

屋久島における四万十帯の変形とファブリック

-重力的および造構的変形の分類にむけて-

山本由弦・殿谷和樹・安間了

筑波大学地球科学系

1. はじめに

プレートテクトニクスが提唱されて以来、それまでスランプやオリストストロームといった重力的な要因に成因が求められてきたメランジュなどの乱堆積物（以降メランジュ）について、付加体深部における造構的成因や液状化や泥インジェクションなどの成因が重要視されるようになった。しかしながら野外においてこれらを判断することは非常に困難であり、おおくの場合曖昧な基準をもとに考察を行っているのが現状である。本研究では、堆積物が堆積・埋没を経て陸上に露出する中で、重力起源のメランジュが海底下の比較的浅部で発達すること、一方造構起源のそれは脆性/延性変形遷移帯以下の比較的埋没深度が深い領域で発達するといった、メランジュ発達の時系列の違いに注目した。

九州の南方に位置する屋久島は、海岸部に発達する堆積岩体と、それを貫く花崗岩体で構成されている（図1）。これらのうち堆積岩体は、漸新統の熊毛層群に分類されており、四国・九州や沖縄などと連続する四万十帯に属している。屋久島における堆積岩体は、構造的下位から麦生累層、船行累層、宮之浦累層、それに一湊累層に区分されている（橋本, 1956; 図1）。これらのうち、宮之浦累層は南部で麦生累層と、北東部で船行累層と断層で接しており、麦生累層と船行累層も断層で接しているためにそれぞれの関係が不明になっている。一湊累層は、宮之浦累層の上位において傾斜不整合で接する（橋本, 1956; 長浜・坂井 1972）。各累層ともに、整然層部分は基本的にタービダイト起源の砂岩-泥岩互層を主体に構成されており、現世の海溝軸にほぼ平行な走向である。この大構造を横切る屋久島東部の永久保-一湊ルートにおいて集中的に地質調査を行った（図1）。

屋久島に発達している四万十帯からは、堆積直後に被った液状化（堀内ほか, 本報告）

やスランプ構造のほか、圧力劈開（殿谷ほか, 本報告）や、砂岩と泥岩の間の変形にダクティリティーコントラストが見られる深部に埋没後の変形など、付加作用の時系列に沿った様々な段階の変形構造が観察される。特にルート中部に10kmにわたって広く分布する楠川頁岩砂岩部層と呼ばれる岩体と船行累層上部の泥質岩優勢砂泥互層からは、様々なメランジュ状の変形構造が見いだされた。本研究では、これらのうち露頭での産状から成因が特定できたものを対象に、その特徴の記載や帯磁率異方性を用いたファブリック解析を行い、メランジュ成因の判断基準の確立にむけた検討を行った。

2. 記載と各メランジュの成因論

2. 1. スランプによるメランジュ

-小瀬田地域-

小瀬田地域は構造的には船行累層最上部にあたる女川から男川にかけての地域である。西側の男川付近で榑川断層によって構造的上位にあたる宮之浦累層下部の楠川頁岩砂岩部層と接しており、東側の女川から約300メートル西側で、船行累層の安房砂岩部層と接している。主に泥質岩優勢の砂泥互層から成り、北東-南西に延びる地層の走向を示す。半波長が数メートル程度の小規模な褶曲が多く認められるが、全体的に傾斜は東側の女川付近で南東に傾斜し、西側の男川付近では北西側に傾いており、背斜構造として認識される。多くの地点で次節で述べる楠川地域と同様の（堀内ほか, 本報告）褶曲した砂岩脈が観察される。

小瀬田地域には、背斜構造の両翼でそれぞれ1カ所ずつメランジュが観察される。これらのうち東翼側のそれは、地層面を高角に切るほぼ水平面の露頭で、黒色を呈した泥質岩基質中に数センチメートルから数メートル径のブロックが点在している産状を呈している。

泥質岩基質中には、周辺整然層とほぼ平行な姿勢をもった劈開が発達している。ブロックは薄灰色を呈した砂岩のものと、黒色の泥質岩と砂岩の互層で構成されるものが存在する。砂岩ブロックや砂泥互層ブロックの砂岩部分は、無層理の場合もあるが、多くの場合斜行葉理などの堆積構造が保存されている。ブロックの形状は亜円～円礫状で、水平面で観察する限り長径と短径の差は小さい。ブロックの砂岩部分が延性的な変形を示していたり非対称な伸張構造を呈していることはなかった。

図2 (A, B) は、約 50 センチメートル径の砂岩ブロックの例である。このブロックと基質の境界部分は、黒色を呈した基質部分がブロックに対し明らかに鋭角に入り込んだ形態をしている。砂岩部分が基質部分に対して凸になっている部分はなめらかな曲線を呈している。この産状は、堆積構造を保存している砂岩ブロックとともに、このメランジュ形成時に、砂岩部分に対し泥質部分が流動的であったことを明らかに示している。

図2 (C, D) は、長径約 30 センチメートル程度の砂岩ブロックの例で、砂岩中には明瞭な斜行葉理が認められる。このブロックや周辺の基質を約 2メートルにわたって切っている砂岩脈が認められる。この砂岩脈は、厚さが約 3 ミリメートルで、ほぼ垂直姿勢である。砂岩脈は、上位層に向かって分岐したり褶曲を呈している。砂岩脈は砂粒子がセメント物質によって相互に固着されていない時期に形成される。一般には地震動などを伴う間隙水圧の異常な上昇によってもたらされる。以上のことからブロック・基質とも切って発達するこの砂岩脈は、堆積後比較的早い時期に形成されていたことを示し、このメランジュが堆積直後の変形であることを示す。

泥岩砂岩互層で構成されるブロックには半波長数センチメートル程度の褶曲を呈している例もある (図 2 E)。この例では、ブロックの長径は約 50 センチメートル、長軸の方向は北西方向で、周辺の整然層や基質の劈開の走向にほぼ直交している。このブロックと基質の境界部も褶曲に沿った形状を呈している。

以上の小瀬田地域におけるメランジュの産状は、泥質部分が鋭角に砂岩ブロックに入り込んだ産状から泥質岩が流動的な変形であっ

たことを示す一方、砂岩脈がブロック・基質ともに切っていることから堆積直後の変形であり、深部における延性的な変形ではないことを示している。泥質岩の延性挙動・砂岩層の脆性変形といったダクティリティコントラストは、地下深部の高温・高圧下以外に、堆積直後の海底表層部でも実現される (例えば Yamamoto, 2003)。土質力学では、砂を粘着力のない、内部摩擦角のみをもつ物質として、泥を内部摩擦角のない粘着力のみをもつ物質と近似している。一般に海底表層では、砂層の脱水が急激に進み、砂層は内部摩擦角を有することができる。一方、泥層の脱水には相当の時間を要するため、堆積後すぐには粘着力獲得に十分な粒子間距離が実現されず、剪断強度をほとんどもつことができない。以上のことから小瀬田地域のメランジュは堆積直後に形成されたスランプ堆積物であり、重力的成因のメランジュに区分される。

2. 2. 造構による構造 - 楠川地域 -

楠川地域は宮之浦累層下部の楠川頁岩砂岩部層にあたる、楠川漁港から鳥越川河口までの海岸露頭である。この地域に露出する頁岩砂岩互層は、北東-南西走向で、半波長数センチメートルから数 10 センチメートル規模の小規模な褶曲や断層関連褶曲を伴うことがあるが、一般に北西上位を示す。頁岩の劈開の方向は地層にほぼ平行であり、普遍的に発達している。砂岩層は数メートルに達するものもあるが、1センチメートル以下のものが圧倒的に多く、コンポリュート葉理が普遍的に発達している。本地域には褶曲した砂岩脈が多く、翼間角 10-40 度程度のもので多く、褶曲軸の姿勢は地層にほぼ水平である。褶曲の規模は、半波長数センチメートル程度で、現在の層厚で数センチメートルから数 10 センチメートル程度の層厚を切って発達している小規模なものと、半波長数メートル程度で、約 20 メートルにわたって切っている比較的大規模なものが認められる (図 3 A)。砂岩脈は褶曲をしているものだけではなく、脆性的に変形している例も存在する。図 3 B は、地層の走向に対してほぼ垂直方向にのびをもつ砂岩脈の例であるが、

