

ヨーロッパのダム (II)

第 3 回 海外応用地質学調査団報告

平成 5 年 6 月

日本応用地質学会
海外応用地質学調査団

目次

はじめに (会長 岡本隆一)	1
1. 第3回調査団の概要 (理事 宇田進一)	5
2. 調査団報告	
2-1. 地質編	
(1) ヨーロッパアルプス造山帯の一部としてのピレネー山脈 (東北支部長 北村 信)	19
(2) Augen gneiss 考 (許 成基)	47
(3) ピレネー山脈を南下して (富重明彦)	56
(4) ピレネー山脈南部の地質 (茶石貴夫)	62
(5) ピレネー山脈西側縦断ルートの地質 (情野 隆)	68
(6) セントラルマッシフの地質 (許 成基)	76
2-2. 構造物編	
(1) エーブロ川の水収支から見たピレネー山脈の水資源 (栢木智明・奥田公也)	82
(2) オリアナダム (栢木智明・奥田公也)	86
(3)-1 カネレスダム (大友淳一)	90
(3)-2 カネレスダム (川中悦雄)	95
(4) メキネンサダム (尾崎幸忠・新見 健・坂之井和之)	98
(5) ペーニャダム (小林俊樹・小菅芳男)	105
(6) イエサダム (橋本修一)	109
(7) エグゾンダム (大高弘明・井宮 裕)	115
(8) マルパッセダム (奥田英治)	120
(9) ポン・デュ・ガールとマルパッセダム (藤井照久)	135
2-3. I A E G 学会行事編	
(1) IAEG Executive Committee 1993, Montpellier について (小島圭二)	140
(2) Council Meeting について (藤田元夫)	142
2-4. 課外編	
(1) ボルドー地区の地質とワイン (大竹照光)	150
(2) ロワール峡谷と古城 (増田重憲)	161
おわりに (総務委員 竹下俊明)	168

は じ め に

日本応用地質学会会長 岡 本 隆 一

日本応用地質学会が主催する海外調査団の研修も今回で3回目になる。物事、三度目
或いは3回やるということは、仏の顔も三度、三度目の正直、三代目で家をつぶす等々
諺を引くまでもなく大変大きな岐れ路である。三回目を成功させれば、この海外調査団
の企画も長続きするだろうという事で、今回入念な計画をたててみた。日程は、全体で
二週間とし、その中に、下記の幾つかの目的を盛り込むことを考え、若干盛り沢山で少
し欲張った企画となってしまった。

- ① フランス南部の都市・モンペリエで開催される I A E G 主催のシンポジウムに於い
て、同時に執行理事会、執行委員会が開かれるので、正式に日本代表を決めてそれに臨
まなければならない。シンポジウムにも参加する。
- ② ヨーロッパにおける地質および地質構造の代表的な地域あるいはルートの現地見学
を行う。
- ③ モンペリエから遠くない所で、応用地質と関連深い土木構造物を見学する。
- ④ コースの途中に歴史的、美術的に優れた建造物があれば、一つ、二つ見学する。
- ⑤ 少しはグルメの経験もしてみよう。

上記の様な事情から、後述の調査団報告にみられる様な日程と行程になった。

まず、①として執行理事会にアジア地区副会長 小島圭二東京大学教授が出席し、執
行委員会には日本応用地質学会会長 岡本隆一を正、同国際委員長 藤田元夫を副とし
て出席した。

②の目的では、東北大学名誉教授 北村信先生に、お忙しいところを無理にお願いし
て団長をお引受戴いた（これで、今回の調査団研修の有意義な成功は既に決まった様な
ものだった）。ピレネー山脈を南北に2回横断することにより、ユーラシア大陸の造構
史研究の上で重要な地質構造の一端を勉強しようと言うことである。

ただ、6月時点で、標高 2,409m の Ref 峠が越せるかどうか。ピレネー山脈に至るア
プローチの田舎道に果たして何処まで大型バスが入れるか等、不案内による不安もあっ
たが、出発前にミシュラン地図1/10万、フランス地質図1/50万、スペイン地質図1/100

万、その他の資料と首びきでコースを決めてしまった。また、ピレネー山脈部分を東西に1/20万でまとめ（史跡、名構造物が絵で示してある）た地図（スペイン発行）を入手したが、この地図は非常に有用であった。

現地に行ってみると、大体、事前に日本で予想した通りであったが、バスは通れるものの駐車するところがなく、みすみす露頭を車中から眺めながら停車せず先へ行ったこともあった。東側のコースでは温泉が多かったのは思いもかけない事であった。概略のコースは図 1-1 に示す通りである。

③に関しては、先ず、第1回はフランス、イタリーの著名なダムを見学し、第2回はドーバートンネルが主目的であったので、第3回の今回は、また、ダムということにした。南フランスからピレネー山脈の近くで問題意識を持ってダムを探すとすると、ピレネーを越えたスペイン側の中生代～古第三紀の石灰質岩体を切り開いた峡谷に建設されたダムを思い浮かべる。地質と降雨量の関係からか、ピレネーのフランス側は比較的なだらかな地形であり、水系が発達し、緑したたる山野となっている。一方、これに対してスペイン側は、まとまった植生が少なく、急峻な峡谷と単調な台地が特徴的である。また、スペインのダム技術者が、石灰岩層からの漏水や、泥灰岩層間の炭質物やジプサムに起因する滑動の処理に悪戦苦闘していた姿を、1979年にスペインを訪れていた際に見ていたので、その後それらがどの様に解決されたかについても関心があったので、スペインのダムを見学し、現地で関係者の話が聞けることを期待した。土木と地質との両者の討論や相互刺激をも期待して、特に土木の方々にも参加を呼びかけた。

④、⑤については、コースの途中にフランス有数の城壁都市カルカッソンヌ、レコンキスタやスペイン市民戦争にゆかりの深いスペイン北部地方、日本にゆかりの深いザビエル城等があり、ボルドー地域やロワール河を横切ることから、大いに歴史と舌のレッスンをしたことになる。

今回の調査旅行については、先ず第一に、北村先生に多くの資料を準備して戴き、車中や各所の露頭で懇切丁寧な御説明を受けたことを深く感謝いたします。大学院の特別講義にも相当するのではないかという思いで参加した地質屋にとって大いにリフレッシュになったことと思う。北村先生の御熱意が参加者全員に伝わって、担当の皆さんそれぞれ分担の箇所について大変勉強され、適切な説明をして戴いた。

参加者全員の協力と働きに感謝するところであるが、中でもピレネーやフランスの現地で岩石学の立場から細かい説明をして戴いた許氏、幹事として走り回った宇田、竹下両氏、また、達者なフランス語と細かい気配りで、男ばかりのパーティの面倒を良くみてもらった笠原文子さんには深く感謝致したい。

参加者26人+1人は、この種の旅行のパーティとしては、やや多人数過ぎるが、全行程、約2,500 kmもの強行軍でも、皆大した病気や怪我もしないで旅行を続け、無事帰国出来たことは大変喜ばしいことである。

文 献

- Bernard Géze ROQUEFORT ET LE LARZAC OCCIDENTAL
Guide Géologique 1984
- G. Bessière et al QUILLAN
Carte géologique de la France 1/50,000

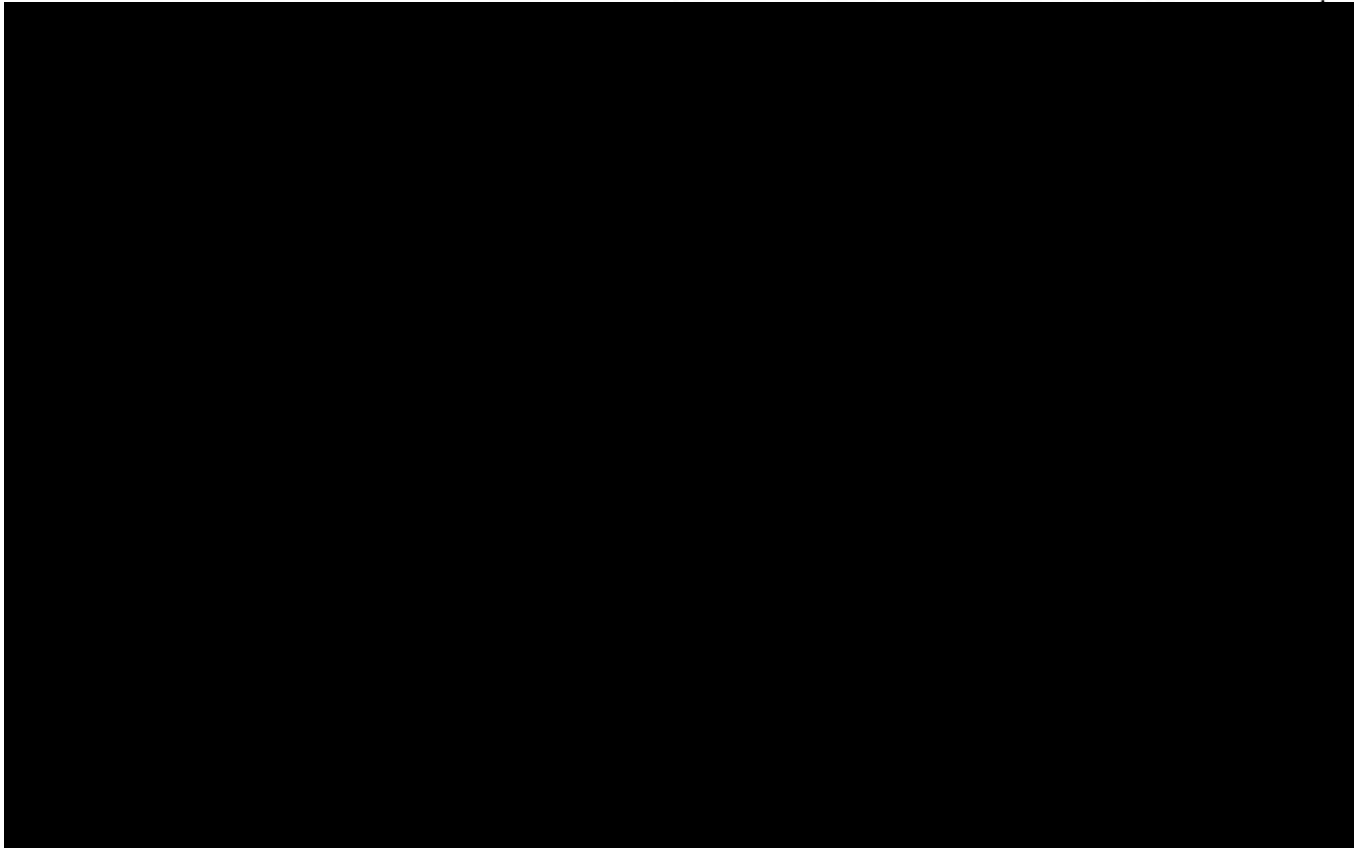
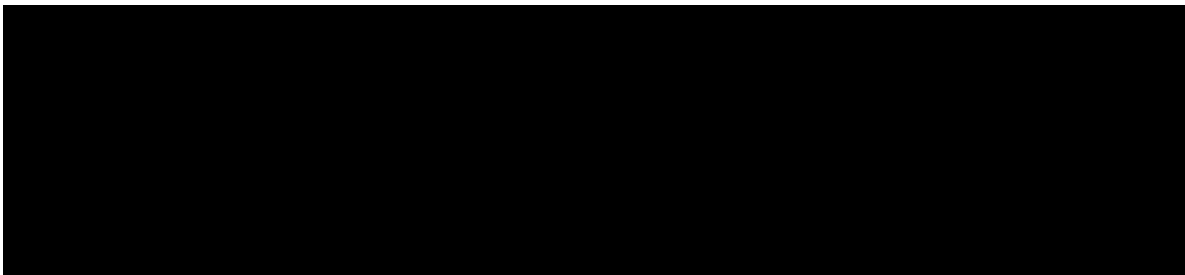


図 1-1 ピレネー山脈のコンパイル地質図

(出典 R.Mirouse PYRENEES CENTRALES FRANCO-ESPAGNOLES
Guides Géologiques Régionaux 1992)



1. 第 3 回 調 査 団 の 概 要

宇 田 進 一

平成 5 年 6 月 6 日から 6 月 20 日までの 15 日間、下記の日程により調査団が派遣され、
全員無事に帰国した。

ダム名

6 月 6 日	東 京	→	パ リ	
6 月 7 日～9 日	パ リ	→	モンペリエ (滞在)	
6 月 10 日	モンペリエ	→	カルカソンヌ	
6 月 11 日		→	アンドラ・ラ・ベリャ	オリアナ
6 月 12 日		→	サラゴサ	カネレス
6 月 13 日		→	パンプローナ	メキネンサ
6 月 14 日		→	ビアリッツ	ペーニャ
6 月 15 日		→	リモージュ	イエサ
6 月 16 日		→	トゥール	エグゾン
6 月 17 日～18 日		→	パ リ (滞在)	
6 月 19 日～20 日		→	東 京	

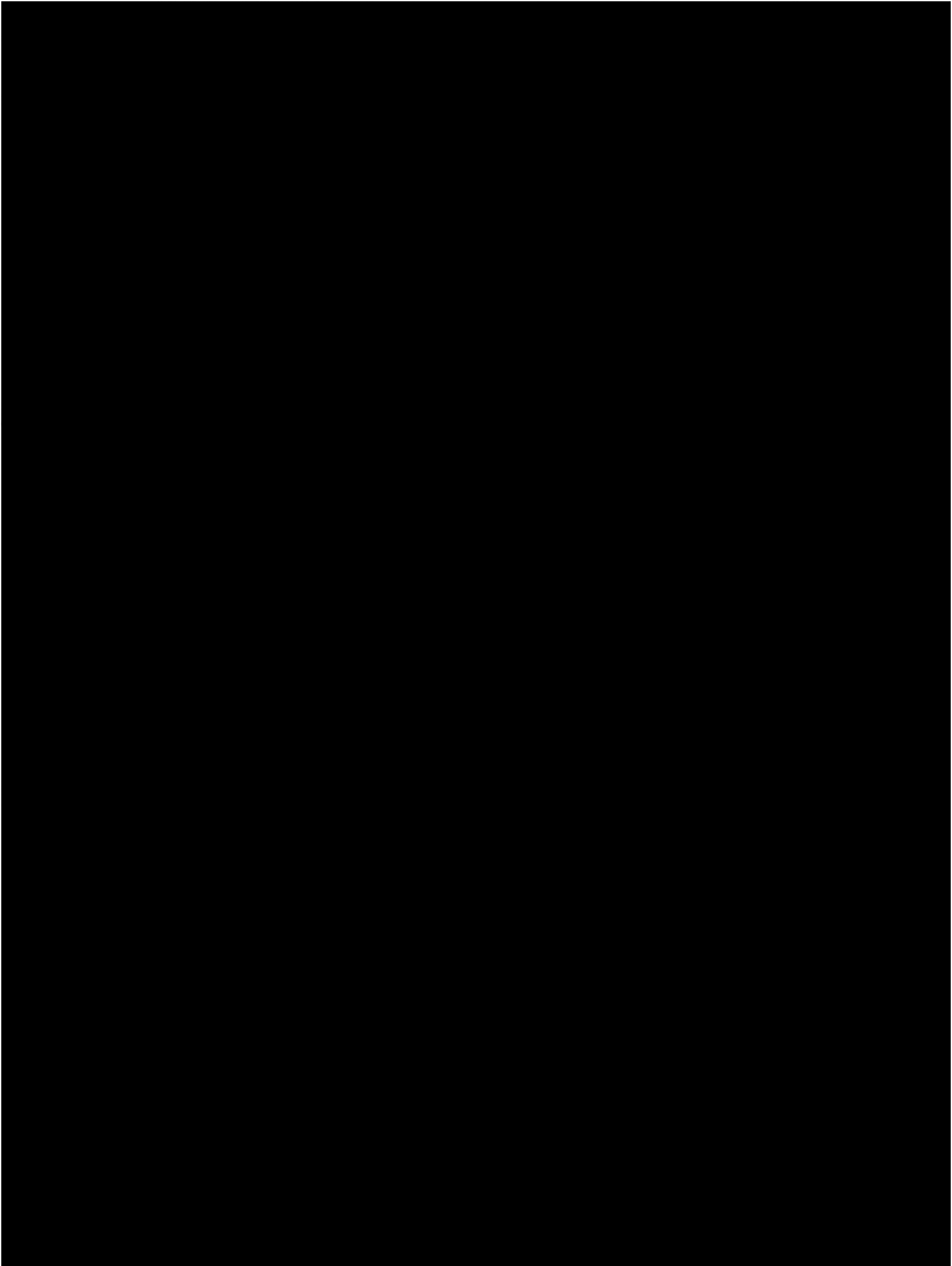
フランス国モンペリエで開かれていた「INTERNATIONAL SYMPOSIUM, GEOLOGY AND CONFINEMENT OF TOXIC WASTES」(フランス応用地質委員会、フランス地質調査所主催 IABG 後援)への参加および、ピレネー山脈およびフランス中央山塊の地質構造調査、フランス、スペインの 6 ダム(上記)の調査を目的としたもので、北村 信東北大学名誉教授を団長とし、IABG の Council Meeting 出席のため先行していた小島圭二東大教授、藤田元夫国際委員会委員長の両氏のモンペリエでの合流を含めて 26 名が参加した。シンポジウムには廃棄物学会からも 20 数名の日本人が参加しており、合計 50 名近い日本人という事で、注目を集めていた。

モンペリエ以降は岡本会長の調査による詳細な旅程に従って、団員の中から担当者を

定めて説明役とした。ピレネー越えについては、北村団長が準備してくれた膨大な資料とアドバイスにより適切な露頭を見つけて下車し、観察およびサンプリングを行う事が出来た。特に Auger Gneiss の露頭では1人で20キロのサンプルを採取した団員も現れた。

各ダムサイトでは、土、日にも拘らず職員（電力会社）が案内してくれ、質問にも丁寧に答えてくれた。「南欧ではあまり働かない」などと誰が言ったのか？ 正に「百聞は一見に及ばず」であった。また、ダムの構造も日本ではなかなか採用されていないような構造（例えば、トンネル洪水吐、アーチドグラヴィティ、階段状下流面）が見られ大いに参考となった。また、石灰岩地帯での漏水対策や、ダムの JOINT の変位、洪水吐の増設、アーチダムでの膨大なアンカー等々苦勞の跡が見られ、団員の間でも、また案内役の職員との間でも議論百出であった。参加者は上記4氏の他に次の機関から22名合計26名であった。

(株)アイ・エヌ・エー、アイドルエンジニアリング(株)、(株)開発土木コンサルタント、
(株)建設技術研究所、サンコーコンサルタント(株)、スイモンリサーチ(株)、川崎地質(株)
(株)ダイヤコンサルタント、(財)ダム技術センター、電源開発(株)、東北電力(株)、日特建設(株)、
日本工営(株)、(株)復建技術コンサルタント、八千代エンジニアリング(株)、(株)レアックス



日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 日程

6月6日	日曜日	東京 発	パリ 着	AF275 登録受付 Council meeting evening → Cocktail evening → Gala	Paris 泊 Montpellier 泊	バス走行距離 (km) (総合計) 2,262 km + α
7日	月曜日	Paris 発	Montpellier 着			
8日	火曜日	AM9:00(opening)			Montpellier 泊	
9日	水曜日	AM	PM		Montpellier 泊	バスツアー一距離 (km)
10日	木曜日	AM	PM Montpellier 発		Carcassonne 泊	150 + α
11日	金曜日	Carcassonne 発	Pyrenees 地質研修		Andorra-la-vella泊	208 + α
12日	土曜日	Andorra-la-vella 発	Pyrenees 地質研修 (Olina dam, Canelles dam, Meguinenza dam)		Zaragoza泊	414 + α
13日	日曜日	Zaragoza発	Pyrenees 地質研修 (Peña dam, Yesa dam)		Pamplona泊	304 + α
14日	月曜日	Pamplona 発	Pyrenees 地質研修		Biarritz 泊	132 + α
15日	火曜日	Biarritz 発	フランス西南部の地質研修		Limoges 泊	414 + α
16日	水曜日	Limoges 発	フランス中西部の地質研修 (Eguzon dam)		Tours 泊	281 + α
17日	木曜日	Tours 発	Lorie 河流域の地質研修		Paris 泊	359 + α
18日	金曜日	Paris 発	Paris 滞在 IAEG 事務局		Paris 泊	
19日	土曜日	東京 着				
20日	日曜日					

日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 (ルート沿いの地質及び構造物、その他)

6月10日 (木)	出発 (経由、停車) 他	予定時刻	道路名	距離 (km)	地質 (進路順)	参考
	Montpellier (モンペリエ)	13:00	A-9 A-61	150 + α 150 + α		α は市内走行分 15:00 ~ 17:00 (シテ見学)
	Carcassonne (カルカゾンヌ)(泊)	14:45				

6月11日 (金) ①	出発 (経由、停車) 他	予定時刻	道路名	距離 (km)	地質 (進路順)	参考
	Carcassonne (カルカゾンヌ)	8:00	D118		Eocene中～上部	I' Aude河谷
	Limoux (リムー)	(20分) 9:00		21 + α	Carboniferous 下部へ EoceneがThrust Eocene中部 Eocene下部	Limouxから7 km les-bainsaの南も断層 I' Aude峡谷 ロード
	Alet-les-Bainsの北 (アレ レ バー)	(10分)	D118	27	Cretaceous Flysch 高い所はEocene 走向方向に帯状盆地に行く	N. D. du Val d'Amour ノートル・ダーム・デュ・ヴ アル・ダムール
	Couiza Esperaza (キサ エスペラサ)	(10分)				
	Quillan (キラン)					
	Porte峠(EL. 601m)(ポルト)					
	Belesta (ベレスタ)	10:00	D117	19		
	Lavelanet (ラヴァラネ)					

日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 (ルート沿いの地質及び構造物、その他)

6月11日(金)②	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	St. Paul の先の三叉路 (サン・ポール)		D117	21	Creta. が主	
	Foix (フォア)(7 km 戻る)	10:30 130分 11:00	N20	7	Jura. (Lias) が Gr. と Silur. に Thrust 河で Creta. と Silur. が境する	河を渡る(右岸→左岸) 少しずつつまづいで地質を 見る。
	Tarascon-sur-Ariege (タラスコン・シュール・アリエージュ)			16	Migmatite Creta Flysch	
	約 6 km 地点 Les Cabannes (レ カバンヌ)	(30分)		(6)	Devon. Silur. Ordovic.	
	Ax-les-Thermes (ア レ テルム)		N20	26	Muscovite Gr.	
	Mérens-les-Vals (メラン・レ・ヴァレ)	(12:30) 14:00 (10分)		(8)	Fault 北 Gneiss 南 Mica schist	
	Hospitalet-pres-l'Andorre (EL. 1,430) (オスピタレ・プレ・ランドール)	(10分) 15:00	N20	25	Fault	ここからジグザグの上り道 (直ぐ南に氷河)
	N20 と N22 の分岐点		N20	(7)		
	Pas-de-la-Casa (EL. 2,096m) (パ・ド・ラ・カサ)	(30分)		13	Mica schist	国境
	Ref. 峠 (EL. 2,409m) (レ峠)	(20分) 16:30			Ordovic. が多い。	
	Andorra-la-Vella (-Vieja) (EL. 1,029m)(泊)	17:30	CG-2	32.5	Biotite Gr.	
				208+α		

日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 (ルート沿いの地質及び構造物、その他)

6月12日 (土) ①	出発 (経由、停車) 他	予定時刻	道路名	距離 (km)	地質 (進路順)	参考
	Andorra-la-Vella (アンドラ・ラ・ヴァージャ)	8:00 (10分)	C, G-1		Devon. ↓	5.5km Santa Coloma教会
	11km地点 国境	(10分)	C-145		Ordvic. Fault, Miocene ↓ Pliocene 南 ↓	
	Seo de Urgel (セウ・デ・ウルゲル)	(10分) 9:00	C-1313	21	Ordvic. Perm.-Trias 上部	ロマネスクの教会 Segre 河を下る
	Oliana dam (オリアナ)	10:10	C-1313	41	Oligocene	途中で貯水池が見える。
	Artesa de Segre (アルテサ・デ・セグレ)		C-1313	42		
	Belesta (ベレスタ)	11:00	C-148	25.5	Creta. が主	
	Alfaras (アルファラス)		N-230	22		
	N-230 から右折地点		不明	27		
	Canelles dam (カネレス)	12:00 13:00		12+α	Eocene中部の中のCreta. の地層	
	N-230 へ戻る		N-230	12+α		
	Lérida (レリダ)	14:00		25+α		
		15:00				

日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 (ルート沿いの地質及び構造物、その他)

6月12日(土)③	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	Fraga (フラガ)		N-11	27		
	Meguinenza (メキネンサ)		C-230	24		
	Meguinenza dam	16:30	C-231	約1 km	Oligocene	Ebro河
	Fraga interchange	17:00	C-231			
	Zaragoza サラゴサ(泊)	17:30	A-2	20+α		
		19:00		114+α		
				414+α		
6月13日(日)①	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	Zaragoza (サラゴサ)	8:00	N-123	67+α	Miocene ↓ Oligo-Mio 北	
	Huesca (ウエスカ)	9:00	N-240	(47k)	Quart.	東側へ行く。
	Peña dam (ペーニャ)	(30分)			Trias 上部, Creta. Eocene の帯状構造	
	Puente la Reina de Jaca (フエンテ・ラ・レイナ・デ・ハカ)	10:30	C-134		Oligo. -Miocene → Eocene ずっと中、上部Eocene	
	St. Crutxへの分岐点	(20分)	不明	9		Pyreneesの眺望が良い。
	San Juan de la Peña (EL. 470)		不明	15		
	Jaca (ハーカ)	11:45	C-134	9		
		14:00	C-134	10		Catedral de Jaca
	Yesa dam	15:00	C-134	61	中、上部Eocene	
	Yesa	15:30	N-240	8	ずっとEocene	
	Castillo Convento	(30分)				

日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 (ルート沿いの地質及び構造物、その他)

6月13日(日)②	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	ハビエル城 Javier Yesa Pamplona (パンフナ) (泊)	16:20 17:30	N-240	5 48+ α 304+ α		(フランシスコ・ザビエル生地)

6月14日(月)①	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	Pamplona(Iruña)(パンフナ)	8:30	C-135	21+ α	Eocene中、上部 Eocene下部	峠越えになる(EL. 801m) (陽はまた昇る) 2k手前に Colegiata(修道院) 12時前に抜きたい。
	Zubiri (スビリ) Erro (エロ) Burguete(EL. 960m)(ブルゲテ)	(途中10分) 9:45	C-135	10 15		
	Roncesvalles ロンセスバリエス峠(EL. 1,057m)	(30分) (20分)		(4.5)	Eocene, Fault Devon Silur. } Ordovic.	
	国境	(30分)	D918	24	Ordovici. ↓ Creta.	屋敷(カンドウ神父生地) 城壁で囲まれた町
	Arneguy(EL. 280m) St. Jean pie de Port (サン・ジャン・ピエ・ポール)	11:45 12:00 14:30	D918	8	Meso. の Ophiolite Trias, Devon. Ordovic. Silur.	
	Cambo (カンボ)	随時STOP (1時30分) 16:30	D932	34	Amphibolite, Gneiss 等複雑な地質構造 Trias 上部	

日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 (ルート沿いの地質及び構造物、その他)

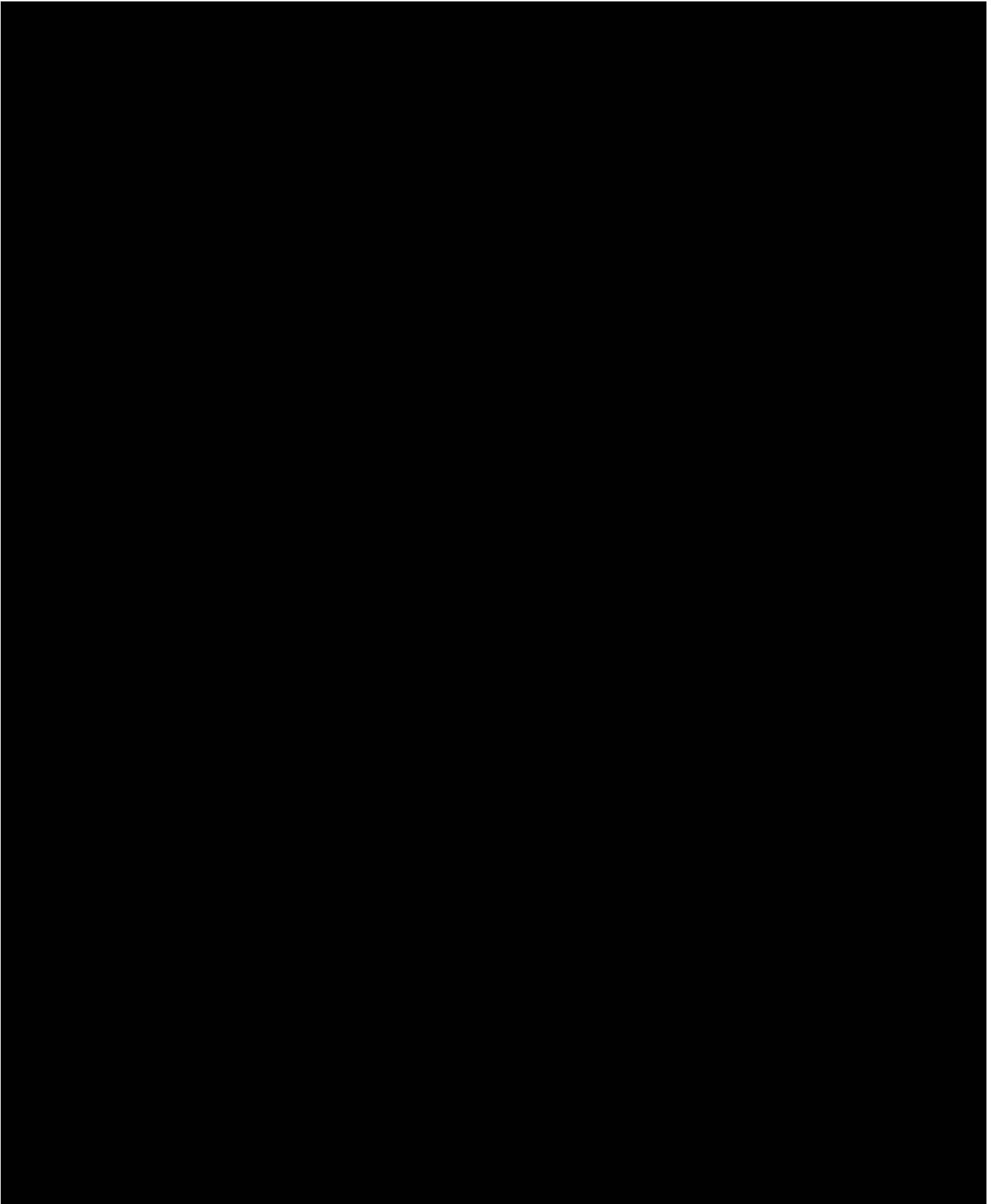
6月14日(月)②	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	Biarritz (ビリッツ) (泊)	17:30		20+ α 132+ α	Trias 下部 Creta. 上部 Miocene	
6月15日(火)①	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	Biarritz (ビリッツ) N-10とN-124の分岐点 Bordeaux (ボルドー) (Langon 44k)	8:30 10:00 (14:00)	N-10 (N113)	33+ α 94	砂 Paleogene Pliocene Oligocene	Garonne 河
	Mormande (モルマンド) Bergerac (ベルジャック)	(14:30)	N933	81	Oligo.-Eocene Creta. 上部	
	Perigueux (ペリジュ)	16:00	N-21 N-21	58 47	Creta. 上部 Jura. 中、下部 Mica schist	休憩
	Limoges (リモージュ) (泊)	17:30		101+ α 414+ α	Gneiss, Gr. Migmatite	
6月16日(水)①	出発(経由、停車)他	予定時刻	道路名	距離(km)	地質(進路順)	参考
	Limoges (リモージュ) 分岐点	8:30 10:00	N20	47	Migmatite Mica-Gr.	1時30分見学
	Eguzon dam (エグゾンダム) 分岐点	11:00 11:30	N20	43 32		

日本応用地質学会 第3回海外応用地質学調査団 (ルート沿いの地質及び構造物、その他)

6月16日 (水) ②	出発 (経由、停車) 他	予定時刻	道路名	距離 (km)	地質 (進路順)	参 考
	Chateauroux (シャトルー)	12:30	D956	31		
	Selles (セル)	14:00	N76	57		
	Chenonceaux (シュノンソー)	14:40	D140	40		
	Tours (トゥール) (泊)	15:30		35 + α		
		16:30		285 + α		
		17:20				
6月17日 (木) ①	出発 (経由、停車) 他	予定時刻	道路名	距離 (km)	地質 (進路順)	参 考
	Tours (トゥール)	8:30	D751	481 + α		
	Chinon (シノン)	9:30	D751			
		10:30		29		
	Saumur (ソミュール)	11:00	N147			
		12:00	D938			
			N23			
	Le Mans (ル・マン)	13:00	A11	51 + 42		
		15:00		(93)		
	Chartres (シャルトル)	16:00	A11			
		17:00	A10	107 + α		
	Paris (泊)	18:30		82 + α		
				359 + α		大聖堂

ピレネー山脈の地質

地質圖凡例



2-1. 地 質 編

2-1. (1) ヨーロッパアルプス造山帯の一部としてのピレネー山脈

北 村 信

1. プ ロ ロ - グ

平成5年6月、図らずもピレネー山脈の地質とダムを見学する機会を得た。ピレネー山脈の地質をみたいという私の欲望は、昭和42年（1967）10月オランダ、ライデン大学の de Sitter教授を訪問した時からあった。その当時、de Sitter教授は門下生のほとんどのものをピレネー山脈の地質構造の解明にあたらせていて、毎夏教授自ら野外の指導にあたっておられた。そして私が希望するなら翌年の夏に同行する機会を作ってくれようと言われたが、実現はできなかった。

その後、私もアルプス造山帯や地中海周辺地域における地質巡検や、その中の一部地域の層序や地質構造の調査に何回か参加する機会に恵まれてきた。そして、私なりに、ユーラシア大陸とアフリカ大陸の分裂→衝突の繰り返しが、大局的には、造山帯形成のそれぞれの輪廻に対応するものであることが理解できるようになってきたのである。とくに、アルプス造山運動は最後の衝突にまつわる地質現象で、造山帯背後の陥没は日本海のような縁海の形成と同じメカニズムで行われて、いわゆる地中海の形成へと発展したのであらうと考えるにいたっていたのである。

ピレネー山脈についての私の知識は極めて貧弱であって、ヘルニシア造山帯の一部がアルプス造山期に再活動を行って出来た山脈で、他のアルプス造山帯とは異なると思うように努めていたような気がする。実際には、ピレネー造山帯の東方延長部がフランスアルプスの南方延長部と直交していて、地質構造の解釈上厄介な存在であると思っていたことは確かである。

日本応用地質学会会長、岡本隆一氏および同理事、宇田進一氏から「第3回海外調査団の団長としてピレネー山脈の地質と周辺のダムの視察に行ってもらえないだろうか」と声をかけられたときは、身のほどもわきまえず、私の永年の夢がかなえられると思って二つ返事で「参りましょう」と言って仕舞った。自分が見たいと言うことだけのことだったのである。後悔したのは勿論のことであるが、幸い私の手元には、de Sitter 教

授から戴いた数編のピレネーの地質の論文のほか、アルプス造山帯の地質、とくに、地質構造発達史に関する論文や著書がかなり集められていたので、早速勉強を始めた。

やはりピレネーを抜きにしてはヨーロッパアルプスの地質構造発達史を正しく理解できないと痛感するに至ったのは、実にこの時以降であった。

II. ヨーロッパ大陸の造山帯

Stille (1924, 36) は地球上の安定地殻をクラトンまたはクラトージェンと呼び、可動帯（造山帯）をオローゲンと名づけた。そして、大陸の成長はオローゲンの付加によってなし遂げられるとした。図 2-1-1 は、太古のクラトン (Ur-Europa = Eria Fennosarmatia = Baltic Shield) を割って生じた Palaeo-Europa と称するカレドニア造山帯が褶曲—固化して大陸に付加されたのち、一部重複しながらも、それらの外側に Meso-Europa を代表するヘルシニア造山帯 (=バリスカン造山帯) および Meso-Europa のアルプス造山帯が次々と cratonization をうけて大陸が成長したことを示している。

ヘルシニア造山帯は古生代後期にユーラシア大陸とゴンドワナ大陸の間に生じた一大変動帯で、図 2-1-2 に示すように、現在露出する褶曲帯ばかりでなく、その上に重なるアルプス変動帯および当時の前縁沈降帯をも含めると、南北の幅は 2,000km にも達している。また、この変動帯の東方延長は天山変動帯に連続し、西方延長はアパラチア変動帯に延長されと言われている。

ヨーロッパにおけるアルプス造山帯の構造帯区分および地域毎の名称は図 2-1-2、2-1-3 に示す通りで、それらの東方延長も、ユーラシア大陸とアフリカ・アラビア・インドに分割した古大陸地塊との間にザグロスおよびヒマラヤ造山帯として東西に延びている。図 2-1-4 は大西洋の海嶺山脈をも入れた範囲の現在の地形を示したものであるが、これをみると、アルプス造山帯の占める構造地質学的意義づけが浮かび上がってくるようである。

