

メランジュ問題と付加造構作用：レビュー

Melange Problem and Accretion Tectonics: a review

坂井 卓*
Takashi Sakai

I. はじめに

造山帯には、しばしば異地性岩塊を包含し、乱雑な層理を示す泥質岩層—メランジュやオリストストローム—が広く認められている。近年のプレート・テクトニクスに基づいた造山論のなかで、造山帯中の混在岩層の研究の焦点の一つはプレート境界問題にあった (例えば, Hamilton, 1969; Dewey & Bird, 1970; Ernst, 1970; Dickinson, 1971; Hsu, 1971; Sholl & Marlow, 1974 など)。これは、前弧での堆積・造構過程の研究へと引き継がれ、その構造地質学的意義について膨大な議論が展開されてきた。メランジュが造山帯を構成する重要な構成員であり、沈み込み過程と密接に関連して形成されたことは環太平洋型の造山帯 (Hsu, 1968, 1971, 1974) や衝突縫合地帯 (Gansser, 1974) などでの研究によって定着した。その後、過去の沈み込み帯を指示する証拠 (Maxwell, 1974) として広く受け入れられるようになった。

近年、この地質体に関わる諸問題 (以下、メランジュ問題と呼ぶ) は 1978 年の Penrose Conference (Silver & Beutner, 1980) 以降、重要な地質学の課題として多くの議論がなされてきた (例えば、1981 年のアメリカ地質学会年会でのシンポジウム: Raymond, 1984; 1981 年の Penrose Conference: Moore et al., 1981; 本邦での 1983 年度地質学会シンポジウムなど)。また、メランジュと付加造構過程との密接な関わりが多く、造山帯で指摘されるどころとなり、幾つか論文集に整理されてきた (例えば、De Jong & Scholten 編: Gravity and Tectonics; McCall, 1983 編: Ophiolitic and Related Melanges; Hsu, 1983 編: Mountain Building Processes; Raymond, 1984 編: Melanges: Their Nature, Origin, and Significance; Coward & Ries 編: Collision Tectonics; Taira & Ogawa 編: Modern Geology, v. 12 など)。

ところが、メランジュ問題に関する陸上での混在岩層の定義や認定基準をめぐる議論は今日に到るまでまだ明確な結論に達していないように思われる。その理由は、この堆積・変形体が様々な成因と形成過程をもつことにある。ところで、最近の現世海溝付近で行われた高い解像力の音響探査や掘削調査、ならびにそれらの成果を基にした付加体の構造・混在岩層の形成場についての考察 (例えば、Moore et al., 1982; Cowan, 1982) は、混迷する陸上のメランジュ問題の、特に混在岩層の成因やテクトニックな意義を考察する上で、齊一論の立場からクリティカルで有力な手掛かりを与えるものだろう。

本邦の中生界ならびに新生界の付加造山帯中に出現する混在岩層は、とりわけ、付加造構作用との関連性が問題となる。従って、本論文では、(1)最近のメランジュに関する定義や認定基準の歴史的な変遷過程、そして(2)前弧地域での混在岩層の形成環境についての問題点に焦点を絞り議論する。

II. メランジュの定義と分類

これまでの多くの場合、メランジュ問題の焦点はその定義や用法に置かれ、乱雑な堆積変形体の層序・構造的な位置づけと、他の岩層構造単位との区分する基準について議論が行われてきた。これらの議論ならびに定義上の問題については、Hsu(1968, 1974, 1983), Berkland et al. (1972), Raymond(1975, 1984), McCall (1983)などによく整理されている。

1. メランジュの用法と区分

メランジュは最初、Greenly(1919)によりウェールズ Anglesey 島の Mona complex の先カンブリア系 Gwana Group 中の構造的混在岩層に対して、autoclastic melange という用語で使われた。その後、メランジュは、代表的な環太平洋型造山帯のフランススカン・メランジュ (Hsu, 1968, 1971, 1974), ならびにウラルやテチスの縫合地帯に特徴的に出現するオフィオリティック・メランジュ (Gansser, 1974; Dmitrijevic & Dmitrijevic, 1973) での詳しい研究からプレート境界を指示する地質体であることが明らかにされた。

Hsu (1968)はメランジュの構造的意義を強調し、以下のように定義した：

“Melange are defined as mappable bodies of deformed rocks characterized by the inclusion of native and exotic blocks, which may range up to several miles long, in a pervasively sheared and commonly pelitic matrix.”

ここでは外来岩塊は基本的に別個の岩相層序単位に由来すると見なされ、メランジュは幾つかの岩相層序単位が構造的な破片化 (fragmentation) と混在化 (mixing) によって形成された構造的複合体 (tectonic complex) と捉えられた。その後、様々な造山帯のメランジュの認定はこの定義に沿って行われる。しかしながら、構造的特徴の記述が曖昧であったために、むしろ多くの場合、異地性岩塊を含む混在岩層を単純にメランジュと呼称する伝承の用法として使用されることになった。メランジュの造山帯への目ざましい浸透には、この定義自体が漠然としながらも包括力をもつことに加え、背後にプレート・テクトニクスの要請があったことが理由に挙げられよう。このことは、類似の混在岩層との識別に不明確さを残すことになり、他方で、先行する概念との間で多くの誤用を生んできた。

普通、メランジュを構成する岩相層序単位の一つはタービダイトなどの陸源成砕屑岩層、他の一つはオフィオリティックな岩相層序単位が考察される。最近、Raymond (1984)は従来のメランジュならびにそれに関連する混在岩層の用法を時代と成因を加味して、Fig. 1に示す分類を行った。この分類には、上記の2つの岩相層序単位 (A,B) の間の、様々な破壊・混在化の度合 (α から δ) が連続体として図化され、その度合に応じて使用された名称 (C) がうまく整理されており、混在岩層の定義の変遷が理解し易い。

メランジュと類似するが、混在過程が堆積起源であるオリストストローム (例えば、Flores, 1955; Abbate et al., 1970) は、異地性岩塊を含むか否かで、endolistostrome と allolistostrome とに区分される (Elter & Raggi, 1965)。しかしながら、その形成の開始と最終的な配置に際しては、造構作用が関与し、テクトニック・メランジュへと変化することもある (Leonenov, 1978)。ここで、テクトニック・メランジュ (tectonic melange) とは、その起源が明らかに造構過程で形成されたものに使用された (Berkland et al., 1972)。実際、オフィオリティック・メランジュの多くは、堆積・造構の両方の作用をもつことが指摘され (Gansser, 1974; Jacobi, 1984), hybrid melange とも呼ばれる (Gansser, 1974)。オリストストロームが剪断され、構造的ファブリックを示す場合、剪断性オリストストローム (sheared olistostrome: Hsu, 1974; Gucwa, 1975), あるいは堆積性メラ

