

フランシスカンコンプレックスの見聞録

木村克己¹⁾

はじめに

付加コンプレックスからなる四万十帯や美濃-丹波帯を研究している私にとって、フランシスカンコンプレックスは見たくてしかたがなかった対象であった。IGC野外巡検「サンフランシスコ周辺の地質」(T 105)に参加することで、初めて接することができた。巡検地域に含まれるサンフランシスコ半島は、フランシスカンの模式地とされ(Lawson, 1895), メランジュとして始めてフランシスカンの地質図が作成・公表された(Hsu and Orhomb, 1969)場所であった。こうした意味で今回の巡検はフランシスカンを知る上で絶好の機会であったといえる。

同巡検は6月30日夜集合, 7月7日昼解散までの8日間にわたっておこなわれ, 白亜紀から古第三紀の付加体であるフランシスカンコンプレックスと, 同時代の前弧盆の堆積体とされるグレートバレー層群, 中新世以降のトランスフォームテクトニクス下で堆積したモンテレイ・サンパブロ・コントラコスタの各層群, 右横ずれ活断層であるサンアンドレアス断層・ヘイワールド断層, 地形の形成史及び応用地質などの幅広い内容を含むものだった(第6図の巡検ルートを参照)。参加者は西ドイツ1, イギリス1, 南アフリカ1, オーストラリア2, バングラデッシュ1, カナダ1そして日本5の12名で, 案内者はアメリカ地質調査所の Clyde Wahrhaftig 氏がリーダーで, スタンフォード大学, カリフォルニア大学バークレイ校, カリフォルニア州立大学などの研究者が加わり, 総勢20人以上になった。その中にはスタンフォード大学の R. G. Coleman 氏, B. M. Page 氏, J. G. Liou 氏などの日本でもよく知られた研究者も加わっていた。

巡検の準備は極めて用意周到なもので, 初日の夜には, 懇親会を兼ねてサンフランシスコ周辺の地質のガイダンスがおこなわれた。各露頭での説明では, 現在研究している若手ないし中堅研究者がアップトゥーデートの資料

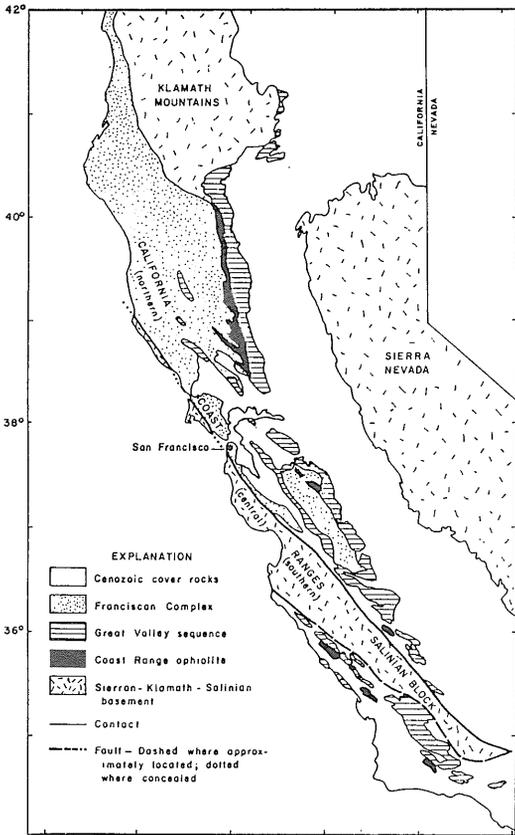
を提示して説明し, 老大家がそれをフォローするという, 両者がうまくドッキングする形で行われた。その他, 巡検中のスナックの用意, くつろげる昼食地点の設定, レッドウッドの公園やナパバレイのワイナリーなどの名所見学など, 参加者が楽しめる工夫も十分にされていた。ただ, フランシスカンの巡検地が国立ないし州立公園内であることが多く, 自由にハンマーをふるうことができなかったのは残念だった。巡検の内容は上記に示したように多岐にわたるが, 私が最も関心をもっているフランシスカンコンプレックスに的を絞って, 巡検の内容とともにその研究の概要を紹介する。本報告が, フランシスカンについて従来の文献では知ることのできない一端を紹介でき, 理解の一助になれば幸いである。

なおフランシスカンの特集号“Franciscan geology of northern California” Blake, M. C., Jr., 編が1984年に公表された。巡検でのフランシスカンの研究内容の大半はこの論文集に盛り込まれている。また, 巡検資料として, IGC巡検ガイドブック“Geology of San Francisco and vicinity” Wahrhaftig and Sloan 編, “A street car to subduction and other plate tectonic trip by public transport in San Francisco” (Wahrhaftig, 1984b) が用意された。以下のフランシスカンの研究概要の紹介はこれらの文献を基礎にしている。

サンフランシスコ周辺の地質概要

サンフランシスコ周辺では, 北西-南東に走る海岸線方向に平行に, 中新世より古い各地質体が帯状配列をなして分布する(第1図)。東から西に, シェラネパダークラマス山塊を占める先白亜紀の変成岩類と中生代の酸性火成岩類, グレートバレーの西にそって広がるグレートバレー層群, カリフォルニア南部からオレゴンにかけて南北900kmにわたって延長するフランシスカンコンプレックス, そしてその西縁を切るサンアンドレアス断層

1) 地質調査所地質部



第1図 カリフォルニア北部の地質概要図 (Jayko et al., 1987より)

の西側には、シラネバダ山塊の地質に対比しうるサリニアテレーン、さらにその南西方にフランシスカンコンプレックスがそれぞれ分布する。サンアンドレアス断層以西の地質体は、白亜紀後期以降の大規模な右横ずれ変位によって定置したものとされている。これら同時代のフランシスカンコンプレックス、グレートバレー層群、そしてシラネバダの酸性火成岩類の配置は、それぞれ付加体、前弧海盆そして火山弧として現世の弧-海溝系(arc-trench system)とよく類似した古地理をなすものととらえられている(第2図, Ingersoll, 1978, Wahrhaftig,

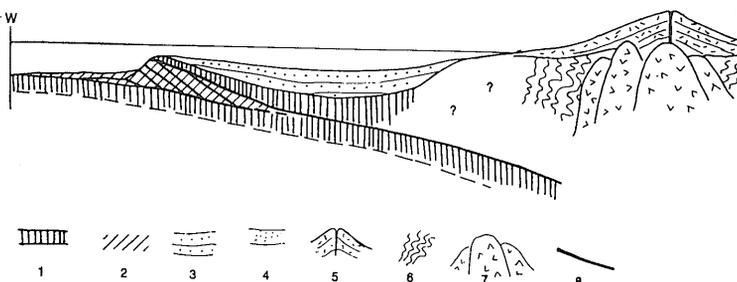
1984b)。

フランシスカンコンプレックスの地質

フランシスカンコンプレックスは、沈み込み収束帯のテクトニクスを特徴づけるメランジュとラン閃変成作用の代表的な地質体として世界的に有名である。メランジュは、種々の岩石が破壊され、混在化した地質体を示す用語として、Hsu (1968) によってフランシスカンコンプレックスに導入されて以後、沈み込み帯の地質を特色づけるものとして世界に普及した。特に低温高圧下での変成作用を受けた青色片岩の岩石がどのようにして、ブロックとして含まれるようになったかについては、長い間論争があり、現在もその渦中にあるが、その中でメランジュの種々の形成モデルが展開された。これらは世界のメランジュ研究に大きな影響を与え続けてきた。

