

# 地向斜玄武岩 ①

## 古生代地向斜の復元とグローバル・テクトニクス

服部 仁

平行して入っており その厚さは薄いものでは1mに達しないが 数百mをこすこともある。1枚にみえる緑色の地層には 砂岩や頁岩に火山物質が混入したのもあれば 火山ガラスの微細な破片からできた凝灰岩もあり また溶岩流であつたり さらに枕状溶岩という特殊な形状になって産出するものもある。なかには はんれい岩のように 粗粒の結晶質岩もある。

このように さまざまな形状・性質の岩石を簡単に 緑色岩 (green rocks) 輝緑凝灰岩 シャールスタイン (Schalstein) グリーンストーン (greenstone) などと呼んでいる。緑色岩などの中にも 実際には 緑がかったものばかりでなく 褐色ないし赤色のものも含まれている。鉱物組み合わせや化学分析値から判断すると 玄武岩がもっとも多いが 安山岩質の岩石も少なくない。まれには流紋岩質の火山岩も発見されている。

地向斜のなかの火成活動を これまで一括して 地向斜内の初期塩基性 (苦鉄質) 火成活動と表現していたが 最近の 大洋底拡大説の考え方を基に組み立てられたプレートテクトニクスの仮説のなかでは オフィオライト (ophiolites) という言葉をひんばんに使って表わしている。私たち研究グループは 日本の後期古生代地向斜内の火山岩が 玄武岩を主体とすること 陸上に噴出した玄武岩とちがうことなどから 地向斜玄武岩 (geosynclinal basalt) と呼ぶようになった。この名称に関係の深い たくさんの類似語については稿を改めて述べ

### プ ロ ロ ー グ

いつ どのような形で 日本列島の骨組みは誕生したのであろうか。どのくらいの年月をへ どのような変動を受けて 今日のような弧状列島になったのであろうか。

ここに その秘められた歴史をひもごとく 3億年も前の古い昔に 海の中にたまった泥や砂の中に噴出した火山岩の性質から 考えられる1つの試みを著わしてみたい。

### 課 題 の 展 望

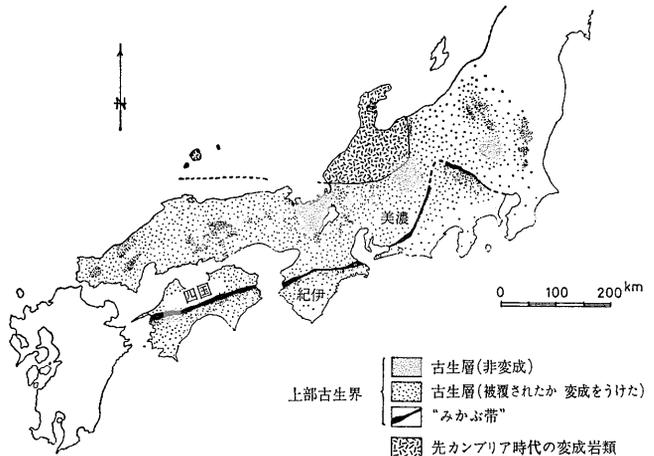
物の見方を まるっきり変えてみる。たとえば もろもろのデータが従来の通説によって どうしても解釈できない時 something new を提案する時 固定観念を超える時に。誰もが体験する1つの解析法ではないだろうか。ここ2・3年 古生代地向斜堆積物内に産出する火山岩と取り組み 地向斜モデルを具体的に図示する際に 野外の産状 層序 岩石記載はもとより 有効とみられる種々の化学分析法を開発・駆使して たどりついた時がまさにそれで 観点を180度転換させてみようということであった。

今まで 日本列島のネオテクトニクスに顕著な 島弧-海溝-深発地震帯の帯状配列と 火山岩マグマの系統的变化 (アルカリ玄武岩-高アルミナ玄武岩-ソレイイト) とを結びつけた考え方に ややもすれば 執着しすぎる傾向があった。圧縮の場合におけるこのような仮説と対立させて 張力の場合におけるモデル解析を行なおうとするのが 古生代地向斜モデル復元の基本的姿勢なのである。本文では 圧縮説への対論として 張力テクトニクスを述べてみたい。

## 1. 化学組成からみた古生代地向斜 (西南日本) の火成活動

### 1-1 地向斜玄武岩の概要

古生層 (第1図) といわれる3~2億年前の砂岩・頁岩・石灰岩・チャートが 野外で見ると しばしば緑色がかつた岩石がいつしよに発見される。普通 堆積岩の層理面に



第1図 西南日本における古生層の分布図 (SUGISAKI ち 1972)

る予定なので ここでは触れない。

### 1.2 化学組成上の大きな特徴

550 個を上回る採集試料について行なった 主成分の化学分析値の特徴をひと口でいうと  $H_2O(+)$  が非常に多いが なかには  $CO_2$  を数%以上も含む岩石もある。もちろん肉眼や顕微鏡で調べ できるだけ方解石の入らないような岩石の部分を選んだ上での結果である。

しかし このように多数の試料には 溶岩ばかりでなく 別の目的もあって 凝灰岩やラピリを含むものまで分析した。凝灰岩では 主成分の火山ガラスが不安定で反応しやすく また 泥や砂が混入している可能性もあるので これからの議論を単純にするため 検討試料に制約を加えることにした。産状・検鏡結果に基づき 関東地方以西のものから 明らかに溶岩といえるものと 完晶質岩石に限って 約 120 個の試料の分析値の解析を行なった。その上 使用する試料には 炭酸塩鉱物 (おもに方解石) を重量比で表わした時 5%以上含むものは含まれていない。つまり  $CO_2$  では約 2.2% が最大値である。第 2 図には 3 つに区分して  $H_2O(+)$  と炭酸塩鉱物の含有量の頻度分布が表わされている。この図から  $H_2O(+)$  の平均含有量は 3% に近く また Permian として一括してある地域の地向斜玄武岩は 炭酸塩鉱物に富むことがわかる。

### 1.3 2 種類の地向斜玄武岩

ここで 地向斜玄武岩を 2 つに細分した根拠とその経緯について詳しく触れておこう。話は少し脇道にそれ

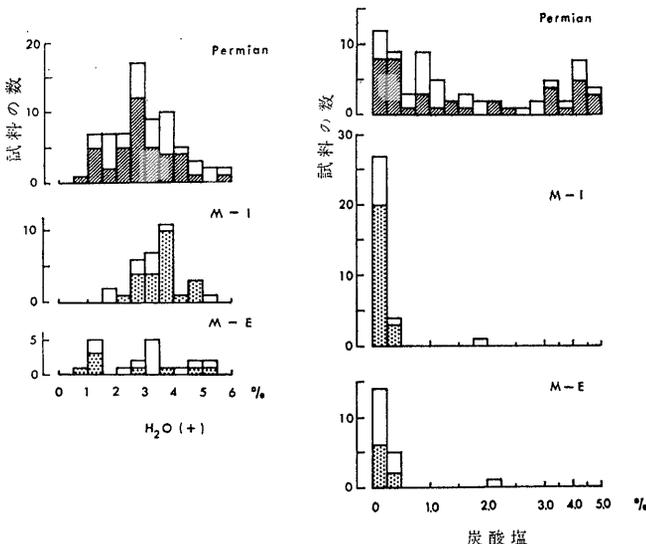
るが これは重要なことなので省略するわけにはいかない。地向斜のモデルを考える際 とくに時間的な発展過程をも含めて 具体的にその容器のデイメンジョンを表現することは きわめてむずかしい問題であると思う。碎屑性堆積物が後背地から水の営力によって沈積域へ運び込まれるとの考え方には 誰も疑わないだろう。もう一歩進めて沈積域の水が海水であったらしい という点についても異議を唱える人はいないだろう。ということは “古生代地向斜内の水=海水” は自明の理のようである。すなわち西南日本の後期古生代 つまり 地向斜玄武岩が活動した時期の石炭二畳紀の頃の海水も 現在の海水も あまり違ってはいなかったらしい (内尾 1968)。

地球の表面積の約 3/4 は海水におおわれている。その広い海のどこかに 古生代地向斜誕生当時に似た海と火山活動がありはしないか。また 海洋地域の火山岩はどんな性質をもっているのだろうか。1960 年以前の岩石学の教科書をみると 海洋に浮ぶ火山島の岩石区が論ぜられている。たとえば BARTH (1952) 著: Theoretical Petrology 169~172 頁を要約すると

HARKER (1896) や BECKER (1903) が注目した造山帯と非造山帯における火成岩の岩石・鉱物・化学的性質のちがいは地質構造にも反映されている。大西洋沿岸の火成岩は block sinking や地殻の不安定のためできる断層や割れ目を通して噴出する。環太平洋では 大洋をふちどる褶曲山脈に關係している。2 つの岩系を大西洋型と太平洋型と呼んだのは 以上の理由によっている。後日 割れ目噴火や断層によるハワイの溶岩が “大西洋” 型 またノルウェーやスコットランドの大西洋沿岸のカレドニア山脈の侵入岩が “太平洋” 型と判った。地理的区分は いまや次第に廃語になってきており alkalic subalkalic calcic などに置き換えられている。

と書かれている。しかし HARKER や BECKER のような先駆者たちの指摘した「火成岩の性質—地質構造」との關係は 今日でも研究者の間で火花をちらしている大命題なのである。

ところが 1960 年頃から深海底の岩石がドレッジされ それらの岩石の性質が次第に明らかになるにつれて 事態は急転直下して全く新しい舞台の幕あきとなったのである。1964 年 ENGEL らはアメリカ科学雑誌 Science に大西洋中央海嶺の玄武岩 続いて同年東太平洋海嶺の岩石についての詳細な研究から 海底山脈は主としてソレイアイト (玄武岩のなかでも アルカリに乏しく  $SiO_2$  にとみ かんらん石はあ



第 2 図 みかぶ型 (M-I, および M-E) および美濃型 (Permian) 地向斜玄武岩中の  $H_2O(+)$  と炭酸塩の含有量の頻度分布図 (HATTORI ら 1972)

っても 輝石の反応縁がとりまいてる) から出来ていると論じた。このソレイアイトは  $K_2O$  Sr Ba Th U Zr にきわめて乏しく また  $Sr^{87}/Sr^{86}$  比も低いので とくに区別して 大洋性ソレイアイト oceanic tholeiite と呼ぶようになった。まもなく 広大な未知の深海底に膨大な量の大洋性ソレイアイトが存在すると述べられた (ENGEL ら 1965)。