それが下位層準側フェルゲンツと上位層準側フェルゲンツの衝上断層によって切られ、共役なデュープレックス構造のような形態をしている。この衝上断層は、周辺の頁岩・砂岩互層を切ることはなく、砂岩脈のみ切っている。砂岩脈を切った衝上断層は、砂岩脈と頁岩・砂岩互層の境界に合流する。

楠川地域下部にあたる楠川漁港付近には、デュープレックス構造に代表される衝上断層系が多く観察される(図3C, D, E, F, G, H)。これらは鉛筆劈開や、断層関連褶曲を伴うほか、ごくまれに断層面状に糸線が発達している。これらから得られた衝上断層系の運動方向は、1カ所を除きすべて南東フェルゲンツであり、現世の海溝方向に直交する。

楠川地域には明瞭なメランジュの発達認められないが、延性変形した泥質岩基質中に砂岩層ブロックが認められる露頭が存在する(図3F, G, H)。これは先述の衝上断層系の一部を構成している露頭であり、デュープレックス構造に伴う数多くのホースが認められる。ホースが認められるのは、フロアスラストとルーフスラストに囲まれた最大幅約1.2メートル、長さ約12メートルの領域である。ホースは砂岩層と泥質岩で構成されており、砂岩層にはコンポリュート葉理が明瞭に認められる。個々のホースの境界は下位側のフロアスラストから分岐した断層であり、上位側のフロアスラストと合流する。泥質岩部分は、周辺のそれに発達する地層にほぼ平行なスレート劈開と異なり、鉛筆劈開が発達している。その姿勢は断層関連褶曲軸と同じ北東方位である。このフロアスラストとルーフスラストに囲まれた領域の上位側と下位側には、砂岩脈が発達しているが、この領域内部には認められない。特に上位側の砂岩脈は褶曲しており、それがルーフスラストによって明瞭に切られている(図3F, H)。

楠川地域のこの露頭は、砂岩脈を切って発達することから、小瀬田地域のメランジュのような堆積直後の構造ではないことは明確である。また、フロアスラストとルーフスラストに囲まれた領域内の泥質岩に、周辺の整然層に発達するようなスレート劈開ではなく、断層関連褶曲軸と同じ姿勢の鉛筆劈開が発達していた。このことは、この構造が周囲のス

レート劈開を切って発達していることを示し、この構造がスレート劈開が発達するのに十分な埋没深度に達した後造構的に形成されたことを示す。また、泥質岩中にスラストと鉛筆劈開が共存することから、その埋没深度が脆性/延性遷移領域であったこともわかる。

この構造は、メランジュと呼ぶよりむしろ剪断ゾーンであるが、規模以外の産状はメランジュと非常によく類似していることから、本論ではあえてメランジュと同様に扱う。

2. 3. 造構によるメランジュ - 泊川地域 -

泊川地域は、宮之浦港と志戸子のほぼ中間地点にある泊川を東端とし、北西に約1キロメートルにわたる地域である。宮之浦累層下部の楠川頁岩砂岩部層最上部にあたり、西端は志戸子泥質岩部層で境される(橋本, 1956)。楠川頁岩砂岩部層下部が露出する前述の楠川地域と比べると、全体的に砂岩層が厚くなり、西部では泥質岩の偽礫を含んだ礫岩層も発達する(殿谷ほか, 本報告)。南東フェルゲンツのオーバーターンした褶曲群や断層群が多く発達し、変形が激しい。岩相境界部は、ほとんどの場合が衝上断層によって境されており、断層関連褶曲を伴う場合が多い。地層は北東-南西方向の走向を示すが、激しい褶曲や断層により、その傾斜や層序学の上位方向はしばしば変化する。砂岩脈も複数地点で確認されたが、前述の楠川地域と比べるとその発達頻度は明らかに少ない。泊川地域には多くの地域でメランジュが確認される。これらのうち、本論では特に泊川付近の例について述べる。本露頭は、殿谷ほか(本報告)で記載・検討されているものと同一である。

泊川のメランジュは、地層面を高角に切る露頭で、水平面の露頭が大部分を占めるが、場所により断面が観察でき、3次元的な観察が可能である。このメランジュ近傍の整然層は北西上位であり、地層に平行な劈開が発達している。メランジュは、黒色を呈した泥質岩基質中に数ミリメートルから十数センチメートル径のクラストが散在している産状を呈している(図4)。泥質岩基質中には、周辺整然層とほぼ平行な姿勢をもった面構造と、南東フェルゲンツの面構造が発達しており、S-C構造を形成している。クラストは薄灰色

を呈した砂岩で構成され、斜行葉理などの堆積構造が保存されている場合もある。クラストの形状はほとんどが紡錘形で、長径と短径の比は2から3程度である。肉眼観察からは、クラストの砂岩部分が非対称な伸張構造を呈している場合が多く、延性的な変形を示すが、中にはリーデルシア面が観察されるものもある。薄片観察によって、砂岩クラストが普遍的にリーデルシア面によって正断層的に変位させられており、クラスト縁辺部は泥質基質中の劈開に沿って砂岩が引き延ばされている様子が観察された(図4C, D)。

泊川地域のメランジュは、楠川地域同様、周辺のスレート劈開がメランジュ内部に発達していないことから、スレート劈開が形成された後の変形であることが明らかである。さらに、周辺の褶曲群や衝上断層群同様のフェルゲンツを示すS-C構造やリーデルシア面などの複合面構造が発達することから、付加体深部における剪断によって形成されたと考えられ、造構起源のメランジュに区分される。

3. 各メランジュにおけるファブリック解析

前節までに述べたように、屋久島の四万十帯に発達するメランジュのうち、少なくとも3ヶ所で露頭での産状から成因が特定できた。しかしながら、これらの産状が常にメランジュ中に認められるというわけではなく、メランジュ成因の判断基準としては不完全である。特に四万十帯などのような、地下深部で著しい圧密や剪断作用を被った地質体の中から、堆積直後に形成された重力起源のメランジュを露頭観察から見いだすことは非常に難しい。そこで本論では、成因の特定できたこれら3地域のメランジュについて帯磁率異方性(以降AMS)を用いたファブリック解析を行った。この検討から各起源のメランジュから特徴的なファブリックが見いだされれば、産状から成因の特定ができないメランジュについて、簡易的に判断できると期待される。

AMSは、あるサンプルに様々な方向から磁場を与え、サンプル内に含まれる磁性鉱物の静磁エネルギーの変化量および方向をバルクで測定する方法である。その結果は2次テンソルで表され、幾何学的には楕円体で表される。AMSは、帯磁率が極端に小さい場合を除