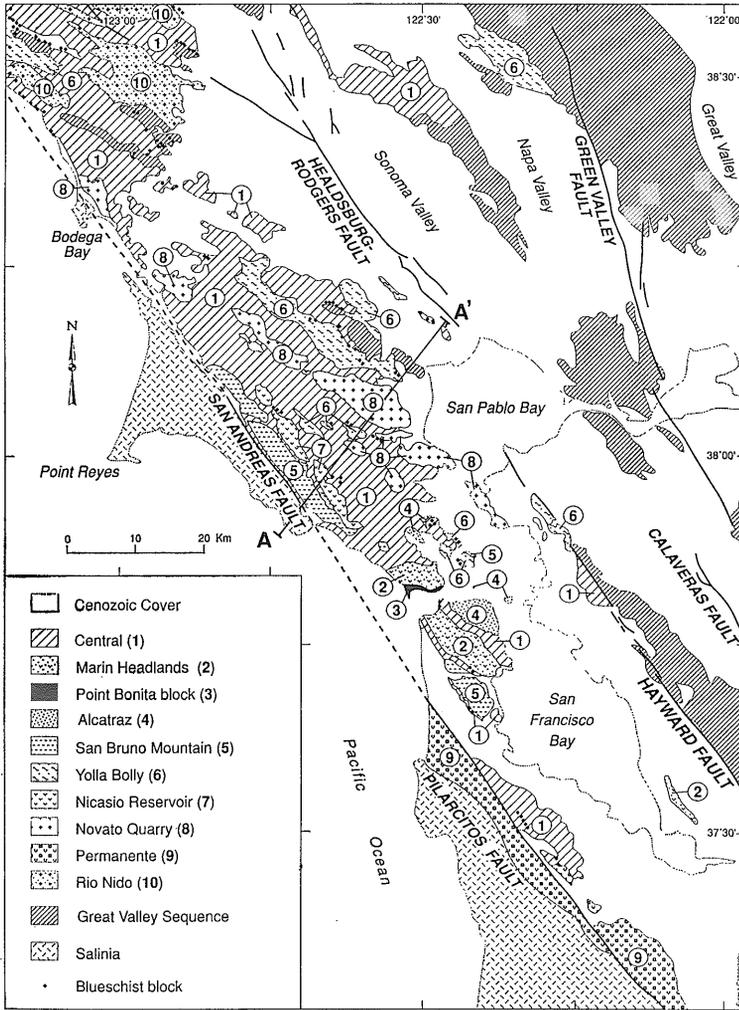
例えば海溝内側斜面が初めに崩壊して海溝にオリストストロームが堆積し、引き続き沈み込みによって強い変形を受けたとする二段階メランジュ説(Cowan, 1978; Page, 1978)、衝上断層の基底部付近で、強い剪断変形によって岩石の破断と混合が生じたとするテクトニックメランジュ説(Hsu, 1971)、そして沈み込み帯にそって、付加された泥質堆積物が上向きに延性流動することによってメランジュが形成されるとするフロームランジュ説(Cloos, 1982)、などが提案されている。なお、メランジュの定義・研究史やその成因に関する諸問題については、構造地質研究会誌34号に詳しく特集されているので参照していただきたい。

サンフランシスコ周辺では、フランシスカンコンプレックスは10のテレーンに区分されている(第3図, Blake et al., 1984)。各テレーンはそれを構成する岩石の岩相、年代、変形・変成作用の特徴と相違に基づいた構造層序ユニット(tectonostratigraphic unit)として定められたものである。これらのテレーンのなかで、最も広範囲に分布するセントラルテレーン(Central terrane)はメランジュからなるユニットで、その他のテレーンは比較的



第2図 グレートバレー層群とフランシスカンコンプレックスの古地理的關係を示す断面図 (Ingersoll, 1978)

1. 海洋地殻またはオフィオライト,
2. フランシスカンコンプレックス,
3. グレートバレー層群,
5. シラネバダの白亜紀火山岩類,
6. シラネバダの先白亜紀変成岩類,
7. シラネバダの中生代深成岩類,
8. 衝上断層

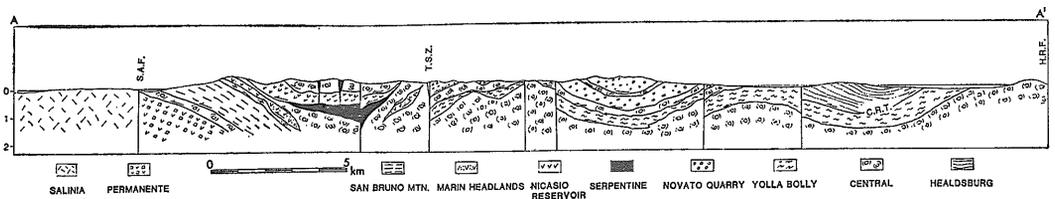


第3図 サンフランシスコ周辺のテレーン地質図(Blake et al., 1984 及び Wahrhaftig and Sloan, 1989より)

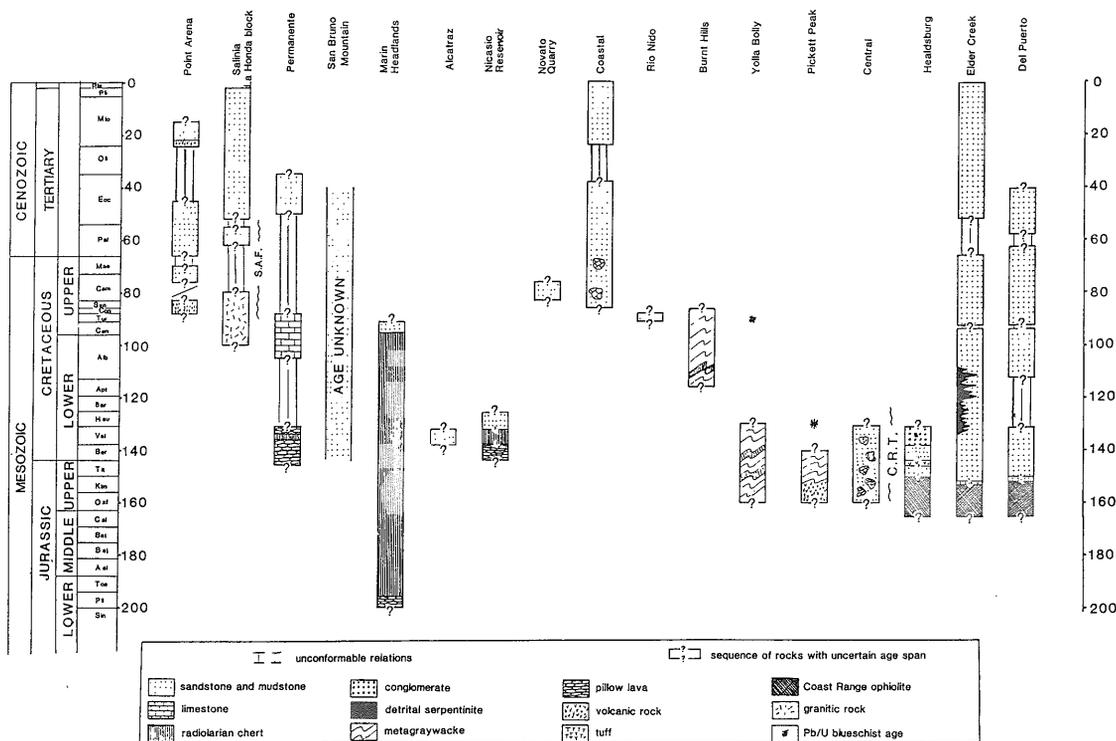
地層の層理や累重関係が保存されている地質体からなり、セントラルテレーンに包まれる大きなユニットをなしている。地層は全体に北西-南東方向で、半波長5km程の開いた北西-南東方向の正立褶曲構造をなして、東または西に30~70°傾斜している(第3・4図)。東部ではフランシスカンコンプレックスの構造的上位にそれと同時代のグレートバレー層群がコーストレンジスラスト

