

海洋地質研究の過去, 現在, 未来

奈須紀幸¹⁾

1. はじめに

現在は西暦2000年1月である。明年, 21世紀を迎えるに当たり, 日本政府は大規模な省庁再編を断行することを決定した。明治時代初期以来, 輝かしい伝統を誇った通商産業省工業技術院地質調査所も改変の一環に組み入れられることとなった。その中であって, 新興の地質分野である海洋地質研究の波に合わせて, 1972年に地質部に海洋地質課が新設され, 次いで, 1974年に海洋地質部が拡大新設された。初代部長は礪見博博士であった。以来半世紀, 金属鉱業事業団所有の研究船「白嶺丸」, 「第二白嶺丸」なども活用して, 日本周辺の海洋地質調査, 太平洋域の海底鉱物資源調査, 南極周辺海域の石油・天然ガスの賦存状態調査も含めての石油公団の基礎地質調査への強力な支援など, 大きな業績の数々を挙げてこられた。

この海洋地質部も例外ではなく, 省庁再編の中に組み込まれる。それで, この変わり目に先立って, 「地質ニュース」に海洋地質部の成果の特集が組まれることとなった。

当初, 海洋地質部の創設を懇請した一人であった私に, 上記のタイトルで, 海洋地質研究の世界的情勢を概観するようにとの御指示を現部長・西村昭博士より頂戴した。その御趣旨に沿って, 世界及び日本におけるこの分野の進展経過の該貌を述べさせて頂く。

本誌の読者の方々は, 地質学分野を含めて地球科学の素養はお持ちであることを前提として, 専門用語は解説なしに随時使わせて頂くことをお許し願いたい。

例えば, 「玄武岩」, 「安山岩」, 「地殻」, といった類いの表現である。

また, 文中, 特別な場合を除いて敬称は全て省略させて頂くことをお許し願いたい。

2. 海洋地質研究進展上の大きな節目

西暦紀元前から航海の安全のために, 沿岸部から始まって, 沖合の浅瀬や礁の位置など, 海底地形の調査は次第に進展した。

ただ, 深海に関しては, 19世紀後半に入って, 科学的関心から本格的調査が開始された。

それまで水深は索を用いて測るために, 深海測深については, 多大な時間を要したが, 1920年代に入って, 音響測深法が開発され, 世界の海底地形は急速に明らかにされていった。

深海底, すなわち「海洋底」あるいは「大洋底」と呼ばれる部分は, 固体地球表面の約半分を占めるが, 永らく, 地球創生以来, 動くことのない永遠の静かな海底であったと考えられてきた。

1961年に提唱された「大洋底拡大説」, それを発展させた1967年に始まる「プレートテクトニクス説」は既成概念を全く破り, 深海底が, 中央海嶺系中軸部でマントル物質の湧き出しで新生し, 年間数cmから10数cmの速さで両側に拡大移動し, 大陸などと接するところでは, その下へ沈み込む場合も多いことを指摘した。

これは, 海溝, 地震帯, 火山帯, 島弧の成因や, 津波発生の原因などについての疑問を一挙に解決し, 海洋地質研究史の上で革新的な進歩をもたらした。

こうした動きと殆ど時を同じくして, 1961年に開始された深海掘削は, 海底の堆積物や岩石, その中に含まれる微化石, 基盤の岩石など実物試料を入手できるという強みを発揮して, 地球の古環境や

キーワード: 海洋地質

1) 東京大学名誉教授:

〒162-0055 東京都新宿区余丁町12-27-301

地球表層の動態を驚くべき速さで次々と明らかにしていった。

その動きは今なおとどまる所を知らず、日本も1999会計年度から、1隻の深海掘削船の建造に踏み切って国際協力に寄与することを決断した。

また、近年、高温高压実験の技術的進歩と音響トモグラフィー技術の進展は、地球内部の状態についての理解をここ10数年に亘って飛躍的に増大させてきた。

1983年に気付かれた「核・マントル境界」のD[”]層の発見、同年、やはり気付かれた地表下670kmに存在する上部マントルと下部マントルを分ける境界面の存在の発見は、マントルプルームについての研究を進展させ、海底域についても、プルームテクトニクスの影響の数々が存在することを明らかにしてきた。その勢は今なお盛んである。このマントル研究の進展ぶりの1992年頃までの状況については、南雲昭三郎が後述のJAMSTEC誌に詳述している(文献参照)。

深海掘削試料から明らかにされつつある古気候などの古環境は、氷期、間氷期、海水準変動などについての動態についても、多くの新知見を続々と提供中である。

1970年、深海掘削の結果から、大陸斜面の下それほど深くない場所の所々に海底面と平行して存在するガスハイドレート層が発見された。ガスと水が結合して凍りシャーベット状になったものである。ガスの相当量が可燃性のメタンと推定されている。

このガスハイドレート層の重要性については、その後追々と明らかにされていった。今日では、将来の地球環境を左右する重要な一要素であることが明らかになってきた。

こう見てくると、ここ40年ほどの間における海洋地質研究の進展が特に顕著であったことを示している。

海洋科学技術センターは、1971年10月、科学技術庁傘下の認可法人として設置された。以来30年、海洋地質研究の面でも大きな寄与を果たしてきた。このセンターが、1989年初頭から年4回の季刊誌の発行を開始した。

名を「JAMSTEC」という。創刊号から原稿の寄稿を依頼された私は、以来、足掛け12年、通巻46号になるが、「海に魅せられて半世紀」と題して執

筆してきた。

生い立ちの頃から、27歳で本格的に海洋地質研究にかかわるようになるまでのいきさつ、その後、76歳の今日まで、大発展を遂げつつあるこの科学分野の進展ぶりを私、日本、世界の立場からこのJAMSTEC誌に記してきた。従って、本文に述べてある事項や参考文献、図表の類の殆どは、このJAMSTEC誌に記載してある。文献のページ数も1枚以内と限定されているので、主にこのJAMSTEC誌から孫引きして頂くことをお願いしたい(文献参照)。

3. 地質調査所と調査・研究船

現状として地質調査所は直属の地質調査船を所有していない。通商産業省(以下、通産省と略称)は、海底鉱物等資源開発の時代の迫っていること、そのことも含めて、国連海洋法の進展、および排他的経済水域の設定の気運の盛り上がり等考慮され、日本としても調査資料の先行的獲得の必要性を深慮されたのであろう、地質調査所に海洋地質部を設置すること、ならびに地質調査所直属の地質調査船の配属を企図された。

それは、海洋地質課設置に先立つ1年前の1971年のことであった。ベテランの高木 淳 東大名誉教授・漁船協会会長を委員長とする「地質調査船建造委員会」が組織された。私も委員の一人として参画した。事務担当は鉱山石炭局であった。

当時は国家公務員定員削減が国政の一大基本方針であった。人事院との折衝で、直ちにこの地質調査船の国家公務員としての乗組員の純増が極めて困難であることが判明した。そこで通産省は、傘下の金属鉱業事業団を地質調査船の所有者とし、運航は民間委託とすることを決定した。従って、乗組員は民間会社の社員となる。半官庁船ともいべき新しい機構が生まれたのである。

同じ1971年半ばには不肖私が団長を仰せつかって、視察団を組織し、5人のメンバーで欧米の研究・調査船の資料収集を行った。その資料は実に役だった。白嶺丸が生まれる頃の経緯の詳細については、文献(奈須,1996b, 1996c)を参照された。

同じ1971年、科学技術庁傘下の認可法人として

海洋科学技術センター・JAMSTECが新設された。それから10年を経て、1981年、外部にも開放された有人潜水調査船「しんかい2000」が、その前年に支援母船である「なつしま」が就航した。その後、海洋科学技術センターでは次々と数隻の研究・調査船を建造されたが、運航形態は、白嶺丸にならって半官庁船形式を取り、民間委託で、運航のための乗組員は運航会社の社員である。

以上述べたような事情があって、地質調査所の所員が日本で乗船利用する研究・調査船は、多くの場合、金属鉱業事業団所有の「白嶺丸」、第2白嶺丸、東京大学海洋研究所の「淡青丸」、白鳳丸、海洋科学技術センター所有の「なつしま」、「よこすか」、「かいいい」である。これに有人潜水調査船「しんかい2000」、「しんかい6500」、1万m級の無人探査機「かいかう」の利用が加わる。

日本では、この他に、海上保安庁水路部が多くの専門家を擁して海底地形・海洋地質構造研究を活発に実施しているが、外部研究者の利用の機会が少ない。従って本稿では、水路部関係の測量船の詳細については割愛させて頂く。

ところで海洋地質研究進展の過去・現在を知るための捷径として、時代背景を含めながら、また私が関与した事項も付しながら、諸事項を以下時代順の年表の形をとって本文末に紹介させて頂く。

なおこの年表の作成には、今井 功(1966)、今井 功・片田正人(1978)、宇田道隆(1978)の著作から多くの事項を引用させて頂いたことをお断りしておきたい。

4. 海洋地質研究の行く手に見えるもの

海洋地質研究は、ここ半世紀ほどの間に、驚く程の進展ぶりを見せたが、卒直に言って、まだまだ緒についたばかり、というのが真相であろう。

そもそも「海洋学」に対置される言葉は「陸上学」である。が、人々の概念の中に、そういう言葉は存在しない。人類が定住する陸上の諸現象は複雑多岐に亘るので、学問分野としても「陸上学」でまとめるという発想は生じてこない。

海洋もその内容は陸上に劣らず複雑多岐である。ただ人類との接触の度合が陸上に比べて、従来、はるかに希薄であったので、「海洋学」という表

現でまとめても矛盾を感じないというのが現状である。

換言すれば、海洋の研究はことほど左様にまだ揺籃期の段階にある、と心得るべきであろう。

そのことは、海洋地質の研究についても同様であり、将来、発展し、深化すべき内容を多種多様に包含していると謙虚に考え、一方、期待を持ってよいのではないかと私は常々感じている。

海洋地質研究の将来の方向としては、全球的に等密度でデータを取得し、その密度をより細かく設定して精度を挙げるのが一つ、その中で、例えば、「沈み込み帯」やこれからの資源が期待される「大陸斜面」のようにより重点的に調査の精度を先行して上げて行く方策が取られるようになるのである。

技術的には、今後も当面は、3次元あるいは4次元のマルチチャンネルサーベイによる連続的音波探査による海底地質構造およびその経年的変化の探査、深海・中深海・浅海の掘削による堆積物や岩石の実物試料の採取、ピストンコアラ、コアラ、ドレッジによる海底表層の堆積物・岩石の採取が主力手段として用いられるのであろう。

そして、深海掘削計画が、地球の古気候や古環境を随分と明らかにしてきたように、海洋地質と海洋の他分野との関連についての総合的研究が盛んになることが期待される。

古来、真理の探求は、人間の崇高な行為としてたたえられてきた。そのことは今日でも変わることのない科学・人文の研究者のよりどころである。ただ、現在のように人口が増え、産業が興隆し、その結果としての自然環境の破壊が進む事態となると、真理の探求の結果得られた真実を、周辺の生物も含めて人類の将来の生存、換言すれば、子孫のために役立てることを常時、心に保つべきであろう。これは、モラルの問題である。

そうした意味の一環として、最近私は「新・万里の長城」の建設を提案するようになった(奈須, 2000a, 2000b)。

現在進行中の地球温暖化現象の中には明らかに人為的なものが含まれている。その結果としての氷河の溶融による海水準の上昇は、珊瑚礁国家の水没や、沿海部への海侵を招くという大規模な災害をもたらすので、極力、国際的な協力体制のもと

で食い止めるべきである。

これは常識の範疇に入る問題である。

一方、将来の気候ならびに海水準変化の動向が予測できなかったので、現在を含めた過去1万年ほどの期間を「後氷期」の名で呼んできた。

しかし、既述したように、海洋地質研究の結果、メタンハイドレートの崩壊・大気中への開放のリズムに支配されて、緩やかに進展する氷期と短期間の温暖な気候を持つ間氷期の組み合わせの1サイクルが、約10万年の期間を以て過去60万年ほど繰り返されてきた事実が明らかになった。

