

四万十帯メランジュの変形過程：
地質学的データに基づく比較沈み込み学

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 竹内, 真司, 狩野, 謙一 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00000295

四万十帯メランジュの変形過程

—地質学的データに基づく比較沈み込み学—

竹内真司*・狩野謙一**

Deformation path of melange rocks in the Shimanto Belt, Southwest Japan
— a comparative subductology based on geological data —

Shinji TAKEUCHI* and Ken-ichi KANO**

Meso- and microscopic features of the tectonically deformed melanges and associated coherent beds of Late Cretaceous to Paleogene age in the Shimanto Belt of Southwest Japan, one of the typical accretionary terranes, were examined in southwestern Akaishi, eastern Shikoku and eastern Kyushu. The Kodiak accretionary complex of nearly the same age on the northeastern coastal transect of the Kodiak Island, southwest Alaska, was also studied for comparison with the Shimanto Belt. The melanges in these areas are characterized by chaotic block-in-matrix fabrics originated by stratal disruption of sandstone and mudstone beds with subordinate greenstones. The analyses were stressed on resolving deformational styles and superimposed structures in the melanges. The illite crystallinity study of mudstone matrices of these melanges clearly suggests that these melanges suffered different degrees of diagenesis and/or metamorphism from a low temperature level below 200 °C to a greenschist facies condition. The diagenetic and metamorphic grades are fairly consistent with the deformational styles of melanges. Based on these analyses, the deformation sequence of melanges in the study areas can be reconstructed as follows.

In the cooler or shallower level, the deformation of sediments was initiated by layer-normal compression, resulting in the formation of block-in-matrix fabric of the earlier stage which was characterized by soft-sediment deformation by independent particulate flow and by cataclasis in sandstone clasts. Hydraulic fracturings with mud injections and calcite veinings were another cause of stratal disruptions. Deformations by layer-parallel shear were also occurred in some parts. In the intermediate level, the stratal disruptions by layer parallel shear became more dominant than those by layer-normal compression. One of the characteristic

1991年3月18日受理

* 動燃事業団東海事業所 Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11, Japan.

** 静岡大学理学部地球科学教室 Institute of Geosciences, Shizuoka University, Shizuoka 422, Japan.

features in this stage was the development of highly-polished scaly cleavage which was mostly attributed to a diffusional mass transfer process. Quartz veinings frequently occurred in association with the layer-parallel shear. The layer-parallel shear resulted in the formation of block-in-matrix fabrics which are geometrically very similar to the fabrics of foliated fault rocks. In the warmer or deeper level, deformations by crystal plasticity became predominant subsequently to those by diffusional mass transfer. Most of the structures formed in the earlier stages were destroyed and the melange matrix became phyllitic to schistose. Abundant quartz veins were intensely fractured and the fragments of veins were dispersed into the muddy matrix of melange. The melange fabrics in this stage are also geometrically similar to the fabrics of foliated fault rocks. This deformation sequence of melange in the study areas are well explained by underthrusting and underplating processes of trench sediments from the shallower to deeper level along and/or below the decollement associated with the subduction of oceanic plate beneath the accreted sediments.

Key-words: Shimanto Belt, melange, deformation mechanism, deformation path, plate subduction.

はじめに

付加体に特徴的に分布するメランジュの累進的変形過程を明らかにすることは、付加体の形成やプレート沈み込みの機構を知る上で重要である。そのためには、(1)各地域のメランジュにおいて重複変形組織を解析するとともに、(2)埋没深度の異

なると考えられるメランジュの特徴を、いくつかの地域で比較検討していくことが必要と考えられる。(2)は比較沈み込み学(comparative subductology)(上田, 1986)ともいえよう。(1)についてはすでにいくつかのメランジュ帯で試みられているが、特定の付加体について、(2)のような立場からの広域的な検討は現状では余り進んでいるとはいえない。そこで本論では、代表的な付加体である四万十帯に分布するメランジュおよびその周辺の地層について、赤石山地南部、四国東部、九州東部(図1)において露頭スケールから顕微鏡スケールでの変形様式を観察した。さらに、四万十帯とともに陸上に露出する代表的な付加体とされている西南アラスカ、コディアック島北東海岸部のコディアック付加体(図9)においても調査を行なった。これらの地域にはそれぞれ削剥レベルが異なると考えられるメランジュ帯が露出している。以下では各調査地域におけるメランジュとその周囲に分布する地層を記載し、それらの変形様式の特徴について述べる。それらをふまえて、地下浅部から深部にいたるメランジュの累進的変形過程について考察し、プレート沈み込みと関連し

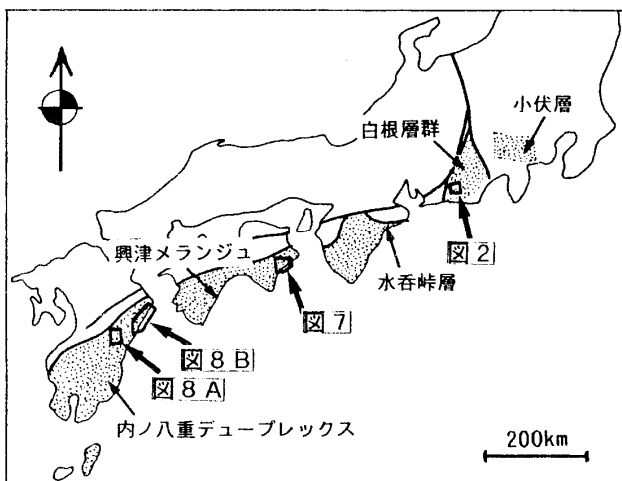


図1 四万十帯調査地域の位置および本文中に言及されている地層の分布位置

たメランジュ帯の形成にかかわる議論を行なう。
 謝辞：静岡大学理学部増田俊明助教授，徐 垣博士には有益な議論をして頂いた。東京大学理学部吉田鎮男助教授，ブラウン大学 Tim BYRNE 教授にはコーディアック島の地質についてご教示戴いた。香川大学教育学部木村 学助教授からは四国東部四万十帯，赤松ユニットの薄片資料をお借りした。89年度静岡大学理学部卒業生の中路正弥氏には調査にご協力戴いた。静岡大学理学部長濱裕幸博士および日本大学文理学部小坂和夫助教授からは貴重なご意見をいただいた。以上の方々に深く感謝する。

赤石山地南部の犬居層群

地質概説

調査地域は赤石山地南西部の気田川およびその支流の杉川流域である(図2)。この地域は KANO *et al.*(1991)の気田地域を含む。本地域には北西側に整然とした砂岩泥岩互層を主体とする upper Campanian~Maastrichtian の寸又川層群蕎麥粒山累層(村松, 1990)が、南東側にメランジュを主体とする最上部白亜系~古第三系の犬居層群が東北東-西南西の一般走向で広く分布している(狩野ほか, 1986; KANO & MATSUSHIMA, 1988)。犬居層群は気田川層と長尾川層に分けられる。こ

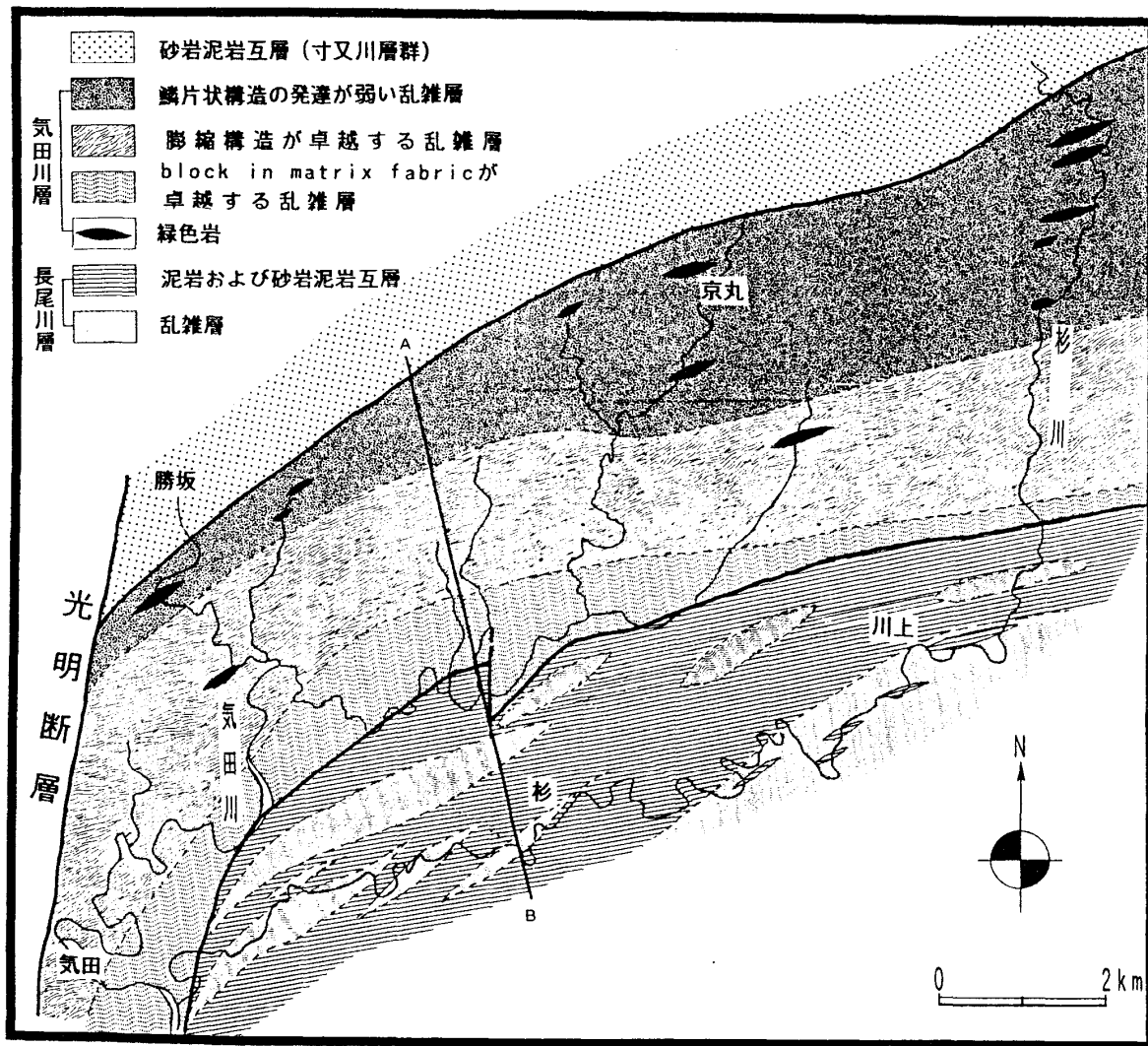


図2 赤石山地南西部気田川流域の犬居層群気田川層・長尾川層分布地域の地質図

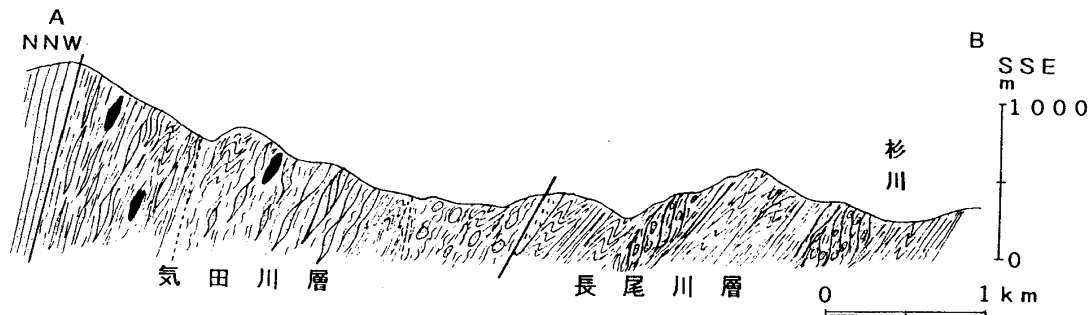


図3 赤石山地南西部気田川流域の犬居層群気田川層・長尾川層の地質断面図。断面の位置は図2参照

の地域の断面図を図3に示す。

犬居層群のうち北西側に分布する気田川層は、鱗片状劈開 (scaly cleavage or foliation) が発達した泥質基質中に砂岩を主とし、酸性凝灰岩・緑色岩などをブロックとして含む block-in-matrix fabric (SILVER & BEUTNER, 1980; COWAN, 1985) を特徴とするメランジユからなる。本層は村松 (1990) の大間累層と沢間累層をあわせた地層に相当し、KANO *et al.* (1991) の foliated melange が卓越する地層である。本層の見かけの厚さは 3000m 前後に達する。本層の泥岩からは upper Maastrichtian ~ Paleocene(?) を示す放射虫化石群集が産出している (村松, 1986)。

気田川層のうち北西部に分布する地層は泥質基質中の鱗片状劈開の発達が比較的悪い。砂岩ブロックは膨縮構造を呈するものが多いが、地層の破断

は余り進行していない。中央部には鱗片状劈開が良く発達した泥質基質中に、膨縮構造を持つ砂岩ブロックを多く含む地層が卓越する。より南東部には鱗片状劈開が良く発達した泥質基質中に、レンズ状から円礫状まで様々な形態と大きさの砂岩ブロックを含む地層が卓越する。本層のメランジユの鱗片状劈開の一般走向は $N60^{\circ}E$ で傾斜は $60^{\circ}\sim 80^{\circ}NW$ である (図4)。メランジユ中の緑色岩は数 10m 以下の厚さでブロック状に産し、その一部は枕状構造をもつ。これらはチャートを伴わない。ただし、杉川上流では枕状溶岩の上にチャート、泥岩が重なる厚さ 100~200m 程度のユニットが観察できる (狩野ほか, 1986)。この緑色岩体も走向方向に連続性がなく、周囲をメランジユに取り囲まれているので、大規模な異地性ブロックである可能性が大きい。これら緑色岩体はぶどう石-パンペリ石相の変成作用を受けている (狩野ほか, 投稿中)。なお、本地域の東方に分布する緑色岩体は MORB の組成をもつ (君波ほか, 1990)。

南東側に分布する長尾川層は泥岩と泥岩優勢の砂岩泥岩互層からなる整然層を主体として、block-in-matrix fabric で特徴づけられるメランジユが厚さ数 10~数 100m 程度の規模で挟まれる (図2)。整然層の層理面の走向は一般に $N60^{\circ}E$ で、傾斜は $50^{\circ}\sim 60^{\circ}NW$ である (図5A)。一方、メランジユの鱗片状劈開の一般走向は $N60^{\circ}E$ 、傾斜は $70^{\circ}\sim 80^{\circ}NW$ で、整然層の層理面よりもやや高角に傾斜し (図5B)、両者の境界付近では層理面と劈開面はほぼ平行になる。このことから図3のようにメランジユは地質図スケールでデュプレッ

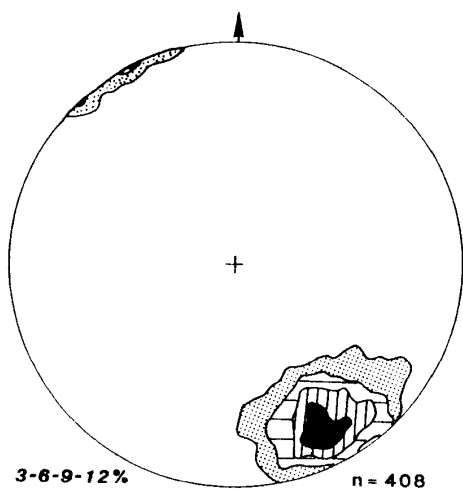


図4 気田川層の鱗片状劈開面 (=層理面) のコンターダイアグラム (シュミットネット下半球使用)。

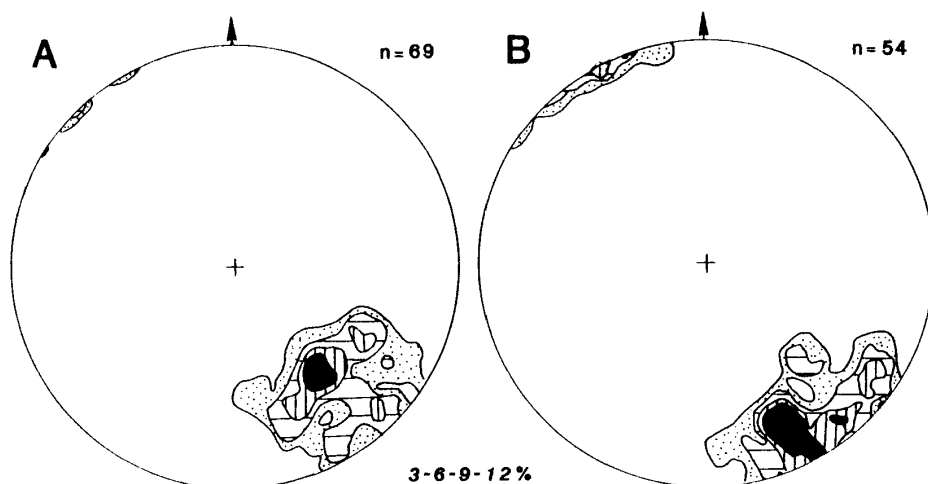


図5 長尾川層の整然層の層理面(A)とメランジュの鱗片状劈開面(B)のコンターダイアグラム(シュミットネット下半球使用)。

クス構造を形成していると推定される。本層は化石を産しないが、南東側に向かって若くなる赤石山地の大局的な地層の配置(KANO & MATSUSHIMA, 1988)から、その堆積年代は古第三紀前期頃と考えられる。

