

## 1. まえがき

H.0

イタリアのフィレンツェで開催される第32回IGCに併せて応用地質学会第12回海外応用地質調査団の結成を企画した。しかし、参加申込みの出足はいたって悪く、調査団の結成さえ危ぶまれた時期もあったが、最終的に下表に掲げる団員10名+の調査団を結成できた。一同が所期の目的を無事達成して帰国でき、団としての報告を書ける状況になったことに対し、国際委員会のご努力とご協力にまず御礼を申し上げ、併せて参加者を出していただいた関係各社に感謝の意を表します。

Firenzeで開催されるIGCの期間中にIAEGのExecutive meetingならびにCouncil meetingが開催されることになっており、この会合日程も考慮し、会場のフィレンツェ付近とイタリア・フランス・スイス国境付近のアルプス山地を見学箇所とする行程とした。左図はアリタリア航空の機内誌に掲載されている地図のうち、訪れた範囲を含めて一部を示したものである。



近とイタリア・フランス・スイス国境付近のアルプス山地を見学箇所とする行程とした。左図はアリタリア航空の機内誌に掲載されている地図のうち、訪れた範囲を含めて一部を示したものである。

スイス・フランス国境のアルプス山脈、その南部のロンバルディア平原とポー川沿いに広がるバタノ・ベネタ平野、そして東にアドリア海、西にリグリア海に挟まれた形で南東方向に細長く

伸びるアペニン山脈が発達するイタリアの地形的特徴をよく理解できる。

調査団の行程は下表に示したとおりである。

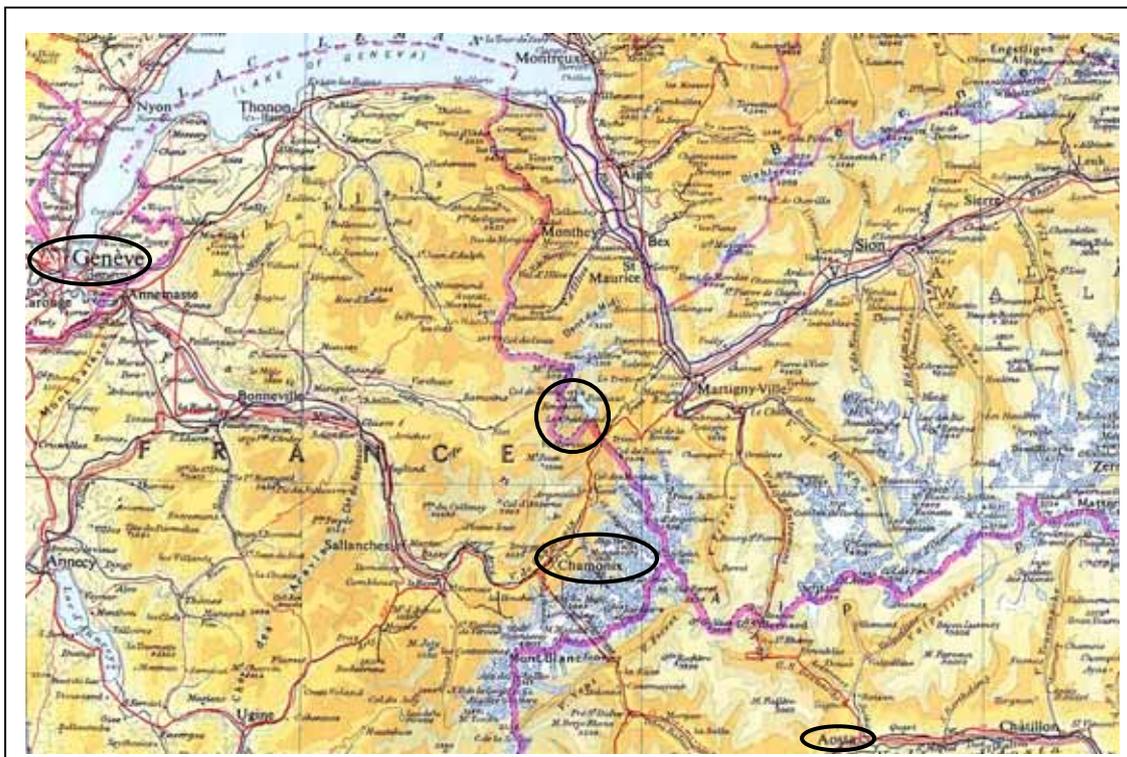
### 旅行の行程

No.	月/日	移動都市名	スケジュール
1	8/19(木)	成田 ミラノ ピサ フィレンツェ	成田からミラノ・ピサ経由でフィレンツェへ (フィレンツェ泊)
2	8/20(金)		IGCの参加登録手続き (フィレンツェ泊)
3	8/21(土)		Executive meeting 参加 / IGC 参加 (フィレンツェ泊)
4	8/22(日)		Council meeting 参加(大島・井上・森) / IGC 参加 (フィレンツェ泊)
5	8/23(月)	ピサ モンテカチーニ ニルメ フィレンツェ	ピサの斜塔とモンテカチーニの温泉保養地を見学 (フィレンツェ泊)
6	8/24(火)	フィレンツェ ミラノ	高速道路を利用しフィレンツェからミラノまでバスで移動 午後ミラノ市内見学 (ミラノ泊)
7	8/25(水)	ミラノ アオスタ シャモニー	イタリア側のアオスタ渓谷を経てモンブラン(4810m)近くを貫くエンブラント ンルを通してフランス側のシャモニーへ (シャモニー泊)
8	8/26(土)		スイス国内のエモッソンドラム周辺の地質巡検 (シャモニー泊)
9	8/27(日)	シャモニー ジュネーブ ミラノ	シャモニーからバスでジュネーブへ 飛行機でミラノを経由し帰 国の途につく (機中泊)
10	8/28(月)	成田	成田空港帰着・通関後解散



フィレンツェに5泊したのは、調査団一行の主たる目的であるIGCへの参加ならびに会期中に開催されたIAEGのExecutive meeting, Council meetingへの出席があったからである。したがって、2~4日目は個別の行動とならざるを得ず、調査団としての共同行動をとったのは5日目以降であった。

行動の範囲を随分古いが、タイムズ世界地図帳(第7版)から行動範囲を含む2枚(前ページは1/2500000地形図、本ページは1/550000の地形図をスキャンしたもの)に示した。両図とも宿泊あるいは見学した主要都市等を(楕円)で囲って区別した。



調査団一行の日頃の行いが良いと見えて、10日間のうち、天気が悪かったのは1日だけ(前の夜から降り始め、当日夕刻には降り止んだ)で、快適な旅行を楽しむことができた。ただし唯一の小雨の日(高地は初雪)がエモッソダム周辺の巡検の日であったため、当初予定の巡検コースのうち2,200m以上の高地は前夜からの雨が雪となって積もっており危険であると判断し、より安全な道を選ぶ結果となった。

歴史で学んだ古代ローマ帝国を築いたイタリア、物理学で学んだガリレオ・ガリレイが重力の法則を発見したとかいうピサの斜塔、地質学で学んだアルプス造山帯の一翼をしめるモンブランの山塊を直接目にすることができた。やはり、『百聞は一見に如かず』を実感できた実り多き旅行であった。

調査団を結成した場合、報告書を提出することが我が日本応用地質学会の伝統になっている。しかし報告書作成にあたっては、今回の旅行に関する調査団員共通の記念となることもポイントにまとめたことをまえもって断っておく。

## 2. Executive meeting と Council meeting 等

H.O., M.M.

### 2.1 Executive meeting

8月21日(土)9時から17時の予定でミーティングが行われた。

Executive メンバー11名のうち欠席は前会長の王思敬(最近、手術をされ、療養中らしい)、南米副会長の Jorge Bejerman(Argentina)の2名であった。

主な議題は、明日開催される Council meeting に向けての Agenda(議定書)の確認と、今年および中期の運営方針に関する議論であった。昨年のイスタンブールの会議を経験したし、顔馴染みになったメンバーであったので、就任当時ほどの緊張感は抱かなくて済んだ。最大の課題は IAEG が会員に対して魅力ある存在であるためにはどうあるべきか?であるが、Bulletinのあり方も含め、なかなか良い方向が見いだせないという点にある。Website という電子媒体を利用したコミュニケーションの確立で若干の改善は期待できるかもしれないが、前途は多難である。

会議終了後ホテルへ一旦もどり、19:30に再度指定の場所に集まって、Firenzeの東南約50kmにある Perugia 近傍の Paolo Canuti 副会長(イタリア)の山荘に案内された。到着したのは夜の9時過ぎ。それから3時間ほど懇親会が開かれた。Firenzeのホテルに到着したのは翌日の2時前。招待されるにしても、ここまでやられると迷惑と思うが、欧米人にはそんな感覚はないみたいである。

語学力の貧弱な者にとってはたまらぬほどに長く感じられる1日であった。

以下に2004年8月21日、IGC2004に併せて開催された本年度のIAEG執行委員会の報告を致します。

- ・ 評議会前日の9月21日(土)9時~17時にIGC会場(イタリア・フローレンス市内バツ要塞)の一角で開催された。
- ・ 会長、事務局長、会計ならびに南アメリカ地区副会長を除く各地区副会長が参加(ワン・シジン前会長は健康上の理由から欠席)。
- ・ 討議は主に評議会への提案・報告の事前調整。主要な事項は次のとおり
  - ・ IAEGメンバーの減少について
  - ・ 応用地質学のコア・バリューと委員会活動に関するタスクフォースからの提案について
  - ・ 姉妹学会(ISRM、ISSMGE)との連携について
  - ・ 会員費の改訂案(2006年分より適用)
- ・ IAEGメンバーの減少について:

事務局長より今年の会員数(集計結果)が昨年に比べて約300人減少(学会誌購読会員約600人減、学会誌無し会員約300人増、賛助会員20団体減)した

ことが報告された。大島アジア地区副会長は、会員費値上げの提案がメンバー数の減少を助長する等の意見を出した。これに対して執行委員会では、会費の問題は別に討議し、この場合は事態の認識に留め、会員減少に関する詳しい調査は今後とした。

- ・ コア・バリューと委員会活動に関するタスクフォースの提案について  
評議会用事前配布資料(各ナショナル・グループに配布され、国際委員会でも事前に内容を検討)に掲載した原案を確認した。
- ・ 姉妹学会(ISRM、ISSMGE)との連携について  
3 学会連携のためのタスクフォース(IAEG からはマリノス元会長が参加)から、3 学会連携の組織体系や基本的運用ルール案が翌日の評議会に提示されることを受け、執行委員会の意見とりまとめとIAEG としての対応を検討した。ほとんどの執行委員はIAEG の自律性を侵すという懸念からタスクフォースの提案に対して極めて慎重な態度を示した。
- ・ 会費の改訂案(今年の評議会で認められれば2006 年分から実施)  
次のような会員費の改定が会長等から提案された。
  - ・ 高収入国
    - ◇ 学会誌購読会員 30 ユーロ → 32 ユーロ
    - ◇ 学会誌無し会員 8 ユーロ → 12 ユーロ
    - ◇ 賛助会員 150 ユーロ → 150 ユーロ (据え置き)
  - ・ 低収入国
    - ◇ 学会誌購読会員 20 ユーロ → 24 ユーロ
    - ◇ 学会誌無し会員 8 ユーロ → 4 ユーロ
- ・ 改訂案提出の理由は、1) 低収入国(ブラジル)から会員数に応じた割引要求があったこと(実際には、会費の負担が経済的に難しくなっているとのこと)、2) 学会誌編集長の活動費を捻出するため、であった。
- ・ その他事項  
本年11 月末に京都で開催されるISRM の国際シンポジウムにおいて併催されるISRM の評議会に、IAEG 代表として参加するよう、大島アジア地区副会長に要請がなされ、大島副会長はこれを受諾した。
- ・ 次回の執行委員会はGeoline 2005 シンポジウムの開催に併せて2005 年5 月21 日、仏国リヨンにて開かれる予定である。

## 2.2 Council meeting

さすがに眠い。なにしろ4時間ほどしか寝ていない。会議は定刻の9時頃から始まった。多くの議題は Rengers 会長と Deveughere 事務局長が提案する形で進められた。私の出番は1回、アジア地区副会長の報告の場だけである。10時チョイ前に出番がやってきた。意外に早いには少々驚いたが、日本から準備してきていたPPTを用い、原稿を読み上げるスタイルでどうにか役目を果たした。昨年は要領がわからず、前日急遽短い英作文をし、手帳に書いたものを読み上げるのが精一杯であったのに比べると、格段の進歩とはいえるが、もっと、アジア地区11のNational Groupの現況を踏まえたものにする必要があることは確かであり、そのためか、何か満足感が湧いてこなかった。

以下に2004年8月22日、IGC2004に併せて開催された本年度のIAEG評議会の報告を致します。

- ・評議会は8月22日(日)9時~17時、IGC会場内のPolverieraと呼ばれる会議施設で開催された。
- ・評議会には58カ国中31カ国のナショナルグループ代表(委任含む)、執行委員(11人中9人)、4人のIAEG前会長、ISSEG、ISRM、AAEG代表等、計44人の参加があった。
- ・レンジャース会長の年次報告は、この一年の主要な活動として、1)コア・バリューの認定とそれに基づく委員会活動の見直し、2)新ウェブサイトの構築着手、3)姉妹学会(ISRM、ISSMGE)との連携の模索、を挙げた。
- ・書記局長報告は、一部のナショナルグループのメンバー数に訂正があったものの、概ね事前配布資料のとおり承認された。
- ・会計報告では、2003年収支報告が事前配布資料のとおり承認された。およそ3700ユーロの黒字で、資産は310,400ユーロとのことである。2004年収支見込については事前の配布資料に誤記があったため一部修正した。2004年度の支出には、1)途上国への旅費補助金、2)ウェブサイト開発、3)姉妹学会連携に関する活動費が含まれることが説明された。2005年度の予測では、2004年度と概ね同様であるが、バルティン関連の支出増が予想されている。
- ・各地区副会長から、例年どおり、各地区における主要な学会活動やナショナルグループの概況が報告された。
- ・会員数、ナショナルグループの現状について事務局長より報告がなされた。会員数は前述のように約300人減少が報告された。
- ・ナショナルグループのうち、3年間、会費などを納入せず連絡が途絶えているグルジア、インド、ペルーの除名が提案された。これに対して、グルジアの場合、社会的混乱の影響が考えられることから再調査をすることとなった。インドについては、アーノルド元会長より、地質学的に重要なナショナルグループであることからなん

- とか除名を避けるべきとの意見があり、事務局長がコンタクトを図ることとなった。
- ・ 意見交換の結果、会員数の減少に対しては、1)委員会活動成果、2)学会誌、3)ウェブサイト、の向上を図り、学生など新規会員の取り込み努力をする、という方針が示された。
  - ・ 3学会連携については、IAEGを代表してタスクフォースに参加しているマリノス元会長からタスクフォースが策定した連携組織と運営ルールの原案(事前配布資料参照)の細かな説明がなされた後、ISSMGE代表からISSMGEサイドの意見が説明された。タスクフォースの原案では、新たに、3学会の上に新組織の会長と理事会を置くことを提案している。これに対して、IAEG執行委員会の中には組織としての拘束力が強すぎるとの懸念が多い。連携の利点の確認、各学会からの拠出金の額、分担方法、組織構造や3学会以外の団体の加盟方針など、詰めるべき事項は未だ多く残されている。今評議会ではタスクフォース案の承認などはせず、引き続きレンジャース現会長やマリノス元会長が参加する3学会会長会議やタスクフォースの検討を見守ることとした。
  - ・ コア・バリューと委員会活動に関するタスクフォースからは、コア・バリューと委員会活動に関する提案がなされた(事前配布資料参照)。提案には、委員会活動の活性化のための委員会の見直しと数の増加、執行委員による活動のモニタリングなどが含まれており、実効性に対する質疑の後、評議会で原案どおり採択された。
  - ・ 委員会活動報告では、以下の委員会の座長より、事前配布資料に掲載された活動報告書の主要な事項が報告された。
    - ・ Commission 1 (Engineering geology maps)
      - ・ 10(Building stones and ornamental rocks)
      - ・ 14(Waste disposal)
      - ・ 16(Engineering geology and protection of ancient monuments)
      - ・ 17(Aggregates)
    - ・ JTC 1 ( Landslides and engineered slopes )
    - ・ JEWG ( Joint European working on Professional tasks, responsibilities and cooperation in ground engineering )
  - ・ バルティンに関して編集長から、1)学会誌評価の目安である文献データベース Citation Index への早期登録を目指し、多くの質の高い論文を投稿して欲しい、2)地域的な偏りなく投稿が欲しい、3)購読者数が減っているので、各国で広報に努めて欲しい、などの要望があった。IAEG執行委員会からは、編集委員会の設置の提案があり、編集委員の候補者があれば編集長に知らせるようにとのことであった。
  - ・ 学会費の改定について、執行委員会の項で述べた2006年からの学会費改定の賛否について評議会の投票を行ったところ、賛成多数(保留1票、反対0)で了承された。
  - ・ IAEGの新ウェブサイトについて: 会員間の情報交換や対外的な広報の促進のための本格的なウェブサイトの構築を進めているが、第一期の開発分(現在、一般的に

多く見られるタイプのホームページ)は9月終わりに立ち上がるとのことであった。

・ その他

- ・ IAEG 2006 (英国ノッティンガム、www.iaeg2006.com) に関して、前回の評議会では参加費に宿泊代を含むセット料金のみが提案されていたが、準備委員会の再検討の結果、参加費のみの登録費も選択できるようになった。
- ・ 来年5月にフランスのリヨンで開催予定の Geoline2005 (日本応用地質学会誌でも会告を掲載)は投稿者を募集中(アブストラクト締め切りは今年の10月末)、250人の発表者を目標としている。8月時点で、約50人の投稿が受付られたが、より多くの参加者を募りたいとのこと。その他、IAEG 関連学会として2005年9月ブルガリア国ソフィアで開催予定の自然災害に関する国際シンポジウムや第2回ヨーロッパ地域シンポジウム(2008年スペイン・マドリッド)の広報が開催国のナショナルグループ代表により行われた。
- ・ 米国応用地質学会 AEG (会員数約3000人、90%はコンサルタント)とIAEGの協調促進を双方の学会で進めようとしている。
- ・ 評議会に続き、ハンス・クルース・メダルとリチャード・ウォルターズ賞の授与式と記念講演が行われた(選出は昨年の執行役員会において)。ハンス・クルース・メダルはイタリアの Vincenzo Cotecchia 氏、リチャード・ウォルターズ賞は韓国の Hyeong-Dong Park 氏が受賞。

次回の評議会は Geoline2005 会議に併せて2005年5月22日に仏国リヨンで開催の予定である。

### 3. 32<sup>nd</sup> IGC

S.H.

32ndIGC(万国地質学会)は、8月20日~28日の間イタリア、フィレンツェで開催され、調査団はオープニングセレモニー以降に参加することができた。

この大会には、約7000人の参加者と336以上に及ぶセッションにおいて6000以上の発表、7つの基調講演があったという。また、GEOEXPO2004と呼ぶ80もの展示が行われていた。

IGCのオープニングセレモニーは、1530年代に建設された「要塞」(写真-1)の冷たい壁を残した構造にふさわしく、冷房の効きすぎたCavaniglia Pavillion(Room1)内に、けたたましいトランペット(Chiarine)のファンファーレが鳴り響き、フィレンツェ市旗を掲げた先導に導かれて第32回IGCのVIP約30名が入場して始まった。

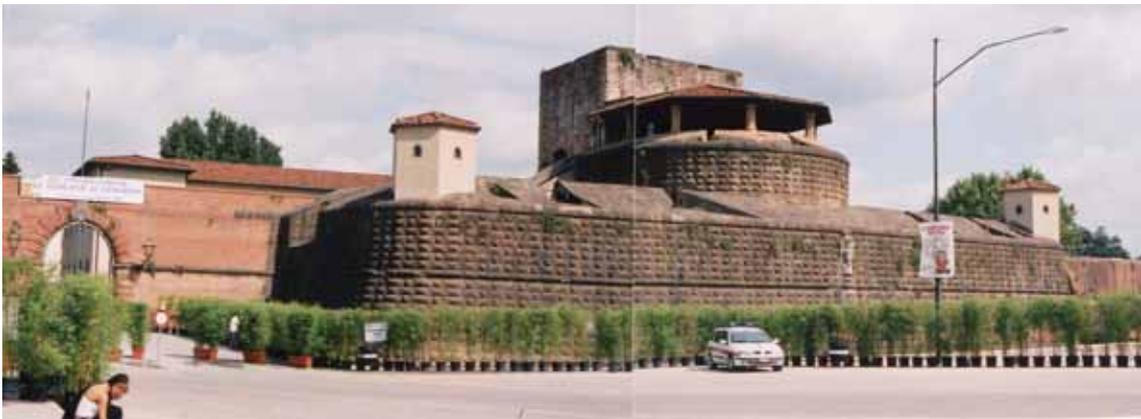


写真 - 1 32ndIGCの会場となった「要塞」(Fortezza)の入り口と物見台

参加者全員(1,000数百名)が起立してイタリア国歌演奏に敬意をささげた後、Matulli 副市長が第32回IGCの開会を公式宣言した。氏は2人の偉大な科学者レオナルド・ダ・ビンチとガリレオ・ガリレイの出身地であるフィレンツェがかくも著名な科学会議のホストになることは荣誉であり、また、今回のIGCが21世紀の新たな人間主義の揺籃の地になると信じていると述べた。このあと、ホスト国であるイタリアの国、地区、州の関係者からの祝辞があった。



中・32<sup>nd</sup> IGC INFORMS(大会新聞)より

写真 - 2 オープニングセレモニーの会場風景(左より公式開会挨拶、ひな壇、市旗と先

フィレンツェ州 President の Matteo Renzi 氏は今会議が地球科学の新たなルネサンスを起すものと期待すると述べた。トスカナ地方の環境顧問官は IGC を招待できたことはトスカナ地方にとって名誉であり、地域運営のためにより知識が向上する良い機会であると述べた。イタリア政府環境大臣(代理)は、環境省で採用した天然資源の保全運営戦略を示し、このような高度な仕事が、特に水資源と環境の保護を含む機関として ABAC を誕生させたと紹介した。

EC・欧州委員会の global change research 主局の Anver Ghazi 氏は、いかにして天然資源の乱暴な採掘段階から持続可能な資源という高度な感覚を持つに至ったか説明し、いまや多くの国が持続可能な資源の開発に向けて新たな戦略の実行に向けて協同していると述べた。

次の2国の来賓挨拶では、過剰とも思える自国のアピールがあった。

中国・国土資源大臣は、国を挙げて持続可能な開発のための方向性で社会を構築しているとし、特に今回の IGC への参加では、登録者数が 300 名に及ぶこと、投稿論文の数、key-note speech の数が多いことを大層強調していた。ロシア天然資源大臣は、ロシア国内において各種天然資源の生産量、賦存量がいかに多いかを述べていた。2氏の熱の入れようは、次々回以降の IGC 誘致に向けてのアピールという意味もあるものと推測された。ただ、9月になって、次回 2008 年はフィンランド、次々回 2012 年はオーストラリアで開催されることが決定されたと IUGS の HP に掲載されているので、これらの国々での開催はその次に期待される。

この後、顕著な業績があったと認められた各氏に賞・メダルが贈呈され、それぞれ業績の紹介と挨拶が行なわれた。

L.A.Spendiarov 国際地質学賞は、地質学に於いて顕著な研究業績のあったものにロシア科学アカデミーが送るもので、100年以上の歴史がある。今回はイタリアの Carlo Doglioni 教授に贈られた。教授はアルプス、アペニンの構造地質学エキスパートとして知られる。

Q.Sella 賞は、地質図作成分野において顕著な業績のあったものに贈られる 1881 年以來の伝統ある賞で、ヨーロッパ地質調査所連合のメンバーに限られる。今回はドイツ連邦地球科学・資源研究所の Harald G. Dill 教授に特に古典的マッピング技術と最新の GIS 技術の融合が最も革新的な方法として評価された。

この他、層序学分野で重要な寄与があったものに与えられる2つの賞が今回はじめて設立された。長年の功績に対する Digby McLaren 賞と、単年度ないしは一つの顕著な業績に対する ICS Medal である。前者の受賞は Dr. Jan Hardenbol 氏、後者の受賞は Dr. Stephen Hesselbo 氏である。

また、前国連のプロジェクトマネージャーで水理地質専門の Costantino(愛称 Tino)Faillace 氏のアフリカ、インドなどでの長年にわたる活動実績に対して特別賞が授与された。氏の言葉 “No conflict, Integration!” は会場に深い印象を与えた。

最後に、フィレンツェ州知事が、イタリアは火山、水害など災害のリスクが多い土地柄だが、それらの減災に務めている。大会期間中はフィレンツェを大いに堪能されたいとのメッセージで締めくくられた。

前回ブラジル大会では派手な歌や踊りがあったというが、今回は古都にふさわしく地味な中にも風格のあるセレモニーであったと感じた。



<パーティ>

さて、レセプションの 写真 - 3 開宴を待たず競馬場前の広場で飲みだす人々

パーティ会場は要塞から一転して開放的な競馬場に場を移した。参加想定人数が当初より大幅に増えたため、急遽変更となった模様である。パーティ会場まで運行されるというシャトルバスの発車時刻まで待ちきれない我々調査団一行は、土地勘ないものの観光案内図を頼りに競馬場へと歩き出した。厩舎脇の馬糞が点々と残る路を散策しながら約30分かけて到着する。しかしゲートは約束の時刻になるまで開けないという頑固なスタッフに押し返され、時間つぶしに近くの屋台でさっそくのどを湿らせて開宴を待つこととなった(写真-3)

やがてオープニングセレモニー会場から、2両連結のバスでピストン輸送される参加者たちが続々と到着し、入り口に溢れ出した。19:30、競馬場は開門と同時に怒涛のごとくなだれ込む赤バグの地質家集団で占拠された(写真4)。

宴会芝生の中に点々とテーブルが置かれ、周囲に料理と飲物が用意されていたが、特に乾杯



写真 4 パーティ会場(競馬場)へなだれ込む地質家の群れ

などの宣言もなく、とりとめもなく、各人、グループごとに皿を持ち歩き、あるいはテーブルを囲んで勝手に飲み食いが始まった(写真5)。

オープニングで参加人数を自慢していただけてあって、アジア人では中国人はここでも目立ち、ついで韓国、日本といったところか。もちろん地元イタリア含めた欧米からの参加者が最も多

く、その家族や相当な年配の退役地質家の姿もあった。宴も進んで救急車の独特のサイレンがひびいたと思うと、さっそく担架に載せられ、救急車で病院に運ばれ



写真 - 5 「地質家の侵略」32<sup>nd</sup> IGC INFORMS(大会新聞)より

ていく大柄な白人の酔っ払いも出現。どの国の地質家も呑み助が多いものだとは妙に納得する。アトラクションとしては、ステージではバンドの演奏が行なわれ、また、終演後にくじ引きがありました。それだけで、質素なものでした。

あまりに広い競馬場での立食パーティ。料理とワイン調達で歩き回っているうちに暗くなって来るし、椅子はないので疲れてくる。また、屋外だったため揚げ物やハム、サラミなどの乾き物が大半で種類も多くなく、飽きた人も多かったようである。でも「せんまい」の塩茹では好評でした。

ワインは開宴直後、紙コップのみのサーブだったが、後半は各グループ大胆になり、強引にボトルでテーブルに持ち込んでのお楽しみとなった。ちなみに、供されたワインはPUIATTI社の“Puiattino”の赤と白であった。これはテーブルワインクラス(VT格付け、別項「イタリアのワイン」参照)で、同社によれば「飾らない仲間内での愉快で気楽なパーティ向け」ということで、そのとおり、悪くはなかったが暗闇に突入してのワイルドパーティでもあり、味についてどうこう論評するようなレベルを乗り越えて雰囲気を楽しみました(写真 6)。



写真 6 パーティ会場にて、今回のツアーの成功を期して愉快地飲み食う面々。

## 4 . 地質巡検

T.C.