現在は温暖な気候の下にある間氷期であり、自然のリズムは、恐らく数千年後から次第に次の氷期に入ることを示唆している。

そうすると、やがて北半球の高・中緯度の大陸の広範な部分は、2万年前、そうであったように、大陸氷河の下に埋没する。これを防ぐ手段はないか。

一つの解決策は、現在の気候を維持すること、あるいはより好ましい気候を人為的に現出することである。

低緯度海域に、海底から索でつなぎ止めた太陽光エネルギーの吸収板と反射板を多数配置する。海中や大気にエネルギーを適当に供給するためである。恐らく、海中への供給の方がより多量になるのであろう。

赤道上空に常時、太陽に正対するようにエネルギー転送ロケットを推進せしめて、地球表面へエネルギーを供給することも考えられる。これらの装置は言うまでもなくコンピューターで管理される。

これを私は「新・万里の長城」と名付けた。

もとより、このような装置を操作するためには、現在より遥かに精密に地球の海洋・大気・陸地の実像を知る必要がある。

千年をかけて地球の実像を追求し、その後の千年をかけて実像追求と平行しつつ設計し、さらにその後の千-2千年をかけて建設するならば、次の氷期の襲来を防ぎ得るであろう。3-4 ミレニアム計画である。

多大の経費を要することは明らかである。国際的合意が必要である。が、他の惑星に人工地球を建設する構想が幾つかあるが、経費的にはそれらと見合うものではないかと推定している。

子孫のために、私たちの世代は、この程度のこと

とは構想すべきであると考えている。

ともあれ、このように考えてみると、海洋地質研究の前途は洋々たるものがある。

諸賢の奮起を願ってやまない。

文 献

- 榎本祐嗣(1999):史料に見る地震津波発光,地学雑誌,vol.108, no.4, p.433-439.
- 藤井昭二・奈須紀幸編(1988):海底林,東京大学出版会,163p.
- 今井 功(1966):黎明期の日本地質学,ラティス,193p.
- 今井 功・片田正人(1978):地球科学の歩み,206p.
- 以下,JAMSTECと記してあるのは,海洋科学技術センターが年4回発行する機関誌を指す.
- 石川県松任市教育委員会(2000):石川県松任市沖海底林調査報告書,47p.
- 南雲昭三郎(1991a):地球深部への旅(その1),(以下同題),JAMSTEC,vol.3,no.1,p.22-29.
- 南雲昭三郎(1991b):JAMSTEC,vol.3,no.2,p.24-36.
- 南雲昭三郎(1991c):JAMSTEC,vol.3,no.3,p.18-26.
- 南雲昭三郎(1991d):JAMSTEC,vol.3,no.4,p.33-39.
- 南雲昭三郎(1992a):JAMSTEC,vol.4,no.1,p.12-25.
- 南雲昭三郎(1992b):JAMSTEC,vol.4,no.2,p.19-27.
- 南雲昭三郎(1992c):JAMSTEC,vol.4,no.3,p.22-30.
- 南雲昭三郎(1992d):JAMSTEC,vol.4,no.4,p.23-31.
- 奈須紀幸編(1976):海洋地質,東京大学出版会,215p.
- 奈須紀幸(1989):海に魅せられて半世紀(I),(以下同題),JAMSTEC,vol.1,no.1,p.40-44.
- 奈須紀幸(1990a):JAMSTEC,vol.2,no.1,p.31-36.
- 奈須紀幸(1990b):JAMSTEC,vol.2,no.2,p.35-41.
- 奈須紀幸(1990c):JAMSTEC,vol.2,no.4,p.38-42.
- 奈須紀幸(1991a):JAMSTEC,vol.3,no.1,p.30-34.
- 奈須紀幸(1991b):JAMSTEC,vol.3,no.2,p.37-44.
- 奈須紀幸(1991c):JAMSTEC,vol.3,no.3,p.27-30.
- 奈須紀幸(1991d):JAMSTEC,vol.3,no.4,p.40-46.
- 奈須紀幸(1992a):JAMSTEC,vol.4,no.1,p.19-25.
- 奈須紀幸(1992b):JAMSTEC,vol.4,no.3,p.32-38.
- 奈須紀幸(1992c):JAMSTEC,vol.4,no.4,p.32-39.
- 奈須紀幸(1993a):JAMSTEC,vol.5,no.2,p.18-28.
- 奈須紀幸(1993b):JAMSYEC,vol.5,no.3,p.8-17.
- 奈須紀幸(1993c):JAMSTEC,vol.5,no.4,p.12-20.
- Nasu, N. (1994): Marine Geology and Geophysics, MEGA-SCIENCE:THE OECD FORUM, OCEANOGRAPHY, 167p., p.53-67.
- 奈須紀幸(1995a):JAMSTEC,vol.7,no.1,p.8-15.
- 奈須紀幸(1995b):JAMSTEC,vol.7,no.4,p.10-15.
- 奈須紀幸(1996a):JAMSTEC,vol.8,no.1,p.6-14.
- 奈須紀幸(1996b):JAMSTEC,vol.8,no.3,p.13-20.
- 奈須紀幸(1996c):JAMSTEC,vol.8,no.4,p.9-18.
- 奈須紀幸(1996d):固体地球,(ザ・科学,太田次郎・奈須紀幸・飯田陸治郎・小森長生・荻原祥宏・後藤道夫著,318p.),日本放送教育協会,p.66-144.
- 奈須紀幸(1997a):JAMSTEC,vol.9,no.1,p.8-17.
- 奈須紀幸(1997b):JAMSTEC,vol.9,no.2,p.1-16.
- 奈須紀幸(1997c):JAMSTEC,vol.9,no.3,p.10-26.
- 奈須紀幸(1997d):JAMSTEC,vol.9,no.4,p.1-25.
- 奈須紀幸(1998a):JAMSTEC,vol.10,no.2,p.1-15.

奈須紀幸 (1998b) : JAMSTEC, vol.10, no.3, p.5-21.
 奈須紀幸 (1998c) : JAMSTEC, vol.10, no.4 p.1-27.
 奈須紀幸 (1999) : JAMSTEC, vol.11, no.3, p.1-27.
 奈須紀幸 (2000a) : 低緯度海域に新・万里の長城を, 海産研NEWS, no.30, 海洋産業研究会, p.10.
 奈須紀幸 (2000b) : 低緯度海域に新・万里の長城を, (奈須紀幸編, 国際海洋シンポジウム1999), 日本財団, 294p., p.140-143; p.278-281.
 宇田道隆 (1978) : 海洋研究発達史, 東海大学出版会, 331p.

付録 海洋地質研究進展の年表

- 1831-36 英国のCharles Darwin, 世界周航探検の英艦Beagle号に便乗, その際の見聞により, 「珊瑚礁の成因」を発表。これは後年証明された。また進化論の基礎となった「種の起源」という有名な著作を表した。
- 1840頃 生物進化を反映する古生物化石による相対年代による地質時代区分が成立した。
- 1840 スイスのJean Agassizは, 迷子石の存在に着目し, かつてヨーロッパ北部の相当広範な部分が大陸氷河に覆われていた可能性を発表した。それから氷河研究が盛んとなり, 大陸氷河が伸長した氷期と, それが衰退した間氷期の存在が明らかにされた。平行して北米大陸でも同様な研究が進められた。こうした研究の結果, 命名された氷期と間氷期の名称を第1表に示す。
- 1868.09.08 慶応4年より明治元年へ改元。明治維新の時期に入る。

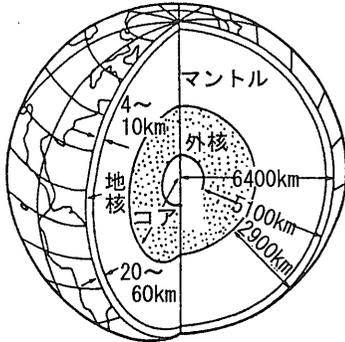
第1表 ヨーロッパ大陸と北米大陸の氷期・間氷期・後氷期の名称。

ヨーロッパ	北米
Recent (Postglacial) (完新世) (後氷期)	
Würm G. (ウルム氷期)	Wisconsin G. (ウィスコンシン氷期)
Riss/Würm Ig. (リス・ウルム間氷期)	Sangamon Ig. (サンガモン間氷期)
Riss G. (リス氷期)	Illinoian G. (イリノイ氷期)
Mindel/Riss Ig. (ミンデル・リス間氷期)	Yarmouth Ig. (ヤーマス間氷期)
Mindel G. (ミンデル氷期)	Kansan G. (カンザス氷期)
Günz/Mindel Ig. (ギュンツ・ミンデル間氷期)	Aftonian Ig. (アフトニア間氷期)
Günz G. (ギュンツ氷期)	Nebraskan G. (ネブラスカ氷期)
Donau/Günz Ig. (ドナウ・ギュンツ間氷期)	
Donau Glacial (ドナウ氷期)	

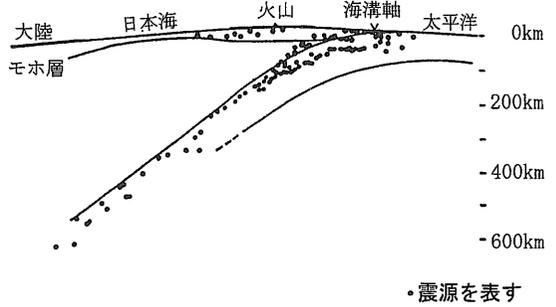
G: Glacial (氷期) Ig: Interglacial (間氷期)

筆者とりまとめ(奈須, 1998c).

- 1870 (明治3) 水路事業開始。翌年, 海軍省水路寮開設。
- 1872-76 (明治5-9) 英艦 Challenger I 世号, 世界周航の本格的な深海探検調査を史上初めて実施。マンガン団塊, 赤粘土の存在発見。深海生物の新種多数発見。画期的な深海底地質研究への進出となった。日本にも寄港。横浜, 瀬戸内海にも入る。
- 1875-85 (明治8-18) Edmund Naumanはドイツのミュンヘン大学卒業後, まもなく来日, 東京開成学校教授, 東京大学理学部地質および採鉱冶金学科教授, 地質調査所の前身である内務省地理局地質課課員などを歴任しつつ, 精力的に本州, 四国などの地質調査を実施した。その結果, フォッサ・マグナ, 中央構造線などの存在を指摘し, 日本列島地質構造の概要を明らかにした。その功績はまことに大である。
- 1877 (明治10) 東京大学設立。理学部に地質および採鉱冶金学科設置。
- 1877 東京気象台開設。
- 1878 (明治11) 地質調査所の前身である内務省地理局地質課設立。
- 1880 (明治13) 東京大学理学部地質学科独立。以後, 諸大学に, 地質, 鉱物, 地理, 地球物理の諸学科が設立されていった。近年は, これら諸学科の惑星地球科学科への統合や創設の傾向が顕著である。
- 1882 (明治15) 農商務省地質調査所創立。
- 1883 ウィーン大学教授 Eduard Suessが, 石炭紀からジュラ紀にかけて, 化石分布から見て, 北方の大陸群に対して, 南方に一つの大きな大陸が存在したことを見出した。彼はこの南方の大陸をGondwanaと名付けた。そして, 北方の大陸群とゴンドワナの間に横たわる東西方向の海に対して, Tethys (テチス, 古地中海) の名を与えた。
- 1890 (明治23) 中央気象台設立。
- 1895 Pierre Curieは, 物質ごとに異なるが, 温度が上昇してゆくと, 強磁性を持つ物質の磁性が急に希薄になって常磁性になる温度があることを発見した。この温度を, キュリー点, あるいはキュリー温度という。鉄のキュリー点は約770°Cである。
- 1896 フランスのAntoine-Henri Becquerel, ウラニウム塩から発する放射能(ベクレル線)発見。これがその後のキュリー夫妻の放射能研究の端緒となった。
- 1898 Marie Curieはベクレルのウランの放射能の発見に注目し, 夫のPierreの協力を得て, ウラン原鉱であるピッチブレンドを化学処理し, 新たに二つの放射性新元素を発見した。ポロニウムとラジウムである。ラジウムはウランの400万倍の放射性を持つ。放射性元素は, 正確な比率で崩壊してゆく。従って, 放射能の残存量を測定することにより, 正確な時計として用いられることが分かった。このラジウムの発見を契機として, 放射性鉱物の絶対年代の測定が可能になり, 相対年代に重ねることによって, より正確な地質年代の決定が可能になった。現在でも絶対年代試料の増加に伴って, 地質年代については, 数年ごとに微修正が続いている。
- 1901 20世紀に入る(明治34)。
- 1909 ユーゴスラビアのM.Mohorovičić, 地殻とマントルの境の地震波反射面を発見。モホロヴィッチ不連続面とかモホ面, あるいは単にMohoと呼ぶ。地殻の厚さ, 大陸の平原部の下で20km程度, 高山部の下で60km程度であること判明。
- 1912.7.30 明治45年より大正元年へ改元。
- 1912 C.Richter, B.Gutenberg, 地震波より固体地球内部のマントルと核の境を地表下2,900kmに発見。リヒター・グーテンベルグ面, またはグーテンベルグ面と名付けられる。
- 1912 論文で, 1915, 著書で, Alfred Wegener, 大陸移動説提唱。



第1図 固体地球の内部構造(奈須, 1997a).



