

論文審査の結果の要旨

氏名 桑原 秀治

本論文は全5章からなり、第1章は序論、第2章は金属液滴－ケイ酸塩メルト間の塩素分配実験、第3章は遷移層・下部マントル条件でのケイ酸塩鉱物－メルト間の塩素分配実験についてそれぞれ述べられている。第4章では第2、3章の結果をもとに分化時に地球の核と遷移層・下部マントルに塩素が取り込まれる可能性を議論している。第5章は全体のまとめである。

揮発性元素の存在度は大気海洋の形成過程に対する重要な制約を与えるため、多くの研究が行われてきた。それらの研究から、地球型惑星の地殻マントルを構成する多くの元素の存在度は、惑星形成期における地球深部での元素分配や宇宙空間への物質散逸などで説明可能なことが分かっている。しかし、地球の塩素の存在度は同程度の揮発性や親石性を持つ他元素（カリウムや亜鉛など）に比べて大きく枯渇しているが、その差違の原因は解明されていない。第1章では、このような背景に触れた上で、地球の核や遷移層・下部マントル鉱物が塩素の貯蔵層に成り得るのかを高圧実験を用いて検証することが研究目的であることを述べている。

第2章では、鉄もしくは硫化鉄からなる金属とコンドライト組成の酸化物の混合物に塩素源として FeCl_2 を加えた試料を出発物質とし、マルチアンビル高圧発生装置を用いて圧力 4~23 GPa, 温度 1650~2400°C の範囲で金属－ケイ酸塩メルト間の塩素分配の温度、圧力、金属組成依存性を求めている。実験からは、まず、全実験条件で塩素は親鉄性に非常に乏しいことが明らかとなった。加えて、金属相が鉄の場合には塩素の親鉄性は高温で増加し、高圧で減少する傾向を持つこと、金属相が硫化鉄である場合には塩素が金属相により多く分配される一方で、実験条件範囲では温度圧力依存性が見られないことなど、実際の地球条件への適応に必要なデータを得たことが報告されている。

第3章では、金属核分離過程でケイ酸塩メルトに分配された塩素がマグマオーシャン固化過程でどの相に分配されるかを調べるため、鉱物とメルトの間の塩素分配実験を行っている。具体的には、パイロライト組成のケイ酸塩に塩素源として FeCl_2 を加えた試料を出発物質とし、遷移層・下部マントルを構成する主要鉱物である Wadsleyite、Bridgmanite、Ferropericlase とケイ酸塩メルトとの間の塩素分配実験を行っている。その結果、いずれの鉱物についても遷移層・下部マントル条件下における鉱物－メルト間の塩素分配係数は 0.01 以下であり、塩素の鉱物への分配は限定的であることが明らかとなった。また、この結果は先行研究によって明らかにされている上部マントル条件でのケイ酸塩鉱物－メルト間の塩素分配係数とも近く、マグマオーシャンが深部から固化していく際に塩素が液相に濃集され表層に集まることを示唆している。

第4章では第2、3章の実験結果をもとに、地球表層の塩素枯渇の起源を議論している。まず、実験結果をもとに核-マントル間の塩素分配の推定を行った。金属鉄-ケイ酸塩メルト間の塩素分配について熱力学関係式を元にスケーリング式を導き、実験結果を良く説明するような温度圧力依存項の係数を重回帰分析によって求めた。このスケーリング式を用いて橄欖岩の融解曲線をもとに、マグマオーシャン底部における温度圧力条件での塩素の金属-ケイ酸塩メルト間の分配係数を求めた。その結果、いかなる核-マントル分離条件でも塩素は親鉄性に非常に乏しく、そのほとんどがマントルに分配されることが明らかとなった。硫化鉄とケイ酸塩メルト間の塩素分配については第2章で述べた通りであり、上述の考察と合わせて塩素の核への取り込みはかなり限定的であることが明らかとなった。また、第三章で述べた実験結果から、塩素の鉍物への分配もかなり限定的である。従ってマグマオーシャンに分配された塩素は表層に濃集することが強く示唆される。

さらに、塩素をはじめとしたハロゲン元素は揮発性が高く、また水を主成分とした流体相-ケイ酸塩メルト間の分配係数は10程度であるため、マグマオーシャンに分配された塩素の多くは水蒸気大気ないし海洋に分配される可能性が高い。この場合、塩素に富んだ原始大気海洋が宇宙空間に散逸すれば、同様の揮発性と親石性を持つ元素（カリウム、亜鉛など）に塩素が比べて大きく枯渇している事実を無理なく説明できることを指摘している。

第5章でまとめられているように、本論文は地球型惑星表層の塩素存在量が原始大気海洋の散逸に関する地球化学的指標となる可能性を実証的に指摘したものであり、高い重要性を持っている。また、本論文で決定した塩素分配係数は、火星や金星などの他天体の初期進化の研究にも応用可能であり、大きな発展性および波及効果を持つものである。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1997字