今回の 12th 海外応用地質学調査では、32ndIGC シンポジウムが開催されたイタリアの地で、レオナルドダビンチ、ガリレオガリレイ、ミケランジェロ、といった教科書に出てくる歴史的な偉人が活躍した地の史跡をたどり、当たり前のように、このような名前が出てくる場所にいることに感動を覚えました。そしてまた、ヨーロッパ、特にアルプス地方の山々を見て、その地質に触れることは、山好きの地質屋にとっては大変に興味があるあこがれのことだと思います。今回の調査も欲をいえば、アルプスでの巡検日数を多く取りたかったのですが、全体の日程の関係上、2 日間程度となり、そして、前夜の調査団のワインをささげての祈念や私の通力も及ばず、巡検当日は標高 2200m 以上は雪となり雪中行軍となってしまいましたが、アルプスの自然には十分に触れることが出来たと思います。この地域の地質には第 3 回調査団を含めフランス-スペイン国境のピレネー山脈を中心とした地質巡検で 2 回訪れていましたが、より多くのことを見聞きすることは大きな魅力だと感じました。

今後もこの地方を訪れる機会があれば、前もってアルプス、地中海域の地質に関する知識を持っていることは大変意義のあることだと思います。ちょうどシンポジウムで提供された Episode の中に、地中海域とアルプスに関する概論が掲載されており、これを和訳することで勉強し、また、今後この地方を訪問する方にとって少しでも参考になるようにと、考えました。しかしながら、実際には老眼に鞭打っての論文の和訳には難渋してしまい、とにかく終わらせた感は否めません。したがって、とんでもない勘違いがあるかもしれないこと、また、適当に読みやすい日本語にしているため正確でない部分があることをご容赦ください。

なお、本文中の図だけでなく、本報告書に添付しています、イタリア、アルプス地方の地質図類も大いに参考になると考えています。

## 4.1 地中海域の地質概観

William Cavazza; Dept. of Earth and Geoenvironmental Sciences, Univ. of Bologna, Italy

Forese Carlo Wezel; Institute of Environmental Dynamics, University of Urbino, Italy

最近 25 年間の地中海域における研究は、アルプス-ヒマラヤ山脈が単一の、とは言え複雑な海洋域-つまりテチス海が閉じて形成されたという古い考えを否定した。そのかわりに、今日の地中海域の姿は、二つの主要な海洋-つまり古期テチス海と新期テチス海、加えてユーラシアとアフリカ-アラビアプレートの間における相互作用によってより小さい海盆が生まれ、続いて消えたといった結果である。もっとも、テチス海が正確にどこに、いつ存在したのかという議論がいまだに残っている。(i) 古生代の主な古期テチス海はシメリアン大陸北部に、(ii) より若い後期古生代から中生代の新期テチス海はこの大陸の南部に、そして最後に、(iii) 中期ジュラ紀の海洋であるアルプステチス-Valais 海は、西部では中央大西洋に広がっていた、という意見の一致をみている。後期古生代から中生代にかけては、動くヨーロッパ大陸に沿って形成されたバックアーク盆地がこのような単純な姿をもっと複雑にしている。形成時期や内部構造などが様々で不連続な造山帯を連続させるようなシステムは、このような異なる種類の海域の閉塞によって生じたのであり、単純なアルプス造山運動の産物とはいえない。

新生代においては、アルプス前面において次のような動きが続いた、すなわち、ヨーロッパ-イベリア大陸縁において、たくさんの小さな大陸地塊(カバイル、バレアル諸島、サルディニア-コルシカ、カラブリア)が地殻が薄い部分(例えばバレンシア海溝)や小さな海盆(アルジェリア、プロベンシャル、チレニア海)で裂けて南方や南東方に移動した。東部地中海では、エーゲ海やペリエーゲ地方の低角度の断層に沿って大陸地殻が薄くなっているように、新生代における広範な伸張性テクトニクスの中で特徴付けられる。このような地中海域の伸張応力場は、イオニア-東地中海のサブダクションゾーンに沿って北傾斜でもぐり込むプレートがロールバックした結果と説明される。

地中海域における新生代の複雑なシナリオは、メシニアン階(中新世後期)に起こった蒸発岩類の広範囲の堆積によってさらに複雑になっている。

### はじめに

地中海域における研究にもとづいて、多くの重要なアイデアや地質モデルが立てられてきた。例えば、アルプスは世界中で最も研究されている造山帯であり、その地質構造は大部分で非常に細かく明らかにされ、他の衝突地塊に当てはめるモデルとされてきた。また、この地域でオフィオライトとオリストストロームがはじめて研究、定義付けられた。地中海は、おそらく世界中で最も細かく DSDP/ODP が実施され、そのメシニアン階の堆積物についての幅広い研究と陸側における研究が、広範囲に分布する蒸発岩類に関するめざましい進歩をみた。しかしながら、この地域の他の部分はまだよくわかっておらず、国際的に注目を集めている。

全体として今日の地中海域では、大陸同士の衝突の最終段階の地殻変動が見られる。この地域は、イオニア海と南部地中海を除いて、元来ユーラシアとアフリカ-アラビアプレートの間にあった海洋地殻がもぐり込んで(一部乗り上がって)できた。いろんな証拠から、地中海域はかつては「アルプス変動の結果の産物」と考えられてきたが、しかし、今日では「三畳紀から第四紀までの 2.5 億年ほどの間の様々な地殻変動の結果」に取って代わった。この地域の現在の姿をより複雑にしているのは、ふたつのプレートの合体後を通して、もぐり込み速度を減じた海洋地殻の次の段階となる(i)二畳紀-中生代間における背後のもぐり込み帯の形成、もしくは、(ii)おそらく第三紀のプレートの動きの逆転に関連して形成された新しい **back arc** 海盆に相当する海洋域が形成されたことである。

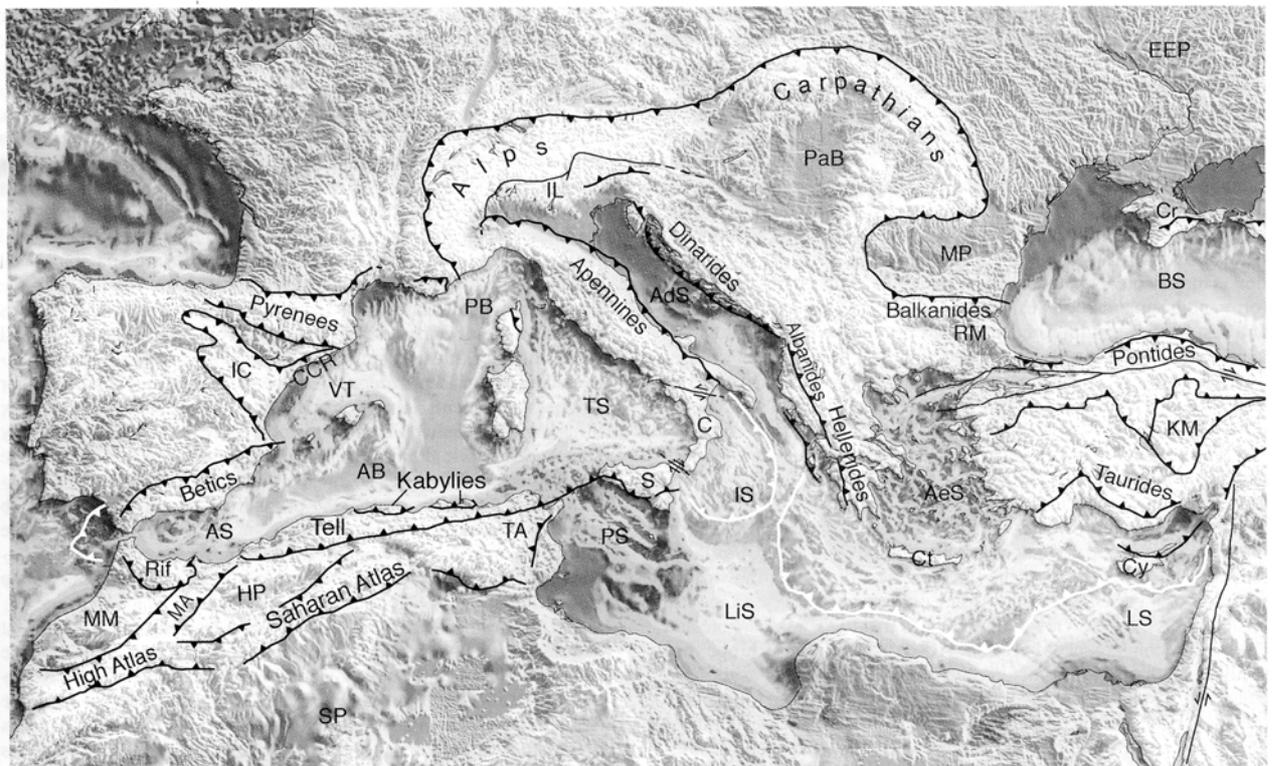


図 1 地中海域の主要、かつ単純化した地質構造と地形モデル。白いスラスト記号はイオニア海と東地中海のもぐり込み帯沿いの外側の变形フロントを示す。

AB, アルジェリア海盆; AS, アルボラ海; AdS, アドリア海; AeS, エーゲ海; BS, 黒海; C, カラブリア-ペロリタニ地塊; CCR, カタラ海岸山地; Cr, クリミア; Ct, クレタ; Cy, キプロス; EEP, 東ヨーロッパ平原; Hp, High 高原; KM, Kirsehir 地塊; IC, イベリアチェーン; IL, インスブリック構造線; IS, イオニア海; LS, レバント海; LiS, リビア海; MA, 中央アトラス; MM, モロッコメセタ; MP, Moesian 平原; PB, プロベンス海盆; PaB, パノニア盆地; PS, ペラジャ海棚; RM, Rhodope 地塊; S, シチリア Maghrebides; SP, サハラ平原; TA, チュニジアアトラス; TS, チレニア海; VT, バレンシア海溝

この寄稿は地中海地域の地質構造を詳細に記述することを意図していない。このエピソードの特別号のイントロダクションとして、この報文は(i)地中海地域の地質構造に馴染みが薄い読者に、最近の知見や独断的かもしれないが、この複雑な地域を概観し、特に主要な地質要素とその古地理—古構造地質的な発達をみることに、(ii)以下の論説からイタリアの地質の様々なテーマに振り分けていくこと、を意図している。

紙面の制約から、このような複雑なことを単純化したり、しばしば諸説や様々な著者が提唱したモデルからかなり思い切った選択をしなければならない。同様に、主な文献のみ掲載しており、興味ある読者はその地域の多くの研究によるより詳しい文献リストを参照していただきたい。それらの地方の非常に複雑な地質を、このように単純に総合したことを地中海地域の研究者仲間に心からお詫びします。

### 今日の地中海地域の地質エレメントの概観

地中海地域における現在の地質構成は、褶曲とスラスト地帯、および連動する海岸地と **back-arc** 盆地が組合わさったかたちが優勢である(図-1)。このような諸地帯は時代や構造形成も様々であり(例えば、Dixon と Robertson,1984;Ziegler と Roure,1996)、単一のアルプス造山の産物で説明することはできない。かわりに、この地域の主な造山地帯は様々な大きさと時代の異なる海盆が閉じてできた結果で説明されてきた。加えて、いくつかの地中海地域の褶曲帯は大陸内の地溝帯(例えば、アトラス Atlas、Iberian Chain、Provence-Languedoc、Crimea)が転化して発達している。ピレネーは、—いわばこれらの最後のふたつの大陸内地溝帯の移り変りのところ—大陸内のトランスフォーム部の裂け目地帯から発展した。

現代の地中海の海盆は、(i)テーチス海域(イオニア、リビア海、東地中海)のなごり、(ii)新生代の海洋地殻(Algero-Provencian basin、チレニア海)、(iii)拡大した大陸リソスフェア(アルボラン海、バレンシア海溝、エーゲ海)、および(iv)厚い大陸リソスフェア(アドリア海)によって変化に富んでいる。(i)イオニア-リビア海と東地中海においては、地球物理的データ(低い熱流量と厚いリソスフェア的マントル)から、直接試料採取することによる時代決定を妨げているが、中生代の厚い地層と新生代の堆積物の下にある古い(二畳紀?)海洋地殻の存在を示している。これらふたつの海洋域はそれぞれイタリア最南部のカラブリア-Peloritani 山塊とクレタ-キプロス弧の下にもぐり込みつつある。水深が 2000m以上ある黒海は、一部海洋地殻が占めており、北傾斜のもぐり込み帯のプレート上部上にできた白亜紀から始新世の複雑な **backarc** 盆地のなごりと思われる。東黒海盆地は暁新世-始新世にあったが、黒海の西側部は白亜紀から暁新世の間には外海に開いていた(Robinson,1997)。

(ii)海洋性の **Algero-Provencian basin** は、古地磁気データや、その境界部での分離から分裂後のもぐり込みへの変化から、ブルディガリアン(Burdigalian)階では外海に開いていた。この地域での分裂は漸新世初期頃に始まり、フランス南部とサルディニアの陸域と海の両方でグラーベンの発達を引き起こした。チレニア海の最深部は、第三紀末から第四紀の海洋地殻からなっており、その東西境界に沿う地溝にできたグラーベンはセラバニア

ン(Serravallian)-トートニアン(Tortonian)と同時期の堆積物を含んでおり、この地域の拡大期の始まりの時期を示している。(iii)アルポラン海は大陸地殻の厚さが薄く(最小 15km)、北と西、南を **Betic-Rif orocline** で境される。アルポラン海の基盤岩は **Rif-Betics** 帯の内部で見られるものに似た変成岩類からなっている。中新世においては、アルポラン域と隣接する **Betic-Rif** 帯の内部にはかなりの拡大があり、これらの造山帯のより内側に同時代に衝上が起こった。このような造山後期の拡大は西方へのもぐり込みのロールバックの結果と考えることができ、厚みを増した大陸地殻がもぐり込み帯の後退として急に拡大した。**バレンシア海溝**は、中生代の堆積物で覆われた厚さが薄い大陸地殻からなり、**Chattian** 後期から始まった拡大を受けた。**Provencal basin** の北東方への構造に関して、バレンシア海溝には新しい薄い地溝帯の堆積物があり、したがって南部フランスから発した南西方への裂け目の進行を示している。**エーゲ海**は **Hellenic** もぐりこみ帯の上側のプレートに位置している。この地域の地殻は低角度の断層によって拡大してきた。それは、少なくとも中新世前期に始まり、**Corinth-Patras** リフトとトルコ西部の **Rhodope** 地塊南部に見られるように今日まで続いている。中新世の拡大は変成岩類の出現や花崗岩質、モンゾナイト質マグマの貫入を伴った。**Jolivet(2001)**によると、エーゲ海拡大の原動力は厚い地殻の重力による崩壊であり、プレートの後退による境界の拡大状態によるもので、最近のアナトリアの構造的押出しは堅い骨組をエーゲ海地域の長い間続いた地殻の崩壊に付加しているだけである。(iv)**アドリア海**は厚さ **30–35km** の大陸地殻からなり、その上部は大部分二畳紀から新生代の厚い地層と基盤の炭酸塩岩からなっている。アドリア海は西と東をそれぞれアペニン山脈とジナル山脈-アルバニア山脈の前部が沈んだ堆積盆で縁取られている。

そこでは、漸新世から第四紀の間に数 **km** の堆積物が堆積している。中生代におけるアドリア海域はアフリカプレートの大陸隆起と考えられてきた。そのような地域は—**Adria** として知られている—現在のアドリア海のみならずアルプス南部 **Istria**、**Gargano** や **Apulia** の部分を含んでいる。

深部地震探査や弾性波トモグラフィ、古地磁気や重力データ等の非常に多くの資料から、地中海・アルプス造山運動の様々な要素はリソスフェア構造であることを示している。また、アフリカ—アラビアとヨーロッパ間の中生代後期と新生代における結合は合わせて数百 **km** におよんでいる。このような結合は海洋性、一部大陸性地殻のもぐり込みによるもので、主な過去、あるいは現在のもぐり込み帯で下位にある地殻のスラブの存在で示される。まだあまり変形していない海洋性地殻からなる、今日の西部あるいは東部地中海域と異なり、地中海造山は普通 **allochthon** 内の狭い構造帯に沿って位置し、かつての海洋底が再出現したことを示す数帯の構造的なオフィオライトで特徴付けられる。地中海—アルプス造山運動の要素は、例えば、ピレネーやコーカサスのように、海洋底近くを起源とする事実はあり、本来のオフィオライト構造は欠いているが超塩基性岩を含んでいる。

**ピレネー**は、セノニアン後期—第三紀のピレネー造山における小規模な地殻の圧縮に伴った限定的な地殻根(**crustal root**)で特徴付けられる。他のアルプス期の地中海域山脈(東西カ

ルパチア、アペニンの一部)もまた比較的浅い地殻根と内帯に向かいしだいに浅くなるモホ面で特徴付けられる。このようなモホ面のかたちは、おそらく衝上断層の構造的な転倒や中心部に地殻下部の変成岩化した岩石の出現を伴うこれらの造山帯の内部における伸張性崩壊の結果である。年代や構造の型については異なっているものの、ピレネーは南部フランスの **Languedoc-Provence** 造山帯—結局は—西部アルプスに物理的につながっている。**アルプス**は南のアフリカプレートの **Adria** 大陸域と北のヨーロッパイベリアプレートとの間にできた古い南傾斜のもぐり込み帯に沿った大陸の衝突の産物である。地殻は西部アルプスでより厚いが(約 **200km**)、中央部や東部アルプスでは **140km** 程度である。このことは、西部で衝突が強かったことを示す。実際、東部アルプスは大部分が **Apulia** やオーストリアアルプスナップ群から来た構造的ユニットからできているが、西部アルプスはもっぱらもっと外側で、**Brianconnais** テレーンや海洋ユニットの挟在といったヨーロッパ側の縁辺部の構造的変形が弱い部分からできている。西部アルプスは、青色片岩(**blueschist**)や、**100km** に達する深さで **30k** バールほどの圧力で形成されたエクロジャイト相の岩石を含んでいる。このような岩石は、**1 億 3 千万年**ほどの放射性年代を示すが、広範囲におよぶ始新世の変成年代は—他の地質構造的、層序的データとともに—衝突の時期を示している。

アルプスは東方に**カルパチア山脈**に続いており、広い(長さ約 **1500km**)弓形の造山帯はスロバキアからポーランド、ウクライナを通してルーマニアまで広がっている。南はカルパチア帯が、複雑な北方向のねじり作用によって北傾斜で東西方向に伸びるバルカン帯で姿を消す。この帯には三つの主要な構造帯が認められ、カルパチア内帯はヘルシニアンの基盤と二畳紀—下部白亜紀の岩石からなり、**Pieniny** クリッペ帯の構造メランジ、そして前期白亜紀から前期中新世のタービダイトからなる根無しナップ群が集積したカルパチア外帯である。これら、すべてのユニットは前方に衝上し、部分的には薄い海成ないし陸成の堆積物に乗り上げている。これらの圧縮変形には二つの顕著な時期が認められており、カルパチア内帯の衝上が前期白亜紀の終わりに起こり、一方、カルパチア外帯は漸新世後期から中新世に衝上を受けている。今日この複雑な山脈の弓形のかたちは、大部分が新生代における東方へのプレートの後退とせん断帯に沿っての転位の産物である。カルパチア帯のルーマニア扇帯における最近の地震活動は—今日ヨーロッパで最も地震災害が深刻—このようなプレートの **roll-back** の最終的な現れと推定される。

**バルカン帯**は、北の **Moesian** 台地と南の **Rhodope** 地塊の間に位置する、東西の方向性を持ち北に傾斜する衝上帯である。黒海の下にはバルカン帯は北西—南東方向に続いている。この帯には北から南へ、三つの地域が認められる。造山期の後期に変形した堆積物の **ForBalkan** 帯、**StaraPlanina** と **Srednogorie** である。**Dogliani** らによると、バルカン帯は **Dinaric-Hellenic** もぐり込み帯の背後への衝上帯で、それらは暁新世におけるジュラ紀—白亜紀の堆積盆の転化を通じて形成されたとみなすことができる。やはり、バルカン帯は少なくとも前期白亜紀までさかのぼる古い構造が合体したものである。

安定したアドリア (**Apulian**)台地は南に **Hellenides** に続く**ジナル-アルバニア山脈**の側の

東側に接している。ここでは、造山運動はジュラ紀後期に始まり、新生代まで続いた。ジナル-アルバニア-**Hellenides** 帯は、北方の南部アルプスにつながり明らかに連続した造山帯である。それは新生代におけるアドリア隆起帯と **Serbo-Macedonian-Rhodope** ブロックの間の衝突が引き起こしたものである。この地帯にはオフィオライトが広く分布し、それらは二つの平行する地帯に露出している。これらのオフィオライトは、ジュラ紀後期に上昇したのちに、暁新世に始まるアルプスの衝突で巻き込まれたものである。アルバニア帯の西の境界は、三畳紀の蒸発岩からなる基盤から分離した薄いスラストシートで特徴づけられる。この地域は 1960 年代に **Aubouin** と共同研究者によって考え出され、今日では捨てられた地向斜の概念が誕生した地でもある。

イタリアの**アペニン帯**は、三畳紀-暁新世の浅海性ないし深海性の大部分が炭酸塩岩類と、東方に海進した堆積盆に堆積した漸新世-中新世のタービダイトを含む堆積岩類から分離したナップ群からなっている。オフィオライトメランジ(**Liguride** ユニット)からなるナップは、チレニア海岸に沿って部分的に保存されている。アペニン帯は構造的にも低いレベルで浅い地殻を形成する(主に中生代-新生代の堆積物)岩石類で特徴付けられ、背後に広く付加された特徴を示している。このようなアペニン帯はアドリア サブプレートが西方に向かって限定的なもぐり込みをしたことで生み出されたものである。

スペインの **Betic Cordillera** 帯とモロッコ北部の **Rif** 帯の岩体は、古くから外帯、内帯とフリッシュナップに細分されている。**Betic Cordillera** 帯では、内帯はアルプスチス海のイベリア側の縁に堆積した中生代-新生代の堆積岩類からなり、前-中期中新世の間に北西に向かう厚さが薄いスラストによる変形を受けた。南方に向かう内帯は、暁新世-前期中新世に部分的に変成作用を受けた古生代-中生代の岩石類からなっている。**Rif** 帯の内帯は **Betic** におけるそれと類似した変成岩類を広範囲に含んでいる。中間にある南に向かうフリッシュナップ群は、前期白亜紀から前期中新世の深海性の砕屑岩類からなり、これに対し、より南方の外帯は中生代-新生代にアフリカ大陸縁に堆積した堆積岩類からなっている。前期中新世に始まった構造変形で、内帯はフリッシュナップ群に衝上され、次に外帯においては厚さが薄い褶曲や衝上帯の発達が続いた。

アルジェリアの **Tell** 帯と **Rif** 帯は **Maghrebides** の一部であり、これは北西アフリカの海岸とシチリア島の北海岸沿いに 2500km 以上の長さで走る山脈であり、地質上はアフリカ大陸に属している。**Tell** 帯は大部分が主として中新世に形成された南向きの根無し衝上シートから形成されている。**Tell** 帯の内(北)部は、**Kabylies**、すなわち、三畳紀-始新世の大部分炭酸塩岩類で非整合に被われた古生界の基盤岩類からなるヨーロッパ地殻の小ブロックで特徴付けられる。

**Pontides** 帯とタウルス帯という、二本の山脈がトルコの地質構造の特徴を表している。**Pontides** 帯は、トルコ-ブルガリア境界にある **Strandja** 帯からコーカサスへと 1200km 以上も追跡できる東西にのびる山脈である。それらは、南側の **Kirsehir** 山塊とはイズミル-アンカラ-エルチンカン オフィオライト帯によって分離されており、走向方向に岩石学上、地質構造上重要な変化を示している。**Pontides** 帯の大半は、複雑な大陸地殻の断片

(Sakarya 帯)からなり、前期ジュラ紀から始新世の堆積岩類に被われ、変形して部分的に変成した三畳紀のもぐり込み-付加体コンプレックスの広範囲にわたる分布で特徴付けられる。Pontides 帯の構造は、もっと小さい intra-Pontides のオフィオライト帯の存在によって複雑になっている。このオフィオライト帯は Laurasian 類似層(イスタンブル帯と呼ぶ)の外来地塊と Pontides 帯の残りの部分との境界をなして分布している。イスタンブル帯は白亜紀後期に黒海西側が開口する以前に Odessa 海だなの南部に位置し、始新世前期にアナトリア地塊の縁に衝突した Moesian プラットホームの一部と考えられてきた。

Taurides 帯は Allochthonous と付随する Autochthonous 岩石の両方からなっている。広範囲に分布する Allochthonous 岩石類は変成、非変成のナップを形成し、主として南部 Vergent において、カンパニアン(最上部白亜紀)と ?Serravallian(中期中新世)の間に形成された多様なスラストでできている。Taurides 帯の地層は、カンブリア紀から中新世にわたる時代の岩石からなり、厚い炭酸塩岩類に富む特徴を持っている。

地中海域の地質の総合的解釈では、かつては造山帯に注目して来ただけであり、古生代から新生代におけるアフリカーアラビア、ヨーロッパの隣り合ったクラトンに沿って位置し大きな境界をなす内部プレートの分離やねじ曲がりといったことはまったく見過ごされてきた。Peritethyan の伸張性盆地は、この地域の複雑な構造発達を理解するうえでかぎとなる要素であり、それらの堆積物や構造上の記録がプレート境界から内部プレート域への伸張性と圧縮応力場の移り変りを詳細に示している(Roure, 1994 や Ziegler ら 2001 の寄稿)。Peritethyan の裂け目/ねじ曲がり盆地と周りの境界部の発達は、海洋底のテーチス海の拡大や大西洋やインド洋と様々に関係している(次章)。これらのベイズンのいくつかはいまだ保存されているが、他はアルプス-地中海造山帯の発達において構造的に逆になったり、最後は合体してしまっている。逆になっている例は、イベリア山列やカタロニア海岸山脈(図 1)で、それらは暁新世期のピレネー造山の間、アルプステーチス海と北大西洋の拡大といったパンゲアが分離している間の不連続な脈動で発達した長期にわたる中生代の分裂システムの逆転を通じて起こった(Salas 等 2001)。モロッコとアルジェリアにあるアトラス高地をなす中生代の地溝帯では、セノニアン階の最初の緩慢な転化期に続いて後期始新世にもっと激しい変形が起こった。Frizon de Lamotte ら(2000)は、後者の主な転化期を、イベリア南部の境界の北方へのもぐり込みの始まりと同時期にできた Rif-Tell 付加体の発達のために北からの広域の応力場の移り変りの結果と解釈している。付加体とアフリカ大陸縁の間で増した結合力は第四紀において三番目の転化期を生じた。

## 地中海域の発達における古地理-構造的シナリオ

プレート運動のベクトルは、地中海域の地史を理解するうえでも古地理-構造の構築をするためにも根本的な要素である。手短かに言えば、後期ジュラ紀-前期白亜紀間のアフリカーアラビアとヨーロッパの間の相対的動きは中央大西洋の拡大の進行に関係する左横ずれによって激しくなった。セノニアン階からアフリカーアラビアはユーラシアに向かって南北方向に左回りの回転をして集まった。このような左向きの運動は時代とともに遅く

なり、暁新世—始新世の漸移期にノルウェー—グリーンランド海の拡大に関連して終わった(Ziegler,1988,1990)。漸新世—中新世においては、右向きの成分に収束していることは明らかで、そのような傾向はおそらく現在まで続いている。Mazzoli と Helman(1994)によると、漸新世から最近までのアフリカプレートとヨーロッパプレートに対する相対的な運動経路は三つの段階に区分できる。(1)漸新世から Burdigalian 階(16.2Ma まで)の北北東向き、(2)Langhian 階から前期 Tortonian 階(16.2—8.9Ma)の北北西向き、(3)後期 Tortonian 階からの(8.9—0Ma)北西方向、である。古地理研究と構造図に関する進歩は、地中海造山運動とそれに関係する堆積盆の発達について理解をかなり深めた。しかし、いろいろな再現の提案にも不確かなところが存続している(Ziegler,1988;Dercourt ら,1993,2000;Yilmaz ら,1996)。西部テチス海地域の進展について提案された多くの仮説を議論することは、この寄稿の範囲を超えている。そこで、Stampfli ら(2001a,b)による地中海域におけるパリスカン造山後の短い要約を記し、これに関する多くの文献を興味ある読者に示すことにする。

後期石炭紀—前期二畳紀に続いてパリスカン—アパラチア—モーリタニア—Ouachta—マラトン—ウラルに沿ったパンゲアの集合は、東方に向かってくさび状に広がる海洋底—古期テチス海—がユーラシアとアフリカ—アラビアの間をなしていた。このとき、地球規模で起きたプレートの再編成運動がパリスカン造山帯の崩壊を起こし、そしてユーラシアプレートの下側で古期テチス海の北方へのもぐり込みが続いた(例えば Vai,2003)。新しい海洋底—新时期テチス海—が、長く伸びた大陸地殻のブロック、シメリアン合成地塊(Sengor,1979,1984)の北北東への分裂と押し流しによってゴンドワナの縁に沿って形成され始めた。シメリアン大陸は、その通過した後に新しい海洋—新时期テチス海(図 2)を残しながら、しだいに北東方に押し流された。この部分の二畳紀—三畳紀の地史は、ゆえに新时期テチス海の拡大と同時に古期テチス海の縮小で特徴付けられ、三畳紀後期(古期テチス海の一部は二畳紀後期には閉じていたが)にユーラシア大陸縁に沿ってシメリアン地塊が最終的にくっつくことで最盛期となった。シメリアンの衝突による変形は、はるか東方から南東部ヨーロッパに広がる長くて比較的狭い地帯に影響を及ぼしている(Sengor,1984)。

シメリアンの構造要素は、イランの東方から明らかに区別できるが、トルコや南東部ヨーロッパを横切っているかどうかを確かめることは、後の造構造作用を受けたことによって難しくなっている。復元図は弧の背後にある海洋底(Halstatt-Meliata,Maliac,と Pindos,Crimea-Svanetia と Karakaya-Kure)の存在によって複雑になり、それらは古期テチス海のもぐり込みの間にユーラシアの南縁に沿って形成され、大部分はシメリアン大陸がくっついた時に破壊した。

いくつかのシメリアン衝突造山期には、新时期テチス海は最大幅を示し、ジュラ紀—古第三紀の間にユーラシアプレートの南縁に沿う北向きのもぐり込みによってしだいになくなっていった(図 3)。しかしながら、古テチス海は完全にもぐり込むか、ごく一部が一体化し、新テチス海のなごりはおそらくイオニア海と東地中海に残っている。中生代を通じて新しい背後弧の縁をなす盆地が変動するユーラシアの境界に発達した。これらの背

後弧の盆地のいくつかは今日まだ保存されている(黒海とカスピ海)しかし、大部分は(Vardar、イズミルーアンカラ)は閉じており、結果として古、新テチス海域のふたつの主要な古い構造を隠してしまっている。

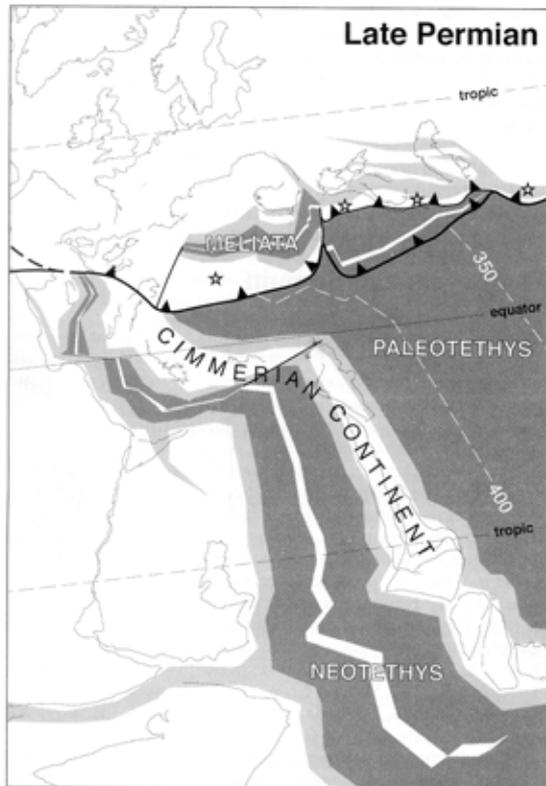


図2 後期二畳紀における西部テチス海域の古地理復元図(Stampfli ら,2001,若干加筆)。星印はマグマ活動を示す。

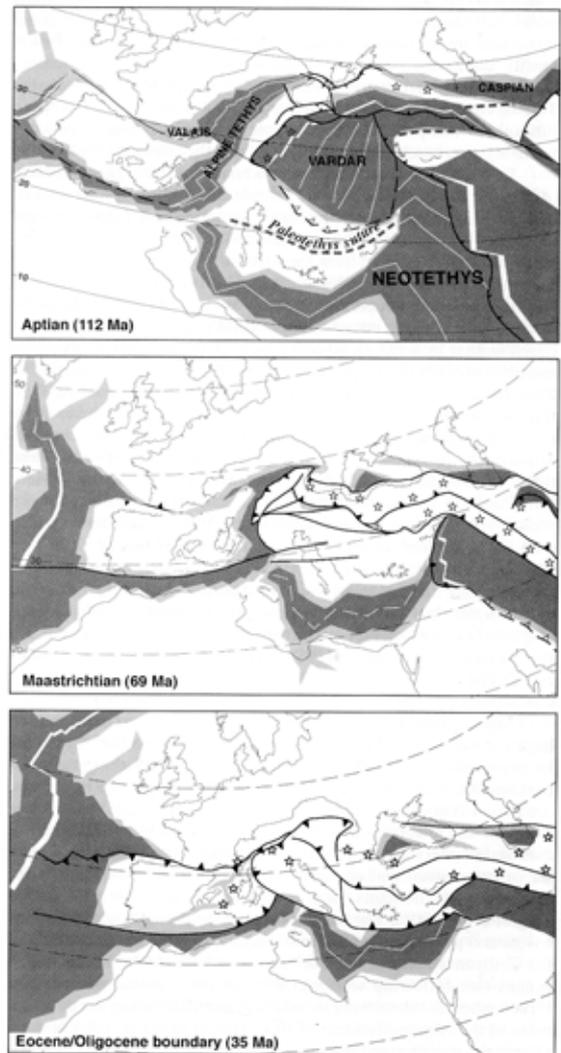


図3 アプチアン階、マストリヒシアン階、そして始新世-暁新世間における西部テチス海域の古地理復元図 ヨーロッパ、イベリア大陸間の海洋は北に向かい狭くなる過程、アフリカ/アラビア大陸は南(Stampfli ら,2001,若干加筆)

