

第5回 海外応用地質学調査団報告

(イギリス・アイスランド)

平成7年7月

日本応用地質学会
海外応用地質学調査団

Dorset East Devon

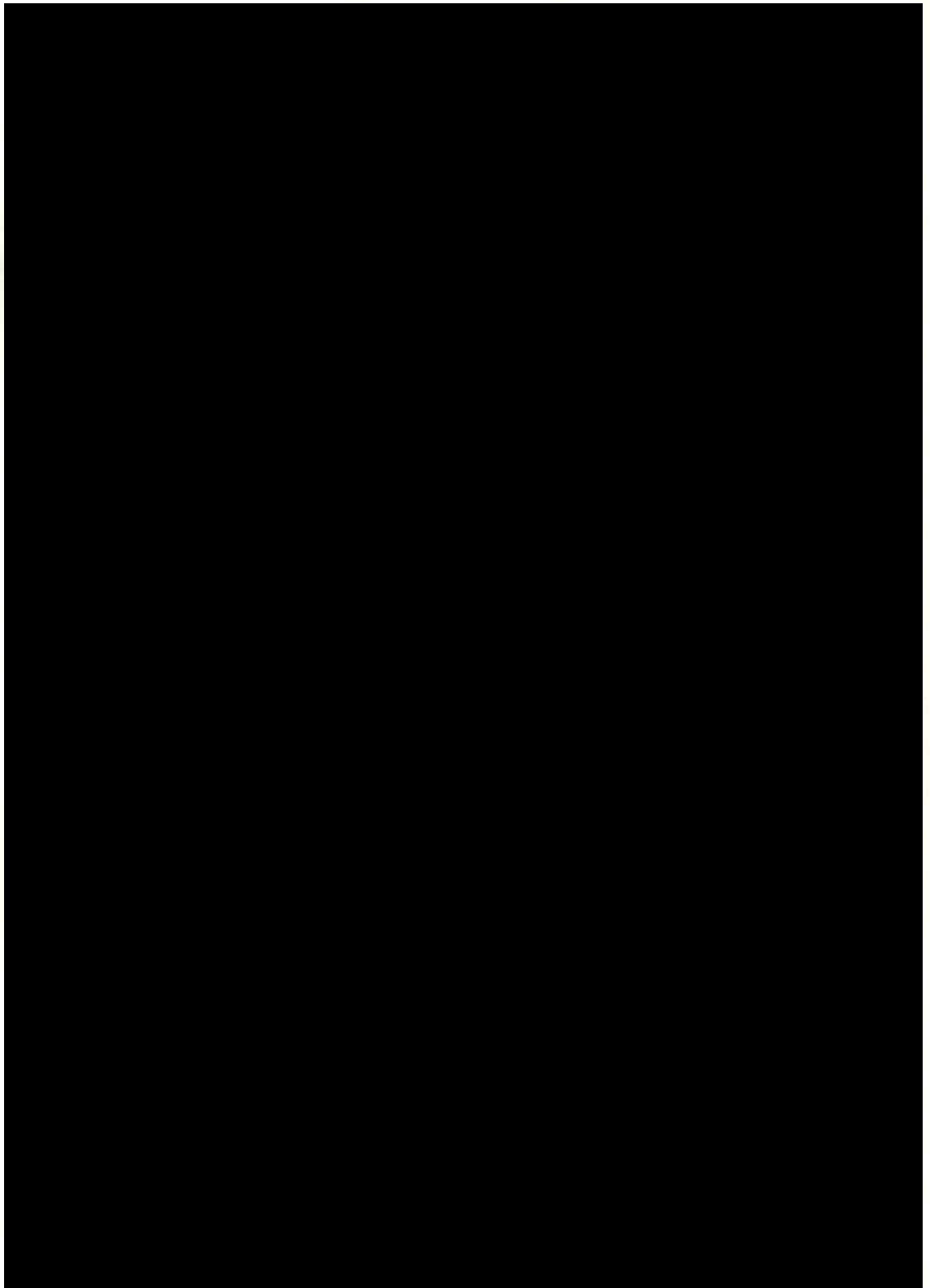


図 6-2-1 ブリテン島の地質

(写真番号は本文 6 - 2 章に対応)

目 次

1. はじめに (岡本隆一)	1
2. 調査団および本報告書の概要 (宇田進一)	8
3. 特別寄稿 イギリスの地質発達史 (岡田博有)	12
4. イギリス編	
4-1. ウェストミンスター地区土木建築用石材地質巡検 (岡本隆一)	40
4-2. ロンドン〜スウォンジー間の地質と行程 (本荘静光)	51
4-3. イギリスの橋梁Ⅰ (セバーン橋) (桶田隆司)	57
4-4. ウェールズ南部の地質 (中島史樹・宮崎精介)	59
4-5. ウェールズ北部の地質 (本江誠治・中曽根茂樹)	69
4-6. イギリスのダムⅠ (Dironwic scheme) (森口昌仁)	80
4-7. アングルシー島〜ヨーク (金 秀俊)	85
4-8. ヨークからエジンバラへ (三本健四郎・岡崎紀康)	95
4-9. イギリスのダムⅡ (The Kielder Water Scheme) (三本健四郎・岡崎紀康)	102
4-10. エジンバラ〜アバディーン間の地質 (大橋 克)	106
4-11. イギリスの橋梁Ⅱ (メナイ橋・フォース鉄道橋) (丹野光正)	113
4-12. シッカーポイントの不整合とジェームズ・ハットンについて (福富幹男)	119
4-13. スコットランド ハイランドの変成岩 (長津 聡・井上 基)	132
4-14. スコティッシュハイランド (許 成基)	142
4-15. スコットランド西部 (岸田三好)	148
5. アイスランド編	
5-1. アイスランドの地質 (滝田良基)	151
5-2. 地熱によるコジェネレーション・プラント (本江誠治)	162
5-3. ギャオ、間欠泉 (石橋弘道)	168
5-4. シガルダダム (鈴木秀利)	174
5-5. アイスランドの印象 (大沼和広)	181
6. 課 外 編	
6-1. 英国の鉄道見てある記 (本荘静光)	185
6-2. ブリテン島の地質瞥見 (許 成基)	190
7. おわりに (宇田進一)	206
巻末資料: 「James Huttonの人と学説」	210

1. は じ め に

岡 本 隆 一 (株)アイ・エヌ・エー)

「はじめに」を書くようにと、三度目のコンビを組んだ名幹事長の宇田氏からの依頼を受けて、この原稿を書こうとすると、先ず、九州大学地球惑星科学科、岡田博有教授に、調査旅行の御指導をお願いに行った日の事が昨日の出来事のように思い出されてくる。

1995年度の第5回海外調査団の企画にあたって、丁度この年は、IAEGやIGC等で国際会議のない年に当るので、学会独自で企画を練り、実行に移さなければならない。ぐずぐずすると時期を失して立消えになるかも知れない。そうなれば、第4回迄続けて来た流れを切る事になり、何時かは参加したいと機会を待っている学会の会員には申しわけない、と言う話が持ち上がって来た。

多数の人が参加したポルトガルリスボンで開催されたIAEGのコンgresから、第4回の調査団が帰国した直後位ではなかったかと思う。行先の候補地として、ドイツ⇒オーストリア、南スペイン⇒モロッコ、トルコ⇒ギリシャ、ナイル河(アスワンダム)等々が上ったが、地質学を勉強し、今それで飯を食っている者として、一度地質の原点へ戻って、19世紀からの地質学発展の歴史を振り返り、古生界の模式地を見に行ったらどうか。イギリスへ行けば、良く研究整理されたプレカンブリアンから各時代の古生界が見られるのではないかと(図1-1)。日本では実態が今一、判り難いカレドニア変動が分かるのではないかと(図1-2)。又、タービダイト研究の中心地で、直かにその露頭が見られるかも知れない。と言う事で、イギリス(ウェールズ、スコットランド)へ行こうと学会の昔なじみの人達の間で話が一応まとまった。話をしていくうちに、スコットランドからアイスランド迄一寸足をのばせば、プレートテクトニクス論において、日本と対極にある大西洋中央海嶺の断裂帯も見られる(実はそんな単純な話ではないのだが)と言う希望者も現われてきた。

そこで、今度は、我々だけでポツと行って効率良く現地を廻れるのか。誰方かに良く聞いてから行った方が良いのではないかと。適当な方が居られるかと。とそんな折にはっと思い当たったのが、お若い頃、英国へ留学された事のある同窓の岡田博有先生であった。岡田先生は同じく九州大学の松本達郎先生のもとで堆積学の研究をはじめられ、助手時代に英国

に留学されて、堆積学の研鑽を積まれた。これ迄多くの研究成果を発表されて、日本の堆積学を世界的水準に登高められた方である。又、地質屋の誰もがよく知っているように、日本地質学会会長として、地質屋のトップに立つ方である（当時は副会長）。

その岡田先生に、現地見学に関する情報をお伺いし、御指導を得たいと言う申出を快よく受けていただいたわけである。

岡田先生に御指導をお願いするに当っては、少しはルートや地質概要を勉強しておかねければと言う事で調べ始めたが、1/40万ミシュラン英国地方地図、入手出来た分の英国官製1/5万地形図と第2回調査団がロンドンに立ち寄った折の内館氏（綽アイ・エヌ・エー）のお土産、1/100万グレートブリテン地質図が大変有効であった。因みに、現地においては、上記1/5万地形図と1/25万地質図（一部は1/5万地質図）が非常に有効であった。

土木構造についても少し調べてみると、英国はさすがに産業革命をリードした国だけあって、道路や橋梁は良く整備されている。歴史的建造物として見ても、世界最初の鉄橋「アイアン・ブリッジ」、最初の鉄製吊橋「メナイ橋」、ゲルバートラ式で最大である「フォース鉄道橋」、戦後の着工になるスレンダーな吊橋「セバーン橋」など、型式、規模、施工年等バラエティーに富む橋梁の存在が分っており、又、スコットランドの生んだ橋の土木技術者、トーマス・テルフォードが、19世紀の初めから設計した数々の橋梁（メナイ橋もその一つである）や、ダムもあるらしい事が分かった。

ダムに関しても、ヨーロップの貯水池「キールダー・ウォーター」や、ヨーロップのヘッドを有する揚水式の「Dinorwig発電所」の所在もつとめた。

そう言う事で、平成6年10月19~20日と、日本応用地質学会研究発表会が、九州支部の本拠地福岡で開催された折を利用して、宇田氏と一緒に九州大学のキャンパスを訪れた。

岡田先生は事前に来意を御存知の上で、ウェールズ、スコットランドの巡検案内書や地質図をそろえていただき、思い出話を交えながら懇切丁寧に御指導を戴いた。

その折、ハットン (J. Hutton) が、地層の生成（堆積）、浸食、変形の概念を確立し、不整合と言う現象の実証に導いた不整合露頭（所謂、ハットンの不整合）もコースに入れたらどうですか、との御指示も与えて下さった。

この様なお話を現地の露頭を前にして、参加者全員にしていだいたらどんなに皆が喜

ぶだろうかと思った。

そこで無理を承知で、先生に御一緒して戴く事をお願いしてみた所、本当に快よくお引き受戴いたと言う事である。これが10月19日の話である。

それから、岡田先生はイギリスの旧知の先生方（特にスミス先生）と何度も手紙とFAXの交換をされて、現地の情報入手と支援態勢作りに奔走された。その間に私に下さった手紙とFAXは10指に余る程である。

特に、ウェールズの地質に関しては、露頭が、一部の採石場を除いて殆んど海岸にしかなく、又、10m以上の干満差の為に、干潮時しか浜に降りれない事から、潮汐表の入手が必要になり、この潮汐表が日程作成に大変役立った思いがある。この間の御盡力にはもうただ頭の下がる思いである。

現地に行ってから事は調査団の諸氏がこの報告書に分担して書く事になっているので、重複を避ける意味で概要も述べないが、印象に残った事のうちから2、3についてふれてみたい。

① ケルト

アングル人、サクソン人のブリテン島への侵入前に、ブリタニアには先住のケルト諸族が居住していた。ガリヤにおけるケルト諸族とローマ軍団との抗争に於いて (B.C. 58~51)、ブリタニアから救援のケルト軍が出撃するのを防ぐためローマ軍団もブリテン島へ上陸した。しかしガリヤの様に完全に制圧する事が出来ず、北方からの攻撃を防ぐ為、イングランドのノーサンブリア地方に石積の防壁を築いた。これがハドリアヌス帝の防壁と言われるもので、言わば万里の長城英国版である。我々は移動コースに一番近い所で一ヶ所丈見る事が出来たが、この壁は石の大半が建築用材等の目的で持ち去られ、貧弱な状態のものであった。もっと西の方では長大な防壁として残っているようである。

ウェールズやスコットランドにはケルト諸族にまつわる遺跡が残され、特にウェールズにはアングル族のイングラントとの抗争の歴史が記憶されているようである。

我々の知っている英語 (U.K. の公用共通語) と似ても似つかぬウェールズ語が、英語と同格で地名等の標識に使用されている。アイリッシュ海をへだてたアイルランドと共にケルト型のカンソリックの信仰が定着し、簡素な石造の教会や修道院の遺跡が家屋と共に残っ

ている。

② かつての工業先進国の遺産

19世紀に入ると土木建造物に対する鉄の利用が本格化し、特に、アーチ橋や吊橋に多く用いられるようになった。中でも、スコットランドが生んだ天才的土木技術者、トーマス・デルフォードは、メナイ橋をはじめ、当時として非常に斬新な設計思想のもとに、幾つかの鉄橋を建設している。これらは産業革命の進行による周辺技術の進歩発展と動力の利用に負う所が大きいと思われる。

それだけに止まらず、テルフォードはスチブンスンの汽車の発明後間もなく、リバプールからウェールズ北岸を通る鉄道の計画を発想し、工事を着手している。これは硬質の岩盤トンネルが掘削出来ずに中断したようであるが、日本で言うところの未だ江戸時代であり、籠城の時代にイギリスでは鉄道が実用化の時代に向っていた。

③ ナショナルトラスト

イギリスは熟成した文明の国として、過去の歴史遺産、由緒ある建築物、自然景観等に対して、その保護と維持のために、人間の手による変容を禁じたナショナルトラストの網がかかっている事がある。この法律は非常に厳格であって、例えば建物の居住者と言えども改築はもとより、簡単な造作も許されていない。

ウェールズ北部のコンウェイ海岸は、急崖が海に迫った地形であり、そこに鉄道、高速国道、一般国道が並走し、敷地の確保や、法面の維持に非常に苦勞していた。丁度、日本で言えば、東海道由比海岸のような所である。海岸には転々と露頭が見えるので、高架橋造物の基礎としては何ら問題がなさそうであり、何故どれか一つ（例えば一番新しい高速国道）を海へ出さないのかと、案内していただいたWood教授に質問したら、ここはナショナルトラストに指定されているので、海岸の景観の変更が許されないのだ。海外侵食の対策工すら簡単には出来ないのだと云う返事だった。それ故にか、この海辺は何とものびやかで素晴らしい景色であった。

このような感覚であるから、ナショナルトラストでなくとも、自然にとけ込むような土木施工がとられている。

例えば、急崖の高い所に露岩がむき出しに見えていて、浮き石となっていて、下の道路に崩落する恐れがあるとする（このような所はイングランドでは少ないが、ウェールズに

は所々にあった）。この場合、日本なら多分、この浮き石を下にたたき落すか、場所打ちのコンクリート柱もともロックアンカーでしばりつけるかだろう。

もちろん、不自然な跡が残るが、安全第一であると言う解答なのであろう。

しかし、イギリスでは、この浮き石の下に似た様な自然石をもって来て、ブロック状に積み上げて浮き石の支えとし、浮き石と共に崖を露岩状に見せる施工をしていた。現地を知らない人に写真を見せて、何処が浮き石対策工か分かるかと問うと、大分よく見ないと分からないと云う返事であった。多分、工費は相当割高だと思われるが、そのようにしていた。

④ スコットランド人のホスピタリティ

全行程強行軍で、調査団の皆さんには大変御苦勞をおかけしたが、エジンバラでたった1回丈、皆さんと夜のババに出かける事が出来た。たまたま土曜日の夜でどこも大変にぎわっていた。どうしようかとためらっていると、中からははいれはいれと言ふそぶりである。ラッシュ時、吊皮を採す様な感じでカウンターに寄っていくと、先客が無理して席を空けてくれる。当然直ぐ仲良くおしゃべりになった。ワンショットのおごり、おごられになったが、こちらの方が人数が多いので、相手方に大変散財をかけてしまった。

一段とにぎやかな若い女の子達の声がする方へ行くと、ジャストマードと書いた札の首から下げた女の子が籠を持って立っている。中にお札が結構はいついて、廻りの女の子達が客にお祝儀を出せ出せと言って騒いでいるのである。こちらもお祝儀を出して一緒に写真を撮って貰った。本当はもっといい事があるらしいのだが、ハプニングが起こるので、写真止まりにしておいた。

ババやディスコをはしごするうちに、どの店でも、店員や客が明るく我々にも接してくれて、スコットランド人は気難しいと言う話は全くそうではないと言う事が分った。飲んべーは万国共通かも知れないが快いものである。地質以外にも大変良い思い出となったものである。

⑤ アイスランド

イギリスを廻っている間は快晴で暑く、半袖のシャツの方が良い位であったが、一っ飛び北大西洋を越えて、アイスランドに着くと、しとしとと冷たい小雨が降っていて、白夜

なの陰うつな土地に来てしまった。首都のレイキヤビックで北緯65°位でアイスランドの島の一部は北極圏にはいるので無理もないが、7月だと言うのにやっと雪解けで寒い感じの土地である。

この土地で印象に残った事が2つある。

一つは、その冷たい雨の中で、温水プールではあるが、屋外のプールに多くのアイスランドの男女が、老いも若いも黙々と泳いでいるのである。夏の日の運動を非常に大切に思っている事は良く伝わって来るが、見ている丈でこちらも寒さを又一段と感じるようになった。

二つ目は、地図類の種類が多く美麗でよく整っている事である。人口25万人位の国でこれ程の地図類があるのは驚きであった。しかし、地質見学の為に内陸にはいっていくと、道路が不完全になり、集落や家屋が極端に少なく、樹木もない単調な地形の山の間を管解けで増水した川が自然の流れとして流れている。これを見て、この国では我々が最初考えていた以上に地図は大事なものであって、一寸道を間違えたりしたら命取りになるのだなと思った。

旅行中の御世話は朝日サン・ツアーズ社にお願いし、堀井氏の適確な添乗で全員無事に事故もなく強行軍を終え、所定以上の調査・見学が出来た。又、スコットランドからアイスランドに渡る為のフライトの選定と行程調整にも大変お骨折をいただいた点について重ねて御礼申し上げるものである。

尚、イギリスでお世話になった先生方は以下の通りである。心から感謝申しあげる次第である。

イギリスでお世話になった方々

- Professor Alec J. Smith • Professor D. S. Wood
- Dr. Eric Robinson • Professor Maurice E. Tucker
- Dr. E. J. W. Jones • Mr. Geraint Rebirds (PENRHYN SLATE QUARRY)
- Dr. W. R. Fitches • Dr. Alistair Rogers (LLANBERIS MUSEUM)
- Dr. R. Cave (所屬については、第3章7項参照)

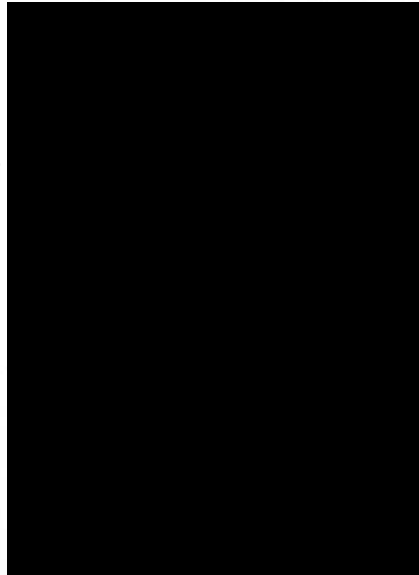


図 1-1 地史区分(紀、系)名称の提唱者とその標準地(斉藤常正による)

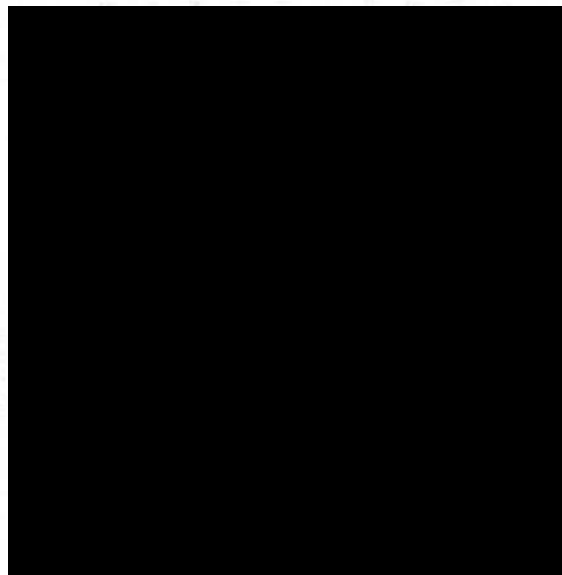


図 1-2 イギリス・アイルランドのカレドニア変動帯(宮城)

1:デボン紀カコウ岩, 2:デボン紀旧赤色砂岩層, 3~4:非変成下部古生界(+先カンブリア最上部層), 3:Southern Uplands地帯, 4:Lake District-Wales 地帯, 5:変成下部古生界および先カンブリア岩類.
(構造線(北から)IMTh:Moine スラスト, GGF:Great Glen断層, HBF:Highland Boundary断層, SUP:Southern Uplands断層, IS-NSF:Iapetus Suture-Navan-Shannon 断層, ISLM:Irish Sea Landmass (地塊)).
(地名) 1:Shetland諸島, 2:Assynt, 3:Moine, 4:Ness 湖, 5:Glasgow, 6:Girvan, 7:Soilway, 8:Man島, 9:Aberystwyth, 10:Marverns, 11:Ross lare, Wexford, 12:Dublin, 13:Connemara, 14:Oxli地, 15:Mayo

2. 調査団および本報告書の概要

宇田進一(㈱建設技術研究所)

(1) 調査団の概要

- ① 工程：別表
- ② 参加人員：次表のように24名、添乗員（朝日サンツアーズ；堀井賢二氏）を入れて合計25名。
- ③ 注意事項：field surveyを始めるに当り、次のパンフレットが配られた。

「A Code for Geological Field work」 Issued By The Geologists' Association

(2) 本報告書の概要

目次に示すように、ほぼ工程に沿って担当者を決め、現地での説明、サンプリング、および本報告書の執筆をしていただいた。

編集に当ってはダブっている資料、写真を整理し、頁数を考慮して遠慮がちに書かれた人には追加をお願いし、長めの文章は勝手に削除させて頂いた。お許しを乞う次第である。

文章中、地名・人名等は現地発音に似たカタカナ表示とし、最初に出てきた場合にのみ英語名・現地語名を記した。人によっては、全部現地語で書かれた人もいる。これらの綴りについては入念に校正したつもりである。引用・参考文献については各章毎に述べているが、地質図等は巻末にも示した。

第5回 海外応用地質学調査団参加者名簿

番号	氏名	年齢	所	属	地域	学会役員
1	岡田博有	61	九州大学理学部地球惑星科学科教授		九州	
2	岡本隆一	62	㈱アイ・エヌ・エー		東京	前会長
3	宇田進一	51	㈱建設技術研究所		東京	理事
4	鈴木秀利	49	㈱ダム技術センター		東京	
5	丹野光正	57	㈱ダム技術センター		東京	
6	森口昌仁	39	㈱ダム技術センター		東京	
7	桶田隆司	36	㈱ダム技術センター		東京	
8	本江誠治	34	電源開発㈱		東京	
9	本荘静光	61	総合地質調査㈱		東京	
10	福富幹男	56	応用地質㈱		東京	評議員
11	許成基	54	㈱レアックス		北海道	
12	石橋弘道	54	スイモンリサーチ㈱		東京	理事
13	三本健四郎	49	応用地質㈱		東京	
14	滝田良基	48	㈱ニュージェック		東京	
15	中島史樹	48	㈱建設技術研究所		九州	
16	岸田三好	47	㈱開発土木コンサルタント		東京	
17	中曽根茂樹	44	日本工営㈱		東京	
18	宮崎精介	44	八千代エンジニアリング㈱		九州	
19	井上基	44	復建調査設計㈱		中国	
20	長津聡	40	アイドールエンジニアリング㈱		東京	
21	金秀俊	35	北海道開発コンサルタント㈱		北海道	
22	大沼和弘	33	㈱ハザマ		東京	
23	大橋克	33	㈱アイ・エヌ・エー		東京	
24	岡崎紀康	28	㈱復建技術コンサルタント		東北	

第5回 海外応用地質学調査団 行程表

日次	月 日	地 名	視 察 場 所	地 質
1	6月25日 (日)	東京発 (成田空港) ロンドン着	移 動	ロンドン泊
2	6月26日 (月)	ロンドン	地質博物館 地質調査所にて地質図入手 ウェストミンスター 建築石材巡検	ロンドン泊
3	6月27日 (火)	ロンドン発 セバーン橋 カーデイフ スウォンジー	セバーンブリッジ	スウォンジー泊
4	6月28日 (水)	スウォンジー発 ハーバー・タワー・ブリッジ ワイニントン ニューキー アクリストタイス着	フィッシュガード ニューキー ポース	Ordovician Silurian タービナイト アクリストタイス 泊
5	6月29日 (木)	アクリストタイス発 マートン・ヒル スリントロア・ブリッジ ベリントン スリントロア メナ・ブリッジ スラング・ヒル	スリントロア・ブリッジ (貯水池) スリベンリス (貯水池) ベリントン・採石場 メナ・ブリッジ (世界最初の鉄吊橋)	Silurian Cambrian Carboniferous スラング・ヒル 泊
6	6月30日 (金)	スラング・ヒル パンゴール スラング・ヒル チェスター ヨーク着	スラング・ヒル (アクリストタイス島) チェスター	Pre-Cambrian (Schist, Gneiss) Trias ヨーク泊
7	7月1日 (土)	ヨーク発 ハフ・アーク スラング・ヒル カーター・バー エジンバラ着	ハフ・アーク スラング・ヒル (貯水池) (ヨークが最大)	Silurian エジンバラ泊
8	7月2日 (日)	エジンバラ発 ハフ・アーク スラング・ヒル アバディーン着	Hutton's フー・アーク (鉄道橋・ハフ・アーク 型式)	Classic Unconformity Carboniferous アバディーン泊

日次	月 日	地 名	視 察 場 所	地 質
9	7月3日 (月)	アバディーン発 ロックネス バーク・ヒル着	HighlandのSchist Professor Alec J. Smith の講演	Great Glen断層 バーク・ヒル 泊
10	7月4日 (火)	バーク・ヒル発 グラスゴー バーク・ヒル 着	氷河地形 アバディーン航空でバーク・ヒルへ	Metamorphic rocks バーク・ヒル 泊
11	7月5日 (水)	バーク・ヒル発 シゲル・ヒル グレイ・ヒル スカウホルト バーク・ヒル 着	シゲル・ヒル国立公園 グレイ・ヒル グレイ・ヒル スカウホルト バーク・ヒル 着	ギヤオ 火山地形 バーク・ヒル 泊
12	7月6日 (木)	バーク・ヒル発 シゲル・ヒル ランドマン・ヒル バーク・ヒル 着	シゲル・ヒル ランドマン・ヒル BYJAFJALLA氷河	火山地形 バーク・ヒル 泊
13	7月7日 (金)	バーク・ヒル 発 ロンドン着	アバディーン航空でロンドンへ	ロンドン泊
14	7月8日 (土)	ロンドン発	全日空で成田へ	機内泊
15	7月9日 (日)	成田着	帰 国	

特 別 寄 稿

イギリスの地質発達史

3. 特別寄稿 イギリスの地質発達史

岡田博有(九州大学)

1. まえがき

近代地質学の発祥地イギリスでは、1807年にロンドン地質学会が創立され、1815年には William Smithが初めてイギリスの着色地質図を出版した。爾来今日まで、イギリスは常に地質学発展の先導をつとめてきた。その意味で、イギリスの地質は地質学を学ぶ者にとって一度は見ておきたい憧れの的であろう。今回、日本応用地質学会が第5回海外応用地質学調査の地にイギリスを選んだのは当然のことといえよう。この調査旅行の参考資料として、ここにイギリスの地質発達史の概略をまとめた。

2. イギリスの地体構造

イギリスは地球の大地体構造のうえから見ると、カレドニア造山帯の中央部に位置している(図-3-1)。その中で、イギリス諸島の地体構造は便宜上、北帯(Northern Zone)、中帯(Central Zone)、南帯(Southern Zone)に区分することができる(図-3-2)。北帯・中帯・南帯はそれぞれ異なるプレートに属すると考えてよい。

(1) 北帯

北帯は Southern Uplands Fault 以北のスコットランドとその北・西側の小諸島からなる地域で、NE-SW 方向が優勢な地質体の配列と構造で特徴づけられる。Southern Uplands, Midland Valley, Grampian Highlands, Northern Highlands, Highlands Boundary Fault, Great Glen Fault, Moine Thrustなどはよくスコットランドの地質的特性を示している。

北帯の基盤は先カンブリア時代の Lewisian 片麻岩からなり、ルイス島および Moine Thrust 帯の北西部を作っている。その上に不整合で陸棚～陸上堆積物である赤色砂岩 Torridonian Series (1000-850 Ma)が乗っている。本層の大陸斜面同時異相堆積物として下位の Moinian Series と上位の Dalradian Series が堆積した。両者は多少とも変成作用を被っているが、前者はより強く変成しているのに対し、後者は変成度が多様で海成化石が発見されることもある。Moinian Series は Northern Highlands と Grampian High-

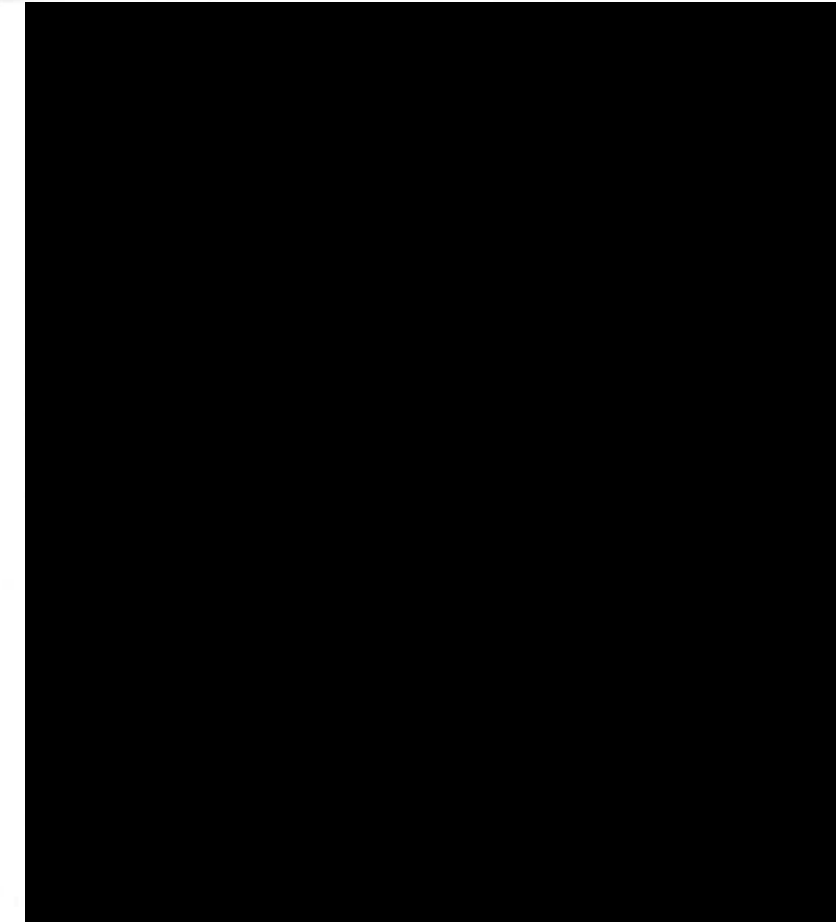


図-3-1. 現在の北大西洋が閉じていた頃の大地体構造図 (Anderton et al., 1979). 黒色部は始生代クラトンの地域。



図-3-2. イギリスの地体構造図 (Open Univ., 1972).

landsの主体を構成しているのに対し、Dalradian SeriesはGrampian Highlandsの南縁を作っている。Barrow (1893) が初めて累進変成作用の考え方によって変成分帯を行ったのはGrampian Highlands南部の Dalradian Series の中であった(都城, 1965)。また、Bailey (1913, 1917, 1930) が“graded-bedding”, “current-bedding”などの基本的堆積構造を使って初めて褶曲地域の層序解析を行ったのも Dalradian Series 中であつた。

本来の Lewisian, Moinean, Dalradian は全体として北西側に大陸、その南東側に海洋を配した非活動的大陸縁辺域を代表する地質体ということが出来る(図-3-3)。

(2) 中帯

この地帯はスコットランドの Southern Uplands と Lake Districtからなる(図-3-2)。これらの地域では、厚いオルドビス系・シルル系の陸源砂岩、泥岩からなり、それらの基盤岩類は露出していない。しかし、Lake Districtのオルドビス系は火山岩類を多量に含んでいる。

この地帯は本来、幅数千kmにわたって存在した海洋地殻が圧縮、折り置まれていると考えられている(Anderton et al., 1979)。この海洋こそはイアペタス (Iapetus Ocean) である(Wilson, 1966)。

(3) 南帯

南帯は主としてウエールズ地域で代表される(図-3-2)。この地域には、Anglesey島とChurch Stretton 地域に先カンブリア系が露出しており、両地域の間に前期古生代のウェールズ堆積盆地(Welsh Basin)が発達している。

Angleseyの先カンブリア系は変成度の高い各種堆積岩類を主とし、強い変形と花崗岩類の貫入を受けている。これらの複合岩体は Mona Complex と呼ばれている。

下部古生界は約20kmもの厚さがあり、カンブリア系、オルドビス系、シルル系が連続的に累重している。いずれもその分布地域に古生界の模式地を有しており、カンブリア紀(Sedgwick, 1835年)、オルドビス紀(Lapworth, 1879年)、シルル紀(Murchison, 1835年)が樹立された。カンブリア系は主にタービダイト、オルドビス系は砂岩と火山岩類、シルル系はタービダイトで特徴づけられる。

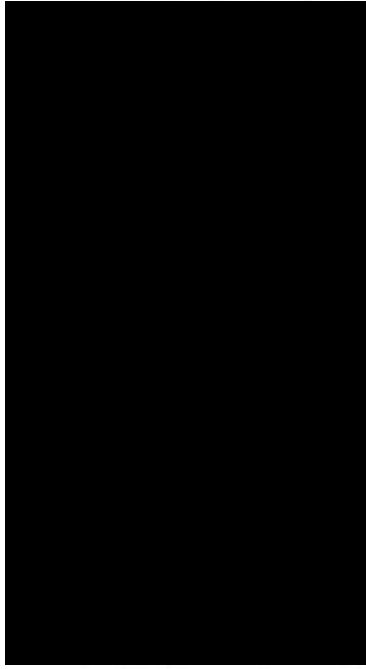


図-3-3. 先カンブリア時代末期のカレドニア大洋プレート断面 (Open Univ., 1972).

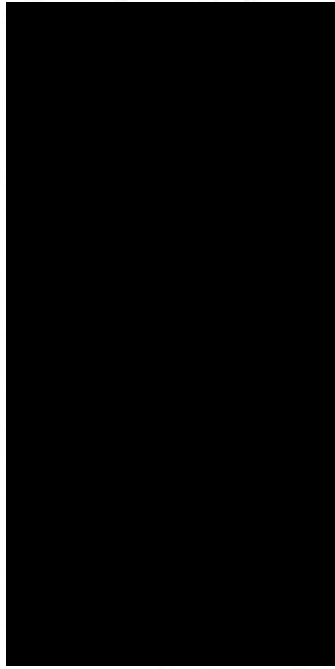


図-3-4. オルドビス紀初期のカレドニア大洋プレート断面 (Open Univ., 1972).



図-3-5. オルドビス紀中期のイギリスのプレートテクトニクス (Open Univ., 1972).

先カンブリア時代後期から前期古生代にかけて南帯地域はAnglesey付近から南向きにIapetus 海洋地殻が沈み込む活動的縁辺地域であった (Open University, 1972) (図-3-3)。従って、当時、Angleseyを含む NE-SW方向に島弧-海溝系が存在していたと考えられる。本地域の大構造も NE-SW系が卓越する。

後期古生代にはイングランドのデボン半島を中心に東西性の構造で特徴づけられるヘルシニア造山運動 (イギリスでは同義のヴァリスカン造山運動という言い方が多いようである) の影響が認められる。それ以降のイギリスは大部分が安定大陸のもとにあったといってもよい。従って、現在見る地形は緩く波打ったような老年期の形態を示し、地質構造も緩慢な褶曲で特徴づけられる。

3. 古生代前期の造山堆積作用とカレドニア造山運動

既に述べたように、カレドニア造山運動が最盛期に達するシルル紀末までのイギリスは北帯・中帯・南帯の構造区分が明瞭であった。とくに、中帯は古大西洋ともいべきイアペタス大洋 (またはカレドニア大洋) に当たる部分である。

先カンブリア時代末期からカンブリア紀にかけて、北帯から南帯にいたる地質構造断面を図3-3のように示すことが出来る。カレドニア大洋は中央海嶺を持ち、海洋プレートの成長が続いていた。しかし、北帯では非活動的大陸縁辺域としてLewisian大陸上のTorridonian Series、その同時異相堆積物として浅海大陸棚〜大陸斜面〜コンチネンタルライズ上の堆積物である Moinean Series, Dalradian Seriesが発達した。それらの深海相はタービダイトで特徴づけられる。

南帯では、Anglesey隆起帯が藍閃石片岩などの高圧変成岩や蛇紋岩の存在で特徴づけられるMona Complexの岩石組み合わせからカレドニアプレートの沈み込み帯に当たると考えられている。このようにAnglesey島弧が誕生した。この隆起帯は Irish Sea Horstともいう。

カンブリア紀には北帯では引き続き Dalradian Series の堆積が進行した。南帯では、Anglesey島弧の南側に縁海が形成され、ウエールズ堆積盆地が発達する。先ず、カンブリア系は厚さ5 kmもの砂質タービダイトで特徴づけられる。その供給源は Irish Sea Horstと考えられている。

オルドビス紀になると、北帯〜南帯の地質構造断面は急変する。北帯では、Midland Valley南西端のBallantraeにより露出するように下部オルドビス系の枕状溶岩・蛇紋岩・藍閃石片岩の存在で北向きの新たな海洋プレートの沈み込みが想定されている (図-3-4)。かくて、Girvan-Ballantrae 地域と Highlands地域が島弧-海溝系を作っていた。海溝内側斜面から海溝域にかけ Girvan 地域のタービダイトで代表される厚い砂層岩が堆積する一方、海溝の海洋側に当たる Moffat 地域には筆石を含む厚さ約50 m程の遠洋性頁岩が堆積した。

南帯では Irish Sea Horstの南北両側に大量の泥質堆積物が堆積するとともに、中帯のLake District や北ウエールズは活発な火山噴出物で覆われた。これら火山岩類は安山岩を主とし、若干のソレーアイト質玄武岩を伴う。とくに、ソレーアイト〜アルカリ玄武岩の分布上の特性からオルドビス紀中期には南向きの新たな海洋プレートの沈み込みが始まったと考えられている (図-3-5)。それとともに、Irish Sea Horst は次第に沈降し、オルドビス紀中期の堆積岩で覆われた。

シルル紀になると、北帯では Moffat のオルドビス紀遠洋性頁岩は厚さ8 kmもの陸源砂質タービダイトで覆われた。他方、ウエールズ盆地では南東縁の陸棚海域と中〜北部の深海域の顕著な対照的環境が作られた (図-3-6, 7)。陸棚地域は厚1 km弱の浅海砂堆積物〜石灰岩となり、豊富な腕足類、三葉虫、サンゴなどで特徴づけられる貝殻相を示す (Jones, 1938; 岡田, 1967)。深海域は典型的な深海性タービダイトの厚層からなる。

とくに、シルル紀初期 (Llandovery Stage) の Aberystwyth Grits は古流系解析により、南西から北東への古流向 (図-3-6) と混濁流のエネルギーレベルに対応した砂岩卓越相、砂岩泥岩等量互層相、泥岩卓越相への岩相変化がよく解明されている (Wood and Smith, 1959; 岡田, 1967)。また、ウエールズ盆地の深海域と大陸棚の境界部は各地に地滑り堆積物が知られており、大陸斜面の存在が示唆される (Jones, 1937)。

オルドビス紀後期から狭まり続けていたカレドニア大洋はシルル紀末には完全に消滅した (図-3-8)。これは北帯で代表されるローレンシア (Laurentian) 大陸と南帯を作るヨーロッパ大陸 (Baltic Shield) の完全衝突によるものである。この衝突運動がカレドニア造山運動であり、衝突帯では新しい山脈の形成と著しい岩石の変形・変成が進行し、大規模な深成岩の貫入があった。このカレドニア山脈はその後のイギリスの気候や堆積作用

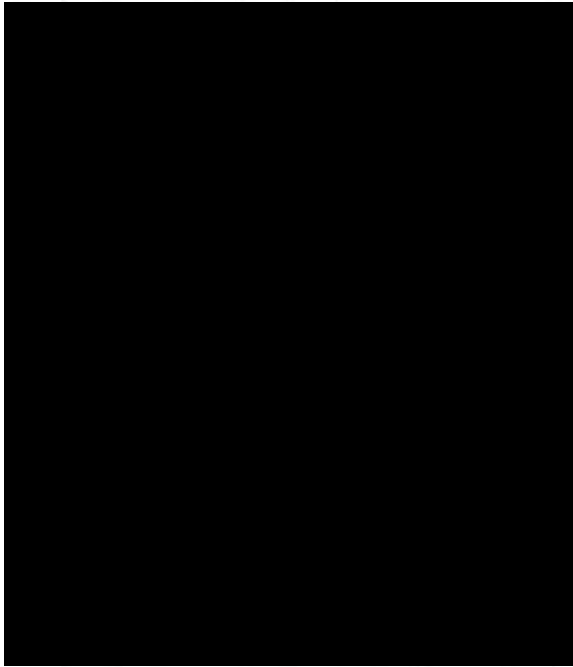


図-3-6. シルル紀初期 (Llandoveryian) のウエールズ堆積盆地の古地理と古流系 (岡田, 1967).



図-3-7. シルル紀中期 (Wenlockian) のイギリスの古地理とプレートテクトニクス (Open Univ., 1972).

に大きい影響を与えることになる。

4. 後期古生代の造構堆積作用とヘルシニア造山運動

カレドニア大洋が完全に閉じた後のデボン紀の初めには、カレドニア山地とその周辺隆起地域は広大な陸地を作った。この大陸上の堆積物は一般に赤褐色を呈し、旧赤色砂岩 (Old Red Sandstone) と総称されている。この堆積物はイギリスからスカンジナビア、スピッツベルゲン、グリーンランド、カナダのMaritime Province まで分布している。かくて、この大陸を旧赤色砂岩大陸 (Old Red Sandstone continent) と呼ぶ (図-3-9)。

この大陸の南縁であるデボン半島からケントー帯に至る地域以南は、当時、東西に広がる大洋 (Hercynian Ocean) があった。この海域より、石炭紀初期とペルム紀後期に北方に向かって著しい海進が記録されている。

(1) デボン紀

旧赤色砂岩の主要な分布地域はスコットランドのインバネス北々東、Cromarty Firth 付近、エジンバラを中心とする Central Lowlands、南ウエールズ～アイルランド南部である。Cromarty Firth では、円礫礫岩、角礫礫岩、砂岩、石灰岩薄層、凝青質頁岩などからなる層厚 20 km にも及ぶ旧赤色砂岩が分布する。魚化石、希に陸生植物化石を産する。Central Lowlands でも厚さ 20 km 以上の赤褐色礫岩、砂岩、頁岩が発達し、場所により玄武岩質～安山岩質溶岩を挟む。南ウエールズ～アイルランド南部では旧赤色砂岩の層厚は 1,000 (ウエールズ) ～ 5,600 m (アイルランド西岸Dingle地方) に達する。

注意すべきことは、1839年に Murchison と Sedgwick がデボン紀を提唱した模範地の地層は英仏海峡に面する Torquay - Plymouth 付近の暗色海成層であった。この海成層が北部の陸成赤色砂岩層と同時代であることを示す両者の指交関係が見られる露頭はデボン州北部の Bristol Channel 沿岸の Barnstaple - Minehead 付近に認められる。

図-3-8. カレドニア大洋の終焉 (シルル紀末～デボン紀初期) (Open Univ., 1972).

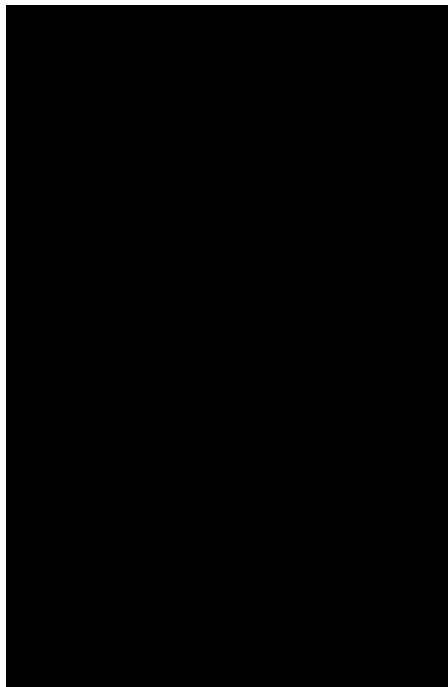
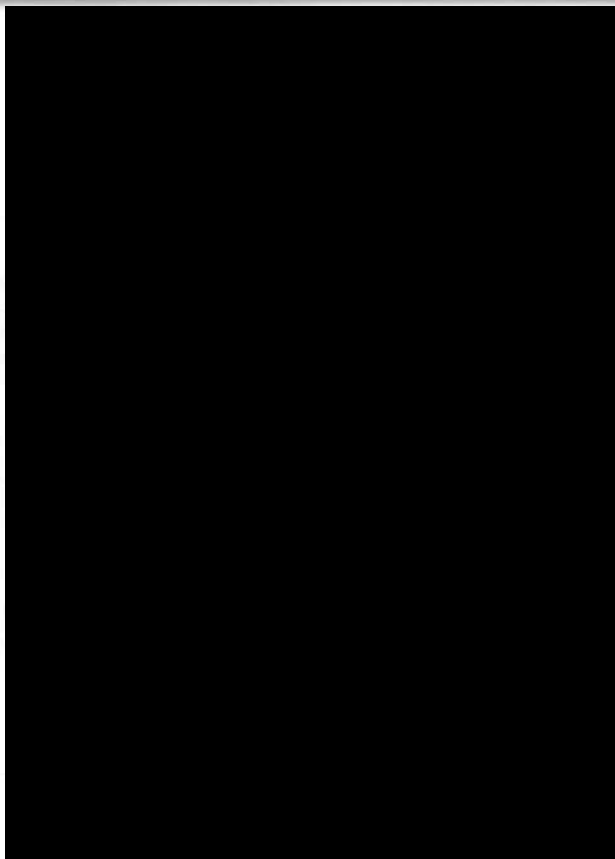


図-3-9. 旧赤色砂岩大陸の拡がりと古緯度 (Anderton et al., 1979).



(2) 石炭紀

イギリスの石炭系は、起伏に富む旧赤色砂岩大陸を不整合に覆って、スコットランドの Midland Valley, Southern Uplands 南側の Northumbrian Trough、イングランド中部の Lancashire Trough およびデボン半島域のヘルシニア海域凹地に大規模な海進性の石炭紀初期海成石灰岩が先ず発達した。Lancashire Trough とイングランド南部の間には St. George's Land と呼ばれる陸域が存在していた (図-3-10)。

石炭紀後期には海進は止まり、上記各堆積盆地の浅海化によって大規模なデルタが発達した (図-3-11)。その好例は Millstone Grit Delta である。

イギリスの石炭紀挟炭層 (Coal Measures) は世界の他の地域と同じく、地球的規模の気候・造構環境を反映して堆積したものと思われる。当時のイギリスは南緯 5° 付近にあったと考えられており、大規模な森林が発達しやすい気候環境にあった。これら挟炭層は頁岩・砂岩・石炭からなる厚さ約 1,500m の成層で、堆積サイクルが極めてよく発達する。その典型的形式は、陸上湿地帯、海域、ラグーン、デルタ、陸上湿地帯の連続的環境変化に対応して、下位から上位へ石炭-頁岩-砂岩-石炭の一連のサイクル (cyclothem) で特徴づけられる。イングランド北部の Yoredale Cyclothem は特によく知られており、単位サイクルの厚さは 5~80m で、碎屑岩-石灰岩の互層で特徴づけられる。

(3) ヘルシニア造山運動

古生代末には旧赤色砂岩大陸の南方に広がっていたヘルシニア大洋が閉じ、イギリスの大陸プレートの南縁にヘルシニア山脈が形成されることになる。イングランド南部〜ウェールズにかけて発達していたヘルシニア地帯は東西性の褶曲構造で特徴づけられる。ヘルシニア山地北縁ではスラストがみられ、その好例は水平移動距離 500m に及んだ Somerset の Radstock スラストである。また、ヘルシニア山脈形成過程で、変形した厚い地層中に大規模な花崗岩体が貫入している。その代表的岩体は 278Ma の Dartmoor 花崗岩である。

ヘルシニア造山運動に関連した火成活動は、北部イングランド (例えば、Great Whin Sill)、スコットランドの Highland Boundary Fault の北側、Southern Uplands Fault の南側に認められる (図-3-12)。

図-3-10. 石炭紀初期のイギリスの古地理 (Open Univ., 1972).