図 2-1-1 ヨーロッパの造山帯区分

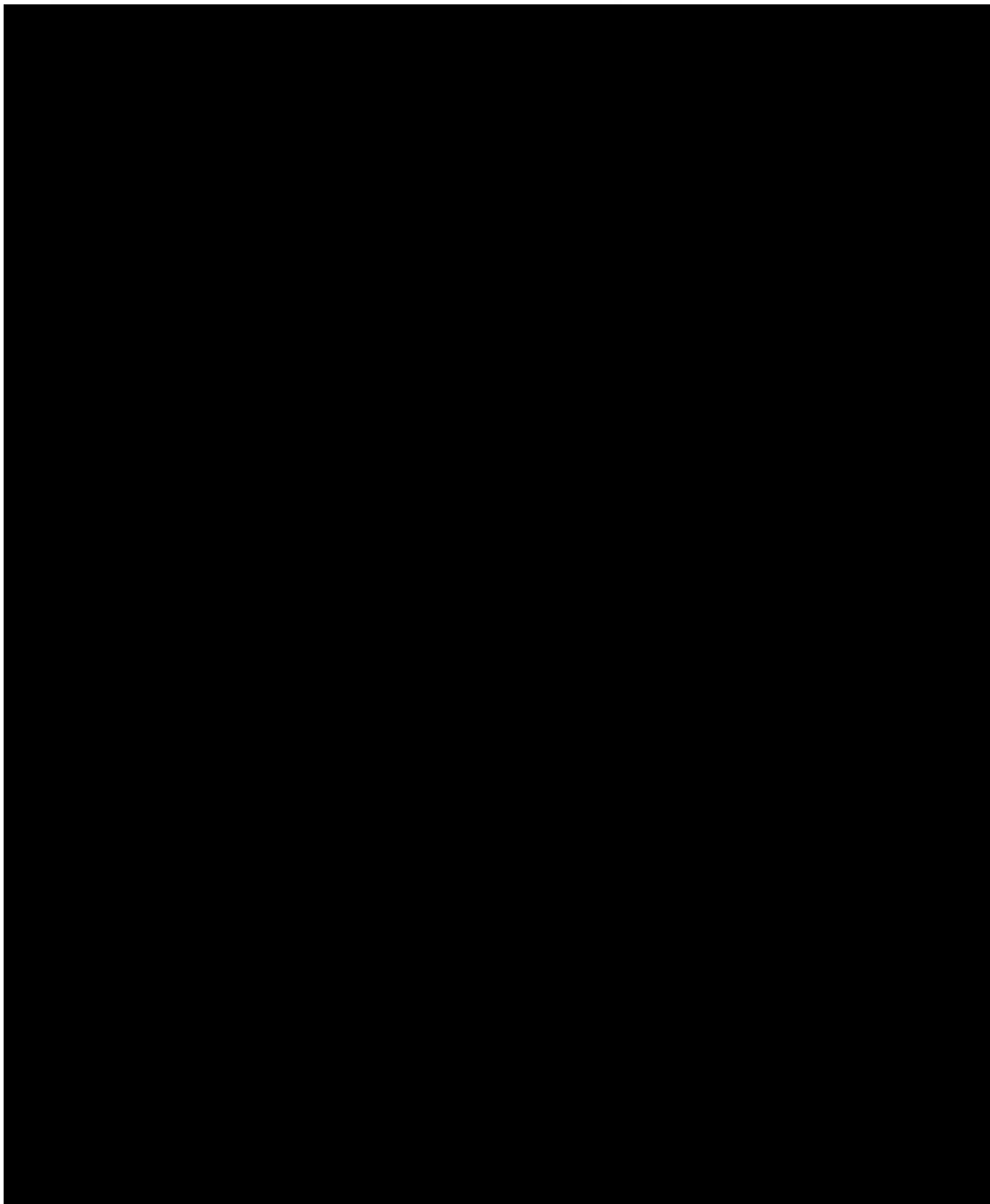


図 2-1-2 ヨーロッパの地体構造区分

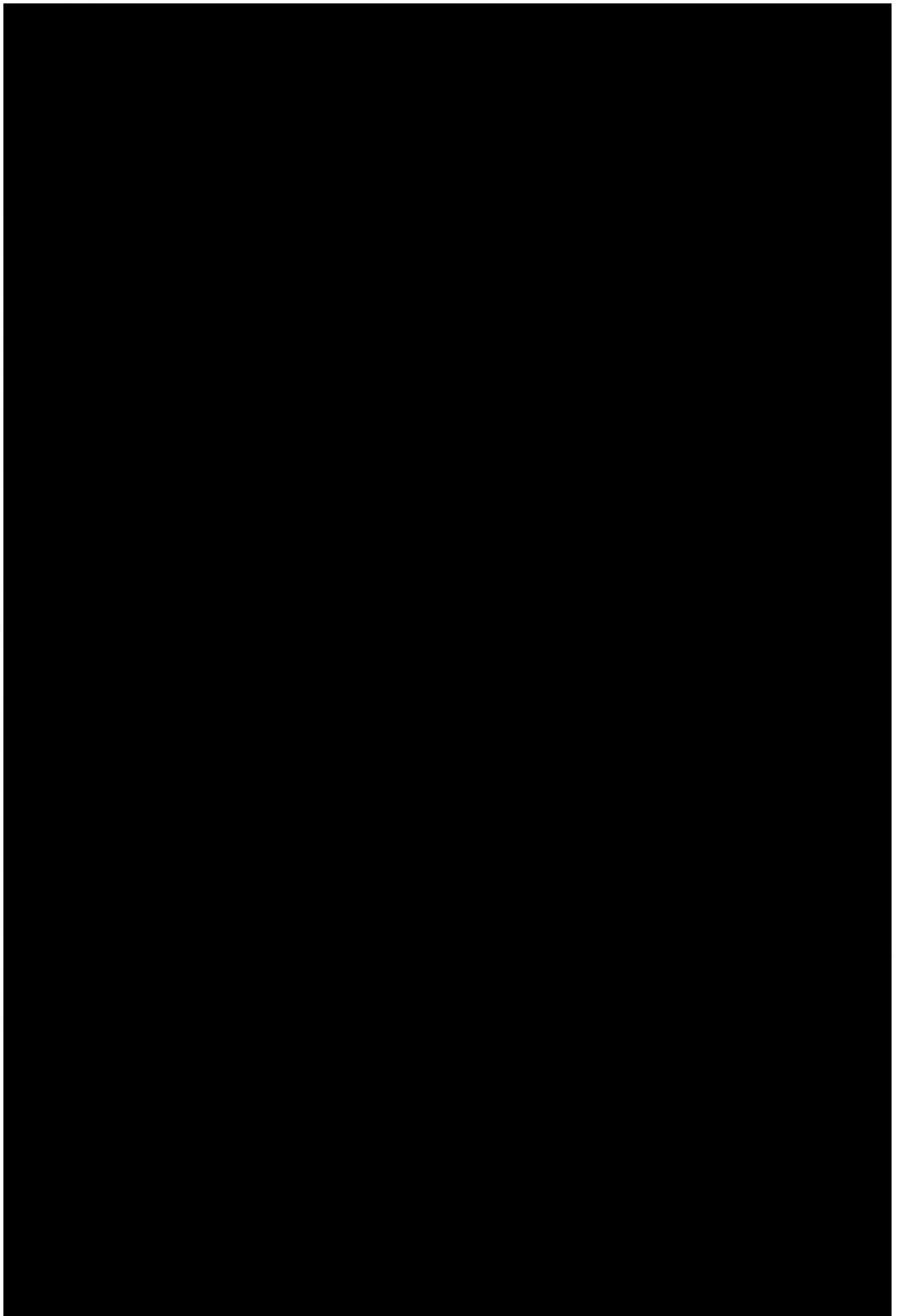


図 2-1-3 ヨーロッパの構造帯の名称

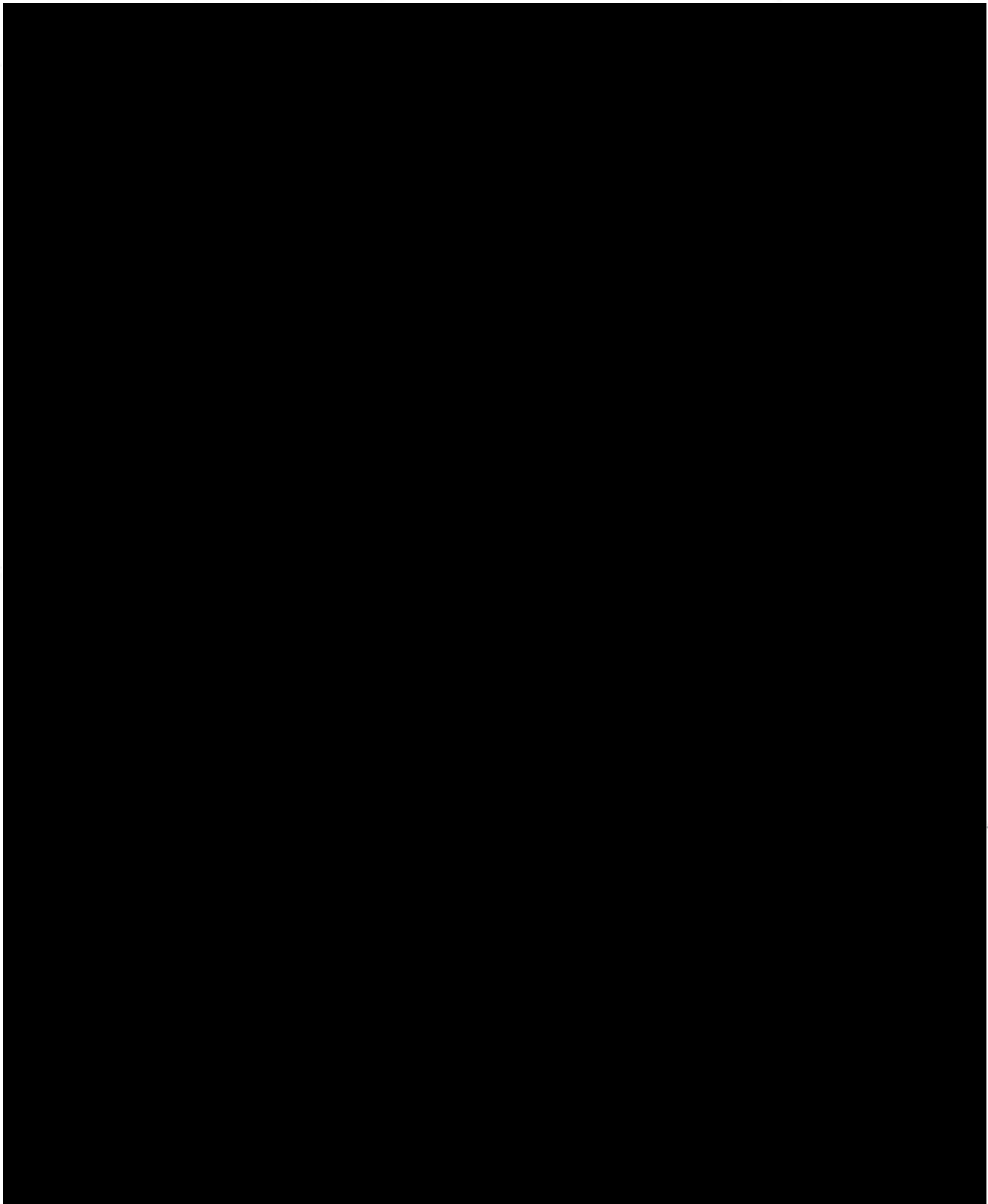
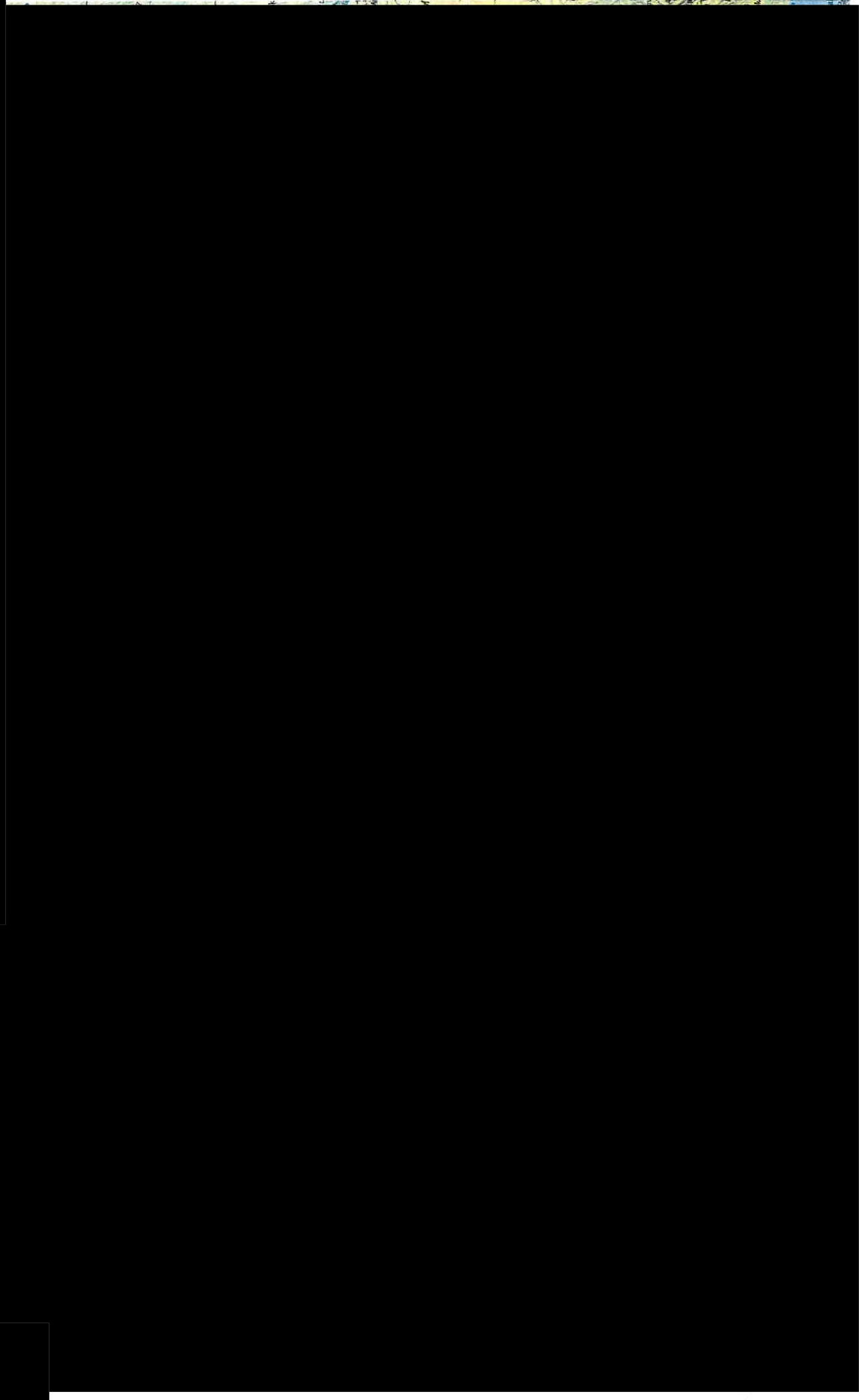


図 2-1-4 ユーラシア大陸とアフリカ・
アラビア・インド大陸



Ⅲ. アルプス造山帯形成のテクトゼネシス

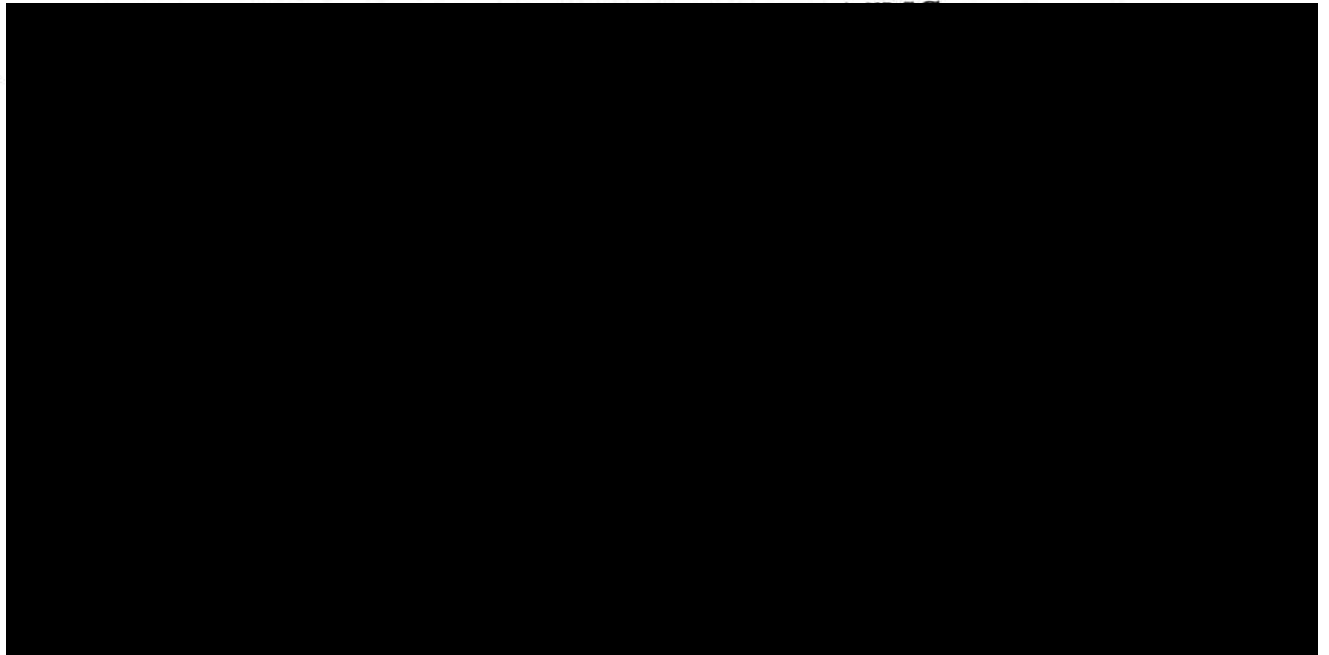
環地中海アルプス造山帯は、ヨーロッパクラトンとアフリカ・アラビアクラトンとの間にできた最も新しい褶曲帯で、その褶曲は、一部ジュラ紀にさかのぼるが、大部分は白亜紀から第三紀にかけて行われている。造山帯全体の隆起は第三紀後期から第四紀に及んでいる。

南北両側のクラトンは何処でもアルプス造山帯の foreland 的役割を演じていて、これらの大陸地塊の間には、アルプス褶曲帯プロパー、モラッス盆地、アルプス造山期にはほとんど褶曲をうけずに残された小陸塊、および最近形成された地中海の海盆が配列している。

アルプス褶曲帯は図 2-1-3 のように複雑なパターンを示し、それぞれ名のついた弧状の orocline (Carey, 1985) の連続となっている。Lemoine (1978) はアルプス褶曲帯をその構造的特徴に基づいて、図 2-1-5 に示すような 2 つのタイプに大別している。即ち、(1) は “intracratonic” なピレネーおよびクリミヤコーカサスの山系で、ほぼ直線的に延びる。これらは凡例 2 のように両側に向かった対照的な vergence を示し、地質断面でも両側に開いた扇状構造を示している。(2) のタイプは、いわゆる “地向斜—造山帯” 山系で、屈曲の多い弧状を示し、凡例 1 の破線 (internal side) 側から実線 (external side) に向かう、即ち、foreland に向かったの顕著な vergence を示している。造山運動史の上でいう tectonic polarity も同じく foreland の方向を向いているのである。これらの山系は、さらに (2a) ヨーロッパクラトンの方向に tectonic polarity や vergence をもって北向きに押しかぶせているものと、(2b+2c) のように、主体的にはアフリカ・アラビヤクラトンの方向に tectonic polarity をもって南に向かって押しかぶせている山系、即ち (2b) ディナール—ヘレニデス—タウリデスおよび (2c) アペニデス—マグレビデス—ベティーデスがある。ただし (2c) のベティーデス山系はジブラルタル海峡をへて反転し、例外的にイベリアンメセタに衝上する。

アルプス造山帯の形成史を現在のプレートテクトニクス理論に従って手短かに述べるとは必ずしも容易ではない。かつて Argand (1916, 1924) は、Wegener の大陸漂移説を、

図 2-1-5 環地中海アルプス造山帯



ヨーロッパ大陸に対してアフリカ大陸が漂移して展張と圧縮の力が交互に生じた結果アルプス山系の造山運動が起こった、ということにあてはめようとして embryonic folding の概念を導くに終ってしまった。Trümpy (1960, 1965) は初期のテチス海では、地向斜のはじめから水平方向の圧縮があったのではなく、むしろ初期には、ホルストやグラーベンの発達が顕著となって、それぞれ特徴ある堆積物を残したとして、Argand の embryonic folding の説を強く退けた。その後、Auboin (1965)、Debelmas et al. (1970)、Lemoine (1972, 1975, 1978) および Bernouilli et al. (1974) らの研究は一世を風靡しているプレートテクトニクス理論による地向斜-造山論の展開をいかに整合化させるかに終始していたように思われる。したがって、これらの研究はすべて現実の地質学的事実を覆い隠すことなく新しい理論に取り込まれている点で評価される。

地向斜-造山論で言うところの“地向斜期”は、プレートテクトニクス理論での地殻展張期ないし大洋底拡大期に相当し、フリッシュ堆積に引き続く地向斜全域の褶曲をもたらした“造山期”は、地殻短縮期であって拡大された大洋が閉塞する時期にあたる。

現在の地球上で地殻展張期に相当するモデルは大西洋沿岸の大陸縁辺部にみられ、反対に地殻の短縮期に対応するモデルは太平洋沿岸の大陸縁辺部にみられる。

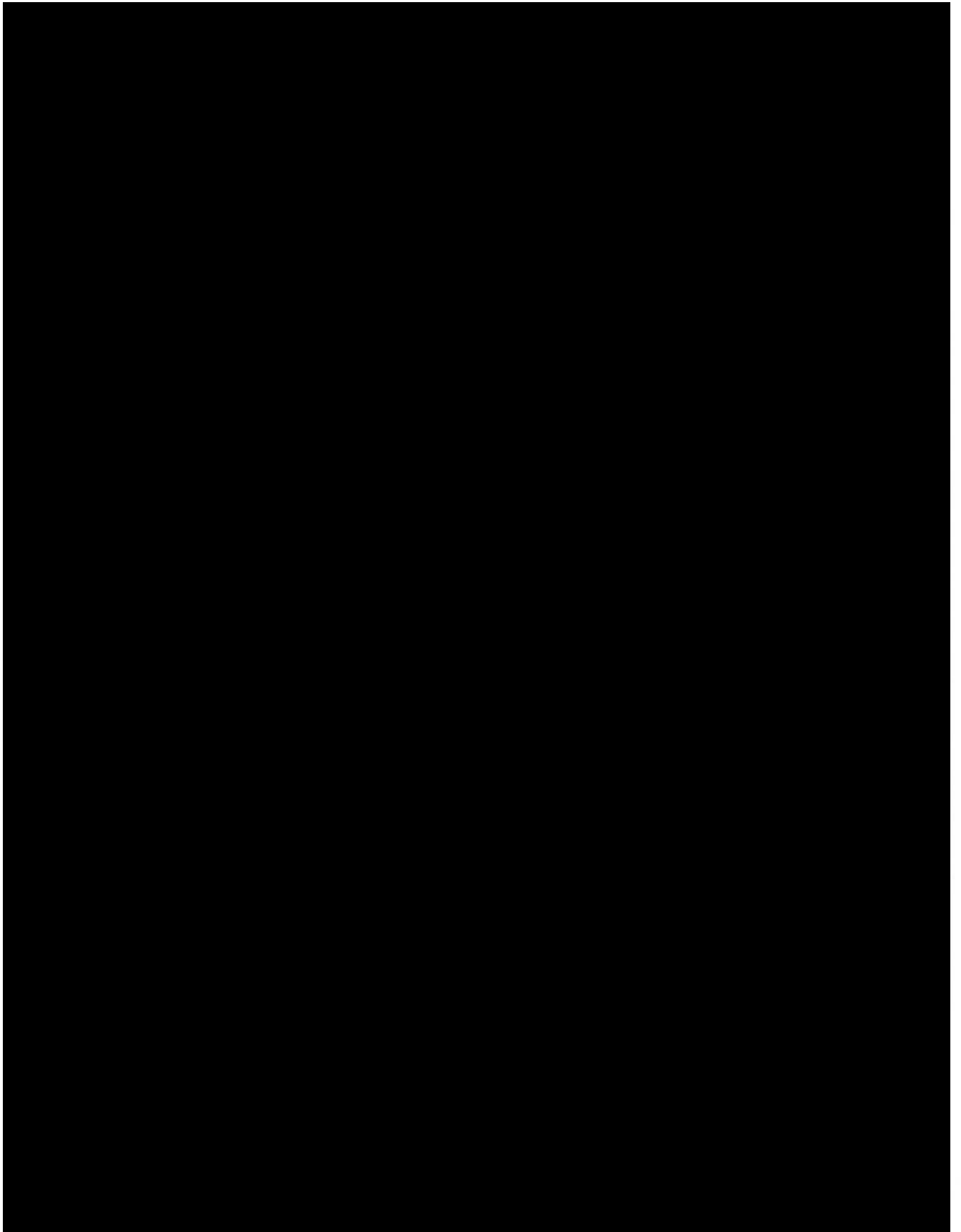
アメリカ大陸東海岸では図 2-1-6 のように、大陸棚が広大に発達し、膨大な厚さの石灰岩とそれを覆う浅海ないし近海性の堆積物がひろがっていて、そこにはミオ地向斜的堆積物が形成されている。大陸棚堆積物がミオ地向斜堆積物に相当すること、および大陸棚斜面で発生したタービダイトが大陸棚斜面下にコンチネンタルライズ堆積物として累積し、これがさらに外側の大洋底表層部のチャート・玄武岩層の上に重なっていること、などはすでに明らかにされている。大西洋沿岸の大陸縁辺部には凹地となった海溝は形成されておらず、逆にゆるやかな扇状地状の凸形のコンチネンタルライズとなっている。従って、このコンチネンタルライズを作るタービダイトとその下に続くチャート・オフィオライト等のシークエンスが、復元された時のユウ地向斜の層序に対応するものとみなされている。このように、大西洋沿岸の大陸縁辺部は、いわゆるサブダクションが行われる前の、どちらかといえば、大洋が展張しつつあって地向斜の堆積物が形成されつつある時期に相当しているのである。従って、地向斜期は“Atlantic stage”に相当するのである。

太平洋縁辺部は大西洋とは異なって、外洋に面して海溝を伴い、内側には褶曲山脈や火山列があって活動的地帯を構成している。ここでは大陸棚上のミオ地向斜堆積物もゆるやかな褶曲をしていて、大陸棚末端部には一部基盤の突出部があって、外洋性堆積物との直接の連絡が失われることもある。大陸棚斜面下部は、いわゆるアクリショナルブリズムとなっていて、本来はコンチネンタルライズの堆積物であったタービダイトと、その下位のチャート・オフィオライト等とが、衝上断層で接する楔状の複合岩体となっていて、海溝部で現在の海洋地殻と接している。太平洋沿岸の大陸棚から海溝に向かう一連の地質復元断面は、まさに、ミオ地向斜から地背斜的隆起部を経てユウ地向斜にいたる地質構造復元図 (Kay, 1951) に相当している。従って、地向斜造山期、即ち、地殻短縮期は“Pacific stage”に相当するとも言われるのである。

IV. アルプス造山帯の地史

アルプス造山帯の地史を簡略化して把握するには、舞台を中央アルプスおよび西アルプスにとり、地史を3時階に分けるのがよい。

図 2-1-6 北西大西洋沿岸地域の堆積盆地発達史



1) テチス海出現前

大西洋の拡大に先立ってテチス海の古地理復元図を作ろうとする時に問題となるのは、アルプス地域のテチス海は初期ジュラ紀になってはじめて海域化したとする証拠がある一方で、それより東の地域では、北のユーラシア大陸と南の Gondwana 大陸との間に二畳-三畳紀には既に広大なテチス海が存在していたとされるイメージとの矛盾である。

野外調査の結果では、アルプス、アペニン、ベティック・コルディレラ・マグレビテス地域での三畳系は浅海成石灰岩の堆積環境下であって、大洋の拡大を示すオフィオライトの出現は初期ジュラ紀ライアス時階になってはじめて生じている。一方、東方のヘルニデスやタウリデス山系では、二畳紀には未だ大洋化の証拠はなかったが、後期三畳紀には既にオフィオライトは出現していたのである。

要するに、三畳紀は東方の古テチス海と、アルプス造山に関わりを持つ西方のテチス海の形成との間の時期にあたっていて、ヘルニシア造山とアルプス造山の遷移期であったとみなされるのである。

2) テチス海の誕生と拡大期

これは地殻展張期にあたり、いわゆる Atlantic stage に相当する。

アルプス地向斜の緩やかな沈降は三畳紀にはじまるが、初期には少なくとも中央アルプスでは未だ major rifting は生じていなかった。この時期には陸成の赤色層の上に海成の砂岩が重なって堆積し、局所的に厚さを増す浅海成石灰岩が重なっていて、その海は北方のゲルマン海にも続き、ずっと東方の古テチス海にも繋がっていたと考えられている。南アルプスでは三畳紀に入ってもまだ酸性火山活動が続いていたようである。

顕著な rifting が各地に現れたのは初期ジュラ紀で、それは中期まで続いた。この時期を通じて海盆、海底隆起帯および大陸縁辺部の構造パターンが決定づけられ、海盆は次第に深くなっていった。これは大陸地殻の展張による薄化を促進することと関係深い。初期の段階では海洋地殻は未だ海底には現れてこなかった。両側の大陸縁辺部の急速な沈降は白亜紀初期まで続き、最後のオフィオライト活動を代表する玄

武岩は下部白亜系上部の堆積物中に挟在している。

(1) ユウ地向斜

中央および西部アルプスの内帯にあたるペンニン帯には2つのユウ地向斜トラフがあったとされている (Lemoine, 1972)。即ち、バリー (北部ペンニン) とピーモント (南部ペンニン) のトラフがそれで、その間にはブリアンソネ地背斜 (中部ペンニン) が中央山嶺として地塁を形成していた (図 2-1-7)。この地塁部にはジュラ紀から白亜紀にかけて薄い遠洋性の堆積物が形成されたのみであったが、両側のユウ地向斜トラフではいわゆる *schistes lustrés* や *Bündnerschiefer* の厚い堆積が行われていて、そこにはオフィオライトも伴われていた (表 2-1-1)。

図 2-1-7 中央および西部アルプスの構造帯

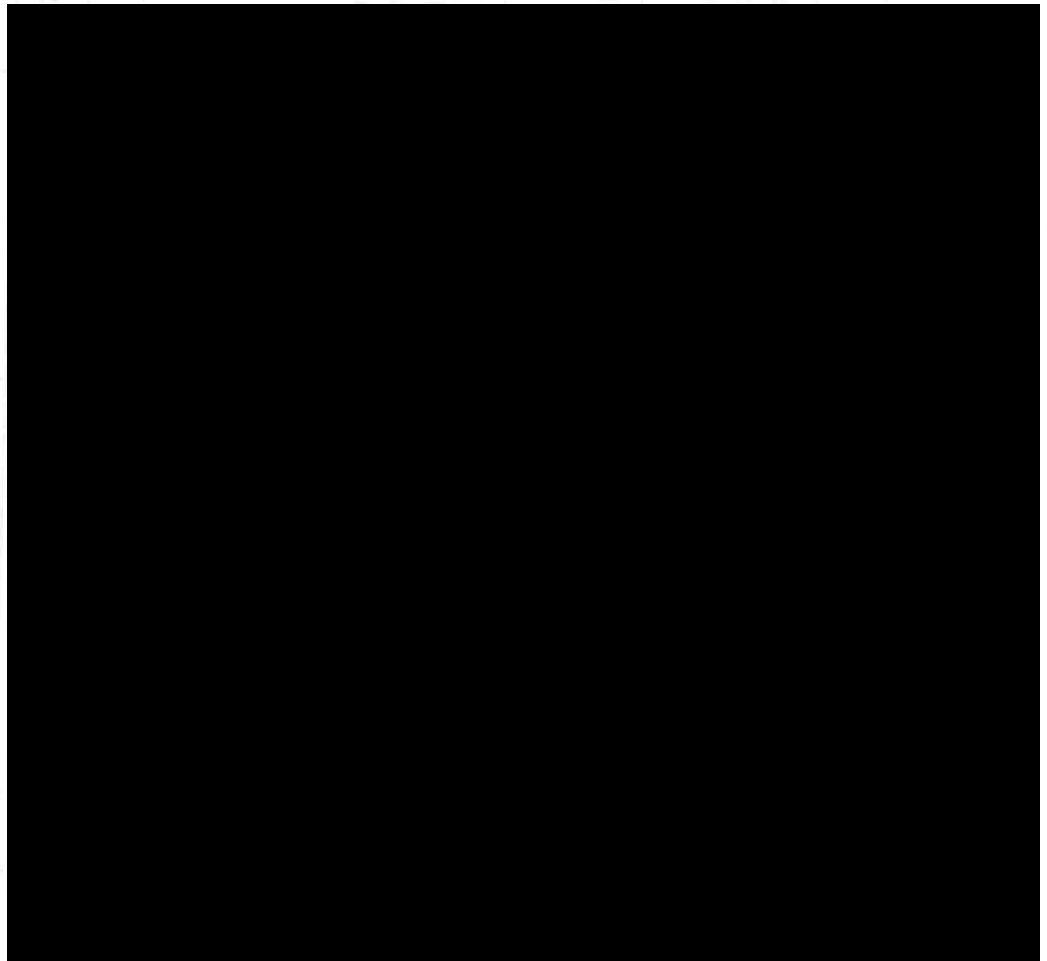


表 2-1-1 中央及び西部アルプスの特徴的堆積相

Realms	Penninic				Austro-Alpine and South-Alpine
	Helvetic-Ultrahelvetic (Dauphinois-Ultradauphinois) (=External)	Valais	Briançonnais (incl. Sub-briançonnais)	Piémont	
Age of flysch	Lower Oligocene-middle Eocene	Upper Cretaceous to lower Eocene	Middle to upper Eocene	Upper Cretaceous	Upper Cretaceous or Eocene
Type of Jurassic Cretaceous sedimentation (before flysch)	More or less thick platform sedimentation (±miogeosynclinal troughs, or platforms as in the Bahamas)	Bündnerschiefer with some ophiolites. No leptogeosynclinal sediments	Thin, reduced sedimentation, with stratigraphic gaps	Schistes lustrés with abundant ophiolites. Presence of leptogeosynclinal sediments. Possibility of structural mixing of several units derived from different areas	Platform or deep-sea highly variable (several zones)
Middle-upper Triassic	Calcareous and dolomitic (commonly shallow-water), sometimes with evaporites				
	reduced	reduced	thick	variable	thick

ペンニンユウ地向斜に帰属する岩石は、地質年代の若いものから列挙すると次のようになる即ち、

① Flysch (主として上部白亜紀) : いわゆるフリッシュ

② “Schistes lustrés”、“Calcescistic” および “Bündnerschiefer” : これらは、アルプス造山の変成を受けた石灰質片岩で、時に砂質であるが常に厚層である。表 2-1-1 に示すように、これらは Pre-Flysch の堆積物で、バリーのトラフでは “Bündnerschiefer” と呼ばれ、ピーモントのトラフでは Schistes lustrés と呼ばれている。イタリア語では “Calcesciti” と呼ばれる。地質構造が複雑なものと、ナップ構造で移動・転位しているため層序は明らかでない。大部分のものは1つの層または系のものではなく幾つかの tectonic unit の複合体の可能性がある。しばしばオフィオライトを伴うことも特徴の一つである。

③ Ophiolite および leptogeosynclinal deposits : オフィオライトとは超塩基性岩・斑れい岩・玄武岩質枕状熔岩などの複合岩体で、現在ではしばしば緑色片岩やブラジナイトに変成している。Trümpy (1955) はある種のオフィオライトで玄武岩質枕状熔岩、含ラジオラリア・チャート、ほとんど無化石の遠洋成石灰岩や頁岩からなる薄い地層に対して レプト地向斜堆積物 という名称を与えている。この岩相はペンニンユウ地向斜では後期ジュラ紀から初期白亜紀にかけて分布したが、南アルプスおよびオーストロアルプスではもっと早くから分布していたとされている。

オフィオライトから成る地層が先三畳系のシアル質結晶片岩系の上に直接重なって堆積(積成)したのか? という疑問は永い間アルプス地質学者の頭痛の種であったように思われる (Lemoine, 1972)。

フランスアルプスの Queyas 山脈を調査研究した Tricart and Lemoine (1983) はそこでは下位より、斑れい岩岩脈によって貫かれた蛇紋岩の基盤、オフィオライトおよびオフィオライト角礫岩と玄武岩質枕状熔岩、そして、上部ジュラ系の石灰岩、下部白亜系の頁岩と石灰岩が順に重なっていることを確かめている。彼は周辺の他のオフィオライト岩体からの資料をも検討して次のような結論を導いている。即ち、両大陸のシアル質地殻が展張して割れる瞬間には、斑れい岩の貫

入をうけるとともに同時に蛇紋岩化作用もうけつつ、超塩基性岩がダイアピール状につき上げてきたとしている。これが海洋地殻の誕生であった。この時、亀裂の拡大にともなって次々に生産されるオフィオライト角礫は崖のふもとから新しく出来た深い海底のオフィオライトの上に瞬間的に海底土石流となって流れ出し、オフィオライト角礫岩を形成した。玄武岩の活動は、この間ずっと継続していた。

- ④ 三畳系中・上部の石灰岩および泥灰岩は大部分浅海成であるが、厚さの変化著しく、数10mから 1,000mに達するところもある。下部三畳系は、先三畳系を不整合で覆い、赤色の砂岩や珪岩を主体とする。
- ⑤ 先三畳系基盤岩類は主としてヘルシニア造山期の片麻岩類であるが、多くの場合直接重なる三畳系が層面すべりをともなってナップまたはデコルマン構造の剝離面を作るので、ユウ地向斜シークエンスが重なることはない。

(2) ミオ地向斜

アルプス地域では大陸棚主部の堆積物、即ち、ミオ地向斜堆積物の形成された場所はほとんど常にナップの形成の場に変化している。これらの地域では前述のユウ地向斜地域に比べれば正常な浅海成堆積物から成ってはいるが堆積速度が早く、概して地層は厚い。但し、ジュラ山脈のような岸に近い安定大陸棚地域のものに比べると岩相や層厚の地域的変化は著しい。

中央アルプスのエルベチック (Helvetic) および西部アルプスのサブアルパインないしドゥファン (Subalpine or Dauphine) 地域が典型的なミオ地向斜地域を代表している。それらの堆積物は地質年代の若いものから次のように重なっている。

- ① Flysch および遠洋成頁岩。これらは厚さ 1,500mに達し、地質年代は暁新世から初期漸新世にわたる。北西ほど若い。下部に大型有孔虫を含む石灰岩を伴う。
- ② スイスアルプスの上部白亜系は遠洋成頁岩および石灰岩よりなるが、フランス側の石灰岩は浅海相を示す。一般には pre-Eocene の侵食で失われている。
- ③ 下部白亜系は、エルベチックおよび北部ドゥファンでは 100~150mの厚さの浅海成石灰岩や頁岩から成り海緑石薄層を挟む。南方では遠洋成石灰岩や頁岩に変化する。南フランスでは厚さ 2,000mにも達する泥質頁岩となる。

- ④ 上部ジュラ系は暗灰色石灰岩を主とするが、北部では上位にサンゴ石灰岩が重なり、南部では遠洋成石灰岩によって覆われている。
- ⑤ 中部ジュラ系は黒色頁岩が主体となる。エルベチックでは海百合石灰岩および含砂鉄砂岩を挟み頁岩も黄鉄鉱を含む。
- ⑥ 下部ジュラ系は北部では欠如しているが、エルベチックのナップでは頁岩・砂岩・砂質石灰岩の 500m もの厚さの地層が挟まれている。フランス側のドゥファンでは上位に暗灰色頁岩を伴った泥質の石灰岩の 1,000m を越える層厚となることもある。
- ⑦ 三畳系は薄い珪岩・泥灰岩・雑色砂岩から成るが南部や西部では石膏層を伴う。いわゆる “carnoules” 相を伴い、ナップの迂り面や亀裂に squeeze された脈となる。

Trümpy (1960) は、ジュラ紀から白亜紀にかけての地層と堆積と同時に生じた正断層活動の重要性を説き、断層運動に伴う張力の影響はジュラ紀の期間に最も著しく、白亜紀には衰え、暁新世にはなくなったとしている。断層は南西向きに傾いたものが多く、ジュラ系の厚さの変化の傾向性や断層の落ち側に堆積性の角礫が存在することから、断層による tilting がミオ地向斜発展を規制する役割を果たしたという結論を導いた。これが Argand の embryonic tectonics の考えを否定し、地向斜の発展は extensional tectonics によるものとした理由につながっているのである。

3) テチス海地域の地殻短縮期

地向斜-造山論で言うところの“造山期”は、プレートテクトニクス理論の地殻短縮期に相当する。これは今日の太平洋型 (Pacific stage) に相当すると単純に言うてしまうには多少の困難を伴う。太平洋型では continent と ocean の subduction が主要なパターンであるが、テチス海の場合は明らかに continent と continent の collision なのである。その間に、今は失われたであろう大洋を想定することも可能であるが、その大洋がどのように大陸の下にサブダクトして消失したのかを確認することは極めて困難なのである。また、ある時期にサブダクションの方向を反転させるような “flipping” のからくりを考えだしたとしてもなかなか納得

がいかないようである。

造山期の堆積物で最も普遍化されたものは flysch 堆積物である。flysch という言葉は本来スイスアルプスの白亜紀後期から始新世にかけての地層名であったが、堆積学的にはタービダイトと同義語であると考えられるようになってきた。しかし、Trümpy は、flysch はスイスの産物でその名称を外国に輸出することに強い抵抗を示した。Hsü (1982) も、flysch という言葉の使われ方の歴史的レビューをした後、タービダイトというような単に堆積物を運搬するメカニズムを記述するような言葉と同義語とするべきではないとして、Trümpy と同じように、特定のタービダイトを作るような構造的な位置づけを含んだ意味で用いるようになってきた。そして、アルプスの flysch の大部分の堆積に共通した構造的な位置づけは、海溝および island-arc であるとした。

アルプス造山帯の地向斜的堆積物全体を考えると、厚い連続したタービダイトの堆積が、地下深部のシアル質地殻の展張薄化に関連した“pull-apart”構造概念に結び付くとする Hsü (1982) の主張は興味をひく。

アルプスの flysch は、一方においては、造山運動の precursor としての存在でもあり、大西洋型 passive margin から太平洋型 active margin に転化する時期の堆積物でもある。太平洋型の continental margin には海溝があって、年間数cmの速度でサブダクションが行われているとすると、trench の幅が数10kmあったとしても、白亜紀後期から始新世まで続くような厚くて不整合のないタービダイトから成る flysch を堆積することは困難だという。そこでのサブダクションは海溝に直角な方向ではなく、小さな角度で斜交するような方向でのサブダクションが考えられている。即ち、ヨーロッパ大陸とアフリカ大陸の間で圧縮される時に東西方向に横ずれをしながらサブダクトしたとする考えが導かれている。

さて、白亜紀中期セノマニアン階ないし、場所によって白亜紀初期から地向斜内に隆起帯 (island-arc) が形成され、それが陸上にあらわれ、侵食された岩屑がタービダイト (flysch) となって両側の凹地および大陸棚斜面下の海溝部に堆積したとされている。

エルベチックのナップでは白亜紀初期の間に堆積が非常に遅くなって浅海成堆積物

がほんの僅かしか堆積していない時期が印されている。しかし、これをすぎると次第に地層が厚くなり、次第に深くなってゆく層序が確かめられている。そして最終的にはチューロニアン階の遠洋成石灰岩に終わっている。このエルベチック地域の大陸棚ミオ地向斜の回春こそが、西部アルプス全域における地殻展張期と地殻短縮期との移行期に相当するとされている。

アルプスにおけるユウ地向斜の堆積はペンニン帯南部およびオーストリア帯では白亜紀で終わっていて、主要なナップは白亜紀に形成された可能性が強い。flysch 堆積物中に、スピネル粒子の混入もあって、オフィオライト層序がすでに隆起していたとする説もある。白亜紀にはイタリア南部のアプリア大陸縁辺の下に海洋地殻がサブダクトしていたと一般にはみなされており、テチスの縮みゆく堆積盆地内での flysch の堆積のモデルは実際にありそうな説明をされているが、同時あるいは少し後の変成作用（高圧・低温）の説明は困難であるという（Lemoine, 1978）。

エルベチックおよびブリアンソネ帯および南アルプス地域の堆積物は白亜紀の間はそれほど強い変形は受けていないとされ、変動のクライマックスは始新世後期から漸新世初期にわたっている。

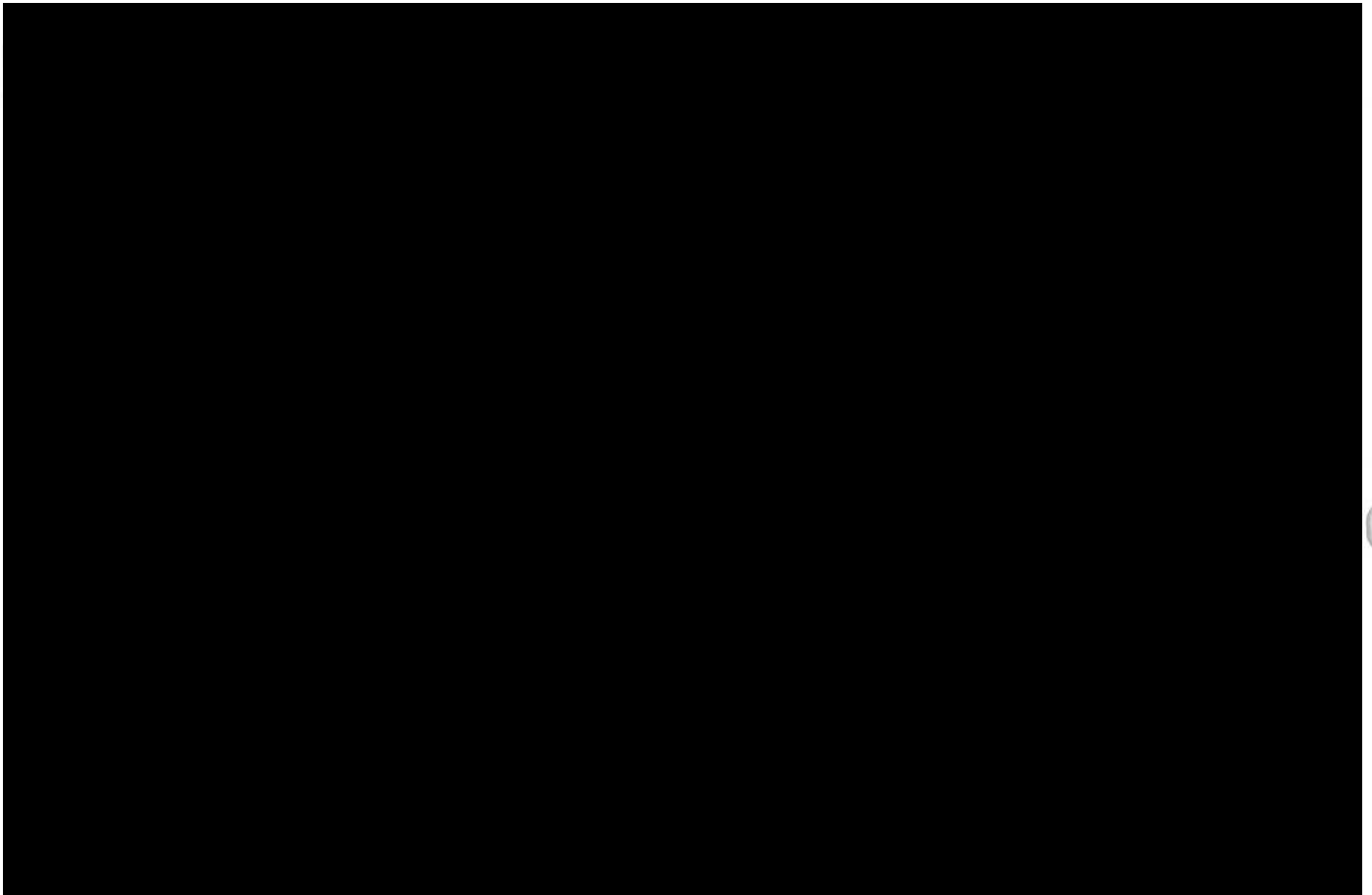
モラッス堆積以降現在の地中海盆の形成に関わる back-arc basin の形成についてはここでは省略する。

V. ピレネー造山帯の地質と構造

1) 概 説

ピレネー山脈はヘルシニア造山帯の一部とも重複した第三紀のアルプス造山帯であって、フランスの中央山地を含むヨーロッパクラトンとスペインのイベリアンメセタとの間に働いた圧縮運動の結果できた山脈である。ピレネー山脈は東西約500km、西は大西洋に没するが、東はフランスのプロバンス地方に続き、西部アルプス山脈とは交差している（図 2-1-8）。

図 2-1-8 ピレネー山脈の位置づけ



ピレネー造山帯は中軸部の南・北両側に 2 つの対照的な構造帯を伴っている（図 2-1-9、2-1-10）。中軸帯は、東西に延びる先カンブリア紀片麻岩、カンブリア紀～オルドビス紀の変成岩、シルル紀～下部石炭紀の粘板岩類から成っている。バリスカン（ヘルシニア）造山運動の主変動は石炭紀の前期と後期の間に起こっていて、中軸帯の中では、下部石炭系の上にペルム～三畳系が不整合に重なっている。これらがアルプス造山時の隆起によって、南北両側に断層を伴って中軸帯として上昇した。北側ではほぼ垂直となっている North Pyrenean Fault がこれに相当するものとなっている。これは白亜紀から第三紀にわたって活動し、かなりの水平移動をも伴っている。

北部ピレネー帯（North Pyrenean Zone）は、本質的には軸面の垂直な褶曲帯である。中軸帯との境をなす North Pyrenean Fault はヘルシニア造山運動によって出来た古い断層に対応したものであるという。この断層は、中生代を通じての地殻の展張