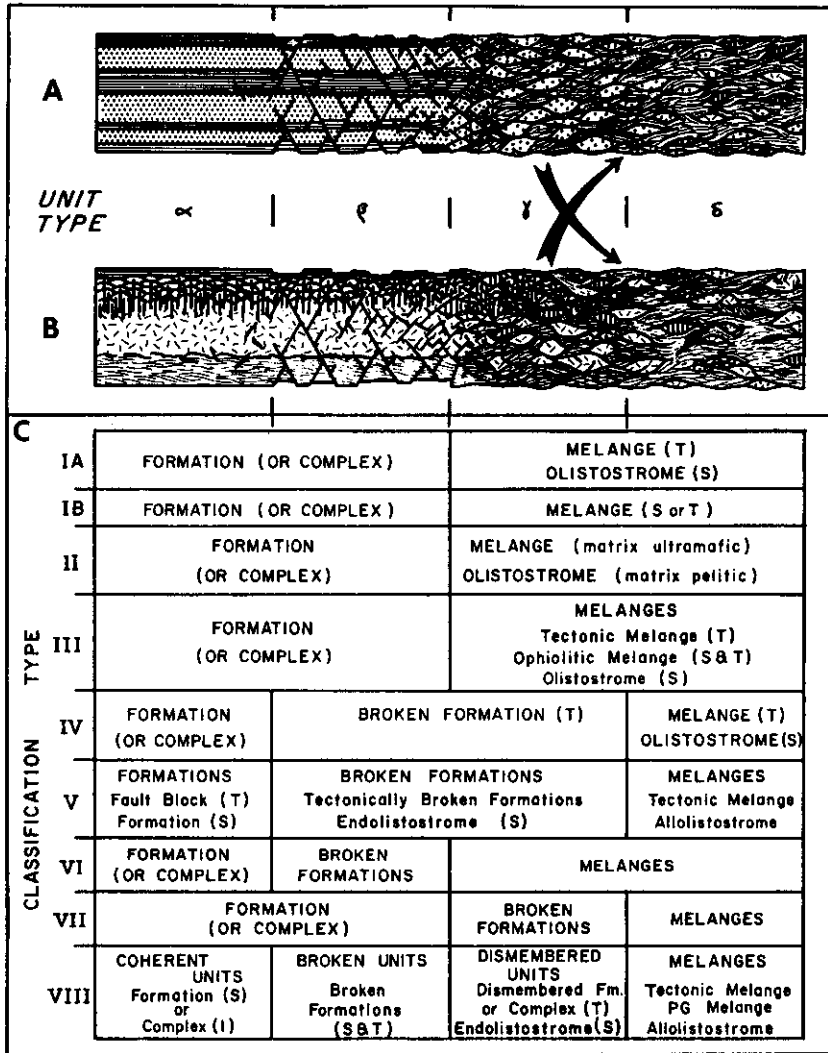


Fig. 1 Character and classification of melanges and related rock bodies. A: Schematic depicting progressive fragmentation and mixing (left to right) of interbedded sandstone / shale sequence. Continuum is divided into four types of unit- α, β, γ , and δ . B: Schematic diagram depicting ophiolite progressively fragmented and mixed (from left to right). Arrows show mixing of one protolithic rock type into fragmented unit derived from another protolith. C: Eight possible types of classification of the melanges and related rock bodies shown in A and B above. I = igneous, S = sedimentary, and T = tectonic genesis. PG = polygenetic. Adapted from Raymond (1984).

ンジュ (sedimentary melange: Hsu, 1974) と呼ばれる。または、混在化と剪断化とが別の成因であることより polygenetic melange (Raymond, 1984) と呼ばれることもある。これらはほとんど同義であるが、剪断作用が混在岩層の形成と同時にあるいは後期かで、その地質体の造構的意義は大きく違ってくることになる。

また、異地性岩塊を含まない構造的破断層(ブロークン・フォーメーション)について、Hsu(1968)は次のように定義している；

“(A mappable) body of broken strata that contains no exotic elements...is called a broken formation, because such a body, regardless of its broken state, function as a rock-stratigraphic unit.”

これは構造的に層理が喪失した岩相層序単位の dislocated flysch (McCall,1983)と同義であり、あるいは層理の破壊・泥質岩との混在化が一層進んだ場合、dismembered formation (Raymond, 1984) と呼ばれることがある。また、砂岩・泥岩の場合、sandstone-shale melange (Cowan,1985 b) と呼称されることもある。しかしながら、後述するように元来の層理の破壊に関与した造構作用については不明な点が多い。

なお、従来から混在岩層の一部にオフィオリティック・メランジュの進入 (Gansser, 1974) や泥火山 (Suppe, 1973) などが知られていたが、これらは新たにダイアピル起源のメランジュとして分類に加えられるようになった (Cloos, 1982, 1984; Raymond, 1984; Becher & Cloos, 1984; Lash, 1985; Barber et al., 1986; Pickering et al., 1988)。

2. 異地性岩塊

一方、メランジュの定義に関連して、異地性岩塊の種類や有無についても多くの議論がなされてきた。Hsu(1974) は現地性ならびに異地性岩塊について、次のように定義している：

“Native blocks...disrupted brittle layers, which were once interbedded with the ductilely deformed matrix.”

“Exotic blocks...tectonic inclusions detached from some rock-stratigraphic units foreign to the main body of the melange.”

フランスカン・メランジュ中の異地性岩塊の判断基準についても多くの議論がある。これには、化石、岩石学ならびに鉱物学的特徴、岩相、変成度や変成年代などのデータが用いられてきた (例えば、Hsu, 1973; Blake & Jones, 1974; Cowan, 1974; Beutner, 1975; Phipps, 1984; Raymond, 1984)。高圧・低温型の変成岩の存在は直接沈み込み帯を指示する最も重要な証拠としてその重要性が指摘された (例えば、Ernst, 1971)。このうち、青色片岩は隣接する地帯には出現しない高度な変成岩として重要な異地性岩塊とみなされた (Cowan, 1974)。また、Beutner(1975)は、異地性岩塊はそれを包有するコンプレックスとは異なる時代や変成場で形成されたものにのみ適応されるべきで、真の外来岩塊は厳密な意味で青色片岩だけと考えた。しかしながら、放射年代は緑れん片岩帯 (South Fork Mountain Schist: Lamphere et al., 1978) と同年代を示すことより、必ずしも異地性とは言えない。一方、オフィオリティックな構造的包有物(tectonic inclusions)は、隣接の Great Vally Sequence 下底部の Coast Range Ophiolite Belt に由来を求められ (Hsu, 1973)、最近ではオリストリスとして混入した見解が出されている (例えば、Phipps,1984)。このような異地性岩塊の有無は多くの造山帯のメランジュの認定上、不合理な拘束となっている (Beutner, 1975)。実際、環太平洋地域のメランジュについては、Moore & Wheeler(1978)以降、異地性岩塊の存在はメランジュの定義に必須なものではないとの認識が受け入れられ、今日では混在様式を表すための記載的

用法として使用されてきている（例えば、Page, 1978 ; Moore & Karig, 1980 ; 平ほか, 1980 ; Raymond, 1984など）。Raymond(1984)はこれまでの異地性岩塊の議論を踏まえて、メランジュを以下のように再定義している。

“Melange is defined as a body of rock mappable at a scale of 1 : 24000 or more smaller and characterized both by the lack of initial continuity of contacts or strata and by the inclusion of fragments and brocks of all sizes, both exotic and native, embedded in a fragmented matrix of fine-grained material”

他方、メランジュには緑色岩やチャートなども構造包有物として出現する。Sholl & Marlow (1974)はこれらの岩石は海洋性の岩石であり、海溝で剥ぎ取られ島弧に取り込まれた付加物質であることを指摘した。しかしながら、これらの岩石の岩相層序単位としての捉え方は一様ではなく、これらを含む混在岩層の起源や成因に関しても幾つかの異なる見解が出されている。例えば、フランスカンでは緑色岩類や遠洋性堆積物の由来については次のように曖昧である。Hamilton (1969), Chipping (1971), Blake & Jones (1974)は沈み込む海洋地殻と上部マントルに由来すると考えた。Blake et al. (1982)や Cowan (1985a)はこれらの岩石はもともと砂岩・泥岩中に整合に挟在する層序関係をもつと考え、異地性とは見なしていない。これと同様の見解はコディアーク島での Connelly (1978)にも見られる。本邦の付加造山帯ではこのような付加物質は、産状・岩相・化石層序・化学組成さらに古地磁気などの諸性質が詳しく検討され、海洋底や海山の玄武岩類、およびそれらの上位の遠洋性堆積物であることも知られてきた（例えば、Sugisaki et al., 1979 ; 土谷ほか, 1979 ; Suzuki & Hada, 1979, 1983 ; 平ほか, 1980 ; Kodama et al., 1983 ; 小川・谷口, 1987 ; Naka, 1988 ; Suzuki, 1988)。これら本邦の諸研究例に示されるように、上記付加物質はそれを含む泥質岩と、時代ならび起源を異にした岩相層序単位をなしており、明らかな外来の岩層にあたる。従って、成因的に沈み込み過程と関連づけられるメランジュは本質的な岩塊として、消費されたプレートから付加された緑色岩・遠洋性岩石を含むことになろう。メランジュが当時消費された海洋プレートの構成物(MORB, 海山, および遠洋性の岩石など)を特徴的に含むか否かは、メランジュの形成場やプレート境界を考察する上で重要な情報を提供することになる。

3. メランジュの構造的性質

メランジュは元来、その構造的性質によって他の混在岩層と区別され、地質学的意義が強調された。しかしながら、これまで多くの議論がなされてきたにも拘らずその構造特性に関しては曖昧な点が多い。具体的な問題は後章に譲るとして、ここではメランジュの構造的特徴をめぐるタイプ地域の変遷とフランスカンを舞台に展開されたメランジュの定義の変化を見てみよう。