(Coast Range Thrust)を境にして重なっている。このスラストにそって、グレートバレー層群の基底部をなすコーストレンジオフィオライトが分布する(第1図)。

次にフランシスカンコンプレックスの地質年代の概要について述べる。第5図に Blake et al. (1984)による各テレーンの柱状図と年代の総括図を示す。同図の右端の三つはグレートバレー層群のものである。各テレーン



第4図 フランシスカンコンプレックスの地質断面図(断面図の位置は第3図参照, Blake et al., 1984より)
C. R. T : コーストレンジスラスト



第5図 各テレーンの地質柱状と年代 (Blake et al., 1984より)

毎に岩相や年代が異なっているが、フランススカン全体の地質年代を整理すると、チャートや石灰岩などの遠洋性堆積物の年代がジュラ紀前期から白亜紀最後期のマストリヒチアン、タービダイトなどの陸源砕屑岩はジュラ紀後期のチトニアンから始新世までの年代を示す。

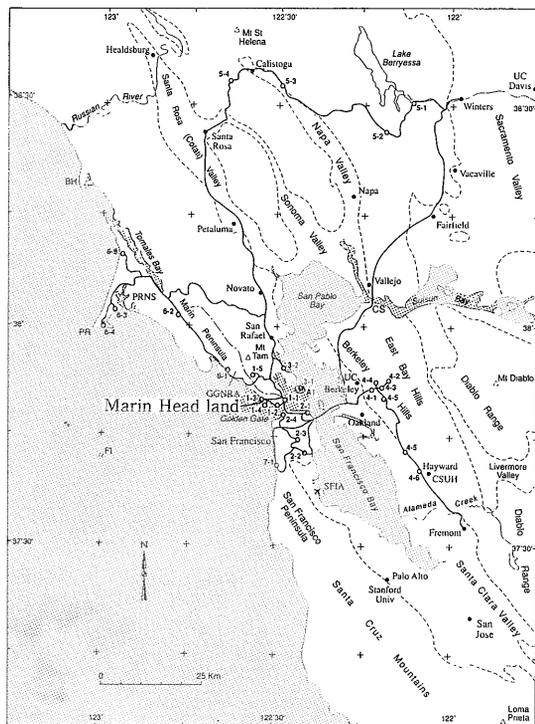
遠洋性堆積物は放散虫・浮遊性有孔虫などの微化石 (Murchey and Jones, 1984; Sliter, 1984), 砕屑岩では大型化石に基づいて主に年代が決定されている。青色片岩の Pb/U 年代では、ピケットピークテレーンから、130Ma (Lee et al., 1963), ヨーラボリーテレーンからは 92Ma (Mattinson and Echeverria, 1980) の両年代値の報告がある (第5図)。また、蛇紋岩メランジュに含まれるテクトニックブロックの絶対年代値として、青色片岩から 160Ma (Mattinson, 1981), エクロジャイトブロックから高温変成作用の時期を示すオンファサイトの年代 171 ± 2 Ma, 低温変成作用の時期を示す白雲母-緑泥石の年代 149 ± 8 Ma (Coleman and Lanphere, 1971) が報告されている。

以上の年代資料によると、初めのイベントは170~150 Maのジュラ紀中・後期頃でオフィオライトを主とする岩石が高温の変成作用と引き続き低温の変成作用を受けた。これらの岩石の多くは蛇紋岩メランジュ中のテクト

ニックブロックとして産出する。

ジュラ紀最後期のチトニアンから古第三紀始新世にかけては、陸源砕屑岩と海洋プレートメンバーの遠洋性堆積物と玄武岩とが付加するフランススカンコンプレックス形成の主要な時期で、少なくとも2度の低温高圧のラン閃変成作用が生じている。なお、白亜紀前期のオウテリビアンからアルビアン前期に相当する砕屑岩がないことや、当時前弧海盆であったグレートバレー群層には蛇紋岩の砕屑物が供給されていることは興味深く(第5図)、この間プレート運動に変化があったことが推定される。

テレーンの構造的上下の年代配列では、第4図の断面図の位置でみると、構造的上位から下位へ、ノバトクォリー・ヨーラボリー・ニカシオリザーバー・マリンヘッドランド・サンプルノ・パーマネントの各テレーンの順で、初めのノバトクォリーを除いて、砕屑岩の年代が順次若くなるという傾向が認められる (第5図)。セントラルテレーンについては、Blake et al. (1984) はすべてのメランジュを一つのテレーンとして一括しているが、地域によってブロックの岩相・年代・変形の度合いが異なり、日本の美濃-丹波帯や四万十帯の構造区分の傾向からみると、いくつかの構造ユニットに細分できるものと



第6図 サンフランシスコ周辺の露頭位置図 (Wahrhaftig and Sloan, 1989より)

