ここに用いた指数は Vegard¹⁾ の指数の hkl を何れも $1/2$ したものである。それは Vegard の得た格子恒数 $a_0=9.45 \text{ \AA}$, $c_0=6.36$ が現在採用されている格子恒数 $a_0=4.72 \text{ \AA}$, $c_0=3.17$ の 2 倍である為である。

これら三鉱山の鋳石の格子恒数は

	三 吉	大 谷	鐘 打
a_0	4.740 $\text{\AA}$	4.739 $\text{\AA}$	4.739 $\text{\AA}$
c_0	3.185	3.186	3.186
c_0/a_0	0.672	0.672	0.672

で、何れも Dana²⁾ に記載された値 $a_0=4.72 \text{ \AA}$, $c_0=3.17$ と良く一致している。又この軸率は上記の複円測角器で得た軸率とも良く一致している。

終りに当り終始御懇切なる御指導を賜った大森啓一教授に深甚なる謝意を表する。尚本研究に用いた費用の一部は文部省科学研究費によったことを附記する。

評 論 雑 録

地殻構造の資料から推察される玄武岩漿の本源

Some reasoning on the origin of basaltic magmas based
on the data of crustal structure

柴 田 勇 (Isamu Shibata)

地球物理学・地球化学・地質学・天文学等の資料に基づく earth model は従来多くの学者によつて提示されているが、大局的な点では 何れも 大同小異のものと言えよう。併し、地球の上層部即ち地殻並びに その下の底層帯にわたる範囲の構造については、最近各分野における資料の増加に伴い逐次改変されつつある。

ところで、このような地殻の構造は地震波の観測に基づく、いわゆる地震学的地殻構造 (seismic crustal structure) によつて既にその概要が判明しており、Mohorovicic 不連続面から上の地殻層については、地質学的並びに 実験岩石学的資料から、その実体が或程度論定されているのである。

併し、M 不連続面から下の部分については 現在なお一致した推論が無く、研究者によつてその見解が色々である。そしてその主な相異は、M 不連続面を岩石の組成的境界とみるか、或いは岩相的境界と考えるかであつて、M 面上に広汎に存在する“基盤的”地殻層は何れも基性岩 (玄武岩質或いは斑岩質) が主体とされているが、M 面より下の部

1) Vegard, L., *Phil. Mag.*, **1**, 1171, 1926.

2) Palache, C., Berman, H., and Frondel, C., *Dana's System of Mineralogy*, **1**, 574, 1944.

分については、前の見方では超基性岩（橄欖岩質或いは dunite 質）とし、後の見方では高圧下における基性岩質變成岩即ち eclogite に類するものであるとしている。

そこで、前の見解は現在一般に考えられているものであるが、後の見解は夙に Goldschmidt¹⁾, Daly²⁾ などによつて示されており、最近再び注意されるに至つたものである。これらの仮説は地震波の速度や密度の点に関しては何れも大体適合したものであるが、M 面の下が超基性岩から連続的に一層 femic な深部に移過するという考えは、次に挙げるような各方面の事実に対して好都合でなく、むしろ eclogite 説の方がその説明に好都合のようである。

1. 隕石の種類について Lovering が量的に研究した結果によると³⁾、隕石の原天体の silicate mantle はその約 60% が玄武岩質組成のものとして推測され、従つて地球 mantle の上層部も相当の範囲が同様の組成のものであると考えて然るべきである。

