.065	1.589	1.577	1.535	1.577	1.990	2.137	1.691	1.685	1.877	2.091
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003
Mn	0.000	0.005	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Total	14.983	14.957	14.954	14.995	14.928	14.982	14.928	14.991	14.951	14.949	14.939

Appendix6-5 Representative chemical compositions of plagioclases of darkest part.

darkest part										
wt%										
Na2O	4.714	6.795	5.567	4.929	4.514	4.165	3.119	4.895	4.609	3.637
SiO2	55.045	59.122	57.333	54.863	53.363	53.584	51.152	54.884	54.568	51.336
K2O	0.160	0.190	0.147	0.137	0.186	0.093	0.041	0.141	0.081	0.081
TiO2	0.039	0.008	0.011	0.000	0.007	0.000	0.031	0.000	0.029	0.000
FeO	0.304	0.180	0.191	0.232	0.194	0.180	0.266	0.160	0.215	0.172
MgO	0.000	0.014	0.015	0.000	0.007	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
Al2O3	28.933	26.184	27.478	28.521	28.672	29.475	30.915	28.965	28.976	30.678
CaO	11.873	8.506	10.034	11.564	11.850	12.396	14.219	11.523	11.907	13.839
MnO	0.038	0.022	0.000	0.052	0.000	0.005	0.017	0.025	0.017	0.002
P2O5	0.000	0.007	0.003	0.003	0.020	0.020	0.000	0.000	0.000	0.037
Total	101.106	101.028	100.779	100.301	98.813	99.931	99.760	100.593	100.402	99.782

cation	O=24									
Na	1.226	1.751	1.442	1.291	1.202	1.096	0.827	1.278	1.206	0.964
Si	7.381	7.858	7.657	7.412	7.325	7.271	6.994	7.387	7.362	7.019
K	0.027	0.032	0.025	0.024	0.033	0.016	0.007	0.024	0.014	0.014
Ti	0.004	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000
Fe	0.034	0.020	0.021	0.026	0.022	0.021	0.030	0.018	0.024	0.020
Mg	0.000	0.003	0.003	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	4.573	4.102	4.326	4.542	4.639	4.714	4.982	4.595	4.608	4.944
Ca	1.706	1.211	1.436	1.674	1.743	1.802	2.083	1.662	1.721	2.027
Mn	0.004	0.003	0.000	0.006	0.000	0.001	0.002	0.003	0.002	0.000
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004
Total	14.955	14.981	14.912	14.974	14.968	14.925	14.929	14.967	14.941	14.992

darkest part											
wt%											
Na2O	5.913	4.829	4.897	4.560	4.954	4.905	4.651	5.479	4.701	4.986	5.418
SiO2	57.370	54.681	54.566	54.400	54.280	55.278	53.902	57.174	54.267	55.302	56.707
K2O	0.123	0.083	0.082	0.116	0.077	0.109	0.090	0.128	0.107	0.127	0.136
TiO2	0.017	0.002	0.019	0.000	0.054	0.024	0.023	0.000	0.016	0.048	0.019
FeO	0.212	0.232	0.238	0.212	0.376	0.258	0.238	0.215	0.172	0.279	0.099
MgO	0.000	0.011	0.006	0.013	0.219	0.000	0.003	0.038	0.016	0.017	0.009
Al2O3	26.977	28.625	28.748	29.045	28.187	28.049	29.131	27.332	28.996	28.647	27.599
CaO	9.828	11.662	11.534	11.536	11.162	11.361	12.191	9.720	11.677	11.097	9.740
MnO	0.024	0.000	0.000	0.003	0.043	0.028	0.017	0.000	0.016	0.032	0.012
P2O5	0.000	0.003	0.000	0.000	0.007	0.000	0.034	0.000	0.017	0.000	0.027
Total	100.464	100.128	100.090	99.885	99.359	100.012	100.280	100.086	99.985	100.535	99.766

cation	O=24										
Na	1.537	1.267	1.285	1.198	1.310	1.286	1.221	1.427	1.235	1.301	1.415
Si	7.692	7.397	7.384	7.368	7.403	7.478	7.298	7.678	7.351	7.439	7.638
K	0.021	0.014	0.014	0.020	0.014	0.019	0.016	0.022	0.019	0.022	0.023
Ti	0.002	0.000	0.002	0.000	0.006	0.002	0.002	0.000	0.002	0.005	0.002
Fe	0.024	0.026	0.027	0.024	0.043	0.029	0.027	0.024	0.019	0.031	0.011
Mg	0.000	0.002	0.001	0.003	0.044	0.000	0.001	0.008	0.003	0.003	0.002
Al	4.263	4.564	4.585	4.637	4.531	4.472	4.649	4.326	4.630	4.542	4.382
Ca	1.412	1.690	1.672	1.674	1.631	1.647	1.769	1.399	1.695	1.599	1.406
Mn	0.003	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.002	0.000	0.002	0.004	0.001
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000	0.003
Total	14.954	14.961	14.971	14.923	14.987	14.937	14.988	14.884	14.956	14.946	14.884

Appendix6-4 Representative chemical compositions of plagioclases of darker part.

Darker part											
wt%											
Na <sub>2</sub> O	2.978	2.852	3.822	4.397	3.453	5.209	3.810	3.441	3.437	3.631	3.463
SiO <sub>2</sub>	50.478	50.179	51.186	53.723	51.561	55.016	52.390	51.409	51.000	51.936	51.634
K <sub>2</sub> O	0.074	0.085	0.101	0.112	0.064	0.120	0.106	0.096	0.093	0.133	0.088
TiO <sub>2</sub>	0.000	0.021	0.024	0.000	0.013	0.000	0.043	0.051	0.000	0.042	0.000
FeO	0.239	0.107	0.271	0.167	0.170	0.155	0.170	0.178	0.311	0.348	0.241
MgO	0.000	0.003	0.002	0.000	0.016	0.004	0.005	0.001	0.012	0.016	0.018
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.990	31.285	30.150	28.623	30.357	27.729	30.016	30.592	29.802	30.175	30.485
CaO	14.406	14.769	13.714	11.831	13.510	10.544	13.070	13.839	14.277	13.470	13.746
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.023	0.003	0.036	0.003	0.053	0.003	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000
MnO	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.033	0.020	0.056	0.046	0.000	0.000
Total	99.188	99.307	99.306	98.856	99.197	98.813	99.689	99.663	98.978	99.751	99.675
cation O=24											
Na	0.795	0.761	1.019	1.168	0.918	1.380	1.008	0.913	0.921	0.962	0.918
Si	6.948	6.903	7.041	7.359	7.073	7.517	7.145	7.034	7.047	7.097	7.060
K	0.013	0.015	0.018	0.020	0.011	0.021	0.019	0.017	0.016	0.023	0.015
Ti	0.000	0.002	0.003	0.000	0.001	0.000	0.004	0.005	0.000	0.004	0.000
Fe	0.028	0.012	0.031	0.019	0.020	0.018	0.019	0.020	0.036	0.040	0.028
Mg	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003	0.001	0.001	0.000	0.002	0.003	0.004
Al	5.028	5.073	4.888	4.621	4.908	4.466	4.825	4.934	4.854	4.860	4.913
Ca	2.125	2.177	2.021	1.737	1.986	1.544	1.910	2.029	2.114	1.972	2.014
P	0.003	0.000	0.004	0.000	0.006	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.007	0.005	0.000	0.000
Total	14.938	14.945	15.025	14.924	14.927	14.950	14.941	14.959	14.995	14.962	14.951

Darker part											
wt%											
Na <sub>2</sub> O	4.190	3.315	4.702	4.335	5.432	5.688	4.336	3.398	4.615	3.772	3.335
SiO <sub>2</sub>	52.558	50.889	54.162	54.144	55.641	55.395	53.359	51.621	54.359	51.777	51.051
K <sub>2</sub> O	0.088	0.089	0.130	0.151	0.100	0.130	0.100	0.089	0.167	0.107	0.051
TiO <sub>2</sub>	0.000	0.036	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.025
FeO	0.303	0.260	0.144	0.351	0.122	0.136	0.263	0.215	0.260	0.248	0.293
MgO	0.014	0.012	0.043	0.046	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.013	0.000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.894	30.758	28.955	29.100	27.593	27.735	29.406	30.234	28.739	30.418	30.759
CaO	12.750	14.211	11.939	12.186	10.477	10.339	12.498	13.797	11.722	13.790	14.138
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.010	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.013	0.000
MnO	0.000	0.016	0.030	0.000	0.000	0.000	0.026	0.046	0.000	0.026	0.069
Total	99.797	99.596	100.129	100.313	99.365	99.423	99.996	99.419	99.862	100.164	99.721
cation O=24											
Na	1.108	0.882	1.235	1.137	1.430	1.499	1.142	0.903	1.214	0.997	0.886
Si	7.166	6.980	7.335	7.323	7.556	7.528	7.251	7.076	7.375	7.056	6.992
K	0.015	0.016	0.022	0.026	0.017	0.023	0.017	0.016	0.029	0.019	0.009
Ti	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003
Fe	0.035	0.030	0.016	0.040	0.014	0.015	0.030	0.025	0.030	0.028	0.034
Mg	0.003	0.003	0.009	0.009	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003	0.000
Al	4.804	4.973	4.622	4.639	4.417	4.442	4.710	4.885	4.596	4.886	4.965
Ca	1.863	2.089	1.733	1.766	1.525	1.505	1.820	2.027	1.704	2.014	2.075
P	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Mn	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.003	0.008
Total	14.993	14.977	14.978	14.939	14.959	15.012	14.974	14.939	14.948	15.007	14.970

Appendix 6-6 Representative chemical compositions of plagioclases of anorthositic rock.