図中数字について、たとえば2-4は2日目の地点4を意味する。太線は巡検ルートを示す。

AI: エンジェル島

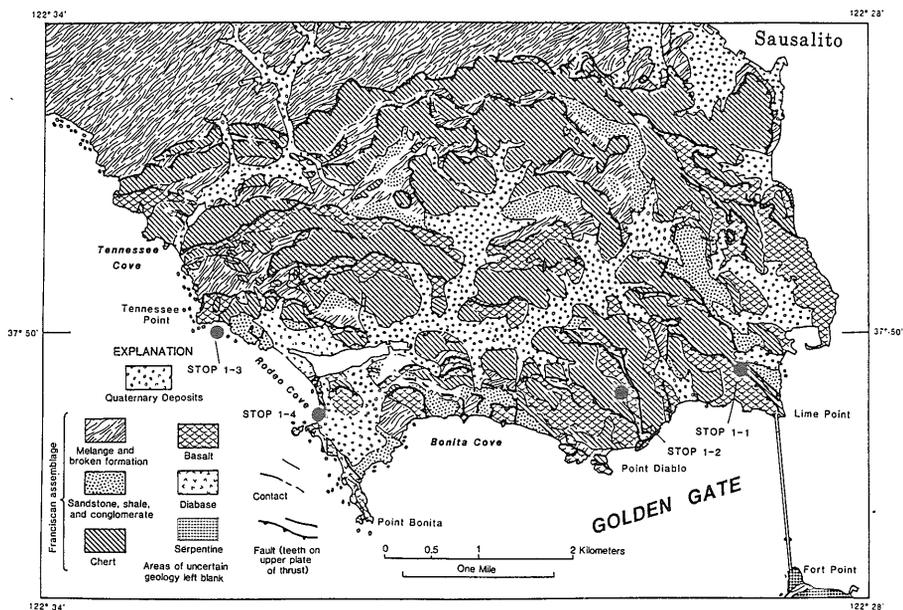
思う。

巡検コース

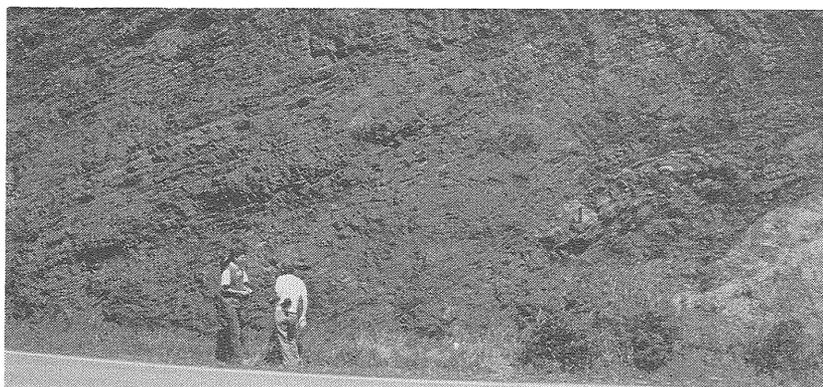
巡検では初日から3日間、フランシスカンコンプレックスを見学した。巡検ルートは、初日にサンフランシスコから金門橋をわたってすぐのマリン岬(第6図の1-1~1-4, 口絵1)において、マリンヘッドランドテレーンを、二日目はサンフランシスコ市内で、コイトタワー(第6図の2-1)、トゥィンピーク(第6図の2-3)、金門橋南西方のペーカー浜(第6図の2-4, 口絵1)などの有名観光地で、アルカトラズ、サンプルノ、セントラルの各テレーンを、そして三日目にはサンフランシスコ湾に浮ぶエンジェル島(第6図の3-1)のヨールボリーテレーン、その北のティブロン半島(第6図の3-2)でセントラルテレーンの蛇紋岩メランジュをそれぞれ観察した。以下巡検の内容を各テレーン毎にまとめて紹介する。

マリンヘッドランドテレーン

同テレーンは覆瓦構造をなす7つ以上のスラストシートから構成される。それぞれのスラストシートは厚さ200-500mで、下位から玄武岩溶岩・層状チャート・成層砂岩の上方粗粒化シークェンスをもっている(第7図, Wahrhaftig, 1984a)。フランシスカンのなかで、このような覆瓦構造はマリンヘッドランドテレーンにおいて最も典型的に発達しているといえるだろう。層状チャートについて詳細な放射虫化石による生層序学的研究がなされ



第7図 マリン岬の地質図 (Wahrhaftig, 1984aより) stop 1-1から1-4は巡検地点を示す。



第8図 玄武岩とその上位に重なる層状チャート（マリン岬）
層状チャート下部のJはジャスペーを示す。

ており、堆積層厚 82m と見積もられ、ジュラ紀最前期（プリンスバキアン）から白亜紀中頃（アルビアン後期またはセノマニアン前期）までの年代範囲が認められている（Murchey, 1984）。

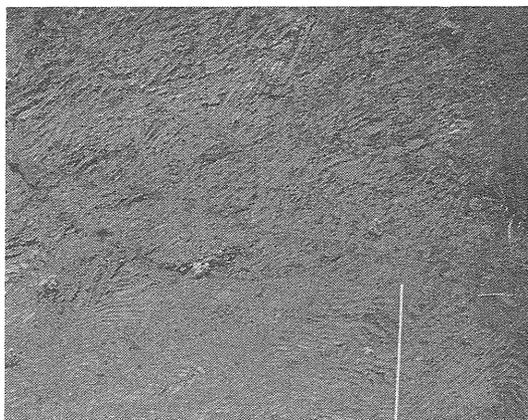
巡検では、マリン岬（第6・7図の1-1~1-4）とトウインピーク（第6図の2-3）において、各岩相及びそれらの累重関係、そしてチャートに発達する褶曲構造などを観察した。説明は Wahrhaftig 氏が全般にわたって行い、チャートの岩相・年代について Murchey 女史（アメリカ地質調査所）、玄武岩について Shervais 氏（南カロライナ大学）が行なった。

マリン岬の海食崖にそって、玄武岩-チャート-砂岩シークエンスの連続した岩相を遠望することができた（口絵3）。玄武岩溶岩から上位の層状チャートにいたるセクションを道路の切り割で観察した（第8図）。そこでは両者の境界ですべてだったが、チャートには規則的な垂直岩相変化が保存されている。層状チャートの下部は Fe と Mn に富んだ、チョコレート色のチャートからなり、溶岩との境界付近に白色・塊状で強く膨縮するジャスペー（第8図のJ）が伴う。上部では上方へチャート層の層厚が薄くなり、ジュラ-白亜紀境界付近には、放散虫化石を含まない白色の再結晶チャートが発達する。このようなチャートシークエンスの存在は、玄武岩の上位に層状チャートが整合に重なっていたことを指示するだろう。Murchey 女史の説明では、チャートシークエンスは赤道近くの古太平洋、おそらく海嶺上で堆積が始まり、その後も北方へ移動する海洋プレート上であって低緯度地域において累積したものであり、下部のチャートは玄武岩質火山活動と関連した熱水の影響を受けたものとしている。上部の再結晶チャートの成因はよくわかっていない。

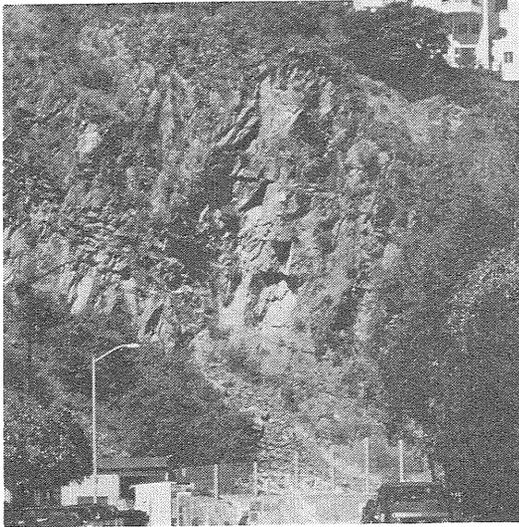
層状チャートと上位の成層砂岩との関係については観察する機会がなかったが、Murchey 女史によれば砂岩

が層状チャートの層理を削って累重したり、チャートを取込んだりしており、両者の整合関係は間違いがないとのことであった。ただ、層状チャートの上位には半遠洋性堆積物の珪質頁岩や黒色頁岩が極めて少なく、これらを欠いて直接砂岩がチャートにかさなる場合があるというのは特徴的である。

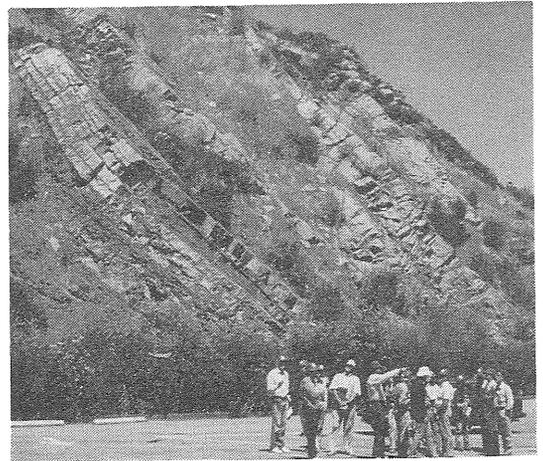
層状チャートには見事な褶曲（第9図、口絵4）が発達している。これまでしばしば論文にも引用されている露頭もあり印象的だった。Wahrhaftig 氏が1984年の論文で、マリン岬においてチャートの褶曲の方位やフェルゲンツを検討し、褶曲軸が東西方向に集中し殆ど北フェルゲンツを示すことを明らかにしている。褶曲の運動方向そのものは、フランススカン形成時の沈み込み方向と 90° 以上斜交しているが、それは後の時計回りの回転によることが、古地磁気学的研究で示されている（Curry et al., 1984）。褶曲の形態は丸みの少ないヒンジ部と、フラットな翼部をもつシェブロンないし一部共役形をなしている（第9図、口絵4）。また、しばしば褶曲と同時



第9図 層状チャートの褶曲構造（マリン岬）
スケールバーは 2 m.