いて、ほとんどの場合磁性鉱物の形状に起因する。つまりAMSは、磁性鉱物配列の程度や方向を測定する方法である。海底表層付近におけるスランプなどの変形や、地下深部における延性変形などは、磁性鉱物の回転や再配列を伴うことから、AMSによる解析が有効である。AMSのファブリックが変形によってのみもたらされたと仮定すると、AMSによって得られる帯磁率楕円体は歪楕円体と同軸であり、ほとんどの場合帯磁率楕円体の短軸が最大短縮歪の方向に平行である(Borradaile, 1981; 1987)。それゆえ、AMSは歪の幾何学を議論する上でもっとも有用なツールの1つであるといえる。この検討は、現世の付加体(Owens, 1993)や、陸化した過去の付加体である四万十帯(Ujii et al., 2000)などにおいて、歪解析に用いられている。本論では、歪楕円体と帯磁率楕円体に対応するものとして、得られた結果を歪の主軸の比を用いてフリント図(Flinn, 1962)で表す。帯磁率楕円体主軸の最大を K_{max} 、最小を K_{min} 、中間を K_{int} とすると、フリント図中のL, Fはそれぞれ

$$L = K_{max} / K_{int}$$

$$F = K_{int} / K_{min}$$

で表される。

測定用のサンプルは、メランジュ部分は非常にもろいため、シアノアクリレート接着剤を流し込んで補強した後にエンジン式ハンディカッターを用いて定方位ブロックサンプリングを行った。採取したブロックサンプルは、不飽和ポリエステル樹脂(リゴラック)で固定した後、実験室内において25ミリメートル径ドリルを用いて柱状サンプルを作成した。周辺の整然層については、エンジン式ハンディコアラーを用いて定方位柱状サンプルを採取した。サンプルは砂岩層部分を極力避け、泥質岩部分を採取した。測定のため、柱状サンプルを22ミリメートルの高さに切りそろえ、測定を行った。測定は産業技術総合研究所(AIST)所有のKLY3 Kappabridgeを用いた。

3. 1. 結果

スランプによるメランジュ -小瀬田地域-

小瀬田地域のメランジュからは5つのプロ

ックサンプルを採取し、それらから 24 本の柱状コアを整形し、合計 64 サンプルを測定した。5つのサンプルのうち、サンプル1だけは粒径が相対的に粗く、極細粒砂であった。

その結果、小瀬田地域のメラングジュは極細粒砂であったサンプル1を除いて帯磁率楕円体の面構造が強く発達しており、その値が 1.4 を越えるものも認められた (図 5)。線構造が非常に強く発達していることも特徴的で、極端に強いものは 1.4 を越える。また、面構造の発達程度を表す K_{min} は、サンプル1を除いて劈開面に対してほぼ垂直を示した。 K_{max} は、いずれのサンプルも劈開面に平行であった。サンプル1の K_{min} は、東北東に集中した K_{max} を極とした大円上に散在していた。

造構によるメラングジュ -楠川地域-

楠川地域のメラングジュからは、メラングジュ内部から5つのブロックサンプルを採取し、それらから30本の柱状コアを整形、合計55サンプルを測定した。さらに周辺の整然層から41本の柱状コアを採取し、105サンプルを測定した。

周辺の整然層は、帯磁率楕円体の線構造がほとんど発達せず、面構造の発達のみが認められ、オプレート領域に集中した (図 6)。一方フロアスラストとルーフスラストに囲まれたメラングジュ内部は、面構造が減少し、線構造の増加が認められた。メラングジュ内部の K_{max} は、断層関連褶曲軸と同じ姿勢である鉛筆劈開の構造データとほぼ完全に一致している。また、面構造の発達程度を表す K_{min} は、整然層内部で地層面に対してほぼ垂直だったのに対し、メラングジュ内部では、 K_{max} もしくは鉛筆劈開の姿勢を極とする大円上に散在している。

造構によるメラングジュ -泊川地域-

泊川地域のメラングジュからは、メラングジュ内部から3つのブロックと17本の柱状コアを採取した。ブロックから柱状コアを28本整形し、柱状コアは合計45本となった。合計61サンプルの測定を行った。メラングジュの上位にあたる整然層から3本のコアを採取し、合計8サンプルの測定を行った。泊川の

メラングジュには数ミリメートル径の細かいクラストが含まれているために、若干の砂岩クラストがサンプルに含まれる。ただし、サンプル1と2にはほとんど含まれていなかった。

その結果、周辺の整然層は楠川地域の例と同様に、帯磁率楕円体の線構造がほとんど発達せず、面構造の発達のみが認められた (図 7)。その値も楠川地域の例とほぼ同じ値であった。一方メラングジュ内部は線構造の若干の増加傾向が見受けられるが、これは明瞭ではない。面構造の減少は、楠川地域の例と同様に顕著に認められる。 K_{max} の姿勢は、メラングジュの剪断方向に直交し、かつ剪断面に平行な方向に集中するが、これは楠川地域のそれほどではない。 K_{min} は、楠川地域の例同様、 K_{max} または、剪断方向に直交しかつ剪断面に平行な方向を極とした大円上に散在する。

4. 考察

本研究は、屋久島の四万十帯において露頭での産状から成因が特定できた3ヶ所のメラングジュを対象に、その特徴の記載や帯磁率異方性を用いたファブリック解析を行い、メラングジュ成因の判断基準の確立にむけた検討を行った。本論は特に、重力的・造構的成因の区別に対象を絞っている。

4. 1. 重力によるメラングジュ

小瀬田地域における重力起源のスランプによるメラングジュは、砂岩脈がブロックや基質を切って発達していた (図 2 C, D)。さらにメラングジュ内部に発達する劈開が、周辺整然層に発達する地層に平行なスレート劈開と平行だったことが特徴としてあげられる。これは、スランプによるメラングジュ形成が砂岩脈形成よりも早い段階で起こるといふ、堆積直後の変形であるために、その後地下深部に持ち込まれた際に地質体全体が被る圧密をはじめとする続成作用によってファブリックのオーバープリントが起こるためであると考えられる。これは、小瀬田地域で観察された、周辺の整然層や基質の劈開の走向に長軸がほぼ直交しているブロックが、長軸方向から圧縮され、褶曲していることから伺える (図 2 E)。さらに、このメラングジュを切っている砂

岩脈が、地層面に対して鉛直方向から圧縮され、脆性的に破断して共役なデュープレックス構造を形成していること（図3B）や、褶曲していること（図3A；堀内ほか、本報告）もこれを支持する有力な証拠である。

AMSによるファブリック解析からは、ファブリックのオーバープリントに矛盾しない、帯磁率楕円体の面構造が認められた（図5）。造構起源のメランジユと比べて帯磁率楕円体の線構造が強いのは、スランプ運動によって磁性鉱物粒子の長軸の定向配列が実現されたためであると考えられる。一般に海底でのスランプ運動は、傾斜が数度で起こるため、その運動方向はほとんど水平と考えて良い。そのため、長軸の定向配列は地層にほぼ水平であり、その後の続成作用によるオーバープリントの影響はほとんど受けることがないであろう。続成作用によってその長軸方向を軸として、短軸が鉛直方向に回転することで、周辺のスレート劈開に規制された面構造を形成すると考えられる。なおサンプル1は、砂質のために続成による粒子の回転が起こりにくかったと考えられる。

4. 2. テクトニックメランジユ

楠川地域や泊川地域におけるテクトニックメランジユは、メランジユ内部の劈開が、周辺整然層のスレート劈開を切る形で発達していたことが共通している。しかしながらメランジユ内部の劈開様式は、メランジユ形成時の温度・圧力・それに歪速度などに大きく影響されると考えられる。本論で扱った両地域でも、楠川地域がメランジユゾーン全体を通じた変形（Penetrative deformation）であり、泥質基質に鉛筆劈開が発達していたのに対し、泊川地域のそれはメランジユの中でも特定の面が変位を起こし、複合面構造が発達していた（図3F, G；図4）。

AMSによるファブリック解析は、いずれも周辺整然層で得られたものよりも小さい帯磁率楕円体面構造が得られた（図6；7）。しかしながら、線構造については、楠川地域がメランジユ内部で明瞭な増加を示したのに対し、泊川でのそれは、若干の増加傾向が見られるにとどまった。これは、泊川のメランジユに数ミリメートル径の細かいクラストが含