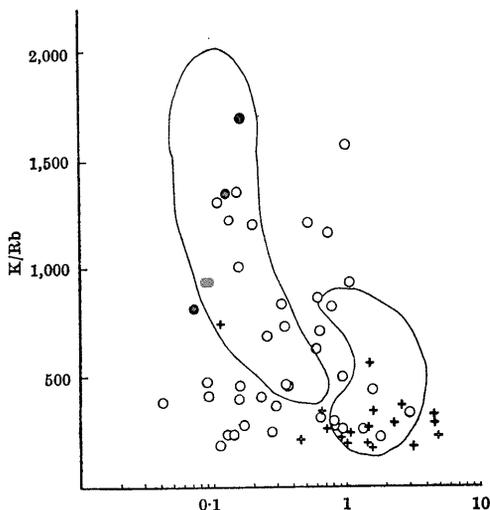
ENGEL らの一連の論文は その後の研究 たとえば 本源玄武岩マグマ発生の問題 大洋底拡大説 古生代・先カンブリア時代の火山活動解明の手懸り などに与えた影響は測り知れない。

わが国でも 本源マグマとして高アルミナ玄武岩の中間性をめぐる論争が公開で華々しく展開された (青木・伊東 1968 久野 1968 など)。しかし 元をたたせば その発端となったのは 実は 海底山脈からドレッジされた 玄武岩類の化学的性質であったのだ。

ここ数年来 海底山脈のみならず 深海底の玄武岩に関する情報は飛躍的に増加している。大洋性ソレイアイトと呼ばれた玄武岩にも多様性のあることが判り また別の用語も現われている。ここでは多様性についてまで詳しく立ち入る余裕はないが 少なくとも大洋中央海嶺に関する限り ENGEL らが明らかにした化学的性質は輝きを失ってはいない。もともと 7つの大洋全域にわたって大洋性ソレイアイトが分布するかどうかは別だが。ある人は 大洋中央海嶺の情報についてすらも 「針小棒大」 「蔑のずいから天井覗く」と批判しているように これまでの議論が空洞化する恐れもあるから どんな新見が出るか 注意深く見守っていく必要はあろう。というのも 大洋に浮ぶ島から先カンブリア時代の岩石が発見されているからである (セーシエル諸島)。

このように データ解釈をめぐって まだ確定的でないといふと述べる批判者の少なくない状況で しかも十分でない情報を利用して はっきり見解を述べない方が無難かも知れない。それにもかかわらず 私たちは海洋底の玄武岩の情報に首ったけなのである。今判っている範囲内で ここに古生代地向斜玄武岩の性質と海洋底の玄武岩と比較する冒険を企てた次第である。

いうまでもないことであるが 最初から 大洋性ソレイアイトに似てはいないか という淡い期待はいだいていたが、主成分元素の化学分析が軌道にのり 大半のデータが まとまりかけた段階で 蛍光X線分析による Rb と Sr の定量が始まった。1969年春のことであった。既に多数の地向斜玄武岩から  $K_2O$  量のきわめて少ないことが判っていて 大洋性ソレイアイトらしいこ



第3図 地向斜玄武岩中の K と Rb との関係 (SUGISAKI ら 1970) 白丸と黒丸とが地向斜玄武岩を表わし 左側の囲みが海嶺地域の玄武岩のフィールド

とが薄々察しられたが 狙いは GAST (1968) が主張した海嶺の abyssal basalt は低  $K_2O$  量で高 K/Rb というものに相当する地向斜玄武岩を探し出すことであった。その頃の蛍光X線分析装置には Cr 管球しか装備しておらず RbK $\alpha$  と SrK $\alpha$  の両線の励起効率はとても悪く 測定条件はベストをつくしても 1個の試料の分析に 15~20分を要し 試料調製の時間を加えると 1時間以上もかかる仕末であった。今の Mo 管球を用いた場合の所要時間2分と比べて 測定精度も そのようなわけで 良くはなかった。これらの点を配慮しても なおかつ K/Rb 比の高い試料がたくさん見付かった。その意義を論じた短報が1970年9月イギリスの科学雑誌 Nature に掲載された(第3図)。またほぼ同じ頃 主成分元素の成果の一部が地質学雑誌にのり 学会講演などにおいてもデータが少しずつ公表されるようになってきた。

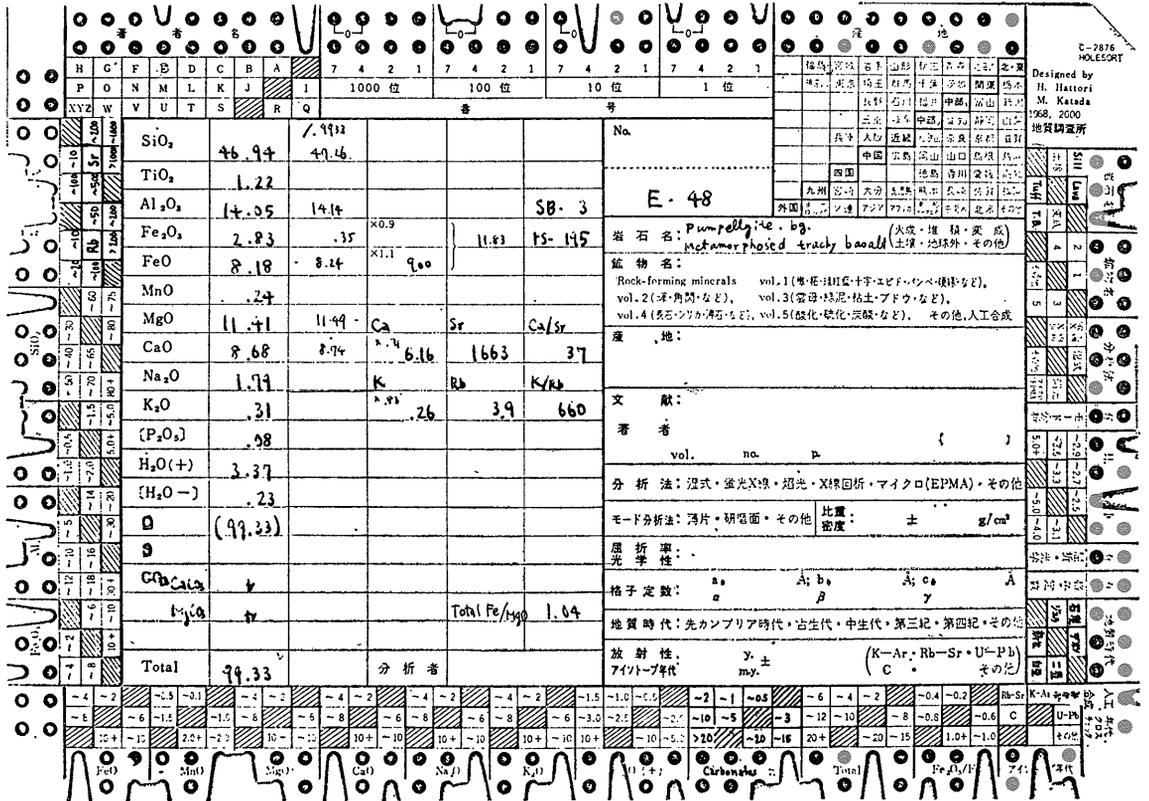
さて 話を元に戻して 地向斜玄武岩を2大別するにいたった経緯を語ろう。まず データを自由に駆使できるように 取りあえずカード方式を採用した。1970年春のことであった。このカードはホールソート (あるいはパンチ) カードといわれる特殊なカードで おもに岩石鉱物の化学分析値を統計的に検討する目的と 標準試料 (岩石鉱物) の資料整理のために 服部仁と片田正人が中心になって改良を重ね2年がかりで作成した。この種のカードとしては最大のサイズを使った(第4図)。このカードをさらに地向斜玄武岩に合うように 若干の項目修正をほどこして利用した。

約 550 枚のカードのうちから 明らかに「典型的な溶岩流とはんれい岩など」と「凝灰岩」と判るものを選び出し 地域別 時代別 地質などの区分によって 試行錯誤の分類を繰り返しながら 各元素ごとの頻度分布図を何枚も何枚も書くという作業を続けた。ある特殊な場合を除いて 溶岩と凝灰岩との間には このようなチェックによっても 明瞭な差は検出できなかった。見方を変えて 産状の大きな違い すなわち みかぶ型 (巨大なはんれい岩体と玄武岩が相い伴い また超苦鉄質岩も産出し さらにチャートもある。1つ1つの岩体がきわめて大きく いわゆる ophiolite suite の trinity を構成している) とそれ以外という区分法によって 今一度データの総ざらいを行なってみた。このチェックから驚くようなことが 次第にはっきりしてきた。

みかぶ型の地角斜玄武岩 (はんれい岩も含めて) は 低 K<sub>2</sub>O 高 K/Rb で特徴づけられること TiO<sub>2</sub> CaO MgO Na<sub>2</sub>O K<sub>2</sub>O P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Rb Sr などの頻度分布が他の場合と明確に区別がつくことが判ってきた (第5図 A)。今まで みかぶ型の火成岩が MgO に富み や

や Fe に乏しいのに比べて 三波川帯のなかの超苦鉄質岩は逆に Fe に富むことが判っていた。今度のデータ解析から西南日本全域にわたって みかぶ型の地角斜玄武岩とその他の地角斜玄武岩との性質の違いが目立ったのである。同じ頃 (1970年春) 田中は東京理科大学の増田彰正氏指導の下で 稀土類元素 (REE) の研究に着手し 地質調査所や東京大学物性研究所の質量分析計を借用して データを出し始めた。その結果 REE の分布パターンからみて “solid” 型といえるものが みかぶ型の岩石に多く “liquid” 型が みかぶ型岩石の分布域の両翼の地域 (以下 みかぶ型岩石分布域を軸部 両翼の地域を美濃地方で代表させて美濃型あるいは翼部と呼ぶ) に特徴的なことを発見した。

REE の分布パターンによって地角斜玄武岩の識別がある程度可能らしくなってから 主成分元素や Rb Sr U からおぼろげながら明らかになりつつあった 軸部と翼部の対立が一層鮮やかに浮んできた。さらに 軸部を中心に 両翼ではほぼ対称的性質をもつことも確からしくなった。



第5図 ホールソート・カード (C-2876) の記入例 たて18cm×横25.5cm 1968年作成

他方 海水中へ噴出した玄武岩が海水と接した時に受けるであろう変質とその程度をチェックするため 枕状溶岩の外殻・中間・内核部における成分移動を考察し また他の試料のデータを統計的手法によって解析した。そして 海水による地角斜玄武岩の成分移動は小さいことを認めた。以上の検討結果は 1970年秋の静岡市における地質学会と清水市における地球化学討論会において 逐一発表された。REE 分布パターン解析結果の一部は まもなく Nature (1971年 8月) に公表された (第5図B TANAKA ら)。