変形様式

気田川層

以下に記述する変形様式に係わる用語については、Knipe (1986)によるindependent particulate flow (I.P.F.), cataclastic flow (CATA.), diffusive mass transfer (D.M.T.), crystal plasticity (C.P.)を使用した。また変形構造としては、メランジュに特徴的なblock-in-matrix fabricの形成に係わる累進的な変形の記載を重視し、明瞭にblock-in-matrix fabricを切断する後生的な脆性破断については記載を省略した。

本層には様々な段階で形成された層理の破壊を伴う変形が記録されている。そのうち鱗片状劈開の発達が悪い部分では、初期に形成されたと思われる未固結時の変形構造が保存されている。この未固結時変形構造は、泥質基質中に流動状の膨縮構造を呈する砂岩ブロックを含む組織をもつ(図版I Aの上部)。砂岩ブロックと基質の泥岩とは融合(amalgamate)し、その境界部に剪断面は発達しない。すなわち、微視的サイズでは砂岩内

の粒界で滑ることや、粒子が回転することによって砂岩ブロック全体に変形が及んでいる。剪断変形の存在を示す非対称的に尾を引く組織も認められる(図版III A)。

砂岩ブロックには、その割れ目に沿って泥が注入したと考えられる泥インジェクション組織がしばしば観察される。基質の泥岩が砂岩ブロックを貫通し、一つのブロックをさらに小規模なブロックに分断している例も認められる。また砂岩ブロックに入る幅数mmの方解石脈を切って注入した泥インジェクションも見られる(図版II A)。これらから泥インジェクションは、砂岩がある程度固結した状態で、未固結の泥がその割れ目に沿って注入されることによって形成されたものである。また砂岩ブロック中には幅1~3mm程度の黒色の帯が網目状に発達していることがある(図版I C)。これらが密集する部分では5mm以上の幅を有することがある。顕微鏡下ではpressure solutionを示す黒色微細粒物質と、CATA.によって細粒化した碎屑粒子の帯として観察される(図版III B)。この特徴をもつ組織は世界各地のメランジュ帯で記載されているweb structure(COWAN, 1982; BYRNE, 1984; など)に相当する。

以上の構造を切るより後期の変形として、砂岩ブロックの膨縮構造や、層平行剪断による砂岩のブロック化が頻繁に見られる。この段階での砂岩

ブロックは、層理面に対してほぼ平行な鱗片状劈開面とそれに対して低角度で交わり正断層センスを示す剪断面により基質と境されている。この正断層センスをもつ剪断面の方向は剪断変形の際の R1 Riedel shear に相当する。劈開面および剪断面はよく磨かれて光沢を有し、スリッケンラインが発達することが多い。これらの劈開および剪断面に沿う変位によってブロックの先端部は引きずられ、しばしば非対称な形態を呈する(図版 I A)。ブロックは走向方向に長軸を、傾斜方向に中軸をもつものが多い。これらの組織全体はフォリエーションをもつ断層岩の組織ときわめて類似している(KANO *et al.*, 1991; 狩野ほか, 1991)。稀に見られる級化層理は北西上位を示すが、ほとんどのブロックには堆積構造は認められない。

この鱗片状劈開は鏡下では厚さ数 μm 以下のやや波曲した褐色～黒色の薄層としてあらわれる。この薄層に沿って溶解した石英粒子が認められる(図版 III C)。このことは、鱗片状劈開が pressure solution cleavage であることを示している。また前述した web structure 中にも石英粒子の溶解が認められる(図版 III B)。石英粒子の一部には微細な石英と雲母鉱物による繊維状の pressure shadow が形成されている(図版 III C)。また不透明鉱物の pressure shadow 部には繊維状の微細石英粒子による pressure fringe が認められることがある(図版 III D)。これら pressure fringe や pressure shadow の長さは、それらを伴う粒子の直径の $1/3$ 以下である。これらの中には剪断センス判定の指標となる非対称な形態をもつものも存在する(図版 III C, D)。劈開面の発達程度と pressure shadow や pressure fringe の発達の程度には余り相関性は認められない。

砂岩ブロックの膨縮構造の pinch 部には、地層に直交する幅数 mm 以下の石英脈が密集して見られるのが特徴である。それに対して swell 部には石英脈は発達しない。このことは地層に直交する方向からの圧縮が働いたことを示している。層理面と大きく斜交した剪断変形の際の T 方向に発達する石英脈もしばしば認められる(図版 I A)。また泥質基質中には鱗片状劈開に沿って注入して

いる石英脈も存在し、この脈はさらに劈開によって分断されているのが頻繁に認められる。石英脈の一部は鱗片状劈開を切断している。また膨縮構造を示す石英脈も存在する(図版 I B)。鏡下では展張方向に伸びた長軸をもつ石英粒子の集合によって構成されるクラックシール(RAMSAY, 1980)様の組織が頻繁に発達する。鱗片状劈開面に平行に入る分断された石英脈の pinch 部には著しい波動消光が認められることがある。また圧縮方向と直交する方向に伸張した石英粒子の粒子境界において new grain (図版 III E) が形成されている。これらから石英脈の一部は D.M.T. や C.P. の変形領域下で変形している。

以上のように、メランジュ中に砂岩層の膨縮構造とその swell 部に直交して発達する石英脈、非対称形を有するブロックが存在することなどは、メランジュ形成中に地層に直交する圧縮や、地層に平行する剪断運動が働いたことを示している。また鱗片状劈開面と石英脈との切断関係やクラックシール様の組織をもつ石英脈の存在から、これらによる変形は石英脈注入と相前後して何度も起こったことを示している。以上をまとめると、気田川層の変形に最終的に関与した変形メカニズムは D.M.T. がもっとも卓越し、一部は C.P. の領域に達している。また CATA. や I.P.F. による浅所で卓越する変形も一部に保存されている。

気田川層のメランジュ中には、block-in-matrix fabric に特徴的な層平行な展張に起因する変形のほかに、層平行な圧縮による変形構造も認められる。そのうちの一つは、比較的層理が保存された砂岩泥岩互層中に認められる上下を剪断面で境されたレンズ状もしくは層状をなす砂岩層が覆瓦状に積み重なったデュプレックス構造である(図版 II C)。これについては KANO *et al.* (1991) および 狩野ほか (1991) に詳しく述べられている。もう一つの圧縮による組織は、露頭の幅数 m ～ 数 10 m の範囲で部分的に発達する block-in-matrix fabric 形成後に生じた褶曲である。この褶曲は波長数 10 cm ～ 1 m 程度のもが多く、引きずり褶曲の形態や、両翼が閉じた対称形に近い形態をもつ。これらの褶曲軸、褶曲軸面はともに様々な方向を

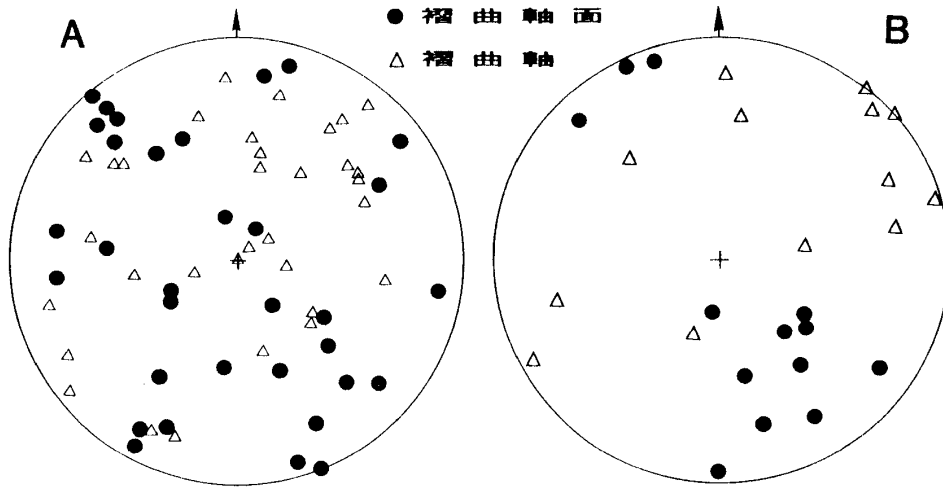


図6 犬居層群中の小褶曲の褶曲軸面と褶曲軸（シュミットネット下半球使用）。
A：気田川層， B：長尾川層

向き，明瞭な指向性が認められない（図6 A）。

上述の露頭規模の非対称変形組織を用いて各露頭で剪断センスを判定し，それらを系統的に処理した。その結果，メランジュ形成中に上盤側が南方に移動する左ずれ逆断層センスをもつ剪断が卓越したことが明らかになっている（KANO *et al.*, 1991; 狩野ほか，1991）。

長尾川層

本層の整然層には露頭規模で顕著な層理の破壊はなく，ラミナなどの内部堆積構造が良く保存されている。メランジュとの境界付近には層理面と平行に劈開が形成されていることがある。この劈開面に沿って放散虫や石英粒子の溶解（図版IV A, B）が生じているので，この劈開は pressure solution cleavage であると判断できる。さらに不透明鉱物の周辺には pressure fringe も普通に観察されるので，この整然層は D.M.T. の領域で多少変形していることになる。また一部には層理面と垂直方向に幅数 mm 以下，長さ数 10 cm 程度の石英脈が頻繁に発達している。このことは層理に垂直方向の圧縮が働いたことを示唆している。さらに波長 1 m 以内の閉じた形態を有する引きずり褶曲がしばしば見られる。この褶曲の褶曲軸面は北東走向で北西に中～高角度で傾斜し，褶曲軸は様々な方向を向く（図6 B）。露頭スケールでもデュ

プレックス構造が観察されることがある（図版 II D）。

本層のメランジュに見られる変形様式の特徴として，砂岩層の未固結時変形組織とともに，砂岩ブロック内に注入した泥インジェクション組織があげられる。泥インジェクションには，ラミナを乱すものや，方解石脈中に注入するものが存在する（図版 II B）。また砂岩ブロック内には web structure が見られる。メランジュの泥質基質には pressure solution cleavage である鱗片状劈開が認められることが多いが，一般には気田川層に比べてその発達程度は悪い。非対称な形態をもつ砂岩ブロックも稀である。劈開が発達した泥質基質中には劈開面に平行に石英脈が注入し，これがさらに分断されているのが観察される。また不透明鉱物の周囲には微細石英粒子による pressure fringe が普通に認められる。

以上より長尾川層のメランジュの層理の破断は，主として泥インジェクションを伴う未固結時の変形に引き続いて，劈開形成を伴う層平行な剪断運動によって進行したと考えられる。また本層には D.M.T. による変形が普通に見られ，I.P.F. や CATA. による変形もかなり保存されている。気田川層に見られるような C.P. による変形は，メランジュ中のごく一部の変形の著しい部分でのみ観察される。

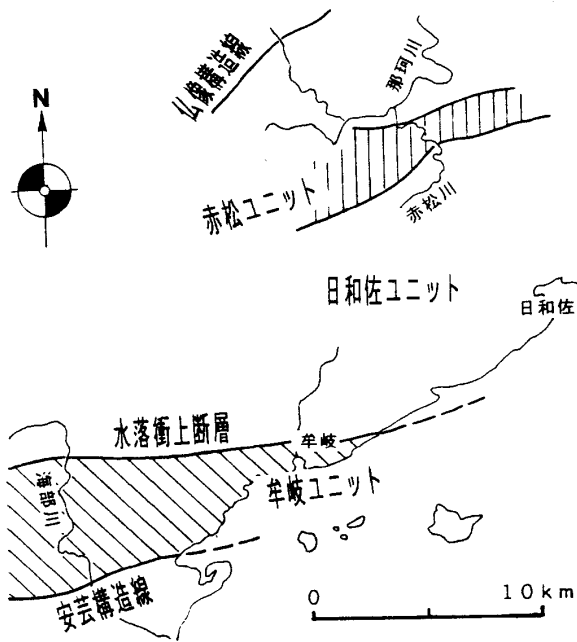


図7 四国東部の調査地域の地質概略図。柳井(1983)および木村・向井(1989)から作成。

四国東部の赤松・牟岐ユニット

地質概説

調査地域は四国東部の那珂川支流赤松川流域と、牟岐周辺の海岸部および海部川流域を中心とする地域である。木村・向井(1989)による層序・構造単元に従うと、前者にはメランジユを主体とする赤松-谷山ユニット(以下赤松ユニットと略称)が、後者にはおなじくメランジユを主体とする牟岐ユニットが分布する。両ユニットの間には整然とした砂岩層と砂岩泥岩互層よりなる日和佐ユニットが分布する(図7)。これらの地層は一般に東西から東北東-西南西の走向を持ち、北に急傾斜する。

赤松川流域の赤松ユニットは、下位よりシート状の緑色岩、緑色岩・チャート・赤色頁岩が混在したメランジユ、泥質基質中に大小の砂岩ブロックを含むメランジユが重なり、この一連の厚さ数100mのシークエンスが何度も繰り返した覆瓦状構造を形成している(木村・向井, 1989)。本ユニットの堆積年代は柳井(1983)の放散虫化石に基づくと後期白亜紀と考えられる。

一方、牟岐ユニットは泥質基質中に砂岩ブロックを含む block-in-matrix fabric をもつメランジユが主体をなす。稀に緑色岩・チャート・赤色頁岩のブロックを含む。緑色岩はその化学組成から MORB と推定されている(君波ほか, 1990)。本ユニットのメランジユのみかけの厚さは4000~5000mである。須鎗・山崎(1987)にもとずくと、牟岐ユニットの堆積年代は後期白亜紀~古第三紀と考えられる。

柳井(1983)は両ユニットのメランジユを海底地滑り角礫岩として扱っているが、後述するように両ユニットとも続成作用の段階以降に生じた変形組織が認められる。

変形様式

赤松ユニット

赤松ユニットのメランジユ(木村・向井(1989)のメランジユ I) の泥質基質中の鱗片状劈開の発達程度は、犬居層群気田川層に比べて顕著とはいえない。砂岩ブロック中にはラミナなどの初生的な堆積構造がよく保存され、これが未固結時に形成されたと考えられる癒着した断層面をもつ小断層によって変位している(図版VA)。砂岩ブロックはしばしば膨縮構造を示す。傾斜方向の露頭面や薄片では、地層に対して低角度に斜交する正断層センスをもつ R1 Riedel shear 的な剪断面が認められることがある。一方、走向方向の露頭面や薄片では、砂岩ブロックの pinch 部にブロックと直交する破断面が入るのが観察されるが、この破断面は基質中には連続せず、周囲の泥質基質は流動変形している。微視的サイズの砂質部の膨縮変形の例を図版VDに示した。これらの特徴から木村・向井(1989)は、Riedel 剪断面の形成とそれに直交する破断面によって層理の破壊が起こり、本ユニットのブロック化が進行したとしている。

木村・向井(1989)が強調した剪断面の形成を伴う展張的な層理の破壊以外にも、泥インジェクションによって砂岩の層理の破壊が引き起こされているのが頻りに観察される(図版VA, B)。泥質基質中の石灰質ノジュールもこの泥インジェクションによってジグソーパズル状の小岩塊に破

壊されていることがある(図版VC)。これらから砂岩が半固結状態になり、石灰質ノジュールが形成されるような続成作用が進行した段階で水圧破碎がおこり、泥インジェクションが生じたものと考えられる。砂岩中に侵入した泥インジェクションはその先端部でweb structureに連続するものがある。これはもともと泥インジェクションによって細粒物が注入された部分が、後に破碎を受けて細粒化したものと解釈できる。

砂岩や泥質基質中の石英粒子には pressure shadow はほとんど発達しないが、不透明鉱物には微細石英粒子によって構成される pressure fringe を伴うものも存在する。幅数mm以下、長さ数10cm以下の方解石脈が頻繁に発達する。全体としてはメランジュの走向方向に直交する脈が多い(木村・向井, 1988)。石英脈は確認できない。以上をまとめると、赤松ユニットのメランジュはI.P.F. およびCATA. による未固結～半固結時の変形が卓越し、D.M.T. の領域下での変形も認められる。しかしながらC.P. の領域に達する変形は見られない。

