

楠川地域にみられる褶曲した砂岩脈

堀内 典子・山本 由弦・安間 了
生命環境科学研究科生命共存科学専攻

1 はじめに

屋久島の楠川地域に分布する砕屑岩脈は、はじめ林(1966)によって紹介された。普通、砂岩脈は長さ数 cm~数 m のものが多いが、この地域では数十 m にわたって連続する例が見られる。また、この砂岩脈は褶曲しているということが特徴的である。

一般にこのような褶曲形態は、砂岩脈が圧密による母岩の層厚の減少に応じて座屈を起こした結果であると解釈されている。しかしそのような解釈は、幅数 cm 長さ数 m 程度の小規模な砕屑岩脈には適用できるが、今回報告するもののように数十 m の長さにわたって地層を貫く砂岩脈を、すでに上位と下位で異なった圧密を受けつつある泥質岩の堆積収縮に伴って、均一に褶曲させることは難しいと考えられる。つまり、圧密だけで砂岩脈の褶曲構造を説明するのは難しいと考えられる。

楠川地域は、1) 数十 m にわたって連続する砂岩脈群が同地点に集中しているため詳細な観察と統計的な考察が可能である、2) 砂岩脈とともに褶曲やデュープレクスがみられるため他の構造との関係から岩脈の形成時期を推定することができる、3) この地域は地層面が高角度に傾斜しており、岩脈の注入の様子が水平面上で観察できるという利点がある。このため、野外での観察から砂岩脈を褶曲させたメカニズムを推定するには格好の場所である。本報告では圧密だけで褶曲を説明できるのかを検討したので、その結果を報告する。

2 地質概説

屋久島に分布する基盤堆積岩類は、古第三系四万十帯の南西部延長と位置づけられている。島中央部から北西海岸にかけては、中期中新世に四万十帯の堆積層に貫入した花崗岩が露出している。

楠川(第 1 図)は屋久島の北東部に位置し、古第三紀四万十層群に対比される熊毛層群宮乃浦累層の楠川頁岩砂岩部層(橋本、1956)の分布域にあたる(第 2 図)。この部層は、砂岩頁岩互層と泥岩を主体としており、一部厚い砂岩層も見られる。頁岩優勢の砂岩頁岩互層中に砂岩脈が見られる。層理面は北北東-南南西の走向を示し高角度で西に傾斜する。褶曲などの小構造により一部逆転している部分もあるが、全体的には西上位となっている。頁岩優勢互層中に、褶曲やデュープレクスのような地質構造が一部観察される。これらの褶曲軸は N5E~N40E のトレンドを持ち、北にプランジする。翼間隔は比較的広く 60°~70°である。

3 砂岩脈 (sandstone dyke)

3-1 砂岩脈

砕屑岩脈は、堆積岩の裂か中に砕屑物が注入されて形成された岩脈である。注入する砕屑物は砂質である場合が多く、この場合砂岩脈と呼ばれる。砕屑岩脈は一般に、層理面に直交あるいは斜交しており、板状の形態を示す貫入岩体である。砕屑物が岩脈を形成する

ためには、少なくとも、i) 碎屑物の供給源となる層が流動化できる状態であった、ii) 母岩は裂かが生じる程度に固結していたことが必要である。

碎屑岩脈には、下方注入型と上方注入型とがあり、順に neptunian dyke, plutonian dyke とも呼ばれる。下方注入型のもは下位層の割れ目中に上層の物質が流入したものである。上方注入型の碎屑岩脈は、貫入時に岩脈の供給源となる層 (source bed) が液状にふるまうことができる程度に間隙水を含んで、未固結の状態にあったことが考えられる。貫入に必要な source bed の流動性は、圧密の過程で生じる間隙水圧の上昇によって得られる。水で飽和した碎屑層に何らかの衝撃が加えられると、粒子の配列形態が変化し間隙水圧が瞬間的に上昇する。間隙水圧が粒子間圧を上回ると、層の剪断強度はゼロとなり、液化してクイックサンドと呼ばれる。これが、上位層の荷重圧によって裂かへ強制注入される (坂、1982)。岩脈は注入方向に薄くなり、楔形に消滅し、分岐することが多いとされている (坂、1982)。

3-2 砂岩脈の産状

調査ではまず、本地域の砂岩脈の分布状況と地質構造を把握するために、マッピングを行った (第 3 図)。この地域には主に砂岩泥岩互層が分布しているが、このうち泥質優勢砂泥互層中に砂岩脈が発達している。泥質優勢砂泥互層の砂岩層と泥岩層の各単層の層厚は露頭によって様々であるが、砂岩の単層厚が 10 m を超えることはまれである。砂岩脈のうち、褶曲している砂岩脈のみられる露頭において観察と構造解析を行った。褶曲している砂岩脈の観察される各露頭を、以下 dyke 1

～dyke 5 露頭 (第 3 図) として記載する。

3-2-1 dyke 1 の露頭

この露頭は、長さ十数 m の褶曲した砂岩脈が集中している。ここでは、露頭観察と平板測量を行い正確なスケッチをした (第 4 図)。また、露頭で最も大きい砂岩脈に注目し、この砂岩脈についてさらに平板測量を行うとともに (第 5 図、Plate 1)、砂岩脈の貫入面の走向傾斜と、砂岩脈の褶曲軸のトレンドとプランジを測定した。

本露頭に分布する泥質優勢砂泥互層の層理面の走向は N14E ~ N25E で西に 76° ~ 86° 傾斜する。西側が上位である。砂岩層単層の層厚は約 1 cm であり、泥岩層単層の層厚は約 2 ~ 10 cm である。また生痕化石が頻繁に観察された。北西部にある砂岩脈は上位方向に向かって砂岩脈が薄くなっているが、他の砂岩脈には顕著な厚さの変化は見られない。砂岩脈の貫入面の方向、褶曲軸のトレンドとプランジを第 6 図に示す。砂岩脈の貫入面の走向は約 N20E と N20W の二方向に集中し、高角度に両方向に傾斜する。砂岩脈の褶曲軸は、ほぼ鉛直である。

この露頭の下位に層厚約 3 m の砂質優勢砂泥互層がみられる。砂岩単層の層厚は 30 ~ 80 cm であり、泥岩単層は数 cm の厚さである。一方、砂岩脈の発達する露頭を挟んで上位には褶曲構造が発達した泥質優勢砂泥互層が観察された。

3-2-2 dyke 2 の露頭

dyke 2 は dyke 1 の上位に位置しており (第 3 図)、褶曲した母岩を貫いている砂岩脈が後期の剪断面によって伸張されている構造が観察された。露頭観察とスケッチの様子を第 7 図に示す。

砂岩脈の母岩は泥質優勢砂泥互層である。

dyke 1と同様、砂泥互層の砂岩単層の層厚は約 1 cm、泥岩単層の層厚は 2~10 cm である。砂岩脈の分布する露頭は褶曲を受けておりこの部分だけ東上位になっている。母岩の褶曲軸の方向は N6°~25° E でプランジは 40°~60° N である。翼間隔は約 40° である。

この露頭の砂岩脈は断層によって切られており、その断層は左横ずれの成分を持つ。砂岩脈の貫入面の走向は全体的に N10° E を示し、貫入面の傾斜はほぼ垂直である。また、褶曲構造が砂岩脈によって切られている様子が観察される (Plate 2)。

3-2-3 dyke 3 の露頭

dyke 3 の露頭 (第 3 図) では、泥質優勢砂泥互層中に褶曲したあるいは en-echelon 状に貫入した砂岩脈が 1 つの露頭中で観察される (Plate 3)。ここでは露頭観察とスケッチを行った (第 8 図)。

母岩である泥質優勢砂泥互層の泥岩層の層厚は 1~1.5 m で、砂岩層の層厚は 10 cm 程度である。層理面の走向傾斜は N25° E80° W で、西上位である。砂岩脈は N40° E の方向に貫入しており、貫入面は高角度に傾斜している。上位方向に向かうにつれて砂岩脈は薄くなっている。砂岩脈の上位には暑い砂岩層が露出しているが、砂岩層と砂岩脈の境界は被覆層により観察できなかった。一方砂泥互層の下位には厚さ約 1 m の砂岩層が露出する。砂岩脈はこの砂岩層の近傍まで続いているが、境界は被覆層により確認できなかった。

3-2-4 dyke 4 の露頭

dyke 4 の露頭は dyke 3 の東に位置しており、褶曲した砂岩脈が観察される。ここでは、露頭観察とスケッチを行った (第 9 図)。この

砂岩脈は、強い短縮を受けて一部で脆性破壊を生じ、覆瓦状のデュープレクス様構造を形成している (Plate 4)。

泥質優勢砂泥互層の、砂岩単層の層厚は約 1 cm、泥岩単層の層厚は約 10 cm である。層理面の走向傾斜はほぼ N30E 77W で、西上位である。生痕化石が観察される泥岩層には劈開が生じている。

砂岩脈の貫入面の走向は、ほぼ N35E と EW の二方向に集中する。N35E 方向の砂岩脈は西側に 70°~80° 傾斜しており、EW 方向の砂岩脈は北側に 40°~50° 傾斜している。前者は相対的に厚く、後者は薄い。砂岩脈の西端は砂岩層に貫入しており、周辺の泥岩層も砂岩脈とともに砂岩層に巻き込まれている様子が観察される。砂岩脈の東端は断層 3 (第 9 図) によって切られている。断層 1 は砂岩脈によって切られており、砂岩脈の北側に続く様子は観察されない。砂岩脈は断層 2 を切っている (第 9 図)。

3-2-5 dyke 5 の露頭

dyke 4 の下位に位置し、褶曲した砂岩脈とデュープレクスが観察できる (Plate 5)。ここでは露頭観察を行った。このデュープレクスは山本ほか (本報告) によってメランジュとして扱われ詳細なスケッチと組織の記載を行っているので参照されたい。

泥質優勢砂泥互層の砂岩単層の層厚は約 5 cm、泥岩単層の層厚は約 10 cm である。層理面の走向は N35E~N40E 傾斜は 65W~75W であり、西上位である。

デュープレクス構造の観察される約 1.5 m 幅の層の上位には、N43E の方向に長さ 2 m の褶曲した砂岩脈が観察され、その西端は層平行断層に切られている。一方、その東端はデュープレクスによって切られている。デュ-

プレクス構造に観察できる層の下位にもほぼ南北方向に約 30 m 延長する砂岩脈がみられる。この砂岩脈の厚さは約 10 cm で、貫入面の走向傾斜は N40E 83E である。砂岩脈の両端は水中に消え、観察できない。

3-3 薄片観察

砂岩脈と source bed と考えられる砂岩層の薄片を作成したところ、砂岩脈は淘汰が比較的悪く、砂岩層は淘汰が比較的良いという結果となった。一般に、下方貫入の碎屑岩脈の場合上位の source bed と同様な粒径分布を示すのに対し、上方貫入の場合液状化に伴う擾乱によって粒径分布が改変されると考えられる。砂岩脈が上位に向かって層厚を減少させ消え入ることと併せて、この薄片観察結果もこれらの砂岩脈が上方貫入であったことを示唆する。

4 砂岩脈の短縮率

4-1 短縮率の測定

砂岩脈の褶曲構造が圧密のみによって説明できるか検討するために、dyke 1 の露頭(第 3 図)の砂岩脈の短縮率を求めた。さまざまな方向をもつ砂岩脈の方位ごとの短縮量を測定し、その結果より露頭全体が、どの程度短縮を受けたかということ推定した。

砂岩脈の短縮率は、測定した岩脈の両端の直線距離を褶曲した岩脈の全長で割って求めた(第 10 図)。また、褶曲した岩脈の両端を結ぶ方位から短縮を受けたと仮定して一次近似的な短縮量の見積もりを行った。各砂岩脈の短縮率を測定した方向は、図中に矢印で示した(第 11 図)。

4-2 短縮率の測定結果

測定結果は、第 2 表に示す。砂岩脈の短縮方向と短縮率の関係を視覚的に表したものが第 12 図である。この図では、ほぼ垂直方向の褶曲軸を持つ砂岩脈の短縮方向を水平面上での方位角で示し、短縮率を円の中心からの距離で表している。円の中心に近いほど短縮されており、外周に近いほど短縮されていない。

WNW-ESE 方向に最も短縮しており、NNE-SSW 方向にはあまり短縮していないという結果になった。最も短縮した方向の砂岩脈は、褶曲する前と比べて褶曲後は約 40 % の長さになった。

5 帯磁率異方性 (AMS) の測定

砂岩脈の微細な構造の変化を調べるために、帯磁率異方性の測定を行った。また比較検討のため、砂岩脈の周辺についても試料を採取した。

5-1 帯磁率異方性 (Anisotropy of Magnetic Susceptibility : AMS)

岩石や堆積物の帯磁率異方性 (AMS) は、含まれる磁性鉱物粒子の形態配向性によって生じると考えられている。AMS は岩石中に存在する非常に小さな磁性粒子配列を 3 次元的にとらえることが可能である。また、堆積物や岩石試料を非破壊かつ短時間で測定でき、定量的なデータを得ることができる。

