

物理定数から見た白亜紀—古第三紀花崗岩類— その1. 東北地方北部

金谷 弘・大熊茂雄

Hiroshi Kanaya and Shigeo Okuma (2003) Physical properties of Cretaceous to Paleogene granitic rocks in Japan: Part 1. A case of the northern Tohoku region. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 54(5/6), p. 221-233, 9 figs.

Abstract: The distribution of granitic rocks occupies 12 percent of the Japanese Islands, but the physical properties of the granitic rocks such as density, porosity, natural remanent magnetization (NRM), and ultrasonic velocity have only been reported for small limited areas with an exception of magnetic susceptibility for the regional areas. The aim of this study is to clarify the physical properties of granitic rocks in the Japanese Islands by the systematic measurements under the same precision and to try to discuss the characteristics of each exposure area and the differentiation process of magma.

Samples were collected at about 570 outcrops from four areas (Kitakami Mountains, Taiheizan, Kurikoma-Narugo and Murakami areas) in the northern Tohoku region. All the samples were measured on density, magnetic susceptibility and NRM.

The results are summarized as follows:

1. Density

The mean density of these areas varies from 2.66 to 2.77($\text{g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$), the lowest one is Murakami area, the second Kurikoma-Narugo area, the third Taiheizan area and the highest is Kitakami Mountains.

2. Porosity

There is no large difference between the four areas. The variation range is about 0.4~0.5(%)

3. Magnetic susceptibility

All the samples can be sectioned within a zone bounded by two straight lines, in a density - magnetic susceptibility chart: The samples in these four areas lie in each characteristic zone. Magnetic susceptibilities near along the lower line are subject to the content of paramagnetic rock-forming iron minerals in granitic rocks.

4. Natural remanent magnetization (NRM)

The relation between the density and NRM shows a pattern similar to that between density and magnetic susceptibility but less correlative. Königsberger ratio (Q_n) of 70 percent or more granitic rocks shows less than 0.4 in this region. Consequently, NRM is negligible for a case of analysing magnetic anomaly in the field.

Keywords: density, porosity, magnetic properties, granitic rocks, Kitakami Mountains, Taiheizan area, Kurikoma-Narugo area, Murakami area.

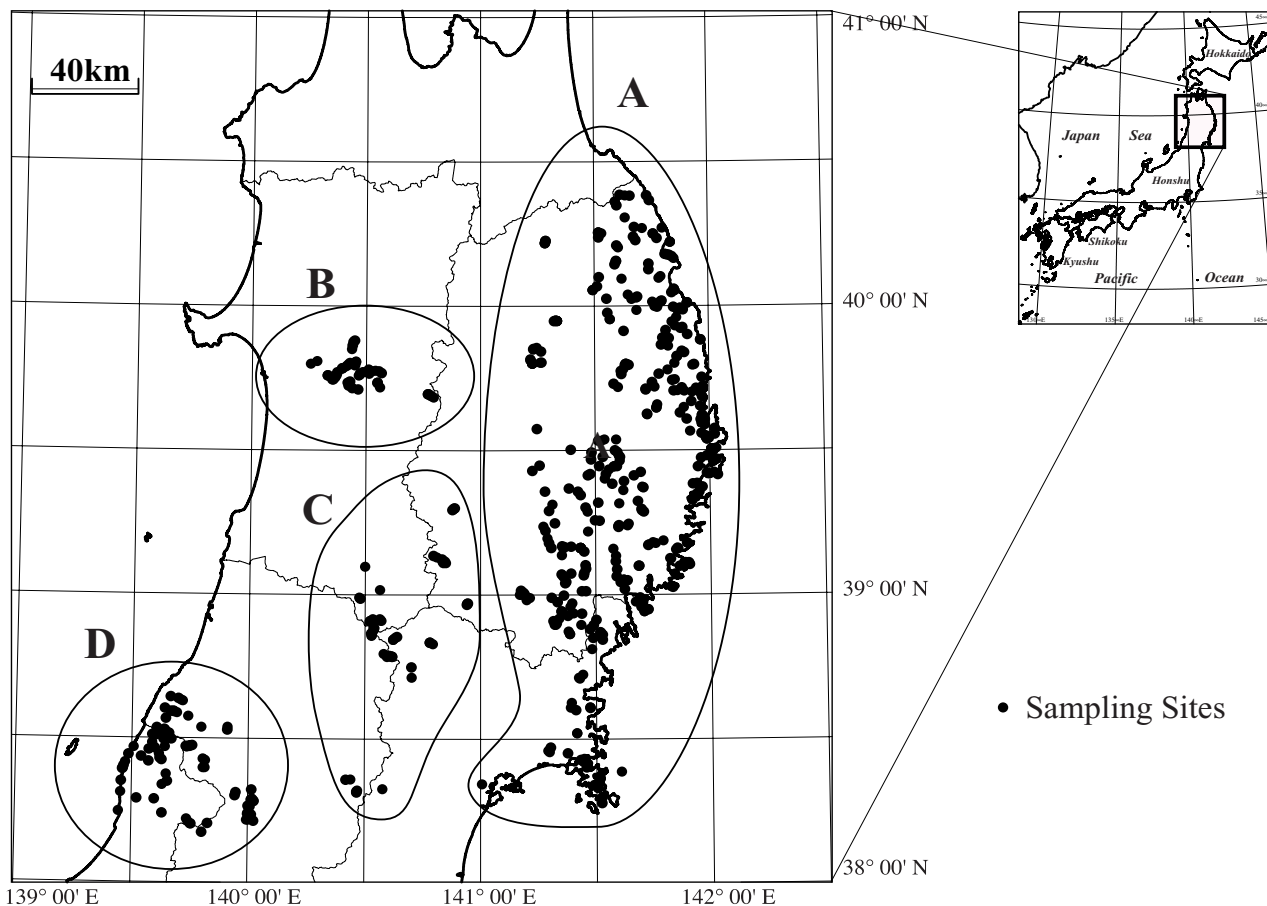
要 旨

本研究は、日本列島に分布する白亜紀—古第三紀花崗岩類を対象に、それらが持つ物理定数、密度・孔隙率・磁化率・残留磁化そして Q_n 比(Königsberger ratio)などを系統的に集約し、花崗岩類が共通して持つ性質や、それとは逆に、各時代や地域が持つ特有の性質を明確にし、地質構造の解析や、公害や環境問題、災害予知など各方面に必要な基礎資料を提供する事を目標にとりまとめた。今回は東北地方北部を対象に570余露頭より採取した花崗岩試料の結果を集約した。対象とした4地域は、北上山地、太平山地

域、栗駒—鳴子地域そして村上地域である。その結果は以下のようなものである。

4地域の平均密度は2.66~2.77($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)で村上地域が一番小さく北上山地が最も大きい。孔隙率は0.4~0.6(%)で地域による差は殆んど認められない。磁化率は密度が2.60~2.95の変化(SiO_2 は約77~42(%))に対し10倍に増加する。これらの関係において磁化率はまた、上限、下限の2直線に挟まれる範囲に収まり、4地域独自の空間を占有する。 Q_n 比は0~0.4を示すものが圧倒的に多く、磁気図解釈の際、残留磁化を考慮する必要はない。磁化率の低い岩石にも残留磁化を担う強磁性鉱物が存在している。

¹地球科学情報研究部門 地球物理情報RG (Geophysical Mapping Research Group, Institute of Geoscience, GSJ)



第1図 研究対象地域と岩石採取地点(東北地方北部地域)。

A: 北上山地, B: 太平山地域, C: 栗駒一鳴子地域, D: 村上地域。

Fig. 1 Location map of the study area (northern Tohoku region).

A: Kitakami Mountains, B: Taiheizan area, C: Kurikoma-Narugo area, D: Murakami area.