第10図 アルカトラツテレーンの厚い成層砂岩の露頭
(サンフランシスコ, コイトタワー下)



第11図 サンプルノテレーンのフレッシュタイプのタービダイト (サンフランシスコ)

期の層理に平行なすべり面が認められた。Wahrhaftig氏はチャートの褶曲やそれに関連する変形はすべて付加の際の構造変形であると説明した。層状チャートの褶曲構造は日本の美濃-丹波帯や四万十帯にも普遍的にみられる変形構造であり、付加テクトニクスを反映し、その運動像や形成条件を解析する手がかりになるものと期待される。

海岸で見た枕状溶岩は非常に新鮮であり冷却に伴う亀甲状の割れ目や急冷縁、溶岩の分岐状の流動構造などが良く観察できた(口絵2)。しかし、内陸部では完全に風化され、枕状構造さえも分からない状態であった(第8図)。

アルカトラツテレーン

同テレーンは主に厚い成層砂岩からなり、白亜紀前期バラングニアンを示す浅海性の二枚貝が産出している(Blake et al., 1984)。

コイトタワー下の崖の露頭(第6図の2-1)で観察した。成層砂岩は2-3m厚で成層し、10-50cmの頁岩を挟んでいる(第10図)。一般に層理面は剪断変形を受け、層理面でのすべりや一部層理面の破断が生じている。砂岩は長石質で白雲母を含む比較的淘汰の良い中粒砂岩であった。この露頭では応用地質の説明もなされた。第10図のような市内の住居密集地でさえ、サンフランシスコでは道路の切り割や崖をフェンスやセメントでカバーしたりはしていない。日本とは異なり、市内の美観を守るといった考えが強いように思われる。

サンプルノテレーン

同テレーンは主にフレッシュタイプのタービダイトか

らなり、砂岩は石英とカリ長石に富む長石質砂岩であるとされている(Blake et al., 1984)。化石の産出がなく時代は未定だがWakabayashi氏(スタンフォード大学)は、砂岩の鉱物組成、変形・変成が弱いこと、フランシスコでは構造的下部に位置することなどから、サンプルノテレーンの年代が白亜紀最後期から古第三紀頃になると推定している。

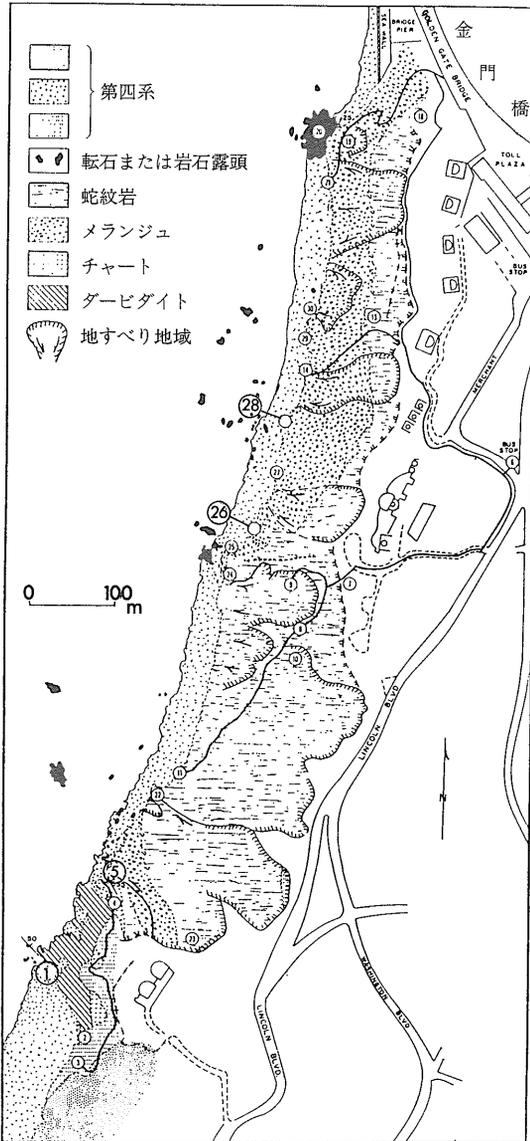
巡検ではサンプルノ山北方の駐車場の切り割の露頭(第6図の2-2)を観察した。切り割の下部50m程は律動的で整然としたタービダイト(第11図)からなるが、上部50m程は層理が破断し、リーデルシアや砂岩レンズのデュープレクス構造が発達する破断相を呈していた。

興味深かったのは、破断の様式に基づく剪断変形のセンスが上盤が下がる方向であり、フランシスコ全体の剪断方向とは逆行していたことである。このような逆行する剪断変形のセンスは、トウソンピークでのマリンヘッドランドテレーンの層状チャートに発達する褶曲構造にも見られた。

セントラルテレーン

メランジユからなるテレーンで、他のテレーンを包有し、メランジユ基質は剪断された砂岩頁岩互層と緑色の含放射虫凝灰岩からなり、大小のブロックを含むとされている(Blake et al., 1984)。ブロックにはジュラ紀前期-白亜紀中頃の年代を示す層状チャート(Murchey and Jones, 1984)、緑色岩、アルビアン後期からコニアシアン前期の遠洋性石灰岩(Sliter, 1984)、そして高度変成岩の青色片岩、角閃岩、エクロジャイトなどが含まれる。

巡検地点は、金門橋南西方にあるベーカー浜(第6図



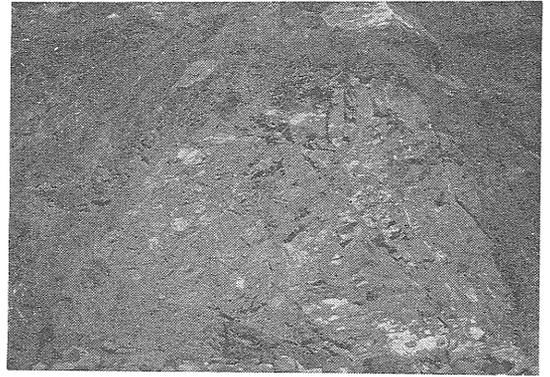
第12図 ベーカー浜付近の地質図 (Wahrhaftig, 1984より)

の2-4)と、ティブロン半島のリング山地(第6図の3-2)の2ヶ所であった。

ベーカー浜には、剪断された砂岩・頁岩を基質とするメランジューと蛇紋岩体が分布する(第12図)。メランジューはぶどう石-パンペリー石相の変成作用を受けている。蛇紋岩体は片状の蛇紋岩とそれに含まれる角閃岩・青色片岩などのブロックからなり、厚さ100m程で南北走向で東へ緩く傾斜している(Wahrhaftig and Sloan, 1989)。蛇紋岩体の構造は北西-南東走向で北傾斜を示すメランジューのフォリエーションと斜交している。