中央大西洋の東方への拡大としてジュラ紀前期に始まった、ヨーロッパからイベリアを引き離し(図3のAptian階)、始新世後期までにアルプス-カルパチア造山を形成して終了したValais-ピレネーの上昇帯によって、より複雑な姿になっている(図3、始新世-漸新世境界)(Stampfli ら、2002)。中期ジュラ紀のリグリア-Piedmont-ペンニン海の誕生は、新しい受け側大陸の縁が発達することになった、これはかつては長い間Caribbeanからは

るか東方に伸びた単一のテチス海の北縁の一部と考えられてきた。それは、どうゆうわけか逆説、アルプス一世紀近くにわたりテチス海地域全体の造山モデルとして扱われた一は、実のところ古期テチス海でもなく新期テチス海の発達にも関係しておらず、かわりに西方の大西洋にその起源を持つのである。

アルプス前面 *sensu stricto* に沿った古第三紀の衝突は、その前方に造山作用によるくさびの発達や、のみならず水平的な地塊の移動や斜め方向の動きによる衝突の連鎖の進行をもたらした。例えば、漸新世から中新世の間のアルプスからカルパチア域への東方に向けた造山作用の移動は、アドリアがヨーロッパ側に深く侵入した直接的な結果と解釈された (Ratschbacher ら、1991)、たとえ、このような過程がロールバックと西方にもぐり込んだプレートの分裂によって引き起こされた (Wortel と Spakman、2000) としてもである。より広い視点からは、調和的に斜めに集合しているように思える鉛直に近く内側にくさび状の走向断層が存在し、活動するプレート境界に平行で主要な外向きのスラスト帯として、変位の境界が地中海域の造山作用のくさびの大部分の発達において明らかに主要な役割となった (例えば、アルプスのインスブリック構造線、ジナル *peri* アドリア構造線)。

アルプス前面に沿っては長い距離にわたり食い込んでいるにもかかわらず、地中海域の新第三紀は広範囲において伸張性応力場を示す構造が支配的である。たくさんの小さな大陸性マイクロテレーン (Kabylies, Balearic Island, サルジニア-コルシカ, Calabria) がヨーロッパ-イベリアの大陸境界で裂けて、薄くなった大陸地殻 (例えばバレンシア海溝) や小海洋底 (アルジェリア、プロベンシャルとチレニアン ベイズ) などが誕生した場所から南または南東方に押し流された (図 4)。東地中海域は同様に新第三紀の広範囲におよぶ伸張性応力場の構造で特徴付けられ、そのことはエーゲ海とその近傍域における低角度の断層に沿って薄くなっている大陸地殻が示している (Durand ら 1999、その他)。総合すると、地中海における新第三紀の伸張性応力場は、イオニア海-アペニン-東地中海のもぐり込み帯のプレートが逆転した結果として説明できる (例えば、Malinverno と Ryan、1986)。Royden (1993) により指摘されたように、プレートの集合により厚くなった地殻が急速に伸張したことはもぐり込み運動が逆転した結果である。地中海全域の新第三紀の山脈形成においては、造山作用の後期においては、そのくさびの前面における圧縮と後ろの部分の伸張性応力場で特徴付けられる (例えば Patacca ら、1993)。

地中海-カルパチアン地域の上部マントルの速度構造の地震モデル (例えば Wortel と Spakman, 2000、Panza ら、本誌) は、特にプレート境界に沿って水平移動したような、プレートの分離による重要なできごとがあったことを示し、それらは最近の 20-30Ma におけるその地域のリソスフェアの活動によっている。このような解釈が受け入れられれば、島弧-海溝の移動だけでなく、応力場やマグマ活動といった深度方向の変動が水平方向に変化したことについて広範な説明をすることができる。こういった見地から、プレートの分離はもぐり込むリソスフェアが重力的に固定される最終段階を示している。

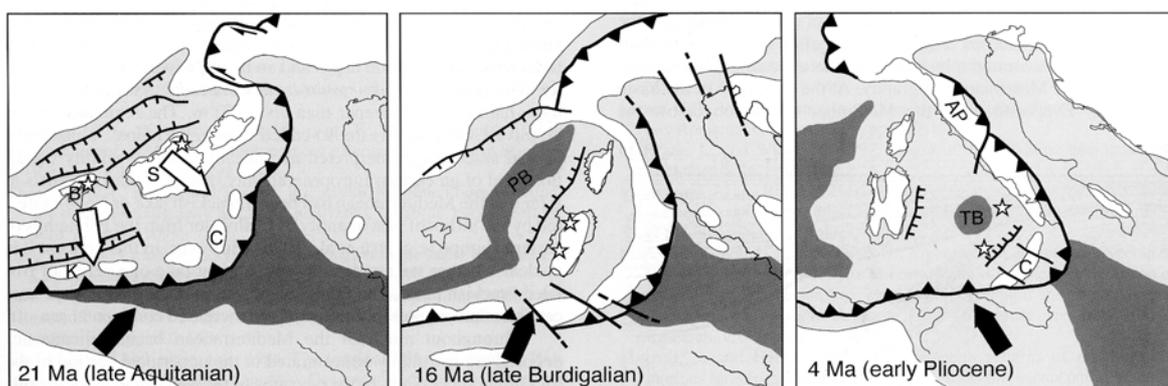


図 4 新第三紀における地中海域の構造発達の模式図(Bonardi ら,2001,Roca,2001 に加筆) 活動する構造要素のみ記入。白、陸地；淡い灰色、大陸縁の海；濃い灰色、海洋地殻；黒い矢印はヨーロッパに対するアフリカの動きを示す(Mazzoli と Helman,1994)。白い矢印は上部プレートの大方向を示す。星印はもぐり込みに関するマグマ活動を示す。

AP,アペニン山脈；B,Balearic ブロック；C,Calabria-Peloritani 山地；K,Kabilies；PB,Provencal 盆地；S,サルジニア；TB、チレニア盆地

### メシニアン階の海水濃度危機

プレート間の衝突に続いた、地中海域における複雑な新第三紀の地史は、メシニアン階(後期中新世)の蒸発岩類という重要なできごとによって、さらに複雑になっている。その蒸発岩類と一分布は少ないが一蒸発後に関係する珪酸塩砕屑岩類が注目を集め、議論されている。ここでは、それらの堆積物から見出される地層境界における状況を解釈するために、海域や陸域で集めた際立った地質データを要約する。この事項に関する研究は多くあり、ここでは若干の文献のみ報告した。

メシニアン階の時代は、アフリカとヨーロッパプレートが収束し氷河期の海水面低下で起こったように地中海を世界の海洋から孤立させ、海底は偶然的に乾燥し、そして多量の蒸発岩類がより浅い場所のみならず深い海洋底だった場所に沈殿した(Ryan ら 1973、Kastens ら 1990、レビューを通じての文献)(図 5)。メシニアン階の蒸発岩類は、単一の大きな凹地や、外洋の環境と関係する **hemipelagic** 相があるメシニアン階以前の大きな堆積盆とは形も大きさも異なるが部分的な障害物で区切られた不連続な堆積盆には見られない。壮観な海水面による多少悲観的な出来事は事実であり、メシニアン階は短期的な構造運動だが広範囲におよんでいる期間で一 **intra-Messinian** 変動期と呼ぶ一少なくともシチリアとイタリア半島からコルフ島、クレタ島とキプロス島に至る、同時期に起こった圧縮前線に沿って、スラストと粗粒の砕屑物(蒸発岩の再堆積を含む)の堆積と、広範な不整合と非整合を伴っている(例えば Decima と Wezel,1973;Montadert ら,1977;Vai と Ricci Lucchi,1977;DeCelles と Cavazza,1995;Cavazza と Decelles,1998;Butler ら 1995)。

天文学上調べられた高溶解層は(Krijgsman ら,1999)、メシニアン階の塩分濃度危機の襲来は地中海域全域で同時期であり、 $5.96 \pm 0.02\text{Ma}$ を示している。これは、Butler ら(1999)による、もっと狭い範囲(シチリアの Maghrebides 南方の海域内)において蒸発岩の沈殿の始まりは少なくとも  $800\text{ka}$  にわたっていたとする地磁気の結果と対照的である。

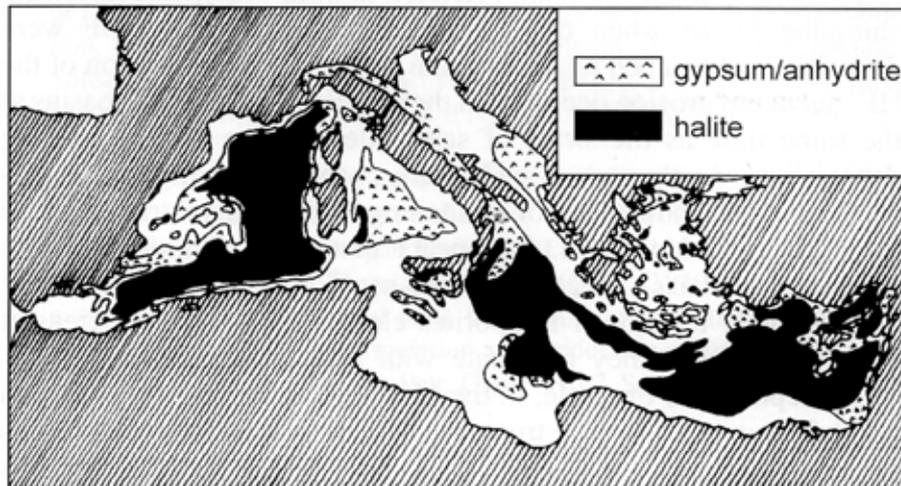


図5 地中海域におけるメシニアン階の蒸発岩類の広がり。Rouchy(1980)に加筆

シチリア中部によく露出するメシニアン階の露頭は、この時階の最も厚くて完璧なもののひとつであり、地中海域の蒸発岩類の一連の研究の発展に役立ってきた(図6)。ここから、メシニアン階の複雑な地史の一例として、この地域の層序の簡単な記述をする。

堆積盆の周囲では蒸発岩類の下部—すなわち、**intra -Messinian** 不整合の下位のメシニアン階の地層は—ふたつの比較的薄いユニット：**Tripori** 層(層状珪藻岩)と **Calcare di Base**(蒸発岩の石灰岩) からなっている(図6)。

堆積盆の最深部では、蒸発岩類の下部はより厚く、基底から上部に向かい、**Tripori** 層、下部石膏層(**LGF**)、岩塩層(**HF**)から成っている。下部石膏層は **300m** に達するランダムな方向性を示す透明石膏からなり、それは周囲からもたらされて、より深い水中に堆積し再結晶したことを示して、上部は石膏タービダイトから成っている。岩塩層は厚さ **800m** に達する **Ka** や **Mg** 塩層を挟む岩塩から構成され、このユニットは深い沈降部に堆積し、かつ碎屑性再堆積物とスランピングが供給されている。**intra -Messinian** 変動に関して、下部石膏層の石膏タービダイトが堆積し、岩塩層の堆積の終りにピークに達したときにスランピングが始まった。岩塩類が深く沈んだ沈降部を埋めると同時に堆積盆の周縁部では大気による侵食が見出される。**Ka** 塩岩類は岩塩と硬石膏で被われていることから、塩類の堆積の後期には海水から塩分が抜けたことを暗示している。これらは Hsu's(1972)の“深くて乾いたベイズン”という仮説によって簡単には説明できないようにみえる。

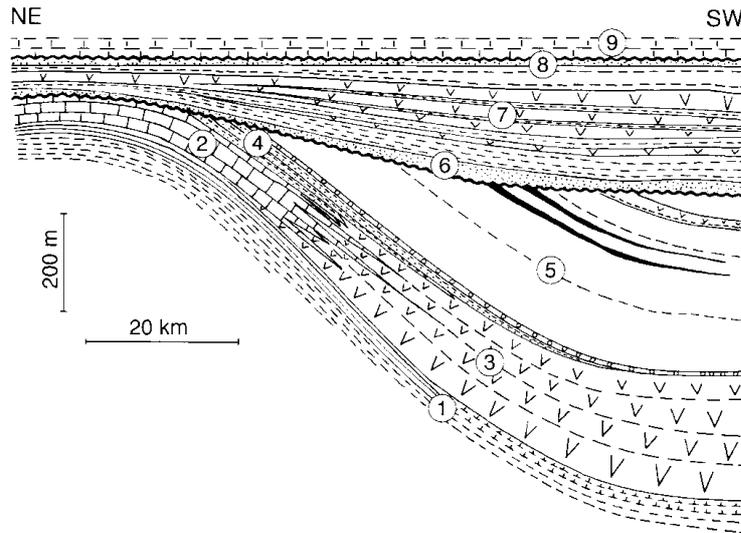


図6 シチリアのメシニアン階の地層断面模式図(Decima と Wezel,1973 の加筆)

- ①蒸発岩類以前の粘土、泥灰岩と diatomite(トリポリ層)；②蒸発岩の石灰岩；③下部石膏層；④石膏タービダイト；⑤halite と potash(黒色)層；⑥石膏 arenite；⑦上部石膏層；⑧Arenazzolo 層；⑨Trubi 層(下部鮮新世)

他のイタリア各地ではフリッシュ様の泥灰質、砂質の堆積物に限られる(例えば Marche 地方)が、シチリアでは蒸発岩類下部は岩塩層に近く、沈んだ海溝が急速に埋められたことを示している。Terrigenous 堆積物は cinerite を伴う。まとめて考えると、このことは、塩類は顕著な海退期に相当する比較的深い海の syn-diastrophic 堆積物であることを示唆している。シチリアでは塩類は diapiric 褶曲を伴う顕著な圧縮造構応力の影響を受けてきた(Decima と Wezel,1973)。蒸発岩類下部は、こうしてバリアができトートニアン階の堆積域とは分かれる広範囲の海退期に堆積し、Alboran 海中央や北部チレニア海といった広大な陸地が出現した。最低期には陸地の侵食面が発達し、下部と上部の蒸発岩類を分ける境界の部分に相当する広範な intra-Messinian 階の不連続となった。

シチリアのメシニアン階後期の上部石膏層(UGF)は、下位の intra-Messinian 階の侵食面を覆っている。このユニットは逆行するサイクルで鉛直方向に系統だてられ、おのおのは深さが浅くなり塩分濃度が増える特徴がある。Ammonia tepida の存在は、水が hypo-haline で 50mより深くなかったことを示している。地域によって上部石膏層(UGF)は、いわゆる”Congerie fauna”を含み、古生物学的な組合せから低塩分濃度と東ヨーロッパ系を暗示しており、ある研究者が地中海はかつて塩湖または”lago-mare”であったのが、東ヨーロッパのパラテチスから大量の淡水が流れ込んだ、とする考えを生んだ(例えば、Hsu,1978)。しかしながら、この考えには巨大な湖か単独の塩湖かが明確でない。蒸発岩類の上部にはおそらく大陸からの流入の増加によると考えられる厚い碎屑層を含んでい

る。

地中海域をとおして、珪酸質の堆積物はメシニアン階の地層の最上部に例外なく集中している。シチリアのメシニアン階の模式地では、この間は **Arenazzolo** 層(図 6)(**Decima** と **Wezel,1973**;**Citra** と **Colombo,1979**)に対比されるが、様々な地域名がまだ共存している。公刊物には、メシニアン階の終わりに向かって地中海域に水が浸入し形成された広く変化する湖や川／沖積面が描かれている(**Decima** と **Wezel,1973**)。しかし、この重要な移り変りについての詳しい情報は少なく、地中海における最後の中新世の事件について層序-地層学の根幹に加える努力はされていない(例えば、**Gelati** ら,**1987**;**Roveri** ら,**1992**;**Butler** ら,**1995**)。

鮮新世の **Trubi** 層の **Coccolith-foraminiferal** 泥灰岩は、乾燥期のメシニアン階が終了し普通の状態に戻った、外海とつながった地中海域の堆積物であることを示す(**Decima** と **Wezel,1973**;**Cita** と **McKenzie,1986**)。この岩相の変化が中新世－鮮新世の境界層と定めていることから、**Trubi** 泥灰岩は非常によく研究されている(例えば、**Cita** と **Gartner,1973**;**Hilgen,1987**;**Channell** ら,**1988**;**Rio** ら,**1991**)。**Trubi** 以前の海成層の発見もこれまでにいくつか報じられているが(レビューには **Benson** と **Rakic-El Bied,1995**)、おそらく地中海域における同時期の洪水と受けとめられる”**Zanclean** の大洪水”という広く認められた概念のために放棄している。この”大洪水”が **Trubi** 層の基底に記録されており、鮮新世の基底の正式な確定に都合がよい根拠と考えられる(**Van Couvering** ら,**2000**)。

## 4.2 アルプスの地質概要

by Giorgio V. Dal Piaz, Andrea Bistacchi, and Matteo Massironi

アルプスは中生代における海洋の沈み込みと、アドリア大陸(オーストリアアルプスー南アルプス)とヨーロッパ大陸縁(ペンニンーヘルベッ)の衝突によって発達した。オーストリアアルプスーペンニン楔は衝突帯のコアであり、ヨーロッパ側の下部プレートに浮かぶもぐり込み帯の遺物でもある。それは、大陸地殻の断片や小規模な海洋性のナップからなり、白亜紀～始新世のブルーシスト相からエクロジャイト相の変成と、後に続いた *Barrovian* 変成作用を受けている。衝突帯には後にヘルベッ基盤とカバーユニットが付加され、南アルプスのリソスフェアによる力を受けて凸凹になり、次々に対照的な褶曲ー衝上帯といった変形を受けた。

### はじめに

アルプスは典型的な衝突帯の例であり、ナップの概念を考えつき急速に確立した山脈である(Dal Piaz,2001,Trumpy,2001,歴史的見地から)。この地帯は、白亜紀から現代にわたるアドリア大陸の上位プレート(アフリカ隆起)と中生代の海洋やヨーロッパ側の大陸縁を含んでもぐり込む下位プレートによって生み出された。完全な海洋の閉塞(始新世)はアドリア/ヨーロッパの衝突の始まりの時に起きた。衝突帯はオーストリアアルプスーペンニン楔で代表され、それはもぐり込み帯の遺物であり、自然の浮力にもかかわらず深く沈み込んだ大陸地殻の軽い断片の集合体とみなされる。

地図に示すように、アルプスはフランスーイタリアの西部アルプス弧と東西に伸びる中央および東部アルプス(図 1)を通して **Genoa Gulf** から **Vienna** に広がっている。**Genoa** の南方では、アルプス山脈は消えており、それは新第三紀後期に起こったチレニア沈降盆(アルプス帯の南帯はコルシカとカラブリアに残っている)の開口にしたがい断片となり崩壊したためである。東方では、アルプスとカルパチア帯の結合部は **Vienna** と **Styria(Pannonian)** 盆地の新第三紀堆積物で覆い隠されている。アルプス造山帯の大部分は地表面から **60km** 近い深さまで広がっているにもかかわらず、アルプスの最高標高はモンブラン(**4888m**)と **4000m** を超える十数のピークのみである。造山帯に平行する低角度の正断層による削剥と差別的な上昇とが重なった大きな波長のうねりが、構造的な沈降から始まり、そこではキャップをなすオーストリアアルプスユニットが保存され、最深部のペンニンの **Ossola-Ticino** 窓の核心部に当る **20-25km** の厚さを持つナップ構造の上部を露出させている。残りの隠れた部分は深部反射法地震探査や他の物理探査により推定されてきた(Roure ら,1990;Pfiffner ら,1997;Trnsalp グループ,2002)。

私たちの目的はアルプスの構造的な骨組と地殻変動を総合的に概観し、遠い国から来た地球科学者に語ることにある。構造ユニットや岩石学は縮尺 **1/50** 万イタリアの構造モデル(Bigi ら,1990; SELCA 編集,Firenze)の北部シート(1-2)で代表される。これらの地図は

読者がアルプスの複雑な地質にアプローチするのを容易にしている。紙面の制約から、より詳しい文献として、いくつかの特集と地域総合的なものを以下に上げる。

フランス-イタリアアルプスに関して(Roure ら,1990;Michard ら,1996;Dal Piaz,1999) スイス(Trumpy ら,1980;Pfiffner ら,1997)

オーストリア(Flugel,Faupls,1987;Ploching,1995;Neubauer と Hock,2000)

南部アルプス(Bertotti ら,1993;Castellarin ら,1992)

構造(Coward ら,1989;Ratschbacher ら,1991)、中生代以前の地質(von Raumer と Neubauer,1993)、変成岩(Frey ら,1999)、地質年代(Hunziker ら,1992)。

DanielBernoulli と GabrielWalton 氏が快くレビューを承認してくれた。

### 構造的な骨組み

構造的な移動の方向にしたがえば、アルプスはそのサイズ、地質時代と地質的な意味が異なる二つの地帯に分けられる。1)ヨーロッパ **vergent** 帯は、白亜紀から新第三紀に形成された厚い衝突楔で、前面が深くなるモラッセとヨーロッパに向かって放射状に伸びて分布する大陸性および小さな海洋性ユニットからなっている。2)南アルプス帯は、小規模で、浅く(非変成)若い(新第三紀)南(アドリア **vergent** 帯)に向かってのびた衝上と褶曲帯であり、海洋との境目から遠く離れたアドリア上部プレートのアルプス地域内に発達したものである。これら両地帯は漸新世から新第三紀の主要断層である **Periadriatic(Insubric)** 構造線によって区分される。上下方向、内外をみると、ヨーロッパ **vergent** の主要な構造区は(図 1) : i) 白亜紀の造山期に主に発達したアドリア大陸縁の末端部(海洋に面した)に由来するオーストリアアルプスのナップ集合体; ii) もぐり込む海洋リソスフェアとヨーロッパ大陸縁(末端部)から削り落とされ、古第三紀に付加された変成したナップの集積物であるペンニン帯; その外側の境界はペンニン前面のスラストである。iii) ヨーロッパ大陸縁の基部に由来し、主として漸新世に始まり瓦を重ねたような浅い基盤のスライスや被覆ユニットからなるヘルベット帯。ナップの鉛直断面と、その変形の時期は一般に造山帯前縁から外側へ伝播したことを示している。

ヘルベット帯はモラッセ堆積物上にスラストし、漸新世から後期中新世にかけて発達した北に向かい薄くなる堆積層で、浅海性ないし淡水性の堆積物の互層からなっている。その瓦が重なったような内帯(サブアルプス モラッセ)は前面のスラスト帯から **20km** 以上下に埋まっている。フランス-スイス アルプス弧の外側では、モラッセ沈降盆は中新世後期から前期鮮新世の薄いジュラ褶曲・スラスト帯により境されている。

アルプスの構造の解明は前述した地震探査によって試みられ、ふたつの顕著なモホ面が認められている。すなわちアドリア面とより深いヨーロッパ モホ面で、アルプス前面から衝突楔基部に向かってゆるやかに曲がっている(図 2)。これは、アルプスの構造が非対称であり、造山帯はヨーロッパ **vergent** の転位に支配されており、対称的な南アルプス帯はアドリアプレート上部の内の単に表面的な姿にすぎない。

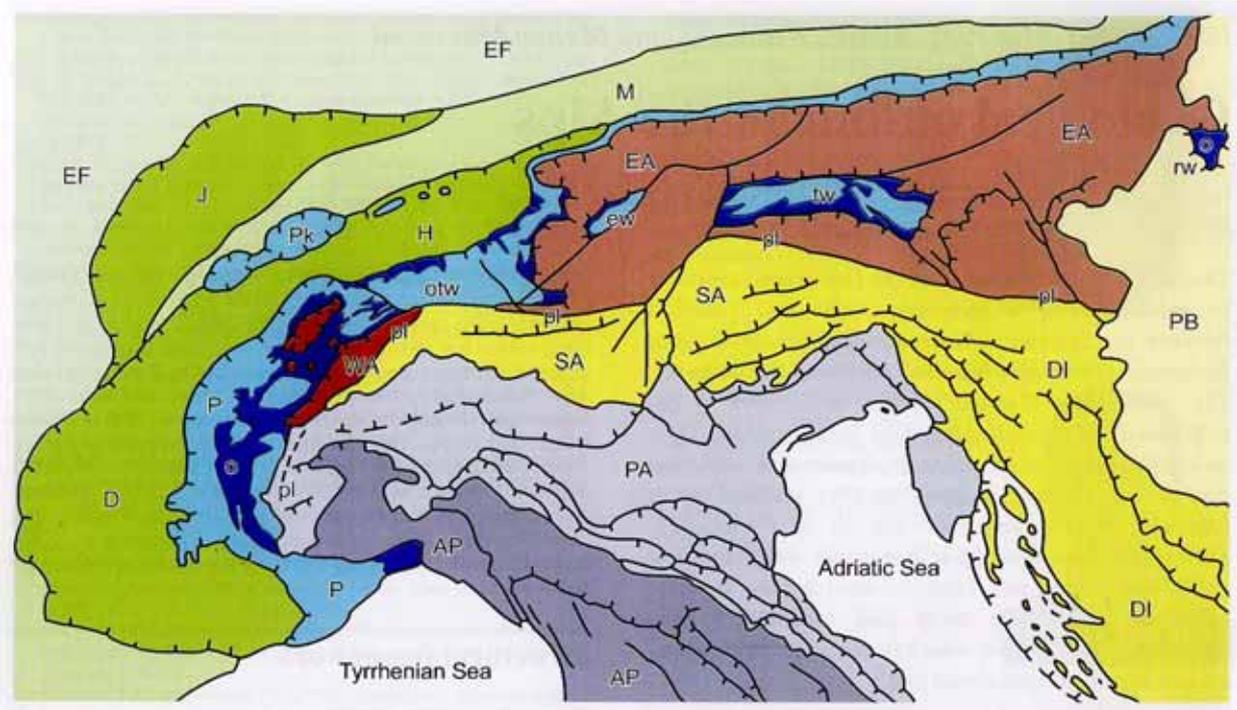


図 1 アルプスの構造図—(1)ヨーロッパ衝突帯：i)西部(WA)と東部(EA)オーストリアアルプス；ii)ペンニン域：西アルプス軸(P)の大陸性やオフィオライト(o)ナップ群(otw：Ossola-Ticino,ew:Engadine,tw:Tauern,rw:Rechnitz)；プレアルプスクリップ(Pk)；iii)ヘルベット-Dauphinois(H-D)域；iv)モラッセ沈降盆(M)；v)ジュラ帯(J)。(2)南アルプス(SA)、Periadriatic 構造線(pl)で北を境される。パノニアン盆地(PB)、ヨーロッパ(EF)とポー平野-アドリア(PA)前縁地、ジナル(DI)とアペニン(AP)のスラスト・褶曲地帯

弾性波解析による表層地質を統合すると、ヨーロッパ **vergent** 帯は北に傾斜したマントル **free** 地殻の楔であり、ヨーロッパ下位プレート上に浮かび、現在のアドリア(南部アルプス)リソスフェアによって南に向かって、でこぼこしている(図 2)。両方の大陸プレート縁は現在衝突帯として合体しているペンニン-ヘルベット帯とオーストリアアルプス域の中にもともと広がっていた。この楔は、オーストリアアルプス、ペンニン、ヘルベットユニットに分類され、さらに、おそらくふたつの部分に分けられる：i)内部の古い部分(オーストリアアルプス-ペンニン)で、今ではアルプスの軸部をなし、アドリア/ヨーロッパ衝突帯を含むもぐり込み帯の遺物である。ひとつ、またはより多いオフィオライトユニット(異なる地域で)と、ブルーシストやエクロジャイト相(白亜紀-始新世のもぐり込み)から後期始新世-前期漸新世の **Barrovian** 期の再変成(衝突最盛期、スラブの破壊)と発展した多相の変成作用で特徴付けられる(Frey ら、1999)。：ii)外側のより若い部分(ヘルベット帯)は、浅い基盤のスラストシートとヨーロッパ側の基部からもたらされ大きく引き離れたカバーユニットからなり、沈み込みによる低温の変成作用を逃れ、そして漸新世からはオーストリアアルプス-ペンニン楔の前面に付加された。