1. はじめに

日本列島の基盤を構成する深成岩類のうち花崗岩類が占める露出面積の割合は列島全体の約12パーセントを占め、これらのもつ物理的性質はこれまでも数多く報告されてきている。しかしながらこれら報告はその目的や種類により、また対象地域や測定精度も千差万別であって、これらを集約するには多くの困難を伴い有用なデータとして活用されることは期待できない。

このため、これら要望に耐えうる花崗岩類のもついくつかの定数について、筆者らがこれまでに蓄積してきたデータを順次地域ごとに集約・公表し、これら数値の持つ意味や傾向、地域の特徴、問題点について考察・検討を行う。

今回は東北地方北部から採取した570余個の花崗岩試料の密度、磁化率、孔隙率そして Q_n 比を用いて、これら物理定数のもつ意味や岩石の成因に関係があると推測される事柄について考察した。

これらデータは測定精度を確保するため、測定方法を統一し測定機種による機差や経年変化も考慮に入れデータの質の確保に配慮した。また花崗岩類試料の不均質性の

問題や元素存在量との関係、鏡下観察との整合性なども含め、これらについては稿を改めて報告を予定している。

2. 研究の概要

地殻を構成する岩石の成因を解明する方法にはいくつかの手法が存在する。岩石を構成する鉱物の種類やその組み合わせ、量比、それら鉱物をもつ光学的性質の違い等、また岩石化学の立場から存在元素の違い、量比の大小など、また同位体を使用するなど多くの方法が用いられてきている。ここでは求められた物理定数のなから岩石密度、孔隙率、磁化率(帯磁率)そして残留磁化などからこれらの関係を明確にし、成因などに関する新知見を得ることを目標とした。またこれら結果は重力探査や磁気探査による地質構造の解釈の一助になることも期待している。

今回は本州の北緯38°10′の東西断面より北に露出する白亜紀—古第三紀花崗岩類(第1図)を対象とした地域、北上山地花崗岩類(北部北上、南部北上山地)、太平山地域(太平山複合岩体、生保内岩体)、栗駒一鳴子地域(または神室山—栗駒山地)の花崗岩類そして村上地域(羽越地

域)の花崗岩類である。ここで使用した岩石試料およびその詳細については、産業技術総合研究所のRIO-DB(研究情報公開データベース)の一貫としてWebサイト(<http://www.aist.go.jp/RIODB/pb-rock21/>)からダウンロードが可能である(Okuma *et al* (2003)を参照の事)。

これら地域に関する地質、岩石、地質構造、絶対年代などの報告は非常に多いが、ここでは当報告をまとめるに当たって参考にした論文、参考資料のなかから最も多用した記載の基となっているものを以下に記載する。

北上山地:白亜紀花崗岩質岩類の帯状区分(片田ほか, 1971)、北上山地の白亜紀花崗岩類(片田ほか, 1974a,b)に使用されている分類と用語。

太平山地域:太平山地域の地質, 5万分の1地質図幅「太平山」(大沢ほか, 1981)に使用されている凡例中の分類および用語。

栗駒一鳴子地域:神室山—栗駒山地域の先新第三紀基盤岩類(その1, その2, 笹田, 1984, 1985)にみられる分類と用語。

村上地域:村上朝日山地南西部の地質(その1, その2, 朝日団体研究グループ, 1987, 1995)に使用されている分類と用語, 新潟・山形県境, 日本国マイロナイト帯の地質と構造(高橋, 1998), 20万分の1地質図幅「村上」(土屋ほか, 1999)に使用されている凡例中の分類および用語。

3. 試料および測定方法

3.1 測定試料

露頭より数kgの岩石塊を採取し、これより残留磁化、磁化率そして密度測定用に円筒カッタービットを用いて円柱状試料をくりぬき、これを切断して円筒試料3~6個を作成した。円筒試料の大きさは直径、長さ共に25.4(または25.0)mmである。この大きさは、帯磁率計(磁化率計)そしてスピナー磁力計の試料ホルダーの大きさによる。

3.2 測定器および測定方法

磁化率測定はBison 3101型帯磁率計(Bison社, 米国)およびMS2(MS2B)型帯磁率計(Bartington社, 英国)を用いた。残留磁化測定はスピナー磁力計SMM-85型(またはSMD-88)(夏原技研, 日本国)を使用した。またこれら値はSI慣用系(河野, 1982; 小玉, 1999)に換算して表示した。従って表示単位は磁化率(無名数), 磁化(A/m)であって、以後の記載は全てこのSI慣用系による。

磁化率測定は整形試料をBison 3101型帯磁率計およびMS2(MS2B)型帯磁率計双方で測定を行い、最低3試料の平均値を表示した。測定値の再現性はかなり良好である。両機種合わせた磁化率の測定範囲は 10^{-6} ~ 10^0 (SI)であり今回の試料測定には十分な精度であった。

残留磁化測定に用いたスピナー磁力計SMM-85型は、

X, Y, Z軸方向それぞれ4回(6スピン), スタック回数約35回の時、全磁力のバラツキ(1σ)が50パーセントを示す時の値はおおよそ 3×10^{-3} ($\times 10^{-6} \text{Am}^2$)で測定試料の大きさを考慮すると単位体積当たり 2.3×10^{-4} (A/m)であり、今回の弱い試料の測定には必ずしも十分な感度ではない。

密度測定は測定試料の3つの状態を秤量する。1, 強制湿润状態における水中重量, 2, これを空気中に取り出し表面水を拭き取り空中重量, 3, 強制乾燥状態における空中重量である。この場合、使用に供した水は純水(水道水を活性炭とイオン交換樹脂に通したもの)を用い、秤量は上皿天秤の下部フックにケージを吊し、水中重量を、空中に取り出し短時間で表面水を拭き取り空中重量を、これとは別に、乾燥重量の測定は、試料を強制乾燥状態(またはそれと類似の状態)にしたものの秤量を行った。

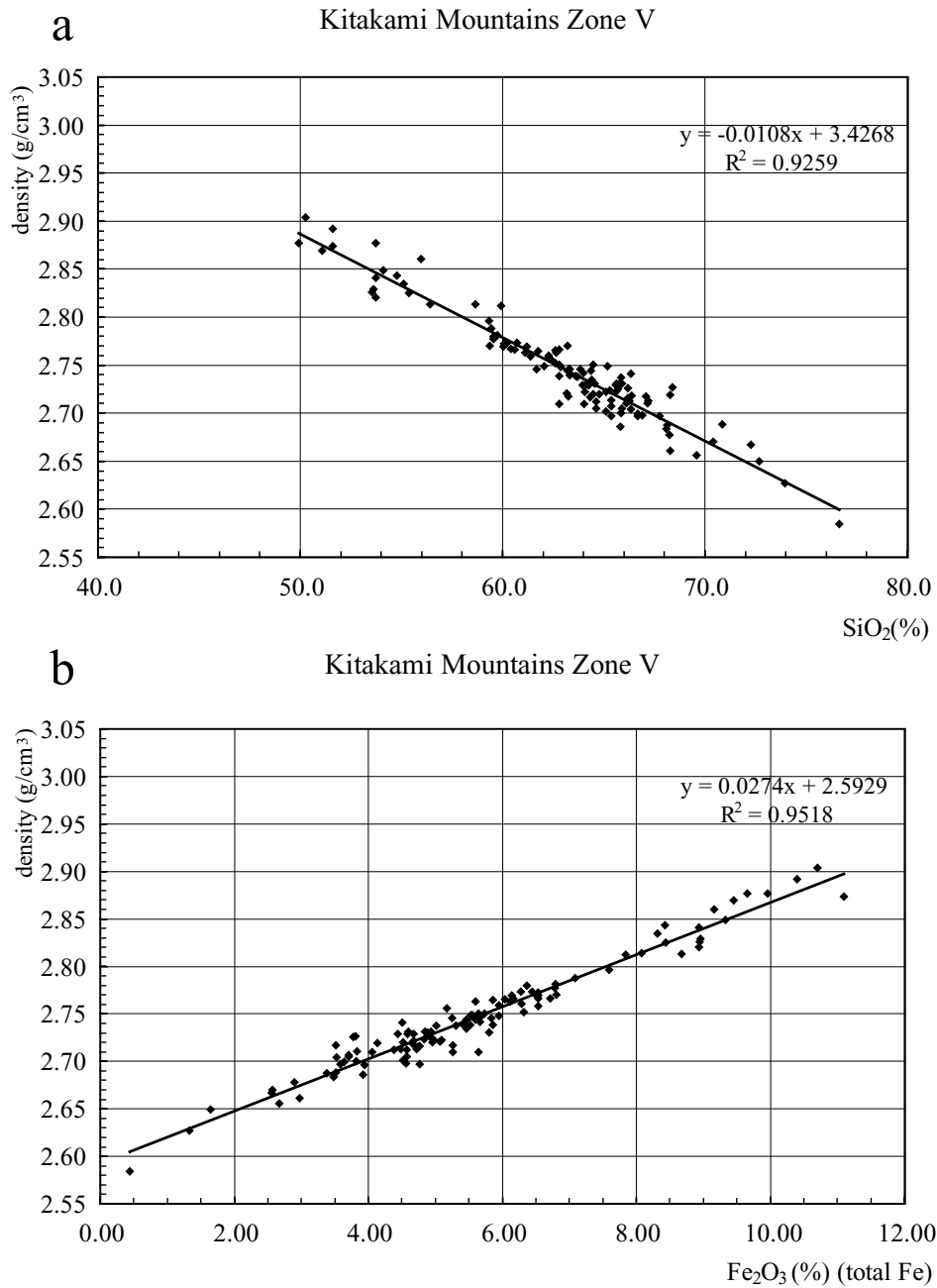
強制乾燥状態にするには通常一定の熱を加え乾燥状態にするが、ここでは試料中の弱い残留磁化の消滅や試料の変形を恐れ熱を加えなかった。測定試料を特殊空調室、または3~4階以上の高い階にて長期間放置(特殊空調室2ヶ月, 高層階3~9ヶ月)し特殊空調室ないしは大気湿度の低い季節(秋~冬)に測定することで通常の強性乾燥状態に近い測定が可能であった。また短時間でこれを行うには、真空槽中で減圧後(6~10時間, 試料の量による)24時間以上放置した。これらは 120°C , 2時間, デシケータの結果と見合うものである。

