

論文審査の結果の要旨

氏名 齋藤靖之

本論文は6章からなり、月の熱流量計測についてアポロ計画のデータに基づいて論じている。第1章はイントロダクションであり、熱流量計測の一般的方法および地球化学的な意義について論じている。第2章では、唯一の固体惑星の熱流量計測例であるアポロ計画による熱流量計測の計測方法とデータについて詳細なレビューがされている。第3章では、従来無視されてきた月内部地温勾配の長期変化について、さまざまな解析がなされている。第4章では、地温勾配データを熱流量に焼き直すために必要な月表土の熱伝導率を推定しなおしている。第5章では、解析結果の総合的なまとめと月の化学組成推定に対する影響が吟味されている。最後の第6章では、本論文の結論がまとめられている。

本論文の主意は、月の熱史研究の中で最も重要な制約パラメーターの1つとして使われてきた月の平均熱流量の推定値が大幅に改訂されなければならないことを示したという点にある。

月熱流量観測は、アポロ15号、17号ミッションによって実施された。観測はアポロ15、17号でそれぞれ1971年7月、1972年12月から開始され、ともに1977年9月30日までの約6年間実施された。プローブを月面に設置し、月面下4点の深さで温度履歴を測定することで観測が実施された。これまでの解析は、1974年末までの観測データを用いて、月の全球平均値を 18 mW/m^2 と決定した。ところが1977年まで観測が行われているにもかかわらず、1975年以降のデータは解析されていない。本研究では、1975年以降、1976年3月以降、観測終了までのデータを発掘し、35年ぶりに再解析することに成功している。このデータはセンサ回路中の電圧を記録したものであり、電圧値から温度に変換する必要がある。その変換時の係数値はどの文献にも述べられておらず不確定であったが、本論文では、アポロの温度計回路の解析に基づいて信頼できる推定を行うことに成功している。

本論文が報告する再解析の結果は、月地表下の温度が、(1)プローブ設置直後の急激な温度下降のあと一旦極小を経て上昇に転じることと、(2)その極小の位置は深さ方向に遅れをもって伝播していること、の2つの特徴をもっていることを示している。アポロデー

タを主任研究員として解析に携わった Langseth らは、この温度ような上昇は定常に至る過程であると主張している。しかし、本研究で行った数値計算の結果は、長くて 2 ヶ月では平衡に至ることを示している。これは、今回の解析で判明した数年にわたる温度の変化と矛盾する。したがってアポロで観測された地温上昇は、地温が定常に至る過程を反映しているのではなく、何らかの要因によってセンサに熱入力の結果だと考えられる。

この結果を踏まえ、本論文では、温度上昇の原因として、観測機器自身に由来する温度計測値の経年変化の可能性について詳細に検討しているが、いずれの可能性も非常に低いという結論を得ている。この結果、観測された温度変動は、月表面下の真の温度変化を捉えている可能性が非常に高くなった。この推論を一步進めて、月面における日照時間の長期変動が温度変化を作っている可能性について検討したところ、この仮説によって観測結果を十分に説明できることが判明した。

本論文では、以上の結果を踏まえて温度勾配を推定し、 0.32 K/m という値を得ている。これはこれまで報告されていた値の $1/4$ である。さらに熱伝導率についても再解析を行ったが、これまでの結果と大きく変わるような結果は得られなかった。これらの結果から熱流量値を計算すると、 4.7 mW/m^2 となる。この結果が月の全球平均値であると仮定すると、月のバルク U 存在度は 12 ppb となる。これは地球(20 ppb)の値と比較すると、約半分の値である。従来は月の U 存在度は地球の倍であると推定され、それが月が難揮発性元素に富んでいるという主張の大きな根拠の 1 つとされてきた。今回の熱流量推定値の大幅改訂は、この主張に大幅な見直しを迫るものである。

本論文は、月の熱史を議論する上で常に重要な制約条件として使われる熱流量値を約 35 年ぶりに大幅に改訂する研究であり、惑星科学全般にとって非常に大きなインパクトを持っている。これは、論文提出者がアポロ計画以来埋もれていたデータを丹念に掘り返し、慎重な解析をした結果得られたものである。今後の月の熱史研究において非常に重要な位置を占めるものと予想される。このような意味において、本論文は非常に重要な研究であると判断される。

なお、本論文の第 2 章、第 3 章は、蓬萊喜一、滝田隼、田中智、Axel Hagermann との共同研究であるが、論文提出者が主体となってデータ解析および数値計算を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。