図-3-11. イギリスにおける石炭紀の大規模デルタの分布 (Open Univ., 1972).
1 から 4 へ向けて若くなる。

(4) ペルム紀

ヘルシニア造山運動による南北両大陸の融合でイギリスは Laurasia と呼ばれる広大な大陸の一部となった (図-3-13)。そこでは中生代にかけて活発な大陸性堆積作用が進行することになる。

ペルム紀の堆積物は砂粒を覆う赤鉄鉱皮膜のため一般に赤色を呈する。そのためイギリスではこの時代の堆積物は新赤色砂岩 (New Red Sandstone) と呼ばれている。酸化鉄の起源は湿潤温暖気候下の供給地のラテライト質土壌に由来するか、または堆積後の堆積物中の鉄鉱物の酸化作用による。新赤色砂岩は、カリチェ (caliche) や蒸発岩の挟在から乾燥気候下の河川環境の堆積物とみられている。イングランド北部の蒸発岩は厚層で (図-3-14)、全層厚の 20% にも達する。

表3-1 はヨークシア Whitby 付近のボーリングによるペルム系層序である。この層序から明らかなように、典型的な海水からの蒸発沈殿層序が認められる。すなわちそれは CaCO_3 - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ - CaSO_4 - NaCl - KMgCl 、 $6\text{H}_2\text{O}$ の順序を基本とする一連の蒸発沈殿層序を示し、蒸発岩サイクルと呼ばれる。

5. 中生代の造山堆積作用

ヘルシニア造山運動による大陸プレートの衝突癒着によって形成された広大な大陸ロシアの南縁の一部をイギリスが占めていた。中生代のこの地域は広範な大陸性堆積作用と、ジュラ紀・白亜紀を中心に起きた顕著な海進で特徴づけられる。

中生代後期から第三紀にかけて、イギリスの遥か南方では、アフリカプレートとユーラシアプレートの接近によるテチス海の縮小が始まった。一方、ローラシアプレートの裂開による北大西洋の生成の開始に伴い、イギリス北部では火成活動の影響を受けることとなる。

(1) 三畳紀

三畳紀になると、イギリスの新赤色砂岩 (New Red Sandstone) の堆積はペルム紀のとき以上に広範囲に及んだ。その堆積作用で、とくに顕著な現象は、下部古生層起源の珪岩礫が南方、多分、北部フランスから供給され、散布したことが知られている (図-3-15)。

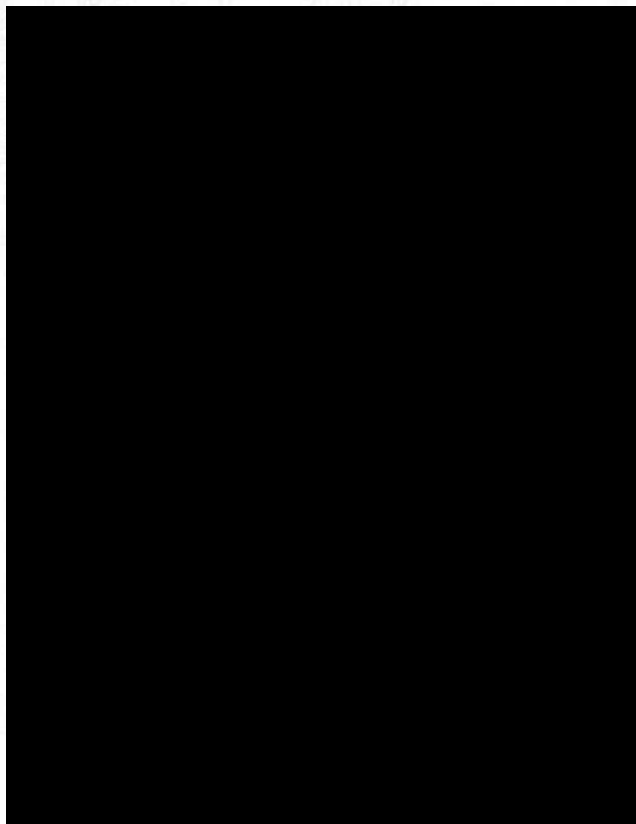
図-3-12. 石炭紀のスコットランドにおける火山岩類の時空分布を示す (Francis, 1967).

図-3-13. ペルム紀の北西ヨーロッパの古地理と古緯度 (Anderton et al., 1979).

表-3-1. ヨークシャー東部のペルム系層序 (Open Univ., 1972).

Upper Permian Marl	200m
Top Anhydrite	1-2
Salt Clay	2-4
Upper Evaporites	70
Upper halite	
Potash zone	
Lower halite	
Anhydrite	
Carbonate	
Carnallitic Marl	10-20
Middle Evaporites	130
Upper halite	
Potash zone	
Lower halite	
Halite-anhydrite	
Anhydrite	
Upper Magnesian Limestone/Marl	<36
Lower Evaporites	370
Upper halite-anhydrite	
Upper anhydrite	
Lower halite-anhydrite	
Lower anhydrite	
Lower Magnesian Limestone	122

図-3-14. ペルム紀のイギリスの古地理 (Open Univ., 1972).



(2) ジュラ紀

ジュラ紀の始めには、ヘルシニア山脈は低平化し、僅かな海水面上昇でも広範囲な海進を許すことになる(図-3-16)。基盤の緩やかな起伏を反映して、その上を覆う浅海堆積物も基盤隆起部は薄く、凹部は厚くなり、典型的な 'basin and swell sedimentation' を示している。

ジュラ系海成層は極めて豊富な頭足類化石を含み、Arkell(1933)によるアンモナイトの研究は有名である。それらジュラ紀アンモナイトは60化石帯に区分されている。これはジュラ紀アンモナイトの進化速度が、1帯当たりの時間が約100万年であることを示している。

ジュラ紀後期には Kimmeridge Clay、Oxford Clay で代表される2回の海進が知られている。その間の海退期に極く浅海の環境に堆積した Great Oolite Series が見られる。Kimmeridge Clay の上位にはラグーン状の浅海に堆積した Portland Group が累重する。これは有名な建築石材 Portland stone を供給している。

当時、イングランド南部からベルギーにかけて、石炭紀に存在した St. George's Land に比較されるような隆起帯 (Anglo-Belgian Ridge) があり、それは白亜紀初期まで続いた。この隆起帯北部ではやや深い海成堆積が続き、南部では蒸発岩や淡水石灰岩を堆積した特異な環境 (Purbeck facies) が白亜紀初期まで継続した。

ジュラ紀のイギリスは北緯 30° 付近にあり、温暖な気候環境にあった(図-3-17a, b)。

(3) 白亜紀

イングランド南部のジュラ紀堆積層 Purbeck Bed は白亜紀初期堆積物を代表する湖水堆積層 Wealden Beds に引き継がれる。Anglo-Belgian Ridge の北側では海成層の堆積が続く。初期白亜紀の末に、この隆起帯は海進により浅海に覆われ、Lower Greensand (海緑石からなる) を堆積した。その後、下部白亜系は古生界基盤岩のブロック運動によりその上位層とともに傾動したため、上部白亜系は下部白亜系より古い地層を順次覆いながら広範な堆積を示す。この海進で先ず Upper Greensand が堆積し、次いでチャーク層が堆積した。

後期白亜紀の海はクラトン域を広く覆ったため陸源物質の堆積が無く(図-3-18)、大量

図-3-17. ジュラ紀初期 (a: Hettangian) および後期 (b: Oxfordian) の世界の古地理 (Hallam, 1975).



図-3-16. ジュラ紀中期のイギリスの古地理 (Open Univ., 1972).



のココリスプランクTONの遺骸が堆積した。このチョーク海は水深100~600mと見積もられており (Hancock, 1975)、チョークの堆積速度は20-40 m/Maと推定されている。

6. 新生代の造構堆積作用

(1) 第三紀

白亜紀末のヨーロッパはテチス海洋底プレートの北方沈み込みによって全体として圧縮場に置かれたが、第三紀にかけてヨーロッパ南縁域の変動 (アルプス造山運動) が活発になっていった。この影響で、イギリス地域は広範な隆起を行い、チョーク層は緩慢な褶曲をし、白亜系地域は陸化した。このため、チョーク層は約200mの侵食を被ったといわれる。

この変動でイングランド南部の Weald地方に東西性の背斜軸 (Weald axis) とその南北両側に東西性向斜構造が形成された。北側の向斜構造が London Basin であり、南側が Hampshire Basin である。イギリスの第三系の堆積はこれらの向斜盆地に限定されている。London Basin には始新世に海成層 London Clay (図-3-19) が堆積した。本層は海成貝化石、植物化石を含む暗青緑色の均質な粘土層で、厚さは最大140mに達する。

イギリス周辺の第三紀の重要な地質事変としては、60Ma頃からGreenlandとRockall Plateau (スコットランド西方500km付近の大西洋海底台地で、大陸地殻からなる) の間が分裂を始め、北大西洋が誕生する (図-3-20)。一方、暁新世の間に北海の中軸部が沈降を始め、始新世から中新世にかけて一気に海底が沈下して深海堆積作用が進行した (図-3-20, 21, 22)。

さらに、特筆すべきことは、北大西洋の拡大に呼応して北西スコットランドの Skye、Rhum、Ardnamurchan、Mull、Arran などの地域に見られるように大規模な玄武岩火山活動が暁新世から始まり始新世まで約25Maの期間続いた。この火成活動はHebridean Igneous Provinceを形成した (図-3-23)。その火山活動で噴出した玄武岩岩岩は50,000km³に達し、Mull島だけでも溶岩の厚さは2kmにも及んでいる。興味深いことは、玄武岩噴出の中心部にははんれい岩のような塩基性深成岩が見られることと、花崗岩さえ伴うことである。

第三紀初期のイギリス南部の緯度上の位置は北緯40°付近にあったが、中新世後期に



図-3-18. 後期白亜紀 (Campanian) のイギリス付近の古地理 (Anderton et al., 1979).

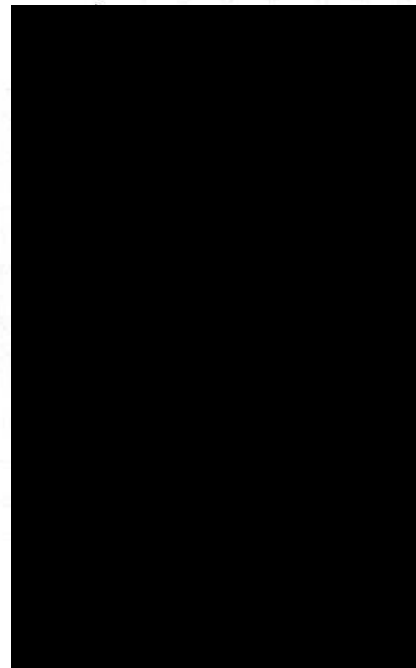


図-3-19. 第三紀初期のイギリス付近の古地理 (Open Univ., 1972).

はヨーロッパ全体とともにイギリスも約 10° 北上したため、寒冷気候域に置かれることになった (Smith and Briden, 1977)。

(2) 第四紀

イギリス諸島周辺の古地理・地質構造の状況は第三紀中頃以降ほとんど変化がない。中新世頃までに形成された北海によってイギリス諸島域はヨーロッパ大陸地域とは分離した状態で第四紀を迎えた。

1.8Ma 前の更新世の開始以来、イギリスでも4回の氷期を経験した。そのうち最大の第三氷期の氷床域 (Anglian glaciation) はロンドン付近まで達している (図-3-24)。氷河による侵食・堆積作用は特有の地形を残した。例えば、漂礫粘土の堆積により、かつてはアイルランド海に流れていた River Severn が現在の流路を取ったといわれている。

当時の氷床の中心は南西スコットランドにあったと考えられており、後氷期の融水によるアイソスタシー的隆起運動がこの地域を中心としてドーム状に進行している。このためスコットランド南西部から北アイルランドのUlsterにかけて $0.5\text{mm}/\text{年}$ の隆起速度を示している (Rossiter, 1972)。しかし、これらの地域以外のイギリスは約 $1\text{mm}/\text{年}$ という比較的大きい沈降域になっているといわれる。

7. むすび

1995年度日本応用地質学会企画のイギリス地質巡検で訪ねた古典的地質の要地を懐かしく想起しながら、イギリスの地質発達史の概略をまとめてみた。イギリスの地質は現在の地質学の基礎確立に大きい役割を果たしたが、その地質発達を考えるとときに、日本列島の島弧-海溝系の研究成果が大きく貢献していることを強調したい。

今回、現地の研究者との触れ合いを通じて強く感じたことは、イギリスの人たちはフィールドワークを極めて大事にしているということである。

最後に、今回の企画を立案し、具体的なルート選定まで細心の準備をされた岡本隆一前日本応用地質学会会長、終始チームワークをよく統括された実施責任者の宇田進一氏 (建設技術研究所)、14日間の行動を共にした24人のツアーマイトに心からお礼を申し上げます。また、現地で友情あふれるご援助をいただいた Prof. A. J. Smith (Royal Holloway

図-3-20. 晩新世のイギリス付近の古地理 (Anderton et al., 1979)。

図-3-21. 始新世のイギリス付近の古地理 (Anderton et al., 1979)。

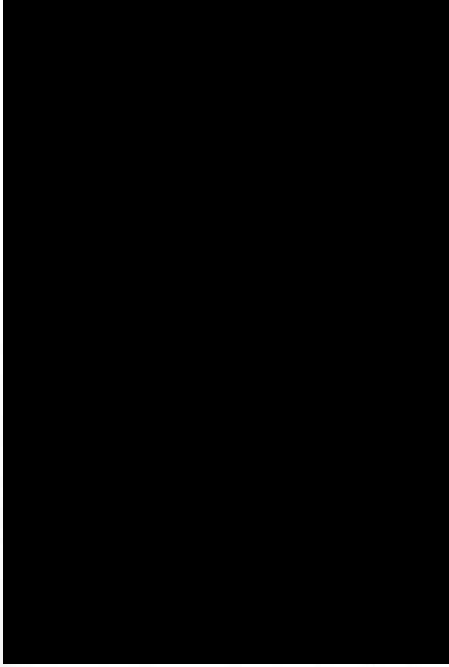


図-3-22. 中新世のイギリス付近の古地理 (Anderton et al., 1979).

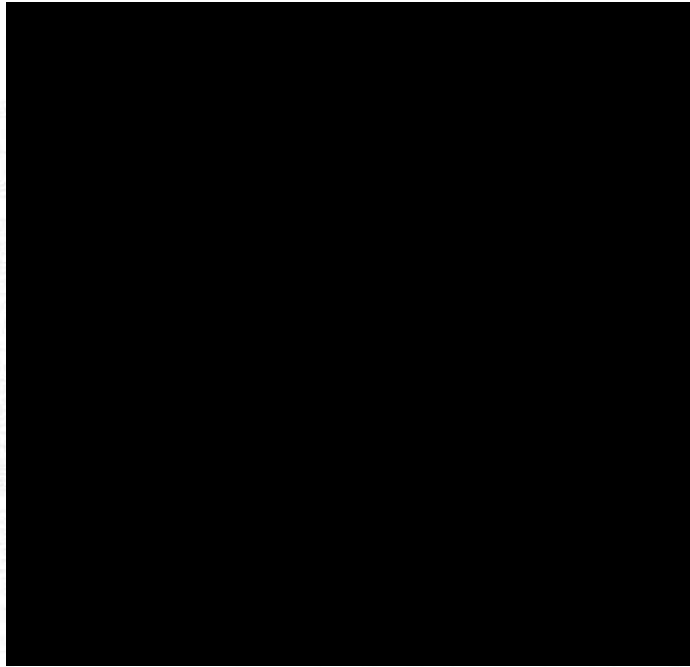


図-3-23. 現在および70 Ma前のHebridean Igneous Provinceの位置を示す (Open Univ. 1972).

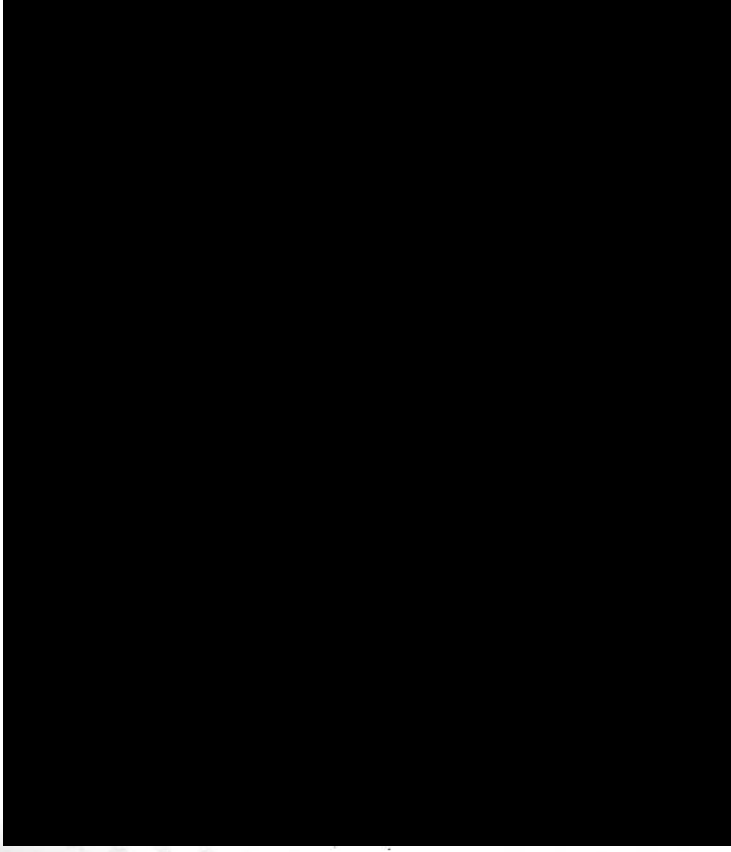


図-3-24. (a) 第四紀氷河期の氷床の中心域と氷河移動方向を示す (Open Univ., 1972).
(b) ヨーロッパの水河分布 (Flint, 1971)

and Bedford New College, University of London), Dr. E. Robinson • Dr. E. J. W. Jones
(University College London), Prof. D. J. Batten • Dr. W. R. Fitches • Dr. R. Cave
(以上University of Wales, Aberystwyth), Prof. D. S. Wood (University of Wales, Bangor),
Prof. M. E. Tucker (University of Durham)の各氏に感謝します。最後に、拙稿執筆をお勤
めいただいた宇田進一氏に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- Anderton, R., Bridges, P. H., Leeder, M. R. and Sellwood, B. W. (1979):
A dynamic stratigraphy of the British Isles. A study in crustal evolution.
George Allen & Unwin, London, 301p.
- Arkell, W. J. (1933):
The Jurassic System in Great Britain. Clarendon Press, Oxford, 681p.
- Bailey, E. B. (1913):
The Loch Awe syncline (Argyllshire). Quart. Jour. Geol. Soc. London, 69, 280-307.
- Bailey, E. B. (1917): The Islay anticline (Inner Hebrides).
Quart. Jour. Geol. Soc. London, 72, 132-159.
- Bailey, E. B. (1930):
New light on sedimentation and tectonics. Geol. Mag., 67, 77-92.
- Barrow, G. (1893):
On an intrusion of muscovite-biotite gneiss in the south-eastern Highlands
of Scotland, and its accompanying metamorphism.
Quat. Jour. Geol. Soc. London, 49, 330-358.
- Elliott, T. (1975): The sedimentary history of a delta lobe from a Yoredale
(Carboniferous) cyclothem. Proc. Yorks. Geol. Soc., 30, 505-536.
- Flint, R. F. (1971): Glacial and Quaternary geology. Wiley, New York.
- Francis, B. H. (1967):
Review of Carboniferous-Permian volcanicity in Scotland.
Geol. Rundsch., 57, 219-246.
- Hallam, A. (1975): Jurassic environments. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Hancock, J. M. (1975): The petrology of the Chalk. Proc. Geol. Assoc., 86, 499-536.
- Jones, O. T. (1937):
On the sliding or slumping of submarine sediments in Denbighshire,
North Wales, during the Ludlow period. Quart. Jour. Geol. Soc. London, 93, 241-283.
- Jones, O. T. (1938): On the evolution of a geosyncline.

- Quart. Jour. Geol. Soc. London, 94, ix-cx.
- 都城秋穂 (1974): 変成岩と変成帯. 第7刷. 岩波書店, 458p.
- 岡田博有 (1967): 地角斜砂質堆積物研究の問題点. 科学, 37(5), 270-276.
- Open University (1972): Historical geology. The Open Univ. Press, Bletchley, 64p.
- Pomerol, C. (1973): Ère Cenozoïque. Doin, Paris.
- Rossiter, J.R. (1972): Sea-level observations and their secular variation. Phil. Trans. Roy. Soc. London, 272A, 131-139.
- Smith, A.G. and Briden, J.C. (1977): Mesozoic and Cenozoic palaeocontinental maps. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Wilson, J. T. (1966): Did the Atlantic close and then reopen? Nature, 211, 676-781.
- Wood, A. and Smith, A. J. (1959): The sedimentation and sedimentary history of the Aberystwyth Grits (Upper Llandoveryan). Quart. Jour. Geol. Soc. London, 114, 163-195.

4-1. ウェストミンスター地区土木建築用石材地質巡検

岡 本 隆 一 (株アイ・エヌ・エー)

今回の第5回日本応用地質学会海外調査は、企画段階から目的地を大ブリテン島とアイスランドにしぼり、特に、ウェールズ、スコットランドにおいて地質学の発展にゆかりのあるポイントを訪ねる事を大きな目的とした。

この間、「はじめに」においてもふれたように、岡田博有九州大学教授は、旧知のイギリス側の先生方と連絡を密にとっていただき、我々の調査旅行をより稔りあるものにすべく大変お骨折をいただいた。あらためて感謝致したい。

1995年6月26日、Dr. Eric Robinson, Dr. E. J. W. Jonesと表敬、歓談の際、ロンドン市街の中心地区の道路や建築物に使用されている石材の地質巡検をやらないか、案内してやると言う話が突然に出た。全く予定外の話であるが、岡田先生はじめ、その席に居合わせた者は皆、面白い、連れて行ってもらおうと云う事になった。

Robinson博士は、University College London に籍を置いておられると同時に、1858年に設立されたGeologists' Association の会長をも勤めておられる立場である。地質学の啓蒙にも積極的で、一般市民に分かり易いテーマでレクチャや見学会を催しておられる由である。

日本で云えば、カルチャーセンターの活動のようなものかも知れないが、はるかに学術的な基盤に根ざしているように思われる。イギリスでは、サッチャー元首相時代に大学の地質講座の大改変があった由であるが、まだまだ地質学の地位が日本なんかよりはるかに高いらしくてうらやましい限りである。自然史博物館でも小学生のグループが何組も先生に引率されて説明を受けながら見学をしていたし、Geological Walk の類の案内書がテーマ毎に観光地や施設の売店等にも置いてある事などからも、意識の高さがうかがわれる。

ちなみに、巡検にあたっては、「A Geological Walk in Westminster(one)」と云う案内用ブリーフを載いたが、このブリーフは、1991年にアメリカ石油技術家協会が60周年記念行事として、ロンドンで行われた地質巡検に用意されたガイドブックであり本格的なものである。

地下鉄、St. James Park 駅をスタート地点として巡検をはじめたが(写真 4-1-1)、

Robinson博士はちゃんとハンディブレンダーを持参しておられて(写真 4-1-2)、説明にあたっては霧水をかけて見易くする配慮をしていた。ロンドンクレイを説明するために地下鉄経路を遠回りにして目的地に向かう事等も、相手に目いっぱい説明して、出来るだけ高い関心を持たせ、理解を早める努力を常日頃やっておられると云う事である。

駅の目の前の建物(Home Office)に使われているのが、Portland石である。このPortland石は英仏海峡に面したドーセット地方のポルトランド付近から採石されているジュラ紀最上部の石灰岩である。緻密で異方性のないものは、フリーズ等の壁面彫刻にも使用される。しかし、小えび、二枚介、カキ等の化石床がみられ、このような部分を石材として使用した場合には特徴的な模様として人目を引く。歩道の敷石の例はカキの群集(写真 4-1-3)で、建物の壁材の例は二枚介のフラグメントの集合である(写真 4-1-4)。

尚、大きな支持強度を必要とする関係から、建物の腰板部分にはポルトランド石よりさらに圧縮強度の大きい火成岩類(たとえば、写真 4-1-4ではイギリス南西部Cornwall地方の灰色緻密な Cornish花崗岩)が使用されている。

ポルトランド石は、雨(とくに酸性雨の影響が大きいとされている)がよく当たる低い腰板の部分が溶けはじめている所がある(写真 4-1-5, Home Officeの前)。石灰岩に石膏が含まれていると、さらにその傾向が強い。この写真 4-1-5の場合、装飾効果を出そうとして石板に薄切りをして、大気や雨水との接触面積を大きくしているの、溶食効果を大きくしている。

ロンドンでは、コンコースやフロンテージ等車道と建物との中間域が大事にされていて、いろいろと工夫が見られる。

舗道の敷石について云うと、石材に恵まれていると云う事もあるが、先ず、一枚一枚が大きい平板が使用されている。ヨーロッパ大陸側の中世からの古い町の街路や、南米の大都市の歩道の敷石舗装は、標準レンガの半分のサイズの切石を埋め込んで造られている事が多い。場合によっては黒白等色分け模様がなされたりして、見た目には良いが、表面が凹凸について歩きづらい事が多い。その点、ロンドンのコンコースは非常に歩き易い。

石材も石灰岩、砂岩等の堆積岩ばかりでなく、敷石と縁石に分けて、花崗岩、斑岩等の火成岩、片麻岩、片岩等の変成岩まで幅広く使用されている。写真 4-1-6は、リップル

マークや堆積構造がよく分かる砂岩が使用されている。産地や年代を聞きもらしたが、coal material があるsandstone と云う説明だったと記憶するし、red sandstone でもないので、石炭紀かも知れない。または、非常に等粒なので同じ石炭紀でも、Millstone Grit かも知れないが定かでない。

道路と道路の交差する所の歩道は、馬車道の時代からのノウハウがあり、きれいにランドがとられた縁石が置かれ、車道に降りる所は縁が削られて車道との高低差をなくしている。これは、自転車に乗って歩道を走ってみれば良く分かることだが、日本の無神経な段差のある道路構造とは大違いで、歴史を感じる事である(写真 4-1-7)。

また、敷石には比較的あたりの軟らかい堆積岩が使用されており、車輪と接触する機会のある縁石には、より堅硬な火成岩が使用される事が多い。とくに、コーナーの部分は、近いパスを通りたがる運転者の性癖から、もっとも接触し、磨耗の恐れがあるので、非常に堅硬な石材がコーナーストーンとして使用される。Robinson博士の話では、昔からコーナーストーンには、強固なコンウォール産のCornish Granite が使用されて来たが、最近、コスト高で、ベルギー産やサルディニア産のnew granite に押されているが、質が良くないと云うことであった。きっと、愛国心も入っているのであろう。

フラットのようなあまり高層でない住居建築では、強度の必要な壁下部や、コーナー部分、窓枠部などには石材が使用されているが、壁面の大部分はロンドンクレイを焼成した赤レンガが使用される事が多い。古い建物になると、いかにもハンドメイドと云った風格のあるレンガが残っていて、イギリス人が如何に古いもの、特に古い建物に愛着心を持ってそれを維持しているかが分かる。

レンガはもともととは、にぶい黄赤褐色であったらしいが、永年のパイ煙にさらされて暗いチョコレート色になっている。最近、美化を考えて磨いたり、サンドブラストがかけられたりして、元の感じに戻そうと云う傾向がみられるが、いかにも風雪にさらされたと云う貫禄はどちかであらうかと思われる(写真 4-1-8)。

石材は、壁や敷石ばかりでなくて、建物の内装にも多く使われていて、とくに、階段廻りの石材の選択には非常に神経を使われているようである。

その他、人物像や記念碑の台座としても、各地から取り寄せた石材が磨きあげられて使われていて、それぞれその由来も調べられている。

議事堂、ウエストミンスター寺院、官庁街に囲まれた議事堂広場の北と西側に6基の像が置かれている。

Peel元首相とDisraeli (Lord Beaconsfield)の台座は、イギリスで、花崗岩石材としてもっともよく使われるものの一つである Peterhead花崗岩である。この花崗岩は、Aberdeenshire のScottish Highlands Schist に買入したデボン紀の花崗岩で、ピンクの正長石、灰黒色の石英、暗色の黒雲母からなる非常に等粒の結晶組織であり、磨き映えのする石材とされている。

北側では、政治家Palmerstonの像がある。この像の台座は、Shap花崗岩が使用されている。この花崗岩は、湖水地方南端のデボン紀の貫入岩で、イギリス産花崗岩としてよく知られたものの一つである。この花崗岩の特徴は、等粒の灰色の石基に対して、非常に目立つ大きなピンクの正長石が散在するポーフィリティック組織である。これは水に濡れるとさらにこの特徴が鮮やかになる (写真 4-1-9)。次の Smutsは南ア連邦の建国に功労のあった人らしく、はるか南アフリカから送られてきた巨大なBushveld Gabbro の台座の上にふんぞり返っている。

それに反して、次の有名なSir Winston Churchill 元首相は、やや猫背で、最近の波乱の多い英国政界を心配しつつ、黙ってうつ向き加減に議事堂を見つめている。この台座は、先の Smutsから見ればはるかに小さくて、大きな像の重みに耐えているように見える Cornish花崗岩である (写真 4-1-10)。

ウエストミンスター寺院の直ぐ横に、愛らしい教会としてウェディングによく使われる St. Margaret's 教会がある。丁度、建立 900年祭と云う事で、ゴシック様式の窓飾りや入口のアーチ廻りの手のこんだ彫刻が真白に光輝いていた (写真 4-1-11)。多分、これもイングランド産の石灰岩を主要石材として使用し、900年記念行事のために、サンドブラストと磨きあげによって化粧直しを受けたものと思われる。

Bric Robinson博士の「A Geological Walk in Westminster(one)」に述べられている石材と巡検の途中で説明のあったものについて、それぞれの使用箇所と特徴をまとめて、表 4-1-1、表 4-1-2に示す。ウエストミンスター寺院付近の建物の見取り図 (図 4-1-1)と共に参考にして頂きたい。

最後に、懇切丁寧な現地案内をして戴き、大変貴重な体験をさせていただいた、Eric Robinson博士、E. J. W. Jones博士、博士等を我々に引き合わせて下さった岡田博有九州大学教授に対し、あらためて篤くお礼申しあげる次第である (写真 4-1-12)。

参 考 文 献

- Geological Survey of Great Britain(1969). Geological map of British Islands ("Twenty five-mile" Map).
- Robinson E. (1991). A geological walk in Westminster(one). AAPG Sept. 29-Oct. 2, (1991).

図 4-1-1 ウエストミンスター地区の建造物 (by Dr. Eric Robinson)

表4-1-2 ウェストミンスター地区の建造物に使用された石材 (B)

人名・建物名	建立年	年代	使用材	産地
Sir Robert Peel	1876	アボネ紀	Peterhead Granite	Aberdeenshire 海岸 (東スコットランド)
Benjamin Disraeli (Lord Beaconsfield)	1883	アボネ紀	Peterhead Granite (黒色片岩のイソクルーシェン)	Aberdeenshire 海岸 (東スコットランド)
Palmerston	—	アボネ紀	Shap Granite	湖水地方 (北西スコットランド)
Smuts	1958	—	Bushveld Gabbro	R. South Africa
Sir Winston Churchill	—	ヘルシニアン	Cornish Granite	Cornwall 地方 (南西スコットランド)
Abraham Lincoln (COPY)	—	—	Var. Cornish Granite	Cornwall 地方 (南西スコットランド)
Middlesex Guildhall	1902~1913	ジュラ紀 最上部	Portland Stone	Dorset 地方 (南西スコットランド)
Hall of the Royal Institute of Chartered Surveyors	—	ジュラ紀 中部	Lincolnshire Limestone 内装: イタリ産大理石 Peterhead Granite	Lincolnshire 地方 (東スコットランド)
Public Health & Engineering Dep.	—	—	Portland Stone	—
Institute of Civil Engineers	—	—	Portland Stone	—
Institute of Mechanical Engineers	—	—	Portland Stone	—
No. 5 Stores Gate	戦後	—	Serpentine	—
Stores Gate の他の建物	—	—	Red Brick 窓枠: Portland Stone	—
Westminster Central Hall	1911	—	Portland Stone	Derbyshire 地方
階段: Hopton Wood Stone				

表4-1-1 ウェストミンスター地区の構造物に使用された石材 (A)

岩	年代	産地	特徴	用途
変成岩類	—	—	グイクトリヤ朝以来、半完成品としてバルチック・スウェーデン、フィンランド、ノルウェー、ヘルギー (アルプス) より輸入し、馬車道の舗装に使用した。	—
石灰岩	ジュラ紀 最上部	イングランド南西部ドーセット地方ポルトランド島	小えび、二枚介、かき等化石が多い。純度が高く等方性の部分は彫刻にも向いている。	彫刻材、数石、
花崗岩	Portland Gr	アボネ紀 中部	東イングランド リンカーンシャー地方	壁、柱材
	Lincolnshire 石灰岩	ジュラ紀 中部	介殻の多い堆積構造のウーリテック石灰岩	—
	Hopton Wood 石	石炭紀	グービーシャー地方	内装材、彫刻材
	Shap Gr	アボネ紀	湖水地方の南部	台座
花崗岩	Cornish Gr	—	イングランド南西部コーンウォール地方	台座、壁材
	Peterhead Gr	アボネ紀	スコットランド、アバチー・ペン・海岸	台座
	Syenite	—	南ノルウェー	内装材
	—	—	良く磨くと、バーサイト長石が玉虫色になる	—
蛇紋岩	—	北イタリア、アルプス連山サヴォイ地方	磨くと大理石のように装飾効果が出る	内装材、壁材
砂岩	—	産地不明	恐らく石炭紀	道路敷石
割れ目の少ない大きな平板がとれる。堆積構造が見える				



写真4-1-1



写真4-1-2



写真4-1-3



写真4-1-4



写真4-1-5

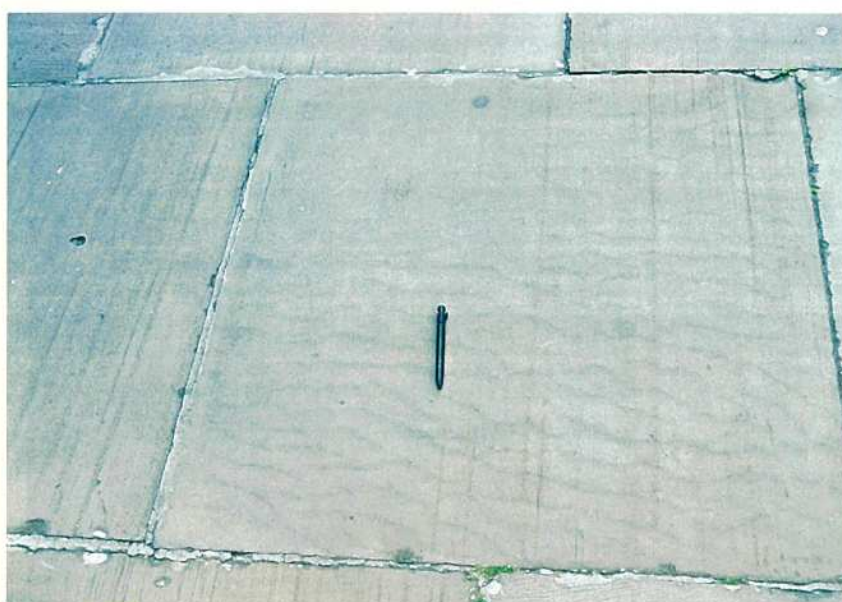


写真4-1-6



写真4-1-7



写真4-1-8



写真4-1-9



写真4-1-10



写真4-1-11



写真4-1-12 前列左 Dr. E. Robinson、右 岡田博有教授
後列左より 宇田理事、岡本団長、Dr. E. J. W. Jones
福富評議員、石橋理事

(許氏撮影)

4-2. ロンドン～スウォンジー間の地質と行程

本荘静光（総合地質調査㈱）

1) 地質概要

英国巡検初日のロンドン～スウォンジー（Swansea）間では、時間とコースの都合で地質観察箇所は設けず、バス車窓からの視察にとどめたが、地質概要を以下に示す。

ロンドン周辺の地質は、いわゆるLondon Clay を含む古第三系から成る。この古第三系と下位の白亜系は、軸がENE-WSW方向で東にプランジする向斜構造を示す。我々のコースはロンドンからほぼ西に向かっているので、この向斜の北翼に斜交して、順次古い時代の地層を通過している。白亜系最上部には軟質な石灰質の「Chalk」が広く分布し、レディング（Reading）～スウィンドン（Swindon）間では、ハイウェーの法面や周辺の丘陵に、灰白色のチョークの露頭が小規模ながら観察された。

スウィンドン～ブリストル（Bristol）間には、ジュラ系、三畳系が分布する。更にセバーン（Severn）橋を渡ってウェールズに入ると、カーディフ（Cardiff）炭田を構成する石炭系とそれをとりまくデボン系、および両者を不整合に被って一部海岸地域に分布する中世界など、やや複雑な構造を示しつつ北側のカレドニア帯に続いている。

2) 視察行程

イングランドからウェールズへ向った巡検初日（6月27日）の視察行程はつぎの通りである。

London 発	8:20
Severn Bridge	11:00～12:00
Cardiff市内（昼食）	12:45～14:00
Cardiff Castle etc.	14:00～15:30
Welsh Folk Museum	16:00～17:00
Swansea着	18:00

旅 ぞく 米 だ だ 河 の ツロ ン 締 め

水 渡 れ 今 日 波 高 し

間 欠 泉 ル ー ン は だ こ ン ン ン

迫 り 来 る 地 球 の 風 吹 雪 オ の 丘

名 は ン ン ン ン ン ン ン ン ン ン ン

地 トー ン ン ン ン ン ン ン ン ン ン

怪 異 の 夢 破 れ て も ン ン ン ン

野 を 埋 め て ン ン ン ン ン ン ン

命 懸 け の ン ン ン ン ン ン ン

日 本 名 産 品 三 品 酒 米 油 醤 油

（注）

産 品 三 品 酒 米 油 醤 油

（注）

初 頭 筋 々 々 々 々 々 々 々 々 々 々 々

（注）

（注）

図4-2-1 ロンドン〜スウェーデン間の行程と地質概要（岡田先生の地質図による）





写真4-2-1 ロンドンにて前途の幸運を祈る



写真4-2-2 ハイドパーク、22時の夕映え



写真4-2-3 セバーン橋のほとり、昼の憩い



写真4-2-4 カーディフ中央駅、ウェールズ語優先の看板



写真4-2-5 カードィフの街角を歩く



写真4-2-6 カードィフ市内レストラン寸景
中央の女性ガイドの小川さん

4-3. イギリスの橋梁Ⅰ（セバーン橋）

桶田隆司（財ダム技術センター）

はじめに

セバーンブリッジは、ロンドンより西へ約 200km、南ウェールズとイングランドを結ぶ重要な連絡橋として、セバーン川の河口に架かる橋である（英国を「貴婦人が豚に乗っている」形とするならそののどぼとけに位置する）。本橋は、高速道路M4号線に架かっていて、前後の高速道路は無料であるのに対し有料（我々が乗った大型バスは11ポンド、普通車両は3.7ポンド）であった。

1. 諸 元

セバーンブリッジの諸元は以下のとおりである。

型 式：イギリス式つり橋

（翼状流線形鋼床版箱げたとワーレントラス状に組み込んだ斜めハンガーの組合わせ）

中央径間長：988m（3,240ft）

側径間長：305m×2（1,000ft）

主塔高さ：136m（445ft）

桁 下：47m（155ft）

箱 桁：H3.05×B22.86m

車 線 数：4車線

工 期：1961～1966

2. 設 計

橋梁型式に、トラスのかわりに翼状流線形断面の箱形を採用し、風の抵抗を小さくし、危険な振動の原因となる渦の発生を回避したことにより、鋼材重量を同時期、同規模のものに比べ60%に軽減している。このため、外観は極めてスレンダーに見える。また、当時の主流はハンガーが垂直配置であるのに対し、ハンガーが斜めに千鳥に配置されている。これにより、構造減衰性を向上させている。

3. 工 事

工事は1961年に開始された。橋脚基礎工事で直面した問題は、セバーン川の流れが急なこと、そして、干満の差が大きいことであった。仮締切の掘削、コンクリート・ブロックの設置作業は、1日2回、20分の干潮時に制限されていた。橋桁はチェプストー(Chepstow)の製鋼所で長さ18m(60ft)に分割されて製作された。この橋桁を川から吊り上げて定位置に固定した。工事は1966年に完了した。

4. 補 修

1966年に開通したこの橋も、1970年代にはいと車両交通量が激増(特に重車両)し、開通後わずか8年で斜めハンガーに破断が見られ1982年の検査時には50本の破断が確認され、1985年から1991年にかけて全てのハンガーが取り替えられた。主塔に関しては、ブロック内部に鋼管柱を挿入して補強をおこなった。これらの補修に費やした費用は100億円といわれている。

5. 全景写真



4-4. ウェールズ南部の地質

中島史樹 (㈱建設技術研究所)

宮崎精介 (八千代エンジニアリング㈱)

1. はじめに

6月28日には、スウォンジーからA40沿いにハーバーフォードウェスト(Haverfordwest)を経てフィッシュガード(Fishguard)さらにA487沿いにニューキィ(Newquay)、アベリストウィス(Aberystwyth)、ボース(Borth)に移動した。この内、ブリストル(Bristol)湾に面するスウォンジーからハーバーフォードウェストにかけては上部古生界が分布し、カーディガン(Cardigan)湾側(ニューキィ〜ボース)には下部古生界が分布している。ハーバーフォードウェスト北側の半島部には先カンブリア系が点在している(図4-4-1参照, 凡例番号34, 41)。

これらの中から、次の露頭で下車・観察をした。①先カンブリア系の火山岩類、②泥岩・砂岩などの碎屑岩類を主体とする下部古生界にあって、唯一火山活動の産物である下部オルドビス系の火山岩類、③そしてカーディガン湾岸沿いに広く分布するシルル系タービダイトの層相変化。前二者の火山岩類は、日本ではお目にかかれない古い時代のもので、珪質でかつ再結晶化しているため、肉眼では原岩の識別が難しい。

現地では我々団員に地質状況の説明がノルマとして課されているが、その際九州大学岡田博有教授に大分助け舟を出して戴いた。また、シルル系についてはウェールズ大学フィッチェス(Fitches)教授とその友人のケーブ(Cave)博士に案内して頂いた。以上の方々に厚くお礼申し上げる。

なお、主たる地域地質に関する参考文献は次のとおりである。

文献1 British Geological Survey(1994);The Rocks of Wales, Geological Map of
Wales, 1:250,000

文献2 Institute of Geological Sciences(1979);Geological Map of the United Kingdom
South 3rd Ed., 1:625,000

文献3 T.Neville George(1970);British Regional Geology, South Wales, 3rd Ed.