第2図 和達=ベニオフ面(奈須, 1996d).

古生代後半、一つにまとまっていた超大陸がその後、分裂・移動して現在位置まで移動したと考えた。この超大陸に対してPangaea (パンゲア)の名を与えた。大陸は、永遠に動くことのない海底の上を滑るように移動したと考えた。化石分布と古生代末の大氷河時代の大陸氷河の痕跡の分裂状態を調べてこのような推論に達した。支持する証拠、反論する証拠ともに乏しく、議論を呼んだ。

- 1914-18 第一次世界大戦。
- 1917 ロシア革命。帝政終焉、共産政権発足。
- 1919 超音波音響測深儀実用化。音波の水中伝播速度は約1,500m/sec. 索による測深と異なり、短時間のうちに広範囲の海底地形調査が可能となり、海底地形の解明、以後、大いに進む。精度はやや落ちるが、可聴音測深も汎用される。
- 1923.9.1 関東大地震。後年、フィリピン海プレートの沈み込みに対する関東地方の反撥が招いた広域地震であったこと判明。
- 1928 J.Joly, マントル内に熱対流の存在を想定。
- 1929 A.Homes, マントル物質の湧き出しによる海底拡大により大陸の分裂・移動を招くと説明。正論であったが、翌年、ウェゲナーが遭難死したこともあって、注目を集めず、忘れ去られた。
- 1929 松山基範, ある玄武岩の中で、逆向きの磁化発見。後年、地磁気逆転・正転の繰り返しの事実発見の端緒となる。記念して「松山期」の正式名称あり。
- 1935 Inge Lehmann, 地震波研究により、地表下5,100kmに外核と内核の境を発見。レーマン面と名付けられた。核は高温・高圧下にある鉄が主成分と想定。外核は液状, 内核は固相と判断した。これで固体地球の内部構造の推定が完成した(第1図)。
- 1935 和達清夫, 日本海溝軸から沿海州の地下約700kmにかけて深発地震の震源が集中する面を発見。後年、沈み込み帯の存在考察の端緒の一つとなった。第二次大戦後、米国のH.Benioff, 他の海溝にも同様の面が存在することを発見。和達=ベニオフ面(帯)と称されるようになった。ただし、ベニオフは逆断層の面と解釈した(第2図)。
- 1939-45 第二次大戦。海洋研究中断。スウェーデンは中立を維持し、沿海で研究を続行した。B.Kullenbergは、piston corerという柱状採泥器を発明し、海底の堆積物を縦方向に数mから30数mの長さ巨って採取することに成功した。戦後、このクーレンベルグ・ピストンコアラーは、大いに活用され、現在でも多用されている。
- 1941 ユーゴスラビアのM.Milankovitchは、他の惑星などの引力の影響の多少による地球軌道のゆらぎを20年間ほど研究し、5個の周期としてのサイクルがあることを発見した。これを「ミランコヴィチ・サイクル」という(第2表)。ただ、10万年サイクルは弱い、とした。

後年、深海掘削試料は、この10万年サイクルが際立って強いことを示した。この矛盾は、1998,B.U.Haqによって解かれた。

- 1943-55 この期間の奈須紀幸の研究経過を以下概略説明。1943. 東京帝国大学第二工学部航空機体学科入学。1945.終戦により航空機体学科廃止(進駐軍命令)。物理工学科新設。そちらへ移籍。一貫して流体力学専攻。1946.同学科卒業。
- 1947 東京大学理学部地質学科入学。大塚弥之助教授に師事。
- 1950 同卒業。卒論で「砂泥互層の成因」を流体力学的に説明する部分包含。間もなく大塚教授逝去。旧満州より帰国間もない坂本峻雄教授(堆積学)に師事。相模湾・東京湾で海洋地質研究開始。
- 1951-55 日高孝次教授の推薦でカリフォルニア大学SCRIPPS海洋研究所留学。Francis P.Shepard教授, Douglas L.Inman助教授に師事。堆積物の動態を流体力学的に解明してPh.D.取得。帰国。以後、主力を海洋地質研究に注ぐ。留学中の所長はRoger Revelle. 留学中, Shepard教授の最初の Ph.D.取得弟子である Robert Dietz,K.O.Emery等と昵懇になる。
- 1953 留学途中, スクリップス海洋研の研究船Baird号のWESTPA Expeditionでアリューシャン列島のエーダック島から函館, 東京, 神戸まで乗船。初めて深海研究に従事。当時の最新の設備に慣れる。EDO音響測深儀で日本海溝の横断地形取得。大陸斜面と海溝斜面の間に緩傾斜の平坦面(後年、深海平坦面と名付けられる)の存在に気付く。以上。

第二次大戦前後の海洋地質研究の先覚者。

- 米国のFrancis P.Shepard教授
- オランダのPh.H.Kuenen教授
- 日本の田山利三郎・水路部課長兼東北大学教授
- 日本の新野 弘・東京水産大学教授, 他。
- 1945 米国のHarry Hess, 大戦中、中部太平洋で1,000m前後の水深に頂上を持つ数多くの単体平頂海山を発見。戦後直ちに発表。

第2表 ミランコヴィッチ・サイクル。

年
19,000
23,000
41,000
約100,000
413,000

(筆者とりまとめ)。

- Guyot (ギョー)というニックネームを付す。
- 1945-55 Ph.H.Kuenenを含むオランダ学派3人、超大陸からの大陸片の分裂・移動は、地球創生間もない頃起こったと提唱。従って、「深海底は永遠の海底である」という概念はなお継続された。原始、高温で熔融状態にあった地球の内部では、一つの大きな熱対流が巡っていた。冷えるにつれ、その上昇流の上に軽いシアルが浮かび出て原始の超大陸が形成され、地球表面の3割ほどを覆った。残りの海底に当たるシマの部分も固化して固体地球となった。その頃、地球内部に鉄分などが沈み、固化した部分を生じた。熱対流はマントル内で幾つかに分裂した。超大陸は熱対流の下降流の上に分裂・移動した、という説明がなされた。この考え方は当時、定説として一世を風靡した。
- 1947-48 スウェーデンのAlbatross号、第二次大戦後初の世界周航の深海調査。Hans Pettersson指揮。12,000m長のテーパード・ワイヤー(径12-22mm)を使用した。上述のように、クーレンベルグのピストン付柱状採泥器を深海底で始めて使用。大きな成果を取めた。
- 1948 Ph.H.Kuenen, turbidity current (乱泥流)の概念を水槽実験に基づいて提唱。深海底までの浅海堆積物の遠距離運搬のメカニズム明らかとなる。
- 1950-51 米国のEdwin Hamiltonら、ギョーの頂上より試料採取。白亜紀の1億年ほど前の造礁珊瑚の化石と玄武岩の破片を採取。ギョーの頂部が波食により平坦化された時期を約1億年前と解明。海域ブロックとして突然50m以上の沈降が起こった場所でギョー群が形成されたと判断。継続的沈降をしたブロックでは海面まで造礁珊瑚が成長して環礁を形成していると解釈。ダーウィンの説の正当性を支持した。
- 1950年前後 Columbia大学Lamont Geological Observatory (以下、ラモント研究所という)のMaurice Ewing所長は、海中人工爆破音により、深海底下の地殻の厚さを測り、それが大陸地殻の厚さよりはるかに薄く、5-10km程度であることを見出した。
- 1950-52 デンマークのGarathea号、世界周航の深海調査。Anton Brunn 指揮。アルバトロス号のテーパード・ワイヤーをガラテア号に移し代えて使用。大きな成果挙げる。
- 1953 R.Dietz, 来日。水路部にて研究。
- 1954 R.Dietz, 水路部滞在の成果として、戦前の日本の海図より北西北太平洋に海山列の存在発見。「Emperor Seamount Chain (天皇海山列)」と命名して発表。
- 1957 英国のS.Runcornの一派、全世界に散り、古地磁気試料を採取。北磁極の移動経路が各大陸ごとに異なって現在の北磁極に収斂する事実を発見。ウェゲナーのいう古生代末からの大陸移動の形に沿って、大陸片を元に戻せば、移動経路が世界的に一致する事実を発見。ウェゲナーの大陸移動説の正当性を支持した。この時点で、オランダ学派の固体地球創生時の大陸移動の概念は終止符を打たれた。
- 1957 スクリップス海洋研の著名な海洋物理学教授Walter Munkは雑学会の持ち回りで、自宅庭での朝食会の席上、4kmほどの水深の深海底から下、地殻の厚さ4kmほどの場所を探して、その上に深海掘削船を浮かべて掘削すれば、マントル物質試料が入手できることを示唆した。これを受けて、スクリップス海洋研所長のR.Revelle, ラモント研究所長のM.Ewing, 朝食会に同席していたH.Hess等が熱心に運動して、後年、深海掘削を実現して多大な成果を挙げた。深海掘削は今日なお活発に継続中である。
- 1957-58 本間 仁・奈須紀幸・飯島 東ら、東海村沿岸部の多数のボーリング試料解析。現・久慈川の右下に巨大な古久慈川の埋積谷発見。
- 1959.6月 上記のメンバーで、東海村沖の大陸棚の堆積物調査。現

在のwave baseは水深15-20m程度であり、砂質堆積物が構成主体で、移動しやすいことを学ぶ。1959.6月。気象庁海洋観測船「凌風丸」は、ロックフェラー財団の援助を得て、13,000mのテーパードワイヤー(先端径17mm)、1万m以上測深可能な音響測深儀、ピストンコアラ、ドレッジなど海洋地質、海洋生物研究の設備を増設して、日本深海研究(JEDS)を開始した。JEDS-1航海に奈須乗船。3脚付きピストンコアラを考案製作し(2m長)、日本海溝ラマボ海淵で8,450m深の採掘に成功した。JEDSシリーズは、日本の深海研究の先導的な役割を果たし、1964頃終結した。

1959.7月 坂本峻雄・奈須紀幸・加賀美英雄ら、東京湾口の海底地質調査。

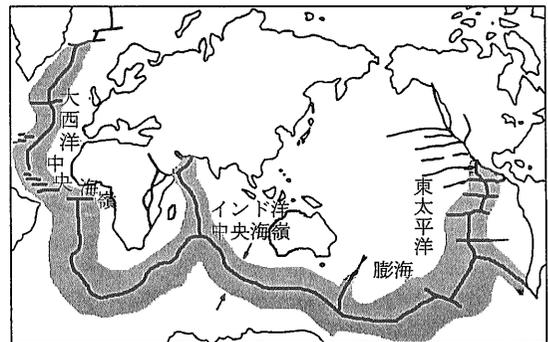
1959.8-9月 ニューヨークで、戦後初の世界海洋学会議開催。重要発表極めて多数あり。日本よりも数十名参加。奈須も参加。¹⁴Cによる年代測定結果、¹⁸O/¹⁶Oによる古水温試料の発表多数あり。スクリップス海洋研のCurry-Separによる最終氷期以降、18,000年前から5-6千年前までの大陸氷河溶融による汎世界的な海水準上昇の軌跡と、以後の海水準安定の軌跡の提示は、大陸氷河の消長に連動する海水準変動の量的提示としては世界初のものであっただけに、その後、この方面の研究の一大発展の端緒となった。