牟岐ユニット

牟岐ユニットのメランジュは、赤松ユニットのメランジュと比べて、泥質基質中に鱗片状劈開が普遍的に発達するのが特徴である。特に細粒部に良く発達する(図版VID)。しかしながら、気田川層のメランジュの鱗片状劈開に比べると発達の程度は弱く、非対称変形組織も余り発達しない。様々な形態をもつ大小の砂岩ブロックが泥質基質中に散在し、その一部は膨縮構造を呈する(図版VIA)。砂岩ブロック内にはラミナなどの堆積構造が良く保存されている。比較的厚い数10cm以上の単層をもつ砂岩には web structure がしばしば認められる(図版VIB)。また砂岩ブロック中に注入した泥インジェクション組織が頻繁に観察され(図版VIA, C)、これによって層理の破壊が進行している。したがって本ユニットの層理の破壊は、砂岩層への泥インジェクションと、鱗片状劈開の形成に代表される剪断運動によって進行したと考えられる。

泥質部の不透明鉱物や石英粒子には微細石英粒

子によって構成される小規模な pressure fringe や pressure shadow が形成されている。露頭では様々な方向に幅数mm、長さ数10cm以下の方解石脈が形成されているが、石英脈はほとんど確認できない。方解石脈と web structure とは切った切られたの関係にある(図版VIB)。方解石脈と泥インジェクションも同様に切った切られたの関係にある(図版VIC)

以上をまとめると本ユニットのメランジュにはI.P.F. やCATA. による変形が卓越し、D.M.T. の領域に達する変形も普通に見られる。しかしながら、C.P. の領域での変形は認められない。

九州東部の槇峰層・神門層

地質概説

調査地域は九州東部、五ヶ瀬川および耳川中流域(図8A)と、古江から鶴御岬にかけての海岸部(図8B)である。前者の地域には、北西に低角度に傾斜する延岡構造線を挟んで、北西側には上部白亜系の槇峰層、南東側には古第三系の神門層が分布する(今井ほか, 1982)。なお、この地域周辺の槇峰層は坂井・勘米良(1981)の槇峰層、神門層は同じく荒谷層にほぼ相当する。一方、後者の地域には主として槇峰層とその上位の八戸層が分布する(奥村ほか, 1985; 奥村・寺岡, 1988; 寺岡ほか, 1990)。槇峰層、神門層とも、見かけ500m以上の厚さを有する。

槇峰層は鱗片状劈開もしくはスレート劈開が著しく発達した泥岩中に、砂岩・チャートなどのブロックと、シート状の緑色岩を含むメランジュを主体とする。緑色岩はMORBの組成をもつ(MACKENZIE, 1989)。五ヶ瀬川中流域ではこれらが数回繰り返した北西傾斜の低角覆瓦状構造をとると考えられている(坂井・勘米良, 1981; NEEDHAM & MACKENZIE, 1988)。古江-鶴御岬地域では槇峰層がその上位の砂岩を主体とする八戸層とともに繰り返して出現する(奥村ほか, 1985; 奥村・寺岡, 1988; 寺岡ほか, 1990)。一方、神門層は鱗片状劈開が著しく発達した泥岩に、砂岩・緑色岩をブロックとして含むメランジュを主体として

いる。槇峰層・神門層とも劈開面の一般走向はNE-SWで、北西に40°前後傾斜し、他の四万十帯よりも低角な構造を呈する。

この地域の地層は調査地域の地層の中で最も強く変成作用を受けている。五ヶ瀬川周辺では、延岡構造線に接する槇峰層の緑色岩は緑色片岩相の、その南の神門層の緑色岩はぶどう石-パンペリ石相の変成鉱物組合せをもつ (TORIUMI & TERUYA, 1988)。また古江-鶴御岬地域の槇峰層は緑色片岩相からぶどう石-パンペリ石相の変成作用を受けている (今井ほか, 1990)。

変形様式

槇峰層

五ヶ瀬川地域の槇峰層の露頭規模から薄片規模での変形組織については坂井 (1979)、坂井・勘米良 (1981) および NEEDHAM & MACKENZIE (1988) など報告されている。また古江-鶴御岬地域においても MACKENZIE *et al.* (1987) などの報告がある。以下では、主として我々の観察に基づいて他地域との対比に必要な範囲で槇峰層の変形様式の特徴を記載する。

本層のメランジュの泥質基質中には鱗片状もしくはスレート状の劈開が密に発達する。特に顕著に発達する部分では千枚岩もしくは結晶片岩様を呈する (図版VII A)。メランジュ中の砂岩ブロックはもともとの層理面に規制されたレンズ状を呈するものが多く、劈開面によって破断され、しばしば非対称な形態を有している (図版VII A)。鱗片状劈開および砂岩ブロックの全体的な配列はフォリエーションをもつ断層岩の組織と類似する。このことは砂岩層の層理の破壊がもともとの地層に平行な剪断によって進行したことを示唆し、ブロックの非対称構造は上盤が相対的に南東に移動する剪断センスの下で形成されたことを示す (NEEDHAM & MACKENZIE, 1987; 狩野ほか, 1991)。サンプルスケールで見られる砂岩ブロックの形態は、線構造に平行な方向に著しく伸張した prolate type である (図版VII B)。砂岩中には比較的規則的な劈開面が形成され、片状を呈している (図版VII C)。この劈開面は鏡下では黒色細粒物質によっ

て構成される幅数 μm 程度の帯として認められる。これに沿って石英粒子が溶解している部分も見られる。砂岩中の石英粒子や方解石は著しい波動消光を示す。長石粒子は脆性破壊を起こし、その割れ目は再結晶石英粒子によって充填されている (図版VIII D)。劈開と平行な方向にブルーパートした長石のブーディンも見られる (図版VIII E)。

一方泥質基質においては、鏡下で識別可能な程度に成長した雲母類が顕著な定向配列をとるのが観察される。また大部分の石英粒子や放散虫化石には、再結晶による石英や雲母鉱物の微粒子によって pressure shadow 部が形成されている (図版VIII A)。不透明鉱物の pressure shadow 部には pressure fringe が頻繁に見られる。この fringe 中には著しく湾曲したものがある。また、fringe を伴う不透明鉱物の直径と同程度の長さで成長したものが多量に多い (図版VIII B)。基質中に散在する放散虫化石は plane strain type の変形をしている (TORIUMI & TERUYA, 1988)。

基質や砂岩ブロック中には様々な方向に幅数 cm 以下の石英脈が発達しているが、特に劈開面に沿う石英脈が頻繁に認められる。これら石英脈は更に劈開面によって分断され、径数 cm 以下の角礫状クラストとして基質中に散在している。これらを有する泥質部の一部は鱗片状劈開面と高角に斜交する縮緬皺劈開によって変形している (NEEDHAM & MACKENZIE, 1988)。

以上より本層のメランジュを支配する変形メカニズムには pressure fringe, pressure shadow などで特徴づけられる D.M.T. と、再結晶石英粒子の形成や劈開面に沿う雲母鉱物の成長で特徴づけられる C.P. の両者が卓越している。この結果は NEEDHAM & MACKENZIE (1988) および MACKENZIE *et al.* (1987) の結果と調和的である。剪断による層理の破壊の他に NEEDHAM & MACKENZIE (1988) は、初期変形としての泥インジェクションの存在を報告している。

なおメランジュ中には波長数 m 以下の閉じた褶曲が発達する部分が挟まれる。この褶曲の軸は様々な方向にランジしている (NEEDHAM & MACKENZIE, 1988; MACKENZIE *et al.*, 1987)。

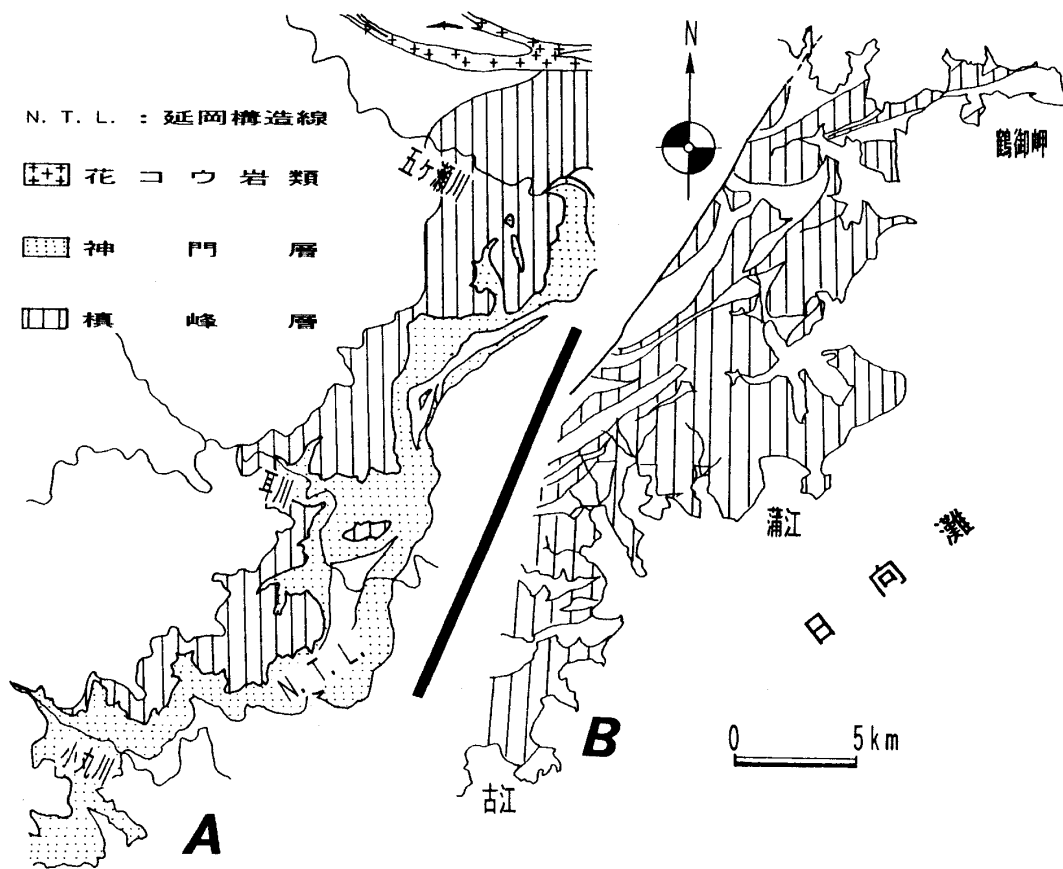


図8 九州東部の調査地域の地質概略図. A:五ヶ瀬川地域(今井ほか(1982)を簡略化), B:古江-鶴御岬地域(奥村ほか(1985), 寺岡(1988), 奥村・寺岡ほか(1990)をコンパイル)

神門層

神門層のメランジュは、泥質基質中に鱗片状劈開が著しく発達するのが特徴である(図版VII C, E). 鏡下において、識別可能な程度に成長した雲母鉱物が鱗片状劈開に沿って定向配列しているのが観察できる(図版IX B). 槇峰層と同様に劈開面に平行に石英脈が注入し、さらに劈開面によって分断されている(図版VII C, D). 石英脈中の石英粒子は劈開面と平行な方向に伸張している(図版IX A). 伸張した個々の石英粒子の粒界には著しい波動消光が見られ、再結晶石英粒子も認められる(図版IX B). 泥質基質中の石英粒子や不透明鉱物の周辺には pressure shadow や pressure fringe も頻繁に認められるが、槇峰層に比べてこれらの発達の様子は顕著ではない.

砂岩ブロックの大部分はレンズ状を呈し、基質

とは鱗片状劈開面によって境されている. 非対称に変形しているブロックがしばしば認められる. 非対称組織から推定される剪断センスは、上盤側が北西方から南東方に向かうものが多い(狩野ほか, 1991). また砂岩ブロックにはしばしば web structure が発達している. しかし槇峰層の砂岩のように規則的な劈開面は発達していない. 砂岩中の石英粒子の一部には変形バンドも見られる.

この他、波長数10cmの鱗片状劈開面の引きずり褶曲がしばしば見られる(図版VII E). この褶曲の引きずりのセンスも、上盤側が相対的に南に移動する剪断運動の結果形成されたことを示している. これらのことは神門層の層理の破壊が層に平行な剪断運動によって進行したことを示している.

以上のように、神門層には D.M.T. の領域での変形が卓越している. また、気田川層に比べて

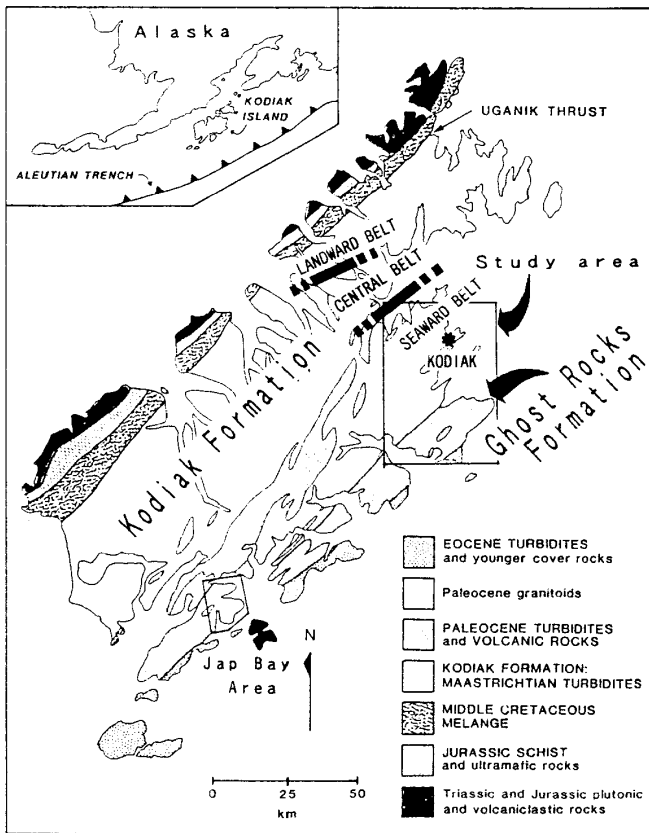


図9 南西アラスカ、コディアック付加体地質概略図と調査地域の位置。SAMPLE & MOORE (1987) の図に加筆

より頻繁に C.P. 領域での変形が認められる。

コディアック島北東部のコディアック層・ゴーストロックス層

地質概説

調査地域はコディアック島の北東海岸部である。本地域には白亜紀後期の堆積年代を示す seaward belt のコディアック層が約 30km の幅で、暁新世のゴーストロックス層が約 15km の幅で分布する (SAMPLE & MOORE, 1987) (図9)。両層とも北東-南西の一般走向を有し、北西に急傾斜する。本地域のコディアック層は整然とした砂岩泥岩互層を主体とし、泥質基質に砂岩ブロックを含む厚さ数10m~数100mのメランジュを所々に挟む。一方、ゴーストロックス層は泥質基質に様々な大きさの砂岩ブロックを含むメランジュを主体

とし、整然とした砂岩泥岩互層を挟む。本層のメランジュ中には緑色岩がブロック状に産出する。コディアック・ゴーストロックス両層分布地域には約60Maに貫入した花崗岩体が各所に露出する (MOORE *et al.*, 1983; BYRNE, 1986)。

コディアック層はデコルマより下位に位置し、著しい変形を受けずに深部に沈み込んだ後、陸側に付加された地質体、またゴーストロックス層はデコルマおよびその直下で形成された地質体と解釈されている (SAMPLE & MOORE, 1987; FISHER & BYRNE, 1987)。この地域のコディアック層の露頭規模から微視的規模の変形組織については、SAMPLE & MOORE (1987) によって一部記載されている。

なお、両層ともにメランジュ形成後の後生的な脆性変形による破断面が、四万十帯のメランジュに比べてより頻繁に発達する (図版X B)。

変形様式

コディアック層

本層のメランジュの泥質基質には鱗片状劈開はあまり発達せず、スランプ褶曲的な流動変形を伴う砂岩層の未固結時変形がよく保存されている。泥インジェクションによって砂岩層の層理の破壊が進行している例も見られる (図版X A)。砂岩ブロックの大部分は様々な形態をもつが、それらの配列には明瞭な指向性は認められない。非対称に変形した砂岩ブロックも稀である。厚い砂岩層には web structure が頻繁に観察される。また様々な方向をもつ幅数 mm 以下の石英脈が認められる。方解石脈は石英脈に比べて顕著ではない。

以上より、本層のメランジュは層平行剪断に伴う非同軸的変形の影響を余り受けていないものと考えられる。露頭で見られる未固結時と思われる流動変形や砂岩中に頻繁に認められる web structure の存在より、I.P.F.やCATA. の領域での初期変形がよく保存されているものと判断できる。

一方、本層の整然層中の泥質岩には、波長数 m 以上の褶曲と、それらに伴う軸面劈開としてのスレート劈開が顕著に発達している。このスレートには薄片下において pressure fringe や再結晶

