

# 地 向 斜 玄 武 岩 ③

～フィールドからラボへ～

服 部 仁

## プ ロ ロ ー グ

当今 米俵とか炭俵とかいっても 私たちの目に触れる機会はきわめてまれで ピンとこなくなってしまった。海の火山によくできる枕状溶岩の形態をとえる場合俵の名前が引きあいに出されたけれど その俵がもはや時代がかった印象を与えているのである。枕についても事情は同様で 丸くて固い枕はもうずいぶん前から見られなくなってしまった。

日常生活の中で目につきやすいものから 形態上枕状溶岩に似たものをあれやこれや思い浮べてみても 探しあぐねてしまう。しいてあげるならば スケールを1桁か2桁落してみると ウィンナーソーセージやハムなど どうであろうか。それを横にしてたくさん積み重ねたようなものを想像すれば いくらか近い感じが出るのではなかろうか。

枕状溶岩そのものは 10何億年の昔からあわたましい労働に明け暮れる今日に至るまで その形態や出来方に何らの違いもなかったのであろう。しかし俵や枕からウィンナーソーセージに なぞらえる対象・イメージが時代とともに転換するように 野外で枕状溶岩を見る地質家のタイプも多彩になってきて 火山屋さんの一人舞台でなくなったのである。いや 私の主張したいのは枕状溶岩を観察する地質家の目のつけ所やハートが変わらなければならない ということなのである。

現在世界中で熱心に討論されているプレートテクトニクスの仮説の適用が はたして一般論として可能かどうか ある地質区に限定されなければならないのではないか どの地質時代までさかのぼれるのか はたして厳密で具体的な判定基準はあるだろうか……。実は 枕状溶岩をめぐる研究から 以上に述べたような今日の地球科学におけるもっともホットで 革命的とさえいわれ

るニューグローバルテクトニクスの課題に肉薄できるものであり 枕状溶岩はその重要な手懸りをわれわれに与えてくれそうなのである。

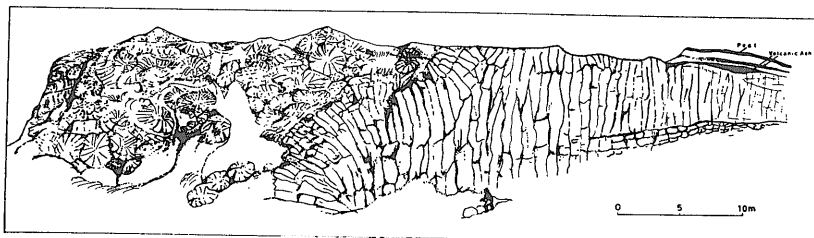
“地向斜玄武岩”シリーズ第1回目(地質ニュース215号 1972年7月)では 日本の古生代地向斜の復元とグローバルテクトニクスという大きなスケールから概念的に トピックスを紹介し 第2回目(地質ニュース216号 1972年8月)では 海の火山と陸の火山および火山岩というテーマで両者のでき方の基本的な違いと各地質時代におけるおもな火山活動を説明した上で 古生代地向斜玄武岩の特徴を述べた。

今回は 枕状溶岩と堆積岩という観点から 海底火山活動とプレートテクトニクスの問題に立ち入り さらにフィールドにおける観察例 フィールドからラボへ持ち帰った岩石試料の処理と化学分析法をも含めて やや細かい仕事の内容も紹介してみたい。

## 11. 枕 状 溶 岩——大洋の火山島と地向斜では

20 cm から 100 cm の直径をもち メートルのオーダーの長さでほぼ円柱状の溶岩—これがもっとも普通にみられる枕状溶岩の外形なのである。ウィンナーソーセージはまさにそのミニチュア版といえよう。断面でみると1つ1つの枕状溶岩(以下本文においてはかりに岩体を枕状溶岩とよび 1個に限る場合にのみピローとよぶよう統一した)はクラシックカーや自転車の車輪にそっくりで まわりのタイヤに相当するところは細粒緻密な急冷相になっており また内部はやや粗粒で しばしば中心から放射状割れ目ができ これがあたかもスポークのようにみえる。

日本でもっとも詳しく研究された代表的な枕状溶岩の大露頭(第37図)これは北海道大学八木健三教授によって模式的に描かれたものだが まさに“車石”という名



第37図  
根室半島根室市南方で太平洋に面する南部沼(ナンプト)における粗粒玄武岩内の枕状溶岩と柱状節理。  
中央やや右寄り下部に人が立っている(YAGI 1969)。

称がいかにピッタリする枕状溶岩の例であろう。

ところで枕状溶岩はほんの数個のピローが積み重なった程度の小規模のものから何100mも厚く累積することも知られているが枕状溶岩をとり囲むまわりの岩石はどうなっているであろうか。前回紹介したアイスランド南沖合のスルツエイ島(第19図)やハワイ島(第21図)では枕状溶岩ハイアロクラスタイトなどが積み重なって巨大な海の火山体に成長しやがて海面上に頭を出すほど高まると陸上の火山のように静かに溶岩を流出させ火山活動の様相はがらりと一変してしまう。このような火山島ばかりでなく深海底にそそり立つ火山やギョーからも推定されるように大きな陸地から離れた広い海に孤立する火山には陸地で削剥された碎屑物質がほとんどないので砂岩や泥岩が枕状溶岩に混じって一緒に産出することはまずなくほとんど枕状溶岩溶岩ハイアロクラスタイトのような火山物質あるいはこれと関連する火成岩からできている。もし陸成の碎屑物が混入してもごく僅かであろう。

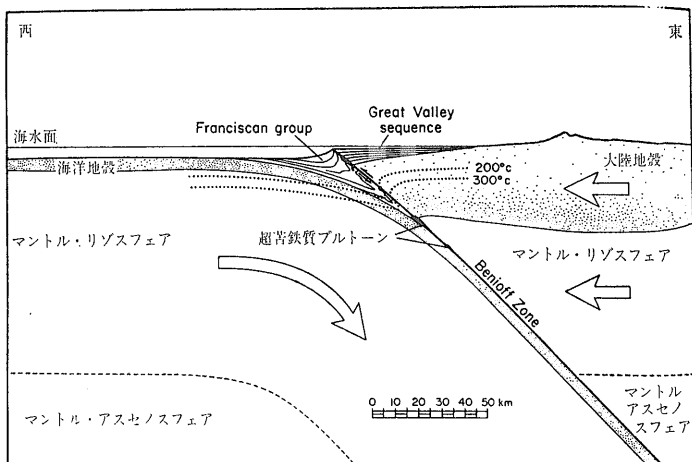
これに対して地角斜の海では礫や砂や泥が多量に運び込まれ沈積してゆくのでもしそこに玄武岩マグマが噴き出すとすれば火山活動のメカニズムやその環境は火山島など前の場合と大変違ったものになる。もちろん深海底の環境もあれば浅い海でたとえばサンゴ礁の群れるような環境あるいは大陸棚や大河口付近のデルタに近い条件もあろう。碎屑性の堆積物が火山岩と一緒に産出する場合でも以上の環境の違いは玄武岩マグマが噴出する際にそれぞれ独自の特徴として現象の上に反映されるはずであろう。たとえば玄武岩マグマの噴出様式と噴出量および堆積物の量や沈積速度との関係から玄武岩と堆積物との互層状態が決まるからである。さらにプレートテクトニクスの観点から世界

一流の識者が次のような大胆なモデルを提案しているのでこういう成因も考えてみなければならない。

アメリカ合衆国カリフォルニア州の太平洋に面したところでは活断層のサンアンドレアス断層が大きな社会的関心をひきつけているがそのあたりのFranciscan層群とGreat Valley層の堆積と変形の過程がプレートテクトニクスの見方で説明されている(ERNST, 1970)。Franciscan層群はおもにグレイワック質の砂岩からなりそのほかに頁岩緑色苦鉄質火山岩(私たち研究グループで使っている言葉でいえば地角斜玄武岩=geosynclinal basaltに相当する)チャート少量の石灰岩を含んでいる。この地層はひすい輝石・藍閃石という高压下でできたことを示す特徴的な鉱物をもった変成岩になっておりさらにいちじるしい変形も受けてエクロジヤイトも入った種々の異種岩塊と混じり合いメラージ(mélange)とよばれる。Franciscan層群はジュラ紀末期には第38図にみられるようにすでに変形し始めたと考えられておりその当時北西方向に広がっていた海溝がFranciscan層群の場所であってGreat Valley層は海溝の北東側に隣接する大陸斜面と大陸棚にたまった地層とみなされている。

海溝といえばなかでも日本海溝がもっとも詳しく研究されていてこの海溝でわかった観測データは今日のプレートテクトニクスの考え方に非常に大きな貢献をしておりオーバーな表現をするとその考えの根幹的な支えにさえなっているといっても過言ではないだろう。

その代表的な日本海溝では熱流量が少なく火山活動が起るとは考えられていないのである。日本の地球科学者のなかには日本海溝周辺こそ典型的な地角斜なりと主張する方がありまた太平洋プレートが日本列島の下にもぐり込んでいて日本海溝がその入口といわれて



第38図 米国カリフォルニア州におけるジュラ紀末期の模式地質断面図。大陸プレート(大陸地殻とその上のGreat Valley層およびマンテル・リソスフェア)はベニオフ帯に沿って東から西へ大洋プレート(海洋地殻とその上のFranciscan層群およびマンテル・リソスフェア)の上に押し上げている。この変動と大洋プレートのもぐり込みによって海溝にmélangeができる(ERNST 1970)。

いるのは周知のとおりである。海溝のなかでは火山岩が噴出しないので 地向斜堆積物中にたくさん見つかった玄武岩などの起源をうまく説明できない。そこで海溝のそとで つまり海洋底（火山島・海山・ギョー・中央海嶺など）で噴出した玄武岩などをプレートの移動によって海溝へ向かって運搬し 海溝内で堆積物と玄武岩とが混然一体化するモデルが考えられるわけである。

Franciscan 層群の堆積とその後の発展過程も同じ思考で説明されており とくになかに挟まれた苦鉄質の緑色火山岩の起源は 海溝から遠く離れた中央海嶺で生じた玄武岩などがプレートにのって海溝＝地向斜へ運び込まれた というのである。砂岩などの碎屑物質は海溝の北東側の大陸から供給されるのに対して 火山岩などは遙か西のかなたの中央海嶺で生まれ長い時間かかって海溝へのプレートの旅を続けるのであるから 地質年令という面からみると両者には大きな差が必然的に存在するわけである。玄武岩などの火山岩の誕生した地質時代は 堆積物中の化石など示される時代よりもかなり以前ということになる。つまり古い海洋地殻の化石ともいうべき火山岩が 新しい地向斜の碎屑物の中に運び入れられ地向斜の海＝海溝を埋めてゆく という図説が描かれるのである。HAMILTON (1969) も ERNST (1970) もこのような考え方をしている。

もし彼らの主張するような地向斜が一般的に存在する

ことが可能ならば 地向斜にも大きく分けて2つのタイプを認めねばならないことになる。すなわち 第1のタイプは火山活動の場が地向斜内にあって 砂や泥がたまりながらそこに火山噴火が起こる “ホットな地向斜” である。第2のタイプは Franciscan 層群に考えられたような 地向斜以外の場で たえば海嶺・海山・火山島などで噴出した火山岩類がプレートに乗って移動し 海洋地殻の化石として地向斜（＝海溝）内に運び込まれる “コールドな地向斜” で 別の表現をかりるならば死の地向斜あるいは海溝掃溜め説である。