2. 観察ポイントの地質

(1) 先カンブリア系

点在する先カンブリア系としては、流紋岩～粗面岩質の火砕岩や溶岩を主体とする火山岩類 (Pebidian) と、これらを通く花崗岩や閃緑岩などの深成岩類 (Dimetian) があり、両者ともカンブリア系の堆積前に褶曲変形を被っており、東西方向に伸長した分布を示す。

A40道路沿いのTreffgarne北方において、カンブリア系やオルドビス系に混じって、比高数十m以上の岩峰群をなす先カンブリア系が帯状に分布している。その一つであるNant-y-coy付近の岩峰の裾部で露頭を観察した (写真 4-4-1)。採取したサンプルは極めて硬質緻密な珪質岩で、顕微鏡下では亀裂や空隙を充填したと思われる粗粒の石英を除き、ほぼ均質な細粒の石英を主体とし、微細なジルコン結晶も含んでいる。このような特徴から観察したサンプルは細粒の酸性凝灰岩と思われる (写真 4-4-2)。

(2) 下部古生界

カンブリア系は浅海成の碎屑岩で、下部では赤紫～緑色の礫岩、砂岩、泥質岩、上部では灰色の泥質岩を主体とするが、露頭の関係で観察できなかった。なお、劈開の発達した泥質岩はスレートと呼ばれる建築資材として利用されており、翌29日に観察した。

オルドビス系は、遠洋から沿岸性の泥質堆積物を主体とし、タービダイトも挟む。下部においては流紋岩～安山岩質の溶岩や火砕岩、スピライト溶岩などの火山活動の産物を特徴的に挟む。フィシュガードにて流紋岩質の火砕岩を観察した。

フィシュガード湾に面して連続した露頭に恵まれ、湾の西側にあるフェリー発着所では、弱い成層構造を示す露頭が連続している (写真 4-4-3)。道路脇の露頭では、凝灰岩様や閃緑岩様を示すなど多様な外観を示し、Llanvirn Series に属する。凝灰岩様を示す部分の顕微鏡観察によれば、石英や長石 (斜長石やカリ長石) の大型結晶と細粒基質が識別される (写真4-4-4)。結晶は主として他形を示すが一部では自形を保存しており、基質は再結晶化した細粒の石英で、観察したサンプルは流紋岩質火砕岩、ないしはその再堆積物である可能性が高い。後者については顕微鏡観察はしていない。

シルル系はタービダイトの研究で良く知られたフィールドであり、カーディガン湾岸には比高数～30m程度の露頭がほぼ連続している。宮崎の個人的な事を言わせてもらえば



写真 4-4-1 岩壁の連なる先カンブリア系 (Nant-y-coy付近)



写真 4-4-3 弱い成層構造の認められるオルドビス系 (フィッシュガード)

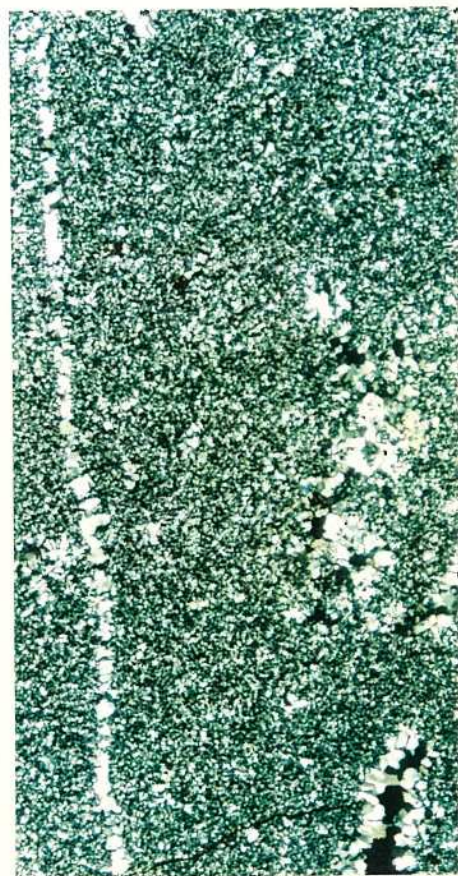


写真 4-4-2 酸性凝灰岩と思われる先カンブリア系の顕微鏡写真 (クロスニコル)

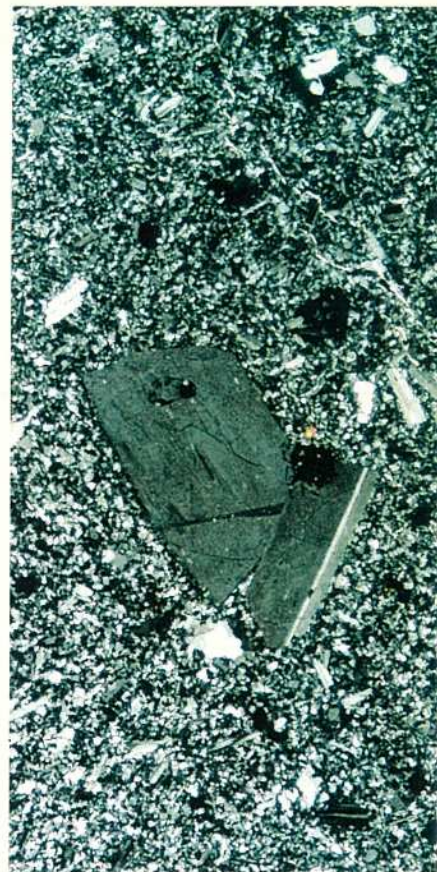


写真 4-4-4 流紋岩質凝灰岩と思われるオルドビス系 (クロスニコル)

“堆積機構に興味を持つ私にとって、このシルル系の分布地域は憧れのフィールドの一つ”であり、興味深く観察させていただいた。

このシルル系の層相変化については、3地点での観察結果に基づき以下に詳述する。

3. シルル系タービダイト

タービダイトは、Bouma Sequence(1962)によって定式化された規則的な内部構造(図4-4-2)を持つ堆積物で、乱泥流によってもたらされる。このため、堆積の中央部(proximal)と周辺部(distal)では、粒径や厚ささらに堆積構造などが異なる。このような変化を知るために、Dr. Fitches, Dr. Cave の案内のもとにカーディガン湾に面するニューキー、アベリストウィス、ボースの3地点でタービダイトを観察した。

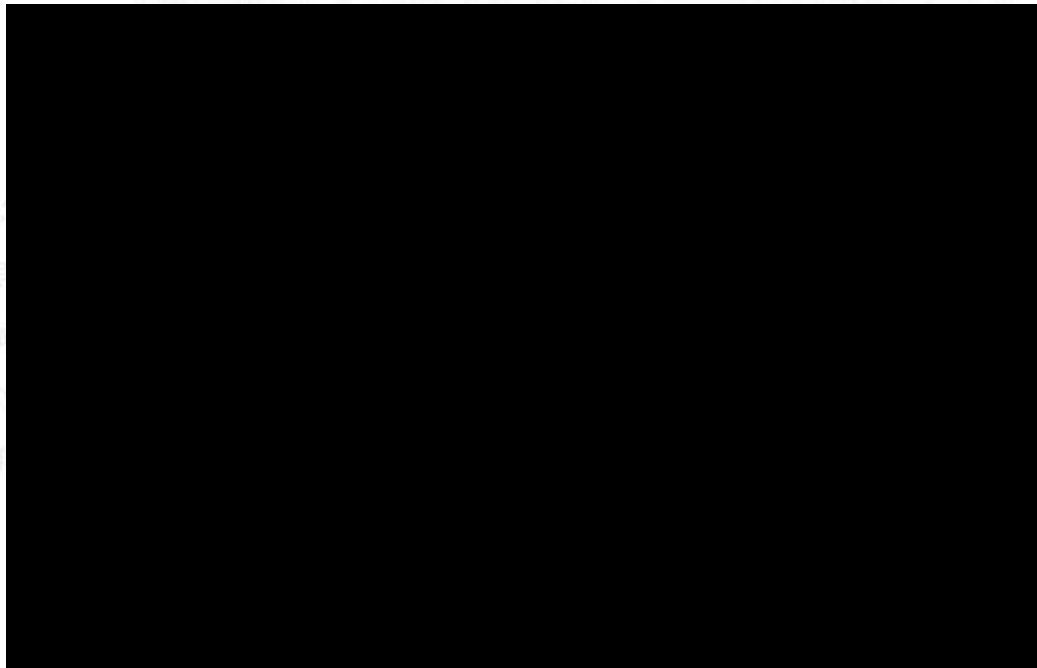


図 4-4-2 Bouma Sequenceの内部構造と運動様式
〔Collinson JD, Thompson DB(1989);Sedimentary Structure, 2nd Edn.
Unwin Hyman, London 207p〕

① ニューキー

最も南西側に位置するニューキーはタービダイトのproximal faciesを代表する砂岩優勢層が発達しており、その特徴は乱泥流の上流側に位置し、エネルギーの大きいことを反映して次の特徴を示す。

- ・ Bouma Sequenceのうち A~C divisionが発達するため、全体に砂岩が優勢である (写真 4-4-5)。
- ・ 上位のタービダイトが下位層を削刺しているため、Bouma SequenceのD、E divisionの発達が悪く、一部では上下のタービダイトが融合している現象も観察される (写真 4-4-6)。
- ・ 流速が大きいため底痕は未発達である。
- ・ 砂岩の量的変化にはリズムがあり、部分的にはA divisionの欠如した薄いタービダイトを含む泥質岩優勢層も観察される。

② アベリストウィス

ニューキーの北東側約30kmに位置するアベリストウィスでは、整然とした泥岩優勢な互層 (写真 4-4-7) が卓越しており、フルートキャストなどの底痕が良く観察される (写真 4-4-8)。ここで観察されるタービダイトは厚さ数十cmで、最下部のA、B divisionは欠如しており、厚さ数~30cmの砂質部はラミナの発達したC、D division (写真 4-4-9) であり、その上位には泥質のE divisionが厚く発達している。しかし、タービダイトを覆う遠洋性粘土は観察されない。

③ ポース

さらに北東へ5km離れたポース南側の露頭では、タービダイトの厚さは20~40cmとあまり減少しないが、層相は大きく変化する。即ち、厚さ数cm程度のD divisionと厚さ15~30cm程度の泥質のE divisionからなるdistal faciesに変化している (写真 4-4-10, 11)。D divisionに相当する砂岩は薄く、弱いラミナを示しており、後生変形の影響が弱い。上位のE divisionとは一連のタービダイトであることが良く理解される (変形の進んだ地層では判断が困難な場合もある)。

E divisionの泥岩は無構造の塊状を示すが、その上位には厚さ0.5~2cm程度の遠洋性



写真 4-4-5 ニューキーにおけるシルル系タービダイト (砂岩優勢互層)



写真 4-4-6 融合した2層のタービダイト (ハンマーの柄の先端付近が境界)



写真 4-4-7 アベリストウィスにおけるシルル系タービダイト (泥岩優勢互層)



写真 4-4-8 タービダイト底面で観察されるフルートキャスト
いずれも底面でも同方向の古流向を示す



写真 4-4-9 タービダイトの砂質部分はラミナの発達したC、D division
(泥質部の劈開は層理と斜交している)



写真 4-4-10 ボースにおける泥質部の卓越するタービダイト
(右上-左下方向が層理で右側が上位)



写真 4-4-11 直立層右が上位、中央の暗灰色薄層が遠洋性粘土
その直上に薄い砂岩薄層が認められる

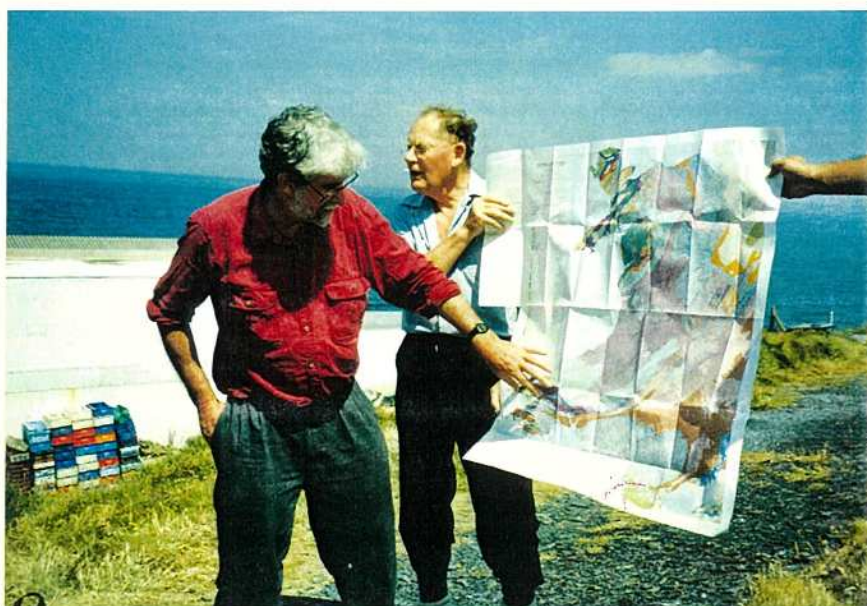


写真 4-4-12 ニューキーの海岸でシルル系の説明をするFitches教授とDr. Cave(右)

粘土が保存されている。この粘土は剥離性が認められることや色調が異なるため、両者の識別は比較的容易である。また、この遠洋性粘土の下半には、採取はできなかったが筆石が保存されている場合があるとのことだった。

以上の観察した3地点では明瞭な層相変化が認められ、“この層相変化や古流向から、碎屑粒子は南西-北東方向の狭長な堆積盆に南西側から供給された”とのフィッチェス教授、ケーブ博士の説明に満足して宿舎へ向かった。また、教授は堆積盆の形成に関しては、狭長な堆積盆の形成には、正断層の活動と密接な係わりを持っており、その活動とともに堆積盆が東へ移動して行ったと考えている。

以上述べたタービダイトの層相変化や堆積盆形成史の説明にふれ、当時の海底の様子を垣間見た思いがした。

4-5. ウェールズ北部の地質

中 曾 根 茂 樹 (日本工営㈱)

本 江 誠 治 (電源開発㈱)

6月28日にはアベリストウィスからスランゲンフニー(Llangefni)までの約210kmを走行し、その間にスノードン(Snowdon)山(1085m)を遠望するとともに途中の4ヶ所でダム・貯水池および橋梁を見学した。

見学ルートは、図4-5-1に示すようにウェールズ北西部の山岳地帯(カンブリア(Cambria)山脈)と海岸線に位置している。調査団を乗せたバスは、アベリストウィスを出発して、A487沿いに一路北へ向かった。Minforddで構造断層(Bala Fault)に沿った直線状の典型的なU字谷を通過した(写真4-5-1)。このあたりから、28日までのコースで見られた起伏の少ない地形と趣の異なる山岳景観が見られるようになった。29日の山岳コース一帯は、スノードン国立公園と呼ばれ、ウェールズを代表する観光地となっているところである。とくに北部のスノードン山近傍では、氷河地形を反映した急峻な谷や美しい湖が眺められた。

このウェールズの北西部の山岳地帯を南から北へと縦断しているルート沿いの地質は、南からシルル系、オルドビス系、カンブリア系へと変化し、更に北の地域では再びオルドビス系となる。北ウェールズの地質図を図4-5-2に示す。本報文では6月29日のルート沿いに見られたカンブリア系およびオルドビス系を中心に概観する。

カンブリア系はその模式地として有名なHarlech Domeを中心として分布している。地層は主に砂岩・頁岩・粘板岩より構成され礫岩を挟在し、全体に砂岩が優勢である。

私達のバスは、このドームのほぼ中央を南北に胴切りするように通過した。ドーム中央部の景観は、ゆったりとした丘陵は残丘のようなピークが特徴である。残念ながら露頭をみることはできなかったが、残丘の壁に地層が緩やかに堆積している様子が遠望された(写真4-5-2)。この地域の北部にあるトラウスヴァニド(Trawsfynydd)湖は、ゆったりとした丘陵の間に広がった落ち着いた感じのダム湖である。ダムを見ることはできなかったが、イギリスのダムのなかでも比較的古いものである。バスをまとめて、貯水池のほとり

図 4-5-1 6月29日の巡検コース



100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

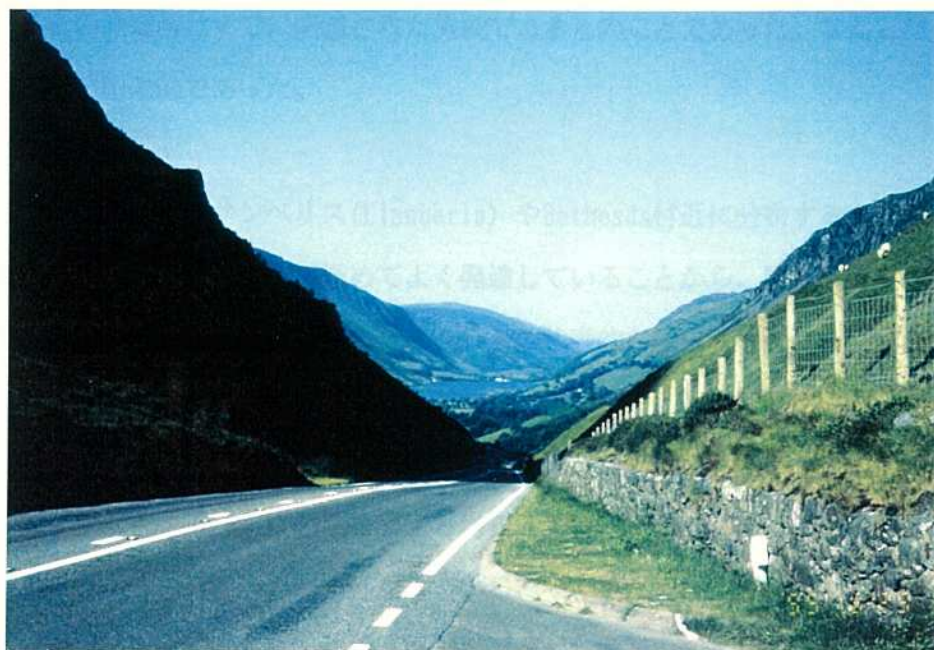


写真 4-5-1 Minffordd の U 字 谷
氷河により形成された典型的なU字谷の
ほぼ中央部を断層 (Bala Fault) が通過する。

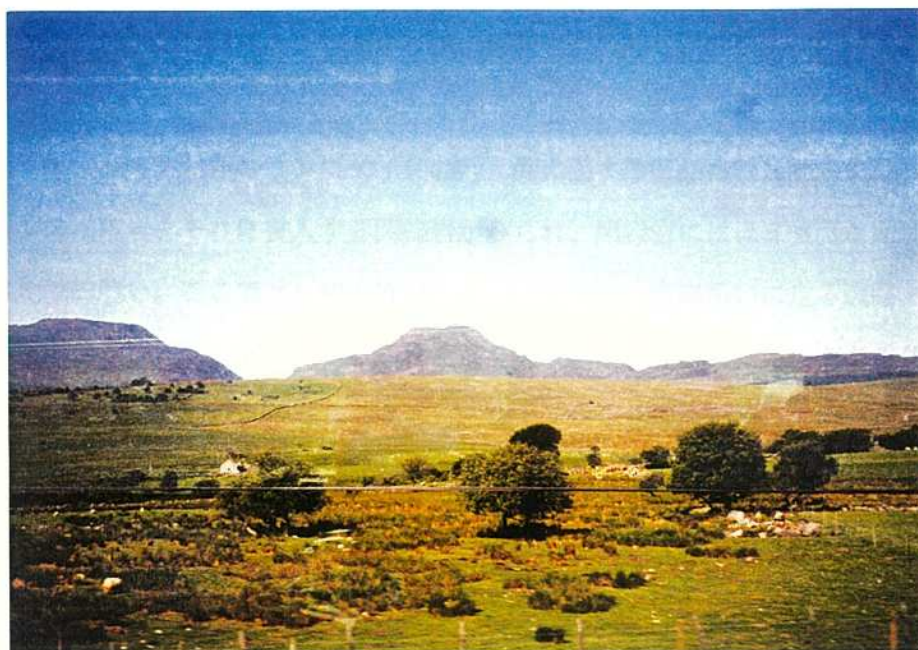


写真 4-5-2 Herlech Dome 中央部の残丘状のピーク

にある原子力発電所を遠くから眺めた。本巡検の案内をしてくださったフィッチ先生の説明では、この発電所はすでに閉鎖された施設であるとのことであった。なんとなくあっさりした説明が印象的であった。

ウェールズ北西部のサンベリス(Llanberis)やBethesda付近に分布するカンブリア系の粘板岩(スレート)はへき開が極めてよく発達していることから、屋根や壁用の建材として利用されている。今回の調査団ではスレートの代表的な鉱山(Penrhyn Slate Quarry)を見学することができた(写真 4-5-3)。図 4-5-3にこの鉱山の概略地質図を示す。採掘されているスレートは、カレドニア造山に伴って変成をうけたカンブリア紀前期の泥質岩である。やや紫色を帯びた灰黒色を呈する均質なもので、まれに緑色の縞状模様の見られることもある。へき開がみごとに発達しているので、平たがねを用い人力で容易に加工できる(写真 4-5-4)。この鉱山内の工場では採掘した原石を加工して厚さ5mmの板にして出荷しているが、成品として使えるのは原石の5%程とのことである。

オルドビス系はカンブリア系を不整合に覆い、Harlech Domeを取り囲むように分布している。地層は主に砂岩・頁岩・泥岩により構成されるが、カンブリア系と岩相の点で大きく異なるのは火成岩および火山砕屑岩を多く挟在することであり、今回はウェールズ地方で最も高い山であるスノードン山(標高1,085m)東方のPen-y-Gwryd付近などで見ることができた。ここには酸性火山岩および火山砕屑岩が分布し、部分的に粗粒玄武岩が貫入している。

また、ウェールズ北部のコンウェイ(Conwy)湾に面するLlanfairfechanには、オルドビス紀後期の堆積岩とそれに貫入する閃緑岩がみられ、閃緑岩にはほぼ垂直な節理が発達し、岩盤は比較的脆い。ここでは丘陵山地が海に迫っており、海岸沿いに走る道路・鉄道の切り取り法面保護が西暦1800年代より幾度となく繰り返されているところである(Professor D. S. Woodの現地説明による。写真 4-5-5)。なんとなく北陸自動車道の旭インター付近を思わせる地形をしている。最近竣工した高速道路の法面には、アースアンカー工を主体とする法面保護工が施工されており、一部のアンカーには、荷重計も設置されている(写真 4-5-6)。私達が訪れた日は、海は穏やかであったが、おそらく風の強い季節には相当な波が打ち寄せる海岸線と思われる。波打ち際に古い木杭のようなものが立ち並んでいるの

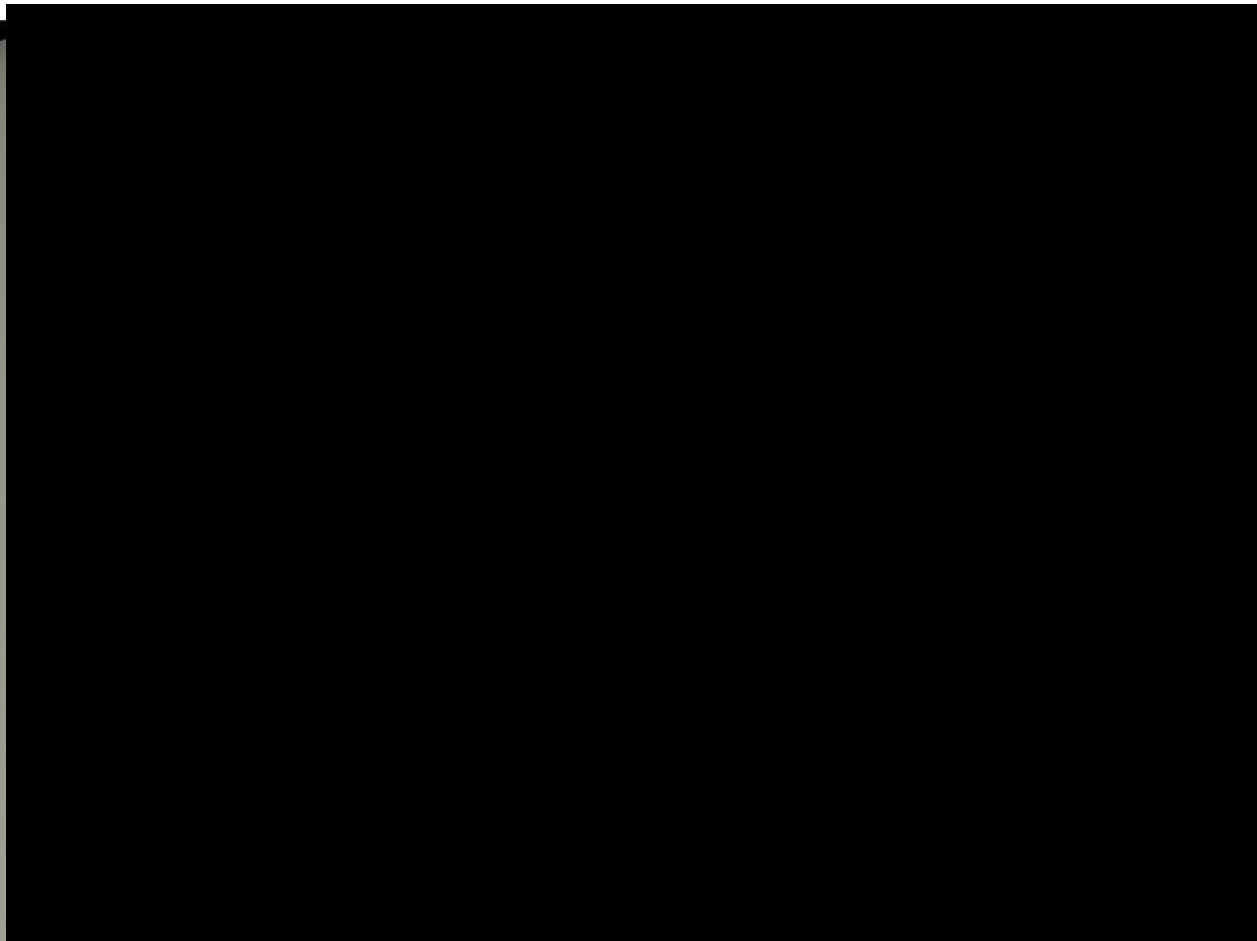


図 4-5-3 Penrhyn Slate Quarry の地質図

(B. Smith, T. N. George(1961): British Regional Geology, North Wales)



写真 4-5-3 Penrhyn Slate Quarry

写真右の斜面崩壊のため、この場所での採掘は現在行われていない。



写真 4-5-4 スレート工場
 僻開にそって平タガネで割っているところ

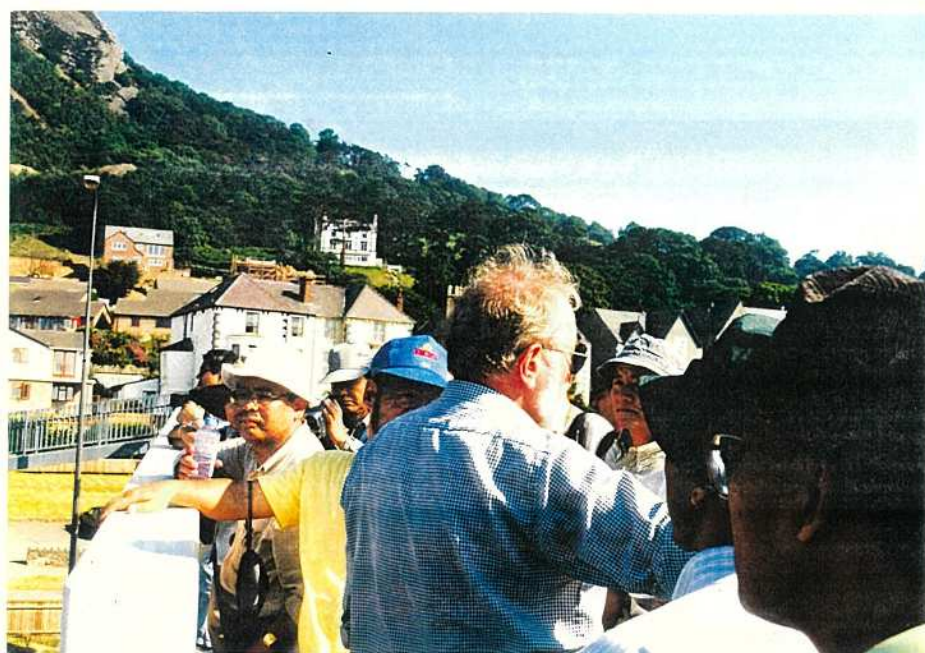


写真 4-5-5



写真 4-5-6 Llanfairfechen 高速道路の法面保護工

写真中央縦2列のアンカーには計器が設置されている



写真 4-5-7 ホテルのロビー

が印象に残った。

最後に、イギリス本土と狭い海峡をへだてて相対しているアングルーシー島に渡った。

この海峡に架るメナイ橋(Menai Bridge)のどっかとすわっている様子は、なかなか見応えのある景色であった。

以上、簡単にウェールズ北部の地質を振り返ってみたが、地形的には日本国内では見ることのできない大規模な氷河地形がルート沿いに散見された。スノードンの周辺では、これらの地形をうまく利用した発電が行われている。また、地下発電所などを見学したが、建屋の壁面が吹付コンクリートのような仕上がりになっていることなど、イギリスの合理的な設計法を少なからず見る事ができた。これについては、4-6章で森口氏が詳述する。

次に調査団に参加しての雑感を思い付くままに書いてみた。調査団の行程はかなりの強行軍であったが、数多くの地層を見ることができたうえ、九州大学の岡田先生をはじめイギリスの著名な学識経験者の説明を現地で受けることができた。これらのことは貴重な経験として今後活かしていきたい。また、各地で宿泊するホテルや町並みにはその土地独特の雰囲気があり、大いに楽しむことができた。特に6月29日に投宿したアングルーシーの田園にあるシャトー風の館(元は貴族の屋敷)は圧巻であった。ここでは室内の豪華な調度品に驚き(写真 4-5-7)、夕食の柔らかなラム肉とワインに舌鼓を打ち、団員の多くは夜の更けるのも忘れてハッスルしたのであった。

最後になったが、岡本団長、宇田幹事をはじめ日本応用地質学会各位には調査団にかかわる様々な便宜を頂いた。この紙面をかりてこれらの方々に深く感謝の意を表します。

4-6. イギリスのダム I (Dinorwic scheme)

森口昌仁 (助ダム技術センター)

Dinorwic (またはDinorwig) 揚水発電所は、北ウェールズのスノードン (Snowdon) 山 (イングリランドとウェールズで最も高い山、標高 1,085m) の北西約 4 km に位置するヨーロッパ最大の揚水発電所であり、1976年から1982年にかけて建設された。

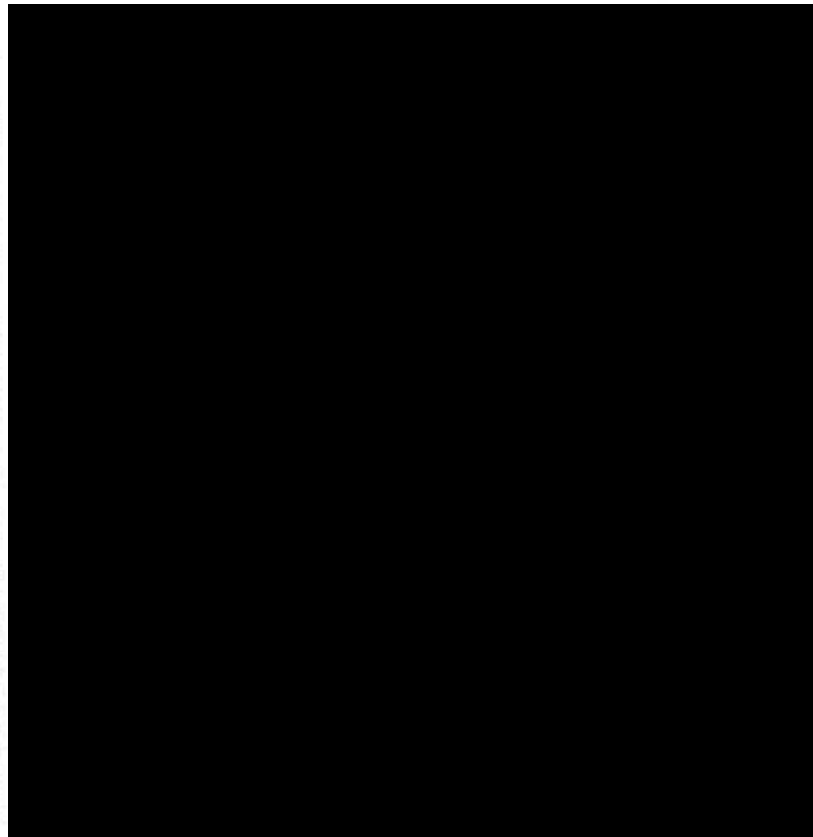


図 4-6-1 Dinorwic scheme 位置図

Dinorwic 揚水発電所の概要を以下に示す。

◎貯水池諸元

有効貯水容量	6,700,000m ³
最大発電流量	420m ³ /秒
最大揚水流量	348m ³ /秒

上池 (Marchlyn Dam)

ダム高	72.1m
堤頂長	635m
堤体積	1,700,000m ³

上池水位変動範囲

33m

下池水位変動範囲

14m

◎地下発電所

発電所	長さ	180m
	幅	25m
	高さ	60m
変電所	長さ	160m
	幅	25m
	高さ	18m

◎発電諸元

形式	フランシス水車
台数	6台
揚水時間 (最大容量時)	6.5時間
平均発電出力	1,740MW
発電可能時間	5.5時間

◎総工費 450,000,000ポンド (約 720億円)

意味、Lはスと発音する）は、水平距離で約3 kmの距離であるが、有効落差は528 mである。発電所はこの間のBlidir Fawrlinの地下深部に建設されている。

上池であるMarchlyn Damは、Blidir Fawrlin腹の氷河により浸食を受けてできた窪地の河口を横断して建設されたロックフィルダムである。

基礎岩盤はスレートであるが、この上にモレーン（氷河堆積物）が厚く堆積している。ダムはこのモレーンの上に建設されており、遮水のため基礎岩盤のスレート部までアスファルトフェーシングが施工されている（図4-6-4）。この法先には鉄筋コンクリート製の通廊が設置され、通廊の下でカーテングラウチングが最深120 mまで施工されている。

アスファルト遮水膜は単層構造である。その構成はプライムコート、60 mm厚の基層、80 mm厚の密粒度アスファルトコンクリート層、そしてマスチックシールコートである。

試験湛水の結果では、ダムの機能は全く申し分のないものであったと報告されている。

図 4-6-2 Dinorwic揚水発電計画の概要（平面配置）

図 4-6-3 Dinorwic揚水発電計画の概要（縦断配置）

Dinorwic揚水発電所が位置するスノードニア地域は、氷河によって深く刻まれた山塊や多くの天然湖がある風光明媚な地域であり国立公園となっている。Dinorwic揚水発電所は、この自然地形を極めて有効に利用して計画された。

図4-6-2にDinorwic揚水発電計画の平面配置、図4-6-3に縦断配置を示す。

上池であるMarchlyn Damと下池である天然湖のLlyn Peris（Llynはウェールズ語で湖の

図 4-6-4 Marchlyn Dam標準断面図

ダム及び発電所は国立公園の中に位置するため、Marchlyn Damの下流面にも植栽が施され周囲の自然と調和するように配慮されている。また、下池であるLlyn Perisのそばに北ウェールズ国立博物館が設置されており、北ウェールズの文化、歴史が紹介されている。発電所の概要は、Dr. Alistair Rogersが展示されている模型等で分かりやすく説明してくれ

た。また、地下発電所は一般公開され、専用バスで地下発電所まで訪問できる。内部では専任のガイドによる案内が受けられ、発電機のそばまで見学できるなど一般の人々に事業の内容を理解していただく努力がなされている。



写真 4-6-1 Marchlyn Dam



写真 4-6-2 北ウェールズ国立博物館（淡赤紫色の石材はこの地方のスレート）

4-7. アングルシー島～ヨーク

金 秀 俊 (北海道開発コンサルタント(株))

前夜アングルシー (Anglesey) 島のスランゲフニール (Llangefni)にあるハーモニーホールという地方色豊かなホテルに宿泊した。そこは、田園にたたずむ清閑な貴族の館である (写真 4-7-1)。晚餐に、名物の羊の血の煮固めた料理をいただいた。私は「薬」だと思って食べたが、食べ馴れれば旨いのだろうか・・・。

成田を発って6日目。全英的な猛暑と冷房の弱いバスのせいで、些か疲れの見える一行ではあるが、この日も雲一つない晴天に恵まれ、かのヘンリー7世を輩出したウェールズ人の心のふるさと“アングルシー島”めぐりは始まった (図 4-7-1)。

1. アングルシー島の地質概要 (図 4-7-2)

アングルシー島の大部分は、先カンブリア時代の地質からなり、一部オルドビス系、デボン系、石炭系が分布する。大きな構造はほぼ NE-SW方向だが、言うまでもなくこの先カンブリア系は変成を蒙り、著しく褶曲し、あるいは“メランジュ”の産状を呈する (Mona 地質コンプレックス)。

また、島全体が標高50～100 mのなだらかな丘陵を呈するが、氷河による侵食地形が顕著で、氷河の移動したNEからSWの方向に谷や湖が細長く切れ込むのが特徴である。

従って、水系は発達しておらず、基盤岩の良好な露頭の大部分は海岸に露出する。



写真 4-7-1

ハーモニーホール

2. Holyhead (図 4-7-2 STOP 1)

アングルシー島西端の小島ホーリーヘッド島。ここには、チェスターからの鉄道の終着駅があり、ホーリーヘッド港からアイルランドに向けてフェリーが就航している交通の要所である。この島の西端に最初の観察地点 South Stack岬がある。

South Stack岬付近は、高さ100 m近い断崖絶壁が続き、写真 4-7-2のように絶景である。ここでその素晴らしい景色も堪能したのち、崖下において先カンブリア系の片岩を観察した。

なんせこんな古い地層は、日本ではお目にかかることができないから、あこがれの“プレカン”である。しかし、6億年以上も前の片岩ならさぞかし堅かろうとハンマーを振ると、それは我々の期待を裏切る柔らかさで、まるで日本の第三系に触れているような印象であった。また、片岩と言うよりは、かなり生の砂岩に近く、グレイワッケに見えた。実は、地質案内書の記述では、変成岩であるにもかかわらず堆積構造に関する内容が多かったので、ただでさえ語学力の怪しい私としては、かなり頭の中が混乱していたのだ。ここで謎が解けた。そして、大きな褶曲構造が遠望でき、教科書にあるように、片理面と層理面が明瞭に区別できた(写真 4-7-3)。

このあとホーリーヘッドに寄り、“ホーリーヘッドクォーツァイト”を観察した。オルソクォーツァイトである。この岩石は、片岩よりはプレカンらしい堅さがあり、アイルランドからの船も、霧のかかる海でホーリーヘッドを航標としているとのこと。

ところでこのアングルシー島は、前述したように島全体がかつて氷河で削剝を受けている。ホーリーヘッド付近で見られるむき出しの岩肌にはこの方向に削痕が刻まれ、ホーリーヘッドクォーツァイトはその磨かれた岩肌を高緯度地方独特の低い陽光に反射し、眩しい光沢を放っていた(写真 4-7-4)。



写真 4-7-2

South Stack の眺望



写真 4-7-3

砂質片岩の褶曲構造

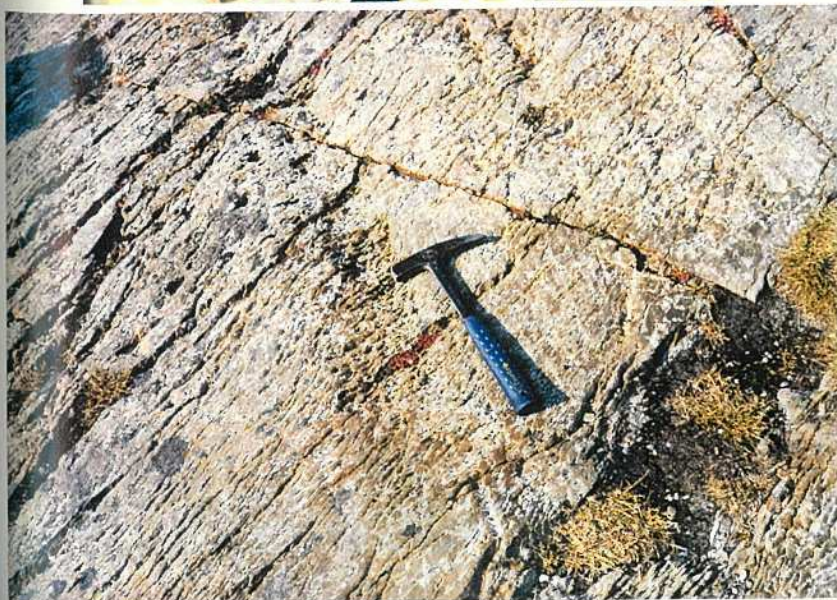


写真 4-7-4

氷河によって削剝
された岩肌

3. Cemaes Bay (図 4-7-2 STOP 2)

北岸のCemaes Bayへまわる。ここには、先カンブリア系のMona地質コンプレックスが分布し、いわゆる“メランジェ”発祥の地と称される場所で（Greenly 1919）、破碎された泥質マトリックス中に赤色チャート、石灰岩、緑色岩などのブロックがランダムに含まれている（写真 4-7-5～8）。ここは穏やかなビーチで、ホーリーヘッドとは趣が違う。浜辺で遊ぶ家族連れを後目に海に背を向けて石をたたく・・・やはりこの辺にも地質＝暗いというイメージの源があるのでは、とふと思う。この日はバスの移動距離が最も長い日で、午前中で地質観察を終え、チェスター（Chester）で昼食をとり、ヨーク（York）へ向かった。

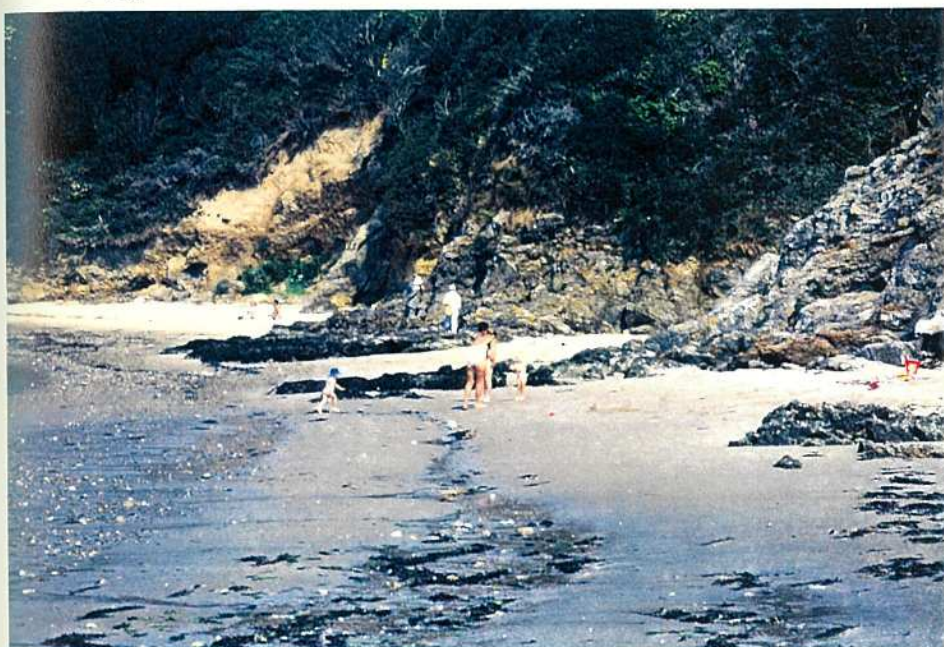


写真 4-7-5

メランジェの露頭①
子供達が海水浴を楽しむ海岸で観察開始

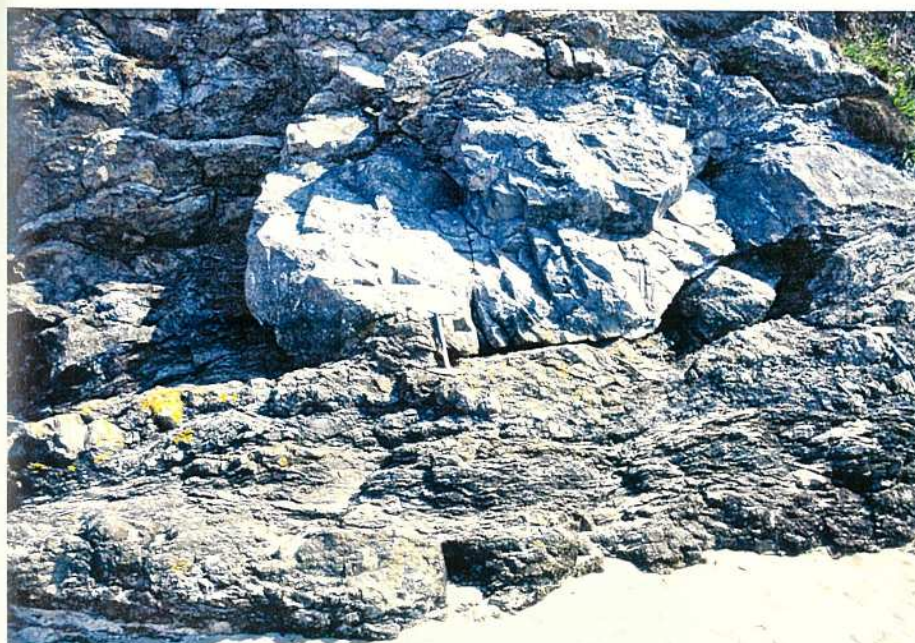


写真 4-7-6

メランジェの露頭②
灰色に見えるのが砂岩
白色が石灰岩、
黒色は泥岩



写真4-7-7 メランジェの露頭③ 泥岩中に石灰岩岩塊が多量に含まれている



写真4-7-8 メランジェの露頭④ 上部が泥岩、下部は赤色チャート

4. 城壁の街チェスター

遅い昼食をとったチェスターの街は古代ローマ人が築いた城壁に取り囲まれた England's Historic "Walled City"として有名である。北は運河、南はDeen川に挟まれ、そのなかで高さ数mの城壁が街の四方を取り囲んでいる。城壁や建物は新赤色砂岩 (New red sandstone) を用いて築造されているため (写真 4-7-9)、印象的な赤が美しい。城壁の中の街は、"The Cross" と呼ばれ、教会や博物館も多数立ち並んでいる。中心部は歩行者天国のショッピング街になっていて、一階の天井がやや低く、二階がオープンテラスになっている店が多く、開放感あふれる町並みである (写真 4-7-10)。好天に恵まれて街には買い物客があふれ、ストリートパフォーマー達がなにか演奏している (写真 4-7-11)。連日強行軍 (飲み疲れ?) の我々には旅の中休みといったところか。



写真 4-7-9 New red sandstoneを使った市役所 (?)



写真4-7-10 中心街の様子



写真4-7-11 ストリートパフォーマーに見入る子供達

5. 世界一長い駅名

島の南東部にある世界一長い駅名の駅へ寄った(写真 4-7-12)。ギネスブックに認定された58文字の駅名である。地元の人は、「スランヴァイアーPG」と略しているが、ウェールズ語なので全く読めない。だいたい、LLで「ス」と発音するのだから。現地ガイドの方に、もしこれが一度で正しく読めたら1,000,000円差し上げるとまで言われたが、読者諸氏はいかなものか。

ちなみに意味は、「赤い洞窟のそばの聖ティシリオ教会と荒々しい渦潮の近くの白いはしばみの窪地にある聖マリー教会」だそうだ。

『駅名：LLANFAIRPWLLGWYNGYLLGOGERYCHWYRNDROBWLLELANTYSILILOGOGGOCH』



写真 4-7-12 世界一長い駅名の駅 スランヴァイアーGP

参考文献

1. ORDNANCE SURVEY OF GREAT BRITAIN(1980) 5万分の1 地質図「ANGLESEY」, SHEETS 92&93, AND PARTS OF SHEET 94, 105&106
2. BRITISH GEOLOGICAL SURVEY(1994) 25万分の1 地質図「GEOLOGICAL MAP OF WALES」
3. ORDNANCE SURVEY OF GREAT BRITAIN(1979) 62万5 千分1 地質図「GEOLOGICAL MAP OF THE UNITED KINGDOM SOUTH」
4. D. E. B. BATES and L. R. DAVIES(1994) GEOLOGISTS' ASSOCIATION GUIDE NO. 40「ANGLESEY」
5. GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT BRITAIN(1961), NORTH WALES

4-8. ヨークからエジンバラへ

三本 健四郎 (応用地質㈱)

岡崎 紀康 (㈱復建技術コンサルタント)

1. まえがき

本文は、7月1日の視察内容について報告するものであるが、本日はキールダーダム (KIELDER DAM) の見学とハドリアンウォール (HADRIAN'S WALL)、カーターバー (CARTER BAR) などの一時停車以外は全てバスの中で、直接地質を観察する機会はなかった。このため、ここではまず紀行文の形で本日の行動を写真を交えて報告し、キールダーダムについての視察結果は次の第4-9章で報告する。

2. 概略の行程

- 8:00 ヨーク (YORK) のホテルを出発
- 9:00 ハドリアンウォール (ニューキャッスル・アポン・タイン)
- 11:00 キールダーダム (キールダーウォーター)
- 14:00 昼食 (キールダーウォーター)
- 16:00 カーターバー (CARTER BAR)
- 19:00 エディンバラのホテルに到着

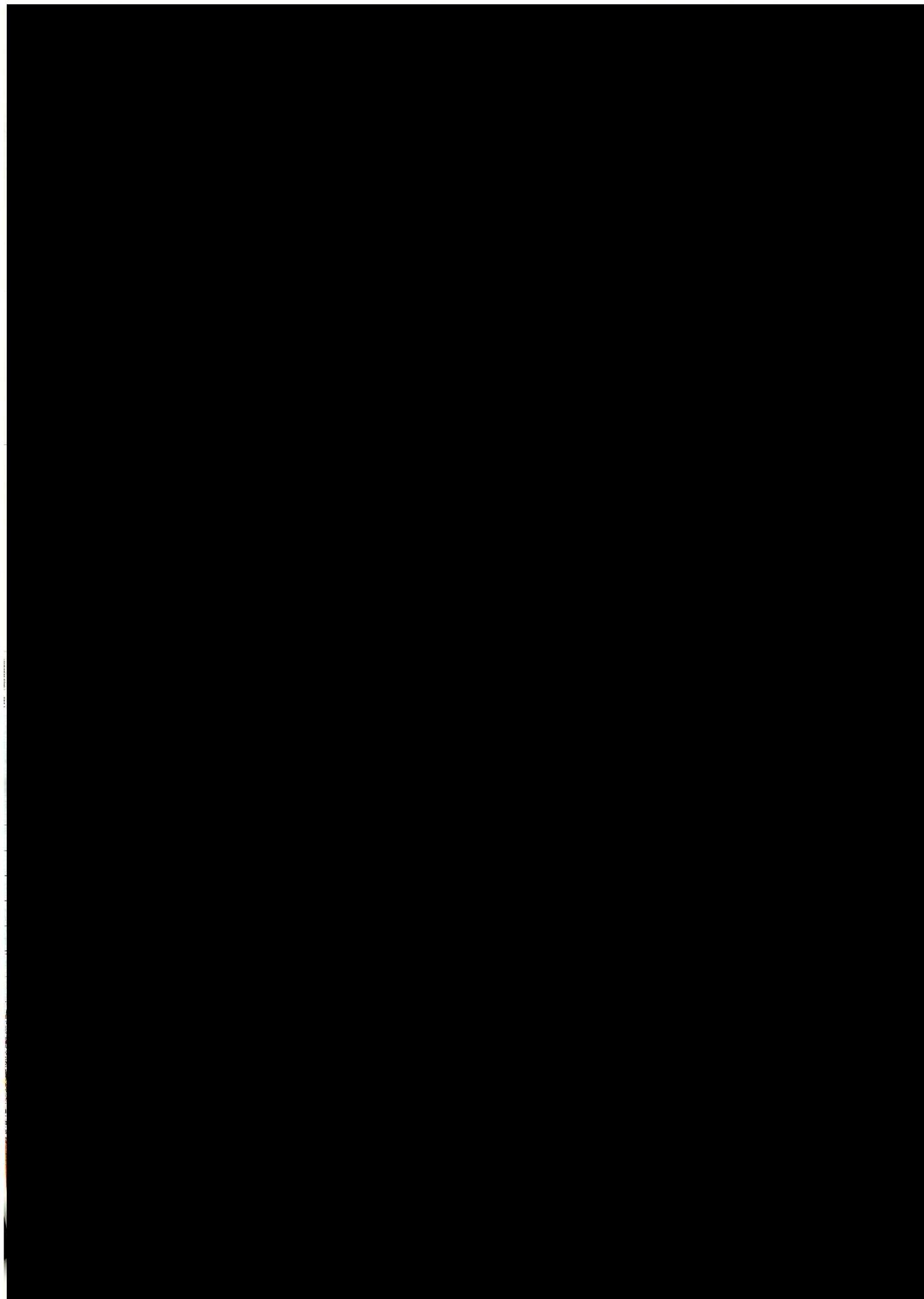
3. ヨークからハドリアンウォール

この間は、A級国道 (一部高速道、およびB級国道) をひたすら走る。地形は氷河の侵食によって見渡すかぎり丘陵地となっており、牧草地や畑地として利用されている。

この間の地質は、図-4-8-1に示したように、CALEDONIDES の非変成ゾーンで、南 (ヨーク) から白亜紀 (チョーク) / ジュラ紀 / 三畳紀 / 二畳紀 / 石炭紀 と順次下位の時代の地質が分布している (ハドリアンウォール周辺は石炭系)。

4. ハドリアンウォール (HADRIAN'S WALL)

イングランド北部の西海岸から東海岸まで、ブリテン島を分断するような長い城壁がハ



ドリアンウォールである。北方からの侵略を防ぐために築かれたもので、イギリスに現存するものの中では、最大のローマ遺跡である（写真-4-8-1）。概要は後述する。

5. ハドリアンウォールからキールダーダム

この間は、A級国道も走行したが、大半はB級国道および一般の地方道であった。イギリスのB級国道や、地方道は平面的には直線であるが、縦断的には切土・盛土が全く無く、地形なりに作られており（写真-4-8-2）、この道を 100km/h以上のスピードで走ったため、まるでジェットコースターに乗っているようであった。特に、一般の地方道は一車線でスリル満点であった。

これは、11:00キールダーダム到着の絶対使命があり、運転手も生真面目であったため、手に汗を握るバス旅行であった。この11:00到着の絶対使命は、ダムを管理しているノーサンブリア水資源開発公団(NORTHUMBRIAN WATER AUTHORITY)がダムの見学に際して、写真撮影NOという極めて厳しい条件を付けていたため、多分時間にも厳しいだろうとの判断からであった。

このため、地質のことなどを見たり考えたりする余裕は無く（資料によるとこの間の地質は、石炭紀のようであった）、外の景色を見るのがやっとであった。車窓の景色は写真-4-8-3に示したように相変わらずの丘陵地であった。この走りのためピッタリ11時にキールダーダムに到着した。

6. キールダーダム（キールダーウォーター）

キールダーダムには約束の11時に到着したが、実際に公団の係官が来たのは12:00頃であった。遅刻したことがあったかもしれないが、係官は優しい人で、カメラOKで丁寧な案内をしてくれた。また最後には、写真-4-8-4に示すようにわざわざ「観光放流」までしてくれた。

キールダーダムの詳細は第4-9章に報告する。

7. キールダーダム (キールダーウォーター) からエジンバラ

14:00頃遅い朝食をして午前中に走った「ジェットコースター道路」を経由し、A級国道を走行して、エジンバラに向かった。途中、田舎町ベリンガム (BELLINGHAM) で一時停車したが、ベリンガムでは小さな田舎町に大型バスでたくさん日本人が降りて、しかも同じ道路地図を買い占めてしまい、地元の人を大変驚かせたようであった。この地図はとも安く、1/20万全英道路MAPがわずか1.99ポンド≒約300円であった。