Anorthositic rock											
wt%											
Na <sub>2</sub> O	4.334	4.820	3.335	3.147	5.068	4.054	4.874	3.562	3.861	4.423	2.879
SiO <sub>2</sub>	54.312	54.820	51.622	50.905	55.928	54.439	55.148	52.292	52.505	53.856	50.694
K <sub>2</sub> O	0.153	0.198	0.132	0.095	0.169	0.178	0.191	0.123	0.122	0.159	0.083
TiO <sub>2</sub>	0.009	0.015	0.046	0.050	0.023	0.048	0.000	0.026	0.000	0.034	0.000
FeO	0.302	0.290	0.249	0.213	0.174	0.168	0.126	0.238	0.233	0.258	0.202
MgO	0.027	0.007	0.013	0.000	0.000	0.000	0.011	0.018	0.000	0.000	0.014
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.056	28.864	30.384	30.429	28.253	28.951	28.640	30.555	30.479	29.050	31.299
CaO	12.795	11.861	13.859	14.337	10.762	12.047	11.524	13.691	13.733	12.507	14.891
MnO	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.036	0.009	0.028	0.055	0.003	0.030
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.023	0.003	0.003	0.003	0.010	0.007	0.026	0.049	0.000	0.007
Total	100.988	100.898	99.644	99.179	100.383	99.931	100.530	100.559	101.037	100.290	100.099
cation	O=24										
Na	1.131	1.257	0.885	0.840	1.321	1.064	1.272	0.936	1.011	1.162	0.762
Si	7.310	7.371	7.062	7.008	7.518	7.370	7.424	7.084	7.088	7.297	6.923
K	0.026	0.034	0.023	0.017	0.029	0.031	0.033	0.021	0.021	0.028	0.015
Ti	0.001	0.002	0.005	0.005	0.002	0.005	0.000	0.003	0.000	0.004	0.000
Fe	0.034	0.033	0.029	0.025	0.020	0.019	0.014	0.027	0.026	0.029	0.023
Mg	0.006	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.000	0.000	0.003
Al	4.610	4.574	4.899	4.937	4.476	4.620	4.545	4.879	4.850	4.639	5.038
Ca	1.845	1.709	2.032	2.115	1.550	1.748	1.662	1.987	1.987	1.816	2.179
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.003	0.006	0.000	0.003
P	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.006	0.000	0.001
Total	14.963	14.982	14.937	14.946	14.916	14.861	14.955	14.948	14.994	14.975	14.946

Anorthositic rock											
wt%											
Na <sub>2</sub> O	3.976	4.025	3.623	3.686	5.043	4.435	4.743	4.818	5.069	4.690	5.203
SiO <sub>2</sub>	52.764	52.933	51.660	52.320	55.000	53.967	55.473	55.563	55.887	55.055	56.088
K <sub>2</sub> O	0.141	0.092	0.103	0.074	0.183	0.186	0.174	0.189	0.210	0.199	0.205
TiO <sub>2</sub>	0.000	0.009	0.019	0.037	0.022	0.000	0.012	0.000	0.000	0.015	0.019
FeO	0.230	0.182	0.227	0.165	0.146	0.193	0.143	0.121	0.107	0.170	0.134
MgO	0.000	0.000	0.011	0.000	0.003	0.019	0.006	0.004	0.000	0.013	0.000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.065	29.970	30.176	30.152	28.782	29.335	28.525	28.140	28.263	28.809	28.000
CaO	13.284	12.714	13.591	13.374	11.563	12.328	11.328	11.227	10.711	11.621	10.624
MnO	0.000	0.030	0.011	0.049	0.000	0.000	0.055	0.016	0.000	0.000	0.000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.000	0.026	0.007	0.010	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.020
Total	100.460	99.955	99.447	99.864	100.752	100.463	100.475	100.078	100.247	100.572	100.293
cation	O=24										
Na	1.045	1.060	0.963	0.974	1.315	1.162	1.237	1.261	1.323	1.224	1.357
Si	7.152	7.193	7.080	7.129	7.396	7.292	7.461	7.499	7.520	7.408	7.545
K	0.024	0.016	0.018	0.013	0.032	0.032	0.030	0.033	0.036	0.034	0.035
Ti	0.000	0.001	0.002	0.004	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002
Fe	0.026	0.021	0.026	0.019	0.016	0.022	0.016	0.014	0.012	0.019	0.015
Mg	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.004	0.001	0.001	0.000	0.003	0.000
Al	4.804	4.800	4.875	4.842	4.562	4.672	4.522	4.477	4.483	4.569	4.440
Ca	1.930	1.851	1.996	1.953	1.666	1.785	1.632	1.624	1.544	1.676	1.531
Mn	0.000	0.004	0.001	0.006	0.000	0.000	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000
P	0.000	0.000	0.003	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002
Total	14.981	14.945	14.966	14.939	14.992	14.969	14.908	14.909	14.918	14.934	14.927

Appendix6-7 Representative chemical compositions of amphiboles of syn-plutonic dike.

Syn-plutonic dike											
wt%											
Na2O	0.665	1.027	0.564	0.498	0.286	0.896	0.176	0.462	1.089	0.996	1.023
Al2O3	5.490	6.617	4.467	4.986	2.674	5.493	3.256	3.936	6.591	6.551	6.206
K2O	0.187	0.254	0.157	0.184	0.077	0.318	0.102	0.158	0.135	0.114	0.090
MnO	0.385	0.401	0.376	0.304	0.314	0.349	0.273	0.263	1.232	0.999	1.230
FeO	13.578	13.232	10.984	11.318	9.482	12.267	10.495	11.343	13.434	13.175	13.658
MgO	15.829	14.862	16.342	15.828	17.334	14.839	17.207	16.128	14.592	14.683	14.621
SiO2	50.790	49.363	51.881	50.972	53.613	48.914	53.364	52.129	48.806	48.936	49.081
CaO	9.168	10.932	11.245	11.300	11.300	11.373	11.101	11.634	10.826	10.787	10.762
TiO2	0.414	0.751	0.548	0.801	0.339	1.300	0.372	0.609	0.425	0.356	0.370
Total	96.506	97.439	96.564	96.214	95.419	95.749	96.349	96.662	97.130	96.597	97.041
cation	O=23										
Na	0.187	0.287	0.158	0.140	0.080	0.255	0.049	0.129	0.306	0.281	0.288
Al	0.939	1.125	0.758	0.852	0.456	0.951	0.552	0.669	1.126	1.123	1.061
K	0.035	0.047	0.029	0.034	0.014	0.060	0.019	0.029	0.025	0.021	0.017
Mn	0.047	0.049	0.046	0.037	0.039	0.043	0.033	0.032	0.134	0.109	0.134
Fe	1.647	1.596	1.323	1.372	1.147	1.506	1.262	1.368	1.628	1.602	1.657
Mg	3.422	3.195	3.509	3.421	3.738	3.248	3.689	3.468	3.151	3.183	3.162
Si	7.366	7.119	7.472	7.390	7.756	7.182	7.674	7.520	7.071	7.115	7.120
Ca	1.425	1.689	1.736	1.755	1.752	1.789	1.711	1.798	1.681	1.681	1.673
Ti	0.045	0.081	0.059	0.087	0.037	0.144	0.040	0.066	0.052	0.044	0.045
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	15.112	15.189	15.090	15.092	15.019	15.178	15.028	15.080	15.174	15.158	15.157
recalculated											
Al4+	0.593	0.806	0.495	0.580	0.241	0.756	0.321	0.453	0.851	0.813	0.807
Al6+	0.346	0.319	0.263	0.272	0.215	0.195	0.231	0.216	0.274	0.310	0.254
Fe3+	0.236	0.429	0.185	0.176	0.015	0.357	0.030	0.156	0.447	0.413	0.422
Fe2+	1.411	1.167	1.138	1.196	1.133	1.149	1.232	1.212	1.181	1.189	1.236

Syn-plutonic dike						
wt%						
Na2O	1.262	0.921	0.764	0.680	0.847	0.903
Al2O3	6.765	5.991	5.568	4.171	6.072	6.015
K2O	0.130	0.106	0.103	0.131	0.250	0.109
MnO	1.268	0.613	0.676	0.818	0.869	1.102
FeO	14.078	13.129	12.417	12.277	13.566	13.452
MgO	14.314	15.201	15.322	15.716	14.712	14.782
SiO2	48.787	50.130	50.482	52.061	49.948	49.581
CaO	10.807	10.898	11.072	11.711	11.277	10.939
TiO2	0.342	0.307	0.309	0.202	0.309	0.345
Total	97.753	97.296	96.713	97.767	97.850	97.228
cation	O=23					
Na	0.353	0.257	0.214	0.189	0.236	0.253
Al	1.150	1.017	0.949	0.704	1.030	1.026
K	0.024	0.019	0.019	0.024	0.046	0.020
Mn	0.138	0.066	0.074	0.088	0.094	0.120
Fe	1.698	1.582	1.502	1.470	1.633	1.627
Mg	3.078	3.264	3.304	3.353	3.157	3.188
Si	7.037	7.222	7.302	7.452	7.190	7.172
Ca	1.670	1.682	1.716	1.796	1.739	1.696
Ti	0.042	0.037	0.038	0.025	0.038	0.042
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	15.190	15.148	15.117	15.100	15.164	15.144
recalculated						
Al4+	0.876	0.711	0.646	0.508	0.748	0.762
Al6+	0.274	0.306	0.303	0.195	0.282	0.263
Fe3+	0.498	0.387	0.298	0.230	0.356	0.375
Fe2+	1.200	1.195	1.204	1.240	1.277	1.253

Appendix 6-8 Representative chemical compositions of amphiboles of host quartz diorite.