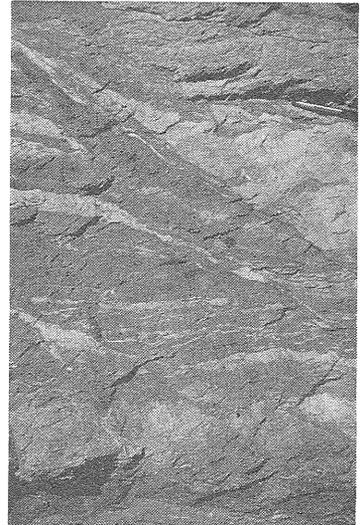
巡検での観察によると、メランジューとされたユニット

1990年1月号



第13図 破断された砂岩頁岩互層(ベーカー浜)

中央部に厚さ3mの砂岩の孤立したレンズが見られ、それを破断した薄層理の砂岩頁岩互層がとりまいている。



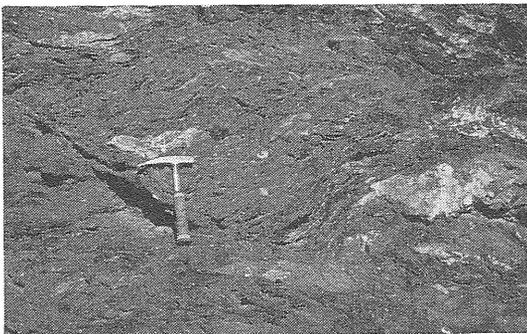
第14図 破断された薄層理砂岩頁岩互層(ベーカー浜)

砂岩には膨縮構造とリーデルシアによるレンズ化が発達する。

には破断された砂岩頁岩互層からなる破断相が卓越し、まれに黒色頁岩を基質とし玄武岩や砂岩のレンズを含む混在岩や、チャート・玄武岩のシート状の岩体が挟まれている。砂岩頁岩互層の砂岩には、層理に平行な展張による膨縮と層理に斜交するリーデルシアによる菱形のレンズ化が普遍的に見られる(第13・14図)。これらの変形構造で砂岩がレンズ化しているものと思われる。頁岩には鱗片状フォリエーションが発達する。観察した混在岩(第12図の地点28)は、厚さ5mで、鱗片状フォリエーションが発達した黒色頁岩を基質として、径1-2mの石灰岩角礫を含むハイアロクラスタイトや玄武岩溶岩、



第15図 玄武岩ブロックを含む混在岩（ペーカー浜）



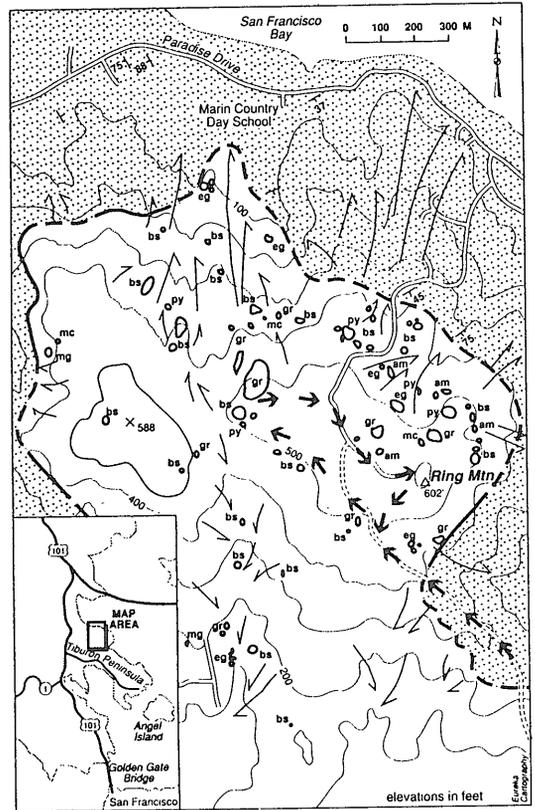
第16図 混在岩の泥質基質（第15図の近接写真）

混在岩は、鱗片状のフォリエーションが発達した泥岩基質と砂岩・玄武岩のレンズからなる。頁岩基質のフォリエーションは左上から右下にかけてのシアーバンドにより変形を受けている。

径数 cm の砂岩ブロックを含む（第15・16図）。これらはその上位で破断された砂岩頁岩互層と密着コンタクトしているように見える。シート状の玄武岩・チャートは、断層で砂岩頁岩互層と接して産出するものである（第12図の地点1～5の地域）。巡検ではその産状の観察は出来なかったが、第12図の地質図をみると玄武岩-チャート-砂岩頁岩互層というシークエンスの重なりがみかけ上保存されているので、元来一連のシークエンスの累重関係が断層で分断されたものであろう。また蛇紋岩と破断された砂岩頁岩互層との接触関係が観察できた。

その露頭は蛇紋岩体と砂岩頁岩互層の境界のすぐ北側にあたり（第12図の地点26）、厚さ1-2mの蛇紋岩シートが破断された砂岩頁岩互層のフォリエーションに平行に侵入している（図説5）。蛇紋岩の産状はその侵入が砂岩頁岩互層の破断変形の後で生じたことを示している。

リング山地では、砂岩・頁岩からなるアルカトラツテ

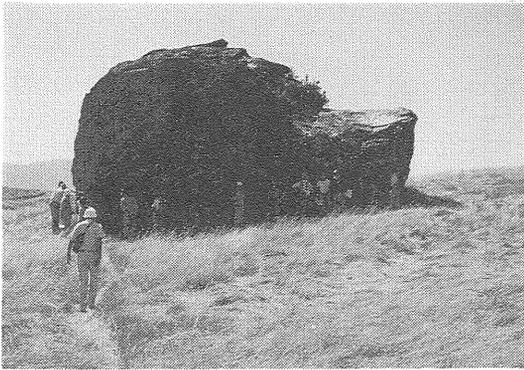


第17図 ティブロン半島リング山地の地質概略図（Wahrhaftig and Sloan, 1984より）

コンターは61m間隔。影の入った地域はアルカトラツテレーンの砂岩・頁岩、空白域は蛇紋岩メランジュ。テクトニックブロックの岩相 am. 角閃岩；bs. 青色片岩；eg. エクロジャイト；gr. 緑色岩；mc. メタチャート；mg. メタグレイワッケ；py. 輝石岩；矢印は地滑りブロックの移動方向を示す。

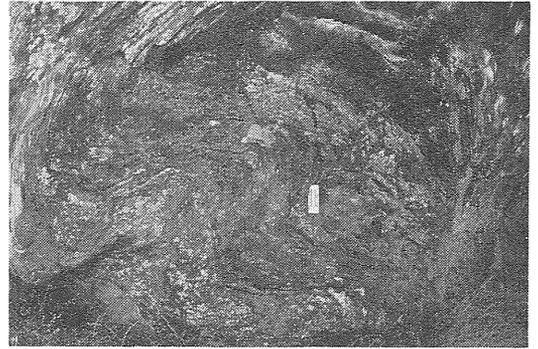
レーンの上位に重なる蛇紋岩メランジュが分布する。蛇紋岩メランジュは厚さ500mで、低度変成岩から高度変成岩にわたる数多くのブロック、青色片岩・角閃岩・エクロジャイト・玄武岩・メタチャート・メタ砂岩などが含まれる（第17図, Wahrhaftig and Sloan, 1989）。Liou氏と Wakabayashi氏は変成度の高いブロックは、始めに高温の変成作用、そして後で低温高圧のラン閃変成作用を受けていると説明した。

巡検では第18図aの径10mの青色片岩ブロックまで30分ほど、途中いくつかのテクトニックブロックを見たり、景色を楽しみながら山道を歩いた。リング山地はなだらかな草原で、軟らかい蛇紋岩基質の部分は草に覆われた平坦面をなし、堅いブロックの部分はこぶ状に突出している（第18図a）。リング山地は、ローソン石のタイプ地域とされており、また様々なテクトニックブロックが産することから地質そのものが保存されている。そ



a.