また、この会の半ば、スクリップス海洋研所長のR.Revelleより、深海掘削計画の実現に翌年より着手すること、その名を、将来、モホ面の貫通を目標として「Mohole計画」とするプレス発表が行われた。

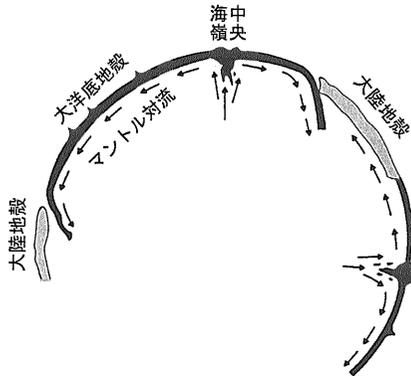
1959.9-10月 奈須, N.Y.に残留し、ラモント研究所に通って学ぶ。所長・M.Ewingの厚遇を得た。Bruce Heezenの中央海嶺中軸部の地溝の存在の説明、初めて目にするスーパーカー記録に深い印象を受けた。音波探査による海底地下地溝の記録は連続性なので、将来、海洋地質調査の主力手段の一つになることを直感した。

1950年代 ラモント研究所のBruce Heezenは、遅く巻き取る記録紙を用い、数分おきに船尾の後方の海面近くでダイナマイトを爆発させつつ世界の海洋の海底地形の見直しを行った。大西洋から開始した。結果は、従来の海図とは異なり、全海洋のほぼ中央を取り巻く「中央海嶺系 mid-oceanic ridge」の存在を明らかにした。50年代後半に入ってから、次々に各海洋の海底地形図を発表した。いずれも従来の海図を一変するものであった(第3図)。

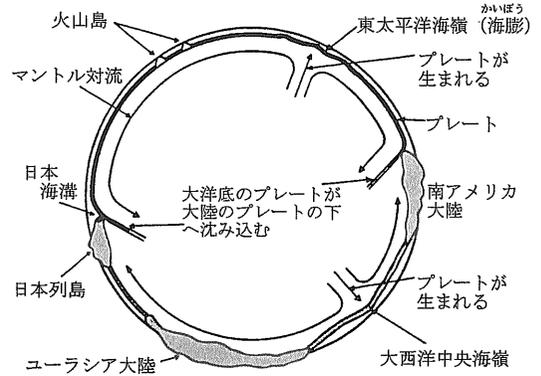
当初、横圧で山脈が形成されたと考えた。上記のように山並みの頂上近くに連続する地溝を発見した。そこで、この中軸部は、マントル物質がマグマ化して湧き出し、海底大山脈を形成したものと解釈した。そして、この山脈形成による海底



第3図 ヒーゼンが発見した中央海嶺系と中軸部の地溝 (奈須, 1996d)。



第4図 大洋底拡大説による固体地球表層の動き (奈須, 1996d).



第5図 プレートテクトニクス説による固体地球表層の動き (奈須, 1996d).

の幅の拡大分だけ地球の径が大きくなったと解釈した。

- 1951 英艦チャレンジャーVIII号, マリアナ海溝で世界最深部発見。10,803m。チャレンジャー海淵と命名。
- 1954 フランスの有人潜水調査船バチスカーフ、アフリカのダカール沖で4,050mの潜水に成功。
- 1958 バチスカーフ来日。日本海溝などで潜水。
- 1959-64 気象庁の凌風丸、深海用ワイヤーと深海用音響測深儀を装備して、日本海溝、伊豆-小笠原海溝などで日本深海研究(JEDS)を実施。戦後日本の深海研究復活のさきがけとなる。リーダー・和達清夫。
- 1960 フランスの有人深海潜水調査船バチスカーフ・シリーズのアルシメデの姉妹船トリエステを1958年、米海軍は購入した。そして1960年1月、世界最深のマリアナ海溝チャレンジャー海淵で潜水し、1回だけ着底した。乗船者は、設計者親子の子の方のJacques Picardと艇長の米海軍のDon Walshであった。水深は10,911m+。着底前にエビの類を目視しているが、着底時のにごりの為に、写真などはとれなかった。また、当時、窓を通しての目視のみなので、試料採取はなかった。しかし、人類が世界最深の場所に到達した偉大な記録である。その後、40年、この記録は破られていない。後述するように、海洋科学技術センターの無人調査船「かいこう」が同海淵の底から多数の試料を得た。無人ではあるが、これもまた、世界に誇るべき快挙である。この海淵の最深部は、公式には、1984年、水路部の測量船「拓洋」の音測によって得られた水深10,920±10mとされている。
- 1961 ユネスコ政府間海洋学委員会 (IOC) 発足。
- 1961 地質調査所に国産の連続音波探査装置、いわゆるスパーカーの第1号機が入った。中条純輔が中心となり、1959の東京湾口調査域の上をカバーし、よい成果を得た。沈水した数段の河岸段丘と、未埋積の河床の跡が明瞭に現れた。この古い河川の跡に対して「古東京川」の名を冠した。東京湾の中では、古東京川は完全に埋積している。

1961-62 大洋底(海洋底)拡大説の提唱。
 深海底は固体地球創生以来、永遠に静穏な不動の場であったという概念が根本から覆った大きな変換点となった。この時点を契機として海洋地質研究は飛躍的進展を遂げる段階に入った。中央海嶺系中軸部に湧き出すマンテル物質は、中央海嶺系の高まりを形成するのみならず、その先へと深海底の地殻が、年間数cmから10cm程の速さで拡大移動する。そして、冷えて重たくなりつつ遠距離を移動した場合には、行き着く先で、他の大陸地殻や古くから存在する海洋底地殻に接触すると、活動縁縁域を形成し、沈

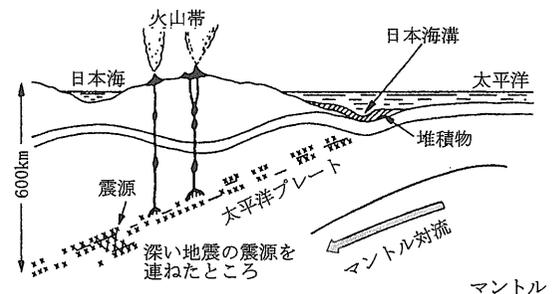
み込み帯・海溝やトラフ・地震帯・火山帯・造山帯などが形作られる。

大西洋兩岸のように拡大の距離が短い場合には、接触部は非活動縁縁域となり、相手の地殻を横押しに押すだけの形となる(第4図)。

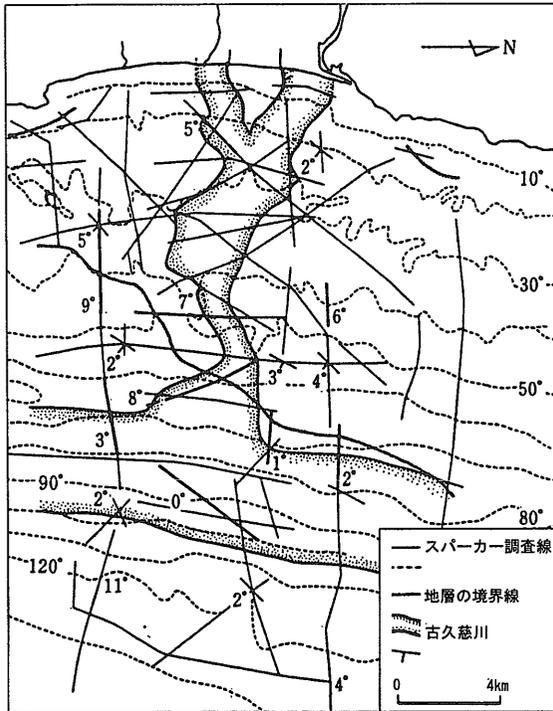
この大洋底拡大説は、1961年にRobert Dietzが、翌62年にHarry Hessが提唱した。ただ、Dietzが発表する前に、Hessは草稿の形で、この考え方についてのコメントを広く仲間に求めていた事実があるので、Dietz-Hess,あるいはHess-DietzのOcean Floor Spreading Theoryと一般的には呼ばれている。

6年後の1967-68、移動拡大する深海底は地殻とそこに載る堆積物のみでなく、マンテル最上部の固化した部分も含む岩石圏であるプレートであると修正された。そのため、諸現象をより合理的に説明できるようになり、定着した。プレートの動態をplate tectonicsという(第5図)。

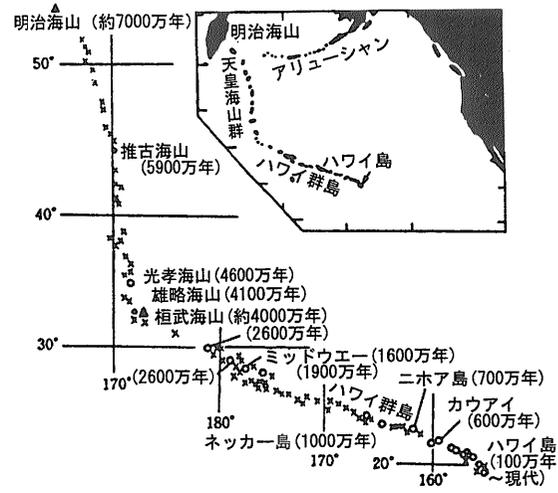
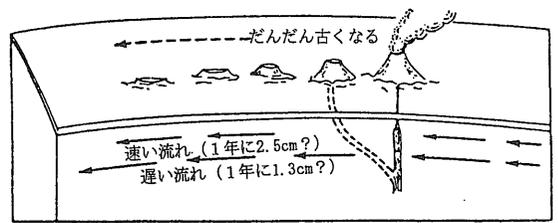
一方、この大洋底拡大説に対して、それ以前からソ連のVlodimir Belousovは、地殻は経年的に花崗岩質になったり玄武岩質になったりして変質する。前者の場合、軽くて厚くなるので大陸となり、後者の場合は重たくて薄くなるので海洋底となる。従って、縦方向に変化を繰り返して大陸となったり海洋底となったりすると考え、横方向の移動には重きを置かない学説をとった。当時、このベローソフ説をとる研究者もソ連・日本などでは多数あり、長らく論争が続いたが、現在では、プレートテクトニクス説派が大勢を占めている。後年、1977年に米国のS.Seelyが沈み込み帯における深海底堆積物と基盤玄武岩の上層が、受け身側の大陸や島弧プレートの下面に次々と削り剥がしてゆく、という付加現象 (accre-



第6図 沈み込み帯で生起する諸現象 (奈須, 1997a).



第7図 東海村沖の大陸棚下に埋積している古久慈川の流路(加賀美英雄・奈須紀幸, 1964による)(奈須, 1996d).