Host quartz diorite											
wt%											
Na <sub>2</sub> O	0.184	1.168	1.064	0.919	1.000	1.138	0.538	1.051	0.826	0.908	1.025
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.073	6.712	6.530	6.547	5.992	6.253	5.860	6.199	6.611	6.870	6.320
K <sub>2</sub> O	0.000	0.091	0.116	0.179	0.139	0.112	0.235	0.089	0.147	0.174	0.147
MnO	1.135	0.401	0.269	0.368	0.416	0.392	0.542	0.404	0.401	0.442	0.410
FeO	20.577	12.739	13.502	14.125	12.670	14.268	15.588	13.398	13.160	14.312	14.329
MgO	18.892	14.452	14.632	14.168	14.240	14.347	13.676	14.555	14.114	13.968	13.870
SiO <sub>2</sub>	54.349	48.542	49.241	49.227	48.456	49.001	50.079	49.333	47.950	48.645	49.352
CaO	1.158	10.837	11.025	10.986	11.086	10.900	9.561	10.985	10.941	10.620	10.916
TiO <sub>2</sub>	0.172	1.459	1.312	1.267	1.350	1.249	0.665	1.259	1.333	1.361	1.219
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.003	0.055	0.032	0.016	0.000	0.022	0.000	0.022	0.042	0.000
Total	97.540	96.404	97.746	97.818	95.365	97.660	96.766	97.273	95.505	97.342	97.588
cation	O=23										
Na	0.052	0.330	0.297	0.257	0.286	0.319	0.153	0.295	0.236	0.256	0.288
Al	0.183	1.152	1.108	1.114	1.042	1.066	1.013	1.057	1.150	1.176	1.079
K	0.000	0.017	0.021	0.033	0.026	0.021	0.044	0.016	0.028	0.032	0.027
Mn	0.139	0.049	0.033	0.045	0.052	0.048	0.067	0.050	0.050	0.054	0.050
Fe	2.493	1.552	1.625	1.706	1.563	1.725	1.911	1.621	1.624	1.738	1.736
Mg	4.079	3.137	3.139	3.050	3.131	3.092	2.989	3.138	3.104	3.024	2.995
Si	7.872	7.069	7.087	7.108	7.147	7.084	7.341	7.135	7.075	7.065	7.149
Ca	0.180	1.691	1.700	1.700	1.752	1.688	1.502	1.702	1.730	1.653	1.694
Ti	0.019	0.160	0.142	0.138	0.150	0.136	0.073	0.137	0.148	0.149	0.133
P	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Total	15.017	15.157	15.159	15.154	15.149	15.179	15.095	15.151	15.147	15.153	15.150
recalculated											
Al <sub>4+</sub>	0.119	0.858	0.841	0.829	0.789	0.833	0.632	0.794	0.862	0.872	0.787
Al <sub>6+</sub>	0.065	0.294	0.267	0.286	0.253	0.233	0.381	0.263	0.288	0.305	0.292
Fe <sub>3+</sub>	0.052	0.422	0.415	0.365	0.372	0.476	0.156	0.407	0.368	0.364	0.372
Fe <sub>2+</sub>	2.441	1.130	1.210	1.341	1.191	1.250	1.755	1.214	1.256	1.375	1.364

Host Quartz diorite											
wt%											
Na <sub>2</sub> O	1.025	0.903	1.005	0.832	1.004	0.797	0.998	1.141	0.951	0.724	0.892
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.632	6.347	6.418	6.520	6.501	6.126	6.199	6.915	6.509	5.633	6.234
K <sub>2</sub> O	0.142	0.190	0.101	0.137	0.167	0.104	0.102	0.133	0.128	0.132	0.127
MnO	0.406	0.482	0.399	0.361	0.404	0.456	0.346	0.330	0.401	0.369	0.422
FeO	13.341	13.640	13.517	14.131	13.757	14.004	13.354	12.283	14.243	14.211	11.899
MgO	13.835	13.012	14.295	14.004	14.245	14.335	14.840	14.248	14.107	14.182	14.177
SiO <sub>2</sub>	48.616	49.069	48.644	48.842	48.511	49.361	49.611	48.345	49.054	49.765	49.449
CaO	11.002	11.092	10.944	10.922	10.684	10.903	10.904	11.066	10.800	10.855	11.276
TiO <sub>2</sub>	1.293	1.141	1.271	1.194	1.265	1.284	1.243	1.473	1.192	1.190	1.277
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.000	0.051	0.003	0.010	0.035	0.000	0.032	0.016	0.000	0.019
Total	96.292	95.876	96.645	96.946	96.548	97.405	97.597	95.966	97.401	97.061	95.772
cation	O=23										
Na	0.291	0.258	0.284	0.235	0.284	0.224	0.279	0.323	0.267	0.204	0.253
Al	1.144	1.103	1.103	1.120	1.119	1.046	1.052	1.191	1.112	0.967	1.075
K	0.027	0.036	0.019	0.025	0.031	0.019	0.019	0.025	0.024	0.025	0.024
Mn	0.050	0.060	0.049	0.045	0.050	0.056	0.042	0.041	0.049	0.046	0.052
Fe	1.633	1.682	1.648	1.722	1.681	1.697	1.608	1.502	1.727	1.730	1.456
Mg	3.019	2.860	3.106	3.042	3.102	3.097	3.186	3.104	3.049	3.078	3.093
Si	7.116	7.236	7.091	7.117	7.086	7.153	7.145	7.066	7.113	7.245	7.237
Ca	1.725	1.753	1.709	1.705	1.672	1.693	1.683	1.733	1.678	1.693	1.768
Ti	0.142	0.127	0.139	0.131	0.139	0.140	0.135	0.162	0.130	0.130	0.141
P	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001
Total	15.147	15.114	15.155	15.143	15.167	15.131	15.148	15.152	15.151	15.117	15.102
recalculated											
Al <sub>4+</sub>	0.821	0.723	0.838	0.821	0.843	0.788	0.787	0.867	0.821	0.707	0.722
Al <sub>6+</sub>	0.323	0.380	0.265	0.299	0.277	0.258	0.265	0.325	0.292	0.260	0.353
Fe <sub>3+</sub>	0.364	0.238	0.410	0.356	0.408	0.336	0.390	0.384	0.385	0.279	0.237
Fe <sub>2+</sub>	1.269	1.444	1.238	1.366	1.273	1.361	1.218	1.117	1.342	1.451	1.220

Appendix6-9 Representative chemical compositions of amphiboles of darkest part.

Darkest part											
wt%											
Na2O	1.109	1.035	1.013	1.102	1.038	1.223	0.926	0.865	0.859	0.911	1.191
Al2O3	6.453	6.819	6.501	6.321	6.507	6.600	7.049	7.192	6.417	6.665	6.940
K2O	0.111	0.176	0.142	0.118	0.139	0.125	0.311	0.227	0.132	0.225	0.101
MnO	0.336	0.391	0.436	0.417	0.351	0.363	0.479	0.486	0.430	0.432	0.314
FeO	12.948	13.664	13.978	12.516	13.931	14.075	13.330	15.290	13.791	13.746	12.358
MgO	14.089	13.741	14.155	14.515	14.327	13.954	13.432	13.353	14.266	13.498	14.805
SiO2	48.198	48.354	48.924	48.772	49.018	48.801	48.360	48.254	48.833	48.885	48.426
CaO	11.123	11.437	10.951	10.978	10.697	10.938	10.650	10.442	11.011	11.320	11.058
TiO2	1.419	1.340	1.342	1.310	1.319	1.284	0.944	1.096	1.405	1.372	1.364
P	0.042	0.010	0.045	0.013	0.039	0.022	0.000	0.026	0.019	0.000	0.016
Total	95.828	96.967	97.487	96.062	97.366	97.385	95.481	97.231	97.163	97.054	96.573
cation O=23											
Na	0.316	0.292	0.285	0.312	0.291	0.344	0.265	0.245	0.242	0.257	0.335
Al	1.117	1.171	1.110	1.088	1.111	1.128	1.228	1.238	1.099	1.145	1.187
K	0.021	0.033	0.026	0.022	0.026	0.023	0.059	0.042	0.024	0.042	0.019
Mn	0.042	0.048	0.053	0.052	0.043	0.045	0.060	0.060	0.053	0.053	0.039
Fe	1.590	1.665	1.693	1.529	1.687	1.706	1.647	1.868	1.675	1.675	1.499
Mg	3.084	2.984	3.056	3.161	3.093	3.015	2.959	2.907	3.089	2.932	3.202
Si	7.078	7.045	7.085	7.125	7.098	7.073	7.145	7.048	7.094	7.123	7.025
Ca	1.750	1.786	1.699	1.718	1.660	1.699	1.686	1.634	1.714	1.767	1.719
Ti	0.157	0.147	0.146	0.144	0.144	0.140	0.105	0.120	0.154	0.150	0.149
Total	15.159	15.173	15.160	15.153	15.157	15.175	15.154	15.166	15.146	15.146	15.174
recalculated											
Al4+	0.850	0.882	0.845	0.806	0.833	0.848	0.805	0.888	0.841	0.822	0.894
Al6+	0.267	0.292	0.282	0.276	0.273	0.291	0.326	0.267	0.218	0.293	0.122
Fe3+	0.417	0.421	0.402	0.396	0.395	0.455	0.288	0.372	0.373	0.315	0.466
Fe2+	1.173	1.244	1.291	1.133	1.292	1.251	1.359	1.496	1.302	1.360	1.033