田舎町の景色を写真4-8-5に示すが、石造りの大変きれいな町並であった。イギリスはどこでも同じであるが、道路脇に電柱がほとんどなく、町並みがスッキリしている。この後カーターバーに向かったが、ここはイングランドとスコットランドの境界に位置している。ここで一時停車し、記念撮影のあと一路エジンバラに向かった。

キールダーダムからカーターバーにかけての地形も相変わらずの丘陵性の地形であるが、カーターバーからエジンバラにかけての地形は、この間にサザンアップランド断層 (SOUTHERN UPLAND FAULT) が走っていることもあり、イギリスにしては急峻な地形であった。地質は資料によると、キールダーダムからサザンアップランド断層までは、石炭紀/デボン紀/シルル紀/オルドビス紀と順次下位の地質が分布するが、断層の北側には、石炭紀の地質が分布している。

このカーターバーあたりから、今日は一度も石をたたいていないことが気になり始めた。沿線の地質は、かの有名なOld Red Sandstone。担当者の特権も手伝って緊急停車し、みんなでサンプリングした。岩石はかなり風化し軟質であったが、やっと気持ち落ちついたようであった。

このような道草を食ったこともあり、エジンバラのホテルに着いたのは、19:00とかなり遅くなった。それから外で食事、ホテルに帰ったのは22:00頃、今日も強行軍であった。ただ、写真4-8-6に示したように、夕日に映えた美しいエジンバラ城は、疲れを癒してくれるようであった。

(Hadrian's Wallの概要)

Hadrian's Wallは行程上の理由から、視察時間が5分程度のほとんど写真撮影会となってしまう。そのため、Hadrian's Wallについては、視察前に調べた資料を参考に整理する。

Hadrian's Wallは、イングランド北部の西海岸から東海岸まで、ブリテン島を分断するような長い城壁である。ひとことで説明するなら、「イギリスの万里の長城」である。紀元122年にローマのハドリアヌス帝の命令によって、異民族の北方からの侵略を防ぐために築かれたもので、イギリスに現存するローマ遺跡の中では最大のものである。

HADRIAN'S WALLは以前、西はカーライルの西のポーンズ (湖水地方のポーンズとは違う) から東はニューキャッスル近傍の、WALLSEND (ウォールズエンド: 壁の終点) まで、延長にして118kmも続いていたと言われている。高さは約5m、幅は2.5~5mの石造りという堅固なもので、約1.6km毎に2つの監視塔を挟んで小さな塔が、およそ5.8km毎に大要塞が設けられていた。現在は、幅1.5m程度の城壁が部分的にしか残っていないが、House-leads (ハウステッズ) の近郊の城壁は比較的保存状態が良好で、要塞のあととも確認できるそうである。



写真 4-8-1
ハドリアンウォール



写真 4-8-2
B級国道の様子
「ジェットコースター道路」



写真 4-8-3
車窓の景色



写真 4-8-4

「観光放流」の様子



写真 4-8-5

田舎町の町並み

(Bellingham)



写真 4-8-6

夕日に照らされた

エジンバラ城

4-9. イギリスのダムⅡ (THE KIELDER WATER SCHEME)

三本 健四郎、岡崎 紀康 (前出)

1) KIELDER WATER(KIELDER DAM 以下略) 建設の背景と概要

KIELDER WATER の事業者であるThe Northumbrian Water Authority * (ノーサンブリア水資源開発公団) は、Cumbria, North Yorkshire の一部およびNorthumberlandのほぼ全域、DurhamおよびCleveland 等の都市、Tyne川とWear川沿いに位置する都市を含む 930,000ha 程度の地域を管轄している。

ニューキャッスルアポンタイン(New Castle Upon Tyne)周辺を含むイングランド北東地域一帯の工業用水の需要が高まったことや、地域住民の生活水準がより向上したこと等から、将来的に必要とされる水の供給量(2001年までに日量 180万 m³)が現状の設備では十分補えないと予測されたため、KIELDER WATERの貯水池開発が進行した。

最終的な候補地としてKIELDER WATER が選定されるまでには、38ヶ所の貯水池候補地について調査および検討がなされていたが、

① KIELDER WATER はTyne川の流量を調節することで、Northumberland地域に必要な水を十分に供給することができる。

② KIELDER WATER ほどの貯水量をほかの候補地で確保するには、5～6箇所程度の貯水池建設が必要となる。

等の理由から、KIELDER WATERの建設が決定された。

KIELDER WATER(KIELDER DAM)の堤体断面図を図-4-9-1に示し、諸元の概要を表-4-9-1に整理した。

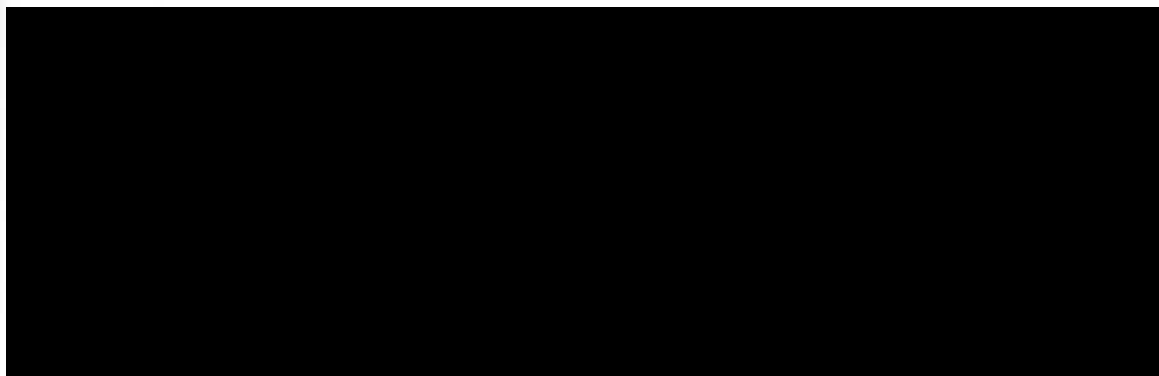


図-4-9-1 堤体断面図

* 住所: Northumbria House, Regent Center, Gosforth, New Castle Upon Tyne NE3, 3PX

表-4-9-1 KIELDER WATER(KIELDER DAM)諸元

事業名	事業者
目的	イングランド北東地域一帯の用水確保を目的としている。
堤長標高 (BL)	1 8 8 metres
堤高	5 2 metres
堤頂長	1. 2 kilometres
堤体積	4. 4 million cubic metres
貯水面積	1. 0 8 7 hectares (ヨローッパ最大)
貯水池全長	1 1. 2 kilometres
貯水容量	2 0 0. 0 0 0 million litres (有効: 1. 88億 m ³)
基礎地質	基礎は、石炭紀の砂岩、粘板岩 (骨材、ロック材は主として大規模な岩脈および岩床として産出する塩基性岩によっている。コア材は氷河堆積物から採取)

2) KIELDER WATER の特徴

① KIELDER WATER は、Lake Windermere (イングランドの湖水地方にあるイングランド最大の湖) の75%に相当し、人口湖としては、ヨローッパ最大である。

② KIELDER WATER は、Tyne川からWear川、そしてTees川へ導水管 (φ3. 0 m程度のトンネル) を通して送水し河川流量を調整している。

すなわち、KIELDER WATER で貯えられた水は、この導水管 (トンネル) を利用することにより、Tyne川下流の主要都市全体の水供給量を満たす他、必要となればTees川から南方への供給も可能となる。1箇所貯水池から導水管 (トンネル) を施工することにより、より広範囲にわたる主要都市などへの水の供給が可能となっている。

③ KIELDER WATER は以下の工程で築造されている。

- ・ 1974年 4月16日 計画受託
- ・ 1975年 4月 着工
- ・ 1980年 7月 4日 完成
- ・ 1980年12月 湛水開始

・ 1982年 5月26日 満水

④ KIELDER DAM には、高さ64mのVALVE TOWER が設けられており (写真 4-9-1)、ここから貯水池の水を堤体最下部に設置されているconcreat-culvert (pipe)を通して、H.E.P. Station へと導き発電を行っている。また、その上部には、VALVE TOWER への Access Road が存在し (写真 4-9-2)、視察時にはレクレーションで使用されると思われるヨットが置いてあった。日本のダムでは、堤体中にこのような設備を設けることは考えにくく非常に驚いた。

⑤ KIELDER WATER は自然と一体化しており、レクレーション設備等も整っている点等、見習う点も多いと感じた。特に、環境に関する配慮が十分になされており、KIELDER DAM から下流58km地点に存在するRiding Mill Weirでは、KIELDER WATER Transfer Works の業務とは別に魚の生息状態などを調査する機関を設けている。また、導水路沿いの地形は比較的緩斜面地であるため、Tyne川からTees川へ延びる導水管 (トンネル) など人工滝 (小さな滝) を設け、水に酸素を含ませる等、水質の保全対策も行っている。



写真 4-9-1 右手を挙げている人物の掌の右手に見えるのがValve tower



写真 4-9-2 堤体を横切るaccess road

4-10. エジンバラ～アバディーン間の地質

大 橋 克 (株)アイ・エヌ・エー

1. はじめに (行程)

7月2日の視察ルートは、エジンバラ (Edinburgh) からアバディーン (Aberdeen) に至る、約 320kmの行程である。

Edinburgh	本日の見どころ
↓	
Cockburnspath	・ Hutton's Unconformity (①)
↓	
St. Andrews	・ The Forth Rail Bridge
↓	
Arbroath	
↓	
Inverbervie	・ Old Red Sandstone (②)
↓	
Stonehaven	・ Highland Boundary Fault (③)
↓	
Aberdeen	

2. 地質概要

7月2日のルートは、図3-2、図4-10-1に示すようにミッドランド・バレー (Midland Valley) と呼ばれる凹地帯を南から北へ横断するルートである。

ミッドランド・バレーは、スコットランド中部の凹地帯で、南側を南アップランド断層 (Southern Upland Fault)、北側をハイランド断層 (Highland Boundary Fault) によって限られ、周囲に比較してやや新しい地質 (デボン系以新) が分布する。ミッドランド・バレー内の地質は旧赤色砂岩 (Old Red Sandstone) (デボン系) に代表され、そのほかに、石灰岩 (石炭系)、火山岩類 (デボン～ペルム系) も認められる。旧赤色砂岩は、砂岩・礫岩・頁岩からなり、その名のとおり赤い色をしている。

南アップランド断層よりも南側には、上記よりも古い砂岩・頁岩等が分布し、これらの岩石は旧赤色砂岩と違い灰色を呈する。

また、ハイランド断層よりも北側には、上記よりも古い、変成岩類 (片岩、粘板岩等) が分布する。



図4-10-1 ミッドランド・バレー (Midland Valley) の地質

3. 視察ポイント

3.1 ①地点 ハットンの不整合 (Hutton's Classic Unconformity)

1) 位置

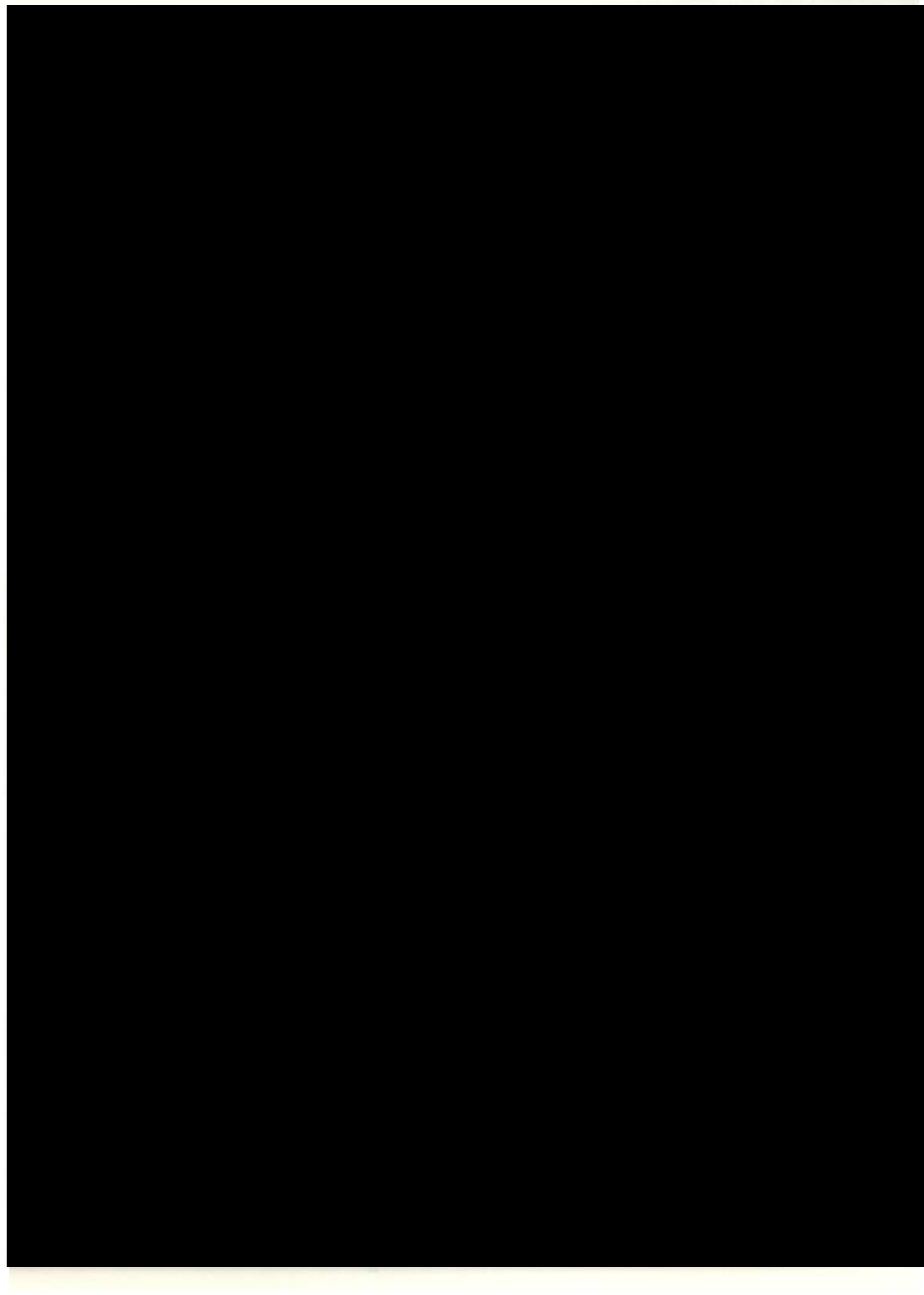
①地点は、シッカーポイント (Siccar Point) と呼ばれている地点であり、エジンバラの東方約50kmのクックバーンズパス (Cockburnspath) 近傍の海岸沿いに位置する。

2) 地質

シッカーポイントは、広域的にはミッドランド・バレー東海岸の南端に位置する。

ここでのみどころは、ハットンの不整合 (Hutton's Unconformity) である。ハットン (James Hutton, 1726-1797) はイギリスが産んだ地質学者であり、地質学的時間の意義を認識した最初の人として知られている。

ハットンの不整合は、上位のデボン系上部旧赤色砂岩 (Upper Old Red Sandstone) と下位のシルル系との間の構造的ギャップを示すものである。シルル系はほぼ直立している (N65° E 80~90° N) のに対して、デボン系上部旧赤色砂岩は北へ緩く傾斜 (EW 20° N) し、一見して傾斜不整合とわかる。不整合面下のシルル系は極細粒~細粒砂岩と頁岩の互層からなり、灰色を呈する。不整合面の直上には角礫岩が重なり、シッカー・ポイント地表面のかなりの部分はこれによって占められている。角礫岩の上位には砂岩が重なっている。この不整合に関しては4-12章で福富氏が詳しく述べる事となっている。



3.2 ②地点 インバーバービー (Inverbervie)

下部旧赤色砂岩 (Lower Old Red Sandstone)

1) 位 置

②地点は、アバディーン (Aberdeen) の南方約40kmの海岸沿いである。

2) 地 質

②地点は、広域的にはミッドランド・バレーの北端付近に位置し、デボン系下部旧赤色砂岩が分布する地域である。

ここでは、礫岩が広く分布していた (写真 4-10-1, 4-10-2)。

3.3 ③地点 ハイランド断層 (Highland Boundary Fault)

1) 位 置

③地点は、アバディーンの南方約20kmのストーンヘーベン (Stonehaven) 付近である。

2) 地 質

③地点は、広域的にはミッドランド・バレーの北端に位置し、ハイランド断層を境にして、南側はデボン系下部旧赤色砂岩が、北側はそれよりも古い変成岩類 (片岩、粘板岩等) が分布する。

ここは、ハイランド断層の位置と考えられる非常に幅広い谷を、バスで通過した (断層露頭等は確認していない)。

4. おまけ

以上が当日のルートの地質視察の概要である。以下に、当日の視察の中での印象的な個所を含め、スコットランドについて少々お話ししたい。

1) スコットランドのお金

ご存じのように英国の正式名称は「United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland」であり、このうちグレート・ブリテンはさらにスコットランド、ウェールズ、イングランドの3国で形成される。スコットランドとは、アイルランドから渡ってきたケルト民族の一派「スコット族」の国という意味である。

スコットランドの伝統と誇りの象徴は様々なところに認められ、その一つの現れとして、お札もスコットランドが独自に発行している。ただし、イングランド銀行発行のお札はスコットランドで普通に使用可能であるのに対し、スコットランドのお札はイングランドではあまり歓迎されないそうである。

2) アザミ

スコットランドの国花は「アザミ」である。ハットンの不整合の付近にもたくさんアザミが咲いていた (写真 4-10-3)。

アザミがスコットランドの国花となった由来は、以下のように言い伝えられている。「18世紀、ノルウェー軍がスコットランドに攻め入ってきたとき、ノルウェー軍は、夜襲をかけようと一人の斥候を闇夜にはなした。しかし、その斥候はスコットランド軍陣地のそばで何かを踏み付け、足に走った激痛のため大声を上げてしまう。声に気付いたスコットランド軍は直ちに戦闘準備を整え、ノルウェー軍を迎え撃ちこれを破った。このとき、ノルウェー兵士に大声を上げさせスコットランド軍を勝利に導いたのが、野性のアザミであった」。それ以来、アザミはスコットランドの国花となった。

3) セント・アンドリュース

セント・アンドリュースといえば、全英オープンが行われる地として誰もが知っているとおり、ゴルフの「総本山」としてゴルフファーマーの地となっている。

我々団員の中にも当然ゴルフファーマーがあり、地質視察を省いてもセント・アンドリュースに寄らないわけには行かないということで、当初の予定を変更し、セント・アンドリュースで昼食をとることとした。

さすがにゴルフ発祥の地だけあり、ゴルフをやらない私から見ても、セント・アンドリュース オールド・コースは、歴史と伝統を感じさせる素晴らしいコースに見えまして (写真 4-10-4)。

その他、スコットランドには「ピーターラビット」、「タータンチェック」「スコッチウィスキー」等、我々日本人にも馴染みが深いものがありますが、それらについて興味がある方は自分で調べてみてください。



写真 4-10-1 旧赤色砂岩 (Lower Old Red Sandstone) の礫岩。



写真 4-10-2 同上



写真 4-10-3 アザミ（ハットンの不整合付近にて）。



写真 4-10-4 セントアンドリュースオールドコース前にて。

4-11. イギリスの橋梁Ⅱ（メナイ橋・フォース鉄道橋）

丹野光正（財ダム技術センター）

1. メナイ海峡橋（Menai strait Bridge）

所在地	ウェールズ(Wales) 本土とアングルシー島 (Anglesey) 間のメナイ海峡
型式	世界最古の吊り橋（チェーン）
全長	521m (1710ft)
吊り径間	176m (579ft)
主塔高	46.6m (153ft)
桁下高さ	30.5m (100ft)
工期	1820～1826
	主塔建設（上部：石積み構造）1820～1824年
	チェーン架設（1825年4月26日～7月9日）
	1826年1月30日 ロンドン～ホーリーヘッド間の最初の駅馬車が通過

「特色等」

① 設計等

吊り橋システム（特許）ジェームズ・フィンリー（James Finle's）

吊り橋の提案 トマス・テルフォード（Thomas Telford）

ジョン・アンダーソン（Jhon Anderson）

吊り橋の実現 サミュエル・ブラウン大尉

② 橋脚の構造

テルフォードは安定性確保のため中詰石の充填は行わず中空隔壁構造とした。

③ 技術的問題点と対応

橋桁部分における風の抵抗による振動の発生（開通前から）：耐風チェーンを追加

1839年：嵐によりハンガーが破損、橋桁を大破

1892年、1938年～1941年：橋の全面的な補修を行った。

1938～1941年：鉄製チェーン(*1)から鋼製(*2)に取り替えられている。

*1 鉄製チェーン：当時の製鉄技術からすると炭素分の多い可鍛鑄鉄に類する
ものなどが考えられる。（炭素分が多いともろくなる）

*2 鋼製チェーン：一般的な炭素鋼（SS級）と考えられる。



写真-4-11-1 メナイ海峡橋 (Menai strait Bridge)

2. フォース鉄道橋 (The Forth Rail Bridge)

所在地	スコットランド (Queensferry) のフォース湾
型式	世界最大級の連続桁型式ゲルバートラス橋
全長	2 4 6 0 m (1.5 マイル)
純径間	5 2 1 m × 2 (1 7 1 0 ft × 2)
主塔高	1 0 0.6 m (3 3 0 ft)
鋼材重量	5 8, 0 0 0 t
工期	1 8 8 2 ~ 1 8 8 9 年

「特色等」

① 設計等

フォース橋の提案：

サー・トマス・バウチ (Sir Thomas Bouch) の提案はテイ橋 (Tay Bridge) の落橋^{*1}のため採用されなかった。

フォース橋の設計：

サー・ジョン・ファウラー (Sir John Fowler) とベンジャミン・ベイカー (Benjamin Baker)

② 設計の特色

新技術の採用：鋼鉄の利用と片持ち式架設

鋼鉄橋の許可：1874年にジェームズ・イーズ (James Eads) の設計した大規模な鋼鉄橋がセント・ルイスで完成していたが、英国では鋼橋の建設が法的に許可されたのは、随分遅れてやっとこの時期であった。

連続桁式の採用：3種類の吊り形式を検討した後、連続桁形式を採用した。

従来の工法の応用：当時実用化された技術のみを応用した。冒険的な新技術は採用しなかった。

^{*1} テイ橋の落橋：彼の設計した最初のテイ橋 (テイ湾) が1879年、嵐の中を列車が通過中に落下し 100名近い死者を出した。新テイ橋は1887年に完成した。

③ 橋脚の構造

水深最大65m (220ft)

橋脚は直径21.3m (70ft) の円形ケーソン4体に載せている。

橋脚は側面と上面を花崗岩で覆った粗石積み (写真 4-11-2)。

主 塔 下端幅 : 36.6m (120ft)

上端幅 : 10.0m (33ft)

④ 橋桁部材

主桁部材 : 直径 3.6m (12ft) 2本1組の円管

⑤ フォース橋の記録

橋脚に使用された石材の量、片持ち部の高さ・長さ・奥行き、フリースパンの規模、構造物全体で用いた鋼鉄の量など、当時の世界記録を破るものであった。

⑥ Queensferry

スコットランド王マルコムⅢ世 (1093年没) の王妃マーガレットが渡し船の船付き場を設けたと伝えられることにちなんで名付けられたという。フォース橋は North Queensferry と South Queensferry とに架かる。

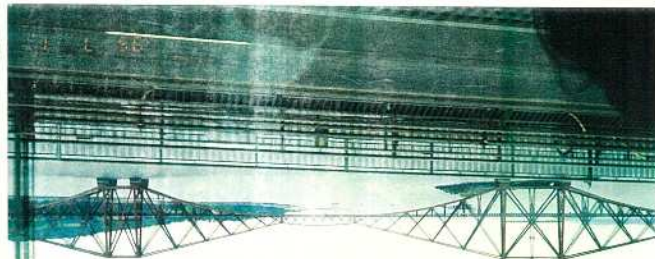
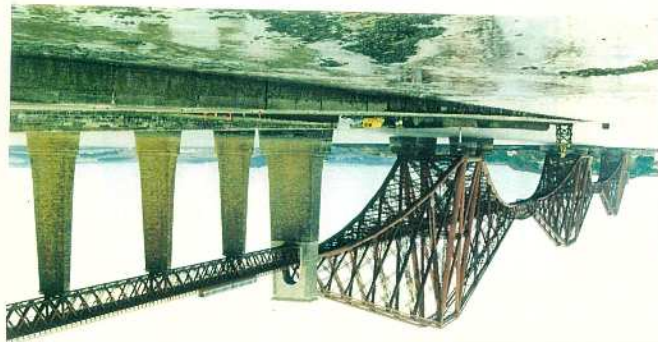


写真 4-11-2 フォース鉄道橋 (Forth Rail Bridge)



写真 4-11-3 ナンティコイ



写真 4-11-4 ホーリーヘッド

二枚とも有名な「ヒース」です

4-12. シッカーポイントの不整合とジェームズ・ハットンについて

福 富 幹 男 (応用地質株)

1. はじめに

調査団がHuttonian Theory、すなわち Hutton のUnconformityで有名なScotland南東海岸のSiccar Pointを巡検したのは、8日目の7月2日の午前中であった。

今回はこのSiccar Pointにおける不整合を海岸に面した緩傾斜地とその下方および上方に形成している急崖にかけて連続的に発達している比較的広大な全裸の露頭で観察した。

この由緒ある露頭は、一帯が急崖をなす海岸となっており、かつその上方が地形変化に乏しい台地で見渡せるかぎり牧場となっていたので陸行では判然としにくい位置にあった(図 4-12-1 参照)。幸いに従前に調査のご経験をもたれる岡田博有教授に御先導して頂けたので、文献資料等の写真等でみたベリーポイントに辿り着くことができた。この露頭がまさしく James Hutton が1788年に発見し、1795年に「Theory of the Earth」において理論の証拠づけの一つとしてとりあげた露頭そのものであり、恐らくは大局がほぼ当時のままと推察される状態で現存しており、最近でも多くの研究者や専門家が訪れて観察し、地質学の斉一説や不整合等の原理の発祥源を再確認している地点である。

今回の巡検では色々と知見を深めることが出来たが、ここでは、特に強烈的な感動を覚えたSiccar Pointに関して岡田教授のご講話や露頭の観察を通じて得た結果についてご報告し、この際、合わせて Huttonian Theory、ならびにこれにまつわる内外の一部の文献資料の内容についても簡単に紹介したい。

2. Siccar Pointの露頭がもつ地質学上の意義

現地では、要所要所でバスの中や露頭に接しながら岡田教授に懇切丁寧な解りやすいご講話を賜ったが、その内容の中からSiccar Pointの露頭に関わる内容を抜き出して要約すると次のとおりである。

この内容から Huttonian Theory とか不整合の概念を含めて、Siccar Pointの露頭がもつ地質学上の意義を伺い知ることができよう。

(1) Anglesey 島等へ向かうバス内での岡田教授の Wales の地質に関する総説的御講話

(6月27日)の内容から

「英国の古生界は Wales で確立された。地質学の基本的な知識は Wales でできた。プレートテクトニクス説が導入される前までは地傾斜という概念が地質学を支配していた。その地傾斜の一つのモデルとされているのが Wales 地傾斜である。Wales 地傾斜と Appalachian 地傾斜というのが地傾斜研究のメッカだった」という内容で始まった Wales 地方の地質に関する総説的な御講話（配布された多くの図を使用、ここでは省略）の中で、Precambrian はじめ、地質時代の古い方から順に地質構造の発達史とその特徴等を概略知ることができた。岡田教授は「Anglesey (Wales 西方) 域は、沈み込みの構造。Cambrian になると沈み込み活動が弱くなり、砂岩層の Turbidites が厚く堆積。Ordovician になると沈み込みが活発。火山活動も活発で、中性、酸性の層を何枚もはさむ。Silurian は典型的な深海相で、Turbidites が堆積。大陸棚が発達。腕足目が繁盛。深海相では泥が多くなる」と筆石が多くなる。生物の進化は 100 万年オーダーで変わる」等（関係する内容のみ要約）の内容に続いて、「Silurian が終わると、英国は激しい造山運動を受けることになる。これを Caledonian 造山運動という。Wales と Scotland が造られた。この造山運動を受けて隆起した Silurian の地層は著しく変形している。その上に殆ど水平に重なる Devonian の地層との不整合の露頭を Siccar Point で観ることができると説明された。

(2) Siccar Point へ向かうバス内での岡田教授による補足的御説明の内容 (7月2日)

「Siccar Point は、まさに地質学発祥の地である。これを観ると誰でも感動して身動きができなくなる。カナシバリに遭うような場所である。

この不整合面の下側は、垂直に立っている Silurian 系下部の地層で、Turbidites である。これは、深海の海底堆積物で、Wales の Abersystwyth 海岸で観た泥勝ち互層の Turbidites の地層の時代とはほぼ同じ時代のものである。この不整合面の上方には殆ど水平に、厳密には北西側へやや緩く傾斜して Devonian の地層がのっている。この地層は、河川堆積物で、赤色をした Old Red Sandstone である。不整合面にもっとも接している所は薄い角礫岩層で、その上に砂岩層が累位堆積している。いくつもサイクルがあるが、河川独特の上方細粒化堆積を基本とするようなパターンが観察される。河川堆積物でも細かくみると、蛇行している河川のどのような部分の堆積などいろいろな議論ができるが、重要なことは、

赤色の礫岩（角礫岩）層、砂岩層、薄く挟まっている頁岩層の堆積順序をみながら、サイクルがあるかどうか、岩層は横にどの程度広がっているか、不整合面の地形も良く観ると、割合に殆ど地層が真平らな感じの所もあるし、やや起伏している所もある。大きくみると約10mの切れ込みがある。日本で Basal conglomerate（基底礫岩）という言葉をよく使うが、そんな著しい Basal conglomerate という感じがしない。

James Huttonが、この不整合を最初に観察して、その意義を考えただけだが、地質学における時間という概念が初めて彼によって認識されたということができる。

この不整合面は、非常に長い時間をかけながら下位の地層が変形を受け、上昇して、削剥され、さらにそれがゆっくり沈降して、その上に新しい地層がのったという説明をしたわけで、これは同時に造山運動の化石とみることでもできるわけである。このUnconformity現象をさらに発展させて、Charles Lyell が「地質学原理（Principles of Geology）」という本の中で、いわゆる斉一論（Uniformitarianism）という新しい概念を提唱して今日まで地質学の根本原理となっているわけである。

ただし、この Uniformitarianism という概念は、この2、3年に批判を受けるようになって地質現象というのはゆっくりゆっくりと進行するということはありえなくて、むしろ突然イベント的な大激変が起きて、また次の大激変までの間はちょっと静かなのだというわけで、Catastrophic Uniformitarianism とか New Catastrophism（新激変説）とか、新しい説を主張する人も最近現れている。岩波書店が出している科学という雑誌の中で、昨年あたりから、都城秋穂先生が、シリーズの解説で、James Huttonから Charles Lyell の Uniformitarianism というものに対する批判記事を出しておられる。

「もう一つ重要なことは、Siccar Pointではハンマーを振るわないで観るだけにしているということである。世界の重要な遺産である」。

(3) Siccar Pointで不整合の露頭に接しながらの岡田教授のコメント（7月2日）

Siccar Point における礫層について、岡田教授から「淘汰が悪い。多分洪水の時の一種の土石流的な現象ではないかと考える。角礫状の部分はあまり広がっていないのではないか。えぐられたような所に集中するように流れ出したという感じで、非常に淘汰が悪い」。「あまり水の影響がなさそうである」等々の説明があった。

3. 露頭観察結果概要

1) 観察の内容

Siccar Point地点観察踏査の目的は、主としていわゆる Hutton's Unconformityについて理論発祥のジャストポイントの露頭を観て知見を深めることにあり、併せて Silurian 紀の地層（すでに Wales西海岸で見学済みの Turbidites 等の地層の再現）や Devonian 紀のOld Red Sandstoneを観ることにあったが、文献等で馴染みの不整合の露頭を殆どそのままの状態を観察し、岡田教授の御説明を聴いたり、団員全体での質疑応答式のディスカッションや記念写真撮影なども行うことができ、大きな感動の中で目的を果たすことができた。

Siccar Pointについての今回の観察基地は、急崖および急斜面下方の海面から3~8 m のレベルに開けている比較的広大な緩傾斜の平坦面であったが、ここから観察される地質情景が文献等で馴染みの露頭であり、不整合等の地質構造や James Hutton が観たであろう地象を一応満喫することができ、我々地質関係者にとってはきわめて研修効果の大きい有意義な一時となった。また、結果的には、この地点を後にしてバスに乗り込んで間もなく雨天に変わりどしゃ降りとなったが、もしこの Siccar Point の見学が降雨に遭遇していたら、成果が半減してしまったのではなかろうかと痛感した。まさにラッキーなことであつた。

2) 位置

Siccar Pointの位置は、図4-12-1に示したが、Scotlandの首都Edinburghの東南方約55km地点の海岸に位置する。Edinburghからバスで国道A1号線で東行し、A1107号線へ乗り換えて間もなく農道に入り、小溪谷を海岸方向へ下った牧場入口地点で下車、徒歩で丘陵上の広大な牧場を1.5km程度横断してさらにその海岸に面した境界棚（急斜面上端縁に相当）に沿って行行った地点が目指す Siccar Point であつた。何の標式も説明板も無いので注意が必要。

3) 地形

この地域は、ScotlandのMidland Valleyの南側に発達する幅約50~60kmのLammer-muir Hills と呼ばれる地帯で、おおまかには標高500~800 mの山地が地質構造を反映して北東-南西に連なっている。Siccar Point は、この山地が海岸に迫っている場所である。

この付近の丘陵地は、凹凸に富んでいるものの、準平原的な丸味を帯びたなだらかな地形をなし、牧場や牧草地に利用されている所が多く、Siccar Pointを含む周辺一帯も全面牧場となっている。

この牧場の北東側の海岸（North Sea）に面した斜面は、高さ数 10 m 程度（最高 100 m 程度）の切り立った岩肌の急崖もしくは草の生い茂った急斜面となっており、その斜面の頂部にそって牧場の石垣と鉄線の柵が張りめぐらされていた（写真 4-12-1）。

海岸は、急崖下では一般的に岩盤の絶壁をなし、急斜面区間の下方では岩盤が張り出していたり、狭隘な岩浜をなし、互層状の岩盤が丁度日南海岸と似たような様相をなしている所も遠望された。

Siccar Point もこのような状況下の海岸に面した位置にあり、観測基地となった海面からの比高が 3~8 m の緩傾斜の平坦面は、目的の不整合の面を水平に切ったような格好で形成されていた（写真 4-12-2 参照）。

4) 地質概要

Siccar Point の地質に関しては、岡田教授の御講話、後述するように、James Hutton 自身の著書はもちろんのこと、C. O. Dunbar & J. Rodgers の著書、日本の村田明広博士および武藤鉄司博士の報告論文等で詳細が記述されており、今回の短時間の巡検結果でこれらの内容以外に新たに明らかにし得る事項は殆どない。

したがって、ここでは、この Siccar Point の地質について未訪問の方や文献資料についても未知の方に紹介する意味をこめて、巡検結果を簡単に紹介したい。

(1) 露頭について

Siccar Point における不整合の露頭は、次のような際立った特徴を有している。

- a) 露頭が、被覆物・障害物がなく全裸的で、客観的に明瞭で、事実関係において曖昧なファクターや疑う余地が殆どない状態にあること。
- b) 観測基地を中心にした全裸の露頭は、海面から急崖先端までの連続した高さが 20 m 以上、左右の広がりがおおよそ 50 m に及び、基地の緩傾斜の平坦面も面積 30 m × 60 m もあり、広がりが大きく、かつ、急崖、緩傾斜の平坦面、U 字形状の堀割（幅 1 m ~ 5 m、深さ 2 m ~ 8 m）、横穴などが組み合わさり、露出している面の向きが左右、前後および上下に及んでいるので、露頭を複数の方向から観察することができ、地質



写真 4-12-1 Siccar Point へ至る急崖部。上は牧草地



写真 4-12-2 Siccar Point

上下の地層の境界が不整合面。多くの文献で紹介されている露頭。

構造を立体的に把握することができる地点であること。

- c) 保存が良いこと。上方が広大な牧場となっており、観光等の一般の客が立ち入る機会が少なく、かつ、立ち入る機会が多い地質学関係者等への自然保護の呼びかけがいかに英国らしく良く周知されていること。なお、この地点では保護のための人工的な対策工は一切施されておらず、全く自然ままであったが、不整合の露頭が荒波にさらされる機会が殆どなく、その斜面も安定した岩盤が露出しており地すべり・崩壊や落石等に見舞われる可能性が少ない状況下にあることも安堵感を抱かせてくれた。

(2) 不整合について

Siccar Pointにおける不整合の露頭は、今回の巡検で確認しえた範囲では、図 4-12-2 の見取り絵図ならびに写真に示すように、調査基地とした緩傾斜の平坦面一帯とその南東方の小さな張り出し尾根筋の裏側の急崖部（写真 4-12-3）で観察した。

緩傾斜の平坦面一帯では、不整合面は、急崖中腹部（海水面からの比高 10 m ～15 m 程度）においてわずかに波打って水平に近い面をなして海岸線の伸び方向に連なっているものと（写真 4-12-4）、この露頭より数 m 低い位置にあたる調査基地の緩傾斜の平坦面にほぼへばりつくような産状で海側に向かって緩く傾斜し、下位の Silurian の地層の上面の凸凹を埋め尽くした形態で分布するものがある。Silurian の地層の側面にアバットしている所もある。

いずれに分布する不整合においても、下位の Silurian の地層と上位の Devonian の地層とが後述するように明瞭な地質学的な相違（例えば、地層の傾斜、色調、岩相など）を示していることから、この両者が接している不整合面の位置も判然としており、追跡は比較的容易である。

Siccar Point における位置

図 4-12-2 は無視してあるので要注



写真 4-12-3
Siccar Point 南東方の張り出し
尾根筋の裏側の急崖部における不整合

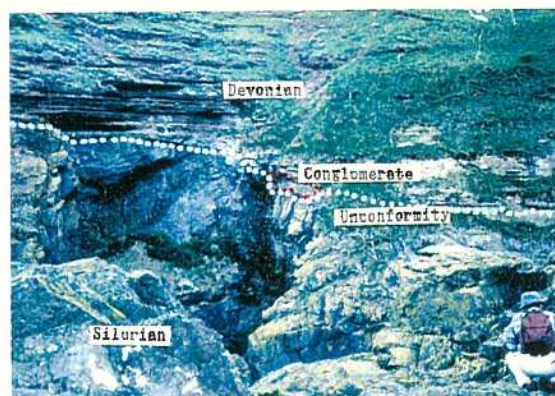


写真 4-12-4
Siccar Pointの急崖部における不整合。
中央部の一部に連続性に乏しい薄い礫岩
層を伴っている。

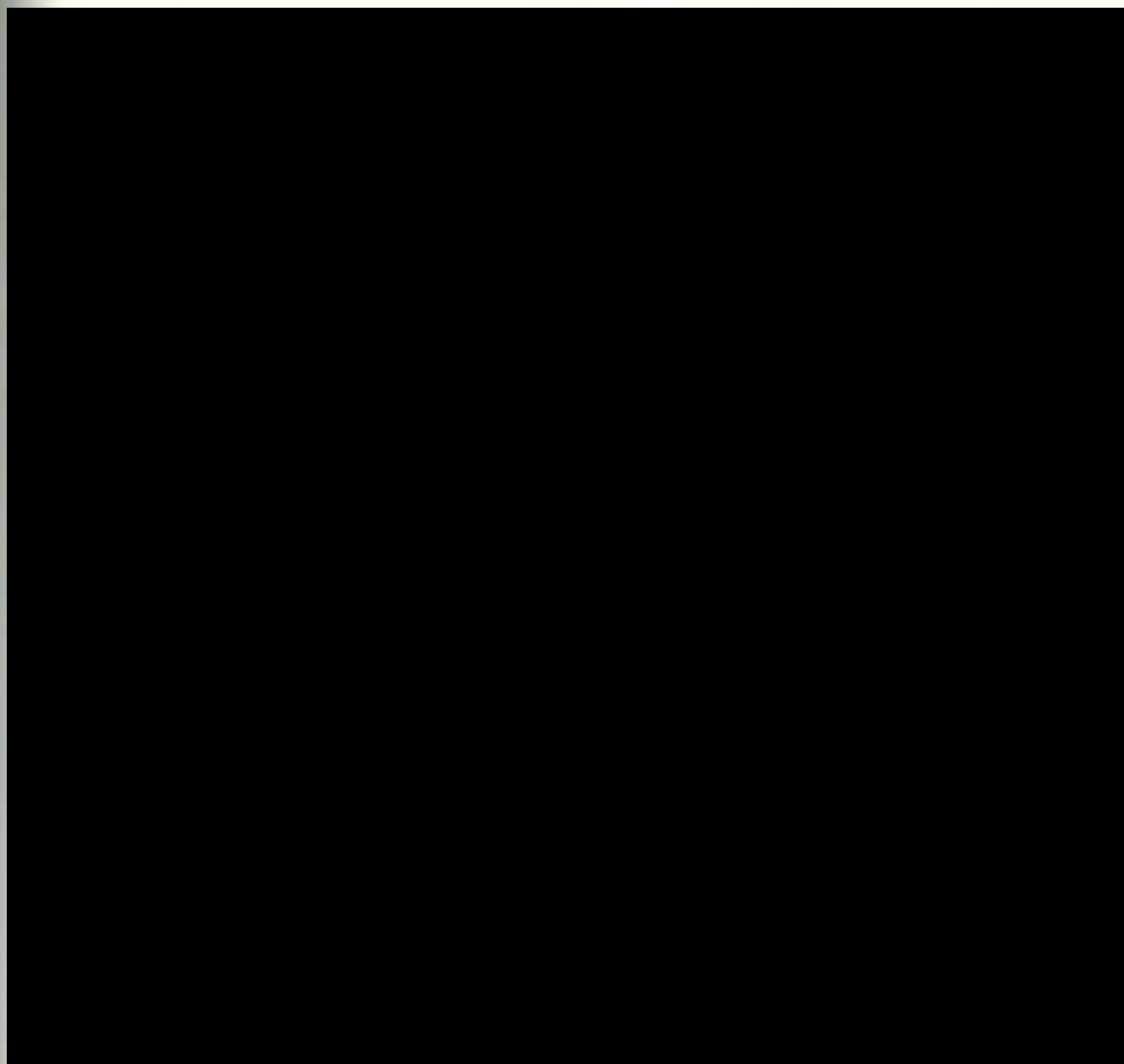


図 4-12-2 Siccar Point における位置関係を説明するための見取り絵図。
精度は無視してあるので要注意

(3) 地質構造

不整合面の下位の地層は、Silurianの暗灰色ないしは灰色を呈する砂岩優勢の頁岩との互層からなっており、砂岩は、灰色ないしは優白色を呈する厚さ数10 cm ~200cm の、極細粒ないしは細粒の砂岩が主体で、見かけ上はかなり堅硬そうである。頁岩は、黒色ないしは暗灰色を呈し、厚さは数cmないしは10数cmである。

この地層は、James Huttonが Schistus strata もしくは Schistusと呼んだ地層に相当するものと考えられる。

下位のSilurianの地層は、おおむね海岸線に直交する方向へ走向し（陸よりで $N67^{\circ}E$ 、海岸よりで $N77^{\circ}E$ ）、北西方へ切り立って急傾斜（ $64^{\circ} \sim 80^{\circ} NW$ ）している。後述する文献、例えば、J. Gillury 等（1975）による「Principle of Geology」においては、下位の Silurian の地層は著しく褶曲しているとしており、広域的に調査すると多分褶曲を繰り返していると推察される地層であり、Siccar Pointではたまたま北西方傾斜の鉛直に近い位置に相当していたということだろうと解釈される。

不整合面より上位の地層は、Devonianの Upper Old Red Sandstone 相当層と言われており、赤灰色ないしは淡いピンク色を呈する層理がよく発達した地層である。極細粒砂岩、細粒砂岩および中粒砂岩が数cm~10数cmの厚さで成層し、頁岩薄層を伴い、外観上互層状を呈する。これは陸上の河川系運搬物とされている地層である。

この層は、急崖部ではほぼ水平層に見えるが、調査基地の緩傾斜の平坦面に分布する地層は、ほぼ東西に走向し、北側へ22度の傾斜をしめす。

この両地層の境界をなす不整合は明瞭な傾斜不整合であるが、その不整合面は、調査基地の緩傾斜の平坦面の中央部で、走向が $N75^{\circ}W$ 、傾斜が $18^{\circ}NE$ であった。大局的には、不整合面は海側へきわめて緩く傾斜している。しかし、この方向は場所によって種々異なるものと推定される。

(4) いわゆる基底礫岩について

日本における不整合では一般的にはよく淘汰された円礫を含む基底礫岩の層を伴うことが多い。この Siccar Point においては、急崖部では殆どの露頭で基底礫岩相当層を伴わない（写真 4-12-3, 6）。

一方、調査基地にした緩い傾斜の平坦面一帯では、厚さ数 cm から数10 cm の角礫岩層



写真 4-12-5 不整合面



写真 4-12-6 Siccar Pointの不整合面。薄い角礫岩層。

を伴っている。この礫層は、淘汰の悪い砂岩の角礫および亜円礫を多く含んでいる。礫は比較的扁平で長めの礫が多い。礫径は3cm ~5cm、10cm~15cmのものが多く、最大は30cm程度である（写真 4-12-6 参照）。

この砂岩礫は、下位の Silurian の地層源のものと想定されたが、この礫については、岡田教授の御講話でもお聞きしたように、また James Hutton ならびにその他の文献でも言われているように、運搬距離が短い、礫の配列が無秩序、斜交層理が見られる等の点から、あるいは、いわゆる近距離で生産された土石が洪水時等において土石流的に短時間のうちに下方の侵食低地へ流れ込んで堆積したものとするのが自然かも知れない。

4. おわりに

今回の調査団で、地質学の基本的原理が創出され体系化される原点の一つとなつたと言われている英国を訪れ、とくに、Wales や Scotland では地質学的に教科書や文献等で有名な地域や地点を見学し、由緒ある露頭を観察することができた。そして、地質学や地質構造に関する理解を深めることができた。今回たまたま私と大橋 克さんとが案内役を勤めることになった EdinburghからAberdeenの間の Midland Valley 地帯には、大きな感動を覚えた Siccar Point の不整合の露頭があり、この観察結果については報告を省略することができないと考えた。

特に、まだこの Siccar Point を訪れたことのない会員の方や地質学の基礎を修得中の方々に、James Hutton が 200年余り昔に訪れたこの露頭の状況を知っていただき、かつこの感動の一部をお伝えしたいと願い、この報告をまとめた。

なお、James Hutton とその理論についても巻末資料として文献資料等の一部を紹介することにした。何故かというと、不整合のことは理解されていても現在の地質学体系化上貢献したこのJames Huttonとその学説の内容については常識的なこととはいえ、日本では最近その常識を学ぶ機会を持てる者が少なくなっているのではと感じていた。そこで、この際にHuttonian Theoryが生まれ、後年に Charles Lyellがこれらの学説を基礎にして地質学を体系化し普遍化していく過程にまつわって、火成説を提唱して革命的論争を展開したり、地質学に斉一説や時間の要素を考慮に入れた不整合の概念を創説したりして地質学発展に貢献した James Hutton とその理論の展開と位置付けを紹介することは意義あるこ

とではないかと考えたからである。

Siccar Pointにおけるいわゆる Hutton's Unconformityの露頭の状況については、前述したとおりであるが、岡田博有教授の現地におけるご説明、James Hutton (1795) 自筆の文献、村田明広博士 (1987) および武藤鉄司博士 (1991) の巻末資料に示す観察結果等で詳述されているとおりであり、露頭が全方向とも全面的に露出し地質構造が明確であり、地質学的な個々の事実 (上下の各地層等) と互いの関係 (不整合面等) があまりにも客観的に明白であり、解釈は別としても、地質専門家ならばその観察結果については個人差が生ずる懸念が殆どないものであった。

この報告の内容から Siccar Point、Unconformity、Hutton's Theory 等を知ることの一つの参考となれば幸甚であり、機会ある方には、百聞は一見にしかずを実践していただきたい。

なお、現地においては株式会社アイ・エヌ・エーの大橋 克典長に Siccar Point に関する資料の作成と説明をお願いした。この報告作成に当たっては、九州大学岡田博有教授に現地指導ならびに原稿校閲を賜り、岡本隆一団長 (株式会社アイ・エヌ・エー 副社長) はじめ団員の皆さん方に種々有益なご教示とご支援を賜った。また、当時東京大学理学部におられた吉田鎮男博士にはこの報文をまとめるに当たって文献資料等について種々ご教示願うと同時に数々の有益な御助言を賜った。さらに応用地質株式会社の小野晃司博士と羽田 忍技術顧問には文献の一部をお借りしかつ原稿校閲をお願いした。これらの方々に對してここに深く感謝の意を表する次第である。最後に、今回この調査団参加への機会を与えていただいた応用地質株式会社の矢 晁社長はか関係者各位に対して深くお礼申し上げる。

以上

(引用文献および参考文献)

全て本文中にその出典を示してあるので、ここで重記することは避けた。

4-13. スコットランド ハイランドの変成岩

井上 基 (復建調査設計係)
長津 聡 (アイトーエンジニアリング係)

1. 視察ルートの概要

7月3日は、カレドニアン変動のメッカであるスコットランドのハイランド地方の変成岩地帯を巡る1日であり、現地視察の行程は、表 4-13-1 に示したように、非常に盛りたくさんの視察・調査内容であった。