1-4 地角斜復元に必要な問題点のまとめ

古生代地角斜のモデルを真剣に考え始めたのは 地角斜玄武岩が2種類に区別できることが明らかになった 1970年夏頃からであった。それまでは 地角斜=海溝プレートにのった玄武岩が 遠くから運び込まれるのだろうと漠然と考えるような覚束かない状態であった。当時 カナダ オーストラリアにおいて 先カンブリア時代の火山岩の化学的性質から 地角斜の変成帯へ移る変遷過程を考察した論文は知られていたが 私たちが明らかにしたような主成分元素から REE を含めた諸化学的特徴に匹敵する内容のものは1つも無かった。また 陸上の新生代火山岩についても このような検討を加えた研究成果は皆無に近かった。したがって 比較対照は自然と海嶺周辺の玄武岩類に向けられていった訳であ

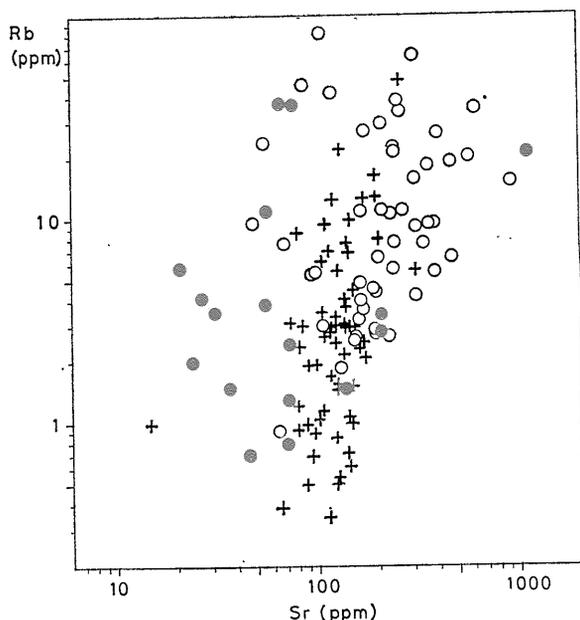
る。もちろん 島弧-海溝-深発地震帯(Benioff zone or Wadati zone) と玄武岩マグマの系統的变化との関係に類縁性を求めたけれど 残念なことに Rbと Sr のデータはもとより REE の情報もきわめて少なかった。

火山と火山岩岩石学の研究面では世界をリードしている日本において 主成分のデータが豊富にもかかわらず他元素のデータが乏しいという現実に直面して 驚愕せざるを得なかった。それでも ごくわずかながら HEDGE・KNIGHT (1969) の行なった東北日本の岩手山 森吉山 寒風山などの新生代火山岩の K U Th Rb Sr などの分析結果は 地角斜モデルを考える上に役立つし また TATSUMOTO・KNIGHT (1969) による大島 伊豆 箱根の同様のデータ さらに増田による REE の解析結果は たとえてみるなら 手さぐりの暗黒の世界に射し込む一条の光ともいべきものであった。これらのデータの持つ意義については 後で触れることになるので 先へ急ぐことにしよう。

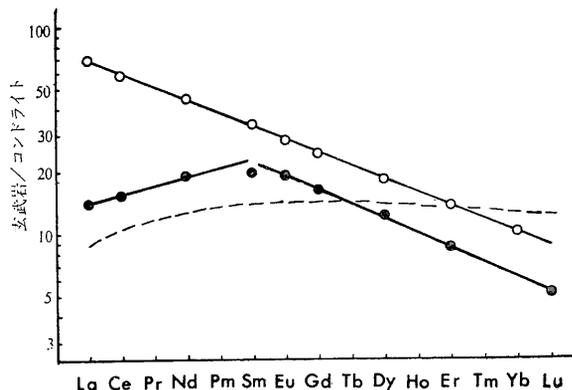
化学的データばかりでなく 古生層の堆積構造や地角斜玄武岩との累積関係の他に 地角斜の容れ物を推測する際に 避けることのできない問題に基盤の存否と性質とがあげられる。これまで 抽象的に 地角斜玄武岩には2種類あることを紹介してきたが 具体的数字を披瀝しながら 要点のみ播撒んで モデルを考察する上で の重要事項をここで整理しておこう。

1-4-A H<sub>2</sub>O(+) の 起源

地角斜玄武岩の岩石化学的特徴は 平均H<sub>2</sub>O(+) 3% を含み 多量の方解石なども含むため CO<sub>2</sub> が入っていることである。両方の成分は900°Cにおいて 約10分間も強熱すると消失する性格のもので 灼熱減量として表示される。H<sub>2</sub>O(+)の大部分は 緑泥石 白色雲母



第5図A Rb-Sr の関係図 (SUGISAKI ら 1972) 黒丸はみかぶ型 白丸は美濃型の地角斜玄武岩 十字は大洋性ソレイアイト



第5図B 希土類元素 (REE) の分布パターン (TANAKA ら 1971) 黒丸はみかぶ型 白丸は美濃型の地角斜玄武岩 黒丸(A型) は典型的な「固体型パターン」(図中の破線)とやや違って

第1表A 地向斜玄武岩と他の玄武岩の化学組成。( )内は試料数。

	西南日本		紅海	カールスバーク海嶺 (4)	大西洋中央海嶺 (20)	同左 (5)	大陸性 tholeiite (946)	同アルカリ玄武岩 (567)
	みかぶ型 (52)	美濃型 (70)						
SiO <sub>2</sub>	47.84	49.64	47.86	50.24	49.29	50.11	51.5	47.1
TiO <sub>2</sub>	1.19	1.97	2.10	1.82	1.38	1.13	1.2	2.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.41	15.36	13.10	14.87	15.66	15.35	16.3	15.7
全 Fe	10.76	11.51	13.50	9.30	8.73	8.21	10.4	10.9
CaO	11.65	7.19	10.60	9.07	11.37	8.24	9.8	10.1
MgO	9.95	6.78	8.30	7.10	9.06	8.94	5.9	7.1
Na <sub>2</sub> O	2.23	3.37	2.90	3.75	2.67	3.55	2.5	3.3
K <sub>2</sub> O	0.22	0.69	0.20	0.11	0.34	0.07	0.89	1.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.23	0.48	0.19	0.16	0.13	0.21	0.47

てより H<sub>2</sub>O(+) の少ない鉱物の集合体に変化する脱水作用(埋没変成作用)が指摘できる。たとえそれぞれの過程が互いに区別できたとしても そのつどの成分移動量を知ることは至難の業であろう。

第1近似として 深海底(とくに海嶺付近)からドレッジされた玄武岩で 新鮮な部分と変質した部分とを比べて判った組成変化の記録と突き合わせて 現在までの報告をまとめてみると 最も顕著な組成変化は

第1表B 地向斜玄武岩と他の玄武岩中の微量元素。( )内は試料数。

	西南日本		大西洋中央海嶺	同左	始生代玄武岩
	みかぶ型 (52)	美濃型 (70)			
Rb ppm	2.0	10.2	10>	1.1	5.9
Sr ppm	122	241	130	136	175

以上 杉崎・水谷 (1972) による

H<sub>2</sub>O Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> および K<sub>2</sub>O の増加と CaO および Na<sub>2</sub>O の減少なのである。調べた約120個の地向斜玄武岩のうち まず 枕状溶岩3個についてみると 長径30~40cmの外殻 中間および内核の各部から 2~3cmの大きさで切り取り 組成を比べてみる。3個の枕状溶岩はいずれも 外殻では Na<sub>2</sub>O に乏しくなることが判った。しかし他元素では H<sub>2</sub>O(+)に限っても系統的变化は認められなかった。次に 軸部と翼部の地向斜玄武岩全部の試料について H<sub>2</sub>O(+)量と CaO Sr および Na<sub>2</sub>O の各量との関係を検討してみる。翼部のなかでも 外帯側の地向斜玄武岩には H<sub>2</sub>O(+)と CaO および Na<sub>2</sub>O との間に弱い負の相関が見出されたその他 目立つような関係は1つも認められなかった。この相関関係から翼部の地向斜玄武岩には 若干弱い海水変質があったらしいことが窺える。枕状溶岩および全体からみて 一部に しかも弱く海水変質に似た系統組成変化は きわめて軽微の現象といえよう。おそらく 大規模の成分移動はなかったのではなからうか。

以上のように考えると 軸部と翼部の地向斜玄武岩の平均組成は ある程度(標準偏差位)の幅を持たせれば 両者の間に認められる差は 意味を持って比較できることになる。

#### 1.-4-B 平均化学組成

化学組成からみた特徴は 第1表にまとめた通りである(杉崎・水谷 1972)。参考のために 代表的な玄武岩の平均組成なども並べた。

軸部と翼部の地向斜玄武岩の違いは TiO<sub>2</sub> 1.19% : 1.97% CaO 11.65 : 7.19 MgO 9.95 : 6.78 Na<sub>2</sub>O 2.23 : 3.37 K<sub>2</sub>O 0.22 : 0.69 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.08% : 0.23% Rb 2.0ppm : 10.2ppm Sr 122 : 241のように明瞭である。ここには表示してないが 標準偏差から判断して とくに顕著な対立を際立たせるものに TiO<sub>2</sub> CaO

緑れん石 ぶどう石 アクチノ閃石 パンペリ石などに含まれる。以上の鉱物は玄武岩を構成している主要鉱物の輝石 斜長石 かんらん石などを交代してできたり 細脈状に集合しているの で 二次鉱物と見なされている。もちろん 元の組織が消えたり 時には顕著な成分移動もあったらしい。しかし 地向斜玄武岩の場合 地表に噴出した火山岩と違って もともと 水中において あるいは含水率の高い堆積物中に 噴出・貫入しているので 水蒸気圧はきわめて高かったことは想像にかたくはない。では 地向斜玄武岩中の多量の H<sub>2</sub>O(+)や CO<sub>2</sub> は 二次的とはいえ いったい どのようなにして岩石中に固定されたのであろうか。また これら2成分のみならず 他の揮発性成分(Cl F など)の起源はどこに求めたらよいのだろうか。地向斜の海の水なのか あるいは もともと玄武岩マグマ中 にあったものなのか。疑問は深まるばかりである。今ここで不確定要素に深入りしても 問題解決にはほど 遠くなるばかりなので 別の一策を講じてみよう。