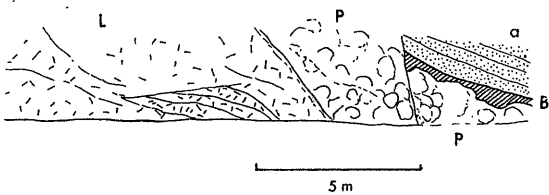
では いったい枕状溶岩の形態を眺めたとき 第1のタイプでは堆積岩とどんな累積関係が期待されるだろうか あるいは 第2のタイプではどんな産状が認められなければならないであろうか。

### 12. 枕状溶岩の産状

フィールドで地向斜堆積物中に挟まれた火山岩の露頭を観察しても 実際に枕状溶岩を認識することのできるのは本当にまれであって もし発見できても文献に記載されたような立派な露頭にはなかなか出あわないのである。第39図Aは 枕状溶岩を含む火山岩が他の砂岩と一緒に露頭内に現われていて 両者の関係が比較的ハッキリしている場合である。この露頭では 枕状溶岩の上に厚さ数10 cm の変質玄武岩がのり さらにその上にほぼ平行に細粒砂岩がおおっている。枕状溶岩の形態から地層の上下関係（第39図B・C）を推定すると 層序は逆転しておらず正常と判断され 上位の砂岩層とは整合的に連らなるので大きな時間的ギャップを認めなくてもよいことになる。以上のことから 枕状溶岩を含む火山岩が流出したあとまもなく砂岩が累積したものと見なされる。

火山岩と碎屑岩との間のこのような関係はしばしば観察できるのであるが（第40図） 残念なことに 地層中に貫入したシルに伴う枕状溶岩を 古生代の地向斜玄武岩のなかから未だ確認していないので 文献から若干の例を紹介しよう。

根室市西方のハッタラ海岸で YAGI (1969) が記載した枕状溶岩の場合 枕状溶岩直上の地層の成層構造は少し彎曲している。その地層の曲り方はピロー1個1個の輪郭にほぼ平行しているので（第41図A）地層（白亜紀の根室層群）がまだ固結していなかった時 すなわち柔い堆積物 しかも十分海水を含んでおり どちらかといえば海水に近い位とい

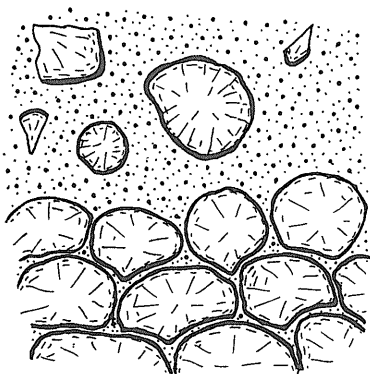


第39図A 地向斜玄武岩産状の1例

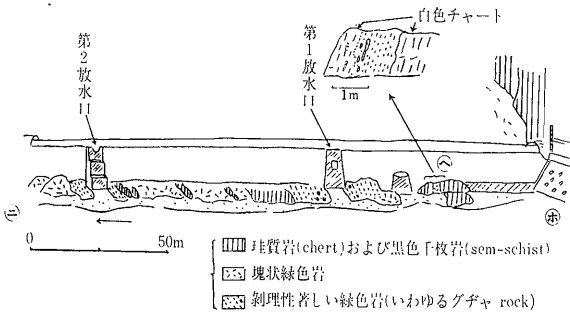
[a: 細粒砂岩 B: 変質玄武岩 P: 枕状溶岩 L: 溶岩] 京都府北桑田郡灰屋川（鞍馬山北方）。水谷伸治郎氏の野帖から簡略化。



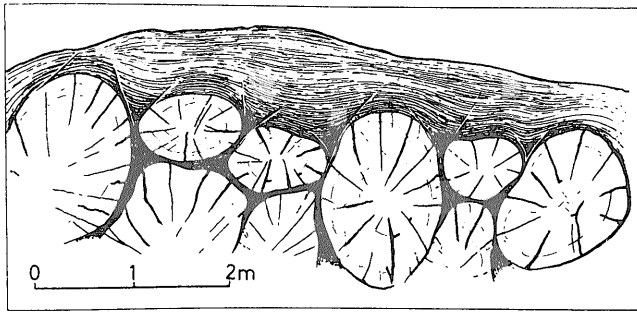
B 露頭のスケッチ（第39図A）の枕状溶岩（P）の一部。向かって右上方がおそらく枕状溶岩形成時の上向きを示す（矢印参照）。



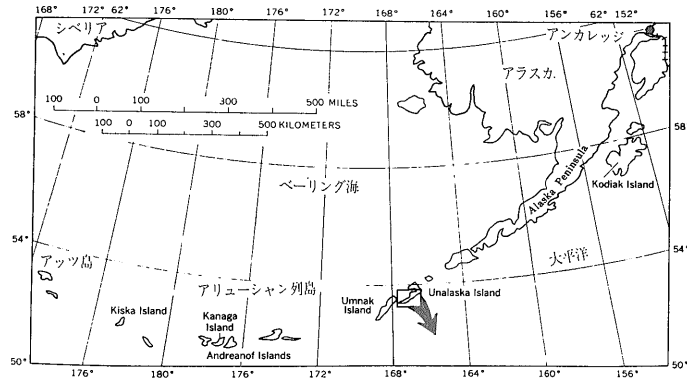
C 正常の上下関係を示す枕状溶岩とピローブレッチャの模式概念図。ピロー下部の垂れ下りから上下関係が判定される。



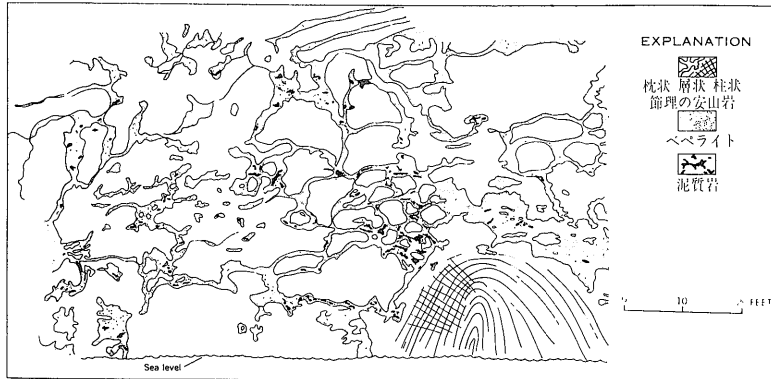
第40図 みかぶ緑色岩類と堆積岩との互層状態(内田 1966). 群馬県神流川上流坂原近く 現在は下久保ダムによって水没している。



第41図A 根室市西方のハッタラにおける粗粒玄武岩のピロー上部と接触する堆積岩の構造(YAGI 1969).



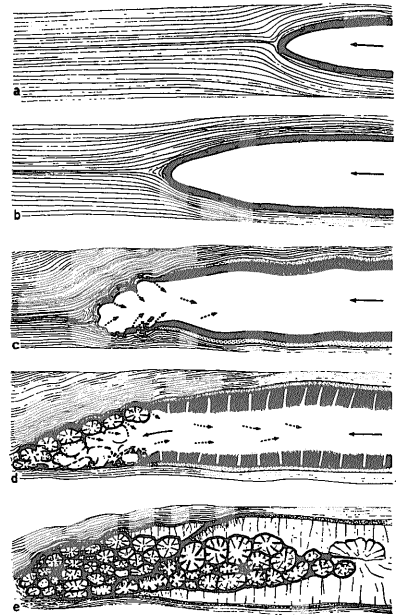
第42図A Unalaska 島の位置図



第42図B Unalaska 島南西部 Lance Point 近くの大露頭スケッチ. 熱で焼け変形した泥質岩がペペライトのなかにもたくさんみられ一部はピローのなかにも入っている。ピローのつながり方に注目(SNYDER, FRASER 1963).

った方がよいほどの柔い堆積物中へ熱いマグマが貫入して枕状溶岩を作ったと解釈されている。第41図Bはこうした成因関係を模式的に図示したもので スケッチされた露頭における枕状溶岩と柱状節理との位置関係および生成過程がたくみに説明されている。

根室半島から千島列島をへてさらに東方のアリューシャン列島の一部で その最東端に位置し アラスカ半島からみて西隣にあたる Unalaska 島(第42図A)でも枕状溶岩の詳しい記載が知られている(SNYDER・FRASER, 1963). この島は 100 km ものびた細長い島で 中新世の厚い泥質岩中に安山岩とデイサイトがシル状に貫入し その中に枕状溶岩や Lava pod が発達している。 その



第41図B 柔い堆積物中へマグマが貫入し 枕状溶岩と柱状節理のできる過程がダイナミックに描かれている(YAGI 1969).

規模はとてつもなく大きく根室半島の数倍ともいえるくらいの広範囲に及んでいる。枕状溶岩の岩質からいえば玄武岩にもっとも普通に見られるのであるがこの Unalaska 島ではデイサイトが確かめられているから驚いてしまう。

もっとびっくりするのは SNYDER・FRASER (1963) の記載した枕状溶岩の形態とピロー1個ごとの個体をとりまく周りの岩質の異常なことであろう。

デイサイトの岩質では陸上の火山の場合マグマの粘性が高いので流動しにくくそのため噴出の際には大爆発を起すことがよく知られているが水中の場合は水冷効果が強く働いてマグマの粘性は一層大きくなるので流動性に乏しくとても枕状溶岩など出来そうもないように直観的に考えてしまう。それでも実際には第42図Bのような丸くない枕状溶岩がみられるのである。1つ1つのピローが普通のサイズの数10cmのものから直径10数mに達することがあり直径の大きいことも特徴の1つである。1個1個のピローのつながり方をみるとあたかも滴が次から次へと落下して連がるかのように連想できるのではないかとにかくその形態の面白さに目を奪われそうである。

しかもまわりの岩石はペペライト (peperite) といわれる堆積物と火成岩との混じり合ったものなのである。これはたくさんの水を含んだ堆積物内へマグマが貫入する際生じたつまりマグマのハイアロクラスタイトと堆積物が一緒になったものである。

SNYDER・FRASER (1963) は枕状溶岩の成因を 'emulsion' 説に求めているが私にはこの説が一般的に支持されているか否か残念ながら判らないしまた彼らの記載した Unalaska 島の岩石が厳密に枕状溶岩の範ちゅうに入りうるのかどうかも自信をもていうことができない。さらに彼らの論文の第2部には枕状溶岩に関する

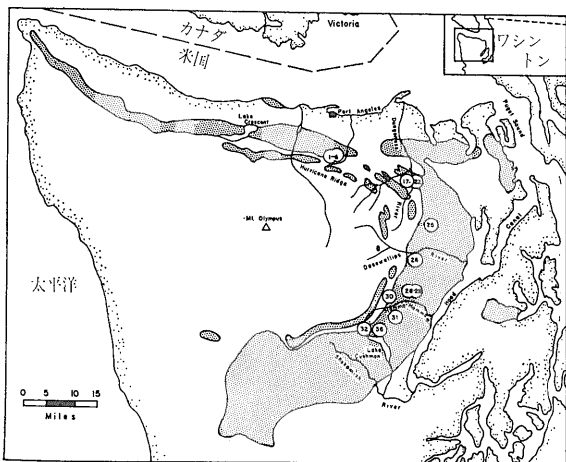
諸問題の総括が行なわれている。そのなかで玄武岩～流紋岩 直径30cm～25m というきわめて多種多様の枕状溶岩がしかも岩脈 シル ストック ロボリス……のように溶岩流ばかりでなく別の産状にも認められている。こうみえてくと SNYDER・FRASER (1963) のいう通りに枕状溶岩は水あるいは水に近い性質の堆積物さえ介在すればできるものらしい。