Darkest part											
wt%											
Na2O	1.047	1.188	1.133	1.014	0.982	1.170	0.910	1.100	0.928	1.215	0.957
Al2O3	6.542	6.691	6.520	6.375	6.529	6.411	5.930	6.479	6.963	6.490	6.568
K2O	0.105	0.110	0.139	0.153	0.113	0.116	0.122	0.168	0.220	0.127	0.143
MnO	0.331	0.256	0.273	0.349	0.356	0.404	0.446	0.429	0.477	0.401	0.416
FeO	12.223	13.178	12.201	13.875	13.654	13.342	13.587	14.139	14.384	13.668	14.092
MgO	15.122	14.701	14.744	14.419	14.536	14.483	13.881	13.885	13.461	14.305	14.070
SiO2	48.992	49.004	48.835	49.234	49.226	49.102	49.371	48.681	48.403	48.642	48.652
CaO	11.058	10.600	11.095	10.926	10.888	10.817	10.723	10.692	10.806	10.865	10.867
TiO2	1.349	1.449	1.456	1.279	1.377	1.356	1.183	1.229	1.365	1.248	1.383
P	0.070	0.000	0.019	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.026	0.000	0.038
Total	96.839	97.177	96.415	97.624	97.664	97.201	96.153	96.802	97.033	96.961	97.186
cation O=23											
Na	0.293	0.333	0.319	0.284	0.275	0.328	0.259	0.311	0.263	0.342	0.270
Al	1.115	1.139	1.117	1.085	1.110	1.094	1.025	1.115	1.198	1.112	1.126
K	0.019	0.020	0.026	0.028	0.021	0.021	0.023	0.031	0.041	0.024	0.027
Mn	0.040	0.031	0.034	0.043	0.044	0.050	0.055	0.053	0.059	0.049	0.051
Fe	1.478	1.592	1.483	1.676	1.647	1.615	1.666	1.726	1.756	1.661	1.713
Mg	3.259	3.166	3.194	3.105	3.125	3.124	3.034	3.021	2.930	3.099	3.049
Si	7.082	7.080	7.096	7.111	7.098	7.106	7.239	7.105	7.067	7.068	7.073
Ca	1.713	1.641	1.728	1.691	1.682	1.677	1.685	1.672	1.690	1.692	1.693
Ti	0.147	0.157	0.159	0.139	0.149	0.148	0.130	0.135	0.150	0.136	0.151
Total	15.154	15.160	15.157	15.162	15.150	15.162	15.117	15.168	15.157	15.183	15.157
recalculated											
Al4+	0.847	0.847	0.835	0.819	0.834	0.820	0.711	0.824	0.873	0.848	0.859
Al6+	0.280	0.292	0.282	0.267	0.276	0.273	0.314	0.291	0.326	0.263	0.267
Fe3+	0.406	0.420	0.396	0.403	0.390	0.425	0.284	0.412	0.350	0.479	0.394
Fe2+	1.071	1.172	1.087	1.273	1.257	1.190	1.382	1.313	1.407	1.182	1.319

Appendix6-9 Representative chemical compositions of amphiboles of darker part.

Darker part											
wt%											
Na2O	0.271	0.984	0.935	1.094	0.930	0.976	0.986	0.792	0.947	1.068	0.896
Al2O3	2.017	6.336	6.551	6.447	6.325	6.394	6.707	6.328	6.698	6.755	6.361
K2O	0.038	0.104	0.134	0.154	0.147	0.148	0.179	0.186	0.176	0.173	0.139
MnO	1.040	0.340	0.359	0.459	0.385	0.511	0.459	0.514	0.424	0.425	0.425
FeO	20.642	13.874	14.151	14.170	14.250	14.898	14.530	14.613	14.584	14.451	14.310
MgO	17.118	13.770	13.663	13.891	14.071	13.976	13.681	13.628	13.498	13.951	14.114
SiO2	53.566	48.764	48.037	48.174	48.635	48.941	48.432	49.060	48.373	48.531	48.661
CaO	2.216	10.813	10.747	10.841	10.674	10.226	10.809	10.514	10.711	10.798	10.224
TiO2	0.267	1.192	1.216	1.322	1.277	1.202	1.205	1.104	1.240	1.242	1.246
P	0.000	0.042	0.000	0.003	0.000	0.026	0.000	0.023	0.006	0.000	0.023
Total	97.175	96.219	95.793	96.555	96.694	97.298	96.988	96.762	96.657	97.394	96.399
cation	O=23										
Na	0.077	0.280	0.268	0.311	0.263	0.275	0.279	0.225	0.269	0.301	0.255
Al	0.347	1.095	1.140	1.113	1.090	1.096	1.154	1.092	1.157	1.156	1.099
K	0.007	0.019	0.025	0.029	0.027	0.028	0.033	0.035	0.033	0.032	0.026
Mn	0.129	0.042	0.045	0.057	0.048	0.063	0.057	0.064	0.053	0.052	0.053
Fe	2.522	1.702	1.747	1.736	1.742	1.813	1.774	1.789	1.788	1.755	1.754
Mg	3.728	3.010	3.006	3.033	3.066	3.031	2.978	2.973	2.949	3.020	3.083
Si	7.825	7.151	7.090	7.056	7.109	7.120	7.071	7.181	7.090	7.048	7.130
Ca	0.347	1.699	1.700	1.701	1.672	1.594	1.691	1.649	1.682	1.680	1.605
Ti	0.029	0.132	0.135	0.146	0.140	0.132	0.132	0.122	0.137	0.136	0.137
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Total	15.010	15.136	15.155	15.181	15.157	15.155	15.170	15.131	15.157	15.181	15.143
recalculated											
Al4+	0.174	0.788	0.842	0.864	0.823	0.813	0.857	0.768	0.845	0.874	0.809
Al6+	0.173	0.308	0.298	0.249	0.266	0.283	0.297	0.323	0.312	0.282	0.290
Fe3+	0.009	0.352	0.392	0.459	0.390	0.384	0.411	0.292	0.375	0.447	0.354
Fe2+	2.513	1.350	1.355	1.277	1.352	1.428	1.363	1.496	1.412	1.308	1.400

Darker part											
wt%											
Na2O	1.070	0.817	0.621	0.067	0.169	0.294	0.161	0.851	0.836	0.781	0.992
Al2O3	6.807	6.497	6.774	1.722	1.986	2.375	0.832	7.035	6.555	6.147	6.508
K2O	0.180	0.158	0.204	0.000	0.062	0.083	0.000	0.144	0.102	0.201	0.085
MnO	0.486	0.366	0.365	1.142	0.991	0.973	0.968	0.340	0.388	0.343	0.365
FeO	14.623	14.095	14.063	20.667	18.952	18.668	19.055	13.759	13.843	13.036	13.732
MgO	13.833	13.891	13.700	18.258	18.308	18.189	20.130	14.162	13.713	15.172	14.028
SiO2	48.554	49.023	48.943	54.142	53.131	52.867	55.328	48.646	49.044	49.763	48.338
CaO	10.912	10.753	10.997	1.651	2.404	2.694	0.988	11.010	11.100	10.739	10.771
TiO2	1.276	1.194	1.032	0.248	0.249	0.312	0.079	1.395	1.392	1.388	1.392
P	0.013	0.006	0.058	0.000	0.000	0.000	0.003	0.038	0.048	0.019	0.000
Total	97.754	96.800	96.757	97.897	96.252	96.455	97.544	97.380	97.021	97.589	96.211
cation	O=23										
Na	0.301	0.231	0.176	0.019	0.048	0.083	0.045	0.239	0.236	0.218	0.282
Al	1.162	1.117	1.167	0.294	0.343	0.409	0.141	1.201	1.125	1.043	1.124
K	0.033	0.030	0.038	0.000	0.012	0.015	0.000	0.027	0.019	0.037	0.016
Mn	0.060	0.045	0.045	0.140	0.123	0.120	0.118	0.042	0.048	0.042	0.045
Fe	1.772	1.720	1.719	2.500	2.321	2.280	2.287	1.667	1.685	1.569	1.684
Mg	2.988	3.022	2.984	3.936	3.996	3.960	4.307	3.058	2.976	3.256	3.065
Si	7.034	7.154	7.151	7.830	7.780	7.721	7.942	7.047	7.139	7.163	7.086
Ca	1.694	1.681	1.722	0.256	0.377	0.422	0.152	1.709	1.731	1.657	1.692
Ti	0.139	0.131	0.113	0.027	0.027	0.034	0.009	0.152	0.152	0.150	0.153
P	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000
Total	15.184	15.131	15.122	15.002	15.027	15.045	15.001	15.146	15.117	15.137	15.148
recalculated											
Al4+	0.887	0.793	0.805	0.168	0.212	0.263	0.058	0.890	0.809	0.784	0.845
Al6+	0.275	0.325	0.362	0.125	0.131	0.145	0.083	0.311	0.315	0.259	0.280
Fe3+	0.453	0.309	0.253	0.006	0.047	0.089	0.002	0.361	0.296	0.303	0.398
Fe2+	1.319	1.412	1.465	2.494	2.274	2.191	2.286	1.306	1.389	1.266	1.285

Appendix6-10 Representative chemical compositions of amphiboles of anorthositic rock.

anorthositic rock						
wt%						
Na <sub>2</sub> O	0.798	0.744	0.958	0.853	0.862	0.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49.082	48.918	48.436	49.446	49.573	48.838
K <sub>2</sub> O	0.188	0.17	0.103	0.147	0.125	0.228
MnO	0.652	0.483	0.443	0.666	0.516	0.541
FeO	14.64	14.128	14.964	14.121	13.598	14.889
MgO	13.71	13.61	12.735	13.759	13.922	13.204
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.399	6.48	6.157	6.478	5.782	6.288
CaO	10.668	10.929	10.892	10.758	11.053	10.628
TiO <sub>2</sub>	1.08	1.29	1.299	1.077	1.128	1.129
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.007	0	0	0.026	0
Total	97.217	96.759	95.987	97.305	96.585	96.635
cation	O=23					
Na	0.22541	0.21088	0.27505	0.24019	0.24426	0.25356
Si	7.15462	7.1544	7.17005	7.18215	7.24208	7.17521
K	0.03502	0.03162	0.0195	0.02723	0.02324	0.04283
Mn	0.08059	0.05982	0.05547	0.08197	0.0638	0.06739
Fe	1.78482	1.72817	1.85259	1.71543	1.66132	1.82933
Mg	2.97915	2.96714	2.81019	2.97931	3.03183	2.8918
Al	1.09936	1.11715	1.07424	1.10919	0.99559	1.08884
Ca	1.66617	1.71264	1.72767	1.67439	1.73017	1.67304
Ti	0.11837	0.14182	0.14461	0.11767	0.12389	0.12478
P	0	0.00018	0	0	0.0008	0
Total	15.1435	15.1245	15.1294	15.1275	15.1194	15.1468
recalculated						
Al <sub>4+</sub>	6.8436	6.83392	6.868	6.83803	6.95376	6.85648
Al <sub>6+</sub>	0.31102	0.32048	0.30205	0.34413	0.28832	0.31873
Fe <sub>3+</sub>	0.32798	0.28133	0.33212	0.30353	0.29122	0.3144
Fe <sub>2+</sub>	1.45685	1.44683	1.52048	1.41189	1.3701	1.51492

Appendix6-11 Representative chemical compositions of pyroxenes of ground-mass of syn-plutonic dike.