H<sub>2</sub>O(+)が出入しそうな過程には ①マグマが固化し 岩石になる際 水蒸気圧が高くて 一次鉱物として加水鉱物ができる ②固化した岩石が 熱水変質 海水による風化変質(深海底では 水温0°Cくらいなので ほとんど風化変質作用は起こらないともいわれている) および堆積物中に挟まれてからの加水 などを受けるいわゆる二次的な加水鉱物の晶出 また逆に ③加水鉱物にとむ地向斜玄武岩が累積加重(埋没圧)によって やが

と  $P_2O_5$  とが指摘できる。さらに REE 分布パターンからみて軸部と翼部の対照はみごとである。これも図示してないが各成分の頻度分布図からみて翼部の2地区(内帯側と外帯側)には Rb Sr および REE 分布パターンを含めてほとんど差が見られなかった。この結果両翼部は軸部を中心にほぼ対称的性格を備えていることを意味しそれが地向斜玄武岩噴出時の地質構造を考察する上に大きな鍵となった。

## 2. 基盤

古生代地向斜内に砂や泥などが堆積する時容器は何からできていたのだろうか。古生層分布域で深層ボーリングを行ない直接基盤の岩石を手にすることが可能ならばまず確信をもって議論もできよう。たとえば米国東部のようにカナダ楯状地からアパラチア山脈までの間で実際に40本をこすボーリング(深度1,000m~3,000m)が古生層などの基盤に達ししかもその先カンブリア時代の基盤岩の深度岩石記載放射性年令測定等が行なわれている(KING 1970)のならば。しかし日本の場合悲しいかな直接のデータは何一つないのであるから別の情報に頼るほか方法がない。

オーソドックスな地質学的解析資料—古生層の層厚の変化層相碎屑物の供給方向(古流系)褶曲の波形などに加えて最近発見された礫岩(上麻生礫岩)中の高度変成岩礫は先カンブリア時代(1,700~1,500m.y.) [礫ではあっても変成岩そのものが真正の先カンブリア時代に形成されたという証拠は もちろんこれが日本で最初である。1971年3月に最初の測定値が出 報文が1971年8月地質学雑誌に公表されてから各方面に大きな反響をよんだ。地質ニュース 213号(1972年5月号)参照]を持つことから古生代地向斜の直ぐ北側に基盤が露出していたといわれる。そこで古生代地向斜の北側に隣接する飛驒変成帯は地向斜の基盤となっていてしかもその変成帯の一部は先カンブリア時代の変成岩であったと推定されている(SHIBATAら 1971 柴田・足立 1972)。また領家変成帯の一部にも基盤らしい岩石が見付かっている。地向斜玄武岩の軸部地域に近い黒瀬川構造帯の変成岩もかなり古い基盤らしい。このような基盤の年令は400~300m.y.のオーダーあるいはもっと古いらしいが厳密にはまだはっきりしていない。問題の変成岩の礫が先カンブリア時代の基盤から来たものでありしかもかなり古く15億年を超えていたことから中国大陸と朝鮮の先カンブリア時代の変成岩とはひとつづきで遠く日本列島にまで張り出し古生代地向斜の基盤となっていたという説が提出された(SHIBATAら 1971)。爆破

地震の解析結果によると 厚い大陸性の地殻があるようで 以上の説に都合がよい。

古生代地向斜が 現在の大洋底のような海洋地殻の上にあるいは さらに 大陸地殻と大洋地殻との境界付近に地向斜が誕生成長するとの図説を描く人の立場からすれば 以上の見解は容易に承認することのできないものであろう。

私たちは 地向斜玄武岩の分布がほぼ対称的であること 海水による変質・成分移動はきわめて軽微であったこと つまり 玄武岩噴出後間もなく碎屑性堆積物におおわれて 海水から早くしゃ断されたいこと 堆積物の供給は 北と南側から大量にあったらしいこと などから 古生代地向斜の容器として 大陸性の地殻を認めた方がよいと考えた。しかも4~3億年の他に 15億年を超す先カンブリア時代の変成岩などが基盤の一部として存在していたらしい とまで推定している。

## 3. 火成活動と地質構造

古生代地向斜の基盤の性質については先に述べたように 間接的資料から大陸性地殻の存在が考えられた。その議論に先き立って 1970年夏頃から おもに化学分析値の解析結果から得られた 2つのタイプの地向斜玄武岩の対称的分布と 地質構造上の位置付けが 試行錯誤しながら繰り返されたのである。

日本列島のネオテクトニクスにみられる諸特質が 地向斜玄武岩の資料をベースに描いたモデルと うまく結びついて 単純明解な関連性を結論するまでには至らず苦悶は続くばかりであった。書いては消し消しては書き手直しを加え なおかつ没にしたモデルは数え切れない。それらのうちから考えられるおもなモデルの模



第6図  
地殻部分における変動とマグマの通路についての模式図。



A: 海洋性地殻(O)の割れ  
B: 大陸性地殻 [上部が花崗岩質層(G)下部が玄武岩質層(B)]と海洋性地殻との会合



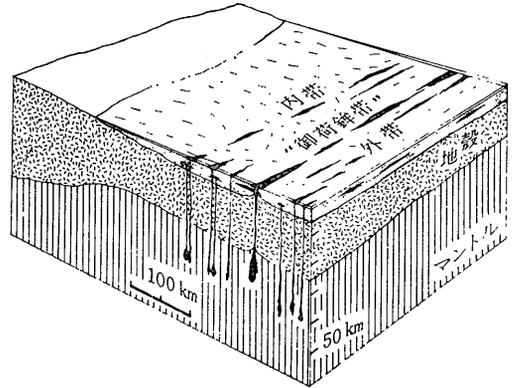
C: Bモデルにおける張力場の発生  
D: 大陸性地殻の割れ



図中 玄武岩質層(B)は玄武岩でなくて 高密度の先カンブリア時代の岩石 たとえば チャーノカイトのようなものかも知れない。

第2表 地殻上部におけるおもな特徴の比較表 (モデルは第6図)

モデルのタイプ名	働く力	地殻	熱流量	火成岩	翼部アルカリ岩	水	海水による変質	モデルの場所
A	←○→	海洋	高	玄武岩 はんれい岩 蛇紋岩(かんらん岩)	少ない	海水	著しい	大洋中央海嶺
B	→○←	陸・海	低	?		海水		島弧 東北日本
C	→○← ↓○↑	陸・海	中	玄武岩 (蛇紋岩)	少ない	海水	中	伊豆諸島
D	←○→	大陸	高	流紋岩 玄武岩 かんらん岩 (蛇紋岩化)	多い	陸水 海水	少ない	地溝帯(アフリカ東部・紅海) 台地



第7図 西南日本の古生代地向斜 二疊紀頃の模式ブロック図 (杉崎・水谷 1972)

式図(第6図)をここに披瀝し その基本的な考え方と問題点をまとめてみよう。

マクロの立場から 4つの単純なモデルを設けた(第6図・第2表)。表にあげた特徴以外に 堆積層 炭酸塩鉱物(石灰岩とカーボナタイト) 黒鉱・キースラガーチャートなども見逃すわけにはいかない。この単純なモデルの根底は マグマ発生時の場の深さは別にしても 通路は圧縮でなくて張力の場で開いている状態を必須条件にみだてていることである。地殻熱流量にも当然 この条件は正しく反映されている筈である。地向斜玄武岩噴出の場は 碎屑性堆積物の供給源を考えれば AやBのモデルよりもCかDのモデルの方が可能性が高い。Bのモデルは 遠方の たえば大洋中央海嶺で噴出固化した玄武岩(大洋性ソレイアイト)が プレートに乗って海水に浸りながら 1億年以上かかって 海溝=地向斜に運び込まれるような機構で これまでのプレートテクトニクスの通説にぴったりするであろう。

古生代地向斜の場合 砂岩・頁岩・石灰岩などと地向斜玄武岩とは互層状態にあり もし 地向斜玄武岩が遠くから運び込まれたとすると 必然的に堆積岩の構造が大きく乱れるであろう。その証拠になるような大きな堆積構造や堆積岩の変形はほとんど認められていない。つまり 両者はたいてい整合的に重なっているのである。

地向斜内で火成活動と火山岩噴出を期待するために考えたのが Bのモデルをやや修正したCのモデルで 大きな圧縮の場の中で 局部的あるいは一時的に開口させて マグマの発生とその通路を作ってやることである。このモデルでも 2つのタイプの地向斜玄武岩分布の対称性はうまく説明できない。

そこで思い切ってDモデルのように 大陸地殻を割って今までの 観点の大転換を試みた。そしてこの見方でもって 今一度世界の主要な構造帯における火山岩の特質を総点検してみようということになった。

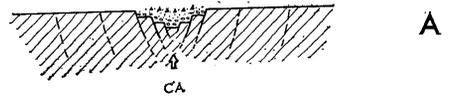
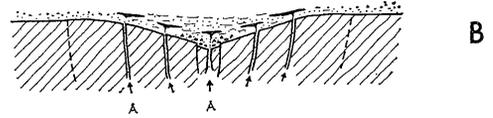
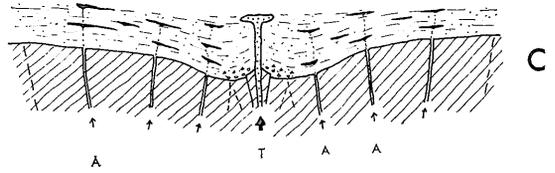
紅海とその周辺地域 アフリカ大地溝帯の南北方向の変化と横断方向の変化 あるいは 米国ロッキー山脈南端コロラド州デンバー南方の Rio Grande Depression (LIPMAN 1969)などで解析された 張力の場の軸に対して横断方向の火山岩の系統的变化は 次のようになっていた。すなわち 軸部は比較的 SiO<sub>2</sub>に富みアルカリに乏しいが 逆に両翼部ではアルカリに富み 両者の分布形態はほぼ対称的であった。このような例は Dモデルと考えられる地域に典型的であって その類型を他に求める上に重要な布石となった。高压合成実験によると SiO<sub>2</sub>に富む玄武岩(ソレイアイト質) マグマはアルカリに富む玄武岩マグマ(アルカリ玄武岩質)よりも低圧条件(つまり相対的に浅い上部マントル)において形成されている。

以上のような要因を重視して 西南日本の古生代地向斜の復元には Dモデルが最適だと考え 第7図のように 大陸地殻が開く張力の場の仮説を提案したわけである。(SUGISAKI ら 1971)