第18図 a : 蛇紋岩メランジュの平坦な地形とこぶ状の突起
(ティロン半島リング山地)
地形の平坦な所は蛇紋岩基質からなるところで、
こぶ状の突起は浸食に強い青色片岩・エクロジヤイト



b.

などのブロックからなる。写真左上の大きなブロック
は径10mの青色片岩であり、そのまわりに人が集って
いる。

b : 流動褶曲が発達した青色片岩

のためハンマーの使用も含めて岩石採取が禁止されている。たどりついた青色片岩は玄武岩質凝灰岩を原岩とするもので閉じた流動褶曲(第18図b)が発達し、厚さ 2-5 cm の蛇紋岩のシルが進入していた。Liou 氏、中国からの留学生とあと数人で、蛇紋岩シルと褶曲構造との関係が議論になった。シルはブロックがいつ蛇紋岩に取込まれたかを示すものとして意味がある。褶曲に関連した剪断変形を受けていることから、褶曲に先行するとする意見が強かったが、小教意見として私はシルは流動褶曲をなしていないので褶曲の後の可能性が強いと思った。

ヨーラポリーテレーン

同テレーンは、主にタービダイトからなり、層状チャートや玄武岩を伴い、変成した斑れい岩やドレライトの貫入岩がある。そして、スラストや同斜褶曲が発達し、ラン閃変成作用を受けている (Blake et al., 1984)。

砂岩からはジュラ紀最後期(チトニアン)と白亜紀前期(バランギニアン)の年代を示す大型化石 (Blake and Jones, 1974) が、層状チャートからは上記とほぼ同年代の放射虫化石 (Murchev and Jones, 1984) が、青色片岩の変成年代として U/Pb 年代 92Ma (Mattinson and Echeverria, 1980) がそれぞれ報告されている。また興味深いことに、層状チャートが砂岩と堆積的に互層し、このテレーンのチャートは大陸縁辺で堆積したものとされている (Murchev and Jones, 1984)。

観光船でエンジェル島(第6図の3-1)にわたり、ヨーラポリーテレーンの成層砂岩・結晶片岩・蛇紋岩を観察した(第19図)。エンジェル島は保養地になっていて、ハイキング・釣・バーベキューを楽しむ家族が大勢いた。

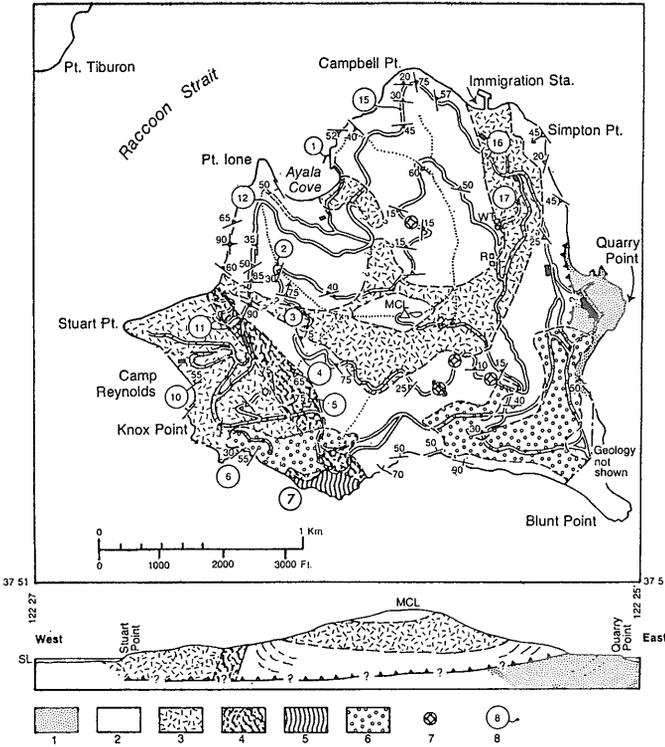
道ぞいの地点12(第19図)で成層砂岩を観察した。成層

砂岩の片理面は弱く、せいぜい準片岩であり、感覚的にもラン閃変成作用を受けた砂岩には見えなかった(第20図)。一部に礫岩が挟まれ、それには青色片岩の礫も含まれるとのことだった。

エンジェル島南西部には、テクトニックブロックを含む幅 150m の蛇紋岩体が砂岩と玄武岩の境界に沿って北西-南東方向に侵入しており、その南西端にはチャート・遠洋性赤色泥岩・玄武岩・砂岩を原岩とする結晶片岩が産出する(第19図地点7)。地点5(第19図)の蛇紋岩の露頭では、Coleman 氏が蛇紋岩の形成とそのテクトニックな役割について次のような説明を行なった。この蛇紋岩の例のように、フランシスカンでは蛇紋岩は平板状をなして、しばしば衝上断層の基底部や他の構造的境界をしるし、延性的な蛇紋岩基質に変成岩や堆積岩などのテクトニックブロックを構造的に含有している。そして蛇紋岩はその鉱物組合せから判断して、上部マントルの枯渇したテクトナイトハルツバージャイトとダナイト起源である。こうした蛇紋岩の起源については、中生代プレートの収束に関係して海洋地殻が蛇紋岩化し、その結果、劇的に非常に比重が小さく、延性的で動きやすい蛇紋岩が形成され、フランシスカンの付加体の構造的弱線に沿って侵入したのものであるとした。蛇紋岩の進入時期についてはいくつか異なる見解があるように思える。

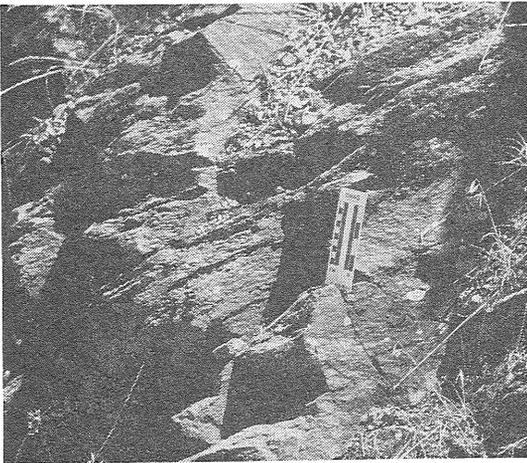
おわりに

今回の巡検は、フランシスカンコンプレックスを3日間という短期間で垣間見るものであったが、おかげでこれまでになくフランシスカンが身近なものに感じられるようになった。それはフランシスカンが日本の美濃-丹



第19図 エンジェル島の地質図と断面図 (Wahrhaftig, 1984より)

1. アルカトラツテレーンの非変成の砂岩と頁岩, 2-5. ヨーラボリーテレーン, 3. 玄武岩, 4. 蛇紋岩, 5. 結晶片岩, 6. コールマ果層 (新第三系ないし第四系), 7. 水平な片理面, 8. 露頭番号.