Syn-plutonic dike ground mass				Orthopyroxene			
wt%							
Na2O	0.000	0.015	0.021	0.000			
Al2O3	0.790	1.236	0.769	0.683			
K2O	0.000	0.002	0.000	0.000			
TiO2	0.888	0.856	0.989	0.960			
FeO	23.021	23.342	24.276	23.927			
MgO	20.991	20.680	20.327	21.097			
SiO2	53.011	52.740	53.055	53.048			
CaO	0.754	1.023	0.895	0.554			
P2O5	0.000	0.000	0.000	0.000			
MnO	0.179	0.281	0.184	0.100			
Total	99.634	100.175	100.516	100.369			
cation	O=6						
Na	0.003	0.000	0.022	0.002			
Al	0.033	0.035	0.059	0.034			
K	0.000	0.000	0.000	0.000			
Ti	0.028	0.028	0.014	0.031			
Fe	0.709	0.723	0.283	0.761			
Mg	1.187	1.175	0.787	1.135			
Si	1.994	1.991	1.965	1.988			
Ca	0.030	0.030	0.867	0.036			
P	0.000	0.000	0.000	0.000			
Mn	0.004	0.005	0.010	0.005			
Total	3.987	3.987	4.007	3.991			
recalculated							
Al4+	0.006	0.010	0.035	0.013			
Al6+	0.026	0.025	0.024	0.021			

Syn-plutonic dike ground mass				Clinopyroxene					
wt%									
Na2O	0.361	0.217	0.350	0.291	0.269	0.262	0.213	0.276	0.308
Al2O3	1.456	1.435	1.490	1.512	1.647	1.458	1.012	1.547	1.338
K2O	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TiO2	0.382	0.442	0.423	0.393	0.365	0.357	0.344	0.376	0.426
FeO	8.992	8.620	8.881	10.081	9.344	8.921	8.448	8.761	9.019
MgO	14.164	14.123	14.064	14.499	13.611	13.873	14.367	14.180	14.093
SiO2	52.454	52.569	52.371	52.731	52.596	52.784	52.079	52.500	52.449
CaO	21.405	21.347	21.776	20.803	22.053	22.226	22.587	21.643	21.591
P2O5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MnO	0.309	0.346	0.381	0.362	0.355	0.304	0.149	0.333	0.361
Total	99.527	99.099	99.736	100.672	100.240	100.185	99.199	99.616	99.585
cation	O=6								
Na	0.001	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000	0.019	0.012	0.001
Al	0.040	0.036	0.032	0.038	0.033	0.040	0.064	0.082	0.055
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Ti	0.026	0.027	0.026	0.026	0.029	0.027	0.011	0.024	0.027
Fe	0.685	0.709	0.719	0.710	0.729	0.725	0.278	0.644	0.731
Mg	1.204	1.197	1.200	1.193	1.173	1.180	0.770	1.082	1.154
Si	1.993	1.982	1.980	1.988	1.990	1.981	1.966	1.981	1.974
Ca	0.028	0.035	0.033	0.030	0.031	0.034	0.887	0.145	0.041
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.005	0.007	0.005	0.005	0.004	0.006	0.009	0.006	0.008
Total	3.982	3.993	4.000	3.989	3.991	3.993	4.003	3.979	3.991
recalculated									
Al4+	0.007	0.018	0.020	0.012	0.010	0.019	0.034	0.019	0.026
Al6+	0.033	0.018	0.013	0.026	0.022	0.021	0.030	0.063	0.029

Appendix 6-11 Representative chemical compositions of pyroxenes of phenocryst of syn-plutonic dike.

Syn-plutonic dike phenocryst				Orthopyroxene		
wt%						
Na <sub>2</sub> O	0.117	0.059	0.012	0.035	0.000	0.355
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.156	0.978	0.979	0.844	0.942	1.574
K <sub>2</sub> O	0.016	0.000	0.003	0.000	0.011	0.000
TiO <sub>2</sub>	0.697	0.761	0.721	0.737	0.757	0.405
FeO	17.509	20.196	21.432	21.236	21.410	9.021
MgO	20.922	22.745	22.898	22.751	22.966	14.072
SiO <sub>2</sub>	52.741	53.843	53.631	53.151	52.680	52.808
CaO	6.634	1.609	1.045	0.997	1.129	22.296
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MnO	0.294	0.257	0.275	0.189	0.255	0.369
Total	100.086	100.448	100.996	99.940	100.150	100.900
cation	O=6					
Na	0.008	0.004	0.001	0.003	0.000	0.025
Al	0.051	0.042	0.042	0.037	0.041	0.069
K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Ti	0.022	0.024	0.022	0.023	0.024	0.013
Fe	0.544	0.622	0.659	0.660	0.666	0.279
Mg	1.158	1.248	1.255	1.260	1.273	0.777
Si	1.958	1.982	1.972	1.975	1.958	1.955
Ca	0.264	0.063	0.041	0.040	0.045	0.885
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.008	0.007	0.008	0.005	0.007	0.010
Total	4.013	3.992	4.000	4.003	4.014	4.013
recalculated						
Al <sub>4+</sub>	0.042	0.018	0.028	0.025	0.042	0.045
Al <sub>6+</sub>	0.008	0.024	0.014	0.012	0.000	0.024

Syn-plutonic dike phenocryst				Clinopyroxene							
wt%											
Na <sub>2</sub> O	0.281	0.253	0.260	0.219	0.270	0.247	0.270	0.267	0.283	0.194	0.355
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.265	1.563	1.661	1.610	1.766	1.505	1.780	1.707	2.493	1.632	1.574
K <sub>2</sub> O	0.000	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000
TiO <sub>2</sub>	0.416	0.400	0.335	0.486	0.435	0.515	0.416	0.416	0.362	0.514	0.405
FeO	8.825	10.151	8.589	11.708	9.298	11.170	9.524	9.501	7.653	12.445	9.021
MgO	14.054	14.478	13.849	14.784	13.977	14.943	13.729	14.093	12.133	15.030	14.072
SiO <sub>2</sub>	52.245	52.378	51.978	52.362	52.504	51.901	51.609	52.170	50.899	52.090	52.808
CaO	21.291	20.213	21.844	18.405	21.766	18.635	21.606	21.319	21.807	17.605	22.296
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MnO	0.337	0.381	0.361	0.364	0.481	0.412	0.511	0.465	2.398	0.456	0.369
Total	98.714	99.824	98.880	99.938	100.497	99.328	99.445	99.938	98.040	99.966	100.900
cation	O=6										
Na	0.021	0.018	0.019	0.016	0.019	0.018	0.020	0.019	0.021	0.014	0.025
Al	0.056	0.069	0.074	0.071	0.077	0.067	0.079	0.075	0.111	0.072	0.069
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Ti	0.013	0.013	0.011	0.015	0.014	0.016	0.013	0.013	0.012	0.016	0.013
Fe	0.279	0.318	0.271	0.367	0.289	0.352	0.300	0.297	0.243	0.390	0.279
Mg	0.791	0.807	0.778	0.825	0.774	0.839	0.771	0.786	0.686	0.840	0.777
Si	1.972	1.959	1.959	1.960	1.952	1.954	1.943	1.951	1.930	1.953	1.955
Ca	0.861	0.810	0.882	0.738	0.867	0.752	0.872	0.854	0.886	0.707	0.885
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.010	0.011	0.010	0.010	0.013	0.012	0.014	0.013	0.068	0.013	0.010
Total	4.001	4.005	4.004	4.002	4.006	4.010	4.012	4.008	3.957	4.005	4.013
recalculated											
Al <sub>4+</sub>	0.029	0.041	0.041	0.040	0.048	0.046	0.057	0.049	0.070	0.047	0.045
Al <sub>6+</sub>	0.028	0.028	0.033	0.031	0.029	0.021	0.023	0.026	0.041	0.025	0.024

Appendix6-13 Representative chemical compositions of pyroxenes of host quartz diorite.