1970年代のメランジュ研究は、プレート・テクトニクスの観点からの造山帯中の混在岩層の吟味が精力的に行われ、メランジュの構造的側面と同時にそのタイプとなる地域の検討が行われた。

先ず、メランジュの最初の模式地である Angelsey Melange は、Shackelton (1956, 1969), Wood (1974), Barber & Max (1979)などによってその構造的意義が詳しく吟味され、剪断作用や片理の発達が軽微なために、その起源は堆積性で見なされオリストストロームと改められた。

フランスカン・コンプレックス中には強く普遍的な片状構造が発達することが指摘され (Hsu, 1968; Berkland et al., 1972; Cowan, 1974; Raymond, 1975), なかでも泥質基質の顕著な剪断破碎はメランジュの最も重要な構造特性として強調された (Cowan, 1974; Raymond, 1975)。1970年代前半にはフランスカン・コンプレックスは Angelsey に代わってテクトニック・メランジュのタイプ地域となった。

しかしながら、構造包有物の産状、コンピーテント層の変形、泥質基質中の片状構造の発達様式、基質と構造包有物の変成度が吟味されるに従って、テクトニック・メランジュと考えられていた地域に“堆積性”のメランジュやブローケン・フォーメーションが広く分布することが次第に明らかにされてきた（例えば、Gucwa, 1975; Cowan & Page, 1975; Cowan, 1974, 1978, 1982, 1985b; Page, 1978; Aalto, 1982; Bachman, 1982など）。しかし、フランシスカン・コンプレックスが深海での大規模な地滑り堆積体であったとする見解はすでに、Hsu 自身を含めて多くの研究者により古くから支持されていたことでもある（Hsu, 1968; Hsu & Ohrbom, 1969; Page, 1972; Suppe, 1973; Maxwell, 1974; Kleist, 1974）。

泥質基質中の剪断破碎は必ずしも普遍的でなく、むしろ狭い剪断帯に限られること（Bachman, 1982）からみても、大部分のフランシスカン・コンプレックスの片状構造はテクトニック・メランジュを指示する構造特性とは言い難い。かくして最大の依りどころであった剪断破碎や片状構造はメランジュの定義から削除される事態となった（例えば、Cowan, 1978; Raymond, 1984）。しかしながら、Raymond (1984)が提唱した新しい定義でも、テクトニック・メランジュの本質的ともいえる構造的側面に関しては何ら具体的な指標あるいは変形機構は示されておらず、各岩層単位の変形様式ならびに異なる岩層単位の混在様式に関する評価は曖昧なものとなっている。

III. メランジュの成因論

“地向斜”から“プレート・テクトニクス”へと造山論が急激な変革期を迎えた1970年代初頭、さらに現世海溝付加体の付加作用の実体が明らかにされた1980年代初めを転機として、造構作用とメランジュの構造的関連性ならびにその意義についての考え方は大きく変化した。この2つの転換期を経験する間に、メランジュの成因ならびに形成機構については次のような見解が提出されてきた。

- (1) 重力的深部流動・滑動作用
- (2) 沈み込み帯での剥ぎ取り付加
- (3) 前弧での重力滑動堆積体の付加作用
- (4) 沈み込み一底付け付加
- (5) ダイアピリズム

メランジュが深部での重力的滑動あるいは流動に起因するという考え(1)はプレート・テクトニクスの台頭期の前後にみられる（例えば、Hsu, 1968）。この場合、メランジュの混合・破断化は高い封圧下での固結した岩石の破壊・流動に帰せられた。また、オリストストロームや他の地滑り堆積物とは異地性岩塊や未固結変形の有無で区分されると考えられた（Hsu, 1968; Hsu & Ohrbom, 1969）。

メランジュの形成場を沈み込み帯に求めた当初の見解(2)の多く（例えば、Hamilton, 1969; Bailey & Blake, 1969; Dewey & Bied, 1970; Page, 1972; Ernst, 1970; Dickinson, 1971; Maxwell, 1974など）は、メランジュが海溝で剥ぎ取られオフィオリティックな岩石と海溝を充填するタービダイトとの混在化によって形成されたと考えた。環太平洋型の造山帯に出現する剪断された泥質な混在岩層は、沈み込み帯を直接的に指示する特徴的岩相・構造単位として受け入れられ（例えば、Hsu, 1971; Maxwell, 1974; Blake & Jones, 1974; Cowan, 1974など）、フランシスカン・メランジュ（Hsu, 1971）はその典型と見なされた。この考えは様々な時代と地域の造山帯に波及し、オフィオリティック・メランジュとともにプレート取れん境界に関連してその構造的意義が強調された。

(3)のタイプのメランジュでは、混在化は沈み込みに先だって生じたとする見解をとる。異地性岩塊とタービダイトとの混在化は海溝内側斜面上（例えば、Berkland et al., 1972; Gucwa, 1975; Cowan & Page, 1975; Cowan, 1978, 1982; Suzuki & Hada, 1983; Phipps, 1984）のほか、オフィオリティックな岩石の生産場所には海溝外側斜面付近での海山や海洋地殻の崩壊（例えば、Robertson, 1977; Hibbard & Williams, 1977; 平ほか, 1980; MacPherson, 1983; Jacobi, 1984; Naka, 1988）や、トランスフォーム断層沿い（例えば、Saleeby, 1978, 1979, 1984; Sarwar & DeJong, 1984; Jacobi, 1984; Phipps, 1984; Ogawa et al., 1985; Karig et al., 1986）など様々な場所が想定されている。海溝浅所で付加された堆積的混在岩は、沈み込みあるいは後期の造構作用によって剪断され、構造ファブリックを獲得するだろう。これらは剪断性オリストストローム (sheared olistostrome: Hsu, 1974; Gucwa, 1975), あるいはオリストストローム的メランジュ (olistostromic melange: Raymond, 1984) と呼ばれることがある。この場合の異地性岩塊は、一度付加されたりサイクル岩石あるいは背後からもたらされた古期岩類を含むことがあり（例えば、Dimitrijevic & Dimitrijevic, 1973; Cowan & Page, 1975; Phipps, 1984）。一方、現地性岩塊の形成環境は海溝や海溝内側斜面（Aalto, 1976, 1982; Cowan, 1982; Leggett et al., 1982）のみならず、トランスフォーム境界の前弧（Blake et al., 1982; 坂井・艸場, 1989）などでの様々な堆積環境の碎屑岩を含むだろう。

一方、沈み込み帯の深部での形成が想定されるメランジュ(4)がある (Moore et al., 1982; Cowan, 1982; Sample & Moore, 1987)。これは、海溝タービダイトやオフィオリティックな岩石が沈み込み帯深部で底付け (underplating) され、高い変形・変成作用を受けてメランジュになるとするものである。

沈み込みに伴って発生するダイアピリズムにより、泥基質の混在岩層(5)が付加帯に出現する可能性はすでに Sholl et al. (1974)によって指摘されていた。一方、フランススカンの青色片岩やエクロジャイトなど高度変成岩の形成機構として、下部地殻 (Coastal Range Ophiolite) のスラストに沿う上昇機構が考察されていた (Blake & Jones, 1974)。Cowan & Page (1975)は、沈み込み帯での高度の変成岩の混在過程の説明として“two-way streets model”を導入した。さらに、Cloosは高度の変成岩岩塊の上昇機構を沈み込み帯に沿って生じる付加された泥質堆積物の上方への延性流動に求め、付加体に入入する flow melange の存在を想定した (Cloos, 1982, 1984)。現世の前弧周辺からは多くの泥および蛇紋岩ダイアピルの事実が報告されてきており（例えば、Stride et al., 1982; Biju-Duval et al., 1982; White, 1982; Westbrook et al., 1983; Breen et al., 1986など）、造山帯のメランジュの起源とこの新しいタイプのメランジュとの関わりが注目されてきている (Sholl et al., 1974; White, 1982; Cloos, 1982; Williams et al., 1984; Becker & Cloos, 1984; Cowan, 1985 a,b; Lash, 1985, 1987; Barber et al., 1986; Pickering et al., 1988; Barber & Brown, 1988など)。なお、野外での泥ダイアピルあるいは注入起源の混在岩と他の混在岩層との識別方法には、周囲の地層との斜交性、鱗片状劈開の不規則性、淘汰の悪い基質、含まれる岩塊の割れ目への泥の注入現象、ジクソーパズル状の岩塊の破片化など幾つかの基準が考察されている (Lash, 1987; Barber et al., 1986; Pickering et al., 1987など)。しかし、明瞭な貫入・斜交関係が不明な場合、堆積性・構造性の混在岩層との識別は困難である。