磁性鉱物粒子の帯磁率は一般に、鉱物の長軸方向が最大で、短軸方向が最小となる。よって、このような磁性鉱物を複数含む岩石や堆積物の AMS は、磁性鉱物粒子の統計的配列を反映することになり、最大 (K_{max})、中間 (K_{im})、最小 (K_{min}) 帯磁率方向を主軸とする帯磁率楕円で表現することができる。

5-2 測定方法

本検討では、露頭から直径1インチの円柱状の試料を、ドリルを用いて定方位で採取した。くり抜いた試料の軸のトレンドとプランジを測定し、試料の軸に直交する面の上部にプランジの方位を示す矢印を記入する。矢印の先から軸に平行に直線を引き、その直線から下位方向に矢印を記入する。こうして得られた円柱状の定方位試料を、軸方向が2.2 cmの長さになるように切断し、測定用のコアサンプルを作成した。ひとつの試料から1~5個のコアサンプルが得られた。なお測定には、産業技術総合研究所の KLY3S-Kappabridgeを使用した。

測定に用いた試料は、砂岩脈(第14図)、砂岩層(第13図)、整然層(第3図)、砂岩脈の周囲の整然層(第13,14図)から採取した。砂岩脈については、平板測量を行った露頭の北東部に位置する最も大きなもの(dyke 1-①)から採取した(試料番号:101-110, 150-165)。詳細な試料採取地点は第15図に示す。砂岩層については、AMS試料を採取した砂岩脈(dyke 1-①)の下位に位置する供給源と推定される砂質優勢砂泥互層の砂岩層単層から試料を採取した(試料番号:146-149)。砂岩層単層は30~80 cmの厚さであり、砂泥互層全体は約3 mの厚さである。比較のための整然層からの試料は、砂岩脈のAMS試料を採取した地域から約500 m東側の地点で褶曲やデュープレクスがみられず、砂岩脈の貫入していない泥質優勢砂泥互層から採取した(試料番号:233-242)。なお、砂岩脈の周囲の整然層の試料番号は111-127である。

5-3 測定結果の表現方法

測定によって得られた、試料の最大帯磁率異方性方向は K_{max} 、中間帯磁率異方性方向は K_{int} 、最小帯磁率異方性方向は K_{min} で表される。これらの AMS データから $L \cdot F \cdot T \cdot P'$ のパラメータを計算し測定結果をフリンダイアグラム・ $T-P'$ ダイアグラム・ステレオネットにプロットした。 L 、 F 、 T 、 P' はそれぞれ以下のように定義される。

- degree of lineation (L) = K_{max}/K_{int}
- degree of foliation (F) = K_{int}/K_{min}
- shape parameter: $T = (2\eta_2 - \eta_1 - \eta_3) / (\eta_1 - \eta_3)$
- degree of anisotropy: $P' = \exp\sqrt{2[(\eta_1 - \eta_m)^2 + (\eta_2 - \eta_m)^2 + (\eta_3 - \eta_m)^2]}$

ここで、 $\eta_1 = \ln K_{max}$ 、 $\eta_2 = \ln K_{int}$ 、 $\eta_3 = \ln K_{min}$ 、 $\eta_m = 3\sqrt{(\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3)}$ である。

5-4 測定結果

5-4-1 フリンダイアグラム

フリンダイアグラム(第16図)は、 L 値を F 値を用いて線構造と面構造の発達の程度が表される。 L 値が F 値よりも大きければ線構造が発達していることを示し、 F 値が L 値よりも大きければ面構造が発達していることを示す。

測定結果は第18図に示す。泥質優勢の整然層と砂岩層の周囲の整然層は L 値が1.03以下で F 値が1.06~1.17と L 値よりも F 値の方が大きく、面構造がよく発達している。一方砂岩脈と砂岩層は、砂岩脈の一部(試料103と105)を除けば、 L 値も F 値も1.00~1.04と小さく、顕著な線構造の発達も面構造の発達もみられない。 F 値の大きいコアサンプルは103-3, 153-2, 153-3である。103と153は褶

曲している砂岩脈の中で、周囲の層理面と直交する方向の接触面をもち砂岩脈が一部厚化した部分で採取されたもので、強い押しつぶしを受けているものと思われる。貫入面の走向は、試料 103 は N16W、105 は N68W である (第 15 図)。

5-4-2 T-P'ダイアグラム

T-P'ダイアグラム (第 17 図) は、T 値と P' 値から、帯磁率楕円体の形状と異方性強度が表される。

- ・ 形状パラメータ (T)
異方性楕円体の形状を示している。1 に近い値のときは、楕円体がパンケーキのように扁平 (oblate) な形状をしている。-1 に近い値のときは、楕円体が葉巻型 (prolate) の形をなす。0 に近い値のときは、楕円体の形状が扁平と葉巻型の中間的な特徴を持つ。
- ・ 異方性強度パラメータ (P')
楕円体の形状 (扁平もしくは葉巻型) に関わらず、初期状態 (帯磁率楕円体が球形であったと仮定する) からの変化量を表現する。値が大きいほど、楕円体は球形からはずれた形状であることを示す。

測定結果は第 19 図に示す。整然層と砂岩脈の周囲の整然層は、T 値が 1 に近く P' 値は 1.02 ~ 1.22 とかなり大きい値となり、帯磁率楕円体は oblate 型をしている。砂岩脈と砂岩層の T 値は 1 ~ -1 の間でばらつきがある。一部の砂岩脈を除いて、P' 値は 1.05 と小さく異方性度は小さいことを示している。P' 値の大きいコアサンプルは、103-3, 153-2, 153-3 である。

5-4-3 ステレオネット

測定結果を第 20 図に示す。ステレオネットには、地層面が水平になるように補正した

時の帯磁率異方性楕円体の主軸の方向がプロットしてある。ただしこれは、ものである。砂岩脈の周囲の整然層は、 K_{max} と K_{int} が水平面上にのり、 K_{min} が垂直方向を向いている。これは、一般に垂直荷重によって圧密された堆積物において典型的な分布である。整然層と砂岩層は同じ配向性を示しており、 K_{max} , K_{int} , K_{min} がそれぞれ一定の方向を示している。 K_{max} と K_{int} は水平面上にのり、 K_{min} は砂岩層の周囲の整然層と同様に垂直方向を示している。砂岩脈の帯磁率異方性は全体にばらつき、特徴的な配向性は確認されなかった。

6 考察

6-1 露頭観察

Dyke 1 と dyke 3 の露頭では、砂岩脈の厚さが上位に向かって薄くなっている。Dyke 1 の露頭では、砂岩脈により母岩の地層面が上位方向に引きずられている様子も確認できる。Dyke 4 の露頭に見られる砂岩脈の西端では、泥岩層が砂岩脈とともに砂岩層に巻き込まれている様子が観察される。以上のことから、dyke 1,3,4 の露頭の砂岩脈は上方注入型と考えられる。

Dyke 1 露頭の砂岩脈の褶曲軸が垂直方向であること、砂岩脈の貫入面の傾斜が高角であることから、dyke 1 は水平面内のいずれかの方向から応力を受けていると考えられる。Dyke 2 の露頭で、褶曲が砂岩脈に切られていることから、褶曲構造が形成された後に砂岩脈が貫入したと考えられる。また dyke 5 の露頭では、砂岩脈がデュープレクスによって切られていることから、砂岩脈が貫入した後にデュープレクスが形成されたと考えられる。dyke 2 露頭は dyke 5 露頭から 600 m 程西側に位置しており、それらの砂岩脈が同時期に形

成されたという直接的な証拠はないが、褶曲・砂岩脈の貫入・デュープレクスという一連の形成過程が露頭での観察から推定される。

6-2 短縮率

短縮方向と短縮率の図に歪み楕円を作成すると、砂岩脈は WNW-ESE 方向に約 60% 程度短縮していると考えられる (第 21 図)。この方向は、層理面にほぼ垂直な方向であり、層理面に垂直な方向から圧縮応力を受けていたと考えられる。このような圧縮応力の原因としては、まず圧密が考えられる。

砂岩脈をふくむ露頭全体が WNW-ESE 方向から圧密を受けたと仮定し、短縮率を計算し直した。測定方法を示したものが第 22 図である。xy 平面を水平面とし、x 軸を層理面の方向 (ENE) に、y 軸を圧縮応力の方向 (WNW) にとった。圧密過程では応力方向 (y 軸方向) に短縮し、応力方向と垂直な方向 (x 軸方向) には伸張しない。よって、砂岩脈が y 軸方向のみに短縮したものと短縮率を求めた。砂岩脈が褶曲する前の全長の y 成分を a とし、褶曲後 (短縮後) の長さの y 成分を b とした。短縮率は、b を a で割ったものに 100 をかけて求めた。単純化した計算法の都合上 (砂岩脈の層厚を考慮に入れていないため)、測定に供した砂岩脈の両端の方位と地層面が準平行な場合は現実的でない値を生じてしまうことがある。このため、二面角が 30 度以上のもののみに対して再計算を行った。

その結果を、第 2 表にまとめた。側方への歪みが生じなかったと仮定すると、最大 90% 近い、地層に直交する方向の短縮を受けているということになる。圧密のみによって、厚さ数十メートルにおよぶ層準を、もとの層厚の 10% の厚さにすることは、不可能である。

それゆえ褶曲構造が圧密のみによって形成されたと考えるのは難しい。

6-3 AMS 測定

単磁区構造をもつ磁鉄鉱や、常磁性の堇青石や電気石のように、鉱物によっては帯磁率異方性は鉱物の長軸方向に最小で、短軸方向に最大となることもあるため、測定する試料の磁性鉱物を調べておく必要がある。屋久島地域の堆積岩類は花崗岩の貫入によって熱変成を受け、紅柱石・堇青石・黒雲母・緑泥石のアイソグラッドが認識されるが、本調査地域は花崗岩接触部から十分に遠く、堇青石アイソグラッドの外側にある。砕屑性の電気石はまれにしか見られないため、帯磁率異方性は常磁性の雲母や粘土鉱物の形態配向性をおもに反映しているものと期待される。測定した試料中の全帯磁率は $200 \times 10E^{-6}$ SI 以下のものが 70% 以上を占める。鉱物のモード組成を考えると強磁性鉱物の影響は弱いであろう。

整然層と砂岩脈の周囲の整然層には、強い面構造の発達が発達しているのに対し、ステレオネット上では K_{max} に集中が見られる。これは、圧密後、何らかの応力を受けたということを示唆する。また、砂岩層は、AMS 試料の採取場所が離れているにもかかわらず、泥質優勢の整然層と類似した配向性を示している。砂岩

層には肉眼で確認できる顕著な線構造や面構造の発達は見られなかったが、周辺の泥質優勢の整然層と同様な変形を受けたことが示唆される。

砂岩脈に顕著な磁性鉱物粒子の配向性が見られないということの一つの解釈として、砂岩脈貫入時の液状化に伴い粒子が擾乱したことが考えられる。また、砂岩脈のコアサンプルのうち異方性が発達しているものは、脈が厚化した場所に限られ、押しつぶし圧縮を受けたものと考えられる。

6-4 まとめ

以上をまとめると、砂岩脈は上方へ貫入しており、砂岩脈とその周囲の整然層は層理面に垂直な方向から圧縮応力を受けたと考えられる。砂岩脈の短縮率は、最大で約90%である。圧密だけで、これだけの短縮を説明することは不可能である。

砂岩脈が褶曲した成因として、圧密による短縮、テクトニズムによる短縮、貫入時の初生的な原因による褶曲が考えられるが、一般的な解釈である圧密メカニズムだけでは説明できないという結果に至った。今後、貫入時に初生的な要因により褶曲したという可能性について検討していく必要がある。

7 謝辞

本報告書を作成するにあたり、独立行政法人産業技術総合研究所の山崎俊嗣博士には、帯磁率異方性測定の便宜をはかっていただいた。また、熊本郡屋久町安房の池亀和代氏には調査時に大変親切にいただいた。

以上の方々のお力添えにより、本報告書を作成することができた。ここに心からの感謝の意を表す。

8 参考文献

- 橋本 勇, 1956, 屋久島の時代未詳層群の層序とその地質構造および種子島西部の熊毛層群に関する 1,2 の事実. 九州大学教養部地学研究報, 8, 48-62.
- Hayashi Tadaichi, 1966, Clastic Dikes in Japan (1). Japanese Journal of Geology and Geography, 37, 1-20.
- Potter, P.E. and Pettijohn, F.J., 1977, Paleocurrents and basin analysis (2nd, corrected and updated ed.). Elsevier, 425p.
- 坂 幸恭, 1982, 砕屑岩脈およびシルについて一通覧と関東山地秩父累帯における例一. 早稲田大学教育学部学術研究(生物・地学編), 31, 33-47.