	host quartz diorite			clinopyroxene				
wt%								
Na <sub>2</sub> O	0.218	0.134	0.231	0.225	0.291	1.073	0.284	0.240
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.765	0.655	0.754	0.811	0.870	6.743	0.907	0.873
K <sub>2</sub> O	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.158	0.000	0.007
TiO <sub>2</sub>	0.147	0.107	0.135	0.127	0.165	1.322	0.179	0.452
FeO	8.878	8.956	8.845	9.129	8.774	13.620	8.738	9.334
MgO	13.303	13.283	13.714	13.871	13.664	14.024	13.476	13.642
SiO <sub>2</sub>	52.763	52.757	53.481	53.505	53.184	49.156	53.688	53.048
CaO	22.534	22.951	22.615	22.354	22.621	11.658	23.214	22.340
MnO	0.482	0.410	0.453	0.509	0.491	0.398	0.524	0.129
Total	99.491	100.267	99.004	99.301	100.473	99.781	100.069	98.689
cation	O=6							
Na	0.016	0.010	0.017	0.016	0.021	0.079	0.020	0.017
Al	0.034	0.029	0.033	0.036	0.038	0.301	0.040	0.038
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000
Ti	0.004	0.003	0.004	0.004	0.005	0.038	0.005	0.014
Fe	0.280	0.282	0.275	0.284	0.274	0.431	0.270	0.292
Mg	0.748	0.746	0.761	0.768	0.760	0.791	0.743	0.760
Si	1.990	1.988	1.991	1.987	1.985	1.861	1.986	1.983
Ca	0.910	0.927	0.902	0.890	0.904	0.473	0.920	0.895
Mn	0.015	0.013	0.014	0.016	0.016	0.013	0.016	0.004
Total	3.997	3.999	3.997	4.000	4.002	3.987	4.000	4.003
recalculated								
Al <sub>4+</sub>	0.010	0.012	0.009	0.013	0.016	0.139	0.015	0.017
Al <sub>6+</sub>	0.024	0.017	0.024	0.023	0.023	0.162	0.025	0.021

Appendix6-14 Representative chemical compositions of pyroxenes of darkest part.

darkest part										
wt%										
Na2O	4.714	6.795	5.567	4.929	4.514	4.165	3.119	4.895	4.609	3.637
SiO2	55.045	59.122	57.333	54.863	53.363	53.584	51.152	54.884	54.568	51.336
K2O	0.160	0.190	0.147	0.137	0.186	0.093	0.041	0.141	0.081	0.081
TiO2	0.039	0.008	0.011	0.000	0.007	0.000	0.031	0.000	0.029	0.000
FeO	0.304	0.180	0.191	0.232	0.194	0.180	0.266	0.160	0.215	0.172
MgO	0.000	0.014	0.015	0.000	0.007	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
Al2O3	28.933	26.184	27.478	28.521	28.672	29.475	30.915	28.965	28.976	30.678
CaO	11.873	8.506	10.034	11.564	11.850	12.396	14.219	11.523	11.907	13.839
MnO	0.038	0.022	0.000	0.052	0.000	0.005	0.017	0.025	0.017	0.002
P2O5	0.000	0.007	0.003	0.003	0.020	0.020	0.000	0.000	0.000	0.037
Total	101.106	101.028	100.779	100.301	98.813	99.931	99.760	100.593	100.402	99.782
cation	O=24									
Na	1.226	1.751	1.442	1.291	1.202	1.096	0.827	1.278	1.206	0.964
Si	7.381	7.858	7.657	7.412	7.325	7.271	6.994	7.387	7.362	7.019
K	0.027	0.032	0.025	0.024	0.033	0.016	0.007	0.024	0.014	0.014
Ti	0.004	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000
Fe	0.034	0.020	0.021	0.026	0.022	0.021	0.030	0.018	0.024	0.020
Mg	0.000	0.003	0.003	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	4.573	4.102	4.326	4.542	4.639	4.714	4.982	4.595	4.608	4.944
Ca	1.706	1.211	1.436	1.674	1.743	1.802	2.083	1.662	1.721	2.027
Mn	0.004	0.003	0.000	0.006	0.000	0.001	0.002	0.003	0.002	0.000
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004
Total	14.955	14.981	14.912	14.974	14.968	14.925	14.929	14.967	14.941	14.992

darkest part										
wt%										
Na2O	5.913	4.829	4.897	4.560	4.954	4.905	4.651	5.479	4.701	4.986
SiO2	57.370	54.681	54.566	54.400	54.280	55.278	53.902	57.174	54.267	55.302
K2O	0.123	0.083	0.082	0.116	0.077	0.109	0.090	0.128	0.107	0.127
TiO2	0.017	0.002	0.019	0.000	0.054	0.024	0.023	0.000	0.016	0.048
FeO	0.212	0.232	0.238	0.212	0.376	0.258	0.238	0.215	0.172	0.279
MgO	0.000	0.011	0.006	0.013	0.219	0.000	0.003	0.038	0.016	0.017
Al2O3	26.977	28.625	28.748	29.045	28.187	28.049	29.131	27.332	28.996	28.647
CaO	9.828	11.662	11.534	11.536	11.162	11.361	12.191	9.720	11.677	11.097
MnO	0.024	0.000	0.000	0.003	0.043	0.028	0.017	0.000	0.016	0.032
P2O5	0.000	0.003	0.000	0.000	0.007	0.000	0.034	0.000	0.017	0.000
Total	100.464	100.128	100.090	99.885	99.359	100.012	100.280	100.086	99.985	100.535
cation	O=24									
Na	1.537	1.267	1.285	1.198	1.310	1.286	1.221	1.427	1.235	1.301
Si	7.692	7.397	7.384	7.368	7.403	7.478	7.298	7.678	7.351	7.439
K	0.021	0.014	0.014	0.020	0.014	0.019	0.016	0.022	0.019	0.022
Ti	0.002	0.000	0.002	0.000	0.006	0.002	0.002	0.000	0.002	0.005
Fe	0.024	0.026	0.027	0.024	0.043	0.029	0.027	0.024	0.019	0.031
Mg	0.000	0.002	0.001	0.003	0.044	0.000	0.001	0.008	0.003	0.003
Al	4.263	4.564	4.585	4.637	4.531	4.472	4.649	4.326	4.630	4.542
Ca	1.412	1.690	1.672	1.674	1.631	1.647	1.769	1.399	1.695	1.599
Mn	0.003	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.002	0.000	0.002	0.004
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000
Total	14.954	14.961	14.971	14.923	14.987	14.937	14.988	14.884	14.956	14.946

Appendix6-11 Representative chemical compositions of pyroxenes of darker part.

	Darker part			Orthopyroxene	
wt%					
Na2O	0.000	0.017	0.000	0.020	0.000
Al2O3	0.932	0.905	0.792	0.666	0.890
K2O	0.006	0.000	0.009	0.004	0.000
TiO2	0.194	0.202	0.269	0.125	0.166
FeO	23.215	22.239	20.613	22.127	21.038
MgO	20.461	21.670	22.325	22.295	22.839
SiO2	52.136	52.911	53.482	53.514	53.326
CaO	1.074	1.099	1.268	0.994	1.210
MnO	1.066	0.939	0.872	0.887	0.863
Total	99.084	99.982	99.630	100.632	100.332
cation O=6					
Na	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
Al	0.042	0.040	0.035	0.029	0.039
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.006	0.006	0.008	0.004	0.005
Fe	0.736	0.695	0.641	0.686	0.651
Mg	1.157	1.207	1.237	1.231	1.260
Si	1.978	1.977	1.988	1.982	1.973
Ca	0.044	0.044	0.051	0.039	0.048
Mn	0.034	0.030	0.027	0.028	0.027
Total	3.996	3.999	3.987	4.000	4.003
recalculated					
Al4+	0.022	0.024	0.012	0.018	0.027
Al6+	0.019	0.016	0.023	0.011	0.012

	Darker part			clinopyroxene							
wt%											
Na2O	0.209	0.252	0.261	0.225	0.205	0.255	0.207	0.130	0.290	0.264	0.314
Al2O3	0.922	0.585	0.584	0.582	0.493	0.676	0.626	0.527	0.874	1.146	0.847
K2O	0.005	0	0	0.007	0	0.008	0.013	0	0.008	0	0
TiO2	0.168	0.089	0.133	0.111	0.126	0.078	0.056	0.099	0.211	0.23	0.162
FeO	9.28	9.622	9.205	9.503	8.782	9.275	9.578	9.483	8.792	9.67	9.758
MgO	13.695	13.191	13.427	13.212	13.586	13.296	13.173	13.391	13.412	14.114	13.628
SiO2	52.913	53.596	53.489	53.109	53.458	53.188	53.041	53.631	53.638	52.686	53.142
CaO	21.668	22.823	22.838	22.857	22.949	22.553	22.822	23.109	22.312	21.638	22.041
MnO	0.533	0.443	0.506	0.519	0.469	0.505	0.415	0.461	0.477	0.447	0.486
Total	99.393	100.601	100.443	100.125	100.068	99.834	99.931	100.831	100.014	100.195	100.378
cation O=6											
Na	0.01525	0.01823	0.01883	0.01633	0.01483	0.019	0.01505	0.00938	0.02098	0.01915	0.0227
Al	0.0408	0.02565	0.02565	0.02568	0.0217	0.030	0.02768	0.02308	0.03838	0.05045	0.03723
K	0.00025	0	0	0.00035	0	0.000	0.00063	0	0.0004	0	0
Ti	0.00475	0.00248	0.00373	0.00313	0.00353	0.002	0.00158	0.00278	0.0059	0.00648	0.00455
Fe	0.29148	0.2996	0.28678	0.29763	0.27413	0.291	0.3005	0.29463	0.27388	0.30198	0.30443
Mg	0.7667	0.73215	0.74558	0.7376	0.75585	0.743	0.73668	0.74158	0.74473	0.78558	0.75788
Si	1.98723	1.99558	1.9924	1.989	1.9952	1.993	1.98988	1.9923	1.99788	1.9672	1.9825
Ca	0.87198	0.91055	0.91153	0.91723	0.91778	0.906	0.9174	0.91983	0.8905	0.8657	0.88103
Mn	0.01695	0.01398	0.01598	0.01648	0.01483	0.016	0.01318	0.0145	0.01505	0.01415	0.01535
Total	3.99538	3.9982	4.00045	4.0034	3.99783	3.999	4.00255	3.99805	3.98768	4.01068	4.00565
recalculated											
Al4+	0.01278	0.00442	0.0076	0.011	0.0048	0.007	0.01012	0.0077	0.00212	0.0328	0.0175
Al6+	0.02803	0.02123	0.01805	0.01468	0.0169	0.023	0.01755	0.01538	0.03625	0.01765	0.01972