#### 4. 張力場における火成活動の時間的变化

西南日本の古生代地向斜にはシルル紀中頃から 碎屑物がたまり始めたらしい。もっと古い時代についての手懸りはまったく得られていない。四国中部高知県の横倉山付近と宮崎県祇園山では まず礫岩と砂岩に混って凝灰岩が入っている。ついで 石灰岩ができ 安山岩を挟み デボン紀になると 礫岩砂岩頁岩とともに流紋岩 その上には凝灰質頁岩がのっていると報告されている。詳しい記載がないので あまり確かなことは判らないが これらの火山活動はおもに珪長質(いわゆる酸性)カルクアルカリ岩の噴火によるものらしい。もちろんこの時期から張力の場であって 大陸地殻が少しずつ割れ始め 軸部付近では沈降傾向にあった。

石炭紀になると堆積域は広がり 堆積物も厚くなり 多数の小さい割れ目から玄武岩が噴出した。火山活動は二疊紀初期～中期に最高潮に達し アルカリ玄武岩質のマグマが主体であったらしい。巨大な容積のみかぶ型玄武岩マグマ（ソレイアイト質で 多量のはんれい岩がいっしょに現われる）は 二疊紀初期に上昇している。二疊紀末期になると 地向日斜の一部(北側の三郡変成帯)は隆起し また別の場所では列島状に連らなって地表へ露出するようになった。以上の火成活動の移り変わりをここで私は 第 8 図のように描いてみた。前に示した第 7 図は ここで説明した第 8 図 C すなわち二疊紀初期の状態を詳しく具象化したものである。



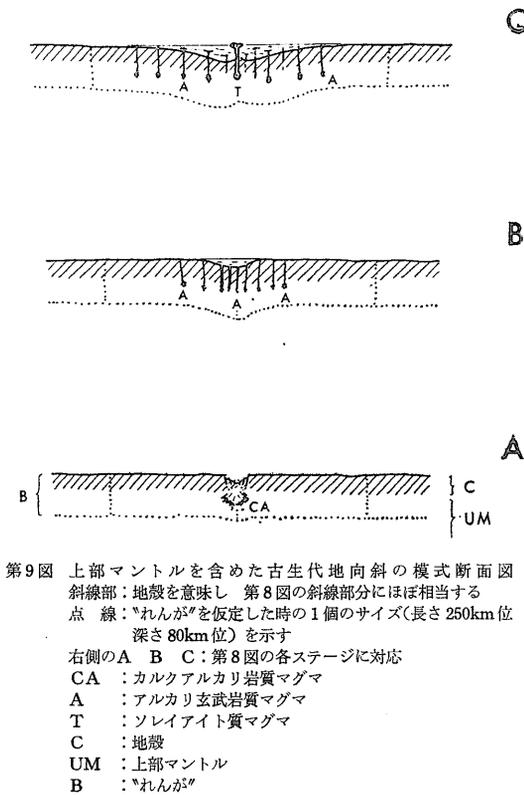
第 8 図 古生代地向日斜の発展過程と火成活動とを示す地殻上部の模式断面図(軸部にほぼ垂直の南北断面)  
 A: シルル紀(4.0 億年位前) 初期の張力場とカルクアルカリ珪長質火山岩(CA)の噴出  
 B: 石炭紀(3.2 億年位前) アルカリ玄武岩質岩の火山活動(A)  
 C: 二疊紀初期(2.6 億年位前) 多量のソレイアイト質玄武岩マグマ(T)の軸部への貫入とそれに伴う隆起

### 5. The New Global Tectonics の立場から

大洋底拡大説は 中央海嶺で生産されたプレートがベルトコンベアーによって運搬され 海溝へ沈み消滅するという雄大なメカニズムに結びついて プレートテクトニクスの仮説にまで発展した。東北日本のネオテクトニクスの特徴から 第 6 図 B のようなモデルが考えられ主張されている。私は そのモデルが確かなのかを立証できないし まして はっきり否定もできない。西南日本の古生代地向日斜をモデル化する際 既に議論したように Bモデルではうまく説明できないのである。あえて プレートテクトニクスの表現法を借りるならば 第 8 図に示した火成活動の変せんは 第 9 図のような断面図になってしまう。ここで当然の事ながら 張力の場における大陸地殻の割れ 地向日斜の誕生 2つのタイプの地向日斜玄武岩噴出とつづいた後の地質現象はどうなっていたであろうかを 考えねばならない。その問題に触れる前に 張力と全く逆の圧縮の場における現象も考えてみよう。古生代地向日斜(約4.0億年~2.3億年)内の張力の場が 全体として 何 km の開口を生んだのであろうか。これは単に圧縮の問題と無関係とって 済まされる事柄ではないからである。古生代地向日斜は三疊紀中頃(紀2.0億年)までに褶曲を受け 北方から隆起して 陸化が始まっている。マクロにみて古生層の褶曲の波形と全体の地質構造解析とから 元への復元が可能で 受けた圧縮の程度はほぼ推定できるのではないか。具体的な数字が報告されているか否か知らないが おそらく 100km のオーダーを超えてはいないだろう。

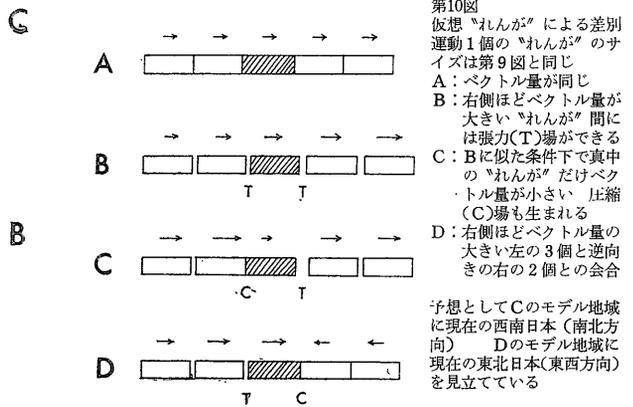
域を経て 古生層は四万十地向日斜(ジュラ紀~古第三紀)におおわれてしまう。四万十地向日斜には 量は少ないものの 古生代地向日斜と同じようなみかぶ型の玄武岩も挟まれている。古生層などを基盤とする四万十地向日斜が 張力の場で成長したものとすると 以下の変化が考えられる。シルル紀から古第三紀までのおおよそ 3.5 億年の間に 古生代地向日斜内における「張力から圧縮へ」の変化が 四万十地向日斜誕生の「張力」の場への変移という関連性で説明づけられそうである。別の表現をすれば 「一地域の変化」は隣り合った「他地域の変化」と必然的に相互に結びついているといえよう。そうすると 雄大なスケールの一方的側方変化だけでは とても説明できないので もっとスケールの小さい現象と見なすべきではあるまいか。プレートテクトニクスといっても グローバルなスケールで 大規模に地殻と上部マントルの一部とを 一方的に側方に移動させているにすぎない。地球の大きさに変化がなければ 所詮 地球の表面積は一定なのだから 大量に上方に向かう物質移動があった場合には 別のどこかで下方にもぐり込む流れが必要となろう。つまり 地球という 1つの閉塞系における大スケールのバランスシートの一覧表を見ているのに過ぎないのである。

南側ではどうなっていたであろうか。秩父帯には黒瀬川構造帯にみられるように 大きな断層が数多く走っていて 構造は単純でない。秩父帯の南端近くの三宝山帯という二疊紀末期に地向日斜の軸部となつたらしい地



話を再び西南日本に戻そう。プレートテクトニクスと比べて 長さのオーダーは2桁位小さくなってしまいが 数10kmの規模の移動量を考えてみよう。この数字は最も厚く見積った場合の大陸地殻の厚さにほぼ相当する量だ。また 明らかに100kmより深所で晶出した岩石 たとえば超高压の変成岩や超苦鉄質岩が普通に私たちの目に晒されていないという事実も考え合わせると 垂直移動量はたかだか数10kmであろうということになる。何れにしても 水平移動量も 上昇隆起の量も 普通数10kmのオーダーであろうと考えている。

以上の前提に基づいて 移動するもののサイズを仮定してみよう。これには 古生代地相斜の軸部から翼部の北端までの距離 あるいは 大西洋中央海嶺付近にみられる fracture zone で限られた1つのブロック位の広がり すなわち 一辺を250km程度の四辺形で 厚さを一辺の約1/3とみなして考えてみる。ただしこの広さ大きさについては全く根拠があるわけではない。第9図の模式図に記入してある点線は 以上の仮定を図示したもので 1つのブロックをミニプレート (mini-plate) もしくは れんが (brick) 状とここでは便宜的に呼ぶ。“れんが”を適当に動かすことによって 張力や圧縮の



場を作ってみるわけである。今5連結の“れんが”を動かす 中央の“れんが”に働く力を調べると(第10図) 5個の“れんが”が一方へ同じベクトル量だけ移動する時には どこにも張力や圧縮の働く場は生まれない(第10図A)。しかし全体が同一方向に動く時でも 1個所だけベクトル量が違えば 相対的な差別運動が生まれてそこに張力や圧縮の働く場所ができる。第10図Cで1つの“れんが”の片側では張力 他方では圧縮の起きることを示した。もちろん マクロにみて Dのように 正反対の流れがあって圧縮力が働いても 小さい単位の1つの“れんが”を考えた時 その両側で張力と圧縮との場が同時に生まれることもあり得る。

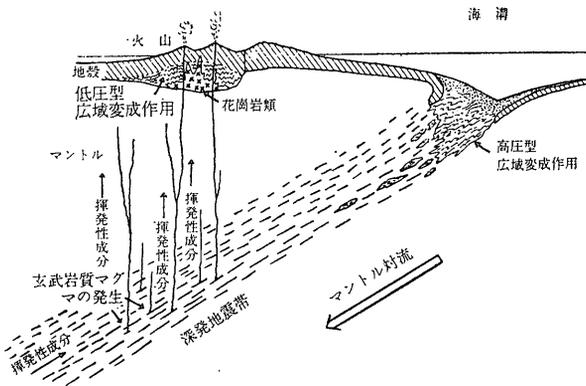
以上のように 差別的な移動を仮定すると 張力も圧縮の場も容易に理解できるであろう。

西南日本で三疊紀ごろ起きたであろう変化 すなわち 古生代地相斜に圧縮の場を生んだ変動は “れんがの差別運動”を想像すると 四万十地相斜誕生の際に働いた張力の場を作り出した変動とを結びつけることができたとてうまく説明がつくのである。