第1表 砂岩脈の短縮率と短縮率を測定した方向

dyke No.	方向	短縮率(%)
1-①	N70° E	38.6
1-②	N38° E	100
1-③-i	N30° E	96.7
1-③-ii	N88° E	42.4
1-④	N18° W	55.4
1-⑤	N28° E	77.2
1-⑥	N46° E	46.6

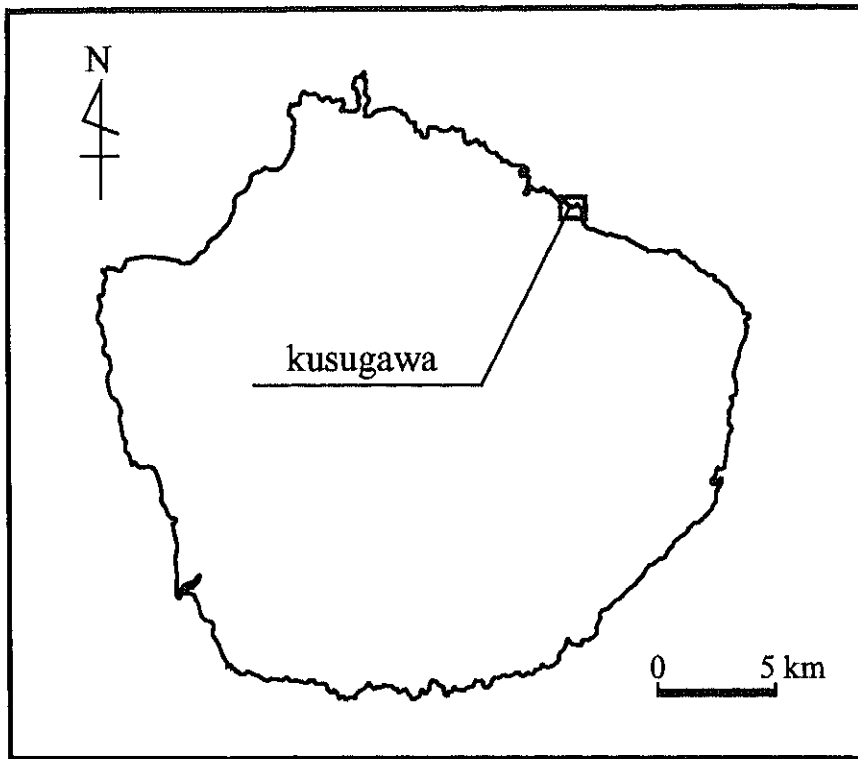
第2表 圧縮応力を受けた方向を考慮して求めた砂岩脈の短縮率.
N60W-S60E方向から圧縮応力を受けたと推定して計算している.

dyke No.	短縮方向	短縮率(%)	a	b	層理面と砂岩脈の間の角度
1-①	N70° E	28.5	28.4	8.1	40°
1-②	N38° E	92.3	0.65	0.6	8°
1-③-i	N30° E	0	2.9	0	0°
1-③-ii	N88° E	12.2	9.8	1.2	58°
1-④	N18° W	53.5	11.2	6	48°
1-⑤	N28° E	7.5	4	0.3	2°
1-⑥	N46° E	17.1	12.8	2.2	16°

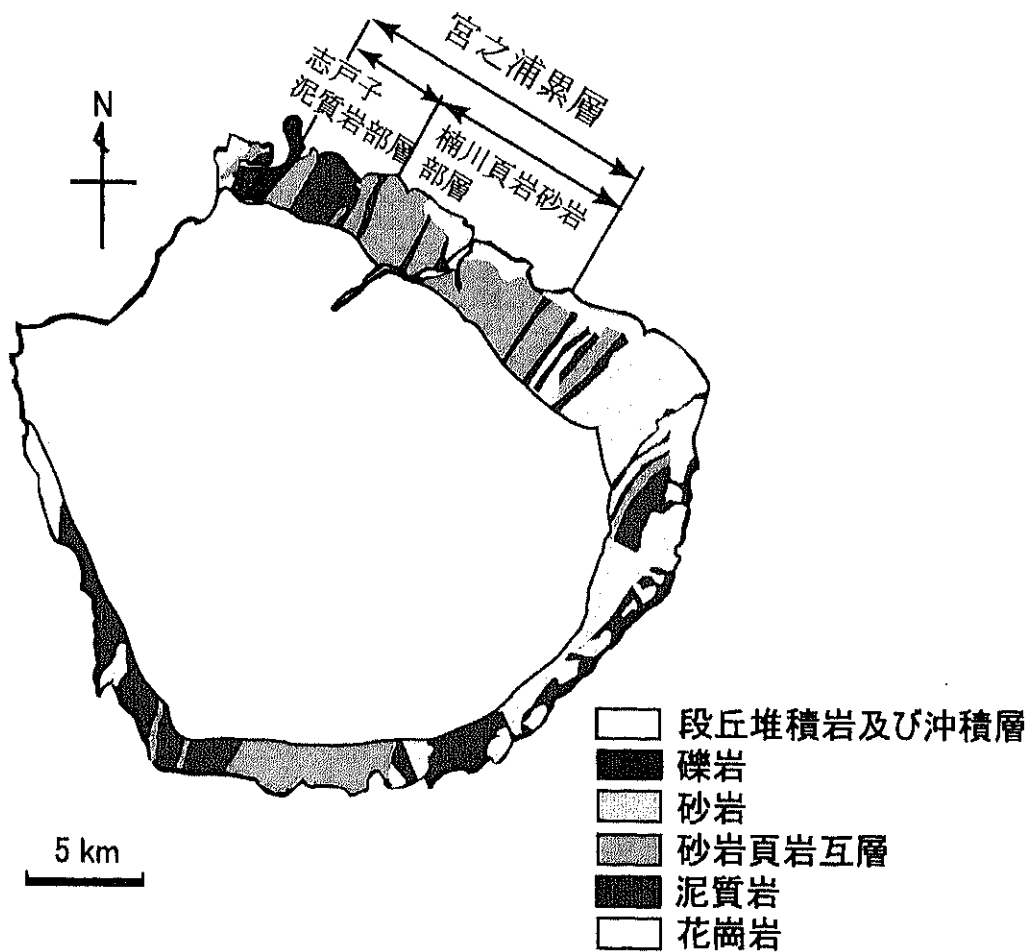
第3表 AMS(帯磁率異方性測定)のデータ。YK 101 - YK 110・YK 150-YK 165 のサンプルは砂岩脈から、YK 111 - YK 127 のサンプルは砂岩脈の周囲の整然層から、YK 146 - YK 149 のサンプルは砂岩層から、YK 233 - YK 242 のサンプルは整然層から採取したものである。

Sample No.	Azimuth	Plunge	Kmax		Kint		Kmin		Mean susc.		L	F	P	T	
YK 101	1	78	87	357	40	101	17	209	45.4	7.52E+01	7.52E-05	1.01	1.01	1.02	0.16
	2			23.7	28.8	219	60	117	6.6	1.02E+02	1.02E-04	1.02	1	1.02	-0.64
YK 102	1	17	86	32.1	57.3	138	10	234	30.8	8.98E+01	8.98E-05	1.01	1.01	1.01	-0.03
	2			157	40.6	46	24	294	40.3	6.61E+01	6.61E-05	1.01	1.01	1.01	-0.23
YK 103	1	319	80	29.5	43	253	38	143	23.4	1.34E+02	1.34E-04	1.01	1.02	1.03	0.16
	2			59	16.2	159	31	305	54.3	2.09E+02	2.09E-04	1.03	1.01	1.04	-0.5
	3			87.8	0.7	178	28	356	62.4	1.57E+03	1.57E-03	1.03	1.06	1.09	0.37
YK 104	1	130	86	201	47.5	58	36	313	19	1.30E+02	1.30E-04	1.02	1.01	1.03	-0.18
	2			201	41.6	75	33	323	30.4	1.25E+02	1.25E-04	1.03	1.01	1.03	-0.62
	3			192	43.5	89	14	346	43.3	1.19E+02	1.19E-04	1.02	1.01	1.04	-0.29
YK 105	1	101	87	4.9	49.1	245	23	140	31.4	1.29E+02	1.29E-04	1.02	1.01	1.03	-0.26
	2			20.9	48.7	243	33	138	21.9	1.41E+02	1.41E-04	1.01	1.02	1.03	0.15
YK 106	1	215	78	347	38.6	140	48	246	13.6	1.18E+02	1.18E-04	1.02	1.01	1.02	-0.39
YK 107	1	187	79	20.3	40.7	195	49	288	2.7	1.30E+02	1.30E-04	1.02	1.01	1.03	-0.36
	2			1.6	63.3	122	14	218	22.1	1.38E+02	1.38E-04	1.01	1.02	1.02	0.49
YK 108	1	173	66	35.9	38.6	198	50	299	8.8	1.21E+02	1.21E-04	1.01	1.01	1.02	0.27
YK 109	1	166	71	12.9	30	229	54	113	17.6	1.29E+02	1.29E-04	1.01	1.01	1.02	-0.19
YK 110	1	187	62	354	29.1	227	47	102	28.3	1.30E+02	1.30E-04	1.01	1.01	1.02	0.32
YK 111	1	357	80	204	26.6	7	62	110	7.1	1.99E+02	1.99E-04	1	1.13	1.16	0.97
	2			14	44.9	202	5	108	4	1.36E+02	1.36E-04	1.01	1.16	1.19	0.91
YK 112	1	200	86	247	81.1	14	5	104	7.1	2.40E+02	2.40E-04	1	1.15	1.18	0.95
	2			10.8	21.3	207	68	103	5.5	2.53E+02	2.53E-04	1.01	1.16	1.19	0.93
	3			9.2	12.9	218	75	101	6.9	2.37E+02	2.37E-04	1	1.16	1.19	0.97
YK 113	1	31	80	211	77.4	19	12	109	2.5	2.06E+02	2.06E-04	1	1.12	1.15	0.93
	2			217	79.9	17	9	107	3.4	1.80E+02	1.80E-04	1.01	1.13	1.16	0.87
	3			219	66.6	17	22	110	7.8	1.70E+02	1.70E-04	1.01	1.14	1.17	0.86
YK 114	1	3	83	303	85.1	192	2	102	4.6	2.05E+02	2.05E-04	1	1.14	1.16	0.96
	2			202	35	13	55	109	4.2	1.94E+02	1.94E-04	1	1.14	1.17	0.99
YK 115	1	45	79	250	85.3	21	3	111	3.6	2.08E+02	2.08E-04	1.02	1.12	1.16	0.73
	2			339	79.1	200	8	109	7	1.93E+02	1.93E-04	1.01	1.14	1.17	0.9
	3			210	57.4	12	31	107	8	1.95E+02	1.95E-04	1.01	1.12	1.14	0.9
YK 116	1	329	77	3.2	66.5	223	18	128	14	1.13E+02	1.13E-04	1.01	1.1	1.13	0.78
	2			338	75.8	216	8	124	11.9	1.14E+02	1.14E-04	1.01	1.12	1.14	0.88
	3			355	70.5	221	14	127	13.5	1.09E+02	1.09E-04	1.01	1.1	1.12	0.79
YK 117	1	316	84	265	73	37	12	130	12.2	1.06E+02	1.06E-04	1.01	1.11	1.13	0.79
	2			274	72.6	37	10	130	14.1	1.08E+02	1.08E-04	1.01	1.11	1.13	0.8
YK 118	1	257	80	344	80.4	211	6	121	7	2.06E+02	2.06E-04	1.01	1.1	1.13	0.89
YK 119	1	286	79	213	86	102	1	12	3.8	2.05E+02	2.05E-04	1.01	1.09	1.11	0.77
	2			258	81.3	101	8	10.5	3.4	2.08E+02	2.08E-04	1.01	1.09	1.11	0.79
YK 120	1	315	78	348	8.4	99	68	255	20.6	1.43E+02	1.43E-04	1.02	1.01	1.03	-0.35
	2			353	11.3	162	79	262	2	1.41E+02	1.41E-04	1.02	1.01	1.03	-0.53
YK 121	1	6	38	214	51.5	3	34	104	15.6	2.60E+02	2.60E-04	1	1.15	1.18	0.95
	2			279	74.2	187	0	97.4	15.8	2.56E+02	2.56E-04	1.02	1.13	1.16	0.78
	3			296	79.7	189	3	98.7	9.9	2.37E+02	2.37E-04	1.01	1.13	1.16	0.88
YK 122	1	13	39	359	45.7	209	40	106	15.9	3.00E+02	3.00E-04	1.01	1.15	1.18	0.93
	2			307	72.4	197	6	105	16.4	2.87E+02	2.87E-04	1.01	1.13	1.16	0.9
YK 123	1	6	33	347	52.8	209	29	107	20.9	2.89E+02	2.89E-04	1.01	1.15	1.18	0.87
	2			319	61.9	203	13	107	24.4	2.77E+02	2.77E-04	1.01	1.12	1.15	0.9
	3			275	63.9	19	7	112	25.2	2.67E+02	2.67E-04	1.01	1.14	1.17	0.91
	4			310	67	206	6	114	22.2	2.23E+02	2.23E-04	1	1.14	1.16	0.94
YK 124	1	198	32	147	84.2	26	3	296	5	1.66E+02	1.66E-04	1.01	1.17	1.2	0.93
	2			32.8	48	203	42	297	4.9	1.47E+02	1.47E-04	1.01	1.17	1.2	0.9
YK 125	1	196	31	6.7	74.9	201	15	110	3.7	1.74E+02	1.74E-04	1.01	1.17	1.2	0.9
	2			3	70	203	19	110	6.2	1.59E+02	1.59E-04	1.01	1.18	1.22	0.89
YK 126	1	200	32	258	86.1	20	2	110	3.3	1.53E+02	1.53E-04	1.01	1.16	1.2	0.88
	2			18.5	74.1	199	16	109	0.2	1.62E+02	1.62E-04	1.01	1.17	1.2	0.92
	3			23.8	47.7	204	42	114	0.2	1.19E+02	1.19E-04	1.01	1.18	1.21	0.93
YK 127	1	34	44	36.9	47.4	230	42	134	6.4	2.15E+02	2.15E-04	1.02	1.12	1.16	0.74
YK 146	1	219	87	20.9	64.1	156	19	252	16.8	1.30E+02	1.30E-04	1	1.04	1.04	0.8
	2			10.7	41.8	145	38	257	24.7	1.35E+02	1.35E-04	1	1.03	1.04	0.85
YK 147	1	275	83	11	42.6	200	47	105	4.6	1.17E+02	1.17E-04	1.02	1.01	1.03	-0.51
	2			8.8	59.3	202	30	109	5.9	1.18E+02	1.18E-04	1.01	1.02	1.03	0.15
YK 148	1	240	81	16.3	37.8	154	44	268	22.4	1.74E+02	1.74E-04	1.04	1.01	1.05	-0.46

