

地球のコンドライト・モデル

都 城 秋 穂 (東大理)

1. コンドライト・モデルのはじまり

『隕石の話』に述べたように、chondrite は太陽系の原始物質のなかの不揮発性元素組成を、ほとんどそのまま表わしているという考えが今日有力である。この考えが1950年代に有力になるにつれて、地球や月や火星は、そのような物質が集つてできたと考えられるようになった。したがつて、地球や月や火星は、それぞれ全体としては、chondrite と同じような化学組成をもっているだろうと考えられるわけである。これが、地球、月、あるいは火星についてのコンドライト・モデルである。

この考えを強めるようなデータとして、近年しだいに信頼度をましてきた太陽の元素組成の測定がある。太陽の表面の元素組成を分光学的に研究した結果によると、そのなかの不揮発性の元素の相互の比は、chondrite におけるそれと、ほとんど同じである。

ただし、Fe だけは、かなり著しい違いを示している。Fe は、太陽の表面の方がはるかに少い。

Birch (1958)は、地球全体が、chondrite 組成をもつとすると、地球の内部の放射性元素によつて発生する熱と、地球の表面から熱流によつて失われる熱とは、ほとんど同じ値になることを示した。このことも、コンドライト・モデルの一つの根拠と考えられた。

そこで、コンドライト・モデルに基いて地球や月の熱的歴史を論じたり、内部の構造状態や物質を論じたりすることが、いろいろな人によつて試みられた。

2. Chondrite の多様性の効果

かりにコンドライト・モデルを受けているとすると、まだいろいろな問題が起つてくる。たとえば、Chondrite というものは多様なものであるが、そのなかのどの種類の chondrite が地球や月の平均組成を表わすかというような問題である。

『隕石の話』に書いたように、chondrite は酸化状態がさまざまである。その上、Fe の総量がちがう二つまたはそれ以上のグループに分れている。タリウム、その他いろいろな成分についてみれば、もつといろいろなグループに分れるらしい。そのなかのどれを使つたらよいかというのは、困難なことである。

前に、carbonaceous chondrite がすべての chondrite のもとになったのだという Ringwood や Mason の意見があることを述べておいた。この意見は、今日かなり広く受けいれられている。そこで、carbonaceous chondrite 全体、あるいはそのなかでも最も多量の H_2O を含むような種類のもの (Orgueil type という) が地球や月の平均組成を表わすという考えが可能である。

あるいは、そんなことを気にしないで、chondrite 全体の平均化学組成を用いて論ずるというのも、従来よくとられてきたやり方であつた。

たとえば、月は、不揮発性元素については平均 chondrite と同じ化学組成をもつものと仮定してみる。そうすると、月の平均密度の計算値は、どれだけの量の O が化合しているか、すなわちどの程度に酸化していると考えるかによつて、変化しうるはずのものである。酸化が進んだ方が、平均密度は小さくなる。ところが、最大限まで酸化させてみても、実測された月の平均密度の値まで小さくすることはできないのである。そこで、次の二つの考え方が可能になる。

一つは、不揮発性元素については平均 chondrite と同じ化学組成をもつと仮定を持ちつづけて、月は O だけでなく、 H_2O をも含むと考える道である。こうすると 月の内部に蛇紋石のように密度の小さい鉱物が存在しうることになつて、計算した平均密度を実測値に一致させることができる。

もう一つの道は、月が不揮発性元素について平均 chondrite と同じような化学組成をもつことを否定するのである。たとえば、L グループ、あるいは太陽のように、もつと Fe の少い組成を考えることによつて、 H_2O はなくても月の平均密度の計算値を小さくすることができる。

3. コンドライト・モデルの困難

地球全体が chondrite の組成をもつていと仮定した場合には、地球のなかのいろいろな元素の総量は決るわけである。Gast (1960) は、それらの元素のおのおのについて、その何パーセントが地殻に含まれているかを計算してみた。それによると、K, Rb, Cs などのアルカリは地球全体の含有量の約 10 % が地殻に含まれている。ところが、Sr は 16 %、Ba は 49 %、U に至つては 62 % が地殻に含まれていることになる。このようにアルカリの地殻への集中度が悪くて、アルカリ土類の方がよいということは、ちよつとありそうもないことである。

一つの可能な解釈としては、太陽系形成の初期に K, Rb, Cs などは高温を受けて揮発して逃げ、その残りのアルカリに乏して物質から地球ができたのかもしれない。しかし、もし U や Th の含有量を chondrite の程度とすると、地球の表面から現在逃げつつある熱は、地球の内部で発生する熱よりも大きくなり、地球は現在冷却しつつあることになる。

Taylor (1964) は、同様の計算をもつと細かくやつてみた。そして、ほぼ同じ結論に達した。おそらく地球は、chondrite よりも K が少なく、U や Th が多い組成をもつのであろう。その二つの効果がちょうど消しあつて、内部で発生する熱はほぼ同じ量になるであろうと考えた。

地球のマントルにおける Rb/Sr 比が、chondrite におけるその比よりも小さいらしいということは、 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ の測定からも推定されている。