まれているために、サンプルにも砂岩クラストが若干含まれてしまうことも一因としてあげられる。薄片観察などから砂岩クラストが脆性変形を示すことから、砂岩クラストの存在は、変形による磁率楕円体面構造減少の過大評価、線構造発達の過小評価をもたらすことが予想される。しかしながら、サンプル中の砂岩クラストの体積比は、多く見積もっても20%程度であり、両者の帯磁率楕円体線構造の差を完全に説明できない。さらに、砂岩クラストがほとんど含まれていないサンプル1と2のデータからは、泊川のメランジユが楠川同様の面構造減少や線構造増加の傾向を示すが、それらの変化が小さいものであることを示している（図7）。これは、楠川のメランジユがメランジユゾーン全体を通じた変形（Penetrative deformation）をしているのに対し、泊川のそれは、S-C構造やリーデルシア面などの特定の面に変位が集中しているために、バルクで測定されるAMSにファブリック変化が反映されにくいためであると考えられる。これらのことは、ステレオネット上で両者の K_{max} の姿勢が鉛筆劈開や断層関連褶曲の姿勢から求められたメランジユの剪断方向に直交し、かつ剪断面に平行な方向に集中するものの、楠川地域に比べ、泊川の集中が悪い点からも支持される（図6；7）。 K_{min} は、両者とも K_{max} または、剪断方向に直交しかつ剪断面に平行な方向を極とした大円上に散在する。これはメランジユ形成時に延性変形により磁性鉱物の回転が起こり、長軸が剪断方向に直交する方向に配向し、それを軸として粒子が回転していたことを示している。小瀬田地域に観察された重力起源のメランジユと異なり、堆積物が十分に圧密・固結した深度での変形であるために、その後のファブリック変化がほとんどなく、現在まで保存されたと考えられる。

5. 結論

本論で扱った、成因が明瞭なメランジユの詳細な記載と、それを対象に行ったAMSを用いたファブリック解析は、特に重力起源・造構起源メランジユの判別方法について、以下の点を明らかにした。

重力起源のメランジユは、周辺整然層に認

められるのと同様な圧密組織がメラランジュ基質のファブリックをオーバープリントしている。メラランジュ中に含まれるブロックが、圧密によって短縮されていたり、まれに基質やブロックを砂岩脈が切断する。AMS を用いると、肉眼で劈開が観察されない場合でもオプレート組織を呈する。帯磁率楕円体線構造が発達する場合もある。

テクトニックメラランジュは、周辺整然層に発達する圧密などの面構造を切って、鉛筆劈開や複合面構造が発達する。剪断方向に直交しかつ剪断面に平行な方向を軸として粒子の回転が起こるので、肉眼で劈開や複合面構造が発達しない場合でも、AMS を用いることによりその軸方向に K_{max} の集中が、それを極とする大円上に K_{min} が散在する。

これらのことから、本論で述べたような砂岩脈や劈開などの各成因に特徴的な産状がたとえ確認されなくとも、AMS によるファブリック解析を行うことでメラランジュ成因の判断が可能であることがわかる。スランプなど重力的成因によるメラランジュと、テクトニックメラランジュは、堆積物が堆積・埋没を経て陸上に露出する過程で、発達する段階が異なる。よって、重力的成因によるメラランジュファブリックは、その後地下深部で圧密などの続成過程を被り、整然層と似たような面構造が発達する。この際、メラランジュ形成時に獲得した帯磁率楕円体線構造は保存される傾向にある。一方テクトニックメラランジュは、最大埋没深度付近で変形を被るため、整然層の圧密組織を切る形で延性変形によるファブリックが形成され、その組織が保存される。これらの特徴は、AMS を用いることによって、簡易的に判断することができる。

6. おわりに

本論では、これまで曖昧な基準をもとに判断されがちだった重力的成因メラランジュとテクトニックメラランジュの判断基準について、野外における観察以外に AMS を用いたファブリック解析を提案した。屋久島における3ヶ所のメラランジュの例では、この方法が有効であることが示された。

本論が提案した野外における産状記載と AMS によるファブリック解析を併用したメラ

ランジュ成因の判断方法は、重力的成因によるメラランジュと、テクトニックメラランジュは、堆積物が堆積・埋没を経て陸上に露出する過程で、発達する段階が異なる点に着目している。これは、堆積直後に形成される重力的成因によるメラランジュは、その後周辺の整然層と同様の続成作用を受け、ファブリックの再構築が起こるのに対し、テクトニックメラランジュにはそれがないということである。この議論は非常に現実的であり、測定も非常に簡潔な方法であることから、汎用性が高いと期待される。同様の議論は、Yamamoto (2003) による三浦・房総半島における検討でも行われており、最大埋没深度がせいぜい1キロメートルといった、顕著な続成作用があまり進んでいないような付加体浅部においてもこれらが成り立っていることを実証している。

しかしながら、この基準の信頼性をより高めるために、今後の課題として以下の2点の検討が必要とされる。

1つ目は、付加体の比較的浅部でのテクトニックメラランジュについての評価である。ある地質体の最大埋没深度よりも十分に浅い深度において形成されたテクトニックメラランジュを考えると、重力的成因のそれと同様にその後続成作用を被ることが予想される。

もう1つは、極端に高い温度・圧力による変成作用などの評価である。磁性鉱物が溶融したり再結晶するような条件下では、初期の帯磁率異方性がリセットされてしまうことが考えられる。

謝辞

屋久島を調査するにあたり、また本報告を作成するにあたり、多くの方々にお世話になった。独立行政法人産業技術総合研究所の山崎俊嗣博士には、帯磁率異方性測定や磁性鉱物同定のための機器使用を快諾していただき、有益なご助言をいただいた。海洋科学技術センターIFREEの木村学博士と氏家恒太郎博士には、ブロックサンプリングに有効な岩石カッターを借らせていただいた。

上屋久町環境政策課の皆さんや、民宿八重岳の田代英人氏、上屋久町議員の寺田猛氏には、屋久島滞在中様々な便宜を図っていただいた。

研究費の一部に（財）深田地質研究所助成金を使用した。

Tsukuba, pp153.

以上の方々に心から感謝いたします。

参考文献

- Borradaile, G. J., 1981. Particulate flow of rock and the formation of cleavage. *Tectonophysics*, 72, 305-321.
- Borradaile, G. J., 1987. Anisotropy of magnetic susceptibility: rock composition versus strain. *Tectonophysics*, 138, 327-329.
- Flinn, D., 1962. *Geol. Soc. London Quart. Jour.*, 118, 385-433.
- 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. 九大教養地学研報, 2, 23-34.
- 堀内典子・山本由弦・安間了, 2003, 楠川地域に見られる褶曲した砂岩脈. 本報告
- 長浜春夫・坂井卓, 1972, 鹿児島県屋久島の四万十層群の堆積構造. 地調月報, 23, 445-455.
- Owens, W. H., 1993. Magnetic fabric studies of samples from Hole 808C, Nankai Trough. *Proceedings of the Ocean Drilling Prpgram, Scientific Results*, 131, 301-310.
- 殿谷和樹・山本由弦・安間了, 2003, 屋久島にみられる泥ダイアピル様メランジュ. 本報告
- Ujiie, K., Hisamitsu, T., Soh, W., 2000. Magnetic and structural fabrics of the melange in the Shimanto accretionary complex, Okinawa Island: Implication for strain history during decollement-related deformation. *Jour. Geophys. Res.*, 105, 25729-25741.
- Yamamoto, Y., 2003. Deformation history and related change of physical properties in shallow part of accretionary prism. Ph. D. Thesis, Univ.