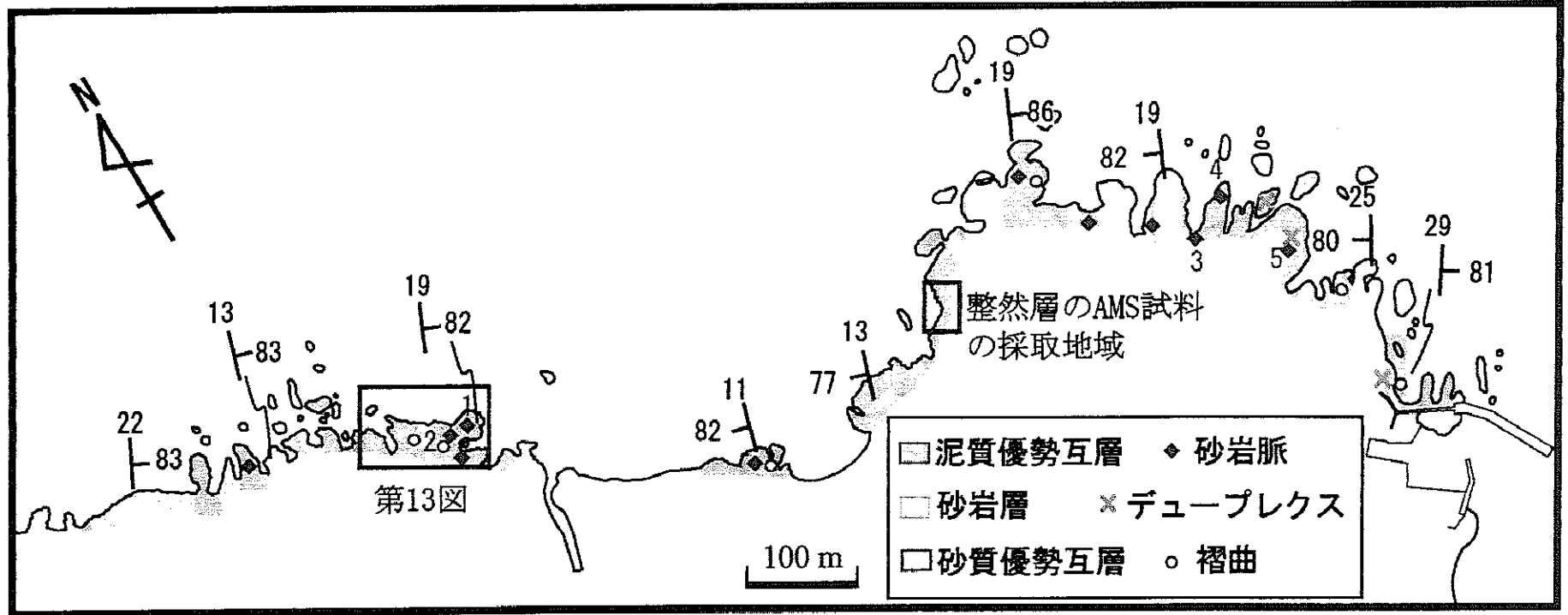
Sample No.	Azimuth	Plunge	K _{max}		K _{int}		K _{min}		Mean susc.	L	F	P	T		
YK 148	2		14.3	34.6	165	52	274	14.2	1.42E+02	1.42E-04	1.02	1.01	1.04	-0.26	
YK 149	1	212	73	25.6	27.7	152	49	280	27.8	1.60E+02	1.60E-04	1.01	1.01	1.02	0.08
	2			10.8	47.8	151	35	256	20.7	1.53E+02	1.53E-04	1.01	1.01	1.02	-0.03
	3			2.8	17	267	18	133	64.6	1.58E+02	1.58E-04	1.02	1	1.02	-0.66
YK 150	1	218	76	355	3.4	85	4	226	84.5	1.68E+02	1.68E-04	1.03	1.03	1.06	0.07
YK 151	1	296	69	199	13.5	81	63	295	22.9	1.41E+02	1.41E-04	1.01	1.03	1.05	0.62
	2			168	47.5	49	24	302	32.3	1.54E+02	1.54E-04	1.01	1.03	1.04	0.34
YK 152	1	320	78	15.8	54.7	214	34	118	8.6	1.70E+02	1.70E-04	1.02	1.02	1.05	0.09
	2			31.6	54.8	224	34	130	6	1.59E+02	1.59E-04	1.01	1.02	1.03	0.06
YK 153	1	317	81	30.9	38.4	242	47	134	15.9	1.34E+02	1.34E-04	1.01	1.03	1.04	0.54
	2			233	6.2	326	24	130	64.9	6.41E+03	6.41E-03	1.07	1.09	1.17	0.11
	3			292	5.6	201	6	66.2	82.1	6.93E+02	6.93E-04	1.01	1.17	1.21	0.89
YK 154	1	260	85	111	68.4	358	9	265	19.6	1.26E+02	1.26E-04	1.01	1.01	1.01	0.31
	2			48.2	82.5	195	6	285	4.1	1.24E+02	1.24E-04	1.01	1.01	1.02	-0.1
YK 155	1	281	77	296	61.7	72	21	169	17.7	1.49E+02	1.49E-04	1	1.01	1.01	0.46
YK 156	1	18	80	13.3	45	121	17	225	40.4	1.12E+02	1.12E-04	1.02	1.02	1.04	0.19
	2			350	34.6	99	25	216	45.2	1.03E+02	1.03E-04	1.02	1.02	1.04	0.07
YK 157	1	276	73	335	53.5	124	32	224	14.9	1.30E+02	1.30E-04	1.01	1.01	1.02	0.24
	2			131	18	345	68	224	11.4	1.31E+02	1.31E-04	1	1.02	1.02	0.66
YK 158	1	206	67	313	51.1	86	29	190	23.7	1.17E+02	1.17E-04	1.01	1.01	1.02	-0.11
	2			31.9	73.1	125	1	216	16.9	9.10E+01	9.10E-05	1	1.01	1.01	0.16
YK 159	1	261	72	19.4	16.5	123	38	271	47	1.04E+02	1.04E-04	1.01	1	1.02	-0.54
	2			12.1	48.1	237	32	131	23.6	9.66E+01	9.66E-05	1	1.01	1.02	0.4
YK 160	1	255	77	353	69.9	206	17	113	10.5	1.13E+02	1.13E-04	1.01	1	1.01	-0.27
	2			1.6	46.7	240	27	132	31.4	1.05E+02	1.05E-04	1.01	1.01	1.02	-0.37
YK 161	1	230	88	185	50.2	26	38	288	10.6	1.21E+02	1.21E-04	1	1.01	1.02	0.66
	2			1.5	66.6	221	19	126	13.8	1.15E+02	1.15E-04	1.01	1.01	1.02	0.17
YK 162	1	275	87	34.1	40.1	231	49	131	8.4	1.09E+02	1.09E-04	1.02	1.01	1.03	-0.16
YK 163	1	299	79	43.1	33.3	273	44	153	27.3	1.34E+02	1.34E-04	1.01	1.02	1.04	0.27
	2			36.1	32.4	270	43	148	30	1.27E+02	1.27E-04	1.01	1.02	1.03	0.36
YK 164	1	243	80	38.3	5.3	299	61	131	28.1	1.24E+02	1.24E-04	1	1.02	1.02	0.83
YK 165	1	292	73	335	31.4	90	34	215	39.8	1.53E+02	1.53E-04	1.01	1.01	1.02	-0.29
YK 233	1	23	52	5.4	31.4	219	54	106	16.1	1.74E+02	1.74E-04	1.01	1.08	1.1	0.79
	2			358	38.2	214	46	104	18.7	1.86E+02	1.86E-04	1	1.08	1.1	0.91
YK 234	1	24	69	342	67.7	193	19	99.1	10.5	1.80E+02	1.80E-04	1.01	1.09	1.1	0.82
	2			329	71.1	197	13	104	13.5	1.92E+02	1.92E-04	1	1.08	1.1	0.91
YK 235	1	58	79	317	70	202	9	109	17.9	1.49E+02	1.49E-04	1	1.08	1.09	0.92
	2			0.9	39.3	219	44	109	20.4	1.37E+02	1.37E-04	1.01	1.08	1.1	0.81
YK 236	1	76	83	341	58.9	202	24	104	18.1	1.49E+02	1.49E-04	1.01	1.06	1.08	0.78
	2			205	35.1	350	50	102	17.6	1.77E+02	1.77E-04	1	1.04	1.05	0.97
YK 237	1	295	79	7.3	46.7	206	42	108	9.5	2.15E+02	2.15E-04	1.01	1.09	1.12	0.75
	2			8.9	46.1	212	41	112	11.9	2.22E+02	2.22E-04	1.01	1.1	1.12	0.81
	3			11.9	33.4	217	54	110	12	2.22E+02	2.22E-04	1.01	1.1	1.12	0.84
YK 238	1	269	73	2.2	38.2	212	48	105	15.1	2.12E+02	2.12E-04	1.01	1.09	1.11	0.75
	2			355	53.4	205	33	105	14.4	2.20E+02	2.20E-04	1.01	1.1	1.12	0.87
	3			358	37.3	205	50	98.6	13.5	1.83E+02	1.83E-04	1.01	1.09	1.12	0.78
YK 239	1	314	84	11.2	49.5	225	35	123	17.2	2.00E+02	2.00E-04	1.01	1.09	1.1	0.82
	2			1.8	60.3	228	22	130	19.3	2.08E+02	2.08E-04	1.01	1.07	1.09	0.8
YK 240	1	299	79	3	53.7	211	33	112	13.4	2.14E+02	2.14E-04	1.01	1.09	1.12	0.8
	2			15	52.3	219	35	121	12	2.07E+02	2.07E-04	1.01	1.1	1.12	0.86
YK 241	1	272	81	338	54.5	194	30	93.3	17.2	1.73E+02	1.73E-04	1.01	1.08	1.1	0.82
	2			356	48.4	202	39	101	13	1.93E+02	1.93E-04	1.01	1.09	1.1	0.88
	3			356	56.7	202	31	105	12.1	1.93E+02	1.93E-04	1.01	1.08	1.1	0.83
	4			359	43.4	207	43	103	14.2	1.42E+02	1.42E-04	1.01	1.08	1.1	0.76
YK 242	1	280	78	358	54.6	211	31	111	15.9	1.81E+02	1.81E-04	1.01	1.08	1.1	0.84
	2			353	50.7	206	34	104	16.7	1.90E+02	1.90E-04	1.01	1.08	1.1	0.86
	3			360	51.9	203	36	105	11.3	1.94E+02	1.94E-04	1.01	1.08	1.1	0.8



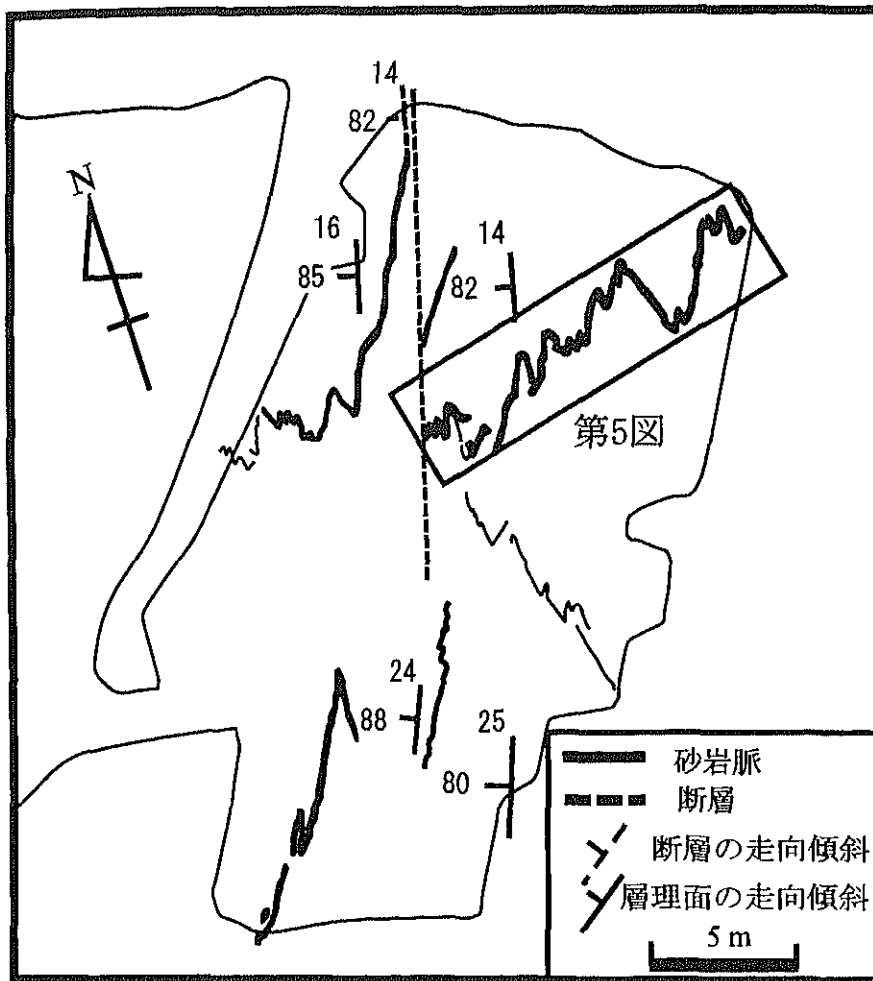
第1図 楠川の位置図. 屋久島の北東部に位置する.