IV. メランジュの構造特性

著しい構造的断片化・混合化ならびにマトリックスの強い剪断化はメランジュと他の混在岩層とを区別する最大の根拠に挙げられることが多い。しかしながら、今日まで多くの議論が行われてき

たにも拘らず、これらの構造特質について、十分な理解とコンセンサスが得られているとは言えない。以下、メランジュの構造地質学的問題として、片理、層理の破壊、混在作用について整理する。

1. 基質中の片状構造

Greenly (1919) 以来、基質中に発達する片状構造はメランジュと他の混在岩層を区分する重要な構造特性として捉えられ、多くの造山帯のメランジュで記述されてきた。例えば環太平洋タイプの造山帯では、フランスカン(Hsu, 1968, 1974; Cowan, 1974; Berkland et al., 1972; Christensen, 1973; Suppe, 1973; Blake & Johes, 1974; Tabor & Cady, 1978; Raymond, 1975; Weiss, 1972), アリュージョン(Moore & Wheeler, 1978; Connelly, 1978; Byrne, 1982, 1984), インドネシア(Hamilton, 1979; Moore & Karig, 1980), ニューゼーランド(Bishop et al., 1976), 本邦の四万十帯(勘米良・坂井, 1975; 坂井, 1978; Suzuki & Hada, 1979, 1983; 平ほか, 1980; Taira et al., 1982; 坂井・勘米良, 1981など)など多くの地域から報告されている。

この片状構造は、鱗片状劈開、スレート劈開、トランスポーズ片理などと呼ばれ、普通、凹凸に富み、多少とも鱗片状(scaly)の形態を示す。また、表面にはすべり条線を伴う鏡肌(silicken-sided surfaces)となっていることが多い。Cowan (1974)はこのファブリックを“penetrative shear-fracture fabric”と呼んだ。Bosworth & Volmer(1981)はその形態上の特徴から phacoidal cleavage と呼び、スレート劈開と区別した。Raymond (1975)は普遍的な剪断面の発達に注目し、このファブリックで特徴づけられるメランジュを、SF-tectoniteと呼ぶことを提唱したが、これには命名規約上、Beutner(1975)からの反論がある。

片状構造の形成機構に関しては、異なる2つの見解がある。一つは、片理と垂直な flattening に起因するとするものである(Hsu, 1968; Hsu & Ohbom, 1969; Cowan, 1978)。他の一つは、後述の褶曲・衝上作用に関連して形成されたもので、側方短縮に起因するとの見解である。いずれにしても、このファブリックの形成機構は、次に述べる層理の破断・褶曲作用と密接な関係をもつ。

2. 層理の変形

メランジュならびにそれと関連する混在岩層には、元来の成層構造が構造的に破壊され、より脆性的な岩石はその連続が絶たれたレンズ状の構造包有物としてより延性的な泥質基質中に出現する。成層構造の破壊から流動に至る一連の造構過程には次の2つの機構が考察されている。

まず最初に、メランジュからは pinch and swell 構造やブーダン、necking など、層理に平行な伸張作用による成層構造の破壊・分断化が気付かれていた(Hsu, 1968; Hsu & Ohrbom, 1969)。このような変形はフランスカンを含む幾つかの造山帯から報告されている(例えば、Hsu, 1968; Christensen, 1973; Cowan, 1974, 1978, 1982; Hibbard & Williams, 1979; Aalto, 1982; Bachman, 1982; Byrne, 1982, 1984; Needham, 1987など)。また、これらはブロークン・フォーメーション中にも認められている(例えば、Bachman, 1982; Aalto, 1982)。

Cowan(1978)はフランスカン・メランジュ中の砂岩、緑色岩、青色片岩などの包有物と気質との観察から、包有物の多くが片理と平行な偏平な楕円形を示すことを明らかにし、メランジュのファブリックが、顕著な flattening ($1 > k \geq 0$) の歪領域下で生じた最も早期の構造であると指摘した。さらに彼は、前記のタービダイト砂岩の小～微細構造を詳しく検討し、変形時の砂岩層はまだかなりの間隙水をもつ状態であったと結論した。このような層理の破壊は、海溝斜面上で重力に支配された共軸性の歪状態での地滑りに帰せられたが、この結論は、メランジュの変形環境が高い封圧下での地滑りに起因するとした Hsu & Ohrbom(1969)のそれとほとんど同じである。

一方、層理の破壊・喪失は基本的に強い側方短縮化を伴う剪断作用に起因し、強く閉じた褶曲や

スラストを伴っている場合がある（例えば、Moore & Wheeler, 1978; Tabor & Cady, 1978; Sporli & Bell, 1976; Sporli, 1978; Moore & Allwart, 1980; 坂井・勘米良, 1981; Moore & Karig, 1980; Bosworth & Vollmer, 1981; Blake et al., 1982; Knipe & Needham, 1986; Sample & Moore, 1987）。

褶曲構造についてみると、非常に高い閉塞度をもち、海洋側にフェルゲンツの非対称褶曲で、2種類のタイプ、剪断褶曲と翼部が切断された根無し褶曲とが認められている。剪断褶曲は多くの地域の、相対的に剪断破壊の弱いブローケン・フォーメーションに良く発達するようである。後者はトランスポーズ褶曲（坂井, 1989: 本号参照）に比較できる。これは、過度の褶曲作用による元来の層理の転置（transposition）を引き起こした構造である。この構造は Moore & Wheeler (1978) や坂井・勘米良(1981), 坂井(1989: 本号)に記載されたほか、幾つかの文献（例えば、Tabor & Cady, 1978; Sporli & Bell, 1976; Sporli, 1978; Bosworth & Vollmer, 1981; Blake et al., 1982; Sample & Moore, 1987）に、その発達が推測される。

これらの褶曲構造は混在岩層の形成に強い側方短縮作用が関与したことを示し、いずれも早期に形成された広域的片理と、場合によっては褶曲と調和的な覆瓦スラストを伴い、付加造構作用との密接な関連が示唆される。特にトランスポーズ構造には強い剪断性の鱗片状片理が発達し、片理に平行な剪断に起因する砂岩レンズ（web structure: Cowan, 1974, Byrne, 1982, 1984）の形成とも関連しているように見える。なお、トランスポーズ構造によって特徴づけられるテクトニック・メランジュは prehnite-pumpellyite 相あるいはそれ以上の高い変成相を示すことが多い。

V. 付加モデルとメランジュの形成場

1. 現世海溝の剥ぎ取り付加作用と底付け付加作用

最近、中米海溝において扇状の覆瓦スラストが海洋側へ累進的に積み重なる付加モデル（例えば、Seely et al., 1974; Karig, 1974; Karig & Sharman, 1975; Seely, 1975など）の検証が行われた。その結果、海溝堆積物の総量と付加体との質量バランスから、付加体の肥大・成長過程には、主に陸源のタービダイトの海溝斜面下底部での剥ぎ取り付加（offscraping）のほか、沈み込み帯のより深部でのタービダイト、遠洋性堆積物、海洋底玄武岩の底付け付加（underplating あるいは subcretion）が関与することが指摘された（Watkins et al., 1981; Moore et al., 1982）。

最近のいくつかの前弧地域で行われた DSDP および IPOD の多重音響調査ならびに掘削コアの研究（例えば、南海トラフ：Aoki et al., 1982; 加賀美ほか, 1983; Kagami et al., 1986; 中米海溝：Shipley, 1982; Watkins et al., 1981; Moore et al., 1982; Shipley & Moore, 1986; バルバドス沖：Biji-Duval et al., 1982; Westbrook et al., 1982, 1984; von Huene, 1985など）から、浅所での剥ぎ取り付加に関して以下に挙げる具体的な事実が明らかにされた。