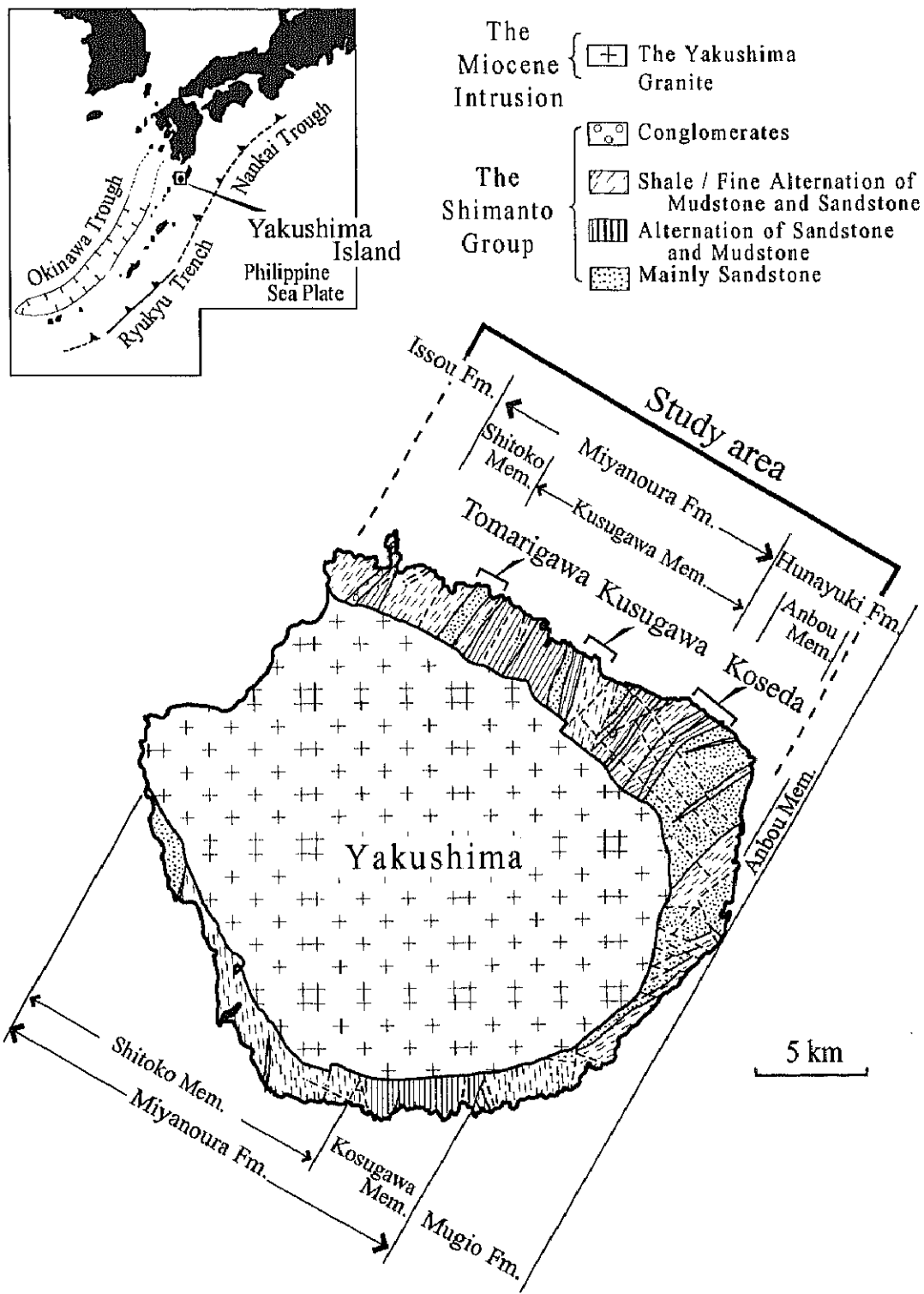


図 1. 屋久島の位置図および地質図

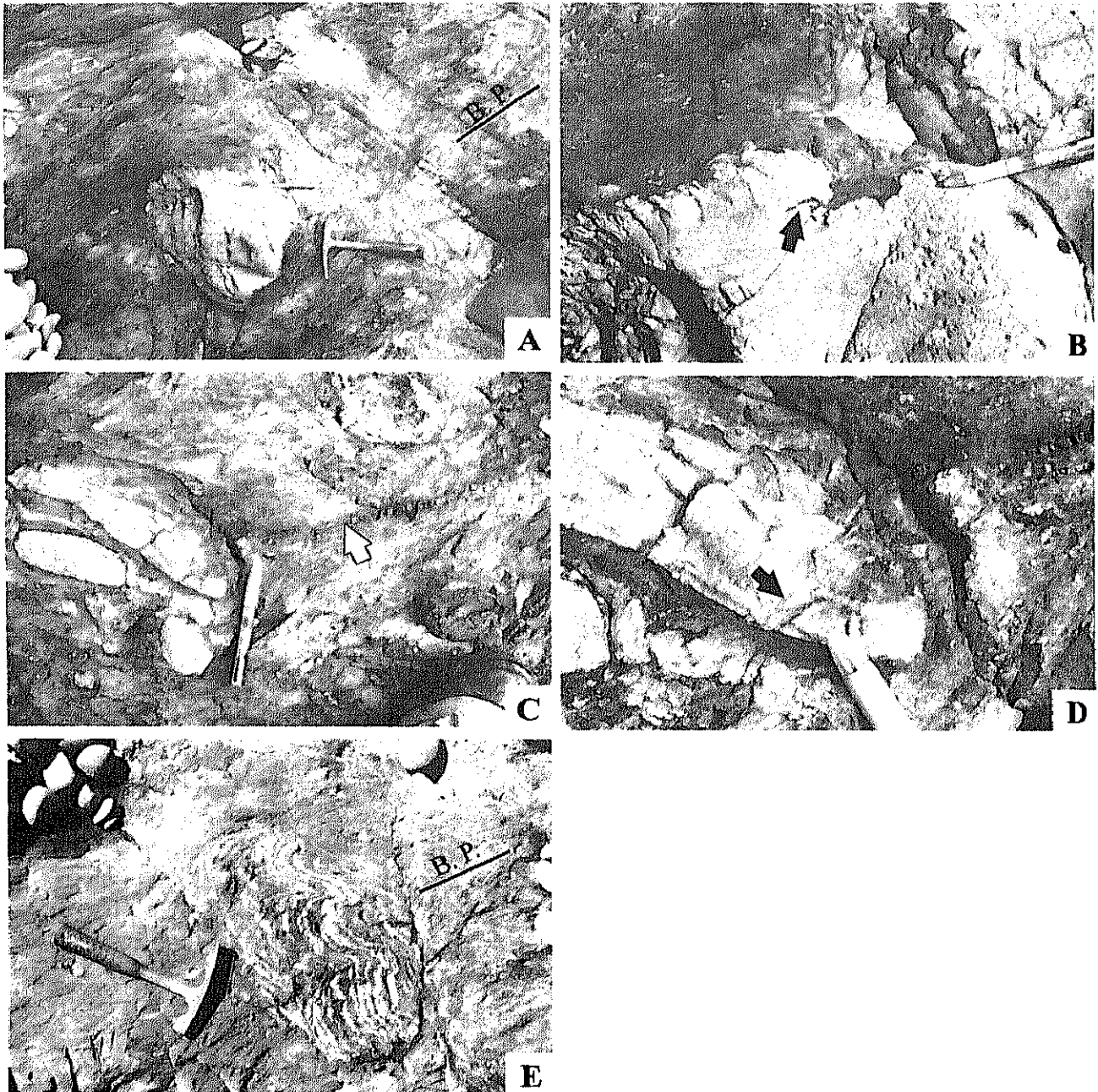


図 2. 小瀬田地域における重力起源メラランジュの産状。BはAの，DはCのそれぞれ拡大写真。
 (A, B) 砂岩ブロックを切り，黒色を呈した泥質岩基質が鋭角に入り込んでいる（黒矢印）。
 (C, D) 厚さ約3ミリメートルの砂岩脈（白・黒矢印）が泥質基質だけでなく砂岩ブロックも切っている。
 (E) 砂泥互層で構成される褶曲したブロック。ブロックの長軸は層理面に対してほぼ直交している。