を伴う pressure shadow など D.M.T. を特徴づける変形がしばしば認められる。整然層に入る石英脈は層理に直交するものが多い。

ゴーストロック層

本層のメランジュの泥質基質には鱗片状劈開はほとんど発達せず、未固結時に形成された膨縮構造が保存されている（図版 X C）。本層の層理の破壊はスランプ褶曲的な流動変形を伴う未固結時の変形（図版 X B）や、泥インジェクションによって進行している。砂岩ブロック中には、級化層理やラミナなどの初生堆積構造がよく保存されている。ブロックの形態は様々であり、その配列には明瞭な指向性が認められない。剪断センスを示す非対称変形組織も発達しない。また径数 10cm 以上の比較的大きな砂岩ブロック中には web structure が顕著に発達している。web structure が発達する部分では CATA. による碎屑粒子の細粒化が全体に浸透しているのが鏡下で観察できる（図版 X D）。不透明鉱物や石英粒子の周辺には pressure fringe や pressure shadow は発達しない。なお露頭では様々な方向性を持つ方解石脈が発達するが、石英脈は少ない。

以上のように本層中には、未固結時の I.P.F. による変形と、web structure で代表される CATA. による変形が卓越する。D.M.T. や C.P. の領域での変形は確認できない。

変形様式と変成度との関係

以上に述べたメランジュを含む各地層に特徴的な変形様式、露頭で見られる泥インジェクションの相対的な頻度、脈の種類などを表 1 にまとめた。この表で示されるように、各地層の変形には共通点とともに相違点が見出される。これには各地層が経験した造構環境と造構過程が反映されているものと考えられる。歪み速度が一定ならば、一般的には低温部から高温部に、または地下浅部から地下深部に向かって、I.P.F. や CATA. による変形から、D.M.T. による変形をへて、C.P. による変形が卓越するようになる（KNIFE, 1986; SAMPLE & MOORE, 1987; MOORE, 1989）。した

がって I.P.F. や CATA. による変形が卓越する地層ほど低温または地下浅部での変形を保存し、C.P. による変形が卓越する地層ほど高温部または地下深部にまで運び込まれている可能性が大きい。

各メランジュが経験した造構環境を見積もるためには、メランジュを含む地層の続成～変成度を明らかにしておく必要がある。前述したように九州東部や赤石山地では緑色岩の変成鉱物組合せによる変成度が検討されている。また九州東部や四国東部では泥質岩中のビトリナイトの反射率によって続成～変成度が検討されている（相原, 1989; MORI & TAGUCHI, 1988）。今回検討した各メランジュはすべて泥質基質により構成され、またその周囲には泥岩層も分布している。そこで、続成～弱変成段階にある地層の温度構造を推定するのに有効な泥質岩中の $2 \mu\text{m}$ 以下のイライトの結晶度 (IC) を求めることによって、メランジュを含む地層の続成～変成度を検討した。IC の測定方法と測定結果の詳細は別途報告する（狩野ほか、投稿中）。その結果に基づくと、各地層の泥質岩の IC 値は表 1 に示す固有の範囲内に納まり、緑色岩を含まない地層や、含んでいても変成度が検討されていない地層でも、続成～変成度の相対的比較ができる。また IC は緑色岩の変成鉱物組合せや、泥質岩中のビトリナイト反射率ともよく相関し、これらを利用して各地層が経験した最高到達温度を見積もることができる（狩野ほか、投稿中）。なお四万十帯全般がこうむった広域変成作用は低温高圧型である（TORIUMI & TERUYA, 1988）。

図 10 に各地層に特徴的な変形様式と IC との関係を示した。横軸には各地層の IC がとる最大、最小値と平均値を示した。縦軸の変形様式は、歪み速度が同様ならば相対的な温度・圧力条件を反映する。歪み速度の推定は現状では難しいので、以下では便宜的にほぼ同様であったとみなして単純化した議論を進める。また各地域の温度勾配が同じならば埋没深度を相対的に表すことになる。犬居層群、牟岐ユニット、槇峰層のメランジュについては、地層の時代と緑色岩との関係から、クラーク太平洋海嶺が沈み込んだ直後の太平洋プレートの

表1 各地層に見られる特徴的な変形の相対的頻度または強度。IC(Kubler Indexによるイライト結晶度)は各地域における最大値と最小値を示す。ただし測定数の多い赤石山地南部については平均値と標準偏差を示した。

地域	九州 東 部		四 国 東 部		赤 石 山 地 南 部			コディアック島北東部	
地層名	神 門 層	槇 峰 層	牟岐unit	赤松unit	気田川層	長尾川層 整然層	メランジュ	ゴースト ロック層	コディアック 層
I. P. F.	?	?	◎	◎	○	○	○	◎	○
CATA.	○	△	○	○	○	?	○	◎	○
D. M. T.	CL	◎	○	△	◎	○	◎	×	◎(slaty)
	PF	○	◎	○	○	○	○	×	○
	PS	◎	◎	○	△	○	△	△	×
C. P.	◎	◎	×	×	○	×	△	×	×
Md. in.	△	△	◎	◎	○	○	○	○	○
Vein	Qz>Cal	Qz>Cal	Cal>Qz	Cal>Qz	Qz>Cal	Qz>Cal	Qz>Cal	Cal>Qz	Qz>Cal
I. C.	0.30~0.45	0.19~0.44	0.59~0.73	0.50~0.76	0.42±0.07	0.56±0.08		0.39~0.58	0.26~0.36
Meta.	P-P	P-P~G	?	?	P-P	?		P-P	?

◎ : abundant ○ : common △ : rare × : absent

I. P. F. = independent particulate flow CATA. = cataclastic fracturing D. M. T. = diffusive mass transfer

CL = pressure solution cleavage PF = pressure fringe PS = pressure shadow C. P. = crystal plasticity

Md. in. = mud injection Qz = quartz vein Cal = calcite vein I. C. = illite crystallinity

Meta. = metamorphic facies (P-P: prehnite-pumpellyite facies G: greenschist facies)

運動と関連して形成された可能性が大きい(君波ほか, 1990)。もしそうならば, 同一のプレートシステムに参加するこれらの地層に係わる温度勾配には大きな差がなかったものと考えられる。

図10に示されるように, 四万十帯のメランジュの変形様式とICとの間には明瞭な相関性が認められる。すなわちIC値が高い(結晶度が悪い)地層ほど低温または地下浅部での変形様式を示し, IC値が低い(結晶度がよい)地層ほど高温または地下深部での変形様式が顕著となる。またコディアック付加体ではIC値に対して, 四万十帯と比べてより低温または地下浅部での脆性的変形が卓越する。したがって, 四万十帯とコディアック付加体は若干異なる変形系列を示すことになるが, その原因は不明である。

以上をまとめると, 我々が扱った四万十帯のメランジュのうち, 最も低温または到達深度が浅いのは牟岐ユニットであり, 次に赤松ユニットと長

尾川層が同程度となる。ビトリナイトの結果とあわせると, それらの最大到達温度は200°Cを越えず, 10kmの深度にまでは達していない(MORI & TAGUCHI, 1988)。気田川層や神門層はさらに高温・高圧の造構環境を経験し, 最も高温または地下深部にまで到達したのは槇峰層であろう。C.P.領域での変形が卓越する槇峰層の最大到達温度は, 緑色岩の変成度(TORIUMI & TERUYA, 1988)や石英粒子の塑性変形の条件(KOCH *et al.*, 1989)などからみて, 250~300°C前後であり, 地下15~20km程度にまで達していると推定できる。

メランジュの変形過程

各メランジュが経験した造構環境と変形過程の相違は, 各メランジュに特徴的な“顔”を持たせる結果となった。変成度から見積もられるメラン

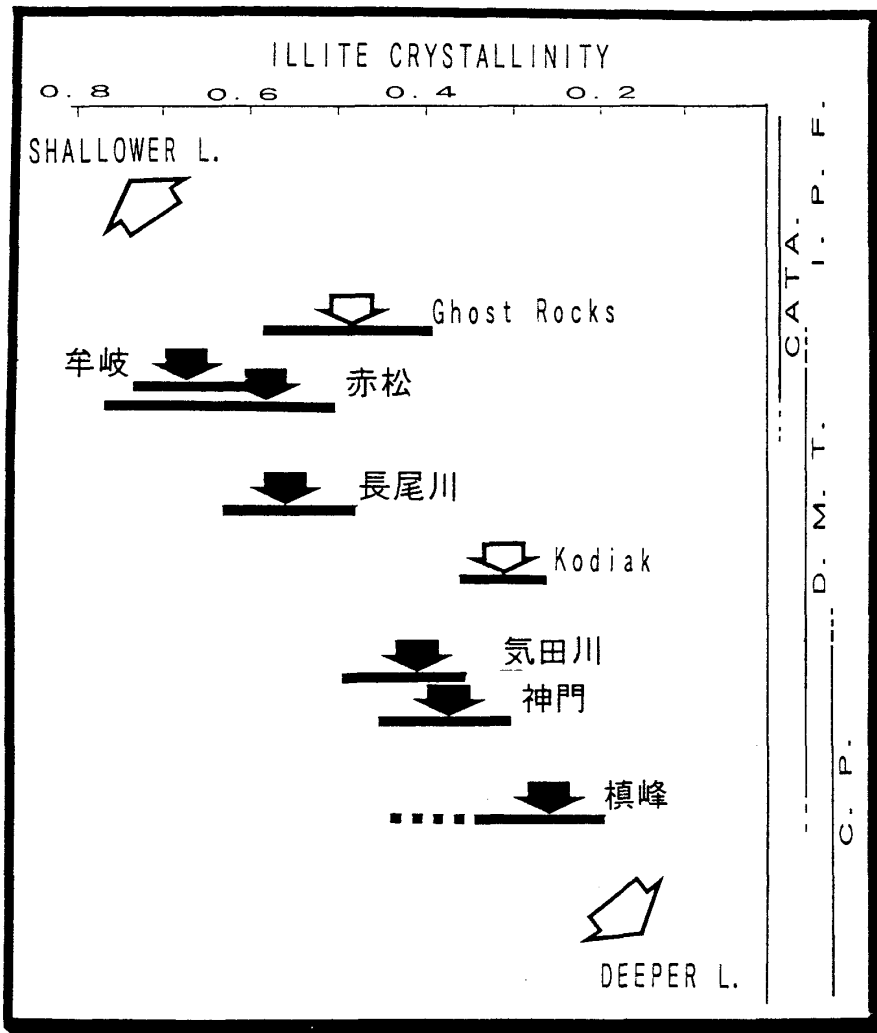


図10 メランジュ（一部整然層を含む）中の泥質岩のイライト結晶度と変形メカニズムとの関係。図横軸は Kubler Index によるイライト結晶度。縦軸は変形メカニズム (I.P.F.: independent particulate flow, CATA.: cataclastic flow D.M.T.: diffusive mass transfer, C.P.: crystal plasticity)。太い実線はイライト結晶度の最大値と最小値の取る範囲、矢印の位置はイライト結晶度の平均値、ただし気田川層、長尾川層については平均値とその標準偏差を示す。槇峰層については五ヶ瀬川地域のデータを実線で示した。実線の縦軸に対する位置は、変形メカニズムから見たメランジュが経験した最も高温・高圧の変形領域。

ジュの最大到達深度は10km以浅から15km以深まで幅がある。露頭規模での泥インジェクション組織は初期変形の特徴として各メランジュに認められるが、BARBER *et al.* (1986), PICKERING *et al.* (1988), ORANGE (1990)などが指摘した大規模なdiapiric melangeとしての特徴は不明瞭である。さらに非対称変形組織を含めた内部組織の特徴、走向方向への連続性の良さ、周囲の地層とほぼ平行なトレンドをもつ数kmに及ぶ幅広いメランジュ帯の存在などから、本論であつかったメ

ランジュは、既に指摘されているように、すべてテクトニックな変形を受けたメランジュであると考えられる(MACKENZIE *et al.*, 1987; NEEDHAM & MACKENZIE, 1988; 木村・向井, 1989; KANO *et al.*, 1991)。ただし、メランジュ中にolistostrome堆積体が挟まれ、その滑動時の変形が初期変形として保存されている可能性は現状では完全には否定できない。

以上に述べた造構環境の見積もりと重複変形を伴う変形組織をまとめることによって、低温部か

ら高温部、または地下浅部から深部にかけての碎屑岩が卓越するメランジュの変形過程を編むことができる。以下ではこの変形過程を地下浅部から深部にかけてのものとして議論を進める。

浅部変形

このステージの変形は調査地域の各地のメランジュで保存されているが、最も顕著に見られるのは四国西部の牟岐および赤松ユニット、およびコディアック島北東海岸部のゴーストロック層である。四万十帯では、赤石山地寸又川上流域の白根層群 (KANO & MATSUHISIMA, 1988)、紀伊半島東部の水呑峠層 (田辺, 1991MS) など、この段階の変形を保存している可能性が大きい。この段階の変形は FISHER & BYRNE (1987) の STAGE I の変形にあたる。

この段階の変形は主として I.P.F. により生じ、未～半固結堆積物の流動・膨縮構造、およびそれが発展した種々のスケールの様々な形態をもつ砂岩ブロックの形成で特徴づけられる。これによって砂岩層の破壊が進行し、初期的な block-in-matrix fabric が形成されてくる。この変形に伴って癒着した面をもつ小断層が形成されることがある。膨縮構造、ブロック化、小断層の特徴などからみて、この時期の変形は地層に直交する圧縮による展張的な変形が主体であったと思われる。ただし、Riedel 剪断面的な地層を低角に切る正断層も存在し (NEEDHAM, 1987; 木村・向井, 1989)、非対称的な尾を引く砂岩ブロックも認められるので、地層に平行な剪断変形による層理の破壊も block-in-matrix fabric の形成に介在している。この段階では基質と岩塊の境界にはすべり面は発達せず、両者は融合している。泥質部には鱗片状劈開は発達しないか、認められるとしてもその間隔は広く、顕著とはいえない。

砂岩の固結が進むにつれて砂岩内部には CATA. により碎屑粒子が細粒化して web structure が形成される。この変形はコディアック付加体で顕著に認められる。四万十帯でも web structure は各所で認められるが、特に際立った特徴とはいえない。また砂岩ブロックの pinch 部においては層理面と直交または大きく斜交した破断が生じるとと

もに、未固結の泥が注入され、ブーディン化が進行し、block-in-matrix fabric の形成が促進される。また変形時には高間隙水圧下であった可能性が大きく、砂岩層や石灰質団塊は水圧破碎による不規則なジグソーパズルの破壊を起こし、破断面にそって泥が注入されている。赤松ユニットの web structure には砂岩に注入した泥インジェクションを使って形成されているものがある。しかしながら牟岐ユニットやゴーストロック層では、web structure に先行する泥インジェクションは確認されていない。四万十帯およびコディアック付加体では、この種の泥インジェクションは余り注目されていなかった。同様な組織は最近各地の同種のメランジュからも報告されつつあり (BELL, 1987; FERGUSSON *et al.*, 1990; など)、メランジュの初期変形では重要な要素と考えられる。この泥インジェクションを伴う水圧破碎とともに、方解石脈が web structure の形成と相前後して注入されている。

中深度の変形

この段階の変形が顕著に見られるのは、犬居層群気田川層である。また、長尾川層のメランジュはこの段階の比較的浅部、神門層は比較的深部のものであろう。関東山地の小仏層群小伏層のメランジュ (酒井, 1987; 狩野ほか, 1991)、およびコディアック島南西部 Jap-Bay 地域のゴーストロック層 (BYRNE, 1984; FISHER & BYRNE, 1987) もこの段階の浅部の変形を受けている可能性が大きい。AGAR (1990) が記載した四国西部の興津メランジュもこの段階の変形を受けているものと思われる。この段階の変形は FISHER & BYRNE (1987) では STAGE II から III の変形にあたる。

堆積物がより深部に運び込まれるにしたがって、メランジュ内の変形は、浅部での変形に特徴的な I.P.F. や CATA. による変形から D.M.T. による変形に転換していく。そして後期には C.P. による変形があらわれる。この段階でも砂岩ブロック中には泥インジェクションによってブロックの分断化が生じているが、その規模と頻度は浅部での変形に比較すると顕著ではない。そしてメラン

ジュ内には block-in-matrix fabric の形成を促進する層平行剪断による展張的な変形が目立つようになる。

この段階における最も顕著な特徴は、泥質部に光沢を有しスリッケンラインをもつ鱗片状劈開が数mm以下の間隔で発達してくることである。劈開の発達に伴って砂岩の非対称ブロックの形成を含む脆性・延性剪断帯の断層岩に類似した形態をもつ組織が形成されてくる (KANO *et al.*, 1991; 狩野ほか, 1991)。この段階の鱗片状劈開の大部分は pressure solution seam である。鏡下では石英粒子などに pressure shadow が、不透明鉱物の周囲には pressure fringe が発達してくる。その一部は剪断センスの判定が可能な程度に非対称的に発達する。また、方解石脈に変わって、石英脈が頻繁に注入されてくるのがこの段階のもう一つの特徴である。石英脈は膨縮構造をもつ砂岩ブロックの pinch 部に、ブロックの長辺と直交する方向に注入されるとともに、鱗片状劈開面にそったり、剪断変形におけるT方向に入ったりする。複雑に枝分かれするものもある。鱗片状劈開とは切った切られたの関係にあり、劈開の形成と前後して何度も石英脈が注入されている。石英脈の一部には繊維状の石英集合体から構成されるクラックシール様の構造が認められ、鱗片状劈開面に注入した石英は、非対称組織から推定される剪断方向と調和的に成長している。