2. 近似した組成の玄武岩類が space and time に広汎に現出すること。M 面の下がすべて超基性岩であるとする、現在の推測では少なくとも 200 km 以上の深度でないと熔融温度に到達しないことになるが、そのような深部では、深発地震のあることからして多少歪力の release されるような状態が存在するとしても、岩漿の起生に必要と考えられる局部的減圧を生ずるような機構は想像しにくい、またその上の “weak zone” 或いは “asthenosphere” (地震波の資料から、いわゆる低速度帯として知られている、70km—150km 位の範囲の剛性率の低下した部分(低速度帯)⁴⁾で、これより上を地殻として取扱うべきものと思う)を通して地殻上層部に達する裂隙を生ずることも考えにくい。一方、超基性岩の撰択熔融による玄武岩質岩漿の生成は理論的に可能なことであるが、上記の深度における超基性岩(推定される密度は 4.0 位で、高圧下の dunite もしくは一層 femic な組成のもの)から、このような過程で近似した組成の莫大量の玄武岩漿が広汎に発生するという考えには相当無理があるように思われる。

これに対し、M 面と “weak zone” (地殻に対して底層帯とも称する)との間に相当広範囲の變成基性岩帯(eclogite 質帯)があると考え、内因力に基づく地殻運動でこの部分に局部的な増温と減圧が起ると、底層対流などの力による地殻の沈曲又は膨隆に伴う張力のための減圧効果と、地殻の深部沈降又は上昇底層対流の影響による増温、そこに部分的熔融によつて玄武岩漿を生じ、これが地殻の裂隙を通して噴出することが考えられる⁵⁾。このような説によると、玄武岩類の広汎な出現とは一定した組成に対する説明が前説に比べて遙かに容易であり、また “weak zone” に相当する深度に震源をもつ地震帯と活火山帯とが近く相伴っている事実⁴⁾などもかゝる想定を支持しているよう

1) Daly, R. A., *Igneous rocks and the depths of the earth*, 178, 1933.

2) Goldschmidt, V. M., *Der Stoffwechsel der Erde*. Vidensk Selsk. Skrifter, Kristiania, No. 11, 1922.

3) Lovering, J.F., *Trans. Amer. Geophys. Union*, **39**, 947~955, 1958.

4) Gutenberg, B., *Internal Constitution of the Earth*, 410~412, 1951.; Takeuchi, H., Press, F., Kobayashi, N., *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, **49**, 355~364, 1959.

5) 柴田 勇, 地震波による地殻探査の成果と地殻構造の造構論的解釈(印刷中), 1960.

ある。

造槽地帯に多い構造地震は主として“weak zone”より上の地殻の範囲に震源を有するものであるが、これも地殻深部の岩漿化に伴う上部地殻の歪力によって起ることが考えられる¹⁾。そして、多くの島弧帯に見られるように、このような地震帯の位置は火山帯の外側になるらしい。

3. M不連続面から下では、深度に伴う地震波速度(V_p)の増加率は極めて緩慢で大体-80km levelまでは殆んど8km/sec 台にとどまっているが、もしM面以下が全部超基性岩であつたならば、深部の変成相では、温度の増加を加味しても、 V_p はもう少し大きな値にならなくてはなるまい。

4. Sial 質地殻層を殆んど欠く大洋域においても、平均して大陸の楯状地域と同程度のheat flowが認められている²⁾。これはM不連続面の下がすべて超基性岩(放射性発熱量は基性岩の約1/50)であつては説明困難で、やはり相当の範囲に亘り玄武岩質組成の部分が在ると考えた方が好都合である。

大洋域のheat flowが存外に大きい事は、次に述べるように、M面直下に或範囲の超基性岩帯を想定するとき、この部分の熱伝導度がやゝ高いことで一部の説明ができるが、その下に変成基性岩帯が在るとしても、更に深部の“weak zone”に高温の上昇対流のようなものがあることを想像する必要がある。

併し、M不連続面の深度が僅々10km内外である大洋域においては、約8km/secの V_p を有するM面直下の地殻層は、Adams³⁾などの資料から推察して、変成性岩と考えるよりもむしろ超基性岩を主体とするものと考えらるべきであろう。