次に堆積物との関係をきわめて細かいスケールで観察した GARRISON (1972) の記載を紹介しよう。

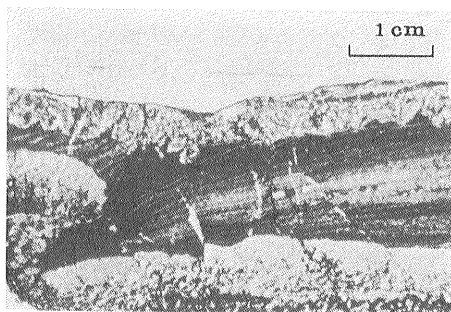
アメリカ西海岸太平洋に面するワシントン州の北西部 Olympic 半島では始新世の Crescent 層が露出しおもに枕状溶岩 火山砕屑物 砂岩からなり少量の石灰岩が挟まれている (第43図A)。ここでの特徴は火山岩と互層する層理の明瞭な石灰岩層のあることでしかもその色彩が明るい赤色のため両者の関係が観察され易くまた識別もむずかしくないのである。石灰岩と玄武岩の枕状溶岩とが接している露頭は10カ所をこえている。

枕状溶岩の各個体間に石灰岩が入っている場合 (inter-pillow limestone) とピローの中にとり込まれた場合 (intrapillow limestone) とがあってこれらの成因として

- i) 石灰質堆積物 (coccoliths などの化石を含む) の上に噴出した溶岩流の基底部分において石灰質堆積物の破片が枕状溶岩やピロープレッチャ中にとり込まれピロー同士の間押し込まれたりする。
- ii) 石灰質ウーズ中に貫入し弱く熱変質した石灰岩中に浮ぶあるいは
- iii) ピロー間やピロー内の空隙に石灰石が沈澱したりまた石灰質堆積物がとり込まれたりあるいは沈積してゆく。



第43図A 米国ワシントン州 Olympic 半島における Crescent 層の分布 (GARRISON 1972)。



第43図B 2つのピローに挟まれたラミナの発達する石灰岩の薄層。ピローの外殻部に接して方解石が晶出している。下位側のラミナにはとくにずれが大きく上方に向かって小さくなる (GARRISON 1972)。

上記 iii) のでき方をしたと思われる 2つのピローの間に細粒の石灰岩層が沈積し ラミナがよく見える (第43図B)。この細粒の石灰岩層の上下 すなわちピローの外壁には方解石結晶ができており とくに下部では平行な割れ目が認められる。よく眺めると 割れ目に沿って2~3mmのミクロのオーダーではあるがオフセットしているのが判る。しかしこのずれは底部ほど大きく上方ではまったくみられなくなっている。

この現象を筆者なりに解釈してみると次のようになる。下位のピローが冷却固化してから間もなく ピローに小さなひび割れができ 一方ピローの上に石灰岩 microlite が沈積し始める。はじめのうちはひび割れに沿って沈積物も一緒に若干ずれる (offset) が 時間がたち沈積物が上へ上へ順次重なってゆくにつれてずれの量も少なくなり 最上部ではついにずれは観察されなくなってしまう。引き続き別の枕状溶岩が流出し 古い枕状溶岩と石灰質沈積物の上におおい被さるようになる。

2つの枕状溶岩の噴出の間にはどの位の時間的隔りがあったか判断できないけれど 石灰質沈積物のでき方からみて その場所の昇降運動はほとんどなく また火山活動の方でも小休止はあったかも知れないが 大きなギャップがあったようには考えられない。結局 microlite の沈積作用と火山活動とはほぼ同時期に同じ場所で起ったとみてよいであろう。

以上紹介した枕状溶岩の4つの産状のどれもが 地質時代こそ 二疊紀 白亜紀 中新世 始新世と違っているけれど 地向斜堆積層とともに密接な成因関係を明示しており しかも火山活動と堆積作用が時と所を同じくして進行したことを意味している。この現象をプレートテクトニクスの考え方から解釈してみると どのように説明されるであろうか。皮肉なことに どの例も典型的な島弧—海溝系で プレートのもぐり込む場所と考えられている地域に起きた現象なのである。

ERNST (1970) のいうような 枕状溶岩を含む玄武岩が大洋中央海嶺で生まれ その後長い地質年代かかってプレートに乗せられて Franciscan や Great Valley の地層の沈積域である海溝—大陸棚に向かって運搬されそこで堆積物と混じり合うという図式と比較すると 上記4例でも地層がいちじるしく変形を受けてスランプ構造や褶曲や断裂などがみられたりまたいわゆる *mélange* になっている可能性が高いはずで *mélange* などがひんばんに観察されることが期待されるのだが。

ところが 上記4例は実際には褶曲している所もあるが *mélange* はもちろん存在しない。とくに根室半島や Unalaska 島では 地層も緩傾斜ないしほぼ水平で乱

された様子は地質図から読みとれないのである。もし ERNST (1970) の主張するような地向斜が存在するとしてもきわめて稀ではなからうか。こういう見解を述べるのはやや早計で単純素朴すぎるかも知れない。あるいはひよっとすると案外的をえているのかも知れない。

これまで枕状溶岩と堆積岩との関係という短焦点のレンズを通して 地向斜のグローバルな位置づけに飛躍して大きな問題を考えてみたが この限りではプレートがもぐり込むと考えられている海溝系の地域においてさえも 火山岩が別の場所で噴出し プレートに乗って地向斜の海—海溝に運び込まれる可能性・確率は低そうにみえ 現在のプレートテクトニクスの考え方に有利な材料とは思えない。筆者にはむしろ地向斜の中で火山活動が活発に起った可能性 別の言葉でいえば “ホットな地向斜” のひん度の方がはるかに高そうに思える。

そうはいうものの 他国に比べてフィールドの研究が詳しく精度も高い日本の場合でも 以上のような観点からつつ込んだ仕事が進んでいるとはいえないので あまりあっさり決めつけることは避けなければいけない。将来の研究によって十分究明されなければならない重要な課題だからである。

というのはほかでもない 変形のいちじるしい四万十層群のなかの玄武岩と堆積岩との関係が一寸気になるからである。九州南部の四万十層群のなかから 宮崎県椎葉村 大分県南東部 鹿児島県高隈山近く 屋久島種子島などにおいて 九州大学橋本勇教授がたくさんの枕状溶岩を発見している。枕状溶岩はそれらを挟む地層の堆積中に行なわれた海底火山活動の産物と考えられている (橋本 1962, p. 54)。なかでも興味深いのは橋本 (1956) の記載した屋久島東部で田代川河口付近の海岸に露出する船行累層中の枕状溶岩の産状である。ほぼ完全な円形に近いピローもあれば 幾分押しつぶされた形でピローの密につまった部分も写真からよく判る。原著論文のなかから問題の箇所をそのまま引用してみよう。「枕状溶岩の付近ではその後の変動により地層が著しく擾乱し 中位の溶岩は付近の砂岩とともに千切られ 断続し 礫状にさえなっている」この文中の礫状といわれるものは 別のところで角礫状部と記述されたもの おそらくピロープレッチャとは違うのであろう。あとで紹介する関東山地の枕状溶岩のようにひきのばされないので つまりピローの形態がほとんど変形することなく そのまま保存されながら地層が乱されたいのである。この地層の乱され方は長浜・坂井 (1972) がスランプ構造としてみごとな露頭写真で明示している。

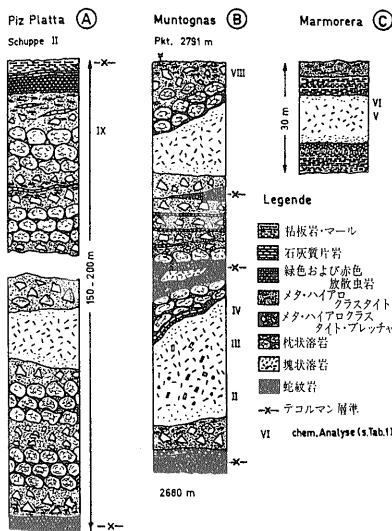
枕状溶岩の流動方向が解析され まわりの堆積物内に印されたソール・マークから判読された碎屑物の供給方向と さらにスランプ構造の規則性などが 時間のスケールを入れた上でそれぞれの地質現象の相互関係を解釈できるとすれば あるいは Franciscan 型のように2つの異なる起源のものが海溝という堆積海域で混然合体するとのアイデアが具体的でしかも説得力ある説として評価を高めるであろう。 このように枕状溶岩と堆積岩との相互関係は まさに今日の 超一級の研究テーマ(プレートテクトニクス)に連なる フィールドにおけるもっとも重要な研究対象なのである。

### 13. 枕状溶岩の内部構造

前章では枕状溶岩といっしょに出現する堆積岩との関連に重点をおいて述べた。ここでは枕状溶岩そのものの内部構造を詳しく紹介し 枕状溶岩に伴うハイアロクラスタイトについて触れておこう。

第44図Aは DIETRICH (1967) が スイス南東部の Graubünden 地方におけるジュラ紀の地向斜玄武岩についてまとめたマクロ・ミクロの形態である。溶岩流・シルの塊状岩体のほかに 枕状溶岩にも3種類の区別がなされている。ピローが密に詰まって間をうめているマトリックスの少ないもので 比較的正常な楕円体が良く保存されている場合と 変形して歪んだ場合(ピローの流動方向や上下関係の推定に使われる 第39図C)とが認められている。また マトリックスの量がきわめて多く円形に近い断面をもった枕状溶岩もある。

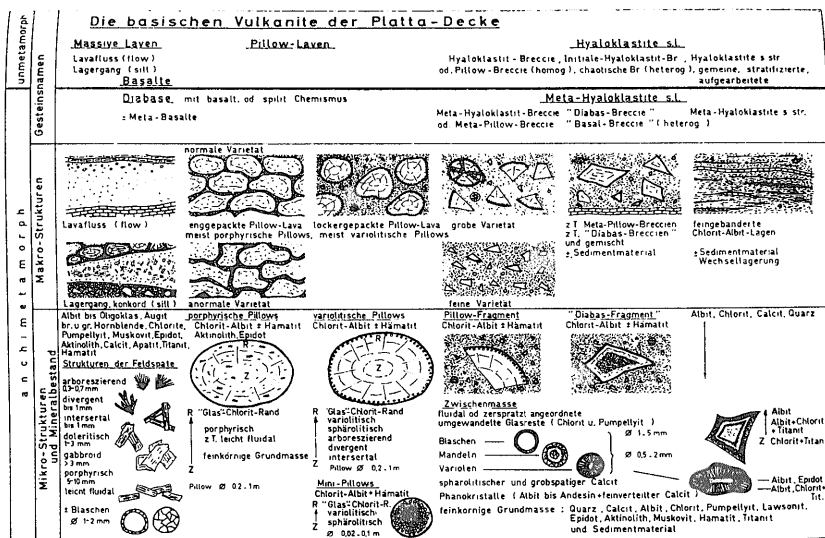
マトリックスは マグマが水中で急冷破砕された細粒のガラス質破片の集合体で ハイアロクラスタイトとい



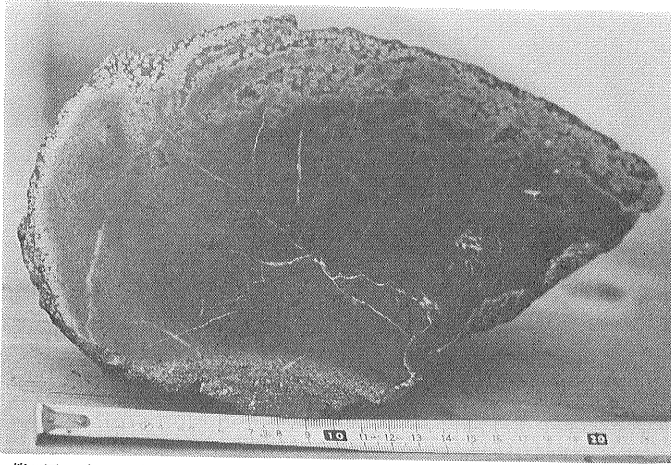
第44図B  
蛇紋岩を含めた玄武岩の種々の産状と柱状図(DIETRICH 1967).