4. 測定結果

測定結果を表示するに当たり花崗岩類の分化指数として密度(乾燥密度, ρ_d)を横軸に採用した。通常、花崗岩類を表示する場合、横軸に SiO_2 やDI(differentiation index)を使用するが多い。この場合、 SiO_2 はおおよそ重量パーセントで40~75%程度の変化範囲を示す。 SiO_2 が0.1%程度の測定精度を持つとすると350段階の精度で表示が可能である。同様な手法を密度に適用すると花崗岩類の密度(従来からの実用性を考えc.g.sで表示)の変化範囲は約 $2.58 \sim 3.15$ ($10^3 \text{kg/m}^3 = \text{g/cm}^3$)で、 0.002 (g/cm^3)程度の測定精度が保たれるとすると280段階程度の表示が可能である。これらの事実から、密度は現在の元素分析値と比較しても十分な精度を有していると考えられる。ここに、 SiO_2 と密度および Fe_2O_3 (全鉄)と密度の関係の一例(金谷, 準備中, 第2図, aおよびb)を表示した。また単独で頻度分布図(ヒストグラム)を作成する場合はその指数が持つ精度を考慮に入れて階級の幅を設定した。

4.1 密度

密度について地域別の頻度分布図(ヒストグラム)を示す。まず、北上山地花崗岩類(氷上山岩体を除く)を早池峰構造帯を境として北、南に分けさらに北部のIV帯を分けた。これは北上山地の花崗岩類の主要部分が石英>カリ長石



第2図 密度と化学元素(SiO₂, Fe₂O₃(全鉄))の対比図(金谷による, 準備中)。

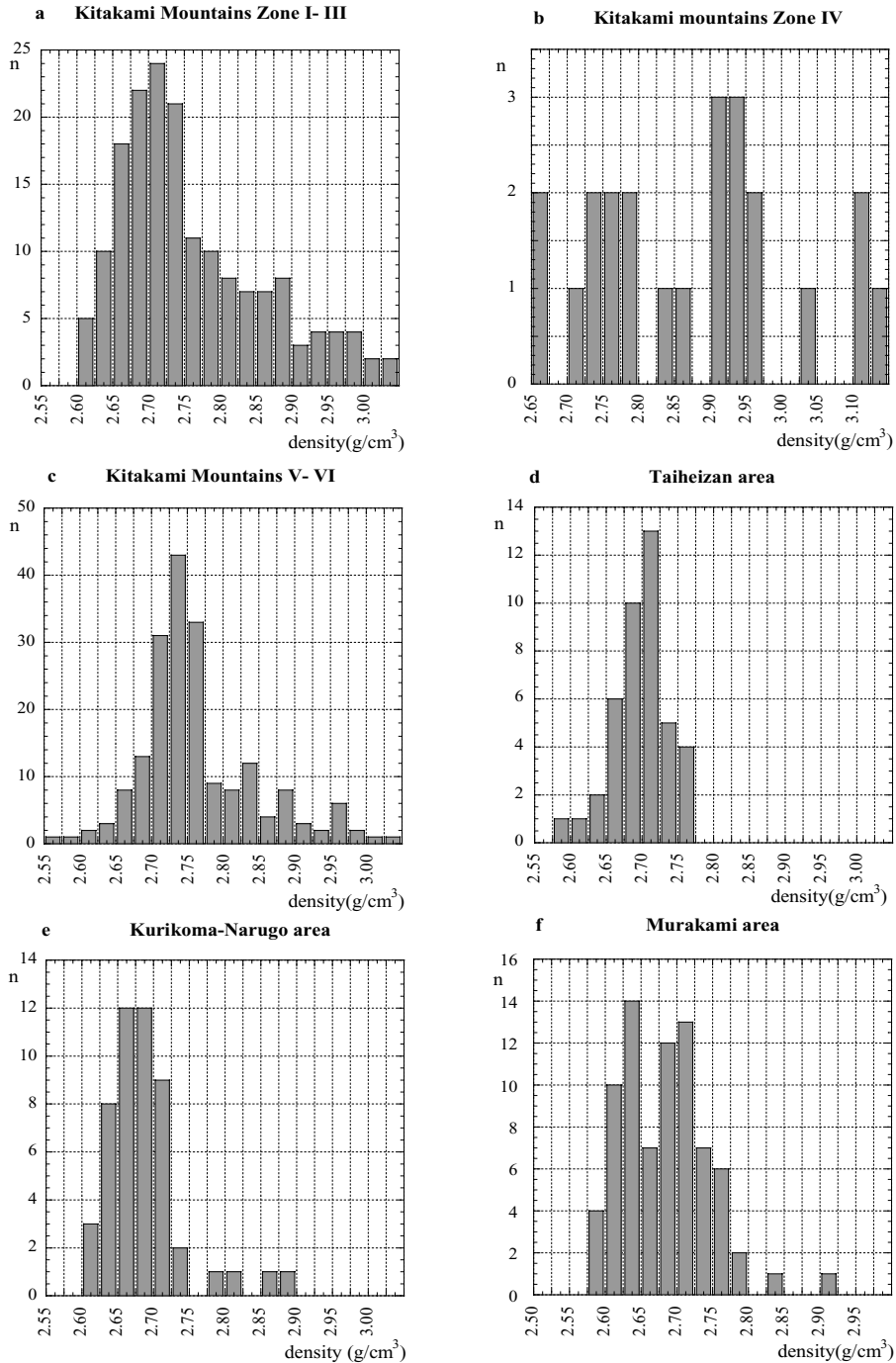
Fig. 2 Relationship between density and chemical elements (SiO₂, Fe₂O₃ as total Fe) (after Kanaya, in preparation).

であるのに対し, IV帯はカリ長石>石英を示すためである。つぎに太平山地域(生保内岩体を含み仁別花崗岩類を除く), 栗駒-鳴子地域そして村上地域(澄川花崗岩を除く)に分けた。これら結果(第3図, a~f)をみると,

(1) 北部北上山地 (I~III帯)にみられる乾燥密度(ρ_d)は2.72付近に頻度の多い試料のピーク(最頻値)が見られるが, III帯にみられる小露出岩体の密度の高い岩石により高密度側に分布が広がり, 山地全体の平均密度(ρ_{av})は2.76と比較的高めになっている。IV帯をみるとその頻度分布は

2つ(以上)のピークが見られ2種類(以上)の岩石が混在するように見えるがピークを特定するには不十分である。これは, IV帯の岩体数が少なく, 試料の絶対数も不足している事などに起因しているものと考えられる。その平均値は $\rho_{av} = 2.89$ と高い。

(2) 南部北上山地 (V~VI帯)の頻度分布のピーク(最頻値)は $\rho_d = 2.74$ 付近にみられるが, VI帯の小露出岩体の高密度岩石に影響をうけその平均値は $\rho_{av} = 2.77$ と北部北上山地同様高くなっている。



第3図 各地域でみられる密度の頻度分布。
 a: 北部北上山地 (I~III帯), b: 北部北上山地 (IV帯), c: 南部北上山地 (V~VI帯),
 d: 太平山地域, e: 栗駒—鳴子地域, f: 村上地域。

Fig. 3 Histogram of density distribution of each area.
 a: north Kitakami Mountains (Zone I - III), b: north Kitakami Mountains (Zone IV), c:
 south Kitakami Mountains (Zone V - VI), d: Taiheizan area, e: Kurikoma-Narugo area, f:
 Murakami area.