第8図 ホットスポットとしてのハワイ列島 (Wilson, 1963) (上図) とハワイ=天皇海列の年代 (Jacksonら, 1972) (下図) (奈須, 1997b).

tion) の概念を提示した。付加した部分を付加体(帯) (accretional wedge) という。この考え方の導入により、沈み込み帯における、それまで疑問とされていた多くの現象が解明された。この付加現象をも加えた沈み込み帯の断面を第6図に示す。もとより、この中に示される多くの現象は、大洋底拡大説提唱時とプレートテクトニクス提唱時の間には殆ど気付かれて発表されていたものである。それらの事項を以下列挙する。

大洋底プレートの沈み込みで、両プレートの接触線は下降し、海溝のような狭い帯状の超深海やトラフのような舟状海盆を形成する。和達-ベニオフ面は、プレート相互の摩擦面となるので、震源の集中面となる。それ以外の場所でも二次的な局地的震源の震源が散在する。

二次的に大陸側が地割れを起こし、縁海と島弧を形成することがある。

両プレートの接触面が深さ90-150kmの範囲では熱・圧力条件でマグマが発生しやすく、膨張して軽くなるので、上部の弱線を通して地表まで火山として噴出し、火山帯を形成する。移動する大陸プレートが他の大陸プレートの下に沈み込む場合もある。この場合も含めて、世界の火山帯の成因はすべて上記のメカニズムによる。

両プレートの接触面に近く、海溝軸に近い方は浅いが圧力が高い。ゆえに低温・高圧型の広域変成帯が形成される。結晶片岩を典型とする。海溝軸から遠い方の火山帯の下部付近では、圧力はやわらぐ代わりに温度は地下深くなるので高くなる。従って、この付近では高温・低圧型の広域変成帯が形成される。片麻岩を典型とする。

沈み込むプレートに対して受け身側のプレートは、圧力を受けてたわむ。中央に高まりの造山帯としての山脈が形成され、その前後の麓に窪みである前弧海盆と背弧海盆が形成される。この窪みが堆積物で埋積されると、それぞれ前弧堆積盆と背弧堆積盆になる。前弧堆積盆の上面は深海平坦面となり、大陸斜面と海溝斜面を分かつ。

大陸や島弧の中に分布するオフィオライト(ophiolite)は、その内容から遠洋性底質起源という説が提唱されたが、一旦、付加体の中に取り込まれた遠洋性物質が、さらに陸側の地層に混入するという経路で現在の場所に存在するようになった、と合理的に解釈されるようになった。

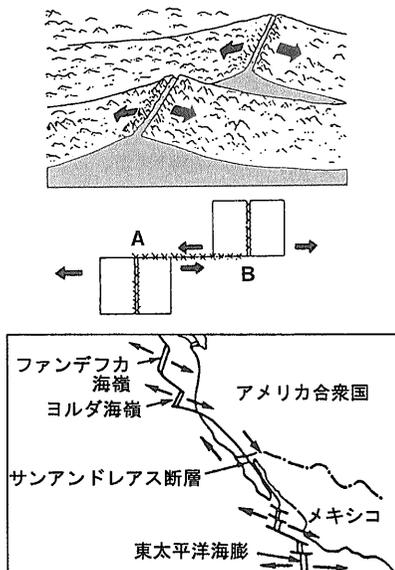
大洋底から聳える下部は火山、上部は石灰質の環礁が沈み込み、付加体を経て、例えば日本列島の地質の中に混入される場合も多々有り得ることが想定されるようになった。調査の進展につれ、秋吉台石灰岩は、こうした起源のものであることが判明した。そして、日本列島には、沿岸の浅海沿いに発達した造礁珊瑚の化石体と単体環礁の化石体とが併存することが判明した。

1961 史上初の深海掘削実施。米国のCUSS 1号(3,000t)、カリフォルニアとハワイの間の東太平洋で掘削。水深3,560m。掘削深度177m。海底から171mまで堆積物。最下部の6mは玄武岩であった。そこで先端のビット(切り刃)が消耗し尽くした。目的のモホ層までは遥かに及ばなかったが、出だしは大きな成功を収めた。

1962.4.1 東京大学に全国大学共同利用施設の海洋研究所設置。初代所長・日高孝次教授。7月、奈須、理学部より海底堆積部門担当の教授として移籍、以後1984の停年まで務む。

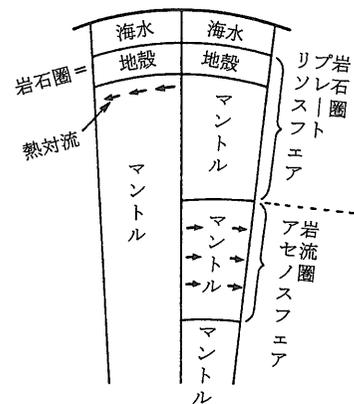
1962 東海大学に海洋学部新設。

- 1963 東大海洋研の研究船「淡青丸 (258t)」就航。その第一航海で、NEC製連続音波探査装置 (地質調査所に次いで本邦 2 番目) を使用して東海村沖の大陸棚を調査、氷期の海水準低下時に下刻していた古久慈川の流路を発見。現在は完全に埋積している (第7 図)。参加者、奈須紀幸・加賀美英雄・木村政昭・朴 元千、他。1982, 淡青丸の代船 (470t) 建造就航。
- 1963 F.Vine, D.Mathews, 海面走航中、得られた全磁力の平均値に対する異常値が、中央海嶺系中軸部に対して線対称の縞模様を描く理由を説明、地磁気逆転・正転に対応する記録と指摘した。この研究の過程で、北米西岸・米加国境付近沖に小規模の中央海嶺系中軸部の存在を発見。サン・アンドレアス断層の本質の解明に寄与した。
- 1963 R.Dietz, サンフランシスコ付近の地層中のオフィオライトの観察から、ophiolite は大洋底物質起源であると説く。
- 1963 カナダの J.Tuzo Wilson, ホットスポット (hotspot) 説提唱。中央海嶺系中軸部のような線としてのマントル物質の湧き出し口に対して、点としての湧き出し口があってもよいと考え、ハワイがそれに当たるとした。ホットスポットは海洋底地殻より下に在ると考えた。従って、この付近の地殻は西北西に向かって移動しているので、ホットスポットが湧き出しているのは、現在、火山活動が盛んなハワイ島のみで、オアフ島など西方のハワイ列島は死火山であると解釈した (第8 図)。後、この軌跡はミッドウェイ島を経て天皇海山列まで続くものと解釈された。北端の明治海山の年齢は約 7 千万年前なので、ハワイのホットスポットの活動は少なくとも 7 千万年以上、継続していることになる。
- 1963-64 国鉄・鉄道建設公団の委託で備瀬瀬戸の主として音波探査による海底地質調査実施。東大海洋研側、本座栄一・加賀美英雄・奈須紀幸、他、国鉄側、伊崎 晃・持田 豊、他の協力調査。本州-四国連絡橋のルートとして、現・瀬戸大橋のルートを推薦。採択され 1988 完成。

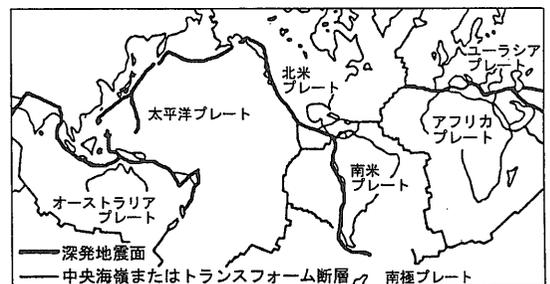


第9 図 トランスフォーム断層 (Wilson, 1965) (上図) とトランスフォーム断層としてのサン・アンドレアス断層 (下図) (奈須, 1997b)。

- 1964-65 奈須, UNESCO・IOC (政府間海洋学委員会) の派遣でブラジルに赴き、アルミランテ・サルダーニア号 (3,000t) に乗船、海洋地質の教官を務む。南西大西洋を約 2 ヶ月弱調査する。鶴見精機製ピストンコアラーによる採泥、次々とブラジルにおける最深記録を更新。太平洋と大西洋の赤粘土の色の違いを実感。
- 1965 J.T.Wilson, トランスフォーム断層・transform fault の考察発表。中央海嶺系中軸は、所々で断層で切られ、横方向にずれている。しかし、マントル物質の湧き出しは、断層でずれた後も今なお継続している。第9 図に示すように、断層のずれた部分の両側では、プレートの拡大・移動の方向は逆になる、というもの。直ちに正論として広く認められる。直後、北米大陸西岸のサン・アンドレアス断層は、東太平洋海嶺中軸部の延長ではなく、トランスフォーム断層であり、地震による動きは横方向であることが理解された。沈み込み帯の地震とは初動を異にする。
- 1967 東大海洋研の大型研究船「白鳳丸 (3,200t)」就航。大きな成果を挙げ、1989, 代船 (3,987t) 建造就航。1967-68, 地球への理解を格段に進歩させたプレートテクトニクス (plate tectonics) 説の登場 (第10 図)。英国の D.P.Mckenzie, 米国の R.L.Parker, W.J.Morgan, フランスの Xavier Le Pichon らが、相前後して提唱した。固体地球表層の固化した岩石圏は、地殻にマントル最上部を加えた厚さ 60-200km



第10 図 プレートの断面 (左: プレートテクトニクス提唱前。右: プレートテクトニクス提唱後) (奈須, 1996d)。



第11 図 ル・ピションが当初提唱した世界のプレートの分布と名称 (奈須, 1997b)。

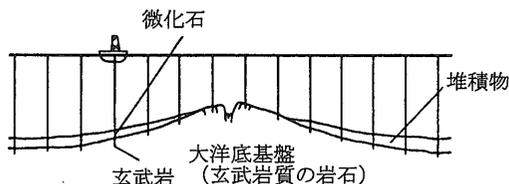


第12図 その後、細分されたプレート分布の名称(奈須, 1997b).

(平均100km程度)の部分であることが地震波の研究より判明。プレート(plate)と名付けられた。その下のアセノスフェアにはマンデル対流の存在が想定された。プレートの動態をプレートテクトニクスということは先に述べたが、大洋底拡大によって引き起こされる諸現象は、プレートテクトニクスによっても矛盾なく説明できることが分かり、そのまま継承された。岩石圏・lithosphereはそれまで地殻を指していたが、この時点からプレートを指すことになった。第11図に当初、ル・ピションが考えた世界のプレート分布図を、第12図にその後より詳細にされたプレートの分布図を示す。

1968 米国のJ.Hertzler, 地磁気の縞模様などを用いて、広範囲で海洋底の年齢を算出し、等年代線を数多く描いた。大洋底は絶えず更新しているの、3億年を超える古さの場所はなさそうである。日本列島南方の西太平洋に最古の海洋底が存在する見当がついてきた。

1968 深海掘削船 CUSC 1号のテストの掘削の後、4万t級のライザー付深海掘削船の建造に米国は着手したが、費用がかかり過ぎて建造を中止した。関係者はモホまで掘り抜くという方針を当面棚上げし、全世界的に、海底から数百m、あるいは数千m級の掘削を行い、古環境などの試料を得ることに方針を代えた。それで、既存の石油掘削船を改造して科学的掘削を目的とする外側のライザーなしの単管の掘り管のみを持つ Glomar Challenger号 (10,500排水t)を建造就役せしめた。この掘削船はよく活躍し、Leg 1航海からLeg 96航海まで実施し、1983、洋上活動を終えた。その後、2年間は陸上で試料研究を続け、1985から、後継船のJOIDES Resolution号 (9,799t, 18,600排水t)が活動を引継ぎ、Leg 100航海から再開して2000年2月現在、Leg 188を南極ブリッツ湾において



第13図 DSDP-Leg3による大洋底課拡大説ならびにプレートテクトニクス説の検証(奈須, 1996d).