## 第7章 まとめ

本博士論文において以下の事が明らかとなった。

(1) 丹沢トータル岩複合岩体主期トータル岩体の帯磁率異方性および古地磁気方位を検討した結果以下のことが明らかとなった。帯磁率面構造の測定結果から、丹沢主期トータル岩には玄倉川、室久保川、水ノ木沢、石割山の4ユニットが識別できる。各ユニット内の帯磁率線構造の傾斜は、ユニット周縁部で急傾斜を示し、内部で緩傾斜を示す傾向があり、マグマは各ユニットの周縁部から環状の割れ目を通して上昇したと考えられる。さらに、岩体内にみられる同時性岩脈と変形構造産状を考慮すると、丹沢トータル岩複合岩体の主期トータル岩体は、横ずれ断層が形成されるテクトニクス場において、プルアパート性開口割れ目を満たすようにトータル岩マグマが上昇することで形成された可能性が高い。各ユニットは、環状割れ目に沿って底部が沈降することで確保された空間が、環状割れ目から供給されたマグマによって満たされたことにより形成された、一種のロポリスであると結論される。

(2) 東山梨一火山深成複合岩体において帯磁率異方性を測定する事により以下の事が明らかとなった。小楯山火山岩類の帯磁率異方性の測定により、帯磁率面構造と溶結レンズの構造が調和的である。今後の調査により小楯山火山岩類全体の構造を明らかに出来る。小鳥山花崗閃緑岩の帯磁率異方性測定により、小鳥山花崗閃緑岩は複数のユニットに分割可能であり、その中心部や壁面には鉛直方向のマグマ流動があったと結論される。

(3) 帯磁率異方性を測定した岩石について、それらに含まれる磁性鉱物について検討した結果、丹沢主期トータル岩体と小鳥山花崗閃緑岩は、磁鉄鉱が多く含まれる強磁性花崗岩であり、その帯磁率異方性は主にチタン磁鉄鉱の配列に由来する。チタン磁鉄鉱の配列は、チタン磁鉄鉱クロットの形態およびチタン磁鉄鉱を含有する角閃石や黒雲母の配列に支配されている。

(4) 丹沢トータル岩中に見られる同時性岩脈やそれに由来する苦鉄質包有岩の産状から、丹沢トータル岩が未固結であった時期に貫入したものであることが判明した。全岩化学組成の特徴から、同時性岩脈マグマと丹沢トータル岩マグマは親マグマを事にすると考えられる。同時性岩脈マグマはリフティングに伴うマンテル物質の減圧融解により生成されたと考えられる。マンテル物質上昇に伴う熱異常により火山フロント側では丹沢トータル岩マグマが生成し、さらに同時性岩脈マグマが丹沢トータル岩マグマに貫入した。

(5)「的様」周辺の野外調査，顕微鏡観察，主成分化学組成分析，鉱物分析により以下の事が判明した．主に斜長石からなるクリスタルマッシュ状態にあった丹沢トータル岩体に，より高温の苦鉄質マグマが貫入した．苦鉄質マグマにより供給された熱により，粒間のメルトの移動が起こり，斜長岩質岩が集積した．そのメルトは岩脈状に母岩である丹沢トータル岩に貫入した．メルトと斜長石を含むマグマの流動時の流動分化，もしくはthermal plumeの形成により同心円状の構造を持つ「的様」が形成されたと考えられる．すなわち，丹沢トータル岩体は，それがまだ未固結であった時期に苦鉄質マグマの貫入を受け，それにより供給された熱により部分的な組成不均質を形作るような局所対流が生じた．

最後に，今回調査した二つの火成岩体の大部分は，一見塊状で無構造のように思われていたが，帯磁率異方性測定により，その構造を科学的に明らかにする事が出来た．このように火成岩体の貫入・定置メカニズムを検討するにあたり，帯磁率異方性測定は非常に有用であると結論される．

## 謝辞

本博士論文を作成するに当たり、田結庄良昭発達科学部教授、高橋正樹日本大学文理学部教授には、野外調査から論文作成まで丁寧にご指導いただいた。岡田誠茨城大学助教授には帯磁率異方性や残留磁化測定について直接ご指導いただいた。茨城大学や神戸大学の諸先輩方、同輩、後輩との議論により本論分は大きな影響を受け、進化することができたと確信している。また、副査である尼川大作発達科学部教授ならびに佐藤博明理学部教授には本論文の審査をしていただいた。

以上の皆様に厚く御礼申し上げます。

## 文献

- 天野一男, 1986, 多重衝突帯としての南部フォッサマグナ, 月刊地球, 8, 581-585.
- 天野一男・石田高・Martin, A. J.・田中館宏橋・納谷友規・鈴木久美子・菅沼悠介・岡田誠, 1998, 南部フォッサマグナにおける被衝突地塊の回転運動, 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 22.
- 天野一男・Martin, A. J.・依田直樹・会津隆士・田中館宏橋・納谷友規・原田明敏・松原典孝・遠藤和麻・山浦亮一, 2003, 南部フォッサマグナにおける中新世水中火山岩の特徴, 日本地質学会第110年学術大会講演要旨, 72.
- 荒井融, 1987, 丹沢山地のテクトニクスー変成岩類の相解析による考察ー. 地質雑, 93, 185-200.
- Archanjo, C. J., Launeau, P. and Bouchez J. L., 1995, Magnetic fabric vs. Magnetite and biotite shape fabrics of the magnetite-bearing granite pluton of Gameleiras (Northeast Brazil). *Phys. Earth Planet. inter.* 89, 63-75.
- 有馬眞・青池寛・川手新一, 1999, 丹沢山地の構造発達史. 神奈川博調査研報(自然), 3, 57-77.
- Blenkinsop, T., 2000, *Deformation Microstructures and Mechanisms in Minerals and Rocks*. Kluwer Dordrecht, 150p.
- Bouchez, J. L., 1997, Granite is never isotropic: an introduction to AMS studies of granitic rocks. In: Bouchez J. L., Hutton, D. H. W., Stephanson, and W. E. eds., *Granite: from segregation of melt to emplacement fabrics*. Kluwer, Dordrecht, 95-112.
- Cañón-Tapia, E., 1996, Single-grain versus distribution anisotropy: a simple three-dimensional model. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 94, 149-158.
- Carmichael, I. S. E., 1967, The Iron-titanium oxides of salic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 14, 36-64.
- 鎮西清高, 1991, 貝化石から見た丹沢の歴史. 神奈川県立博物館編, 南の海から来た丹ープレートテクトニクスの不思議, 有隣堂, 94-122.
- Clemens, J. D., 1998, Observation on the origins and ascent mechanisms of granitic magmas. *Jour. Geol. Soc. London*, 155, 843-851.
- Cruden, A. R., 1998, On the emplacement of tabular granite. *Jour. Geol. Soc. London*, 155, 853-862.
- Cruden, A. R., Tobisch, O. T. and Launeau, P., 1999, Magnetic fabric

- evidence for conduit-fed emplacement of a tabular intrusion: Dinkey Creek Pluton, central Sierra Nevada Batholith, California. *Jour. Geophys. Res.* **104**, B5, 10511-10530.
- Didier, J. and Barbarin, B., 1991, *Enclaves and Granite Petrology*. Elsevier, Amsterdam, 625p.
- Ferré, E. C., Bordarier, C. and Marsh, J. S., 2002, Magma flow inferred from AMS fabrics in a layered mafic sill, Insizwa, South Africa. *Tectonophysics*, **354**, 1-23.
- Fisher, R., 1953, Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, **217**, 295-305.
- Frost, B.R. and Lindsley, D.H., 1991, Occurrence of Iron-Titanium Oxides in Igneous Rocks, *In* Lindsley D. H., eds, *Reviews in Mineralogy*, **25**, 433-468.
- Frost, B.R. and Lindsley, D.H., 1992, Equilibria among Fe-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz: Part II. Application, *Amer. Miner.*, **77**, 1004-1020.
- Ghiorso M.S., Sack R.O., 1991, Fe-Ti oxide Geothermometry: Thermodynamic Formulation and the Estimation of Intensive Variables in Silicic Magmas. *Contrib. Mineral. Petrol.* **108**, 485-510.
- Gill, J. B., 1981, *Orogenic andesites and plate tectonics*. Springer, Berlin, 390p.
- Grégoire, V., Darrozes, J., Gaillot, P. and Nédélec, A., 1998, Magnetite grain shape fabric and distribution anisotropy vs rock magnetic fabric: a three-dimensional case study. *Jour. Struct. Geol.*, **20**, 937-994.
- Grégoire, V., de Saint Blanquant, M., Nédélec, A. and Bouchez, J. L., 1995, Shape anisotropy versus magnetic interactions of magnetite grains: Experiments and application to AMS in granitic rocks. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2765-2768.
- Greiling, R. O. and Verma P. K., 2001, Strike-slip tectonics and granitoid emplacement: an AMS fabric study from the Odenwald Crystalline Complex, SW Germany. *Mineral. Petrol.*, **72**, 165-184.
- Haggerty, S. E., 1991, Oxide textures • a Mini-Atlas, *In* Lindsley D. H., eds, *Reviews in Mineralogy*, **25**, 129-137.
- Hargraves, R. B., Johnson, D. and Chan, C. Y., 1991, Distributhin anisotropy: The cause of AMS in igneous rocks?. *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 2193-2196.