(3) 太平山地域の頻度分布のピーク(最頻値)は $\rho_d = 2.71$ 付近にみられ, 当地域全体の平均値も $\rho_{av} = 2.69$ とピーク値に近い。これは斑禰岩や閃緑岩などの塩基性岩の露出が非常に少ない事による。

(4) 栗駒—鳴子地域の密度の頻度分布(最頻値)は $\rho_d = 2.69$

付近にみられる。当地域全体の平均値は $\rho_{av} = 2.69$ であり, 高密度の岩石の割合が少ないことを示す。塩基性岩の露出は当地域を北西—南東に走るマイロナイト帯の東側に少量みられる。

(5) 村上地域は白亜期前期~中期の朝日古期深成岩類—

朝日新期深成岩類と白亜紀後期にみられる花崗岩類が存在する。これら花崗岩類全体の密度の頻度分布のピークは2つあり $\rho_d = 2.63$ および 2.71 付近に見られる。当地域全体の平均値は $\rho_{av} = 2.68$ である。前者は朝日山塊を除く白亜紀後期の花崗岩類であり、後者は朝日山塊を構成する花崗岩類である。それらの平均値は朝日山塊以外と朝日山塊がそれぞれ $\rho_{av} = 2.66$ および 2.71 である。この頻度分布図から、村上地域に露出する花崗岩類は太平山地域や栗駒一鳴子地域と同様それぞれの平均値を中心に左右対称に近い分布を示し、塩基性岩の割合が少ないことを意味している。

4.2 孔隙率

密度同様、頻度分布図を作成して観察を行うと、

- (1) 孔隙率(ϕ)のヒストグラム(第4図, a~f)で北部北上山地(I~III帯)は $0.48(\%)$ 付近にピーク(最頻値)がみられ、その平均値(ϕ_{av})は $0.61(\%)$ である。
- (2) 南部北上山地(V~VI帯)は、 $\phi = 0.50$ (最頻値)、 $\phi_{av} = 0.63$ である。
- (3) 太平山地域は $\phi = 0.34$ (最頻値)、 $\phi_{av} = 0.43$ である。
- (4) 栗駒一鳴子地域は2つのピークが見られ $\phi = 0.33, 0.92$ で、 $\phi_{av} = 0.72$ である。
- (5) 村上地域はおおよそ、 $\phi = 0.45$ 、 $\phi_{av} = 0.59$ である。これをさらに2つに分けてみると朝日山塊、 $\phi_{av} = 0.40$ 、それ以外 $\phi_{av} = 0.69$ に分かれる。

4.3 磁化率

磁化率について地域別の頻度分布図(第5図, a~f)を見ると、

- (1) 北部北上山地(I~III帯)の磁化率は $2000 \sim 4000 \times 10^{-5}$ にピークがみられ非常に高い値を示す。IV帯も 4000×10^{-5} にピークがみられる。
- (2) 南部北上山地(V~VI帯)はやや低く $1000 \sim 3000 \times 10^{-5}$ にピークがみられ北部北上山地とはやや趣を異にする。
- (3) 太平山地域は 100×10^{-5} にピークがみられる。
- (4) 栗駒一鳴子地域は 1000×10^{-5} 前後(マイロナイト帯の東側)のものがみられるが、ピークは 20×10^{-5} である。
- (5) 村上地域も 300×10^{-5} 前後に小さいピークがみられるものの主力は 20×10^{-5} でありこれらはいずれも北上山地と大きく趣が異なる。

これらをより明確にするため磁化率と密度の対比を行った。

4.4 磁化率と密度との対比

磁化率(κ_{SI})を乾燥密度(ρ_d)と対比(第6図, a~f)して観察する。

この対比図にみられる全体傾向は、 $\rho_d = 2.60$ と $\kappa_{SI} = 10$ ($\times 10^{-5}$ 以下略)および $\rho_d = 2.95$ と $\kappa_{SI} = 100$ を結ぶ直線(下限、縦軸対数)そして $\rho_d = 2.60$ と磁化率 $\kappa_{SI} = 2000$ および $\rho_d = 2.95$ と $\kappa_{SI} = 20000$ を結ぶ直線(上限)を設定すると、この2直線の間にはほとんどの測定値が含まれる。

(1) 北部北上山地(I~III帯)は上限付近に大半の測定値が分布するが中間から下限付近にもある程度存在する。

(2) IV帯についてもほぼこれら上限付近に大半の測定値が分布している。南部北上山地(V~VI帯)もほぼ同様であるが中間から下限付近には北部北上山地(I~III帯)よりも多くの測定値が分布する。

(3) 太平山地域、栗駒一鳴子地域そして村上地域も全く同様であるが、それぞれ測定値の分布のしかたに各地域の特徴がみられる。

4.5 残留磁化

磁化率同様、密度と残留磁化(NRM)の対比図(第7図, a~f)を作成した。

(1) 北部北上山地(I~III帯)は残留磁化強度の分布域が $3 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^{-0}$ 。

(2) 南部北上山地(V~VI帯) $2 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-0}$ そして、IV帯は幅が非常に狭く 1×10^{-0} 前後にみられる。北上山地花崗岩類全体がほぼ類似の範囲に入っている。北上山地花崗岩類で見ると、密度の増加と共に残留磁化強度も増加する正相関があるように読みとれる。

(3) 太平山地域は $1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-1}$ 、栗駒一鳴子地域は $6 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-1}$ そして村上地域の $8 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-2}$ と北上山地より低い。これら3地域は部分的に重複しながらそれぞれの空間を占有している。しかし密度の変化幅がいずれも狭いため両者の関係はよく判らない。

4.6 Q_n 比(Königsberger ratio)

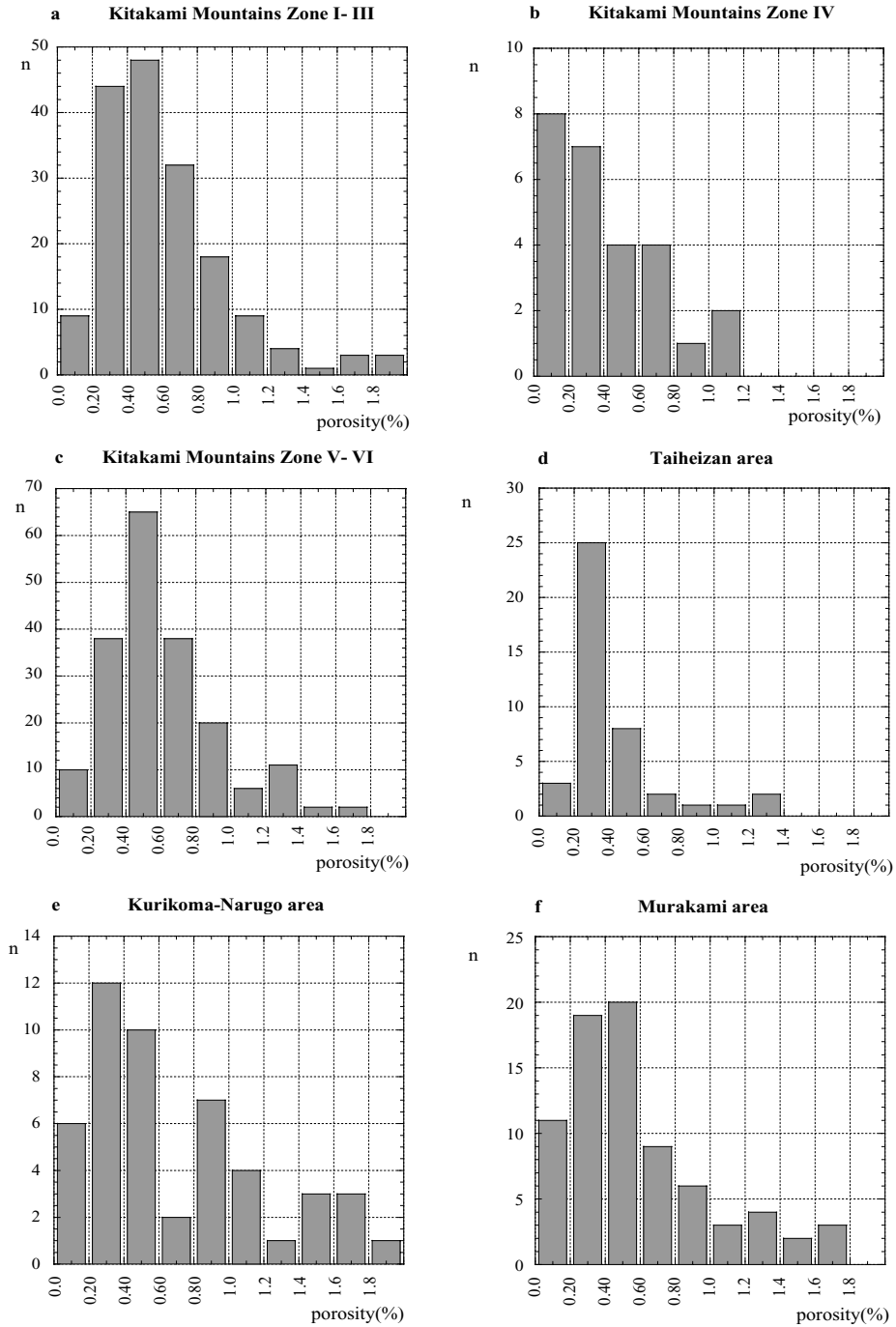
残留磁化と現在の地球磁場での誘導磁化($\kappa H, \kappa$ は磁化率、 H は地球磁場)の比、 Q_n 比の頻度分布図(第8図, a~f)をみると(階級値は0.2)、