図 2-1-9 ピレネー山脈の地質略図

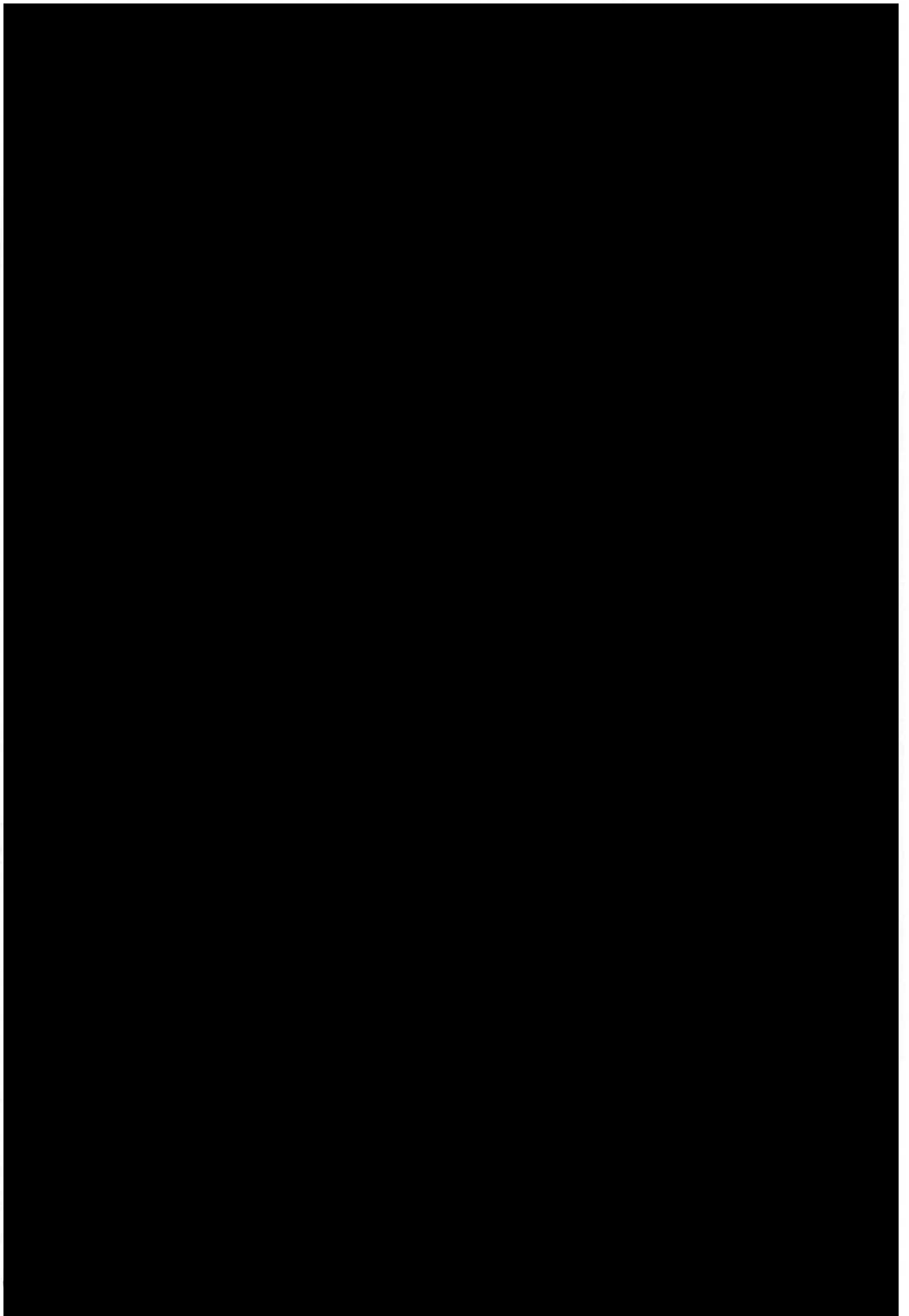
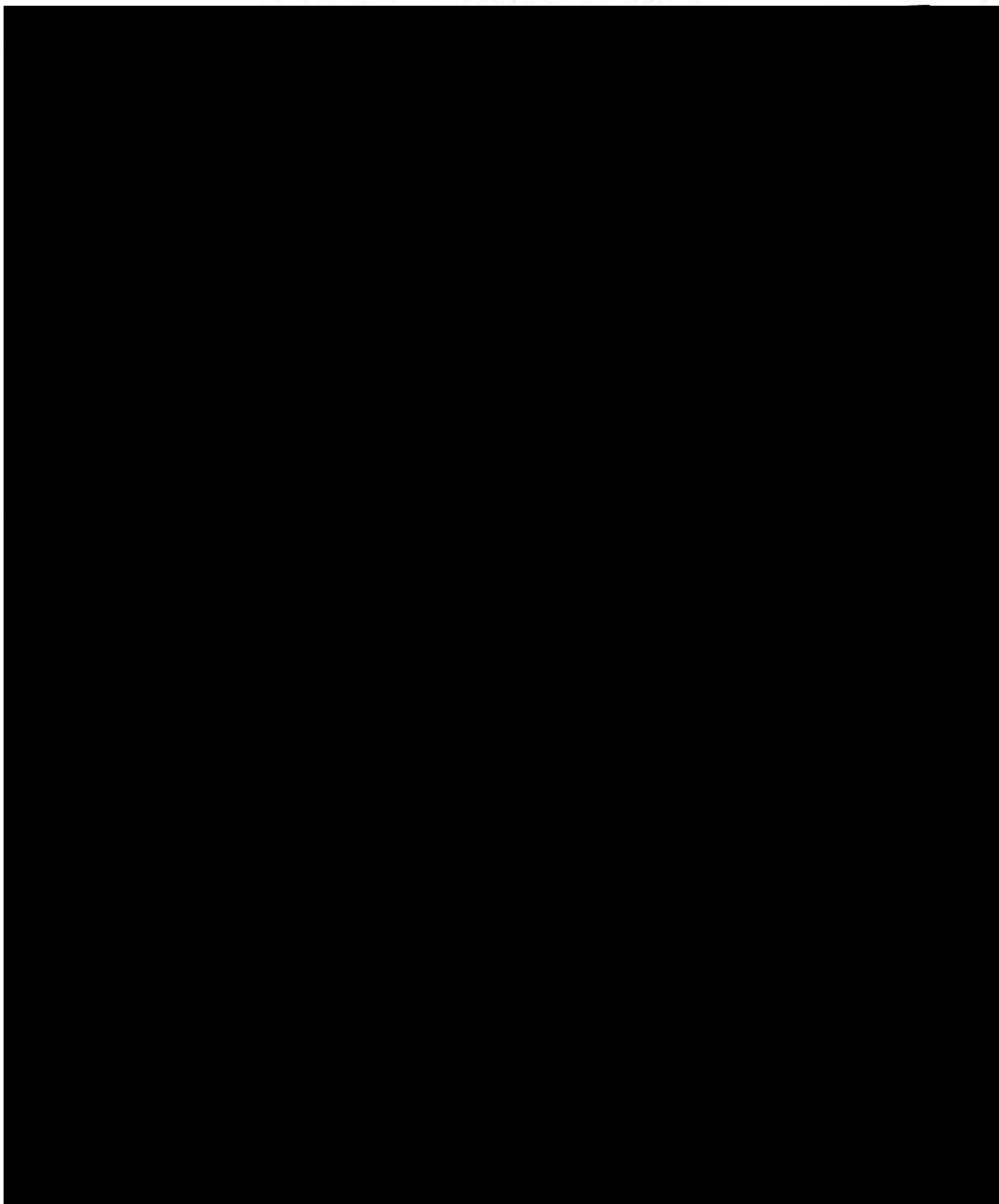


図 2-1-10 ピレネー山脈地質断面図



期、即ちテチス海拡大期或は地向斜の発展期には、少なくとも 5,000m の落差を伴った垂直の動きをしていると考えられる。そして白亜紀には超塩基性岩の進入（西部では post-Aptian, pre-Cenomanian, 東部では pre-Eocene）を伴っている。また、東部ピレネーには白亜紀末に低圧・高温の変成作用があったとされている。

南部ピレネー帯（South Pyrenean Zone）は、北部ピレネー帯とは対照的に、三畳紀以降の地層のデコルマン（décollement）構造によって特徴づけられている。主な構造はナップ構造で、移動距離は 50km 以上にも達している。ナップ構造の形成は主として始新世中・後期であるが、中心部では漸新世以降にも動いているところもある。また、さらに若い中新世以降の構造形成もバスク地方にあるようである。

2) 中 軸 帯

東部ピレネーの Canigou 山塊では、中心部に先カンブリア紀の Cadi 片麻岩を持つドーム構造があって、これを取り囲んでカンブリア紀～オルドビス紀の変成岩、さらにシルル紀～下部石炭紀粘板岩類が発達している。このような基本的ドーム状構造はフランスとスペインの国境部におけるアンドラ国の北方 Aston および Hospitalet 山塊でもみられるが、ここでは先カンブリア紀の片麻岩はみられずオルドビス紀の巨大ドームの中心部が片麻岩に貫かれていて、その最も厚い部分は augen-gneiss となっている。augen-gneiss の片理は非常に顕著で、ドームの roof に平行で、広い範囲にわたって sub-horizontal になっている。この片理の成因は、花崗岩中の大小の結晶が部分的に流動化する時に粒子間物質の中を流れる作用と同心円的なアーチを作る褶曲作用が同時に働いたためであると考えられている。

3) 北 部 ピ レ ネ ー 帯

この帯の主体を成すものは中生代の地層から成るが、この地帯の中には古生層を主体とする“satellite basement mass”がとり残されていて、中生層はそれらを取り囲むように分布する。

三畳系はゲルマン相で、塩基性火山岩を多く含み、ジュラ系および下部白亜系は近海成の石灰質岩から成る。いわゆる地向斜的岩相を示すのは下部白亜系の最上部から

始新統下部にかけての地層である。当時の堆積盆地は東西に細長く、時には活動的な海嶺で多元化されたり、隆起侵食されてフリッシュ堆積物が厚く堆積している。フリッシュの堆積は西方の Biscay 湾の方に向かって幅広くなり、深さも増していたようである。白亜紀中期頃のアルビアン階からセノマニアン階にかけての Wildflysch の堆積は造山運動の1つのフェーズを示すもので、フリッシュ堆積物の供給もこの時から活発化している。これは地殻の展張期から圧縮期への転化を示すものであろうと考えられる。ちなみに、下部白亜系から中部白亜系にかけての地層中には塩基性の火山岩が貫入岩又は噴出岩として挟在していることも造山期を示すものと考えられる。

始新世の堆積環境の変化は、東方では大部分が陸成域であり、西方では海域下にあったことが明らかにされている。

北部ピレネー堆積物の中生層のうち南側のものは、三畳系の evapolite (主として石膏層) 層準で剝離し、基盤岩の褶曲や断層に付随するような形をとっている。このような状況は North Pyrenean front (図 2-1-11) までで、その北側の sub-Pyrenean Zone (亜ピレネー帯) と衝上断層で接している。

亜ピレネー帯はフランス側の中央山塊 (Massif central) の基盤岩を被覆する白亜系上部および始新世から成る地層で構成される。

北部ピレネー帯の東方延長部は、図 2-1-11、2-1-12 に示されるように、中央山塊 (Massif central) の南の Languedoc 地方を経て Provence 地方に続いている。ここでは北部ピレネー帯と亜ピレネー帯の一部をも含めて北東-南西方向の衝上を伴った水平ずれ断層群 (charriages languedociens) (図 2-1-12 左上) によってプロバンスの構造に続いてゆくのである。

4) 南部ピレネー帯

スペイン側の南部ピレネー帯の中生層は、塩基性火山岩を含む厚い三畳系の石膏層の上にすべり込んだ構造をとっている。その状況は 図 2-1-14 によく示されている。これは典型的な重力滑動による décollement 構造で、その先端部は frontal damping 構造をとっている。これらの中生層は上部に始新統・漸新統を載せたまま、前面の中新統にも変形を与える勢いですべり込んでいるのである。

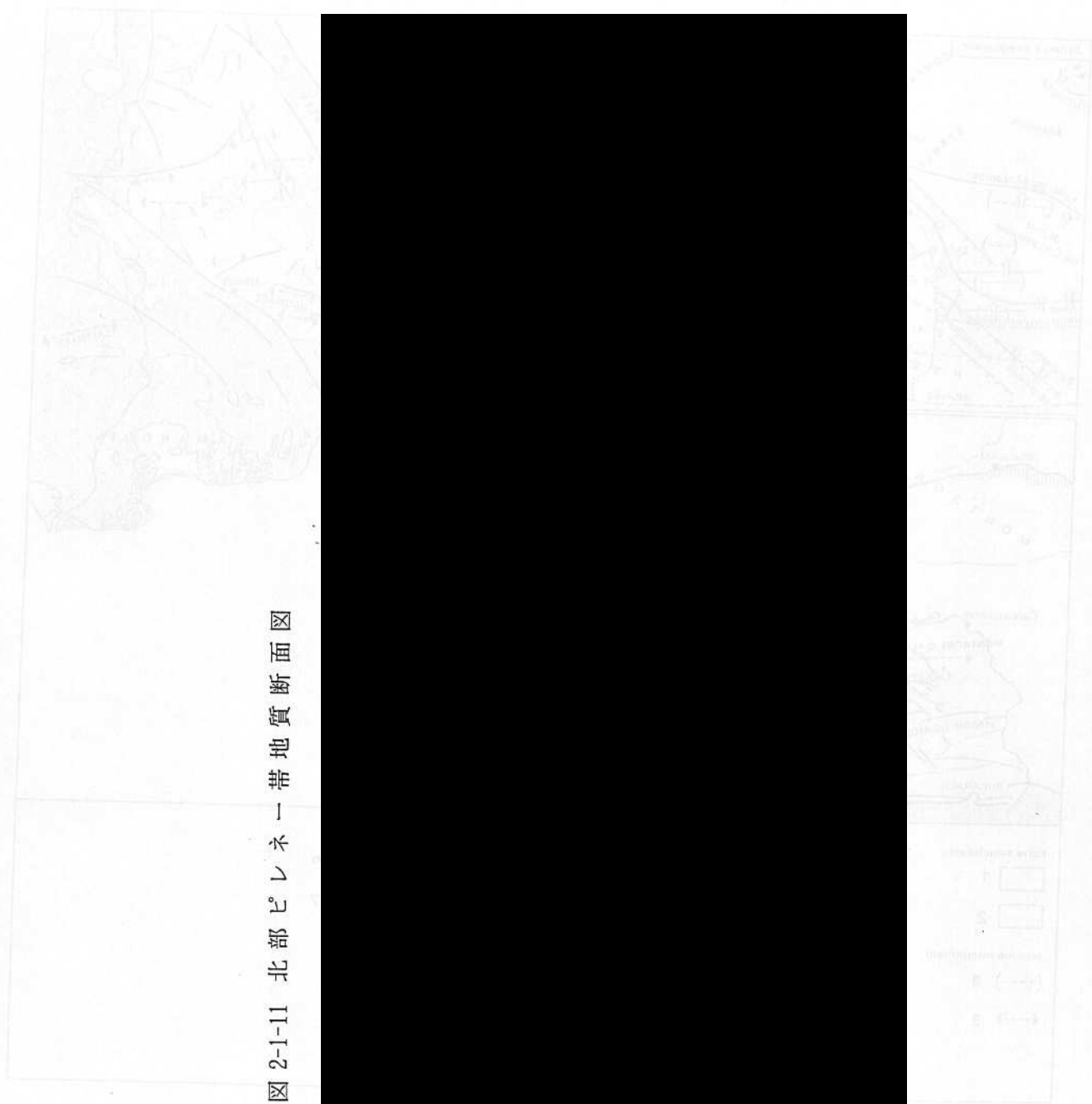


図 2-1-11 北部ピレネー半島地質断面図

図 2-1-12 北部ピレネー帯の東方延長部ランゲドックおよびプロバンス

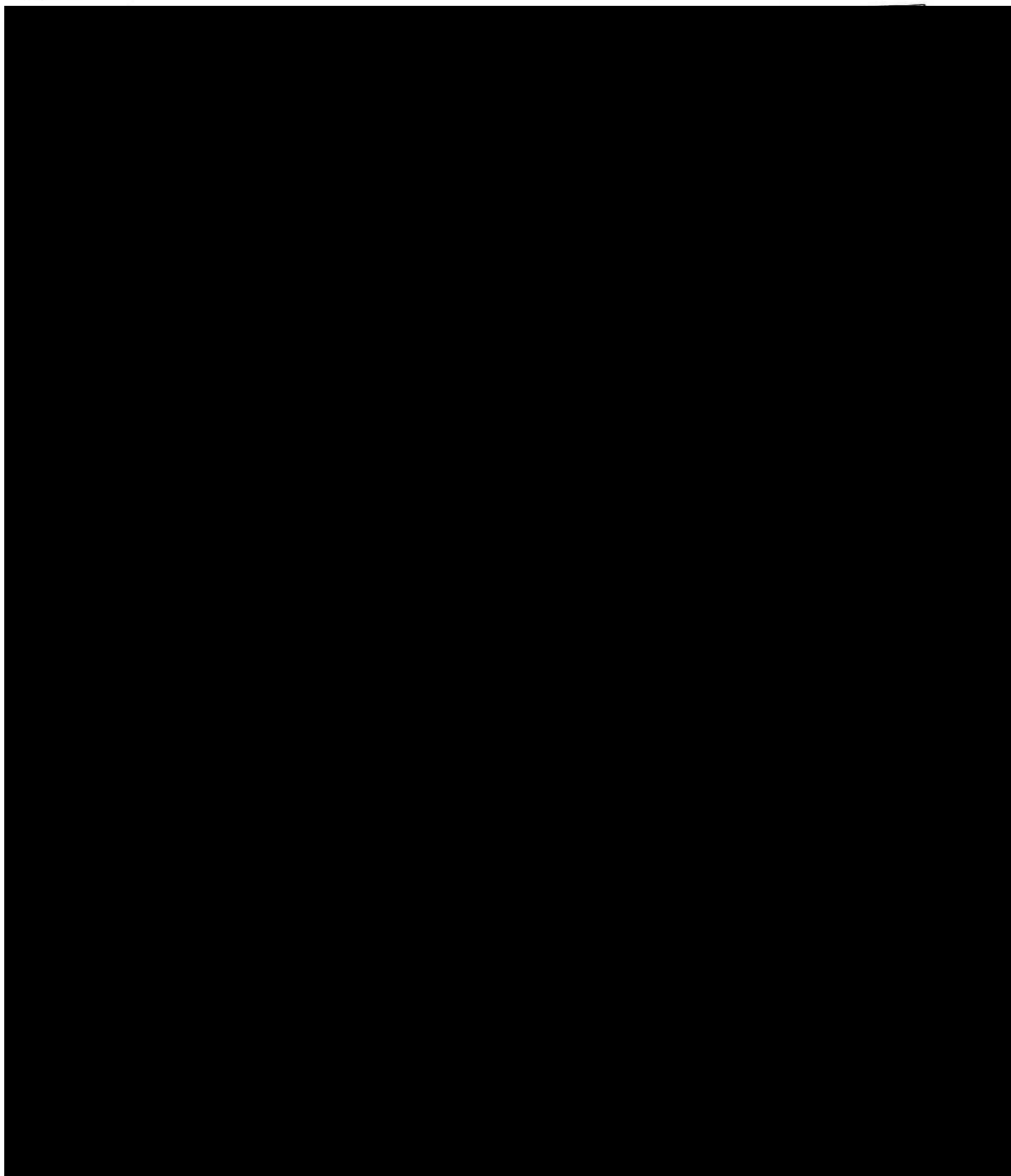


図 2-1-13 北部ピレネー帯の東方延長部のプロバンスと西部アルプス

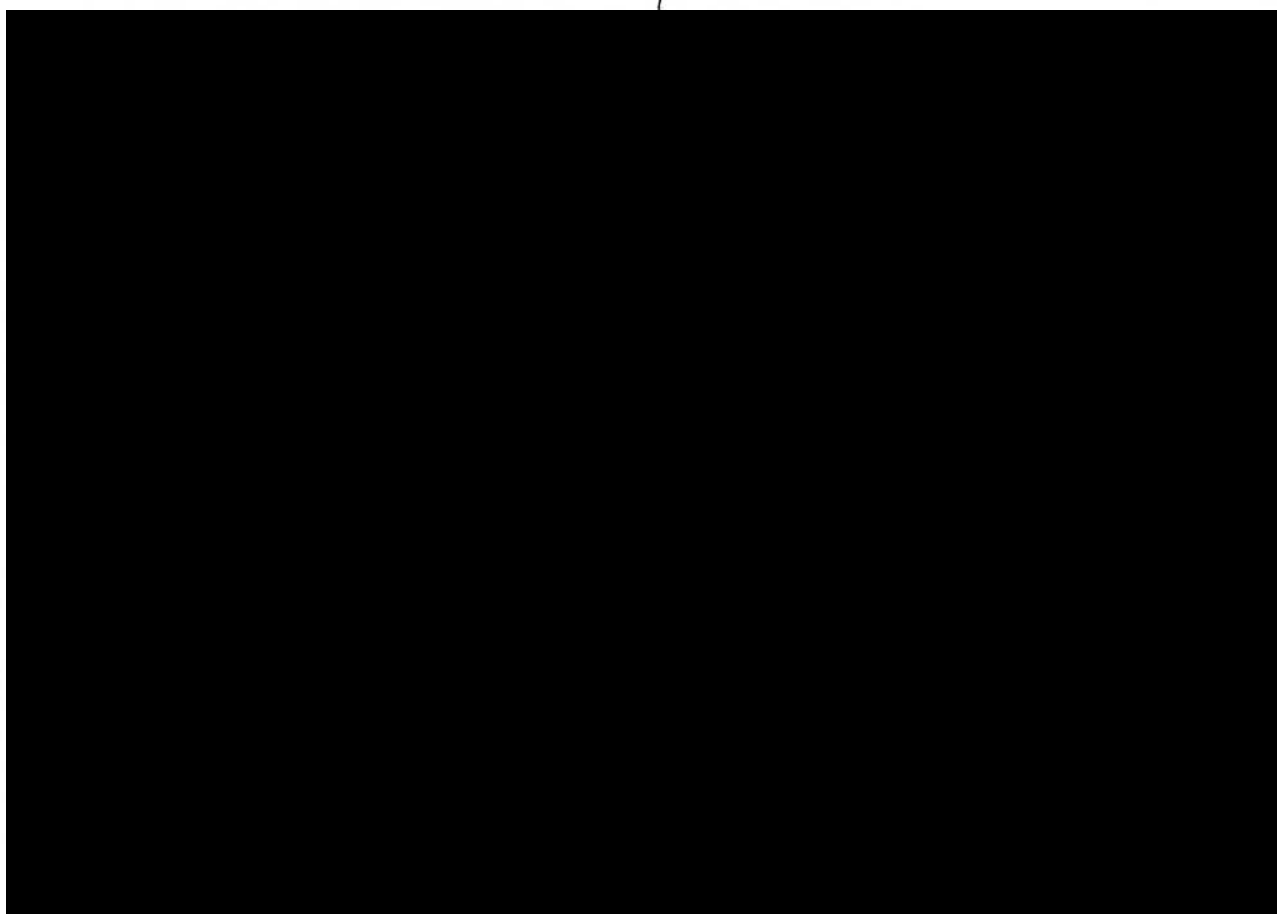
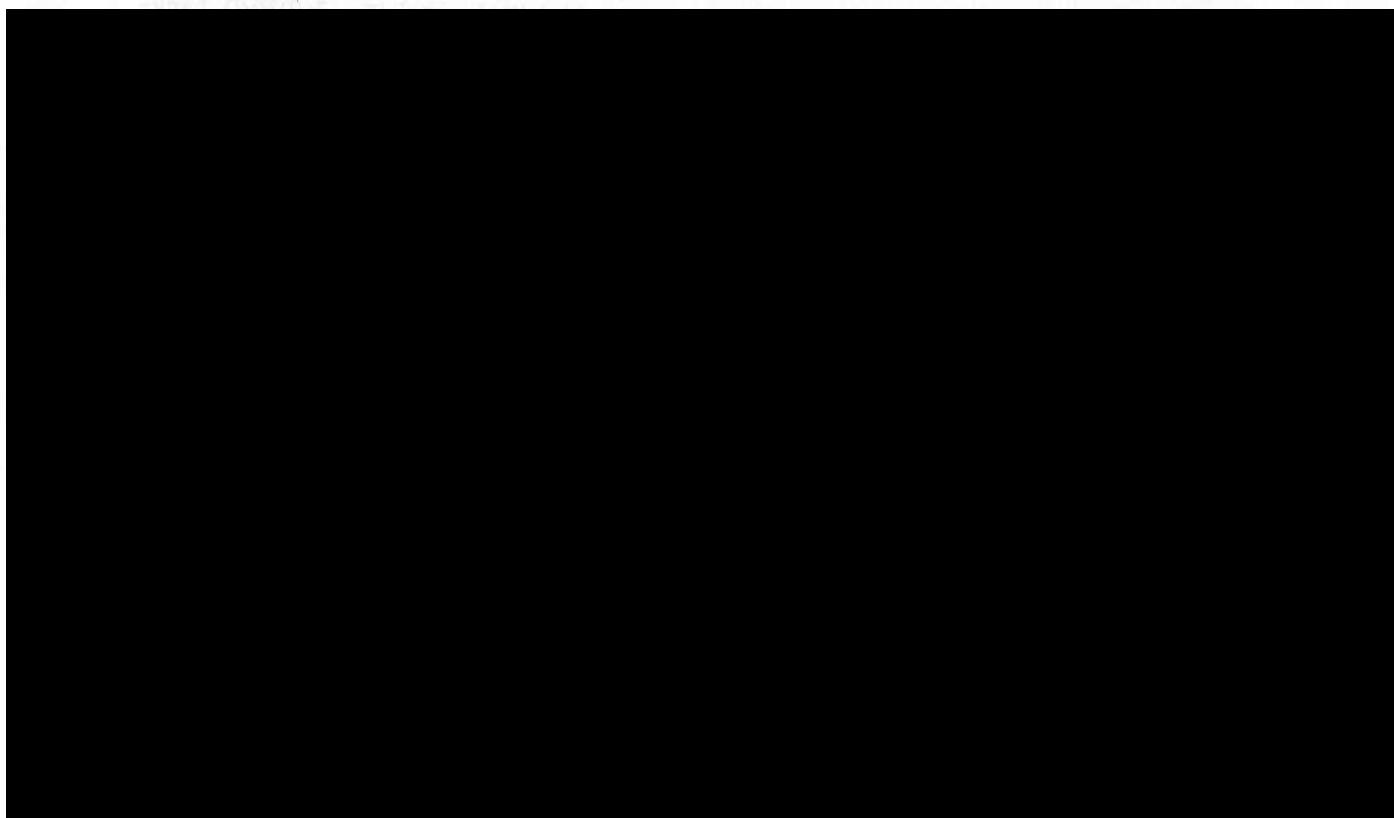


図 2-1-14 南部ピレネー帯の地質断面図



南ピレネー帯における重力滑動による構造形成の発端を知るには、図 2-1-14 の右端にある中軸帯南限のナップ構造に注目する必要がある。

ここでは、デボン～石炭系のヘルシニア構造中核帯 *autochton* の岩体と、その上に重なる *Nogueras* および *Gavarnie* のナップの岩体と片理面の方向が違っているのである。これは、もともと同一方向の片理面をもって褶曲した地層が、二畳～三畳系の石膏層堆積後、中軸帯側が南側に衝上するように上昇し、さらに重力によって倒れ込み、褶曲の先端部ほど片理面を南向きに低角化し、ついには南傾斜にまで変化してきているのである。中軸部の隆起上昇は、南側のモラッス堆積盆の沈降と平行して行われた結果このような構造が形成されたのである。

お わ り に

ピレネー山脈をあくまでもアルプス造山帯として取り扱い、ユーラシア大陸とアフリカ大陸の分離と衝突の繰り返しによって地質構造が形成されたとする考え方は正しいであろう。しかしながら、これまで調査研究された結果の総てを、このような単純なメカニズムに帰すことはできないであろう。とくに、大陸の分離と衝突の時に起こるであろう、新しい大洋の形成や大規模なサブダクションの現象は頭で想像することはできるが実証することはまだまだ困難のようである。現在の地中海は、さらに、その後の *back-arc basin* の形成によって出来たものとされている。そこに到るまでの資料を読みこなすにはまだまだ道は遠い。しかし、我々の住む日本列島以外の地域で、このような勉強を皆で一緒にできたことは大変な幸せであったと思っている。

主な参考文献

- 1) Argand, E., 1916. Sur l'arc des Alpes Occidentales. *Eclogae Geol. Helv.*, 14:145-191.
- 2) Argand, E., 1924. La tectonique de l'Asie. *Congr. Géol. Int. Belg.*, 13e, 1992, C.R., 171-372
- 3) Aubouin, J., 1965. *Geosynclines. Develop. Geotectonics*, 1. Elsevier, Amsterdam, 335pp.
- 4) Bernouilli, D., and Jenkyns, H.C., 1974. Alpine, Mediterranean and Central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys. In: R.H. Dott and R.H. Shaver (Editors), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ.*, 19:129-160
- 5) Bernouilli, D. and Lemoine, M. 1980. Birth and early evolution of the Tethys: the overall situation. *Mém. Bur. Rech. Géol. Min.* 115, 168-179
- 6) De Sitter, L.U., 1956. A cross section through the central Pyrenees. *Geol. Rundsch.*, 45(1):214-233
- 7) De Sitter, L.U., 1965. Hercynian and alpine orogenies in Northern Spain. *Geol. Mijnbouw*, 11:373-383
- 8) Hsü, K.J. and Schlanger, S.O. 1971. Ultrahelvetic Flysch Sedimentation and Deformation related to Plate Tectonics. *Geol. Soc. America, Bull.* 82, 1207-1218
- 9) Lemoine, M. 1975. Mesozoic sedimentation and tectonic evolution of the Briançonnais Zone in the Western Alps - Possible evidence for an Atlantic-type margin between the European craton and the Tethys. *9ème Congrès international de sédimentologie, Thème 4*, 211-215.
- 10) Lemoine, M. 1978. *Geological Atlas of Alpine Europe and Adjoining Alpine Areas*. Elsevier, 1-576
- 11) Lemoine, M. 1980. Serpentinites, gabbros and ophiolites in the Piemont-Ligurian domain of the Western Alps: possible indicators of oceanic fracture zones and of associated serpentinization. *Archives Sci., Geneve* 33/2-3, 103-115
- 12) Stille, H., 1953. Der geotektonische Werdegang der Karpaten. *Beih. Geol. Jahrb.*, 8:239pp.
- 13) Trümpy, R. 1960. Paleotectonic evolution of the Central and Western Alps. *Geol. Soc. America Bull.* 71/6, 843-908.

2-1. (2) Augen gneiss 考

許 成 基

は じ め に

眼球構造をもつ片麻岩を眼球片麻岩という。眼球構造とはA. Harkerによれば結晶質岩石中にあらわれる cataclastic な構造の一つである。本邦では飛騨帯中の古期花崗岩、船津花崗岩、領家帯の天竜川流域その他に知られている。いずれも強い圧砕作用の痕跡が肉眼的に認められるものである。レンズ状に引き伸ばされた中心部は、円に近いもの、四角、多角形とさまざまな形態を示す。鉱物は多くの場合カリ長石であるが、斜長石の場合もある。Harkerによれば鉱物（石英）の集合体の場合もあるとか。眼球構造はこれがさながら目の玉のように見えるところから名付けられたもので、つまりは記載的な名称といえる。

筆者は1993年6月、日本応用地質学会の海外調査団の一員に加えられてピレネー山脈を二ヶ所で横断する機会に恵まれた。ピレネーの地質について全くの門外漢である筆者は、現地でさまざまな地質体と共に“Augen gneiss”にも接することができた。サンプルを持ち帰り、スケッチをとり、顕微鏡で覗いたりするうちに興がのり、これ迄に各地（天山山脈、片貝川他）から蒐めていた Augen 様構造を示す岩石と比較してみたい衝動にかられて筆をとることにした。

ピレネーの central zone は“Augen gneiss”とこれを貫く花崗岩で構成され（複背斜構造）、これの南方及び北方には Cambro-Ordovician の高変成度の変成岩類（staurolite-andalusite-cordierite gneiss）があり、外側にはこれらの非変成相が、さらに外側には gravity sliding したとされる白亜系の flysch 型 limestone がある。これらの地質体は central zone を中心として南北方向にシンメトリカルな配置をしている。

“Augen gneiss”は Cambro-Ordovician の変成層中で花崗岩化作用を受けて形成された岩体と思われ、分布形状も変成層に調和的な分布をなすとされる。

图 2-1-15 採 取 位 置 图

ピレネーの東側（フランスピレネーの山懷 Ax-les-Thermes のやや南方）で採取した件の岩石には、肉眼的に明瞭な圧砕構造が認められない。又、岩石も中央部で目を剥いている目玉を除くと gneiss というよりは不均質な斑状花崗岩の様相を呈している（図 2-1-16）。ところがルーペでよく観察すると、マトリックスの白色鉱物一つ一つが実は小さな“目玉”で、これらはほとんど独立的に存在し、目玉の周りにはダスト又は微細な有色鉱物や不透明鉱物が充填しているのが見てとれる（図 2-1-16）。

Augen 状を呈する花崗岩質岩は、斜長石、カリ長石（正長石、微斜長石）、石英、黒雲母、角閃石（一部緑泥石化）を主構成員とし、他に白雲母、不透明鉱物、スフェーン等がある。マトリックスは細粒化した少量のダスト様鉱物と再結晶石英で埋められ、カリ長石の巨晶（2～3 cm）が斑状に点在している。本岩は、マトリックス、斑状構造から見て通常の花崗岩組織を示さない極めて不均質な岩石であるが、総合的に見て花崗岩質片麻岩といえよう。

本岩には、カリ長石の斑状変晶と斑状残晶様の自形性斜長石が多数散在し、これらの粒間をモザイク状の再結晶石英が充填していることが観察される。斑状変晶と斑晶残晶は形成される部位が異なり鏡下では両者によるレイヤリングが認められる。特に斑状残晶が密に分布する部分には“mica fish”も形成され、圧砕作用とこれに引きつづく再結晶作用（石英）が明瞭である（図 2-1-17）。

さて、Augen 状を呈する目玉は円形又は不規則形を示し、しばしば石英、斜長石、黒雲母などを包有する正長石、微斜長石質ペルト石の斑状変晶である。これは“変成作用”の過程で特にカリウムの添加によって正長石が粗粒結晶に成長したものである。目玉の周囲は極微粒の石英、有色鉱物、細粒のカリ長石、有色鉱物で縁取られる。肉眼的に細粒の目玉に見えたマトリックスの円い独立した結晶は、鏡下では粗粒（2～1 mm）の斜長石、石英、カリ長石の斑状変晶である。これらの粒間又は粒界にはより細粒の（0.5 mm 以下）鉱物が充填しており更にモザイク状の再結晶石英集合体が形成され、変成岩特有の縞状～線状構造を示してはいない。一方巨晶などの斑状変晶を除いた粗粒変

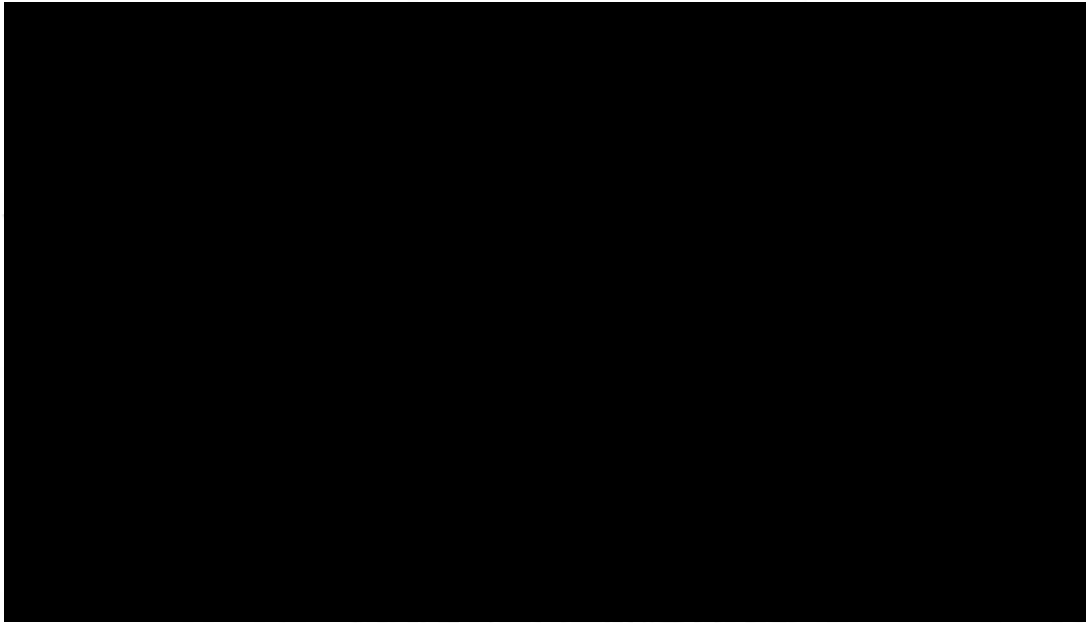


図 2-1-16 花崗岩質片麻岩 (Ax-les-Thermes～フランスピレネー)

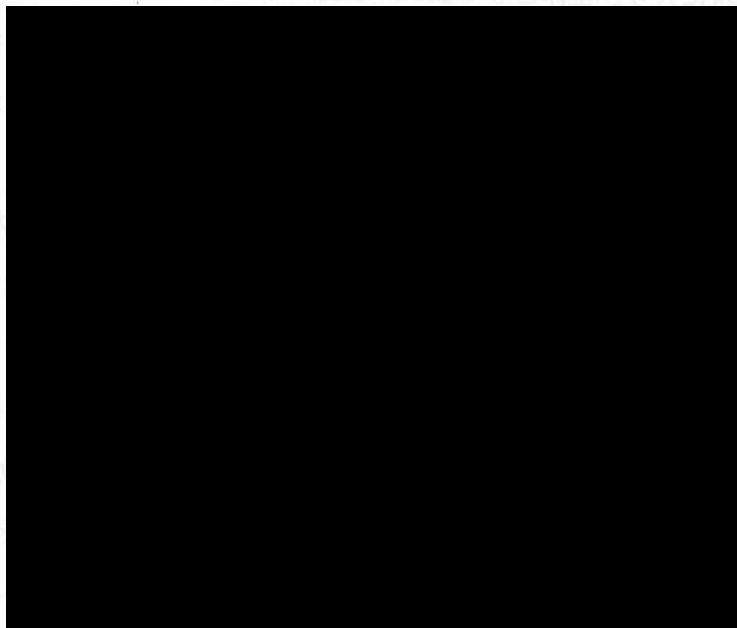
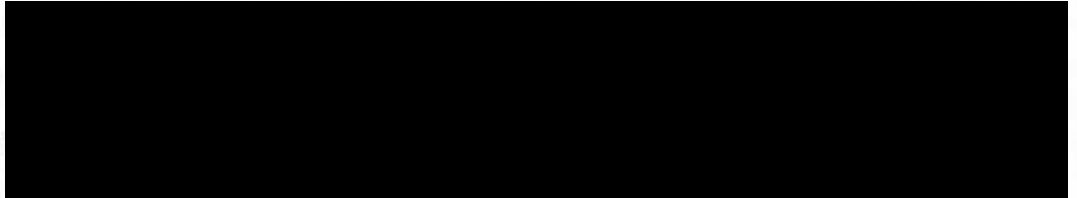
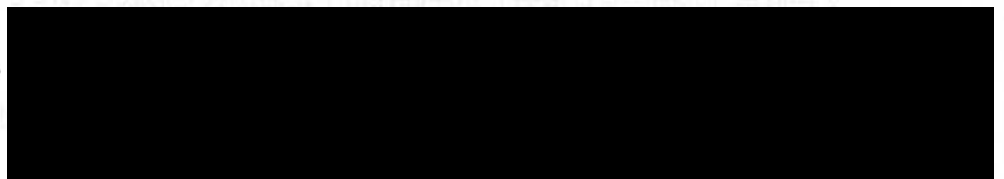


図 2-1-17 花崗岩質片麻岩の顕微鏡スケッチ



晶鉱物にはこれを核として周囲を再結晶石英がとりかこんだり、シッポ様の形態を示す部分もある。シッポ様の部分はいわゆる圧砕作用の痕跡と思われ、本岩はこれに再結晶作用を伴うステージが重複したものである。

花崗岩化作用が進行する過程には、いろいろな現象が識別され又認識されている。ピレネーの花崗岩質岩は、わずかにサンプルではあるが斑状変晶の形成及び圧砕化作用とこれに伴う再結晶作用の二つのステージが同時に観察されるものとして興味の尽きない岩石（露頭）といえる。

天山の“Augen gneiss”はピレネーのものと様相を異にしている。図 2-1-18 は昨夏天山山脈で採取した岩石で、斑晶状をなす鉱物は斜長石、カリ長石でいずれも角ばっている。斑晶状の鉱物には散在する巨晶（3～7 mm）と細粒化した結晶（1～3 mm）がある。マトリックスには、より細粒（0.5 mm 以下）の白色鉱物（石英、斜長石）があり、これら全ての白色鉱物の粒間を厚く、時には薄く、太く又所によっては細い黒色のバンド又はスジが網状に入り、全体として強い片理面を形成している。この片理面は明らかに圧砕作用によるものである。斑晶状の巨晶は、強い片状構造に支配された分布形態を示しており肉眼的には典型的な“Augen structure”をもつ“Augen gneiss”といえる。

この“Augen gneiss”の構造的な位置づけは不明であるが、東西方向に伸長する Devonian 変成帯中の片麻岩である。肉眼で明瞭な圧砕構造は鏡下ではより一層明瞭で、自形性のカリ長石（カールスバッド双晶）や斜長石（アルバートーカールスバッド双晶）の巨晶（3～7 mm）は角がとれて円くなり（斑状残晶）、回転による圧力痕（pressure shadow）が形成される。斑状残晶の粒間には細粒化した鉱物片が点在し、全ての残晶の周辺を再結晶石英、雲母族が充填しており、これらは強い定向性を有する。鏡下で見られる定向性は白雲母、黒雲母及びダスト様鉱物による縞状～線状構造とモザイク状再結晶石英の伸びによって強調されたものである。本岩は花崗岩質岩を原岩とする片麻岩（花崗岩質片麻岩）が圧砕作用下におかれて形成されたもので、斑状残晶が回転していることから強い偏圧下にあったことを示唆するミローナイトである。A. Harker は結晶質岩をその変形構造から、Mortar structure → Brecciated structure → Augen

structure → Mylonite に分類しているが天山の “Augen gneiss” はこの Mylonite に相当するものである（図 2-1-18、2-1-19）。

図 2-1-20 は富山県片貝川に産する Augen 状を呈する花崗岩質岩である。本岩は岩相変化の著しい片貝川の花崗岩質岩体（船津型）の特定の構造的位置に出現するもので、肉眼的には完晶質の基質に赤桃色を呈するカリ長石が変斑晶状に晶出する片麻状花崗岩である。この片貝川の “Augen structure” は赤桃色のカリ長石が長軸方向に粗粒化し、且つ強い定向性を示したもので、これの粒界を有色鉱物が縁取って“目玉”を強調している。鏡下では巨晶のカリ長石の斑状残晶（回転を伴う）と粗粒の半自形～自形カリ長石、斜長石、石英（他形）が全体としては無秩序に散乱している。これら粗粒の残晶の粒間を更に細粒化した石英、長石類と有色鉱物（緑泥石化した角閃石、黒雲母）及びダスト様不明鉱物、不透明鉱物が充填し、一部にはわずかではあるが極細粒のモザイク状再結晶石英が生成している。鏡下で見る限り本岩は、花崗岩質岩組織の痕跡をとどめない花崗岩圧砕岩で、いわゆるカタクラスティックミローナイト（カタクラサイト）である。本岩は鏡下ではダスト様鉱物によるスジ（シアーバンド又はフラクションバンド）の形成が多く認められる反面、肉眼的にはその識別が困難であり、シアーバンドが多数認められるにも関わらずミローナイトとしての熟成度が低いこと、特に圧砕作用による細粒化は顕著であるものの、再結晶作用は極めて不完全であることなどが特徴である。つまり、片貝川の “Augen structure” は片麻状花崗岩の元来の組織が圧砕作用によって“眼球”様を示したもので A. Harker の “Augen structure” に成因上最も近いものといえる。但し、上に記述したように肉眼的には最も非 “Augen” 的な様相をなしている（図 2-1-20）。

ピレネーの花崗岩質片麻岩は弱い圧砕作用の痕跡が見られるものの斜長石、カリ長石は斑状変晶である。H. H. Read (1944) は Dent de cheval（馬の歯）は花崗岩化作用に特徴的な現象であると述べており、Goodspeed (1948) は斑状変晶が周囲の花崗岩の結晶と類似していれば、それは交代性起源の花崗岩であると述べている。又、舟橋他 (1958) は斑状変晶の発生、発達には岩石の粗粒化現象と共に花崗岩化作用に固有の一般的現象で