われるものである。枕状溶岩が完全な楕円体をなさずに みかんの袋のような形態にひび割れてハイアロクラスタイト中に混じっていることがあり ピローブレッチャといわれる。

完全な形状をもつ枕状溶岩でも上下や横へは隙間なく連続するものではなく ピローブレッチャやハイアロクラスタイトに移化したり(第44図B) あるいは溶岩流そのもので塊状になったり さらにシル状の貫入岩体に漸移することもある。根室半島(第37図)のように柱状節理の発達する塊状岩体に移化する枕状溶岩はシル状貫入岩体のもっとも良い例であろう。これらはいずれも枕状溶岩とほぼ同質の火山物質へ移化する例である。



第44図A  
非変成および微変成? [anchimeta-morph: アンゲロサクソン系では認められず ゲルマン系地質家だけが今日でも使っている術語で 風化・変質・埋没(?)作用による温度・圧力の変化に伴って 岩石の鉱物組み合わせと量が変ること] 状態における塊状溶岩 枕状溶岩 ピローブレッチャ ハイアロクラスタイトのマクロおよびミクロの構造と鉱物組み合わせ。日本語訳が括弧に組み込みにくいので原語のまま図だけ眺めていただきたい。(DIETRICH 1967).



第45図 ピローの切断面。まわりのハイアロクラスタイトと外殻部が巻き込まれて見える (HATTORI ほか (1972) で I-45 として記載したもの 徳島県那賀郡木沢村坂州近くの産)。

一方 前章で述べた堆積岩と交互に重なり合うような場合の枕状溶岩は 間をうづめている物質がハイアロクラスタイトとは限らないので 砂や泥のこともあればチャートや石灰岩になることもあり さらにペペライトであるかも知れない。

ピロー 1 個を輪切りにしてみると 内部構造はもっとも普通にはガラス質の外殻があって 内側に向かってやや結晶質で粗粒になり 放射状の割れ目ができる。内核部にはときには空隙があったり 割れ目をうめて方解石などの脈ができていることもある。以上の両者の組織上の違いは肉眼でみても 表皮の外殻部がやや緻密で黒っぽくなっているのに比べて 内部はやや明るい色調

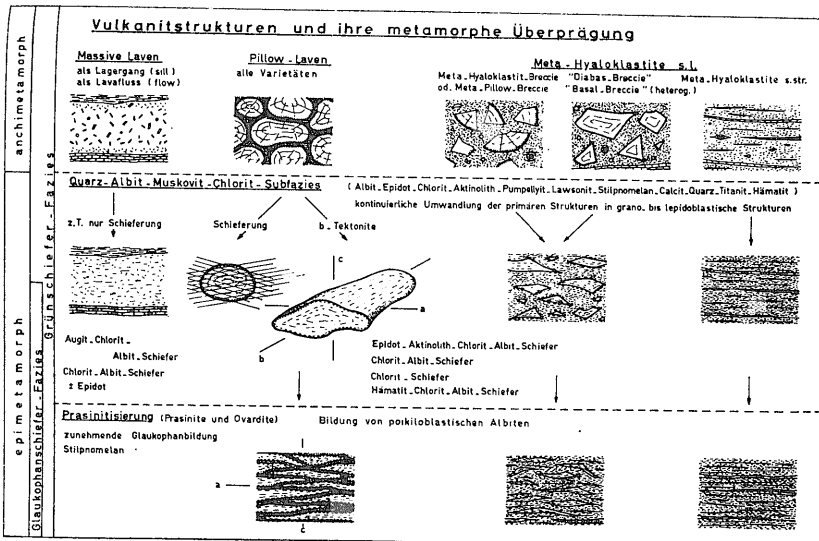
を示すため 一見してはっきり区別がつかないのである。

第45図はピローの間をうづめているマトリックスの細粒火山物質ハイアロクラスタイトが巻き込まれている様子を くっきりと印象づけてくれる例である。形状からみて巻き込まれた部分はピローの上方に位置しているから少なくとも半回転していることはまず疑いないだろう。

非常に珍しい例としては アイスランドの枕状溶岩で内核下半分が上半分に比べて かんらん石が たくさん濃集しているもので YAGI (1964) と MATHEWS ほか (1964) が同年同月に別々の雑誌にそれぞれ研究成果を印刷公表している。

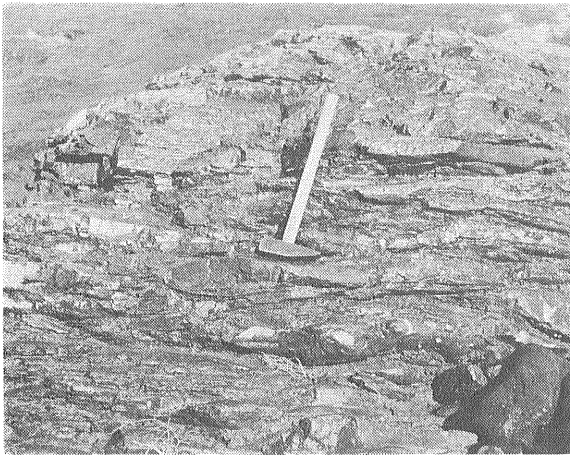
1960年 デンマークのコペンハーゲンで開かれた第21回万国地質学会の巡検旅行の1つにこのアイスランドが当たったのだが そのおり採集された同一露頭内からのピローについての研究が 歳月を経てたまたま同時に別個に印刷されたという因縁も珍しいといえよう。アイスランドの枕状溶岩の場合 ピローの外殻が形成されたのちにも 内部は十分高温に保たれていたらしく 内核部では かんらん石が晶出沈下しながら 一種の重力分別晶出作用が起きたらしいのである。

変形作用を受けてつぶされると 第46図の最下部左端に示されたようにも原形をとどめていないのもとも枕状溶岩であったのか あるいはピロープレッチャ (同図最下部中央) が変形を受けてそうだったのか 判



第46図 変形を受けた時の枕状溶岩・ピロープレッチャ・ハイアロクラスタイトの形状 (DIETRICH 1967)。





第47図 ひきのばれた枕状溶岩（群馬県下仁田西方警戸橋 杉崎隆一氏撮影）

らなくなってしまうこともある。第47図はそこまで変形していない おそらく中間段階ともいべき形状（第46図中央やや左寄り）を示している。

ピローのなかには小さな空隙（気孔や水泡）がたくさん入っていることがあり その空隙に水分が含まれることもある。空隙の大きさは溶岩形成時の水深と一定の関係にあるというので その大きさを調べてピローの噴出した海底の深度推定に役立てた MOORE (1965) の研究があり 着想の面白さに感服させられてしまう。しかしこれは新しい地質時代の海底火山噴出の場合であって 一般に地向斜玄武岩では空隙はしばしばゼオライト 方解石 石英などの二次的鉱物によってうめられる。

また 大薄片（表紙参照）にみられるように 球体 (Variole) ができているのもまれではない。同じ大薄片の顕微鏡下のスケッチ（第48図）にははっきり示されるように 細い柱状斜長石が放射状に集合して丸い球体を作っている（玄武岩のような苦鉄質火山岩中の球体は Variole とよび 流紋岩のように珪長質火山岩では球体は Spherule とよぶ）。

ぶどう石 パンペリ石 アクチノ閃石などの変成鉱物といわれる鉱物や緑泥石 エピドート 方解石が脈の中のみならず球体の物質を置き換えている場合もある。第48図にみられる脈は中心から外殻に向かって細くなり 中心部でもっとも厚く 石英とパンペリ石からなる細脈が緑泥石と石英の脈によって切れ 方解石は中心に近い脈の部分に多くできている。

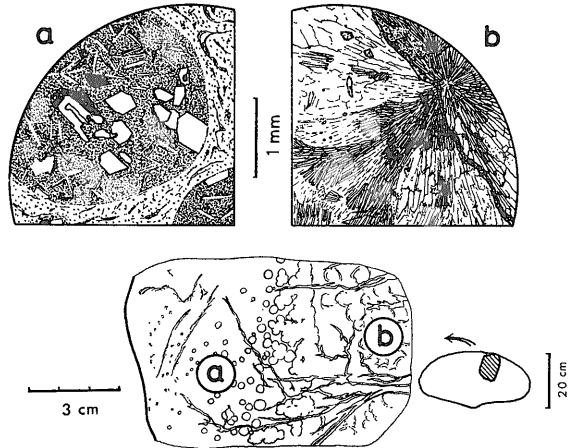
すでに第42図Bに紹介したように あるいは第45図のピローが回転しながら周囲のマトリックスを巻き込む様

子から推定がつくように 枕状溶岩のなかには溶岩本来のマグマ物質とは性質の違う異質岩片がとり込まれることがある。この点に関しての報告は SNYDER・FRASER (1963) の認めたアージライト GARRISON (1972) の石灰岩 VALLANCE (1969) のコーツァイト HATTORI ほか (1972) の石英などにみられるように とり込まれた異質岩片が枕状溶岩から識別し易かった場合に多いようである。

ピローのなかの異質岩片や結晶片などの包有物についての報告例があまりにも少ないのでむしろきわめて特殊な場合とみなされがちである。しかし一般的な成因から想像してみても 地向斜堆積物上に噴出するあるいは貫入してできる場合の枕状溶岩内には もっと普通に異質岩片や異質物質がとり込まれていてもいいのではないかと筆者は期待しているし そういう目でピローの内部構造を調べてみたいと思っている。

#### 14. サンプルの処理

フィールドにでて露頭をみつけ 詳しく観察し スケッチをしたり写真をとる。そのあとで採取したい部分にハンマーをふるってサンプリングを始め ものの2・3分もたたないうちに 道具の乏しさにくやしがる というような経験をもっている人が多いだろう。ましてや川床でピカピカに磨かれたツルツルの曲面の露岩をたたいて新鮮な部分を取ろうとすると 誰もが非力になげだろう。目前のすばらしいサンプルをものにできないほど情無いことはない。その部分にだけ問題解決の鍵が秘められているような錯覚に陥ってしまい 後髪



第48図 ピローの中心から外殻までの内部構造（表紙写真）の顕微鏡下のスケッチ（水谷ら 1970）。

細脈が内核から放射状にでており外殻に向って細くなる。外殻に近い部分では同心円状の細脈もみられる。a は variole であるがその中心をはずれているので典型的な放射状鉱物集合体が見えない。内核に向けて variole は大きくなり b のあたりでは互いに接してさらに大きくなっている。方解石・石英・パンペリ石からなる脈が多い [HATTORI ほか (1972)]