(1) 北部北上山地(I~III帯)は0.1(最頻値)、次いで0.3、さらに大きい値を示すものも数は少ないがいくつか認められる。IV帯は0.3と1.1にピークがみられる。南部北上山地(V~VI帯)は0.3(最頻値)にピークがみられ、ついで0.1、0.5の順に、さらにこれより高い値のものもある程度認められる。

(2) 太平山地域は0.1(最頻値)、0.3の順、栗駒一鳴子地域は0.1、村上地域は0.1(最頻値)、0.3の順である。しかし、いずれの地域も全体の数パーセント程度の割合で高い Q_n 比を示す試料がみられる。これらは一般に落雷等により Q_n 比が増加したものと考えられるが、金属鉱床周辺の岩石で見られることもあり熱水による影響があるのかも知れない。これらについては今後交流消磁などによる確認が必要である。

5. 考察と解釈

今回対象となった東北地方北部の4地域で最も多い頻度を示す密度は $\rho_d = 2.64 \sim 2.74$ でその平均密度は $\rho_{av} = 2.68 \sim 2.77$ (北部北上山地, IV帯のみ例外2.90)である。これらはピークを示す値を中心にやや非対称に密度が増加



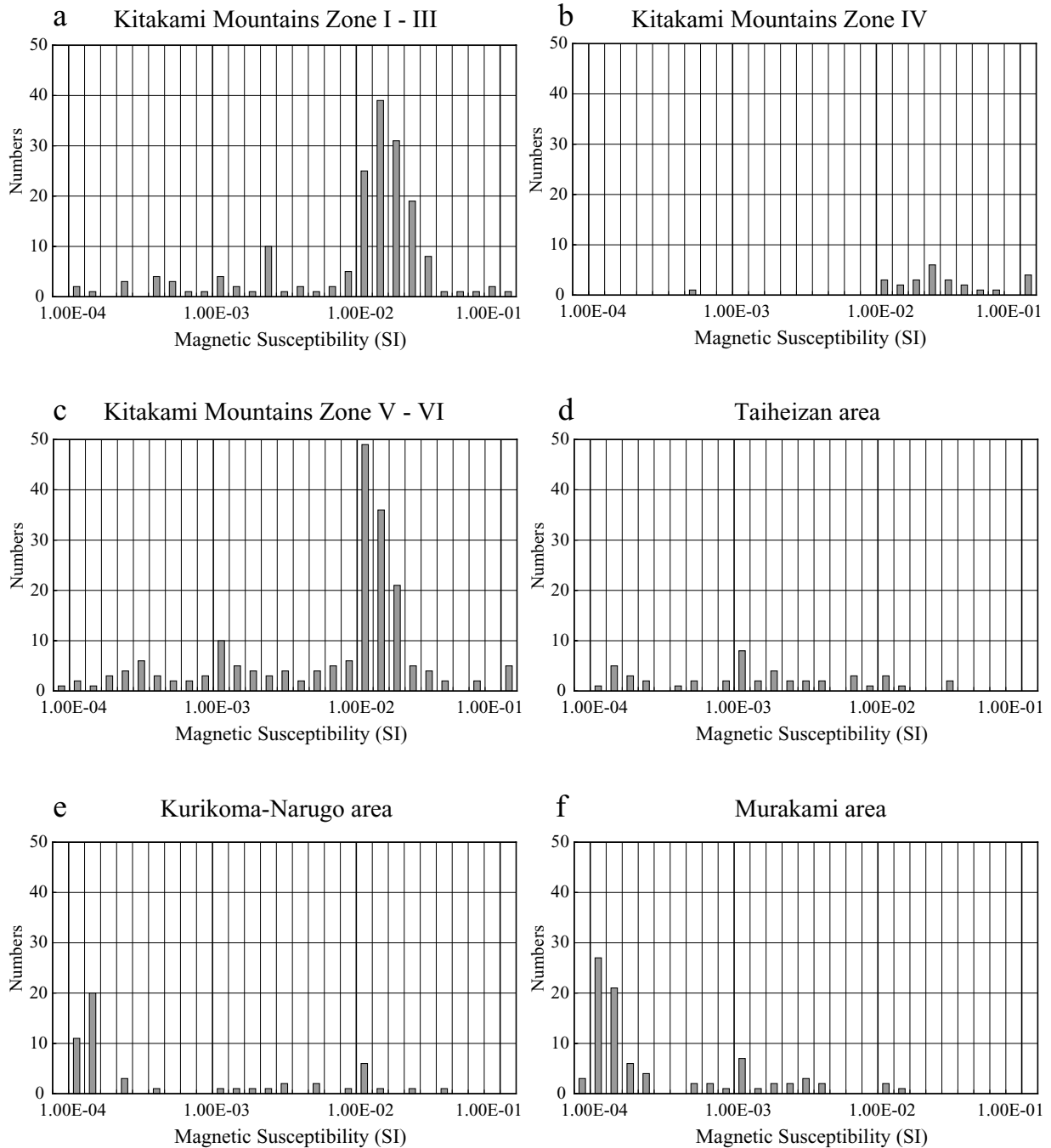
第4図 各地域でみられる孔隙率の頻度分布.

Fig. 4 Histogram of porosity distribution of each area.

する方向に尾を引く.これは塩基性の小岩体がその地域に存在する割合,または中~大規模岩体の浸食面レベルの程度(周辺相と中心層の割合)を表している.北部北上山地ではⅢ帯に塩基性小規模岩体が存在し,南部北上山地でもⅥ帯に同様な岩体が存在する.太平山地域は塩基性岩石の露出が僅かでピークを中心に左右対称となり,栗駒-鳴子地域は塩基性岩が少量含まれるため(マイロナイト帯東側)密度が増加する方向にやや尾を引いている.村上

地区はピークが2つ認められるが,これは朝日山塊を形成する花崗岩類(主として朝日新期深成岩類,古期の試料数が非常に少ない)とそれ以外の花崗岩類に分かれる.

つぎに孔隙率についてみると各地域の平均値は $\phi_{av} = 0.4 \sim 0.7$ の数値がみられる.しかし分布のピーク(最頻値)は $\phi = 0.3 \sim 0.5$ であって平均値をやや下回っている.花崗岩で孔隙率が1%を越すものは,変質,風化の進行などにより構成鉱物間の繋がりが緩くなり孔隙率が増加してきてい