以上のような事から、筆者はM面から下の構造について次のように想定してはどうかと思う。

大洋域では、M不連続面の下に10数kmの厚さの超基性岩層(平均密度3.3, $V_p=7.9\sim 8.2$ km/sec)があり、大陸域ではこれがずつと薄いものと推測する。この超基性岩層の下は、深度-80km位まで主として変成基性岩(eclogite 質, 平均密度3.4, $V_p=7.8\sim 8.1$ km/sec)より成るものと考え。-80kmあたりから-150km位までは、おそらく剛性率のやゝ低下した超基性岩質の部分で、この下は再び剛性率の高いultrafemicな組成のものになるであろう。

この状態を米大陸大西洋間を例にとつて、模式的に示すと図のようになる。こゝに、温度・圧力・地震波速度(縦波, V_p)等はすべてこれまでの研究者によつて発表された値を採つており、大陸域における上部超基性岩層の厚さは-80km付近を大体地殻均衡の補正面と想定して略示したものである。この補正面はM面よりずつと下にないと均衡の成立しない地域のあることが、地震波による地殻探査の結果から出ている⁴⁾⁵⁾。現在ま

1) Matuzawa, T., Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ., **31**, 179~201, 1953.

2) Birch, F., Geophysics, **19**, 645~659, 1954.

3) Adams, L. H., Internal Constitution of the Earth (B. Gutenberg ed.), 50~80, Tab. 13 (p. 74), 1951.

4) Tatel, H. E. and Tuve, M. A., Crust of the Earth (A. Poldervaart ed.), 35~50, 1955.

5) Nanda, J. N., Nature, London, **184**, (Suppl. 9), 629, 1958.

性の組成を有する)があるが、局部的にはこのような成層順序の逆転や *rhythmical* な繰返しも認められる。それで、地球上層部の厚大な範囲では、これに類した過程¹⁾によって生じた超基性岩質の帯が幾つか存在する可能性は充分考えられ、M面直下のものはその最上部のものであるかもしれない。即ち、大洋域のM不連続面の直下に想定される超基性岩帯は *femic* な地殻物質 (おそらく *olivine basalt* 質ないし *picritic basalt* 質岩漿) から分帯して、深部における密度の関係上先づこのような位置に生じたものと想像される。従つてM面より上の6キロ層 (通常 $V_p=6.5\sim 6.7$ km/sec で、“*basaltic layer*” 又は “*oceanic layer*” と呼ばれるもの) は正常の *olivine basalt* より幾分 *salic* な組成のもの或いは *tholeiite* 質のものではないかと思われる²⁾。そして先に述べたように上記の超基性岩帯は多分 *femic* な玄武岩質の部分を含んでかなりの深度にまで及んでおり、深部にゆくに従つて玄武岩質の部分と共に変成化したものになると推察される。想像すると、このような超基性岩帯を含む範囲はおそらく原始地球の *mantle* の外縁部が固化する時期に、前述のような過程によつて成層構造のできたところではないかと思われる。そして最上部をなす6キロ層は、元の *femic basalt* 質岩漿から早期鉱物成分が除去された結果、幾分基性度の低いものとなつていてのではないかと考えられる。このような事の実否は近く6キロ層の実体が確認されれば自ら判明することであろう。

さて、さきの2に説明した *magmatism* は主として海洋域又は大陸の特殊な地域 (地向斜帯及びこれに対応する大きな *dome* 状隆昇地域)³⁾ に考えられるものであるが、造山帯に迸発する基性岩漿にはこれと少々異つた成因と迸発様式のものがあると思われる。

地向斜性地殻運動の初期に迸発する玄武岩漿 (先造山期の *magmatism*) は、おそらく先の場合のように深部起生 (M面下の部分より発生する) ものであろう。併し、これに次ぐ前期造山期に迸発する斑岩質岩漿は、主として地殻の深部沈曲によつてM面より上の基性地殻層 (玄武岩質或いは斑岩質地殻層と呼ばれるもの) が熔融して生じたものと推察され、これに伴う超基性岩類は主としてこのような基性岩漿の分化生成物と考えられる。そして、後期造山期に進入する花崗岩漿の主体は更に上部の酸性地殻層 (花崗岩地殻層と呼ばれるもの) の熔融によつて起生したものであろう。