次に、オーストリアアルプス、ペンニンとヘルベット構造帯、そして対称的な南アルプスの本質的な姿を概観する。

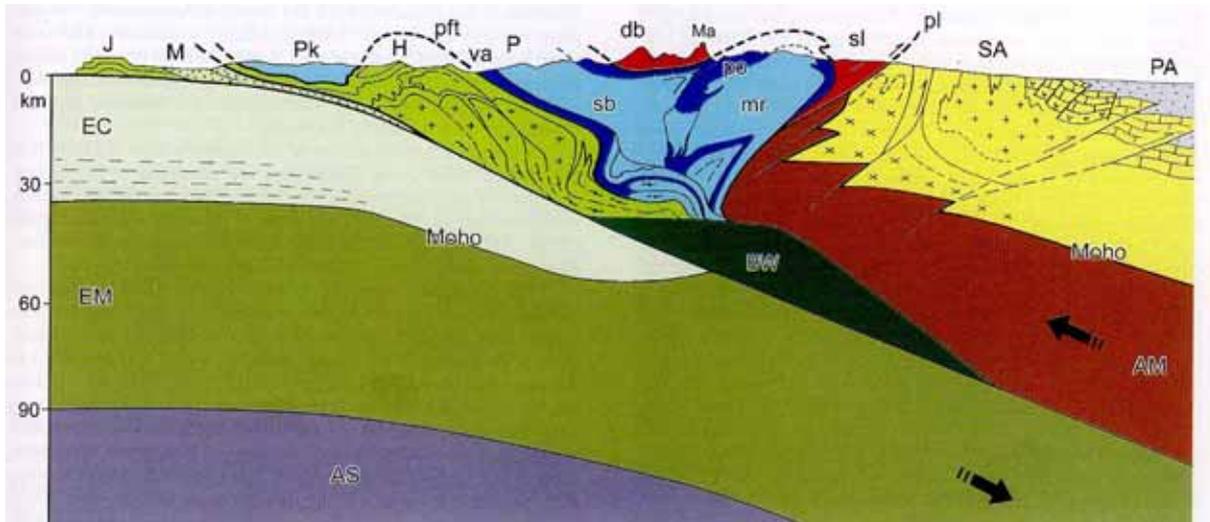


図 2 北から西部アルプスの地殻断面－1)オーストリアアルプス：Sesia-Lanzo(sl)とDentBlanche ナップ群(db)、マッターホルン(Ma)を含む；2)ペンニン帯(P)：Piedmont オフィオライトユニット(po)、ペンニン下部とペンニン外帯のValais 帯(va)を覆う MonteRosa(mr)とGrandSt.Bernard(sb)ナップ群、ペンニンクリップ(pk)、ペンニン前面のスラスト(pft)；3)ヘルベット帯の基盤スライスとカバーナップ群(H)；4)モラッセ沈降盆(M)；5)ジュラ帯(J)；6)ヨーロッパマントルまたはエクロジヤイト化した地殻ユニットの隠れた楔(BW)；7)ヨーロッパリソスフェア：大陸地殻(EC)とマントル(EM)；アセノスフェア(AS)；8)アドリアリソスフェア：南アルプス(SA)とマントル(AM)；Periadriatic 構造線(pl)；9)Padane-アドリア前縁地(PA)

### オーストリアアルプス衝上帯

オーストリアアルプスは、その対照的な分布、構造的な位置、そして変形時期からふたつの扇形部(東西)に分けられる。

西オーストリアアルプスは、Sesia-Lanzo 帯と、従来から Argand's Dent Blanche ナップとして一括される、多くのより外側の衝上帯からなっている。これらのユニットは乗り上がるとともに、部分的に中生代の海洋の主な名残である Piedmont 帯の構造的にできたオフィオライト混合物を挟む。オーストリアアルプスの二つのグループは次のように特徴付けられる：i)上部の outliers(Dent Blanche-Mt.Mary-Pillonet)と Sesia-Lanzo inliner は衝突ナップ群の上部に分布し、オフィオライト Piedmont 帯全体を覆い白亜紀後期のブルーシスト相からエクロジヤイト相の変成相を示す。ii)Mt.Emilius やほかの低い outliers は、上部(Combin)と下部(Zermatt Saas)オフィオライトナップの構造上の境界に沿って Piedmont 帯を挟みこんでいる。したがって、これらのナップ群は異なる構造区に由来するものであり、さまざまな深さにもぐり込み、最終的に出現するまでの間は並ぶような位

置にあった。

中央アルプスでは、**Ossola-Tessin** 地窓の東方、オーストリアアルプス西部は **Margna** ナップと相互に関係するらしい(**Staub** の解釈)、**Malenco-Avers** オフィオライト上に衝上し **Platta** オフィオライトに被われ、両者は位置的に **Piedmont** 帯に相対している。**Platta** ナップはオーストリアアルプス系列東部の構造的な土台をなしている。これは、西オーストリアアルプスと **Margna** ナップは、現在の東オーストリアアルプスよりも構造的に低い位置にあることを示す。

東オーストリアアルプスは被覆層や基盤のナップの厚い集積層であり、スイスとオーストリア国境から **Pannonian** 盆地(図 1)に広がっている。ペンニン帯が **Engadine**、**Tauern** や **Rechnitz** 地窓に露出した中生界とオフィオライトユニットによって証拠立てられていることに関して・・・北に向かってはオーストリアアルプスはペンニン外帯の **Rheno-Danubian** フリッシュ帯の上に横たわっている。南では、**Periadriatic** 断層帯に沿う南アルプスの基盤に並んで位置している。オーストリアアルプスの一部は、前-中期白亜紀に受けたエクロジャイト相から **Barrovian** 変成相を示している(**Eoalpine**; **Frey** ら, 1999)。加えて、スラスト表面は **Gosau** 層(コニアシアン-始新世)で被われており、東アルプスの主要な造構造-変成時期(後期白亜紀以前)は西オーストリアアルプス(後期白亜紀-始新世)より古いことを示している。

東オーストリアアルプスは、ふたつ(イタリアの構造モデル)または、みつつ(オーストリアの研究)の主要なナップ群に区分される。上部オーストリアアルプスは北石灰アルプスや、**Tauern** 地窓の西方(**Steinach** クリッペ)、南東方(**Gurktal** ナップ、**Graz** 古生界)と北方(グレイワッケ帯)といった葉片状の基盤ナップを取り巻いている。北石灰アルプスは、二畳紀から中生代の碎屑岩ないし炭酸塩岩類からなるデコルマを覆うナップが瓦状に積み重なったものであり、プラットフォーム(**Hauptdolomit**)や盆地(**Hallstatt**)層を含み、主に蒸発岩を伴う頁岩に沿うグレイワッケ帯から引きはがされた。中央オーストリアアルプスは東部アルプスの基盤と小規模なカバーユニットを含んでいる。**Silvretta**、**Oetztal** や **Ortler-Campo** ナップは **Tauern** 地窓の西方にあり、南方に **Ulten-Tonale** ナップが続いている。後者は、エクロジャイトの遺物やガーネット-スピネル橄欖岩のスライスを伴うバリスカンの古い地殻の断片である。似たような基盤や被覆ナップは **Tauern** 地窓の東部にもあり、**Speick** オフィオライト(バリスカン)と、二畳紀の塩基性岩類が初期アルプスのエクロジャイト相変成を受けたいくつかの基盤ユニット(**Koralpe-Sausalpe**, **Sieggraben**)を含んでいる(**Thoni**, **Frey** ら, 1999)。下部オーストリアアルプスは、オーストリアアルプス山脈の西部(**Err-Bernina**)、中央(**Innsbruck** 石英質フィライト、**Radstatt** 系列)や東縁部(**Semmering-Wechsel**)に沿って露出する、いくつかの被覆層および基盤ユニットを含んでいる。**Innsbruck** フィライト(古生代)は、始新世にブルーシスト相の変成を受けた中生代のオフィオライトで、**Reckner** ナップによってスラストされている。

## ペンニン帯

ペンニンというのは、ヨーロッパ大陸の末端縁や中生代の海洋から発した、すべてもぐり込む下位のプレートに属する大陸地殻や海洋性のナップ群に使ってきた古典的な名前である。オフィオライトユニットが広がった元の中心の位置はよくわからない。

西アルプスでは、ペンニン帯は上部から下部へ、i)オフィオライト **Piedmont** 帯；ii)ペンニン内帯 **Dora-Maira, Gran Paradiso** と **Monte Rosa** 大陸基底ナップ群；iii)中部ペンニンの **Grand St. Bernard** 集積ナップ群；iv) **Ossola-Ticino** 地窓の下部ペンニンナップ群、そしてペンニン前縁スラストで境されたオフィオライトユニットもしくはフリッシュナップを含むペンニン外帯の **Valais** 帯；v)アルプス以前のクリッペで、もぐり込みによりオーストリアアルプスーペンニンくさびのさまざまなユニットから引き剥がされ、後にヘルベッティ域に移ったフランス-スイスアルプスのデコルマナップの集まり。中央アルプスでは、**Ossola-Ticino** 地窓(ペンニン帯下部)は、東に向かい **TamboSuretta** 大陸地殻ナップ群(中部-ペンニン内帯)に被われ、これらは、先に見たように **Malenco-Avers** オフィオライトや **Margna** ナップ、**Platta** オフィオライトで順にキャップされている。

ペンニン外帯は **Valais** 帯(北西アルプス)から **Grisons** を経て、ペンニンくさびの前縁部を構成する **Rheno-Danubian** フリッシュ帯(東アルプス)にひろがっている。これは、主に白亜紀(西側)または白亜紀-始新世の硅質碎屑岩や炭酸塩岩類からなるタービダイト、部分的にはフリッシュ以前の地層からなるデコルマユニットで構成される。これらの堆積物が海洋起源であることは、若干のオフィオライトの断片が示している。

東アルプスでは、ペンニン帯は **Engadine**、**Tauern** や **Rechnitz** 地窓に現れている。**Tauern** ナップ群はオフィオライト **Glockner** ナップと、下位にあるヨーロッパ起源の基底のカバーナップ(中部と/または内部ペンニン帯)、例えば、i)地窓の西部でふたつの巨大な変形の核心部をなす **Venediger-Zillertal** と **Tux**；ii)中央地窓の **Granatspitz** ドーム；iii)南東側にある **Sonnblick, Siglitz, Hochaim-Ankogel, Gossgraben** と **Mureck** の各ユニット、からなっている。

オフィオライト **Piedmont** 帯とその当方延長は、ブルーシスト(青色片岩)とエクロジャイトユニットに区分される。他の岩石学的違いは、様々に変化しており、i)炭酸塩からフリッシュタイプの堆積物(石灰質片岩)で、しばしば変玄武岩やオフィオライト岩体を多数挟在する；ii)海洋地殻の規則的ないし不規則な大きな断片で、アンティゴライトや蛇紋岩(マントルの橄欖岩から)からなる。場所によっては **ophicarbonat**—**ophicalcite** 角礫岩に被われ(西アルプスの **Platta**)、または不連続な変斑レイ岩体が貫入し、塊状ないし枕状の変玄武岩で被われ、マンガンに富む変チャート(中期-後期ジュラ紀)、不純な大理石、造山堆積物、もぐり込み帯のメランジからなっている。変成作用を無視すれば、前者に相当するのは、大まかには **Ligurides** 外帯(北部アペニン帯)に当たり、それはメランジとオリストリスに富むフリッシュで特徴付けられる。これに対し後者は **Ligurides** 内帯の海洋地殻のスライスに関係している。

ペンニン帯の大陸地殻ナップは、カバーユニットと、場所によっては未だに完全あるい

は一部の地層からなる大規模な一般に薄い基盤のスライスですべてている。基盤岩類はパリスカンや部分的に古期の変成岩ユニットを含み、上部古生界の花崗岩類に貫入されている。パリスカン以降の堆積岩類は上部古生代または下部三畳紀の碎屑岩類に始まり(例えば **GrandSt.Bernard,Tauern**)、続いて三畳紀とジュラ紀のプラットフォーム化によって炭酸塩岩類、場所により白亜紀(ペンニン内部)または始新世の造山帯堆積層に発展している。アルプス以前のクリッペを除いて、全域がアルプス期の変成を蒙っている。西や中部アルプスにおけるペンニン内帯の基盤岩類は、始新世期に受けたエクロジャイト相の変成作用を示し(Chopin,1984,Frey,1999)、また、下部のペンニン基盤のナップ群中にも **GrandSt.Bernard** システムによるブルーシスト相ではあるが認められる(例えば、**Adula-CimaLunga**)。対照的に、**Tauern** 地窓の大陸性地殻のナップでは、緑色片岩から角閃岩相の **Barrovian** 期の再変成(衝突期の変成作用)が卓越し、以前の高圧相は大部分消えてしまっている。

### ヘルベット - Dauphinois 帯

ヘルベットと **Dauphinois** 帯(フランス側)は多くの結晶質なデュプレックスと被覆する堆積岩ユニット、デコルマナップ群からなっている。持ち上げられた変成岩や花崗岩類からなる基盤のスラストシートは、**Argentera-Mercantour**、**Pelvoux(Haut-Dauphine)**、**Belledonne-Grandes Rousses**、**Aiguilles Rouges-Mont Blanc Aar-Gotthard** の外側の地塊に露出している。多重の変成作用(パリスカンや、より以前)と単一の変成作用(パリスカンのみ)を受けた基盤岩類が識別され、それらはオルドビス紀のもぐり込みからパリスカンの衝突、ナップ群の集積と部分的な変成、石炭紀の侵食、造山帯の崩壊、後の貫入と断層作用と発展してきた。パリスカンの基盤岩類は、石炭紀後期から始新世/漸新世の厚い堆積層で不整合に被われ、中生代初期の地溝帯や縁辺部の境界をなす非対称の断層で特徴付けられる。

ヘルベットと **Dauphinois** 帯はヨーロッパ側基部への造山作用が増した後期漸新世から強く変形している。分裂断層は大規模に復活し、また逆転している。基盤やカバーユニットは、オーストリアアルプス-ペンニン衝突楔の前面に付加され、部分的に片麻岩様から緑色片岩、場所によっては角閃岩相(南部 **Gotthard**)に再結晶している。

ヘルベットと **Dauphinois** 帯のナップ群は、三畳紀の蒸発岩類や中期ジュラ紀や下部白亜紀の頁岩に沿って引き剥がされた、主に中生界の炭酸塩岩類や古第三紀のフリッシュからなるカバーシートや小規模な横臥褶曲ですべてている。類似したカバーシートはサブアルプス山脈(フランスアルプス)、**Belledonne** や **Pelvoux** 地塊の西部(**Chartreuse**)や南部(**Devoluy-Ventoux**)でも見つかり、そこでは **Dauphinois** の堆積岩類は引き剥がされて著しく変形している。

スイス-オーストリアの境界では、ヘルベット帯は急激に分布が狭くなり、東アルプスでは **Rheno-Danubian** フリッシュ帯の前後に切れ切れとなり、デコルマシートに小さくなって露出している。

## 南アルプス

南アルプスは、山脈において変形した大陸地殻の縁の典型的な例である(Bertottiら,1993)。漸新世までは、このアドリア地域は緩やかに変形していたアルプスの内側古第三紀のジナル帯であり、その東側の楔のみが激しく再変動した。新第三紀からは、南アルプスのスラスト・褶曲帯が発達しアドリア前縁部に向かってしだいに激しくなり、主に中生代の伸張性の断層が再活動した(Castellarinら,1992)。その前縁部は主としてポー平野の完新世の堆積物で覆い隠され、後期中新世から第四紀までの堆積物で被われている。また、北に向かっては、南アルプスは **Periadriatic** 構造線で境されている。

南アルプスの完璧な地殻の断面は、地表に現れている：厚い被覆層が中央部(Lombardy)や東部(Dolomites)で優勢で、基盤は中央部(上中部地殻:Orobic アルプスや Como-Maggiore 湖)から西部の楔(Ivrea 帯)にかけて概ね連続的であるが、そこでは下部大陸性地殻が現れている。

基盤の結晶質岩類は堆積岩や火成岩起源の種々のバリスカン変成岩類を含み、後者は二畳紀の火成活動により貫入したものである。それらに混じり、有名な **Ivrea** 斑レイ岩バソリスがあり、片麻岩質の地殻(Kinzigitic コンプレックス)の基部において置き換わったものである。バリスカン不整合よりも下位では、部分的な変成作用が極めて低度(Carnian アルプス)から緑色片岩相(Venetian 地方、Adamello 東方)、そして中から高度(中央と西部南アルプス)のものが増加する。この変成作用は、下部二畳紀の碎屑岩や火山岩層に対する **West-phalian(Lombardy,Ticino)**の不連続な堆積と著しい侵食といったことより前に起こった。新しい堆積サイクルが後期二畳紀に発達し、これは大陸性の堆積物が東方に向かって浅海性の堆積物に変化する特徴がある。三畳紀には南アルプス域は水没して炭酸塩岩の台地と盆地で特徴づけられ、主としてラディニアン階に場所によって安山岩質マグマ活動があった。分裂はノーリアン階から中期ジュラ紀のはじめまで続き、オーストリアアルプスと南アルプス域がもぐり込むアドリアの大陸縁をなしていた時に、**Piedmont-Ligurian** 海の形成が起こった。既存の構造は正断層として再活動し、遠洋性の堆積相が卓越してきた中期ジュラ紀まで続いた。白亜紀-古第三紀の地層は、遠洋性やフリッシュ堆積物が不連続に残っているが、その後の大部分の地層は漸新世から現在までの造山運動と上昇の間に侵食されている。

## 地質史

アルプス-地中海域は、プレカンブリア紀から活動的な地帯であり、地殻変動の再発によって再活動や若返りが起こった。アルプス以前の地史は南アルプスにおいて再構築され、また、アルプス造山で弱くオーバープリントされたオーストリアアルプス、ヘルベッットやペンニン域でも差はあるものの同様である。

## バリスカンや古期の変動

古生代の造山と、バリスカンの衝突は Gondwana とユーラシアの超大陸の合体と、その

間の海洋の集合によるパンゲアを作り上げた。将来アルプスとなるあたりは、この造山帯の南側の側面に沿って位置していた。古典的な、“パリスカン”という言葉は石炭紀のヨーロッパ中央部における衝突を定義するために作り出されたが、オルドビス紀からデボン紀のもっと早く起こった出来事は後で明らかとなり、本質的に連続する古生代の造山が存在することを示唆している。また、さらに古い造山の痕跡は部分的には残っている。結局、アルプスの二畳紀以前の発達は以下のように要約できる。

- 1) ジルコンの U-P データと Nd モデルはプレカンブリア紀の地史の年齢を示している。最も古いジルコンは、**extra** アルプス源から侵食されたプレカンブリア紀の砕屑物と比較される種々の複変成を受けた基盤ユニットから見つかる。**Proterozoic**-前期カンブリア紀の海洋底の拡大、島弧の活動、そして火山活動は、プレカンブリア紀の角閃岩-エクロジヤイト相の変成作用(**Silvretta**)の追跡により、ヨーロッパとアドリアの基盤に記録されている。また、カンブリア紀の化石は時々発見されている。
- 2) 前期古生代におけるゴンドワナ大陸北側側面の北方へのもぐり込みは、プレカンブリア紀の岩石の再出現や、塩基性から超塩基性のオフィオライトと縁辺盆地の残存として、オーストリアアルプス東部やヘルベットの基盤ユニットに記録されている。もぐり込みは、古生代の造山楔の付加体、塩基性や酸性岩にあるエクロジヤイトの痕跡、カルクアルカリ島弧の火成活動(**460-430Ma**)から推定される。これらの痕跡は、南アルプス、オーストリアアルプスやヘルベットの **Dauphinois** ユニットのうちのいくつかの主にパリスカン変成岩の基盤に残っている。
- 3) シルリア紀から前期石炭紀の大陸の衝突(古典的なパリスカン造山)は、ナップの集積による地殻の増厚、低度-高度の種々の温度条件による変成作用、ナップ後の変形、フリッシュの堆積、造山火成活動(**350-320Ma**)を盛んにした。後期石炭紀には、崩壊したパリスカン帯は砕屑堆積物(パリスカン不整合)で被われ、造山後の深成岩が貫入している。

## 二畳紀 - 中生代の発達

パリスカンプレートの動きは石炭紀-二畳紀境界付近で終わり、ユーラシアプレートのスケールの **transcurrent** や **transtensive** 構造が卓越するようになった。アセノスフェアの **upwelling**、リソスフェアの減少といった未来のアドリア域での新しい構造形成の始まりが前期二畳紀に認められる。二畳紀の発達は、リソスフェアの規模での伸張性の分離、非対称な引張り(上部プレートとしてのアドリア)と広範なアセノスフェアを起源とする火成活動で特徴付けられる。オーストリアアルプスと南アルプスの基盤では、火成活動は前期二畳紀の斑レイ岩バソリスのアンダープレートで始まった、薄くなった大陸地殻の上昇するセグメントの下や内部を置き換えて、そしてグラニュライト質な環境下で再結晶した。熱せられた地殻の根は、部分的に地殻上部まで移動した **anatectic** な溶融を促進した。このサイクルは浅いグラニトイドや砕屑性堆積物や火山噴出物で埋められた断層で境され

た堆積盆に記録されている。

カルク-アルカリから **shoshonitic** な火成活動が中期三畳紀に発達し、主に南アルプスにおいて、それは伸張性の場で、すでに増加したマントル物質(パリスカンのもぐり込み)の部分的な溶融で生じた。三畳紀後期からは、アドリア(アフリカ)とヨーロッパの間の大陸分裂が **listic** 断層や沈降盆や地溝堆積物に最初に記録された深いアルプステチス海を生んだ。分裂は、中生代の海洋が拡大し始めた中期ジュラ紀に終わった。この時代は、前期 **Bajocian** 階の分裂後期に沈んだ大陸ブロック上のラディオラリアチャートの堆積物と、**Bajocian** 階中期の前から海洋地殻の発達と、中央大西洋で最も古い同時代の堆積物の出現に当てはめられる。オーストリア-南アルプス域はアドリア大陸衝突縁の末端かつ基部をなし、対するヨーロッパ縁はペンニンやヘルベット-**Dauphinois** 域を形成した。アドリア衝突縁は北石灰アルプスと変形の少ない南アルプスにおける堆積層に、ヨーロッパ縁は **Prealpine** クリッペ、変成した **Brianconnais** 被覆層、さらにヘルベット-**Dauphinois** の堆積層によく残されている。

大陸分裂は、おそらく(二畳紀の配置に対する)上部プレートとしてのヨーロッパによる単純なせん断力によって生じた。大陸-海洋の発達は極めて複雑である。中央と西部アルプスのいくつかのオフィオライトからは、深部から現れ変質した橄欖岩質の基盤(例えば、アオスタ、**Malenco** や **Platta** 地域)という海洋地殻の分布を物語っている。この仮説は、マントルをなす蛇紋岩の上にある海洋性炭酸塩岩の角礫と大陸性の碎屑堆積物の存在、すなわち海洋-大陸の境界付近に沿った現在の露出を思い起こすことによって確かめられる(**Manatschal** と **Bernoulli,1999**)。このような見地から、著しく伸張し薄くなったプレート上部の凝集した残骸がテチス海で失われ、現在オフィオライトユニットに挟まったオーストリアアルプスやペンニンの大陸ナップの原動力となったと考えられる。先に見たように、他のオフィオライトユニットは普通の海洋リソスフェアの断片か、構造的なスライスやタービダイトなどに多い海洋性を示すオリストリスのどちらかである。

テチス海の復活は、古くて興味ある問題であり、それは主に衝突帯における多数のオフィオライトユニットの中部アルプスにおける発見によっている。ほんとうに、アルプスの幾重もの複雑な層は、ふたつ、またはもっと多い海洋の分岐、あるいは何回もの褶曲や移動による造山時の分散を示す単に究極の結果なのかを多分現している。**Piedmont** 帯はアルプスで最も規模が大きいオフィオライトである。西アルプスの大部分に広がり、**Ossola-Ticino** 地窓を越えて東オーストリアアルプスの下位の中部(**Malenco-Avers,Platta**)や東アルプス(**Glockner,Rechnitz**)に再び現れる。普通、フリッシュ型の堆積物に関係するより小さいオフィオライトは、北-西(**Valais** 帯、**Ossola-Ticino**)から中部アルプス(**Grisons**)と **Engadine** 地窓にかけてのペンニン外帯中の、構造的に程度の低いところに位置している。集積したナップ群の古典的な手法による再現から、これらのオフィオライトは、それぞれ、**Piedmont** 海(南部ペンニン帯)と北部沈降盆(北部ペンニン帯)からもたらされ、多分 **Brianconnais** 小大陸によって分断されたと考えられる。もうひとつの考えは、ひも状の大陸があるひとつのジュラ紀の海洋、と/または、様々な大きさ

の伸張性の **allochthons**、あるいは、多分 **Piedmont** 海が閉じるまで開いていた新期の北部ペンニン沈降盆の発達からなっている。

### アルプス造山

アルプス造山は、東部オーストリアアルプスに始まり、内側から外に向かい進行し、最後には順々にアルプステチス海全体におよんだ。

初期のアルプス造山は、東部オーストリアアルプスで発達し、後期白亜紀の **Gosau** 層の堆積以前に終了した、これは、カルパチア(**Meliata** オフィオライト)を経て東部オーストリアアルプス域に広がっていて、**Gosau** 以前の大陸衝突を導いた三畳紀の **Vardar** 海の西の分岐が閉じたことに一時的に関係している。この考えは、**Eoalpine**(前期-中期白亜紀)時代の **Barrovian**(衝突)変成作用と楔の成長によるエクロジャイト(もぐり込み)を説明する、しかしながら、海洋の位置はあまり明らかでなく三畳紀の海の軸方向(将来のアルプス地帯とは斜めないし横断する)はよくわからない。

続く造山作用は、後期白亜紀(西部オーストリアアルプス)からアルプス全体で発達し、ヨーロッパとアドリアの始新世の衝突へと続く、**Piedmont**(南部ペンニン帯)海洋リソスフェアのアドリアの活動する大陸縁の下へのもぐり込みに密接に関係した。アルプス変動の初期の段階は、海洋のもぐり込み(中部白亜紀?)の開始に始まっており、もぐり込みに関係する低温型が卓越した。これは、西部オーストリアアルプスで最も古い(後期白亜紀)高圧のピークにより明らかになり、ヨーロッパ基部の始新世の衝突によるもぐり込みまで続き、エクロジャイトから青色片岩相のペンニン帯の大陸性ユニットに明瞭に記録されている。このステージは、アドリア活動縁における衝突前から衝突(オーストリアアルプス-ペンニン)による楔の成長で特徴付けられる。最初から、固有のマントルリソスフェアを欠いており、最初のもぐり込む海洋地殻が横たわり、海洋が閉じた後は、衝突によるもぐり込みと付加を受けるヨーロッパの下部プレートの活動する縁となった。楔の原動力はなぞであり、i)海洋で分けられた小大陸地殻の薄い断片の付加、ii)アドリアの活動縁の構造的な侵食で、内部ペンニン大陸性ナップにおいて変成したもぐり込みが起きた白亜紀からの推定、iii)構造的なプレートのもぐり込みによる、伸張性の上部プレート(非対称の分裂)からもたらされた、もともと薄い地殻の断片付加、で解釈されている。どのケースにおいても、高圧のペンニンナップの地下深部からの出現は、楔構造における伸張期によるもので、活動するプレートの短縮とナップのアンダープレイティングに関係している。

始新世の後期または終わり(場所による差)から、もぐり込みに関係して冷えた条件は、変化しやすい温度条件に取って代わった。もぐり込んだコンプレックスは構造的に浅い位置に移り、後期始新世から前記漸新世(**Mesoalpine** と呼ぶ)の、変成温度勾配が **35** から **50°C/km** で特徴づけられる **Barrovian** 変成作用を再度受けた(**Frey** ら、**1999**)。そしてすぐに、衝突後のマグマ活動が発達し、漸新世の間(**32-30Ma**)に急速に消えて行った。このことは、アオスタ渓谷下部からアルプスの東の端まで、**Periadriatic** 断層に沿って広く記録されている(**Bigi** ら、**1990**)。もっと古いマグマ生成物(**42-38Ma**)は **Adamello** バソリスの南部にの

み見られる。**Periadriatic** マグマ活動は、カルク-アルカリからカリウムの富む深成岩や貫入岩類で代表され、南アルプスの北部やオーストリアアルプス-ペンニン帯の内部を横切っている。

これらの岩体は、白亜紀から始新世のもぐり込みの間にすでに加えられた地殻マントル物質の部分溶融によって生じた。**Periadriatic** の溶融物の誕生と地殻上部への上昇は、岩板の破壊につながり、温度の乱れに関係したもので、活動するプレートの動きの間の伸張の場と急速な上昇を連想させる。

**Periadriatic** マグマ活動は漸新世後期に終わり、新しくなった衝突がマグマ源を不活発にした。絶え間ないプレートの動きが外に向かって前進し、主に左右同形の前面の付加体を通じて、鉛直方向と水平方向の突出と、オーストリアアルプス-ペンニン楔の冷却が結び付けられる。もちろん、前方にあるセグメントは、ヘルベット帯の基盤のスライスや沈降しているモラッセ層を越えて移動したデコルマのナップに見られるように、衝突する楔の前面に付加される。プレートの移動と反対側のスラストや褶曲帯は、南アルプスの上部地殻に発達し、楔の背後と逆に動くアドリアの中上部リソスフェアの凸凹によって生じた。一方では、厚くなりすぎたオーストリアアルプス-ペンニンナップの集積層は、低角度の破断面に沿って造山帯に平行な構造的摩剥を起こした(例えば、**Ratschbacher** ら,1991)。地震波や **GPS** 観測と、前方地域での沈降は、アドリア/ヨーロッパの変動が未だに活動しており、この地帯の様々な部分で伸張性と/または、圧縮のテクトニクスがあることを示している。



ヘルベット帯のジュラ紀－白亜紀層の雄大な断面



アオスタ溪谷のペンニン帯の片麻岩域  
この先には、規模が大きいオフィオライト岩体がある。

## 4.3 エモッソングダム周辺地質巡検

N. M.、T. H.

### 4.3.1 概要

ヨーロッパの屋根とも呼ばれるアルプス山脈は急峻な山地と山岳氷河が発達し、美しい自然景観をなしています。アルプス山脈は、ヨーロッパ大陸とアフリカ大陸の断片（アプリアプレート：現在のイタリア、ギリシャ、ユーゴスラビアの一部）とが衝突して生じたと考えられています。

2つのプレートが衝突し、アフリカ側の地層がヨーロッパ側の地層に乗り上げる（衝上する）形で地層が褶曲し折り畳まれ、積み重なってアルプス山脈が形成されました。この結果、山地や低地、河川分布等の地形的特徴と、地質分布は西南西～東北東に規則的に連続した配列となっています（図 1.1）。

アルプス造山運動の最盛期は古第三紀と言われていますが、その後の第四紀の氷河によって、マッターホルン、モンブラン、エギーユ・ミディなど、現在の急峻な山容が形成されました。