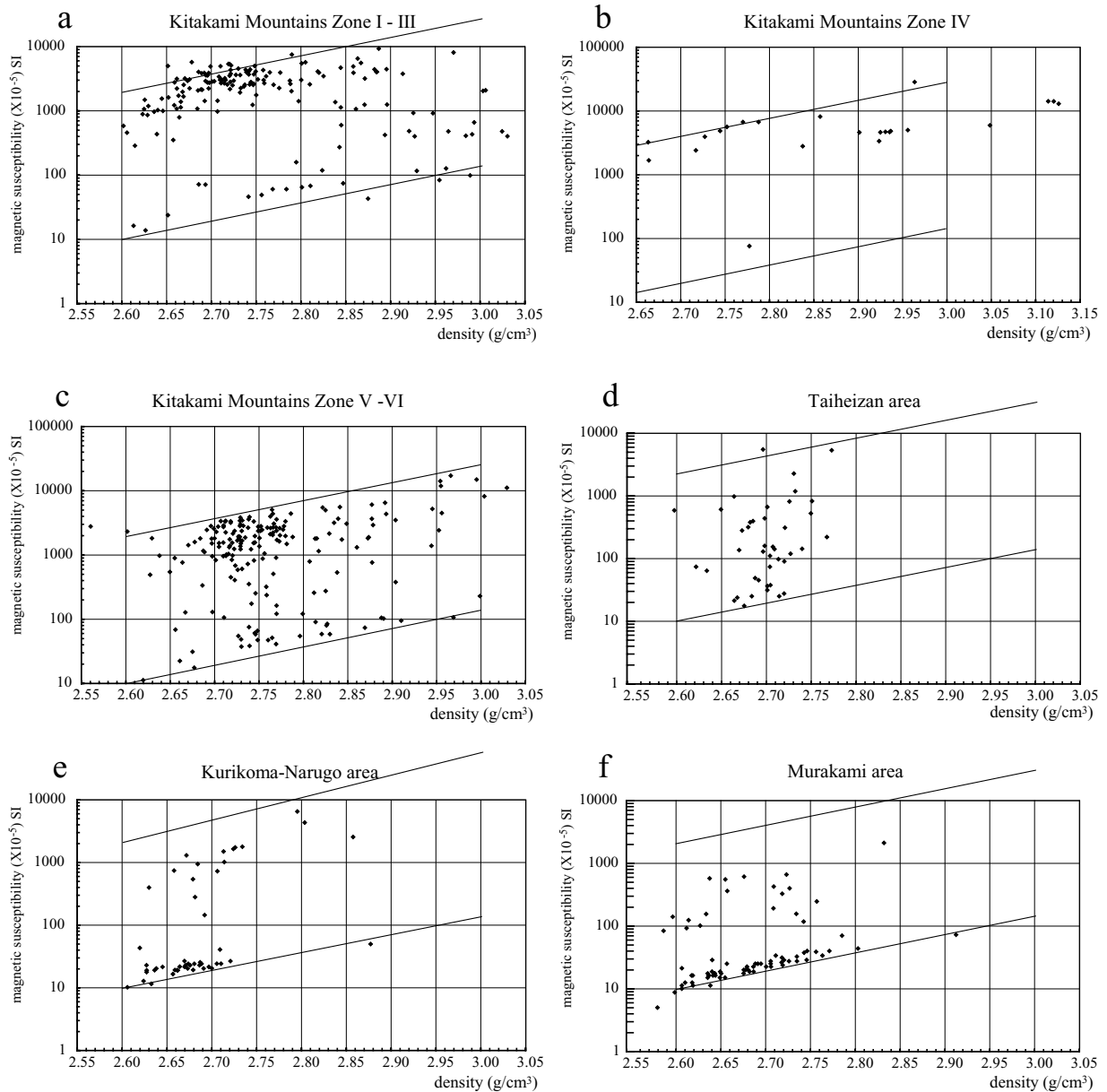
第5図 各地域でみられる磁化率の頻度分布。

Fig. 5 Histogram of magnetic susceptibility distribution of each area.

るものと考えられる。孔隙率の大きいものは現地で試料採取の際、新鮮な岩石が採取できず、参考として採取した試料に見られることから、これらを考慮に入れて計算を行えば、各地域の平均値は頻度分布図のピーク値(最頻値)に、さらに近づくものと考えられる。北上山地 $\phi_{av} = 0.61$ (IV帯を除く, IV帯は $\phi_{av} = 0.43$), 太平山地域 $\phi_{av} = 0.43$, 栗駒-鳴子地域 $\phi_{av} = 0.72$, 村上地域, $\phi_{av} = 0.40$ (朝日深成岩類), $\phi_{av} = 0.70$ (除朝日深成岩類) で全体の平均値は $\phi_{av} = 0.4 \sim 0.7$ (%)程度になると考えられる。密度と孔隙率の関係は、

多少のばらつきは認められるものの密度の増加と共に孔隙率が減少する傾向を示している。

磁化率と密度の対比図にみられる一般的傾向は、北部北上山地で設定した範囲、つまり今回対象とした他地域についても密度の増加とともに磁化率も2つの直線(上限, 下限)間で増加する正相関がみられる。これをより詳しく見ると、下限線にそって増加する傾向を示す岩石は村上地域が顕著であり、栗駒-鳴子地域も密度の変化幅が狭いものの一部にその傾向が見られる。北上山地でも試料数の割合は



第6図 密度と磁化率の対比図。

図中の2直線は大半のデータが含まれる上限、下限を表す。

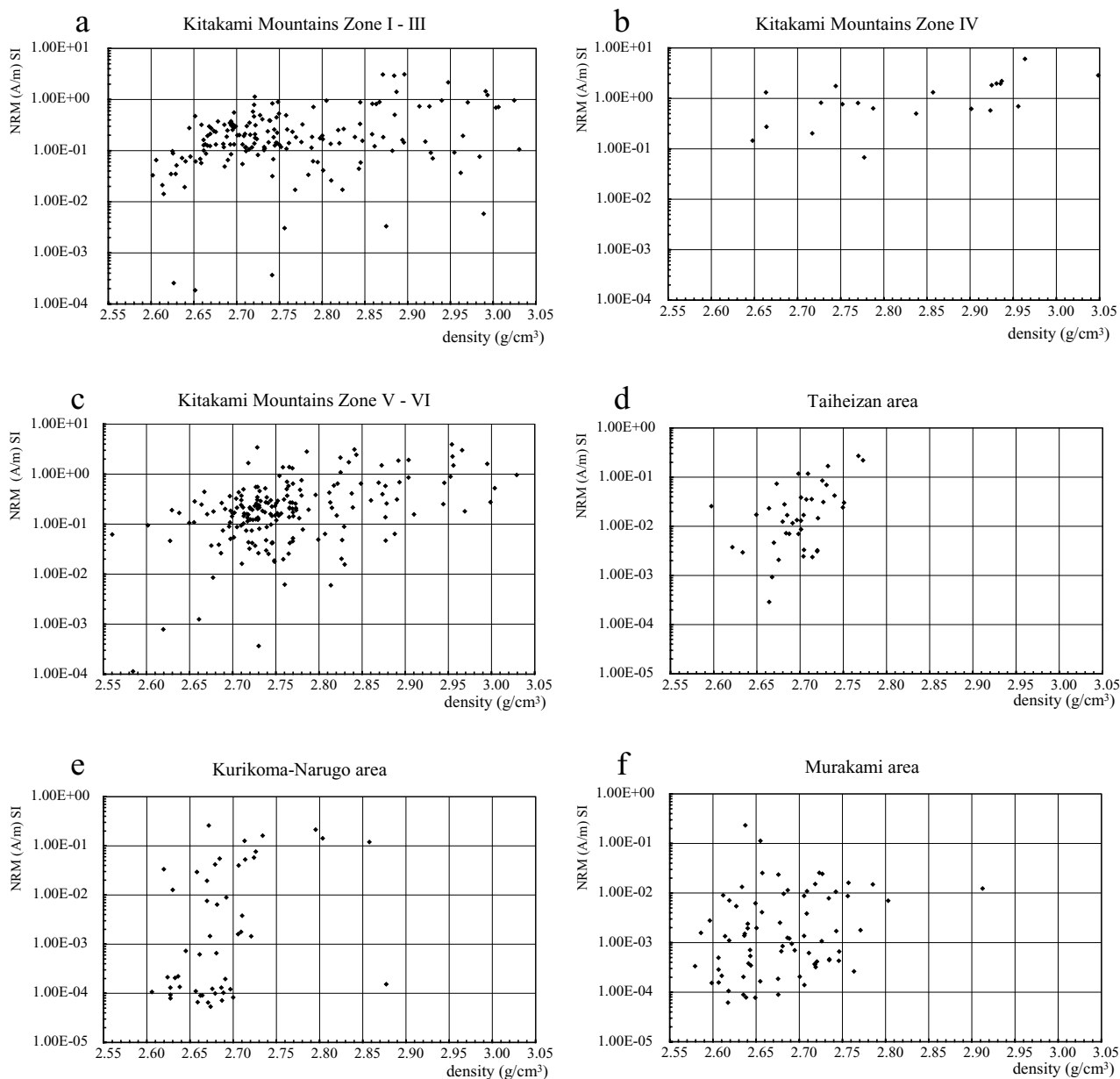
Fig. 6 Relationship between density and magnetic susceptibility.