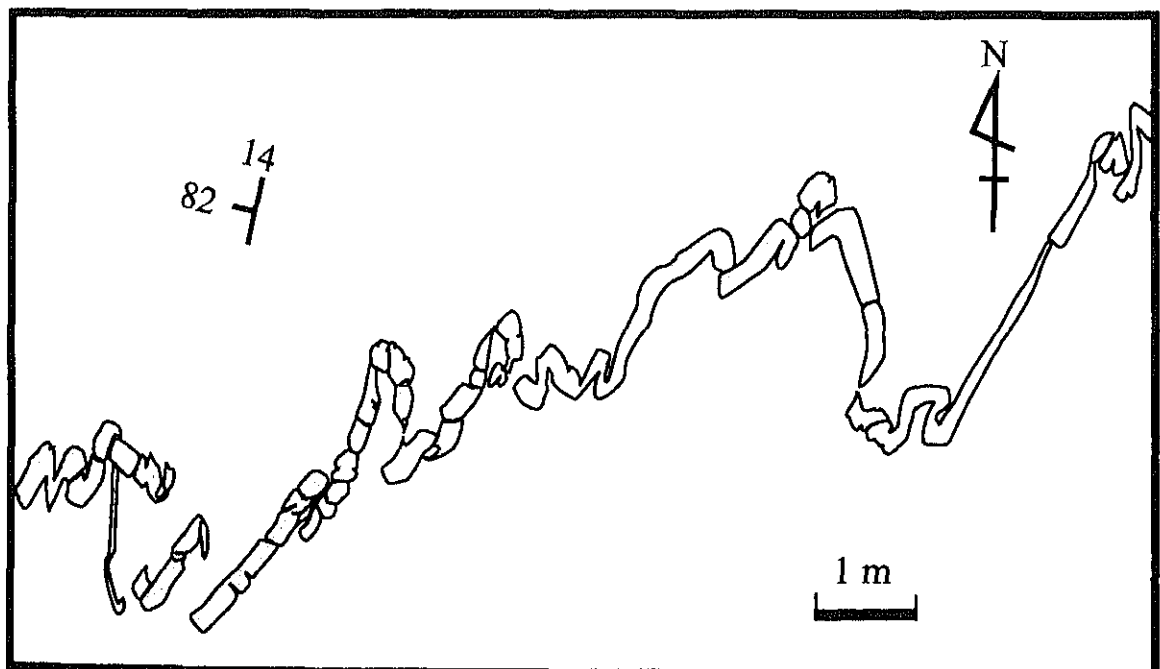
第2図 屋久島の地質図. 調査地域の楠川頁岩砂岩互層は宮之浦累層の下部に位置する.



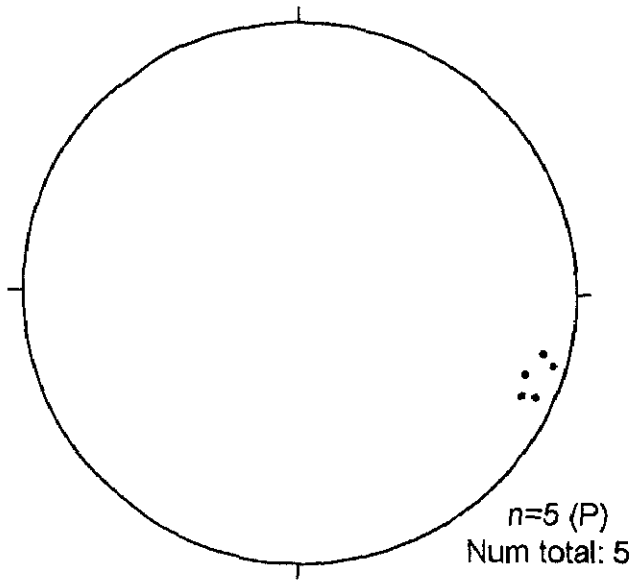
第3図 調査地域の地質図。主に泥質優勢砂泥互層が露出する。走向は北北東-南南西方向を示し高角度で傾斜する。一般に西上位である。◆は砂岩脈、○は褶曲構造、×印はデュープレクスの観察される露頭の位置を示す。四角枠は、AMS試料の採取地域を示す。整然層以外のAMS試料の採取地域は第13図に示す。



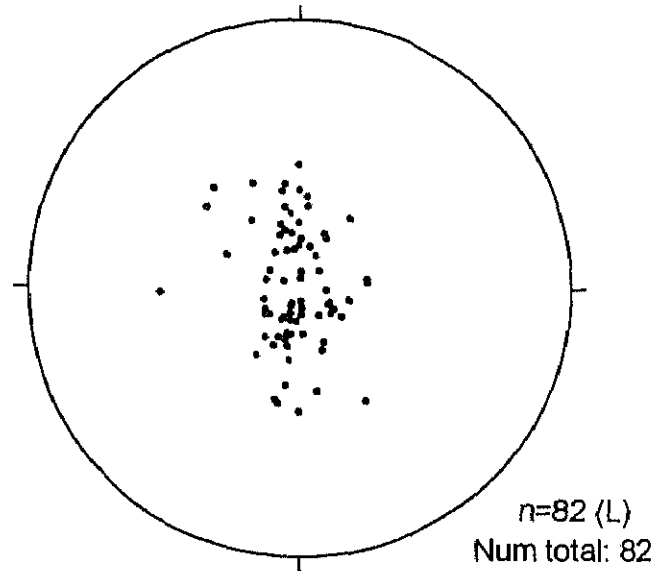
第4図 dyke 1の露頭の平板測量図。破線は断層面をあらわす。褶曲した砂岩脈が集中している。



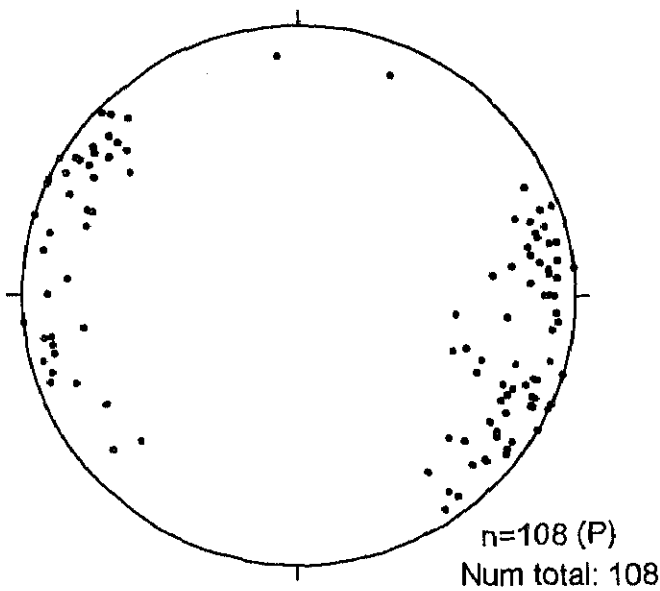
第5図 砂岩脈の平板測量図。dyke 1の露頭の中で最も大きい砂岩脈の平板測量を行った。