調査団は 8 月 25 日の午後～翌 26 日にかけて、モンブランの麓の町、シャモニーに滞在し、アルプス巡検を行いましたので、以下にご報告いたします。

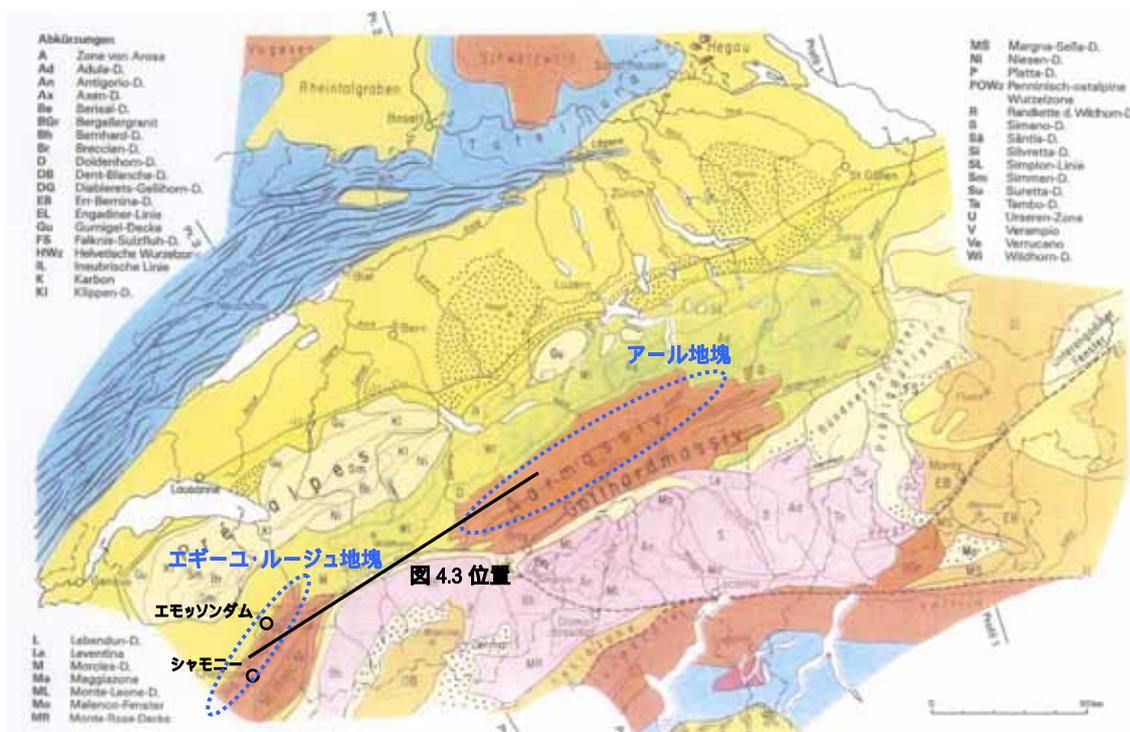


図 1.1 アルプスの地質

Geologisch-tektonische Karte der Schweiz p14

#### 4.3.2 シャモニー周辺

シャモニーはアルプスの最高峰モンブラン（標高 4,807m）の麓にある町で、登山やスキーをはじめとしたマウンテンスポーツを楽しめるリゾート地として有名です。シャモニーのあるローヌ谷は氷河によって削られたU字谷をなし、周辺の山々には針のように尖った峰（ホルン）が発達しています。



写真 2.1 U字谷と針峰  
谷底に見えるのが、シャモニー。

このようなアルプスの険しい地形は、第四紀において氷河によって形成されましたが、今日でも山腹には氷河（山岳氷河）を見ることができます（写真 2.2）。

近年は地球の温暖化のためか、年々氷河が後退しているようですが、写真に見られるように、山岳氷河が雪線よりはるか下方まで融け去らずに伸びるためには、高地にある氷床からの氷の供給量が十分多いことだけでなく、氷量に対して消耗が起こる面積が狭いことが必要なようです。

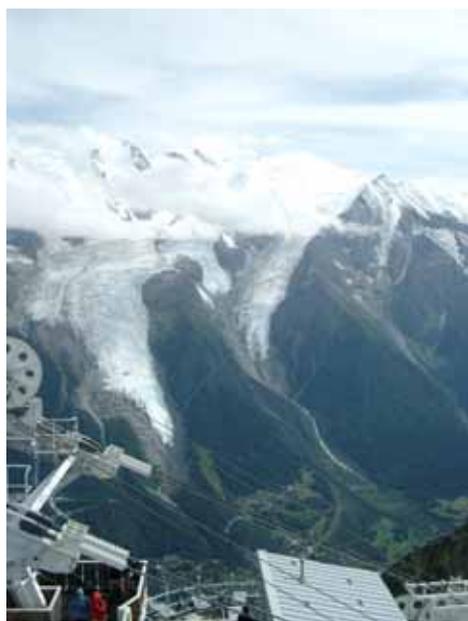


写真 2.2 ボツソン氷河  
対岸のロープウェーから望む



図 2.1 シャモニー周辺の地形図

### 4.3.3 Brevent 山の地質

調査団はシャモニーに到着してすぐに、ホテル近くのロープウェイ乗り場から Brevent 山に登りました(図 2.1 参照)。ロープウェイを降りるとそこは標高 2,500m 程の高所であり、視界にはアルプスの山並みが広がりました。

森林限界を越えた木々のない山肌には表土がなく、新鮮な岩盤(花崗片麻岩)が露出していました。(写真 3.1、後述の薄片番号①)。文献によれば、アルプスの基盤岩はバリスカン(ヘルシニア)造山運動(石炭紀)の結果成立した地塊で、主に変成岩や花崗岩から構成されます。



写真 3.1 花崗片麻岩  
山頂付近の露岩

ふと前方(北方)の山を見ると、山頂には箱舟のように堆積岩がのっていました(写真 3.2)。この堆積岩の厚さは 100m 程度と薄いものの、かの有名なヘルベチア・ナップを目の当たりにして、しばし感動しました。



写真 3.2 山頂の堆積岩  
Brevent 山から北方を望む

#### 4.3.4 エモッソンドム巡検

翌8月26日、調査団はエモッソンドムとその周辺の巡検に出かけました。天候はあいにく雨でしたが、途中で晴れることを願い、また調査団に晴れ男がいることを信じて、ホテルを出発しました。

ダムまではケーブルカーとトロッコ列車を乗りついで行くことができます。ケーブルカーは恐ろしく急勾配で、下から見上げる様子はほとんどジェットコースターでした(写真4.1)。



写真4.1 ケーブルカー

その昔、ダム建設資材の運搬に使ったもの

ケーブルカーやトロッコ列車から眺めた斜面には花崗岩や片麻岩が露出していました。文献によれば、エモッソンドム周辺及び昨日登った Brevent 山は、「エギーユ・ルージュ地塊」と呼ばれる一連の地塊です(図1.1参照)。

エモッソンドムは標高2,000mにある、高さ180mのアーチダムです。トロッコ列車に乗りながら、下から見上げるダムの迫力はなかなかのものでした(写真4.2)。



写真4.2 エモッソンドム

トロッコ列車からの眺め

しばらくダムを見学した後、調査団はいよいよエモッソンダムの上流に向かって歩き出しました。目指すはエモッソンダムの上流にあるダムで、その貯水池には白亜紀の堆積岩（ヘルベチア・ナップ）が分布し、恐竜の足跡を見ることができる場所があるそうです（写真 4.3）。



写真 4.3 恐竜足跡の看板

エモッソンダムの上流ダムにて

上流へと山を登っていくと、谷底の新鮮な岩盤に氷河削痕を観察することができました（写真 4.4）。この削痕がいつ頃できたのかはわかりませんが、氷河が削った岩盤にはほとんど風化は認められませんでした。



写真 4.4 氷河削痕

右上から左下にかけて見える筋

エモッソンドム周辺の地質は、変成岩（片麻岩、結晶質片岩）でした（写真 4.5、薄片番号②）。いくつかの地点で片理面の走向傾斜を測ると、 $N20E \sim 20W / 60W \sim 90$  でした。これはアルプスの大局的な地質構造（ENE-WSW）にほぼ直交する方向で、基盤岩の構造はアルプス造山運動によって形成された地質構造とは異なっていました。



写真 4.5 結晶片岩  
片理面はほぼ垂直に立っている

一方、割れ目や断層の走向傾斜は  $N70E \sim 70W / 60S \sim 90$  と、大局的な地質構造と調和的であり、NNW-SSW方向の圧縮力（プレートの衝突）により形成されたことがうかがえます（写真 4.6）。



写真 4.6 基盤岩の割れ目  
ENE-WSW の方向性をもつ

基盤岩の面構造が垂直近く立っていること及び、発達する割れ目や断層も高角度であることから、凍結融解による物理的風化によって表層の岩盤は緩みやすく、山腹斜面では落石や表層崩壊が生じ易いと考えられます。針峰の形成には氷河による侵食作用のほか、こ

のような物理的風化と崩壊による影響があったと考えられます。

登山ルートには所々に斜面对策工が行われていましたが、その規模は極めて必要最小限でした。例えば、歩道沿いの切取り法面にある流れ盤の岩塊に対して、鉄の杭が数本だけ打ち込まれていたり、直接岩盤にロックボルト工が施工されていました(写真 4.7、写真 4.8)。

風化が薄い(第四紀の氷河による削剥から風化が進行するほどの時間は経過していない)こと、発達する不連続面が高角度であることから、このような対策でよいと思われませんが、日本のように風化が進んだ山地との違いを改めて感じました。



写真 4.7 落石防止工  
楔岩塊の落石を鉄杭で防止



写真 4.8 ロックボルト工  
直接岩盤に施工されている

また、登山ルートの切取り法面ではいろいろな片麻岩の顔つきを観察することができました(写真 4.9、薄片番号③ 写真 4.10)。



写真 4.9 しわのよった片麻岩



写真 4.10 ミグマタイト質な片麻岩

ようやく上流ダムの貯水池にたどり着くと、すぐに今まで見てきた変成岩とは明らかにことなる、肌色～白色の岩石露頭が目に入りました。先を争いながら露頭に近づくと、それはポーラスな礁性石灰岩でありました（写真 4.11、薄片番号⑤）。



写真 4.11 礁性石灰岩の露頭

礁性石灰岩は昨日 Brevent 山の北方に見たヘルベチア・ナップの一連と考えられます。石灰岩を確認してすぐに、今度は堆積岩と変成岩との境界を探し始めました。なぜなら、堆積岩と変成岩との境界に、ナップの下面、つまり衝上断層があると考えていたからです。

しかし、石灰岩と変成岩との境界に断層はありませんでした。その代わりに、中粒砂のマトリクスと石英や長石の角礫からなる角礫岩（アルコース）がありました（写真 4.12、薄片番号④）。石灰岩と変成岩の間には断層岩があると思い込んでいた私の目には、一見この角礫岩がマイロナイトに見えました。



写真 4.12 角礫岩の露頭

この角礫岩は厚さ数m程と薄く、その上位に石灰岩があります。角礫岩と下位の変成岩とは密着していました。一方、角礫岩と石灰岩との境界には断層がありました。この断層の方向はN40E / 30Nであり、写真のように断層面が露出し、貯水池の対岸にも連続していることが確認できました（写真 4.13、写真 4.14）。この断層は、地形的にも上盤が北西方向に落ちている、正断層に見えました（図 4.1、図 4.2）。



写真 4.13 石灰岩と角礫岩との境界（断層面）  
地形的に沢を形成している



写真 4.14 貯水池対岸の断層露頭

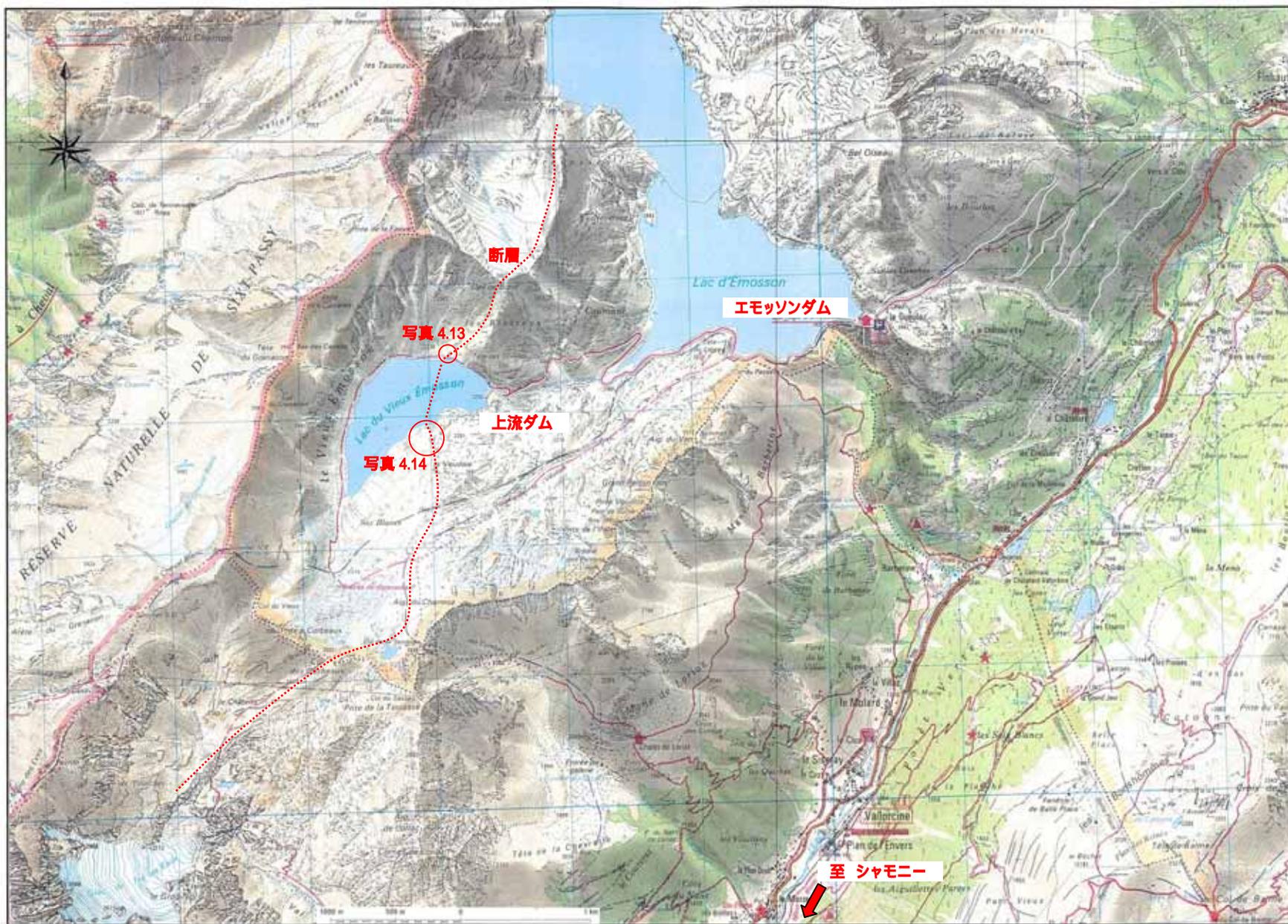


図 4.1 エモッソングダム周辺の地形図



このとき、恥ずかしながら、私はこの断層とナップの構造について、ちゃんと理解できないまま帰国しました。本報告書の執筆にあたり、いくつかの文献を参照して、ようやくこの断層とナップとの関係を理解できました（後述）。

現地では、角礫岩の角礫がゆっくりと離水しつつあった基盤岩（花崗岩、変成岩）の断崖から供給されたものであろうこと、また同時に暖かく浅い海で石灰岩が形成されただろうことに想像を膨らませ、満足していました。

残念ながら積雪（この日、初雪だったそうです）のために、恐竜の足跡を見ることはできませんでしたが、石灰岩（厚さ数 10m）の上位には厚いシルト岩層あり、これらがまだ固まる前、その砂や泥に恐竜の足がめり込む様子を想像しながら、目的地での記念撮影を行いました（写真 4.15）。



写真 4.15 記念撮影  
周囲は冬景色



写真 4.16 恐竜の足跡化石を  
含む付近の地層（ジュラ紀）  
山岳ガイドの T さん提供

#### 4.3.5 石灰岩と角礫岩との境界にあった断層とナップについて

文献によれば、ナップを形成したのは、必ずしもプレート衝突時の圧縮力によるものではなく、重力滑動（gravity glide）による褶曲であったと考えられています。衝突による圧縮力だけでは、ナップの先まで力が伝達されにくいと考えられ、この機構ではむしろナップの先で生じている強い褶曲を説明できないからです。

エギーユ・ルージュ地塊－アール地塊のナップの構造は図4.3のように考えられています。プレートの衝突により基盤岩が隆起したため、モークルナップの堆積岩は軟らかい石灰岩と、その下にある角礫岩（アルコース）や基盤岩（花崗岩、変成岩）の斜面に沿って、北西方向に滑動したと考えられています。

ナップをなす堆積岩が特に高温・高圧の影響を受けたり、変成岩化されている事実がないことなどの地質的観察から、ナップの褶曲は地殻の表層で行われたと考えられます。また、岩石の力学試験結果からは、この石灰岩はある程度の温度・圧力下では非常に流動性（延性）が高くなることが判明し、断層滑剤として働いたと考えられます。

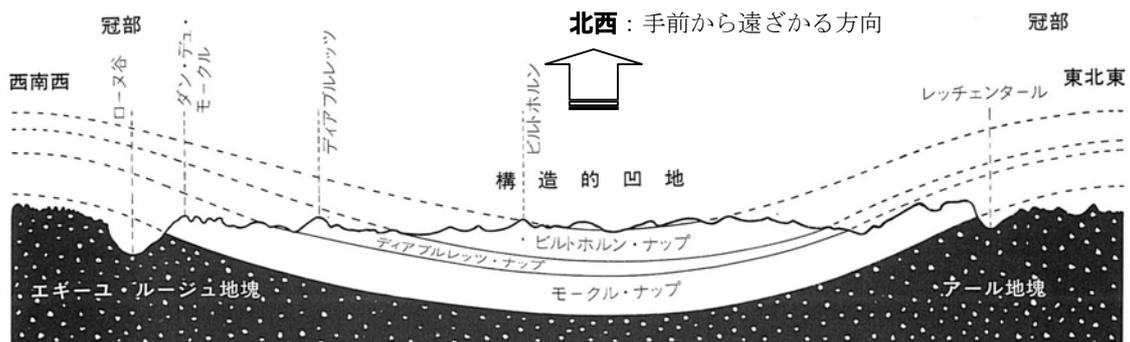


図4.3 エギーユ・ルージュ地塊－アール地塊の模式断面図（図1.1参照）

出典：アーサー・ホームズ著「一般地質学Ⅲ」p667 図30.14

以上のことから、現地で私たちが見た、石灰岩と角礫岩との境界をなす断層が正断層であったこと、Brevent山北方に見た堆積岩とエモツソンドム上流で見た堆積岩がいずれも北西方向に傾斜していたことが理解されました。

#### 4.3.6 岩石薄片観察結果

文中にある岩石の薄片観察結果を以下に示します。

##### Sample①・biotite Granite～granitic Migmatite

Texture：黒雲母・縫合状石英・変形楕円状ペルト石による定向性(foliation)あり(写真①-1×1).

Characteristic：全体に粒度が不揃いで、葉片構造に沿って細粒結晶(0.1mm)が充填(写真①-2、×4)するなど不均質な花崗岩質岩

**Comment** : 自形の斜長石が少ないこと, カリ長石の量比が斜長石より多いこと組織が不均質なこと, **perthite** が多いことなど、花崗岩質岩としてはまだ進化の途中にあるものと考えられる。日本の白亜紀花崗岩と比べて不完全な印象を得る。

**Plagioclase** : 半自形～他形(1～0.25mm,卓状結晶少量), アルバイトの聚片双晶が発達、双晶ラメラは結晶の半ばで**成長停止**するものあり。 **Saussurite** 化は結晶の全面に及ばず局部的に進行。しばしば双晶の不明な個体が散見される。  
**双晶ラメラに直行乃至斜交する劈開が発達**しており, ある種の構造的擾乱のあった証拠であろう。

**K.Feldspar**:殆どが **perthite** 又は **hair perthite** で他形(2.5～1.25mm). しばしば **microcline perthite** がある。 **Orthoclase** に晶出する **albite** は, **stringlet** 状～**ripple** 状, **beads, rods** 状などさまざまな様相を呈する。 **String** 又は **blade** 状をなす **albite** がしばしば**分岐**していることから二度の結晶作用—少なくともアルバイト化作用—があったこと(構造的擾乱後?)が伺える。

**Quartz** : 円～楕円形をなし, カリ長石や斜長石中にトラップされている(0.1～0.05mm)ものと **sutured aggregate(0.25～0.75mm)**するものの**両者**があり, 石英晶出に二つのステージのあることを物語っている。後者は **biotite** の **orientation** に **sub-parallel** で粒間を埋めるように晶出するが, 石英個体内部の歪による波動消光が顕著。両者共に比較的新鮮。

**Biotite**: **brown biotite** の **aggregation** による **orientation** が顕著(**foliation structure**). 劈開に沿って局部的に **chlorite** 化するものもあるも概ね新鮮。

**Accessory** : apatite garnet zircon

### Sample ② : Kali-feldspar blastic biotite sillimanite Gneiss～granitic Gneiss

**Texture** : 中粒結晶の配列と有色鉱物並びに細粒石英・斜長石による縞状(片麻)構造を呈す

**Characteristic** : 斜長石・カリ長石・石英による等粒(0.25～0.75mm)構造を基本とし, これらの粒間を細粒の再結晶石英並びに褐色黒雲母が埋めている。全体に **perthite(chess-board structure, beads shape etc)**, **microcline(tartan twinning)**が **blastic(1～2mm)**に或いは **blasto aggregate(3～1.5mm)**状に晶出する。

**Comment** : 片麻岩とするには片麻状構造が弱く、むしろ**圧碎作用による片状構造類似の構造を示し(写真②-1、2、×4)**, 片麻状花崗岩とするには花崗岩としての性格が明確でない。両者の中間型のものでありながら **blasto** が形成されるなど複雑な性格を有する。 **Granitic gneiss** とするのがよいと思われる。

**Plagioclase** : 全体に汚染するが自形～半自形卓状～短柱状結晶を主体とする。双晶ラメ

ラは単純(殆どが **albite twin**)ながら稀に **pericline** 双晶あり。累帯構造を示すものが少量散見される。殆ど **saussurite** 化しており新鮮な個体は稀。

**K.Feldspar** : **perthite** > **microcline** > **orthoclase** の量比を示す。 **blasto** を形成するもの以外は斜長石・初生的な石英とほぼ等粒。一部のカリ長石周辺に **pressure shadow** が形成される。

**blasto** を形成するのは一部の **perthite** と **microcline**。

**Quartz** : 初生的なもの(円形～不規則形・波動消光・汚染, **0.25~0.4mm**)と二次的な縫合状集合石英(**0.1~0.5mm**)群と再結晶細粒(**0.01~0.02mm**)粒間充填する三者がある。

**Mafic min.** : 緑色黒雲母とこれを一部置換した白雲母並びにはほぼ全体が絹雲母化した三者がある。一部の黒雲母は部分的に緑泥石化している。白雲母を **fibrolite** が置換している部分がある(二次的なものと考えられるが **intergrowth** かも知れない)。

**Accessory** : Garnet, apatite, zircon

**Secondary Min.** : chlorite, limonite (haematite?)

### Sample ③ : muscovite-biotite-andalusite-chlorite Gneiss

**Texture** : 片麻状構造(緑黒色と白色)～圧砕構造。

**Characteristic** : 有色鉱物の縞状部は白雲母が卓越する部分と黒雲母が優勢な部分(写真③-1、×1)とがある。白色部を構成する斜長石は長柱状をなすが、結晶の伸長は  $010 : 001 = 1 : 3 \sim 5$  で通常の伸長状況とは異質である。

**Comment** : **andalusite** と **perthite/microcline** は斑状変晶である。特徴で述べたように、斜長石の晶出状況が特異であり、これの柱状結晶と有色鉱物の強い定向性によって片麻状組織が作られている。又しばしば、斜長石の長軸の角が取れていることなどは何らかの構造運動(圧砕作用)を示唆するものである。

**Biotite** : 全てが緑色黒雲母で集合結晶をなし、つよい定向性を示す。集合の粒間または劈開に平行、時に斜交して黒雲母を置換して白雲母が形成される。緑色黒雲母の一部が緑泥石化している。**Aggregate** した黒雲母中に紅柱石の粒状結晶(斑状変晶 **0.5mm**、写真③-2、×10)が点在する。肉眼的な縞状組織の緑黒色部を構成。

白色部 : 斜長石(**0.5~2mm**)と石英(**0.25~1mm**)を主体とし、少量の斑状変晶正長石(**1~2mm**)で構成される。殆どの斜長石は **saussurite** 化し汚染しているが、稀に新鮮なものもある。双晶はシンプルでアルバイト乃至アルバイト・カールスバッド式。

**Accessery** : garnet, zircon

**Sample ④ : arkose sandstone**

Texture : illite, sericite, carbonate をベース(生地)にした淘汰不良で不均質の **arkose sandstone**(写真④-1、×1).

Characteristic : 主として角礫状の斜長石(0.75~0.25mm)・石英(5~0.25mm)・カリ長石(3mm)で構成される. 異質礫として珩質岩(1~3mm, 写真④-2、×4), 片岩(2mm,)、片麻状花崗岩(3mm), 花崗岩質片麻岩起源(1~2mm)の岩片が少量散点する. 他に少量の黒雲母などの鉱物片と自形~半自形結晶のカリ長石(0.5~1.5mm, orthoclase, perthite)鉱物片が多い.

Comment : カリ長石が多く, 円磨片がないことから供給源は近いと推定される. ある zone に沿って細片化した細粒礫が優占的に配列していること, **sinuous な縫合状石英が配列方向に平行している**ことなどから, **tectonic** な運動の影響が伺える.

**Sample ⑤ : Limestone(sheared limestone)**

Texture : 破碎組織(原組織不明)

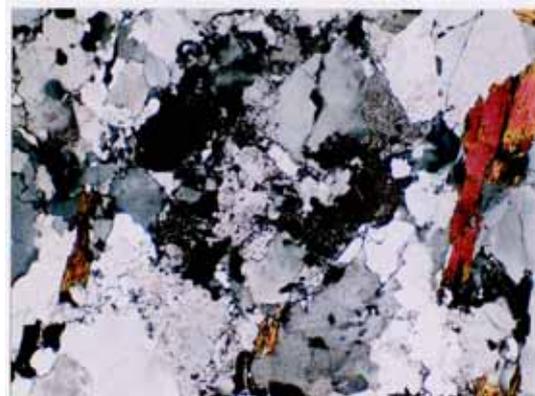
Characteristic : 塑性変形(破断)した石灰岩で, **方解石の破片**が散在する.

Comment : 石灰岩の破碎岩とも言うべき岩石で, ほぼ固化した段階で破碎作用を受けたものと考えられる. ただ, **流動化した痕跡**(写真⑤-1、2、×4)が見られることから破碎作用の後に再結晶を伴わない程度の深度まで埋没して可塑性を獲得したか, 或いはある種の圧碎岩のように **protoclastic** な環境下にあったか, この内のいずれかと思われるが, これは薄片だけでは分からない. なお, **magnesite** らしいものがあるが鏡下観察では良く分からない. 他に融食形の石英 (**0.15mm** 以下) が, あるオリエンテーション(二次的流動の痕跡かもしれない)を示して点在する.