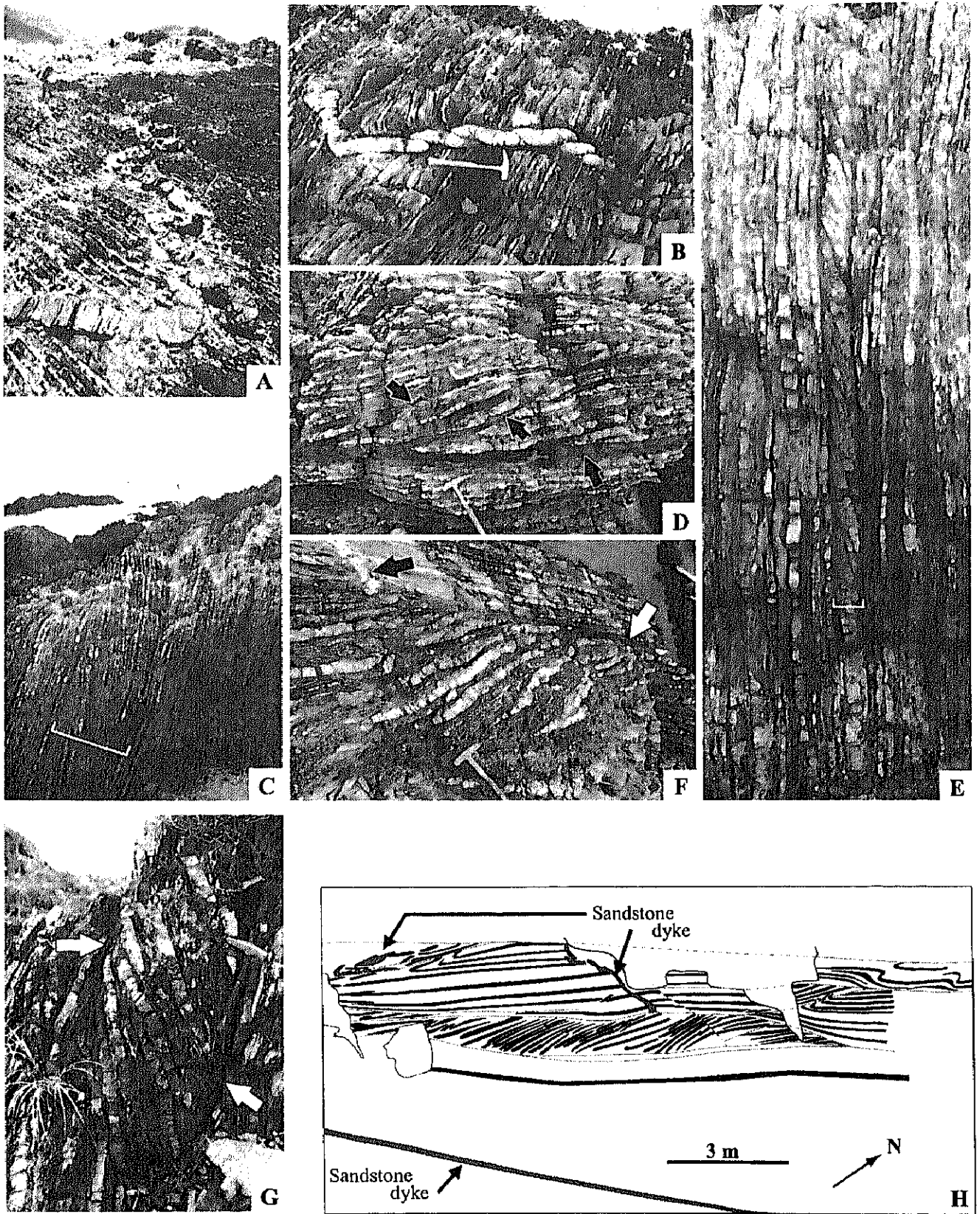


図3. 楠川地域における露頭写真。(A) 褶曲した砂岩脈。(B) 脆性変形を示す砂岩脈。共役なデュプレックス構造のような形態をしている。砂岩脈が層理面に対してほぼ垂直な延びをもっている。(C, D, E) 楠川地域におけるデュプレックス構造の例。C, Eは断面露頭。白枠で示した部分が衝上断層系によって繰り返している。DはCの平面露頭である。黒矢印は衝上断層の位置を示す。(G, F, H) 楠川地域における延性変形した泥質基質を含むデュプレックス構造の例。Gは断面露頭。F, Hは同じ露頭の平面断面で、Hは平板測量によるスケッチ。白矢印はルーフスラストもしくはフロアスラストを示し、黒矢印は砂岩脈を示す。砂岩脈はルーフスラストによって切られている。

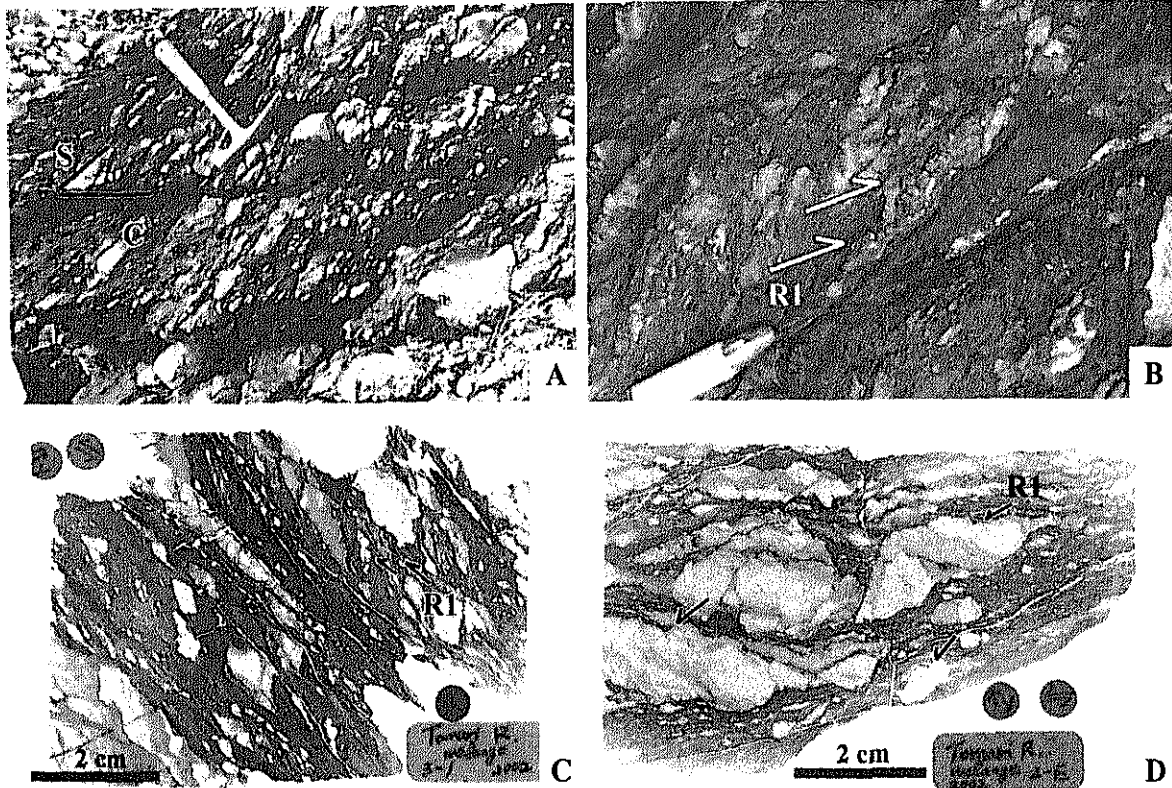


図4. 泊川地域におけるテクトニックメランジュの産状。(A) メランジュ中に観察される非対称クラストとS-C構造。(B) 露頭で確認されるリーデル(R1)構造。(C, D) 同メランジュから採取した試料の薄片写真。微小な非対称クラストやリーデル面, それにS-C構造が確認される。

