隕石とマントル層の化学成分についての一考察

島

誠*

Chemical Composition of the Mantle and Meteorites

By

Makoto SHIMA

In the past, petrological data have provided the principal contributions towards our knowledge of the constitution of the meteorite. It is now possible to look into the differentiation of the meteorites in which a wide variety of properties are reasonably well specified by the similar way as in petrological studies. If it is possible to establish within reasonable limits the chemical composition of the meteorites, an enormous simplification will be achieved.

The systems of $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-Fe-OMgO}$ and CaO-FeO-MgO have been studied for meteorites and rocks by means of the three component variation diagrams. The main fractionation trend is continuously shown from chondritic achondrites, H-iron group chondrites, L-iron group chondrites, carbonaceous chondrites, to basaltic achondrites and also from basaltic achondrites to rock variations. From the variation curve of main chemical components against the factor $(\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$, we may see that it is in the main fractionation sequence and is transitional between the meteorite group and the rock group.

From this observation, we can assume that the primitive chemical composition of meteorites is rather the chondritic achondrite composition than the carbonaceous chondritic composition and the differentiation system of the appearance of the mineral phase as outlined by geologists on the rock series is consistent with the phase relationships found in the meteorite series. The chemical composition of the mantle could be inferred by these hypotheses.

ま え が き

隕石には、大別すると鉄質隕石、石質隕石とに分けられ、石質隕石は、これを通常第1表の如く三つの種類に分けられる。分類法としては、いろいろの方法が考えられているが大同小異で、第1表の分類が妥当と思われる。この表には、合わせて、現在地表に到達した隕石の総重量を、Keilの計算によつたものを示してある。

マントル層の化学組成の推定の方法として、地表に見られる岩石の内、eclogite, peridotite 等で代表して考える方法と、隕石の一種をもつて代表とする考え方があつた。具体的には、マントル層の試料がないので、証拠はないが、今までの研究では、大体のところ、正しいとされている。

* 理化学研究所地球化学研究室

この観点に立つて、マントル層の化学組成（特に主要成分について）を、隕石の分化作用に伴う変化を併用して考察する。

隕石の分化作用

隕石の分化作用については、現在、炭酸質の隕石（carbonaceous chondrite）に近い成分を有するものを、初生物質とし、これから第2表の如く、分化して、各種の隕石が出来たと考えられている。隕石の初

第1表 1492年から1961年までに落下した隕石とその分類

	落下数	重量(kg)
Achondrite	55	1,625
Carbonaceous chondrite	17	104
Chondrite	592	10,881
Siderolithes	9	575
Lithosidrites	3	46
Iron-meteorite	39	24,000

第 2 表

生物質についてもいろいろと疑問も多い現状であるが、一応この考え方が妥当とされている。隕石における分化作用があるという前提を認めると、石質隕石の化学組成は、非常に地表の岩石のそれと近似しているので、地表の岩石の分化作用の多くの研究方法が、隕石にも応用できるかも知れない。もちろん、隕石の分化作用の行なわれる環境と、地表のそれとの差異については、差があることを認めなくてはならないが、一応、珪酸塩を主体とする magma を初生物質として、岩石の分化が行なわれたとする考え方を応用してみた。

第1図には、通常火成岩の分化を考える時によく利用される $(K_2O+Na_2O)-MgO-FeO$ の三角座標における隕石の位置を示したものである。ここでのべる隕石の FeO は、いわゆる鉄相を除いたもので、Urey-Craig の表によつたもの、また、岩石圏の FeO は $(FeO+Fe_2O_3)$ をもつて表示してある。久野教授によれば、この図から、火成岩のもととなる magma の推定およびその分化径路が、明らかに説明できるとされている。また、ハワイを中心に考えた場合の eclogite または peridotite の分布を入れると、隕石の chondrite group とよく一致する附近に分布している。第1図から解くことは、隕石は $MgO-FeO$ 辺に沿つて、 MgO の頂点から、 FeO の方に向つて連続的に分布し、火成岩の magma と考えられる部分と重複していることがわかる。この隕石の分布を Urey-Craig の試みた [H] iron group chondrite, [L] iron group chondrite, basaltic achondrite, chondritic achondrite, および carbonaceous chondrite に分けてみると、 MgO の頂点からは順序よく、chondritic achondrite, [H] iron group chondrite, [L] iron