岩石薄片番号 ① Brevent 山の縞状組織を持つ花崗岩

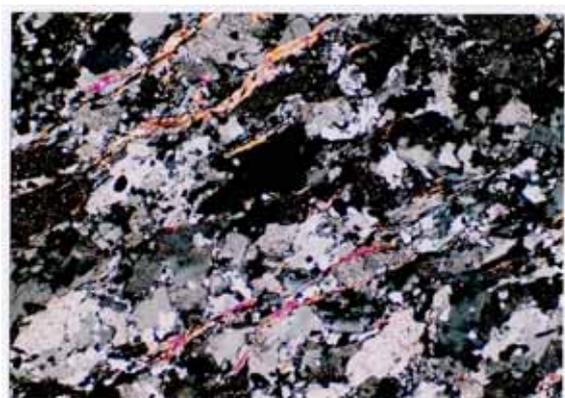


①-1 ×1 クロスニコル



①-2 ×4 クロスニコル

岩石薄片番号 ② エモッソンドラムサイトの花崗岩質片麻岩

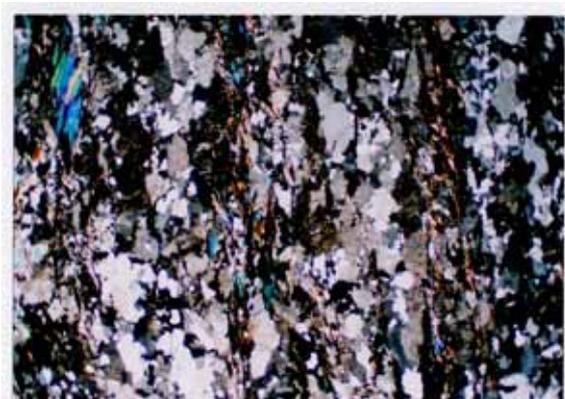


②-1 ×4 クロスニコル



②-2 ×4 平行ニコル

岩石薄片番号 ③ エモッソン上部ダム付近の花崗岩質片麻岩

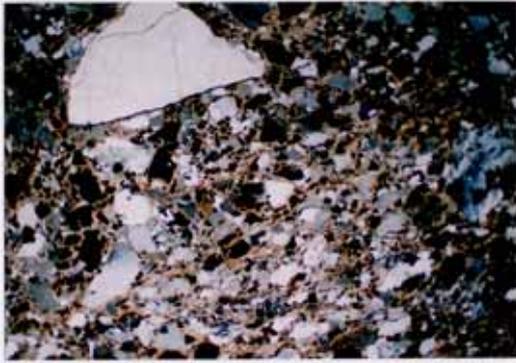


③-1 ×1 クロスニコル

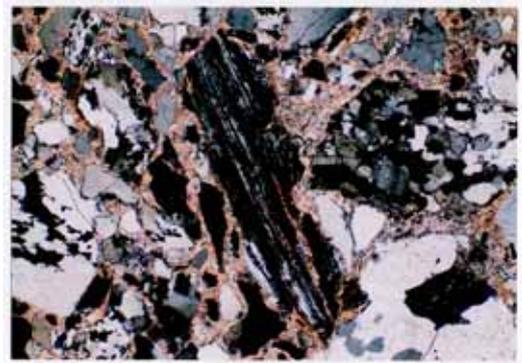


③-2 ×10 クロスニコル

岩石薄片番号 ④ エモッソン上部ダム上流左岸 角礫岩



④-1 ×1 クロスニコル



④-2 ×4 クロスニコル

岩石薄片番号 ⑤ エモッソン上部ダム上流左岸 石灰岩



⑤-1 ×4 クロスニコル



⑤-2 ×4 平行ニコル

## 5 . アルプス

### 5.1 アオスタ渓谷

A. I.



アオスタ渓谷の地形図 ( 1/250,000 )



高速 4 号線からのアオスタ渓谷の景観(大島団長撮影)

8月25日朝イタリアミラノを出発し、トリノと繋がる高速4号線にのり、イタリア一のワイン産地帯であるピエモンテ、オリヴェッティで有名なイブレア等を通り、アオスタ渓谷へと向かう。

アルプス地域は 西アルプス 東アルプス 南アルプスの3大地質区からなり、西アルプスは Helvet 帯、Pennin 帯に区分される。

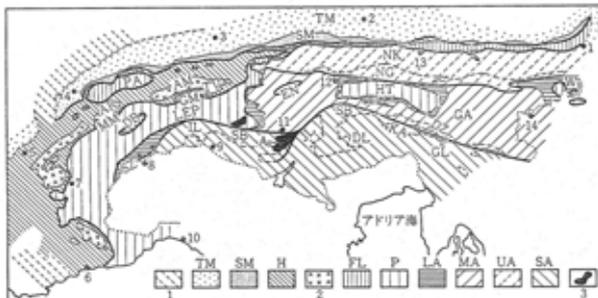


図 1.21 アルプス地域のアルプス変動帯。記号TM-SAは図 1.22 参照。1はジュラ山脈、2は Helvet 帯基盤、3は第三紀カコウ岩類  
 A: Adamello, AM: Aar 地塊, AR: Aiguilles-Rouges 地塊, DB: Dent-Blanche ナップ, DL: Dolomiten, DZ: Drauzug, EN: Unterengadiner Fenster, GA: Gurtal-Alpen, GL: Gail 線, GM: Gottard 地塊, HT: Hohe Tauern, IL: Insubric 線, JL: Judicarie 線, KA: Karnische Alpen, LEP: Lepontine, MM: Mont Blanc 地塊, NG: 北 Grauwacke 帯, NK: 北 Kalkalpen(北石灰アルプス), PA: Préalpes, SB: 南アルプス先中生代の基盤, SZ: Sesia-Lanzo 帯, TV: Tavetsch 中間地塊, W: Wechselfenster  
 1: Wien, 2: München, 3: Zurich, 4: Genève, 5: Grenoble, 6: Nice, 7: Briançon, 8: Ivrea, 9: Como, 10: Genova, 11: Tonal 峠, 12: Innsbruck, 13: Salzburg, 14: Graz

アルプス地域の変動帯 (地球科学 16)

地帯	記号	先アルプス基盤の例
Molasse 帯	Table Molasse 帯 (TM) Subalpine Molasse 帯 (SM)	(M) (アルプス変成をうけたものを含む)
西アルプス	源地的・準源的 Helvet 帯 (HA)	(H) Aar 地塊 (AM) Tavetsch 地塊 (TV) Gottard 地塊 (GM)
	Helvet ナップ群 (HD)	
	Ultrahelvet ナップ群 (UH)	
	Valais (PV)	(P) Ticino ナップ群 Grand St. Bernard ナップ (海洋地殻の新生?)
	Subbriançonnais (PB)	
Pennin 帯	Briançonnais (PP)	
東アルプス	下部東アルプス帯 (LA)	(A) Bernina ナップ Altkristallin 北 Grauwacke 帯
	上部東アルプス帯 UA (広義)	
	中央アルプス帯 (= 中部東アルプス帯) (MA)	
	北石灰アルプス帯 (= 上部東アルプス帯) (UA) (狭義)	
南アルプス	(SA)	Ivrea 帯 Carnic アルプス

アルプス地域の地帯区分 (地球科学 16)

世界の地質、岩波書店)

Pennin 帯は構造的には北側がより下位を占め、地質はジュラ紀から白亜紀にかけては厚い泥質岩、石灰質砂泥岩を主体とするピュンデン片岩(Schistes lustrés) で代表され、オフィオライトが含まれる。変成度は南から北へ高くなっている。アオスタ渓谷はこの Pennin 帯に相当する。アオスタ市の周辺では変麻岩主体とした地層が分布し、東側では片岩やオフィオライトが分布している。



片 岩（アオスタ市街の東）

アオスタ渓谷は、北西にはヨーロッパアルプス最高峰のモンブランやマッターホルンをはじめ、モンテローサと名峰が東西に連なったワイドパノラマを形成し、冬はウィンタースポーツ、夏はトレッキングや本格登山のメッカとなる一大リゾート地である。渓谷の街アオスタ市は、標高 600m 前後でイタリア北西部の谷中平地であり、イタリアからスイス、フランスへと至る 3 つの峠道の分岐点にあたる。

この都市は戦略上の要衝として初代ローマ皇帝アウグストゥスによって造られ、現在もその遺跡が数多く残されている。イタリアからアオスタ市内に入るとすぐに目に付くのが凱旋門であり、紀元前 25 年に造られたにし



アウグストの凱旋門

ては保存状態が良好であるのに驚いた。町の中心部はさすがにリゾート地のため観光客が多く、お土産やがたくさん並んでいる。

街の中心部には古代都市そのものの遺構をはじめ、街を囲む城壁(754×572m)が完璧に保存されている。また公共広場や地下回廊劇場などの一部があり、劇場などは痛みが激しく修復中であった。



古代ローマ劇場

アオスタを散策した後、再びバスに乗りフランスのシャモニーへ向かう。途中、モンブランがよく見えるパーキングで休憩する。外の出ると標高 1000m を越えているためかなり涼しく日本の猛暑が嘘みたいであった。



アオスタ溪谷を抜けてモンブランへ向かう

## 5.2 シャモニーとモンブラン山塊

T.N.

### 5.2.1 はじめに

今回の海外応用地質調査団への参加の動機の大きな要因となったのは、IGC への参加はもとよりフランスのシャモニーを訪ねてヨーロッパ最高峰のモンブラン山[(標高4,810m)イタリアでは、モンテビアンコ山]が見られることであった。現在は、仕事の踏査での山歩きが主になり、たまに、東北の山々をゆっくりとたびたび登るだけとなってしまったが、学生時代から20代後半まで国内の多くの山々を登り、また、山岳書を読みあさったものである。その山岳書の中で、フランスの登山家で「岩壁の哲学者とも詩人」とまで呼ばれたガストン・レビュファ(1921年マルセイユ生まれ、1985年没)の「星と嵐」、「天と地の間に」、「山こそ我が世界」などの書物と彼が監督、製作、脚本、出演までこなした映画で「天と地の間に(1961年、製作国フランス、日本ヘラルド映画)」などをみて、モンブランやミディ針峰群等をぜひこの眼でみたいと思っていた。また、私が学生時代から愛用していたピッケルは Super Conta 2. Charlet-Maser CHAMONIX の銘入りであり、シャモニーのピッケル工場も時間があれば訪ねてみたかったこともある[シャモニーのスポーツ用具店で日本人の店員(ガイドと思われる)の方に尋ねたところ、もう20年前に工場は閉鎖したとのこと。残念である]。

### 5.2.2 アオスタからモンブラントネルを経てシャモニーへ

#### (1) アオスタ溪谷からモンブラントネルへ

イタリアに入って7日目の8月25日、古都ミラノからベンツのバスにのり北西側に向って高速道路をひたすら走る。

街の中に”ローマ”がいまだ存在するアオスタで昼食後、ドーラ・バルテア川(Dora Báltea)の谷沿いに西に向う。

谷の周辺には、岩屑の斜面にブドウ畑と中世の城が所々に散在している。いくつかのトンネルを抜けて走るにつれて、バスの窓前面に白い山々がせまってきた。ガイドの方に頼んで、モンブラントネルイタリア側坑口近くのフェレ谷(Val Ferret)右岸部のロープウェー乗り場の駐車場にバスを止めていただいた。

全くの絶景である。層状に重なったレンズ雲の下に大岩壁があって、巨大な雪庇をのばし雪煙をあげるモンブラン山(Monte Bianco)がみあげられる。その左側には、小さな針峰群があってプトレ峰(3,772m, Aig Noire Peutérey)が天にそびえている。その手前側には、尾根を挟んでブレンバ氷河(Ghiacciaio della Brenva)の氷舌端部が下方のモレーン上に氷塊を落としそうにのびている(P-1)。時間の経過とともに、レンズ雲は形を変えている。私達みんな飽くことなく山々を見上げていました。

その右手には、いままさに、ロープウェーが斜面上方の国境にあるポイント・ヘルブプロネ(3,466m)に向って上昇している(P-2)。このロープウェーは、ここからテレキ

ャビン(1958年運転開始)に変わり、ジュアン氷河上空をわたって、エギューユ・デュ・ミディ(Aig du Midi, 3,842m)に至り、ここからプラン・ド・エギューユ(2,317m)を經由(乗り換え)してシャモニー(1,030m)(1955年運転開始)までイタリア↔フランス間のモンブラン山塊を横断している。これから通過するモンブラントネルを使えば4,000m級の山を上空と地下を通過して周回できる素晴らしいコースとなっているそうです。

このロープウェーコースの建設にあたっては、ジュアン氷河をわたる区間では、終始移動している氷河上に支柱が建設できないため、ただ一つ氷河から突出していた不動岩(グロ・ロニヨン)にコンクリート柱を建てたり、また、エギューユ・デュ・ミディまでは、アオスタとシャモニーのガイドたちが30人で直径14mm、長さ1,850mのメッセンジャーワイヤーを30kgずつ一連となって2日間にわたって荷揚げしたそうです(シャモニーのパンフレットから)。それにしても富士山より高い地点までロープウェーの駅を建設するなどという発想は、我々日本人には真似のできないことだと思いましたが、午後のプレヴァンへのロープウェーは快適で、多くの山々を望むことができました。

このロープウェーより谷の上流側をみると、グランドジョラス(4,208m. Les Grandes Jorasses)のイタリア側岩壁があり、地形変化点が明瞭に連続して谷の方向(NE-SW)と平行しているのが観察されました(P-3)。後日シャモニーで購入した「(704)CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE 1/50,000. MONT-BLANC·1969」によれば、「MASSIF CRISTALLIN DU MONT BLANC(花崗岩類)」と「ZONES DES RACINES HELVÉTIQUES ET ULTRA HELVÉTIQUES(中生代ジュラ紀層)」とを境する断層に一致していることが分った。

調査団の皆さんは、溪床において、めずらしい鉱物や秘石を探すためか少年に戻って、集合時間を忘れてしまっていた(P-4)。

## (2) モンブラントネル

モンブラントネル入口手前には、出国ゲートがあったが、一時停止程度でパスポートの提示もなく進む。翌日もスイスのエモツソンの巡検往復時も、さらに翌々日もスイスジュネーブまでは、難なく国境を越えた(パスした)。全くヨーロッパ自体が共同体として動いているのを実感した。スムーズに通過できたのは、我々が“日本人”だったからか？

モンブラントネル手前で約20分程待つ。これは、過年発生した火災事故の教訓でトンネル内を通過する大型車の通行量を制限しているらしいとのことだった(P-5)。

### モンブラントネルの概要

モンブラントネルは、(財)高速道路調査会欧州トンネル調査団の資料によれば、

伊・仏 2 国の高速道路に接続している自動車専用道路であり、1965 年に開通している。仏国側延長 7,640m、伊国側同 3,960m、総延長 11.5km の 0.8m 路肩+3.5m の車道をもつ 2 車線対面通行、直線、拝勾配のトンネルである。それぞれ坑口標高は、仏側が 1,274m、伊側が 1,381m であり、トンネル内最高点は 1,395m となっている。通過地点直上の最高点はエギューユ・デュ・ミディ(3,842m)であり、最大土被りは、2,450m にも達する。フランス側は長さ 4km、勾配最大 7%のアクセス道路となっており、トンネル坑口に至るまでの車輛のエンジンへの負荷が大きいものとなっている。火災前は年間約 80 万台のトラックが通過していた。

#### 1999 年 3 月 24 日火災事故発生の概要

午前 11:00 頃発生し 53 時間後に鎮火。場所はフランス側坑口より 6.5km 付近のイタリア側の管理区域内。イタリア側はフランス側へ 100%の送気、フランス側は 100%の排気運転を行ったことから、火災地点に大量の空気が供給されたので燃焼が進行し、多量の煙と炎に包まれた範囲で合計 39 名の死者が出た。火災事故から 3 年の歳月と約 500 億円をかけて、2002 年 3 月 9 日に再開通した。火災原因は、車輛事故から化学物質積載のトラックへの引火。

#### 火災後のトンネルの運営管理

- イ . 火災前は、ATMB 社(フランス側)と SIMB 社(イタリア側)の 2 社によりトンネル施設を半分ずつ別々に管理していたが、火災後は ATMB1 社に統合された。
- ロ . 人員は、責任者が任期 30 ヶ月で仏・伊交互に選任している。それぞれの職員は、両国半数ずつ、円滑なコミュニケーションを図るため二ヶ国語を話せる職員が条件である。
- ハ . 管理事務所は両国側にあるが、仏側が主体。システムは完全二重化(フェイルセーフ化)。
- ニ . 国家組織の消防隊が 24 時間体制で両坑口及びトンネル内に待機。消防車は車両前後両方側に運転席があり、3 台配備されている。
- ロ . 換気設備方式は、車道下部に 5 本のダクトが埋設されており、4 本が送気、1 本が排気である。排気は 600m 毎に制御区画が設けられている。火災後の換気運転は、火災地点の風速 0m 化をはかるため、75 台のジェットファンにより制御され、風速 0m 化した時点で 600m 区間の排気口を作動させ排気を行うとしている。
- ロ . 避難所を 600 300m 間隔で 37 箇所増設。同時に排気ダクトと接続してダクト経由でトンネル外への避難を可能とさせた。避難所は緑色にデザイン化し、ライトアップされ認識が容易となるようにしている。避難所は、本トンネルと直交しており、広さ約 38m<sup>2</sup>、50 人収容可能。テレビ電話、飲料水、耐火酸素ボン

べ、消防ホース、担架を常備。避難所は、トンネル内の気圧と完全に分離加圧され、二重扉になっており、また、階段を介して排気ダクトで外部への避難を可能にしている。

#### トンネル再開までの紆余曲折

伊・仏の2カ国の国境となっているために、トンネル開通に3年余も要したのは、開通を先延ばしする仏と伊の対立もありましたが、周辺の環境と安全の面から開通まで次のような問題があったようです。

イ． 多数の死者を出したため、トンネルの安全性を見直し、徹底的な改善策を盛り込んだ工事にも時間がかかり、そうこうするうちに、環境団体や地域住民からの反対の声が、次第に大きくなっていきました。トンネル再開には、走行時の安全性確保が一番ですが、再開しても「大型トラックの通行には反対」というものです。大型トラックによる排気ガスや煤塵は、自然環境にも住民の健康にも悪影響を及ぼす上、観光客と違って荷物を満載して通過していただけないので、地域に観光収入をもたらすわけではない。

ロ． 一方、迂回経路となったモンブラントンネルより南側にある仏伊間のフレジュス・トンネルや、スイス側のトンネルや峠などでは通行量が大幅に増え、こちらの地域住民からも不満の声や環境悪化の懸念が出てきた。トンネルにつながる道路は慢性的に渋滞し、空気は汚染されるし、マイカーや観光バスしか通らないような細い峠道を大型トラックが通過するようになったところでは、危険な上に道路もガタガタになり、誰が修理費を持つのか、等々。遠回りを強いられ、なかなか国に帰れないトラック運転手、輸送コストのアップが響く運送業者...さまざまな不満の声がでてきました。フランス・イタリア政府間では、もうひとつトンネルを作る計画があり、正式に調印されていますが、完成は何年後になるかわかりませんし、貨物を列車で運ぶという案も再検討され始めました。

ハ． 2001年8月に、シャモニーなど近隣3町では、環境や住民の健康に有害なトラックの通行の是非を問う住民投票が行われた。行政裁判所は、自治体にトラックの通行を規制する権限はなく、住民投票は違法であるとの判断を事前に示しましたが、非公式ということで投票は敢行されました。投票率は約53%で、大型トラックの通行反対は、97%と圧倒的多数を占めました。違法な住民投票であっても、明らかになってしまった地元民の「民意」を無視もできず、政府も対応に苦慮し、いつ再開させるかの決断は、その年4月のフランス大統領選にもかかわるといわれたくらいです。一方、このシャモニー近辺住民の反対に対し、地域エゴであり、国全体としての利益を考えるべきという声もあがってきました。

フランスのゲソー運輸相も「環境保護は必要だが、物流への影響やほかの町の負担も考慮しなければ」と述べ、何度も調整に足を運びました。

「トンネル再開は、いつ？」といったんは、2001年12月15日...その後、クリスマスまでにプレゼントとして...年内は無理...とくるくる変わります。

2002年1月23日には、モンブラントンネルがなかなか再開しないのに業を煮やしたイタリアのトラック組合が、イタリアと国境を接するフランス、スイス、オーストリア間のすべてのトンネルを封鎖するというデモが起きました。一方、トラック組合に対して、環境保護団体「グリーンピース」は、商業流通は、トラック輸送から鉄道輸送に切り替えるべき、と反対デモを繰り広げ、一部で混乱が見られました。

年明けがあけて、2月上旬にやっと再開すると決まりましたが、2月4日に地震があり、トンネル内の天井の一部が崩落しました。このため、全部の点検をやり直すため、再開は無期延長で、また今年は無理かと言われましたが、3月9日に再開通することが決まりました。

[以上 はモンブラントンネルの開通と環境・安全.www.eco.goo.ne.jp より]

### 5.2.3 シャモニーとブレヴァンからのモンブラン山塊

モンブラントンネルに入り明るいトンネル内照明のなか、対向する車も少ないなと思ったところでフランス側へ抜ける。アプローチ道路は、さすが勾配がきつく大きなカーブで標高を下げよいよフランスシャモニー(CHAMONIX)の街に入る。街は花壇の多い小ざっぱりしたリゾート風である。バスは、これからの宿となるモンブランシャモニーホテル裏につく。ホテルに入ると、巡検の女性ガイドの寺西さんが待っていた。まだ時間は15時位である。まだまだ時間は残っている。エギュイュー・デュ・ミディのロープウェーは、事故のため現在工事中不通であり、9月1日より運転再開とのこと(残念)。そこで、皆さん合議の上、急遽対岸のドーム状のブレヴァン山(2,525m.Le Brevant)までロープウェーで上ることになった。ホテル越しにブレヴァン山をみると豆つぶのようなロープウェーのゴンドラが行き来している(P-6)。10分程で扇状地状の坂を登ってゴンドラに乗り、プランブラ(1,999m.Pranpraz)経由でブレヴァンまで上る(P-7)。ゴンドラからおりて展望台からは、V字谷中にあるシャモニーの街と比高3,500~3,750mでそびえるモンブラン山塊の尖峰・円頂が曇り空の中、ゴチック建築のように雲を突いて林立し、その斜面を氷河が垂れ下がっているのが見られました。

#### (1) シャモニーの街

シャモニーの街は標高1,050mのシャモニー溪谷の中にあり、この溪谷は、モンブラン山塊とエギュイュー・ルーシュ連峰との間に、下流はコルド・ウォザから上流のスイス国境のコルド・バルムまでの23km間に氷河によって形成されたV字谷であ

る。

シャモニーの街は、アルヴ河沿いであって、18世紀初めまでは、氷河に閉ざされた小さな集落のある閑村であり、何人かの人々が行き来するだけだったそうです。その後、馬車道が通り、1884年には大型の馬車が通れる道路が建設されました。その後は、登山、アルペンスキー等々で、観光客が押し寄せるようになったそうです。登山(近代アルピニズム)とスキーの発祥の地として有名であり、現在では、人口一万人程度ですが、スキーシーズンともなると、5万人程度に人口が増える一大リゾート地となっている(P-8)。

氷河からの白濁した水の流れるアルヴ河沿いの街路は、石畳みがみられ、電線等は地下化され、3~5階のコテージ風の建物(ホテルや土産物屋)が多い。主な街路は狭く、大型車は街の中央と東側のバイパスを通行し、一部はロータリーで一方通行路となっている。

運動具屋には、あらゆる登山道具が並んでおり、岩と雪の登攀やトレッキングの用具は全て用意可能であるようだ。ただし、食料と専用のガイドが必要であることは言うまでもない。

## (2) モンブラン山塊

### ブレヴァン山からの展望

ブレヴァン展望台からは、目の前に、山頂部に雲をなびかせた円頂状のモンブラン山(白い山の意)とアルプスの全氷河の中で氷舌の標高が一番低い高度にあるが氷河の後退が著しいボソン氷河(P-9)、左へは尖塔状のエギューユ・デュ・ミディ(P-10)、そして、雲中に見え隠れするエギューユ・デュ・ブラン(3,673m)、エギューユ・デュ・ブライティーレ(3,522m)、エギューユ・デュ・グレポン(3,482m)のシャモニー針峰群(P-11)が、モンタンベール鉄道のある尾根とメール・ド・グラス(見えない)奥のラ・ドリュー(3,754m)とラ・ヴェルト(4,122m)(P-12)がその高度を競うように、まさに、「地は天へのあこがれ」というように林立している。ガストン・レビュファがここを登っていたのだと思うと、尖塔(ピナクル)に立った映画の中の彼の姿が頭に浮かんできた。さらに、背後の西側には、ほぼ緩やかな傾斜を示す地層が明瞭な山地が広がっている(P-13.ジュラ紀からの地層が累重。後日、橋本氏の談によれば古第三紀層もあるという)。

約 1,900~2,000m が森林限界とみられ、その上部にはやや緩い傾斜地が連続しており、突出した岩峰群や岩壁帯下部との間には、モレーンと小氷河がみられる。この緩傾斜地と針峰群との間の地形変化点は、花崗岩類と変成岩との境界の断層に相当しており、主峰の配列は北に向っているが、主な岩壁の面は、これと斜交してNW-SEが多いように見える。モレーン末端部からは、滝状となって沢が流下している。ブレヴァン展望台には、ゴマシオ状の斑晶の小さいやや片状を示す花崗岩類

が認められた。

### モンブランの初登頂

シャモニーの街のほぼ中心部、アルヴ河にかかる橋を挟んで、バルマ広場とソシユール広場があり、そこには、遠くモンブランを望んでいるように、オーラス・ベネディクト・ド・ソシユールとモンブランを指すジャック・バルマの二人の銅像と少し離れて、ミシェル・ガブリエル・パーカーの座像がある。この人達は、モンブラン登頂のために、その情熱を傾けた人々といわれている。

「人は何故山に登るのか」という問いかけに、3度エベレストを目指し、1924年に頂上付近で行方を絶った有名な登山家ジョージ・リー・マロリーは、こう答えている「山がそこにあるから」と。

18世紀までは登山は行われていなかったようで、〔図説探検の世界史4.世界の尾根に挑む.集英社.1975〕によれば、太古の昔から山は神秘と恐怖の場所であり、氷河、雪崩、火山の爆発とかで人は山の頂には神が住んでいるものと信じてきた。そして敬い、崇める、あるいは悪魔のいる呪われた対象とされてきた。

キリスト教の立場からみると、中世の絵の中にめったに風景画がないように、人は、自然に対して無関心であった。ところが、ルネッサンス運動が始まると、科学的な立場で山に関心を向けるようになり、画家も(とくに旅行中前日ミラノで石像をみたレオナルド・ダ・ビンチ)写実的な手法で自然を描き出ししてきた。それから2世紀もたち、山の研究(とくに氷河)を通じて自分の理論を証明しようとしていたのが博物学者のソシユールであった。彼の頭の中では、アルプスに限るとすると、ただ一つの山モンブランしかなかった。

ソシユールは、1740年ジュネーブに生まれ、20歳の時の1760年にシャモニーを訪れて初めてモンブランを目にしている。そして、ブレヴァンに登頂してモンブランの科学的意義に気づき、登頂路を見つけた者に賞金を出すことにした。その間、賞金目当ての多くの男がこの山に挑んだが、いずれも失敗している。それは、人間は高い山で過ごすことはできないという誤信と「呪われた山モンブラン」に登れば生きては帰れないという迷信からだ。そして26年の歳月が流れた。ソシユールは、その間の調査の成果を「アルプスの旅」として地理学の本として出した。この中で、初めて科学的に氷河が動くのは、重力が原因だという説明をしている。

1786年、ある2つの登山隊がそれぞれ異なったルートからモンブランを目指し、山頂から西約500mのボス(4,513m, Les Bosses)の山稜に到達した。この時悪天候のために引き返さざるをえなかったが、水晶採取・細工人のジャック・バルマは嵐の去るのを待って氷河上で雪の中にうずくまって夜を過ごした後、付近の雪原を踏査した後に無事にシャモニーに戻った。彼の生還は絶望とされていたので、この露營(ピバーク)は昔からの迷信を取り除くこととなり、一気に登頂の機運が高まった

のでした。

以下に「図解探検の世界史 4.世界の尾根に挑む.ジョッフリー・ヒンドレイ.近藤等訳.1975.5 初版集英社」より登頂の様子を少し長くなるが、引用して紹介する(文中標高は中里記)。

[これほど恐ろしい山ではあったが、モン・ブランはまた、信じがたいほど美しい山でもあった。しかも、きっと登れるにちがいないと信じていた男が、ド・ソーシュールのほかに、少なくとも、もう一人いた。シャモニの若い医者で、その名をミッシェル・ガブリエル・パーカーといい、それまでも何度か試みては失敗を重ねていたが、きっといつかは登ってみせると誓っていた。第1にはフランスの名誉のために、さらには科学の発展ため(かれはいつも器機をたずさえて登った)、そして自らの満足ののために。

1786年(日本では江戸時代後半の平賀源内などがいた。フランス革命直前である)8月7日、パーカーは、いまひとたびの攻撃をしかけに「わが山」を目指して出発した。器材を運ぶのを手伝うため、ジャック・バルマという大胆な男も同行した。元々カモシカ狩りをしている男で、パーカーとは違い、名声と、ド・ソーシュールの出す賞金目当てで仲間に加わったのだった。そうはいても、彼は強く、恐れを知らぬ男で、モン・ブランのふもとの斜面をとびまわる技術の確かさでは、すでによく知られた存在であった。

二人は午後になってからすぐ登り始め、夕方近くには、モンターニュ・ド・ラ・コート(2,589m)と呼ばれる、長い岩稜の頂にたどり着いた。そこで一夜を明かした二人は、翌日、夜が明けそめるとすぐに出発し、数え切れないほどの割れ目が口をあけてまっている氷原を横切り始めた。次から次と限りなく続く割れ目を渡る方法といえば、登山杖〔棒の先を削って尖らしたもの〕を割れ目に2本さしかけ、その上を這ってわたる——下には底知れぬ黒い空間が、パツクリと口をあけてまっている——以外に、どうしようもなかった。氷原の向こうにはグラン・ミュレ(3,057m)という名の岩稜があり、そのまた向こうには、深い粉雪で覆われた、二つの長い台地(プラトー)があった。1歩ごとに腰まで雪に埋まりながら、ふたりはこの台地を突破していった〔現在この二つの台地は、それぞれプチ・プラトー、グラン・プラトーと呼ばれている〕。午後3時半、頂上と自分たちを隔てる、最後の障害に出くわした。そこからは、険しい氷の斜面となっており、さらにロッシェルージュと呼ばれる岩のバンドが二つ(4,290mと4,506m)、並行してつづいていた。

息をきらし、だが勝利の喜びにひたりながら、二人がついにモン・ブランの最高点に立ったとき、時刻は午後6時半になっていた。疲れきってはいたが、パカールは、それから1時間測量器具を操作し、そのあと、二人そろって下山の途についた。おりしも満月であった。月明かりの中を、二人は朝まで歩き続け、モンターニュ・

ラ・コートでいったん休んだあと、さらに一気にシャモニまで下った。ここでバルマは、約束どおり、ド・ソーシュールの賞金を受け取った。だが、パーカーは、登頂に成功したということだけで満足だった。

パーカーとバルマのモン・ブラン登山は、登山の歴史の中でも、もっとも素晴らしいものの一つである。それは、ただ、アルプスの最高峰の初登頂という理由からばかりではない。たった二人のパーティで、しかもごく基本的な用具(ザイル、アイゼン、ピッケル)さえ使わないで、これを成し遂げたことは、大いに特筆されてよいことだろう。だが、この話には、面白い後日談がある。

バルマは、望みどおり賞金を手にしたものの、やがてそれだけでは満足しきれなくなったのである。そして、実はモン・ブランが初登頂できたのは、すべて自分のおかげなのだ、と言いふらしはじめたのである。登山の間中、先に立って歩いたのはいつも自分で、パーカーはその助けで、やっとのことで頂上についたのだ、という自慢話をしはじめた。彼の主張によると、ふもとから頂上まで、ほとんど担ぎあげるようにして、パーカーの手助けをしたという話だった。バルマは元々、ホラ吹きとして有名だった。だから、この話にしたところで、もしジャーナリストのマルク・ブーリが、積極的に肯定していなかったとしたら、ああ、また例のホラ話が始まったのか、ということで片付けられてしまっていたに違いない。ブーリは、自分でもモン・ブランの初登頂をねらっていただけに、パーカーの成功を妬み、ただただ彼の勝利にケチをつけたいという気持ちから、ありもしない話をデッチあげたのである。ブーリは二人の登山ぶりを、しまいまで望遠鏡で見ていると証言した。しかも、確かにいつもバルマが先に立って歩いているのを見た、といいはったのである。

おかげで、バルマの話は、誰にも信じられるようになった。そしてようやく1世紀もたってから、フォン・ゲンスドルフ男爵という人の日記が見つかり、真相が明らかにされた。この男爵こそ、本当に望遠鏡で一部始終を見ており、しかもノートにスケッチまでして、バルマの話のインチキを見事に見破っていたのである。

このように、その登頂をめぐる、とかくの論議をされ、しかも初登頂であったにもかかわらず、翌年ド・ソーシュールが自ら登ったあとは、このパーカーとバルマの登山はすっかりかすんでしまった。この勇ましい科学者は、自らモン・ブランの頂に立つ夢を、決して諦めてはいなかった。以前一度だけ実際に頂上を目指して失敗したことがあったが、パーカーとバルマの成功を聞き、前にもまして決意を新たに、その野望の達成を誓ったのであった。

1787年8月1日、彼は18人近いガイドを連れて頂上を目指して出発した(しかも一行のなかには、一度も山に登ったことのない、彼の従者まで混じっていたのだ)。この隊が、いかに大規模なものであったかは、運びあげた器材のものものしさからだけでも、よくわかるほどだった。2日目の午後、めでたく頂上に着くと、ド・ソ