実施中である。Leg 1からLeg 44Aまでは米国のみの主導、1975のLeg 45から国際化された。この段階で、日、英、仏、西独、ソ連が参加した。運航経費は、米国の政府機関であるNSFが支出している。国際化された段階で、この運航経費について、原則として、米国の50%、参加諸国が合わせて50%ということになった。NSFに払い込む訳である。現在では参加国の数は相当増えている。

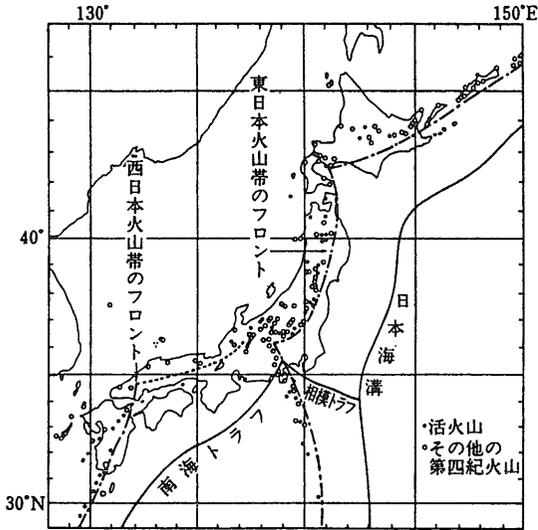
深海掘削計画はDSDP (Deep Sea Drilling Project)と総称する。運航の最終決定権は運航者側にあるが、実施の計画・立案をする諮問委員会としてJOIDES (Joint Oceanographic Deep Earth Sampling)が機能している。Leg 1からLeg 44AまではDSDPプロパー、Leg 45から以降は日本では国際深海掘削計画と総称する。国際的には、Leg 45からLeg 96までのグローマー・チャレンジャー号使用期間をIPOD (International Phase of Ocean Drilling)、Leg 100以降2003年の終了予定までのジョイデス・レゾリューション号使用期間をODP (Ocean Drilling Program)と呼んでいる。

1969 グローマー・チャレンジャー号のLeg 3で、第13図のように、南大西洋において、大洋底拡大説を実証した。すなわち、深海地堆積物最下底の微化石の年代と直下の玄武岩の絶対年代が、どの場所でも一致したこと、中央海嶺系中軸部から左右対称に、遠ざかるにつれ、微化石も玄武岩も年代が古くなってゆく、という事実を得たのである。

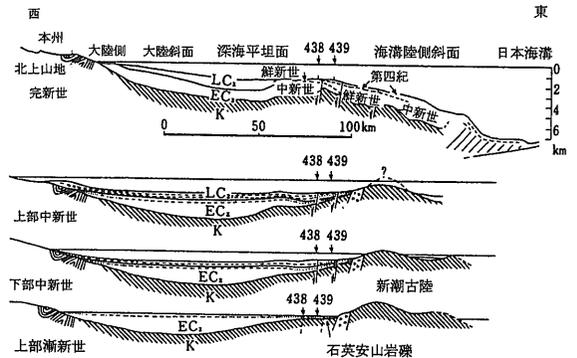
1970 深海掘削で大陸斜面の下からガスハイドレート発見。

1970 米国のR.S.DietzとJ.C.Holendenは、インド亜大陸について、ウェゲナーらが考えていたように、ずっとユーラシアプレートの一部だったのではなく、当初アフリカプレートの東縁の一部であったものが、分裂してインド洋を北上し、後ろに破片としてのマダガスカル島を残してユーラシアプレートに衝突した、と考え発表した。そこで、広大な古地中海の一部を完全に潰し、チベット・ヒマラヤ山塊の高まりを形成したものと解釈した。ヒマラヤ山塊の高所の地層から海の貝化石が数多く出現する理由も、このように解釈すれば納得できるとした。これは後に正論であることが証拠づけられた。

1970 プレートテクトニクスの考え方が提唱されてから、日本列島周辺のプレート分布についての解釈が進んだ。大局的には、ユーラシアプレートの東端に太平洋プレートが沈み込む。そのため、二次的に日本海、オホーツク海、フィリピン海などの縁海が形成され、日本列島は大陸から分離され島弧を形成した。このうち、フィリ



第14図 杉村 新による東日本火山帯と西日本火山帯の分帯(奈須, 1996d).



第15図 IPOD-Leg57によって発見された親潮古陸の沈水と日本海溝の形成 (R.von Huene・奈須紀幸らによる)(奈須, 1996d).

ン海は規模も大きく、現在、自ら小規模の海底拡大を継続中であり、北方および西方に向かってユーラシアプレートの下に沈み込み中である。そのため、西南日本の南方に、相模トラフ、南海トラフといった沈み込み帯を形成している。西に向かっては琉球海溝、フィリピン海溝を形成している。

西行する太平洋プレートは、オホーツク海、東北日本、フィリピン海プレートの下に沈み込み、千島海溝、日本海溝、伊豆-小笠原海溝、マリアナ海溝を形成する。後に東北日本は、ユーラシアプレートの一部ではなく、北米プレートの西端であるという見解が出てきたが、1970年当時はまだユーラシアプレートの一部というのが常識であった。

同年、杉村 新は、従来、七つの火山帯に分類されていた日本列島の火山帯を整理し、太平洋プレートの沈み込みに対しての「東日本火山帯」、フィリピン海プレートの沈み込みに対しての「西日本火山帯」の二つの火山帯に分類した。明快的解釈であった(第14図)。この解釈から、火山帯の海溝・トラフ側には明瞭な限界線があり、それを超えては火山が噴火しない事実が認識された。この限界線を火山フロントという。

1971.10月 認可法人・海洋科学技術センター設置。日本の強力な海洋研究機関の一つが追加された。

- 1981 有人潜水調査船「しんかい2000」完成。
- 1980 同母船「なつしま」完成。
- 1989 有人潜水調査船「しんかい6500」完成。
- 1990 同母船「よこすか」完成。
- 1995 無人探査機「かいこう」完成。
- 1995 同母船「かいかい」完成。
- 1997 海洋地球調査船「みらい」完成。約8,600t.超大型の研究調査船である。原子力船「むつ」の原子炉を外し、大幅な改造を加えた新造船にも等しい優れた船である。トライトンブイの展開などに早速活躍中である。
- 1999 地球深部探査船(日本のライザー付深海科学掘削船)の建造に着手。2003年完成予定。「しんかい2000」および「しんかい6500」は、多大な成果を挙げ、沖縄トラフなどの縁海で、熱水チムニーやブラックスモーカー、なら

びに付近の特異な生物コロニーを発見・採取した。また、沈み込み帯の陸側斜面で、シロウリガイのコロニーを多数発見した。これは、圧力が加わる断層面に沿って地下から栄養分を含む冷水が海底に湧出する線に沿ってコロニーを形成しているものと判断されている。

1972 杉村 新は、フィリピン海上の複数の島々が、フィリピン海プレートの北上につれて北方に移動し、次々と本州に衝突した。こうして伊豆半島が形成されたと解釈した。これは今日、正解として認められている。

1974 白嶺丸就航。

1974 米仏、大西洋中央海嶺系中軸部で共同してFANOUS計画実施。有人潜水船使用。米側、アルビン号、仏側、アルシメダ号使用。

1975 国際深海掘削計画・IPOD発足(既述)。

1977 D.Seely付加体の概念の提唱(既述)。

1977 米国のアルビン号、ガラパゴス海嶺中軸部で熱水チムニー発見。付近に硫黄を栄養源とする従来知られていなかった生態系を持つ生物コロニーを発見。

1977 国際深海掘削計画・IPOD・Leg57.三陸沖掘削。

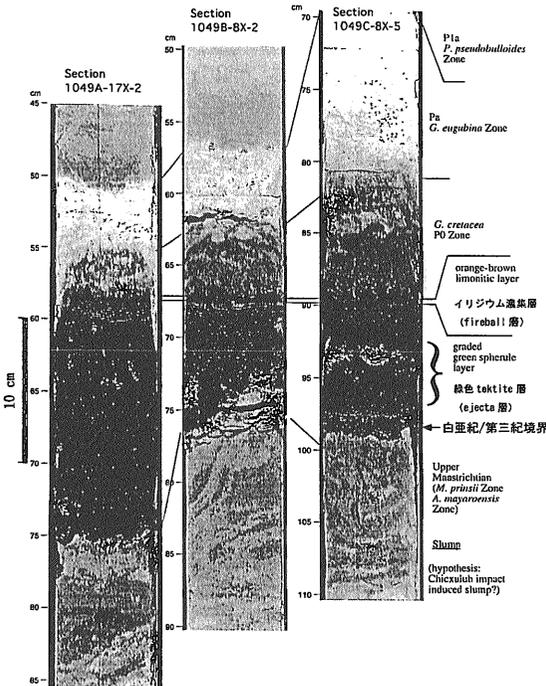
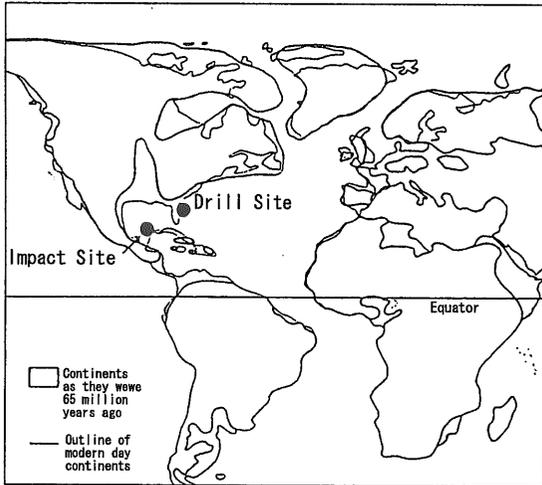
グローマー・チャレンジャー号日本人乗船者、奈須紀幸(Roland von Hueneと共にco-chif scientists)、本座栄一(地質調査所)、藤岡換太郎(東大海洋研)、佐藤俊二(石油公団)。前弧堆積盆の上面は深海平坦面を形成。その海溝側に近いSite438,439で水深1,564.5mの海底から1,157.5m下まで掘削。最下部12mは上部白亜紀の地層。その上45mは2,200-2,300万年ほど前の安山岩角礫、付近に火山活動があったことを推定させる。その上100mほどは漸新世浅海貝化石を含む砂質。その上1,000mほどは下部中新世の中深海の堆積物。従って、白亜紀層上面は不整合面である期間、陸化していたことは明らか。この古い陸地を「親潮古陸」と命名した。現日本海溝の沈水・形成は2千数百万年前より始まり、それに伴って、親潮古陸が海面下2,600mの深さまで沈降したことが明らかとなった(第15図)。日米以外の乗船研究者はフランスのJean-Paul Cadet(後に日仏KAIKO計画のリーダーの一人となる)。1979.アルビン号、東太平洋海嶺中軸部で、熱水噴出中のブラック

スモーカー発見。

1980 第2白嶺丸就航。

1980 大陸棚上の海底林の発見。富山県黒部川扇状地に載る入善町の海岸・吉原沖の大陸棚の水深20m付近および40m付近で、立ち枯れの状態の樹幹をプロダイバーの下田喬士ら発見。通報により、藤井昭二、奈須紀幸ら調査。短命のヤナギとハンノキが主と判明。¹⁴C測定によると、水深20m付近のものは約8千年前、40m付近のものは約1万年前と判明。仮に地盤変動がなく、植生が海面上5m程度であったとすれば、8千年前、1万年前の海水準

は、それぞれ、-25m、-45mとなる。ここは、氷期の海水準低下時、大陸棚が陸化し、そこに植生があったことを裏づける唯一の場所であった。最終的には1988年、東大出版会から「海底林」という本にまとめて出版した。最近、能登半島を挟んで西側の松原沖で同様の海底林が発見され、藤 則雄を中心とし、藤井昭二、奈須紀幸らが協力してまとめた(石川県松任市教育委員会、2000)。こゝも、手取川扇状地の沖合である。海岸に直面する扇状地での洪水時、たまたま樹幹が根とともに埋積して保存されるのであろう。それ以外の場所では、緩慢な海進時に波浪で、森林は破壊し、運び去られるのであろう。



第16図 ODP-Leg171Bで発見された6,500万年前の小天体の地球への落下衝突の痕跡(上:掘削点, 下:掘削試料(奈須, 1998b)).