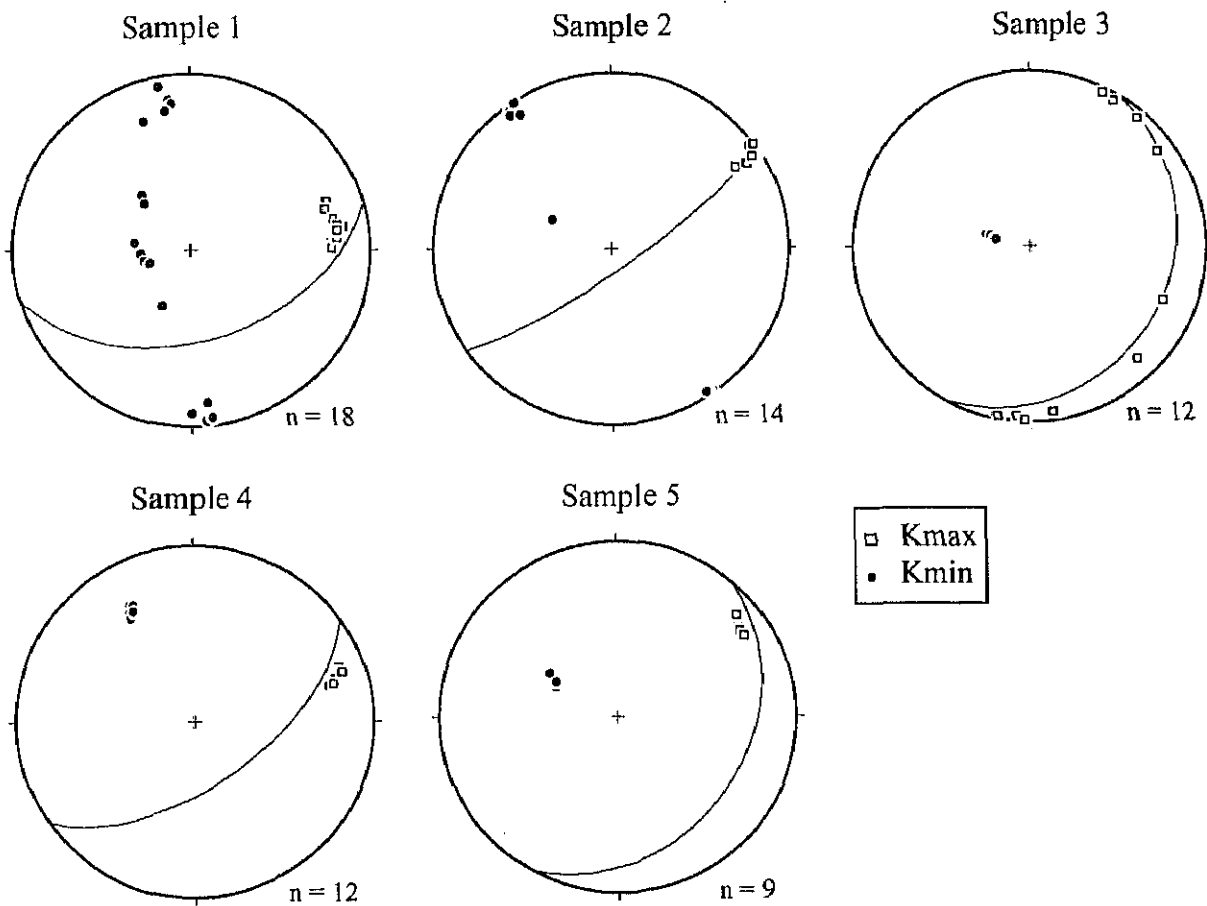
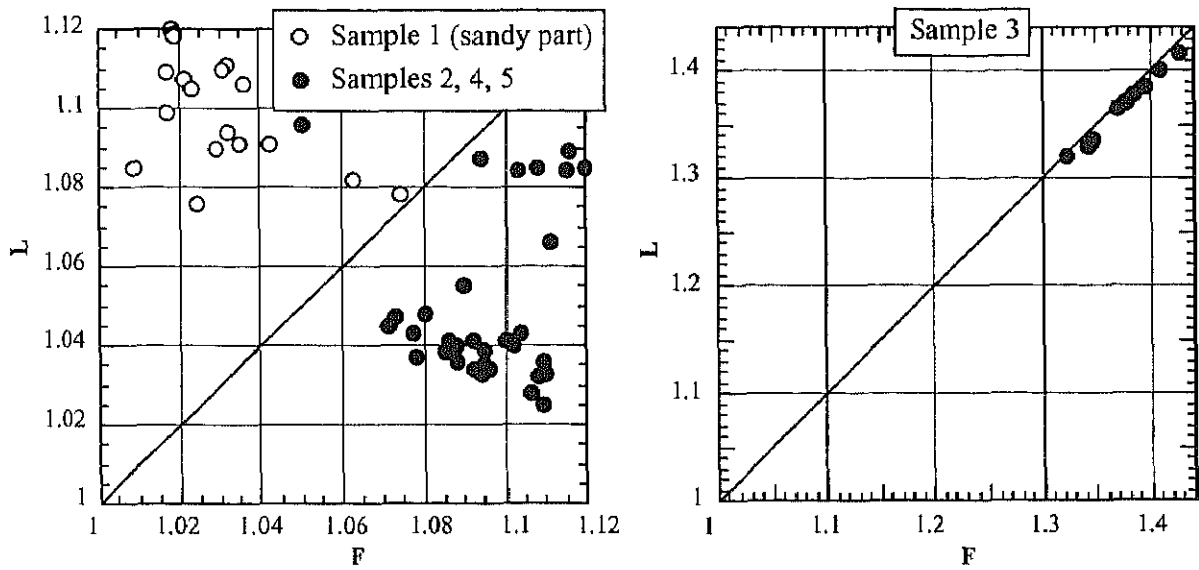


図5. 小瀬田地域の重力起源メランジュ (図2) におけるAMS測定から得られたフリントとステレオプロット. 高い帯磁率楕円体線構造も示すが, 劈開面に規制された面構造の発達が特徴的である. ただし, やや砂質のサンプル1は, 面構造が発達しない. ステレオプロットは, サンプル1を除き劈開面にほぼ平行なKmaxとほぼ垂直なKminを示す. サンプル1では, 劈開面上のKmaxを極とした大円上にKminが散在する.