をひかれる思いで露頭を離れなければならないからである。

U字谷の発達している北欧やカナダのような国の地質家達は 氷河削痕のついた露頭のすばらしい写真は容易にとれるものの サンプリングには私達よりもはるかに苦労している。いくら大ハンマーをふるっても ツルツル面ではねかえされてしまうからである。そこで携帯できる小型ボーリング器をかついでフィールドへ出かけ サンプリングを行なうそうである。日本ではそのような装備をもって露頭面の岩石や化石のサンプルを採取する例はまだないようである。せいぜいジープに大小さまざまなハンマーやたがねを積み込んでゆく程度で 相い変わらず頭ががらがんするほどハンマーをふるうという肉体労働に精力を費やさねばならないのである (第49・50図)。

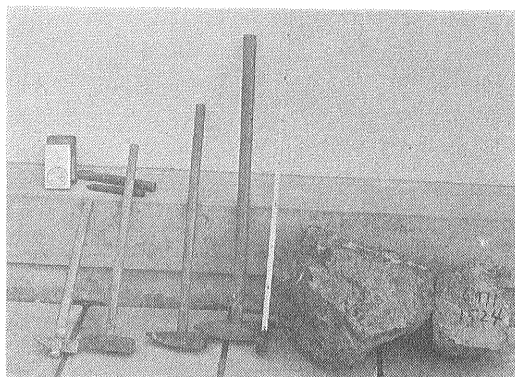
ところで最近道路事情がよくなって 思いがけないすばらしい露頭にお目にかかる機会がふえてきた。

そんな時サンプリングのことはともかく その露頭が川床のツルツル面のようにとき磨かれておれば 岩石の

なかの細かい模様を読みとり易くなるので 研磨できたら つまり人工的に露頭面を磨いてみたくなるものである。 事実 顕微鏡のスケールほどマイクロではなく 肉眼〜ハンドレンズ (大口径低倍率) で研磨面を観察することによって火砕岩の特質がかなり明らかにされている。露頭面でのメソ〜マイクロのスケールの観察が容易なように 露頭面を研磨する道具があったら と夢のような要求もこうして生まれてくる。

日本では おもにグリーンタフの水中火砕岩や白亜紀の濃飛流紋岩が 採集サンプルを研磨することによって 肉眼〜ハンドレンズで詳しく調べられ たくさんの新発見がもたらされ 陸上や水中で爆発し火砕流をなした火山活動の様相が判明してきている (たとえば FISKE・MATSUDA 1964; FISKE 1969; 山田ら 1971; KAWADA 1972)。

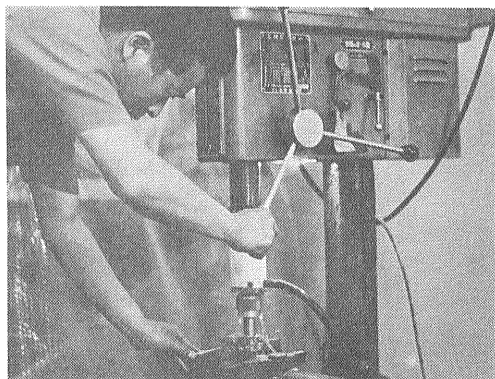
地向斜玄武岩の場合 グリーンタフや濃飛流紋岩のような明るい色調とちがって 露頭ではもともと暗緑色が基調なので そこでの細かい観察はなかなか難しくとてもそれだけで十分とはいえない。だから露頭のスケッチを終えたあと サンプリングの位置も記録し 可能な



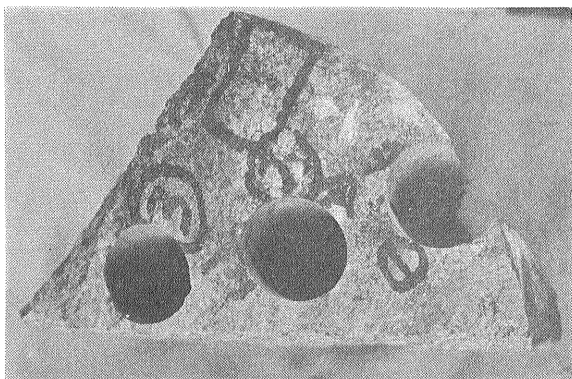
第49図 フィールドにおける作業用のセツ道具。 アフリカ大地溝帯研究に活躍した名古屋大学地球科学教室のトヨタランドクルーザの常備品。 このジープは地向斜玄武岩採集のため 北は北上高地北部から南は四国まで走り回っている。



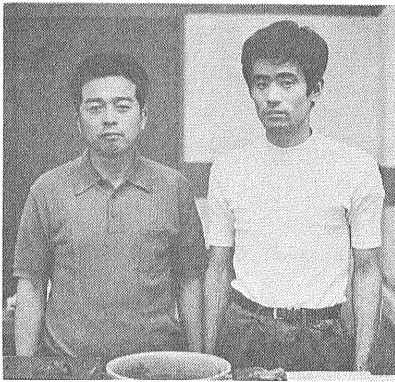
第50図 採取試料が巨大化し大量になると整理保存は大問題。 机上に近い実験室前の階段踊り場が一時占拠される。



第51図A 試料から任意の箇所を掘り出す小型穿孔機



B 直径約 34 mm の穴をあけられたピローの破片



第52図  
短期間に700枚  
近い大小様々の  
薄片作成と穿孔  
サンプリングを  
やっていたいた  
2人の裏方さん。  
平岩五十  
鈴(左)と与藤  
節生(右)の阿  
氏(名古屋大学  
地球科学教室)。

限り大きなサンプルを採取し あとでいくつも研磨面を作って詳しく調べるとい手法が大切になるわけである。

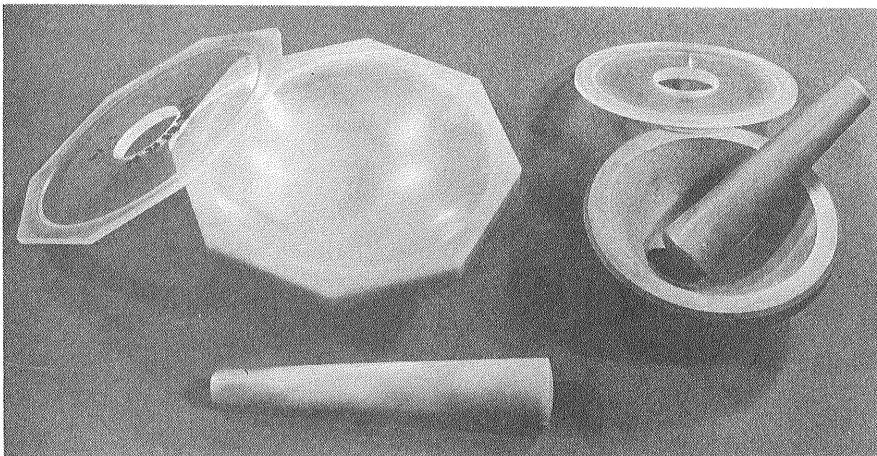
また薄片を作ったり 化学分析用のサンプルをとる場合でも ダイヤモンドカッターを使って大きな岩塊から任意の部分で切断することもあれば 小型穿孔器で穴をあけ 円筒状の試料をとることもあるわけである(第51図)。

化学分析用の試料をとるにあたっては 風化している岩石はいうまでもないことであるが 細脈の含まれる部分や砂泥質細層と互層しているような凝灰岩をさけるなどの注意を払わねばならない。枕状溶岩という数10cmのオーダーの小さな単位をとってみても マクロ的にもミクロ的にも 部分部分によってかなり性質が変化していたり variole や amygdule あるいは脈の有無 多少によって化学データは大きく左右されることはいうまでも

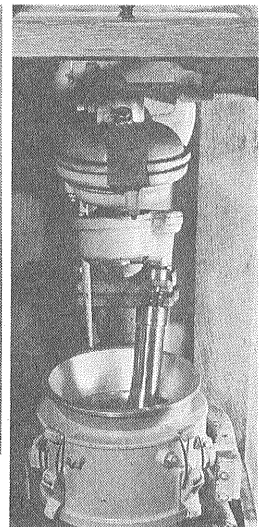
ないことであるからである。もう少し大きい単位として 10m くらい一つの露頭の範囲内でも ガラス質あるいは極微粒緻密の玄武岩が数m くらいで細粒はんれい岩から粗粒はんれい岩に移化することも知られている。露頭が連続しておらず点状の場合はどうであろうか。互いの関係が判らなくて同一の性質を示さないとしたら全体は不均質とみなすのか あるいは無関係と解釈するのか 困ってしまうことがしばしば起るのである。

地向斜玄武岩はフィールドでみても産状が判りにくく 風化変質作用を受けたのか 熱水変質したのか どの部分をもっとも原物質あるいはマグマの性質を代表するのか 理解に苦しむことが多く 何んともいやらしい石とみられている。このように事態を複雑化させている原因の1つにあげられるものに 地向斜玄武岩に固有といえる  $H_2O(+)$  と 炭酸塩鉱物(第2図)の少なくないことである。これは陸上で噴出し 水が関与しないで 固化冷却した玄武岩にはほとんど観察されない特徴といえよう。地向斜玄武岩の場合 このように採取したサンプル1個1個には もともといくつかの解釈が可能であり そういう要因をはらんでいるのである。

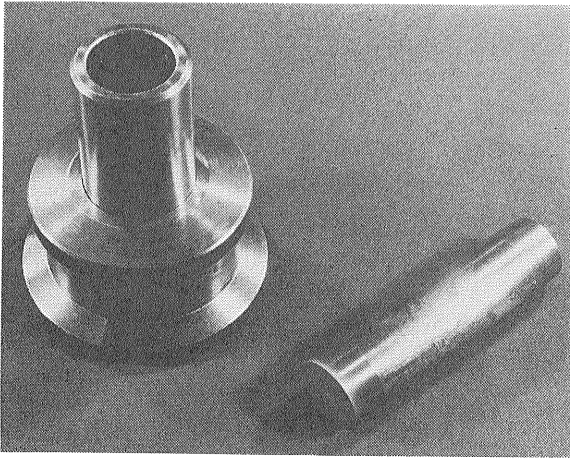
これまで地向斜玄武岩については スピライト問題とか変成岩鉱物の立場からアタックされたにすぎず 本格的にとり組まれるようになったのはごく最近のことといえる。この種の難しい対象に接近する方法として 私達は系統的にしかも組織的に化学データをとるといいう攻め方を実施してきた(地質ニュース215号 1972年7月に概要を紹介)。



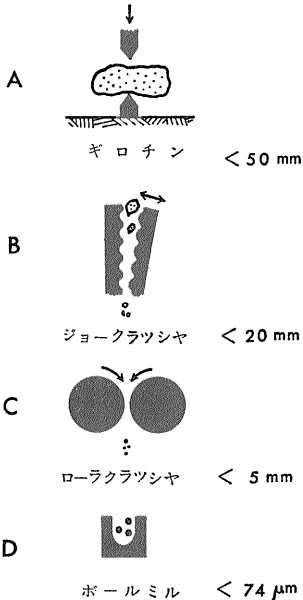
第53図A メノウおよびタングステンカーバイド製の乳鉢。厚さ5mmの透明アクリル板を細工して試作した粉体飛散防止用の蓋【地質調査所特殊技術課和田義一郎氏作。原図は服部(1971)にある】。岩石や鉱物片をメノウ乳鉢に入れてドンドン音をたててつぶす人が多いが これは間違いで絶対やってはいけない。メノウは打撃に弱いのでたたくと乳鉢の底にはたちまち小さなヒビ割れができてものがつまったりコンタミネーションの原因になり易い。ちなみに写真の乳鉢の重さを比べると メノウが106g タングステンカーバイドが470gもあり 断然後者が打撃力に優れていて強くたたきつぶすのに適しているのが判る。