1980 米国の Alvarez 父子 (Luis, 父, 物理学者, Walter, 息子, 地質学者) は、汎世界的に K/T 境界・白亜紀/第三紀境界の薄い地層中に、地球では珍しい元素であるイリジウムが異常に多量に含まれていることに注目し、「6,500万年前、そうした物質を多量に含む小天体が地球に衝突し、破碎して粉塵を多量に巻き上げ、そのために、しばらく天空暗く、日射地上・海面に届かず、光合成が遮られたので、植物の大量絶滅を招いた。そこで、まず、草食恐竜など多くの動物が減び、それらを食餌とする肉食恐竜などが減んだのであろう。その他、海生生物も大量に絶滅したのであろう」と推論した。この説は当初、多くの議論を呼んだ。が次第に支持者が増えていった。衝突の場所は現在のメキシコのユカタン半島の先端近くのクレーターであろうという見当がつけられた。また、衝突時に生じた津波が世界の広範囲に及び、相当内陸にまで浸入して、多数の生物を減ぼしたと推定されるようになった。当時、ネズミ程度の小動物であった哺乳類は、その後、恐竜にとって代わって繁栄し、種類も増え、大型化するものも多数出現して今日に至っているものと考えられている。その後、1997年、国際深海掘削計画・ODP Leg171Bは、フロリダの東563km、水深2,658mの海底下を掘削し、小天体衝突時に起こったはずの諸現象が順序よく堆積している証拠の試料を得た。これで、アルヴァレス親子の仮説は実証された(第16図)。

1980-2000 石油公団、白嶺丸をチャーターして、南極周辺海域を一周する形で、南極地域石油天然ガス基礎地質調査実施。氷棚に阻まれて、大陸棚まで入ることは少なかったが、大陸斜面の資料は膨大に上る。最近、大陸斜面下の石油、フリーガス、ガスハイドレートが稼行の対象として急速に浮上してきた。将来、南極周辺の海底天然資源が、国際的に開放されるようになった場合には、この石油公団の資料は価値高いものとなるであろう。地質調査所スタッフも多数参加。白嶺丸の引退を機に、2000年2月16日に一日終了。

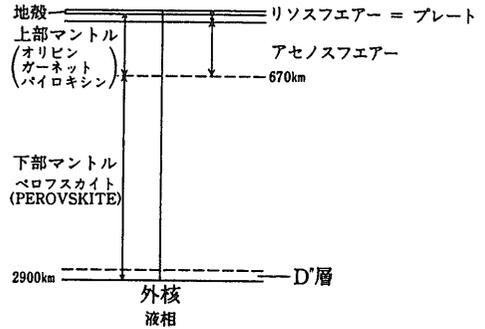
1983 Glomar Challenger号、洋上活動終結。

1983 中村一明、東北日本西岸沖、日本海東部に本座栄一が発見した構造線を、プレート境界と断じ、東北日本は、北米プレートの西縁であると発表した。従って糸魚川-静岡構造線はプレート境界となる(第17図)。日本海西岸沖の構造線は、その北方延長部の追跡がまだ不十分である。従って、東北日本は、東北日本マイクロプレートとして別途扱う研究者も多い。が、外国の大部分の文献は、北米プレートの西端に東北日本を位置づける。

1983-現在 プルーム(プリュームテクトニク・plume tectonics)の飛躍的進歩について、高温・高圧実験、音響トモグラフィ技術、コンピュータ技術の大きな進歩により、固体地球内部、とくにマンテル内部の研究が急速に発展した。これには、日本の研究者も多数参加して活躍している。深尾良夫、丸山茂徳、大林政行、熊沢峰夫らの諸氏である。この分野の理解の進歩は4次元の海洋地質研究にも大きな影響を与えている。因みに、plumeは従来、プリュームと訳してきたが、英語を母国語とする人の発音がプルームとなっているので、図にはプリュームと書きこんでいるが、本文中で



第17図
中村一明による東北日本が北米プレートの西端であるとの説の提唱(奈須, 1996d).



第18図 D'層(奈須, 1996d).

はブルームと表現させて頂く。

1983 この年, T.LayとD.Helmbergerが, 地下約2,900kmの core-mantle境界直上のマントル内に, 熱的かつ量的に不安定な厚さ200km程度の層が存在することを指摘し, D"層(Dダブルプライム層)と名付けた(第18図)。同年, R.JeanlogとA.R.Thompsonは, 地下約670kmの深さのマントル内に, 相転移境界があることに気付く, ここを境に上部マントルと下部マントルを分けた。この2項目の提唱がその後のマントル内の動態, すなわちマントルブルームの研究の進展を触発した。

外核は重たい鉄を主成分とし, 高温・液相である。マントルは塑性を持つ石質で短時間では固相であり鉄よりはるかに軽い。core-mantle境界の温度は3,900-5,900 Kの範囲内であろうと推定されている。境界の面は滑らかではなく, いくらか凹凸があるものと解されている。D"層の厚さも一定ではない。D"層は下から熱せられて, 軟らかく, 液相のマグマに変わっている部分も相当あるのではないかと推定されている。マントル内に弱線や弱面があれば,

高圧下にあるD"層内のマグマは一挙に上昇してくるであろう。従って, マントル内の動きは, 塑性によるマントル対流のみでなく, より軟体や液相のマグマの流動も有り得ることとなった。これらを総括してマントルブルームと称するようになった。上昇するものを hot plume, 下降するものを cold plume, 大規模な動きを super plumeと承する(第19図)。

上部マントル内では, オリビン, ガーネット, パイロキシンなどの鉱物が混在しているが, 下部マントル内では全てペロフスカイト(perovskite)一種類になる。上部マントルはやや固いので地震が発生する。リソスフェア(岩石圏)に比べればやや軟らかいのでアセノスフェア asthenosphere(岩流圏)とも呼ばれる。下部マントル内はより軟らかいので地震は発生しない。

沈み込み帯で沈み込む大洋底プレートをスラブ(slab)という。スラブの下限は670km深付近で, それ以深では下部マントルの中に溶け込んでしまう。

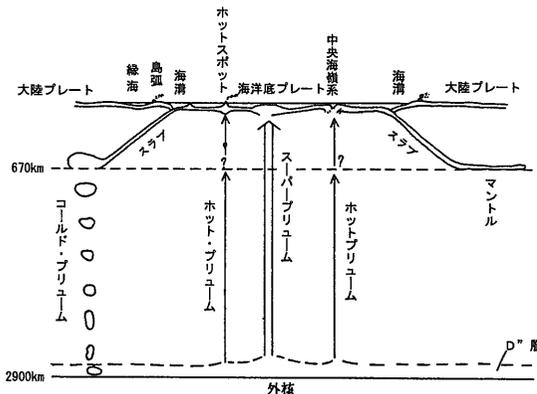
マントルブルームの研究については, 1992年頃までの進展のありかたについて, 既述したように南雲昭三郎がJAMSTEC誌に詳述しているので, 文献を参照したい。

第20図に考え得るマントル対流の種々相を示す。

このマントル対流の在り方については, 個々のcaseについて, これから研究が進展する段階にあるものと言えよう。

1984 日仏共同の深海底研究であるKAIKO計画シリーズ発足。日本海溝, 南海トラフなどを主対象として研究実施。シービームによる海底地形調査, マルチチャンネルによる海底下の地質構造調査, 有人潜水調査船ノチール号(6,000m級)などによる海底表層調査を主として実施。多大の成果を挙げる。KAIKO-I, KAIKO-II, KAIKO-TOKAI, KAIKO-NANNKAIと継続して1997まで実地調査。2000年再開する。研究実施機関: 日本側, 当初, 東大海洋研, 後にJAMSTECも参加, フランス側, IFREMER(フランス国立海洋開発研究機構)。

1984-85 VLBIによる2点間の距離が極めて正確に測定できるようになったので, ハワイ-鹿島間の距離の経年変化が測定された。その結果, ハワイは年間4cmの速さで鹿島に接近しつつある事実



第19図 マントルブルームの種々相(奈須, 1996d).

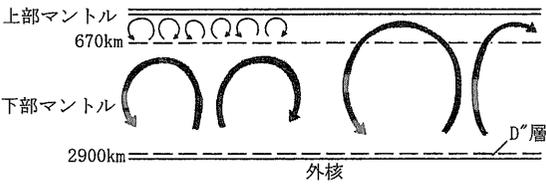
が明らかにされた。近年は、複数の人工衛星を利用するGPSによる位置測定が簡単なので、2点間の距離の経年変化などもこのGPSシステムが一般的に使用されている。

1985 深海掘削船 JOIDES Resolution号就航(既述)。ODP Leg100より開始。現在続行中。2003年終了予定。1989, 1991, 1997. Walles S.Broecker, 全球的海洋大循環ベルトをいくつか変えつつ提示。一般的に研究者に受容されている(第21図)。

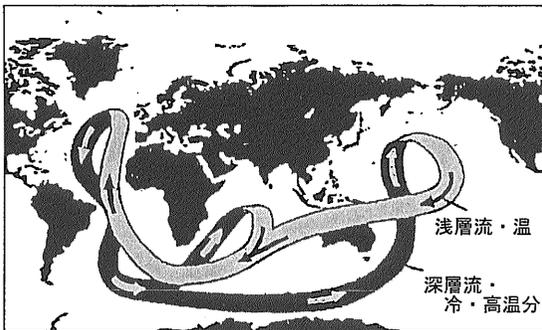
1989.17 昭和64年より平成元年へ改元。

1989 W.S.Broeckerらは、ヤンガードリアス小氷冷期(約11,000-10,300年前の世界的寒冷期)の原因として、北米大陸中西部に存在した一大氷河湖であったアガシー湖の東端の水際壁が水圧のため、突然崩壊して、大量の寒冷ではあるが軽い淡水が北大西洋に流入し、広く海表面を被覆したために、一時的に海洋大循環ベルトが停止し、北大西洋周辺に寒冷な気象を誘致したのではないかと解釈した。氷河湖からの流入が終焉した後、次第に原況に復した、としている。

1990 W.S.BroeckerとG.H.Denton,深海掘削試料から、過去60万年間ほどの地球上の氷床量の増減の推定曲線を得る(第22図)。ミランコヴィッチ・サイクルが重なっているが、中でも弱い10万年サイクルが、際立って顕著に出ている。このことは不思議がられ、



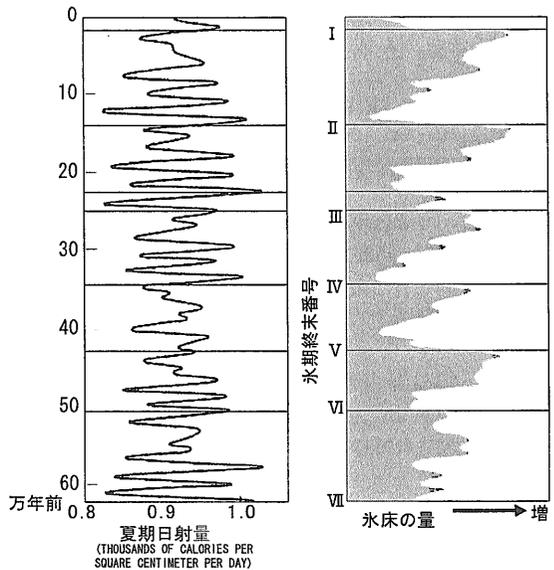
第20図 マントル対流の種々相(奈須, 1996d).



第21図 ブロッカーの海洋大循環のコンベアーベルト。蒸発を盛んに行いつつ北大西洋へと北上した高塩分の浅層水は、広大な高緯度海域で冷却されて沈降し、冷温・高塩分の深層水として逆に南下する。それが喜望峰の南を東流して一部はインド洋へ北上し、残部は太平洋へ入って北上する。やがて上昇し、温暖な浅層水として大部分は逆行し、再び喜望峰の南方を西流し北大西洋へ戻って北上する。こうして地球規模の大規模な海水のコンベアーベルトが形成される(Broecker, 1987, 1991, 1997による)(奈須, 1998c)。

1998, Haqの解釈が出るまで、ミランコヴィッチの計算違いではないかと疑われた。この図の示すところは極めて重要な事実を示している。すなわち、大陸氷河の発達には10数万年近くをかけて徐々に発達する。発達が最高に達した時、突然、温暖化に向かい、大陸氷床は急激に衰退する。間氷期の期間は短く、1-2万年程度で、再び次の氷期へ入ってゆく。

第23図は、米国のC.D.Keelingが、スクリッps海洋研所長R.Revelleの示唆を受けて、近傍にCO₂を大量に排出する工場がないハワイ島マウナロアの頂上近くに観測所を設け、1958年以降、全球的な二酸化炭素の変動量を計った有名なグラフである。測定は現在も継続中である。年間変動はあるが、明らかに大気中の二酸化炭素の量は漸増している。キーリングは、この増加は人間活動の結果による可能性があり、近年の地球温暖化の原因ではないかと指摘した。これを受けて、政府間パネルが組織され、海水準上昇が警告され、二酸化炭素排出量の抑制が強く訴えられるようになった。地球温暖化の防止である。日本は、この点につき、極めて熱心である。が、最近、こうした変化は自然のリズムの一環で、必ずしも全部を人工的な影響に帰すことは出来ないのではないか、という気象学研究者の意見も出てきた。地球温暖化を当面防止しなければならないのは、環境保全のための至上命令とも言えるものであろう。しかし、およそ10年前に発表されたBroecker Dentonの氷床量の変動曲線は、これまた深刻な問題を人類に投げかけている。自然の動向としては、恐らく数千年後から、次の氷期に緩慢ではあるが入ってゆくことを明示している。深海掘削計



