

論文審査の結果の要旨

氏名 ピーター カール ネス

本論文は **Compiling a new database of meteorites: Analyses on bulk elemental abundances of meteorites and their implications to future space resources** と題し、本文 8 章および付録 4 項からなっている。

今後想定される世界の人口増と資源・食料・水の枯渇問題は、人類生存の最大課題である。地球外からの資源獲得は今や真剣に議論されるようになってきた。小惑星探査が相次いで成功したことや、米国の宇宙戦略の変更を受けて、小惑星が資源になる可能性について近年極めて楽観的な主張が行われている。ところがこうした主張を良く見ると、人類にとって有用な小惑星が本当に存在するのかという本質的に重要な部分について、検討がほとんどなされていないことに気づく。本研究は、地球外からの資源獲得またはそれに向けた探査を、さらに真剣に検討する価値があるかどうかの判断のため、小惑星の一部が地表に落下したものが隕石であることに着目し、隕石の化学組成を統計的に検討したものである。

第 1 章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。研究対象である小惑星および隕石は、それぞれ異なる分野で研究された歴史があるが、その中でも特に分類学的な側面に焦点を当てて紹介している。隕石が不均質な鉱物の集合体であることを示したうえで、この源である小惑星については極めて制約された観測しか行えないことを指摘し、ここに隕石のいわゆる全岩（バルク）組成を知る重要性があるとし、これをコンパイルするという本研究の位置づけも示されている。第 2 章では、本研究の中核となる元素組成データベースを構築する手法について述べられている。1953 年から 2012 年までの間に信頼できる論文誌に公表された、さまざまな岩石に関する分析値を逐次収集・整理することでデータベースを構築しており、隕石については、1,187 個の隕石に関する 121 編の公表論文から、28,961 個の分析データを収集している。同様に地球の岩石については、2,848 個の岩石について 66 編の論文から 72,373 個の分析データを、月岩石については 262 個の岩石と 6 個の隕石についての 22 編の論文から 4,719 個の分析データを収集している。特に隕石については、同じ隕石が異なる時間・場所において繰り返し計測されているため、こうした値を単純平均したのでは外れ値の影響から誤差が大きくなってしまう。そこで時代的に新しい計測値が最も信頼に足るという仮定を置くなど、独自の工夫が施したことが示されている。

第 3 章では、本研究で構築した隕石データベースの信頼性と有用性について述べられている。同様の手法で構築した地球の岩石データベースとの比較や、類似の先行研究との多角的な対比を通じて検討している。

第 4 章では、第 3 章で試みた信頼性の評価で生じた疑問点について、さらに深い検討を行っている。たとえば隕石の不均質性により、組成の標準偏差はサンプル数の増大と共に増えると予想されるが、組成の平均値だけでなくヒストグラムの形状も含めた組成の分布自体は大きくは変化しないことを明らかにし、ある程度のサンプル数さえあれば、限られた質量に対する分析であっても、ある程度信頼できる組成分布を得られることを示している。

第 5 章では、隕石に含まれる各元素種の量比を地球地殻や鉱床における濃集度と比較しながら、小惑星の組成に関する検討を行っている。たとえばコンドライト型隕石に含まれる 3 割以上の元素種は、地球地殻の濃集度を上回ることや、E コンドライト隕石の一部は 10 種類の金属において地球の鉱床における濃集度を上回ることを示し、有用資源に富む可能性の高い小惑星の型について検討している。

第 6 章では小惑星が資源として利用できる可能性があるのかどうか、不確定性が多いながらも経済性をモデル化し、結局のところ往還コストが現状から大幅に削減できないと経済性が合わないことを示している。

第 7 章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。

第 8 章では、独立して論文リストを提示している。本研究は出版された論文に公表されている分析データのコンパイルに基づくものであり、これを纏まった参考文献集としての価値も高いため、一つの章立てとして提示している。またデータベースの一部は、付録として収録されている。

以上まとめると、本論文は隕石に関する膨大な量の分析データを整理し、その分析値の精度、ラボ間の誤差など、分析値自体を評価し、それらのデータベースを構築した。その結果、あるグループの隕石には、どのような組成の分散と統計誤差を超えた不均質が存在するのか、さらにはその不均質の大きい隕石の特徴を明らかにすることに成功した。この結果は、将来の資源的価値を肯定するものであるが、他方で技術的・コストの点から必ずしも肯定されるものではないことも議論されている。本論文において構築されたデータベースは、隕石学・宇宙化学研究においても高い価値をもち得、科学的にも評価できるものである。

したがって博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1 9 9 1 字