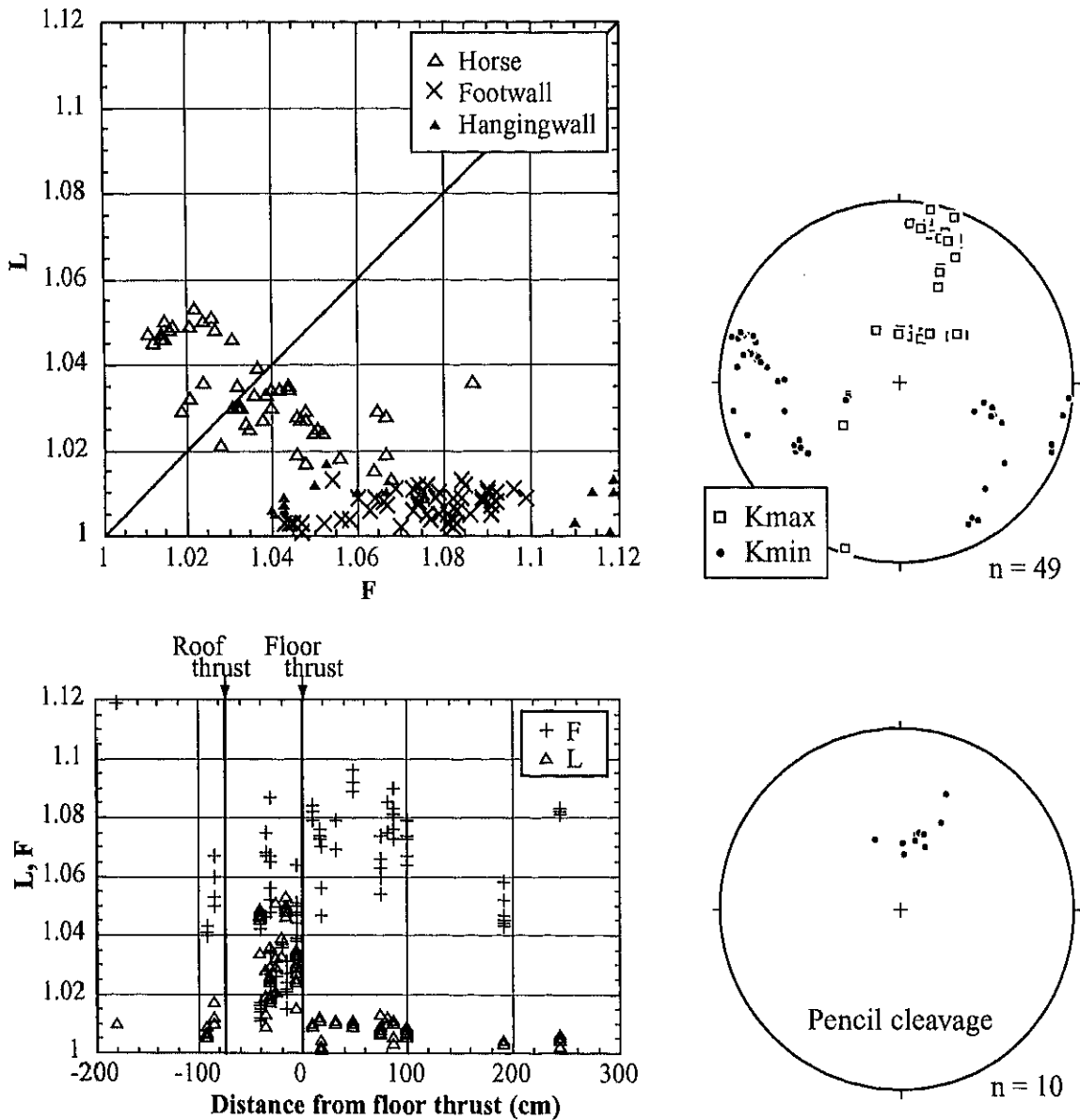


図6. 楠川地域のテクトニックメランジュ (図3) におけるAMS測定から得られたフリン図とステレオプロット. フロアスラストとルーフスラストに囲まれた部分で帯磁率楕円体面構造の減少と線構造の増加が認められる. 鉛筆劈開とKmaxの姿勢が対応し, Kminはそれを極とした大円上に散在していることに注意.

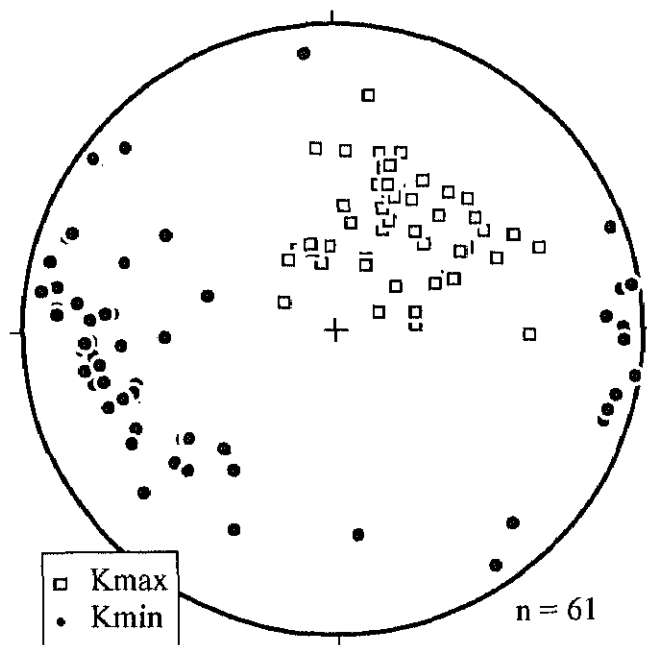
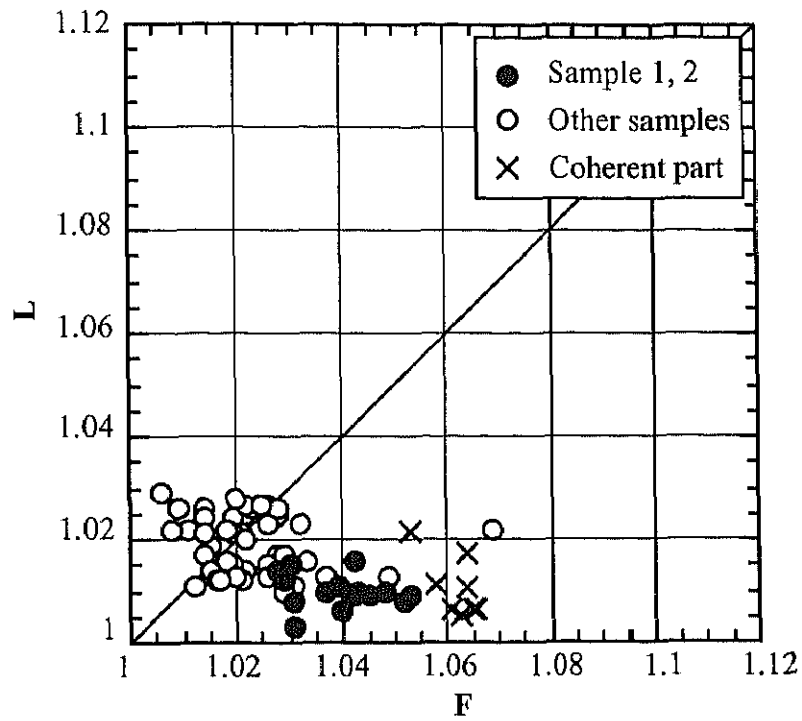


図7. 泊川地域のテクトニックメランジュ (図4) におけるAMS測定から得られたフリントとステレオプロット. メランジュ外の整然層は、楠川地域と同様に帯磁率楕円体面構造が発達している. それと比べると砂岩クラストをほとんど含まないサンプル1, 2は、面構造の減少のみが認められ、砂岩クラストを含むそのほかのサンプルはさらなる面構造の減少、線構造の若干の増加が認められる. Kmaxは、やや散らばるものの、剪断方向に直交かつ剪断面に平行な方向に集中し、Kminはそれを極とする大円上に散在する.