比較的砂岩層の層理が保存されている部分においては、層平行圧縮の要素をもつ露頭規模のデュプレックス構造が形成されることがある。展張的な組織が主体をなす block-in-matrix fabric の発達する部分にも同様のデュプレックス構造が存在する可能性があるが、その乱雑な岩相のために十分に解析できない。露頭においてデュプレックスが認められることは、さらに露頭スケール以上の規模のデュプレックス構造が形成されている可能性があることを示唆する。また同じく層平行圧縮の要素をもつ不規則な形態と方位をもつ褶曲が block-in-matrix fabric を有するメランジュ中に形成されてくる。

深部変形

この段階の変形は槇峰層に発達している。神門層や気田川層の一部においてもその初期段階のものが認められる。四万十帯やコディアック付加体ではこれより深部での変形は確認されていない。HAMMOND (1987) が記載したオーストラリア北東部の古生代中期の地層中のメランジュはこの段階に達したものと思われる。

この段階の変形では、前段階に引き続いてさらに全体的に鱗片状劈開が発達してくるとともに、大部分の粒子には D.M.T. を特徴づける pressure shadow や pressure fringe が発達する。この段階の比較的前期のものには I.P.F. や CATA. による初期変形の一部が保存されているが、変形の進行に伴いこれらの大部分が消されて不明瞭になっていく。そして鏡下で認識できる程度に成長した白雲母や緑泥石の微結晶が、劈開面と平行に配列するのが認められるようになる。石英粒子には波動消光や動的再結晶作用を伴う C.P. による変形が卓越するようになる。それに対して長石粒子はまだ脆性的な変形を続けている。泥質基質の多い部分での見かけは千枚岩状から片岩状を呈するようになる。一部には劈開面を切って縮緬皺劈開が発達する (NEEDHAM & MACKENZIE, 1988)。この段階でも全体的な組織は断層岩に類似し、扁平な砂岩ブロックは非対称的な形態をもつものが多くなる。劈開面に沿うすべりに伴って、既に注入されていた石英脈は分断・破片化されて泥質基質中に散在するようになる。以上から、この段階においても前段階に引き続いて地層に平行な剪断運動による非同軸的な変形が進行している。

プレートの沈み込みに伴うメランジュ帯の形成過程

以上の露頭および鏡下での変形様式と変形過程の観察、イライト結晶度をふまえた続成～変成度の検討をもとに、これらメランジュをプレート沈み込みに伴ってデコルマ面周辺で生じた累進的変形作用の産物として扱い、SAMPLE & MOORE (1987) の図に、各メランジュの最終到達深度を

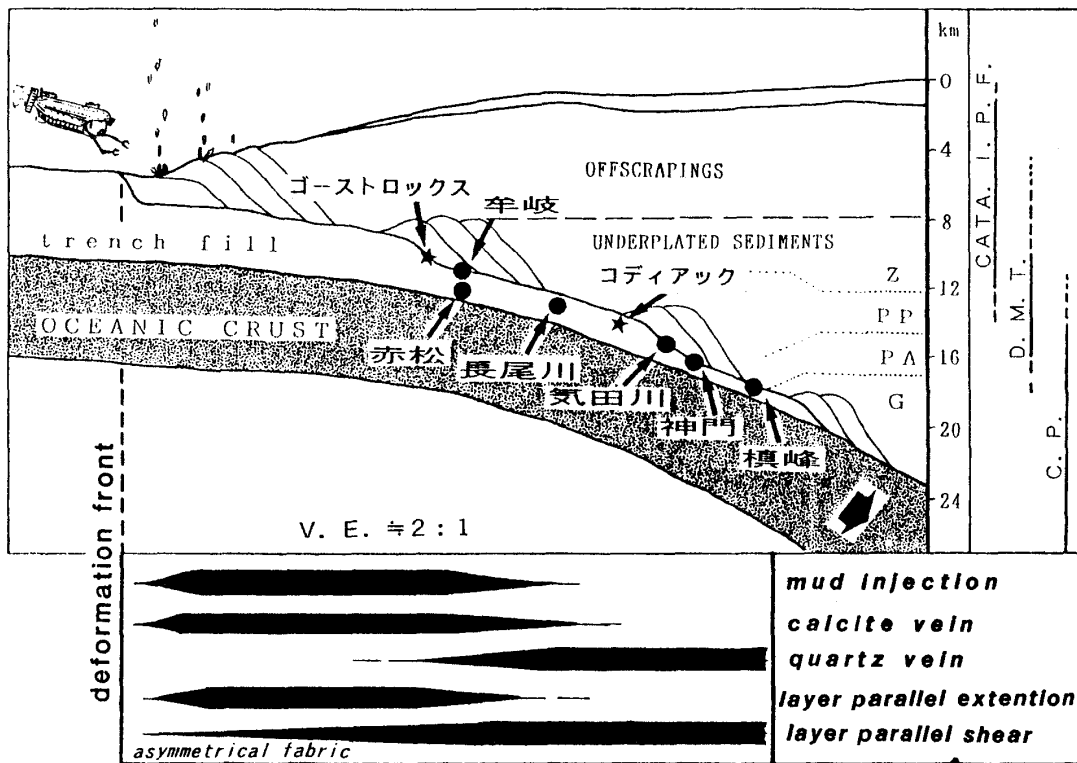


図11 イライト結晶度と変形様式からみたデコルマに沿う各地層の推定最大到達深度を示す模式図 (Sample & Moore (1987)の図に加筆). 右欄は変形メカニズム (図10 参照), 下欄は特徴的な変形の相対的頻度または強度. 左上に潜む謎の潜水艇はスケールとは無関係.

加筆したのが図11である。図の下側には表1にもとづき露頭で見られる各種の変形の相対的な発達頻度または強度を模式的に示した。この図をもとにして地下浅部から深部に達し、最終的に underthrust sequence が付加体下部に底付けされるまでの変形過程のモデルをのべる。このモデルはプレート沈み込み速度が影響する歪速度や、プレート沈み込み角度の効果などが考慮されていない単純なモデルである。またこのモデルでは、前述したオリストストロームに伴う変形、底付けされた後に地下深部で受けた変形、および上昇過程で生じる後生的な変形などについては考慮されていない。特に、底付け後の温度・圧力条件がほとんど変化しない状態での褶曲に伴うスレート劈開の形成 (SAMPLE & MOORE, 1987) や、全くテクトニックセッティングの異なる状態での後生的なスレート劈開の形成 (狩野ほか, 1986) などと、デコルマ面にそった累進的変形作用とを完全に区別

できないのが現状である。

沈み込み初期段階のデコルマ面は海溝充填堆積物中に形成される。バルバドスや南海トラフの例で示されるように、その時のデコルマ面の厚さは数10m程度である (MOORE *et al.*, 1988; 平ほか, 1990)。このデコルマ面より上位の堆積物は変形しながら剥ぎ取られ付加されていく。この時デコルマの周辺にある堆積物は層平行な剪断を受け、I.P.F.による変形を生じ非対称組織が形成される。層平行剪断に伴う変形の程度はデコルマからの距離に影響を受け、デコルマ面から離れたより下位の underthrust sequence は沈み込みの最初期には余り変形しない (FISHER & BYRNE, 1987)。沈み込みに伴って急激に荷重が増加することによって、underthrust sequence 中には層垂直圧縮による小断層や砂岩層の膨縮構造などを伴う未固結堆積物の展張的な変形が始まり、初期の段階の block-in-matrix fabric が形成されてく

る (FISHER & BYRNE, 1987; BEHRMANN *et al.*, 1988). それに加えて, 変形の過程で未固結堆積物の粒子間隙や剪断面に沿った脱水により生じた異常間隙水圧 (Moore, 1989; など) に起因する水圧破碎による破断面に, メランジュの基質を構成する未固結の泥が注入されることによって block-in-matrix fabric の形成が促進される. この泥インジェクションに加えて, 地下数 km 程度までの比較的浅部においては方解石脈が注入される. 実際バルバドス付加体においては, 浅部で方解石脈が形成されているのが確認されている (BROWN & BEHRMANN, 1990).

さらに沈み込みが進むと, D.M.T. による変形から C.P. による変形が卓越してくる. この過程でも引き続いて block-in-matrix fabric や非対称変形組織が形成される. この時期もデコルマ帯は流体の通路として機能するが, 水圧破碎によって注入される物質は未固結の泥や方解石脈が変わり, 石英脈が卓越するようになる. 石英脈は block-in-matrix fabric の形成と密接に係わりあいながら何度も注入され, 破壊・変形されている.

地下 10 km 前後からそれ以深まで運び込まれた牟岐ユニットや気田川層, 槇峰層は, 剪断変形を受けた部分の見かけの厚さが数 100 m~数 km に達し, その内部は大規模な断層破碎帯としても認識できる. このことは浅部から地下深部に向かって, デコルマに伴う剪断変形帯が徐々に下位に影響をおよぼしながら次第に厚くなっていく (MOORE & BYRNE, 1987), あるいは duplexing によってメランジュ内での stacking が進行してくるからであろう. 沈み込みが進行し, ramp thrust を使ってデコルマ面が下方に移動していく過程で, 地層は陸側に傾動しつつ, 地質図規模のデュープレックスを形成しながら底付けされていく (SAMPLE & FISHER, 1986; SAMPLE & MOORE, 1987; NEEDHAM & MACKENZIE, 1987; 木村・向井, 1989). 九州南部の内ノ八重デュープレックス (村田, 1991) は, このスケールのデュープレックスの好例であろう. この段階で underthrust unit 中には層平行圧縮が作用する時期があり, 層平行な展張組織である block-in-matrix

fabric が卓越するメランジュ中に, 犬居層群にみられるような露頭スケールのデュープレックスが形成されたり, 不規則な褶曲が形成されたりする. この過程で ramp thrust が下位層準をどれだけスムーズに剥ぎ取るかによって, メランジュの厚さと剪断変形の程度が異なってくる.

比較的浅部で底付けされているが鱗片状劈開が発達する牟岐ユニットと, それよりはやや深くまで達していると思われるが鱗片状劈開がほとんど発達しない赤松ユニットの変形の相違は, この剥ぎ取り過程の相違が原因である可能性が考えられる. 赤松ユニットでは, デコルマ面は比較的スムーズに下位のチャート・緑色岩層準にまで達したのであろう. 気田川層の北東方延長には, 鱗片状劈開が発達せず I.P.F. による初期変形が保存されている部分が数 10m~数 100m の幅で挟まれる (KANO *et al.* (1991) ではこの部分を non-foliated melange として記載). この部分は剪断変形を余り受けなかったために, 初期の変形構造がそのまま保存されたものと思われる. 一方, 気田川層の大部分を構成する鱗片状劈開が発達するメランジュは, デコルマでの剪断変形を強く受け続けた部分と考えられる. また一挙に厚く剥ぎ取られた場合は, 整然層を保存したまま底付け付加が行なわれる. メランジュと伴って分布する長尾川層や, コディアック層中の整然層はそのような過程を経たものと考えられる (FISHER & BYRNE, 1987; SAMPLE & MOORE, 1987).

堆積物が薄いかあるいはデコルマ面の下位層準への移行が速やかなほど, 比較的地下浅部で海底地殻上部の緑色岩を剥ぎ取ることとなる. この例として赤松ユニットがあげられる (木村・向井, 1989). 一方, 槇峰層はより地下深部で緑色岩層準にデコルマ面が到達したものと思われる. また, 緑色岩が小規模に散在する気田川層や牟岐ユニットでは, デコルマ面のごく一部しか緑色岩層準に達しなかったものと思われる.

以上のように underthrust unit の変形によって形成されるメランジュの規模や形態は, 温度・圧力条件が示唆するその埋没深度と, デコルマ面を通過し底付けされていく過程に反映されている.

文 献

- AGAR, S.M. (1990), The interaction of fluid processes and progressive deformation during shallow level accretion: examples from the Shimanto Belt of SW Japan. *Jour. Geophys. Res.*, **95**, B6, 9133-9147.
- 相原安津夫 (1989), 有機統成～変成情報による付加体の考察. 月刊地球, **11**, 683-688.
- BARBER, A. J. S., TJOKPLOSAPAETRO, S. and CHARLTON, T. R. (1986), Mud volcanoes, shale diapirs, wrench faults and melanges in accretionary complexes, eastern Indonesia. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **70**, 1792-1741.
- BEHRMANN, J. H., BROWN, K., MOORE, J. C., MASCLE, A., TAYLOR, E., ALVAREZ, F., ANDREIEFF, P., BARNES, R., BECK, C., BLANC, G., BROWN, K., CLARK, M., DOLAN, J., FISHER, A., GIESKES, J., HOUNSLOW, M., MCCLELLAN, P., MORAN, K., OGAWA, Y., SAKAI, T., SCHOONMAKER, J., VROLIJK, P., WILKENS, R. and WILLIAMS, C. (1988), Evolution of structures and fabrics in the Barbados Accretionary Prism. Insights from Leg 110 of the Ocean Drilling Program. *Jour. Struct. Geol.*, **10**, 577-591.
- BELL, C. M. (1987), The origin of the Chanaral melange of N Chile. *Jour. Geol. Soc. Lond.*, **144**, 599-610.
- BROWN, K. M. and BEHRMANN, J. H. (1990), Genesis and evolution of small-scale structures in the toe of the Barbados Ridge Accretionary Wedge. *Proc. ODP, Sci. Results*, **110**, 229-244.
- BYRNE, T. (1984), Early deformation in melange terrains of the Ghost Rocks Formation, Kodiak Island, Alaska. In RAYMOND, L. A. (ed.): *Melanges: their nature, origin and significance*, *Geol. Soc. Am. Mem., Spec. Pub.*, **198**, 21-51.
- BYRNE, T. (1986), Eocene underplating along the Kodiak Shelf: implications and regional correlations. *Tectonics*, **5**, 403-421.
- COWAN, D. S. (1982), Deformation of partly dewatered and consolidated Franciscan sediments near Piedras Point, California. In LEGGET, J. K. (ed.): *Trench-forearc geology*, *Geol. Soc. Lond. Spec. Pub.*, **10**, 439-457.
- (1985), Structural styles in Mesozoic and Cenozoic melanges in the western Cordillera of North America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **96**, 451-462.
- FERGUSON, C. L., HENDERSON, R. A. and LEITCH, E. C. (1990), Subduction complex melange of the Wandilla terrane, Paleozoic New England Orogen, Central Queensland, Australia. *Jour. Struct. Geol.*, **12**, 591-599.
- FISHER, D. and BYRNE, T. (1987), Structural evolution of underthrust sediments, Kodiak Islands, Alaska. *Tectonics*, **6**, 775-793.
- HAMMOND, R. L. (1987), The influence of deformation partitioning on dissolution and solution transfer in low-grade tectonic melange. *Jour. Metamorphic Geol.*, **5**, 195-211.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男・神戸信和 (1982), 諸塚山地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地調, 71p.
- KANO, K. and MATSUSHIMA, N. (1988), The Shimanto Belt in the Akaishi Mountains, eastern part of Southwest Japan. *Modern Geol.*, **12**, 97-126.
- 狩野謙一・村松 武・廣田 豊 (1986), 四万十累層群の変形様式—赤石山地南部の上部白亜系に見られる例—. 静大地球科学研報, **12**, 89-114.
- KANO, K., NAKAJI, M. and TAKEUCHI, S. (1991), Asymmetrical melange fabrics as possible indicators of convergent direction of plates: a case study from the Shimanto Belt of the Akaishi Mountains, central Japan. *Tectonophysics*, **185**, 375-378.