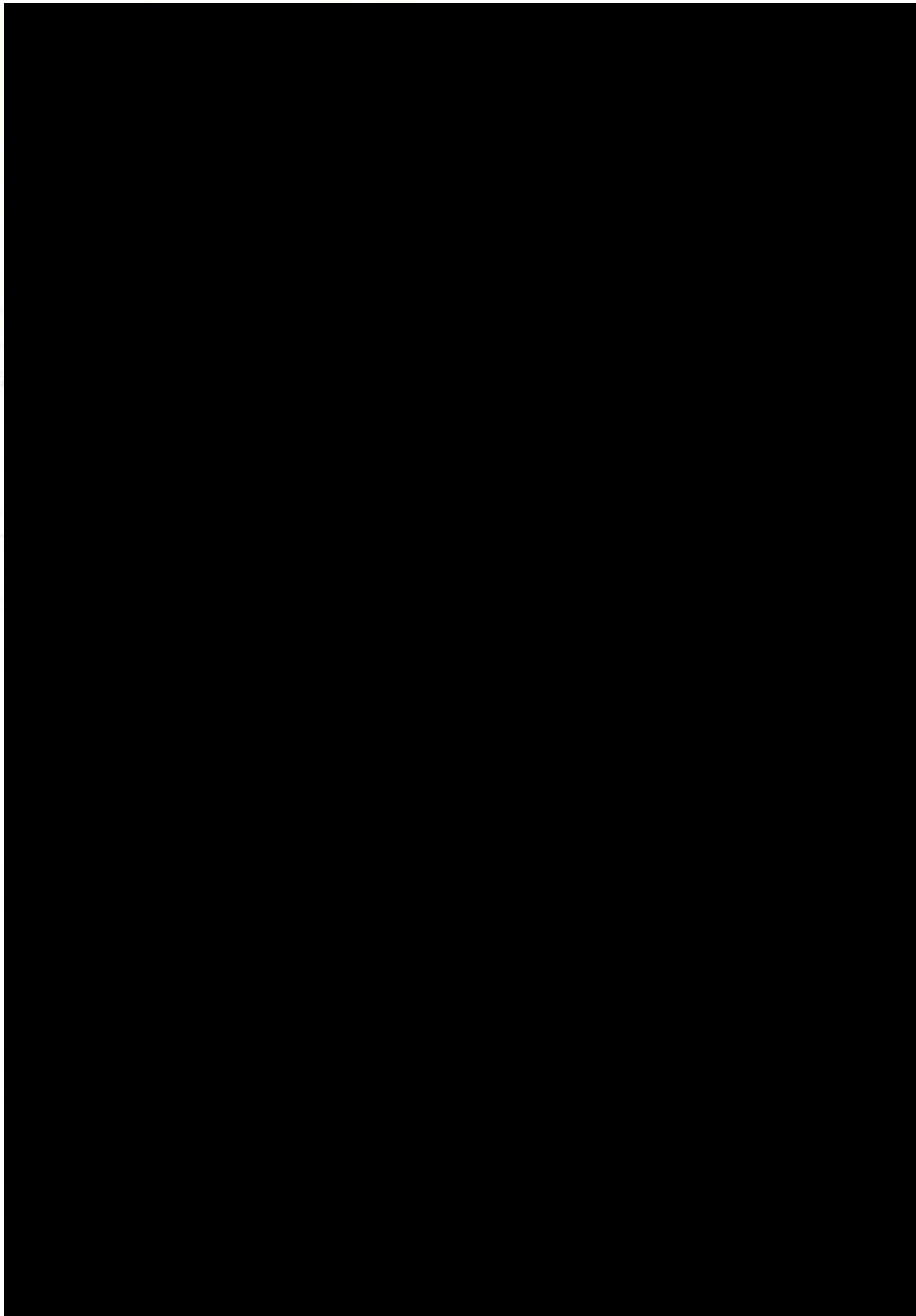
表 4-13-1 7月3日の行程と主要調査場所・内容

時 間	地 名	概略走向距離	主 な 見 学 項 目
8 : 30	Aberdeen (Loc. 1)		出 発
	Huntly	55km	Dalradian 統
10 : 30	Charlestown of Aberlour (Loc. 2)	26km	Moine統・Granite・Telford橋
	Marypark (Loc. 3)	10km	シングルモルト工場見学
13 : 30	Inverness (Loc. 4)	65km	A. J. Smith先生の講演と会食
	Ness湖 Urquhart (Loc. 5)	35km	Great Glen 断層の地形と Urquhart城
	Ness湖 Fort Augustus (Loc. 6)	27km	Great Glen 断層の地形
	Ness湖 St. Benedict's Abbey (Loc. 7)	1 km	Moine 統
	Ness湖 Foyers (Loc. 9)	19km	Foyers花崗岩体、氷河地形
	Spean Bridge (Loc. 8, 10)	53km	Ben Nevis 山の氷河地形
19 : 30	Ballachulish	41km	宿 到 着
	計	332km	

2. ハイランド地方の地質概要

ハイランド地方は、カレドニアン変動に伴う変成岩が広く分布し、広域変成作用の研究をする上でのタイプとなっている地域として良く知られている (ルートおよび地質図を図 4-13-1に示す)。

変成岩分布域を2分するようにグレートグレン断層 (GREAT GLEN FAULT, GGF、ネス湖のある谷沿い) が分布している。GGFより東側の地域は、Barrow (1893) により世界ではじめてアイソグランドによる累進変成作用が明らかにされた地域であり、変成岩研究



史上、有名な地域である。この地域の地質は、主にグラニュライトからなるモイン統と主にフィライトからなるダルラディアン統、新旧2群の花崗岩類などからなっている。

モイン統は、先カンブリア時代後期の主に淘汰の悪いデルタ性の砂質堆積物が変成作用を受けた石英長石質の変成岩で岩相変化に乏しい。また、ダルラディアン統は、先カンブリア時代最末期からカンブリア紀にかけて堆積した主に泥質や砂質（タービダイト相）の岩石が変成作用を受けたものであるとされている。

G G Fの北西方には、カレドニア変動帯と先カンブリア岩類の安定地域との境界断層であるモイン衝上断層がある（図 3-2参照）。モイン断層周辺は、Lapworth (1885) のミロナイト提唱以後断層運動に伴う深部の断層岩構造地質学的な研究では古典的な地帯となっており、今回視察できなかったのは非常に残念であった。

3. AberdeenからInverness にかけて

Aberdeenを8時30分に出発の後、丘陵地帯に入り露頭はほとんどなく、あってもなかなかバスの駐車ができる良い露頭がなかった。そうしている内に、Huntly近くでやっと巡り会った露頭（Loc.1 写真 4-13-1）で、ダルラディアン統の岩石を見ることが出来た。岩相は、源岩や堆積構造のわかる極めて変成度の低いフィライトとでも呼ぶべき泥質岩であり、「これが有名なカレドニアン変動に伴う変成岩？」といった印象の岩石であった。

この露頭を後にして丘陵地帯にはまた露頭がなくなり、いつのまにかモイン統分布域に入ってしまった。一体イギリス人はどうやって詳細な地質図を作ったのかと疑問に思ったが、後で岡田先生より意外に小さい露岩がたくさんあると伺い少し安堵した。

イギリスの土木技術に大きく貢献した T. Telfordが計画施工したテルフォード橋（写真 4-13-2）、モイン統の岩石をLoc.2 で見る事が出来た。しかし、見れる露頭が少ない。対岸にはグラニュライト、花崗岩類（粗粒で不均質な黒雲母花崗岩）が認められ、花崗岩が境界部で細粒化し漸移的に移化する（いわゆる花崗岩化作用）のが観察された。

そして、いよいよシングルモルト工場である。イギリスと聞けばスコッチとなるように、イギリスのスコッチウisky、とりわけシングルモルトウiskyはその芳醇な味わいで世界に有名である。我々は、さっそくこの中の1つのGlenfarclas Distilley (Loc.3) という蒸留所を訪ねた。蒸留所の南東の背後には、Ben Rinnes山（標高 840m）のゆった

りした山体が横たわっている。ウィスキーの原水は、この花崗岩からなる山体を源とする湧水のようなものである。ここで我々は蒸留工場をウィスキーの芳香のなか、くまなく案内してもらい、最後に団員まじかめの試飲となった。やはり本場で味わう琥珀色の液体は、格別であり、やっとスコットランドを実感できた。この味に魅せられたためか、予定外に時間を超過し、即売所では団員一同買いまくり、物によっては品切れとなっていた。帰りの荷物の重たかったのは、石のサンブルの他にこれが大きな原因の一つだろう。この後、記念写真を撮り（写真 4-13-3）、急ぎ今回の視察でお世話になった Smith 先生との待ち合わせ場所である Inverness へと向かった。

連夜の“強行軍”のせい、試飲のせい、1人また1人と車中の地質説明に耳を傾ける人が少なくなり、我々は説明を止めた。ようやく13:30に、約束の時間を30分遅れて、Inverness (Loc. 4) に到着した。

4. A. J. Smith 博士のスピーチ

Inverness は明るいどかな町であり、バラの花のきれいな湖畔のレストランで Smith 先生と我々は会食を行った（写真 4-13-4）。Smith 先生は、かつてイギリス地質学会の重鎮としてロンドン大学に奉職をされており、現在引退されて Inverness 近傍に在住されている。今回の訪英に当たっては、先生には各地の案内役の諸先生方の手配や行程のアドバイスなど、いろいろと大変お世話になっている。ここでは、先生のスピーチの一部を記録にとどめる。

・グレートグレン断層について

GGF の形成時代は非常に古く、そして非常に地質学的に重要な断層で、主な変位はデボン紀後期～石炭紀初期にかけて起こった。また、活断層でもある。1912年には、かなりの規模の地震がこの断層に沿っており、500年前には地震による津波の記録もある。その変位量は、一説には Foyers 花崗岩体と Strontian 花崗岩体が同一岩体であったと考えから 100km 左横ずれしたとのことである。

・ネス湖について

ネス湖は GGF による構造性の湖で、最深部 250m、平均 130m、北東～南西方向に長さ 40km の規模をもつ。湖は冷水が層を成しており、生物はほとんどいない。ネッシー

については、その生存の可能性はほとんどない。ネッシーにかかわる資料を収集中であるが、その存在を誤認させたものの 1 つは、季節風による南西から北東への湖水の吹き寄せが考えられる。これは南西風により北東に吹き寄せられた湖水が風が止んだときに北東から南西に、逆にうねりが生じるのを、あたかもネッシーによる波と見間違えたと思われる。

湖水のレベルは現在 16m 大西洋より高い。後水期の隆起が現在も続いている、ネス湖西岸にある Urquhart 城も建築後 4～5mm/年 で上昇している。

5. Inverness ～Ballachulish にかけて

雄大なネス湖の西岸をバスの止められない露頭を横目に一路南下しつつ、Urquhart 城 (Loc. 5) を見学した。夢は大人にとっても子どもにとっても残しておきたいと思いつつ湖面にネッシーを想像した。バスは、北北東～南南西方向に細長く発達するネス湖の最南端にたどり着いた。その眺望はどこまでも湖面が続く壮大（写真 4-13-5, 6）なものであった。

GGF は、スコットランドの一方の海岸から他方の海岸（約 90km）まで連続し、その 70% にはネス湖をはじめとする湖沼が発達している。ネス湖狭窄部の露頭を車中から眺めたところでは、破碎などは全く見えず大断層にしては、地形的に見て破碎幅が思ったより狭い印象を受けた。この GGF の延長は、アメリカ大陸、ニューファウンドランドを通じてマサチューセッツ州まで追跡が可能とされており、大西洋が開く前にイギリスとニューファンドランドの島々が近くにあったという説の証拠となっている。まさに大断層であり、信じがたいと別の自分が言ってくる。

我々は、露頭を求めて GGF が約 100km の左横ズレの断層であると判断した根拠となった Foyers 花崗岩体 (Loc. 9) を目指す。その途中でモイン統のグラニュライト (Loc. 7、写真 4-13-7) を観察した。

その後 Ballachulish を目指し南下したが、車窓には GGF による湖沼と雄大な氷河地形や周氷河地形（写真 4-13-8）が延々と連続していた。イギリスにおいて氷床が最も拡大した時期は、ドナウ氷期（40～50 万年前）と言われており、その後は徐々に縮小しつつ、消滅、発生を繰り返して完新世においては氷河、永久凍土は存在していない。

水食によるU字谷や羊背岩 (roche moutonnée) 状の地形、ドラムリン (drumlin) 状の堆積地形と思われるものなどが遠望された。特に気になる地形的な現象として、水食を受けた斜面においてはほぼ水平な筋が2〜3条程度岩肌に刻まれているのが見られた。非常に印象に残ったため帰国後、文献を調べてみると、パラレルロード (平行道路群) というものが非常に類似した特徴を有しているように思えた。パラレルロードとは、氷河の消長に伴い、氷河性の堰止湖の形成に起因する湖岸段丘群であるらしい。これらパラレルロードは、幅12〜15mの幅の順であり等高線に沿って広範囲に追跡が可能であるとされている。ベンネビス (スコットランド最高峰) から北方に延びてきた氷河が谷の下流部をせき止め、その湖水は水位の上昇とともに標高の低い分水嶺を越えて越流し、越流に伴う侵食や気候の変化により、湖面が変動し数条刻まれたとされている。

地形に見とれていると露頭がだんだん多くなってきた。しかし、そこは今夜の宿泊地 Ballachulish (19:30) であった。ガイド役として、たたける露頭に止まれなかったことに悔いが残っている。

6. アイスランドのグレーシアミルク (氷河水) について

今回の調査団が最後に訪れたアイスランドの水河にて、グレーシアミルク (氷河水) をエビアン の 500ml ペットボトルに採水して持ち帰った。この名のとおり、現地では、ひどく白濁した水であった。帰国後、1ヶ月間静かに放置して懸濁物質と透明な水に分離の後、沈殿物質は旅行中の約束通り、許氏に送った。

残った水については、トリチウムの分析を実施したので、以下に報告する。なお、分析はスイモンリサーチのご厚意による。

この結果によれば、アイスランドの氷河の水は、19.7 (T.U.) という、高いトリチウム濃度を示した。

一般に、1953年以前の北半球の降水のトリチウム濃度は、1.0 T.U. 程度とされており、今回得られた分析結果からは、予想に反して1952年以降の核爆発実験の影響を受けた水とということになる。

この結果の解釈としては、今回の水は氷河上の積雪の融雪水の影響と考えるべきであらうか？

この結果を得た今、思い出されるのは「氷をホテルに持って帰って溶かしたほうがいいよ。」と現地で言われた岡本団長の一言である。この言葉に従って、氷を溶かした水も持ち帰るべきであった。その後、許氏からの私信によれば、グレーシアミルク沈殿物質の顕微鏡分析で、おもしろい結果が出ているらしく、許氏の報告を参照されたい (6-2章)。

以上、トリチウム分析結果とあわせて何かの参考になれば幸いである。

7. おわりに

今回の旅行で多くの事を学び、知ることが出来た。大学時代に教科書で学んだことを直接体験でき、日本の地質を世界的な視点から位置付ける見方のベースを得た感じがする。

イギリス・アイスランドの土木地質では、巨大地震がないなど、地形・地質条件に左右されて、日本と基本的に異なることがよく理解できた。また、社会基盤の整ったイギリスでは、建設工事が極めて少なく感じた。社会基盤が整う2000年代の日本とイギリスの現在の社会状況がオーバーラップし、我々コンサルタントの仕事が今後どのようなのか、一抹の不安を覚えずにはいられない。

今回の旅行で年齢には多少幅があるが、土木地質を専門とする同じ立場の人々と多く知り合い親交を深めることが出来た。この調査団を企画された応用地質学会関係各位、岡本団長、また、視察中、有益なご指導等を賜った岡田先生および調査団員各位に厚く御礼申し上げます。

最後に、このような機会が継続されるとともに、より若い技術屋 (30代前半) にも機会がめぐること、またイギリスを再び訪れる日が来ることを祈ってこのレポートを終えることとする。



写真 4-13-1 Loc. 1



写真 4-13-2 T. Telford橋、対岸の露頭はモイン統と花崗岩類



写真 4-13-3 シングルモルト工場Glenfarclas Distillery (試飲後)



写真 4-13-4 今回のイギリス国内の巡検のアドバイスをしてくれた
スミス教授（左端）と団員（岡田，宇田，岡本）



写真 4-13-5 URQUHART の古城よりネス湖北方を望む



写真 4-13-6 ネス湖の最南端からインバネス方向に断層谷を望む



写真 4-13-7 モイン統のグラニュライト

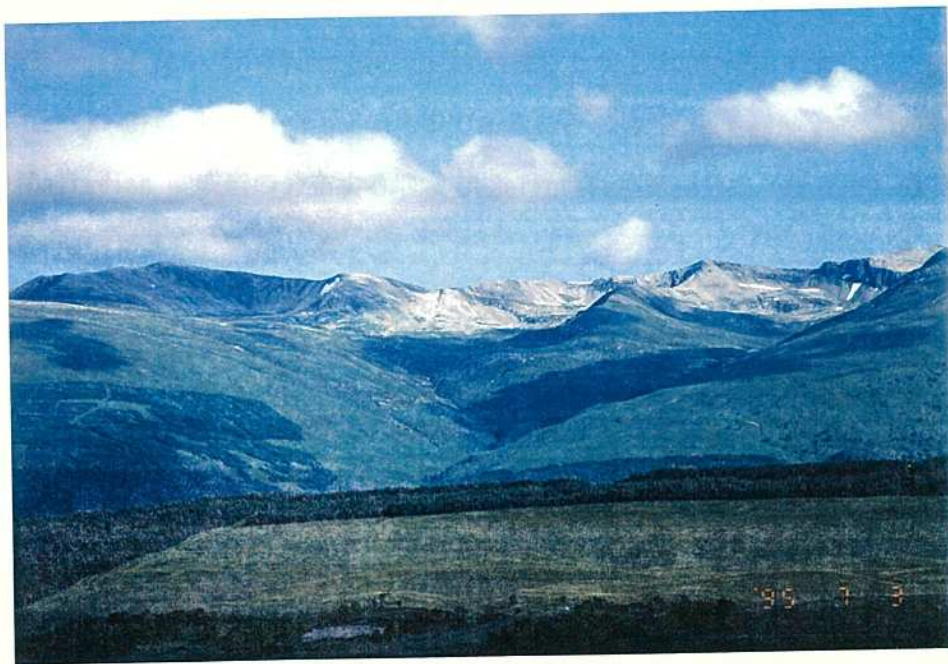


写真 4-13-8 1,000m級の山々に刻まれた氷河地形

4-14. スコティッシュハイランドの岩石

許 成 基 (株)レアックス)

Scottish Highland は Great Glen Fault によって、Northern Highland と Grampian Highlandに分けられる。いずれも、H・Stille(1924)のPalaeo Europe に属しており、カレドニアン造山運動が展開した地域である。この地域は、岩石学をやった人は一度は訪れたいいわばイスラム教におけるメッカのようなところである(図 4-14-1)。

我々が訪れたときはシトシト雨で、「暗い」スコットランドを満喫出来たことは幸運であった。

写真 4-14-1, 2, 3 は、そば降る雨の中、やっと巡り会えた露頭(4-13章 Loc. 1)の岩石で、1 はほぼ生の砂岩、2 は片理の弱い片岩、そして3 は片理とヘキ開が斜交した片岩で、何れもたかだか幅 3 m 程の範囲から採取したものである。ただし以上三つの石は、

- 1) とともに Grampian Highlandのものであること、
- 2) Dalradian 変成岩の分布する地域で Barrovian型鉱物分布(変成帯)の模式地であること、
- 3) P. EskolaやJ. H. L. Vogtがこの地の研究によって変成相系列の概念を確立したことなどの余計な知識があるから肉眼でも「片岩」という名前をつけるのであって、そうでなければただの砂岩、泥質岩ということになる程度のものである。源岩は何れもケラトファイアー質の砂岩で、砂粒は淘汰不良の斜長石、石英、オーソクレーズ(碎屑性巨晶)を主体とする。写真 4-14-1 では粘土質のマトリックスが認められ、岩片が散在しており、ほぼナマである。ただ、詳細に見ると粗粒結晶粒界に黒雲母-白雲母のフレークが形成されることから変成条件下にあって、その影響を受けたことが窺える。写真 4-14-2 は石英-雲母片岩で片理構造は明瞭、ただし碎屑岩の石英、雲母がレリックとして残存している。写真 4-14-3 では、碎屑岩の雲母はなくなり石英はすべて変成作用によって再結晶したものである。

以上三つは隣り合せのもので、産状からも一連のものであることは確かである〔塊状(1)→弱片状(2)→片理とヘキ開の斜交(3)] Barrovian型鉱物分布とは何れにしても一応、低度変成相(緑泥石帯)から高度変成相(珪線石帯)にいたる一連の変成作用が展開したとこ

ろに認められるものであるけれど、この様にほとんどナマというものが残っているとは思っていません。眼のウロコが剥がれ落ちる音が聞こえる様な気がしたもので（実は、現地ではがっかりしていたのである。何故なら、折角のスコティッシュハイランドで、こんな低変成度の岩石しかないのかと…。だから本当に感激したのは、この薄片を見てからのこと）さすがにスコティッシュハイランドであるわいと感心した。

写真 4-14-4 はご存じネッシーのいる Ness 湖の南端部に露出する岩石で、ディオプサイド・ハイパーシーン・オージャイト・ホルンブレンド・マスコバイト・オーソクレス・グラニュライトと云うのがこの石の名前である。オフィティックな組織を残し、全体に鉱物の定向性を有するグラニュライトで、オージャイトはレリクト状をなし、ハイパーホルンブレンドは緑色で長～短柱状、マスコバイトはフレーク～短冊状で新鮮、カリ長石はポイキロプラスティックで時にキンクバンドが形成される。パイオタイトは緑色で少量。本岩はカリ長石が多く、斜長石が少なく、ガーネットがなく、不透明鉱物が多いのも特徴で圧砕作用も受けている。もとを質せば、玄武岩～輝緑岩を源岩とする変成グラニュライトということになる。

午前中の雨も、ネッシーとの対面を前にすっかり晴れ上がり、汗ばむ陽気になった。

それにしても、Scotlandの日和の変転が味わえてそれはそれで貴重な体験であったが、それはさておき、この岩石は一見グラニュライトで、日本ではなかなか御目文字の叶うものではない。だから、見た目は真っ黒な石であつたけれど目の眩む思いがしたのは、あながち暑い陽光のせいばかりではない。

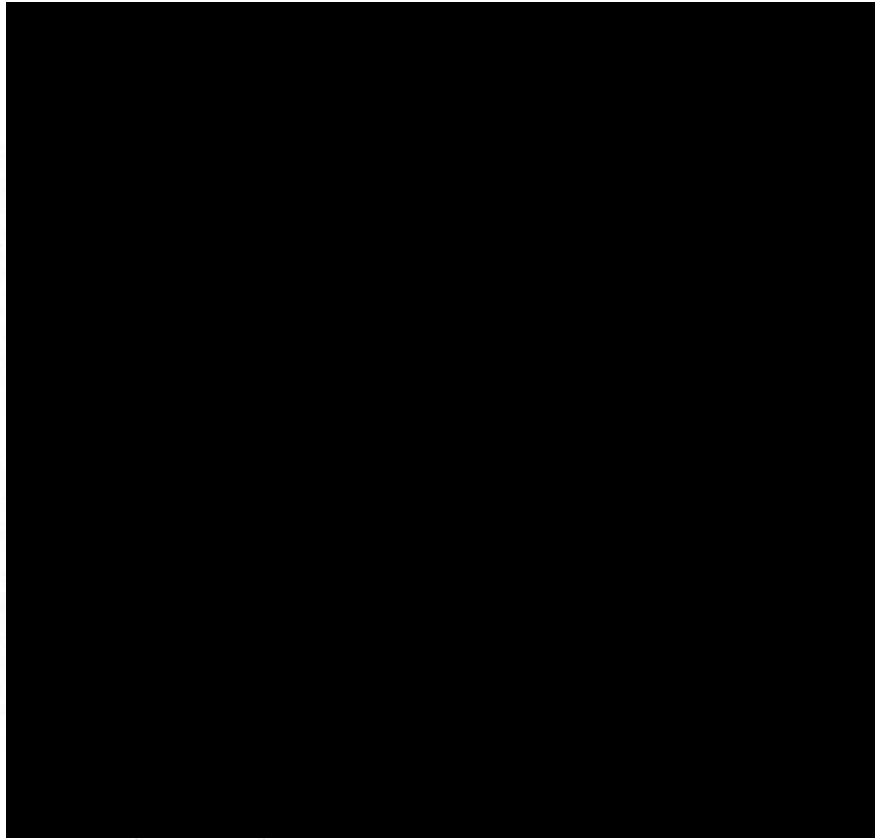
Ness湖はGreat Glen Faultによって出来た断層湖だという。論拠の一つが湖の中ほどの東岸にある花崗岩 (Foyers Granite) と南西端のそれ (Strontian Granite) とが同じだと言うことらしい。だとすれば約70キロの左ずれ断層である。ホント？ということ、その片割れが写真 4-14-5である。

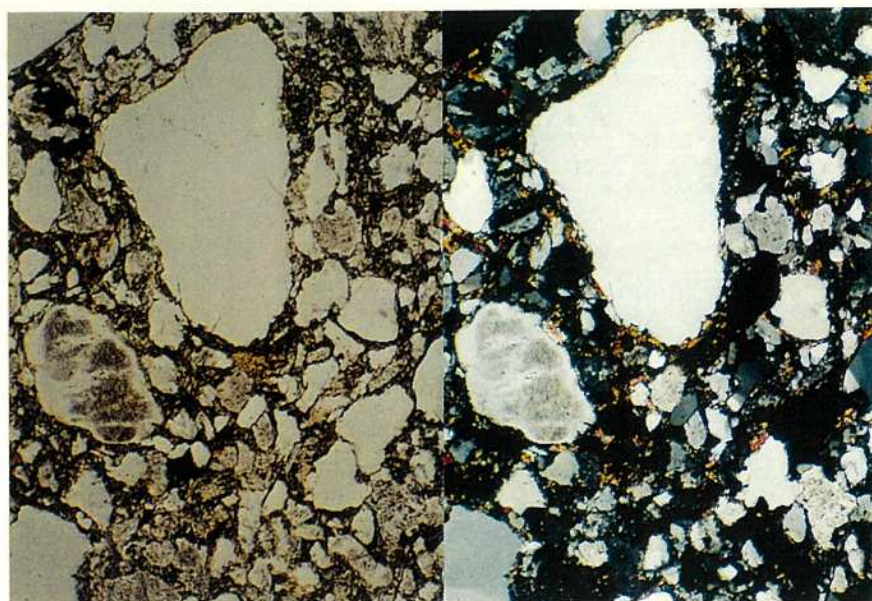
これは、緑色角閃石花崗岩で粗粒、ほぼ等粒状をなし黒雲母はない。角閃石は粒状～短柱状、少量が緑泥石化する。斜長石はソーシユライト化が著しくしばしば双晶不明瞭、累帯構造なし。An組成は40～50%前後。カリ長石は正長石でまれにパーサイト構造を示す。圧砕作用を蒙っており、石英は波動消光が著しく、細粒の角閃石、緑簾石は密集して定向

性を示す。花崗岩としてはなかなか個性的なものである。

今回の巡検では南西端のStrontian 花崗岩は採取できなかった。このFoyers花崗岩は個性派なので、対比はさほど難しくはない。かえすがえすも残念であるが、今度は何時行けるやら…見当もつかない。どなたか、おでかけの予定のある方は、ネッシーの見学がてら是非ともサンプリングされることを御勧めしたい。

終りに、ブリテン島の地質をご案内下さった日本地質学会岡田博有会長、今回の巡検にお誘い下さった日本応用地質学会岡本隆一前会長、それに幹事の宇田進一氏並びに同行の諸氏に厚くお礼申し上げます。

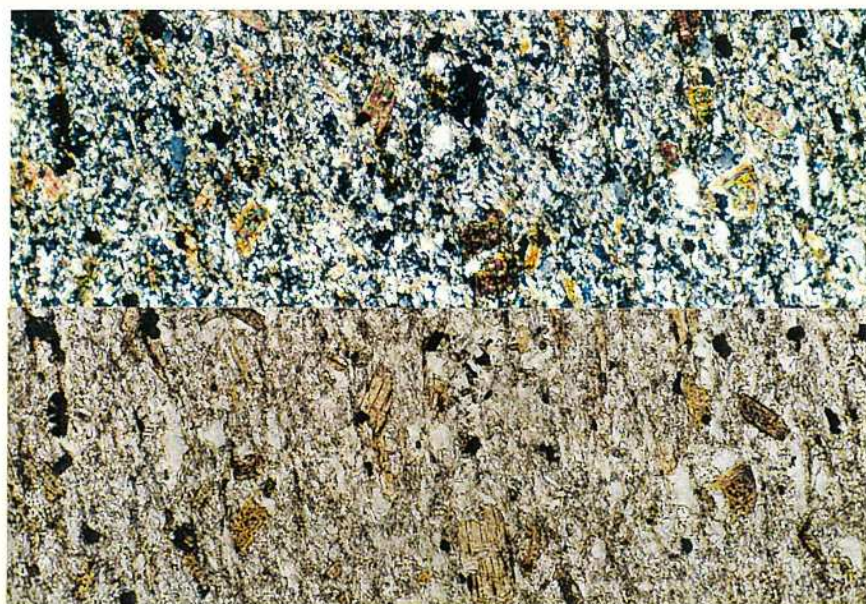




左：オープン 右：クロス

1mm

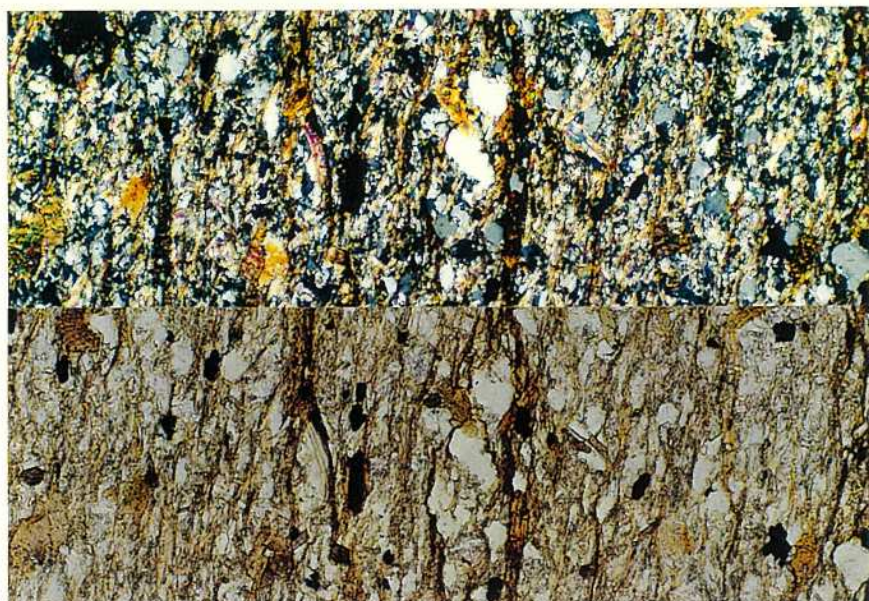
写真 4-14-1 ケラトファイアー質砂岩源弱変成岩（トーマスタウン）



上：クロス 下：オープン

0.5mm

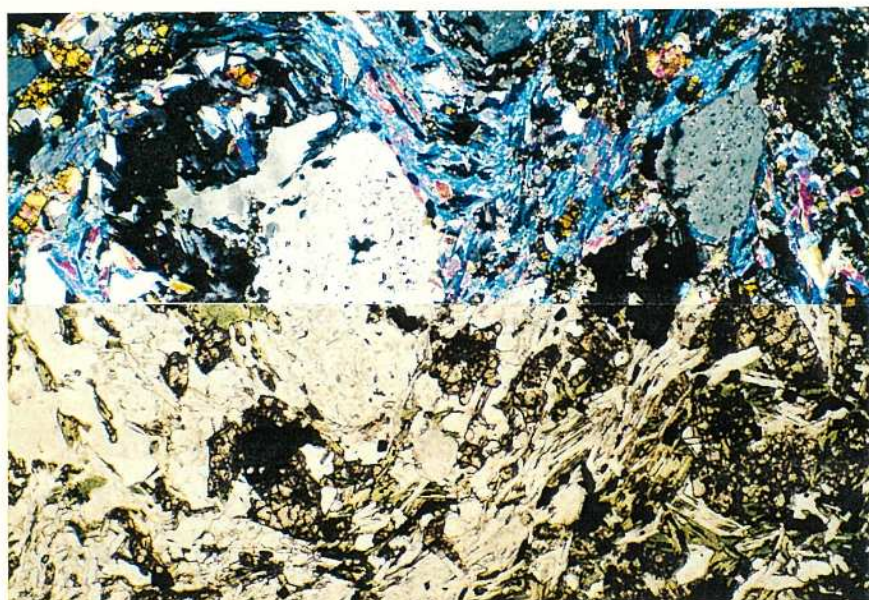
写真 4-14-2 砂質塊状片岩（トーマスタウン）



上：クロス 下：オープン

0.5mm

写真 4-14-3 砂質片岩（トーマスタウン）



上：クロス 下：オープン

1mm

写真 4-14-4 グラニュライト（ネス湖東岸）

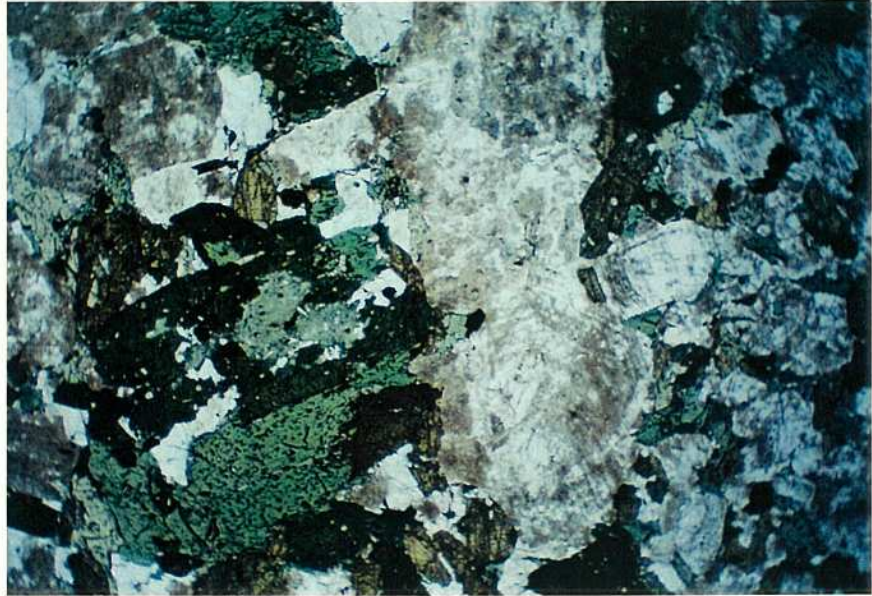


写真 4-14-5 オープンニコル

2 mm

4-15. スコットランド西部

岸 田 三 好 (株)開発土木コンサルタント)

私の担当は、スコットランド西部のバラクーリッシュ〜グラスゴー (Glasgow) までの約 160kmであった。この日の行程は、グラスゴーに昼頃到着して、午後の飛行機でアイスランドに入るようになっていたため、途中の休憩以外は特に露頭観察の時間はとらなかった。

スコットランドの地形は、これまでのイングランドやウェールズの平坦な丘陵地形から一変して、高く険しい山々が連なる氷河地形と変化していた。山の高所の所々にはカールが、低位部にはモレーンが認められた。これらの氷河地形は、日本ではほとんど見る事ができないため、ある種の感動を抱きながら、しばらくその景色に見とれていた (写真 4-15-1 参照)。

私たちが通過するところは、グランピアンハイランドと呼ばれる高地であった。

図 4-15-1 にグランピアンハイランドの地質図を示す。

これによると、グランピアンハイランドの地質は、主としてグラニュライトから成るモイン層と、ダルラディアン変成岩類及び花崗岩類から成っている。

モイン層はグランピアンハイランドのほぼ中央部から北側に分布し、先カンブリア紀最末期 (5 億5000万年前頃) に砂質堆積岩として形成され、シルル紀に変成作用を受けた変成岩とされている。

ダルラディアン変成岩類はモイン層の南側に分布し、黒雲母片岩、千枚岩などの泥質源の変成岩、及び珪岩、珪質砂岩などから成っている。これらは、三葉虫化石からカンブリア紀に形成され、変成作用は、カレドニア造山運動に伴って、カンブリア紀末期〜シルル紀にかけて広域に受けたとされている。

花崗岩類は、変成作用以前の古期と、変成作用以後で旧赤色砂岩層 (デボン紀) 堆積以前の新期に分けられ、新期がグランピアンハイランドの大部分を占めている。この花崗岩類の大きな岩体が、スコットランド東部の町アバディーンの西方にあることから、アバディーンの町はほとんどすべてが、白く美しい花崗岩の建物で出来ていた。

我々を乗せたバスは、グラスゴー空港からの飛行機の時間を気にしながら、一路南下し



写真 4-15-1 スコットランド西部の氷河地形

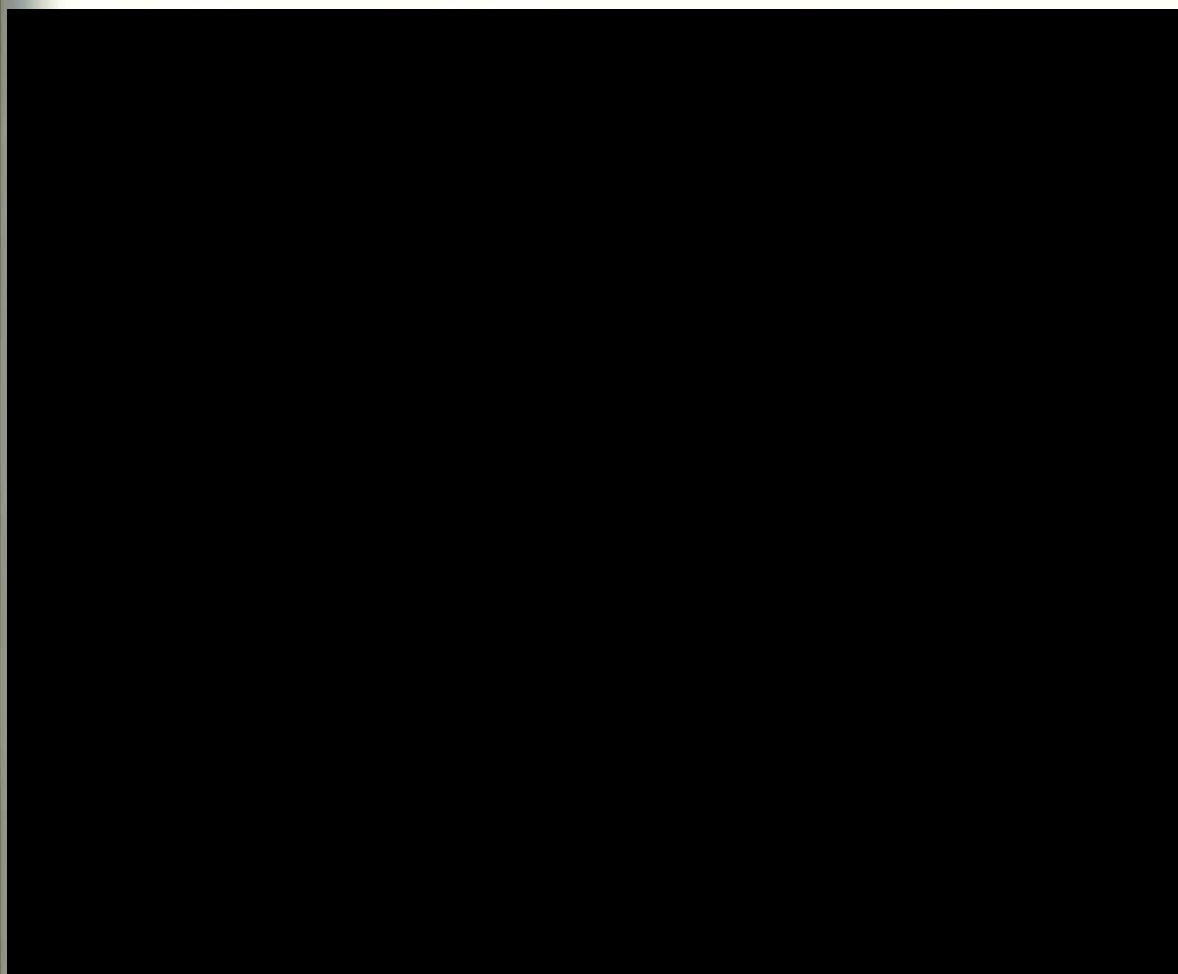


図 4-15-1 グランピアンハイランドの地質図 Jonstone(1966)による

て、ローマンド湖（Loch Lomand）の右岸湖畔を走り続けた。ローマンド湖の下流にいくにつれ、今まで車窓から見るできていた険しい山々は、急速になだらかな山々に変化していた。ローマンド湖の下流にハイランド境界断層がNE-SWの方向性で通っており、それより南方はミッドランドバレーと呼ばれる地溝帯が発達している。ミッドランドバレーには、旧赤色砂岩層がカレドニア岩類を典型的な傾斜不整合で覆っているとされている。

グラスゴーの町は、このミッドランドバレーに位置している。

グラスゴー空港には、予定通り12時頃に到着して、13時45分発のアイスランド航空で、アイスランドの首都レイキャビックに向かいイギリスを後にした。

イギリスの約10日間の視察で一番幸運だった事は、ほとんど雨にあわず、天候に恵まれたことだった。いかに団員の心掛けが良かったかを証明するような現象であったと思っている。

アイスランド編

5-1. アイスランドの地質

滝田良基 (株)ニュージェック)

はじめに

第5回日本応用地質学会海外調査団の一員として、1995年7月4日～6日の3日間アイスランドを訪れ、短期間ではあったがアイスランドの地質の一部を見ることができた(図 5-1-1)。

文献資料と当日の調査結果とをあわせてアイスランドの地質を紹介する。

1. 海面上に顔を出した“中央海嶺”

アイスランドはイギリスの北西、大西洋の中央部に位置する人口24万人の島国である(北緯65°・西経20° 付近、面積は日本の約1/4)。

アイスランドは大西洋中央海嶺上に位置し(図 5-1-2)、リフトバレーとともに中央海嶺が海上に顔をだした所として知られている。しかしながら、地殻構造等の相違などからみて、決して海面上に顔を出した海嶺そのものとは言えないという¹⁾。

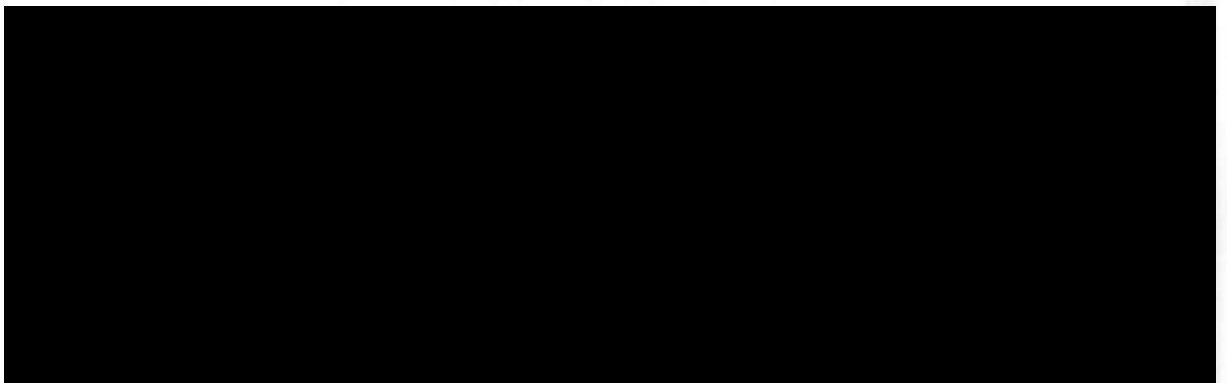


図 5-1-2 アイスランドと大西洋中央海嶺との位置関係 ⁴⁾

2. 火山島アイスランド

(1) 地質構成

アイスランドは全島が火山岩および火山性堆積物から構成されており、首都レイキャビック(Reykjavík)では厚さ4000m以上の玄武岩溶岩がボーリングにより確認されている²⁾。地質は帯状に規則正しく分布し、中央部に第四紀後期(現在～70万年)の火山