Two straight lines show the upper and the lower limits between which most data are plotted

少ないもの下限線にそって増加するものがいくつかみられる。一方、上限線にそって増加するものは北上山地花崗岩類の多くにみられ、北部北上山地では圧倒的にその数が多い。両線の間にくるものは太平山地域が最も多く、栗駒-鳴子地域、村上地域そして南部北上山地にもある程度の数が認められる。栗駒-鳴子地域において中間にくるものは原則としてマイロナイト帯東側にみられる岩石であり、村上地域で中間にくるものは白亜紀後期に分類されるいくつかのタイプの花崗岩類に限られている。下限線に沿って増加するものはその大きさからみて花崗岩類中に含まれる常磁性造岩鉄鉱物の量(Nagata, 1961)とみられ、鏡下でみ

られる色指数と密接な関係があるものと考えられる。また北上山地花崗岩類のなかで下限線に沿って増加する試料のいくつかは岩体周辺の堆積岩との接触部付近で採取された試料であり岩体貫入時の環境によるものと考えられる。

残留磁化と密度の関係をみると、磁化率と密度の対比図にみられるものと類似の傾向が見られるが磁化率と密度の関係ほど明瞭ではない。北上山地花崗岩類以外の3地域では密度の変化幅が狭いこともあってより不明確である。しかし、磁化率と残留磁化の関係から Q_n 比にも見られるように0.0~0.4の間に全試料の約70%(栗駒-鳴子地域は92%、村上地域83%、北部北上山地76%、太平山地域68%、



第7図 密度と残留磁化の対比図。

Fig. 7 Relationship between density and NRM.

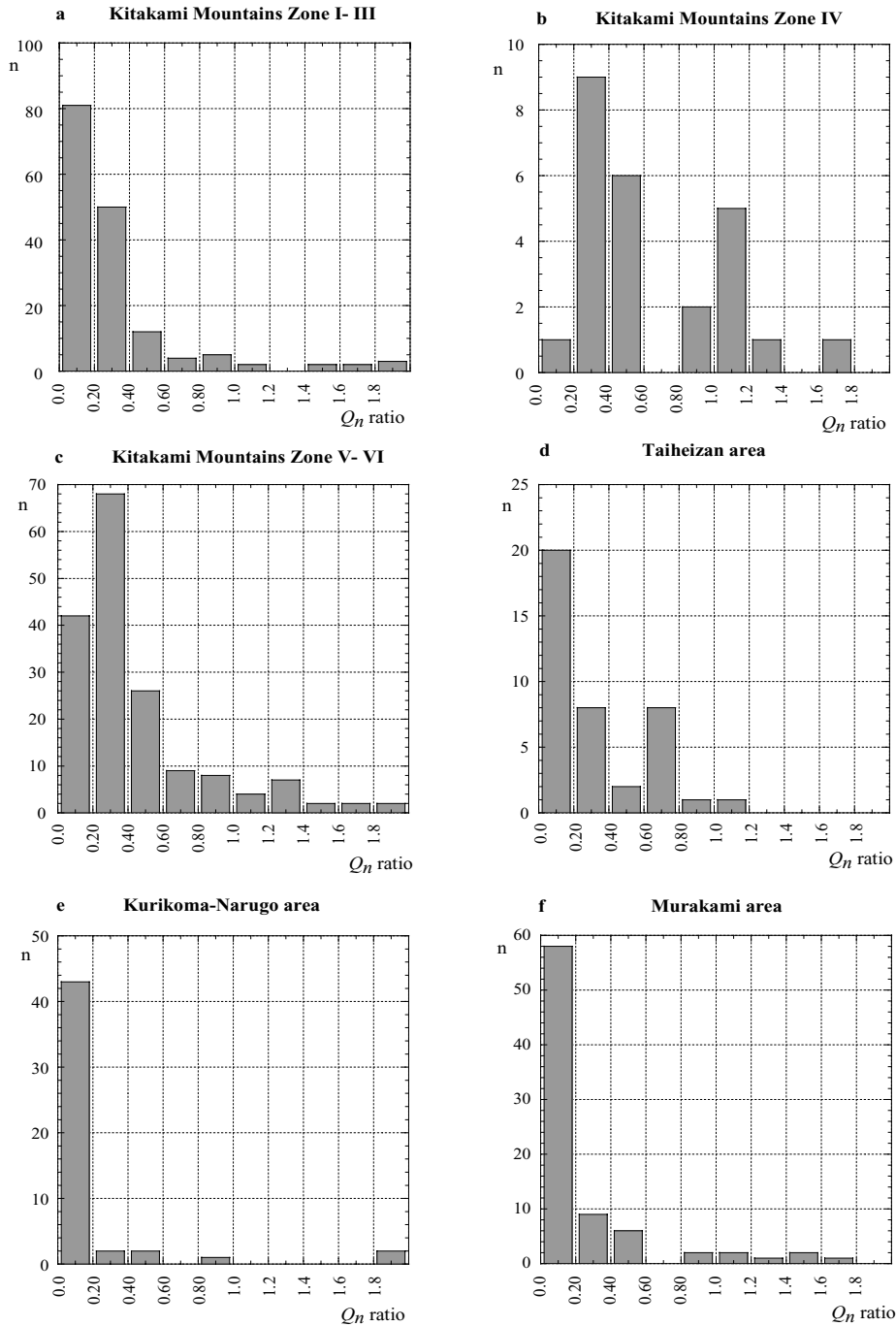
南部北上山地は55%)が含まれることから相関関係があることは確かであろう。これらの関係をより明確にするため磁化率と残留磁化の関係(第9図, a~f)を補足して観察してみると Q_n 比 = 0.20 前後の数値を示しながら磁化率の増加と共に残留磁化が増加する正相関関係を示し, 各地域のそれぞれの占有領域が見られる。磁化率と密度の関係で, 下限線に沿って増加する試料(常磁性造岩鉄鉱物を含む)の中で, 残留磁化が栗駒-鳴子地域, 村上地域で 1×10^{-4} から 1×10^{-2} と2桁の変化を示すものが見られる。今回使用したスピナー磁力計の測定下限 1.1×10^{-4} (前述)からみてこれらは信頼できる値である。このことは磁化率の低い領域でも, 磁化率の大きさには常磁性造岩鉄鉱物の量が貢献している

ものの, 微量ながらも強磁性鉱物が存在し残留磁化を獲得していることを意味している。

6. まとめと結論

東北地方北部に露出する白亜紀~古第三紀花崗岩類について北上山地花崗岩類(北部北上山地, 南部北上山地), 太平山地域, 栗駒-鳴子地域そして村上地域の4地域について密度, 孔隙率, 磁化率そして残留磁化を求め, これらの値から各地域が持つ特徴と共通して見られる性質について考察した。

密度について各地域の平均値でこれらを見ると, 北上山



第8図 各地域の Q_n 比の頻度分布.