- 狩野謙一・竹内真司・中路正弥 (1991), メランジュ中の非対称変形組織—四万十帯における例—. 静大地球科学研報, **17**, 63-85.
- ・———・田辺裕高 (投稿中), イライト結晶度による付加体堆積物の続成—弱成度の検討—四万十帯での例—. 地質雑.
- 君波和雄・宮下純夫・川端清司 (1990), 海嶺(クラ—太平洋)—海溝—海溝三重点の白亜紀末—古第三紀初期日本列島縁に沿う移動. 日本地質学会第97年学術大会講演要旨, 156.
- 木村 学・向井淳彦 (1989), 底づけされたユニットとしてのメランジ—四万十帯の例—. 月刊地球, **11**, 697-709.
- KNIFE, R. J. (1986), Deformation mechanism path diagrams for sediments undergoing lithification. In MOORE, J. C. (ed.): *Structural fabrics in Deep Sea Drilling Project cores from forearcs*, *Geol. Soc. Amer., Mem.*, **166**, 151-160.
- KOCH, P. S., CHRISTIE, J. M., ORD, A. and GEORGE, Jr., R. P. (1989), Effect of water on the rheology of experimental deformed quartzites. *Jour. Geophys. Res.*, **94**, 13975-13996.
- MACKENZIE, J. S. (1989), Geochemical study of the greenstone of the Cretaceous and Paleogene Shimanto accretionary complex in eastern Kyushu: Implications for origin and mode of emplacement. *J. Min. Petr. Econ. Geol.*, **84**, 278-292.
- , NEEDHAM, D. T. and AGAR, S. M. (1987), Progressive deformation in an accretionary complex: an example from the Shimanto belt of eastern Kyushu, southwest Japan. *Geology*, **15**, 353-356.
- MOORE, J. C. (1989), Tectonics and hydrogeology of accretionary prisms: role of the decollement zone. *Jour. Struct. Geol.*, **11**: 95-106.
- and BYRNE, T. (1987), Thickening of fault zones: a mechanism of melange formation in accreting sediments. *Geology*, **15**, 1040-1043.
- , BYRNE, T., PLUMLEY, P. W., REID, M., GIBBONS, H. and COE, R. S. (1983), Paleogene evolution of the Kodiak Island, Alaska: Consequences of ridge-trench interaction in a more southerly latitude. *Tectonics*, **2**, 265-293.
- , MASCLE, A., TAYLOR, E., ANDREIEFF, P., ALVAREZ, F., BARNES, R., BECK, C., BEHRMAN, J., BLANC, G., BROWN, K., CLARK, M., DOLAN, J., FISHER, A., GIESKES, J., HOUNSLOW, M., MCCLELLAN, P., MORAM K., OGAWA, Y., SAKAI, T., SCHOONMAKER, J., VROLIJK, P., WILKENS, R. and WILLIAMS, C. (1988), Tectonics and hydrogeology of the northern Barbados Ridge, result from Leg 110 ODP. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **100**, 1578-1593.
- MORI, K. and TAGUCHI, K. (1988), Examination of the low-grade metamorphism in the Shimanto Belt by vitrinite reflectance. *Modern Geol.*, **12**, 325-339.
- 村田明広 (1991), 九州四万十帯, 内ノ八重層の作るデュプレックス構造と内ノ八重クリッペ. 地質雑, **97**, 39-52.
- 村松 武 (1986), 赤石山地南部の四万十帯(北帯)から発見された白亜系上部~古第三系最下部? 放散虫化石. 地質雑, **92**, 311-313.
- (1990), 赤石山地南部の上部白亜系四万十累層群の岩相・古流向解析. 飯田市美術博物館研究紀要, **1**, 1-28.
- NEEDHAM, D. T. (1987), Asymmetric extensional structures and their implication for the generation of melanges. *Geol. Mag.*, **124**, 311-318.
- and MACKENZIE, J. S. (1988), Structural evolution of the Shimanto Belt accretionary complex in the area of the Gokase River, Kyushu, SW Japan. *Jour. Geol. Soc. Lond.* **145**, 85-94.
- 奥村公男・寺岡易司 (1988), 鶴御岬地域の地質. 地域

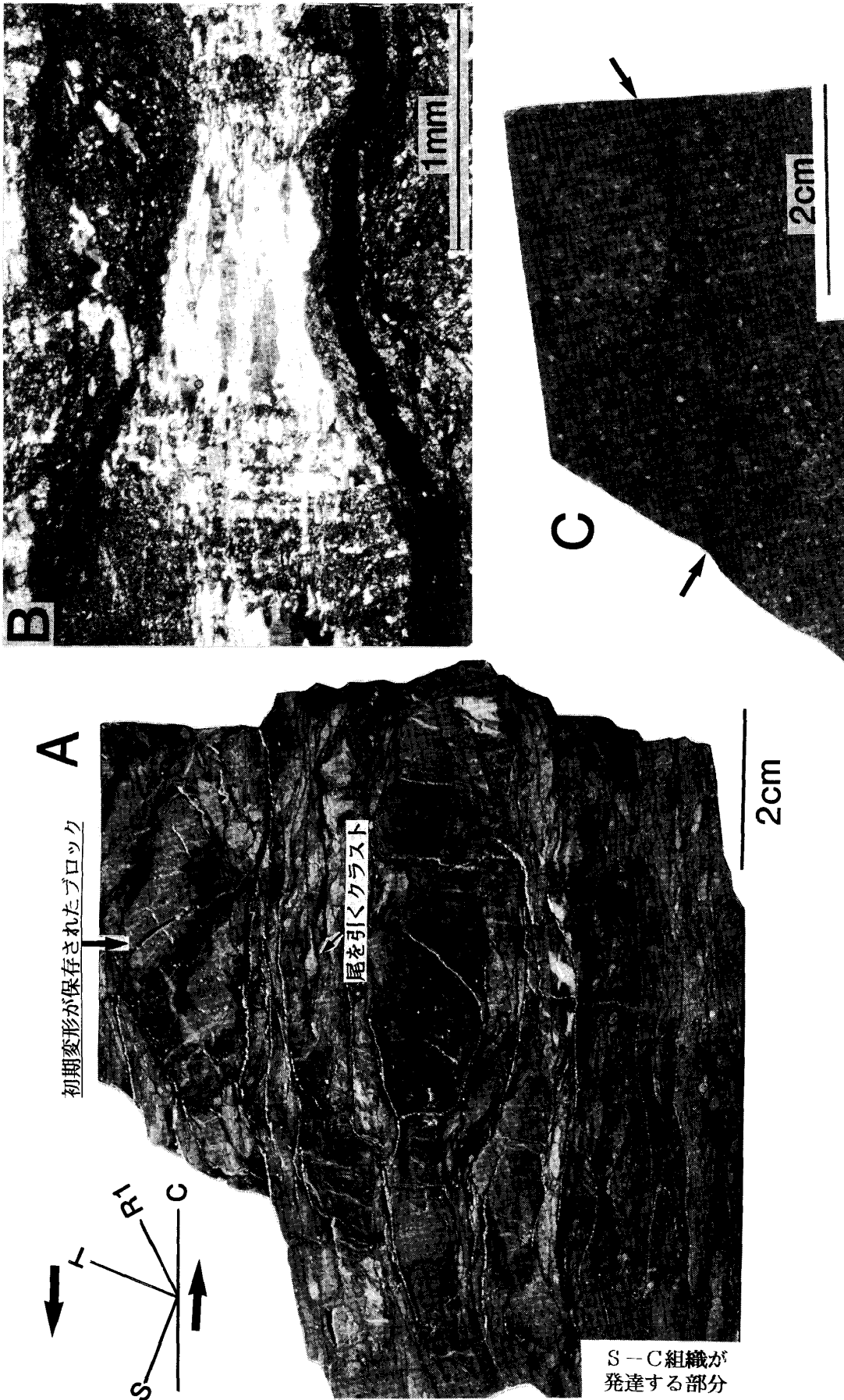
- 地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地調, 36p.
 ————・————・杉山雄一(1985), 蒲江地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地調, 58p.
- ORANGE, D. L. (1990), Criteria helpful in recognizing shear-zone and diapiric melanges: examples from the Hoh accretionary complex, Olympic Peninsula, Washington. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **102**, 935-951.
- PICKERING, K. T., AGAR, S. M. and OGAWA, Y. (1988), Genesis and deformation of mud injections containing chaotic basalt-limestone-chert associations: Examples from the southwest Japan forearc. *Geology*, **16**, 881-885.
- RAMSAY, J. G. (1980), The crack seal mechanism of rock deformation. *Nature*, **284**, 135-139.
- 酒井 彰(1987), 五日市地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地調, 75p.
- 坂井 卓(1979), 宮崎県五ヶ瀬川中流域の四万十川層群の地質構造と層序. 九大理研報(地質学), **13**, 23-38.
- ・勘米良亀齡(1981), 宮崎県北部の四万十帯の層序ならびに緑色岩の層序構造的な位置. 九大理研報(地質学), **14**, 31-48.
- SAMPLE, J. and FISHER, D. (1986), Duplex accretion and underplating in an ancient accretionary complex, Kodiak Islands, Alaska. *Geology*, **14**, 160-163.
- and MOORE, J. C. (1987), Structural style and kinematics of an underplated slate belt, Kodiak and adjacent islands, Alaska. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **99**, 7-20.
- SILVER, E. A. and BEUTNER, E. C. (1980), Melanges. *Geology*, **8**, 32-34.
- 須鎗和巳・山崎哲司(1987), 徳島県四万十帯北帯と南帯の境界—安芸構造線の再検討—. 徳島大学教養部紀要(自然科学), **XX**, 37-46.
- 平 朝彦・Ian Hill・乗船研究者一同(1990), ODP Leg. 131 南海付加プリズムの掘削成果. 日本地質学会第97年学術大会講演要旨, 259.
- 田辺裕高(1991MS), 紀伊半島東部に分布する四万十帯白亜系. 静大理学部卒論, 43p.
- 寺岡易司・奥村公男・村田明広・星住英夫(1990), 佐伯地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地調, 78p.
- TORIUMI, M. and TERUYA, J. (1988), Tectono-metamorphism of the Shimanto Belt. *Modern Geol.*, **12**, 303-324.
- 上田誠也(1986), 海溝—弧—背弧系についての“事実”・アイデアおよび未解決問題. 月刊地球, **8**, 439-447.
- 柳井修一(1983), 四万十地向斜の古地理—四国東部地域を例として. 地質雑, **89**, 575-593.

図版 I ~ X

図版 I 犬居層群気田川層のメランジュの変形組織

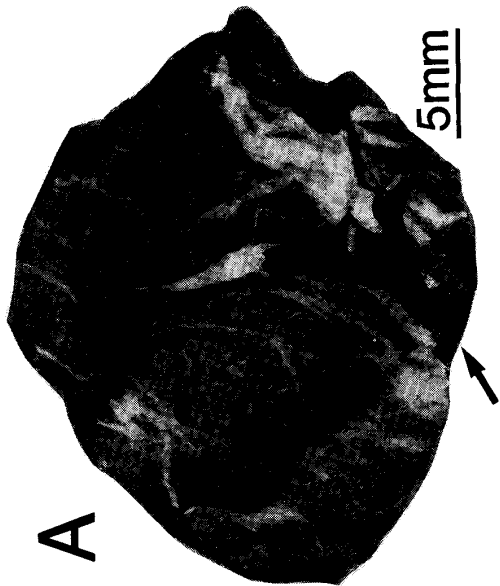
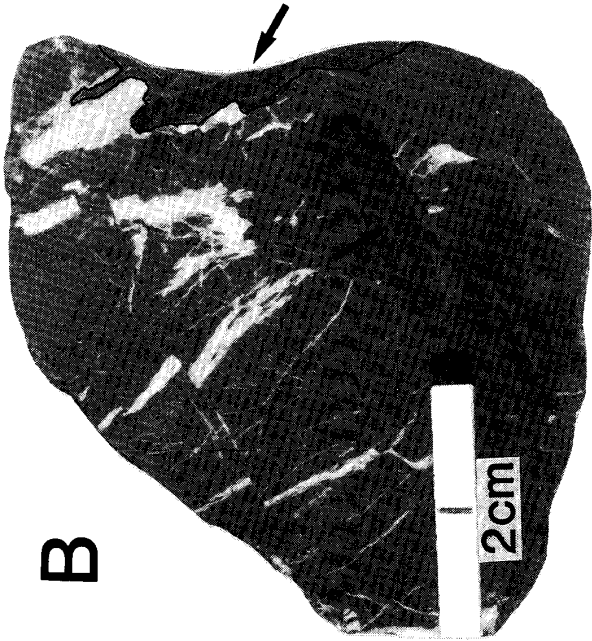
- A: 重複変形を示すブロック, 鱗片状劈開, 石英脈などの様々な組織が共存するメランジュの研磨面 (線構造に平行, 鱗片状劈開面に直交する面). 全体としてフォリエーションを持つ断層岩の組織と類似する.
- B: 膨縮構造を示す石英脈の顕微鏡写真 (クロスニコル). 劈開面に平行な方向に伸張した石英粒子に注意.
- C: 砂岩ブロック中の web structure (矢印).

図版 I



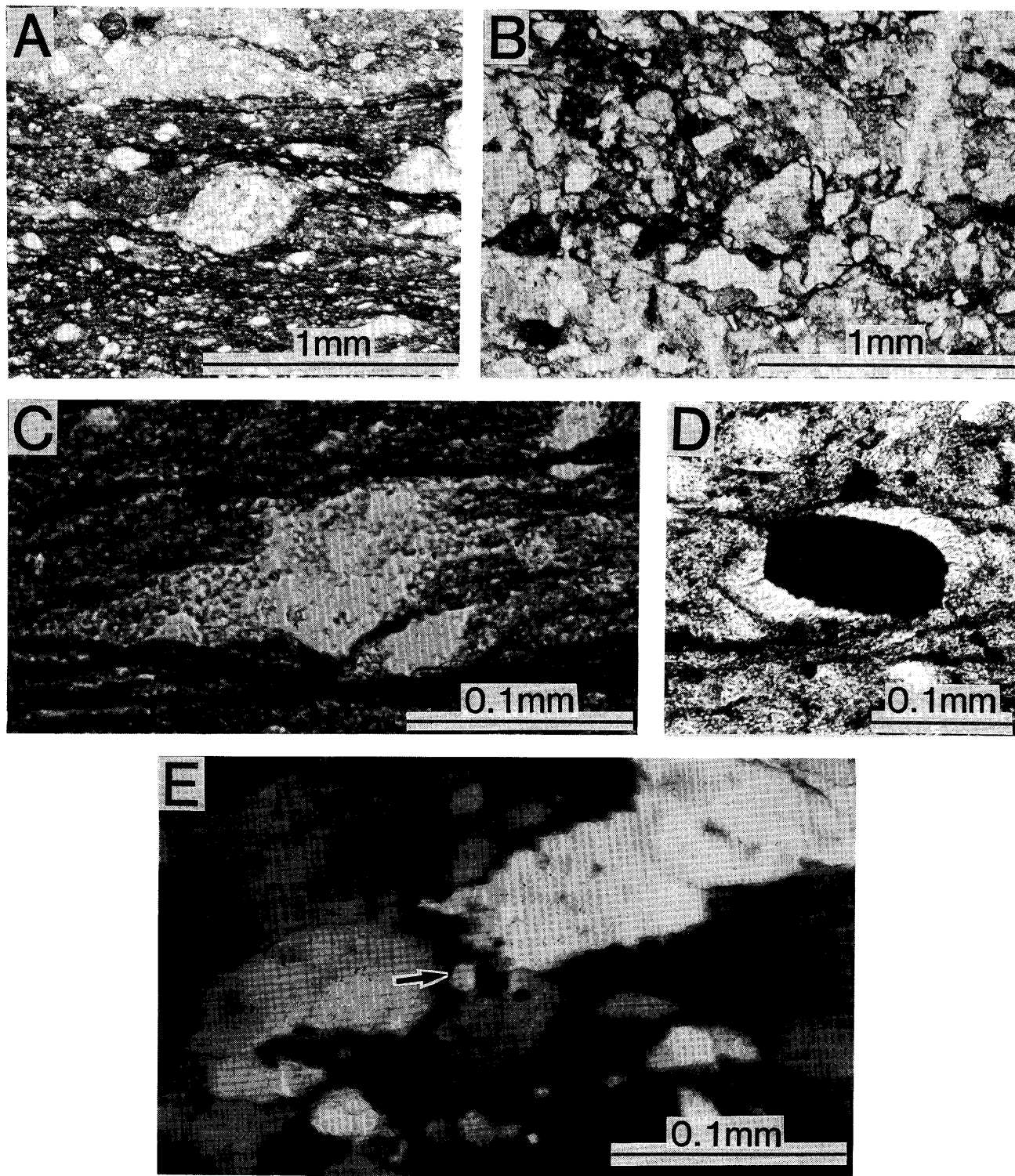
図版Ⅱ 犬居層群のメラングジュの変形組織

- A：気田川層のメラングジュの砂岩ブロック中に見られる泥インジェクション（矢印）と方解石脈。
- B：長尾川のメラングジュの砂岩ブロックに見られる方解石脈を切る泥インジェクション（矢印）。
- C：気田川層中の逆断層センスを示すデュープレックス構造。
- D：長尾川層のメラングジュ中の逆断層センスを示すデュープレックス構造。



図版Ⅲ 気田川層のメランジュの変形を示す顕微鏡写真

- A: I.P.F.による変形で形成された右ずれセンスを示す非対称砂岩クラスト（オープンニコル）。
- B: 砂岩中の web structure（オープンニコル）、粒子の破壊と pressure solution を示す黒色薄層に注目
- C: 石英粒子の pressure shadow 部に形成された雲母鉱物による右ずれを示す非対称組織と pressure solution による黒色薄層（オープンニコル）（線構造に平行、鱗片状劈開面に直交する面）。
- D: 黄鉄鉱粒子の周囲に形成された右ずれセンスを示す pressure fringe（オープンニコル）（線構造に平行、鱗片状劈開面に直交する面）。
- E: 石英脈を構成する石英粒子の粒界付近に形成された波動消光と再結晶石英粒子（矢印）（クロスニコル）。