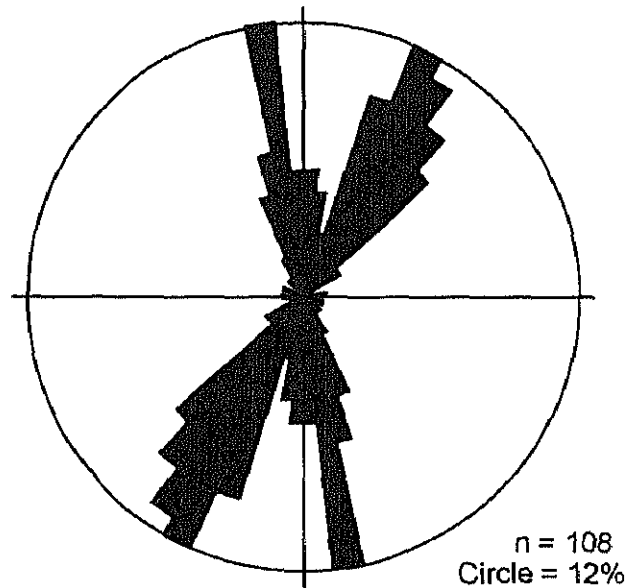
層理面の走向傾斜の極



砂岩脈の褶曲軸の方向

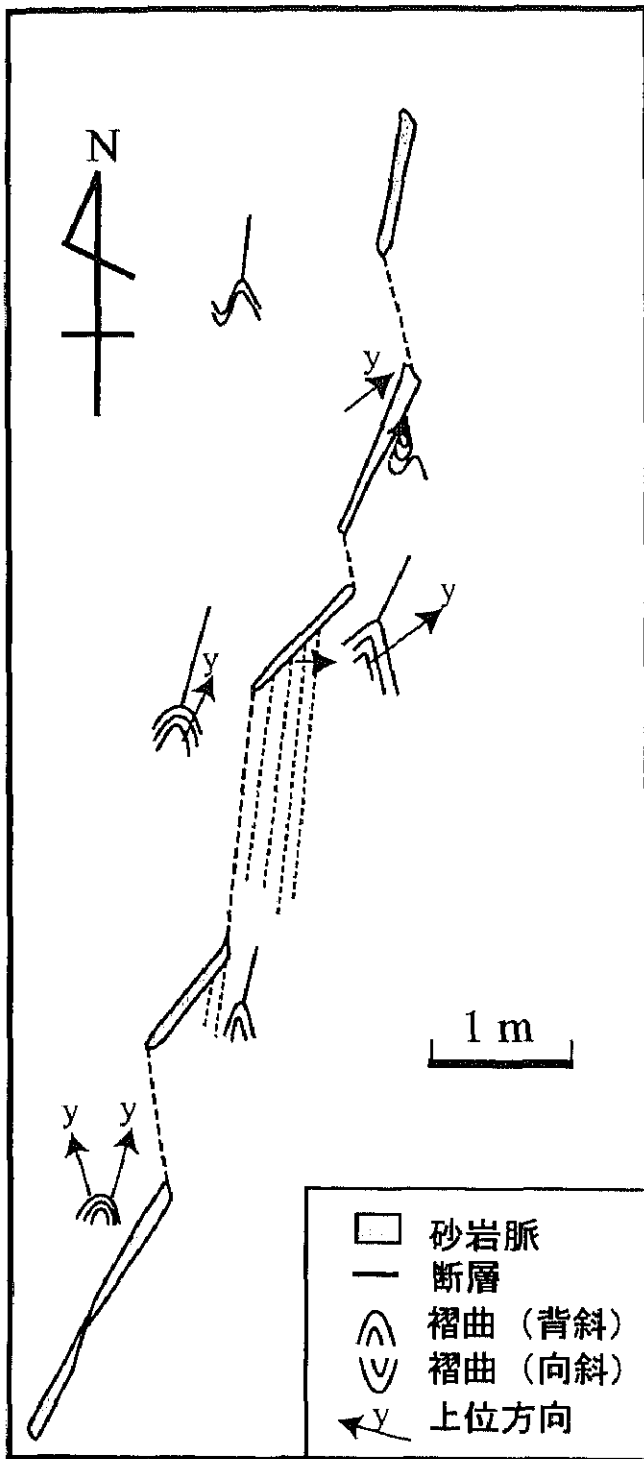


砂岩脈の貫入面の極

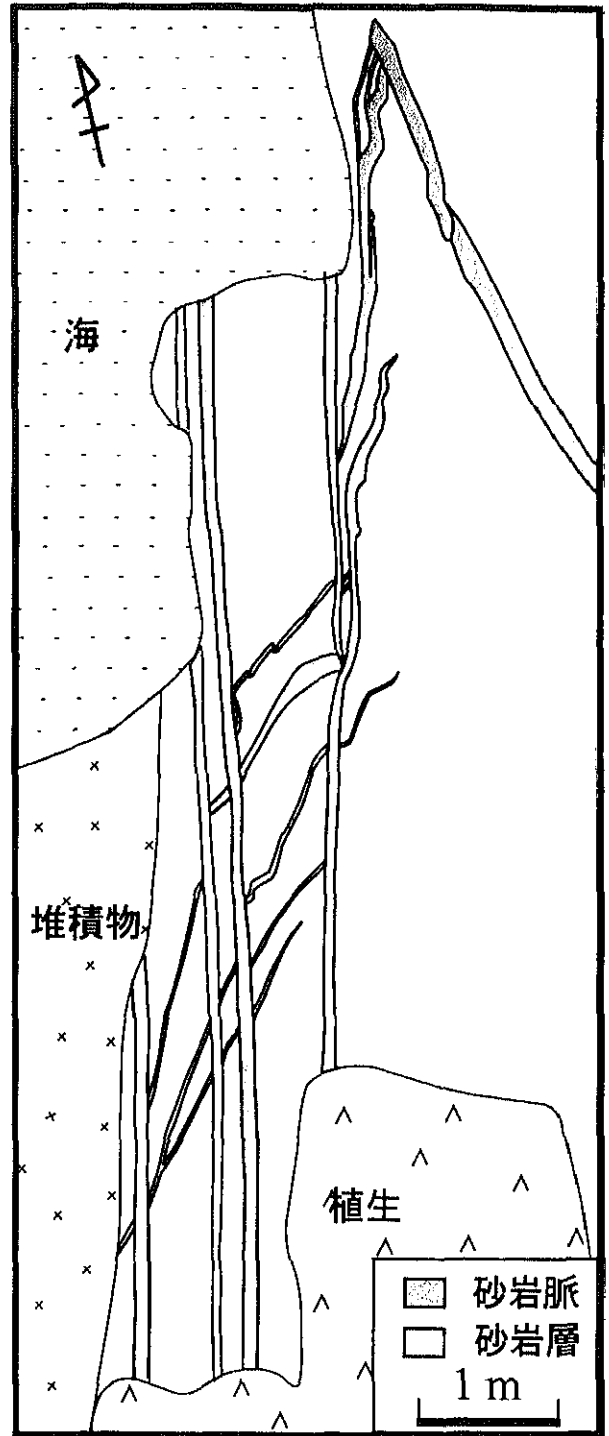


砂岩脈の貫入面のローズ
ダイアグラム

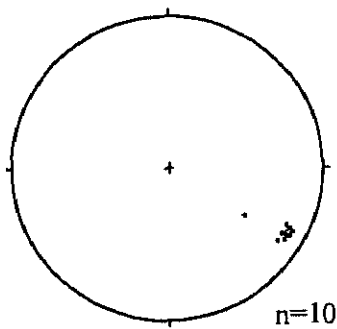
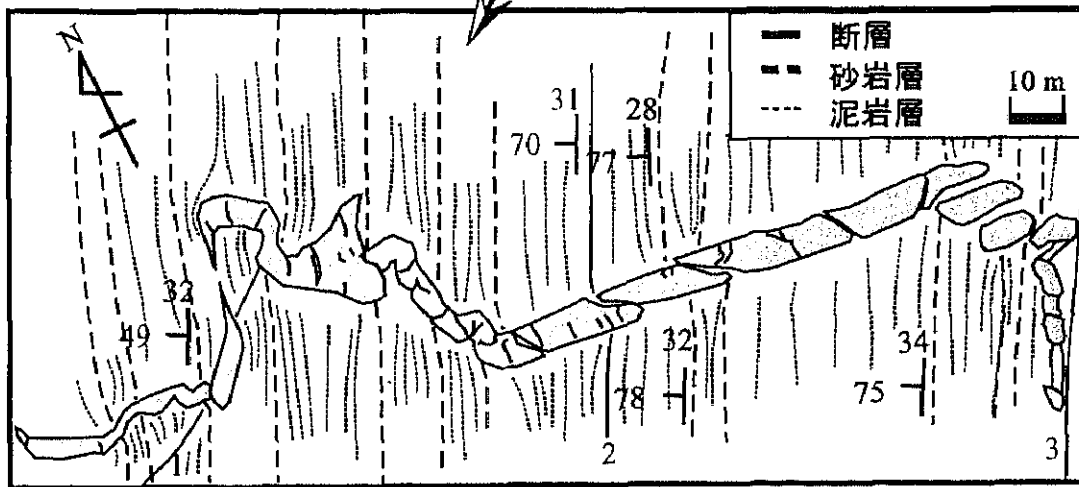
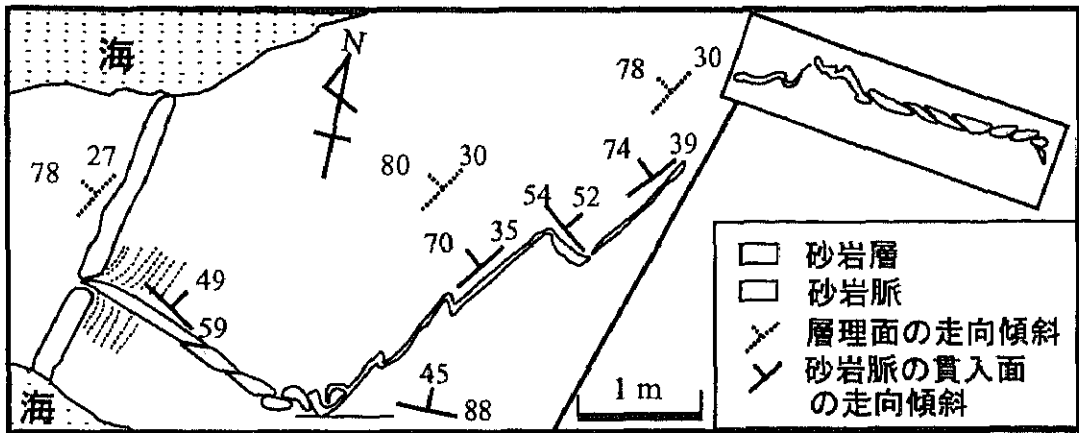
第6図 dyke 1の露頭のデータ。砂岩脈の褶曲軸はほぼ垂直に立っており、砂岩脈の貫入面は高角度で傾斜している。砂岩脈の貫入面の走向はN20EとN20Wの2方向をなす。



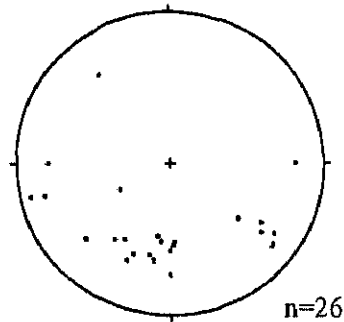
第7図 dyke 2の露頭のスケッチ。
砂岩脈が断層によって切られている。砂泥互層が褶曲しており、東上位である。褶曲から伸びる直線は、褶曲軸をあらわす。



第8図 dyke 3の露頭のスケッチ。
砂岩脈が砂岩層を貫いている。母岩は西上位で砂岩脈は、上位に向かって薄くなっている。砂岩脈の両端は堆積物に覆われており観察できない。



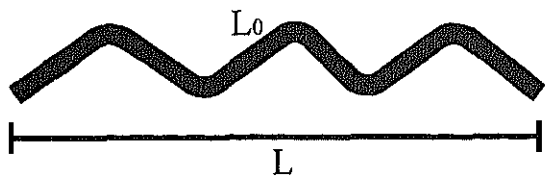
層理面の走向傾斜の極



砂岩脈の貫入面の走向傾斜の極

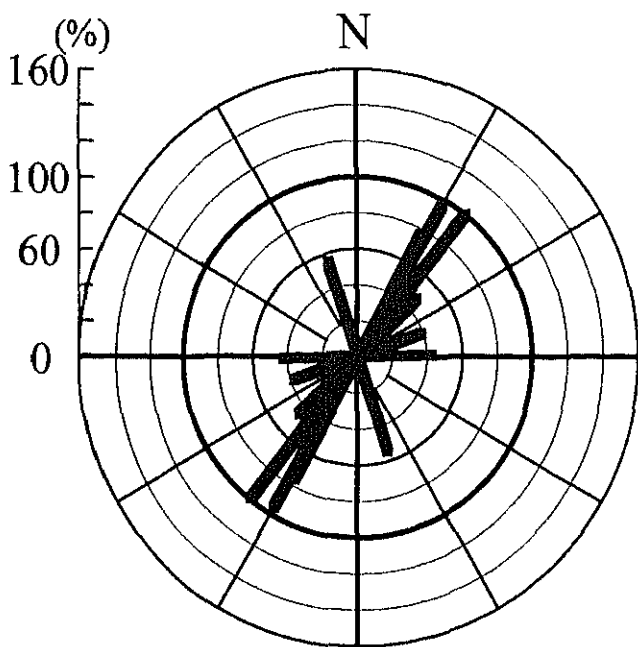
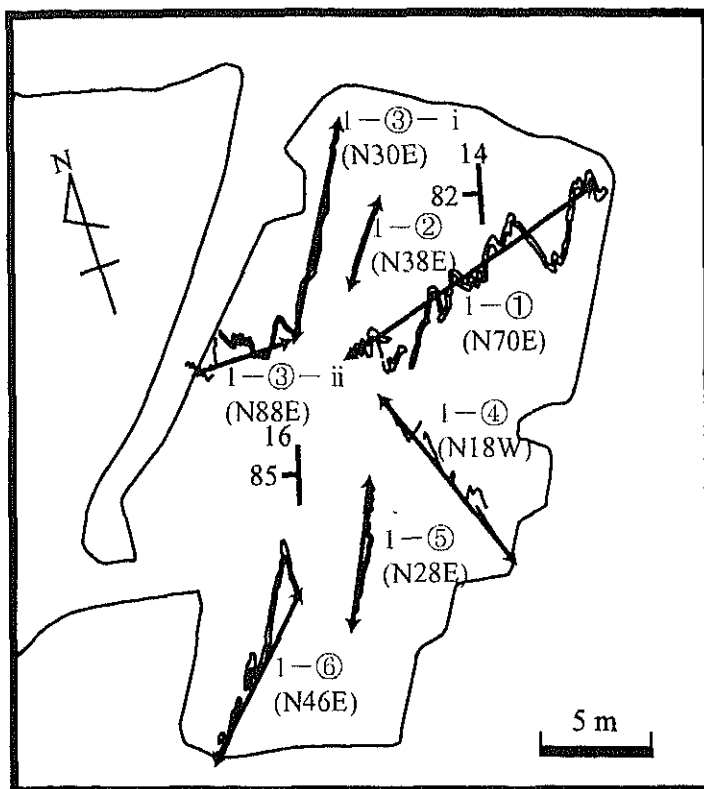
第9図 dyke 4 の露頭のスケッチ. 上図からは砂岩脈が砂岩層へ貫入している様子が, 下図からは, 砂岩脈がデュープレクス様構造を形成している様子が観察できる.

$$\text{短縮率 (\%)} = \frac{\text{dyke の直線距離 } L}{\text{dyke の全長 } L_0} \times 100$$

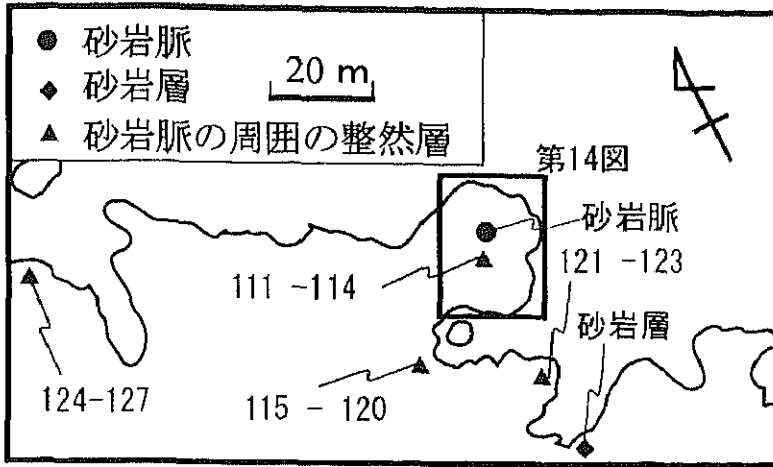


第10図 短縮率の算出方法. 全長に対する直線距離の比を求める.

第11図 砂岩脈の短縮率を測定した方向(dyke 1の露頭).

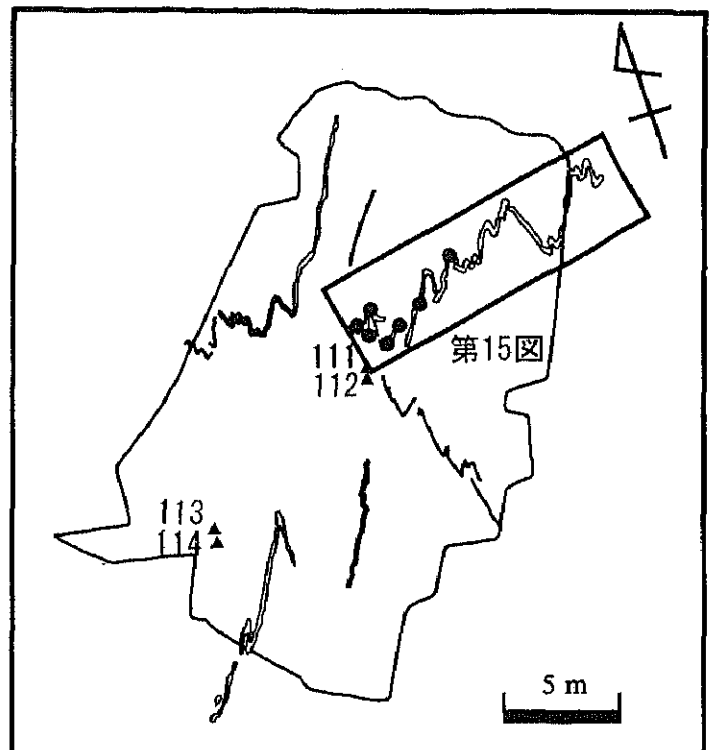


第12図 砂岩脈の短縮方向と短縮率. 上部が北方向を示し、円の中心からの距離が短縮率を示す. 円の中心に近いほど短縮されており、外周に近いほど短縮されていないことを示す.