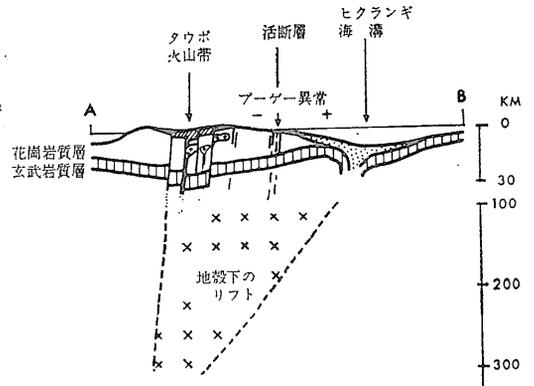
## 6. 圧縮の場における火成活動と変成帯

一般に東北日本 あるいは ニューゼーランド北島における現在活動中の変成帯は 第6図Bのモデルで説明されている。そこでの特徴は ペア変成帯のあること すなわち 高温型の変成帯(多量の花崗岩を伴って紅柱石-珪線石型の片麻岩が産する)と 低温高压型の変成帯(藍閃石片岩が特徴)がほぼ並んで分布し 両者間には中央構造線が通ると考えられている。第11図Aは全体が圧縮の場で説明されているに対し 第11図Bは約200kmの両側に 圧縮と張力(正断層とタウポ火山帯)の場があることを示した。前章で考えたように 圧縮-張力を1つのセットとして 見立てたのである。

マグマが上昇したり ガス体が通ってゆけるのは 既



第11図A ペア変成帯の成因を説明する概念図(MIYASHIRO 1967) 現在の東北日本(東西断面)がモデルになっている たてのスケールとくに地殻付近は誇張して描かれている

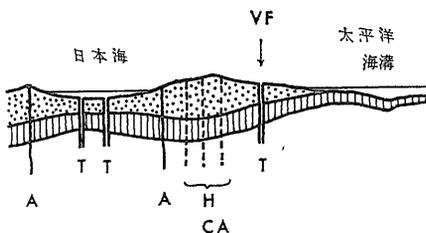


第11図B ペア変成帯の成因を説明するもう一つの模式断面図(HATTORI 1968) モデル地域はニュージーランド北島(北西-南東断面) Sub-Crustal Riftは深発地震帯 水平方向のスケールは右側の 100~300 kmのスケールの約7割

にその通路ができてい るあるいは 通路を自身が広が ながら移動するという ことであろう。

圧縮の場において 物質の移動が大量に可能ならば 一体どんな通路を想定すればよいか という素朴な疑問がここにでてくる。 島弧-海溝に一般的なテクトニクスの特徴と 深発地震帯とマグマ発生 の場(第11図A のように 玄武岩マグマと揮発性成分の発生を深発地震帯において また地殻直下付近で花崗岩マグマの発生を期待する2段階のモデルも含めて)とが関連づけられて いるように 300km も 400km もの地下深所から地表近くまで割れ目が続くように書かれている。 そのような直線的な深い割れ目が どんな機構で生まれ また物質の通路として長時間保持される得るのであろうか。 本当に 直線性の長い割れ目が圧縮の場において期待できるのであろうか。

既に述べたように(8頁) 私には 物質移動の通路として 張力の場を想定する方が 前述の素朴な疑問に

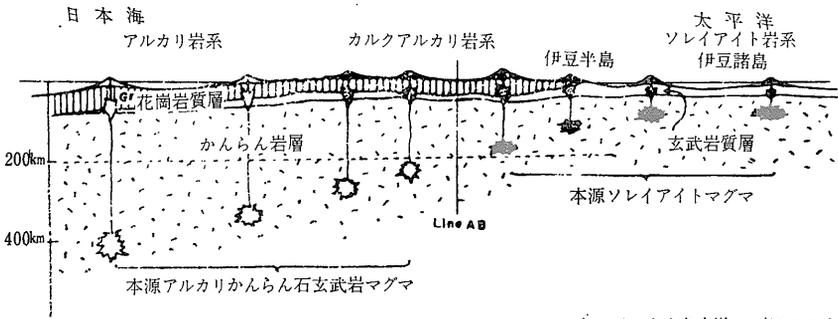


第12図 沿海州南西方-日本海-東北地方-日本海溝を結ぶ模式断面図(第10図Dモデルに対応) VF:火山帯のフロント A:アルカリ玄武岩質マグマ T:ソレイアイト質マグマ H:高アルミナ玄武岩質マグマ CA:カルクアルカリ岩系マグマ

うまく答えてくれるように思える。

そこで東北日本のモデルを 第6図Bのように 全体を圧縮の場におかず また マグマ発生 の場を深発地震帯にも求めないでうんと浅いと考えたら 第12図のようになるだろう。 つまり 「火山帯のフロント」(SUGIMURAら 1963)こそが張力の場にあつて たとえ 小さくても開口状態におかれたために玄武岩マグマが生まれ地表へ噴出したとみなしたのである。 しかも マグマ発生 の深さは せいぜい数10km までであろう。 大島・伊豆付近から岩手山にいたる「火山帯のフロント」に沿った地域の比較的浅い所で マントル物質が多量に部分熔融して SiO<sub>2</sub>にとみ アルカリに乏しい玄武岩(ソレイアイト質)マグマが発生・上昇し ソレイアイト質玄武岩(5頁に述べたように 著しく K<sub>2</sub>O Rb U Thなどに乏しく K/Rb がやや高く 大洋性ソレイアイトに似ている)が噴出した。

さてこの張力モデルを日本海周辺の新生代火山岩についても適用してはどうであろうか。 日本海周辺地域にはアルカリ岩が分布している。 沿海州付近には とくにアルカリ珪長質火山岩が知られている。 日本海は熱流量が高く 玄武岩の噴出が期待されているが さてどのような種類の玄武岩であろう。 第13図を提案した Kuno (1959)と久野(1961)の説[中間地域の玄武岩がカルクアルカリ岩系(1959)から高アルミナ玄武岩(1961)に衣更えている]によれば 深発地震帯の深度が増すと そこで発生する玄武岩マグマの性質は SiO<sub>2</sub>に乏しく よりアルカリに富むようになるという。 ここでは図を紹介しないが YODER・TILLY(1962)は玄武岩マグマ発生 の場所をいずれも 150km 程度とみなし マグマ溜りの深



第13図A  
玄武岩マグマの帯状分布と深発地震帯におけるマグマ発生との関係を示した最初の断面図（伊豆諸島—隠岐間）(KUNO 1959)

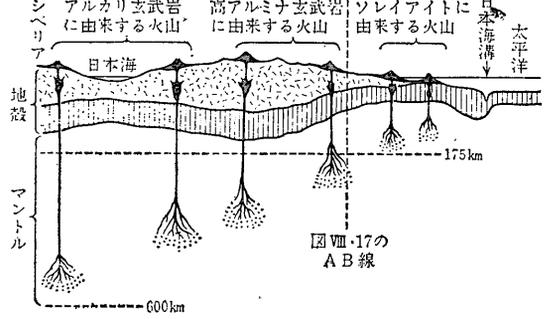
さを系統的に変えている。 どちらの図から判断しても日本海の底に噴出した玄武岩マグマの性質を予測するとかなりアルカリに富み  $SiO_2$  に乏しい アルカリ玄武岩になるだろう。 いずれ近い将来多量のドレージ試料の詳しい研究の発展と共に 解明されることを期待している。 しかし 私は全く別の予測を立ててみた。 日本海地域はマクロにみる時 圧縮の場ではなく張力の場であると。 少なくとも 環日本海アルカリ火山岩よりはアルカリに乏しく むしろ  $SiO_2$  に富むもので おそらく「火山帯のフロント」のソレイアイトに近い性質を持っているのではないかと。

そこで以上のようなモデルと考え方を押し進めようと 珪長質（いわゆる酸性の花崗岩）マグマはどこに発生させたらよいか との疑問が当然起きてくるし 圧縮の場では マグマは作れないのだからとの心配もつながる。

話は再び前後するが ここでもう一度古生代地向斜が二疊紀末期から一部陸化に転じ 三疊紀中頃までに褶曲変形を受けていたことを思い出していただきたい。 つまり圧縮作用（三郡変成作用）を受け 何割かの水平距離の減少があったことである。 しばらくの後 多量の花崗岩マグマが 褶曲した地層中に貫入し 領家変成岩を作り あるいは 地表に噴出した花崗岩マグマは火砕岩の累層をなし 濃流紋岩によって代表されるような巨大な火山体を形成したわけである。

花崗岩マグマは マクロにみて 褶曲した古生層をほとんど乱すことなく 比較的静かに貫入して領家変成帯を成長させ また 地表に噴出した火砕岩も 大きな圧縮テクトニクスを証拠づけるような変形は受けていない。 おそらく 花崗岩マグマも張力の場の生成物らしく思える。

では 玄武岩マグマや花崗岩マグマが 全く偶然に なんの規則性もなくで どのような張力の場においても発生するものであろうか。 もう既に古生代地向斜復元の図説（第8, 9図）の中に盛り込んであるが 私の考



第13図B 高アルミナ玄武岩を識別した直後に描かれた模式断面図 (久野 1961)

えでは 玄武岩マグマのできる場合：海洋地殻のみからなる大洋地域でも 大陸地殻ののる大陸地域でも 単純な張力の場におかれると まず垂直に近い割れ目ができやがて地殻は両断され さらに地殻直下付近の上部マントルにまで割れ目が波及して そこでマグマが発生する。大量の花崗岩マグマのできる場合：大陸地殻のある地域で 地殻・上部マントル全体がまず圧縮を受け広い範囲に無数の 不規則な割れ目ができたのち 一転して張力の場に移行する場合に限り 減圧効果が働いて地殻下部あるいは地殻直下の上部マントルの物質からマグマが発生するとの考え方をしている。 また 玄武岩マグマ発生には 水の果たした役割りが非常に大きかったらしいことも合わせて推測している。

次に 変成帯に言及してみよう。 西南日本の三波川変成帯では 藍閃石は普遍的にみられる鉱物で 高压条件を示すとされ また さらに高压を指示するひすい輝石は 三波川変成帯のなかでもとくに東部において頻繁に晶出している。 三郡変成帯の方は 三波川変成帯に比べてやや低圧条件下で形成され まもなく陸化している。 三波川変成帯では その南に続く秩父帯の一部が三郡変成帯の陸化とほぼ同時期に隆起陸化したらしいが三波川変成帯自体の上昇陸化はずっと遅く およそ1億年位余分に埋没条件下に留められている。 高压型の変成鉱物や鉱物組み合わせは 埋没深度だけでは解釈できず(被覆岩の層厚からみて) すでに tectonic thickening

とか tectonic overpressure という特殊なメカニズムで高圧を説明しようとしている。日本では中国地方東部において 徳山 (1971) が埋没圧の 2~3 倍の構造圧 (=tectonic overpressure) を考えている。このメカニズムをもっと一般化して 三郡変成帯と三波川変成帯における変成条件の違いを推論することにしよう。マクロにみて 軸部に近い三波川変成帯は地層が厚く堆積しており 翼部でも基盤が浅かったらしい三郡変成帯では地層の受けた埋没圧もあまり大きくなく さらに働いた構造圧も両者間ではかなり違っていたのではないかと。ミクロにみても 先に述べたような変成鉱物組み合わせに この違いがはっきり現われている。