図 5-1-3 大西洋中央海嶺とアイスランド
ネオボルカニクスとマグマの関係
「知られぬ地球」 Robert D. Ballard 著 丸山 誠 訳

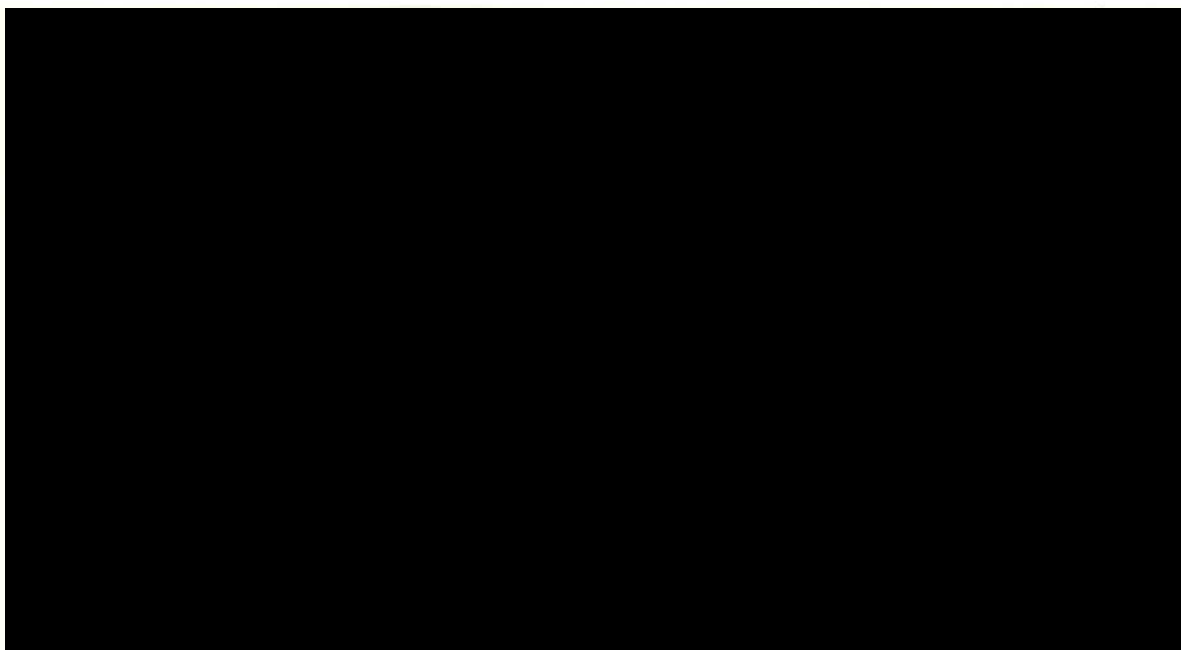


図 5-1-1 工 程 図

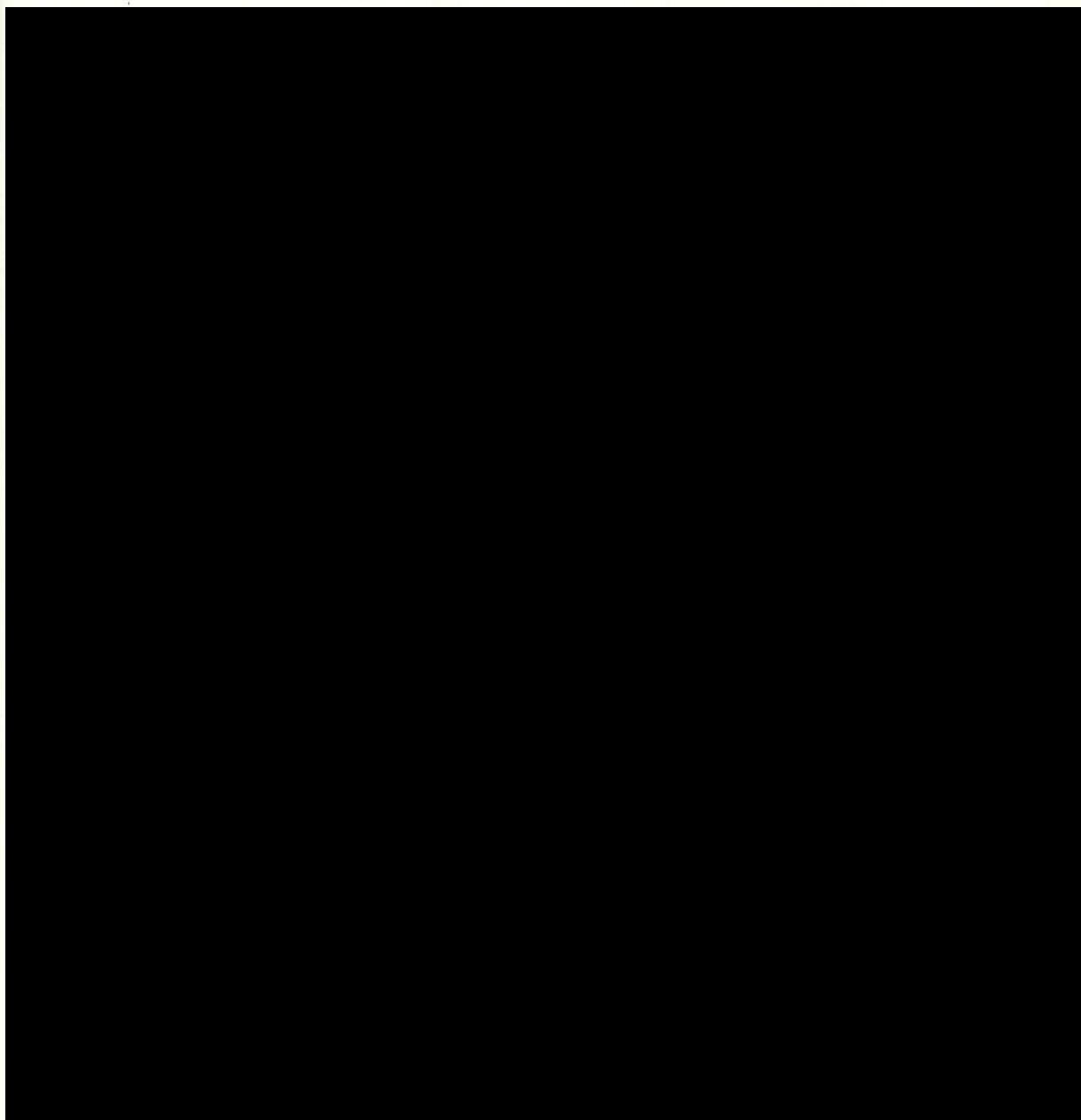


図 5-1-3 大西洋中央海嶺とアイスランド
ネオボルカニックゾーンとの関係
「知られざる地球」Robert D. Ballard (福武書店) 1983

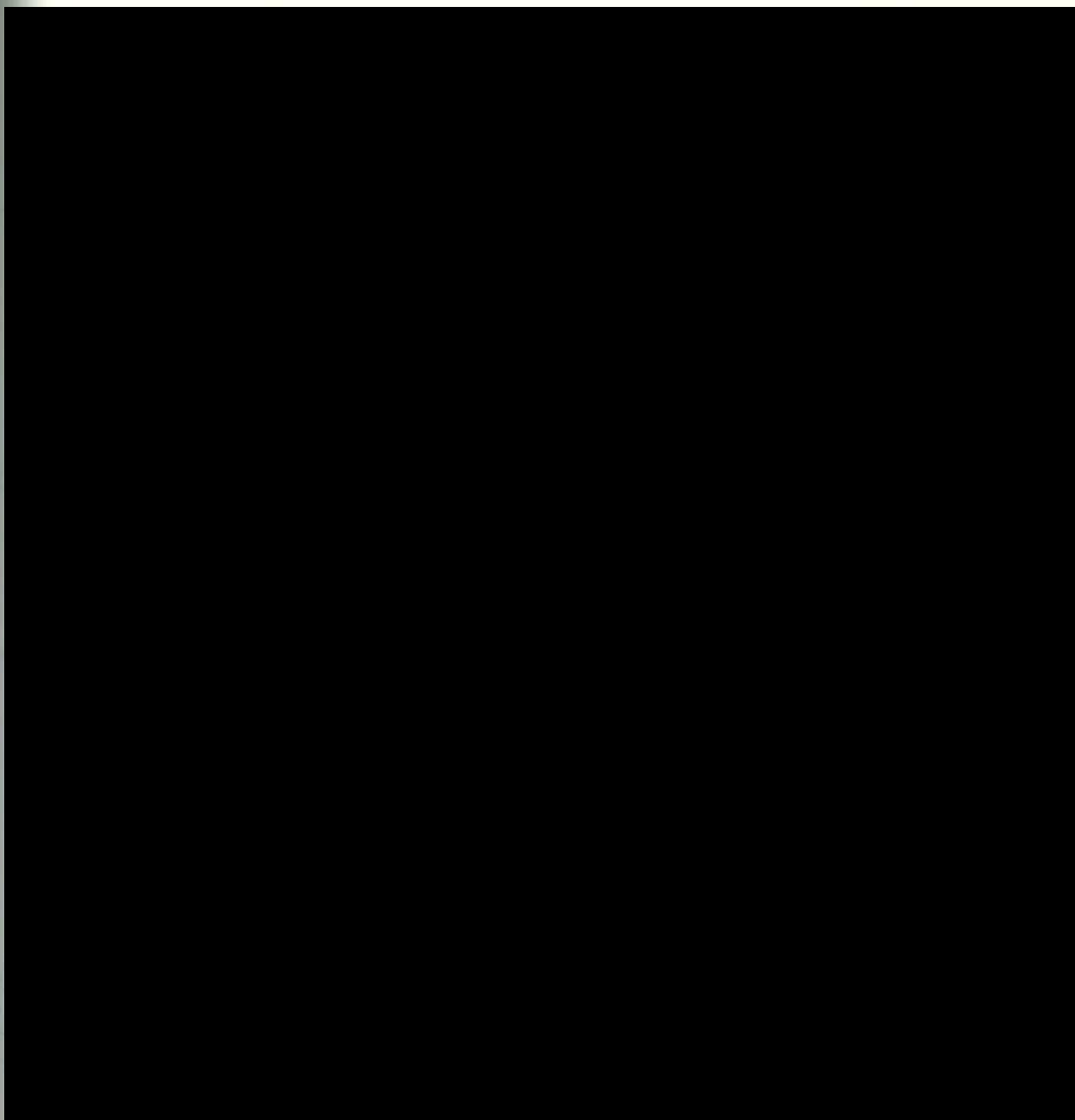


図 5-1-4 アイスランド地質概要図

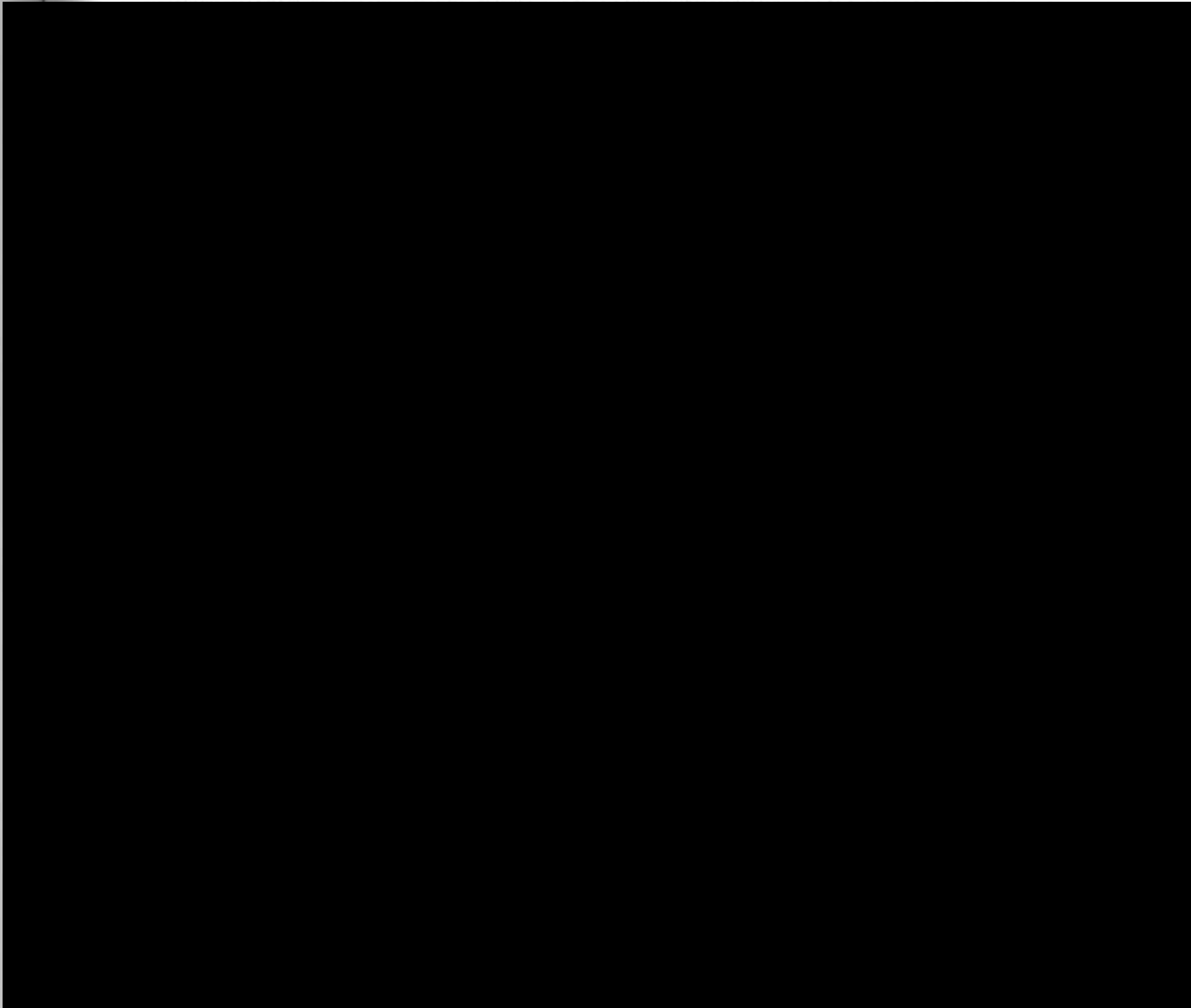


図 5-1-5 アイスランド地質構造図

出典 26th IGC GUIDE Book 「ICELAND」 Introduction to
general geology EXCURSIONS:163C-164C P8

岩(中央帯)、その外側に第四紀玄武岩台地(70~310万年)、さらに外側に新第三紀玄武岩台地(310万年以前)が分布する(図5-1-4.5)。火山岩は80~85%が玄武岩から構成され、他は安山岩~流紋岩が10%、火山性堆積物が5~10%を占める²⁾。

アイスランドにおける火山噴出物の量は多く、過去500年間の全陸上火山の噴出物総量の約1/3はアイスランドで放出されたと推定されている¹⁾。

アイスランドの地質の特徴はなんと言ってもギャオである。ギャオは中央帯に多数発達しており、延々と続く断層崖は圧巻で、まさに大地が裂けていた(写真5-1-3.4)。ギャオの雁行配列からみて、アイスランドの地殻は少なくとも最近1万年程度の間は東南東-西北西方向に裂け広がりつつあるという¹⁾。

(2) 火山活動

後氷期の火山活動地域は、島中央部の中央帯に限定され、ここを中央海嶺の軸が通る(図5-1-3)。

アイスランドの火山活動は高温・低粘性のマグマの噴出で特徴づけられ、その特徴的な火山活動のためにアイスランド式噴火、アイスランド式盾状火山等の名で知られている。

火山活動を特徴づけるものに割れ目噴火があり、玄武岩台地をつくる噴火として、アイスランド式噴火と命名されている。この噴火の特徴は割れ目噴火の位置が移動する点にあり、割れ目火山は一度噴火したら同じ火口からは二度と噴火しない⁴⁾。

アイスランド式盾状火山の特徴は、ハワイ等のものに比べて容積で2桁以上小さい点と単成火山である点にある。盾状火山から流出する溶岩は割れ目噴火による溶岩よりもさらに粘性に乏しく、一枚の溶岩流の厚さは数10cmと非常に薄い。

アイスランドにはこのほか特徴的な形状を示す卓状火山(テーブルマウンテン)がある。卓状火山は急斜面に囲まれた平坦な頂上を持つ火山で(写真5-1-8)、氷床下で形成されたと考えられている。卓状火山はパラゴナイト凝灰岩(モーベルク)(写真5-1-9)から主として構成され、頂上には乾陸上で形成された溶岩流がある。

3. 多様な岩石-玄武岩から花崗岩まで

アイスランドにはソレアイト系列、アルカリ系列、中間系列の3系列のマグマが時代や

場所をかえて活動し、結晶分化によって様々な岩石が形成されている³⁾。

アイスランドをつくる岩石の多くはソレアイト玄武岩であるが、この系列の安山岩はアイスランドイトの名がつけられている。玄武岩マグマの結晶分化作用の産物である流紋岩や花崗岩も少量ながら分布する。海嶺ゆえ玄武岩しか存在しないと思っていたアイスランドで、軽石層や流紋岩(写真5-1-10.11)を見たときは驚きであった。この結晶分化によって形成された多くの貫入岩体も報告されており⁴⁾、多様な岩石が存在する。

また、アイスランドの玄武岩(ソレアイト)は K_2O を0.4~0.6%含有し、典型的な海嶺玄武岩(Mid-Ocean Ridge Basalt モルブ)とは異なるという³⁾。したがって、アイスランドには純粋なモルブは存在しないことになり、このこともアイスランドは海面上に姿を現した海嶺そのものではない¹⁾ことを示している。

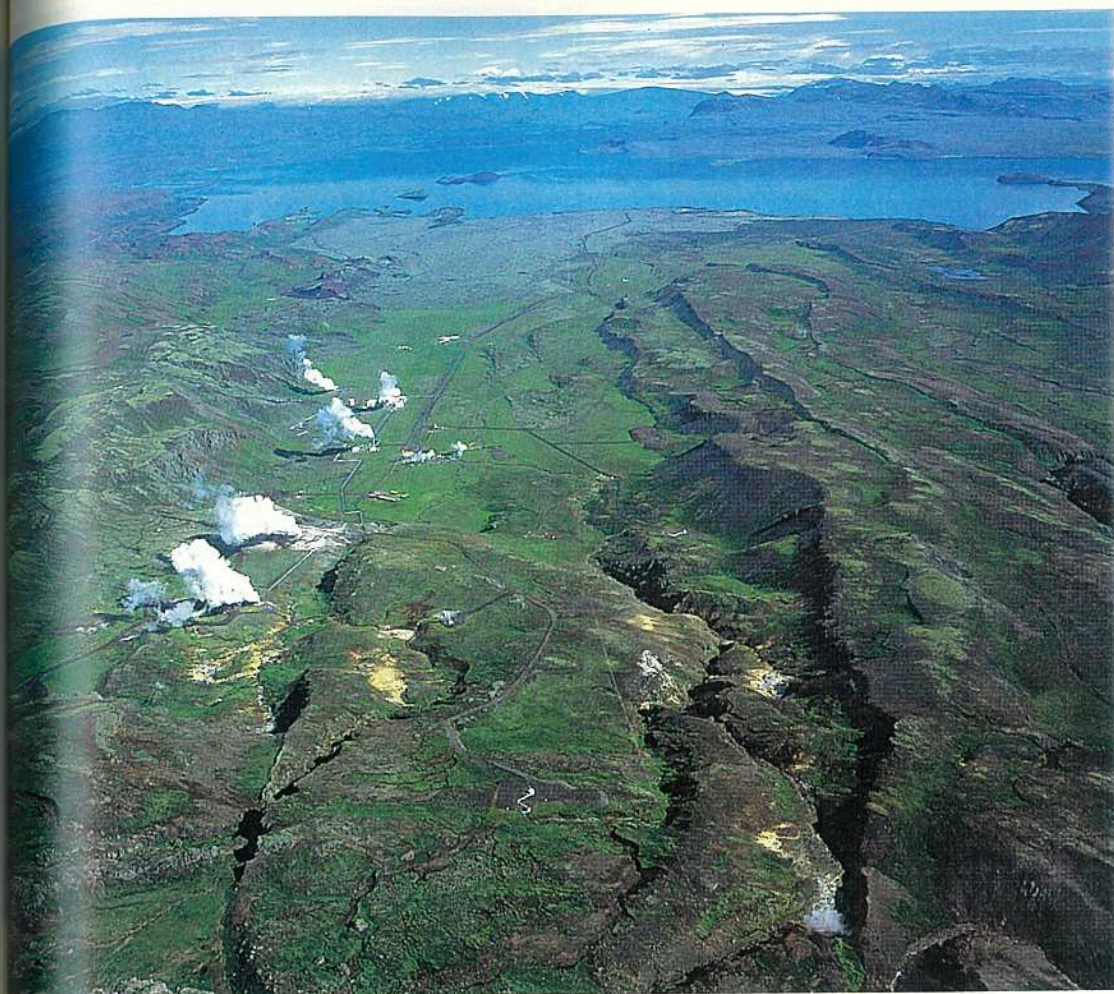
謝 辞

アイスランドは緑のほとんどない玄武岩がつくる黒い大地からなり、氷食地形と火山地形とがつくる荒涼たる風景が印象的であった。

このような調査の機会をあたえてくれた(株)ニュージェックに感謝するとともに、旅行中お世話になった岡本団長、宇田幹事はじめとする調査団員各位にこの場をお借りしてお礼申しあげる。

参 考 文 献

- 1) 中村一明・宝来帰一(1971): 科学, vol. 41, No. 4., 185-198.
- 2) K. SÆMUNDSSON (1980): Guide-book Livret-guide, 26th IGC Excursions: ICELAND Introduction to General Geology 163C-164C, P. 7-28.
- 3) S. P. JAKOBSSON (1980): Guide-book Livret-guide, 26th IGC Excursions: ICELAND Introduction to General Geology 163C-164C, P. 57-73.
- 4) F. M. Bullard (1977): Volcanoes of the Earth, Univ. of Queensland Press, P. 579.



A view from the south over Nesjavellir and Graftingur toward Lake Þingvallavatn. There are interesting paths and beautiful stopping places in the Nesjavellir area.

写真 5-1-1 : Nesjavellir 地溝帯の斜め写真 (Nesjavellir 地熱発電所パンフレットより)



写真 5-1-2 : 同上、地溝を埋める割れ目噴火による溶岩。



写真 5-1-3 :

ギャオ。写真右側が正断層で落ち込んでいるのはソレイト玄武岩（ああ溶岩）。遠景は盾状火山。ティンゲベトリル(Thingvelli)国立公園。



写真 5-1-5 : 縄状溶岩（ああ溶岩）。溶岩流の表面にみられる縄状模様



写真 5-1-4 : 写真左側が正断層で落ち込んでいる。割れ目噴火による溶岩の見事な断面がみられる。



写真 5-1-6 : シュードボルケイノ。海水と反応した溶岩が小さな円錐をつくる。



写真 5-1-7 : 枕状溶岩。人物はガイドのグズビャルテウル・クリストフェルスソン氏（高校の地学の先生）。



写真 5-1-8 : 卓上火山（テーブルマウンテン）。平坦な頂上とそれを取り囲む急崖が特徴。氷床下で形成されたと考えられている。急崖はパラゴナイト凝灰岩からなり、平坦な頂上は乾いた陸上の溶岩流からなる。



写真 5-1-9 :

パラゴナイト凝灰岩（ハイアロクラストイト）。玄武岩溶岩の岩片や玄武岩ガラスがパラゴナイトでセメントされている。



写真 5-1-11 :

流紋岩溶岩。流理構造が顕著に発達する。玄武岩マグマからの結晶分化石作用により形成されたとされるが、“海嶺”のイメージにあわない。

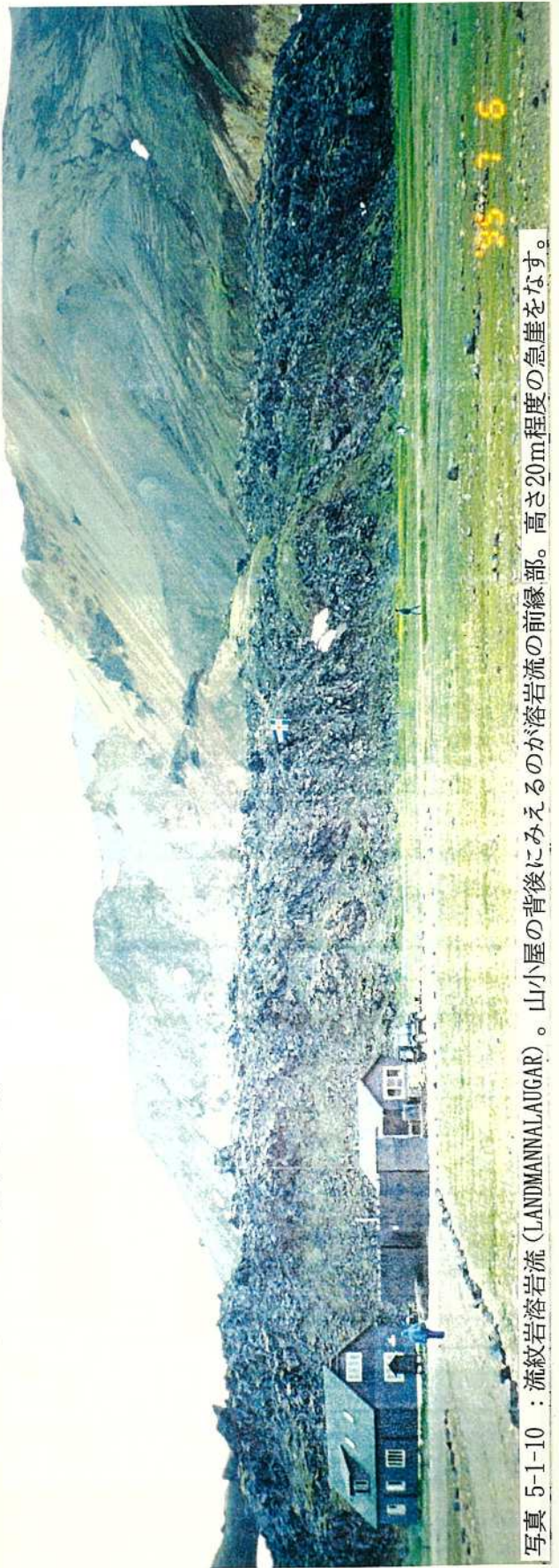


写真 5-1-10 : 流紋岩溶岩流 (LANDMANNALAUGAR)。山小屋の背後にみえるのが溶岩流の前縁部。高さ20m程度の急崖をなす。



写真 5-1-12 : ヘクラ火山 (Mt. HEKLA) の噴火 (1991年)。1991年 1 月 17 日 PM 5 時に噴火が始まった (H. K. Snorrason 撮影)。



写真 5-1-13 : ガイドのソルビョルグ・エイナルスドッティル嬢 (茨城県の高校に留学したことがあり, 少し日本語が話せる) : 背景はGullfoss (グトルフォス) の滝

5-2. 地熱によるコジェネレーション・プラント

本 江 誠 治 (電源開発株)

アイスランドは周知のとおり地熱資源の豊かな島国である。首都レイキャビックでは、付近の地域に産出する豊富な熱水をパイプラインで導き、公共施設・住居などの暖房および給湯に利用している。今回の調査団では熱水を供給する施設の1つであるNesjavellir 地熱コジェネレーション・プラントを見ることができたのでその概要を報告する。

Nesjavellir 地域は図 5-2-1に示すようにアイスランドを北東-南西方向に縦断する火山帯内に位置している。プラント付近には合計13本の熱水生産井があり合計で毎秒 460kg の熱水と蒸気とが生産されている (写真 5-2-1)。

このプラントの位置するNesjavellir 地域から産する熱水には珪酸塩が含まれているためこれを直接パイプラインでレイキャビックに送ることができない (パイプライン内部に珪酸塩が沈着して障害を引き起こすため)。そこで、地表付近の地下水を熱水と蒸気とを利用して暖めて送り出している。従って、この施設は以下の5つのサブシステムより構成されている。システムの構成を図 5-2-2に示す。

- ・地下水 (冷水) の供給施設
- ・熱水および蒸気の供給施設
- ・地下水の加熱と水質処理施設
- ・レイキャビックへのパイプライン
- ・コジェネレーション発電施設 (計画中)

汲み上げた地下水をパイプラインへ送り出すしくみは概ね以下のようなものである。

- 1) 地上のタンクに一旦貯蔵された地下水 (摂氏 4 度) は、生産井より導かれた熱水 (摂氏 175度) により 1 次熱水交換器で摂氏20度まで暖められる。
- 2) その後、地下水は生産井より得られる 120度の蒸気により 2 次熱交換器で88度まで加熱される。
- 3) 地下水には酸素が多く溶け込んでいる (11ppm) ため、そのまま送り出すとパイプラインの内側を腐食してしまう。このため、水質を改善する方法として、生産井より得られる硫黄分を多く含む蒸気 (硫化水素濃度1,300ppm) を適量混合して酸素を中和している。

この過程で地下水は摂氏83度となり、貯蔵タンク・パイプラインを通して首都レイキヤビックへと送られている。

ここで、特筆すべきなのは地下水の水質を改善するのに自然に得られる蒸気を利用していることであり、合理的な方法だと思われる。

なお、地下水を加熱するための蒸気は現在、減圧装置を通して使用されているが、将来的にはこの装置をガスタービンにかえて発電を行う計画だそうである。

今回の調査団ではレイキヤビックで熱水利用の一端を垣間見ることもできた。写真5-2-2は市内にある屋外プールであるが、団員は厚いコートを着て震えているにもかかわらず（気温は10℃）、プールに来ている市民は元氣いっぱい泳ぎまわっていた。



図 5-2-1 Nesjavellir地域のテクニクマップ

黒丸は温泉および噴泉、ケバ線は火山帯に伴う断層帯
(出典：A. Gunnarsson et. al, Nesjavellir Geothermal Co-generation Power Plant, Geothermics, Vol.21, 1992)

図 5-2-2 Nesjavellir 地域の地熱モデル

黒丸・白抜き丸は熱水生産井。横の番号は生産井の番号

(出典：A. Gunnarsson et. al, Nesjavellir Geothermal Co-generation Power Plant, Geothermics, Vol.21, 1992)

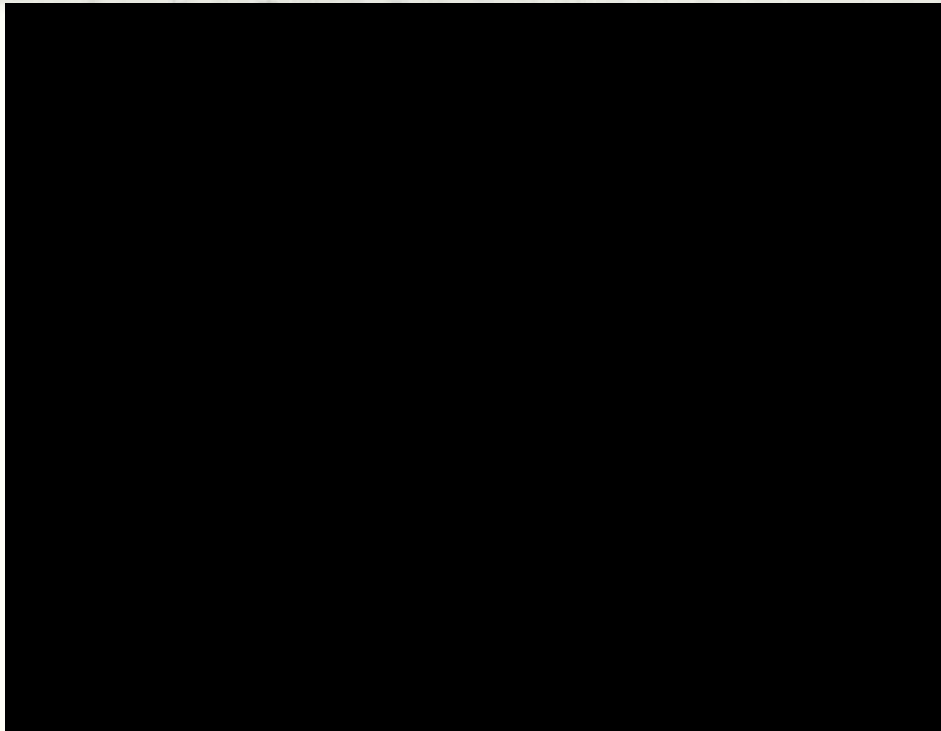
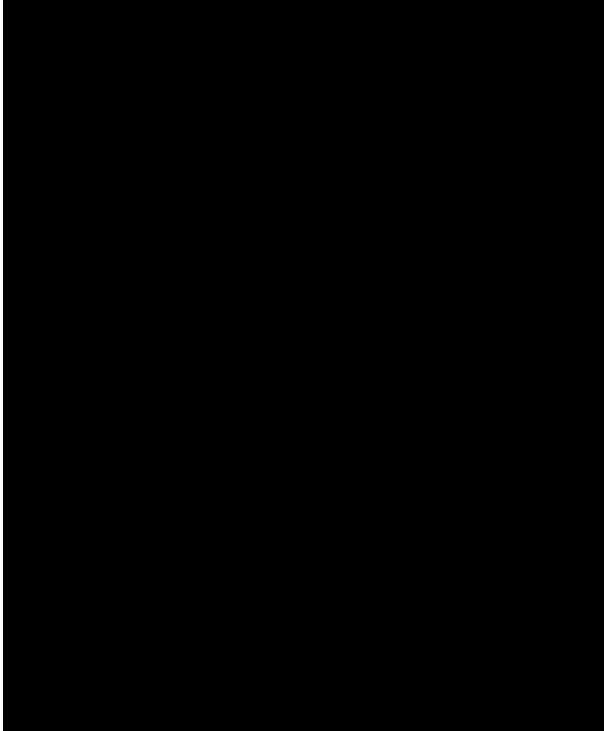


図 5-2-3 Nesjavellir 地域の地温分布断面

NJ-12, NV-4 などは熱水生産井の番号。図 5-2-2 の番号と対応する。

(出典: A. Gunnarsson et. al, Nesjavellir Geothermal Co-Generation Power Plant, Geothermics, Vol.21, 1992)

（奥出）



青：地下水（冷水），赤：加熱された地下水
黒：熱水，黄：蒸気

(出典: New Heat New Horizons, Iceland Review Special Supplement)

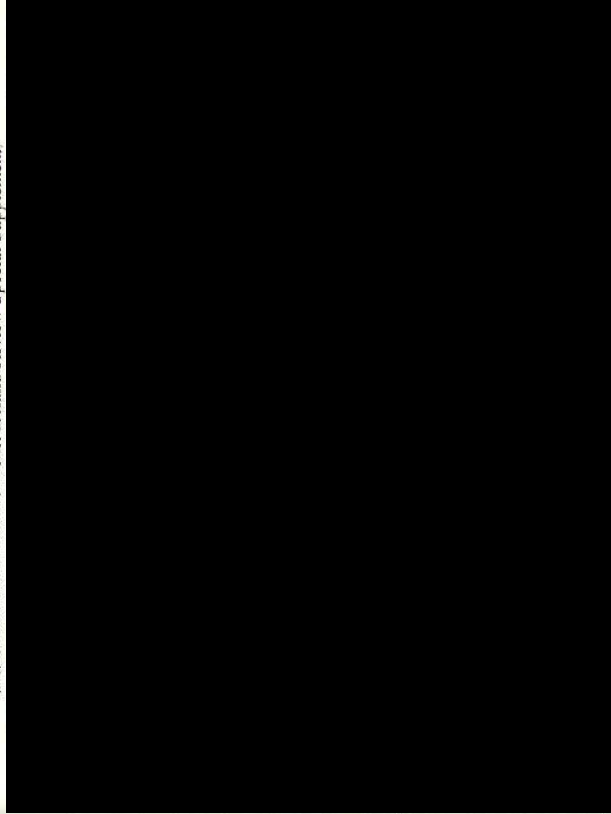


写真 5-2-1 Nesjavellir Geothermal Co-Generation Power Plant 遠望
(出典: 標記プラントのパネルレット)

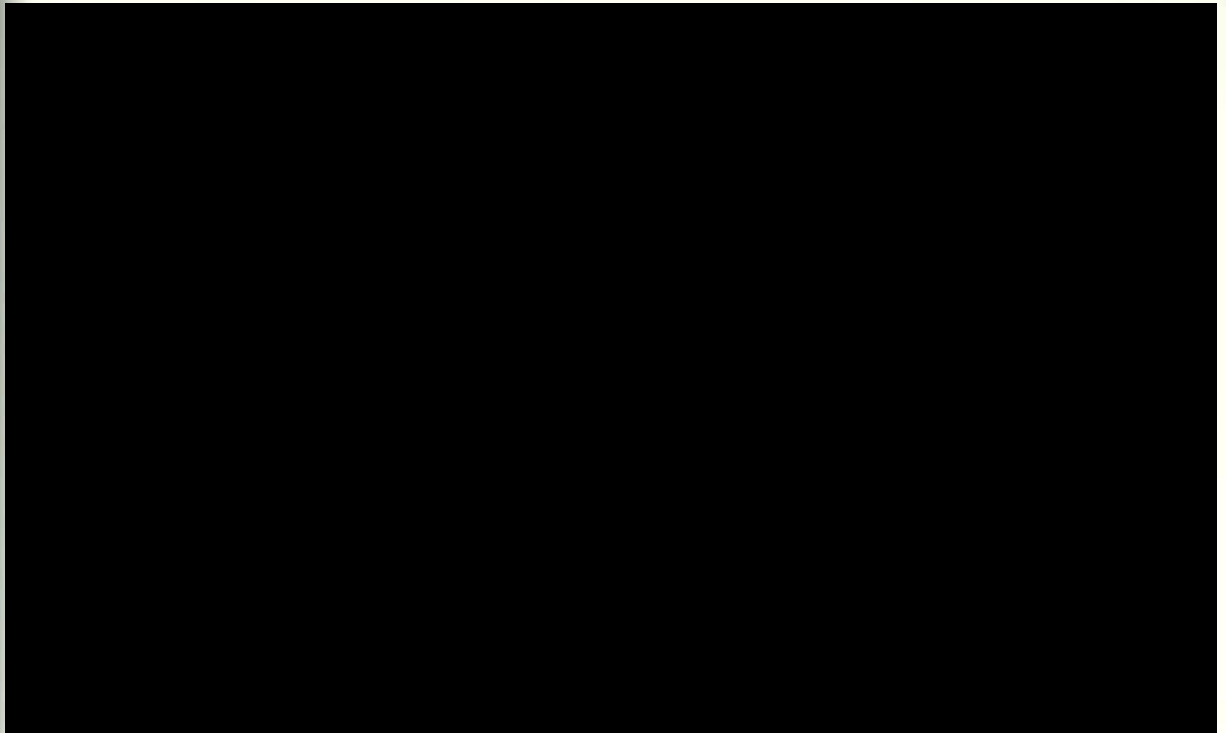


写真5-2-2 レイキャビク市内の屋外温水プール
(出典: New Heat New Horizons, Iceland Review Special Supplement)

25-3 ギャオ・間欠泉

石橋 弘道 (スイモン・リサーチ株)

1) ギャオ (gjá) (地溝帯の割れ目)

アイスランドは大西洋中央海嶺の延長上にあり、海嶺が地上に顔を出した所として知られている。海嶺はマントル対流により、高温物質が地球内部から上昇してくる所である。このため海嶺部分では上昇した物質（溶岩など）が、左右に分かれて水平に進むため、巾数十キロメートルに及ぶ割れ目帯からなる地溝帯 (Graben) が形成されている。

通常これら海嶺の地溝帯は、海面下にあって見ることはできないが、今回我々が行くことができたNesjavellir (ネサヴェトリル)の地熱発電所付近からその北、シングヴァトラバトン (Thingvallavatn)湖～シングヴェトリル (Thingvellir) において観察することができた。

Nesjavellir は図 5-3-1に示したように、首都レイキャビックの東40km程のHengill の北にある大地溝帯で、NNE方向の無数の割れ目を生じており（5-2章参照（図 5-2-1））、この割れ目は年間数センチメートルの割合で分離されつつある。

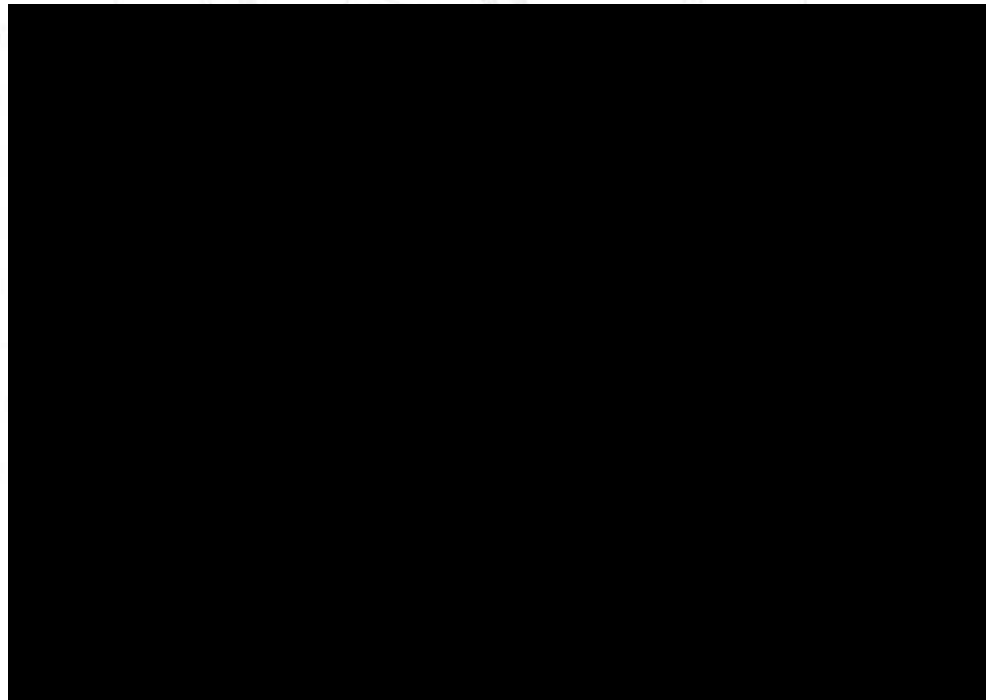


図 5-3-1 Geothermal fields and volcanic hazards on the Reykjanes Peninsula, Iceland.

この割れ目のある地溝帯 (Garben) はギャオと呼ばれ、Nesjavellir の各所では地下からの高熱の蒸気が観察され、地熱発電所のプラントが設置されている (5-2 章参照)。

シングヴェトリル (議會平原) 国立公園は、Nesjavellir の北20km程の所にあり、シングヴェトラヴァトン湖の北端付近に位置する。大西洋中央海嶺の頂上地溝帯の生々しい景観が観察される (図 5-3-2)。この地溝帯の巾は約 500m、長さは約25kmで湖の南西端にまでのびている。

アルマンナ・ギャオ (Almanna gjá) の崖は約40mの比高があり、9000年前にSKJALD-BREIDUR (スカイライトル) 山 (1060m) からの噴火によるパホイホイ溶岩が観察される。この付近の地溝帯の巾は、1970~73年間に2 cm広かったが沈下は生じていない。しかし、有史以来70cmは沈下しているという。最も新しい噴火は2000年前に生じたものである。

平原部にはFlösaギャオが分布する。



図 5-3-2 The Thingvellir area. N: Nikulstargja, H - Hlaugja, P - Penninggjá, Hó - Hóar, T - Thingvallavatn.

2) ゲイシール (GEYSIR)

★ゲイシール (間欠泉)

レイキャヴィークから北東へ 120kmにあるアイスランドを代表する間欠泉。アイスランド語Geysir (ほととしの意) は英語の間欠泉噴泉を意味するGeyserの語源になっているほどで、それだけ間欠泉はアイスランドのシンボルの存在。温泉水が地熱で高温状態になり底部が沸騰し、その蒸気圧が水圧に勝って、熱湯がまるで突然噴火するかのように噴き上げる様を目の当たりに観察できる。大ゲイシールは、かつては60~70mの高さまでにも達したという。

現在では、大ゲイシール (Great Geysir) は活動を停止しているが、替わってすぐ傍にある若いストロククル間欠泉が平均30mの高さまで活発に噴き上げている。

噴出回数は大気条件によって左右され、雨の後には多くなる。こうした噴出が1916年から20年近く、どういいうわいわけをお休みしてしまったことがある。以来、石鹼水を2 mほどゲイシールに注入して噴出を再開させる方法が考案された。

ストロククル (STROKKUR) は直径 3 m位の円形の穴で、資料では10~15分ごとに高さ約 40mの噴き上げを行うというものであったが、我々が見た時は4分で4回即ち、1分に1回の割合で噴出した (表)。

突然噴出するのではなく、噴出する前は水面がゆっくり波打ち、円形に盛り上がった次の瞬間に真上にブォーと噴き上げる。一つの大きな噴出に対して、続けて小さい噴出が2~3秒後に発生するが、全く1回しか噴出しない場合もある。噴出後は、水位は地表下に下がってしまい噴出した水がその穴に向かって集まり落下する。やがて徐々に水面が上がってくる。そして、地表面付近に達すると、水面が大きく動き出しうねるように波打ち盛り上がり、次の大噴出が生ずる。

噴 出	時 刻	大 き さ
①	pm 3:44-38 " " -46	大 小
②	pm 3:47-29 " " -33 " " -38	大 小 小
③	pm 3:47-50	大
④	pm 3:48-17	大

1995年6月5日

※ インターネットで次のホームページを参照して下さい。

◎<http://www.asb.com/usr/chet/geysir.htm>

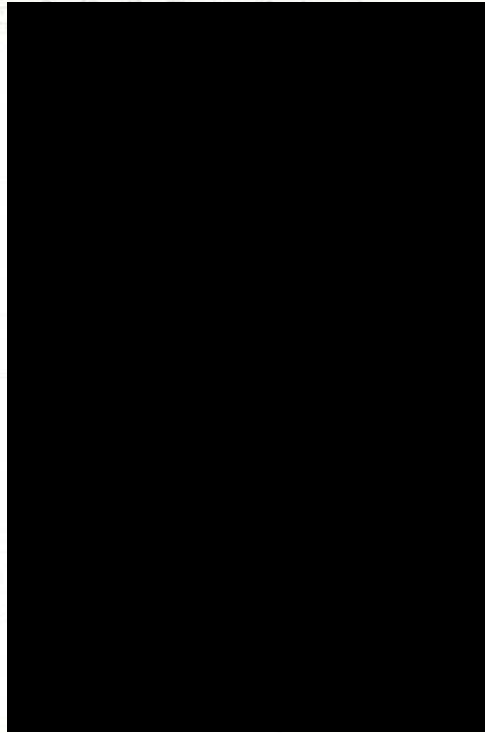
◎<http://www.icemall.com/scandic/iceland/genice14.html>

◎<http://www.rfisk.is/iceland2/guide2/6/geysir.html>

※ かんげっせん 間欠泉 英仏 英仏 geyser, 独 Geiser, Siedequelle

周期的に熱湯を空中に噴き上げる温泉。アメリカのイエローストーン公園にあるものやアイスランドの大間欠泉などは世界的に有名。日本には熱海と鬼首に自然のものがあつたが、現在では鬼首吹上間欠泉が残されているにすぎない。掘削によって得られた間欠泉は相当数あるが長く持続するものは少ない。間欠泉は、地下深部から上昇する熱水と地下水とが比較的浅所で混合する場合に起こる。このとき地下に空洞があれば初め地下水がそれを充填し、時間の経過とともに熱水が侵入して徐々に温度が高まり、その蒸気圧が空洞から地表面に通じる通路の水柱圧に打ちかつと熱湯を噴き上げるようになる。いったん沸騰が始まって後、空洞内の蒸気圧が地下水圧より小さくなると空洞内に地下水が充填して終わる。

(地学辞典 <中村久由>)



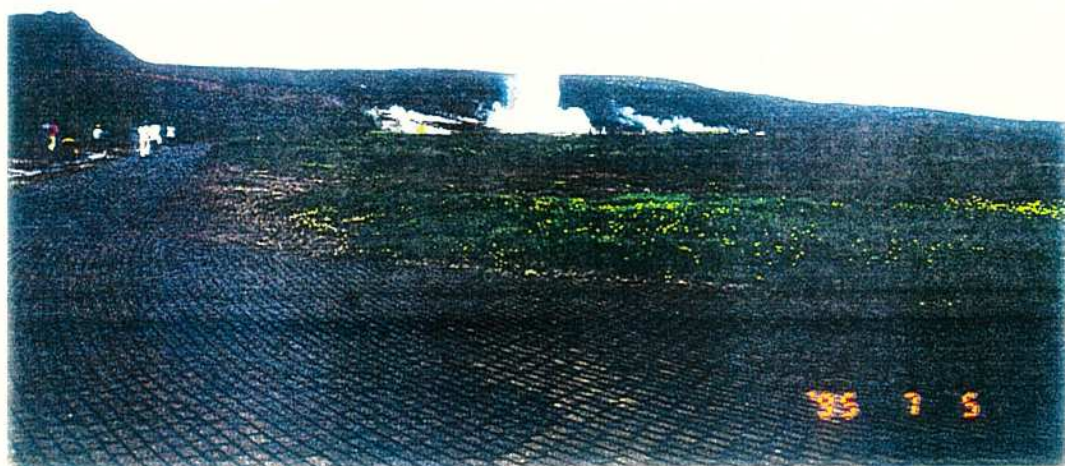
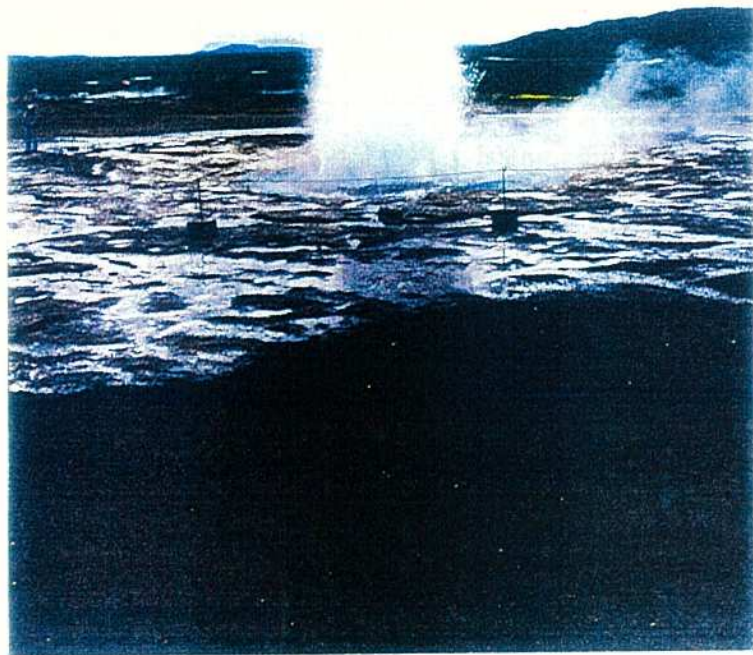
Strokkur間欠泉の温度分布の時間的变化

図はアイスランドStrokkur間欠泉の温度分布の時間的变化であつて、噴出が近づくにつれて管の途中で沸騰曲線に近づき、わずかな圧力変化でそこに急激な沸騰が起こり得ることが示されている³³⁴⁾。

334) Bunsen, R.: physikalische Beobachtungen über die hauptsächlichsten Geyser Island, Pogg. Ann., Vol. 72, (1847)



シンドグバトトラバトン湖の北に分布するシンドグバトリル(融会平原)地帯帯(上)とアルマンナ・ギャオ(下)。



Strokkurの間欠泉。我々が訪れた時は、4分で4回も噴出してくれた。

5-4. シ ガ ル ダ ダ ム

鈴 木 秀 利 (財ダム技術センター)

1. 位 置 と 周 辺

シガルダ (SIGALDA) ダムは首都Reykjavík の東方約 130kmに位置し、源をヴァトナ氷河 (VATNAJÖKULL) に発するTungnaa 川に建設されている (図 5-4-1, 図 5-4-5)。ヴァトナ氷河はヨーロッパ最大の氷河で、高度は約 1,500m、その面積はヨーロッパ大陸の全氷河を集めたものより広く、全面積 8,400km²、厚さ1,000 mにも達するものである。氷河起源の河川は冬期の流量が夏期の1/2 ～1/3 に減少するために、安定した流量を得るには貯水池が必要となる。ここではシガルダダムへの流入河川であるKaldakvisl川に設けたThorisvatn貯水池から取水する計画になっている。また、流域の年平均降雨量は約 1,500 mmである。

貯水池は 3,000年ほど昔、火山活動によって干し上がった古代の湖を再現するものである。発電所はシガルダ丘陵を開削して建設されたHeadrace開水路末端から落差73m下の丘陵の麓に建設されている (図 5-4-2)。



図 5-4-1 シ ガ ル ダ ダ ム 位 置 図

2. ダムの概要

目的 : 1979年ノルウェーの企業と提携したシリコン合金鉄工場（年間シリコン合金鉄生産量4万2千t）がAkranes市東郊に建設され、これに電力を供給するために建設された水力発電ダムである。

発電設備 : 最大出力150MW（50MW×3基）落差73m

設備完成 1977年2基、1978年1基

貯水池およびダム諸元

総貯水容量 : 175,000,000m³

有効貯水容量 : 140,000,000m³

全上流貯水容量 : 1,075,000,000m³

型式 : 表面遮水型（アスファルトフェーシング）アース&ロックフィルダム

ダム

堤高 : 44.4m（アイスランド第一の高さ）

堤頂長 : 932m

堤体積 : 1,300,000m³

洪水吐き : 左岸アバットメントに越流頂標高RL.498mの重力式コンクリート壁

岩石消波堤防（水を貯水池に残してその下を水が流れる仕組みになっている。）

底部放流設備 : 河床上に幅3.8×高4.2m×長175m×2条のコンクリート製

カルバート

通水能力 460m³/s

工期 : 1973～1977年

図 5-4-2 シガルダダム平面図

図 5-4-3 標準断面図

図 5-4-4 詳細図

3. 主要工事数量

堤 体 積	: 1,300,000 m ³
7377 m ³ フェイシング	: 53,000 m ³
発電所の掘削	: 120,000 m ³
放水路の掘削	: 500,000 m ³
コンクリート	: 75,000 m ³

4. ダムの基礎岩盤

ダム付近は東部アイスランド火山帯にあたる。また、プレートテクトニクス理論で言うアメリカプレートとヨーロッパプレートとの間を押し広げている大西洋中央海嶺の連続線上にあたる場所でもあり、この西には西部アイスランド火山帯が控えている場所である。

貯水池の地質は更新世のモバーク（氷河中に噴出した溶岩）を後水期の溶岩流が3層から4層覆っており、非常に透水性なものである。これらの溶岩層の間や表面には珪藻土や粘土、火山灰、河川堆積物等が分布する（図 5-4-6）。

5. 基礎処理

基礎処理を施工した地質は右岸側と深部はモバークで、左岸側の浅部は溶岩となっている。モバークのグラウト注入量は無視できるものであったが、しかし、溶岩における注入量は孔長1 mにつき平均1,300 kgと大きいものであった。