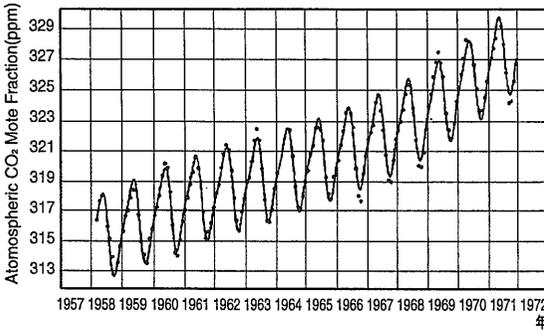
第22図 過去60数万年間の地球上の氷床量の増減推定曲線(右図)と北半球高緯度地方における夏期日射量の推定曲線(左図)。氷床量は深海底堆積物中に保存されている記録から推定したものの氷床量は約10万年周期で大きく増減する。氷期に入ると次第に氷床量が増加し、最盛期に達した後、急速に氷床量は減少して短期間の間氷期に入る。こうした傾向が繰り返される(Broecker, Denton, 1990による)(奈須, 1998c)。

画による海洋地質研究がなければ、かかる重要な将来予測は出てこなかったはずである。北半球高緯度の欧米の多数の国々の関心は、現在、地球温暖化より、この寒冷化の方により傾いている傾向が見てとれる。温暖化にしても寒冷化にしても、海水準の変動は免れない。港湾施設や洋上空港などの施設の可動化を強制される事態が生起するのともう遠い将来のことではあるまい。

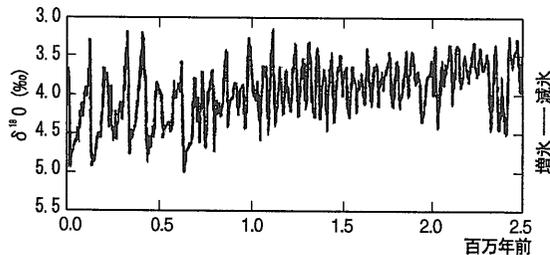
1990年代より現在まで 海洋観測用人工衛星による主として海面表層の面的調査進歩。海洋学上、測り知れないくらいの進展をもたらす。海面温度、海色、海流、渦、海上風、海水、降水量、水蒸気、雲などの計測実施中。重力の値より海底地形の該貌を把握、このことは初期の中央海嶺系存在の推定に役だった。

1991 「しんかい6500」、日本海溝海側斜面で6,527m深の海底に着底。本艇としての最深潜航記録を作る。

1992 T.J.CrowleyとG.R.North、前年の1991に出版されたM.E.Raimoらの記述を簡略化して発表。第24図に深海掘削試料の中に記録されていた過去250万年の北大西洋表面海水温変化推定曲線を示す。Dietz-Holdenが指摘したように、インド亜プレートのユーラシアプレートへの衝突は鮮新世の頃生起してチベット・ヒマラヤ山塊の隆起をもたらし、世界の気候分布に大きな変化を誘起し、新たな大氷河時代を招いたらしい。この推定曲線は、氷期、



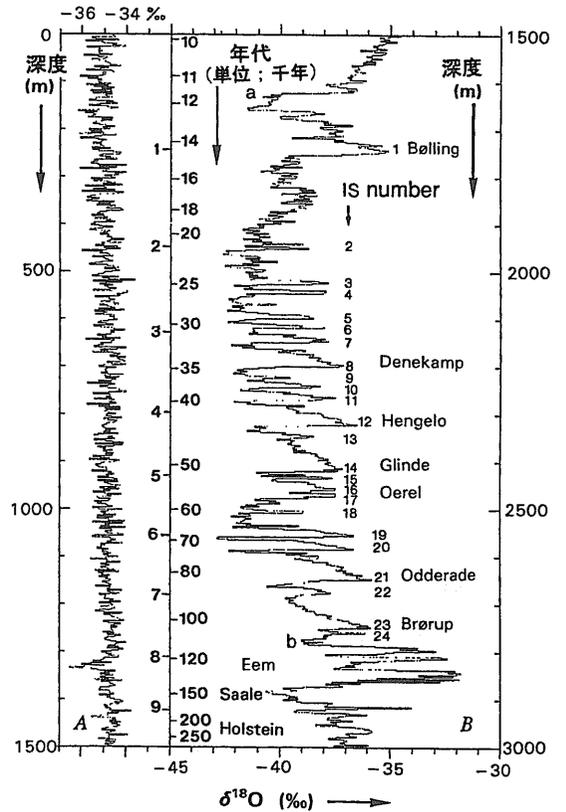
第23図 ハワイ島マウナ・ロア観測所で得られた1964-1971の間の大気中の二酸化炭素濃度の季節変動を伴う経年増加傾向。キーリングらは、大気汚染などによる温室効果が増加の原因ではないか、と示唆した。これが契機となって地球規模の温室効果問題に一般の関心が高まった(Keeling et al., 1976による)。観測は現在も継続されている(奈須, 1998c)。



第24図 過去約250万年間の北大西洋の表面水温変化曲線。深海掘削試料により推定復元したもの(Raimo et al., 1990の資料をCrowley, North, 1991が単純化してまとめたもの)(奈須, 1998c)。

間氷期に対応して水温が昇降したものと推定される。とくに過去60万年ほどの期間の寒暖の差が激しくなっており、大陸氷河の盛衰がより強くなった傾向が伺える。この60万年ほどの大陸氷河の盛衰は把握し易かったのであろう。早くから判明していたドナウ、ギュンツ、ミンデル、リス、ウルム氷期とその間の間氷期に対応するものであろうし、Broecker-Dentonが把握した過去60万年の大陸氷床盛衰の曲線に対応するものである。

種々の研究結果から、チベット・ヒマラヤ山塊が4,000mほど隆起して大氷河時代の起因となったのが、200-300万年前の鮮新世中期あるいは後期の頃であり、60-70万年前頃さらにエベレスト山が現在、8,848mに達しているほどヒマラヤ山塊がさらに5,000mほど隆起したために、大陸氷河の消長はさらに強調されたのであろう



第25図 1990-92年にグリーンランド氷床最高点において実施された氷床ボーリングの結果得られた過去約25万年の気候変動の記録。左側(A):0-1,500m深までの記録。右側(B):1,500-3,000mまでの記録。掘削は基盤の岩石まで達した。右図の中の番号は亜間氷期を指す。これはヨーロッパの花分帯と一致している。右図のa:ヤンガードリアス小寒冷期に当る11,500年前を指す。左図が示すように過去約1万年ほどの期間の気温は異常なくらいほぼ安定していて、変化が少ない。この期間が後氷期に当る(Dansgaard et al., 1993による)(奈須, 1998c)。

という見解は大勢の一致するところであった。1987年に実施された国際深海掘削計画 ODP Leg117は、かかる問題意識を持って実施され、上記の見解を支持する結果を得た。この時のco-chief scientistsの一人は新妻信明である。

1993 W.Dansgaardらは、1990-92年にグリーンランド氷河の最高部から実施した氷床ボーリングの結果を公表した。第25図にその結果を示す。過去25万年ほどの期間に対応したこの付近の気温変化の痕跡を示す。ヤングドリウス小寒冷期が収まった後、過去1万年間は気温が殆ど変化していなかった事実を指す。これはこの付近の気温の状態を示すデータではあるが、大気の流れ性の大きいことを考えれば、全球的な気温の安定を指すものと受け取ってもよいであろう。この過去約1万年を、以前から後氷期と称してきた。

現在、地球上の氷の90%は南極大陸の上、9%はグリーンランドの上に氷床として載っている。ともに高緯度の高地の上である。この過去約1万年続いたところの安定した気温は、シベリア、アラスカ、カナダなどの沿岸低地まで分布した氷床を全て溶かすに十分であったが、不連続に離れて、しかも高地の上に載った南極とグリーンランドの氷床を溶かすには不十分であったものと考えられる。5-6千年前頃、溶けるべき氷は全て溶け、海水準上昇に寄与すべき水分の元が途絶えたのであろう。これが、偶然、過去5-6千年の海水準の安定とそれに伴う人類の文明の一大発展をもたらした原因であろう。しかし、近未来までこの海水準安定が続くとの保証は全くない、と想定すべきである。

1994 奈須、6,500万年前の小天体の地球への衝突がD'層を刺激し、同時期のインドのデカン高原のスーパーホットブルームによる大量の高温マグマの広域流出を招いた可能性を指摘(奈須, 1994)。

1995.3月 JAMSTECの無人探査機「かいこう」は、世界最深のマリアナ海溝チャレンジャー海淵の底に着底し、写真・ビデオ撮影、コアラなどをを用いての採掘、生物採取に成功を取めた。従来種他に新種の動物、バクテリア等が多数発見された。水深は10,911mであった。その後も容易に再訪することが可能になっている。

1996 ODP Leg164で、ガスハイドレートの基底面と一致するBSR (Bottom Seismic Reflector)を、フロリダ沖の大西洋の大陸斜面の海底下500mほどに、海底面とほぼ平行して発見。ガスの相当量がメタンの可能性あり。また同じ海域で、大きな海底地滑り跡を発見。同Legのco-chief scientistsの一人は松本 良である。

1998 米国のBilal U.Haqは、極めて重要な発表をGSA TODAY 11月号に発表した。氷期、海水準が120mほどさかると、圧力条件の

変化から大陸斜面下のガスハイドレートが、水とガスに分離し、大量に崩壊して、freeになったガスが海中を上昇し、大気中に放出される。ガスの主要構成成分であるメタンは二酸化炭素とは比較にならぬ程の温室効果を持つ。このため、大気気温は急速に上昇し、それにつれて、大陸氷床は急速に衰退し、短期間の間氷期に入る。暫時の温暖な気候の後、再び徐々に次の氷期に入ってゆく、というものである。従って、大陸氷河発達最盛期は、海水準が120mほど下がった時になるということを示唆した。過去60万年ほど、氷期・間氷期の一つのサイクルが、約10万年という期間が突出して大きく現れてきたのは、ミランコヴィチのいう地球軌道のゆらぎのためではなく、実は地球内部の大陸斜面下のメタンなどのガスの氷結と、その解氷にあったというものである。深海掘削試料の解析などから、Haqらは、この発表に先立つ10年ほど前から、この結論に向けての種々の事実の発表を積み重ねてきた。なぜ短い間氷期の後、徐々に大陸氷床が発達する氷期に入るのか、Haqは説明していない。雲量の増加とか、色々な原因が考えられる。意外な原因が介在しているのかも知れぬ。ただ、そうした事実があるという点が重要なのである。こうなると、間氷期の定義は、氷期最盛時点から次の氷期への転換が開始されるまでの期間、としてもよいように私には思われる。

1999 大洋底拡大説、およびプレートテクトニクス説提唱の頃から、津波は地震に伴って生起するものとの理解が進んだ。その後、地震を伴わぬ単なる海底地滑りによっても生起する場合もあることが理解された。

ここ数年、ガスハイドレートの崩壊が大規模な海底地滑りを生起する場合もあり得ることが注目されるようになった。明治時代の絵に、地震を伴わずに三陸海岸に津波が来襲し、沖合に火山噴火と当時判断された火の手が上がっている様子が描かれている。火山フロントより海溝側であるから火山噴火はあり得ない。榎本祐嗣は、これをメタンハイドレートの崩壊による海底地滑りが引き起こした津波と解釈し、海面から大気中に上昇したメタンに放電などにより引火したものと解釈した(榎本, 1999)。従って、津波発生の原因として、ガスハイドレート崩壊による海底地滑りもあり得ることがさらに追加されることになった。

Nasu Noriyuki (2000) : Marine Geology Research - the past, the present and the future.

<受付: 2000年4月3日>