大陸及びその周辺のように上部地殻層の厚い地域においては、深部地殻で発生した玄武岩漿は地殻運動に伴つて逐次上部地殻に進入し、そこから二次的に迸発するものが多いように思われる。この事は色々な事実から推察されるが、かゝる迸発様式はいわゆる *staccato eruption* で、先の海洋地域などにおける裂嶺噴出は、おそらく深部からの直接的なもの即ち *legato eruption* が多いであろう⁴⁾。併し、本源岩漿と考えられる *alkali*

1) *Floorless body* ゆえ、地層に進入した岩漿体の中で行われるような性質の結晶集積とは多少異なるものにちがいない Barth (T. F. W., *Theoretical Petrology*, 195~197, 1952)。

2) 水深 5km の洋底の静圧は岩石層にして 2.5 km 内外の深度に相当するから、Adams (1951) の資料を参照すると、大体このような推測になる。

3) Cloos, H., *Zur Mechanik grosser Brüche und Graben*. *Centr. f. Mineral*, 1932; *Hebung, Spaltung, Vulkanismus*, *Geol. Rundschau*, **30**, 1939.

4) Daly, R. A., 前出, 1933.

olivine basalt magma のほかに少しく salic な tholeiite 質 magma ならびにより femic な picrite 質～oceanite 質 magma も認められるので、これらのうちには多少 staccato eruption のものもあつて、その過程における岩漿分化によつて生じたものもあるであろう。

玄武岩漿から derive されると考えられる中性ないし酸性の岩種は何れの場合にも認められるが、一般に地向斜や地盆の如き negative area の basaltic eruption にはこのような分化岩種が、positive area の eruption に比べて、量的に多い事実が認められる。更に、内外の資料を総合すると、一般に negative area における本源的玄武岩漿は positive area におけるそれに比してやゝ salic であり且つ less alkalic (calcic) な傾向が認められる。また各種の femic basalt や低珪酸質岩種 (アルカリ岩型) の多くは後者の地域に見られるのである。

これは、主として次のような理由によるものと思われる。即ち、legato eruption の場合は深生の femic magma が途中地殻内で滞留することが少く直接的に迸発することが多いのに対し、staccato eruption の場合は magma が上層地殻の諸処に進入して岩漿溜をつくり、そこで岩漿分化や混成作用が行われ、岩漿溜の上部の比較的 salic な部分が上昇迸発することが多いためと考えられる。そして地向斜帯にも時折見られる femic basalt は岩漿溜の下部の femic magma を代表するものかもしれない¹⁾。勿論 positive area に多い femic アルカリ岩系にも分化岩種のあることは周知のとおりであるが、Daly が指摘したように、それらは量的に僅少であつて、それは原岩漿が比較的浅処に到達してから小範囲で分化の行われる状態が多いためではないかと考えられる。

次に、先に述べた大陸域の dome 状隆昇地域 (後期に断層地溝を生ずる) に見られる basaltic magmatism について一言及しておこう。この種の造構運動とそれに伴う岩漿活動は、過去の時代にも世界各地に認められているが、このような造構地域に見られる本源的岩漿は大洋域と同様比較的 femic な組成のものが多く、アルカリ岩型もよく陪伴している。その理由として推察されることは、このような地殻の膨隆するところでは (おそらく上昇底層対流の力によつて) 地殻の下底部で起生した岩漿に一層 femic な底層物質で多少添加されて迸発する可能性である。この効果を考えれば、大洋域に比してやゝ基性度の劣る大陸域の基性地殻層からも大洋域と同程度の femic magma が起生することが可能といえよう。