第53図B 石川式メノウ製自動乳鉢。乳棒が電動式で粉砕をやってくれるがとても時間がかかる。



第54図 エリス乳鉢。 試料を搥んでつぶす付近だけタングステンカーバイドの材質になっている。



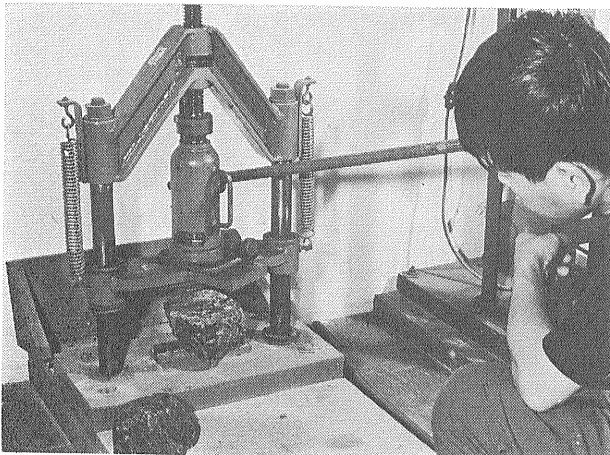
第55図 粉碎工程の模式図

ここで私達の採用した化学分析用サンプルの処理方法をやや詳しく説明しておこう。

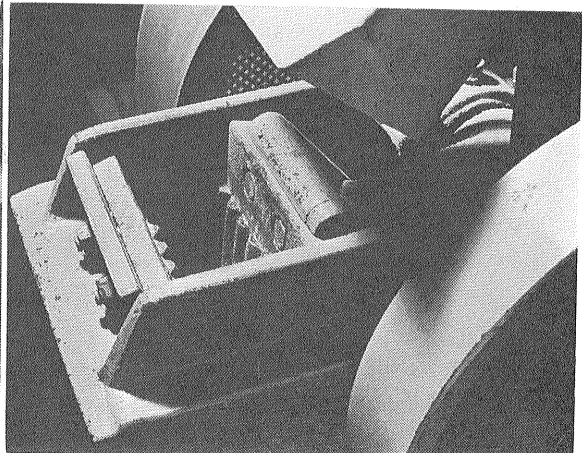
採取した岩石サンプルを化学分析に供するためにはまずサンプルを粉末にせねばならない。最初粗砕から始め 次第に微粉碎に移行するわけである。岩石や鉱物を少量粉碎するには メノウの乳鉢でつぶすことをおそらく多くの人は想像されるであろうが g オーダ以下の少数個のサンプルの微粉碎はそれで良いかも知れない。時間に糸目をつけなくてもすりつぶしても1日もかからないから。しかし数10gの単位で微粉末を得ようとするとそれこそ1個のサンプルだけでも1週間もかかってしまう大仕事なのである。そうすると メノウ乳鉢と乳棒を使って手ですりつぶすという方式ではまったくお手あげである。タングステンカーバイド製の 普通の形の乳鉢(第53図)やエリスの乳鉢(一種の小型スタンプミル 第54図)を用いたりで粉碎効率をよくするわけであるが それでもたくさんのサンプル処理となるとどうにもさばききれなくなる。要するに人力ではとてもかなわないのである。粉碎という単純作業をとりあげても 量の増加は必然的に粉碎方法の質的転換を余儀なくされるのである。つまり大量処理のメカニクが必要なわけである。

地質調査所には各種の粉碎機があって 目的に応じて使われられているが けい酸塩岩石の粉碎は通常第55図のような手順で進められている。まず通称ギロチンとよばれる Rock splitter(第55図A)の2つの刃の間に岩塊を挟み 油圧ジャッキの圧力で岩塊を真二つに割るわけである。

油圧の能力にもよるが 15 cm 位の厚みの固い岩塊を割るのは難しいことではない。何回も繰り返すことにより次第に直径 5 cm 以下の小岩塊まで小割りをつづける。



第55図A: "ギロチン"



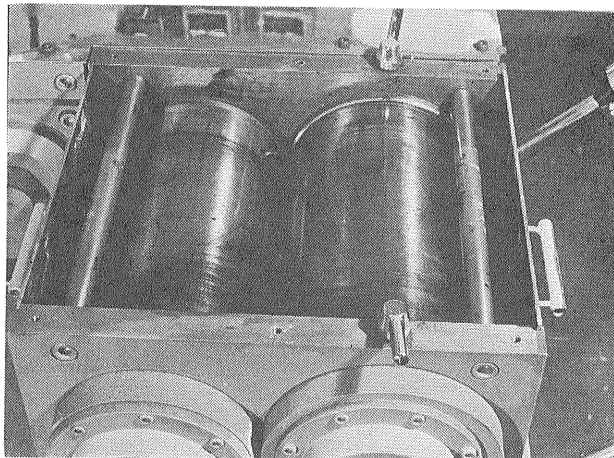
第55図B: ジョークラッシャ

そうするとジョークラッシャ（第55図B）にかけられるようになる。この段階で砕かれた試料は 3～30メッシュを篩分けたりあるいは 30メッシュ以上のものをとり それ以下の細かい部分は 鉄くずなどの破片が混入するおそれがあるので分析には使わない。4メッシュ以上の粗い部分を次のロークラッシャ（第55図C）にかけ 数mm 以下に砕く。以上のように粗砕した試料から30gを縮分し 次のボールミル（第55図D）に入れ微粉碎を行なう。縮分のさいには縮分器を使うことが望ましいのであるが 1回ごとに縮分器の清掃をせねばならないので 大量処理の場合には横着をして 紙の上に広げた粗砕中の試料を四分法でだまかにわけてしまう。15cm 角くらいの岩塊だと ゆうに数 kg 以上の重量があるが それから30gの微粉末を作ろうとするとAの工程で5～10分 B数分 Cは省略して篩分けるとそれで数分 Dで20分 合計40分くらいを1個の処理に費さねばならない。この所要時間のほかに 実際には1個の岩石を処理するごとに器具をたんねんに清掃する必要があるため プラシをかけたり大型強力電気掃除機を使ったり 実験台を雑布がけしたり……で 道具が揃っていても 30gの粉末試料を作るのに大変長

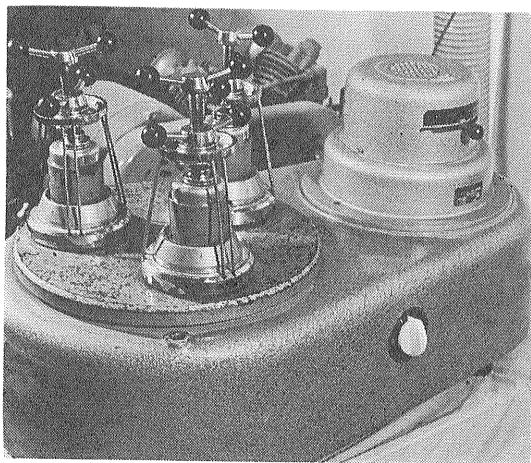
い時間がかかってしまう。もっとも Dのボールミル（第55図D）の所で 3個づつ処理できるので 1個の処理に1時間以上も要することはない。

地向斜玄武岩の研究グループは地質調査所方式の粉碎方法を最大限に利用したが 採取試料や薄片は全部名古屋大学地球科学教室に保存してあるので 粉碎のためにわざわざ名古屋と川崎の間を往復せねばならなかった。

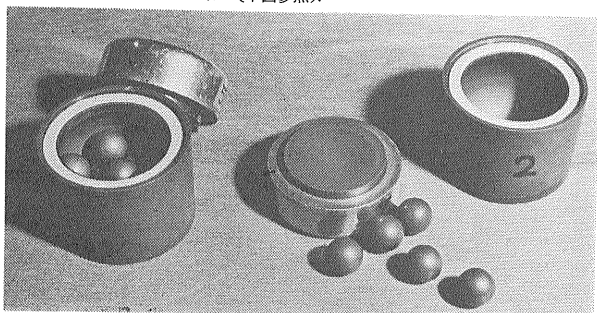
1回の上京で 収集整理してあったもののうちから 150個ほどの岩塊試料をジープに積み込んで 東名高速



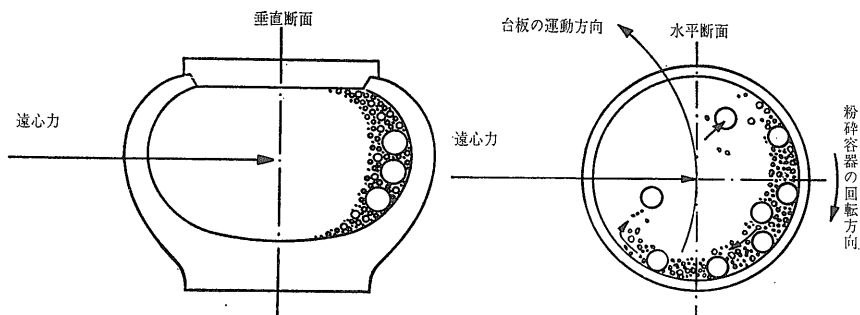
第55図C：ロークラッシャ〔地質調査所特殊技術課青木市太郎氏試作設計原図はニュージーランドのDSIRの機械試験所からいただく。ローラの材質はアトムロイの特殊硬合金〕。D：ボールミル（下図参照）。



第55図D (1) 西独 Fritsch 社製実験用遊星型ボールミル“pulverisette 5”



第55図D (2) タングステンカーバイド製粉碎容器とボール。直径15mmのボールは1個30gもある。



第55図D (3) 粉碎方法の基本原理（Fritsch社のカタログから）遊園地のコーヒークップ型回転運動を想像すると判り易いであろう。もっとも回転速度は比較にならないほどボールミルの方が大きい。

道路を飛ばして 1 週間ないし10日間の期間粉碎するというやり方で3回往復している。2人が朝9時から夜8時頃までフルに肉体労働をやって 何とか粉碎をこなした。全部の試料は600個近くあったので 粉碎だけでも延べ日数7~80日に及んでいる。普通の8時間労働のセンスに直してみると おそらく120日分くらい1人の労働とみれば能力がかなり低下するので150日ほど つまりほぼ半年間ぶっ通しで粉碎機の騒音と埃りの中でメカニックと斗った計算になろう。もっともなかには流れ作業的でない試料のとり方 任意の場所を切断したり 小型穿孔ボーリングによる部分採取など 手間のかかっているものもかなりある。そのうえけい光X線分析用のペレット作りも粉碎におとらず時間と労力と忍耐とを要しているのである。

粉碎の仕事はあとにつづくより時間と熟練を要する化学分析の段階ほど華々しく実りのある内容ではないし 一見単調で実にはばかばかしいようにみえるのだが とてもゆるがせにできない重大な問題がひそんでいるのである。粉碎が機械的に 短時間で効率よく進められると避けることのできないものにコンタミネーションがある。粉碎室の雰囲気・環境や粉碎機の材質によっては本来の試料と無関係の物質が混入するおそれが多分にある。衝撃を与えて粉碎する方式のスタンプミル 圧縮力によるジョークラッシャ ローラクラッシャ ディスククラッシャ あるいは打撃と摩擦力によるボールミルなどの1つをとりあげても粉碎機の容器からその材質の一部がこわれたりすりへったりして 混入する可能性がある。分光分析化学者として著名な安藤厚氏がいつも口ぐせのように “原理的にコンタミネーションのない粉