- 今永勇・山下浩之, 1999, 足柄・丹沢・三浦半島に分布する新生代火成活動の K-Ar 年代. 神奈川博調査研報 (自然), 3, 179-188.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293-305.
- 石原舜三・金谷弘・寺島滋, 1976, フォッサマグナ地域の新第三紀花崗岩類の成因. 海洋科学, 8, 19-27.
- Ishizaka, K. and Yanagi, T., 1977, K, Rb, and Sr abundance and Sr isotopic composition of the Tanzawa granitic and associated gabbroic rocks in Japan: Low-potash island arc plutonic complex. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 33, 345-352.
- Jelinek, V., 1978, Statistical processing of magnetic susceptibility measured in groups of specimens. *Stud. Geoph. Geod.*, 22, 50-62.
- Jelinek, V., 1981, Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, 79, T63-T67.
- Kanamaru, T. and Takahashi, M., 2003, Mode of emplacement of Tanzawa tonalite inferred from AMS fabrics. *Hutton Symposium V, Abstract with program, GSJ, Interim-Report*, 29, 66.
- Kawano, Y. and Ueda, Y., 1966, K-Ar dating of the igneous rocks in Japan (IV) Granitic rocks of the backbone range in northeastern Japan and its western district. *Sci. Rept. Tohoku Univ. Ser. III*, 9, 525-539.
- Kawate, S., 1997, Geological models of the oceanic island arc system: An example of the Tanzawa Mountainland, Central Japan. *Ph. D. thesis, Institute of Mineral., Petrol. and Economic Geol., Faculty of Sci., Tohoku Univ., Sendai, Japan.*
- 川手新一, 1998, 丹沢深成岩類の成因と伊豆孤火山岩. 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 172.
- Kawate, S. and Arima, M., 1998, Tanzawa plutonic complex, central Japan: Exposed felsic middle crust of Izu arc. *The Island Arc*, 7, 342-358.
- Kosaka, K., Shimizu, M. and Takizawa, S., 1999, Delineation of deformation grade of low-strain granitoids using assemblages of elementary deformation textures. *Jour. Struct. Geol.*, 21, 1525-1534.
- Komar, P. D., 1972, Mechanical Interactions of Phenocrysts and Flow Differentiation of Igneous Dikes and Sills. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83, 973-988.
- Leak, B. E., 1978, Nomenclature of amphiboles. *Amer. Miner.*, 63, 1023-1952.

- Lindsley, H. D., 1983, Pyroxene thermometry, *Amer. Miner.*, **68**, 477-493.
- Lindsley, H. D. and Frost, B. R., 1992, Equilibria among Te-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz: Part I. Theory, *Amer. Miner.*, **77**, 987-1003.
- López de Luchi, M. G., Rapalini, A. E., Rosello, E. and Geuna, S., 2002, Rock and magnetic fabric of the Renca Batholith (Sierra de San Luis, Argentina): constraints on emplacement. *Lithos*, **61**, 161-186.
- Masuda A., Nakamura N., and Tanaka T., 1973, Fine structure of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **37**, 239-248.
- 松田時彦, 1966, 地蔵平付近の地質, とくに侵入岩類について. 神奈川県温泉研究報告, **4**, 21-30.
- McNulty, B. A., Tobisch, O. T., Cruden, A. R. and Gilder, S., 2000, Multistage emplacement of the Mount Givens pluton, central Sierra Nevada batholith, California. *Geological Society of America Bulletin*, **112**, 119-135.
- 見上敬三, 1958, 丹沢山地の火性活動と構造発達史. 藤本治義教授還暦記念論文集, 232-224.
- 三村弘二・加藤祐三・片山正人, 1984, 5万分の1地質図幅「御岳昇仙峡」, 地質調査所, 61p.
- 三村弘二・山田直利, 1972, 東山梨火山-深成複合岩体, 火山学会講演要旨, **17**, 32.
- 森下正信, 1933, 花崗岩の地質構造を論じて特に丹沢山塊に及ぶ. 地質雑, **40**, 325-327.
- 森下正信, 1934, 丹沢石英閃緑岩体の構造. 地質雑, **41**, 491-514.
- Niitusma, N., 1989, Collision Tectonics in the South Fossa Magna, Central Japan, *Modern, Geology*, **14**, 1/2, 3-18.
- Olivier, P., Améglio, L., Richen, H. and Vadeboin, F., 1999, Emplacement of the Aya Variscan granitic pluton (Basque Pyrenees) in a dextral transcurrent regime inferred from a combined magneto-structural and gravimetric study. *Jour. Geol. Soc., London*, **156**, 991-1002.
- Otofujii, Y., Enami, R., Yokoyama, M., Kamiya, K., Kuma, S., Saito, H. and Matsuda, T., 1999, Miocene clockwise rotation of southwest Japan and formation of curvature of the Median Tectonic Line: Paleomagnetic implications. *Jour. Geophys. Res.*, **104**, 12895-12907.
- Paterson, S. R., Vernon, R. H. and Tobisch, O. T., 1989, A review of

- criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *Jour. Struct. Geol.*, **11**, 349-363.
- Saito, K., 1993,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  studies on some Tanzawa tonalite samples. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **45**, 261-272.
- Saito, K., Otomo, I. and Takai, T., 1991, K-Ar dating of the Tanzawa tonalitic body and some restrictions on the collision tectonics in the South Fossa Magna, Central Japan. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **43**, 921-935.
- Sato, K., 1991, Miocene granitoid magmatism at the island-arc junction, central Japan. *Modern Geology*, **15**, 367-399.
- 佐藤興平・柴田賢・内海茂, 1986, 丹沢トータル岩質岩体の角閃石と黒雲母のK-Ar 不一致年代. *地質雑*, **92**, 439-446.
- 佐藤興平・鈴木正男・柴田賢, 1990, アパタイトのフィッシュン・トラック年代からみた丹沢岩体の冷却史と丹沢山地の変成作用. *地質学雑*, **96**, 69-72.
- Schofield, D. I. and D' lemos, R. S., 1998, Relationships between syn-tectonic granite fabrics and regional PTtd paths: an example from the Gander-Avalon boundary. *Jour. Struct. Geol.*, **20**, 459-471.
- Seki, Y., Oki, Y., Matsuda, T., Mikami, K., and Okumura, K., 1969, Metamorphism in the Tanzawa mountains, central Japan (I). *Jour. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol.*, **61**, 1-24.
- Siegesmund, S. and Becker, J. K., 2000, Emplacement of the Ardara pluton (Ireland): new constraints from magnetic fabrics, rock fabrics and age dating. *Int. Jour. Earth Sci.*, **89**, 307-327.
- 杉山明, 1976, 丹沢山地の地質構造発達史(I)層序および構造. *地質雑*, **82**, 699-712.
- 相馬恒夫, 1968, フォッサマグナの第三紀深成岩. 日本地質学会第75年秋期学術大会討論会資料” フォッサマグナ”, 99-107.
- 相馬恒夫・吉田勝, 1968, 丹沢山地の岩石と構造(4) - 深成活動と変成作用. *岩鉱*, **60**, 102-117.
- Taira, A., Saito, S., Aoike, K., Morita, S., Tokuyama, H., Suyehiro, K., TaSkahashi, N., Shinohara, M., Kiyokawa, S., Naka, J. and Klaus, A., 1997, Nature and growths rate of the northern Izu-Bonin (Ogasawara) arc crust and their implications for continental crust formation. *The Island Arc*, **7**, 395-407.
- Takahashi, M., 1990, Subvolcanic Vertical Zoned Granitic Plutons. *Univ. Mus., Univ. Tokyo, Nature and Culture.*, **2**, 35-48.
- 高橋正樹・金丸龍夫・岡田誠, 2000, 帯磁率異方性から見た花崗岩マグマの貫入・

- 定置メカニズム. 月刊地球, 30, 114-119.
- 高橋正樹・金丸龍夫・二平聡, 2004, 丹沢トータル岩体の全岩化学組成—分析値171個の総括—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 39, 259-284.
- 滝田良基, 1974, 丹沢トータル岩複合岩体の岩石記載と岩体形成史. 地質雑, 80, 505-523.
- 滝田良基, 1980, 丹沢山地の斑れい岩質岩類の岩石学的研究—特にトータル岩との成因関係について—. 地質雑, 86, 369-387.
- Tarling, D. H. and Hrouda, F., 1993, *The Magnetic anisotropy of rocks*. Chapman & Hall, London, 217p
- Tikoff, B. and Teyssier, C., 1992, Crustal-scale, en-echelon “P-shear” tensional bridges: A possible solution to the batholithic room problem. *Geology*, 20, 927-930.
- 鳥海光弘・荒井融, 1986, 変成作用から見た伊豆・マリアナ孤の衝突. 月刊地球, 8, 612-615.
- 角田謙朗, 1989, 甲府北部深成岩類について(その7)—笛吹川上流域の小烏山花崗閃緑岩—, 山梨大学教育学部研究報告, 40, 71-76.
- Vigneresse, J. L., 1995, Control of granite emplacement by regional deformation. *Tectonophysics*, 249, 173-186.
- Yoshii, M., 1928, On the geology of the Tanzawa mountainland, with special reference to the Misaka metamorphics Japan. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, 6, 53-60.
- 吉倉紳一・熱田真一, 2000, 花崗岩体に記録されたマグマ混交・混合現象. 月刊地球号外, 30, 140-145.
- Weinberg, R. F., Sial, A. N. and Pessoa, R. R., 2001, Magma flow within the Tavares pluton, northern Brazil: Compositional and thermal convection. *Geological Society of America bulletin*, 113, 508-520.
- Zijderveld, J. D. A., 1967, A. C. demagnetization of rocks: analysis of results. In Collinson, D. W., Creer, K. M. and Runcorn, S. K., eds., *Methods in palaeomagnetism*, Elsevier, Amsterdam, 254-286.