施工以前からグラウト効果に疑問があったため、その上にブラシネットを施工した。

図 5-4-7 基礎処理範囲

6. 漏水と対策工²⁾

1976年の試験湛水の時に多量の漏水が確認された。その後、8年間かかって貯水池内のブラシネットをさらに広くしたり、漏水ヶ所付近の高透水溶岩の埋設穴を土質材料より充填した。施工は船から土砂を投棄した。また、下流法先に排水パイプ、排水溝および盛土等の漏水対策工を施工することにより、現在は安定な状態を保っている。

なお、アスファルトフェーシングには何らの問題もない。

現在でも基礎部からの漏水量が15 m³/s程度あるようである。

参考文献：1) R. Thorlaksson, P. Ólafsson, P. Jóhannesson; The Sigalda Asphalt-Faced Rock-Fill Dam, World Dam's Today '77

2) 伊藤英夫・北村邦雄(1989.9) ツアー-C1, C2 大ダム No. 129

図 5-4-5 アイスランド火山帯

図 5-4-6 基礎岩盤断面図



写真 5-4-1
シガルダダム全景



写真 5-4-2
洪水吐きの
コンクリート壁と
岩石消波堤防



写真 5-4-3
コンクリート壁と
岩石消波堤防の
接合部



写真 5-4-4

露岩

(上モバーク, 下溶岩)



写真 5-4-5

堤体下流面と漏水



写真 5-4-6

洪水吐き下流端での
本川合流状況

5-5. アイスランドの印象

大沼和弘 (株ハザマ)

1995年7月4日夕刻、私達一行を乗せたアイスランド航空機はレイキャビック空港に到着した。予想していたとはいえ、夏と言っても冷たい雨が降る天候であった。溶岩台地の荒涼とした風景が続く中、空港から市街地へと向う。この日は屋外の温水プールの見学（後で温水供給ラインとリンクすることが判る）と地図専門店で資料収集。アイスランドの地質図は1:500,000の全国地質図、1:250,000の地質図（全部で9シート）等充実しており、また、地形図に関しても私達のガイドマップとなった1:500,000のツーリングマップの他1:250,000、1:100,000、1:50,000、1:25,000等十分に整備されている。

2日目、3日目はレイキャビックから内陸部および南部地域の調査を行った。地熱供給システムおよび地熱発電サイト、水力発電施設などの応用地質見学地点とギャオ、ゲイシール間欠泉（英語ではゲイシールが間欠泉を意味する）、ミールダルスヨークトル氷河など地学的見学地点の調査を実施した。とはいうものの、地球の割れ目にあたるアイスランドの光景、特に火山地形のオンパレードに圧倒される調査となった。美しいスコリア丘（写真 5-5-1）、水をたたえる火口湖（現地のガイドはクレーターと言っていた）（写真 5-5-2）、鬼押し出し状の溶岩流（写真 5-5-3）といった火山地形がごろごろといった感じである。

人々の暮らしぶりについては、寒冷な気候のため耕作地はほとんど見られず、馬が放牧されている草地（牧草地のイメージはない）があるだけだが、おいしい海産物（日本人にはうれしい）と豊かな地熱資源・水資源が暮らしを豊かなものにしているようであった。

私達が訪れた夏は、白夜ではないものの、日没後も薄暮で薄明るく暗くなることはなかった。逆に冬は数時間しか明るくならないという。日本では体験できないアイスランドを非常におもしろく感じた調査旅行であった。

最終日の最終工程で夕方EYJAFJALLAJÖKULL氷河の末端に到達し、写真 5-5-4, 5, 6の順序でオン・ザ・ロックを作って、皆で乾杯した。

またガイドのグズビャルテウル・クリストフェルスソン(Gudbjartur Kristofersson)氏は高校の地学の教師で随所にunderstand?を入れて説明していた。



写真 5-5-1 美しいスコリア丘



写真 5-5-2 火口湖（？クレータ）



写真 5-5-3 鬼押し出し状の溶岩流

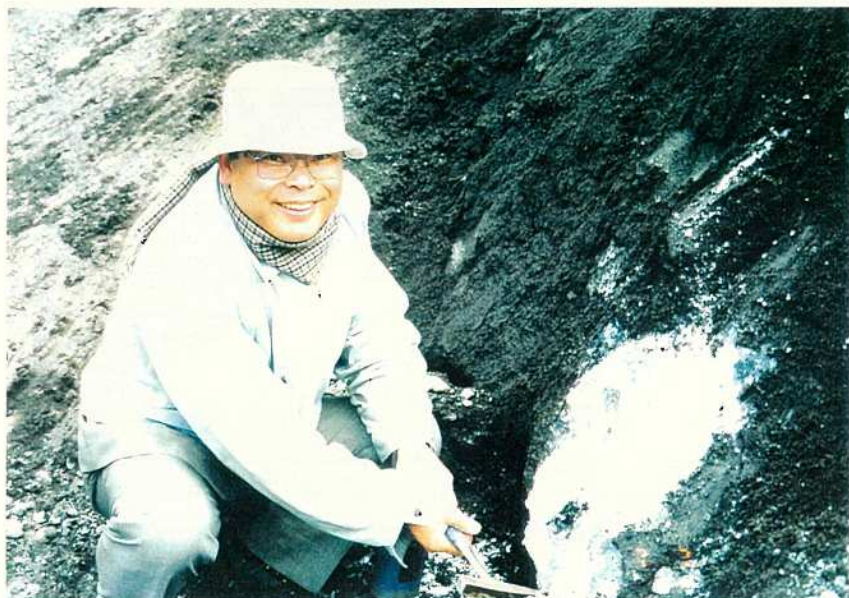


写真 5-5-4
氷河の末端から氷を
削りだす。
表面は火山灰で覆わ
れている。



写真 5-5-5
氷河から溶け出した
水(グレーミル)でよく
洗い、ハンマで適当
な大きさに砕く。



写真 5-5-6
かくて乾杯！



写真 5-5-7 氷河の削痕のついた漂石



写真 5-5-8 帰りの航空機からとった写真。fissure eruption

(鈴木秀利氏提供)

課 外 編

6-1. 英国の鉄道見て歩き

本 荘 静 光 (総合地質調査㈱)

英国の鉄道は発祥の地として 170年の歴史を持ち、多くの私鉄が2次大戦直後に統合されて生まれた英国国鉄 (British Rail) によって運営されている。旅客輸送量 (人キロ) は日本の7分の1、独・仏の半分とかなり落ち込んでいるが、図 6-1-1¹⁾に見るロンドンを中心とした結構高密度の路線、ロンドン～各ターミナル駅の大アーチ構造、また規則正しくキメの細かい列車ダイヤなどは、伝統の風格を今も保っている。

英国では新幹線やTGVのような高速化のための新線建設は全く行われず、幹線輸送の主力は在来線の改良による高速列車 (Intercity) に頼っている。これは標準軌で平野が多いためもともと線形が良かったことと、無理に背伸びしない国民性によるものと思われるが、当然スピードアップは鈍くなる。最高速を誇る東海岸線のロンドン (King's Cross) ニューカッスル間 432kmを例にとれば、79年の2時間55分が現在2時間41分であり、16年間に電化による8%の短縮だけである。一方、地方線への便利な直通列車などは良く行き届いており、今回6月30日朝ホリーヘッド駅を通った際にバスから見た8両編成の堂々たるロンドン直通IC (424km 4時間25分) はその象徴である。なお、英国では特急・急行など列車種別としての名称はなく、寝台などを除き運賃 (1・2等別) 以外の料金は不要である。

6月27日にバスで飛ばしたロンドン～カーディフ間の列車は、1時間毎のIC (写真 6-1-1, 2) とその間に2～3本のローカル列車をはさむダイヤである。日本のほぼ等距離の区間と時間・運賃を比べると表 6-1-1の様になり、ICの所要時間は新幹線と在来線の中間である。同表の所要時間は定期最速列車、金額は自由席で95年7月のレートである。正規の片道運賃でも、特急料金込みの日本より安いのが、英国の生活感覚から見るとかなり高価で、各種の割引制度が時刻表でも全部分からないほど繁盛していて運賃ジャングルなどと呼ばれている。同表の往復割引は、曜日や出発時刻に多少制限はあるが半額以下であり、JRでは例外的に高い割引率の中央線回数券も問題にならない。私もこの切符 (31ポンド) で往復したが、カーディフ市内のチケット屋ではロンドン往復24ポンドなのがしの貼紙を見て恐れ入った。ディスカウント競争でBRが潰れないかとヒト事ながら心配にな

る。

日曜日の7月2日昼、エディンバラ西郊のフォース橋を眺めていた時に、セントアンドリュース方面に向う2両編成がスロービデオのように橋を渡って行ったのを記憶している方も多いだろう(写真6-1-3)。英国ではどの線区でも日曜日には大幅に列車本数が減り、かつスピードダウンする。前述のニューカッスルの例では、平日の2:41が日曜には3:25と約30%の減速である。日曜日には運転手も保線要員もいないのだろうか?私は安息日など宗教上の伝統によるものかと思ったが、ガイドのキミさんは「英国は貧しいんです。休日出勤手当が払えないんですよ」と言っていた。本当だろうか?

わが第2回海外調査団は92年10月20~21日にフォークストンから完工間近のユーロトンネルを見学し、93年6月に開通すると教えられた²⁾。実際の営業運転は94年11月に始まり、ロンドン発の旅客列車もパリ9往復、ブリュッセル4往復と盛況のようだが、フランス側の意気込みに比べて英国側ではイマイチの人氣と言われている。そして、この1年半のズレは技術上の理由よりも、トンネルを運営する英仏国鉄およびユーロトンネル社と、英仏各社のJVとしてトンネルを作ったTMLとの経済上の交渉が難航したためと伝えられる。

ロンドンの近郊では、東京ならとくに電化して過密ダイヤになりそうな区間に、BRのローカルディーゼルカーが悠然と走っている(写真6-1-4)。ただし、市内の地下鉄はさすがに東京同様頻繁運転である。またグラスゴーでは、地下鉄や近郊の電車をStrathclyde Transport(大阪に例えれば、第三セクター快速総合交通とでもいうべきか)が公共の負担の下で、まとめて運営している。英国の長距離列車、都市交通いずれをとっても、今後十分に採算に乗る運営は難しいと思われる。しかし発祥の地の鉄道として、日本やフランスに追随するのではなく、伝統ある列車運行の姿を保ち続けてほしいと、17年間に3000km余を乗せていただいた一外人旅客は願っている。

文 献

- 1) 和久田・広田編(1994):西ヨーロッパとアフリカの鉄道、吉井書店
- 2) 日本応用地質学会(1993):第2回 海外応用地質学関連サイト調査団報告

図 6-1-1 イギリス鉄道路線概要

原図は「西ヨーロッパとアフリカの鉄道」(吉井書店)による

区 間	BR Intercity		JR 新幹線		JR 在来線特急	
	バディントン カーディフ	バディントン カーディフ	東 京 郡 山	東 京 郡 山	新 宿 松 本	新 宿 松 本
距 離	234km	234km	227km	227km	225km	225km
所要時間	1時間53分	1時間53分	1時間20分	1時間20分	2時間30分	2時間30分
運賃料金	約¥4700	約¥4700	¥7310	¥7310	¥6080	¥6080
割引例	Super Saver Return 約¥4600 (往復で)	Super Saver Return 約¥4600 (往復で)	6枚回数券	6枚回数券	4枚回数券	4枚回数券
			¥6890 (1枚分)	¥6890 (1枚分)	¥4110 (")	¥4110 (")

表 6-1-1 British RailwayとJRの比較例



写真 6-1-1 カードゥフ駅を出発するIntercity



写真 6-1-2 Intercity 2 等車内



写真 6-1-3 フォース橋を行くローカル列車



写真 6-1-4 ロンドン郊外グリニッチ駅

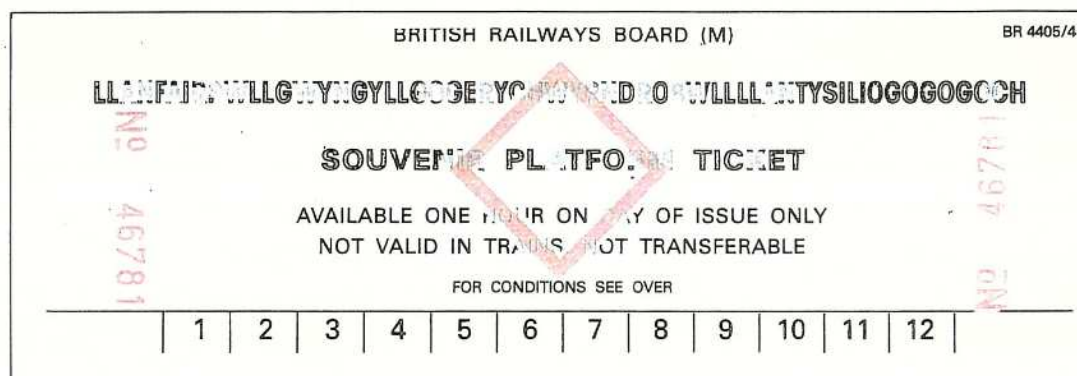


図 6-1-2 世界一長い駅名の記念切符

6-2. ブリテン島の地質瞥見

許 成基 (株)レアックス)

はじめに

1995年6月25日から7月9日までの約二週間イングランド・ウェールズ・スコットランド・アイスランドの地質を見るチャンスに恵まれた。日本応用地質学会が組織した海外調査団の一行に同行させてもらったからである。応用地質学会はこれで五回目の海外調査となるが、筆者は縁あって第三回目に続いての参加である。

海外調査地の選定に当たってブリテン島が選ばれた経緯については定かではない。ほかにもいろいろな候補地が挙げられたようであるが最終的には、地質学発祥の地であること、ほとんどの地層のタイプロカリティーがあること、優れた案内者がいることの三点でブリテン島に決まったとか。ところが、折角北緯50度を超える土地に行くのだからとつい、勢い余ってアイスランド島まで足を延ばすことになった。周知のとおり、アイスランドは北極圏の際にあり、グリーンランドの方が近い国なのである。ところが何しろ、歩くのが商売の面々なので、そんなことは苦にしない習性が身についているらしく、まただから、足腰の弱っている人のことなど構わないという非情さも持ち合わせているらしい。地質やという人種は…。

一方、足腰の弱い人は人なりに、構ってもらうのを潔しとしない独立不羈の精神の旺盛なものこの人種の特徴であるらしく…、だからこんな計画を立てる人も、頷く人も平然としているのであろう…、キット。

それよりも何よりも、この人種の特性には地質(という学問というか、経験というか)の対象になるもので見たことのないもの—それは、森羅と万象にわたっていると思われるのだけれど—は何でも見てやろう。他人は知らなくても、自分が知らないことには我慢がならないという不思議な心性が備わっているらしい、この種には…。だから、あれやこれやが複雑に絡み合って今回の強行軍の原動力になったのではないかと筆者はひそかに勘繰っている。

何しろ、ほとんど寝ずに到着したロンドンで翌日にはもう市内のビルの壁材やペーパメントの石を見て周り、今にして思えばこの日一日だけがフリータイムであったようで、翌日からは魔の行軍が始まったのである。

本稿の表題をキャッチフレーズ風に書けば、筆者の「感動と興奮と苦痛と欲求不満の旅」となるはずが、それをやると泣きになりかねないので、旅程の詳細その他、彼の国の上部構造や下部構造そのほか一切については別の人にゆだね、彼の地の岩石を見て感じたことを綴ることにする。

稿を草するに当たって、ブリテン島の地質をご案内いただいた日本地質学会会長岡田博有先生、参加をお勧めいただいた日本応用地質学会前会長岡田隆一氏、縁の下でご苦労された事務局の宇田進一氏および、今回のツアーに参加された各位に心からのお礼を申し上げます。

その1 イングランド

ロンドンは言うまでもなく連合王国の首都である。しかし、慌ただしく走り廻る目に映ったのはむしろイングランドの首都という印象の方が強い。なるほど、世界の言を集めた都だけあって、文化も絢爛として興が深く、文明の粋が集まってきた都という感じがする。建物は豪華でかつ荘重。使われている石材は、案内をしていただいたDr. Robinsonによれば、たとえばポルトランドの石灰岩、グランピアンの花崗岩やミグマタイトなどほとんどが自国産のものだそうである。唯一の例外はウェストミンスター寺院（これはジュラ紀の砂岩）の前のSMUTS像でこれはブッシュフェルドのハンレイ岩だとのことであった（4-1章参照）。しかし、よくよく観察するとバルティックシールド（スカンディナヴィア）の深成変成岩類も多く使われている。余談であるが、帰ってDr. RobinsonのGEOLOGICAL WALK IN WESTMINSTERというペーパーを読んでいたこのほかに、ベルギーのアルデンヌ地方のものもあるのだという。このあたり、大英帝国の面目躍如といったところ。

建築材に使われている花崗岩にはいろいろのファシスがあって面白い。時には、長軸が5センチにも達しようかという斜長石がオレガオレガと自己主張している斑状花崗岩が敷

き石（Pavement）に使われていて、思わず勿体ないと思ってしまう。

一応地質ヤの端くれなのでハンマーは持って行ったけれど、ビルディングの壁をたたくわけにはいかず、サンブルはとれない。したがって、ここに記載することが叫びわれないのが残念である。なお、Dr. Robinsonによれば、ビルの岩石学には霧吹きとルーペがあればよいのだという。

その2 ウェールズ

ウェールズは典型的な地向斜性堆積物の発達するところといわれている。したがって、この地方の地質学的研究は膨大なものがあると思われるが、当然のことながら筆者にそれを云々する力はない。ただ、カンブリアン、オルドヴィシアン、シルリアン、デヴォニア等の系統名がこの地方に由来したものであるくらいことは知っている。このうち、シルリアン、デヴォニアンの両者は筆者が南部北上山地をフィールドにしていたこともあって、特に懐かしく感じられ、そして、ついでという訳ではないけれどカンブリアンもオルドヴィシアンも身近なものとの思いがある。

ウェールズ地方は、地質学が発祥したイギリスの、しかもこの地の名前がスタンダードな系統名になっているという、いわばキリスト教やイスラム教におけるエルサレムのような位置付けになるかと思われ、いかなパチアタリの筆者でも、この地に入れば帽子をかぶり直すくらいの緊張感と整い興奮を感じずにはいられないところではあった。

ところが、迂闊なことではあるけれど、ブリテン島のどこからどこまでがウェールズなのか行くまで分からなかったのだし、正直なところ今でもはっきりわからない。もっと正直に言えば、イングランド、スコットランドなどは日本でいえば県のようなものと考えていた。だから、なゼラグビーやサッカーのワールドカップにこれらの地方が二つも三つも出場するのか理解できなかったのだ。それに、なぜイギリスの皇太子がプリンスオブウェールズなのか分からなかった。一応説明してもらったので納得したけれど、今でもキチンと分かっているのかどうかはなはだ疑わしい。

マ、こんな戸惑いは赤けつとちゃんにすれば当然のことではあるけれど…。

ともかくあれやこれやといろいろあるけれど、ブリテン島というところは聞きしにまさる意外なところで、何しろ路頭に迷うほどに露頭というものが無い。だから、とにかく道端に崖でもあればそして石の面（ツラ）が少しでも見えれば、何がなんでもパスを停めたくなってしまうのである。そんな、涙ぐましい努力の末に採取できたのが、あの広いウェールズ地方でSPITFALLの珪質砂岩（写真 6-2-1）、FISHGUARD BAYの火成岩角礫岩 NEW QUAY、ABERYSTWYTH、そしてBORTHなどで採取したシルリアンタービダイトの僅か六つであった（図 6-2-1、表紙見開き頁）。

そこでひとつ。

写真 6-2-2, 3は、シルリアンタービダイトの露出するBORTHの海岸で採取した別にドゥテことのない砂岩と泥質岩の薄片であるけれど、案内していただいたフィッチェス教授によれば、バイオターベーションによって地層の上下判定ができたのだそうである。タービダイト層の構造はノルマル（写真 6-2-1）。しかし、層中に挟まれる砂岩をよーっく見るとバイオターベーションの痕跡が観察され、その解析の結果は逆転しているという。

全体の構造はノルマルで細部が逆転しているというのは、われわれもたまたま経験することではあるけれど（滅多にないことではある）…、この海岸では1~2メートルの泥質岩と10センチほどの砂岩が互層状態をなし、これは紛れもなくノルマル。ところが、泥質岩中の砂岩薄層（2~3センチ）は逆転、証拠はバイオターベーションと言うところが目新しく、天の邪鬼の小生はさっそく砂岩薄層をサンプリングしたという次第。

結果は？

泥質岩（写真 6-2-2）には見事なラミナが発達しており、これは正順層。一方、砂岩（写真 6-2-3）にもラミナは形成され、見た目はノルマル。低倍率では駄目なので、思いっきりハイパワーにする。説明によれば、生物が乱した堆積構造の化石が観察されることであるけれど、どれがその痕跡やら、茫として分らない。

ともあれ、砂岩は微粒のmineral fragmentとrock fragmentで構成される。弱いbeddingが認められ、上位はやや粗粒なfaciesとなる。粗粒相は緑泥石、ソノサイトがやや乱雑に堆積し、炭質物、プレーナイト、リモナイトなどが形成される。バイオターベーションはどの部分なのか良く分らないが強いが強いてあげれば、クロールライト化した勾玉の様な緑泥石フラグメント（写真 6-2-3）が堆積面に平行にしかしやや乱雑に配列しているのが観察さ

れるだけ。この部分がそうであるかもしれないが、これはどこにでもあるような、いわゆる普通の砂岩である。

岩手県大船渡市盛町樋口沢は本邦で最初にシルリアン（当時はゴランディアン）が発見されたところである。勿論、タイプのウェールズには比べようもないけれど、山椒は小粒でピリリと辛いのだとえ通り、一応のサクセションは揃っている。川内層は、下部に石灰岩（アルコーズ砂岩やポーフリティクタクタフの薄層をしばしば挟む）の優勢な層があり、上部は黒色石灰岩とスレートの互層を主体とし、しばしばガラス質凝灰岩を挟む層で構成される。上部のスレート（泥質岩）には、花崗岩の構造的貫入が認められているが、熱変成の影響はない。その泥質岩が写真 6-2-4である。

写真 6-2-2と4を比べればウェールズと樋口沢の泥質岩の岩相が異なることが一目で分かる。当然と言えばごく当然のことであるが、これほどのも、堆積岩特有の属性によるものではないかと思われる。すなわち、堆積岩はヒンターランドの地質を直接反映する様な碎屑物で構成されるため、地域の特徴が現われやすくなるのに対し、少し乱暴な言い方をすれば、たとえば安山岩ならば、おそらくアンデスも富士山もスコットランドのものも同じ岩相を示すに違いないのである。

バイオターベーションの現象は観察されなかったけれど（ひょっとしたら先の疑わしい部分がそうなのかもしれない…そうでなければ、目が悪いが、サンプルが不適當であったか、それとも…）、以上のことはしかし、同じ下部古生界とはいえ、ウェールズ地相の正規の堆積岩類と変動帯における堆積岩類の違いが分かったことで満足すべきなのかもしれない。

その3 アングルシー

また、無知をさらけ出すことになるがアングルシーがどこにあるのかということは、ウェールズがどこにあるのかよりもっと知らないところであった。

ブリテン島の地質構造図を見ると、カレドニードスがブリテン島を袈褻懸けにしている。そして、その切り口がウェールズに面している島がアングルシーである。もしも貴方がイ

ングランドを経由してあの辺りに行くことがあれば、きっと貴方はある種のカルチャーショックを受けることになる。それはイギリスなのに英語が通じないらしいことと文字が読めないこととであり、いま一つは人情に厚いらしいことと食べ物が旨いこととである。たとえば、土地の人の話す言葉はほとんどが聞き取れなくなる。まるで分からない。聞けば、ケルト語だという。ウェールズの地名は活字になっているけれどもほとんどが読めない。子音がやたらと続くのである。そのため、一つの単語が長くなっている。だからかどうかわからないが、この地には世界一長い駅名がある。これはもう今では、土地の人すら読めないという。

それはさておき、アングルシー島はカレドニア造山運動が華々しく展開された地域。この島の先端はホーリーヘッドといわれ、ここには先カンブリア紀の石英-雲母片麻岩やOrthoquartziteで構成される同名の地層が分布している。

写真 6-2-5はこの石英-雲母片麻岩である。砂質岩を原岩とする片麻岩で、鉱物は全体に oval form (タマゴ形又はダエン形) をなし長軸は定向性をもって配列している。粒度は porphyroblast を形成する (石英、カリ長石) ものと、matrix を構成する前者よりやや細粒なもの (全体の80~85%)、およびその鉱物粒間を充填する微粒の石英および雲母の三種がある。石英による定向性がいわゆる gneissosity で、これは肉眼的には不明瞭なため片麻岩と認識するのは大変であるが、鏡下では明瞭。ただし、雲母が極めて微粒なため Quartzose Gneiss とした方がよいであろう。

その4 エディンバラ

エディンバラはスコットランドの首都である。エディンバラ城はエリザベス女王が避暑に来たときに泊まるというなかなか由緒あるお城だけれど、普段は一般観光客も自由に出入りができる。たまたまわれわれ一行がエディンバラに泊まった翌日から女王陛下がいしたとかで中に入れなかったが、硬い岩盤 (遠目で眺めただけなのではきりとしない。花崗岩らしいが、はんれい岩かもしれない) の上にそそり立ち、洋式 (当り前か) のお城の尖塔が夕陽に映えるサマはなかなか絵になる風景ではある。

エディンバラの街は古都らしく、しっかりと落ち着いた雰囲気を感じ出していてまことに好ましい。それに、坂の多いこともふと、小樽を思いださせられたりして筆者の好みに

大いに合う。

夕食を地下の狭いレンガ造りのレストランでとり (この料理がまた素晴らしい)、食後の散歩に街を徘徊したが、期待に違わず快適な一時であった (1章参照)。

この次、もしもチャンスが出来たら迷わずこの街に直行しよう。

それはさておき、この街の外れといっても約60キロほどはなれたところに有名なハットの石の不整合がある。岡田先生は、石をたいてはダメとおっしゃるので落ちていたものを二つだまっけて拾ってきた。一つはシリリアンのパープルなタービダイト砂岩で、他の一つはデヴォニアンの基底礫岩。

写真 6-2-6はシリリアンのタービダイト質砂岩である。

全体に細粒且つマチュリティーの不良な砂岩で、堆積構造は不明瞭。

岩片は堆積岩礫 (主に、泥質岩、砂質岩および凝灰質岩)、変成岩礫 (片麻岩、片岩、ホルンフェルス) を主体とし、粗粒玄武岩、輝緑岩および安山岩礫が認められる。

一方、鉱物片には花崗岩起源と思われる石英 > カリ長石 > 斜長石 > 雲母があり、ほかに片麻岩起源の石英集合体が散点している。

本岩の大維肥な量比は岩片 > 鉱物片で、ほとんどが角礫状を示すことからヒンターランドはさほど遠くないものと推定される。

また、本岩は特徴的に赤紫色を呈するが、これは膠結物がリモナイト-ヘマタイトのため。

シリリアン砂岩層の上位に不整合でデヴォニアンの旧赤色砂岩が載っている。本層には三枚の礫岩が介在しており、写真 6-2-7はおそらく最下位のものである。

礫岩には大小の礫が不規則に散在し、アヴァランジェと思われる産状を呈している。この鏡下観察によれば、礫岩はマトリク状のマトリックスをなすカーボネートと円磨度良好な岩片、鉱物片で構成される。岩片は、円、亜円、楕円、時に不定形状ながら角のとれた堆積岩 (主として砂岩、泥質岩) > 変成岩 (雲母片岩、含スティルプノメレン片岩) を主体とするが火成岩は、少なくとも今回拾ってきた岩片の薄片 (40×50mm) 中には観察されない。鉱物片には、円磨された大小二種類の石英と少量のカリ長石、雲母、斜長石および不透明鉱物がある。本岩も赤紫色を呈するが、これは不透明鉱物 (ヘマタイト、マグ

へマイト?)、鉱物粒界の膠結リモナイトおよびマトリックスのカーボネートに因るものである。

本岩は全体として異色の礫岩である。現地で見たり、討論したり、説明を聞いた限りでは少なくともアヴァランシエ堆積物(インブリケーション?が認められたけれど)と思われ、供給源もさほど遠くないものと推定された。ところが、薄片サイズでは岩片も鉱物片も見事に円粒で、石英などは少なくも花崗岩ないし石英安山岩起源である。また、この手の堆積岩には通常斜長石が多数含まれるはずが意外なほどに少ないこと、カリ長石も少量しか認められないことなどから推定すれば、供給源はかなり遠い可能性があるのでないか?と思われる。一方、本岩のマトリックスはほとんどカーボネートであるが、これのオリジンは生物とは考え難いものがある。本岩は、産状からはおそらく陸成の堆積物であることはほぼ間違いない。そこで、たった一枚の薄片と1時間たらずの現地見学で出せるような結論ではないが以下のようなことが言えそうである。

- 1) 礫岩の構成自体が無秩序であること(礫岩と言われる由縁か?)
- 2) 生物源と思われないカーボネート(かといって鉱化?変質の産物とも思われない)と火成岩源の石英が全体の7割ほどを占めていること。
- 3) 岩片、鉱物片は見事に円磨されていること(遠距離を流れてきたのかそれともアヴァランシエ中でのアブレション(磨耗)に由ったのか?)
- 4) 粗粒碎屑物には欠かさない斜長石をほとんど含まないこと(火成岩、変成岩類が乏しい地域に由来?)
- 5) カリ長石が乏しいこと(上の4に同じか?)
- 6) 変成岩礫は比較的多量にあること、雲母属鉱物が特徴的に散在していること

などは、礫岩の供給源の推定に何らかの役に立つ情報になるかもしれない。

何れにしても大いに感激してシッカーポイントを離れ、そして、わたしにとっては憧れのスコティッシュハイランドに向けて出発進出となった。

その5 グランピアンハイランド

スコティッシュハイランドはGreat Glen Faultを境にしてノーザンとグランピアンとの二つに分けられる。ノーザンハイランドの北西にはモインスラストを介してH. Stille(1924)のウルヨーローパスなわちプレカンブリアンの変成岩類が分布する地域があり、スコティッシュハイランドはパレオヨーローパの主にカレドニアン造山運動が展開した地域である。いかに無知な筆者といえどもこれ位のことは知っていたし、だから一度は訪れたいものだと思っていた。極言すれば、ほかはどうでも良い。この地は、

何しろ、カレドニアンオゾゲニーが展開したところで、これは日本にないし、

何しろ、Lapworthがミローナイトの概念を確立したところであり、

何しろ、変成分帯の概念はこの地で産声を上げたのであり、

何しろ、バローピアン型鉱物分布の模式地とされており、

何しろ、VogtやBaskolaもこの地の研究で変成相系列の概念を確立したのである。

これに、付け加えれば、

何しろ、スコッチウイスキーの本場であり、

何しろ、あのアノーローリーもダニボーイもこの地で生まれたのである。

そして、また何しろ…。

ところが、百聞は一見にしかずとは良く言ったもので、なだらかにウングレートするハイランドをバスは徐々に順調に走り行くが、一向に露頭が見えない。折りから降り出した雨のせいでひょっとして見落としたのかもしれないなどと余計なことを考えたりするけれどそんなことのありよう筈がない。何しろ約50の眼が鵜の眼鷹の眼で外を眺めているのである。とにかく延々と続く緩やかな起伏の丘には、白樺やら何やらが申し訳なさうにパラパラと生えているだけ。地べたは、ヒースやら地衣やら雑草やらのマントを羽織って何も見せてはくれない。丘陵地帯をアクセント付けているのはマッチ箱のような家や、放牧されている牛や谷間にひっそりとしているウイスキーの醸造所だけ。すべてが雨に煙って隠れてしまい、ついには時も止まってしまったよう。

ぼんやり、取り留めもない時間をウッチャッテいるうちに、こんなに露頭のないところであの精密そうな地質図はといったいどのようなようにして描いたのだろうか?という素朴窮まりない疑問が沸き上がり、しばらくはラチもない物思いに耽ることになってしまった。

帰礼して大学を訪ね、上のようなことなど（露頭がないのになぜ地図が出来たか）を雑談していたら、彼の地では、地質調査にはナイフが必需品で、ナイフで草を切り取ってロールに巻き、下の岩盤をひとしきり観察した後ロールを元に戻す。実はこの様にして露頭を作り、そして地質図が作られたのだという。

知らぬこととはいえ、心眼で作ったのではないか？それとも…などと失礼な想像をした不明を恥じるばかりである。

その6 ロッホ・ネス

スコティッシュハイランドもインバーネス辺りまで来ると少しは人いきれが聞こえてくる。何しろ北海沿岸のアバディーンからインバーネスまでは「数キロ走って家一軒」というのもあながちオーバーには聞こえないほど、このハイランド一帯には寂寥感が漂っている。尤も、折りからの雨のせいもあったと思われるけれど。スコッチの醸造所はそんな一種の荒涼とした環境と雰囲気好むらしい。だからこそ、あのよう舌の上でワルツを踊るような風合いと喉越しのまろやかな、華やいだ飲み物が出来るのである。

インバーネスは、ノーザンハイランドへ向かう人が最後に旅装を解く街で、勿論付近では最も大きな都会である。といっても人口はわずかに数万人とか。それでも我々が着いたときは、東の間の夏を謳歌するように、北の街もどこか華やいだ雰囲気を出していた。

ネス湖はご存じネッシーの棲息する湖で、長さが数十、幅数キロ、深さ数百メートルのスリムなもの。この湖はグレートグレンフォールトで出来たいわゆる断層湖である。しかし、湖の南端から眺めると、これは米河の後退した後に溜まった池ではないかという疑問が湧いてきた。周りの人にそんな疑問を呈したものの誰もまともに取り合ってはくれない。ロンドンで手にいれた地質図を引っ張りだして読むのだけれど、さっぱり要領を得ない。車中で岡田先生は、湖東岸のフォア花崗岩と南端西側のストロンチアン花崗岩が同じものだと話しておられた。そうだとするとこれは、左横ずれ70キロ以上の断層ということになる…。

ところで、インバーネスに着いたら午前中のシットシット雨の、暗く陰鬱な雰囲気とは打って変わって、雲一つなくそよとも風が吹かない快晴、ネッシーにはとても御目文字が叫い

そうもない天気になった。

ともあれ、花崗岩を目指してバスは東側の道路に向かう。西側の湖岸は道路は交通量も多くチマチマ、クネクネと曲がって面白くも何ともないが、東側は、これはもう別天地である。視界は開け、米河の削った山、湿地帯、モレーン、ピンゴ(pingo)、アラス(alas)さらにあれ、さらにこれと教科書で得た知識が寂しくなるほどのスケールでどこまでも続く。

ここでサンプリングしたグラニュライトと目的のフォア花崗岩については既に4-14章で述べた。

その7 アイスランド

アイスランドは私の意識の中でまるで別世界のような国であった。行くということは勿論のこと、行けるなどということをも夢想したこともなかったからである。だから本当に行くのだと云うことが分かってからは資料を探したり、北大の勝井孝雄先生から、かの国の情報をお教えたいたりと準備万端整えた。要するに、なんにも知らないのである。今回の旅行で事前の勉強をしたのはこの国だけ。

しかし、この国の地質については他の方が記されるのでここには書かない。

最終日、明日はロンドンに帰る日の前日の夕方8時頃、BYJARJALLAJÖKULL（一体何と読めばいいのでしょうか）米河にたどり着き、事務局が途中で準備したウイスキーを米河の水でロックにして乾杯した。ここで同行の井上氏がグレーシアーミルクを採水した。ミルクの成分にかねてから興味があったので、井上氏に分析の残り、つまり蒸発乾固(36.53mg/50g)した不純物を分けていただいた。

水の成分そのものについては井上氏が4-13章で書いているので、筆者は肉眼的な不純物について若干コメントする。

写真 6-2-8はそれを薄片にしたもの。

鉱物片には、破片状斜長石、輝石、角閃石、石英、緑帘石、榍石そして赤鉄鉱がある。岩片には、ガラス質安山岩、玄武岩、粗粒玄武岩、黒曜石、堅石（溶結凝灰岩由来）があり、そのほかにガラス（さまざまな色調をとる）、粘土塊がある。サイズは概ね細粒〜微

細粒で、量比は、ガラス>鉱物片>岩片>粘土塊。

深成岩起源の鉱物並びに岩片は認められない。ガラス片が量的には極めて大量に含まれるが、これはいわゆる火山ガラスである。

火山ガラスと溶結凝灰岩に由来すると思われる軽石が含まれることから、アイスランドにおける火山活動の概要がほの見える。

しかし、これはただそれだけ。他に何かコメントすることはない。

あとがき

駆け足でのブリテン島〜アイスランド島の巡検であった。大変きつい日程と行程であつたけれど、そして露頭には恵まれない巡検であつたけれど、今振り返って見れば実に実りのある巡検であつたといえる。結局のところ平凡で楽な旅行をすれば、あとには何も残ることがないのかもしれない。今となってみれば、そんなことはお見通しでスケジュールがたてられたのかもしれない。もしそうであれば、これはもう旅の達人と云うべきであろう。

この次、このような企画が立てられたら、またやっぱり参加させてもらいたいものであると、今はこの旅を思い出しながら懐かしんだり性懲りもなく考えたりしている。

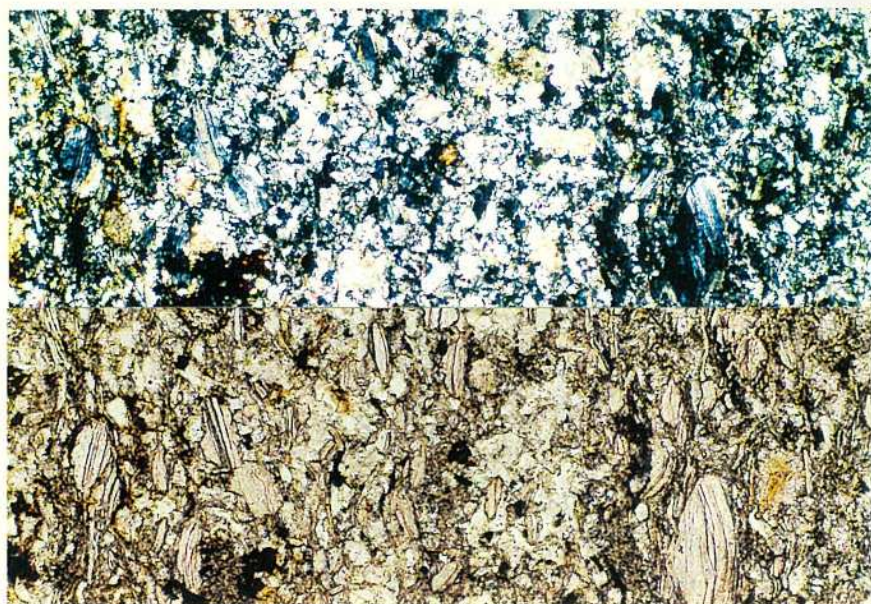


写真 6-2-1 泥質岩優勢砂質岩互層 (ポース：シルリアンタービダイト)



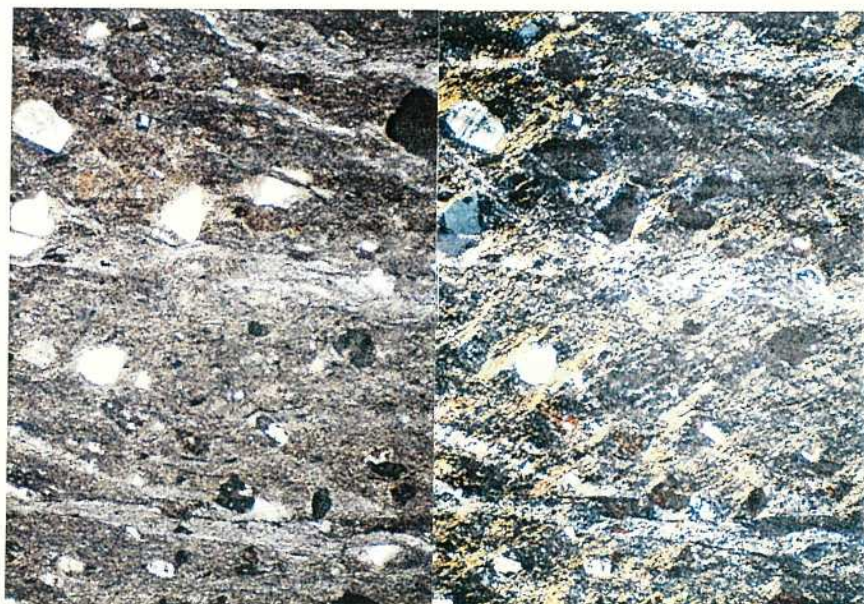
上：クロス 下：オープン 0.5mm

写真 6-2-2 シルリアンタービダイト泥質部 (ポース：Llandoverly層?)



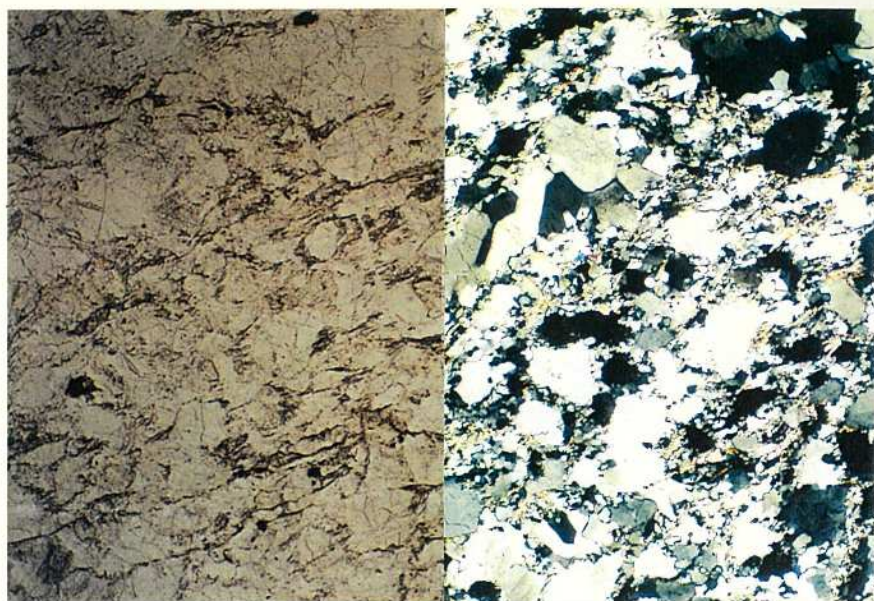
上：クロス 下：オープン _____ 0.5mm

写真 6-2-3 シルリアンタービダイト砂質部（ボース：Llandovery層？）



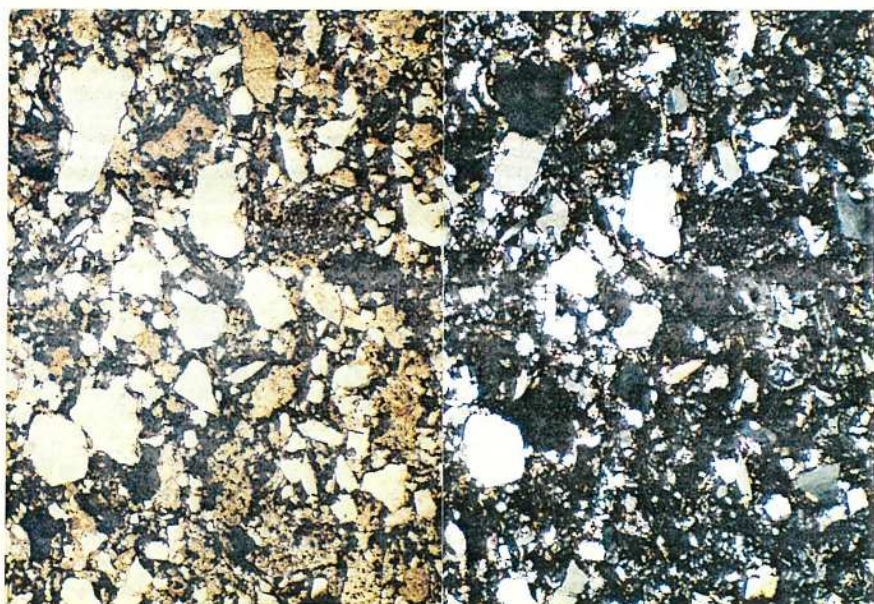
左：オープン 右：クロス _____ 1mm

写真 6-2-4 川内層（中部シルル紀）泥質岩
岩手県大船渡市日頃市町、樋口沢



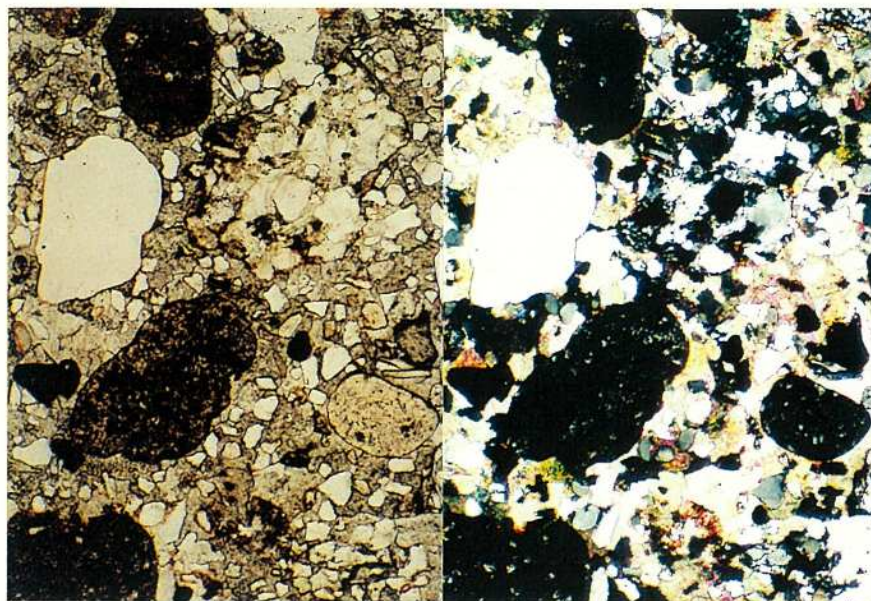
左：オープン 右：クロス 1 mm

写真 6-2-5 石英-雲母-片麻岩（ホーリーヘッド：ホーリーヘッド層）



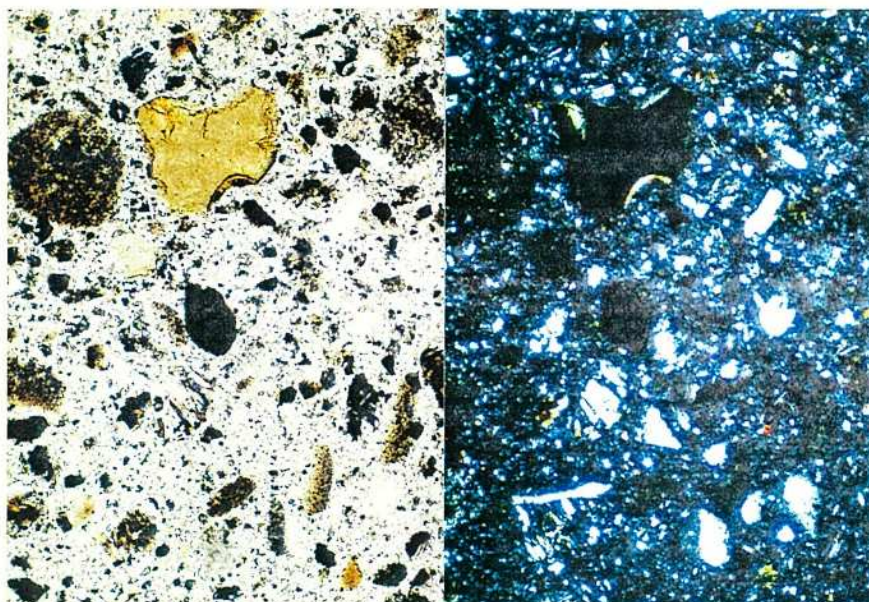
左：オープン 右：クロス 1 mm

写真 6-2-6 シルル紀タービダイト砂岩（シッカーポイント）



左：オープン 右：クロス _____ 1 mm

写真 6-2-7 デボン紀基底礫岩（シッカーポイント）



左：オープン 右：クロス _____ 0.5mm

写真 6-2-8 氷河水含有微粒片（アイスランド：GYJAFJALLAJÖKULL氷河）

お　わ　り　に

おわり

おわり

おわり

おわり

おわり

おわり

おわり

おわり

おわり

7. おわりに

宇田進一（国際委員）

第5回調査団も無事帰国（1995年7月9日）し、興奮冷めやらぬ間に報告書を書こう、お互いに写真やビデオを交換しようと、同年10月9日に中間報告会が開かれた。出発前の予想以上の収穫があったとみえて、団員の皆さんはかなりのレポートを持参していただいた。しかしながら、そのまま繁忙期に突入してしまい、また数人の原稿が届いていないことを良いことに、ズルズルと編集が延び今日に到ってしまった。

思い起こせば、Geologistの目から見たイギリスは、なるほどMasonryの国であった。なぜフリーメーソンなどと石工組合が力を持っていたのか判らなかったが、あの家並、建物、すべて石造りではないか。

しかも地方毎に壁の色が違う。Old Red Sandstone 地域では赤、白色の花崗岩地域では白色、ピンク色の花崗岩地域ではピンク、石灰岩地域は灰白色、あのポルトランドセメントがロンドンの西南西 200kmのPortlandの石灰岩を模していたとは！現地に来なければ判らないことが一杯あった。これぞ海外調査団の醍醐味だ。