まず、変形フロントから海溝斜面下底にかけての付加構造には、剥ぎ取られる海溝堆積物と沈み込む堆積物（underthrust sequence）との間にデコルマが生じ、上位の付加体には海洋側へ傾く覆瓦スラストが発達する（加賀美ほか, 1983; Kagami et al., 1986; Karig, 1985; Moore et al., 1986）。この構造はバルバドスにおいて、掘削コアの生層序が繰り返す事実によって確かめられた（Moore et al., 1986）。

剥ぎ取り付加体を特徴付けるデコルマ、スラスト、ならびに初期のスレート劈開（Moore, Karig et al., 1976; Moore et al., 1986）の形成には、剥ぎ取りの付加過程における未固結泥質堆積物の脱水作用と密接に関連することが指摘された（Lundberg & Moore, 1986; Moore et al., 1986）。つま

り、海溝を充填する泥質堆積物中の高い含水率をもつ層準は、沈み込みによって海溝斜面付近にもたらされると、異常間隙水圧帯が発生し、海洋側へ向かう初生的なデコルマを形成する (Moore et al., 1986)。さらに、剥ぎ取られた海溝堆積物は累進的な脱水による空隙率減少により剪断強度が増大し、覆瓦シートの物性変化を生じるようになる (Karig, 1985, 1986)。これらの現象は、沈み込みに伴う海溝斜面下底部での荷重圧の増大と *underthrusting* による剪断作用に起因すると考えられる。

一方、沈み込み帯深部での底付け作用の詳細は不明であるが、音響的特徴として、一般に音響反射面が減少し、重合速度が増加する。加賀美 (加賀美ほか, 1983; Kagami et al, 1985) は、スラスト構造と音響的物性の特徴に基づいて、南海トラフ付加体の深部構造が変形フロントから内側に向かって、非震性のプロトスラスト、覆瓦スラスト、多重階層デコルマ、地震性スラストの4つの帯に区分できることを示した。底付け付加は多重階層デコルマ・地震性スラスト帯で生じると考えられる。多重階層デコルマ帯では空隙率が20-30%に低下すると考えられ、初生デコルマの下方への伝播が止まり、上方へと転移して付加堆積物の水平的な積み重ねが生じる。そして、地震性スラスト帯では空隙率が20%以下になると見積られ、海洋地殻を含む剪断破壊が生じる領域と見なされた (加賀美ほか, 1983)。空隙率が30%以下では岩石の物性は質的に変化し、再結晶の段階へと進行する (小島, 1972; 井波・星野, 1974)。

2. 前弧におけるメランジュの形成場

最近、前弧地域でのメランジュの形成場と機構は、前述の現世海溝での混在岩層や付加造構過程との比較・対応性が考慮され、かなり具体的に考察されるようになってきた。その議論の重要な焦点として、メランジュが形成環境や配置の機構を異にする幾つかのタイプに区分できる可能性が指摘された (Moore et al., 1982; Silver et al., 1985; Cowan, 1985a, 1985b; Lash, 1985, 1987; Barber et al., 1986)。これらの見解を総合すると、前弧地域でのメランジュの形成場として、以下に挙げる3つの環境に整理できる (Fig. 2: Cowan, 1985a)。

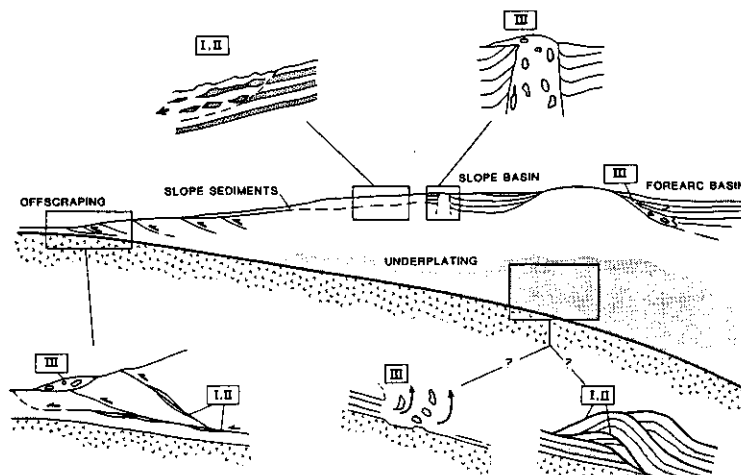


Fig.2 Diagrammatic cross-section through a typical accretionary wedge at an active convergent margin. Three types of Cordilleran melanges discussed in this paper could in theory form in a number of specific environments on or within the wedge, as indicated in this figure. Adapted from Cowan (1985a).

一つは、海溝斜面における堆積物の斜面崩壊や重力滑動に起因する混在岩の形成環境である。海溝内側斜面上では斜面下底部での剥ぎ取り付加による斜面の増勾配化や活発な地震活動により堆積物は不安定な場に置かれている。ここでは、斜面上で重力滑動やそれに起因する乱雑堆積物の形成が行われる。この場合、斜面堆積物を構成する砂泥互層には、層理と平行な伸張による変形が特徴的に発達することになる。これらは層理の破壊・分断、混在化の程度に応じて様々な堆積性のメランジュタイプ（オリストストローム、ブローケン・フォーメーション、含礫泥岩など）を形成する。また、変成環境を異にする異地性岩塊は深部からの流動（corner flow: Cowan & Silling, 1978あるいは melange channel: Cloos, 1982）によって運搬され、貫入あるいはシル状のダイアピル岩体（ダイアピル・メランジュ）、あるいはリサイクル岩塊として出現すると説明されている。

次に変形フロントから海溝斜面下底部では、基質に富む堆積性の混在岩層のほか、web structureのように強い剪断面のファブリックで特徴づけられる構造包有物をもつメランジュがスラストに沿って現れる。この場合、海溝充填堆積物は脱水作用に関連した浅所でのデュプレックス構造を作り、褶曲やスラスト付近に伴って層理の伸張あるいは顕著な側方短縮構造をもつブローケン・フォーメーションが形成される。海山やトランスフォーム断層が沈み込む場合、海洋性岩石の崩壊性岩塊を含むことも予測される。また、デコルマ帯に沿って付加堆積物からの間隙水の逸脱に起因する泥ダイアピルも出現することもある。

沈み込み帯のより深部では、底付け付加が起こる。ここでは高い封圧と剪断作用による変形・変成作用を受け、高い構造レベルのテクトニック・メランジュが生じる。海洋地殻を含むデュプレックス構造や延性変形はこの領域で形成されると推測される（Siver et al., 1985; Simple & Moore, 1987）。付加体内部の温度・圧力ならびに応力・歪環境の詳細は不明である。ここでは、沈み込みに伴う単純剪断に加えて、付加体の高い封圧を受けることが予想される。レオロジーの観点からは付加体中の脆性-延性変形境界は10-20kmの深さに見積られ（Pavlis & Bruhn, 1983）、プレート境界に沿う変形は地表付近の脆性的変形から深部での完全に延性的な変形に漸移的に変わる（Shimamoto, 1985）。従って、底付け作用で生じた付加体は、恐らく強い延性変形と変成作用を示すと考えられる。Sample & Moore (1987)は変成鉱物の組合せ・イライトの結晶度・輝炭反射率など変成作用の指標、ならびに変形の機構上の特徴を用いて、剥ぎ取り付加と底付け付加の境界を10 km以浅の深度に推定した。

V. あとがき

以上の述べてきた事柄はメランジュ問題のほんの何分の1かに過ぎない。今日でも用法や定義、さらに成因を巡る議論には到着点がまだ見いだされていないようである。多くの場合、メランジュは伝承的用法として使用され、機械的に沈み込みテクトニクスへ導入されてきた。しかしながら、この用法は帰納的であり、その形成環境は必ずしも沈み込み帯そのものを指示するとは限らないことに留意する必要がある。この関係を明確にするには、構成する岩層の堆積地質、構造地質、ならびに時代や変成作用の性質に関しての詳しい研究が必要である。

本邦でのメランジュ問題の解明に対する期待は大きい。なぜならば、本邦での混在岩層の研究は、混在岩層と整然層とが共に良く露出していることに加え、碎屑岩層や付加物質のについて細かい微化石証拠が得られていることから、前弧地域全体におよぶ堆積・造構環境が詳しく復元できることなど、他の付加造山帯と比べてはるかに優位な条件に恵まれているからである。