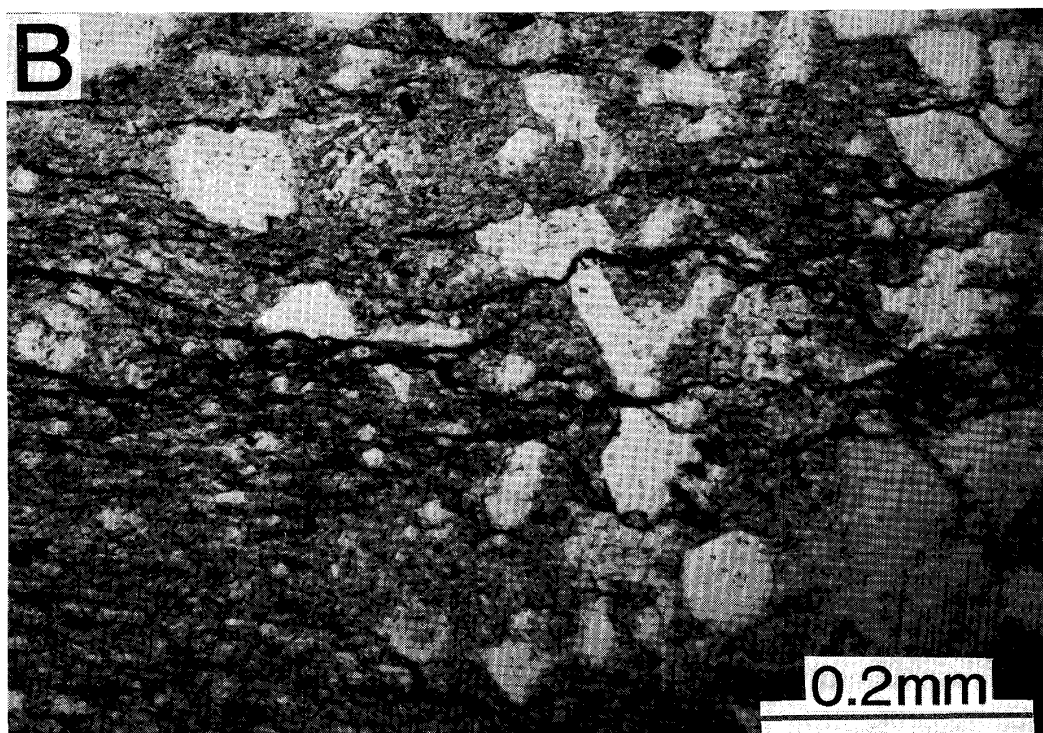
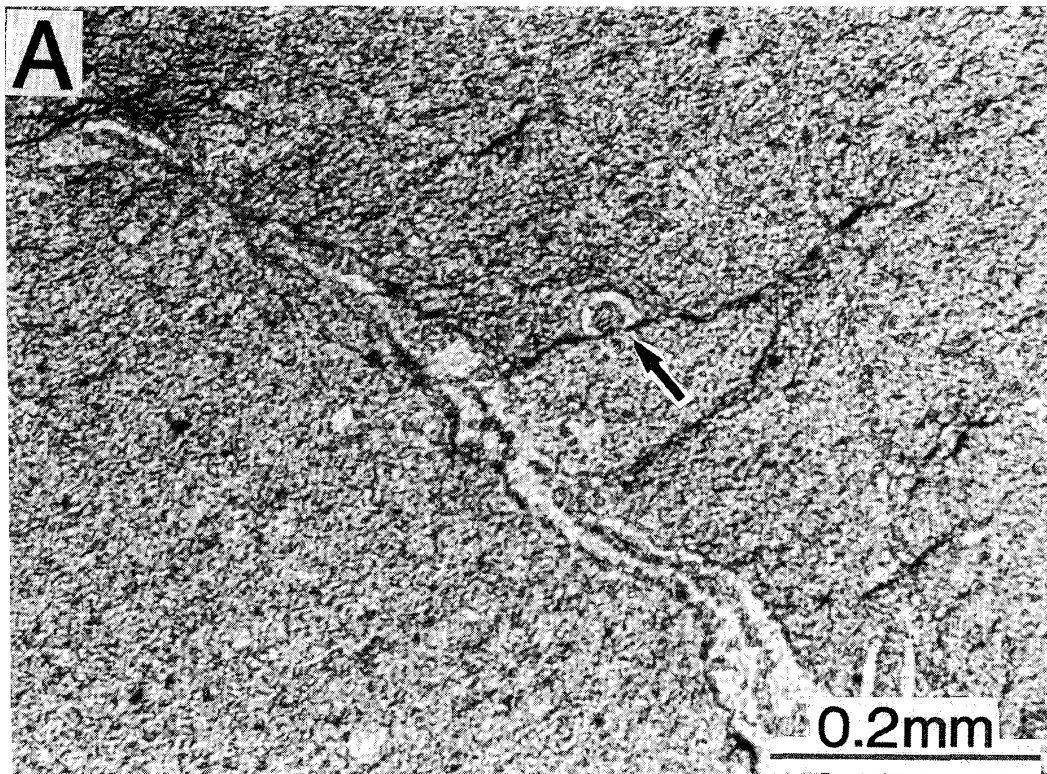


図版IV 長尾川層の整然層の変形を示す顕微鏡写真

A : pressure solution によって一部溶解した泥岩中の放散虫化石 (矢印) (オープンニコル) . 左上から右下にかけての白色帯は石英脈

B : 泥岩中に見られる pressure solution cleavage (オープンニコル) (線構造に平行, 鱗片状劈開面に直交する面)

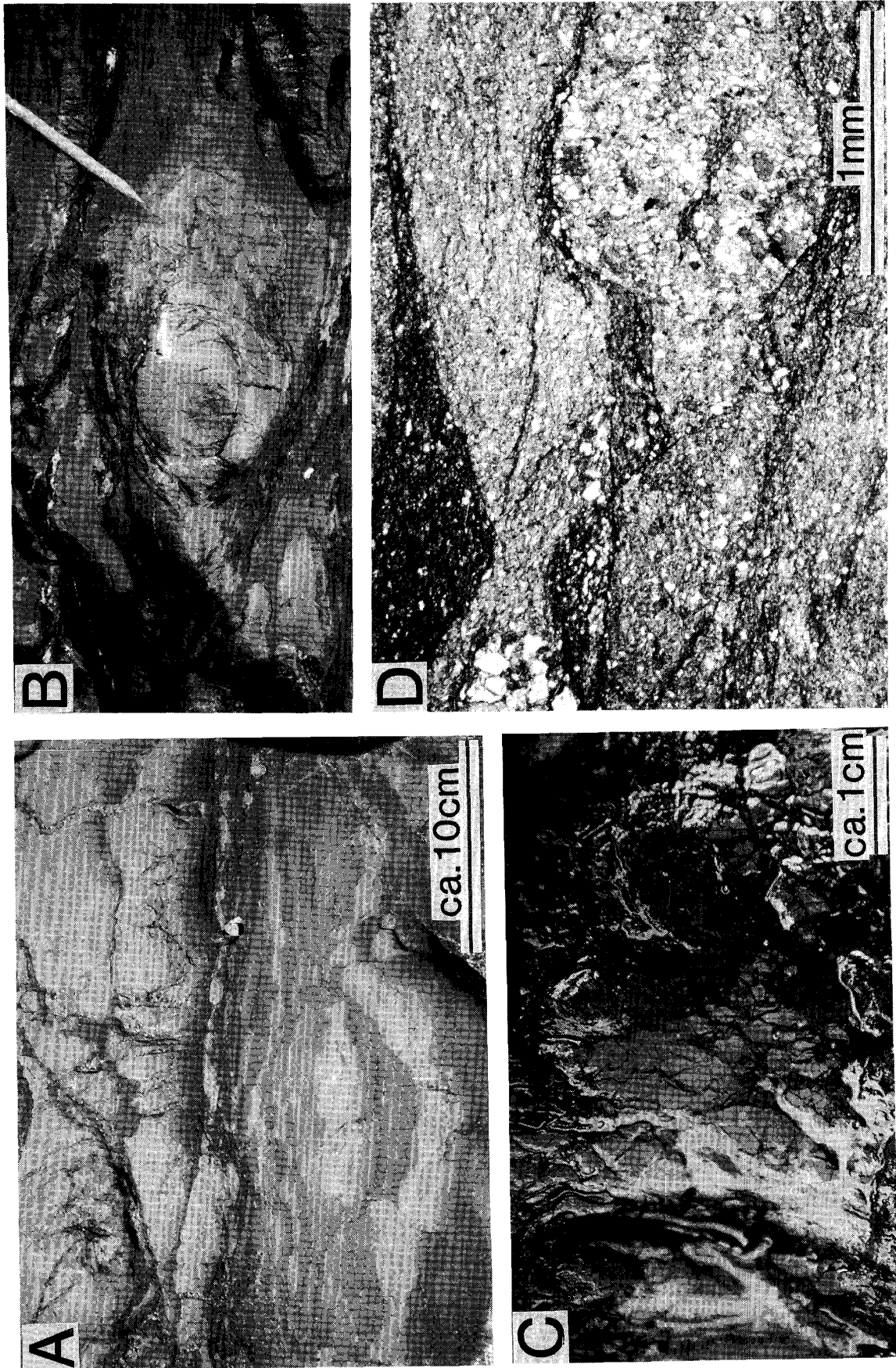
図版IV



図版V 赤松ユニットのメラングジュの変形組織

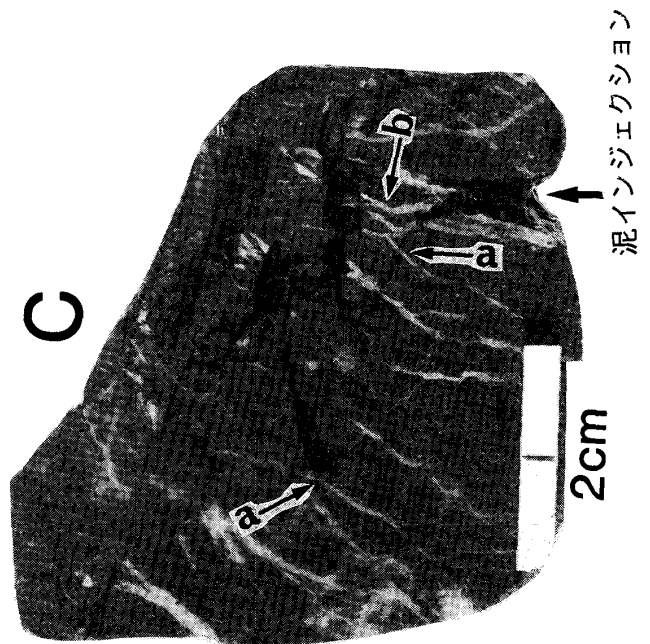
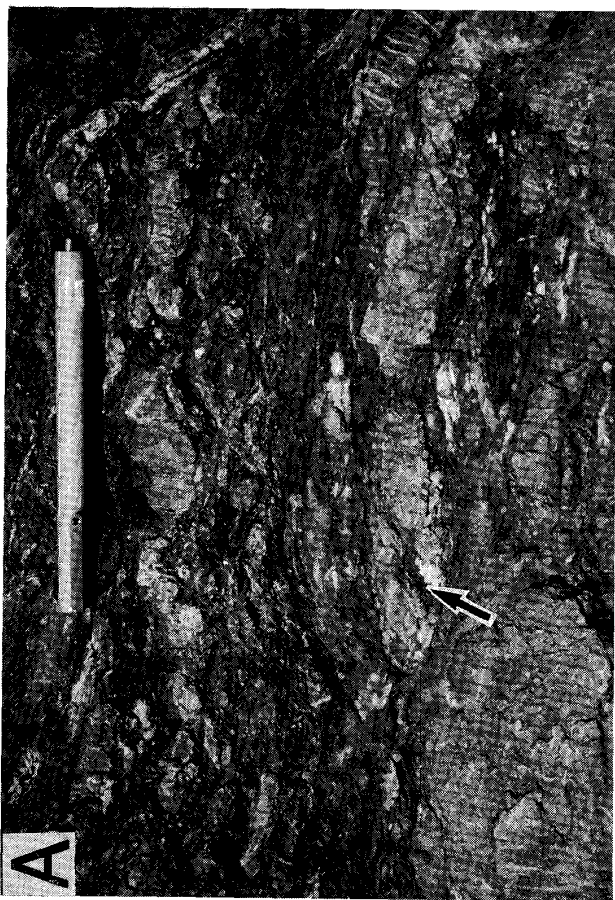
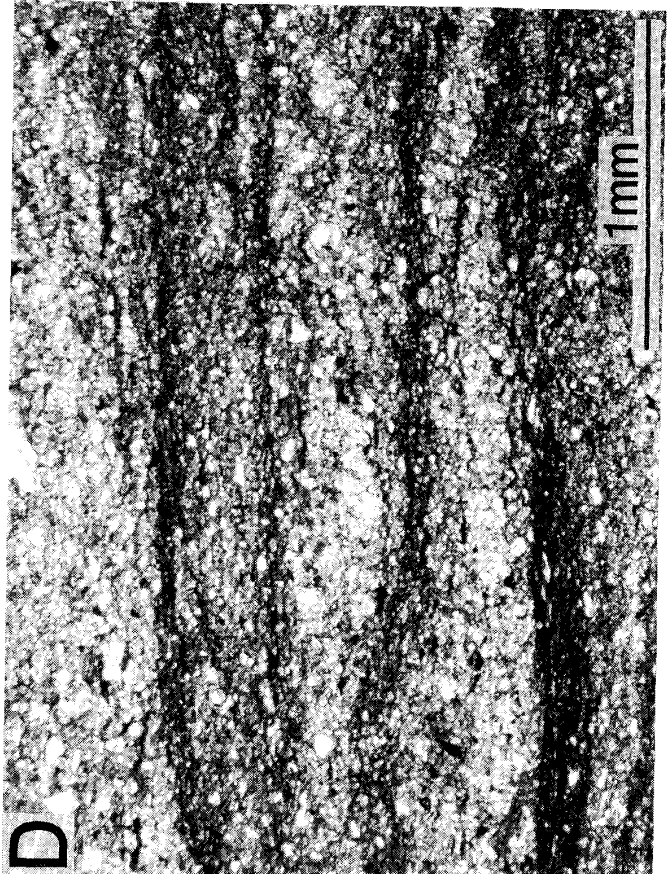
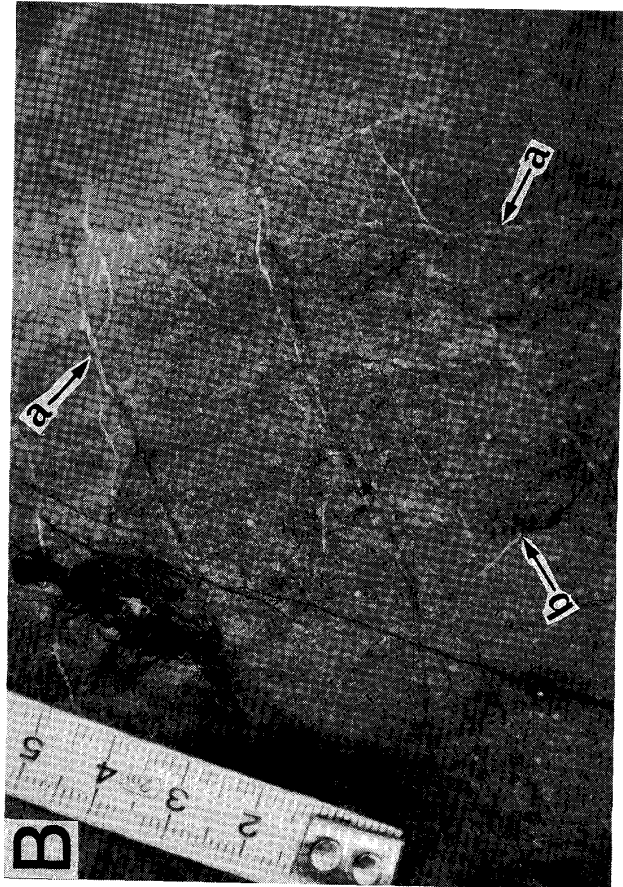
- A: 砂岩泥岩互層起源のメラングジュ内の膨縮構造, 小断層などを伴う未固結時変形構造.
写真上部の砂岩中には泥インジェクションも見られる.
- B: 泥インジェクションによって破壊された砂岩ブロック
- C: 泥インジェクションによってジグソーパズル状に破壊された石灰質団塊.
- D: メラングジュの泥質基質中に見られる膨縮変形と小断層の顕微鏡写真(オープンニコル).