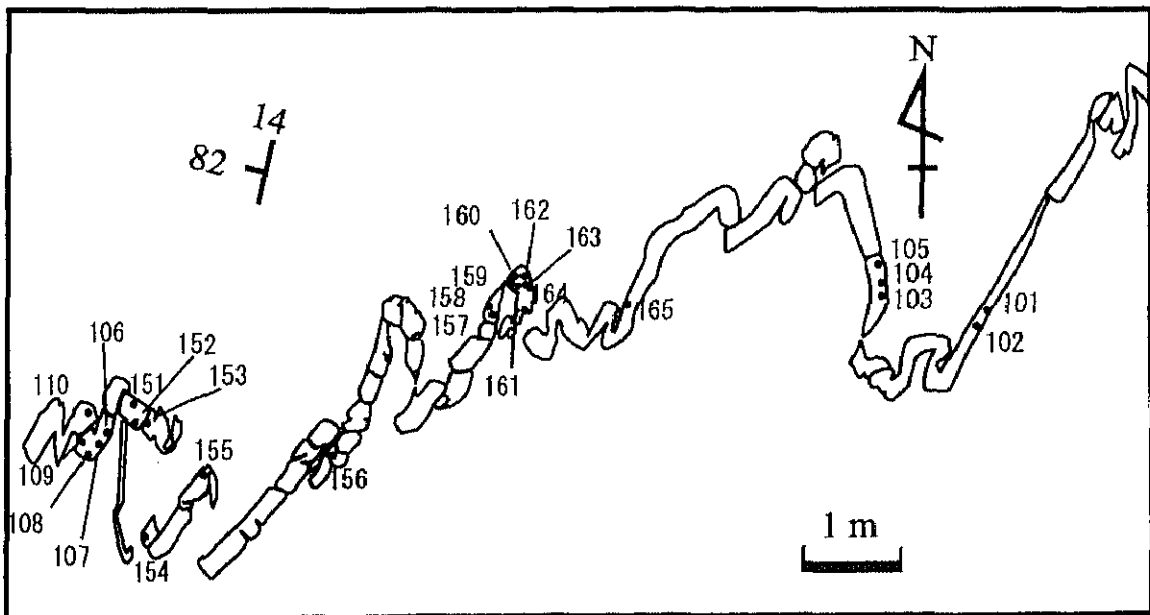


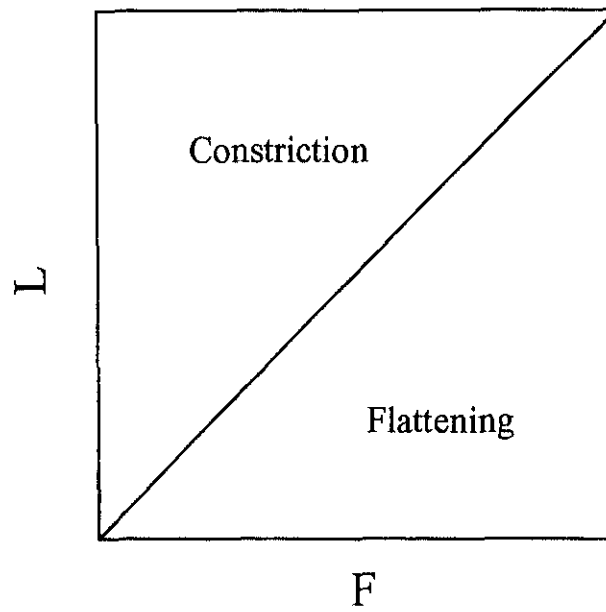
第13図 AMS 試料の採取地点. 砂岩脈の周囲の整然層の試料の採取地点を詳細に示してある. 砂岩層については第15図に示す.

第14図 AMS 試料の採取地点 (dyke 1の露頭). 砂岩脈の試料はdyke 1-①から採取した.

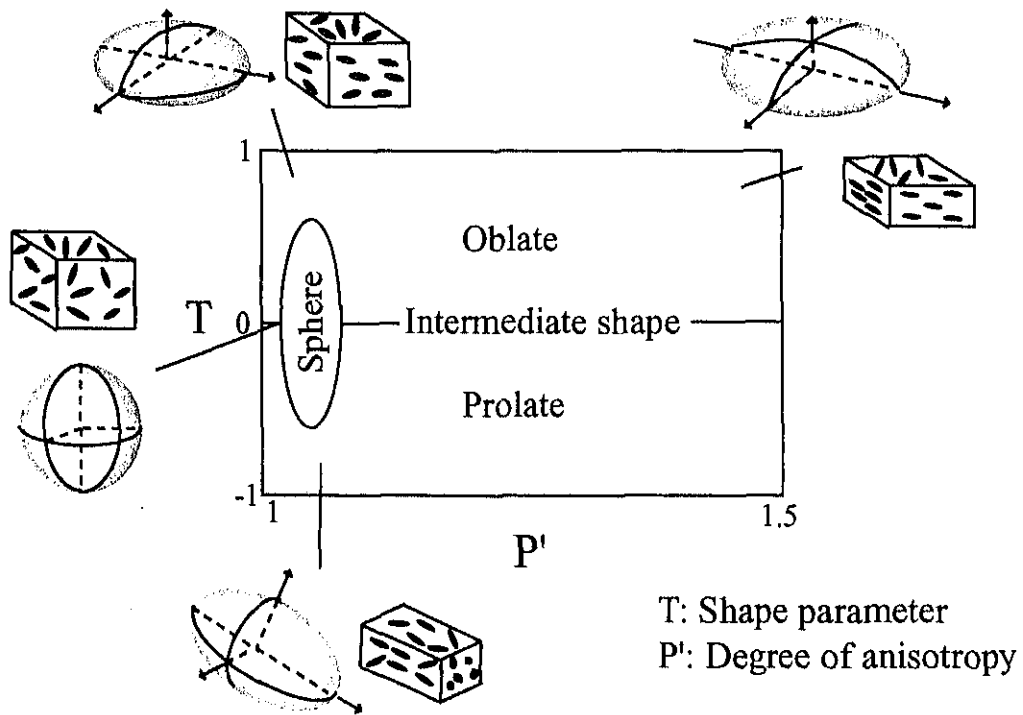


第15図 砂岩脈のAMS 試料の採取地点. dyke1-①から採取した.

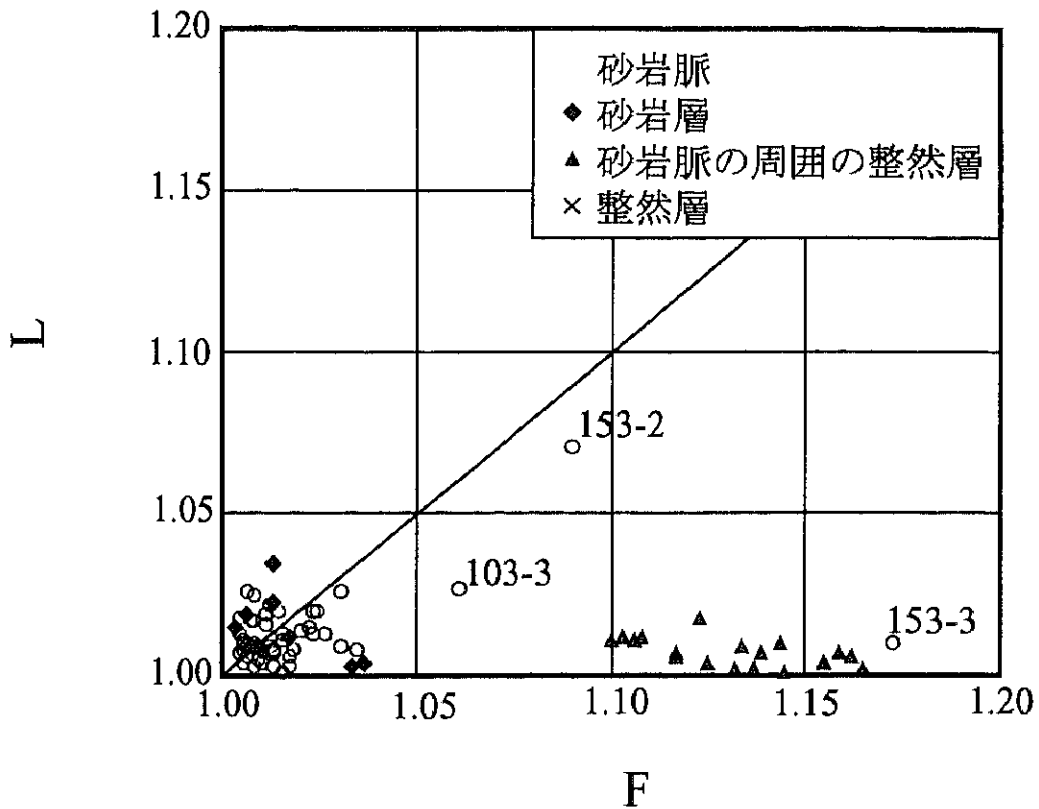




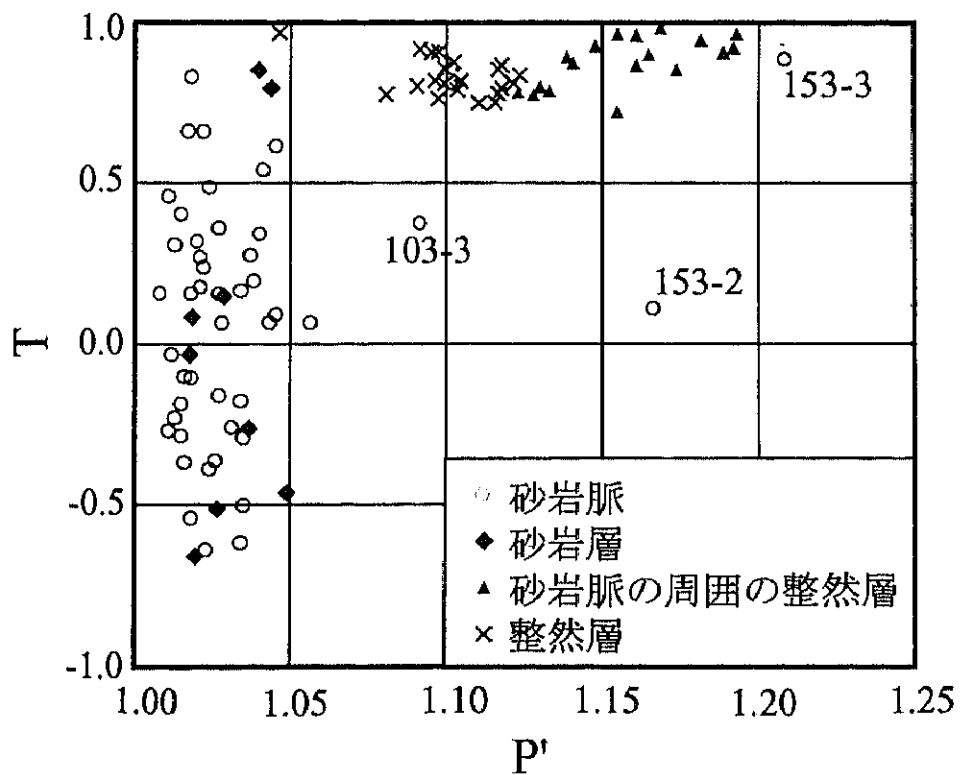
第16図 フリンドダイアグラム. 岩石内の線構造あるいは面構造の発達程度を示す.



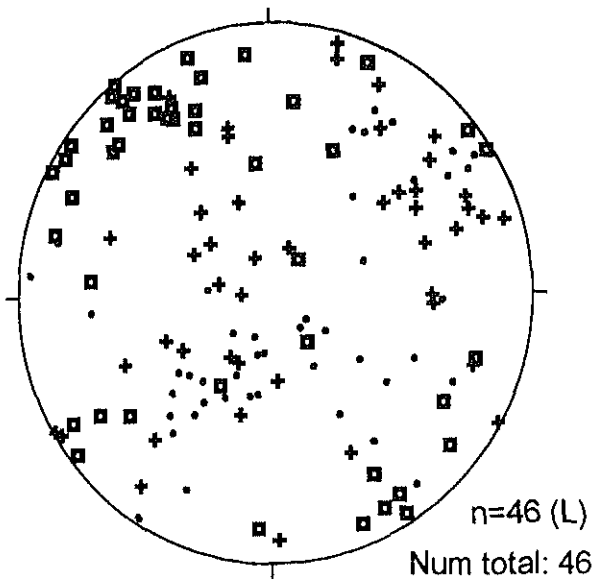
第17図 岩石内部の磁性鉱物配列と帯磁率異方性測定結果の関係を示す. T-P' ダイアグラムを使った表現法と、堆積物内部の磁性粒子配列と異方性楕円体の形状.