文 献

- Aalto, K. R., 1976: Sedimentology of a melange: Franciscan of Trinidad, California. *Jour. Sed. Petrol.*, v. **46**, 913-929.
- 1982: The Franciscan Complex of northern California: Sedimentation and tectonics. in Leggett, J.K., (ed), *Trench-Forearc Geology: Sedimentation and tectonics on modern and ancient plate margins*. Geol. Soc. London Spec. Pub., no. 10, 419-432.
- Abbate, E., Bortolotti, V., and Passerini, P., 1970: Olistostromes and olistoliths. *Sed. Geol.*, v. **4**, 521-557.
- Aoki, Y., Tamano, T., and Kato, S., 1982: Detailed structure of the Nankai Trough from migrated seismic sections. in Watkins, J. S., and Drake, C. L., (eds.), *Studies in Continental Margin Geology*. Amer. Assoc. Petrol. Geologists Mem., no.34, 309-322.
- Bachman, S. B., 1982: The Coastal Belt of the Franciscan: Youngest phase of northern California subduction. in Leggett, J.K. (ed.), *Trench-Forearc Geology*. Geol. Soc. Spec. Pub., no. 10, 410-417.
- Bailey, E. H., and Blake, M. C., 1969: Tectonic development of western California during the late Mesozoic. *Geotektonika*, v. **3**, 17-30, v. **4**, 24-34.
- Barber, A. J., and Max, M. D., 1979: A new look at the Mona Complex (Anglesey, North Wales). *Jour. Geol. Soc. London*, v.136, 407-432.
- Tjokrosapoetro, S., and Charlton, T. R., 1986: Mud volcanoes, shale diapirs, wrench faults and melanges in accretionary complexes, Eastern Indonesia. *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v. **70**, 1829-1841.
- Barber, T., and Brown, K., 1988: Mud diapirism: The origin of melanges in accretionary complexes? *Geology Today*, v. **4**, 89-94.
- Been, N. A., Silver, E. A., and Hussing, D. M., 1986: Structural styles of accretionary wedge south of the island of Sumba, Indonesia, revealed by SeaMARC II side scan sonar. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **97**, 1250-1261.
- Becher, D. G., and Cloos, M., 1984: Melange diapirs into the Cambria Slab: A Franciscan trench slope basin near Cambria, California. *Jour. Geol.*, v. **93**, 101-110.
- Berkland, J. O., Raymond, L. A., Kramer, J. C., Moores, E. M., and O'Day, M., 1972: What is Franciscan?. *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v. **56**, 2295-2302.
- Beutner, E. C., 1975: Tectonite and melange—A distinction: *Comment. Geology*, v. **3**, 358-359.
- Biji-Duval, B., Le Quellec, P., Mascle, A., Renard, V., and Valery, P., 1982: Multibeam bathymetric survey and high resolution seismic investigations of the Barbados Ridge complex (Eastern Caribbean): A key to the knowledge and interpretation of an accretionary wedge. in Le Pichon, X., Augustithis, S. S., and Mascle, J. (eds.), *Geodynamics of the Hellenic Arc and Trench*. *Tectonophysics*, v. **86**, 275-305.
- Bishop, et al., 1976: Lithostratigraphy and structure of the Caples terrane of the Humboldt Mountains, New Zealand. *New Zealand Jour. Geol. Geophys.*, v. **19**, 827-848.
- Blake, M. C., and Jones, D. L., 1974: Origin of Franciscan melange in Northern California. in Dott, R. H. Jr., and Shaver, R. H. (eds.), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. *SEPM Spec. Pub.*, no. **19**, 345-357.
- , Jayko, A. S. Jr., and Howell, D. G., 1982: Sedimentation, metamorphism and tectonic accretion of the Franciscan assemblage of northern California. in Leggett, J. K., (ed.), *Trench-Forearc Geology*, Geol. Soc. Spec. Pub., no.10, 433-438.
- Bosworth, M., and Vollmer, P., 1981: Structures of the medial Ordovician flysch of western New York: Deformation of synorogenic deposits in an overthrust environment. *Jour. Geol.*, v. **89**, 551-568.
- Byrne, T., 1982: Structural evolution of coherent terranes in the Ghost Rock Formation, Kodiak Island, Alaska. in Leggett, J. K. (ed.), *Trench-Forearc Geology*. Geol. Soc. London Spec. Pub., no. 10, 229-242.
- 1984: Early deformation in melange terranes of the Ghost Rock Formation, Kodiak Island, Alaska. in Raymond, L. A. (ed.), *Melanges: Their Nature, Origin, and Significance*, Geol. Soc. Amer., Spec. Pub., no. 198, 21-51.
- Chipping, D. H., 1971: Paleoenvironmental significance of chert in the Franciscan Formation of western California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **82**, 1707-1712.
- Christensen, W. P., 1973: Structure of Franciscan terrane of the Occidental-Guerneville Area, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **84**, 1283-1288.

- Cloos, M., 1982: Flow melange: Numerical modeling and geologic constraints on their origin in the Franciscan subduction complex. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **93**, 330-345.
- 1984: Flow melange and structural evolution of accretionary wedge. in Raymond, L. A. (ed.), *Melanges: Their Nature, Origin, and Significance*, *Geol. Soc. Amer. Spec. Pub.*, no. 198, 71-80.
- Connelly, W., 1978: Uyak Complex, Kodiak Island, Alaska: A Cretaceous subduction complex. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **89**, 755-769.
- Cowan, D. S., 1974: Deformation and metamorphism of the Franciscan subduction zone complex northwest of Pacheco Pass, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **85**, 1623-1634.
- 1978: Origin of blueschist-bearing chaotic rocks in the Franciscan Complex, San Simeon, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **89**, 1415-1423.
- 1982: Deformation of partly dewatered and consolidated Franciscan sediments near Piedras Blancas Point, California. in Leggett, J. K., (ed.), *Trench-Forearc Geology*. *Geol. Soc. London Spec. Pub.*, no. 10, 439-457.
- 1985a: The origin of some common types of melange in the western Cordillera of North America. in Nasu, N., and others (eds.), *Formation of Active Ocean margins, 257-272*, *Terra Sci. Pub. Comp.*, Tokyo.
- 1985b: Structural styles in Mesozoic and Cenozoic melanges in the western Cordillera of North America. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **96**, 451-462.
- , and Page, B. M., 1975: Recycled Franciscan material in Franciscan melange west of Paso Robles, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **86**, 1089-1095.
- , and Silling, R. M., 1978: A dynamic, scaled model of accretion at trenches and its implications for the tectonic evolution of subduction complexes. *Jour. Geophys. Res.*, v. **83**, 5389-5396.
- Dewey, J. F., and Bird, J., 1970: Mountain belts and the new global tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, v. **75**, 2625-2647.
- Dickinson, W. R., 1971: Clastic sedimentary sequences deposits between magmatic arcs and associated trenches. *Pacific Geology*, v. **3**, 15-30.
- Dimitrijevic, M. D., and Dimitrijevic, M. N., 1973: Olistostrome melange in the Yugoslavian Dinarides and Late Mesozoic plate tectonics. *Jour. Geol.*, v. **81**, 328-340.
- Elter, P., and Raggri, G., 1965: Contruro alla conscenza dell' Appennino ligure: 1. Osservazioni preliminari sulla posizione delle ofioliti nella zona di Zignago (La Spezia) ; 2. Considerazioni sul problema degli olistostromi. *Boll. Scc. Geol. Ital.*, v. **84**, 303-322.
- , and Trevisan, L., 1973: Olistostrome in the tectonic evolution of the northern apennines. in De Jong, K. A., and Scholten, R. (eds) *Gravity Tectonics*, 175-188, John Wiley & Sons.
- Ernst, W. G., 1970: Tectonic contact between the Franciscan melange and the Great Valley sequence: Crustal expression of a Late Mesozoic Benioff zone. *Jour. Geophys. Res.*, v. **75**, 886-901.
- 1975: Systematics of large-scale tectonics and age progression in Alpine and circum-Pacific blueschist belts. *Tectonophys.*, v. **26**, 229-246.
- Flores, G., 1955: Discussion. in Beneo, E. (ed.), *Les resultats des studes pour la recherche petriliere en Sicilie (Italie)*. 4th World Petrol. Congr., Rome, Proc., sect. 1, 121-122.
- Gansser, A., 1974: The ophiolitic melange: A world-wide problem on Tethyan examples. *Eclogae Geol. Helvetiae*, v. **67**, 497-507.
- Greenly, E., 1919: The geology of Anglesey. *Great Britain Geol. Surv. Mem.* no. 1, 980.
- Gucwa, P. R., 1975: Middle to Late Cretaceous sedimentary melange, Franciscan Complex, northern California. *Geology*, v. **3**, 105-108.
- Hall, R., 1976: Ophiolite emplacement and the evolution of the Taurus suture zone, southeastern Turkey. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **87**, 1078-1088.
- Hamilton, W., 1969: Mesozoic California and the underflow of Pacific mantle. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **80**, 2409-2430.
- 1979: Tectonics of the Indonesian Region. *Geol. Surv. Prof. Pap.*, no. 1078, 345P.
- Hibbard, J., and Williams, H., 1979: Regional setting of the Dunnage Melange in the Newfoundland Appalachians. *Amer. Geol. Sci.*, v. **279**, 993-1021.