図版V



図版VI 牟岐ユニットのメラングジュの変形組織

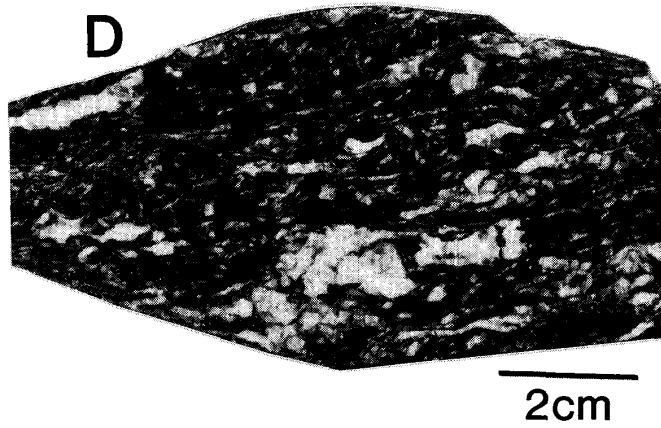
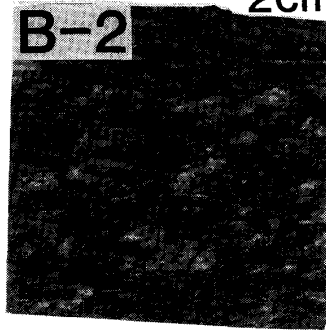
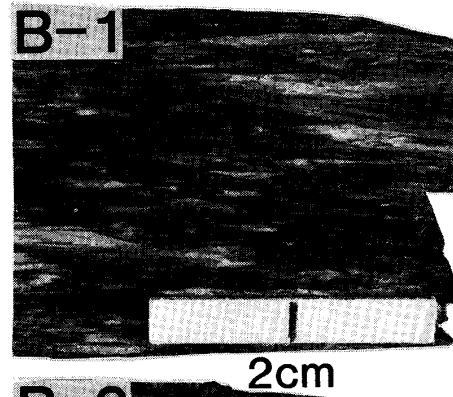
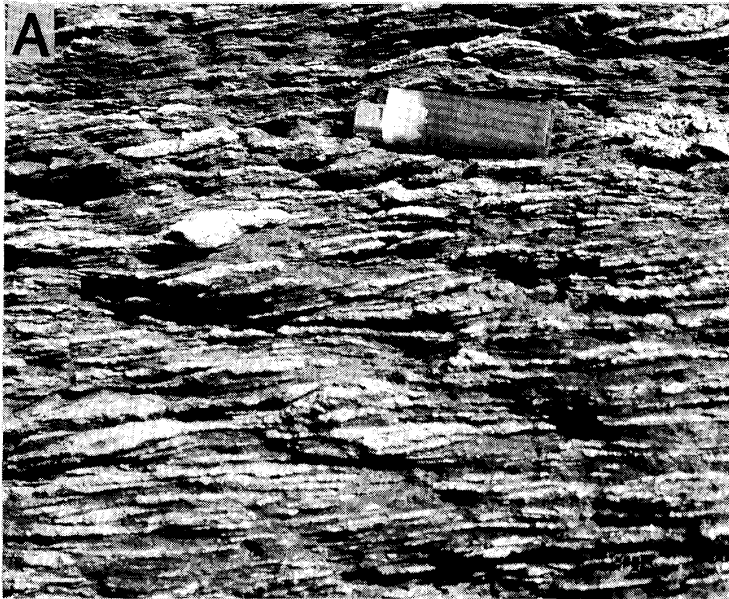
- A : メランジュ中の block-in-matrix fabric. 矢印は砂岩ブロックに注入する泥インジェクション
- B : 砂岩ブロック中に発達した web structure と方解石細脈. web structure を切る脈 (矢印 a) と切られる脈 (矢印 b) の両者が存在
- C : 砂岩ブロック中に見られる泥インジェクション. 泥インジェクションを切る脈 (矢印 a) と切られる脈 (矢印 b) の両者が存在
- D : メランジュの泥質基質の細粒部に発達する劈開 (オープンニコル).



図版Ⅶ 槇峰・神門層のメラングジュの変形組織

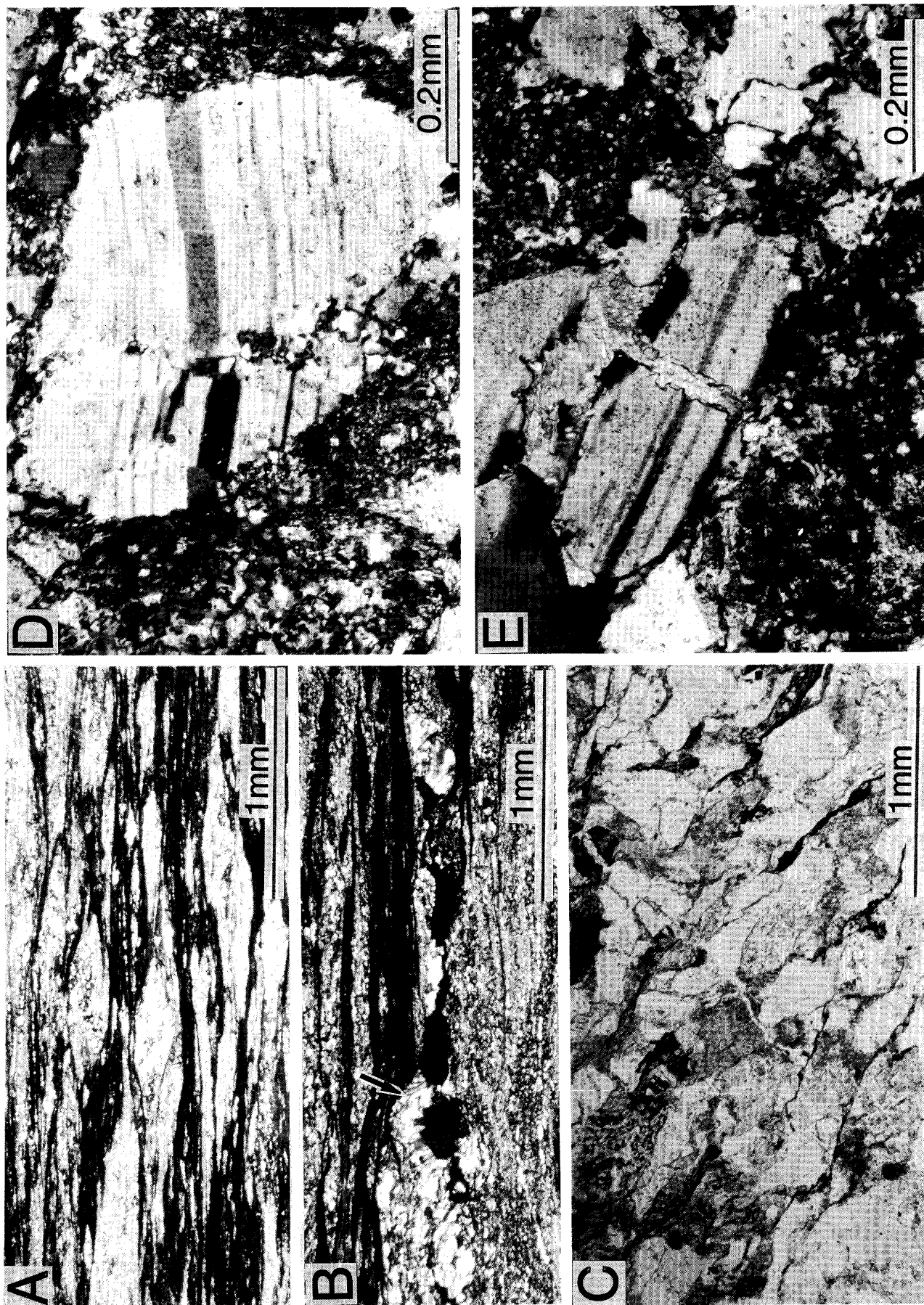
- A : 槇峰層のメラングジュ。泥質基質には劈開が発達し、右ずれセンスを示す非対称形の砂岩ブロックが見られる。
- B : 槇峰層のメラングジュ中の prolate type の形態を示す砂岩ブロック。B-1 = 線構造に平行、劈開面に直交する面、B-2 = 線構造に直交する面（スケールは B-1 と同じ）
- C : 神門層の顕著に発達した鱗片状劈開と分断された石英脈
- D : 神門層の分断された石英脈（線構造に平行、劈開面に直交する面）。
- E : 神門層の鱗片状劈開が発達した泥質部に見られる小引きずり褶曲（矢印）

図版VII

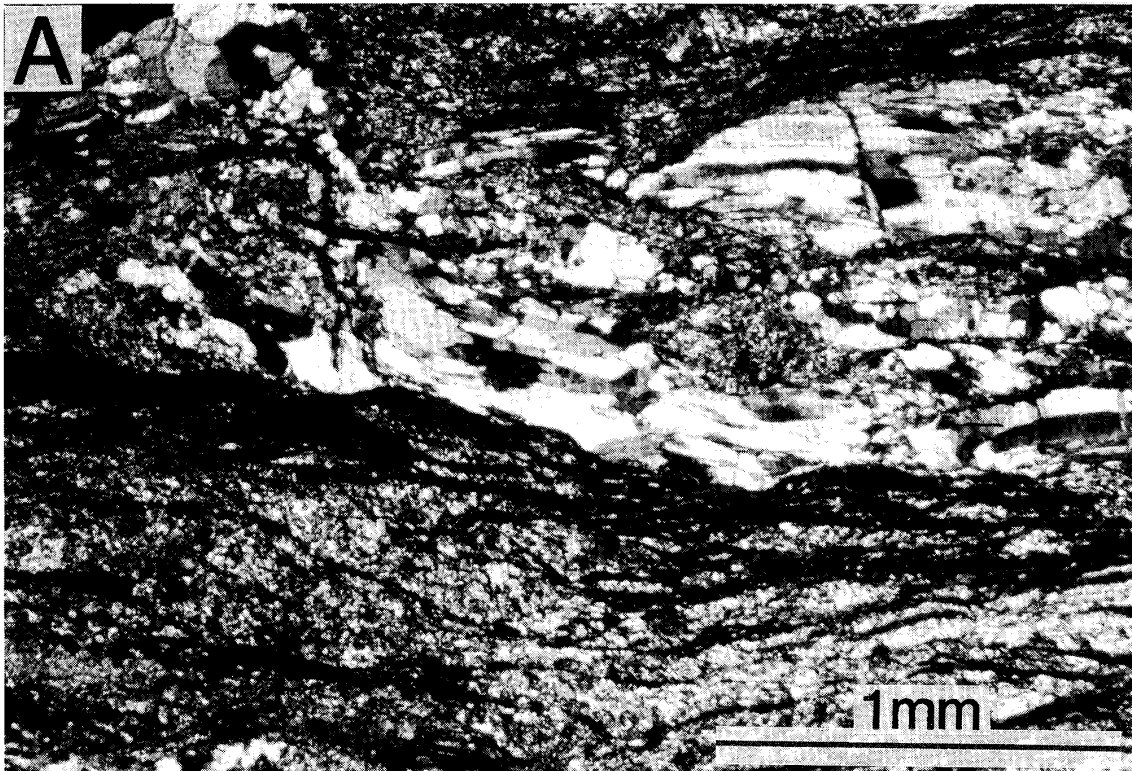


- 図版Ⅷ 槇峰層のメラングジュの顕微鏡写真（いずれも線構造に平行，劈開面に直交する面）
- A：鱗片状劈開と再結晶を伴う放散虫化石の変形（クロスニコル）。
 - B：不透明鉱物に伴う湾曲した pressure fringe（矢印）（クロスニコル）。
 - C：砂岩中に発達した pressure solution cleavage（オープンニコル）。
 - D：脆性破壊を起こした長石粒子の割れ目に形成された再結晶石英（クロスニコル）。
 - E：砂岩中の長石粒子のプルアパート組織（クロスニコル）。割れ目は方解石が充填。

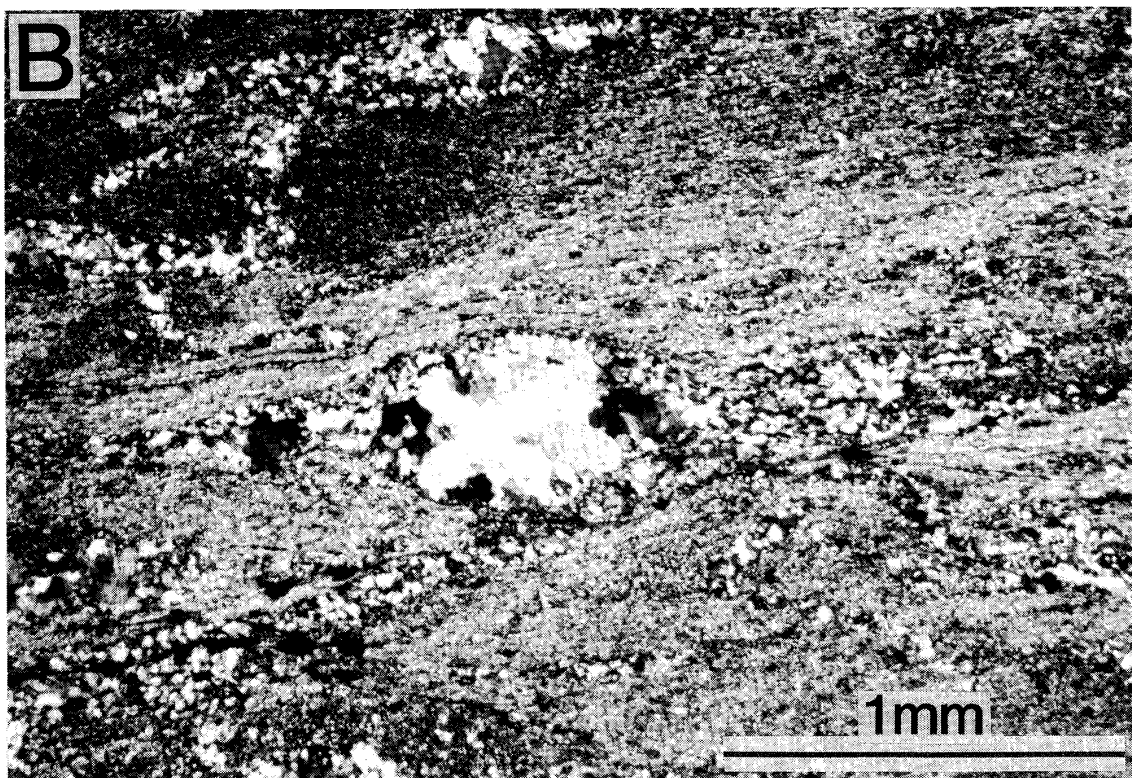
図版Ⅷ



- 図版IX 神門層のメランジュの顕微鏡写真（いずれも線構造に平行，劈開面に直交する面）
- A：劈開方向に平行に注入した石英脈（クロスニ科尔）。石英粒子は劈開に平行に伸張。
- B：泥質基質中の成長した雲母鉱物の定向配列と再結晶石英粒子をもつ石英脈（クロスニ科尔）。

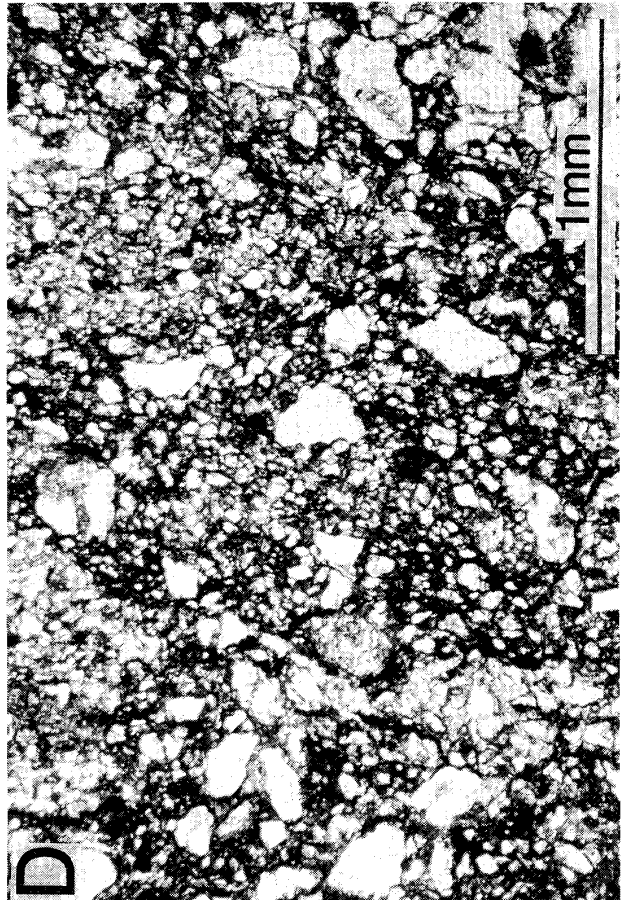


図版IX



図版X コディアック付加体のメランジュの組織

- A : コディアック層中の砂岩に注入したジグソーパズル状泥インジェクション組織.
- B : ゴーストロック層中の小褶曲と後生的な脆性破壊.
- C : ゴーストロック層中の未固結時に形成された膨縮構造 (オープンニコル).
- D : ゴーストロック層中の web structure が密集し, 砂岩粒子の細粒化が進行した例 (オープンニコル).



図版 X