最後に、極く概括的ではあるが、アルカリ岩型の成因に関連して一言すると、この種の岩型は本来低珪酸で femic は本源岩漿から derive されることは確かであり、そのようなアルカリ岩漿を起生する造構的環境は主として大洋域及び大陸域における positive～neutral area であつて、先述の legato eruption が多く、sial 質地殻との混成作用による calc-alkali 化 (silica, alumina, 及び lime が増加する) の少い条件のところのようである。そして世界の各地域各時代の事例をみると、大体においてこの通則に悖らない。たゞ、方沸石を含有するソーダ質玄武岩類は地向斜や地盆のような negative area に現出するのが通例である。

1) このような岩漿溜の下部に在つた femic～ultrabasic magma は地殻の沈曲に伴つて深処に入り、前期造山期に迸発する起基性岩の一部根源となることも可能であろう。

地質関係のよくわかつている 新生代のものについてみると、顕著な alkali field は新生代造山系（アルプス造山帯）の内側の非褶曲帯、即ちイタリア西部を含む西部地中海・エーゲ海・小アジア半島・ハンガリー盆地及びインドネシア弧の内部等に見られ、これらの地域は何れも第三紀の地向斜に対する positive area であつたところで、それが後に neutral area または陥没地域となつたものである。また環日本海 alkali field は中生代から第三紀にかけての positive area が第四紀に沈降陥没し、そこにアルカリ岩が迸発したものとみられる。

それゆえ、一般にアルカリ岩系を伴う femic basalt の現出するところは、大陸域では主としてドーム状隆昇地域或いは地背斜的性状のところで、そこに後で断層地溝・盆地・内海などの形成された地域である。そして、このような地域は、今一つの顕著な alkali field を含む大洋域と同様、地殻の厚い地向斜一造山帯と反対に、地殻が比較的薄く legato eruption の起り易い環境にあることは、地殻構造の調べられているところでは実際に判明しているのである。併し、アルカリ岩系の迸発地域については或程度 地域的特異性のある事も看過できない事実であり、これは一時代の 造構的要因のみによるものでなく、更に古い要因も残っているためと考えられる。

以上甚だ無系統な論述であつたが、主として現在の地球物理学的資料に基づく地球上層部の構造から、magmatism の本源について概略的な考察をしたわけである。併してこゝで考慮すべきは、地球内部における現在の物理学的状態と過去（或いは未来）の地殻変動期におけるそれとではかなりの相異があり得ることである。即ち、地殻変動期には mantle や地殻の上層部は現在よりかなり高温状態にあると想像されるから、さきに説明した“weak zone”もその範囲が一層広く、そこにより強力な底層対流が生じ、それが地殻運動の主動力となることであろう。併し、このような場合にも、起基性岩帯の熔融が可能であるかどうかは疑問であり、筆者の考察では玄武岩漿の本源は主として変成基性岩帯に在り、たゞ造山期における斑糲質ないし花崗岩質岩漿は主として M 不連続面より上の基性ないし酸性地殻層から derive されるものと思つている。

雑 報

チリ沖地震津波調査概報

昭和 35 年 5 月 24 日、チリ沖地震津波が本邦の太平洋沿岸全域を襲い、特に三陸地方、北海道に大きな被害を与えた。チリ沖に発生した地震津波が、地球のほぼ半周を距てた太平洋岸の広範囲に亘る津波現象をみたこと、その周期が 1 時間内外の長いものであつたこと、従つてその波高分布や被害状況などが、従前の日本海溝縁辺部に由来する近地地震津波の場合とは、大きな相異があつたことなどが注目を惹いた。同時にまた、この遠地津波の伝播が本邦太平洋全域に於けるエネルギーの配分を知る上に重要な資料であるとされており、一方津波の災害防禦態勢上でも再検討の機会を与えることになつた点で、多くの課題が提示されている。

津波の来襲当日早速に、東北大学理学部内の地学関係教室では、地球物理学教室と相提携して現地調査班を組織し、三陸沿岸各地の波高値及び津波の侵入区域の観測を共通