- Hsu, J. K., 1968: Principles of melange and their bearing on the Franciscan-Knoxville paradox. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v.79, 1063-1074.
- 1971: Franciscan melange as a model for eugeosynclinal sedimentation and underthrusting tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, v. 76, 1162-1170.
- 1973: Mesozoic evolution of the California Coast Range: A second look. in De Jong, K., and Scholten R., (eds.), *Gravity Tectonics*, 379-396, Wiley-Intersci. Pub., John Wiley & Sons.
- 1974: Malanges and their distinction from olistostromes. in Dott, R. H. Jr., and Shaver, R. H. (eds.), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. SEPM Spec. Pub., no. 19, 321-333.
- 1983: Geosynclines in plate-tectonics settings: Sediments in mountains. Hsu, J. K., (ed.), 3-13, Academic Press.
- , and Ohrbom, R., 1969: Melange of San Francisco Peninsula: Geologic reinterpretation of type Franciscan. *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, v. 53, 1348-1364.
- 井波和男・星野一男, 1974: 堆積岩の圧縮率と圧密について. *石油技協誌*, v. 39, 357-365.
- Jacobi, R. D., 1984: Modern submarine dediment slides amd thier implications for melange and the Dunnage Formation in north-central Newfoundland. in Raymond, L. A., (ed.), *Melange: Thier Nature, Origin, and Significance*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, no. 198, 81-102.
- 加賀美英雄・塩野清治・平 朝彦, 1983: 南海トラフにおけるプレートの沈み込みと付加体の形成. *科学*, v. 53, 429-438, 岩波書店.
- , Karig, D. E., and others, 1986: Initial reports of the Deep Sea Drilling Project: Washington D. C., U. S. Government Printing Office, v. 87, 941-953
- 勘米良亀齡, 1977: 地向斜堆積物におけるオリストストロームとその認定. *地団研專報*, no. 20, 145-156.
- ・坂井 卓, 1975: 四万十累層群の形成場は現在の海洋ではどのような所に対応するか? GDP連絡紙, II-1-(1), 構造地質, no. 3, 55-64.
- Karig, D. E., 1974: Evolution of arc system in the western Pacific. *Earth and Planet. Sci. Ann. Rev.*, v. 2, 51-75.
- 1985: Kinematics and mechanics of deformation across some accreting processes, in Nasu, N. et al., (eds.), *Formation of Active Ocean Margins*, 155-177, Tera Sci. Pub. Comp., Tokyo.
- 1986: Physical properties and mechanical state of accreted sediments in the Nankai Trough, Southwest Japan Arc. in Moore, J. C., (ed.), *Structural Fabrics in Deep Sea Drilling Project Cores from Forearcs*. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, no. 166, 135-150.
- , and Sharman, G. F. III., 1975: Subduction and accretion in trenches. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 86, 377-389.
- , Sarewitz, D. R., and Haeck, G. D., 1986: Role of strike-slip faulting in the evolution of allochthonous terranes in the Philippones. *Geology*, v. 14, 852-855.
- Kleist, J. R., 1974: Deformation by soft-sediment extension in the Coastal Belt, Franciscan Complex. *Geology*, v. 2, 501-504.
- Kodama, K., Taira, A., Okamura, M., and Saito, Y., 1983: Paleomagnetism of the Shimanto Belt in Shikoku, southwest Japan. in Hashimoto, M., and Ueda, S., (eds), *Accretionary Tectonics in the Circum-Pacific Regions*. 231-241, Tera Sci. Pub. Comp., Tokyo.
- 小島圭二, 1972: 堆積物の固結過程ととの工学的性質. *施工技術*, v. 5, 32-42.
- Knipe, R. J., and Needham, D. T., 1986: Deformation processes in accretionary wedges: Examples from the SW margin of the Southern Upland, Scotland. in Coward, M. P., and Ries, A. C., (eds.), *Collision Tectonics*. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, no.19, 51-65.
- Lamphere, M. A., Blake, M. C., Jr, and Irwin, W. P., 1978: Early Cretaceous metamorphic age of South Fork Mountain Schist in the Northern Coast Ranges of California. *Amer. Jour. Sci.*, v. 278, 798-815.
- Lash, G. G., 1985: Accretion-related deformation of an ancient (early Paleozoic) trench- fill deposit, central Appalachian orogen. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 96, 1167-1178.
- 1987: Diverse melange of an ancient subduction complex. *Geology*, v. 15, 652-655.
- Lundberg, N., and Moore, J. C., 1986: Macroscopic structural features in Deep Sea Project cores from forearc regions. in Moore, J. C., (ed.), *Structural Fabrics in Deep Sea Drilling Project Cores from Forearcs*, *Geol. Soc. Amer. Mem.*, no. 166, 13-44.

- Maxwell, J. C., 1974: Anatomy of an orogen. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **85**, 1195-1204.
- McCall, G. J. H., 1983: Melange of the Makran, southeastern Iran. in McCall, G. J. H., (ed.), *Ophiolitic and Related Melanges*, 292-299, Benchmark Paper in Geology, no. 66, Hutchinson Ross Pub. Comp., Stroudsburg, Pennsylvania.
- Moore, G. F., and Karig, D. E., 1980: Structural geology of Nias Island, Indonesia: Implications for subduction zone tectonics. *Amer. Jour. Geol.*, v. **280**, 193-223.
- Moore, J. C., Karig, D. E., and et al., 1976: Sedimentology, structural geology and tectonics of the Shikoku subduction zone. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **87**, 1259-1268.
- , and Wheeler, R. L., 1978: Structural fabric of a melange Kodiak Island, Alaska. *Amer. Jour. Sci.*, v. **278**, 739-765.
- , and Allwardt, A., 1980: Progressive deformation of a Tertiary trench slope, Kodiak Island, Alaska. *Jour. Gophys. Res.*, v. **85**, 4741-4756.
- , Cowan, D. S., and Karig, D. E., 1982: Structural styles and deformation fabrics of accretionary complexes. *Geology*, v. **13**, 77-79.
- , Roeske, S., Lundberg, N., Schoonmaker, J., Cowan, D. S., Gonzales, E., and Lucas, S.E., 1986: Scarpy fabrics from Deep Sea Drilling Project cores from forearcs. in Moore, J. C., (ed.), *Structural Fabrics in Deep Sea Drilling Project Cores from Forearcs*. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, no. 166, 75-88.
- Naka, J., 1988: Volcanostratigraphic sequence of greenstones in the Setogawa Terrane, central Japan. in Taira, A., and Ogawa, Y., (eds.), *The Shimanto Belt, Southwest Japan: Studies on the Evolution of an Accretionary Prism*. *Modern Geol.*, v. **12**, 243-282.
- 小川勇次郎・谷口英嗣, 1987: 前弧域のオフィオリティック・メランジュと嶺岡帯の形成. *九大理研報*, v. **15**, 1-23.
- Ogawa, Y., Naka, J., and Taniguchi, H., 1985: Ophiolite-based forearcs: A particular type of plate boundary. in Nasu, N. et al., (eds.), *Formation of Active Oceanic Margins*. *Terra Sci. Pub. Comp.*, Tokyo, 719-746.
- Page, B. M., 1972: Oceanic crust and mantle fragment in subduction complex near San Luis Obispo, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **83**, 957-972.
- 1978: Franciscan melanges compared with olistostromes of Taiwan and Italy. *Tectonophysics*, v. **47**, 223-246.
- Pavlis, T. L., and Bruhn, R. L., 1983: Deep-seated flow as a mechanism for the uplift of broad forearc ranges and its role in exposure of high P/T metamorphic terranes. *Tectonics*, v. **2**, 473-496.
- Phipps, S. P., 1984: Ophiolitic olistostromes in the basal Great Valley sequence, Napa County, northern California Coast Ranges. in Raymond, L. A., (ed.), *Melanges: Their Nature, Origin, and Significance*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, no. 198, 103-126.
- Pickering, K. T., Ager, 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*, v. **16**, 881-885.
- Raymond, L. A., 1975: Tectonite and Melange: A distinction. *Geology*, v. **3**, 7-9.
- 1984: Classification of melanges. in Raymond, L. A., (ed) *Melanges: Their nature, Origin, and Significance*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pub.*, no. 198, 7-20.
- Robertson, A. H. F., 1977: The Moni Melange, Cyprus: An olistostrome formed at a destructive plate margin. *Geol. Soc. London Jour.*, v. **133**, 447-466.
- Saleeby, J., 1979: Kaweah serpentinite melange, southwest Sierra Nevada foothills, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **90**, 29-46.
- 1984: Tectonic significance of serpentinite mobility and ophiolitic melange. in Raymond, L. A., (ed.) *Melanges: Their Nature, Origin, and Significance*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, no. 198, 153-168.
- 坂井 卓, 1989: 九州四万十帯の付加構造とその造構環境 (本号).
- ・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・構造的位位置. *九大理研報*, v. **14**, 31-48.
- ・柳場 敬, 1989: 南九州上部四万十層群の形成環境と前弧モデル. *堆積研究会報*, v. **15** (印刷中).
- Sample, J. C., and Moore, J. C., 1987: Structural style and kinematics of an underplated slate belts, Kodiak and adjacent islands, Alaska. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. **99**, 7-20.
- Sarwar, G., and De Jong, K., 1984: Composition and origin of the Kanar Melange, southern Pakistan. in