图 2-1-18 花崗岩質片麻岩压碎岩

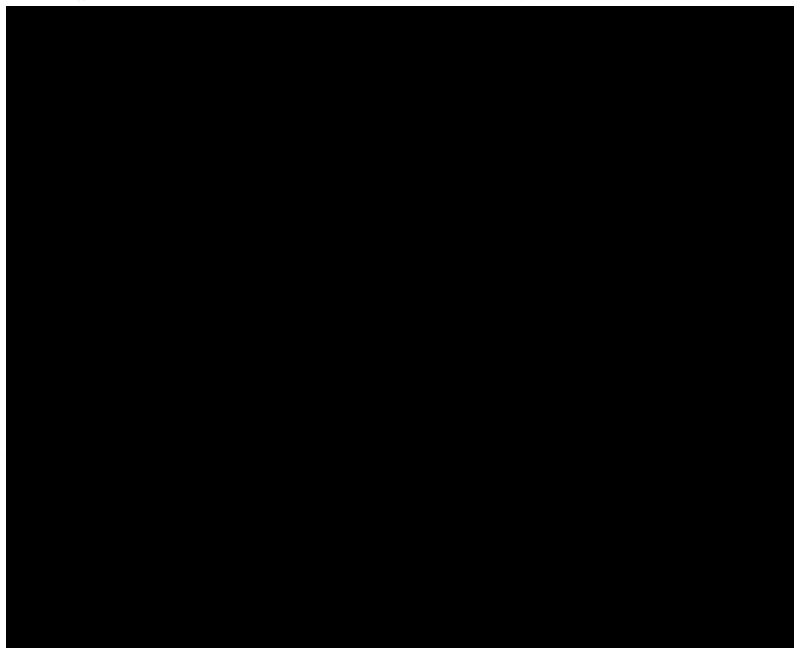
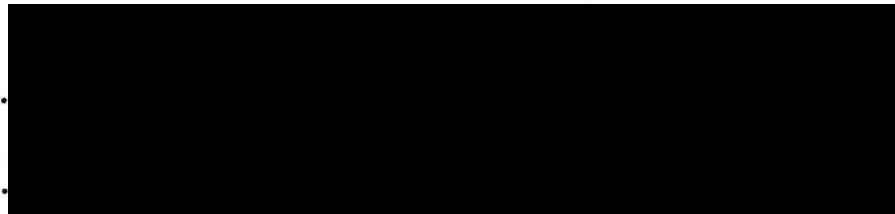
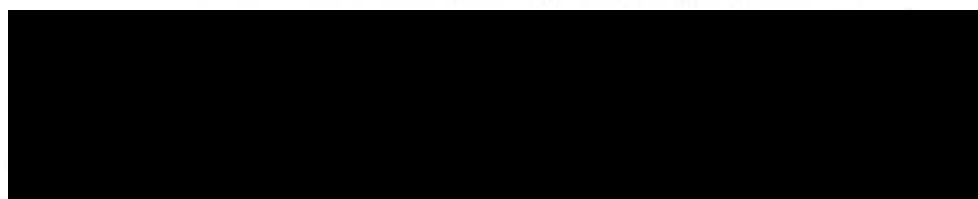


图 2-1-19 花崗岩質片麻岩压碎岩 (Granite mylonite)



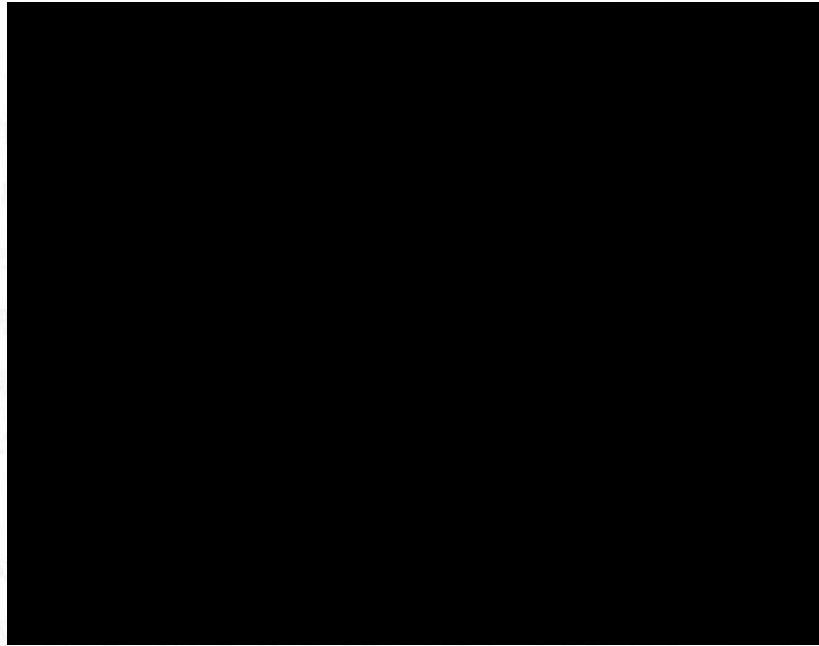
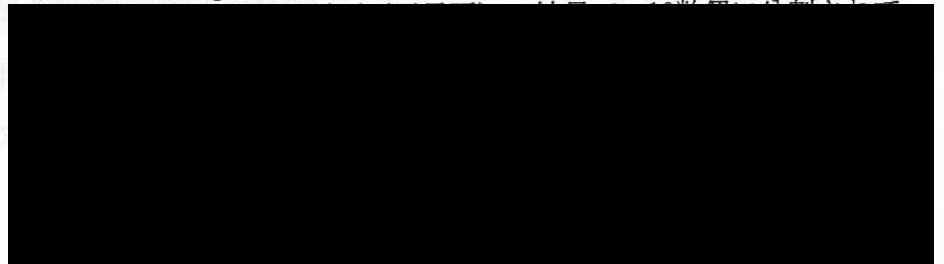


図 2-1-20 角閃石黒雲母花崗閃緑岩圧砕岩（富山県、片貝川中流）
(Cataclastic granite)



あるとした。今、ピレネーの斑状変晶が Goodspeed のいう通りかどうか確かめようはないが、既に述べたように粗粒化を伴う斑状変晶であることから、少なくとも現象的には花崗岩化作用（広義には変成作用の一部も含む）の産物と考えて良いと思われる。

天山山脈の圧砕岩は花崗岩質岩を原岩とするいわゆる crystaloblastic な組織を有する Granite mylonite（花崗岩質岩→花崗岩質片麻岩→圧砕岩）である。これにはピレネーのサンプルのような粗粒化ないし斑状変晶は認められない。一方、石英その他の再結晶作用（変動時のクリスタロプラスチックな塑性流動による）は特徴的で、A. Harker いうところの最高度の変形様式を示す mylonite といえる。mylonite は Lapworth によって定義されて以来、幾多の内容の変遷がある。これに触れるのは小文の目的ではないので割愛するが、本文では再結晶を伴う変形構造を mylonite、伴わな

いものをcataclasiteとしている。条件が整えば、cataclasite → mylonite の移行は可能である。尚、Lap-worth (1885) の mylonite の定義は、(1)粉砕による細粒化、(2)流動構造、(3)固結性を保持しつつ行われた粉砕、(4)再結晶、新鉱物の形成は認められない、の四点に要約される。これは今日のセンスではカタクラサイトとほぼ同じである。

天山の Granitoid は圧砕作用を受けて組織がバラバラとなる（粉砕と細粒化）が、この時岩石は強い偏圧下におかれたためポーフィロクラストは回転を伴いながら一層の細粒化が進行した。破壊とほぼ同時に熱と圧力と溶液（？）の供給を受けた岩石は再結晶が進行してついに mylonite が形成されたものであろう。

片貝川の「変斑晶」片麻状花崗岩（フィールドネーム）は、三者のうちで原岩は最も“マトモ”な Granitoid である。しかし、既に述べたように本岩は元来の花崗岩組織を喪失しており鏡下で見る限りほぼ完全なカタクラサイトであり（但し、ポーフィロクラストと細粒化部の割合から見て細粒化は不完全である）、眼球様を示すものも圧砕作用による斑状残晶である。本岩は、片貝川花崗岩（船津花崗岩）体中の特有の場所に出現することから深部（比較的浅所）における断層破碎作用によって形成されたものである。

お わ り に

フランス（ピレネー山脈）、中国（天山山脈）、日本（飛驒山地）の三つの “Augen structure ~ Augen gneiss” を比較してみた。ツラツキはいずれも“目玉”を持つという点で共通するが目玉の出来方ならびに岩石形成史が各異であった。しかし、地殻の進化、特に花崗岩化作用に関連するプロセスの中で見ると、上記の三つは空間的、時間的位置が相互に全く連関性を有しない程に隔たっているにも関わらず、驚く程似通っているというべきかもしれない。

おわりに、ピレネーの地質巡検はもとより、日頃懇切な御指導を頂戴している北村先生と海外調査団への参加を奨めていただいた岡本会長に深甚の謝意を表する。又、拙文を最後までお読み下さった各位にお礼申し上げます。

2-1.(3) ピレネー山脈を南下して

富 重 明 彦

I. ま え が き

本文は、6月12日の視察内容について報告するものであり、各ダムの詳細は別途取りまとめられるので、ここでは行程中の地質とダム etc. について見聞した内容を述べることに致します。

なお、6月12日の概略の日程は、次の通りです（図 2-1-21 参照）。

8 : 00	アンドラのホテル出発	}	走行距離約 460kmの長丁場の日程でした。
10 : 00	オリアナダム ①		
13 : 00	昼食（レリダの町）		
15 : 45	カネレスダム ②		
19 : 00	メキネンサダム ③		
21 : 00	サラゴサのホテル到着		

II. ピレネー山脈を南下して

6月12日のルートは、中央ピレネーから南ピレネーへと南下する行程で、前日（6/11）の行程とは対称的にピレネー山脈の axial-zone から South-Pyrenean-zone の地質構造を横断するルートであった。

アンドラ国（別称ピレネーの香港 …… 免税店が立ち並ぶ小国）は、3,000mを越える諸峰がそびえる中央ピレネーの東部に位置し、首都アンドラ・ラビハ（標高約 1,000m）は陸の孤島とは縁遠く、道路の両側には免税店やホテルが並び観光客で賑わっている。この調査団に参加するまで、私自身この小国の存在すら知らなかった（写真 2-1-1）。

アンドラ国に入るルートはフランス側からのルートとスペイン側からのルートがあるが、今回はフランス側からのルートでパ・ド・ラ・カーズ(2,091m)からアンバリラ峠(2,407m)を通過して、首都のアンドラ・ラビハへ入って行った（図 2-1-21）。

アンドラ国からピレネー山脈の南側の斜面をセグレ川に沿って南下して行くと、オリアナダム付近まではピレネーの axial-zone から South-Pyrenean-zone の南限付近に

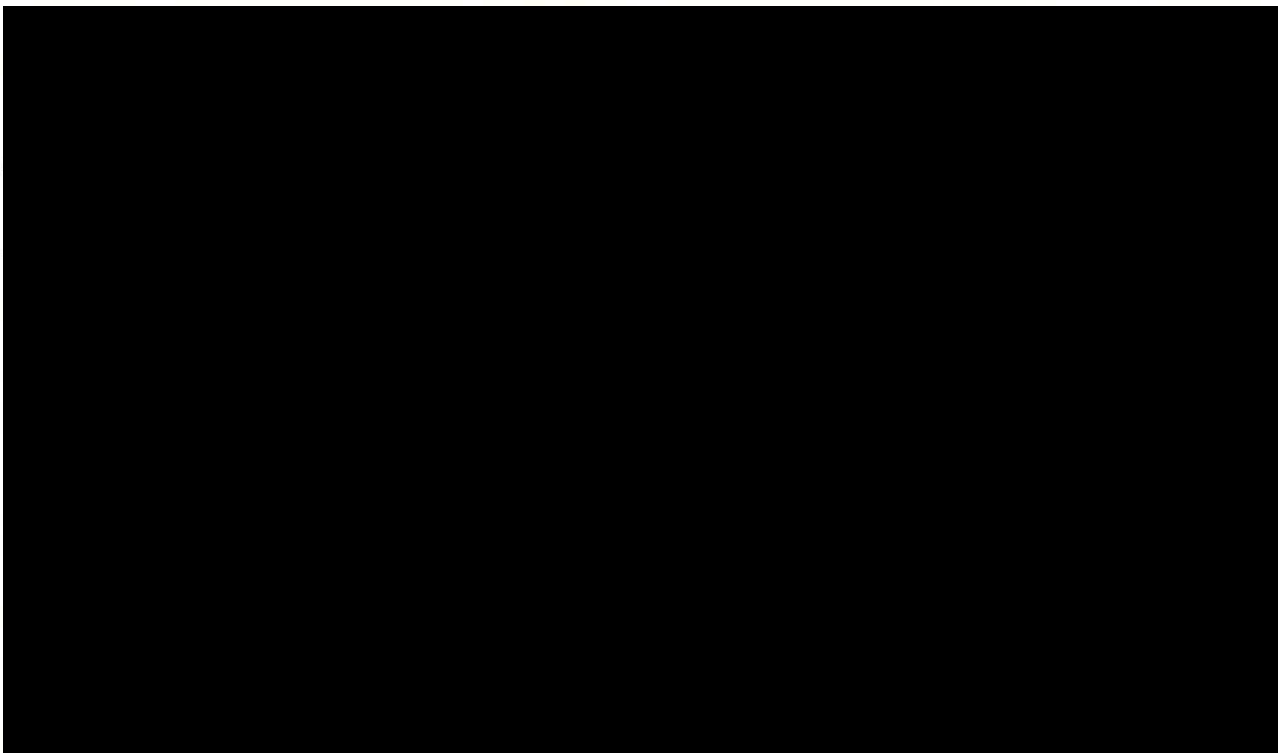


図2-1-21 視 察 ル ー ト (6月12日)



写真2-1-1 アンドラの町並み



写真2-1-2 褶曲 (オリアナダム周辺)

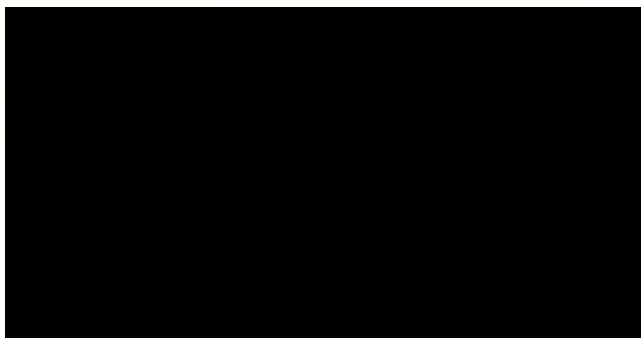


図2-1-22 アンドラの標高

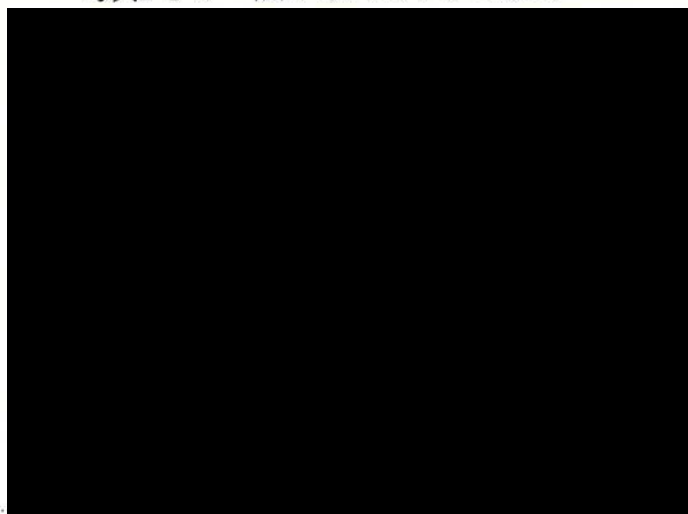


図2-1-23 スペイン等雨量線図

当たるため、古い年代順に、オルドビス紀→シルル紀→三畳紀→白亜紀等を見ることが出来るという北村先生の説明でピレネーの地質図とにらめっこしながら一行は南下していった。

翌日（6/13）のパンプローナへ向かう途中で見たピレネーの南限付近に出現したような隆起（北村先生の説明では gravity slide による隆起とのこと）は見られなかったが、教科書的な褶曲構造（写真 2-1-2）や、氷河の浸食跡を見ることが出来た。

Ⅲ. エーブロ川の開発

スペインの大きさから言えば、約50万km²で我が国の37万km²よりは大きい、フランスの55万km²に比べやや小さい。地形的にはピレネー山脈、カンタブリア山脈、及びポルトガルとの国境付近を除けば、大部分が標高 600～700 mのスペイン特有の高原（メセーナと呼ばれる）が広がっている。

雨量は少ない（図 2-1-23）。首都マドリッドにおける年平均雨量が 400mmというから東京の約1/4しかなく、日本とは比べものにならない。年間降水量が 1,000mm以上のところは、ピレネー山脈かビスケー湾沿いの帯状地と局所的に存在するのみである。

従って、ピレネー山脈とビスケー湾を望むカンタブリア山脈を水源とするエーブロ川はスペインの重要な水資源となっている。

エーブロ川は、カンタブリア山脈から地中海まで約 930km（信濃川の約 2.5倍）に渡って流下し、途中ピレネー山脈からの多くの支流を合わせて地中海に注いでいる。

エーブロ川は、流域の石灰質の土壌の上に豊かな水とともに柔らかい泥土も運んで来る。

従って、エーブロ川流域は農業生活に適した土地で、サラゴサ周辺はその広大なメセーナを潤すために灌漑網（ウエルタ）が発達してきた。

エーブロ川水系においては、175のダム（低ダムを含む）が数えられ、主に灌漑と発電の目的で開発されてきた（表 2-1-2）。特に、エーブロ川水系は、全国的に見ても開発が早い（表 2-1-3）。

ダムの型式としては、重力式が多く低ダムの発電も多い。これは流れ込み式発電が水量を利用した低落差式発電が行われていると思われる。

今回は、エープロ川水系の中でも、我が国だったらこのようなダムサイトは極力避けるような地質条件の悪い地点に築造されたダムを視察した（表 2-1-5）。

表 2-1-2 エープロ川水系のダム高とその目的 (%)

ダムの目的	10 m 以下	11~ 20	21~ 30	31~ 50	51~ 80	81~ 100	100 m 以上	計
灌 漑	3.5	4.7	3.5	6.5	4.1	—	—	22.3
発 電	15.9	19.4	5.9	7.6	1.8	2.3	1.2	54.1
灌漑と発電	1.2	1.2	1.2	—	3.5	2.3	0.6	10.0
多 目 的	—	—	0.6	2.9	1.8	0.6	0.6	6.5
工業用水等	1.2	2.9	1.2	1.2	0.6	—	—	7.1
計	21.8	28.2	12.4	18.2	11.8	5.2	2.4	100.0

表 2-1-3 ダム 開 発 (%)

	~1900	1901~ 1920	1921~ 1940	1941~ 1960	1961~ 1980	1981~
エープロ川水系	3.4	14.9	15.4	33.2	20.0	13.1
ス ペ イ ン	5.5	6.0	8.7	24.4	38.0	17.4

表 2-1-4 ダム 型 式 (%)

	重力式 コンクリート ダム	ロックフィル ダム	アーチ ダム	アース ダム	マルチプル アーチダム	その他
エープロ川水系	68.0	9.7	4.0	13.1	—	5.2
ス ペ イ ン	66.0	10.1	4.6	15.1	0.3	3.9

(富重作成)

表 2-1-5 スペインにおける今回の視察ダム

	ダム名	完成年	目的	ダム型式	高さ(m)	総貯水容量($\times 10^6 \text{ m}^3$)	発電力(MW)	地質
①	オリアナ	1959	灌漑・発電	AG	90	101	?	礫岩
②	カネレス	1960	発電	A	150	567	107	石灰岩
③	メキネンサ	1966	発電	G	81	1,534	324	泥灰岩
④	ペーニャ	1913	灌漑	AG	51	15	—	泥灰岩
⑤	イエサ	1960	灌漑	G	76.5	447	—	泥灰岩

※ ペーニャダム、イエサダムは6/13に視察 (富重作成)

表 2-1-6 エープロ川水系主要ダム (ダム高60m以上) (富重作成)

ダム名	完成年	ダム型式	ダム高(m)	堤頂長(m)	総貯水容量($\times 10^6 \text{ m}^3$)	目的
Fosse	1915	G	92.68	0.82	12.00	A, I
Talarn	1916	G	86.00	180.00	205.10	A, P
Camarasa	1920	G	103.00	145.00	163.40	P, W
Cueva Foradada	1926	G	65.00	112.60	26.28	A
Alloz	1930	A	66.80	74.40	84.26	A, P
Barasona-Joaquin Costa	1932~1972	G	65.50	99.00	92.20	A, P, W
Escales	1955	G	125.00	200.00	152.37	P
Mediano	1959-1974	G	92.00	500.00	438.00	A, P
Oliana	1959	G	90.00	262.00	101.10	A, P
Canelles	1960	A	150.00	210.00	566.93	P
Cavallers	1960	B	70.20	360.00	16.05	P
Mansilla	1960	G	80.00	209.10	67.70	A, P
Tranquera	1960	G	80.55	225.21	83.70	A, P, W
Yesa	1960	G	76.50	398.00	446.90	A, P, W
Santa Ana	1961	B	60.00	292.00	45.00	P
González Lacasa	1962	G	70.50	316.22	32.92	A, W
Mequinenza	1966	G	81.00	451.00	1,533.787	P
Grado n.º1	1969	G	130.00	959.00	399.00	A, P
Paso Nuevo	1969	G	72.60	195.00	3.40	P
Ribarroja	1969	G	60.00	565.00	206.88	P
Bubal	1971	G	90.00	195.00	64.25	A, P
Vadiello	1971	G	75.50	119.00	15.51	A, W
Ciurana	1972	G	62.55	274.40	12.46	A, W
Lanuza	1978	A	79.60	176.33	25.00	A, P
Calanda	1982	R	63.50	293.00	54.82	A
Baserca	1983	A	86.00	322.00	20.00	P
Llauset	1983	A	89.00	291.00	15.00	P
Sallente	1985	R	89.00	403.00	6.18	P



今回の視察対象ダム

ダム型式

A:アーチダム
 G:重力式コンクリートダム
 R:ロックフィルダム
 B:バットレスダム

目的

A:灌漑
 P:発電
 I:工業用水
 W:上水道

IV. 感 想

ピレネー山脈は、アルプス・ヒマラヤ造山帯の西端に当たり、この一連の山脈はアルプス山脈、更にトルコの高原からイランのザグロス山脈、そしてヒマラヤ山脈へと続いているという。

こういう地球規模での地質構造に接し、またその中で、特に地質条件の悪い所に築造されたダム、失敗例(?)とも言えるダムを視察出来たことは、私にとって貴重な体験であった。石灰岩地帯に築造されたカネレスダムはエープロ川水系でも最大級のアーチダムで、湛水開始後、水位が上昇しなかったということは、ダムの機能上致命的欠陥と言えるが、世界的に見ても石灰岩地帯に築造された、トルコの Keban ダム、ギリシャの klemasta ダムも同じ様に止水処理に膨大な費用を要したと報告されており、石灰岩地質の止水処理の困難さを見せつけている。実はこのような悪条件下でのダム築造は、我が国でも例外でなく、今後ますます不良な基礎岩盤上のダム築造を要求されて来ている。石灰岩地質に限らず、未固結層、火砕流地帯、シラス等の軟質層上での対策に苦慮していかなければならない。

今回、数ダムしか視察していないが、全般的にいずれのダムも悪条件下のダムサイトとしては掘削が浅く、それをカバーするための止水処理の技術、考え方(設計思想)がどのようになされているか疑問が残った。

また、オリアナダム等はアーチドグラビティダムの下流面が階段状にて設計されており、こうしたデザインは長年培われた「石の文化」が反映されているようにも思えた。

最後に、わずか2週間の視察とはいえ、出発までの周到な準備、また視察中のリーダーを努められた岡本会長、並びに幹事の方々、そして懇切丁寧にピレネーの地質を説明して下さった北村先生に感謝の意を表します。お疲れさまでした。

2-1. (4) ピレネー山脈南部の地質

茶石貴夫

I. 行程

昨日、アンドラ・ラビハから約 420kmをひた走り、三つのダムを見たためサラゴサについたのがようやく薄暗くなってきた夜9時、6月13日の朝は全員疲労の色が少し見えているように思えました。本日13日はサラゴサからパンプローナまで約310kmを走り、ピレネーを遠望するとともに途中二か所でダムを見学した。その行程の概略は次の通りである。

ZARAGOZA	——	HUESCA	——	Pena Dam	——	Puente la Reina de Jaca	——	San Juan
	72km		47km		25km		20km	
de la Pena	——	Jaca	——	Yesa Dam	——	Javier	——	PAMPLONA
	21km		66km		5km		54km	Total 310km

II. 地形・地質の概要

サラゴサは、北部スペインを北西から南東へ流れる大河エーブロ川と、その支流 Gallego 川の合流点の標高300m程の広大な平地に位置する都市である。このコースはまずサラゴサから Gallego 川に沿って北上し、途中ウエスカの町を通過して、さらに北西へと向かう。このあたりは図 2-1-9 (38 p.) に示すようにピレネー山脈南側の平原で、主に新生代第三紀の地層が分布するモラッス Basin からなり、そこに分布する地層は、ほとんど変形していない。ウエスカの北西30kmほどの Ayerbe の町付近、ペーニャダムのすぐ南側あたりから、高度がぐっと上がって、ピレネー南帯の主に古第三紀～中生代の地層からなる褶曲山地に入る。これからのコースは、標高 1,500mを越えるこの褶曲山地の最南部を南北に横切ってハーカの町に達した後、今度は西へ Aragon 川に沿って下ることとなり、ハーカからイエサダムまでの Aragon 川はほぼ Southern Pyrenees の地層の走向方向となる。イエサダムは大きな貯水池を持ち、そこから Aragon 川は南西へ向きを変えて、最初に述べたエーブロ川へと合流していく。

サラゴサからパンプローナまでの地質の見どころで期待されるのは、南部の平原から山地に入るところでピレネー南帯の最南部を横断するところである。ピレネー山脈の中心をなす axial zone の Eocene 期の上昇に伴って地層が巨大な重力滑りを起こし、そ

図 2-1-24 視 察 ル ー ト (6月13日)

れが先端部で激しく褶曲したといわれている部分がこの付近に分布しているからである。

また、ハーカの手前、サン・アン・デ・ラ・ペーニャは、標高 1,000m を越えており、そこからは北側にピレネー山脈の主部をなす峰々を遠望できる。

Ⅲ. 観察した地形・地質

1) ピレネー南帯の地質構造

(1) 観察された地質

サラゴサからウエスカまでは国道N330をひたはしる。周囲に広がる丘陵地には、ほとんど水平な Miocene の地層が見られる。ウエスカを過ぎてN240を北西方向に向かうと、途中、南西の方角に Sotonera ダムの貯水池が見えたがダムそのものを確認することはできなかった。

Ayerbe の町を過ぎて丘陵地から山地へだんだん高度が上がって来て、いよいよ Southern slope of the central Pyrenees に入る。

ウエスカから北西へ30kmほどで、いきなり塔のような山形と地層が褶曲しているのが見えるところに出くわし(写真 2-1-3)、これが South Pyrenees の始めまでであることがわかる。車窓から見ると、ここからペーニャダムまでは Limestone が多い。ダムサイトの石灰岩には有孔虫が見られ、50° ほどで上流へ傾斜している。

(2) 巨大な重力滑りによる褶曲構造 (frontal damping)

地質図によるとこの付近には Trias と Cretaceous の地層が顔を出しており、その北側には幅40~50kmにわたって Eocene から Oligocene の地層が主に Paleozoic 以前の地層からなる Axial zone との間に広い面積にわたって分布している。

資料から当地域の地質概要図を図 2-1-9、10 (38 p.) に示しており、図中サラゴサからパンプローナに至るコースの地質構造を最も良く表しているのは図に示した C-D の断面である。すなわち、構造を簡単にいうと Axial zone から南へつき上げた Thrust が多数あり、Eocene と Oligocene の地層がその下位の Mesozoic の地層も含めて褶曲しているのがわかる。また、この地域の構造を概念的に示す断面を資料から図 2-1-14 (44 p.) に示す。この図には Trias の地層を



写真 2-1-3

Southern Pyreneans の始まり。
平地からいきなり褶曲した石灰岩からなる
山地へと入っていく。



写真2-1-4 Pena Dam北部、傾斜したOligocene と思われる地層



写真2-1-5 ピレネー山脈の遠望

境にしてそれより上位の地層が北側の Axial zone からなだれ込むように変形、褶曲し、Oligocene の地層までが褶曲している様子が描かれている。このような Southern Pyrenees の地質構造についてはこれらの図で北村先生から現地でご説明があり、また本書の、2-1-V (4) 南部ピレネー帯で詳述されているのでここでは概略を述べることにする。

South Pyrenean zone の地質構造はピレネーが上昇した時期に Gypsum に富んだ三畳紀の地層が滑剂的な役割をなし、それ以降の Mesozoic から Paleogene の地層が Axial zone から滑り落ちるように移動してきて、その先端部が南に向かって Thrust したり激しく Folding したという考えである。上記の解説にあるように、ところによっては Oligocene 付近まで変形が続いたということである。

この遠大な重力滑りを起こす役割のひとつをなしたといわれる Gypsum に富んだ三畳紀層が観察できないかと期待したが、そのような地層であれば激しく剪断され、弱いであろうことから、コース沿いでは発見できなかった。

(3) 同変動の時期

これまでに記述してきたような Southern Pyrenees の地質構造の発達を考えたとき、ピレネー山脈東部の南帯で、前日オリアナダムの下流に延々と続いて観察された Oligocene の地層があまり変形しておらず、緩く傾斜している程度であったので、ここペーニャ山地でも同じ可能性があり、そうだとすれば Frontal damping は Cretaceous 末期に形成されたものかもしれないという考えも持ったが、ペーニャダムを過ぎて、Oligocene の地層に入っても車窓から見られる地層はほとんどが非常に急傾斜であり（写真 2-1-4）、やはり Southern Pyrenees の変動はその頃まで続いたのではないかと考えさせられた。

また、前項の英文資料では、ピレネー南帯の Eocene 期に形成された南方向へのナップは水中でできたのではないか。その証拠に Eocene 上部から Oligocene 期の礫岩に被われているからだと言っている。今回の見学で、ペーニャ山地の標高が高い部分に位置する San Juan de la Pena においては非常に厚い円礫岩からなる単調な地層が見られ、その礫はほとんど石灰岩で構成されていたことから、この礫岩がおそらく資料の中に記述されていた、 conglomeratic and molassic Upper

Eocene-Oligocene に相当するものと考えられる。

2) サンホアン・デ・ラ・ペーニャからピレネー山脈の遠望

標高1,000 mを越えるサンホアン・デ・ラ・ペーニャからは、北側のピレネー山脈の峰々が遠望できた。そこから山脈までの距離は、数10km以上で、やや雲が多かったものの、標高 2,000~3,000 m級の山々が連なっている（写真 2-1-5）。

数枚の写真を撮影した後、Aragon 川に向かって一気に下っていった。Aragon 川はハーカのあたりでは最上流のため清澄な水の細流であったが、この川は流域面積の大きな川で下流には今回見学したイエサダムが造られている。

IV. ピレネー南部の地質とダムについて

以上がこのコースの Southern Pyreneans の地形・地質のごく概略であるが、最後にピレネー山地南部のダムと地質分布の概要を調べて見ると、特に Cretaceous と Eocene の地層にダムが多いことがわかる。これは恐らくこれらの地層が比較的 Limestone に富んでいることから地形的にダムサイトに適したところが多いこと、また、その分布が主に平地から山地に入ったところにあり、ダムの立地上都合が良いと思われることが上げられる。もちろん、カネレスダムで見られたような Limestone 特有の溶解空隙の存在という地質的問題についてはスペイン流の十分な対処がされているものと思われる。

2-1. (5) ピレネー山脈西側縦断ルートの地質

情 野 隆

1. ピレネー山脈西側縦断ルートの地質

1) ルートの概要

ピレネー西側縦断ルートはスペインのパンプローナからロンセスバイエス峠 (EL. 1057) を経てフランスのビアリッツに至る行程約 130km の南から北へのルートである。当ルートはフランスのカルカソンヌからアンドラ公国を経てスペインのサラゴサに至る北から南への東側縦断ルートに比べると地形がなだらかで、基盤の隆起量も少なくなっている。

東側ルートでは北から Northern Sub-Pyrenee Zone、Northern Pyrenee Zone、Axial zone、Southern Pyrenee Zone、Southern Sub-Pyrenee Zone の代表露頭を観察してきたが、特に Axial Zone では Augen gneiss (眼球片麻岩) を観察することができた。レアックス(株) 許成基氏の岩石薄片鑑定結果は、2-1 (2) で詳しく述べられている。

西側ルートは地質的には Southern Pyrenee Zone から Axial zone、Northern Pyrenee Zone を経てモラッセゾーンに至るルートである。

2) 地質構成

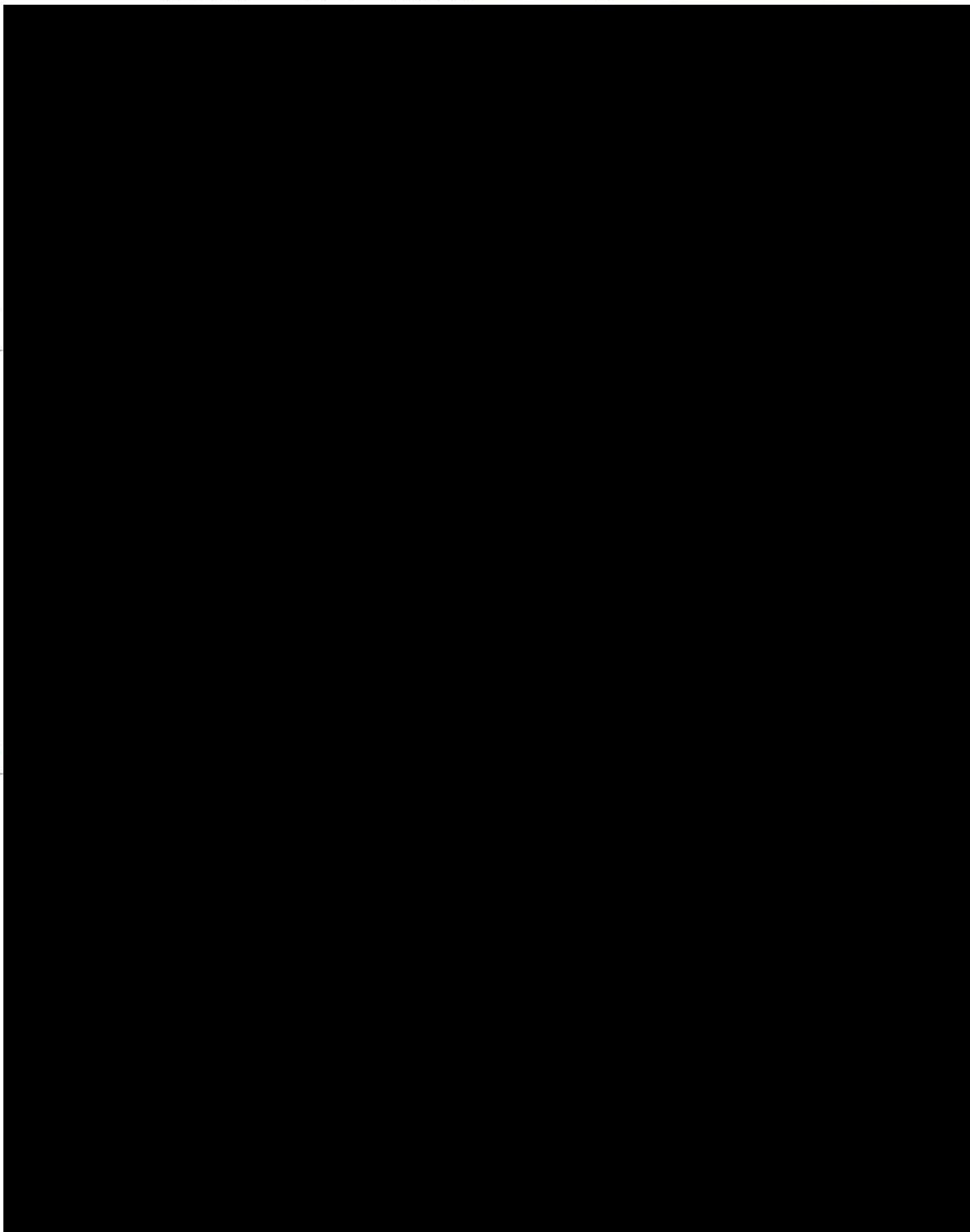
〔パンプローナ～ロンセスバイエス峠〕 (Loc. ①、②)

古第三紀始新世 (Eocene) 中下部のフリッシュ相 (砂泥互層) からなる Southern Pyrenee Zone が観察され、数 cm ～ 10 数 cm ピッチのリズミカルな互層よりなっている (写真 2-1-6、7、8 参照)。この中には緩い波状褶曲が観察されるが、大きくは西側に傾斜して分布している。東側ルートでは礫岩等の陸成に近い堆積物が卓越しているのに対して西側では海成の砂泥互層が卓越し、西側ほど第三紀の堆積盆地が深くなっていると推察される。

〔ロンゼスバイエス峠～サン・ジャン・ピエドポール〕 (Loc. ③、④)

デボン紀 (Devonian)、シルル紀 (Silurian)、オルドビス紀 (Ordovician) の弱

図 2-1-25 ピレネー山脈西側ルート の地質（写真位置図）



地 質 圖 凡 例

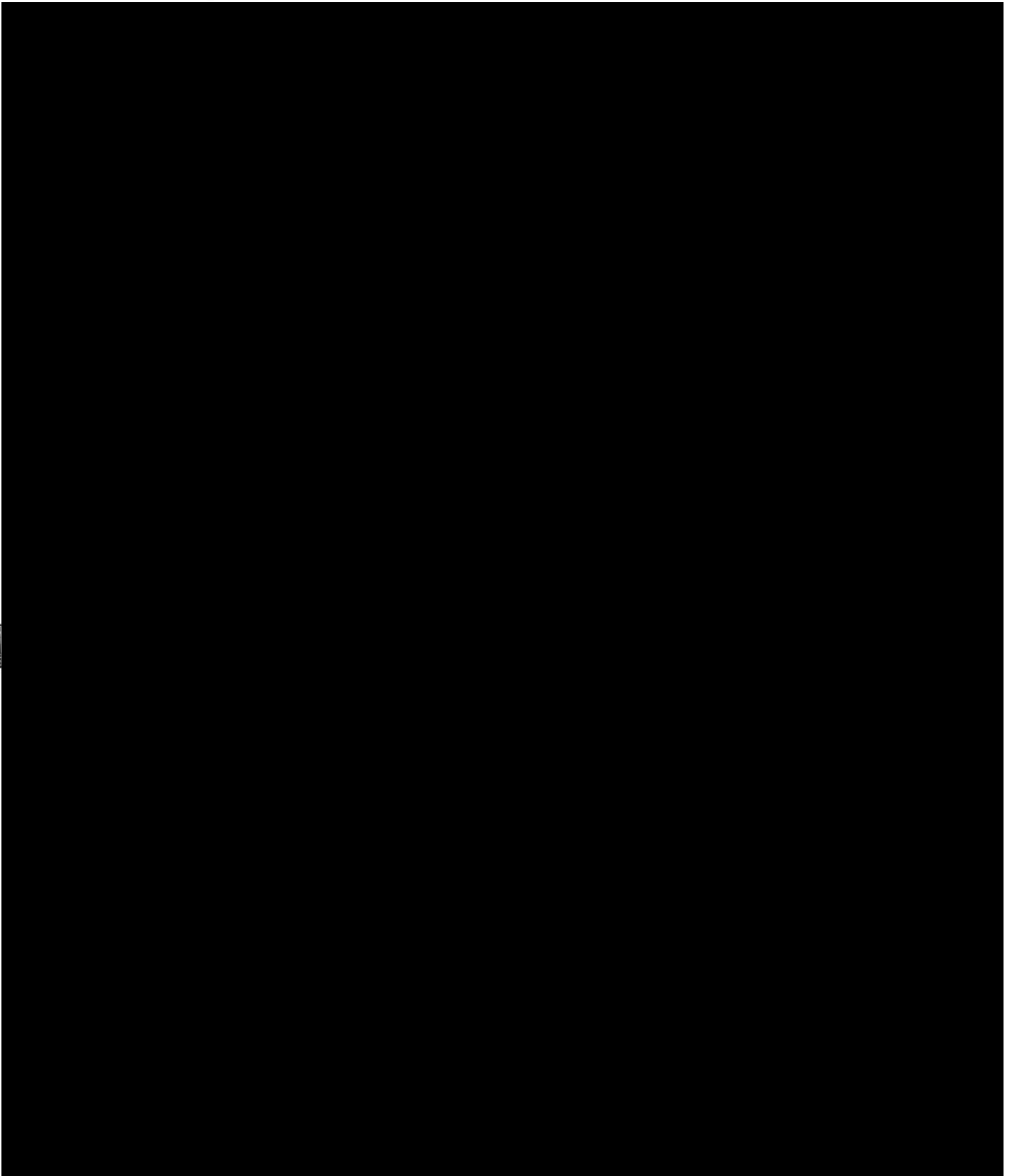




写真 2-1-6 Loc. ① パンプローナから北西15km（ズビリ）の道路沿いのフリッシュ層（砂泥互層）。20cmピッチの砂岩優勢互層で緩やかな波状褶曲を示す。



写真 2-1-7 Loc. ① 同上。拡大部



写真 2-1-8 Loc. ② パンプローナから北西20km（エロー）手前の道路沿いのフリッシュ層（砂泥互層）。10～20cmピッチの砂泥互層。



写真 2-1-9 Loc. ③ ロンゼスバイエス峠。デホン紀泥質起源黒色片岩。片理面は、
N10W/45Sを示す。変成鉱物として絹雲母イライトが認められる。



写真 2-1-10 Loc. ③ 同上。拡大部。



写真 2-1-11 Loc. ③ 北側の Quartzite の露頭。



写真 2-1-12 Loc. ④ ロンゼスバイエス峠を越えたオルドビス紀の泥質起源の千枚岩～片岩の露頭。



写真 2-1-13 Loc. ④ 同上。キンクを伴った変形が認められる。



写真 2-1-14 Loc. カンボの南東2 km。ニープ川沿いの先カンブリア紀の露頭。

～非変成古生層よりなる Axial Zone が分布し、ドーム状の隆起帯を形成している。ロンゼスバイエス峠付近ではデボン紀の泥質起源黒色片岩が観察され、片理面はN10 W/45 Sを示す。変成鉱物としては絹雲母、イライトが認められ、また、その北側露頭では Quartzite の露頭も観察できた（写真 2-1-9、10、11 参照）。

峠を越えたLoc. ④ではオルドビス紀の泥質起源の千枚岩～片岩が分布し、変成鉱物としては絹雲母、イライトが観察された。また、当露頭ではキンクを伴った変形が見られ、ヘルシニアン造山運動の構造を残している可能性が考えられる。

サン・ジャン・ピエドポール手前では地質図にオフィオライトの記載があり、ルート沿いを入念に観察したが、露頭は見つからなかった。

〔サン・ジャン・ピエドポール～カンボ〕（Loc. ⑤）

古生層および先カンブリア紀の基盤岩が北側に張り出したように分布しており、モラッセ堆積物に不整合に覆われている。カンボ手前では先カンブリア紀の基盤岩が分布しており、地形が緩やかで露頭が悪かったが、Loc. ⑤ではミグマタイトの露頭および河床砂礫には角閃岩の転石が確認できた。

〔カンボ～ビアリッツ〕

モラッセ堆積物が広く分布し、なだらかな丘陵地を形成している。露頭が悪く、人家も密集し、代表的な地質は観察はできなかった。

3) 地質構造

ピレネー山脈は西はスペインのカンタベリ山脈、東はプロバンス山脈に続く延長500kmを示す。地質はユーラシア大陸基盤とアフリカ大陸基盤の間での圧縮運動の結果、形成された褶曲山脈で古生層からなる Axial zone が隆起し、これを中軸に多数のスラストを伴い南北にひろがった対称的な構造を形成している（図 2-1-9、10、p.）。