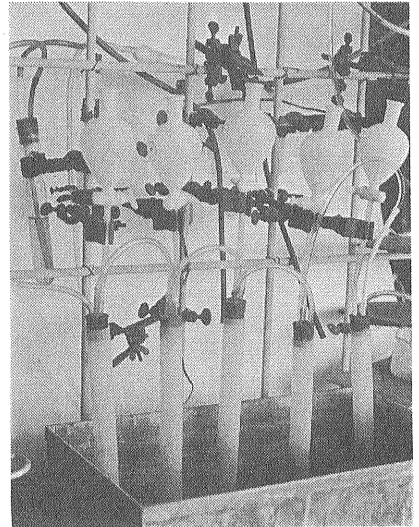
砕法はない”といっておられるが この言葉もまた “理想的に近いものとして とも擦り つまり試料と同一の材料で石臼を作り その中で擦り潰すこと” も本当なのであろう。

コンタミネーションが避けられそうもないとなれば 粉碎容器の材質を十分によく調べておくことと 粉碎容器の使用状況と磨耗の程度との関係を把握し さらに実際に分析によってコンタミネーションの上限を確め 予めその混入率を知ることが必要になろう。その上で分析する目的元素に影響を与えそうな場合 たとえばタングステンカーバイド製容器を用いて粉碎した粉末試料中の微量の W や Co を定量する場合には 別の材質メノウやアルミナの容器に変えるなどの配慮が望ましいのである。というのは タングステンカーバイドには主成分の W・C のほかにバインダーとして Co が混ぜてあるので 粉碎のさいに極微量ではあるけれども粉末試料中に入り込むので ppm オーダの W や Co の微量分析には適さないからである。

地質調査所は設備の面ではこのように恵まれているわけであるが これに似た粉碎室を作ろうとすると 最低300万円はかかるので 予算の上からどこでも設置可能ではないだろう。おそらくメノウ乳鉢かあるいはせいぜいエリス乳鉢を購入して使用しているラボが多いであろう。もう1つほかにタングステンカーバイド製の普通の乳鉢(第53図A)を購入する程度でも(大きさにもよるが5万円くらいの乳鉢でも十分役立つ) 粉碎能力は大幅にアップしよう。もっとも地質調査所へ来て こうした粉碎設備を利用されるのも一策かも知れない。最近 地質調査所のけい酸塩岩石専用の粉碎室を利用す



第56図  
約100個の試料の溶融分解  $\text{SiO}_2$  の分離定量ならびに母液の調製を10日間。写真は調製した母液を塩酸の空瓶に貯えてあるところ。ここから一定量分取し 全鉄・ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ・ $\text{MgO}$ ・ $\text{CaO}$ などの定量を行なう。このように大量の試料を HF で処理すると ドラフトの窓ガラスはたちまちもりガラスになり 近くの実験室の窓ガラスも侵されてスリガラスみたいになってしまう。



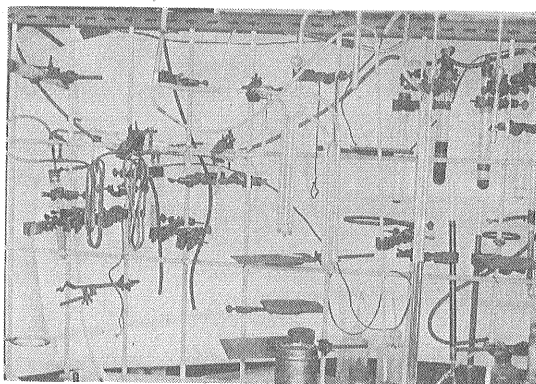
第57図  
 $\text{FeO}$  定量用のポリエチレン製容器と管。 $\text{N}_2$  ガス気流中で同時に5個の試料の分解を行なう

る外来研究者はととも多いのである。

### 15. 化学分析にまつわる問題

一昨年のものであるが日本分析化学会が創立20周年を迎えて未来像コンクールの論文募集を行なった。審査の結果 金賞に該当する論文はなかったが 銀賞に「X線分析 10年たったら 20年たったら」(X線分析研究懇談会 1972)が選ばれた。この論文のなかで分析化学者の夢が語られている。いわく「分析化学によせられる期待…… ① 迅速簡便 確実でだれにもできるような方法。 所要時間が少ない。 手数がかからない。 妨害元素の影響が少ない。 ② 主成分も微量成分も分析したい——精度も必要。 ③ 全元素の定量。 ④ 機器は安価で こわれにくい。 ⑤ 試料を消耗せず 保存したい。 ……」

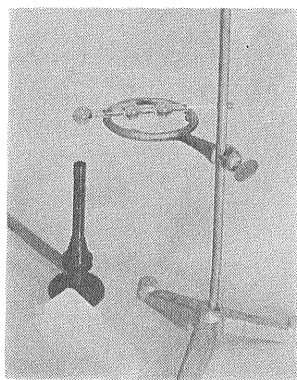
結論を早くいうと どのラボでも 誰が分析しても 同じ試料については同じデータが出るような分析法が要求されるわけで その意味では機器分析に寄せられる期待はきわめて大きい。 いまさら説明するまでもないことであろうが環境汚染監視に果している機器分析の役割りはとても高く また工場の管理分析 たとえば製鉄所セメント工場 鉱山の選鉱場・製錬所におけるかつての



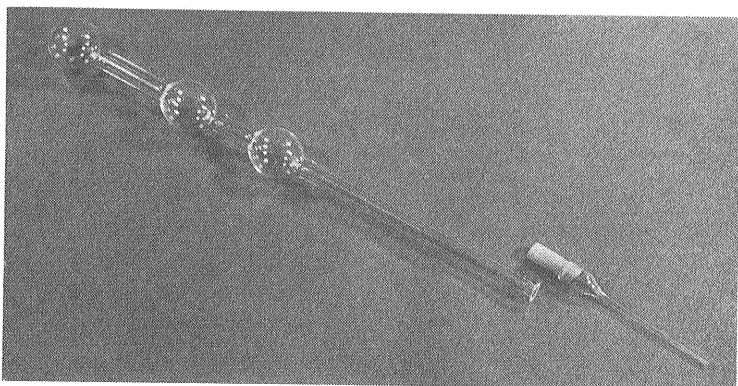
第58図 CO<sub>2</sub> 定量装置の1つ。 とくにガス量の多い場合に正確である。 酸との反応で発生するCO<sub>2</sub>をN<sub>2</sub>とともに管中に送る。 途中いくつかのトラップで不要な気体を取り除き 最後に液化窒素でCO<sub>2</sub>を捕集し マノメータで定量する。

人手と時間を要し 加えて長年の熟練が必須条件であった品位分析などは いまはもうほとんど機器分析におきかえられ なかでもけい光X線分析は最大限に有効利用されているといえる。

けい酸塩岩石の主成分元素分析に関する教科書や論文は非常に多く また微量元素分析についても同様なので



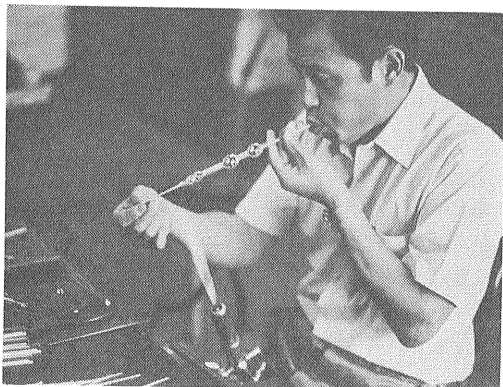
第59図A



第59図B

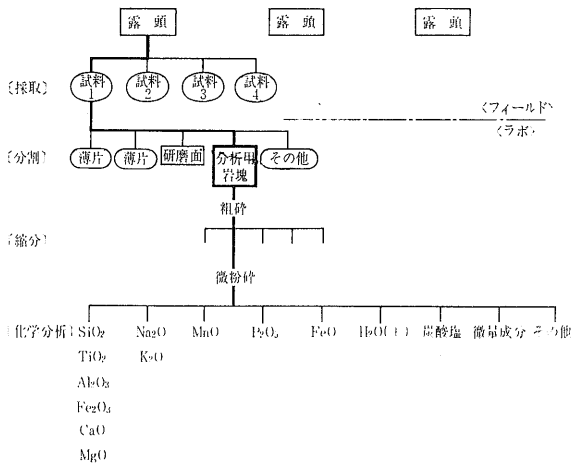


第59図C



第59図D

第59図A~D H<sub>2</sub>O (+) 定量に用いたベンフィールド管。 長さ約15 cmのバイレックス管を3箇所ふくらませ 左端のふくらみに試料を入れ加熱する。 右側の2個のふくらみは水を含んだガーゼで冷却し 水蒸気を捕集する。 右の出口は外気との交流を少なくするため 毛細管をつける。 ガラス細工の妙技をふるう裏方さん 吉岡茂雄氏(名古屋大学地球科学教室)。



第60図 フィールドからラボまでの試料の流れを示すブロック図

興味のある方はそちらを一読くださるようお願いしたい。ここでは地向斜玄武岩を分析するさいに開発した 杉崎・田中 (1971) による大量同時処理分析の様子を写真(第56～59図) から垣間みていただきたい。

化学分析値を文献でみたり 自分で実際に分析してみたとき そのデータが優れた分析結果を現わしているものか まあまあなのか あるいは全く使いものにならないのか などの判断はどうくださるのであろうか。チェックポイントには何があるだろうか。第60図から判るように 1回の試料粉末採取によって主成分元素全部の分析がやれるものではなく 通常数回にわけて粉末をとり SiO<sub>2</sub>・TiO<sub>2</sub>・Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・CaO・MgO Na<sub>2</sub>O・K<sub>2</sub>O FeO MnO H<sub>2</sub>O(+) 炭酸塩のように小間切れの分析を行なうわけである。

主成分元素の分析が理想に近い形でミスなくうまくいったとすると それぞれの分析値の合計は100%か100%に近い数字になるはずである。これはチェックポイントの1つに使える。良いデータといわれる場合 大抵99.5～100.5%の間に入っているが 100%から±1%の幅すなわち99.0～101.0%の間に入っておれば まず信頼性 (Reliability) のあるデータといってよいであろう。

しかしこのチェックポイントだけでは十分ではない。偶然その範囲に入る可能性だってありうる。ミスや誤差が重なって それらが相殺される場合である。このようなおそれの有無をはっきりさせるため もう1つのチェックポイントを設けなくてはいけない。例をあげると ある試料中の SiO<sub>2</sub> を繰り返して何回も分析したときのデータのばらつきを調べてみることである。そ

のばらつきの幅 " $\sigma$ " は標準偏差で 再現性 (Reproducibility) を意味するが 分析の精度 (Precision) をあらわす指標として用いられる。もし  $\sigma$  がほとんど零でデータがばらつかないような場合には 分析者がとても熟練しているとか 分析法が優れているとか いいことづくめではなく 逆にばらつかないような分析法は鈍感で役に立たないのではないかと疑ってみる必要があるともいわれる。実際に分析を繰り返してやってみると データは必ずばらつくので  $\sigma$  が零になるということは現実にはほとんどない。  $\sigma$  が小さいのが望ましいわけですからそういう分析は精度が良いといえるのである (第7表)。

99.0～101.0%と小さい  $\sigma$  値の2通りのチェックポイントのほかにも 分析方法自体のチェックの仕方について考えてみよう。もし理想的に完璧な分析法があって 1つ1つの主成分元素あるいは全体が真の値 (A) をもっているとしよう。問題としているある1つの分析法で試料を無限回定量したとき 分析データの平均値 (M (ばらつき)) が A からどの位偏っているか によって その分析法の優劣が表現される。これが正確度 (Accuracy) とよばれるものである。真の値 (A) は本当のところよく判らないので 普通は十分検討された測定法で 多数のラボにおいて多数の人が分析したデータの平均値か推せん値とみなしてよい。