- Raymond, L. A., (ed.), *Melanges: Their Nature, Origin, and Significance*, Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., no. 198, 127-138.
- Seely, D. R., 1979: The evolution of structural highs bordering major forearc basins. in Watkins, J. S., Montadert, L., and Dickinson, P. W., (eds.), *Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins*. Amer. Assoc. Petrol. Geologists Mem., no. 29, 245-260.
- , Vail P. R., and Walton, G.G., 1974: Trench slope model. in Bulk, C. A., and Drake, C. L. (eds.), *The Geology of Continental Margins*. 249-260. Springer-Verlag, New York.
- Shackleton, R. M., 1956: Notes on the structure and relations of the Precambrian Ordovician rocks of southwestern Lley (Caernarvonshire). *Liverpool and Manchester Geol. Jour.*, v. 11, 400-409.
- 1969: *The Precambrian of North Wales*. Cardiff, Univ. Wales Press. 1-22.
- Shimamoto, T., 1985: The origin of large or great thrust-type earthquakes along subduction plate boundaries. *Tectonophys.* v. 119, 37-65.
- Shiple, T. H., 1982: Seismic facies and structural framework of the southern Mexico continental margin. in Watkins, J. S., Moore, J. C., et al., (eds.) *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project: Washington, D. C.*, U. S. Government Printing Office, v. 66, 775-790.
- Sholl, D. W., and Marlow, M. S., 1974: Sedimentary sequence in modern trenches and the deformed circum-Pacific eugeosyncline. in Dott, R. H. Jr, and Shaver, R. H. (eds.) *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. SEPM Spec. Pub., no. 19, 193-211.
- Silver, E. A., and Beutner, E. C., 1980: Melanges. *Geology*, v. 8, 32-34.
- , Ellis, M. J., Breen, N. A., and Shipley, T. H., 1985: Comments on growth of accretionary wedges. *Geology*, v. 13, 6-9.
- Sporli, K. G., 1978: Mesozoic tectonics, North Island, New Zealand. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 89, 415-425.
- , and Bell, A. B., 1976: Terlaesse melange and coherent sequences, eastern Ruahine Range, North Island, New Zealand. *New Zealand Jour. Geol. Geophys.*, v. 19, 429-447.
- Stride, A. H., Belderson, R. H., and Kenyon, N. H., 1982: Structural grain, mud volcanoes and other features of the Barbados Ridge Complex revealed by Gloria long-range sidescan sonar. *Marine Geol.*, v. 49, 187-196.
- Sugisaki, R., Suzuki, T., Kanmera, K., Sakai, T., and Sano, H., 1979: Chemical composition of green rocks in the Shimanto belt, southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan.*, v. 85, 455-466.
- Suppe, J., 1973: *Geology of the Leech Lake mountain-Ball Mountain region, California*. California Univ., Pub. Geol. Sci. v. 107, 82.
- Suzuki, T., 1988: Geochemistry of metabasalts in the Shimanto Belt. in Taira, A., and Ogawa, Y., (eds.), *The Shimanto Belt, Southwest Japan: Studies on the Evolution of an Accretionary Prism*, *Modern Geol.*, v. 12, 225-242.
- , and Hada, S., 1979: Cretaceous tectonic melange of the Shimanto belt in Shikoku, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 85, 467-479.
- , —, 1983: Accretionary melange of Cretaceous age in the Shimanto Belt in Japan. in Hashimoto, M., and Ueda, S. (eds.), *Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions*, 219-230, *Tera Sci. Pub. Comp.*, Tokyo.
- Tabor, R. W., and Cady, W. M., 1978: The structure of the Olympic Mountains, Washington: Analysis of a subduction zone. *Geol. Surv. Prof. Paper*, no. 1033, 1-38.
- 平 朝彦・田代政之・岡村 真・甲藤次郎, 1980: 高知県四万十帯の地質と起源. 平朝彦ほか編「四万十帯の地質学と古生物」, 甲藤次郎教授還暦記念論文集, 林野弘済会高知支部, 319-389.
- Taira, A., Okada, H., Whitaker, McD. J. H., and Smith, A. J., 1982: The Shimanto Belt of Japan: Cretaceous-lower Miocene active-margin sedimentation. in Leggett, J. K. (ed.) *Trench-Forearc Geology*. Geol. Soc. London Spec. Pub., no.10, 5-23.
- 土谷信之・坂井 卓・勸米良龜齡, 1979: 九州耳川中流域における四万十帯緑色岩の産状と岩石学的特徴. *地質学雑*, v. 85, 445-454.
- von Huene, R., 1985: Direct measurement of pore fluid pressure, Leg 84, Gatemarla and Costa Rica. in von Huene, R., and Auboin, J., et al., (eds.), *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project: Washington, D. C.*, U. S. Government Printing Office, v. 83, 767-772.

- Watkins, J. S., and others, 1981: Accretion, underplating, and tectonic evolution, Middle America Trench, south Mexico: Result from Leg 66 DSDP, in Blanchert, R., and Montadert, L., (eds.), *Geology of Continental Margins*. Int. Geol. Congr., 26th, Paris, Colloque 3, *Oceanologica Acta*, 213-244.
- Weiss, L. E., 1972: *Minor Structures of Deformed Rocks*. Springer-Verlag, 431p.
- Westbrook, G. K., Smith, M. J., Peacock, L. M., and Poutewr, M. J., 1982: Extensive underthrusting of unconsolidated sediment beneath the accretionary complex of the Lesser Antiles subduction zone. *Nature*, v. **300**, 625-628.
- , Masle, A., and Biji-Dual, B., 1984: Geophysics and structure of the Lesser Antiles forearc. in Biji-Dual, B., Moore, J. C., and others (eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*: Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, v. **78 A**, 23-38.
- White, R. S., 1982: Deformation of the Makran accretionary sediment prism in the Gulf of Oman (north-west Indian Ocean). in Leggett, J. K. (ed.), *Trench-Forearc Geology*. Geol. Soc. London Soc. Pub., no. 10, 357-372.
- Williams, P. R., Pigram, C. P., and Dow, D. B., 1984: Melange production and the importance of shale diapirism in accretionary terrains. *Nature*, v. **309**, 145-146.
- Wood, D. S., 1974: Ophiolites, melanges, blue schists, and ignimrites: Early Caledonian subduction in Wales? in Dott, R. H., Jr, and Shaver, R. H., (eds.), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Pub., no. 19, 334-342.