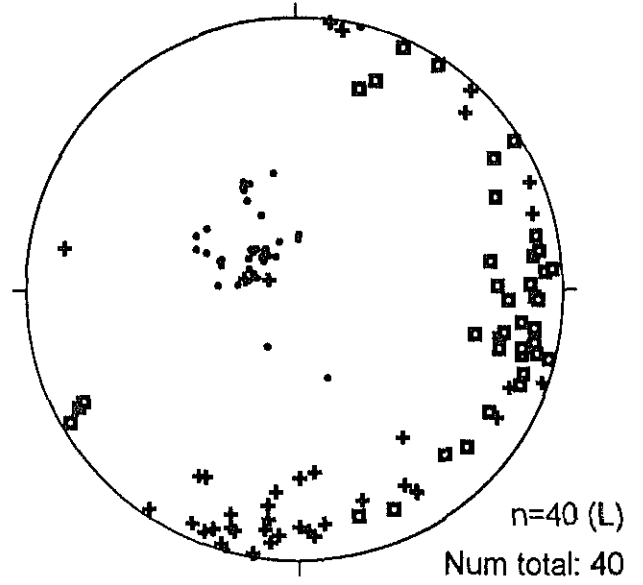
第18図 フリンダイアグラム (測定結果) . 砂岩脈の周囲の整然層と整然層に面構造が発達しており、砂岩層と砂岩脈には面構造の発達も線構造の発達もみられない。



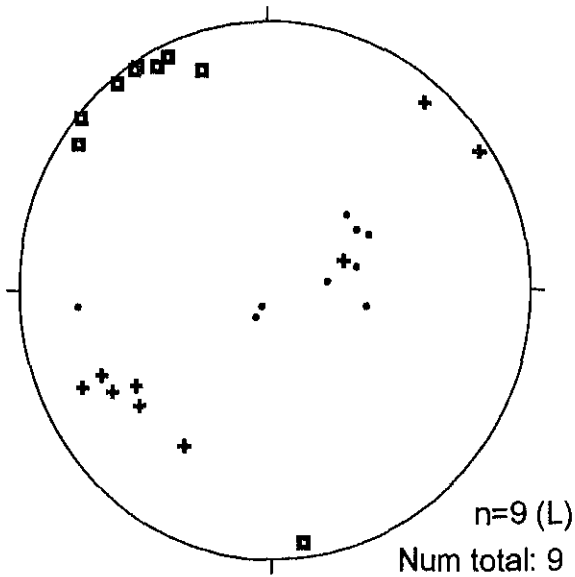
第19図 T-P' ダイアグラム (測定結果) . 砂岩脈の周囲の整然層と整然層は、帯磁率楕円体がoblate型をしている。



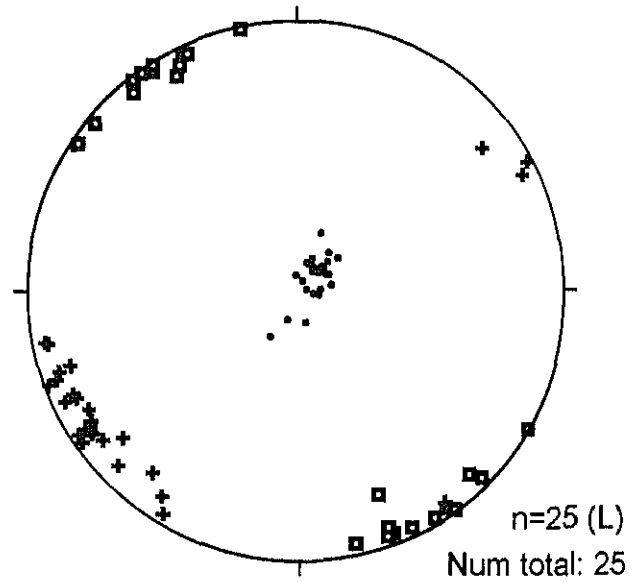
砂岩脈
(N9E82W)



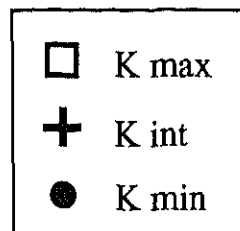
砂岩脈の周囲の整然層
(N11W83E)



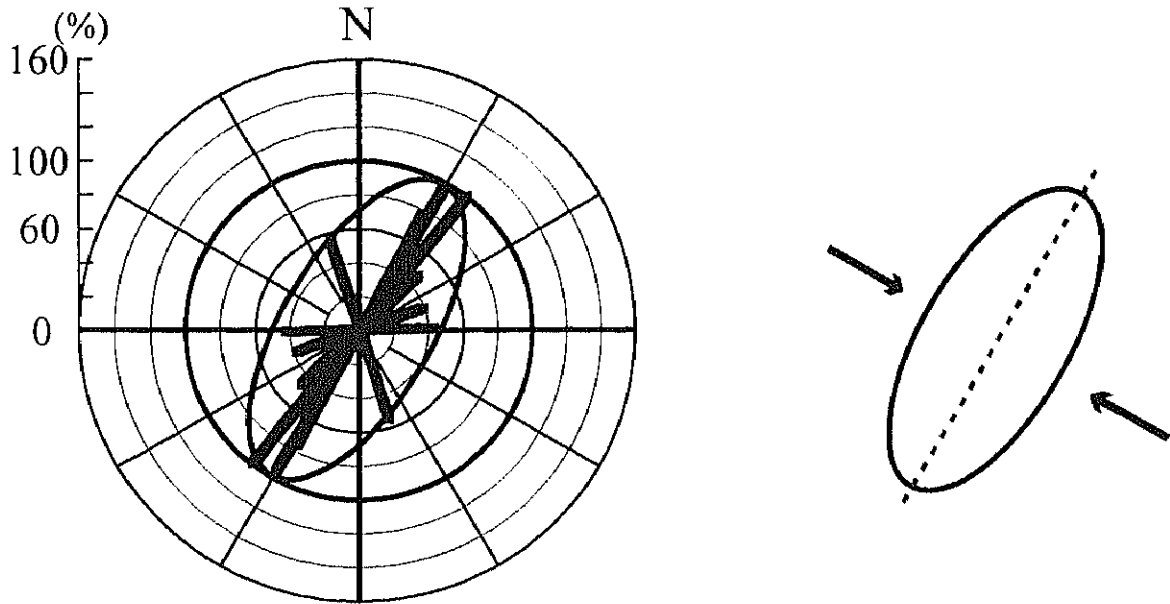
砂岩層
(N10E87W)



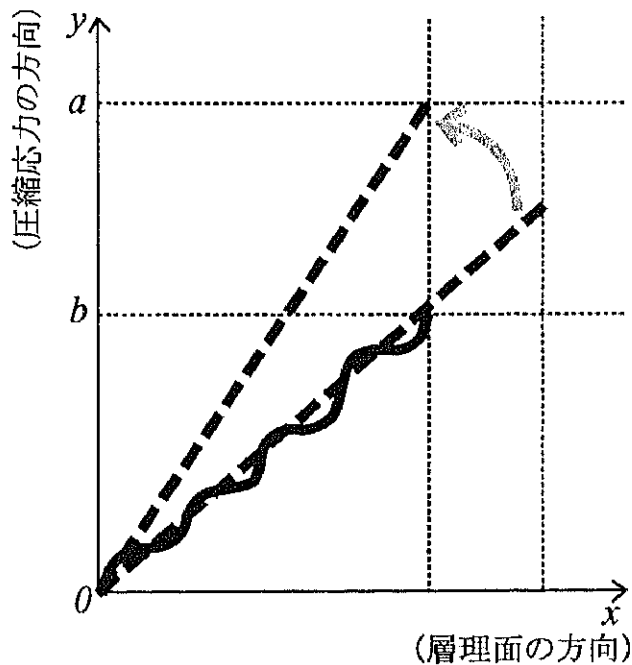
整然層
(N23E72W)



第20図 帯磁率楕円体の軸の方向. ()の面を水平面として補正してある.



第21図 左図は、砂岩脈の短縮方向と短縮率を表した図に歪み楕円を記入したもの。WNW-ESE方向に約40%短縮されている。右図は、圧縮応力の方向を示す。矢印は圧縮応力の方向(WNW)を、破線は層理面の方向(NNE)を示している。



$$\text{短縮率} = \frac{b}{a} \times 100$$

第22図 圧縮応力を受けた方向を考慮した短縮率の測定方法。波線は褶曲した砂岩脈を、破線は砂岩脈の全長を示す。xy面は水平面を表しており、x軸は層理面の方向(NNE)y軸は圧縮応力の方向(WNW)を示す。



Plate 1 : dyke 1-①. 平板測量を行った砂岩脈.



Plate 2 : dyke 2 の露頭. 砂泥互層の
褶曲構造を貫いている砂岩脈.

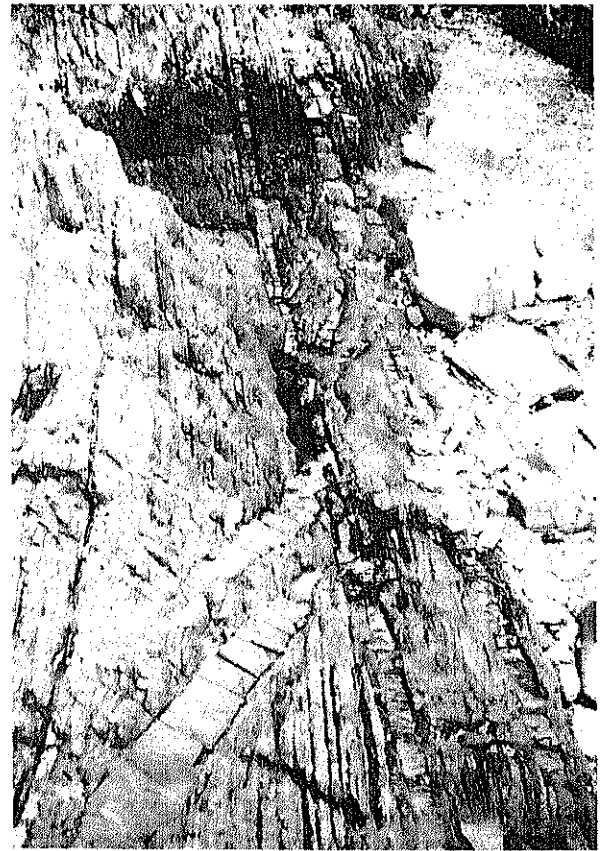


Plate 3 : dyke 3 の露頭. 砂岩層を貫く
褶曲した砂岩脈群.



Plate 4 : dyke 4 の露頭. デュープレクス様構造を形成している砂岩脈.

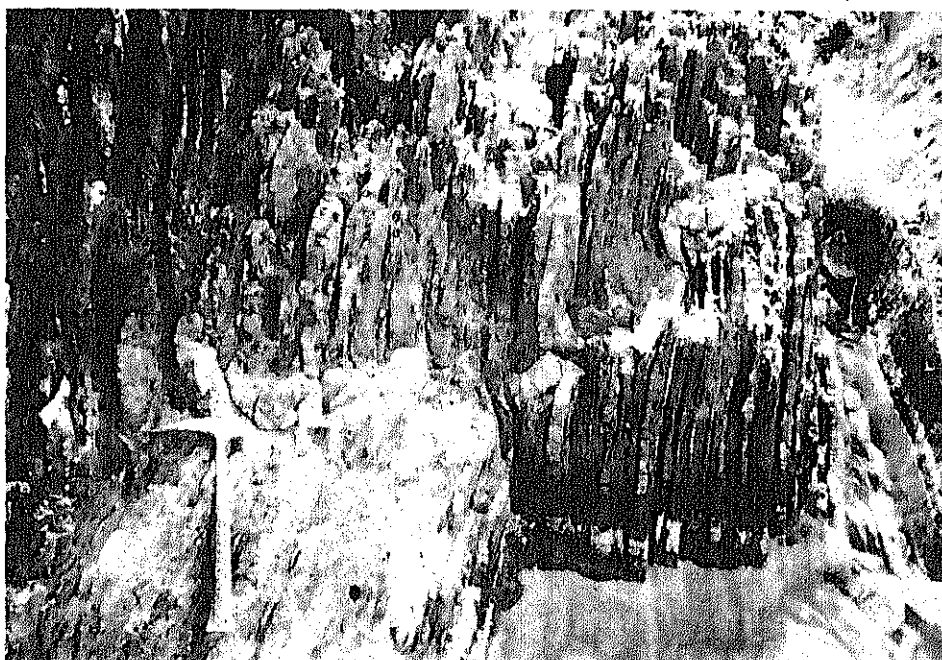


Plate 5 : dyke 5 の露頭. 褶曲した砂岩脈がデュープレクス構造の発達する砂泥互層によって切られている様子.