この正確度の検討のためには同一の試料を使わねばならないので 十分吟味された試料調製法によって均質化・縮分・瓶づめにされた状態で標準試料として提供されている。けい酸塩岩石の標準試料として 古くは G-1 と W-1 が広く知れわたっており 世界中の著名な分析化学者やラボが参加し 永い年月かけて共同実験を行ない推せん値を公表している。わが国でも地質調査所安藤厚氏を中心とするグループが JG-1 と JB-1 を完成し世界中に配布し 真の値 (A) あるいは推せん値を決める研究を続けている (ANDO ほか 1971)。地向斜玄武岩分析の場合にもとくに炭酸塩成分と H<sub>2</sub>O(+) 分析の問題を配慮して2種の標準試料 NP-B と NC-B とをやや多量に調製し 共同チェックに利用していただくようよびかけている。

地質調査所の化学分析は 従来からの優れた湿式分析 (炎光分光分析・原子吸光分析を含めた) のほかに 最近各種の機器による乾式分析が専門家以外の手によって軌道にのり始め おびたしい数の化学分析値が出るようになった。けい光 X線分析・エレクトロン マイクロプロブ分析 (EPMA あるいは XMA) ・ $\gamma$ 線スペクトロスコーピー (エネルギー分析) があげられる。これらの機器分析では絶対値を出すことができないので



第7表 約550個の試料の化学分析の途中にランダムに挟んで行なった標準試料および準標準試料の分析値の一部とその統計データ (杉崎・田中 1971)

|                                | JB-1      |          |    | JG-1      |          |    | NP-B      |          |   |
|--------------------------------|-----------|----------|----|-----------|----------|----|-----------|----------|---|
|                                | $\bar{x}$ | $\sigma$ | n  | $\bar{x}$ | $\sigma$ | n  | $\bar{x}$ | $\sigma$ | n |
| SiO <sub>2</sub>               | 52.26     | .38      | 13 | 72.52     | .16      | 8  | 48.36     | .18      | 5 |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.32      | .12      | 8  | .28       | .06      | 6  | 2.54      | .13      | 5 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.57     | .26      | 11 | 13.84     | .45      | 6  | 14.49     | .36      | 5 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.21      | .21      | 15 | .29       | .08      | 7  | 2.17      | .41      | 5 |
| FeO                            | 6.02      | .15      | 17 | 1.74      | .08      | 7  | 8.86      | .07      | 5 |
| MnO                            | .15       | .02      | 12 | .06       | .00      | 4  | .15       | .00      | 5 |
| MgO                            | 7.72      | .12      | 16 | .84       | .12      | 9  | 6.67      | .17      | 5 |
| CaO                            | 9.27      | .10      | 17 | 2.17      | .02      | 10 | 8.84      | .05      | 5 |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.85      | .13      | 10 | 3.26      | .02      | 4  | 2.86      | .14      | 5 |
| K <sub>2</sub> O               | 1.31      | .02      | 13 | 3.94      | .11      | 5  | .65       | .04      | 5 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | .24       | .02      | 5  | .09       | .00      | 6  | .23       | .02      | 5 |
| H <sub>2</sub> O(+)            | 1.10      | .05      | 5  | .42       | .06      | 5  | 3.58      | .16      | 3 |
| H <sub>2</sub> O(-)            | .89       | .10      | 5  | .09       | .03      | 5  | .15       | .00      | 3 |
| CaCO <sub>3</sub>              |           |          |    |           |          |    | .49       | .04      | 3 |
| MgCO <sub>3</sub>              |           |          |    |           |          |    | .02       | .00      | 3 |

$\bar{x}$ : 平均値  $\sigma$ : 標準偏差 n: 測定回数 JB-1: かんらん石玄武岩 JG-1: 花崗閃緑岩 NP-B: 地角斜玄武岩

定量のさいには確かな分析値の保証されている標準試料が必要なのであって 絶えず標準試料の分析値と対比しなくてはならない。標準の値との比較という原理からいって 最初から他のデータと比較するという宿命にあるため 機器分析は他の方法で得られたデータとの差がいつも念頭にあるわけである。

そういうわけであろうか この頃機器分析に携わる人達の間で同一試料についての共同実験や機器分析の功罪と限界が話題になったり また従来の湿式分析のデータとの間に顕著な系統的差を示す元素K<sub>2</sub>Oも明らかになっている。いずれにしても 化学分析については一部の専門家を別にすれば まだ どこで 誰がやっても同一結果が出るような状況に達していないことは確かである。

分析法のちがいが ラボの環境条件のちがいが 分析者のちがいなどによって 同一試料の分析結果は必ずしも一致しないし ときには顕著な偏りが認められるのだが このような偏りが共同実験などクロスチェックによって詳しく調べられ明確になったときには 別個独立に行なわれた分析の結果に一定の補正值を加えれば 同一レベルでそれぞれの化学分析値を互いに利用しあえるわけである。これまでこうした検討を済ませることなく どの文献の数値も丸々信用して そのまま相互比較や平均値の算出などに使っているわけである。

具体的にいうと “B氏の K<sub>2</sub>O の分析値は低目に出る傾向にあるので 10%プラスの補正を加える必要がある” とかいう配慮を全然やっていないわけである。今

後化学データが増加するにつれて 異なる分析法 異なるラボ 異なる分析者によって計測された分析値に関する相互チェックはますます強く要求され より厳格さを期待されるであろう。

以上のような事情を踏まえて 私たち地角斜玄武岩グループでは 標準試料と準標準試料をひんばんに分析しながら精度と正確度をチェックしつつ 主成分元素の分析は杉崎隆一と田中剛 Rb と Sr の定量は服部仁 稀土類元素分析は田中剛が行なった。これらの化学データは完璧で優れた分析によったとはいえないけれど 限られた人手で限界を確認しながら出したデータだけ使って解析を進めている。したがって分析値の偏りはたとえあっても (きわめて小さいと確信しているが) その中での比較(他のデータを加えないで純性を保っている)から導かれた解析結果はきわめて有意義であると思っている。

### エ ピ ロ ー グ

フィールドから持ち帰った岩石試料を切ったり すったり のぞいたり 煮たり 焼いたり 測ったり いろんな方法で調べるといやり方は研究者の肌にもうすっかりしみついていて 格別話題にするようなことではないだろう。ところが処理数がふえたり 極端にマイクロの問題につつまんだり 逆にマクロの問題を扱うようになると 同じように化学データをとるとい目的でも手法が変ってくるし いくつかのチェックポイントが必要

になる。工場の原料や製品の管理分析は迅速にかつ大量処理が望まれ、いわゆるマスプロの流れ作業的ルーチン分析方式がとられる。データの信頼性はもちろんだが、サンプリングや縮分における偏在があると、原料や製品の品質を的確にとらえる上において大きなマイナスとなるのである。私達の問題についていえば、ラボで計測したデータがフィールドの露頭におけるサンプリング位置のもっとも一般的な性質を代表しているかどうかということになる。両者の間をつなぐ仕事がかつこつと人手に頼っていたときはともかく、機械化され迅速化され肌のぬくもりが感じられないようなデータがふえるほど、この種の問題は軽視できなくなっている。

フィールドの調査のやり方でも同じことがいえるのではなからうか。地質家やその卵たちがあるプロジェクトをもって一度にたくさんある地域に入ったとき、鑑識の目の基準とか統一ということが、ちょうどラボにおける標準試料やその扱い方に相当するであろう。統一基準が狂っていると、最終的にまとめる全体像が偏在したり歪んだものになりかねないであろう。この点では日本列島が温帯湿潤気候の下におかれ豊かな植生のため連続露頭が少なく、いつも露頭ごとの相互関係を考えつつ歩いてまわる日本の地質家たちは、鑑識力に卓抜しているといえるかも知れない。

ところが一歩足を海外に踏み出すと乾燥気候や寒冷の地方では地域全体がむき出しになっていて、航空写真からある程度の地質図が作られてしまう。全山露岩のフィールドでは断層・不整合・貫入・褶曲など諸岩相の相互関係が容易に判ってしまうので、日本のように断続する露頭間をつないで相互対比を行なうことに精力を費す必要がない。チェック・サーヴェイや次の段階から研究を始めることができるのである。つまり地質図が予め揃った条件で、よりつつ込んだ目的からフィールドの研究が進められる。ある国でとりあげられる研究が別の国では研究テーマとして認められないというか判ってもらえないというのは、上のような事情があるのではなからうか。

何度も来日しているニュージーランド・オタゴ大学クームス教授(D. S. COOMBS)がある日本の地質家の質問「日本の地質学の研究をどう思うか」に、しばし時間を置いてから「優れたデータはたくさん出ているが、アイディアに乏しいのではないか」と答えている。彼の返事は革新的なスケールの大きい仮説を提案すること、にためらいがちな日本の地質家に対する励ましの言葉と理解しておきたい。おそらく「優れた個々のデータを駆使して1つの理論体系に組み立ててみせる」という

観点にウエイトをおく研究者がもっともっと育ち、世界の檜舞台で活躍してほしいというのであろう。

一生かかって細かい1つのテーマを深く掘り下げるタイプの研究者や分業によってパートを受け持つ研究者も必要であるが、専門分野にとらわれることなく数年で1つのテーマをまとめたら別のテーマに移ったり、あるいは広い視野をもって、総括的な研究を行なう All-round player や研究組織も必要なのである。

ここで忘れてはならない大切なことは、病院を引き合いに出しては少々脱線かも知れないが、1つの医療組織のなかにはいつも中心的な重責を担う医師がいなければならない。しかも医師を支え患者をいたわる補助的医事行為を受け持つ看護婦や看護人……がたくさんいなければならないのを見逃がせないのである。医師が看護婦の助けなしに1人でいくら努力し専門医たらんとしても、また All-round player になろうと思っても Jack of all trades にはなりえても、責任ある医療はできないのである。医師1人に看護婦が何人必要か、とかはこの際問わない。問題は看護婦という仕事の内容と職業を尊重し、さらに彼らのチームプレイを評価したいのである。研究者と補助する人との関係はこのように医師と看護婦との関係と驚くほど似ているのではなからうか。

研究成果を人間社会へ還元するという見地に立つと、科学と研究者は絶えず本来の使命を果すよう厳しく見守られ評価されているのであって、それゆえにややもすれば抽象論になりがちな「研究の専門分化・分業・総合化とともに、研究組織内の研究補助部門のあり方」の問題も、国の内外・時代を問わず、現実逃避してはられないと思う。

今回は枕状溶岩というやや特殊な対象から眺めた地角斜の夢、灼熱の海底＝ホットな地角斜か冷たい死の床＝コールドな地角斜かに思いを馳せてまとめてみた。また一般には見過されそうな研究の裏面、すなわち学術論文にとりあげられるような華やかさの蔭に埋れて、共著者としてもあるいは謝辞にも名前をとどめられず、表だって評価されることもないラボの裏方たちがいかに研究活動を支え潤滑油にもなっているかを紹介し、研究組織・態勢の一端にふれてみた。

終わりに、資料を提供して下さった杉崎隆一・水谷伸治郎・田中剛、フィールドで御教示して下さった内田信夫・平野英雄・村井武文それに資料の複製をしていただいた正井義郎の各氏に紙上をかりて厚くお礼申上げます。

(筆者は 地質部)

【◎ 文献は 45頁下にあります】