ーシュールは、4時間もかかって、各種の実験の指揮をした。彼のただ一つの後悔は、思った以上に頂上の空気が薄く、おかげで呼吸困難になりかけて、予定の実験を全部やり終えずに下山しなくてはならなくなったことだった。彼はその年の暮れ、3,340mのコル・デュ・ジェアンという名のアルプスの峠に、もう一つ大きな隊を率いて出かけ、息子と交替で、2週間もかかって、へとへとになりながら、いくつもの実験を行っている。

ド・ソーシュールは有名な科学者で、すでにその名をヨーロッパ中に知られていたため、彼のモン・ブラン登山はたちまち広く知れわたった。いろいろな国の人々が、この登山を詳しく本で読み、彼に負けじと野心を燃やすようになった。科学者や冒険好きの人たちが、ぞくぞくとアルプスに押しかけ、その後数十年のうちには、南東フランスから北イタリア、スイス、南ドイツ、オーストリア、そしてユーゴスラヴィアにまたがって広がるアルプスのあちこちで、次々と初登頂が行われた。]

以降、ヨーロッパ最高峰のモンブランは多くの人々に登頂されることになって、同時に山に登ること自体を目的とした登山がスポーツとして認められ、1857年には世界で初めて英国山岳会(アルパイン・クラブ)が、次いで1862年にはオーストラリア山岳会、1863年にはスイス山岳会が発足し、近代アルピニズムが広がった。そして、モンブランの麓の町シャモニーは、その登山やスキーの基地として、やがては氷河と観光の町として発展を続けている。

### (3) 氷河について

氷河については、橋本氏が御担当で詳述されると思われるが、ここで簡単にふれてみよう。今回は、ブレンバ・ボソンおよびアルゼンチーノなどの氷河を遠望するしかなかったが、翌日のエモッソンの巡検で擦痕を見ることができた。それでも、押出してくる様子は圧巻でベルクシェルント クレバス セラック 氷舌での氷塊崩落の変化の様子を遠望することができた。シャモニーのガイドブック(1998)によれば、氷河の速度は、氷河上で発生したクレバスへの墜落事故による遺体や梯子が40数年後に下流で見つかったことから判明した。氷河の平均速度は年に100m、1cm/時程度ですが、氷塔となったセラック帯では、速度をあげて930m/年、2.5cm/日に達するということです。また、現在では、徐々に山側に後退しているようです。

#### 5.2.4 さらにシャモニー

ブレヴァンで空を見ると、徐々に雲が多くなり、空も暗くて巻層雲がなびくようになった。私の観天望気によれば、これは翌日の天気が悪くなる気配がうかがわれた。この予想どおり翌日のエモッソングダム周辺での巡検は雨 初雪 みぞれに見舞われ、せっかくの恐竜の足跡のある地点まで行けずに、標高2,200mのバルブリーヌ・ダム周辺より

引返さざるを得なかった。

翌日 8 月 27 日朝は、シャモニーの街がモヤのような霧につつまれているのに、上方の空は、朝日を受けて明るくなってくるとともに、前日の降雪で白く変わった針峰群とモンブランがピンクから明るくモルゲンロートに輝いていくのを街中から見られた (P-14,15)。ジュネーブからミラノへの帰途につく 50 人乗りの小型機からは、晴天の中ちょうどモンブラン山塊の南側を経てトリノ上空を飛行したので、しばしの間窓からはモンブラン山塊の全容と、マッターホルンらしき山々と遠くイタリアアルプスが望まれ、すばらしい「スカイクルーズ」であった(巻頭写真参照)。

——山よさよなら ごきげんようしゅ また来る時には 笑うておくれ——という歌が久しぶりに頭にうかんだ。



機上からのモンブラン山塊。後方にマッターホルンとその右側にモンテローザ山塊がみられた。



P-1 イタリア側からのモンテビアンコとブレンバ氷河



P-2

モンテビアンコのロープウェー(山小屋右)  
 写真中央左側に国境のポイントヘルプロネ  
 (3466m)がみえる。ここからエギューデーミ  
 ディまでテレキャビンがある。ロープウェーが  
 国境を横断している。



P-3 グランドジョラス(4,208m)の背面.地形変化点に断層があるらしい。



P-4 フェレ谷で少年にかえて秘石を探す調査団員



P-5 モンブラントネルイタリア側坑口



P-6 モンブランシャモニーホテルからブラヴァン山(2,525m)をみる。



P-7 プランラルのロープウェーからみるシャモニー



P-8 シャモニーの街



P-12 ドリユー(3,754m)とラ・ヴェルト(4,122m)手前白線はモンタンベールアプト式鉄道



P-10 エギューイユ・デュ・ミディ(3,842m)



P-9 モンブランとボソン氷河



P-11  
シャモニー針峰群 3,500~3,600m  
のピナクルが連なる



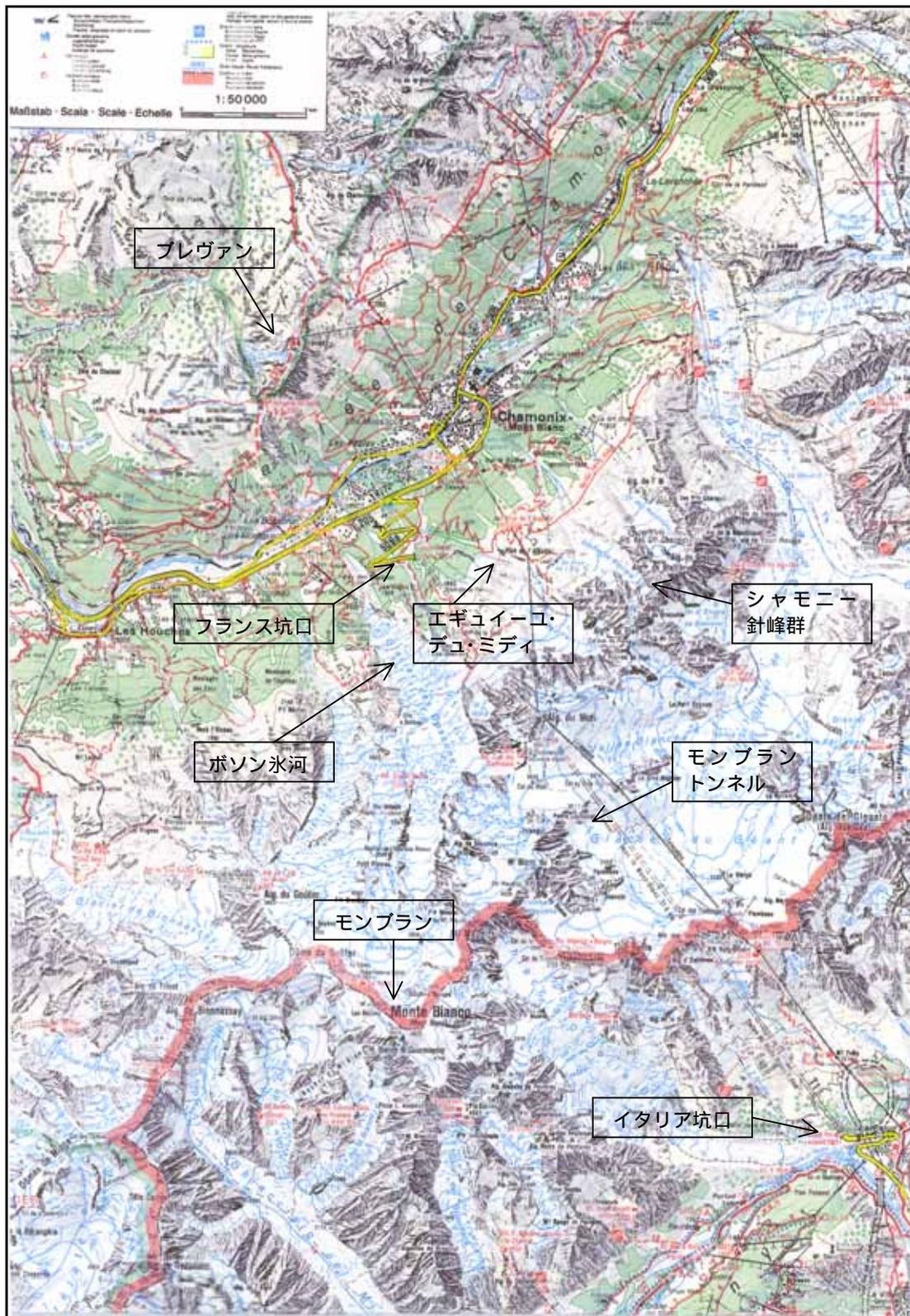
P-13 ブレヴァン西方の層理の明瞭な山地



P-15 シャモニー針峰群(上 8/25PM,下 8/27AM)



P-14 8月27日朝ソシュールとバルマのかなたのモンブラン朝焼け



モンブラン・シャモニー周辺の地形図(5万分の1 1/2 縮小)

### 5.3 氷河地形

橋本 修一

#### 氷河地形のド迫力

特徴的な地形や地質に知的好奇心を刺激され、その成立を、時間を忘れて想像力をたくましくしてあれこれ議論するのは、仕事は別にして地質屋最大の楽しみのひとつである。

「重力によって長期間にわたり連続して流動する雪氷体」と定義される氷河は、粘性と弾性という異なる二つの性質を持って流動し、その強大な力を持って岩盤を削り磨き、剥ぎ取り、堆積させて特有の地形を提示する。教科書では知っていても、その荒々しく雄大な景観は見るものを圧倒し、感動させる。アオスタからシャモニー、エモッソンにいたるアルプス巡検では、山岳氷河による侵食・堆積地形、氷河擦痕、そして氷河そのものを観察することができた。

以下、特に印象に残った氷河地形を写真で紹介する。

#### 5.3.1 U字谷の肩から眺める大きな地形

##### (1)U字谷のパノラマ(写真 1, 2)

シャモニーの町が発達する NNE 方向の低地は、広い谷底と切り立った谷壁が特徴の氷食谷で、典型的なU字谷である。谷の NW 側、ロープウェイの中間駅プランブラ(P)(標高 1,999m)から SE 側 Aig. Du MIDI へのロープウェイ中間駅 Plan de l'Aiguille(A)(標高 2,310m)までの距離は約 5 km で、それぞれU字谷の急崖の肩に相当し視界をさえぎるものは全くない。白銀のモンブラン、天を鋭く突く針峰群、落石で薄汚れた小氷河(uG)とその氷舌端をうず高く縁取るモレーン(uM)の並び、森林限界、崖に貼り付くようなボソン懸垂氷河(bG)とその氷舌端から流れる白濁した融氷水、民家のすぐ近くまで土手状に迫るモレーン(bM)が大パノラマで展開する。

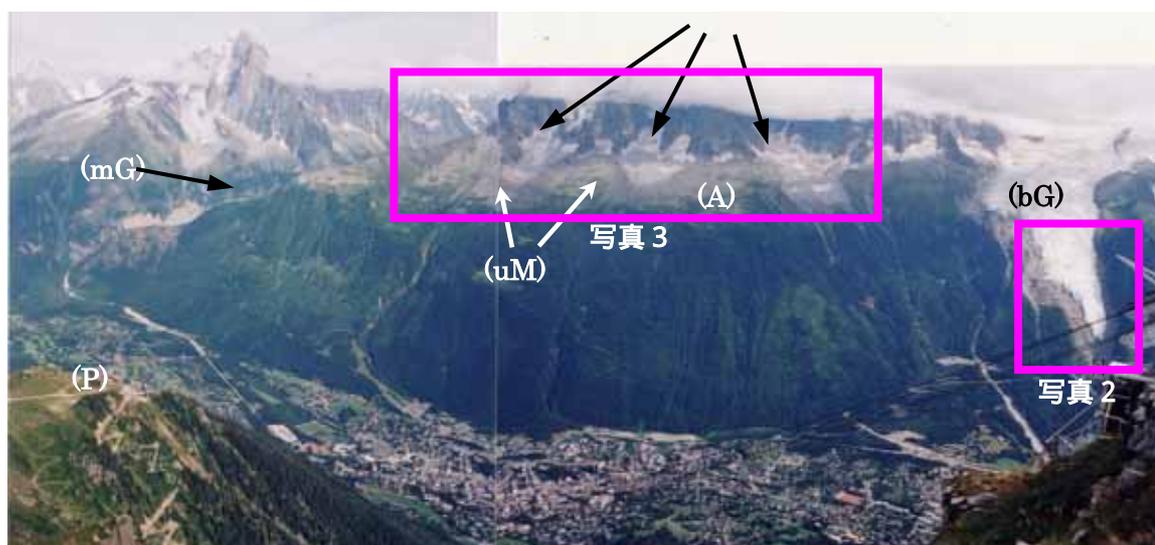


写真 1 シャモニーの街を見下ろすロープウェイからのパノラマ

距離感がつかめず、すぐ行けそうだと錯覚する。牛タンの先端のように花崗岩の急斜面上に「薄く」懸かるボソン氷河(Bossons)はしかし、スケールとして高低差 400mのスキーリフト終

点(sL)(標高 1,425m)や 30m はある杉などをあわせてみたとき、氷舌端でも厚さ 20mはあるものと驚く。ガイドの寺西さんによれば、モレーンを構成するティル独特の礫・砂・泥の混在した足場の悪い斜面・標高差 250m を 30 分以上かけて登らないと行き着けないし、なによりしばしば崩落して危険でお薦めできないとのことで、今回は遠望だけで我慢した。

アルプスの山岳氷河のうち、最も標高の低いところまで分布するのがこのボソン氷河である。モンブランの山頂北側のカールに端を發し、北に流れ下ること8 km 弱、いくつかの氷食谷階段を経て懸垂氷河となり、その氷舌端は標高 1,350m 付近まで達している。氷河が育つ涵養域は積雪量が融雪量を上回るため、滑らかな純白色。一方、融解し蒸発しながら痩せる一方の消耗



写真 2 ボソン氷河(bG)の氷舌端とモレーン丘(bM)

域では、よごれた氷が露出しだし、引っ張り応力によるクレバス、斜交する2方向のクレバスによって分離・孤立したセラックがささくれ立ち、白と日陰のコントラストが目立っている。年間の涵養量と消耗量がつりあう均衡線はおおよそ万年雪線と一致し、写真でも明瞭に判別できる。

観光ガイドブックによれば年平均200m程度で前進(流下)しているという。ただ、氷舌端の位置はかなり後退傾向にあるという。

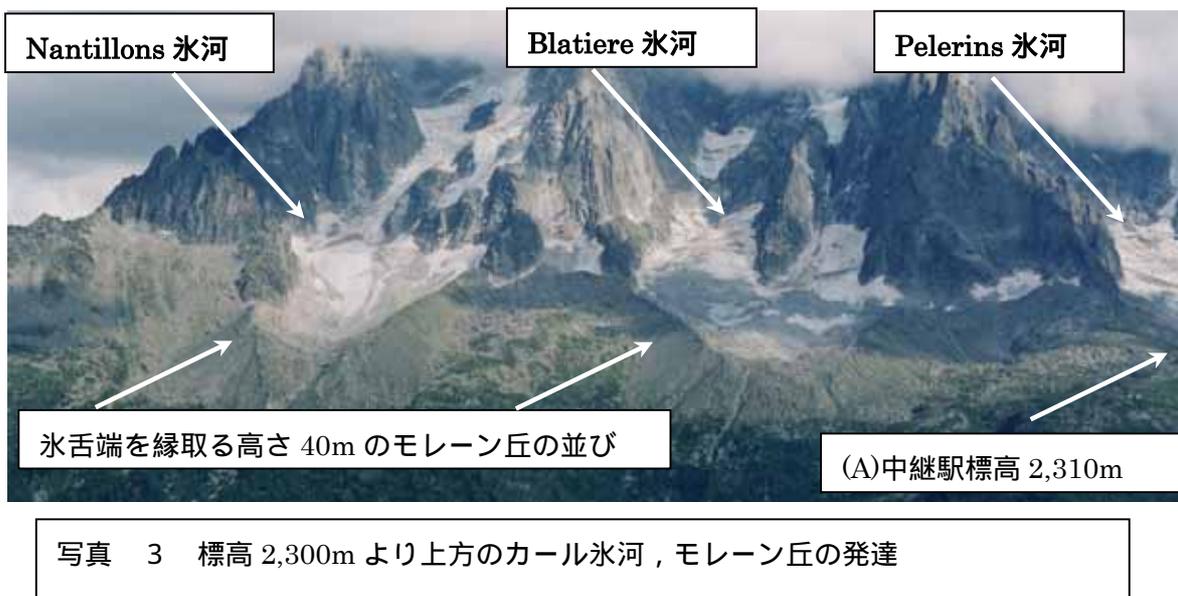
舌端部の後退スピードについて、長期的には、現在の氷舌端のさらに下方に分布する、形の新鮮なモレーン(bM)が鍵となる。このモレーンの高さは現在のボソン氷河の表面よりさらに40mは高いということなので、つい最近までボソン氷河の表面もその高さまであったことになる。アルプスの氷河は16世紀中ころから始まった小氷期に前進をはじめ、19世紀中頃にもっとも大きく前進したことが明らかになっており、その時の堆積物ということである。

## (2)カール、モレーン (写真 3)

現在のU字谷の急崖は、広く杉、カラマツなどの針葉樹林に覆われている。崖錐も多少はあるようだが、地形的には明瞭ではない。急崖上部、標高2,000m前後の肩より上の傾斜は急に緩やかになる。Plan de l'Aiguille(A)の少し下標高2,100m付近には、北東側(写真左へ)に Grand balcon のトレッキング道が森林限界と小氷河の間を通過してフランスアルプス最大の谷氷河であるメール・ド・グラス(氷の海)(mG)まで延びている。

Pelerins, Blatiere, Nantillons の各カール小氷河の先には、氷舌端を縁取る堤防状の丘(土手の高さ40m・読図)が明瞭に観察され、これはボソン氷河のモレーン丘の鮮明さ、高さとはほぼ同等である。このモレーンも小氷期前進した氷河がブルドーザのように前・側面に堆積物を押

し出して形成されたモレーン丘であろう。



(3)針峰群, 鋸歯状稜線 (写真 4)

標高 2,350m 付近から上の谷の最上部に相当する部分に分布する小氷河は, 写真 3 で見える範囲の向こう側にも, いくつもの方向に流下している。

これらの谷に積雪が続くことで凍結融解による岩盤の破碎と雪食により, 周辺の斜面は急傾斜のまま後退する。こうして, それぞれの氷河を取り囲む鋭い急崖(カール壁)は2方向, 3方向から稜線に迫ることとなり, 極端な痩せ尾根(鋸歯状山稜, アレート或いはグラート)や針状峰(エギューイユ aiguille)を形成している。

邦訳すれば「お昼の針」(Aiguille du Midi), 「巨人の歯」(Dent du Geant)という具合に, 親しみのもてる生活感覚溢れる名前がそのまま山名, 氷河地形を表わすものとなっている。モレーンもサヴォア地方の方言から出ているというから, これらがいかに身近な存在であるか知れる。



写真 4 イタリア側アオスタ渓谷の西端から望む「巨人の歯」

#### (4)氷河底面での出来事

氷河の侵食地形を考えるうえで、氷河の流動、特に底面すべりがどのように行われているかという理解が重要である。

氷河の底面すべりの機構で最も単純で理解しやすいのは、岩盤と氷河の間存在する水が、すべり面となってすべるというものである。現実の岩盤表面には無数の凹凸がある。氷河がこれらの硬い岩盤表面の凸部を乗り越える際に、上流側では圧力融解(融解点ほぼ0 )により氷が溶けるので、氷河は滑りやすくなる。下流側では再び凍結(復氷)する・・・この現象が同時進行的に氷河底面の各所で起きている。

最近の研究では、氷河の流動は、1)氷自体の塑性変形、2)底面すべり、3)テイルの変形、の3つの機構によって生じると説明されている。特に底面すべりは重要と認識され、復氷、塑性変形、テイルの変形に関する統一的な理解を求めるため、観測、実験、理論の分野で研究途上



写真 5 基盤岩表面に残された氷河の擦痕。  
(左)手前に向けて、(右)右上から左下に向けて氷河が乗り越えたことを示す。矢印方向が北。

という。これはこれで興味深いが、概要は文献1, 2に譲る。

ここでは、上記の復氷と関連した氷河侵食作用のもぎ取り作用(plucking)、削磨(abrasion)に関連した露頭の例を紹介する。

#### (5)氷河の擦痕 写真 5

Emosson ダムから Vieux-Emosson ダムの間地点に露出する片麻岩上には沢筋の下流(SW)方向に氷河擦痕が残されている。右上から左下に氷河が進行したことを示す条線。条線にほぼ直交する節理にそつてもぎ取りの痕が見られる。

氷だけでは、堅硬緻密な岩盤(ここでは節理の発達した花崗岩、片麻岩)に擦り傷をつけ、侵食することは極めて不十分である。しかし、上述のように、氷は圧力融解したのち、下流側で節理など割れ目に入り込んで復氷し、個々の岩塊の周りをしっかり包み込むので、岩塊は母岩からもぎ取られることになる。残された岩盤上の凹凸は次のもぎ取りを受けやすくなり、凹凸がなくなるまで同様の作用が進行する。

涵養域では、積雪のほかに、初期の段階で周囲の急崖からの落石・崩壊により岩屑が供給される。基盤の花崗岩、片麻岩には隆起に伴い垂直に近く開口した節理・断層が多数発達しているのので、上述のもぎ取り作用の進行により氷河底面は研磨剤を一杯取り込むこととなり、巨大な「やすり」と化す。

こうした氷河の底についた岩屑による機械的な岩盤表面の摩擦、摩損、研磨、断片化が削磨作用で、大きな岩片は岩盤に切り込んで溝をつける。細粒物質はまさに紙やすりのように岩盤表面を滑らかなに磨き、その過程で更に細かい岩粉(rock flour)を供給する。



図 1 典型的な羊背岩の断面  
(A.Homes,1984 より引用)

#### (5) 写真 5 羊背岩

Vieux-Emosson ダム湖に浮かぶ羊背岩(写真 6)。左側が下流方向である。谷氷河による侵食の証拠であり、氷の進行を受け止める上流側は削磨されたゆるやかな流線型を呈するが、細かい擦痕も観察できる。流動方向にほぼ直交する節理にそつて大きくもぎ取られ、段差がついている。このよ



図 6 Vieux-Emosson ダム湖に浮かぶ羊背岩

うな孤立した小丘は横たわる羊に似ている,或いは羊脂でなでつけた鬘に似ているということから「岩石の羊」(Roches moutonnee)と呼ばれる。これらが束になって分布するのが羊群岩で,昼食場所はまさに羊群岩の真っ只中であつた(写真 7)。

なお,この地は国境地帯の観光地でもあり,遊歩道内に仏・英・独・伊 4ヶ国語でかけられた”Sheep running free keep dogs on the lead”の看板(写真7左下)があつたが,生きた羊の姿はなかつた。我々には石の羊がお似合いということか。

#### 参考文献

白岩孝行(2004)氷河の流動 塑性変形 . 講座・すべりに伴う物質の移動と変形 第1回 . 日本地すべり学会誌 v.41, No.1, p.79-82.

白岩孝行(2004)氷河の流動 底面すべり . 講座・すべりに伴う物質の移動と変形 第2回 . 日本地すべり学会誌 v.41, No.2, p.110-113.

A.ホームズ(1984)一般地質学 原書第3版 . 上田誠也他訳 . 東大出版会

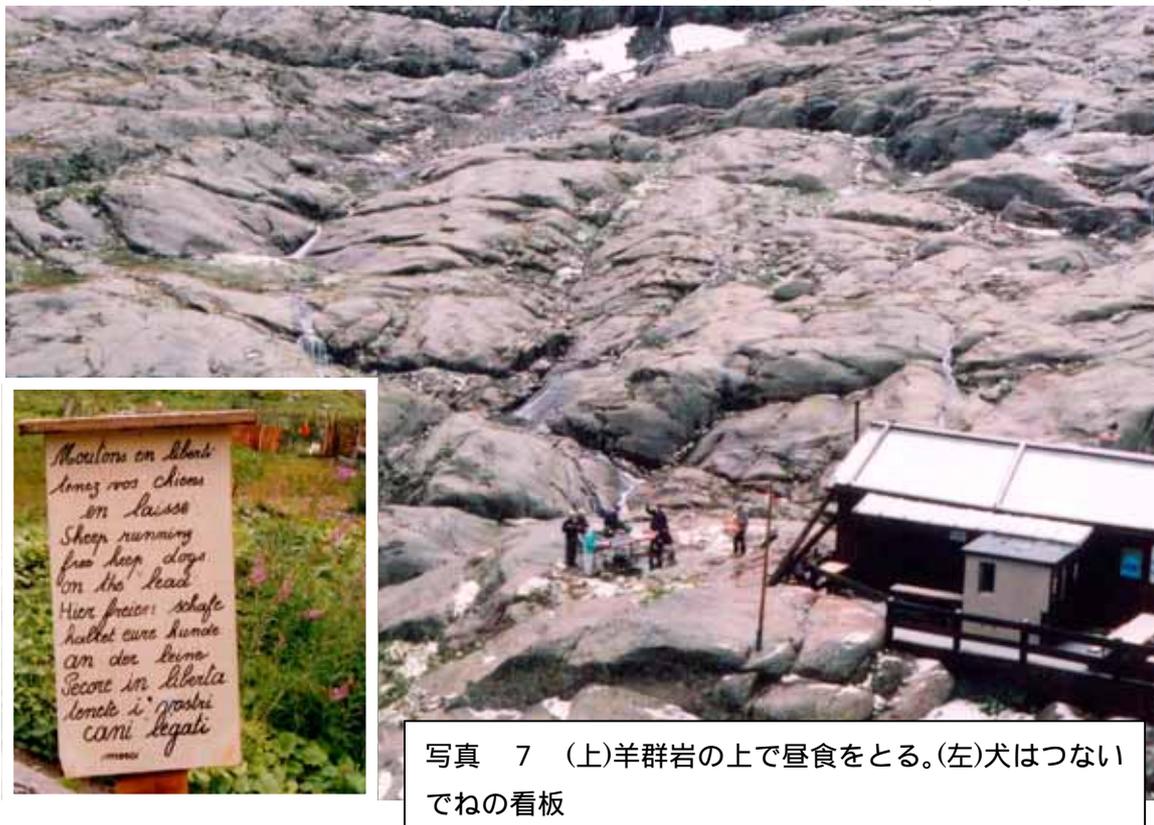


写真 7 (上)羊群岩の上で昼食をとる。(左)犬はつないでねの看板

【追記・重要】アイスマンにはなれない

1991年9月,チロリアンアルプスエッツタール溪谷で発見されたアイスマン(約5300年前の新石器人)は,溶けかかった氷の中からほぼ生前の完全な形のまま発見された。

クレバスに落下しそのまま埋もれば,何十年か先には氷舌端に達する。氷漬けなのでまるで生きているような綺麗な姿で,ということは実はめったにない。上記アイスマンは,偶然岩の割れ目に遺体が入り込んでしまったために,氷の塑性変形の影響を受けなかった極稀な例である。現実には,氷舌端まで達するころには,衣服はもちろん,体も骨ごとズタズタに引きちぎられ,目も当てられない悲惨な状況で発見されるのが常という。

これは,氷河の塑性体としての性質による。クレバスは引っ張りの主応力に直交するように開口するが,氷河は細かく見ると差動的に流動し,流行方向に直交する断面でも平行する断面でも同じ形を保ったまま流下する事はない。涵養域,平衡線付近,消耗域において主応力の働く方向が異なるので,クレバスの発達パターンが異なる。そして,氷は降伏応力100kPaの完全塑性体に近似できることから,例えば,22m深さのクレバスが形成されても,その底で氷にかかる垂直応力は200kPa(密度0.83g/cm<sup>3</sup>)であり,これは45度斜交する面内のせん断応力100kPaに相当する。このため氷は塑性変形によって流動し,クレバスは閉じることになる。

したがって,早い歪速度で引っ張られて(多結晶氷の実験では10<sup>-5</sup>/s)脆性的に破断して発達したクレバスであるが,その後は上記のとおり割れ目は閉じ,かつ流動により場の変遷に伴って応力状態が変化するのであるから,氷に閉じ込められた物体は,硬質の岩石でもない限り流動に伴って氷の結晶とともに追隨する事となる。

後に発見し,遺体を収容する人の精神的衝撃も考えれば,やはりクレバスには落ちないように気をつけよう。

## 5.4 Brenva 氷河の岩なだれ(1997年発生)の痕跡

橋本 修一

岩盤崩壊全体の中で、岩屑が氷河上を流下する例は稀で研究例も少ないが、ひとたび発生すると大量の物質(岩、岩屑、氷、雪)が高速で長距離を流下することになるため非常に危険である。モンブラン周辺の岩盤崩落は最近増加しており<sup>1)</sup>、また、アオスタ渓谷沿いの大規模な「岩・氷なだれ」(rock-ice avalanche)は、1717、1920、1936、1952、1997年と5例知られている<sup>2)</sup>。

写真1は8月25日、アオスタ渓谷の西端、Dora川と支流のVeni谷の合流点付近でバス中から西北西方向を望んで撮影した。モンブラン(MB)の左に険しい黒針峰(nA, 2922m)、右にBrenva針峰の張り出しがあり、両者の間にセラック群も荒々しいBrenva氷河(bG)がのぞく。その下方の急傾斜部には凹凸の激しい節理性塊状岩盤が露出し、さらに下方には大量の岩屑(D)が広く展開する。この場所は、1997年1月18日、氷河上流部標高3750mで発生した大規模な岩盤崩壊による岩なだれの末端部を見ていたのであった(図-1, 2)。(D)の下には氷河が存在し黒氷河(Glacier noir)となって現在なお流動していることが、上記急傾斜部直下に形成されているクレバスによって示されている。

以下は文献1からの抜粋引用である。

本地域の地質は花崗岩と結晶片岩で構成されるが、節理、断層系の発達が著しい。花崗岩はNE-SW走向、NW高角度境界でカタクレサイト帯やマイロナイト帯と互層状を呈する。岩なだれの供給域にはこれらの破砕帯が良く露出する。発生前の写真解析によれば、EW方向の引張亀裂、NS方向・垂直と南傾斜の節理系が階段状のすべり面を形成していた。

Brenva氷河はモンブランの山頂付近から7.5km流下する谷氷河で、その末端はトンネル入り口の標高1,415mに達するが、その氷舌端はすでに1920年発生した岩なだれによる岩屑に覆われた黒い氷河(glacier noir)となっていた。1997年の岩なだれは1920年の岩なだれ残存物も移動させた。

岩屑の一部は大量の雪・氷を巻き込みながら氷河表面に沿って移動した。その流下距離は5.5km、落差は2,300m。供給源での崩壊規模は幅250m、高さ330m、なだれた岩屑量は2百万m<sup>3</sup>と見積られている。また、氷河に沿って巻き込まれた雪・氷量も同程度と算出されている。岩なだれは雪煙状なだれを引起こし、Veni谷の対岸を遊り(写真2・文献1より引用)、多数の針葉樹を押し倒し、スキーヤー2人の命を奪っている。

岩なだれの主原因は地震ではなく、岩盤状態と氷河・岩盤表面の温度変化にあるという。これには小氷期以降の氷河後退が岩盤の熱的・力学的変化に決定的に作用している。つまり、数



図-1 氷河・岩なだれ位置  
図(文献1より引用)



図-2 1997年岩なだれの流動経路(文献1引用)。写真は下方、トンネル表示の近くから撮影した。

10m に及ぶ氷厚の漸減により、氷河周辺の岩盤拘束圧が著しく減少し、凍結融解の繰返しで岩盤破壊の拡大も含めた岩壁内の温度分布に影響しているというのである。

参考文献

- 1) Barla, G., Dutto, F. and Mortara, G (2000): Brenva Glacier Rock Avalanche of 18 January 1997 on the Mont Blanc Range, Northwest Italy. *Landslide News*, No.13, pp.2-5.
- 2) Bottino, G. Chiale, M. Joly A. and Mortana, G (2002): Modelling Rock Avalanches and their relation to permafrost degradation in glacial environments. *Permafrost Periglac. Process.* No.13, pp.283-288.