これらの地質構造は以前、ナップによる押しかぶせにより形成されたものと考えられていたが、ピレネー山脈が隆起した時期に Gypsum を挟んだ三畳紀の地層がすべり

面となり、中生層、古第三紀層が Axial zone からグラビティースライドによりモラッセベーズン中にのり上げて形成されたと解釈されているようだ。

II. おわりに

今回の調査団は約2週間の行程であり、また最長 400kmのバスによる強行軍の視察であった。

しかし、得られた成果は多く、詳細に述べればきりがなく大きくは、

- ① ピレネーの地質、地質構造および自然を直に見ることができた。
- ② ヨーロッパ文化に親しみ見聞を広げることができた。
- ③ 調査団員との親交を深めることができた。

等があげられる。

最後になりましたが、この調査団を企画された応用地質学会関係各位、岡本会長、また、視察中、有益な御指導を賜った北村先生および調査団員各位に厚く御礼申し上げます。

2-1. (6) セントラルマッシフの地質 — エグゾンドム周辺を中心として —

許 成 基

Stille, H (1924) はヨーロッパの地帯構造を Ur-Europa (先カンブリア紀の変動が主として展開した地帯)、Palaeo-Europa (同カレドニア変動帯)、Meso-Europa (同ヴァリスカン変動帯) 及び Neo-Europa (同アルプス変動帯) の四つに区分した (図 2-1-1、p.)。

われわれが通過した Central Massif は Meso-Europa に属し、そこでは主としてヴァリスカン造山運動が展開している。ヴァリスカン変動は南北幅約 2,000km、西はアパラチア山脈に、東は天山山脈につづく雄大な造山帯である。

セントラルマッシフはフランスの地質図 (1/150万) によれば、変成カンブリア紀層と同シルル紀層及び時代を異にする深成岩類によって構成されている。セントラルマッシフ内はこれまで古生代の層序、堆積相、構造などからみて、カレドニア変動の影響はほとんど認められないといわれていた。しかし、近年、地域の深部構造帯では古期カレドニア変動があったことが指摘されている (Behr 1978)。又、フランスの北西部に広く展開しているアルモリカンマスの南側からセントラルマッシフにかけては先カンブリア紀末のカドミアン変動のあったことが知られている。

セントラルマッシフは、ドイツのハルツ山地などでデボン紀の地向斜、石炭紀のフリッシュ期の堆積作用が進行している時期にヴァリスカン変動の中心地帯として、深成変成作用 (高温低圧型変成作用) が活発に進行していた地域である。セントラルマッシフ (450km×330km) の構造単位はいくつかに細分されると思われるが大局的には巨大ドーム状構造をなしているとみられる。中心部は変成カンブリア紀層が占め、周辺部には変成上部シルル紀層が分布し、これに対し 400Ma (syn-Kinematic?)、340Ma (この大部分はアナテキシスによって形成された花崗岩である。これが本来の意味でのシンキネマティックな花崗岩と思われる)、280Ma (Post-Kinematic?) の花崗岩類及び先カンブリア紀～第四紀に至る時代の酸性火山岩類や塩基性火山岩類などが複雑に絡みあって分布している。

エグゾンドムはパリの南約 270km に位置する。地域を構成するのは変成上部シルル紀

層（地質図によればメソゾーンの變成作用をこうむった層が大部分で、これらの北側にエピゾーンの變成作用をこうむった部分が広がっている。更にこれを取りかこむようにミグマタイトが分布する）とこれを貫く 400Ma、280Maの花崗岩類及びハンレイ岩類である（図 2-1-26）。

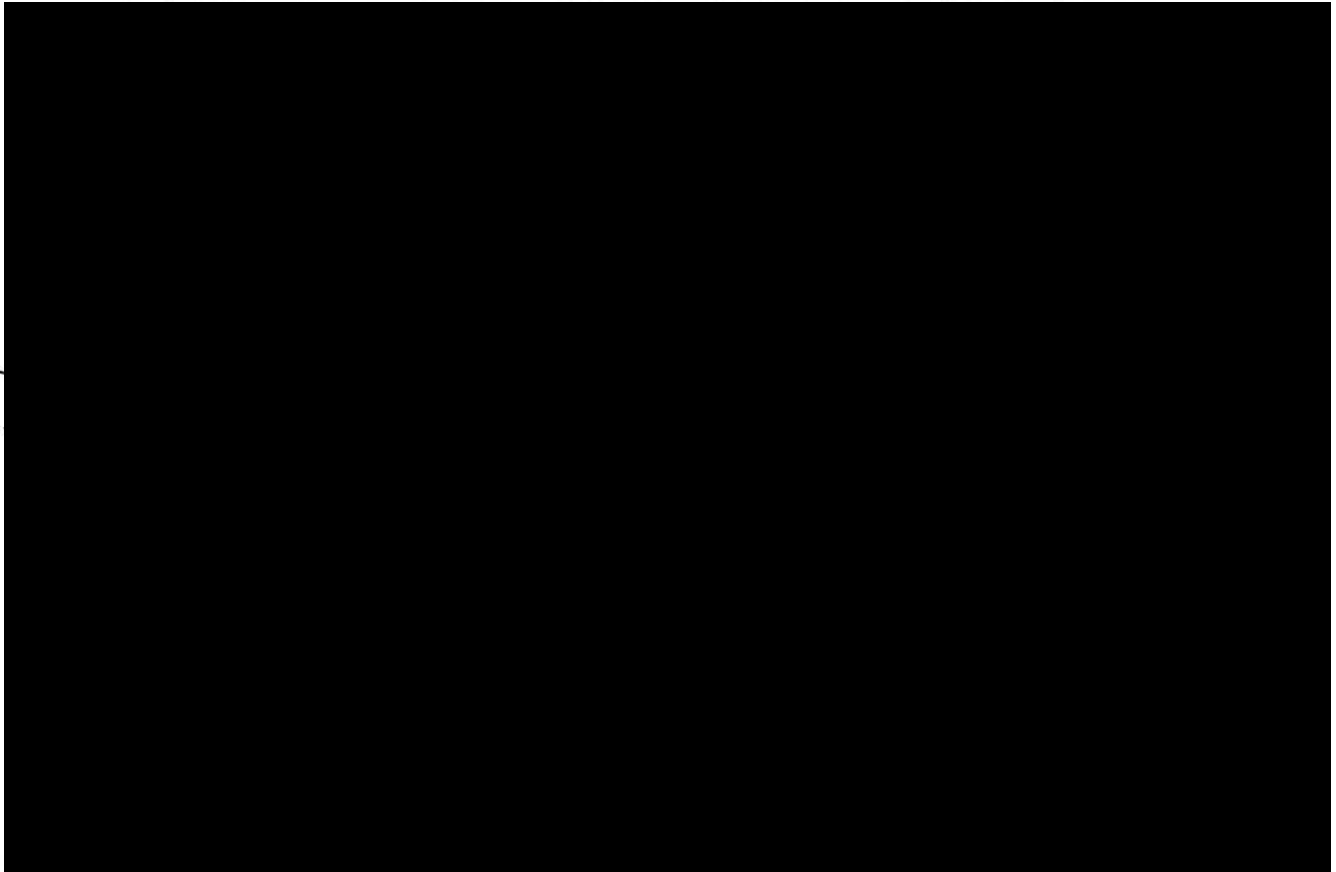


図 2-1-26 エグゾンダム周辺の地質（フランスの地質 1/150万より抜き書き）

エグゾンダムの基礎岩盤は、變成上部シルル紀層のおそらく片麻岩～片岩と思われるが、直接基礎岩盤を観察していないので詳細は不明である。ただ、ダム右岸のアバット付近の転石（現地性）とダムの3～400m下流右岸側の道路端の露頭から以下のような岩石が識別された（おそらくこれが基礎岩盤であろう）。

- ・ダム右岸アバットの転石…角閃石片麻岩

これは角閃石による強い定向配列が特徴的な岩石で $S_1 \sim S_4$ が識別された。

- ・ダム下流右岸側の露頭…これは崖高40～60mの直立した露頭である。

崖面のいたるところに矢印が付され何やらフランス語で説明らしきものが朱書されている。全体にヨーロッパでは標準層序や地質学的又は文化史的に重要な地点には説明書きがあるので、私はそれと思ったのである（例えば↑metamorphose… 地質やという人種の独断と連想はこれを何らかの変成相を説明するものと思いこんでしまうものであるが…）。ハンマーを振り回している我々を、土地の若者がオダヤカにしかし断固としてしかもフランス語で（当然か）、そこをたたいてはダメとたしなめる（勿論言語は解しないので雰囲気）。“これはロッククライミングのルート又は足場を示すものである…”と、だれそれが“このルートで登ハンしたのである…”と（写真 2-1-15、写真 2-1-16）。

それはさておき、この崖面はおそらく堆積岩を源岩とする高度の変成岩が層状に積成しており、見事な縞模様を形成している。これに淡緑色のエピドート、緑色のクローライト細脈が鋭角に入り、白色の石英脈、アルバイト細脈が縞模様に平行又は斜交して入っている。縞模様はかすかに粒径の相違が認められ、いわゆる grading を暗示させている。しばしば、この崖面には濃赤色のグロシュラー（？）らしい鉱物の細脈が層理面に直交して入っている（帰札して薄片にしたところ何とこれは石英 (bloody quartz) であった…というオソマツの一件もあったが）。

岩石の鏡下写真を写真 2-1-17に示す。

本岩は緑簾石の卓越する部分と角閃石の卓越する部分、角閃石と曹長石の卓越する部分が Layering しており砂質岩、泥質岩、凝灰質岩などが源岩として推定される（火成岩源ではない）高度な変成岩である。角閃石 Layerの角閃石は緑色～緑褐色のホルンブレンドで、アルバイトと共生する Layerの角閃石は青緑色を呈する。岩石の鉱物組成はしたがってアルバイト－エピドート－ホルンブレンドのいわば緑簾石角閃岩(epidote-amphibolite)ということになるが、縞状を呈し全体として不均質な岩相を示すことから、本岩は曹長石－緑簾石－角閃石片麻岩としたい。いづれにしてもヴァリスカン変動時に形成された高温型の変成岩といえる。

このような変成岩類が無造作にいたるところに出現するということは（ピレネー北麓のいわゆる non-metamorphic region もしかり）しかし驚異的な話ではある。

本邦に於いては上記のような岩相、岩質を示すものを探すのは大変で、これはある特



写真 2-1-15 (上)
クライマーの足場、ルート (metamorphose)

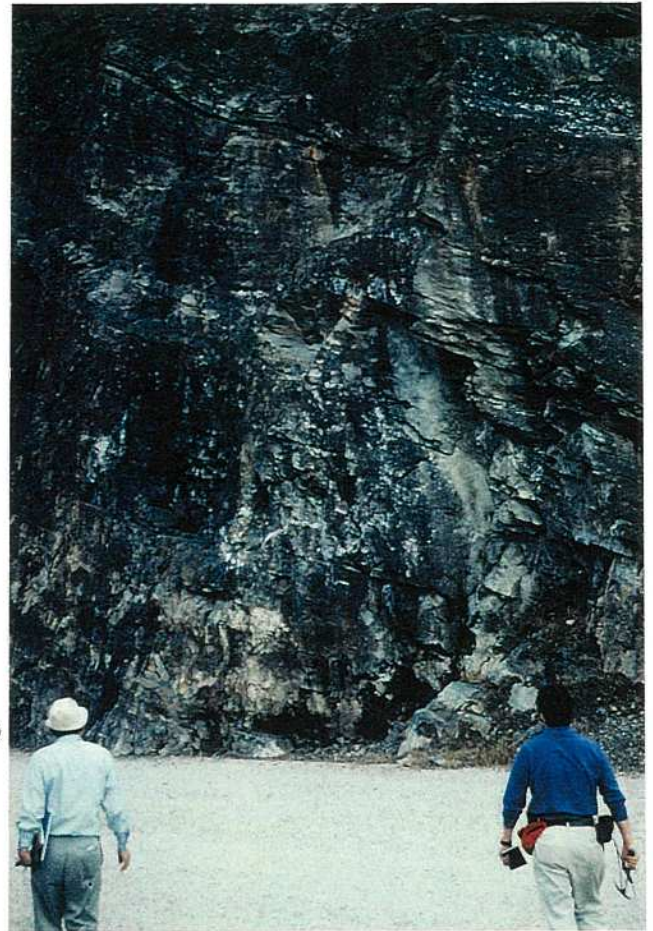


写真 2-1-16 (右)
メソゾーンの變成作用を受けた
曹長石-緑簾石-角閃石片麻岩のクリフ
左の人物 北村先生 右 情野氏

片理
↓

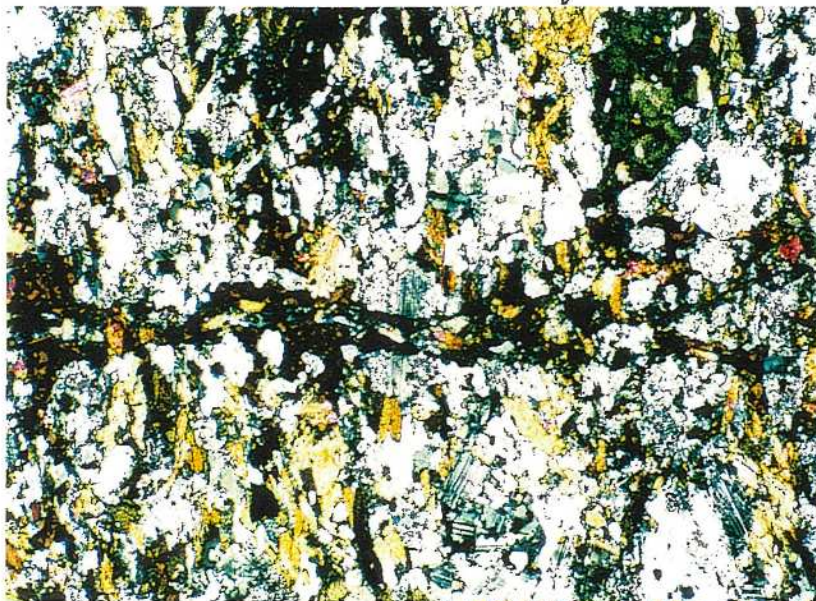


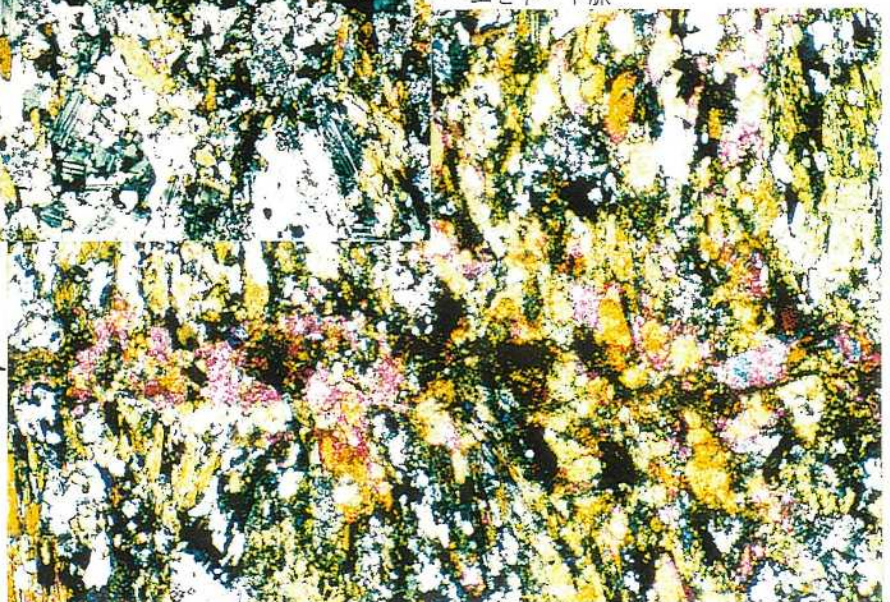
写真 2-1-17 鏡下写真

左 アルバイト - ホルンブレンダイト
下 エピドットレイヤー
両岩共に片理に直交する
エピドット脈がある。

0 2 mm

← エピドット脈

エピドット脈 →



片理

定の地域に偏在するだけである。しかるにヨーロッパでは遍在している！！

羨ましいというべきかそれとも大変なと同情すべきか筆者は言葉を知らない。

セントラルマッシフのヴァリスカン変動は一部の転石で認められたように少なくとも $S_1 \sim S_4$ の変形を受けていることは確からしい。これがヴァリスカン変動のみによるものか或いは先行するカレドニアンに重複した変形要素のあらわれであるのか、それとも後続のアルプスの変形作用をこうむった結果であるのか大いに気になるところである。いずれにしても、ナマイキを言わせていただければ、セントラルマッシフといういわば安定地塊内における構造運動の解明が必要なのではあるまいか？

本稿は今回のフランス、ピレネー地質巡検に参加された復建技術コンサルタントの小林俊樹氏に岩石標本の提供を受けて完成したものである。同氏にお礼申し上げる。

2 - 2. 構造物編

2-2. (1) エーブロ川の水収支から見たピレネー山脈の水資源

栢木智明・奥田公也

第3回応用地質学海外調査団で視察したスペイン側のオリアナダム、メキネンサダム、カネレスダム、ペーニャダム、イエサダムは、図 2-2-1 に示す集水域約 86,000 km²のエーブロ川支流に位置し、メキネンサダムを除きピレネー山脈を源流とする集水域持つダムである。目的は灌漑、発電などが主な目的となっている。

集水域面積	:	86,000 km ²
流路長	:	927 km
平均流量	:	600 m ³ /sec (流出高 220mm/年)
平均比流量	:	7 ℓ/sec/km ²

表 2-2-1 エーブロ川流域の諸元

エーブロ川概略水収支は、流域のほぼ中央に位置するサラゴサでの気象データ及びエーブロ川平均流量を基に概算すると表 2-2-2 に示す年間降水量 370.6mm/年、年間蒸発散量 831mm/年となり、蒸発散量のほうが降水量の約 2 倍多くなる。この地域の殆どは半乾燥地域であり、エーブロ川の平均流量600m³/sec (200mm/年) は、ピレネー山脈からの供給によるものと考えられる。

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計・平均
平均気温	6.7	8.2	10.8	13.3	17.5	21.0	24.3	23.8	20.7	15.6	10.0	7.0	14.9℃
平均降水量	25.2	18.9	32.6	32.7	43.6	40.7	18.4	21.8	32.8	38.5	30.1	28.9	370.6mm
平均蒸発散量	28	34	46	58	82	102	123	117	98	72	43	28	831 mm

表 2-2-2 サラゴサでの気象データ (1951~1980年の平均)

すなわちピレネー山脈周辺の供給量 (降水量P - 蒸発散量E) は、エーブロ川平均流量と蒸発散量から降水量を引いた水量との合計約 680mm/年が平均的に供給されているものと推定される。

$$220\text{mm/年} + (831\text{mm/年} - 371\text{mm/年}) = 680\text{mm/年}$$

オリアナダムは源流をピレネー山脈とする集水面積約 1,660km²のダムである。このダムの集水域に供給される水量（P－E）は、前述したピレネー山脈周辺の平均的な供給量（680mm／年）から算定すると約11億3千万m³／年となる。またオリアナダムの年間発電量（680mm／年）から算定すると約8億3千万m³／年となる。オリアナダムの貯水量は約1億m³であり、発電に使用する水量に比べて少ない。これはオリアナダムの集水域からの供給量が、上述したように発電使用量を上回る水量を供給しているためと言える。

以上の結果よりこの地域（スペイン北部のエブロ川流域）では、利用する水（発電、灌漑、その他水利用）の大半はピレネー山脈からの供給水量に依存しており、ピレネー山脈の存在が重要な水資源を確保しているものと考えられる。表 2-2-3～5 は、2-1.(3) 富重明彦氏と重複するが、本構造物編にも掲載させていただいた。

表 2-2-3 ダム型式 (%)

	重力式 コンクリート ダム	ロックフィル ダム	アーチ ダム	アース ダム	マルチプル アーチダム	その他
エーブロ川水系	68.0	9.7	4.0	13.1	—	5.2
ス ペ イ ン	66.0	10.1	4.6	15.1	0.3	3.9

(富重作成)

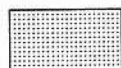
表 2-2-4 スペインにおける今回の視察ダム

	ダム名	完成年	目的	ダム型式	高さ (m)	総貯水容量 (×10 ⁶ m ³)	発電力 (MW)	地質
①	オリアナ	1959	灌漑・発電	AG	90	101	?	礫岩
②	カネレス	1960	発電	A	150	567	107	石灰岩
③	メキネンサ	1966	発電	G	81	1,534	324	泥灰岩
④	ペーニャ	1913	灌漑	AG	51	15	—	泥灰岩
⑤	イエサ	1960	灌漑	G	76.5	447	—	泥灰岩

(富重作成)

表 2-2-5 エープロ川水系主要ダム (ダム高60m以上)

ダ ム 名	完 成 年	ダ ム 型 式	ダム高 (m)	堤頂長 (m)	総貯水容量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	目 的
Fosse	1915	G	92.68	0.82	12.00	A, I
Talarn	1916	G	86.00	180.00	205.10	A, P
Camarasa	1920	G	103.00	145.00	163.40	P, W
Cueva Foradada	1926	G	65.00	112.60	26.28	A
Alloz	1930	A	66.80	74.40	84.26	A, P
Barasona-Joaquin Costa	1932~1972	G	65.50	99.00	92.20	A, P, W
Escalles	1955	G	125.00	200.00	152.37	P
Mediano	1959-1974	G	92.00	500.00	438.00	A, P
Oliana	1959	G	90.00	262.00	101.10	A, P
Canelles	1960	A	150.00	210.00	566.93	P
Cavallers	1960	B	70.20	360.00	16.05	P
Mansilla	1960	G	80.00	209.10	67.70	A, P
Tranquera	1960	G	80.55	225.21	83.70	A, P, W
Yesa	1960	G	76.50	398.00	446.90	A, P, W
Santa Ana	1961	B	60.00	292.00	45.00	P
González Lacasa	1962	G	70.50	316.22	32.92	A, W
Mequinenza	1966	G	81.00	451.00	1,533.787	P
Grado n.º 1	1969	G	130.00	959.00	399.00	A, P
Paso Nuevo	1969	G	72.60	195.00	3.40	P
Ribarroja	1969	G	60.00	565.00	206.88	P
Bubal	1971	G	90.00	195.00	64.25	A, P
Vadiello	1971	G	75.50	119.00	15.51	A, W
Ciurana	1972	G	62.55	274.40	12.46	A, W
Lanuza	1978	A	79.60	176.33	25.00	A, P
Calanda	1982	R	63.50	293.00	54.82	A
Baserca	1983	A	86.00	322.00	20.00	P
Llauset	1983	A	89.00	291.00	15.00	P
Sallente	1985	R	89.00	403.00	6.18	P



今回の視察対象ダム

ダム型式

A : アーチダム
G : 重力式コンクリートダム
R : ロックフィルダム
B : バットレスダム

目 的

A : 灌 漑
P : 発 電
I : 工業用水
W : 上水道

(富重作成)

2-2.(2) オリアナダム

栢木智明、奥田公也

1. 位置

ピレネー山脈の南麓を南東に流れる大河エーブロ川にレリーダの南西で合流する大きな支流がある。この支流は、さらに4つの支流に分かれており、これらの支流には多くのダムが築造されている。オリアナダムもその1つで、最も東方の支流である Segre川にあり、アンドラ公国より南南西に約50km下った所にある。

II. ダム諸元

- ・形式 重力式ダム（アーチ型）
- ・提高 102m
- ・提長 275m
- ・貯水量 101. 1×10^6 m³
- ・完成 1959年（フランコ将軍全盛期）
- ・目的 発電、灌漑、洪水調整
- ・その他 ダム下流面は階段状になっている。

堤体断面図を図 2-2-2 に示す。

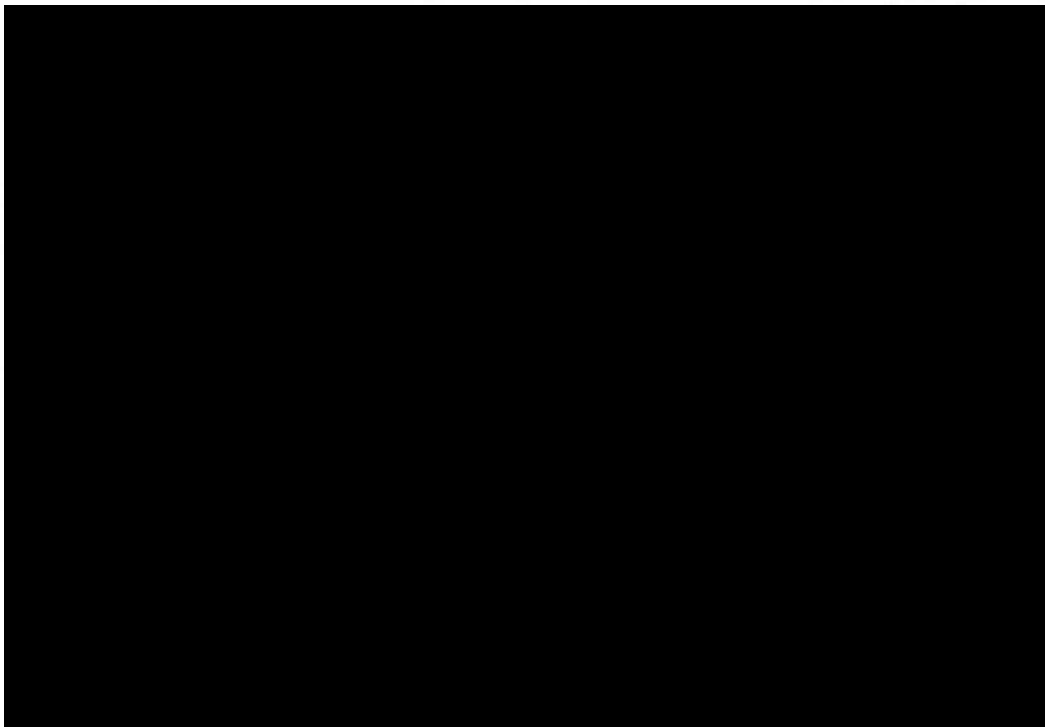


図 2-2-2 堤体断面図

Ⅲ. 地質について

当ダム周辺は主に石灰岩であり、露岩の多い急峻な地形を呈している。ダムサイトは地質図によると Eocene ～ Oligocene の地層が分布するとされているが、Cretaceous の地層の分布域に近く、写真 2-2-1 に見られるようにダムサイトから上流側に Cretaceous の石灰岩の大露頭が遠望される。ダムサイトには写真 2-2-2 に示すような礫岩が分布している。

この礫岩は礫種はほとんど石灰岩でソーティングの悪い円～亜円礫から成り、この供給源は Cretaceous の地層の分布域と思われる。そして、角張った礫が含まれることとソーティングが悪いことから Cretaceous の地層の隆起が始まってまもなく堆積した扇状地性の堆積物であると思われ、モラッセの最下部層に属するものと思われる。

Ⅳ. ダム建設上の問題点

当ダムでは貯水池内で岩盤の層すべりが発生したこと以外には、ダム本体に関する問題については特に公表されていない様である。しかしダム天端には追加グラウトの跡と思われるボーリング孔が見られたことから、漏水等何らかのトラブルがあったのかもしれない。(写真 2-2-3)

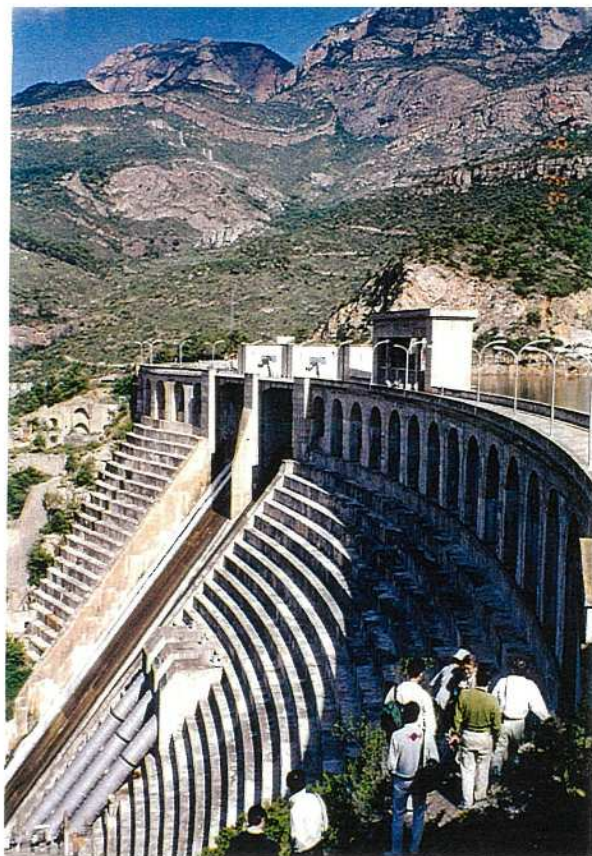


写真 2-2-1

全 景



写真 2-2-2



写真 2-2-3



写真 2-2-4
下流側全景



写真 2-2-5
堤 体



写真 2-2-6
銘 盤

2-2. (3)-1 カネレスダム

大 友 淳 一

はじめに

カネレスダムは、スペイン北東部、ピレネー山脈の南方に位置しており、石灰岩を基礎岩盤としたアーチダムである。

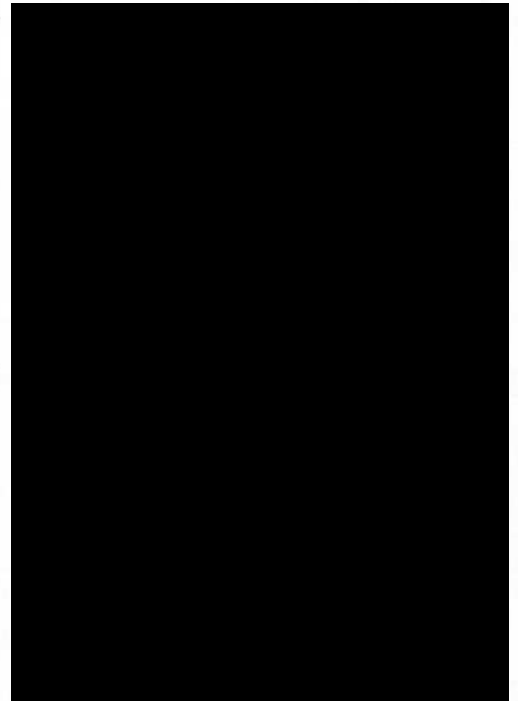
本ダムは建設工事終了後の湛水の過程で、漏水により初期の計画水位まで湛水する事ができないこと、および右岸アバット部の基礎岩盤の支持力が不足することが判明し、大規模な対策工事を追加して完成したダムである。

1. ダムの概要

カネレスダムの諸元は以下の通りである。

— 諸 元 —

目 的	: 発 電
河 川	: ノゲラ・リバゴルサナ川
形 式	: ア ー チ
堤 高	: 151m
堤 頂 長	: 203m
堤 体 積	: $333 \times 10^3 \text{ m}^3$
流域面積	: 1,628 km ²
湛水面積	: 1,569ha
総貯水量	: $688 \times 10^6 \text{ m}^3$
有効貯水量	: $560 \times 10^6 \text{ m}^3$



0 10 20 30 40 50 m

図 2-2-3 標準断面図

図 2-2-3 にカネレスダムの標準断面を、また写真 2-2-7 に本ダムの全景を示す。

ダムの建設は1957～1960年にかけて行われた。湛水開始後、漏水（約 $8 \text{ m}^3/\text{sec}$ ）により、計画満水位（EL. 506m）から41m下（EL. 465m）までしか水位が上がらなかった。さらに、右岸のアバット直下流の岩盤中に開口性の節理が多数発達しており、地形的にも下流側で谷が開く形であることから、基礎岩盤としての支持力の不足が懸念された。



写真 2-2-7

カネレスダム全景



写真 2-2-8

カネレスダム貯水池

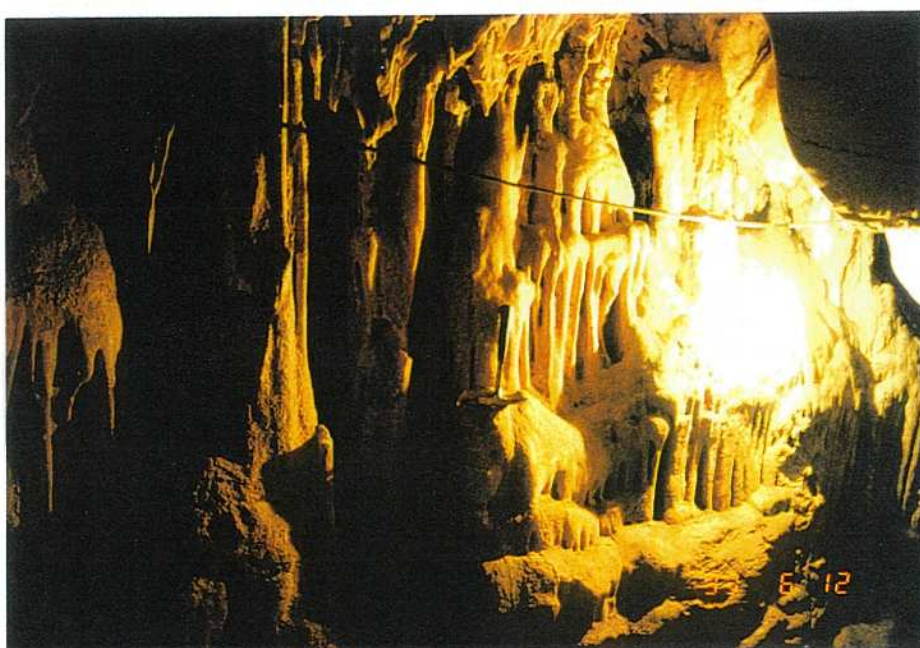


写真 2-2-9

左岸部の鍾乳洞

II. ダムサイトの地質状況

- 1) ダム周辺には、上部白亜紀の石灰岩を主体とした地層（C₂層）が分布している。

本ダムは、ダム軸より約1km下流側においてピレネー山脈方向（E-W方向）の軸を有する大きな背斜構造の北翼部に位置している（図 2-2-4）。

- 2) ダム軸付近の地質状況は以下の通りである。

ダム軸付近には石灰岩層が分布している。この石灰岩層の下位には泥灰岩層が、また上位には砂岩と泥灰岩の互層が分布するが、これらはいずれも不透水層である。

このうち石灰岩層には、漏水の最大の原因となる鍾乳洞（特に“黒い鍾乳洞（CUEVA NEGRA）”と“亀の鍾乳洞（CUEVA TORTUGA）”の2つが規模が大きい）が発達している（写真 2-2-9 参照）。

- 3) ダム軸両岸のアバット付近に分布する石灰岩層には、次のようにいくつかの系統の節理が発達している。

a. 右岸部アバットに発達する節理	間隔
・ N50° W43° N	10m
・ N47° W90°	5 m
・ N85° E65° S	25m

b. 左岸部アバットに発達する節理	間隔
・ N50° W43° N	10m
・ N47° W90°	5 m
・ N50° E47° S	18m

N50° W43° Nの節理は層理面と同方向の節理である。また、N47° W90° の節理は発達頻度が最も高く、ときに最大幅25cm程度の粘土を挟むことがある。

III. 対策工事について

- 1) 左岸部の止水対策は次の過程を経て行われた。

漏水は左岸およびダム直下流部で多く、約8 m³/secに達しており、これは石灰岩中の節理、特に鍾乳洞の止水処理が不十分なためであったことから、ボーリング調査及び横坑調査を実施して、石灰岩層の分布と不透水層である砂岩層、泥灰岩層の分布を調べるとともに、トレーサーを用いた地下水調査を実施して、湧水箇所、湧水量等を把握した。

これらの調査結果を踏まえて、ダム下流側から3段（EL. 380, 450 及び510m）の

グラウチングトンネルを掘削し、ここから下位の不透水層である CALIZA GRIS 層 (BLACK MARLY LIMESTONE 層) に向かって、カーテングラウト (削孔長: 275,000 m、グラウト範囲: 238,000 m²、注入量 320 kg/m²) を実施した。さらに、グラウチングトンネルから貯水位標高以下に分布する鍾乳洞 (主として“黒い鍾乳洞”と“亀の鍾乳洞”の2つの鍾乳洞) の充填を行った。

その結果、漏水量は 100 l/sec以下に減少し、また水位は満水位から12m下 (EL. 494m) まで上昇した。なお、1989年の水位は、満水位から 5 m下のEL. 501mまで上昇している。

2) 右岸部の基礎岩盤対策は、次のように行われた。

岩盤の節理等の不連続面の調査および岩盤の変形・強度特性を調べるための試験を実施した。これらの調査結果をもとに、ISMES (イタリアにあるダムモデル・構造物実験研究所) において模型実験および安定解析を行い、対策工の検討を行った。

その結果、基礎岩盤の支持力の補強については、右岸下流側に約 100,000 m²のコンクリート補強壁を新たに打設し、PSケーブル群によるアンカー工を実施する事によって対応した。

一般に石灰岩は比較的均質・堅硬であり、強度的にはコンクリートダムの基礎岩盤として可能であることが多い。しかし、石灰岩の場合、地表ではほとんど気がつかない割れ目でも、地下ではその延長が大きな空洞 (鍾乳洞) を形成していることも多く、また、割れ目に沿って粘土等の挟在物がかなり地下深くまで存在する場合もある。

このことから、石灰岩地帯にダムを建設する場合、ダム基礎・貯水池とも一番問題になるのは、地下空洞からの大量漏水である。

カネレスダムの場合、上記の対策工事は発電用の最低水位を保ちながら行われており、対策工の完成までの担当者の苦心がしのばれる。また、石灰岩地帯にダムを建設する際の慎重な地質調査・地下水調査の重要性をあらためて感じた次第である。

2-2. (3)-2 カネレスダム

川 中 悦 雄

カネレスダムは、スペイン北東部に位置し、ピレネー山脈の南部を水源として流下しエープロ河（平均流量 $31\text{ m}^3/\text{s}$ ）に合流するノゲラ・リバゴルサナ川に建設された高さ 151 m の2曲率アーチダムで、工事は1958年から1962年にかけて行われており、日本の黒部ダムとほぼ同時期に完成している。



図 2-2-5 平 面 図

貯水池は $678 \times 10^6 \text{ m}^3$ の容量で、 $120,000\text{ KVA}$ の出力を有する主に発電を目的としたダムである。ダムサイトは、カルスト地形を成す上部白亜期の膨大な石灰岩層の中の、本川により侵食されてできた大峡谷に位置している。

我が国でこのような岩盤をダム基礎とした例は少ないが、一般的に石灰岩は、強度の点ではかなり大きなキャパシティを持ち有用であるが、コンクリートダムの基礎岩盤としては、ダムの本義的な水を貯めるという機能に重大な障害を与える溶蝕空洞や割れ目を内在することが多い。

当ダムでは、この理由から将来的に問題が生じる可能性があるとの懸念は当初よりあったものの、逼迫する電力事情、ノゲラ・リバゴルサナ川流域の灌漑上の必要性から建設に踏み切ったが、完成後湛水の過程でこれらに起因する2つの問題が生じ大規模な追加工事を余儀なくされている。

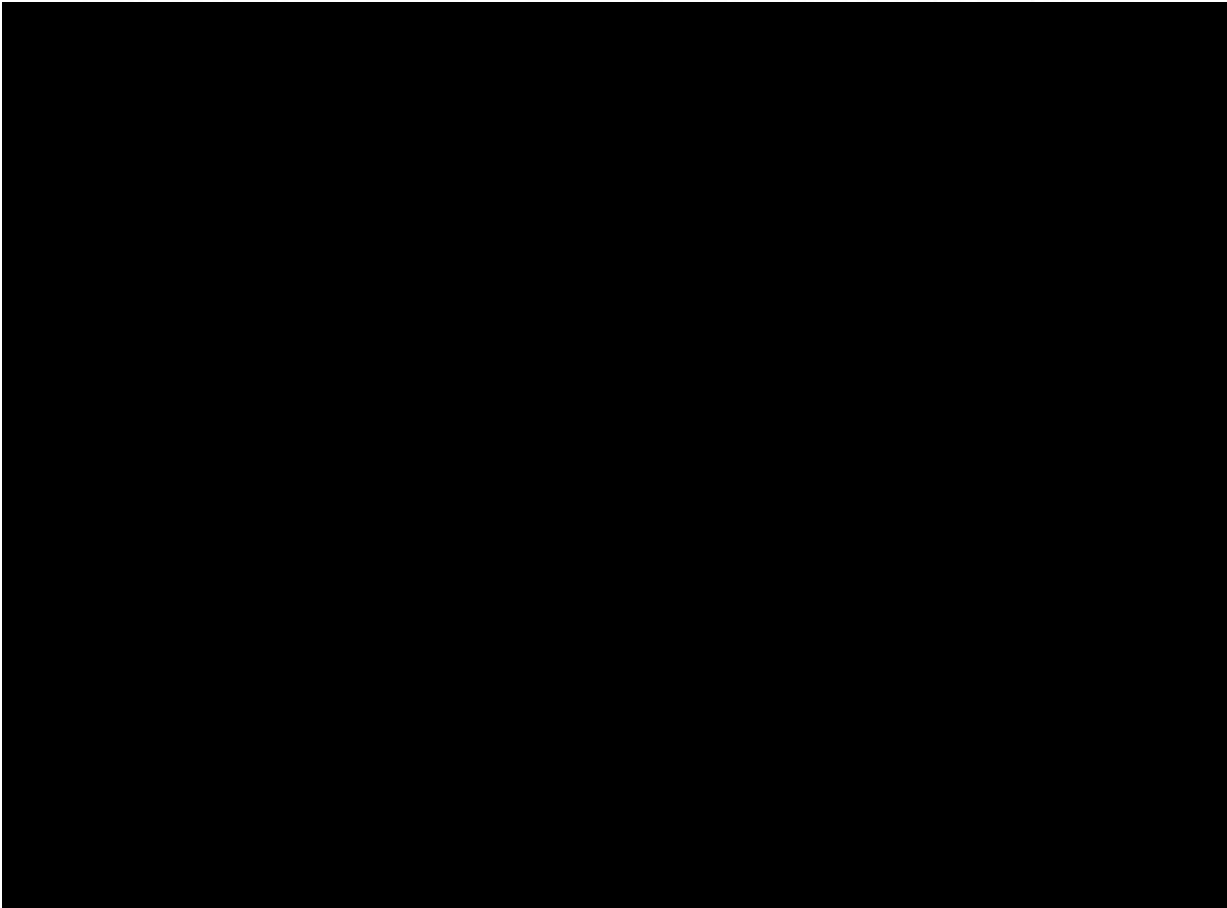


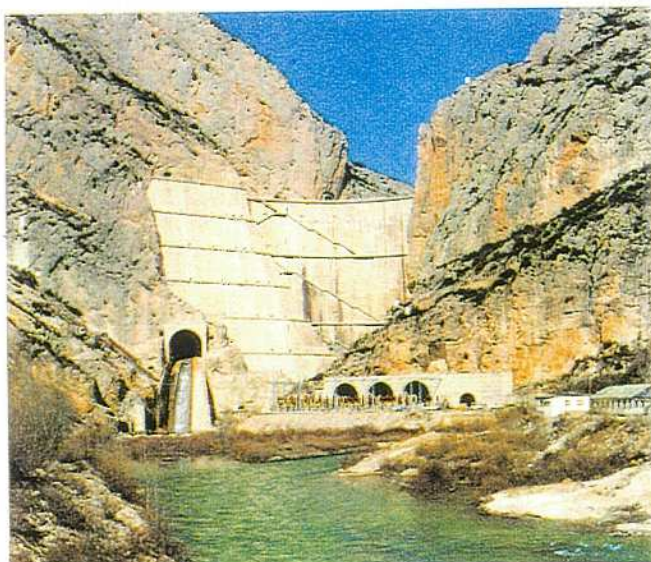
図 2-2-6 カーテングラウト図

まず1つ目は、左岸部で石灰岩特有の多くの節理、鍾乳洞からの $8 \text{ m}^3/\text{s}$ におよぶ漏水が生じている。これに対しては、 $238,000 \text{ m}^3$ のカーテングラウチング、鍾乳洞へのグラウトの充填を行い、漏水量を 79 l/s にまで抑えることに成功している。カーテングラウチングは、確実性、経済性を詳細に検討し、図 2-2-6 に示したような3段のグラウトトンネル($B4.00 \times H3.50 \text{ m}$) から実施している。また浸透水を回収する目的で施工されたドレーンは、岩盤が石灰質で目詰りする危険が高いことから、将来的にも清掃が可能な