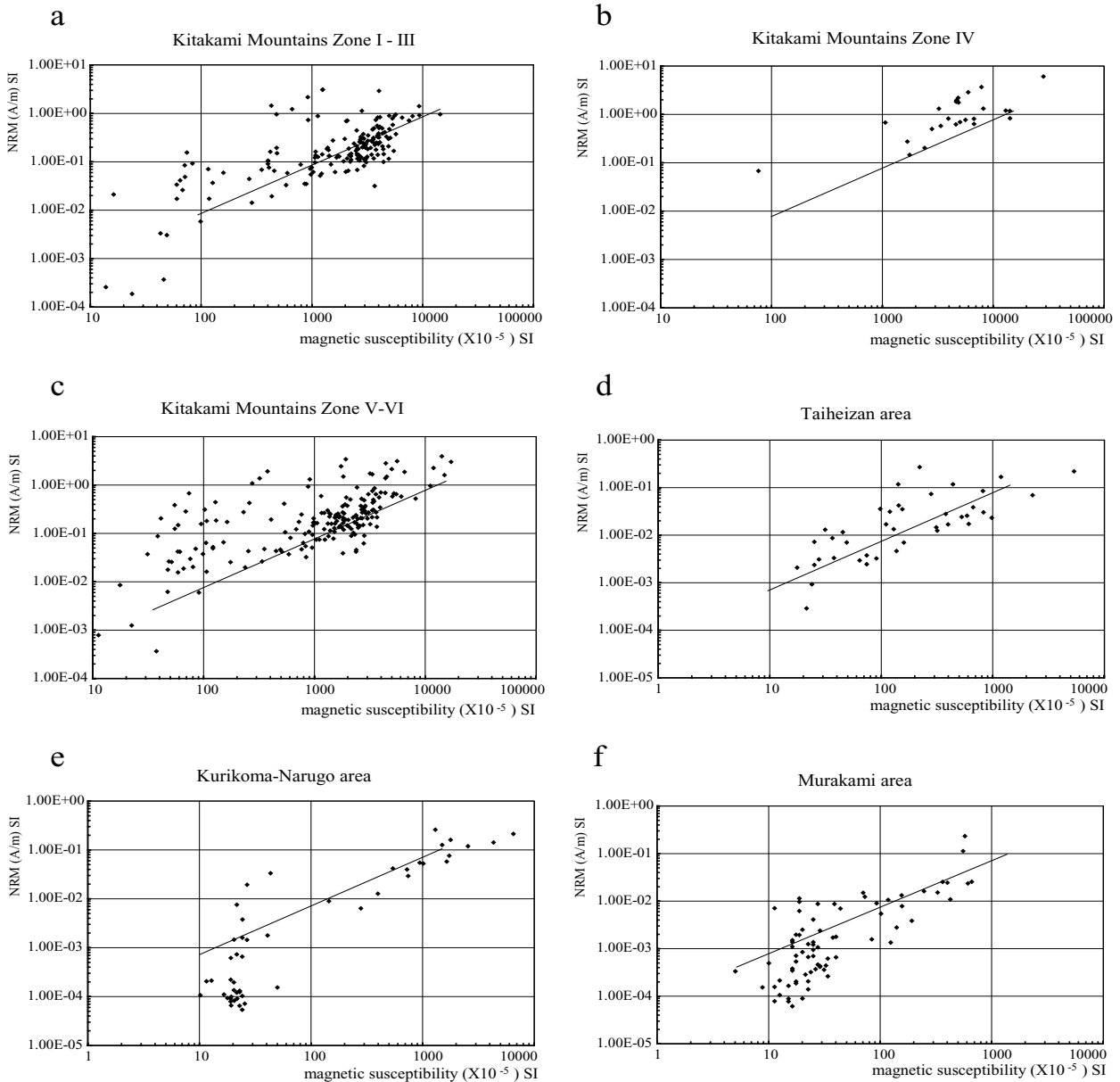
Fig. 8 Histogram of Q_n ratio distribution of each area.

地は $\rho_{av} = 2.76 \sim 2.77$ (IV帯2.90)で最も重く、太平山地域、 $\rho_{av} = 2.69$ 、栗駒—鳴子地域、 $\rho_{av} = 2.69$ (マイロナイト帯東側、 $\rho_{av} = 2.70$ 、西側、 $\rho_{av} = 2.67$)そして村上地域も $\rho_{av} = 2.68$ である(朝日山塊、 $\rho_{av} = 2.71$ 、除朝日山塊、 $\rho_{av} = 2.66$)。

孔隙率は $\phi = 0.3 \sim 0.5$ (%) (全体の平均値はこれに約0.1加算したもの)でいずれの地域も密度の増加と共に孔隙率は低下し、地域による大きな差は認められない。

密度と磁化率の関係は密度の増加と共に磁化率も増加

する。この分布域に2本の直線(下限および上限)を設定してみると地域により固有の空間を占め、北上山地は上限に近い部分に多く分布し(北部北上山地と南部北上山地はその分布がやや異なる)、太平山地域は両直線の中間に分布、栗駒—鳴子地域は下限部分と中間部分に、村上地域は下限部分が多く中間部分にもみられる。この中間部分にみられる岩石は白亜紀後期の西田川花崗閃緑岩、早田花崗閃緑岩、大桧原花崗閃緑岩そして角矽アダメロ岩である。



第9図 磁化率と残留磁化の対比図。図中の実線は $Q_n = 0.2$ をあらわす。

Fig. 9 Relationship between magnetic susceptibility and NRM. Solid lines show $Q_n = 0.2$.

密度と残留磁化の関係は磁化率にみられる関係に類似する。このことは Q_n 比が0.0~0.4に、多くの試料が含まれることからその傾向がみられる。これらは残留磁化と磁化率の対比図でも明瞭にみられる。 Q_n 比の非常に高い値を示すものは、雷や熱水変質による影響と考えられるが、北上山地は他3地域よりもこの割合が多くこれらについては今後の課題として残る。また磁化率と残留磁化の対比図(第9図)で磁化率が10~30($\times 10^{-5}$)の低い値を示す試料で残留磁化が2桁の変化範囲を示しているのがみられる。このことはとりまおさず残留磁化を担う強磁性鉱物の存在を意味し、常温以上のキュリー温度をもつマグネタイト(チタノマグネタイト)、ヘマタイトそしてピロタイトの存在が考えられる。

これらを集約すると以下のようなものである。

- (1) 密度の平均値で見ると、北上山地花崗岩類を形成したマグマは4地域中で最も塩基性に富み、次いで村上地域の朝日山塊、太平山地域、栗駒-鳴子地域のマイロナイト帯東側そして西側、村上地域の白亜紀後期花崗岩類(除朝日山塊)である。南・北部北上山地花崗岩類は殆ど差はなく、北部北上山地の、IV帯はこれらの範疇から外れている。
- (2) 孔隙率の頻度分布からみた4地域は、いずれもその変化幅は小さい。0.3~0.5(%)が本来花崗岩類のもつ固有値と考えられる。
- (3) 磁化率を密度との対比で見ると、磁化率は密度の増加と共に比例する正相関を示す。密度の変化範囲($\rho_d = 2.60$

~2.95)の磁化率の変化を2本の直線(上限 2000~20000x10⁻⁵, 下限 10~100x10⁻⁵)でその領域を設定すると, 4地域の花崗岩類はそれぞれ固有の空間に分布し, それぞれの特徴を示す. 領域内での分布は連続的である. このことは, マグネタイト晶出時の共存元素や酸素分圧などマグマ中でマグネタイトが晶出可能な状態の結果を示したものであろう. 下限線に沿って増加するものは花崗岩中に含まれる常磁性造岩鉄鉱物による磁化率と考えられる. (4)花崗岩類にみられる Q_{Hc} 比は地域によらず0.1または0.3(階級値 0.2)で, 0.4以下を示すものが大半である. この事実は花崗岩に含まれるマグネタイトは粒度が大きく, 地域や年代によらず類似の傾向を示しているものと考えられる. このことから磁気図解釈の際, 誘導磁場のみ考慮すれば十分であろう. 磁化率と残留磁化の関係から磁化率の低い(前記下限線に沿って増加する)試料にも残留磁化を担う強磁性鉱物が存在する事は明白である.

文 献

- 朝日団体研究グループ(1987)朝日山地南西部の地質—その1. 岩石記載と貫入関係—. 地球科学, **41**, 253-280.
- 朝日団体研究グループ(1995)朝日山地南西部の地質—その2. 地質構造—. 地球科学, **49**, 227-247.
- 片田正人・大貫 仁・加藤祐三・蟹沢聰史・小野千恵子・吉井守正(1971)北上山地, 白亜紀花崗岩類の帯状区分. 岩鉱, **65**, 230-245.
- (1974a)北上山地の白亜紀花崗岩類, I. 序論. 地調報告, **251**, 1-7.
- (1974b)北上山地の白亜紀花崗岩類, VI. 南部北上山地の花崗岩類, および全北上山地花崗岩類の分帯区分. 地調報告, **251**, 121-133.
- 河野 長(1982)岩石磁気学入門. 東京大学出版会, 146p.
- 小玉一人(1999)古地磁気学. 東京大学出版会, 248p.
- Nagata, T. (1961) *Rock magnetism*. Maruzen Co., Tokyo, 350p.
- 大沢 穠・加納 博・丸山孝彦・土谷信之・伊藤雅之・平山次郎・品田正一(1981)太平山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 69p.
- Okuma, S., Kanaya, H. and Morijiri, R. (2003) Petrophysical Data Base of Basement Rocks in Japan for the 21st Century. available at PB-Rock 21, RIO-DB, 87, AIST (<http://www.aist.go.jp/RIODB/pb-rock21/>).
- 笹田政克(1984)神室山—栗駒山地域の先新第三紀基盤岩類—その1, 鬼首—湯沢マイロナイト帯—. 地質雑, **90**, 865-874.
- (1985)神室山—栗駒山地域の先新第三紀基盤岩類—その2, 阿武隈帯と北上帯の境界—. 地質雑, **91**, 1-17.
- 土谷信之・高橋 浩・柳沢幸夫・山元孝広・久保和也・駒澤正夫・広島俊男・内藤一樹(1999)20万分の1地質図幅「村上」, 地質調査所.
- 高橋 浩(1998)新潟・山形県境, 日本国マイロナイト帯の地質と構造. 地質雑, **104**, 122-136.

(受付:2003年4月22日;受理:2003年8月5日)