第20図 ヨーラボリーテレーンの砂岩 (エンジェル島) 砂岩には弱い片理しか見られないが、この砂岩はラン閃変成作用を受けている。

波帯や四万十帯に比較して、付加コンプレックスとしての基本的骨格や構造変形像が同じであることを実感し、フランシスカンに従事している研究者との交流を通じて、共通した研究課題や困難さを知ることができたためである。簡単にいえば、日本と良く似た岩相や変形構造を見て、現地の研究者と露頭の前で議論できたからといえる。

沈み込み付加テクトニクスの典型とされたフランシスカンを含めた北米西岸カリフォルニアの造構史も、海洋プレートが北米プレート下へ沈み込むことによって arc-trench system が作られたとする1970年代の単純なものから、1980年代に入って、複数の島弧の付加、大陸縁にそったテレーンの北方への大規模な走向移動とその付加合体など、斜め沈み込みとトランスフォーム断層の活動そしてマイクロプレートの生成など、プレート収束縁での複雑な造構史が提案されており、新たな問題が出てきている。例えば、グレートバレー層群とフランシスカンコンプレックスは両者が arc-trench system を構成するものでなく、互に本来遠く離れた所で形成した後で付加合体したとする説がある (Blake and Jones, 1981)。メランジュの形成機構やプロセス、青色片岩ブロックの混入の機構についても、こうした複雑なプレート運動史を基礎にして再検討されてくるように思う。

現在、美濃 - 丹波帯や四万十帯を始めとする日本の付加コンプレックスの造構史についても、メランジュの成因を含め、単純な沈み込み付加モデルで解決がつかない問題が少なくない。しかし、現在ではこれら日本の地質体では地質図や堆積物の年代について多くのデータが蓄積され、フランシスカンコンプレックスに比べてもそれらの点ではまさるほどになっている。さらに露頭条件も海岸や河床の新鮮な露頭が多く、フランシスカンより

も恵まれているように思う。これらは今後の付加コンプレックスのテクトニクスを研究する上で有利な条件といえる。次回、1992年には日本でIGCが開かれる。それまでにこれらの有利な条件を生かして、世界に貢献できる付加テクトニクスモデルをたてたいものだと思う。

末尾になりましたが、IGC野外巡検(T105)の案内をして下さった Wahrhaftig 氏, Page 氏, Sloan 女史を始めとする方々に深く感謝致します。

引用文献

- Bailey, E.H. Irwin, W.P., and Jones, D.L. (1964) Franciscan and related rocks and their significance in the geology of western California. *Calif. Div. Mines Geol. Bull.*, vol. 183, 177p.
- Blake, M.C., Jr., and Jones, D.L. (1974) Origin of Franciscan melanges in northern California. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Special Paper no.19*, p.255-263.
- Blake, M.C., Jr., and Jones, D.L. (1981) The Franciscan assemblage and related rocks in northern California: a reinterpretation. in Ernst, w.g., ed., *Geotectonic development of California*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, p.307-328.
- Blake, M.C., Jr., Howell D.G., and Jayko, A.S. (1984) Tectonostratigraphic terranes of the San Francisco Bay region, in Blake, M.C., Jr., ed., *Franciscan geology of northern California*, Pacific Section, Soc. Econ. Paleontol. Mineral., vol.43, p.5-22.
- Cloos, M. (1982) Flow melanges: numerical modeling and geologic constraints on their origin in the Franciscan subduction complex, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol.93, p.330-345.
- Coleman, R.G., and Lanphere, M.A. (1971) Distribution and age of high-grade blueschists, associated eclogites, and amphibolites from Oregon and California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol.82, p.2397-2412.
- Cowan, D.S. (1978) Origin of blueschist-bearing chaotic rocks in the Franciscan Complex, San Simeon, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol.89, p.1415-1423.
- Curry, F.B., Cox, A., and Engebretson, D.C. (1984) Paleomagnetism of Franciscan rocks in the Marin Headlands, in Blake, M.C., Jr., ed., *Franciscan geology of northern California*. Pacific Section, Soc. Econ. Paleontol. Mineral., vol.43, p.89-98.
- Hsu, K.J. (1968) Principles of melanges and their bearing on the Franciscan-Knoxville paradox. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol.79, p.1063-1074.
- Hsu, K.J. (1971) Franciscan melanges as a model for geosynclinal sedimentation and underthrusting tectonics. *Jour. Geol. Resear.*, vol.75, p.1162-1170.
- Ingersoll, R.V. (1978) Petrofacies and petrologic evolution of the Late Cretaceous fore-arc basin, northern and central California. *Jour. Geol.*, vol.86, p.335-353.
- Jayko, A.S., Blake, M.C., Jr., and Harms, T. (1987) Attenuation of the Coast Range ophiolite by extensional faulting, and nature of the Coast Range "thrust", California. *Tectonics*, vol.6, p.475-488.
- Lawson, A.C. (1895) Sketch of the geology of the San Francisco peninsula. *U.S. Geol. Surv. 15th Ann. Rep.*, p.401-476.
- Lee, D.E., Thomas, H.H., Marvin, R.F., and Coleman, R.G. (1963) Isotope ages of glaucophane schists from Cazadero, California. *U.S. Geol. Surv. Profess. paper 475-D*, p.105-107.
- Mattinson, J.M. (1981) U-Pb systematics and geochronology of blueschists: preliminary results. *Transact. Amer. Geophys. Union*, vol.62, no.45, p.1059.
- Mattinson, J.M., and Echeverria, L.M. (1980) Ortigalita Peak gabbro, Franciscan complex: U-Pb date of intrusion and high-pressure-low temperature metamorphism. *Geology*, vol.8, p.589-593.
- Murchev, Benita (1984) Biostratigraphy and lithostratigraphy of chert in the Franciscan complex, Marin Headlands, California, in Blake, M.C., Jr., ed., *Franciscan geology of northern California*. Pacific Section, Soc. Econ. Paleont. Mineral., vol.43, p.51-70.
- Murchev, Benita, and Jones, D.L. (1984) Age and significance of chert in the Franciscan Complex in the San Francisco Bay region. in Blake, M.C., ed., *Franciscan geology of northern California*. Pacific Section, Soc. Econ. Paleontol. Mineral., vol.43, p.23-30.
- Page B.M. (1978) Franciscan melanges compared with olistostromes of Taiwan and Italy. *Tectonophysics*, vol.47, p.223-246.
- Sliter, W.V. (1984) Foraminifers from the Cretaceous limestone of the Franciscan Complex, northern California. in Blake M.C., Jr., ed., *Franciscan geology of northern California*. Pacific Section, Soc. Econ. Paleontol. Mineral., vol.43, p.149-162.
- Wahrhaftig, Clyde (1984a) Structure of the Marin Headlands block, California: a progress report. in Blake M.C., Jr., ed., *Franciscan geology of northern California*. Pacific Section, Soc. Econ. Paleontol. Mineral., vol.43, p.31-50.
- Wahrhaftig, Clyde (1984b) A streetcar to subduction and other plate tectonic trips by public transport in San Francisco (Rev. Ed.). *Am. Geophys. Union, Washington, D.C.*, 76p.
- Wahrhaftig, Clyde and Sloan, Doris (1989) *Geology of San Francisco and vicinity. Field trip guidebook T105*, Wahrhaftig, C. and Sloan, D., ed., *Amer. Geophys. Union*, 69p.

<受付1989年10月6日>