ようにグラウトトンネル間で接続している。

2つ目は、右岸アバット直下流で多量の漏水が生じ、調査の結果基礎岩盤部で多くの節理が発達し、節理は下流側を開く傾向となっていることから、岩盤支持力に不足が生じている。これに対応するため、下流側に10万 m³に及ぶ継足の補強壁、アーチスラストの影響の及ばない深部までアンカーをとったP Cケーブル群の設置を行っている。(図 2-2-7)

現地では、時間的な制約からダム天端よりの見学となったが、当時、追加工事は発電用の最低水位を確保しつつ実施するという条件の中で行われており、地形的な要因を含めて工事の計画、実施、完成に至るまでの作業が非常に困難なものであったと想像される。また、貯水位以上の標高に残された鍾乳洞は、約3×4 m程の断面があり石灰岩のもつ潜在的な恐さを感じさせた。



Vista general

図 2-2-7 右岸継足補強壁工

2-2. (4) メキネンサダム

尾崎幸忠・新見 健・坂之井和之

はじめに

メキネンサダムの視察は、6月12日土曜日の午後（現地時間）、約1時間にわたって行われた。本ダムは、古第三紀漸新世（Oligocene、3,000万年前）の堆積岩に築造された大規模重力式コンクリートダムで、完成間際になって基盤岩に挟在される強度の弱い薄層の存在が問題視されて、設計見直しを実施したダムである。

本報告は、事前の国内での収集資料と現地視察、および視察当日が土曜日の午後にもかかわらず案内をして頂いた当ダム監視員 Baldillou氏の説明、をもとに記述されている。資料提供や現地説明などして頂いた関係者の方々に感謝する次第である。

I. 位置

メキネンサダムは、ピレネー山脈の南、スペインのバルセロナとサラゴサの中間点付近のエーブロ川にある。エーブロ川はピレネー山脈の西端に源を発し、スペインを東西に横断し地中海に注ぐスペイン第一級の河川である。メキネンサダムは、この川の河口より約130km 上流にあり、下流から数えて2番目のダム（ちなみに最下流のダムはFayon ダム）となる。

II. 地形・地質

メキネンサダム周辺は、標高100m～200mのなだらかな丘陵地形を呈する。エーブロ川はこの丘陵地帯を約400mの川幅で蛇行しながら、ゆったりと流れている。ダムサイトは、兩岸とも約40°の丘陵尾根がせり出したところに位置する（写真 2-2-10）。

基盤岩は、古第三紀漸新世（Oligocene、3,000万年前）の石灰岩、マール、褐炭および石膏からなるリズムックな水平互層からなる。石灰岩、マールが2～3m、褐炭層が約50cm、石膏層が約20cmの層厚をもち、全体として4～5mの堆積サイクルが認められる（写真 2-2-13）。

石灰岩およびマールは、比較的塊状で強度も一軸圧縮で150kgf/cm²前後と推定される。

一方、褐炭層は層状で、地表露頭ではハンマー打撃により簡単に碎ける程度の脆さで見受けられる。また石膏層は透明な結晶が密集した薄層をなしており、褐炭層と同様に脆い（写真 2-2-12）。

Ⅲ. ダム概要

メキネンサダムは、Ribagorzana 水力発電公社による発電ダムである。ダム概要を表 2-2-6 に示す。

表 2-2-6 メキネンサダムの概要

ダム型式	重力式コンクリートダム
ダム高	77.4 m
堤頂長	451 m
ダム体積	110 万 m ³
貯水容量	15 億 3 千万 m ³
発電容量	31 万 kW
ダム工事着手	1958 (昭和 33) 年
発電開始	1966 (昭和 41) 年

Ⅳ. 建設上の問題点と対策工

メキネンサダムは、工事着手時にはこの程度の高さのダムとしては充分な基礎岩盤強度を有すると考えられていたが、完成間際になって、薄層として挟在される褐炭層の強度（特に滑動に対する強度）に疑問が生じて、岩盤試験を行うとともにその結果に基づいてダム形状変更が行われている。

1) 岩盤試験

疑問の持たれた褐炭層を対象に行われた原位置剪断試験は、スケール効果を考えて、現場供試体寸法を 0.5×0.5m、1.0×1.0m、2.0×2.0m および 4.0×4.0m と変えて実施されている。試験結果はスケールによって大差なく、次のような剪断強度が得られた。

内部摩擦係数 $\tan \phi = 0.6 \sim 0.7$

粘着力 $0.5 \sim 0.7 \text{ kgf/cm}^2$

この結果と湛水に伴う揚圧力を含めたダム安定計算によれば安全率が不十分であることが判明し、以下のような対策工が検討された。

2) 対策工

対策工として以下の3案が考えられたが、最終的には安定計算と模型実験により第

③案が採用された。

① ダム下流面からグラウンドアンカーを設置する案

- ・工事費が高い。
- ・褐炭層の変形によるクリープ沈下のため定期的な追加引張が必要。

② 堤体の下にキー（歯形構造物）を設置する案

- ・キー周辺に応力集中が発生。
- ・完成間際の堤体基礎を掘削することになり施工困難。

③ 堤体下流に垂直キーと水平エプロンからなる逆L字形コンクリート構造物を設置し同時にカーテングラウトとドレーンを設置する案（図 2-2-8 参照）

第③案は、計算による安全率が $R=3.76$ 、模型実験によるそれが $R=4.23$ となり、現実的な施工も可能であった。

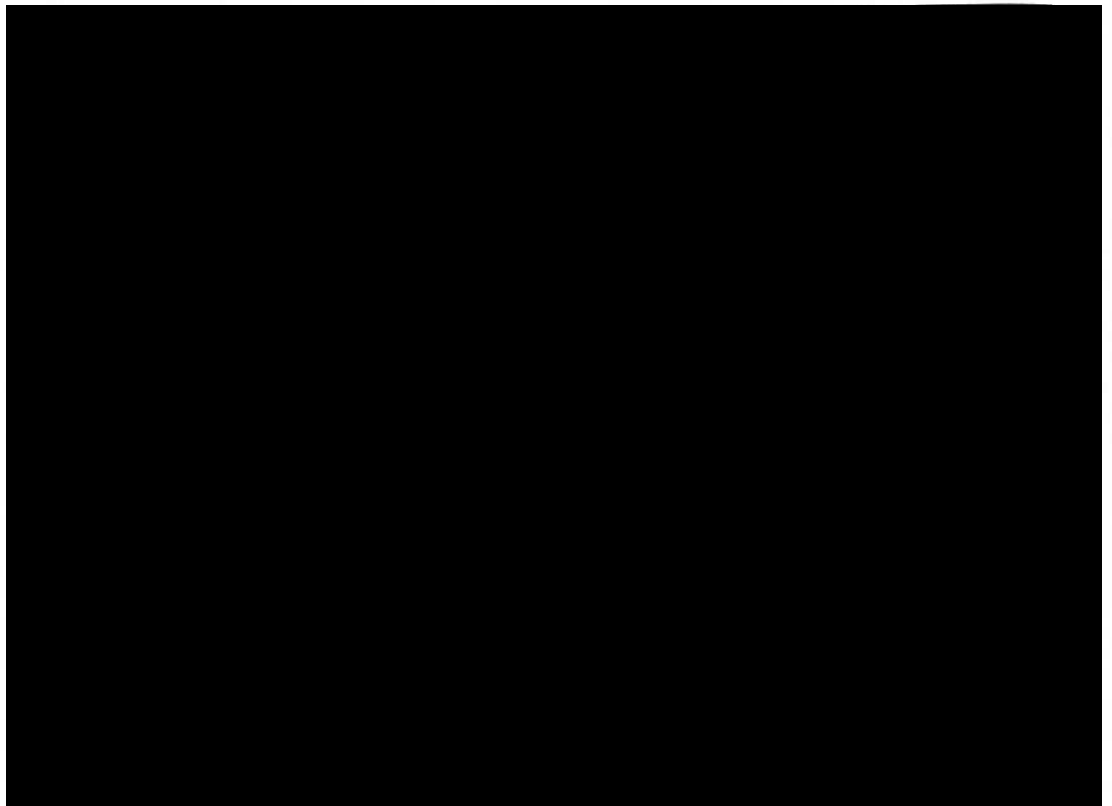


図 2-2-8 メキネンサダム対策工

編み目の部分が補強された逆L字型コンクリート



写真 2-2-10 メキネンサダム全景



写真 2-2-11 ダム監視員 Baldillou氏を囲んで説明を聞く団員

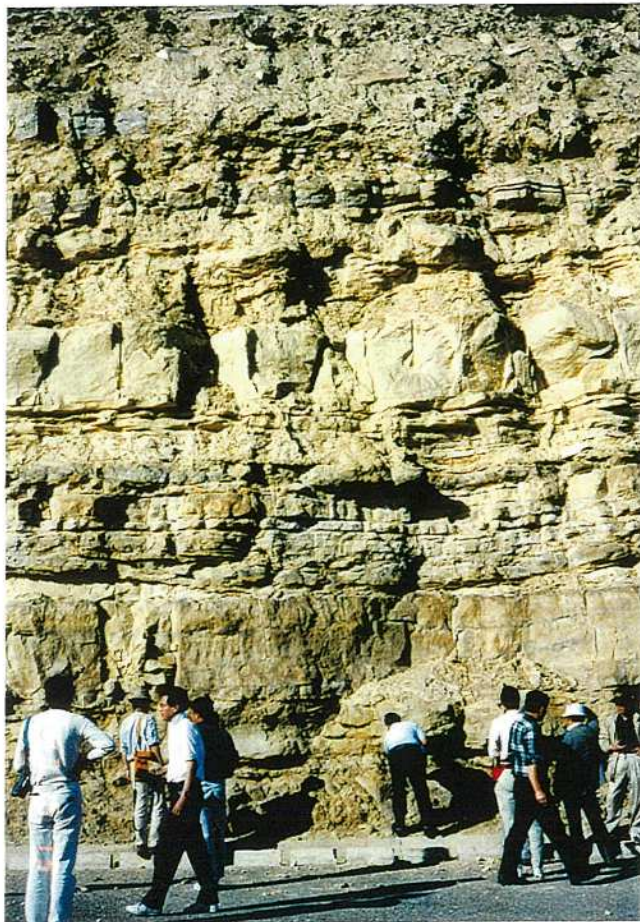


写真 2-2-12 (上) 石膏の薄層

(中央の層状部)。透明な結晶集合層とっている。

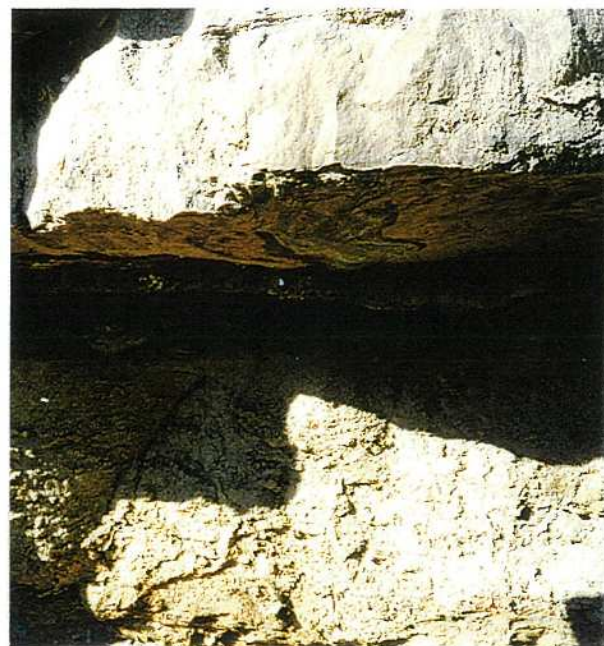


写真 2-2-13 (左) ダム左岸の露頭

塊状岩盤が石灰岩、マールで、暗灰色の薄層が褐炭層。



写真 2-2-14 (上)

写真 2-2-15 (左) ダム中央の越流部と非越流部の間にできたクラック。ダム背面から天端へと続いている。

v. 視察状況

上記のような対策工を施したダムは、無事湛水もできダム基礎の大きな滑動も起こしていない。ただし、現応用地質学会の岡本会長の報告（土木技術資料22-8、1980）にあるように、1979（昭和54）年時点では、ダム中央の越流部とその左岸側の非越流部の間に不同沈下と横ズレによる施工ジョイント沿いのズレ（約15cm）が生じて漏水が発生し、その対策としてジョイントと水平打継目の充填接着工事が行われた。

今回の視察当日、貯水池はほぼ満水位に近く、満々と水を湛えた湖が見られた。越流部と非越流部の間の充填接着工事も効果を発揮しているようで、ほとんど漏水は無くなったようである。ただし、ダム天端および背面の該当箇所には相変わらずクラックが見られるし（写真 2-2-15）、ダム前面にもクラックとそこからのわずかな漏水を頼りに生える草が認められる（写真 2-2-16）。

現地説明をして頂いたダム監視員 Baldillou氏によれば、漏水問題は無くなった、とのこと。写真 2-2-16 で見られる程度の漏水は気にしていない模様である。



写真 2-2-16 天端からダム前面を見下ろす。
クラックに沿って生える草とわずかな漏水が見られる。

おわりに

メキネンサダム視察は、軟弱な薄層を挟在する岩盤の強度設定の難しさを改めて思い知らされるものであった。スケール効果も考慮して、最大4m四方もの原位置セン断試験が実施されたのには驚かされる。

もう一点印象に残ったのは、ダム監視員 Baldillou氏との話の中で感じたものである。すなわち、Baldillou氏によれば、ダム前面の逆L字形コンクリート構造物は、越流による洗掘防止を目的としたものであるとのこと。Vallarino & Alvarez (Water Power, March 1971) などに見られる通り、基礎の滑動の懸念からこの対策工が実施されたのだが、年月が経ちダムの保守段階となると、経緯の伝承も困難になるのかも知れない。誤った認識では重大事故発生時の初動動作を誤る可能性もあるので、技術情報の確実な伝達によってこのようなことの無いよう気を付けねば、と感じさせられた。

15億3千万 m^3 という途方もない容量の貯水池を作りだしたダム。このダムが今後とも本体基礎の滑動が無いことを、そこまでいかないうちでも充填接着工事部の劣化による漏水の増大が無いことを祈りたい。

1. 地 形 ・ 地 質

第3回海外調査の中では、メキネンサダム、カネレスダム、イエサダムなど基礎岩盤やダム本体に興味がそそがれるものを主体に見学したが、当ダムの事前の資料も無かったことから大きな問題点はないものと考えていた。しかし、実際にダムサイトに立つと、大きな集水面積によるトンネル洪水吐、河床部の小山の利用、石灰岩の処理等参考にすべき点が多くあった。

当ダムは、サラゴサの北方約80km、エープロ川の支流 Gollego川に築造されたものであり、地質的には South Pyrenean zone に属す Eocene の地層からなるとされている。

South Pyrenean zone は、Gypsum に富んだ三畳紀の地層が滑材的な作用をし、三畳紀以降の Mesozoic から Paleogene の地層が Axial zone から滑り落ちるように移動して、その先端が南に向かって Thrust したり Folding した地質帯と解釈されている。

現地で確認された地質は比較的層理の発達した Calcareous rock 或いは Limestone であり、EW, 70N（ほぼダム軸方向の走向で上流落ち）の構造となっており、層理沿いにはレンズ状に溶解空隙が認められた。ダム基礎岩盤としては、この空隙の分布確認と止水処理が課題であったろうと思われる以外は、水平的な地質構造でもなく、岩片も硬質なことからダム安定上、あるいは強度的な問題はなかったものと推測される。

なお、ダムサイトにおける変動の大きな地質構造は、前述したように、三畳紀以降の Gravity Slide による Thrust や Folding において形成され、その極く一部を見てきた訳であるが、集水域に入って Oligocene の地層分布域においても同様に変動が大きく、Neogene 以前まで続く長周期の構造運動が見えたような気持ちにさせてくれた。

II. ダム の 特 徴

ペーニャダムの諸元は表 2-2-7 に示すが、完成が1913年とかなり古いダムである。

表 2-2-7 ペーニャダム 諸 元

河 川	FBRO川支川 GALLEGO 川
所 在 地	Hesca 県
集水面積	約 2,000km ² (40万分の1 地形図で測定)
ダムタイプ	重力式コンクリートダム (アーチ形状、表面石張り)
ダム 高	主ダム; 59 m 副ダム; 28 m
堤 頂 長	主ダム; 112 m 副ダム; 約70 m (目測)
堤 体 積	主ダム; $33 \times 10^3 \text{ m}^3$ 副ダム; ?
総貯水容量	$25,000 \times 10^3 \text{ m}^3$
目 的	灌漑用水
洪水吐	トンネル
所 有 者	Sindicate de Rigos
設 計	S. Bello
建 設	?

視察当日は晴天に恵まれたが、ピレネー下ろしの冷たい風があり、氷河から流れ下った白濁した水は大きく波立っていた。

本ダムの特徴は次のようなものである。

- ・ ダム形式は重力式コンクリートダムであるが、平面曲線を採用しており、ローマ時代からのアーチの伝統を残している。また地形の特徴として、河床部に堅硬な岩柱がそびえていることから、これを利用したダブルアーチ形状となっていることである。日本では大倉ダム (東北地建) がダブルアーチであるが、巨大なスラストブロックを有しており、ペーニャダムではこの役割を自然岩盤が受け持っている。

- ・ 洪水吐は右岸に設けられた10条程のトンネルによっている。また、中央の岩柱の中にもトンネルが設けられており、余水吐きとなっているようである。これはスキージャンプ形式となっており、虹がかかっていた。

本ダム以外でも、トンネル洪水吐は非常に多く日本との伝統の違いを感じた。



写真 2-2-17 右岸上流のトンネル洪水吐呑み口ゲート。



写真 2-2-18 同上。トンネルは素掘り。



写真 2-2-19

副ダムおよび右岸アバット
溶食空洞が認められる

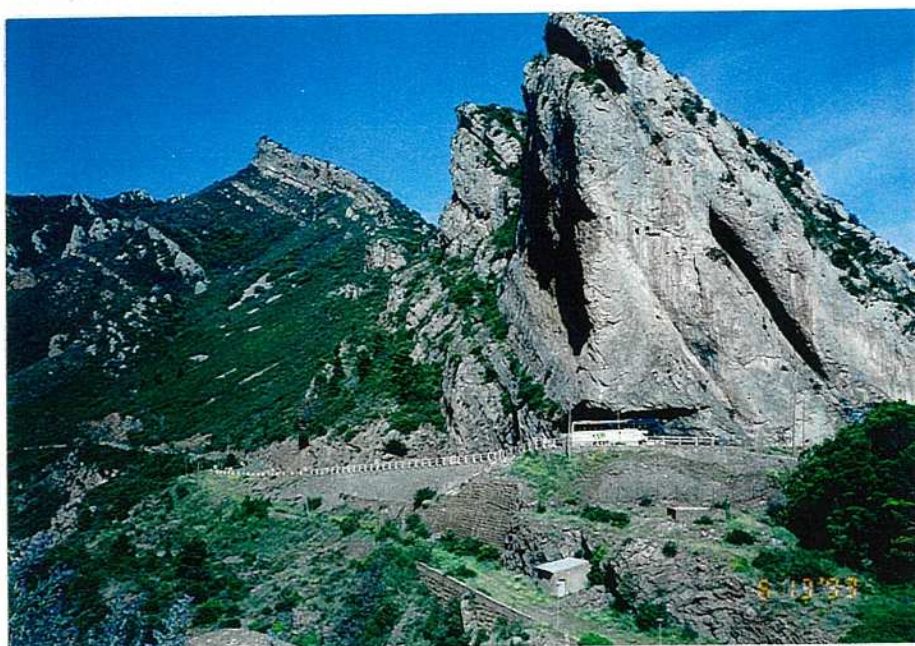


写真 2-2-20

右岸の山体。
背斜軸の北翼。



写真 2-2-21

右岸下流から見た主ダム

2-2. (6) イエサダム

橋 本 修 一

I. 位 置

イエサダム (Yesa dam) は、スペイン北東部のナバラ県の県都パンプロナ (イルニエア) から東南東に40km余りのアラゴン川中流に位置 (北緯約 $42^{\circ} 35'$ 、西経約 $1^{\circ} 10'$) する。

なお、アラゴン川は、ピレネー山脈に源を発する川で、ダムの60kmほど下流 (南西方) でエプロ川に合流した後、南東方に 280km程流れ、地中海に注ぐ。

II. 地 形 、 地 質

ダム周辺の地形は、北方および南方に 1,000m級の山地 (Leyre 山地及び Peña 山地) があるが、それほど迫っておらず、全体的に緩やかな地形となっている (写真 2-2-22)。

ダムの東方約50kmのハカ (Jaca) からダムに至るまでのアラゴン川沿いに分布する地層は、ほぼ水平の泥岩優勢の砂岩泥岩互層である。泥岩部はスレーキングにより細片状～砂状、一部では泥状になっている。

これらは南ピレネー帯に属する古第三系始新統で、いわゆるタービダイト相を示しており、ピレネー山脈東部の石膏を挟んだ石灰岩を主とする陸成相とは異なっており、西方に向かって堆積した海が次第に深くなっていることを示している。

なお、ダム湖北方の Leyre 山地には断層で持ち上げられた白亜系の石灰岩が分布しているのが観察される (写真 2-2-24 上部)。

ダムの基礎岩盤となる地質は上述の始新統で、ダムの右岸側にはほぼ水平ないしやや下流側に傾斜した砂岩泥岩互層が露出する。全体に風化しているが、砂岩はやや石灰質でソールマークが認められる。泥岩部はスレーキングのため細片状となっている (写真 2-2-23)。

ダム堤体より約 1 km西側 (下流側) では、層相はさらに砂岩優勢の砂岩泥岩互層に変化する。

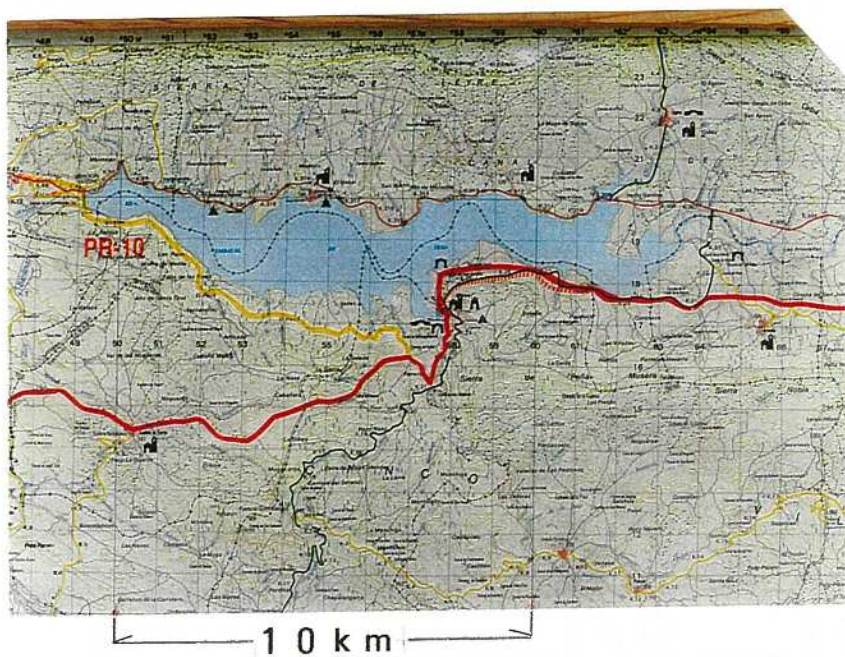


写真 2-2-22

イエサダム近くの地形
状況を示す案内板



写真 2-2-23

堤体中央部から右岸側
を望む



写真 2-2-24

ダム下流側・右岸側を
望む。後方の白い尾根
は白亜系の石灰岩

Ⅲ. イエサダムの概要および特徴

1) 諸 元

諸元の概要を表 2-2-8 に示す。

表 2-2-8 イエサダム 諸 元

竣 工 年	1 9 6 0 年
型 式	コンクリート重力式
目 的	灌漑、水供給、発電* ¹
堤 高	7 7 (m)
堤 頂 長	3 9 8 (m)
堤 体 積	4 8 0 (10^3 m^3)
湛 水 面 積	1, 9 0 0 (ha)
貯 水 量	4 7 1 (10^6 m^3) * ²
余水吐容量	3, 0 0 0 (m^3/s)

*¹目的は、ほとんどが灌漑であり、後述のように発電量はほんのわずかと見られる。

*²M. Alonso Franco and J. Yague Cordova (1992)

The development of dam construction in Spain.

Water Power & Dam Construction. Sep. p.25 ~30. によると $447 (10^6 \text{ m}^3)$

となっている。

堤体の断面図は図 2-2-9 に示す通りである。

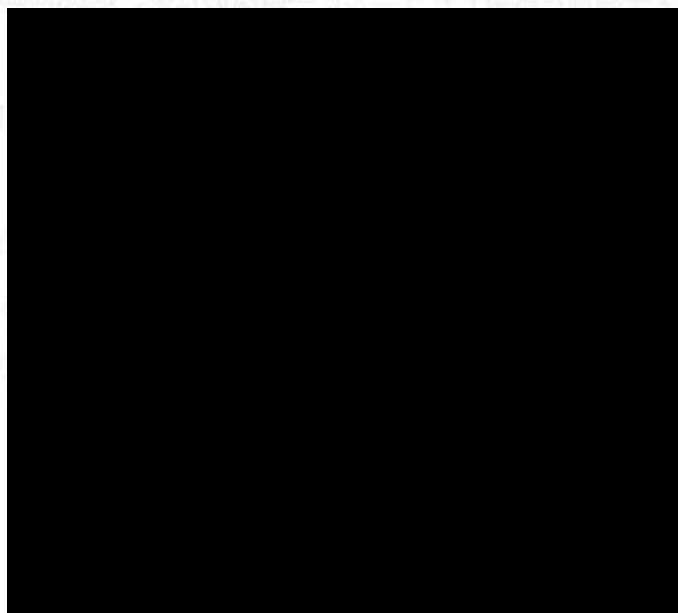


図 2-2-9

断 面 図

- 2) イエサダムはピレネー山脈に水源を持つダムとしては、今回視察したカネレスダムに次いで2番目の貯水量を誇っている。

ダム湖はダムの規模に比べて広大で、湛水面積は1,900haと広く、日本で最大の奥只見ダム(1,150ha、有効貯水量 $458 \times 10^6 \text{ m}^3$)を凌ぐ。

水源となっている付近のピレネー山脈の標高は最高で2,900m程であり、流域面積も約 $60 \times 60 \text{ km}^2$ と広いことが、貯水量が比較的多いことの一因になっていると思われる。

また、ダム湖沿岸は格好の保養地になっていて、湖畔でキャンプしている人々が多数見受けられた。

- 3) 洪水吐は、左岸側にシャフト式洪水吐が4門設置され、ゲートにはドラムゲートが設けられている(写真 2-2-25)。またそれぞれのゲートの下流側には空気管が4本設けられている(写真 2-2-25、円筒状突起)。

水は鉛直のシャフトに落とされ(写真 2-2-26)、トンネルを通過して放流されている。

放流口は、約400m下流に4門に分かれたまま設置されている。ゲート部でのシャフト内への流入はほとんど見られなかったが、放流口での水量はかなりの量が認められた。また、放流口では、バッフルピアとエンドシルで区切られた減勢池が設けられている(写真 2-2-27)。

計画洪水量は $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ であることから、1門につき $750 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水量ということになる。

- 4) 本ダムの主目的は灌漑であり、上段監査廊の標高から取水している。取水量は 60 t/s で、これを下流側に設置したプールに一時溜めた後、延長80km以上にも及ぶバルデナス運河を通じて南方の丘陵地の畑を潤している。

ちなみに 60 t/s の水量は、80万kW級の原子力発電所の冷却水量にほぼ匹敵する。

(写真 2-2-28、2-2-29)

- 5) 発電については、堤体の下流側約200mの地点にごく小さい発電施設が設けられているにすぎない。使用水量は 1.5 t/s 、落差の詳細は不明であるが水圧管路は25m程度であり、配線の規模からするとせいぜい数百kW程度の出力と思われる。

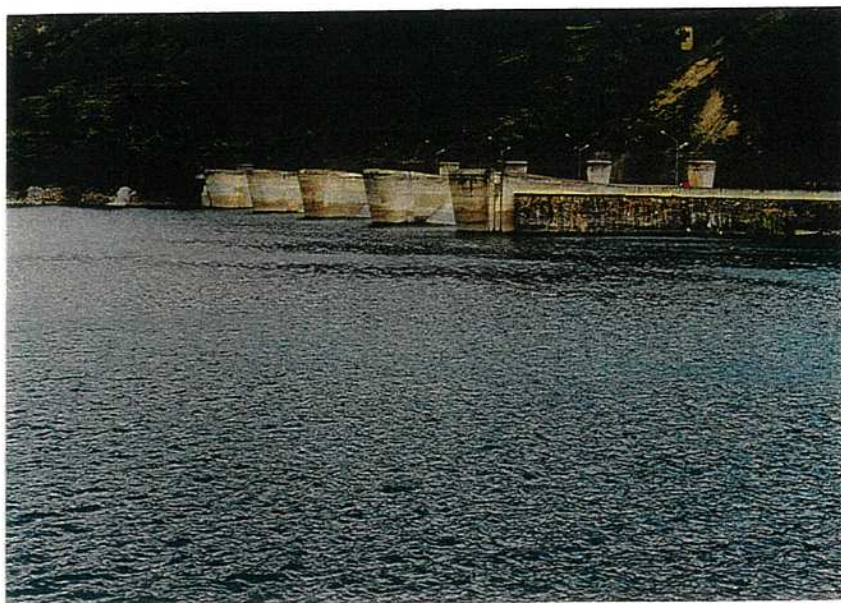


写真 2-2-25

洪水吐遠景。奥の円筒
状突起は空気管



写真 2-2-26

垂直のシャフト内部。
底は真っ暗で見えない



写真 2-2-27

放流口はバツフルピア
1 門から水が流れていた



写真 2-2-28

灌漑用水を一時溜め、
減勢している。



写真 2-2-29

バルデナス運河への出
口。右下は発電施設。



写真 2-2-30

集合写真

2-2. (7) エグゾンダム

大高弘明・井宮 裕

2-2.(6)までは、スペインのダムを見てきたが、ここからはフランスに入る。

エグゾンダムは、ロアール川左支川クルーズ川に発電を目的として1926年に建設されたEDF (Electric de France) 所有のダムで、ダムサイトはフランス中央部の古都であるリモージュの北北東70kmに位置する。

ダムサイト付近は標高 300m前後の丘陵地であるが、クルーズ川は比高 100m程度の溪谷を成して流下し、地形的にダムサイトとして良好な地点である。ダム基礎岩盤は古生代シルル紀の砂岩、泥岩、凝灰岩を原岩とする堅硬な片麻岩（あるいは角閃岩）よりなり、ダム基礎として問題は特になかったと考えられる（2-1. (6)参照）。

エグゾンダムの諸元は、表 2-2-9 の通りである。

表 2-2-9 エグゾンダム諸元

ダム形式	:	重力式コンクリートダム
ダム高	:	61 m
堤頂長	:	300 m
堤体積	:	220,000 m ³
湛水面積	:	3.12 km ²
総貯水容量	:	54,000,000 m ³
発電設備	:	6タービン (70.60 MW)

このダムの特徴は、竣工後の設計洪水流量の見直しにより洪水吐の改修、増設が随時行われてきた点にある。改修時期と改修内容の概要は、下記の通りである。

(1) 1960年の改修

ダム建設当初の洪水吐は、ローラーゲート3門（放流量 $141\text{m}^3/\text{s} \times 3 = 423\text{m}^3/\text{s}$ ）であり、堤体左岸に設置されていた。改修内容は既設洪水吐の左岸側に増設された転倒ゲート1門（放流量 $141\text{m}^3/\text{s}$ ）とローラーゲート1門（放流量 $190\text{m}^3/\text{s}$ ）であり、この2門のゲートにより放流量 $331\text{m}^3/\text{s}$ を確保している。

(2) 1988年の改修

改修内容は右岸側に増設されたラジアルゲートで、最大放流量は $500\text{m}^3/\text{s}$ である。

このゲートは1/10年確率洪水以下の中小洪水に対応するもので、既設洪水吐ゲート操作の煩雑さの改善も含めた改修と考えられる。

なお、この放流設備は導水部をトンネル方式としており、かつ構造的には仮排水路トンネルを転用するという斬新なアイデアが用いられている。

本ダムは築堤後約70年の年月を経ており、設計洪水流量は上述したように建設当初の約3倍となっている。このような時代的な背景を踏まえ、ダム先進国としてのフランスが柔軟な対応をとってきた点については敬服すべき点がある。

一方、戦後ダム建設が本格的に進められた日本においても、このような事態が往々に生じてきており、今後技術的な改修方法の手法も含め参考とすべき点になると考えられる。

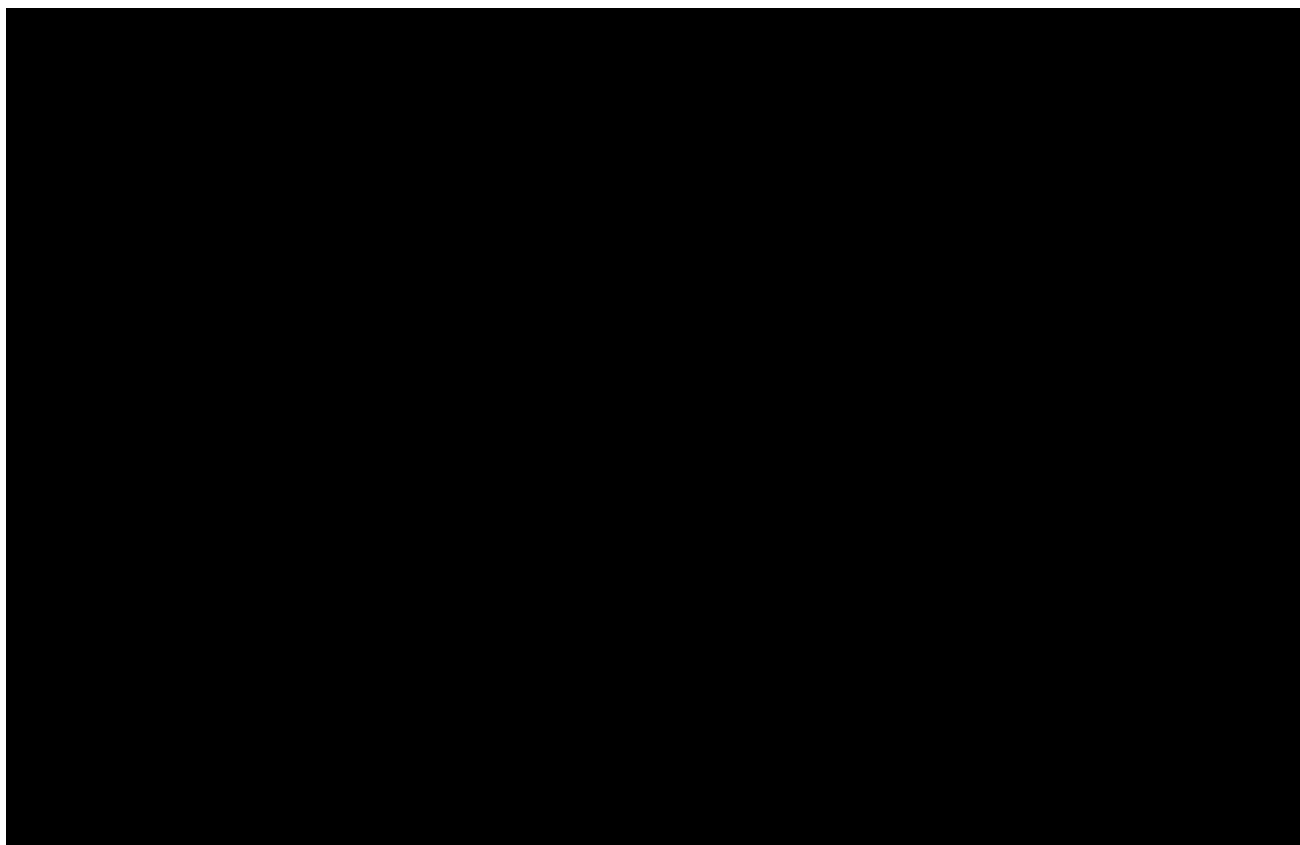


図 2-2-10 標準断面図

図 2-2-11 ダム平面図

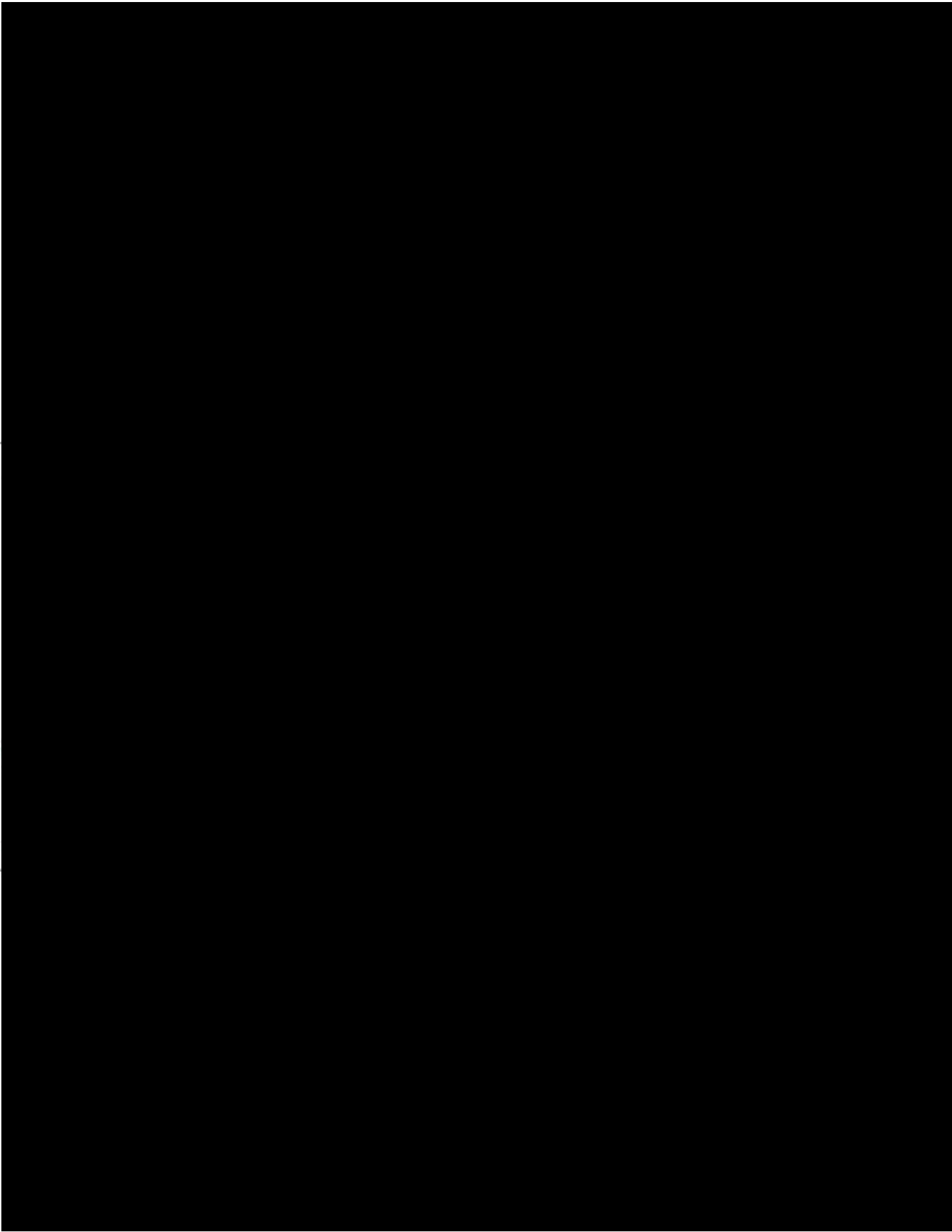


図 2-2-12 仮排水トンネルと増設洪水吐



写真 2-2-31 エゲゾンダム上流面～貯水池

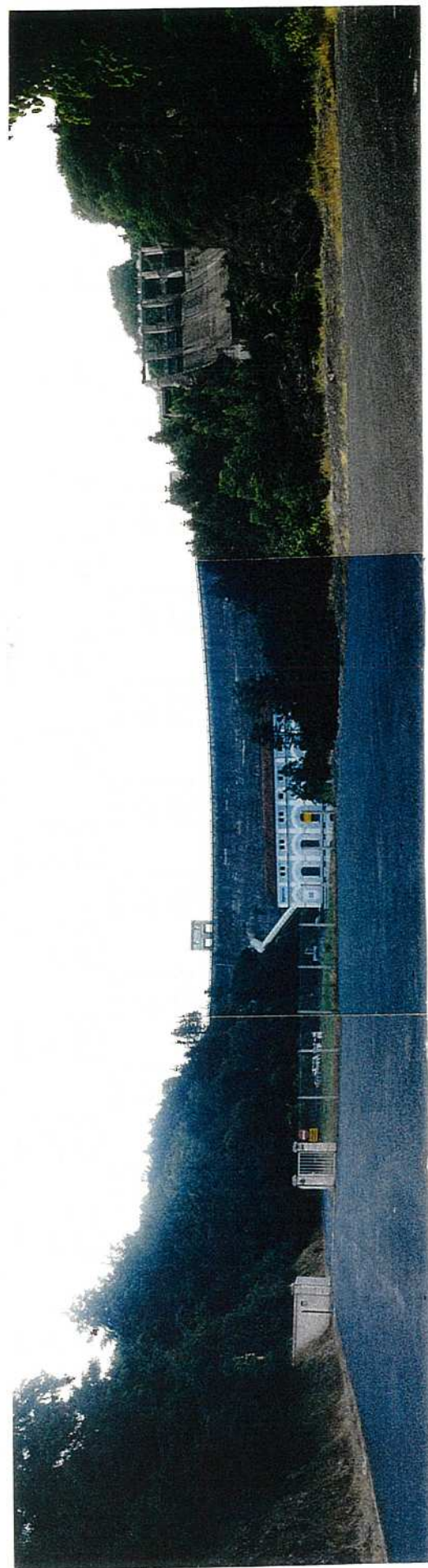


写真 2-2-32 エゲゾンダム下流面、発電所、洪水吐

はじめに

平成5年6月9日、国際応用地質学会シンポジウム参加のオプションツアーとして南仏のマルパッセダム見学の間を得ることができ、話では聞いたことのあるアーチダム崩壊の現場をまのあたりにすることができ、驚きと感激、いたましさ、その他複雑な感情の下、なるべく冷静に事実を見ておこうとの意を奮い、その惨劇の化石とも言うべきモニュメントを観察して参りました。短時間の見学で充分見つくせたというものではありませんが、気のついた点ならびに今後のダムの地質調査の参考になるかもしれないと思われる点について雑文をとりまとめてみました。

1. マスタープラン

マルパッセダムは、日本でも有名な観光地として知られる Canne, Nice, Marseille, St. Tropez等を擁する南仏地中海沿岸の町 Frejus 北方約 8.5kmに位置し、これらの地域振興を目的として策定された Var県の総合利水計画の根幹をなすプロジェクトであった。

従って、ダムの主目的は上水道および灌漑用水の供給にあり、これに若干の治水を載せたものとなっていた。

マスタープランの策定は、仏の the Rural Services Department (地域振興局とでも言うべきものか?) の手により1945年より開始され、6年間にわたり地質学、水理学的調査・検討が行われ、それらに基づいて Reyran 川のマルパッセ地点が最適ダムサイトとして選定された。

計画の概要は以下の通りである。

当該地域一帯は、ローマ人による征服の時代より、東部を流れる Siagnole 川から Frejus まで延々30kmにのぼる運河を建設し、これにより上水、灌漑等の水需要を補ってきた。

Var 県による水需要予測調査により、マルパッセダムの計画は以下のように策定され

た。

総貯水容量 : $49,300 \times 10^3 \text{ m}^3$
有効貯水容量 : $29,500 \times 10^3 \text{ m}^3$
治水容量 : $4,500 \times 10^3 \text{ m}^3$
利水容量 : $25,000 \times 10^3 \text{ m}^3$
堆砂容量 : $19,800 \times 10^3 \text{ m}^3$ (≒観光湖水維持容量)