広域変成帯の場合には 極端な深所形成を考えなくても よさそうである。地層の層厚に相当する程度の浅いたかだか 30km 位の深さにおいて 特殊な付加圧力たとえば構造圧も認めることによって 100km 位の深さに相当する圧力が得られそうである。最近中央海溝付近に産出する玄武岩の中から 緑色片岩相を示す埋没変成作用の鉱物組み合わせの岩石が発見されている。地層圧で表わすと 2~3km の埋没深度の圧力条件にすぎないが それでも変成作用が可能らしい。

以上の見解は 高圧型の変成帯でも 数 10km の深さで十分形成されうることを 間接的に支持している。ペア変成帯は おそらく多量の花崗岩マグマが貫入し全体が大規模に浮上した時のみ 大きな逆断層が生まれ 2つの異なるタイプの変成帯の対立が目立つようになり 1つのペアとして識別されたのではあるまいか。花崗岩マグマは既存の大陸の地殻物質内へ貫入するので その場所が以前変成作用を受けていると 当然 複変成岩になる筈である。領家変成帯はこうにして形成された複変成タイプの構造帯であり 隣り合わせの三波川変成帯もやや遅れて引き続いて浮上隆起したとみられる。

以上飛躍を重ねて議論を進めてきたが 肝心の深発地震帯をどう考えたらよいか 最後にひと言触れてみたい。西南日本におけるシルル紀から古第三紀にかけて あるいは 東北日本における新生代のいわゆるネオテクトニクスについて おもに張力テクトニクスの重要性を強調し また 花崗岩マグマ発生に関して 圧縮から張力の場への転化という作業仮説を提案した。どの変動においても 必要な深度は数 10km オーダーで可能であろうと考えた。こうした考え方を発展させてみると どの変動も 規模の面でも 成因を含めてみても 直接深発地震帯と結びつけて考察する必要はなくなってしまふ。もちろん 深発地震帯は現在の変動帯における超

一級の大構造であって 本文に述べた深さ数 10km オーダーの現象と比べて 一桁以上も大きい巨大現象なのである。

もう 1つ 仮定の“れんが”の差別運動は それに比べて中程度のスケールの変動ではあっても また 直接的ではないにしても なんらかの形で その巨大スケールの深発地震帯の活動と結びついているのではないだろうか。さらに それに比べると 地表近くの地質現象は もう一まわりスケールの小さい事件のように思える。深発地震帯のエネルギ―は 直接的ではないにしても “れんがの差別運動”のフィルターを通過してごく弱められ その上で 地表と相互に関連し合っているのかも知れない。もっとも ネオテクトニクス期一中生代後期以前に 深発地震帯のような超一級の大構造が存在していたのかどうかは疑問であるが。

いずれにしても 桁違いの諸変動を個々に区別しながら その上で 相互の関連をグローバルな観点から もう一度見直す必要があろう。

## エ ピ ロ ー グ

1つの研究対象としての地向斜玄武岩について 種々の手法を駆使してデータをとり 解析し その結果 グローバルなスケールで問題を把握するに至った経緯をも含めて 研究の概要を紹介した。多岐にわたる内容について 私たちの資料を中心に 短い誌面で語ったので 当然紹介しなくてはならない 内田信夫 橋本光男 岩崎正夫 蟹沢聡史 勘米良龜齡の諸氏らの 貴重な貢献と文献とを割愛してしまった。別の機会に 稿を改めて詳しく紹介してみる積りでいる。

1個の岩石を取り上げて その内にあるひそかな歴史を知りたいと 考え方を換え 攻め方を換えれば 必ずや 新しい言葉で語りかけてくれるだろう。研究に携わるものにとって 未開の地を歩くことは 苦しい試練の連続ではあっても このような自然との語りから得た結果こそ 至上の喜びではなからうか。ここに紹介したデータは ほぼ真実に近く そのまま記録として残ってゆくと思う。しかし それらのデータ解析等に基づいて作成した地向斜モデルの仮説などは ある時 観点を大転換すれば 抜本的に作り変えることにもなるだろう。多分、それはきわめて近い将来かも知れない。

ある時点において 研究の持つ意義が大きな体系の中でどう位置付けられるか カメラのレンズにたとえるならば 魚眼レンズによる俯瞰のように どんな小さな事象を取り上げる場合でも ラフではあっても全体像を捕えることが必要に思う。もちろん 従来のオーソドックス

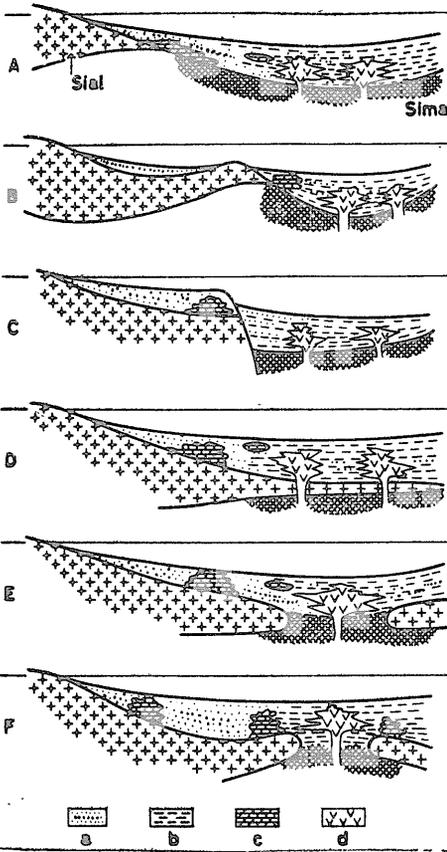
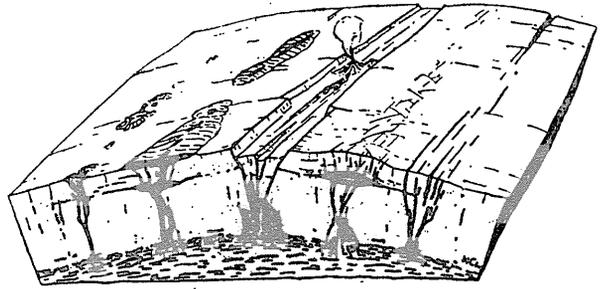
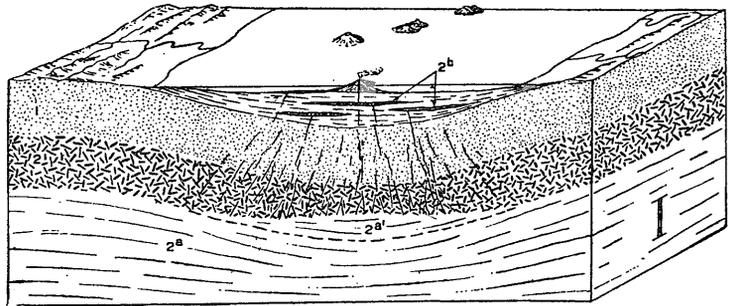


Fig. 4 シアル、シマと地向斜。  
 A ; シマの上にユウ、ミオ地向斜がある。  
 B ; ミオ、ユウ地向斜間に隆起帯がある (Kay によるアパラチア)  
 C ; コンチネンタルライズ型 (Dietz によるアパラチア)  
 D ; ユウ地向斜の下にも深いシアルがある。  
 E ; シアルが緊張により分離した。  
 F ; シアルが曲撓により分離した。  
 a ; ミオ地向斜相, 又は蒼しい砕屑岩相, b ; ユウ地向斜相,  
 c ; 石灰岩相, d ; 塩基性火山岩類

第14図A 地向斜の種類と地殻・火山活動・堆積との関係を示す模式図 (木村 1971)



第14図B 張力場における割れ目と火山活動 (CLOOS 1939) モデル地域はアフリカ大地溝帯



第14図C 地向斜初期の沈降と火山活動 (UMBGROVE 1947)  
 1: シアル層 2: 塩基性層 2a: 2の低位層  
 2a': 2aの溶融部 2b: 塩基性侵入岩

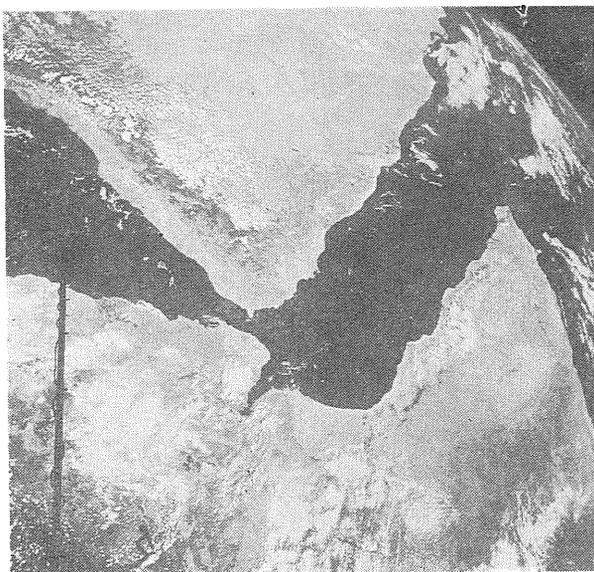
ここで1つだけ申し開きをしておきたい事がある。私たちは 古生代地向斜はまず大陸地殻が割れた後 沈降に移り 2種類の地向斜玄武岩が誕生した との考えから研究を進めて来た。今までにも 多数の文献が諸々の観点からいくつかの地向斜モデルを出している。たとえば 私たちのモデルは DEWEY・BIRD (1970) の分類の中に類型を求めるとすると epieugeosyncline に相当するだろう (SUGISAKI ら 1972)。また 木村 (1971) のまとめた図の中にも類型を見出すことができる (第14図)。

このような類型探しは 記載の内容のちがいが 手法の違いからみて 時折 的はずれの議論に落ち込んで 形骸化してしまう。つまり 外郭のみを遠くから眺めて 単なる比較論に終始することは無意味のように私は思う。