イギリスは、もとい、イングランドは食事がまずい。これは事実である。あの草履のようなフィッシュ&チップスを求めて、レストランの前に行列が出来るとは？世界征服に忙しくて、食事にまで気がまわらなかったのか？ワインの管理も悪い。

もっと驚いたことがある。LondonでProfessor達と昼食でsandwichを食べた時、その由来からして当然手で食べるものと決めてかぶりついたが、Professor達は悠然とナイフとフォークで食べるではないか。ふむ、イギリス文化とは何だ……？

そして、随分と感謝したことは、色々な場所で我々を案内してくれた Professor達が実に熱心であった。少しも手を抜かない。FAR EASTから来た赤ゲット達に対して口角あわを飛ばして説明してくれる。これは多分、今回イギリス国内のアレンジをお願いした岡田博有先生に対する友情と尊敬の賜物に違いない。我々だけではこうはいかなかったに違いない。

出発前に入手した資料と自然史博物館（地質調査所）で入手した地質図の一覧を表 7-1 に示す。何かのお役に立てれば幸いだ。

アイスランド……、その名の通りの島であった。

荒涼とした草木のない溶岩原、砂漠りの強風、火山地形、氷河。月面着陸訓練をここで
行ったというが、納得！

雑草でさえ、植えるのだそう。それが学生のいいバイトになっているとは！ガイドの
お嬢さん（18才ぐらい？）にこの強風はもう慣れているのかと聞くと、「風はいつでもイ
ヤなものです」との答えだった。彼女は夏でもセーターとヤッケを用意していた。

とは言え、地熱・水力を利用した十分なエネルギー政策のおかげで、室内は快適、水産
物も多いとあって我々日本人に親しみ易い国だ。

また、我々 Geologistにとって、地形＝地質が目の当りに出来、感動の連続。最後の最
後にスコッチと氷河の水でつくったオンザロック。忘れられない味となった。

さて、本文を執筆中に第6回海外調査団（中国 IGC 参加）が次々と（団体ではないの
で）飛び立って行く。

遅まきながら、本報告書がうまく出来上がったとすればそれは情熱を傾けて書いてくれ
た各章の執筆者達のおかげである。もし、上出来でなかったとすれば、それは独断により
削除・追加した編集者の責任である。伏しておわび申し上げる次第である。

第7回海外調査団は1997年6月23～27日にアテネで開かれる I A E G 主催のシンポジウ
ム（Engineering Geology and the Environment）への参加が決まっている。乞御期待！
（1996年7月）

表7-1(1) 資料・地図図一覧

No.	形態	資料名	著者名	著者/発行元	発行年
1	論文	「地相・地質・地質堆積物研究の諸問題」	科学 37(5)	岡田博育	1967
2	地図図	Geological map of Britain and Ireland, 1/690万	松本あき	British Geological Survey	1995
3	コード	A Code for Geological Field Work		The Geologists' Association	
4	コード	THE SEVERN BRIDGE (「BRIDGES」より)		DAVID J. BROWN	
5	コード	THE MENAI STRAIT BRIDGE ()		MACMILLAN PUBLISHING	1993
6	コード	THE FORTH RAIL BRIDGE ()		COMPANY NEWYORK	
7	論文	The Sigalda Asphalt-Faced Rock-Fill Dam		World Dam's Today '77 THE JAPAN DAM FOUNDATION	1977
8	地図図	TECTONIC MAP OF GREAT BRITAIN AND NORTHERN IRELAND (1:1,584,000)		Ordance Survey	1966
9	地図図	GEOLOGICAL MAP OF THE BRITISH ISLAND (1:1,584,000)		Ordance Survey	1969
10	地図図	GEOLOGICAL MAP OF WALES (1:250,000)		British Geological Survey	1994
11	地図図	GEOLOGICAL SPECIAL SHEET (1:25,000) ST. DAVID'S		Ordance Survey	1973
12	地図図	British Geological Survey - Aberystwyth sheet 163 (1:50,000) GEOLOGICAL MAPS OF ENGLAND AND WALES		Ordance Survey	1984
13	論文集	Proceedings of the Geologists' Association - vol. 95 part 4 Focus on Wales		M. G. BASSETT	1984
14	会議録	ICELAND Introduction to general geology		26th International Geological Congress	1980
15	会議録	UNITED KINGDOM Introduction to general geology		26th International Geological Congress	1980
16	書籍	Geological Excursions in Powys, Central Wales		N. H. Woodcock and M. G. Bassett	1993

表7-1(2) 資料・地質図一覧

No.	形態	資料名	雑誌名	著者/発行元	発行年
17	書籍	Geological Excursions in the Harlech Dome		British Geological Survey	1985
18	書籍	Geologists' Association Guide No. 39 Llyn Peninsula		P. J. Cattermole and M. Romano	1981
19	書籍	Geologists' Association Guide No. 40 Anglesey		D. E. B. Bates AND J. R. Davies	1981
20	書籍	British Regional Geology NORTH WALES		B. Smith, T. N. George	1961
21	書籍	British Regional Geology SOUTH WALES		T. Neville George	1970
22	書籍	British Regional Geology The Wales Borderland		J. R. Earp, B. A. Hains	1971
23	書籍	British Regional Geology South-West England		E. A. Edmonds, M. C. McKeown M. Williams	1969
24	書籍	Edinburgh Geology, AN EXCURSION GUIDE		G. H. Mitchell, E. K. Walton Douglas Grant	1960
25	書籍	The Kielder Water Scheme		Northumbrian Water Authority	1978
26	論文	Engineering Geological Mapping シンポジウム報告	応用地質 vol. 21, No. 2	本荘静光	1980
27	地質図	ANGLESEY (1:50,000)		Ordnance Survey Office	1980
28	地質図	Geological Map of the UNITED KINGDOM (North) (1:625,000)		Institute of Geological Science	1979
29	地質図	Geological Map of the UNITED KINGDOM (South) (1:625,000)		Institute of Geological Science	1979
30	地質図	Geological Map of OXFORDSHIRE (1820)		The British Geological Survey	1993
31	地質図	EARTHQUAKES 1980-1989 British Isles and Adjacent Areas (1:1,500,000)		The British Geological Survey	1992
32					

1) James Hutton

James Hutton については下記の辞典等において概略が紹介されている。なお、James Hutton のいかにも思慮深い学者らしい、並みはずれた崇高紳士然とした容姿を写真 1 にしめす。この写真は、James Hutton's 「System of the Earth」(1785)、「Theory of the Earth」(1788)、「Observations on Granite」(1794); (Foreword by George W. White、Contributions to the History of Geology, 1970、Hafner Publishing Company による)の裏表紙(口絵)に載っている肖像画である。

James Huttonについては、古くから数々の文献で紹介されているが、比較的簡潔に記載されている地団研地学事典編集委員会(1970)の「地学事典」(平凡社、859p)によると次のように紹介されている。

「ハットン (Hutton, James) 1726. 6. 3 ~ 1797. 3. 26 ;

イギリス 商人の子としてエジンバラに生まれ、エジンバラ・パリ・ライデンの各大学で医学・化学を学ぶ。一時父の残した農場の経営にあたるが、1768年エジンバラで研究生活にはいり、スコットランド・イングランド・北部フランス・オランダを旅行、各地の地質を観察する。95年「Theory of the Earth」を出版。難解だったが J. Playfairの解説(1802)により一般に理解される。Huttonは、現在の自然現象をもとに過去の地質現象を合理的に説明することに努め、地下の火の作用を重視して、熱によって岩石が熔融し結晶した岩石ができると考え、また熱の膨張力が大地を隆起させ、地層を変形させ、この過程で地殻に割目を生じマグマが侵入すると考えた。火山は広域的な大地の上昇の安全弁とみなした。A. G. Werner が水成源とした花崗岩を火成源とみなし、火成論者の代表とされたが二次岩層の形成など水の作用も重視した。Hutton の説は C. Lyell により高く評価され、斉一説の提唱者としても知られた」。

2) Huttonian Theoryの概要

Huttonian Theory については、文献では次のように説明している。

- (1) 加藤武雄監修、1935、地学辞典、古今書院、472～473p

「Hutton-setu (ハットン説) (英) Huttonian Theory (独) Huttonsche Theorie (仏) Theorie d'Hutton

James Hutton の玄武岩火成説。彼は Werner 一派の玄武岩水成説に反対して、地表に流出せる玄武岩の熔岩は勿論他の地層中に介在する玄武岩も凡て火成岩であることを主張し、其中には熔融状態のまま古い地層の割目に沿って貫入し冷却凝固せるものもあると考えた(津屋)」。

- (2) 地団研地学事典編集委員会、1970、地学事典、平凡社、859～860p

「ハットン説 (英) Huttonian Theory

過去の地質現象も、現在地球上で起こっている地学現象と同じ原理によって支配されており、地質時代に起こった大規模な一見異質な現象も、現在働いている地学的営力によって説明されるという考え。斉一説というが、中世以来の神秘主義・非合理主義を否定して、近代的合理主義の世界観を地学の分野にはじめてもたらしたものであるとして高く評価される。James Hutton は A. G. Werner の水成論に反対し、花崗岩や玄武岩はマグマが固結して生じた主張した(火成論)。また、水の作用により地表が侵食され、堆積物は水底に体積し、やがて固化して岩石を生ずると考え、地球内部の熱(あるいは火)の力で地球表面は隆起し新しい陸地を生じたり、一部は変位して不整合関係を生ずると考えた。(荒牧重雄)」。

3) Huttonian Theory の生い立ち

James Hutton は、このように火成論、斉一説および不整合などの現代地質学の基本をなしている原理を構想し、その仮説を現場に出かけて実際の地質事象(証拠)に基づいて解明している。その成果を当時の世情からはきわめて勇気あることであつたろうと考えられる積極さで、講演したり(1785など)、論文に書いたり(1788、1794など)して発表している。すなわち、James Hutton は、1700年代の後半において、火成論を掲げその当時支配的であつた水成論(地球は厚く水に覆われており、始原海水から析出沈殿して始原岩ができるという説で、花崗岩や玄武岩なども堆積岩だとし、地球内部の火の力を考慮しない説、玄武岩水成説ともいう)に反論してたわいで、水成論者多数の不利な情勢下において徹底した迫害を受けるなどの過程があり、結局 Huttonian Theory が広く陽の目をみるようになるのは、James Hutton の亡き後であり、J. Playfair の「ハットン理論の解釈」

(1802、Illustrations of the Huttonian Theory)を経て、Charles Lyell の時代に至ってからである。1800年代に入ってからピークに達した火成論が漸く冷め始めていた時期であったが、Charles Lyell によって Hutton の理論が正しく評価され、1830年に出版された「Principles of Geology」において James Hutton の業績が紹介され、一方では Charles Lyell の地質学体系化の一つの基礎をなすことになった。

吉田鎮男博士(東京大学、1905.4)は、Siccar Point 巡検前後の Huttonian Theory 構想の経過を次のように総括している。「James Hutton は、当時欧州で通説となっていた Werner (独)の水成論(Neptunism)に反対して、1785年に火成説(Plutonism)を唱え、学界に衝撃を与えた。1788年に Siccar Point を訪れ、その実証で更に意を強くして、1788年、1794年に論文を発表し、そして、1795年に単行本を出した」と。

また、James Hutton が Siccar Point を訪れ、時間ギャップのこのことについて確証を得て、不整合の概念の基礎を作ったわけであるが、用語の使用という点では、「最初1805年に James が "Unconformable" という表現をし、これを1815年に Bakewell がドイツからイギリスへ導入、1915年には Pirsson and Schuchert が総合的な定義を論じて "Unconformity" という用語を使用している」と言えそうである(文献は後述)。

- 4) James Hutton による Siccar Point に関する講演論文および著書

(1) James Hutton's

System of the Earth、1785;
Theory of the Earth、1788;
Observations on Granite、1794;

together with Playfair's Biography of Hutton (Foreword by George W. White、Contributions to the History of Geology、1970、Hafner Publishing Company)、写真 1 参照。

- (2) James Hutton、1795、Theory of the Earth、with Proofs and Illustrations、Vol. I、Vol. II;

Printed for Messrs Cadell, Junior, and Davies, London; and William Creech, Edinburgh、1795。J. Cramer et H. K. Swann、Historiae Naturalis Classica、© of the series、J. Cramer、Wheldon & Wesley, Ltd.・Stechert-Hafner Service Agency, Inc.、Codicote, Herts.、Reprint 1972)。写真 2、写真 3 参照。



写真 1 James Huttonの文献(1) における表紙と見返。James Huttonの肖像
(Hafner Publishing Company 、1970、による)

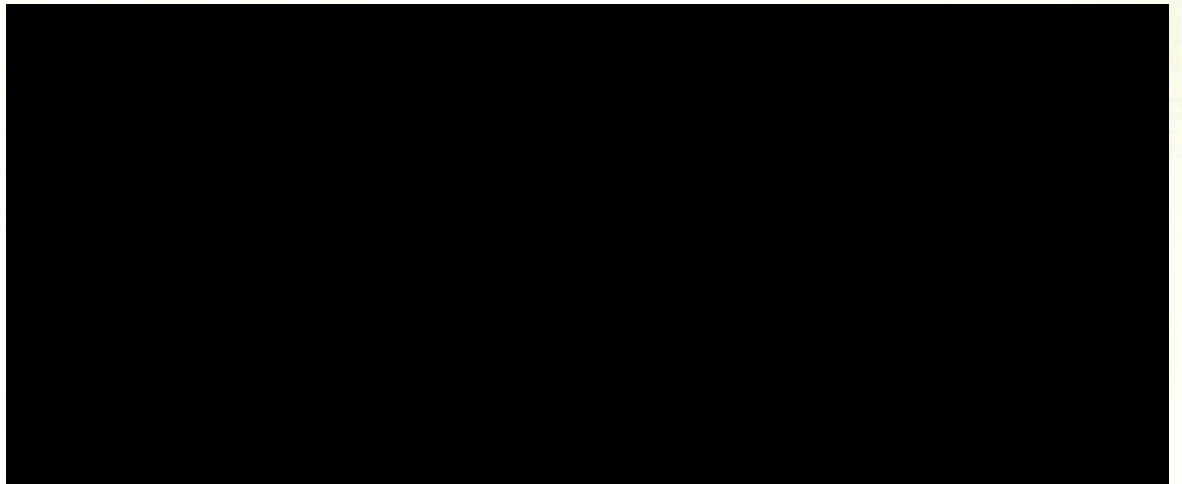


写真 2 James Huttonの文献(2) 、「Theory of the Earth」(1795) とその
その見返し表紙。左が Volume I、右が Volume II
(Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations. (1795)、
Printed for Mesers Cadell, Junior, and Daviesによる)

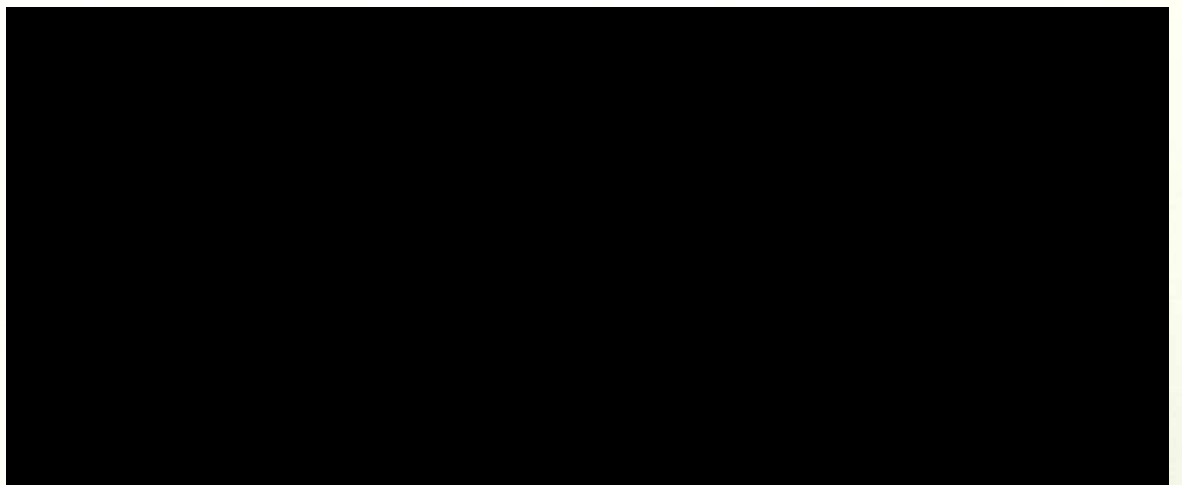


写真 3 写真 2の文献(2) における Chap. VIの見出しと Sect. II. の
うち Siccar Point に関する記載がある 458ページ

2. Siccar Pointに関する直接的記載

上述の James Hutton の文献のうち、少なくとも (1) の「System of the Earth」(1785) および「Theory of the Earth」(1788) は、James Hutton が地質学の一般的な基礎について講演した講話調の内容となっており、この中ではSiccar Pointという具体的な地名は見当たらない。

James Hutton がSiccar Pointという地名をあげて具体的に地質現象の記載をしているのは、「Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations Volume I」(1795) の458頁である。これは、「CHAP. VI. The Theory of interchanging Sea and Land, illustrated by an Investigation of the Primary and Secondary Strata」の章で、「Sct. I. A distinct View of the Primary and Secondary Strata.」に続く「Sct. II. The Theory confirmed from Observations made on purpose to elucidate the subject.」の中で記述しているもので、おおよそ次のような内容と訳される。

「初源および二次の鉱物体または地球（球体）の地層について明確な見解を得た。そして、私は自然史を調査したり例証したりするために現地調査を行うべきだという目標を得て、どこかで低地地方の地層と高山の片状岩（alpine schistus。ここでは便宜上片状岩と仮称することにした。以下同じ）との接触部を首尾よく見つけ出せるかも知れないと考えていた。

そこで、私は、Merse川の住宅と Edinburghの間にある山脈を度々横切って通行する機会をもっていた Whitehall の Mr.Hallを尋ねて、彼に Whittaterの川床の地層を調べてみってくれるように折り入って懇願した。そして、それは私を満足させてくれた。

Mr.Hall は、所有者の Sir James Hall が海外に出かけている間に、彼の所有地内郵便用道路の大改良を計画監理することになり、Pease 川 (burns)と Tour 川 (burns)を調査する好機を得て、私にTour 川 (burns)で片状岩 (Schistus) と砂岩層との接触部が見られるはずだということを知らせてきた。Playfair 教授と私は、かねてから Dunglass に Sir James Hall を訪問する予定でいたが、丘陵地と海岸沿いを鉱物探検をするのに最も適当な時期を選ぼうとその訪問を急がないでいたのである。Sir James Hall は1788年の春遅く出かけたが、Playfair 教授と私は、1788年 6月初め頃 Dunglass へ行った。我々は巡検中たいへん天候に恵まれ、私はいま観察結果を報告しようとしている。

Dunglass川 (burn) は、East Lothian 州と Berwickshire 州との境界にあり、その殆どが切り立った地層と水平な地層との境界と言って良いほどである。この小川 (burn) と美しい卿の豪邸 (または森) の北西方には、石炭、石灰岩、マール (泥灰岩) および砂岩からなる地層があり、かなりの間水平方向をなして海岸沿いに突き出しているように見えたが、南方の Lammermuir 丘陵を構成する片状岩 (schistus) に接近するにつれ傾斜が大きくなった。

しかし、この疑問をいだかせるような二つの事象 (地層) を画する境界線は、丘陵を登って行きながら最初に見た自然の情景から容易に察知することができたが、その明確な接触部には至ってはいない。接触部そのものは少ない場所でしか認められなかったが、岩盤が河川水もしくは海水で洗われて、接触部が露出していた。海水は海岸を弱体化せしめ、高さ約 200フィートの沿岸では徐々に岩石が崩落し、いくつかの場所では階段状の下り傾斜地を形成し、他所では急崖をなしていた。St Abb's Head や Fast 城は、海に突き出した岬にあり、この海岸の防波堤となっているが、この海岸は西方に向かって湾状をなし水平層を伴っている。堅固な地層は急崖にしる海岸にしるどこにでもある。接触部には、片状岩 (Schistus) からなる Dunglass から、Fast Castle に至る間ではかなり出会った。しかし、これは海路のみでなしえたものである。最初 Tour 川と Pease川 (burns) で接触部の調査に着手した。

川底においては、砂岩と泥灰岩の層が Schistus 側へせりあがるようにしてかなりの傾斜を示して露われていた。二つの小川 (burns) は海岸に達する前に合流しており、二つの地質事象の接触部が見られたのはこの合流地点と二つの窪地に架けられた橋との中途付近である。

片状岩の地層 (Schistus strata) は、ここで徐々に垂直に近づき、砂岩層は大きく傾斜している。しかしこれら異なる二つの地層の傾斜は逆向きである。これら二つの異なる地層の水平断面はどちらも接触部に平行に走っている。すなわち、それら二つの異なる地層の交点は水平な線をなしている。

Jedburghにおいては、片状岩 (Schistus) は垂直で、地層 (砂岩層) は水平であった。そして礫岩の混合層、種々の水を帯びた岩体の形成、片状岩層 (Schistus strata) の礫および斑岩をはさんでいた。我々は通常の礫岩がなくても類似の環境のもとでは同じ結果に

なっていることを経験で知っている。これらは割れ目と片状岩 (Schistus) の岩層であり、海底においては片状岩 (schistus) の破片が堆積した。片状岩 (Schistus) の破片の多くは、鋭く角ばっており、遠方へは移動しなかったか、あるいは磨耗により多く磨り減らなかつたかである。しかし、磨耗作用の性質は少しも変わっていないはずである。

Jedburgh においては切り立った片状岩 (Schistus) と水平な地層の間に夾ままっている礫岩は、ここでは、傾斜した地層の中に含まれている片状岩 (Schistus) の破片をまさに代表するものであった。

この接触部の線は、一方は東方の Fast 城の方へ、他方は西方の Dunglass 川 (burn) の岬の方へ走っており、我々はこの二通りの異なる方向の海岸主体に調査を進めた。その海岸は、Oldhamstocks あたりを埋めている地層に覆われた大きな礫浜だという記録があり、近くの概観からして接触部が出現するのではないかと期待された。

Dunglass 川 (burn) でポートに乗り、海岸の踏査に着手した。そして我々は片状岩層 (Schistus) の方へ上昇し、Pease 川 (burn) 近くで上方へまくり上がっている水平な砂岩層を観察し、St Helens の陸上と沿岸においては片状岩層 (schistus) と、Red Sandstone および泥質の地層との接触部を見つけた。そこは西方の小川 (burns) で我々が観察した接触部とおおむね符号するものであった。しかし、Siccar Point において、我々は海水に洗われて丸裸となっている接触部の見事な露頭を見つけた。その砂岩層は部分的に侵食され、部分的には垂直な片状岩層 (schistus) の端に残っており、多くの場所で片状岩層 (schistus strata) の突端は、大部分は侵食されすり減っているように見え、砂岩層の間を貫いて立ち上がっているのが見られた。この後、我々は再び片状岩層 (schistus) の岩層を含むそれら砂岩層の自然のままの断面を見つけた。

この後は片状岩 (schistus rocks) のみが続き、Red-heugh に至って再び垂直な地層の上に砂岩と泥灰岩がのっているのが見られるまでは他の岩石は何も現われなかった。

その湾から Fast 城に至るまで、St Abb's Head までは見事に片状岩層 (schistus) が続いており、この層以外には何もなかった。St Abb's Head に至ってその向こう側には片状岩層 (schistus) の上位に何かの地層が現われた。そして、海岸には赤色の粗粒玄武岩 (Whin-stone) または玄武岩の大きなブロックが高所から崩落して、海岸に横たわっているが、上方の岩塊が下方へ続き切り立って分布している片状岩層 (schistus) とどんな関

係にあるのかを明確にすることはできなかった。

我々は、いまこの調査で見つけ観察した片状岩類 (schistus) の見事な露頭の情景 (view) とその全体の断面に注意を注いでいる。以下省略。

なお、この Vol. I の巻末には Jedburgh における次のような見事な不整合の図が PLATE III として付してある (図-1)。

図-1 Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations. (1795) 3.1

(Printed for Messrs Cadell, Jun-ior, and Davies による)

3. Siccar Pointに関する文献・資料 (James Huttonの自筆分を除く)

1) 参考にした文献・資料の一覧

今回参考にした Siccar Point に関する Unconformity および James Hutton に関する文献は、上記したHutton自身の執筆または講演によるものを除くと次のとおりである。

- Charles Lyell, 1830-1833, *Principles of Geology* 3 Vols., Vol. I with a new Introduction by Martin J.S. Rudwickの60-69p
- 加藤武雄監修、1935、地学辞典、古今書院、472p ほか
- Charles Schuchert and Carl O. Dunbar, 1941, *Outlines of Historical Geology* United States Armed Forces Institute by John Wiley & Sons, Inc., 16p
- C.O. Dunbar & J. Rodgers, 1957, *Principles of Stratigraphy*, Wiley & Sons, Inc., 116-118p
- J.F. White, 1962, *Study of The Earth Readings in Geological Science*, Prentice-Hall, Inc., 11-17pp
- 岡田博有、1967、地角斜砂質堆積物研究の問題点、科学、Vol. 37, No. 5, 270-276p
- G.H. Mitchell・E.K. Walton・Douglas Grant, 1960, *Edinburgh Geology an Excursion Guide*, Edinburgh Geological Society, Oliver & Boyd Ltd., 89-101p
- 地団研地学事典編集委員会、1970、地学事典、平凡社、859p ほか
- J. Gillury, A.C. Waters and A.O. Woodford, 1951, 1959, *Principles of Geology* Modern Asia Edition, 20p, 33-34p, 141-143p
- Marland P. Billings, 1970, *Structural Geology*, Modern Asia Editions, 514pp
- J. Gillury, A.C. Waters and A.O. Woodford, 1975, *Principles of Geology*, Freeman Co. 527pp
- 上田誠也、貝塚爽平、兼平慶一郎、小池一之、河野芳輝訳、1983、アーサー・ホームズ著／ドリス・L・ホームズ改訂、一般地質学 I、東京大学出版会、100-105p
- Andrew D. Miall, 1984, *Principles of Sedimentary Basin Analysis*, Second Edition, Springer-Verlag 1990, 533pp ほか

- 村田明広、1987、ハットンの不整合 (Hutton's Unconformity)、地学雑誌、96-3、口絵
- G.Y. Craig, 1891, *Gelogy of Scotland*, Published by The Geological Society, 327p

- 武藤鉄司、1991、第13回ISC 巡検で観察したハットンの不整合、堆積学研究会報、34号、105-111p

2) 文献・資料の内容の一部紹介

- (1) Charles Lyell, 1830-1833, *Principles of Geology* 3 Vols., Vol. I with a new Introduction by Martin J.S. Rudwickの60-69p

Charles Lyell は この著書において地質学を体系的にまとめあげているが、その中で James Huttonの説を紹介し評価している。James Hutton にもっとも関わりが深いのは、3巻のうちの Volume I の「Introduction」の Huttonian Theory に関する記述部分 (60-69p) である。

Charles Lyell は、水成論に対する火成論の論争の実態について、「ヨーロッパ大陸では激論が巻き起こっていた。英国島民は彫刻刀型石器に関する全ての相似説に反対であった。その論争において、英国では、Wernerは、異論を唱えている弱者側の人達の防備活動に對して、反撃中の強者側の人達を刺激鼓舞さす程の影響はなかった。弱者異議論者達は大きな意気込みで Wernerian説の誤りを指摘するのに使う根拠を見いだそうと目論んでいた」と云うような主旨の説明をしたうえで、「多くの人達が反撃精神に燃えてこの論争に加わるようにするための誘導手段として、我々は、同時代 Saxon の地質学者 Hutton が発表した地球観 (views) のスケッチを読者に提供したい」と述べた。

そして、James Hutton について、「この博物学者は、医者への教育を受けたが、医者の開業を断って、若い時に父親から相続した何とか自立できるだけの収入があったのでこれに甘んじて生活することを決心して、それ以来ずっと科学的な研究に脇目もふれず励んできた。彼は、シンブルな彼の生活様式や誠実な彼の性格を受け入れてくれるような学識に造詣が深い人達が多く住んでおり、いかにも上流社会らしい土地柄である Edinburgh に住み、楽しく過ごしていた」と紹介している。

「彼の理論は不朽であった。彼は、鉱物学者としてそれなりの技術を修得していたが、しばしば England と Scotland の異なる地方を巡検して、地質学上の重要な包括的な

露頭 (views) にたどり着いて観察した。彼はその結果を漏さず公表した。彼は、真実を愛し追求することが彼の努力のすべてであり、唯一の刺激であるという強い信念をもっていたのである。James Hutton は、終に彼の理論である地球観 (views) をまとめあげ、1788年に、「Theory of the Earth」(Ed. Phil. Trans., 1788) を発表した。その後これを更に発展させて、1795年に同じ論文を発表した』。以下省略。

James Huttonは、「古代の遺跡は我々の惑星 (地球) の現在の構造の中で見ることができ。今日ヨーロッパ大陸を構成している地層は、一度海面下に没して侵食削削してしまい、以前から存在していた大陸の構成物が残存しているものである。未だに、もっとも堅硬な岩盤でさえ化学的分解や機械的な侵食によって削除されつつあり、削除された物質は海へ運ばれ、広範に散き散らされ、より古い地層と類似の地層を形成する。海底にはルーズに堆積しても、火山熱で変質したり固結したりしうえ、隆起したり、割れたり、あるいはねじ曲げられたりする」。

「James Hutton は、活火山地域については調査をしなかったが、玄武岩や多くの他の trap-rocks (筆者注；粗粒玄武岩、輝緑岩、ひん岩等の総称) は火成岩起源であり、その多くは古い地層内の割れ目を通じて熔融状態で貫入したと確信した。これらの岩石の緻密さや普通の溶岩に見られる異なる異なった外観は、海水圧下で冷却することによるものとみなした。この理論に対する異議を取り除く方法として友人の Sir James Hall は大きな好奇心を催し、学習的な化学実験に取りかかった。そして、結晶の配列と組織は溶解物質の高圧下における冷却によるものと仮定したので、これを証明しようとした。花崗岩に層序がなく、火成源と考えた岩石の鉱物特性が類似しているのは、花崗岩は溶解物質から形成されたと James Hutton は推論した。もし花崗岩と他の地層の接触部において trap-rocks 再現を見つけ出すことができなかったならば、この推論を十分に固めることはできなかったと感じた。この試験によって彼の理論を確かめようとして、彼は Grampians へ行き花崗岩の接触線とその上位に層をなしている地層を調査し、1785年に Glen Tilt においてもっとも明白なはっきりした証拠を見出した。この証拠が彼の論旨を支えるものである。

赤色花崗岩の脈岩は、基岩から分岐して黒色雲母片岩や初生の石灰岩を横切っているように見えた。この横切って層をなす岩石は、色が独特で産状が印象的で理論を説明するのに代表となるような外観をしており、接触部における石灰岩の変質は石灰質地層上の trap

-veinsによってもたらされたものとよく似ていた。この彼の理論の立証は彼を心から喜ばせ、同僚の案内者にも満願の喜びを表わし、彼の伝記作家に彼は銀か金の脈を発見したに違いないと確信したと言わしめた。彼は、同じ理論では、primitive という用語を受け入れず、primary と呼んだ primary Schistsの起源を説明できないことに気づいた。熱で変質を受けた堆積岩として考えなくなり、また実在する岩石が破壊変質して他の岩石ができたと考えた。

この花崗岩脈の重大な発見によって独自の理論を誘導するに至り、James Hutton は先輩達の地質理論 (システム) を大々的に改革すべく準備をした。Vallisneriが、生物化石を含まず、原理に通い疑い余地がない岩石が存在しているという、客観的な事実を指摘して、生物創造以前に形成された岩石であることを暗示した。

Moro, Generelli と他のイタリアの著者達は同じ学説を採用し、Lehmanは山脈に関する考察から、オ리지ナルな地球 (球体) の核に当たる部分を primitive と称した。この同じ教義の論文が Preyberg の学校においても信用されていたし、もし誰かが現存の万物の成り立ちを確立せんとする我々の研究を思い出して何かしようとするような場合に、これに対してを嫌疑をもち反論しようというような危険にさらすようなことがあれば、花崗岩質岩石生成にまつわる説が圧倒的な支持を得て勝利を得ることになろう」。

(2) Charles Schuchert and Carl O. Dunbar, 1941, Outlines of Historical Geology, United States Armed Forces Institute by John Wiley & Sons, Inc., 16p

この教科書の「Chapter 2 The Scale of Time」の章で次のように記述している。

「Scotland の地質学者 James Hutton は、1785年に "Theory of the Earth" を公にして、そのような風変わりな考えをひっくり返し絶滅させるための概念を述べた。

James Huttonは "The present is the key to the past" (現在は過去の鍵である) と論じ、現在行われつつある自然作用の全てが地球の地質学的容態を造り出しつつあるのだと主張した。この哲学は、実は Uniformitarianism (斉一説) の理論として知られているが、今日では研究者に広く受け入れられている。それは時間について無限の空間を必要とする考えである」。

(3) C. O. Dunbar & J. Rodgers, 1957, Principles of Stratigraphy, Wiley & Sons, Inc.,

116-118p

「Principles of Stratigraphy」の「Part II Basic Stratigraphic Relations」の「6. Breaks in the record」の章においておおよそ次のような記載がある。

「不整合 (Unconformities)」

「不整合の概念 (The Concept of Unconformity)」

「概念の発展 (Growth of the concept.)」

「沈殿物の堆積は、地球上のどこかで侵食作用が始まってからずっと続いており、全ての地質時代についての連続した地質記録が、海底では得られるかもしれない。しかし、この堆積岩類の研究をしてもわかっていることであるが、もしそのような記録があれば、我々が行って露頭を観るまでもなく、大陸ではその連続性に大なり小なりのギャップが生じているものである。その失われた層序間隙の長さは、不鮮明な層理面として記録されている暴風雨時間のような短時間のものから、Precambrian の岩層の上ののっている更新世の礫石粘土とか実際に地質時代の全てが欠如して地質記録にないというようなきまわめて長大な間隙期間のものまでである。

層序学記録においてそのような層序間隙があるということは James Hutton によって初めて認知された。James Hutton は、1788年に、Scotland Berwickshire の Siccar Point を訪れて、Sir James Hall and John Playfair の企業所有地内において、初めて Silurian の地層の端がひっくり返って上を向き、その上に Old Red Sandstone (Devonian) が横たわっているのを見た。3人の訪問者は、原始の片状岩 (Schistus, Silurian) が上昇して、変形し、そして次の二次の地層が堆積する前に部分的に侵食してしまっているのを見て、感動をもって層序間隙の概念が証明されたことを知った (Hutton, 1795, V. I, 458 pp)。

James Hutton は 間もなく南部 Scotland の他の場所において同様の関係をもつ露頭を見いだしたが、Playfair (1802) は、英国北部の Ingleborough 辺りににおいて、激しく褶曲した Silurian と Ordovician の地層が侵食で準平原化しているが、その地層の端の上位に Great Scar 石灰岩 (下部石炭紀) がのっているという共通した関係を記載している。

これらの先駆者達は、どちらも今日よく知られている用語は使っていないが、大きな不整合を見つけ、正確に解釈していたのである。「unconformable」という語は Bakewell

によってドイツからイギリスへ導入された (1815)。そして間もなく Hutton と Playfair が観察したような関係のみに適用されることが定着した。たとえば、Lyle (1838) は、「一つのシリーズの地層が他の地層の上ののっている際に、上位の地層面が下位の地層の端の上に横たわっている場合、地層 (Strata) は Unconformable であると呼ばれる」と記述した。同一または類似の定義は、19世紀では Lyle, Dana および他の教科書の執筆者によって繰り返し使われている。

最初、いかにも、層序間隙説は認知されたが、岩石の年代測定に化石が使われるようになり、1800年後に層位学が急速に発展すると、単調な平行な地層の中にも層序間隙が容易ではないにしても見つかることがある。Charles Darwin (1859) は、不朽の「種の起源 (Origin of Species)」(1859)において、層位学的な記録が不十分だということを強調し、多分地質時代の多くは成層している地層のことよりも層序間隙によって説明されるだろうと論じた。その Charles Darwin によって示された驚くべき識見は今や誰にも明らかである。

注目すべき層序間隙 (breaks) が認められるようになると、不整合 (discordance) が欠如している所でさえ不整合 (unconformities) が考察されたり、用語の適用範囲が広げられるようになった。

ニューヨーク州でいくつかの層序間隙のことが記述された後、Grabau (1905) は、「成層している二つの累層があり、その層間に大なり小なりの時間間隙 (timebreak) を含んでいる所ではその関係を言い表す用語が必要である。より古い地層がその後の地層が堆積する前に、褶曲を蒙っていたり、侵食を受けたりしており、そのような地層を unconformable という用語をあてて話すのは誤解を招きやすい」とした。そこで彼は成層した地層内における不整合 (discordance) に対する unconformable に限定して、disconformable と呼ぶことを提案した。そして、1913年に、彼は「例示されない層序間隙で分断されている地層は一般に unconformably の関係にあると呼ばれる。そのような関係にある unconformable には二つのタイプが認められるのではないか・・・その最初のタイプは、褶曲していない古い地層における不整合関係に対するもので、これに用語 disconformity (平行不整合) を提案し、第二のタイプは、後段の地層に先行してできた最初の地層が褶曲プラス侵食を蒙っているもので、この関係に限定させて用語 Unconformity を提案した」記述して

いる。

逆にPirsson (Pirsson and Schuchert, 1915) は、層位学的層序関係における全てのタイプの重要な層序間隙 (breaks) を網羅する総称的概念に対してUnconformityという用語を保持するように提案している。

彼は、Figure 57 に示すように、四つの基本的な構造関係のタイプを明らかにした。彼が命名はしなかった。代わりに、彼は地層間の層序間隙 (breaks) と平行な関係にある二つのタイプに対しては、Grabau's の

用語 disconformity (平行不整合) を受け入れ、他の二つのタイプに対しては、用語Nonconformity (無整合) を提案している。図-4 参照。「また、他方、Unconformity に結びつける意味は変わってきた。HuttonとPlayfairは露頭に刻まれている hiatus (筆者注; ハイエイクラス、不整合における層序間隙に符号する時間の長さ) の重大さと、消失している時間間隙の間に起きた事象に思い当たって感動した。

逆に、Lyell と Dana は構造関係 (Structural relations) に注意を集中し、Pirsson (Pirsson and Schuchert, 1915) は、Unconformityを二つの不整合的な累層を分断している面として定義づけた。

しかし、明らかに、地質記録にある層序間隙 (breaks) または hiatus は、不整合を意味づける一つの地象であり、平行な地層間にあっては見出し出すのが難しい不整合を認識するのに格好の理由づけになるのである」。

「定義 (Definition.)」

「不整合 (Unconformity) は、層位学的な層序の中に存在する時間の間隙であると定義してさしつかえない。相対的に長いそれなりの時間間隙が終ると、結果として堆積支配に変わる。一般的には、時間間隙の間には隆起と侵食を含んでおり、その結果地質記録の一部が消失することになる。この概念では、hiatusはまさに時間間隙を意味する。

不整合の面がある場所を見つけ、上下の地層は Unconformableな関係にあるとすると、Unconformable を連続する複合体

[L. un , not + con , together + formare , to shape of form]
の一部としては適用しない。

Unconformityという用語は、常に、二つの異なった感覚で用いられる。それは、hiatusそのものよりはむしろ層序間隙における上下の地層の地質構造的関係に属することであり、我々は、Unconformityの異なるタイプを見分け、時には Unconformable units を分断しているその面 (surface) に適用している。通常は文章の前後関係が不明瞭にならないようにしようとするため、結果として変化に言んだ扱いとなってしま

うのである」。

図-5 J. Gilluly, A. C. Waters and A. O. Woodford, 1975, Principles of Geology, Freeman Co. によるStaccar Pointの不整合概念図

(4) 地団研地学事典編集委員会、1970、地学事典、平凡社、560p

「斉一観 (説) (英) Uniformitarianism

(独) Uniformitarianismus

(仏) Uniformitarisme

過去の地質現象は現在の自然現象と同じ作用で、一樣に行われたとする考え。18世紀末 James Huttonが提唱。1830年代に C. Lyell によって強調された。従来の地球の理論には空想的ないし宗教的自然観が介入し、科学としての地質学の発展が制約された。こうした制約を断ち切るために提起されたもので、近代的地質学の確立に大きな意義があったが、その後の地質学の発展とともに初期の意義を失い、現在主義 (Actualism) と同様に解釈されるようになった。この語は「斉一説」または「斉一過程説」と訳されてきたが、山下昇は「斉一観」と訳した方がよいという。(今井 功、山下 昇)。

(5) J. Gilluly, A. C. Waters and A. O. Woodford, 1951, 1959, Principles of Geology Modern Asia Edition, 20p

「The record of the rocks」の章の中に、「The Present is the Key to the Past」という節を設けて次のように記述している。

「すべての科学のように、地質学は、間違いない幅広い一般概論を観察と実験によって集めたデータを体系化する学問である。これを学ぼうとする学徒は、批判的にこれらの学問体系のそれぞれの正当性を見い出そうとするであらう。

斉一説原理 (Uniformitarian Principle) は、1785年に Edinburgh の James Hutton が提唱し、これを1830年に英国の地質学者 Charles Lyell が教科書に書いて世に出し一般化させた。この “自然界 (法則) における斉一性” の原理は、「現在は過去の鍵である (The present is the key to the past.)」であり、とくに、適用上は、「地表面で長年かかって形成されている岩石 (Rocks) は、現在行われている作用のプロセスにしたがって考えれば理解され説明される」とした。以下省略。

(6) 村田明広、1987、ハットンの不整合 (Hutton's Unconformity)、地学雑誌、96-3、

口絵とその説明

村田明広博士は1986年に Siccar Point を訪れて同じ不整合露頭を観察し、この地学雑誌の口絵できれいなカラー写真4枚を紹介し、次のようにその詳細を説明している。

「ハットンの不整合と呼ばれる露頭は、スコットランドの首都エディンバラの東方約50kmのシッカー岬 (Siccar Point) の海岸にある。これは近代地質学の創設者の一人、ジェームズ・ハットン (James Hutton) によりその存在が推定され、1788年にみずからボートに乗って海岸沿いを探索中に発見されたものである。ハットンの不整合は、不整合という概念が初めて認識された露頭として非常に有名であり、海外から巡検で訪れる人も多い。ここではデボン系の上部旧赤色砂岩層 (Upper Old Red Sandstone) が、カレドニア造山運動 (Caledonian Orogeny) により褶曲したシルル系を傾斜不整合で覆う」。中略。

「この様にハットンの不整合は、起伏に富んだ不整合面上に水平な地層が堆積したアバット不整合であり、それら全体が後で緩く傾斜したものである」。

(7) 武藤鉄司、1991、第13回ISC巡検で観察したハットンの不整合、堆積学研究報、34号、105-111p

この報告論文は今回の海外調査の資料の一つとして参考にしたものである。

武藤鉄司博士は、第13回ISC (国際堆積学会議) のB2巡検に22名の一行とともに参加

され、Siccar Pointを訪れ、その巡検の概略やハットンの不整合の実態等をこの論文で報告されている。この報告論文から、Siccar Pointにおけるハットンの不整合に関する一部の内容を抜粋する。

「はじめに」の章で、「4日間にわたる巡検で22地点を訪れたが、それらを通じてもっとも印象に残ったのは、近代地質学の故郷とでもいふべきシッカー・ポイント (Siccar Point) である。シッカー・ポイントはエジンバラの東約50kmのところにあり、ミッドランド・バレー東海岸の南端に位置する (厳密にはバレーの外側)。いうまでもなくハットンの不整合 (Hutton's Unconformity) がそこにある。」と記載している。以下省略。

「ハットンの不整合」の章の中の「印象」という節においては、ハットンの友人の J. Playfair がハットン没後後述した内容を原文で紹介した上で、「1990年9月1日、筆者はB2巡検の一行に混じってシッカー・ポイントを訪れた。200年前ハットンをして不整合の概念を思いつかせしめた露頭の前にいま自分は立っているのだ、と思うと、胸の奥から熱いものがこみあげてくるのを禁じえなかった。あのときの気持ちは「感動」ということばで言い尽くせるものではない。いつしか頬がぬれてしたが、それに気づいたのはしばらくたってからだったと記憶している。ハットンの偉大な精神を実感できただけでも、B2巡検に参加した甲斐があった。地質学を勉強してきて本当によかった、とつくづく思った。」と記述している。

そして、「不整合の実態」の節においてその観察結果を次のように報じている。「ハットンの不整合は上位の上部旧赤色砂岩 (Upper Old Red Sandstone) と下位のシルル系との間の構造的ギャップを具現するものである。シルル系がほぼ直立しているのに対して、上部旧赤色砂岩は北西へ緩く傾斜する。一見して傾斜不整合とわかる。不整合は凹凸に富み、シッカー・ポイント全体では少なくとも10m以上の起伏がある。

不整合面下のシルル系は極細粒～細粒砂岩 (厚さ数十cm) と頁岩 (厚さ10cm前後) の互層からなり、灰色を呈する。内部堆積構造ははっきりしない。不整合の直上には厚さ数cm～数十cm以上の角礫 (Breccia) 岩が重なり、シッカー・ポイント地表面のかなりの部分はこれによって占められている。礫岩体はシート状のジオメトリをもつが、不整合面の局地的起伏を反映して側方に尖滅しているところもある。巡検案内書には “The breccia is framework-supported” とあるが、基質優勢のところも見られる。礫は淘汰不良で

数cm～50cmの長径レンジをもつ、ほとんど白色～淡灰色砂岩礫だけからなり、直下のシルル系起源であることを物語る。礫は北東への顕著なインブリケーションをもつ。インブリケーションの方向と礫の長軸方向とのあいだに明瞭な関係があるようには見えない。

角礫岩の上位には厚さ1.5mの平行層理砂岩が重なる。上部旧赤色砂岩がシルル系にアバットするところでは、平行層理のかわりにトラフ斜交層理が発達する。バリン女史（注：巡検案内者、テキサス大学）によれば、角礫岩⇔平行層理砂岩という岩層変化は、上で述べた角礫岩のすぐ下位の層準に少なくとも2回認められるという。

この露頭の現象を「バリン女史による解釈」という次節で次のように述べられている。

「バリン女史が現地で披露してくれた解釈をまとめると次のようになる。

不整合面の起伏からわかるように、上部旧赤色砂岩は側方への広がりを著しく制約された地形条件のもとで堆積した。礫のインブリケーションとトラフ斜交層理から南西への一方向流（Unidirectional flow）が推定される。この方向に伸長するチャネルがあったと考えればよい。この場合のチャネルとは、基盤たるシルル系の凹地形そのものを指している。基盤の近傍でトラフ斜交層理が発達するのは、基盤との摩擦による流速の低下と、基盤の不規則な凹凸地形のために乱流が発生しやすかったためである。

平行層理砂岩が卓越することから一時河川（ephemeral stream）による堆積が考えられる。ふだんは乾燥しているのだが、ごくまれに豪雨を経験するのである。豪雨時には洪水が発生し、それが幅狭のチャネルを通過するときはいっそう激流となる。この流れが旧赤色砂岩を堆積すると同時に、基盤（チャネル壁）を削削していった。ハットンの不整合は一時河川のチャネル下底面に他ならない。

平行層理はよく保存されており、平滑河床形が後に改変（modification）されたことを示唆するような証拠は認められない。このことは、洪水と洪水との間隙には低水位河川（low-water stream）が存在しなかったことを意味する」。

そして、筆者は引き続き「討論」の節で次のような見解を述べている（一部抜粋）。

『筆者は、バリン女史の解釈を一つの可能性として、大筋において受け入れている。とくに、地形的に制約された状況のもとで上部旧赤色砂岩が堆積したことは疑いの余地がないように思う。また、陸上堆積を前提にするならば、平行層理の発達の説明として一時河川を考えるのは普通のことである。堆積相だけだとシート状洪水（sheet flood）の可能

性もあるが、シッカー・ポイントの場合はチャネル内堆積が明瞭なのでその考えは成り立たない。トラフ斜交層理の成因については、ああそういう考えもあるのかといった感じで、とくにコメントするほどのことでもない。

角礫の多産は、それらの供給源がすぐ近くにあったこと、そしてチャネルの形成・成長がその堆積と（少なくともある一時期において）同時的に進化したこと、を匂わせる。現地でそう言われると、たしかにそんな気になり、あえて反対意見を唱える気分にならなかった。しかし、一般には（素人でもわかりそうなことだが）、一地点における礫の円磨度だけで供給源からの遠近を論ずるのは危険である。複数の地点（同一層準、同一層種）で比較しなければ、他人を納得させることはできない。

筆者が最も気にしたのは、一時河川堆積物の保存に対する見解である。バリン女史は、洪水の間隙には河川が存在しなかったと考えた（上述）。しかし、平行層理砂岩の改変状況だけでそのようなことを言うべきでない。むしろ、一つの可能性には違いないが、しかしそれ以外の解釈も充分可能であって、彼女の解釈だけをとくに採用することの論理的必然性はない。洪水が発生すると、それ以前の一時河川堆積物は多少なりとも削削されるはずである。チャネル内であればなおさらである。したがって、今日地層として保存されている堆積物は、当時の恒常的あるいは一時的な堆積作用の一部を表しているに過ぎない。バリン女史にこのように問いかけたところ、彼女に代わってフレンド教授が、「地層として保存されるに至ったのは、おそらく、1%にも満たないだろう」と答えてくれたので、少し安心した。

侵食基準面あるいは平行河川の考え方に立つと、一時河川堆積物が効率よく保存されるためには堆積盆（場）が沈降しつつあるとよい。それ以外にもいろいろの要因があるが、ここでは無視する。（以下省略）と述べ、さらに筆者は、堆積盆における一時河川堆積物の沈降速度を一つのモデルを用いて推論し数値でしめしている。