なお、ダム地点における5年間の流量観測資料から設計対象流量は150t/sとし、異常洪水流量を250t/sとした。

また、夏期2ヶ月間は平水年でも水が涸れることより、渇水対策としてReyran川北側の Siagnole 川支流 Biancon川からの導水計画を併せてもっていた。

この計画により、東は Alps-Maritimes から西は St.Tropez までの Feyence, Frejus, St.Tropez の各郡をカバーする広大な地域への水の供給が可能となるはずであった。

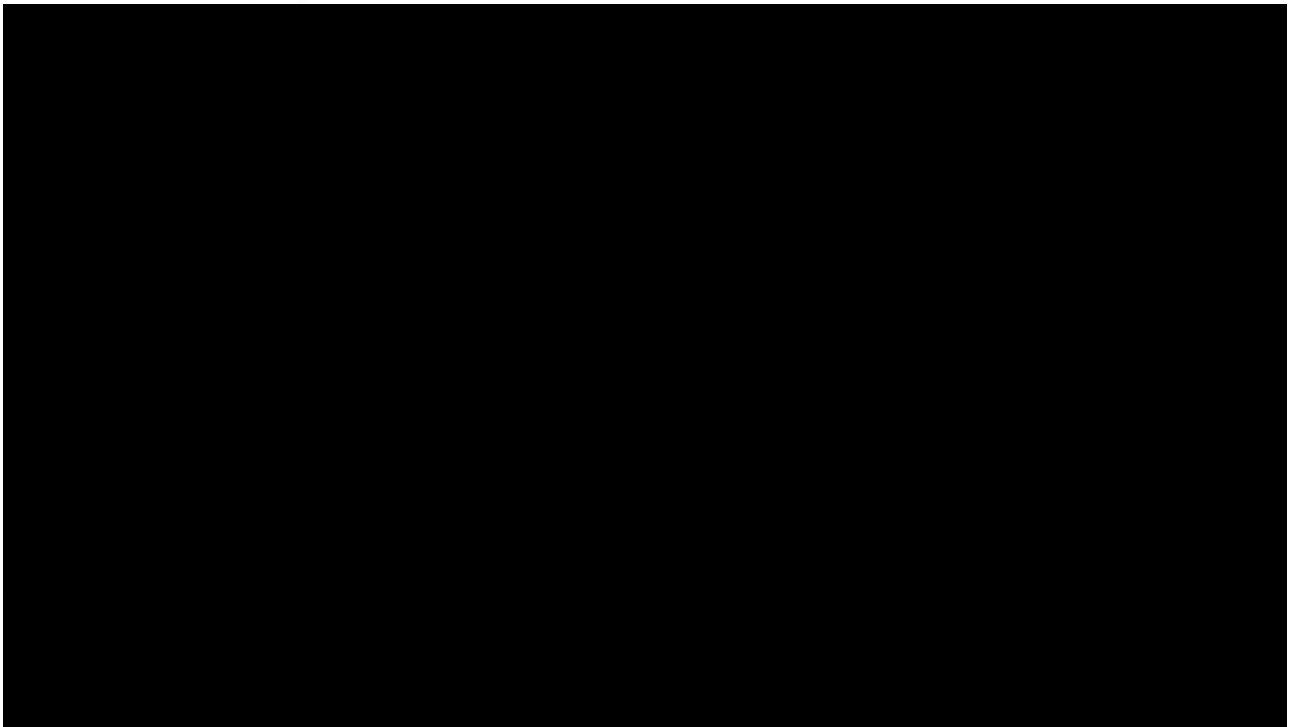


図 2-2-13 位置図および用水供給計画図(1960 去による)

II. ダムサイトの地形・地質

1) 地 形

ダムサイト周辺地域は、標高 200～300m の山頂標高を有するなだらかな丘陵性の山谷を呈し、相対的に東側が急で西側が緩斜面となるケスタ状の地形を呈する。

Reyran 川は、ダムサイト北西方 Bagnole-en-Forret の北側に端を発し、約 6 km 東流して Bagnole の森に至り、そこから南方に流路を転換して約 5 km でダムサイトに至り、そのまま南流して Frejus 湾に注いでいる。

ダムサイトは、Reyran 川と右支流 Bueme 谷との合流点の直下流に設定されている。

左岸側は N-S 方向にのびるやせ尾根で山腹の平均傾斜は約 30° と緩く、山頂標高は EL. 127m となっている。

一方、右岸側は相対的に厚みのある大きな尾根から E-W 方向にはり出した尾根で、山腹斜面の平均勾配は約 40° と左岸に比べて急峻である。

ダムサイト直上流の Bueme 谷との出会より上流の貯水池域は EL. 100m 付近より下位はその上位斜面に比べて著しい緩斜面となっており、かつての平坦面が一連であるにもかかわらず比高が上流へ行くほど小さくなる現象が地形図上から読みとられる。

この事は、ダムサイト付近（直下流右岸か？）で過去に堰止めがあり一時期湖沼のできた可能性を示すもので、Mal (=悪い) passet (通過) という地名の由来がこの辺りにあるのかなという感がする（単に山賊がいて交通の難所であったという説もある。また、上記の平坦面は単なる氷期の海面変動によるものとも考えられるので、今後視察に行かれる方があれば少し上流へ足をのばし、この辺を確認して御知らせいただければ幸いである。）。兩岸ともに、ダムサイトとして良好な地形とは言い難いが、Reyran 川全体を見渡してみた時には当地が唯一の候補地であつたろう。

2) 地 質

ダムサイト周辺地域は、Esteral Massif を構成する Hersinian の gneiss よりなり、ダムサイト上流域はこれらにとり囲まれるようにして分布する向斜構造を有する石炭紀の Reyran 挟炭層よりなる。

gneiss の大まかな構造は、顕著な節理系として E-W 方向で上流側に $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$

Nで傾くもの及びこれと直交するN-S方向で50~60° Wの2系統が見られる。

gneissはそのほとんどが日本でいう Pelitic schist であるが左岸河床の下流部には basic tuff 起源とみられるものがあり、これが著しく擾乱を受け、劣化しているのが観察される。

全般的にダム自体は硬質良好な堅岩についているが確かに直交2系統の割目が多く、岩盤は楔状にブロック化している。

Ⅲ. ダムの設計

マルパッセダムは、フランスの Rural Services Department により計画され、貯水効率と地質より Reyran 川の河口から約8.5 km上流のマルパッセ地点がダムサイトとして選定された。

建設に当たっての地質調査は Marseille University の Proffessor M. Corroyにより、設計は Coyne & Bellier Consulting Engineering Officeの協力の下に実施された。

ダム及び貯水池の諸元は以下の通りである。

—— ダム諸元

目 的	: 灌漑および上水道
所 有 者	: Var 県
位 置	: 南部Var 県 Frejus郡 Canne地区
河 川	: Reyran川
型 式	: アーチ
堤 高	: 66.5m
堤 頂 長	: 222.66m
堤 体 積	: 47,587 m ³
最低基礎標高	: EL. 36.0 m (河床掘込み深さ 6.5m含む)
非越流部標高	: EL. 102.5m
常時満水位	: EL. 98.50m
洪水時満水位	: EL. 100.40m

—— 貯水池諸元

集水面積：48.2km²、その他は前出。

ダム型式は変半径薄肉円弧アーチで、仏国では当時アーチダム設計の第一人者であったA. Coyneが監修したものである。

地形的に尾根が小さく、計画規模のアーチダムをアバットさせた場合に山がなくなってしまう左岸天端付近には、人工岩盤（コンクリートブロック）を採用し、その上流側に遮水のためのウイングダムを設ける構造としている。

（ダムを若干上流側へ上げ、アーチ中心線を右岸側にふることにより、堤体積は若干大となるが、このような構造は避けられたはずであるが…。）

ダムの主要寸法は以下の通りである。

アーチ半径：天端上流面で105m（変半径アーチ）

中心角：天端で135°

クラウン最大厚：6.91m

天端厚：1.50m

洪水吐は自由越流式とし、幅29.68 mで180t/sの通過能力を持つ。

IV. ダムの崩壊に至る経緯とその原因についての考察

マルパッセダムの崩壊に至る経緯についてはいくつかの報告が提出されている。要約するとほぼ以下のものであったと思われる。

ダムは1955年に完成を見たが、灌漑用水路の用地問題と貯水池内の蛍石鉱山の補償問題で湛水ができず、1954年の秋から部分的な貯水を行い1959年からようやく本格的な貯水を開始した。

1959年11月末から流域は豪雨に見舞われ、ダムは初めて満水に近づくこととなり、事業者のVar 県はダムおよび貯水池の監視のため12月1日ヘリコプターを飛ばして全域の調査を行っている。

11月中旬までで貯水位はEL. 95.2 mに達し、この時点でダム監視員は右岸下流20mの地点に基盤からの漏水を発見している。この漏水は水位の上昇に伴い増大した。

12月2日正午までに貯水位はEL. 100mに達しその後も水位は徐々に上昇を続けたため、同午後6時（水位は EL. 100.12m）にバルブを開いて（放流量 60t/s）水位を低下させ

る措置をとり、午後7時半には水位は EL. 100.09m（洪水時満水位より0.31m下位）となった（直下流で工事中の高速道路の橋脚工事に支障をきたすのをきらい放流に難色を示したため、放流が遅れている）。

恐らく、水位が徐々に低下しはじめた事により安心したためと考えられるが、ダム監視員は午後8時45分にダムを去り自宅に戻った。

ダム監視員は、「午後9時13分大きなヒビ割れ音を聞き（ものすごいヒビキが下の方から伝わってきた）、家族と共に夢中でダムのわきの丘をかけ上った」と言っている。

この時点で、ダムは中央部から破裂して49,300,000 tの水と共に一挙に下流へ押し出され木端みじんに砕け散った。

押し出された貯水は、時速70kmで Reyran 川の谷間をかけ下り、下流 Frejus の町を一のみにした。

濁流は Frejus-Plage から St.-Aygulf まで広がり、死者 384名、行方不明者 110名の大惨事となった（公式犠牲者は 423名とされている）。

事故の直接の原因については、当初種々の要因が考えられたが、左岸の基礎岩盤中に内在した互いに直交する2本の断層あるいはシーム群により形成されたクサビブロックが貯水による揚圧力により移動し、その変形にひきずられるようにしてダム本体がひき裂かれるように崩壊したと考えられている。

確かに、現存する堤体の残骸や左岸アバットの基礎岩盤がクサビ形に吹きとんでいることからみて、左岸の基礎岩盤に直接の原因があった事は疑いようのない事実であろう。

図 2-2-14 に基礎岩盤の破壊位置とその形状の概略を、図 2-2-15、2-2-16 にその断面図を示す。

但し、従来事故原因としてクローズアップはされていないが、崩壊の素因としてあまりに中心角の大きなアーチ（ $\phi = 135^\circ$ ）であった事がスラスト力を下流へ向ける結果となった事に注目する必要がある。

即ち、崩壊の契機となった左岸中位～高位にかけての堤体から地山への応力分担は片持梁要素よりもはるかにアーチ要素の方が大きく、図 2-2-16 に示すようにそこに生ずるアーチスラスト力の方向がダム上流側の川側傾斜の断層と極めて鋭角的に交わり、スラスト力そのものがすべてこの断層のせん断応力に転化される結果となり、断層に対す

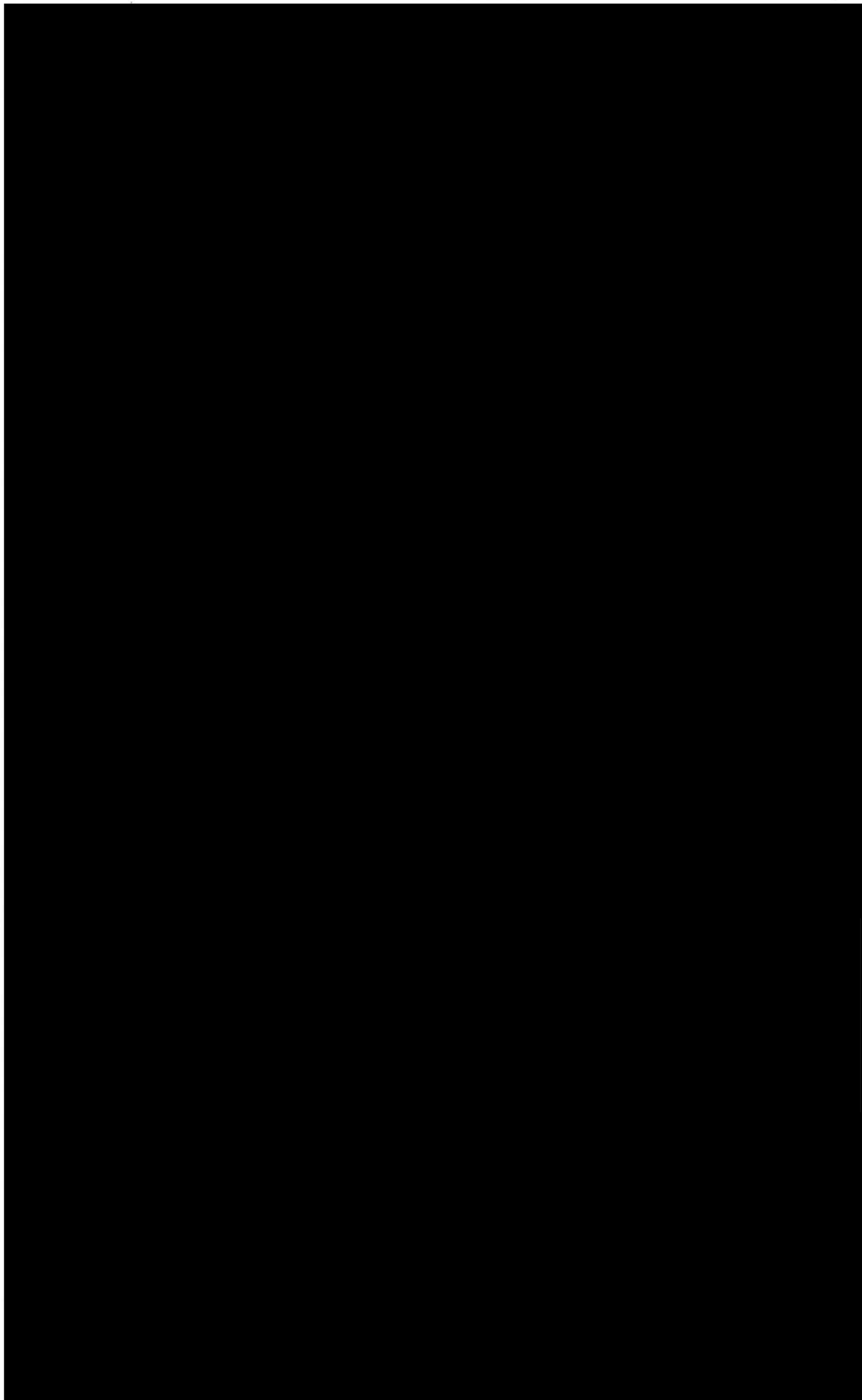


图 2-2-14 破坏位置平面图

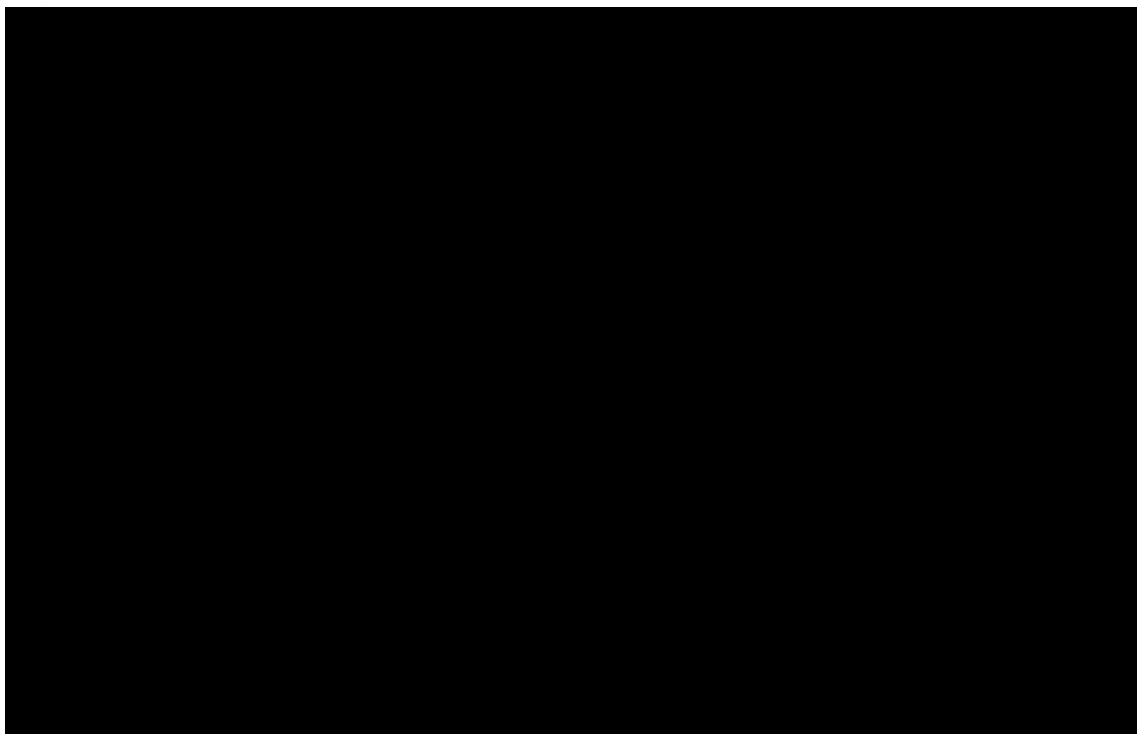


图 2-2-15 破 坏 箇 所 横 断 図

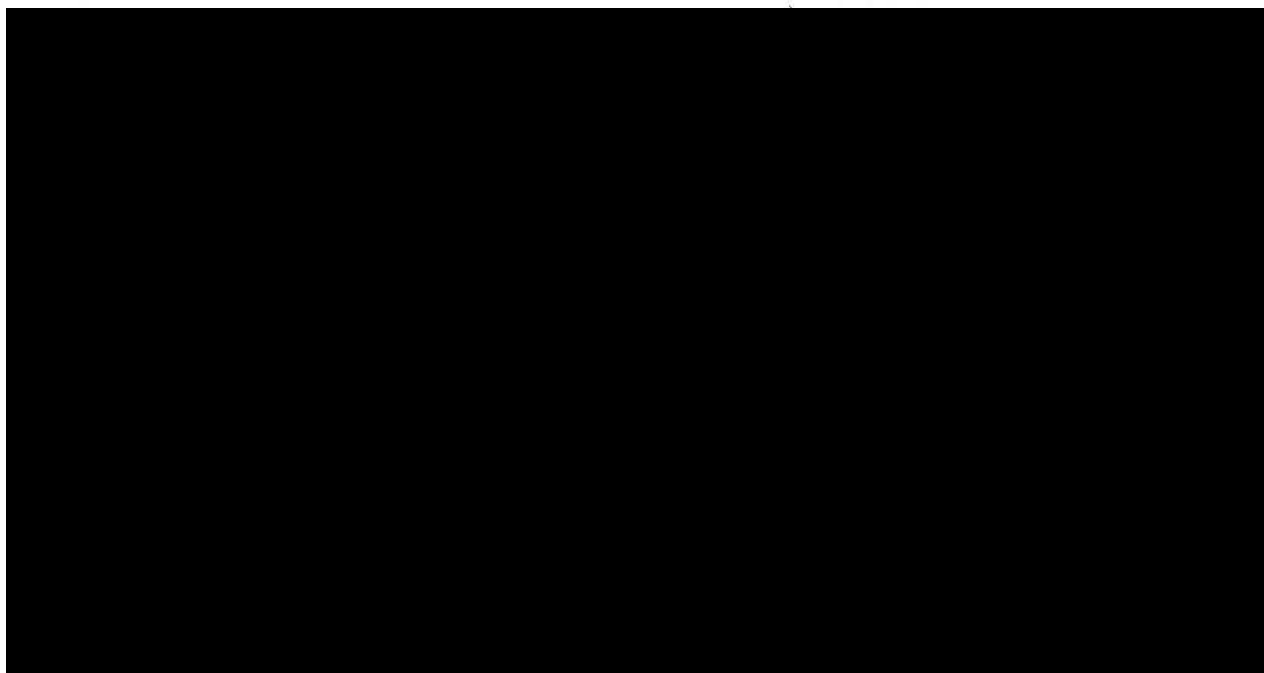


图 2-2-16 破 坏 箇 所 水 平 断 面 図

る拘束圧として働くべき垂直応力はほとんど生じず、ために断層はむしろひきはがされるような事態を生じたものと推定される。この事がダム崩壊の最大の原因と筆者は考えている。

次に、両岸アバット部の岩盤状況からみてブロック化が顕著で、上下流方向の節理や河道直交方向で上流落ち節理等の発達著しい点からみて、従来考えられているような2面角を構成するクサビブロックが一体となって破壊したという説には大きな疑問が残る。現に下流河床部には径7～8mの巨大なコンクリートブロックは多数見られるが、巨大な岩塊は全く見られない点にも注目すべきだろう。

これらの諸点から見ると、基礎の破壊は堤体上流側のアーチサークルにほぼ並行する川側の傾斜の断層の開口変位とそこへの貯水の浸透による川側に向けての揚圧力の増大に伴うさらなる基礎の変形、開口深度の増大、揚圧力の増大といった経過をたどったものと推定される。従って、マルパッセダムの崩壊は基礎の変形にダムが追随できなくなった時点で生じたものと推定されることより、堤体は最もたわみが大きく、基礎の変形により大きな引張応力の生じた河床中央部付近より破壊し、変形の大きかった左岸側に波及していったものと推定される。ただし、このような基礎の変形や堤体破壊はほぼ一瞬の内に生じていると考えられる。

このように考えると、堤体基礎の破壊は岩着部付近のごく浅い位置で引張りによって生じているものと推定され、現在見られる堤体下流側の上流傾斜のシーム面は、その上流側の岩盤（大きく変位した堤体上流側の断層の川側の岩盤であり、変形による歪みの大きかった部位）が堤体の破壊時に貯水の奔流によって内在する節理や片理構造に沿ってひきはがされ、流出した結果として露出した面であり、基礎の破壊に関与した構造的な弱層ではないのではないかと想像される。

この点についても、もし今後現地に行かれる方があれば御検討の上、御教示願えれば幸いである。

つまり、マルパッセダムの崩壊はこのような基礎岩盤内の弱層の構造を考慮せず上物の構造に終止した設計の見直しをせまる契機となった事故の一つであり、これ以降、アーチダムの設計は基礎岩盤の安定を重視する方向に向けて発展していくこととなる。

以上述べたように、基礎岩盤の構造的な弱層が事故の第一の原因ではあるが、以下に

示すようなある面では事業主体となったVan 県の予算節減という方針がこの大惨事の間接的ではあるが大きな原因の一つであるとも言える。

- 1) ダムサイトの調査は、G. Corroy 教授による事前調査が行われているにすぎず、ボーリングや横坑による基礎岩盤の調査は全く行われていない。Dr. G. Corroy が「基礎岩盤は極めて不均質で相当の調査を行う必要がある」と明言しているにもかかわらず経済性優先でこの提言を無視した結果となっている。
- 2) ダム建設期間中においても「地質学的な管理」は全く行われておらず、掘削によって出現した基礎岩盤の組織的な検討を行わず単なる目視に基づいた口頭による指示にとどまっている。むろん、掘削過程で明らかとなったであろう弱層の存在によるアバット部地山の安定性については全く検討されていない。

また、ダム建設の竣工から事故に至るまでの4年間において、本来ならば実施さるべき、いわゆる「試験湛水」が用地ならびに補償問題のからみで実施できず、初めての湛水で水位を一気に H.W.L まで上昇させている。この過程で、1958年夏の部分湛水（高さにしてダム高の半分程度までの水位上昇）時においてダムの変位は底部で17m/m に達していた（設計者による許容変位量は10m/m 程度と判断されていた）ことが計測されているにもかかわらず、この事実は事故後になってやっと報告されている。変位の計測に当たった測量技師がこの変位を異常とみなさなかった事およびその上司も同じ判断をしたというより設計上の許容変位に対する知識を持ちあわせておらず、事故を未然に防ぐことができたかもしれない重要な計測データが死蔵されてしまったという事になる。

V. マルパッセダム事故の教訓

前節で、考えられる事故原因について主要なものと思われる直接的、間接的なものを種々挙げた。そこから得られる教訓はほぼ以下のようにまとめられる。

- 1) ダムサイトは十分な地質調査を実施し、基礎岩盤となる地山の地質構造を明らかにし、その構造的欠陥が上部構造として載る堤体からの外力に対し十分な安定性を確保できるかどうかについて慎重に検討しなければならない。

この検討は、ダムの設計において最も大切な堤体の座取にかかわる問題であり、地

質学者（地質技術者）と設計技術者の相互の連携ならびに綿密な共同作業なくしては解決できないものである。

- 2) ダムの建設過程においては必ずダム基礎岩盤の掘削面の調査を行い、設計条件の確認を行うと同時に、予測外の事象が出ていないか、それが堤体の安定上どのような影響があるか、その対策は、といった組織的・地質工学的な管理が必要である。
- 3) 無原則的な経済性の追求は時として莫大な不経済を生むことがあることに注意しなければならない。
- 4) たとえどんな事情があろうと、それがどんなに目先の不経済につながろうと「試験湛水」は十分な時間をかけてかつ多方面から組織的に実施しなければならない。
- 5) 試験湛水においては、適正に人員を配置し、堤体の挙動や湧水、漏水、揚圧力等各種の計測・監視を組織的に実施し、事態に危険な兆候が生じてきた場合にも即応できるだけの判断力と権限を持った責任者が当たる必要がある。
- 6) ダム事業は各種の技術者、技能者、事務吏等の複合技術であり、どれが欠けても、どの部分が不十分でも良い結果を得ることはできない。

ここで、マルパッセダムは当時の最新技術としての超薄肉アーチであった事が原因で崩壊したわけではないことに注意しなければならない。ダムの設計としては完成されたものに近く、ただ堤体の座取に問題があっただけである。設計技術の進歩により経済性を追求するのは技術者として当然の態度であるしそれらのデザイン性や周辺環境との調和といったものもその中にとり込んでいかなければならないのが現状であろう。上記のような教訓は、既に我が国においては充分認識され、個々のダムサイトで実践に移され安全で地域に密着した親しみ深い多数のダムが建設されている。この意味ではマルパッセダムの事故がわが国ダム技術者に与えた影響は計り知れず大きいものがある。また、そのモニュメントがそのまま保存されているという仏国という国に対しては大きな驚きを禁じえないというのが正直な所である。

VI. マルパッセダム Project のその後

ダムの崩壊により、計画していた上水、灌漑用水の供給がストップし、事実上 Var 県の Reyran 川開発計画は灰燼に帰した。

県ならびに仏国の計画部局がこのダム事故に対する後始末をどうしたかは知る由もないが、多大の犠牲を払ったこの事故の水系において同様のプロジェクトを計画することはいかに仏国といえどもできない相談であつたろう。かといって地域振興のためにはどうしても水資源の開発は欠かせない。ここから先は地形図からの推定の話となるが、1/25,000の地形図でマルパッセダムの左岸に Reyran 川の上流から Frejus の町にかけて Aqu-duc Souterrain de la Siagnole という水色の破線が地形コンター沿いに、あるいはこれらを切って直線的にずっと走っている。これを上流へたどっていくと Lac De St.-Cassien という大きなダム湖へとつながっている（元来 Siagnole 川からひいていた運河を改修・新設してつないだようだ）。

即ち、河床標高の高い北を流れる Siagnole 川（元来マルパッセダムはこの川からの導水を計画していた）を堰止めた St.-Cassien Dam（マルパッセダムと同時進行していた E.D.F. による事業）による貯水をマルパッセダムより下流域には既に整備されていた開水路運河ならびに水路トンネルにつなぐ事により、全体計画の代替をさせたのではないかと考えられる。今後もし行かれる方があるならこの辺りを是非確認していただきたいものである。

あとがき

南仏自動車道の下をくぐり、マルパッセダム崩壊跡地（慰霊公園とでも呼ばれているのか、地形図にはモニュメントの印がうたれている）散策用に準備された駐車場でバスを降り、傍らに立つ粗末な木造の売店横から遊歩道が続く右岸のだらだらした坂をのぼると、入口から数 100m でのぼり道と河床におりる道の分岐にたどりつく。河床には数 m の破壊され運搬されたコンクリートの破断ブロックが見えはじめる。恐らく、入口から上流域については破壊時から大きくは手をつけずに残されているのだろう。

河岸には数 10 年前の悲劇の時にも自生していたであろうエニシダが可憐な黄色い花を枝一杯に咲かせている。

対岸にみえる左岸の山腹は洗い流されたように表土は全く失われ、ゴツゴツした岩肌が露出している。

分岐路からさらにのぼると道は大きく右岸の山側をまくようにカーブし、途中で再び

川側へ出るための小さな踏みつけ道との分岐があり、その道を行くと下流からダム崩壊跡地が一望できる展望台（表示はない）に着く。

話には聞いていたが、無言で横たわる河道下流に散在する無数の巨大なコンクリートブロックと共に無残にもひきさかれたような破断面を残して段階状に基礎にへばりつくように残ったアーチダムの残骸が圧倒的な迫力を持って見学者に迫ってくる。同行諸氏がオーッというどよめきと同時に争うように取り出したカメラのバシャバシャというフーカルプレーンの重なりが耳にこだまする。一息入れて、心が落ちついた所で地質屋としての視点から対象物を見ている自分に気がつく。

不屈きな事に、この事故により多数の尊い命が失われている事を全く忘れた技術馬鹿の自が姿にガク然とする。30秒ほど人知れず黙禱、改めて破壊の契機となったと言われる左岸アバット部の破壊状況をつぶさに観察する。

天端には遮水のためのウィングダムとスラストブロックが残存しているが左岸～河床にかけての堤体は影も形もなく吹きとばされている。

そこには左岸側のアーチサークルの方向にほぼ平行な走向を持ち、川側に50～60°で傾斜するものとこれに直交、上流側に30～40°で傾斜する2枚の交差するシームがみられ、あたかも鋭利な刃物によりザックリと切り取られたような鏡面が出現している。

アーチダムはこれら2枚の鏡面に挟まれたブロックの上部を掘削して取付けられており、偶然のなせるワザに冷たい汗が背筋を走る。遠目には、岩盤は比較的堅硬にみえたが上流落ちの細いシームが何条も観察され、吹き飛ばされたクサビブロックほどの大きさはないが、その下盤側にも多数の予備軍的な構造が観察される。

下流の展望台を後にしてさらにだらだら道を登っていくと右岸取付天端にたどり着く。急な足場の悪い道を天端まで降り、アバット部の急崖を降りるべきかどうかのためらいを皆が感じていた時、若人の一人が降りはじめると皆が吾先にと降り始めた。

同行諸氏の執念か、一人の落伍者もなく全員が河床上流面まで降り立った。途中、堤体が左岸下流に向けて変位した事を示すアバット部の岩盤中にアーチサークルに沿って生じた裂け目に入り、残骸に残る引張亀裂や堤体ジョイントの開口等を観察した。アバット部の岩盤は堅硬であるが、上流落ちのE-W・40～50°程度の面構造が発達し、ブロック化が顕著である。

河床部上流面は木根や土砂により埋積されているが右岸寄りの部分では堤体直上流部に幅50cm程度の引張りクラックが生じており、これが中段の人間が入り込めるクラックにつながっている。

河床上流面から残存堤体の最も低くなっている河床中央部左岸寄りで堤体をのり越え、下流面に降り立ち、下流展望台からみえた2枚のシーム面をつぶさに観察する。足場が良いとは言えないが、両シームの交差線に沿って左岸天端の残存スラストブロックまで登ることもできる。

両シーム面は展望台で見るよりゴツゴツした粗い面であり（特に下流のシーム）、一枚の連続した面ではなく同方向に発達した数枚の破断面の集合体である。

観察される限りではその破断ゾーンの幅は約2m程度であり、一枚の面としては10m程度はつながる。破砕帯等は特にみられず、粘土等の挟在もない単なる連続性の高い節理群のようにみえる（長期間地表にさらされ、それらが流失してしまったのかも知れない）。

ここで、落ちついて基礎岩盤をみる。

岩種は Pelitic schist が主体であり、一部に basic tuff 起源の green-schist がみられる。green-schist は河床下流部に分布し、片理構造が顕著で全体に脆弱化している。河床部では green-schist 分布域より下流域ではE-W系の熱水変質を伴うシーム群が発達し、全般に地質が悪い。

岩盤中には Schistosity の他N-S系60~70° W, E-W系30~45° Nの3系統の面構造が発達し、前者はアルプス系、後者はピレネー系の構造方向であり、当地が両山脈の接合部付近に当ることからみると重複変形の結果であろうか。

左岸の堤体基礎の岩盤は、今となっては知るすべもないが、右岸の岩盤状況や上記のような地質条件から考えて恐らく右岸より節理が多く、片理構造の発達が顕著で、ために風化や劣化が相対的に深かった事がうかがわれる。

河床下流の状況観察の後、下流河道に沿ってつくられた遊歩道をたどり、途中吹き飛ばされた堤体コンクリートの巨大ブロックを横目にみながら、集合場所の入口売店まで戻った。所要1時間半の見学であった。売店では絵ハガキ、小冊子「La Tragedie Malpasset」、水分補給用 Bier 等を買って小休止の後、本ダム破壊による多数の犠牲

になった方々や設計者 A. Coyne の苦悩と不幸な晩年に思いを致しその冥福を祈りながら帰路についた。

参 考 文 献

- 1) 去 太河 (1960) マルパッセダム決壊の報を聞いて
発電水力 No.44 P. 4 ~10
- 2) Donat Olivier (1990) La Tragedie Malpasset (Reproduction版)
- 3) Robert B. Jansen (1980) Dams and public safety P.158 ~163
U.S.Department of the Interior Water and
Power Resources Service
- 4) 日本応用地質学会 海外応用地質学関連調査団編 (1991)
ヨーロッパのダム (I) P.48~72

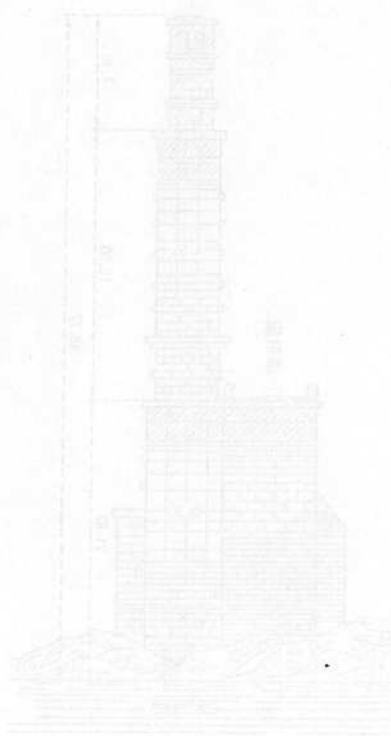


図 1-3-5 図

図面内のマーク・エタ・ニキ

2-2. (9) 「ポン・デュ・ガール」と「マルパッセダム」

藤 井 照 久

東京を飛び立って3日目、東京からパリ～モンペリエと楽しみにしていたヨーロッパ視察がこんなにハードなものかと思いつつも、初めての海外旅行で睡眠時間を惜しみながら種々歩き廻った。そのためか緊張と疲れがピークに達していた。

しかしながら、この 6月9日 水曜日（晴れ）と言う日は、私にとってとても貴重な一日であった。

フランス南の学園都市モンペリエから46号線を北上、さらにニームより国道86号線を北東へガール川に架けられた水道橋「ポン・デュ・ガール」と、さらに東へ「マルパッセダム」の2つを一日にして視察することが出来たからである。

あまりにも対照的な建造物であり、一日と言う短い時間の中で2つを対比し、印象深い一日であった。

水道橋「ポン・デュ・ガール」は、新たに建設された一地方のローマ都市“ニーム”に給水するためにBC19年に建設されたものであり、スパンの異なる三層のアーチ型橋であった。

19世紀にナポレオン3世の命により修復されたとはいえ、2000年余りも貴婦人のような華麗なその姿を保ち続けているということに、驚きの念を抱かざるを得なかった。その時代にローマ人は、ガール川上流から延々50kmにわたって水路を引いた。この水道橋の規模は49m、長さ273mである。

三層のアーチの最上段に矩形断面の水路があり、その蓋の上面には手すりも何もない。幅約 1.2mである。私は立ち上がることが出来ず、四つんばいになってガール川を見下ろした。1個の平均重

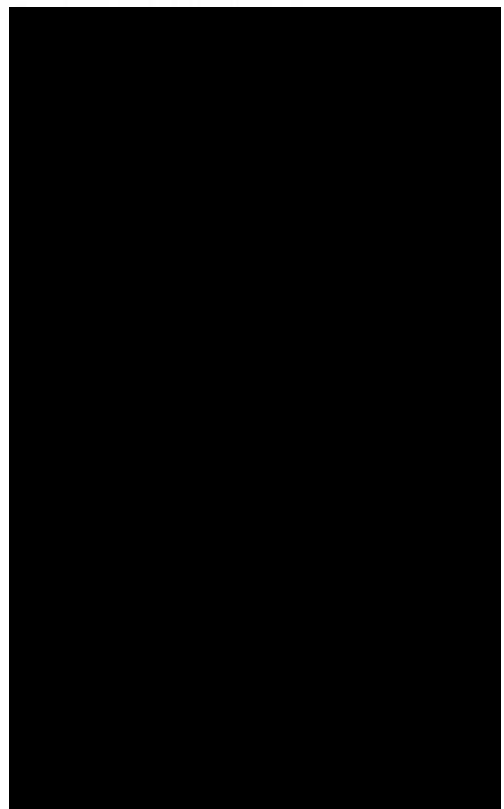


図 2-2-17

ポン・デュ・ガールの断面図

量約6 tといわれる石材を積み上げ、空積みにしてこの美しい姿を2000年もの永い間保ち続けていた。この間、ガール川にも大洪水が襲ったであろうし、良くも耐え忍んだものだと、両手で橋のあちこちを撫で歩いた。さてよ、フランスにどうしてローマ人が創った橋が……？ 世界は激変している。現在の世界地図で物事を考えてはダメなのである。

この日のもう一つの視察地は「マルパッセダム」。このダムは、1954年発電専用ダムとして建設が開始されたアーチ式ダムであり、フランスとイタリアの国境近くの都市ニースの南西約40km、フランス南東部のフレジュスより約13kmの地点であり、レラン川に建設されたものである。ちなみに、貯水容量約4,930万tの計画であった。

しかしながら、1959年12月2日、初期の試験湛水時に、基礎岩盤のクサビ破壊により堤体もろとも吹き飛んでしまったというダムである。

堤体の一部は今もなお数kmに亘り散在しており、その凄まじさが想像された。

基礎岩盤は片理に富む片麻岩であり、地すべり屋の私には興味をそそるものであった。

ダム下流約150mの左岸斜面、いや堤体付近の斜面にも、馬蹄形状を示す地形、すなわち岩体のクリープ、移動を類推するに足る『地すべり地形』を見い出したものである。ダム基礎岩盤の破壊もこのためではないのか……？ 一人周辺の斜面をつぶさに眺めたものであった。

古代ローマ人の用意周到な技術に敬意の念を抱くとともに、マルパッセダムを目の前にして技術とは何だろうか、人間とは、地球とは……？

2000年と言う時間を飛び超えて、疲れを忘れてしまった一日であった。



写真 2-2-33 ポン・デュ・ガール 左岸下流より



写真 2-2-34 マルパッセダム全景（左岸のクサビ破壊が明瞭） 下流より



写真 2-2-35 ダム堤体下流 左岸に認められる地すべり地形



写真 2-2-36 ダム堤体直下流 左岸の露頭状況

2 - 3. I A E G学会行事編

2-3. (1) IAEG EXECUTIVE COMMITTEE 1993, MONTPELLIERについて

IAEGアジア地区副会長

小島 圭二

現在 IAEG (国際応用地質学会) では、何がトピックスであり、どのような問題点があるか、EXECUTIVE COMMITTEE での話題を紹介して、その一助としたい。

1993年度の EXECUTIVE COMMITTEE は、6月6日、MONTPELLIER (フランス) の LE CORUM 会議場で開催された。IAEG 共催の廃棄物に関するシンポジウム “GEOCONFINEMENT ’93” (元IAEG会長のM. ARNOLDが主催者の一人) に際して開催された。IAEG COUNCIL MEETING の前日である。

今年度から定時総会が廃止され、会運営の議決は COUNCIL MEETING で行うことが、前回の京都の総会で決まり、各国がそれぞれ一票の投票権を持つことになったことは、すでに報告されたとおりである。EXECUTIVE COMMITTEE としては、議案の作成が簡易化され、問題点の実質的な討議により多くの時間を割くことができるようになった点で有意義な改正であったように思われる。

今回の議会の中心議題は、上記の内容を含む STATUTES の全面改正に伴う、(1) BY LAW の策定、(2) 財政基盤の確立、(3) 会誌 BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY の充実、(4) ENGINEERING GEOLOGY の分野の特定と関連他学会との関係・協力、そして (5) 7th CONGRESS/LISBOA, PORTUGAL の検討などであった。

とくに(2)から(4)までは、いつの会議でも話題になり、またなかなか解決のつかない問題である。IAEGの悩みの種であるので、多少の解説を加え、日本応用地質学会の会員に話題を提供したい。なお(1)と(5)については、すでに IAEG JAPAN から、応用地質学会誌などに報告されているので解説を省略する。

(2)に関しては、IAEG の特徴として、比較的発展途上国、旧ソ連圏の会員が多く、これらの国は財政的に豊かでない国が多く、また国内の関連企業も少ないため、賛助会員の数が会員数に比べて少ないことにある。賛助会員は圧倒的に旧西欧の国が多い。このため日

本とUSAには常に賛助会員の増加が要請されることになる。ちなみに、これに应运、日本も賛助会員が13社に増えたことは、企業の協力に感謝する次第である。IAEGは、かつては発展途上国の技術の発展に寄与するため、UNESCOの財政的な援助によるところが多かったが、国際情勢の変化から、本来の発展途上国への寄与は続けられているものの、この方面からの援助が現状では、ほとんど期待できないことが財政難の一因ともなっている。

(3)に関しては、投稿論文は多いものの、出版費用の増額が期待できないため、未掲載論文が増加の一途をたどっていることである。それと(2)の背景から、発展途上国からの投稿が圧倒的に多く、地域、分野にかたよりが生じている。先進国への投稿の要請を促したいが、ここにも財政上の悩みが影を落としている。会誌の目的、内容も含めて検討されているが、解決の道は遠いようである。

(4)に関しては、最も議論が集中するところである。一つは、応用地質学は種々の分野との中間領域を扱っているため、それぞれの学会と競合するところが多い。とくに水文学：国際水文学会（IAH）、岩盤工学：国際岩の力学連合会（ISRM）、土質工学：国際土質工学会（IASMFE）との関係は、会員も重複している場合が多く、後二者とは国際的にも三学会の定期的な会合を開いて調整をおこなっている。オーストラリアや東南アジアでは、自動的に共通の会員としている国もいくつかある。もう一つは環境、災害の分野である。これは上記の学会も含めて、さらに大きな領域を対象とした学際的な分野であり、ここでは応用地質学がどのような学問・技術体系を持ち込むかが問題とされる。と同時にどのような組織のなかに活動の場を持つかも重要な問題である。いずれの場合にも、基本的には、応用地質学とは何かに帰することであり、この辺の議論もつきない。この議論は、STATUTESの改訂にもからんでおり、結局STATUTESでは、次のように結論づけている。

「ENGINEERING GEOLOGYとは、地質と人間活動の相互作用の結果として生じるエンジニアリングや環境の問題の調査・研究やその解決に関するSCIENCEである。そして自然発生的な災害の防止や復旧などに関しても、その予測や計測を行う分野である」。

このような国際的な動向は、日本でもそのまま当てはまる問題であり、具体的な内容も含めて、早晩国内でも議論が展開されることになろう。

2-3. (2) Council Meeting について

藤田 元夫 (国際委員長)