写真 1 2004年8月25日撮影。アングルは写真-2 とほぼ一致している。

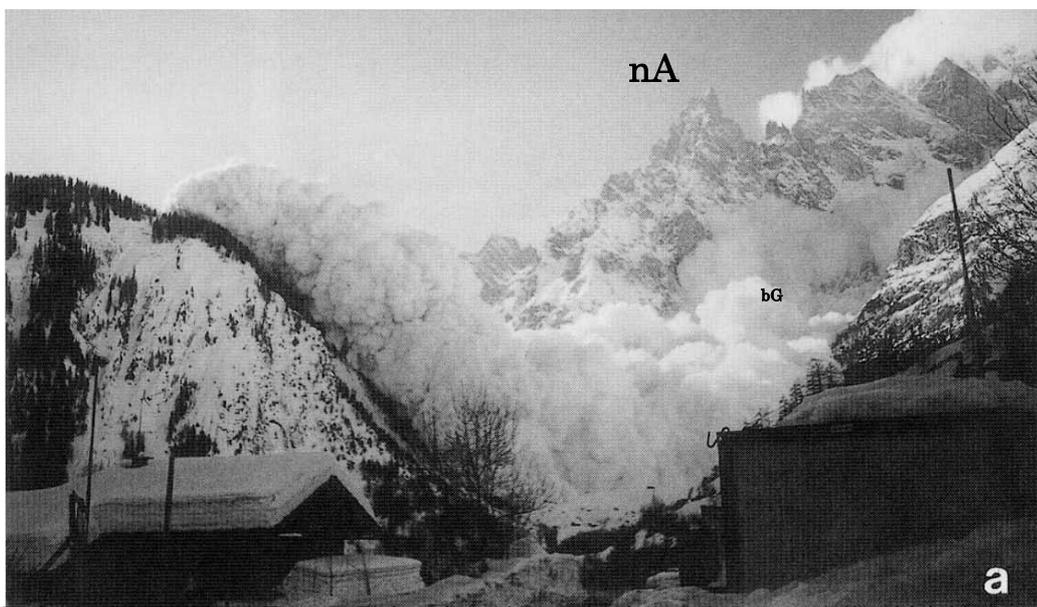


写真 2 1997年1月18日発生 of 岩なだれで引き起こされた、Veni 谷の対岸斜面を  
遡る雪煙なだれ(airborne powder avalanche)。(文献 1 からの引用)

## 6. 応用地質

### 6.1 ピサの斜塔 - 倒壊との闘い -

大塚康範

ピサの斜塔は、1987年に世界文化遺産に登録されたイタリア・ピサのドゥオモ広場であり、16世紀に近代科学の創始者として有名な物理学者ガリレオ・ガリレイが「落下の法則」の実験を行ったことでも有名である。

この斜塔は、大理石でできた高さ約58m、総重量14,500tonの建物である(図-1参照)。ボナンサ・ピサーノの設計で、初めはドゥオモに付属する鐘楼として計画されたものである。1174年に着工されたが、塔の三層目まで工事が進んだところで南側に傾いたために、工事を一時中断。その後、何度も中断して設計を変更し、中心軸をズラしながら工事を続行して、1350年ようやく完成した、いわくつきの建物である。

傾斜しても倒れない塔として世界的に有名となり、ピサを代表する観光の名所となった。世界中から毎年、大勢の観光客が訪れピサのドル箱となっているが、20世紀に入って傾斜が大きくなり、斜塔の倒壊が危惧されるようになった。

このため、1935年に地盤固結を目的に薬液注入を試みたが、地盤(粘土)が鋭敏なため、強度低下を引き起こしてしまい、沈下が進んでしまった。さらに、地下水の汲み上げにより傾斜が進み、倒壊の可能性がさらに高くなったことから、イタリア政府は1964年に倒壊を回避するための支援を世界的に求めることとなった。

1990年に入ると、この傾きの傾向は深刻なものとなり、1993年には、最大傾斜角 $5.5^\circ$ 、建物の中心軸の鉛直軸からのずれが頂部で4.5mにも達し、倒壊の危険に直面した。このため、観光客の安全上の問題から公開を休止し、傾斜角を是正するための改修工事が施工されることとなった。

1992年に多分野の専門家からなる専門委員会が設置され、地盤工学分野から Jamiolkowski (ジャミオルクスキー) 教授(トリノ工科大学)、Burland (バーランド) 教授(インペリアルカレッジ)、Viggiani (ビッジアニ) 教授(ローマ大学)の3名が中心メンバーとなって、安定化のための技術的な検討を行うことになった。



様々な対策の結果、中心軸のずれを4.5mから4.0m(200年前の傾き)に修正することに成功した。2001年6月16日には10年間にわたる対策工事を終了し、入場者を制限(40分毎に20人ずつ)することで公開を再開した。再開の祝賀会には当時のイタリア大統領も列席する等、国を挙げての修復工事であった。このピサの斜塔の傾きと対策の歴史について、上述した3名のうちのビッジアニ教授(C.Viggiani)がIGC2日目の基調講演で話をされた。その講演要旨(参考資料)とピサの斜塔に関するイタリア政府の公式サイト(<http://torre.duomo.pisa.it>)の情報を中心に、傾斜との闘いの歴史を概観してみることにする。

ビッジアニ教授の説明によれば、斜塔の基礎の地質は、砂と粘土が互層状に分布する上部の10m(HorizonA)とそれ以下のGL-40m(HorizonB)に分けられる。HorizonBの上部に分布する粘土はPancone粘土と呼ばれて、鋭敏な粘土として知られている。地下水位はGL-1m程度の浅所にある。1992年に設置された検討委員会において塔の傾きの歴史と、20世紀の初頭から蓄積されてきた現場計測データを詳細に検討することで沈下挙動に関して多くの知見が得られた。

その結果、塔の傾きに関係しているのは、「土の強度」よりも「土の剛性」であることが明らかとなった。そして、セントリフュージ(遠心載荷装置)を使った研究、数値解析、大規模実験等を実施して、最終的に斜塔が現状、中立的な状態にあることが示された。傾きが傾続する理由は、クリープ的な挙動よりもむしろ、GL-10mまでに分布する地層中の地下水位変動がトリガーになって起る「ラチェティング(ratchetting)」と呼ばれる現象であると結論づけている。すなわち、わずかでも傾きを回復してやればラチェティングの効果により、塔は安定側に移行することを示している。

北海道大学、港湾空港技術研究所、北見工大、応用地質(株)で実施した日伊2国間国際共同研究における成果(図-2参照)によれば、GL-6~7mまでのS波速度は塔の南側で小さいが、それ以深では南側で大きくなる傾向にある。この結果は、沈下の原因となる地層が少なくともGL-10m以浅にあることを示しており、ピサの斜塔の検討委員会の結論とも整合している。

対策工は、次の二つの点を考慮して計画された。

1. 1階の大理石の石積みの崩壊(構造物リスク)
2. 基礎地盤の破壊による不安定化(地盤リスク)

これらの二つの倒壊リスクに対して、最終的に次のような仮設的な対策工と恒久的な対策工が提案された。

表 - 1 対策工の一覧表

区分	構造的リスク	地盤リスク
仮設的な対策工	鉄製のケーブル巻き工	塔北側への鉛のカウンターウェイト(図 - 3)、アンカー工(図 - 4)、ステー(支索)による引張り(図 - 5)
恒久的な対策工	クラック充填、空洞充填	不等沈下を軽減させるための対策工(図 - 6)

地盤リスクに対する恒久対策として実施されたオーガーによる排土工(underexcavation工法)の模式図を図 - 6 に示した。

この工事は、塔の北側の基礎地盤 GL-10m以浅に分布する砂質シルトを対象として、1999年1月から約2年間の歳月をかけて実施された。その結果、塔の傾斜を約0.5°北側に戻す(塔中心軸の鉛直軸からのずれとしては4.5mが4.0mに減少)ことに成功した。この状態は、200年の状態に戻したことになる。

付随的に実施された研究として、風荷重や地震荷重による安定計算が行われているが、再来確率100年の風荷重(30<sup>m</sup>/s)では、転倒しないようである。一方、地震に対しては、この地方の地震発生確率(震度7:500年確率、震度8:3000年確率)に対して震度6で倒壊する可能性のあることが示されている。

ビッジャーニ教授が言う様に、沈下の継続する原因が HorizonA の地下水による「ラチェティング」であるとするなら、200年後には修復前の状態ではなく、直立する方向に挙動することも考えられる。すなわち、ピサの斜塔が斜塔ではなくなってしまう可能性もある。

その結果については後世に委ねることにして、建築が始まって1000年以上にも渡って多くの話題を提供してくれているこの斜塔を、個人的は静かに見守ってあげたいと思う。

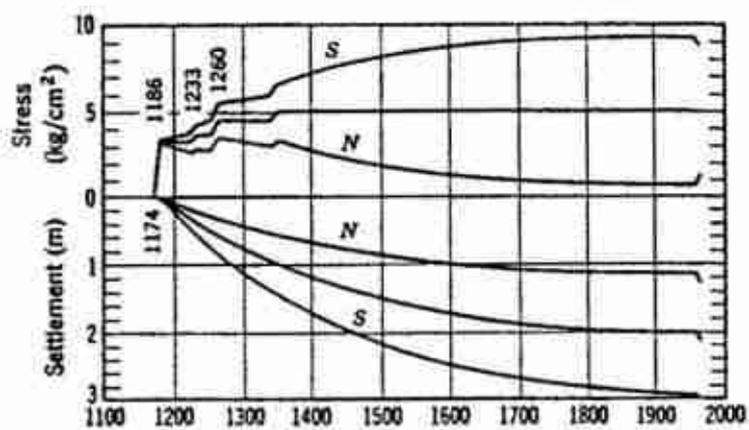
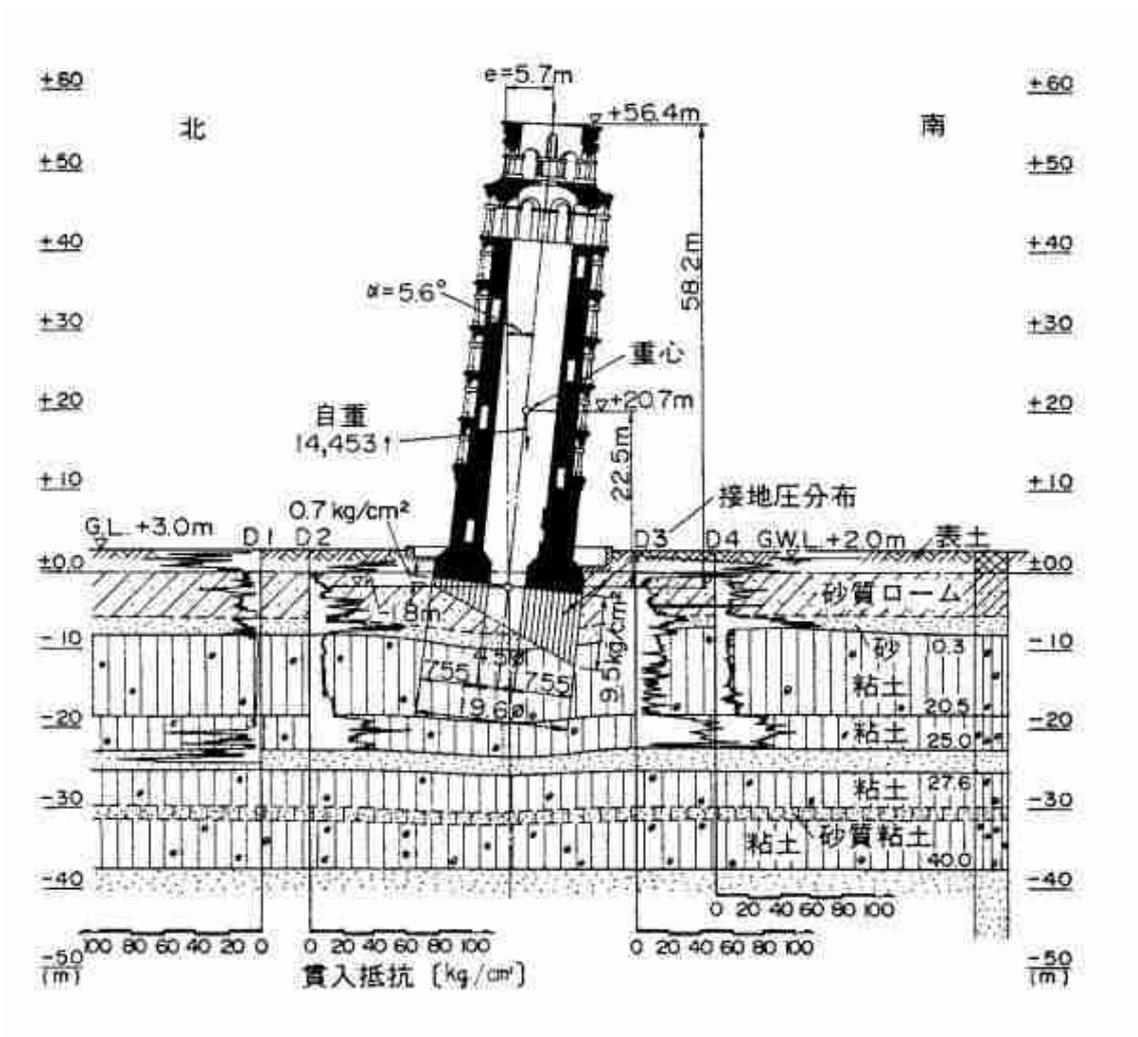


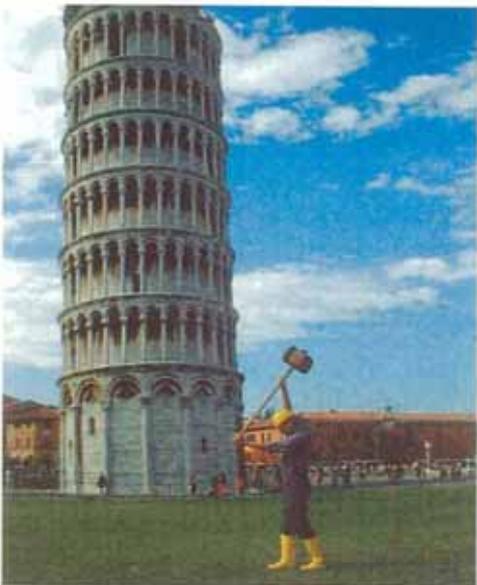
図 - 1 ピサの斜塔の基礎地盤と沈下状況

(関東地質調査業協会 HP [http://www.kanto-geo.or.jp/html/g\\_siryou/piza.html](http://www.kanto-geo.or.jp/html/g_siryou/piza.html)より引用)

遺跡の保守・安全のための地盤調査法—Pisaの斜塔を例として  
(本文35～37ページ参照)



口絵写真—20 ピサの斜塔付近の空中写真  
(ピサ市のホームページ  
<http://www.comune.pisa.it/>)



口絵写真—21 二次元表面波探査実施状況



口絵写真—23 地盤調査の実施場所  
(ピサの斜塔の頂上より南側を撮影)



口絵写真—22 各深度におけるS波速度平面分布(図の上が北側)



口絵写真—24 ボーリングマシン(左側)

図-2 ピサの斜塔基礎地盤のS波速度分布  
(土と基礎 2004.6 口絵より引用)

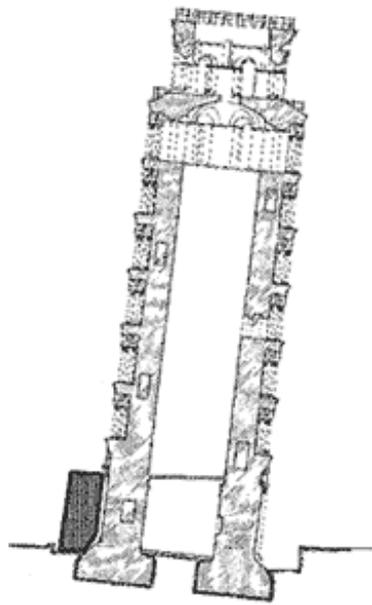


図 - 3 鉛インゴットによるカウンターウェイト  
(ピサの斜塔公式サイト(伊)HP  
[http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english\\_version/9.html](http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english_version/9.html) より引用)

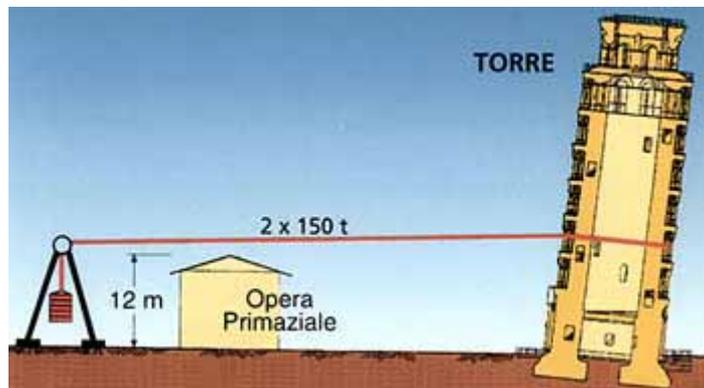


図 - 4 ステー(支索)による対策  
(ピサの斜塔公式サイト(伊)HP  
[http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english\\_version/9.html](http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english_version/9.html) より引用)

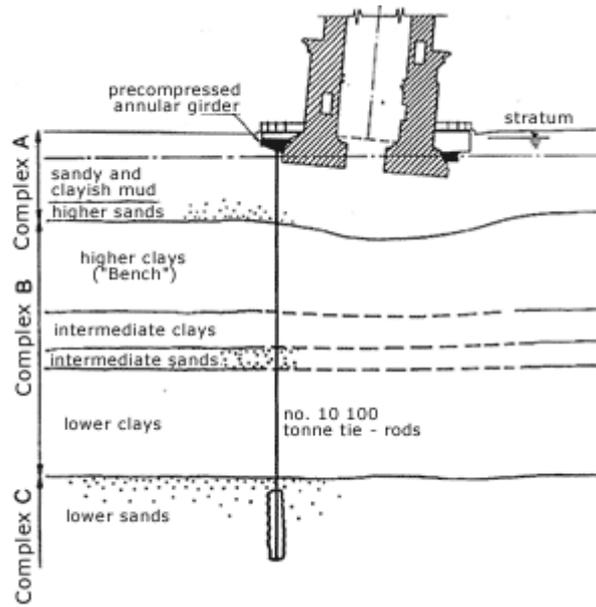


図 - 5 アンカー工による対策

(ピサの斜塔公式サイト(伊

HP [http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english\\_version/9.html](http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english_version/9.html) より引用)

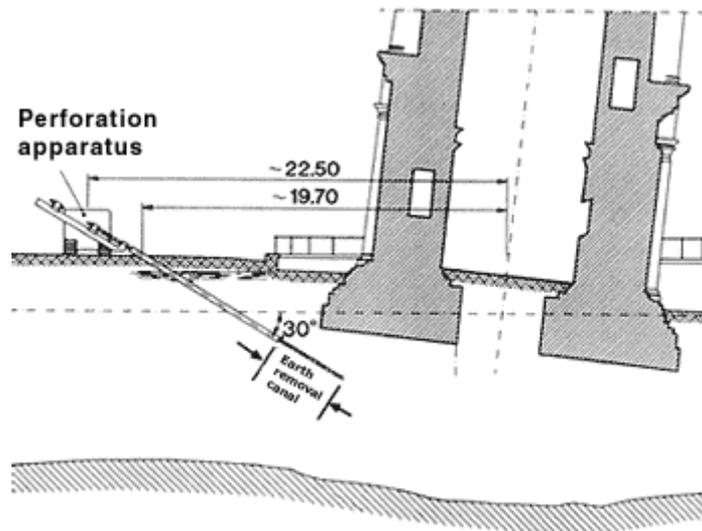


図 - 6 オーガーによる排土工

(ピサの斜塔公式サイト(伊

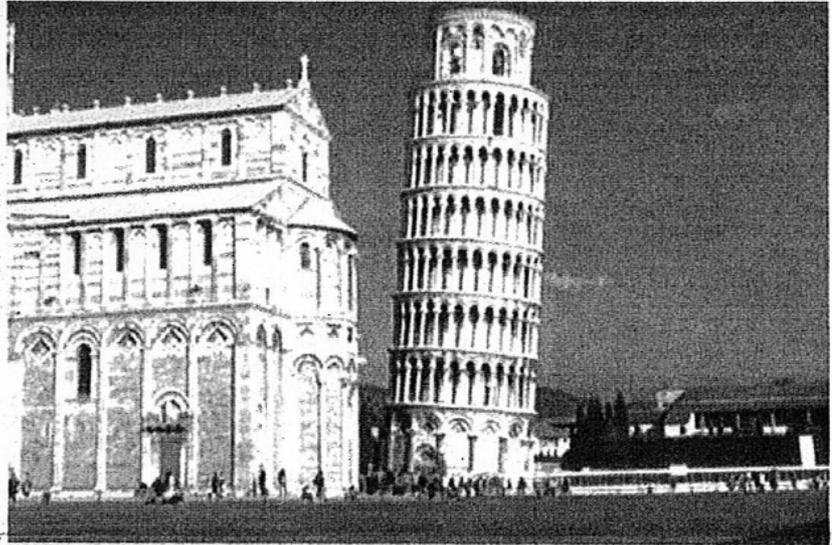
HP [http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english\\_version/10.html](http://torre.duomo.pisa.it/towersposters/english_version/10.html) より引用)

# The Leaning Tower of Pisa

## The History and threats endangering its survival

The structure of the Leaning Tower of Pisa is in the form of a hollow cylinder. The inner and outer surfaces are faced with marble and the annulus between these facings is filled with rubble and mortar within which extensive voids have been found. A spiral staircase winds up within the annulus. The staircase forms a large opening on the south side just above the level of the first cornice, where the cross section of the masonry reduces. The high stress within this region was a major cause of concern since it could give rise to an abrupt brittle failure of the masonry. The ground profile underlying the tower consists of three distinct horizons. Horizon A is about 10 m thick and primarily consists of estuarine deposits, laid down under tidal conditions; as a consequence, rather variable sandy and clayey silts are found. Horizon B consists primarily of marine clay which extends to a depth of about 40 m. It is subdivided into four distinct layers. The upper layer is a soft sensitive clay, locally known as the Pancone. It is underlain by an intermediate layer of stiffer clay, which in turn overlies a sand layer (the intermediate sand). The bottom layer of horizon B is a normally consolidated clay (the lower clay). Horizon B is very uniform laterally in the vicinity of the tower. Horizon C is a dense sand (the lower sand) which extends to considerable depth.

The water table in horizon A is between 1 m and 2 m below the ground surface. Pumping from the lower sand has resulted in downward seepage from horizon A with a pore pressure distribution with depth which is slightly below hydrostatic. The surface of the Pancone clay is dished beneath the tower, from which it can be deduced that the average settlement of the monument is approximately 3 m. Work on the tower began in 1173. Construction had progressed to half the 4<sup>th</sup> order by 1178, when the work was interrupted. The work recommenced in 1272, after a pause of nearly 100 years; by about 1178, construction had reached the 7<sup>th</sup> cornice when work again stopped. In about 1360 work on the bell chamber was commenced and was completed in about 1370, two centuries after the start of the



Piazza dei Miracoli -The Leaning Tower of Pisa.

work. It is known that the tower must have been tilting to the south when work on the bell chamber began, as it is noticeably more vertical than the remainder of the tower. In 1838 a walkway was excavated around the foundation.

This is known as the *catino*, and its purpose was to expose the column plinths and foundation steps for all to see as was originally intended. A reliable clue on the history of the tilt lies in the adjustments made to the masonry layers during construction and in the resulting shape of the axis of the tower. Based on this shape and a hypothesis on the manner in which the masons corrected for the progressive lean of the tower, the history of inclination of the foundation of the tower during construction may be deduced. At the time of the completion of the bell chamber, in about 1370, the inclination of the tower was around 1.6°. In 1817, when Cresy and Taylor made the first recorded measurement with a plumb line, the inclination of the tower had increased to 4.9°. The excavation of the *catino* in 1834 appears to have caused an increase of inclination of approximately 0.5°. In the early 1990's the Tower was inclined southwards at about 5.5°; the inclination was increasing at a rate of 6 - 8 arcsec/year. The seventh cornice was overhanging the first one by about 4.1 m. In 1990 the Italian Government appointed an International Committee to safeguard and

stabilise the Tower. It was conceived as a multidisciplinary body composed of experts of arts, restoration and materials; structural and geotechnical engineers. The Committee developed a detailed understanding of the history of the inclination of the tower, and in particular of the movements it has experienced in the last century, as observed by a comprehensive monitoring system, installed since the beginning of the 20th century and progressively enriched. The behaviour of the tower clearly indicates that it is affected by leaning instability, a phenomenon controlled by the stiffness of the soil rather than by its strength. Studies carried out by physical models at natural gravity and in the centrifuge, by numerical modelling and large scale experiments, lead to the conclusion that the tower is very nearly in a state of neutral equilibrium. The cause of the continuing movement is a phenomenon of ratchetting, triggered by the fluctuations of the water table in Horizon A. It is to be noted that neutral equilibrium is but a transition stage to overturning. Of course, creep has also some effects on the process. Studies and investigations have demonstrated that a slight decrease of the inclination would have stabilised the tower; such a solution is also completely respectful of the material, historic and formal integrity of the tower.

C. Viggiani

参考資料: 8/22 に IGC 会場で行われた C.Viggiani 教授(ローマ大学)の基調講演概要

## 6.2 エモッソンドムとアルプスの「氷河」水力発電

橋本 修一

はじめに

エモッソンドム湖畔のレストラン脇にエモッソン電力会社による「ダムと湖」の説明看板が設置されていた。以下は主に看板の絵と記述を参考にして、当ダムにかかわる水力発電の特徴を紹介する。

## 6.2.1 ダム諸元

エモッソンドムはフランス・スイスの共同で建設された美しいアーチダムである。看板によるとダムの諸元は次のとおりである。

標高 (常時満水位?)	1,931m	堤頂幅	9m
堤頂長	554m	堤体コンクリート量	1.1 百万m <sup>3</sup>
堤高	180m	貯水容量	225 百万m <sup>3</sup>
堤基礎幅	48.5m	貯水面積	327ha

建設計画自体は 1954 年に遡るが、これは上流側の Vieux-Emosson ダムの運転開始年(1955 年)とほぼ同時期である。運転開始は 1975 年 7 月とのことである。

## 6.2.2 発電施設

発電設備はフランス側 = Chatelard-Vallorcine、と下流のスイス側 = La-Batiaz にある。ダムと発電設備の大まかな位置関係を図 1 に示す。発電所の出力は 180MW(EDF annual report)である。しかし、スイス側の資料\*によると前者が 110MW、後者が 92.5MW とあって一致しない。ちなみに EDF(旧・フランス電力公社)は政府系特殊法人であったが、2004 年 11 月から株式会社化されている。

\* ( [http://www.swv.ch/statistik\\_einzugsgebiet\\_rhone.cfm](http://www.swv.ch/statistik_einzugsgebiet_rhone.cfm) )

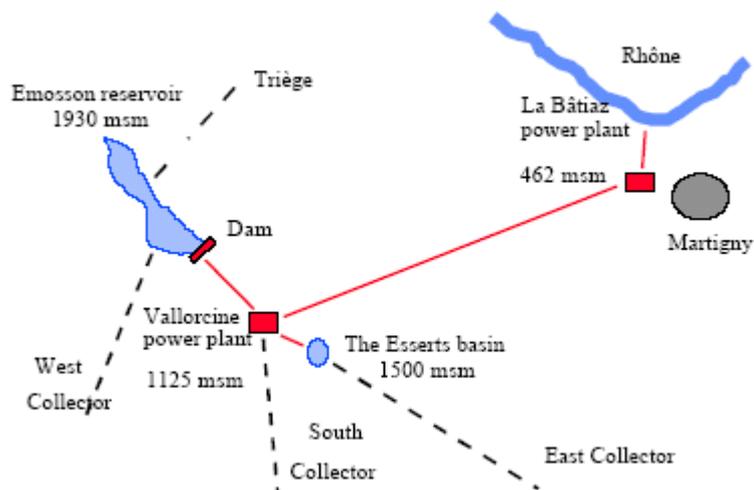


図 1 エモッソンドムに関連する概略位置図



にさらに大きな引張りが働くので、全体がまるでゴジラの背中のように荒々しセラック帯となっていた。あの真下で、人知れず集められたわずかな水が、1,000m近い落差を持って発電に寄与していたのであった。

おわりに

図 2, 3 にもあるように、水圧管路はすべて埋設坑となっていて、地表で見える発電設備は発電所と送電線路くらいであり、景観の創造に非常に配慮されている。天気が許せばモンブランまで遠望でき(図 4)、観光地にもなっている。それでも、最近では排砂に伴う河川汚染、魚類への影響などを重要視する観点から、ダムを取り巻く環境は厳しくなっているとのことです。



図 3 エモッソンドム平面図

(Swiss Committee on Dams - Situation du barrage de Emosson.htm より抜粋)



図 4 建設中のエモッソングム(看板の写真)と現在の景観(左下)  
(左下  
<http://perso.wanadoo.fr/ecolepompadour/cham/visite/visite.htm>)