第 1 図

group chondrite, carbonaceous chondrite, そして最後は basaltic achondrite と分布していることがわかる。ここで、隕石を carbonaceous chondrite に近い組成を初生物質として考えると、その分化径路は、一方には basaltic achondrite の方向へ、他の方向としては、MgO-FeO 辺に沿って、[L], [H] groups chondrite を経て、chondritic achondrite の方向へと、二つに分けられると定性的に思われる。もちろん、岩石の分化径路の方向が、Skaergaard の場合の方向（図中の 1, 2, 3... の順）が隕石にもあてはまるとは、確証がないけれども、前提条件として、岩石に似た分化径路の方向をとるとすると、MgO 頂点附近の chondritic achondrite から、順次に [H], [L] 両 group の chondrite を経て、carbonaceous chondrite, そして basaltic achondrite の方向へと行き、火成岩の分化径路に至ると考える方が、妥当であろう。Eclogite, peridotite の組成からの岩石の分化径路と、合わせて考えても、丁度、[H] iron group chondrite から出発して以後 [L] iron group を経る方向と、非常によく一致している。この観点からも、おそらく、隕石の分化作用があるとするならば、岩石のそれと同じような径路または傾向を通つたらしいという前提条件は、定性的には認めねばなるまい。ただ、初生の物質として、揮発性成分の問題が残るが、carbonaceous chondrite を出発点とし、FeO-MgO 辺に沿って、MgO 頂点に向い、しかる後、方向を変更して、basaltic achondrite の方向へ向つたと考えるよりは、頂点 MgO 附近から、順次 FeO 頂点に向つて、Skaergaard の No. 1 から No. 4 にみる如くに移動し、basaltic achondrite に移行したと考える方法も、可能性があろう。

隕石のように、空間より到来したと考えられる tektite は、この図にてみる如く、地表の火成岩の区域

第 2 図

内に分布し、外観形体の近似する obsidian は、岩石化作用の末端に位置していることなども、合わせて興味のある点である。

三角図表の各頂点を (CaO)-(MgO)-(FeO) にとってみると、第2図の如くなる。隕石の分化径路を第1図のそれと同じ傾向にあるとすると、MgO 頂点からの順次方向が近似していて、basaltic achondrite が完全に火成岩の分布と一致していることがわかる。ここで問題となるのは、Ca-rich の achondrite で、第2図よりもわかるごとく、完全に岩石圏、隕石の大部分の分布圏を離れた区域に、大略一列になつて分布していることである。この差異は非常に大きく図から感じられるが、地表の岩石の分布においても、Ca-rich の rock province の考え方（もちろん order が隕石の場合と同じとは考えていない）があるので、このような考え方を引用して考察したい。

先に考えた tektite を図に入れると、やはり岩石圏の中に位置し、一部 basaltic achondrite と重複していることがわかる。

以上のことから、化学元素組成だけについて考えると、隕石の初生物質としては、MgO 頂点に近い chondritic achondrite に似た成分をもつてすることに魅力を感じる。また現在入手できる試料について、第1表をみてもわかる通り、carbonaceous chondrite の量は、非常に少なすぎる。例えば、宇宙空間を飛来する途中における消耗の度合を考えても、量の少なすぎる点に問題があるように思われ、むしろ chondritic achondrite の量の方が、適当しているように思える。

また、岩石の研究でよく行なわれている如く、 $MgO \times 100 / (MgO + FeO + Na_2O + K_2O)$ の因子を用いて第3図を示す。主要化学成分の変化を見ると、種々の点で興味がある。隕石の場合と岩石の場合で、似ている傾向を示す元素として、MgO、 $Na_2O + K_2O$ があり、逆の傾向と思われるものに SiO_2 、FeO などがある。なお、詳細に検討すれば、いろいろのことが考えられるが、マントル層の組成は、第3図の点線をも

第 3 図

つて示す範囲が妥当なものと定性的に考えている。

む す び

以上述べて来たことから、隕石の分化径路に、岩石圏の分化径路とよく近似している点を取り上げ、一つ的前提条件を認めて、マントル層の主要化学成分の組成を推定する一つの方法を示した。

ここでは、マントル層という意味は、全く地球の核と地殻の間にはさまれた部分をいうのであつて、近年地質学または地球物理学によつて、細分化されて来ている層状のもの全体をさして考えている。もちろん、研究の進展と共に、より詳細に分類することも必要ではあろうが、現段階としては、雑なとりかたをした。

また、隕石のうち、石質隕石でも、自然鉄の含有は、除去して考えを進めたのは、一般に地球深部の組成を考えた時に、遊離した鉄相は、沈下して、核生成に寄与し、再び、珪酸塩相に帰る率が少ないと考えている理由をとり上げ、隕石中の鉄相も、状況が許せば、いずれ、鉄質隕石、または地球の核のように、集合する過程のもので、珪酸塩の部分からは遊離して行つたものと考えたからである。もちろん、遊離した鉄相については、異なつた見方もあるが、目下、遊離した鉄相を含んだ玄武岩を入手して研究中であるので、遊離鉄相と、珪酸塩相との相関関係について、報告を行なう予定である。ここでは、前述の如く考えると、マントル層と、隕石の分化径路の途上のものとの類似性が、連続的な関係として考えられる。

一方、化学成分でも、微量成分についての配慮を考えねばならず、また、化学元素のみの議論だけでなく、前報の如くその同位元素組成の問題も加味しなければならない。同時に、化学成分の組み合わせである鉱物種の変化について、地表の岩石によく知られている鉄苦土鉱物の不連続系に似た系列の研究なども行なわなければならない。不幸にして、多くの隕石の顕微鏡による観察結果は、数が少なく、徐々

にはあるが、結果の蓄積を待つて、鉱物岩石学的な研究を進めるつもりである。

隕石を中心とした考え方は、古くからいわれている所であるが、具体的な data が少ないために、現在の時点においても、非常に初歩的な段階についての議論しか出来ない。今後の発展を期する次第である。

なお、この両報を通じて、文献その他は省略した。