国際応用地質学会 (IAGE) の評議員会 (Council Meeting) が6月7日にフランスのモンペリエで開催され、日本からは岡本隆一 IAGE-JAPAN 会長 (日本応用地質学会会長) が日本代表として出席し、藤田元夫 IAGE-JAPAN 運営委員長 (日本応用地質学会国際委員長) がオブザーバーとして同席しました。また、IAGE 副会長 (アジア地区担当) である小島圭二教授は、この前日に開催された執行委員会 (Executive Committee) にも参加され、評議員会には執行部の一員として出席されました。なお、この IAGE 評議員会は、IAGE 後援の国際シンポジウムである "GEOCONFINE 93" (6月8日~6月10日) に併せて開催されたものです。

IAGE 評議員会は毎年1回開催される IAGE の最高議決機関 (*) であり、モンペリエ会議においては、1992年度の活動・会計報告と1993年度予算などの IAGE 活動の全般について報告・審議されました。その概要を、筆者の感想を交えながら、以下に報告いたします。

(*注: 昨年の京都総会における会則改定により、総会は廃止され、評議員会が最高議決機関になりました。今回は会則改定後初めての評議員会でした。)

(1) 出席者

IAGE 評議員会の出席者は約30名であった。Oliveira 会長 (ポルトガル) をはじめ、Arnold 元会長 (フランス)、Langer 元会長 (ドイツ)、Primer 事務局長 (フランス)、Masure 会計担当 (フランス)、Braybrooke 副会長 (オーストラリア)、Marinos 副会長 (ギリシャ)、Anguelov 副会長 (ブルガリア)、Hawkins イギリス代表など、昨年の京都での IAGE 会議で日本にもおなじみとなった面々が多かった。日本からは、上述したように、小島教授、岡本会長、藤田の3名が出席した。

スロバニア (元ユーゴスラビア西部) やルーマニアなどの旧社会主義国からの出席者もあったことが、他の出席者の関心と呼んだ。ルーマニアでは、ルーマニア応用地質学会主催 (IAGE 後援) の国際シンポジウムを来年開催するとのことである。しかし、アジ

ア地域からは、日本代表以外には、インド代表が出席したのみであり、同じアジアの一員として残念であった。

(2) IAEG 会 員 の 現 況

Oliveira会長からの報告によれば、1993年度初頭におけるIAEG会員数は次のとおりである。

- ・講読会員数 : 4,279名 (前年比47名減)
- ・非講読会員数 : 1,184名 (前年比58名増)
- ・個人会員数 : 186名 (National Groupが組織されていない国の会員)
- ・賛助会員数 : 138社

講読会員数は昨年に比べて47名減となったが、これはカナダにおける会員減が主原因となっている。カナダでは環境地質学や水理地質学の台頭によって応用地質学分野の学会再編が進み、これがIAEG講読会員の減少をもたらす結果になったとのことである。Arnold 元会長などからも、このような関連学会間での組織的競合は、カナダのみに留まらず、国際的な問題であり、IAEGとしても対応を検討する必要があることが強調された。

(3) 学 会 の 財 政 状 態 に つ い て

1992年度のIAEG決算は“黒字”となったが、東ヨーロッパ地域やアジア地域（日本を除く）、アフリカ地域からの会費回収率が悪く、会員数の増加も少ないために、IAEGの財政状態は依然として困難な状態にあることが報告された。このため、“Engineering Geology”のページ数を減らさざるを得ず、投稿論文の多くが掲載を待たされている状態にあるとのことであった。

このようなIAEG財政の困難のために、会長や事務局長、会計担当の活動は、各人の所属機関からの“持出し”に依存していることも報告されたが、このような事態を“異常”であるとし、強く問題視する意見が出された。また、会計報告資料の一部に間違いが見出されるなどの執行部の不備もあり、会計報告について挙手での採決が行われた。学会“長老”などの数名が不承認に挙手し、棄権も1名あったが、日本代表（岡本会長）

を含む賛成多数で承認された。日本が承認に挙手したのは、会計処理に一定の不備があり、“個人的持出し”が多いことも好ましくないことではないが、執行部側の会計管理自体に不正などの根本的問題があるわけではないと評価し、また、“持出し”を回避する具体的対応策が提起されないままに会計報告を否決することは学会運営に混乱をもたらすだけであると考えたことによる。

(4) 副 会 長 報 告

各副会長から担当地域におけるIAEG活動の現況報告があった。アジア地域の報告は小島先生によってなされたが、日本以外のアジアNational Groupsの国際的活動が低調であるため、その報告は日本応用地質学会とIAEG JAPANの活動の紹介が主体となった。

(5) 新 National Group の 承 認

アルメニアとスロバニアのNational Group からIAEG加盟の申請があり、異論なく承認された。会員数は、それぞれ6名と14名である。

なお、東ヨーロッパ諸国におけるIAEG National Groupの再建には、IAEG執行部と共に、ドイツやフランスなどが多々の援助を行っているようである。

(6) 各 委 員 会 報 告

以下の各委員会からの活動報告がなされた。

① Commission on Waste Disposal

(UNESCOにおける廃棄物学会との協力について検討されつつある。)

② Commission on Engineering Geological Maps

(UNESCOを通じて、水理、地球化学分野等との協力を努めつつある。)

③ Commission on Building Stones and Ornamental Rocks

(レポートが集まってきているが、出版資金の問題に苦慮している。)

④ Commission on Teaching and Training

(リスボンでのIAEG国際会議においてworkshopを開催する。各国の経験を集中してもらいたい。)

⑤ Commission on Landslide

(リスボンでのIAEG国際会議においてとりまとめを行い、6、7ヶ国語に翻訳する予定である。)

⑥ Commission on the Protection of Ancient Monuments and Historical Sites

(イタリアNational Group が中心となって、他の関連学会と共にシンポジウムを開催する計画である。)

(7) 第7回IAEG国際会議の準備状況

来年(9月5日～9月9日)リスボンにおいて開催されるthe 7th. Congress of IAEGの準備状況について、ポルトガル代表とOliveira会長からの報告があった。

- ① 7月に2nd. circularを出す。10月abstract締切、来年4月論文締切。
- ② 2論文の発表ごとに討議を行う方式で運営していく。
- ③ 会期中のリスボン周辺の“visits”や会期後の“tours”を計画している。
- ④ 展示会場も開設するので、多くの機関・企業からの申込みを期待している。
- ⑤ 参加費を次のように決定した。

表2-3-1 the 7th. Congress of IAEG参加費 (USドル)

区 分	3月15日まで	6月15日まで	6月16日以降
IAEG会員	475	575	675
非会員	575	675	775
若年会員(*)	300	350	400
学 生	200	250	300
同 伴 者	200	250	300

*33才未満で論文を受理された者

これらの参加費には、レセプション、夕食会(学生を除く)の費用も含まれており、同伴者の参加費には半日観光と全日観光の費用も含まれている。
 なお、キャンセルによる払戻し率は次のとおり。
 6月15日以前: 80%、7月31日以前: 50%、以降: 払戻しなし

(8) その他のIAEG関連シンポジウム

今後開催されるIAEG後援の国際会議・シンポジウムには以下のようなものがある。

- ① Landplan IV, International Conference on Geoscience in Urban Development
(北京、1993年8月11～15日)
- ② International Symposium on "Hard Soils, Soft Rocks"
(アテネ、1993年9月20日～23日)
- ③ International Symposium on Geological Engineering and Geoenvironment
protection (ブカレスト、1994年5月26日～28日)
- ④ International Symposium on the Conservation of Monuments
(ベニス、1994年6月24日～27日)
- ⑤ With European Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering
(コペンハーゲン、1995年5月28日～6月1日)
- ⑥ 7th International symposium on Landslides
(トロンヘイム、ノルウェー、1996年6月17日～21日)
- ⑦ 7th Australia and New Zealand Conference on Geomechanics
(アデレード、オーストラリア、1996年7月1日～7日)
- ⑧ 30th International Geological Congress
(北京、1996年8月)
- ⑨ 8th IAEG International Congress (1998年)
(開催地未定。現在オーストラリアーニュージーランド又はカナダでの開催を打診中であるが、他での開催希望があれば7th Congressの4月前までに名乗り出るようにとのことである。)

(9) HANS CLOOS MEDAL候補者選定について

応用地質学の発展のために国際的貢献を行った研究者に対する表彰であるHANS CLOOSMEDALの候補者が3名挙げられていることが紹介され、評議員会の意見が聴取された。(評議員会の後に再開された執行委員会において、アメリカからの推薦者にメダルを授与することが決定されたとのことである。)

(10) そ の 他

- ① 京都(1992年)における評議員会議事録が承認された。
- ② IUGSにおけるIAEG活動の概況について報告された。
- ③ IAEG会員名簿を今年中に発行する。
- ④ IAEGの紹介リーフレットをフランスNational Groupが中心となって作成する。これに適した写真があれば、本部に提供してほしい。

(11) 次回のIAEG会議は、the 7th. Congress of IAEG (リスボン) に併せて、以下の日程で開催されることが確認された。

1994年9月3日(土) : 執行委員会

9月4日(日) : 評議員会

評議員会の論議の中で、Arnold 元会長やLanger元会長などの“長老”から、IAEGが対象とすべき分野について何回も言及され、“geo-mechanics に限定しては時代の趨勢に遅れる”、“環境地質や水理地質は応用地質と共通の傘の下の分野である”、“IAEG会則においては環境地質の位置づけがまだ低い”などの意見が出されたことが印象的でした。

また、Oliveira会長などの執行部からは、IAEG京都会議における日本の協力への感謝の意が表明されたと共に、会員拡大や、会費納入状況、本部との連絡、名簿発行への対応などに関して、日本が“模範生”として何度も“名指し”されたことも強く印象に残りました。このように国際会議の場で“日本の面目”を施すことができたのも、IAEG京都会議の成功やIAEG会員拡大に対する日本応用地質学会の会員並びに賛助会社の御協力の賜物であり、改めて感謝する次第です。しかし、ドイツでのIAEG会員が570名、フランスが375名という国際的な会員数の実情と比較して、日本の会員数(約190名)はまだまだ少ないことも痛感しました。また、ルーマニアのように国家再建の困難を抱えている国が国際シンポジウムを計画している報告や、近隣諸国であるオーストラリア・ニュージーランドが中国との交換巡検を実施していることなどを聞いて、感心すると共に、うらやましくも思いました。さして遠くない将来に、日本でも応用地質学分野の国際シ

ンポジウムを開催できる日が来ることを目指して、IAEG JAPANの会員をさらに飛躍的に拡大する努力を決意すると共に、日本応用地質学会の会員並びに賛助会社の皆様にさらなる御協力を切に御願ひする次第です。

朝の9時から夕方6時まで、昼食も会場内にとるハードな会議の上に、英語での論議に全身を“耳”にしていたために（相当“難聴”でしたが）、疲れ果てて会場をでました。しかし、夕方6時とはいっても、太陽の位置は日本の午後3時頃。まだまだ“夜”は長く、夜8時半からフランスNational Groupの主催による歓迎会に招待され、ワインとフランス料理、そしてフラメンコを楽しむ中で、会議の疲れも解消しました。

2-4. 課 外 編

2-4. (1) ボルドーの地質とワイン

大竹 照 光

ま え が き

ボルドーのワインとしての名声は、特に赤ワインの上に築かれたものである。その一翼を担っているのが今回訪れた「サンテミリオン」地区で、ここは、北のメドックとともにボルドー地方を代表する赤ワインの産地として知られている。

しかし、その背景をみると、必ずしも大きなぶどう園があるわけではなく、どちらかと言うと小さなぶどう園がたくさん集まってひとつのエリアを形成しているようである。

それだけに、多くのワインシャトウが見られることになるが、特に、格の高い所としてはオーゾンヌやシュヴァル・ブランなどが知られている。

私達が訪ねたシャトウは、サンテミリオンの街に近い「ブレール」で、途中、テイスティングをはさんで、石灰岩地山につくられたカーヴなどを見学した。

今回、このように「ボルドーのワイン」に親しむ機会を得たので、ここでは文献等をもとに本地域の地質とワインについてその概要をまとめてみた。

1. シャトウ・ブレール見学

見学に先立ち、ブレールの技術部長であるパスカル・ルベック氏から当地区のワイン一般に関する説明を受けた。

説明は約10分間であったが、地質と気候との関係などを主にワインの奥の深さを説いていた。その要旨を紹介すると以下のようである。

『この地区のぶどう園は良質のワインを生産していますが、それはここの土壤のためなのです。』

このぶどう園は紀元 300年頃、つまり約1700年前にぶどうを栽培し始めました。大いに発展して今日のような大きなぶどう園になりました。

現在、ここでは2種類のぶどうを栽培しています。「メルロ」種は円いぶどうでワインにまろやかさを与え、いわば筋肉のようなものです。そして、「カバルネ・フラン」種はもっと固いタイプのぶどうで、こちらは骨となるものです。この2種類のぶどうを

ブレンドすると、良くバランスのとれたワインができます。

2種類のぶどうはそれぞれ違った土壌で栽培されます。ここの地山は石灰岩からなりますが、それほど固くなくて水分を35%くらい含んでいます。

この斜面の地下には固くて密な粘土、緑の粘土それと少し青みがかった粘土がありますが、いずれも水分は多くありません。

その下には、もっと多くの粘土を含むモラッセや、礫が多く粘土の少ないモラッセがあり、更にその下には砂があります。これらの土壌の下に石灰岩があるので土壌はなめらかになるのです。土壌のphは 7.5から 8.5です。

メルロ種は、いろいろ違った土壌で栽培するのでそのワインの味も違ったものとなります。この果実は石灰岩の上では長くなり、粘土の上ではとても固く、また砂の上では太ったものとなります。これらを混ぜ合わせてワインを造るととてもバランスの良いワインができます。

太陽と雨もまた土壌とぶどうの間の反応に変化を与えます。雨が少ないときは石灰岩上での反応が特別なものとなり、ワインの質に独特な味を与えます。さらに強い味となるものもあり、軽い味となるものもあります。それは酸性度が違って来るからです。

概して、ぶどう木は寿命が長く平均40年です。普通の寿命は人間と同じように80年から85年くらいですが、良質で少量のぶどうが採れるものは寿命が長く、質が悪く量の多いものはもっと短くなります。良いワインを造るには、人間同様、ぶどうにも経験が必要なのです。

ぶどうの収穫には何百人もの人が、このためにやって来るジプシーですが、一緒に手で摘み、小さな籠に入れて地下に運び再選別します。良いものでなければ捨てて堆肥にしまいます。決してワインにはしません。

ぶどうの個性は、結婚のように、違った種類の土壌とぶどうの木と太陽の光と一緒にあってできるものです。

醸造に際しては、ぶどう園のいろんな場所からいろんな時期にぶどうを摘みます。白いのも、青いのも、赤いのもあります。その後、ブレンドして醸造するのです。

醸造後は、どのタンクのワインもよく調べブレンドして味わってみます。ときには悪いのもあり、良いのもあります。1 + 1 が必ずしも 2 とはならないのです。1 + 1 が 4

にも2にもまた別の何かになることもあります。

これが、“C'est la Vie”（それが人生さ!）と言うことです。

つまり、「 $1+1=3$ 」ということです。ブレンドによって質が良くなるということです。』

II. 地 質 の 概 要

ピレネーに源を発するガロンヌ河は、ボルドー市の東端を北西に流れ、北のドルドーニュ河と合流してジロンドの大河となって大西洋に流れ込む。

ボルドー地方は、これら河川の両岸地域に発達した低地～丘陵地からなり、この地域一帯にぶどう畑が広がっている。

ボルドーのワインは赤ワインで特徴づけられるが、地域全体が赤ワインだけを産するわけではなく、それはぶどう栽培面積の約60%で生産されているに過ぎない。

品質の最も良好なぶどうの栽培地域は、ジロンド河の河口に沿った斜面や沖積段丘、それに標高が概ね15～120メートルのガロンヌ河とドルドーニュ河の下流地域にある。

これに対して、もっと質の低い品種の栽培地域は、より低地部を形成する標高5～10メートルの流域斜面に位置している。

本地域の地質図を示したものが図 2-4-1 である。図では、地質図にぶどうの栽培地域を重ねて示している。

これによると、本地方のぶどう栽培地域の地層は変化に乏しく、もっぱら第三紀ならびに第四紀に属している。そして、これらの地層はアキテーヌ盆地とシャラント県との境界付近（ボルドー地方の北）でジュラ系と白亜系に載っている。

また、これらは第三紀・始新統～漸新統のマール、モラッセおよび石灰岩ならびにしばしばシルト層に覆われた礫～砂質の鮮新統・第四系の沖積層で構成されている。

III. ぶ ど う の 栽 培 地 域 と 地 質

図 2-4-1 によると、ぶどう栽培地域は基盤の地質によって系統的な特徴を示すようある。

そこで、主な栽培地域と地質との関係を概観すると図 2-4-1 のようになる。

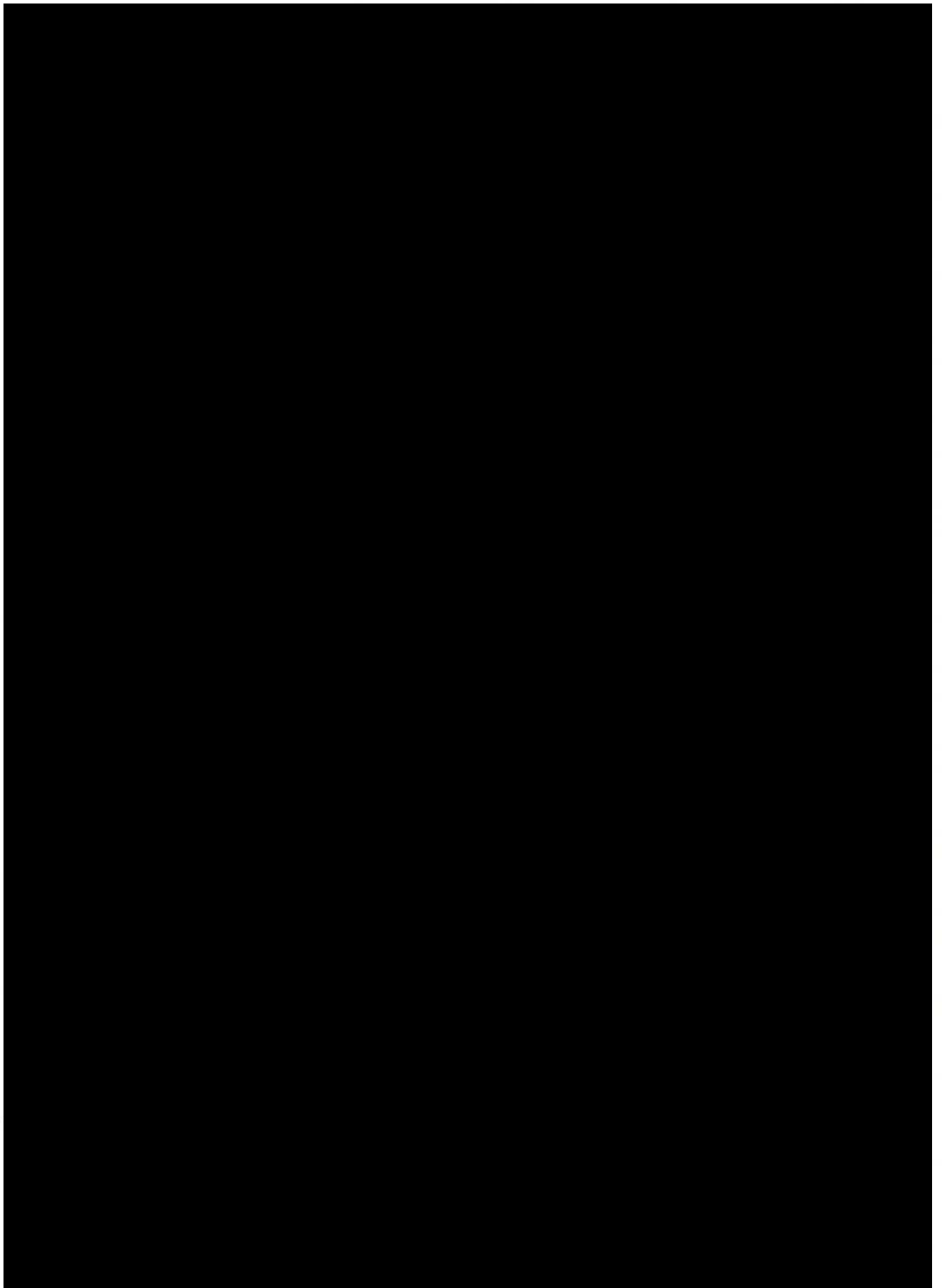


図 2-4-1 ボルドー地方の地質とぶどう栽培地域

① プレミエール・コト・ド・ブライ

良質な赤ワインを産するこの地域はボルドー市の北東約50キロメートルのジロンド河々口付近の右岸にある。

地質は、主として海成で時に気水～潟成あるいは湖成である始新統のマールと石灰岩で、河口に直角なブライ・リストラック背斜の東側に属している。

② コト・ド・ブール

この地域は、上記のプレミエール・コト・ド・ブライの南側にあり、同じく質の良い赤ワインを産する。

ぶどう栽培地域はヒトデを含む石灰岩の斜面に発達している。ここは鮮新統の粘土をマトリクスとした礫層に覆われていることが多く、また、この礫層自体も第四系のシルト層に覆われている。

③ サンテミリオン

本地域は、リブルヌの東のドルドーニュ河の右岸にあり、メドックに比肩する名声の赤ワインを産する。

私達一行が見学したシャトウは、このサンテミリオンの丘陵地にある

この地方の地質は、必ずしも一様ではないが、漸新統の石灰岩やモラッセの基盤が非常に広く分布しており、このことが、この地方の多くのシャトウに共通する特徴と考えられている。また、場所によっては、これらの地層の風化と地層の被りが土壌の性質に著しい多様性をもたらしている。

④ ポムロール

サンテミリオンに隣接するこのポムロール地方でも非常に有名な赤ワインを産する。

ここでは、漸新統の堆積物が第四系の礫質の沖積層に覆われている。すなわち、ドルドーニュ河あるいはその右岸の支流であるイル川の堆積物としてしばしば薄く発達する沖積層が漸新統の堆積物を覆う地盤構成である。

⑤ アントル・デュ・メール

「ふたつの海の間（アントル・デュ・メール）」と呼ばれる本地域は、北のドルドーニュ河と南のガロンヌ河とに囲まれた低地で、辛口の白ワインの一大産地のひとつである。

本地域の地質はかなり多様であるが、主に漸新統と中新統に属する陸成～潟成相の地質例えば、湖成の石灰岩、モラッセあるいは砂岩などで構成されている。

そして、アントル・デュ・メールの礫質粘土からなる表層堆積物は数メートルの厚さをもって地域全般に分布する。

⑥ サント・クロア・デュ・モンとルピアック

アルトル・デュ・メールの南側に位置し、有名な甘くて濃いワインを産する。ぶどう栽培地域は礫質粘土が載る中新統の石灰岩、砂岩、モラッセならびにマールからなる斜面にあり、全体としてガロンヌ河の右岸をなし、河の上に 100メートルも張り出している所がある。

⑦ グラーヴ

本地域は、ボルドー市の南にありガロンヌ河の左岸地域を形成する。ここもまた赤と白のワインで成功をもたらし、多くはボルドーの格付けされたグラン・クリュに挙げられている。

この地域の土壌は、ガロンヌ河の第四系の段丘起源の礫を含み、その基盤である中新統のヒトデを含む石灰岩や貝殻に富む砂から成る中新統を覆っている。

⑧ メドック

本地域は、ジロンド河の河口付近の左岸沿いにある幅約10キロメートルの地域に限られ、ボルドーのワインの名声に大きく貢献した有名な赤ワインを産する。

ぶどう栽培地域の地質にみる支配的な特徴は、層厚10メートルにも達する第四系の礫質の段丘が広く発達することである。

この段丘層はブライ・リストラック背斜によって露頭した始新統のマールと石灰岩、あるいは礁とその付近のヒトデを含む石灰岩の上に分布する。

IV. ワインの品質

1) 土壌と気候

一般に、ボルドー地方では地盤の性質がワインの品質に決定的な影響を及ぼすことはないようである。したがって、砂礫からなる第四系の沖積土、ヒトデを含む石灰岩あるいは粘土質の露頭部にさえ、最も品質の良い赤ワイン用のぶどうが栽培されてい

る。反対に、母岩が同じでも、栽培地域によって品質に非常に差のあるワインが造られている。

土壌の窒素やマグネシウムなどの化学的特性は、（生産量増加のために土壌を必要以上に肥沃としない限り）現実問題としてワインの品質にほとんど影響を与えない。

また、気候面からみた場合、ボルドー地方の平均の気温と日照時間は高級ワインを大量に生産するに十分であるとはいえない。にもかかわらず、高級ワインは生産されており、気温や日照時間が品質に決定的な影響を与えているとも思えない。

このように、ワインの品質と土壌や気候との関係を考えてみたが、ワインの品質を決定する要素を知るには、土壌の物理的性質、例えば、その生成過程と構造、空隙率や透水性ならびにこれらがぶどうの木の成長に与える効果や水の吸収速度などを調べる必要がありそうである。

2) ぶどうの木

土壌や気候などと同様に、ワインの品質に重要な影響を及ぼすのはぶどうの品種であり、これは厳しく管理統制されている。

ボルドー地方で生産されているぶどうの品種は少なく、赤用の主な品種としてはカベルネ・フラン、カベルネ・ソーヴィニオン、メルロがあり、これらに、コトとプчевェルが加わる。

白用としてはセミヨン種が卓越し、これにソーヴィニオン、ミュスカデル、ユニ・ブランが加わる。

これら品種は、ワイン醸造に対する適性ばかりではなく、強さ、収穫量、収穫期あるいは病気に対する抵抗性などの栽培特性がそれぞれ異なっている。

主な品種とそれからできるワインの特徴を簡単にまとめると以下ようになる。

＜赤の品種＞

① カベルネ・フラン

ロアール河からピレネー山脈に至る西側のぶどう畑全体で栽培され、かなりコクがあるがしなやかな芳香のあるワインを産する。

メドック、グラヴ、特にリブルヌ地方にみられる。

② カベルネ・ソーヴィニオン

メドックの主な品種で、コクがあって色が濃く、特徴のある香気を放つがタンニンの強いワインとなる。

③ メルロ

アルコールが強いもののしなやかなワインとなり、カルベネに加えると味が良くなる。

他の品種に比べて結実不良となり易く生産が安定しないが、ボルドー地方では最も広く栽培されている。

〈白の品種〉

① セミヨン

白ワインのぶどう栽培地域では基本となる品種である。このワインはアルコール分が高いが、酸度が低く必ずしも芳香ではない。

ある条件のもとで貴腐となる特徴があり、甘くて濃いワインに仕上げるができる。

辛口ワインの生産には向かない。

② ソーヴィニオン

収穫量は低いが、他の品種と組み合わせることによってコクと香気のある辛口や甘くて濃い高級ワインとなる。

③ ミュスカデル

わずかに香気のあるワインとなるが、ソーヴィニオンほど繊細ではない。生産量は少ない。

以上、ワインの品質に係わる土壌と気候、ならびにぶどうの品種について極く一部をまとめたが、ぶどうの品質には土壌、微気候、台木、あるいは栽培方法がさまざまな形で係わっているようである。そして、今日に至る品質は、多くのぶどう栽培者の経験で少しずつ確立されたものである。

また、この「ぶどうの質」と「ワインの質」との関係は十分に解明されていないのが実状で、ぶどう生産者によるワイン醸造のノウハウはこれからのワイン造りとその発展に重要な役割を演ずることになる。

V. サンテミリオンの地質

今回訪れたサンテミリオンの街は、ドルドーニュ河を見おろす高台にあり、付近の代表的な露頭を示すと図 2-4-2 のようである。

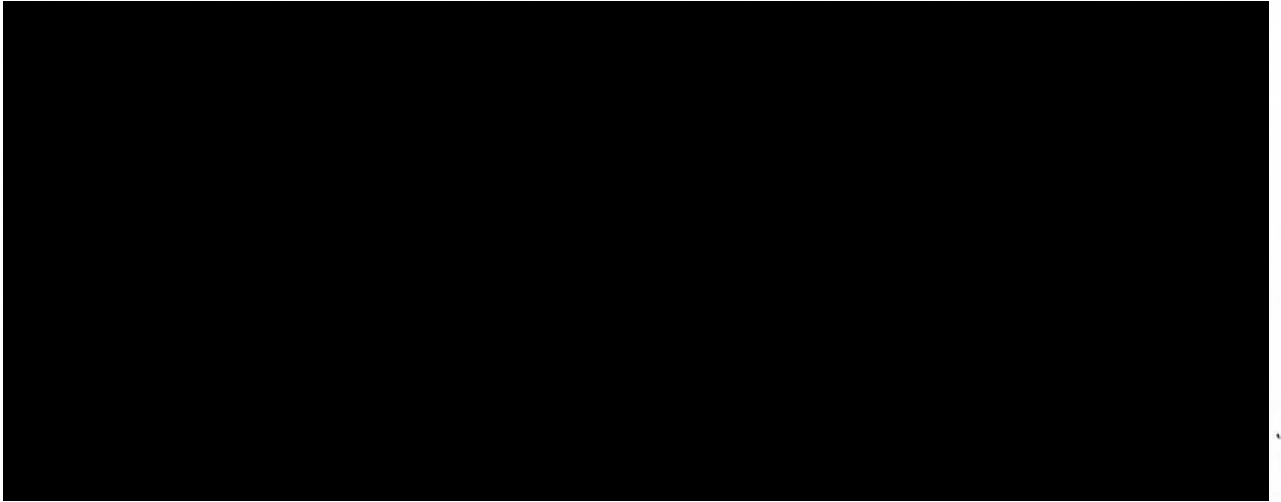


図 2-4-2 サンテミリオン付近の地質断面

本露頭は、ぶどう畑の頂上に至る斜面上のもので、大局的には砂がちなモラッセの上にヒトデを含む石灰岩が載る構成である。街はこの石灰岩の上に形成されている。

モラッセの上位には、下部漸新統の緑色粘土やマールが石灰岩への漸移帯を形成しており、石灰岩の基底には多くの湧泉がみられる。

ぶどう畑はこの高台から周囲に連続する斜面上に広がっており、基盤岩の風化と表層の被りが土壌の性質に変化をもたらしていると考えられる。

あ と が き

フランスのワイン等に関する書物は街の書店でも何冊かみつけることができる。しかし、地質との関連で記載されたものとなると、一般には余りみられないようである。

幸いなことに、第26回万国地質学会（パリ、1980）の巡検案内の資料でもある「THE WINES AND WINELANDS OF FRANCE」の第3章「BORDELAIS」ではボルドー地方のワインや地質を詳細に取りあげている

さらに、建設省の市川地質官が、この文献のほとんどを翻訳され、ボルドー地方の箇所を資料として今回の調査団一行に配付して下さった。

ここで記載した内容の大筋はこれらの資料に知識を求めたものであることをお断りし、併せて市川地質官にお礼を申し上げる次第であります。

ただし、本文は文献の翻訳あるいは抜粋・転写を主眼としたものではないので、表現等に適切でない場合があったとしても、それは資料と係わりのないものであることを申し添えておきます。



写真 2-4-1 見学に先立つワイン講義（シャトゥ・ブレル パスカル・ベック氏による）



写真 2-4-2 ワインのテイスティング



写真 2-4-3 見学したカーブを背に全員集合（許氏提供）

石灰岩は石材として地下から切り出され、残された低（定）温の空洞に、ワイン樽が寝かされていた。また、階の違う空洞は、マッシュルームも栽培されていた。

写真 2-4-1 のパスカル氏は、我々が Geologist の集団であることが判ると非常に興味を示して、普段は案内しないという鍵のかかっているカーブの隅々まで、大きな鍵束をガチャガチャいわせて案内してくれた。

第3回応用地質学海外調査団として、南フランス特にピレネー山脈の地形・地質を調査巡検の途中、ロワール峡谷にて現存する古城（シャトー）にふれることができました。美しい自然の中に佇むシャトーを一見できた感動は、随所で初飲したワインとともに今回の調査旅行で得た大きな土産（体験）となりました。

ロワール川はフランス4大河川の1つで、全長1,020Kmに及ぶフランス最長の大河である。プレカンブリアン地層からなる中央山塊に端を発するロワール川は、オーベルニュ地方を北に流れてサルトル地方に入り、パリに近いオルレアン付近で急に西に流れを変えフランス中央部を流れ下り、遠くナントで大西洋に注いでいる。

ロワール川の流域はフランスでも屈指の豊かな土地で、中でもオルレアンからトゥールに至る約120Kmの間は「ロワールの谷（ヴァル・ド・ロワール）」と呼ばれている。谷とはいっても日本のように急流が激しく岩壁を洗う峡谷ではなく、ロワール川によって運ばれ形成された広い沃野、緑豊かな森や牧草地、ブドウ畑や果樹園などに覆われた緩やかな丘陵地の中を、静かにゆったりとロワール川が流れているもので、雄大で美しい自然が広がる流域である。

温暖な気候と豊かな自然が溢れるロワールの谷周辺は、“王侯貴族の庭”といわれ、谷沿いの川辺や森の中には中世から近世にかけてフランスの王侯貴族たちが競って城砦や城館を築いており、豪華な建築ときらびやかな美術工芸に飾られた多くのシャトーが並ぶフランスの中心で、ルネッサンス芸術が開いた地域であった。

ロワールの谷一帯には、大小・新旧・国有・私有あわせて100以上のシャトーがありその幾つかは観光のための見学コースとなっている。

今回の巡検の途中、ロワール川沿いトゥールの近傍に残る有名で人気の高いシュノンソー、ランジェ、シノン、ソミュールの4つのシャトー（城）を見学する機会をもつことができました（図2-4-3にシャトーの位置を示す）。

各シャトーの歴史や見学した時の印象を雑感として述べ、旅の思い出としたいと思います。

(参考文献)

- ・ロワールの城 : アルメル・ド・ヴィム著
- ・ロワール地方 : フランス政府観光局
- ・ポケットガイド「フランス」: JTB出版事業部

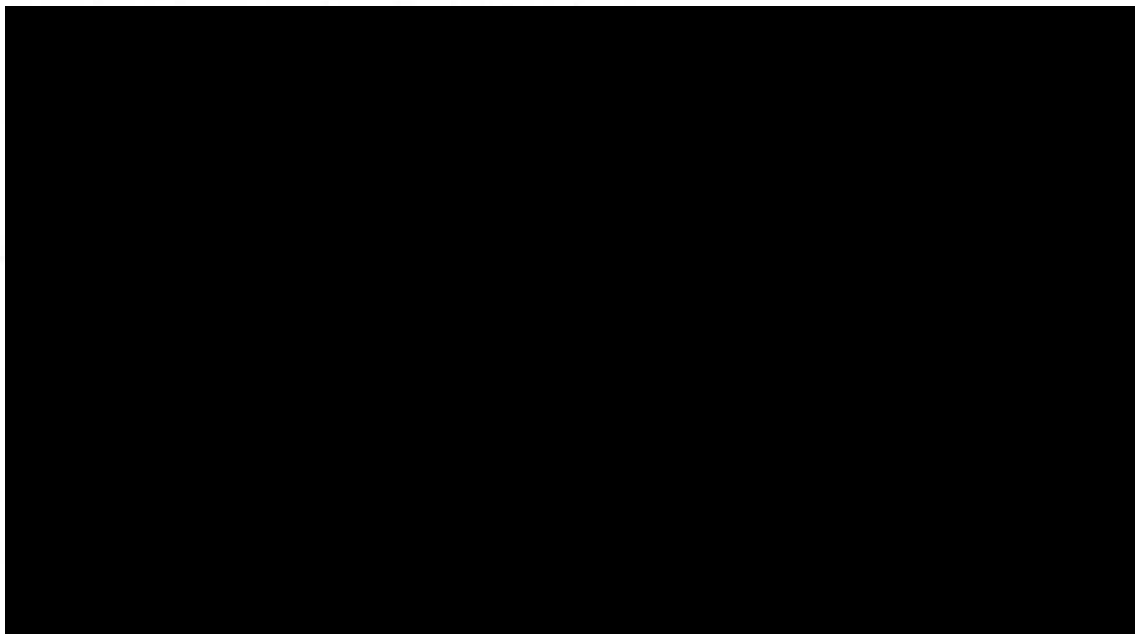


図 2-4-3

1. シュノンソー (Chenonceau) 城

ロワール川の支流シェール川の花崗岩の河床上に跨がって1513年に建造され、ルネッサンス時代の華やかさを伝えるエレガントな城館（シャトー）である。

シェール川に腰掛けるように建つその女性的なたたずまいからも想像できるように、シュノンソー城に係わった女性に纏わるロマンを秘めており、別名“6人の貴婦人の城”と呼ばれている。

6人の女性の中で特に有名なのは、アンリ2世の愛人で絶世の美女と言われたディアヌ・ド・ボワティエである。王から贈られたシュノンソー城をこよなく愛し、城につづけて川を跨ぐ橋を造り、美しい庭園を残したのはディアンヌの功績です。しかし、槍試合の事故で王が命をおとした後、実権を握った正妻のカトリーヌ・ド・メディシスが

ディアンヌから城を取り上げて居城とした。橋の上に2層の回廊を加えたのはカトリーヌであり、カトリーヌの死後も代々女性の城主に引き継がれ、女性達の思いで現在の姿が出来上がっている。

まず、敷地に入ると緑のプラタナスの並木が続き、その先に美しい城館が眺められる。両側にディアンヌとカトリーヌの見事な庭園を携えながら、シュール川の水面に6つのアーチを持つ白とグレーの優美な影を映す水上の城館は、気品があり見る人の心を魅了してやまない。ロワールで最もロマンチックなシャトーの1つと評されていることが容易に理解できる。

城内の各部屋には、城の歴史を物語る絵画や調度品が展示されており、洗練された趣味に加え、過去の栄光や幸福のはかなさ、女性たちの恋物語、そして残酷で陰惨な事件などを伺わせてくれます。

城内には城にゆかりの人物のロウ人形博物館もある。

川を跨ぐ回廊では、ベルナール・ビュッフェの版画展示即売会が開催されており、鑑賞できたことは感動の上にまた感激でした。

II. ランジェ (Langeais) 城

トゥールのすぐ西のロワール川のほとりに、中世の堅固な要塞の面影を残し丸い物見櫓や銃眼、跳ね橋、濠などを備えたランジェ城が建っています。

今回、スケジュールの都合で城に着いたのが開門時間前だったため、残念ながら城内の見学はできなかったが、外観から要塞としての重厚さが感じられた。

ランジェ城は、英仏百年戦争のあとロワール川流域地方を守るための軍事的要塞が必要と考えたルイ11世により、1465年から4年ほどで再建されたもので難攻不落を誇る城砦となっている。ルイ11世の死後、王位となったシャルル8世が城主となり再び手が加えられている。外観はルイ11世が望んだような城砦ですが、内部の城館は数多くの小塔や明かり窓などで飾られており、プレルネッサンス様式を示す造りとなっている。

フランス王シャルル8世とブルターニュの最後の王女アンヌとの結婚式の飾り付けがそのまま残る大広間が有名。



写真 2-4-4 “6人の貴婦人”と呼ばれ優美な姿を映すシュノンソー城。



写真 2-4-5 要塞の面影を残すランジェ城。物見櫓と銃眼。跳ね橋。

Ⅲ. シノン (Chinon) 城

シノン城は、ロワール川の支流ヴィエンヌ川を見下ろす断崖の上に建つ難攻不落の要塞で、シノンがかつて英国領であった時に英国王のヘンリー 2 世とリチャード 1 世により建造されたもので、13 世紀になってからフランス領となった。この城は、フランス救国の乙女ジャンヌ・ダルクが後の国王シャルル 7 世と接見したことで有名である。

要塞を兼ねたシノン城は、堀によってサン・ジョルジュ城、中央城、クードレ城の 3 つに分かれている。かつて宮廷のおかれた城は、15 世紀以来荒れるにまかせ時とともに崩れ落ち、現在は、クロック塔をはじめとする幾つかの塔と城壁を残すのみとなっている。(城内に 1/100 のシノン城復元模型があり、過去の様子を知ることができる。)

いずれにしても、シノン城は古き良きフランスの重要な遺跡の 1 つで、”兵どもが夢のあと”という古城の印象を強く受ける。

王位継承権をめぐる 1338 年から百年もの間、英・仏で争われた百年戦争はジャンヌ・ダルクのオルレアン解放を機にフランス側が有利となり、結局英国が破れることとなったが、伝説によると 1429 年 3 月 6 日シノン城の高楼にある大広間で、田舎娘のジャンヌ・ダルクが貴族や 300 人を越える騎士たちの中に紛れている王太子シャルル 7 世を一目で見つけて謁見を行ったと言われ、そののち王とフランスを救うためにジャンヌ・ダルクは、この城から軍勢を率いてオルレアンに向かったのです。

現在大広間の跡を見ることができ、またクロック塔の 1 つはジャンヌ・ダルク博物館となっており、有名な鎖帷子を見ることができた。

かのジャンヌ・ダルクも眺めたであろうシノン城壁上からは、雄大で美しいロワール川流域の景色が一望でき、思わず感嘆の声を上げるほどでした。この景色を眺めながら祖国フランスと美しい国土を守るため、勇気を奮い立たせたことが偲ばれた。

Ⅳ. ソミュール (Saumur) 城

悠久の時を映して静かに流れるロワール川を眺めながら、偉容を誇るかのように高台に建つソミュール城は、14 世紀末にシャルル 5 世の弟アンジュー公ルイ 1 世によって再建されて、15 世紀になりアンジュー公ルイ 2 世の息子ルネが内部を改造したもので、再建されたばかりの壮大な城館は、太陽の光をまばゆいばかりに照り返していたそうであ



写真 2-4-6 シノン城。ジャンヌ・ダルクと国王が接見した大広間の跡。



写真 2-4-7 ジャンヌ・ダルクも眺めたであろうシノン城壁からの展望。



写真 2-4-8 対岸から高台に建つソミュール城を望む。

る。

今回は時間の都合により、ロワール川の対岸から遠望するにとどまったが、城郭の壮大さは充分感じとることができた。

ソミュールの町は、16世紀と17世紀に大いに繁栄の時を迎え、文化の中心地であった。1771年に創立されたフランス騎兵学校の前身はソミュール町にあり、騎兵パレードや隊列黒い方陣は現在も騎兵学校の馬術の基本となっている。

1940年第2次世界大戦のさなか、ドイツ軍のロワール川横断を騎兵学校と初陣の士官が勇敢に阻んだ話は有名である。

ソミュール城内には15世紀から18世紀当時の数多くの美術品などを所蔵した装飾美術館や乗馬美術館があり、是非見学してみたいものである。

お わ り に

竹下俊明（総務委員）

日本応用地学会 海外調査団も早いもので、今年で3回目を迎える事が出来ました。参加人数は第1回19名、第2回15名、第3回26名と増減はあるものの大局的には増加の傾向を示しており、地質技術者の海外研修機会が増えている事に幹事の一人として大変喜んでいる次第です。

今回の調査団は、フランスとスペインの国境をなす南欧のピレネー山脈縦横断の旅でシンポジウムが開かれたモンペレーからパリまでの全長約2500kmを8日間のバス見学となりました。最も移動距離の長い日は400km以上であり、このため朝4時起床、夕方10時（高緯度のため日没10時）着といった超ハードスケジュールを何の苦もなくこなした地質屋の体力はさすがと思い知らされました。バスの中では各担当者の説明、北村先生の判り易いピレネーの地質物語等、おそらく同じような巡検は二度と出きないような地質三昧の旅を十分に楽しませてもらいました。これも北村団長、岡本会長を始めとする良き先達を得た事、各担当者の事前の調査の賜物であったと思います。

帰国後の平成5年8月27日には、東京大学において日本応用地質学会第3回調査団報告ならびにシンポジウムを開いていただき、発表の機会を与えていただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。また、今回の報告書をまとめるにあたり、幹事の宇田氏には多大の献身的なご協力をいただいた事をここに記しておかねばなりません。更に、団員においては、各担当部門の執筆に際して、厳しい期限にもかかわらず、まじめに対処していただいた事に心から感謝の意を表します。

本報告書をまとめるにあたっては、紙面の関係もあり、図表や写真の重複をさけるため、もともとの原稿には載っていたものを省いた箇所が多数あります。執筆者の皆様には、ここにお詫びとおことわりをさせていただきます。

最後に本報告書が、今後南欧の調査資料の1つとして多くの方々にご利用いただける事を祈って日本応用地質学会 第3回海外調査団報告書のあとがきとさせていただきます。