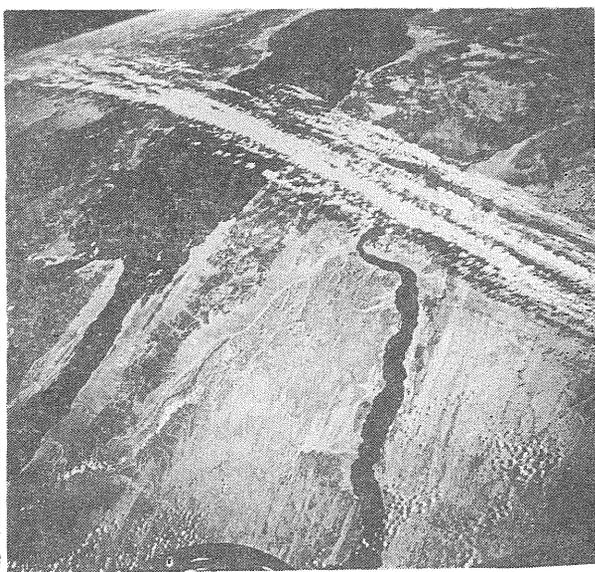
時が流れ いつしか忘れ去られてしまうような時期もあるが 地質学上の主要テーマは その内容が変わって また 登場することが 今までもしばしばあった。WEGENER の大陸移動説が装いも新たに 大洋底拡大説を核にしたプレートテクトニクスの仮説に発展したのが 1つの好例であろう。このように「古い皮袋」に「新しい酒」が満たされている時 人はやはり皮袋は同じものというのであろうか。英語のイディオムにも

クスな攻め方 つまり定石ともいえる標準レンズで見ること肝要ではあるし うんと狭い点にスポットをあてマイクロに攻める場合にも たとえば 顕微鏡のようにきわめて短い焦点のレンズを用いたり 全く別に遠くから全体をにらみながら 超長焦点の望遠レンズで情報をキャッチするように、エレクトロンプローブで鉱物の化学組成の定量を行ない あるいは 質量分析計でアイソトープを調べたりするのが その好例であろう。

1つの対象を通じて自然界を眺めるのに レンズのズームミングのように視野を変えてゆくことから 思いがけない新発見との出会いにつながるのではないだろうか。



第14図D 西南日本の古生代地向斜はこの地域に似ている。アラビア半島(上)とアフリカ大陸(下)にはさまれた紅海(左)とアデン湾(右) 写真はジェミニ宇宙船からのながめ



第14図E アラビア半島(左上)およびシナイ半島(左中)とアフリカ大陸(右側ナイル河を含む)との間にはさまれた紅海 第14図Dに同じ(Dott・Batten 1971 "Evolution of the Earth" by McGraw-Hill, Inc.)

separate the sheep from the goats とか discriminate between the sheep and the goats の表現があつて 見掛けは似ていても本質的には違うものを区別するとある。自然現象解明にあたって 私はいつもこの言葉の意味を大切に 「一見似てはいても 実は 非なるもの」を追求する姿勢を 今後も保って行きたいと思う。 そうでなければ ものの本質を見失って いつも単純な見掛けの比較論に終わってしまいそうな気がするからである。

本文では概要しか述べられなかったが 以上の観点に立って これからもいくつかの問題点をズームしながら紹介していきたい。 賢明な諸氏からのご批判は卒直に受け また 本文がプレートテクトニクスの仮説について より具体的な討論への1つのステップともなれば 私にとって最上の喜びとなるだろう。

終わりに 日頃ホットな議論をたかかわっている杉崎隆一 水谷伸治郎 田中剛 石原舜三の諸氏から 私は常に有形無形の活力を与えられた。 また本文中の多くの図は正井義郎氏によって複製された。 ここに厚くお礼申し上げたい。

(筆者は地質部)

## 文 献

- 青木斌・伊東正喜：地球科学 22 24—31 (1968・1)  
 Tom. F. W. BARTH: Theoretical Petrology. 387p. John Wiley & Sons. (1952)  
 H. CLOOS: Geol. Rundsch. 30 405—527 (1939)  
 J. F. DEWEY・J. M. BIRD: Tectonophysics 10 625—638 (1970)  
 A. E. J. ENGEL・C. G. ENGEL: Science 144 1330—1333 (1964)  
 A. E. J. ENGEL・C. G. ENGEL: Science 146 477—485 (1964)  
 A. E. J. ENGEL・C. G. ENGEL・R. G. HAVENS: Bull. Geol. Soc. Amer. 76 719—734 (1965)  
 P. W. GAST: Geochim. Cosmochim. Acta 32 1057—1086 (1968)  
 H. HATTORI: Rept. Geol. Surv. J. No. 229 (1968)  
 H. HATTORI・R. SUGISAKI・T. TANAKA: Earth Planet. Sci. Lett. (1972)  
 C. E. HEDGE・R. J. KNIGHT: Geochem. J. 3 15—24 (1969・8)  
 木村敏雄：日本鉱山地質学会 特別号第4号 1—16 (1971・10)  
 P. B. KING: The Precambrian vol. 4 1—71 Interscience (1970)  
 H. KUNO: Bull. Volcanol. 2d ser. 20 37—76 (1959)  
 久野久：地球の構成 193—216 岩波書店 (1961)  
 久野久：地球科学 22 195—197 (1968—7)  
 P. W. LIPMAN: Bull. Geol. Soc. Amer. 80 1343—1354 (1969)

A. MIYASHIRO: Medd. Dansk Geol. Forening 17 390—446 (1967)  
 K. SHIBATA · M. ADACHI · S. MIZUTANI: 地質雑 77 507—514 (1971 · 8)  
 柴田賢 · 足立守: 科学 42 29—32 (1972 · 1)  
 柴田賢 · 足立守: 地質ニュース 213号 1—13 (1972 · 5)  
 A. SUGIMURA · T. MATSUDA · K. CHINZEI · K. NAKAMURA: Bull. Volcanol. 26 125—140 (1963)  
 R. SUGISAKI · T. TANAKA · H. HATTORI: Nature 227 1338—1339 (1970 · 9)  
 R. SUGISAKI · S. MIZUTANI · M. ADACHI · H. HATTORI · T. TANAKA: Nature Phys. Sci. 233 30—31 (1971 · 9)  
 R. SUGISAKI · S. MIZUTANI · H. HATTORI · M. ADACHI · T. TANAKA: Tectonophysics (1972)  
 杉崎隆一 · 水谷伸治郎: 科学 42 170—180 (1972 · 4)  
 T. TANAKA · A. MASUDA · R. SUGISAKI: Nature Phys. Sci. 232 105—107 (1971 · 8)  
 M. TATSUMOTO · R. J. KNIGHT: Geochem. J. 3 53—86 (1969 · 8)  
 徳山明: 地質学論集 第6号 21—32 (1971 · 7)  
 内尾高保: 科学 38 205—208 (1968 · 4)

J. H. F. UMBROVE: The Pulse of the Earth 2d Edition Martinus Nijhoff (1947)  
 Y. S. YODER, JR. · C. E. TILLEY: J. Petrol. 3 342—532 (1962)

付記: 1971年4月から岩波書店発行の科学に 世界の変動帯 シリーズが始まり 今年5月までに 最近のホットニュースを交えた総括論文が約25編掲載された。

とくに今年4月号の特集: 日本列島 にはそれぞれ異なる立場から 先カンブリア時代 · 古生代以降島弧変動のネオテクトニクスに至る日本列島の地質構造発達史が論述されている。

次回予告

- ② 陸と海の火山および火山岩
- 7. 陸の火山
- 8. 海の火山
- 9. 地質時代の日本の火山
- 10. 玄武岩とテクトニクス: 陸と海と

新刊紹介

KARST—北半球の主要なカルスト地域

石灰岩で代表される炭酸塩岩ほど古くから親まれてきた岩石は少ない。大規模の石灰岩分布地帯は わが国の秋吉地方に典型的にみられるように カルストとよばれる特異な地形を作り ドリーネ カレン · フェルド そして鍾乳洞など われわれの目を楽しませてくれる。もともと炭酸塩岩はありふれた堆積岩の一つなので カルストも世界各地に分布している。しかし カルストの成因はそう簡単なものではなく 炭酸塩岩の性質 地質構造 水理学など いろいろの分野の総合的な知識を必要とすることを本書は教えてくれる。

本書は16章に分けられているが 初めの2章で 地形学と水理学に基づくカルスト形成に関する展望が述べられ 次いでヨーロッパと北米のカルストについての詳細な研究成果が各国の研究者によって紹介されている。美しい写真と豊富な付図は読者の理解を深める上でおおいに参考となるであろう。

本書は副題で示されているように 北半球の主要カルスト地域を取り扱っているが アジアに関する記述は欠除している。わが国をはじめとするアジア諸国のカルスト研究の遅れが痛感される。炭酸塩岩に興味をもつ研究者 地形学を専攻されている研究者にとって必読の書である。

<主要内容>

第1章 地形学的解釈の歴史的展望 / 第2章 水文学的解釈の歴史的展望 / 第3章～第13章 ヨーロッパ諸国のカルスト (ユーゴスラビア · イタリア · フランス · ドイツ · オーストリー · ハンガリー · チェコスロバキア · ポーランド · ルーマニア · ソ連 · 英国) / 第14章 ジャマイカのカルスト / 第15章 米国のカルスト / 第16章 結論

編者: M. HERAK and V. T. STRINGFIELD  
 発行所: ELSEVIER PUBLISHING CO., LTD. アムステルダム, 1972  
 551ページ 165mm×250mm 定価 13,800円  
 販売所: 全国洋書取扱書店

BAUXITES (Developments in Soil Science 1)

本書はボーキサイトの生成に重点を置いた専門書であって ボーキサイトの鉱物 · 地球化学 · 地質 · 分布などについて 比較的初歩的な問題から最近の研究まで判りやすく述べている。全部で6章からなっているが 内容は2部に大別され 最初にラテライト作用に関する野外研究ならびに実験的研究の成果を紹介し これに伴う鉱物生成と物理化学的条件と鉱床の組織 · 構造との関係をまとめている。次にボーキサイト鉱床を原岩と古地形を基礎にして分類 それぞれの地球化学的特徴に言及している。

さらに最後に 今後解決されるべき問題として火成岩 · 変成岩を覆っている鉱床については primary の赤鉄鉱とギブサイトの生成条件など数項目 炭酸塩岩上のものについては アルミニウムの source など 砕屑岩上の鉱床についても堆積堆盆へのアルミニウムの供給など数項目を挙げている。

従来のボーキサイトに関する専門書は大部分が特定地域の鉱床に関するもの または鉱床分布に関するものであって 本書のように地球化学的な総括を行なったものに少ない。その意味でボーキサイトに興味のある地質家には便利な書物であろう 本書では 1968年までの研究は完全に紹介され 1969年の文献も少数は引用されている。筆者はハンブルグ大学教授である。

著者: I. VALETON  
 発行所: ELSEVIER PUBLISHING CO., LTD. アムステルダム, 1972  
 226ページ 165mm×250mm 定価 9,000円  
 販売所: 全国洋書取扱書店