

論文審査の結果の要旨

氏名 井上 紗綾子

本学位論文は、主に高分解能電子顕微鏡法（high-resolution electron microscopy：以下 HREM 法と略記）を駆使して鉄成分に富む緑泥石（以下鉄緑泥石と呼ぶ）がどのような結晶構造をもち、それが化学組成や鉱物の形成環境とどう関係するかを調べたものである。第 1 章では学位論文全体の緒言が述べられ、第 2 章では緑泥石の結晶構造と化学組成などの基礎的な情報とともに、X 線回折や HREM 法を用いたこれまでの研究がレビューされている。第 3 章では日本のいくつかの地域から採集された熱水起源の鉄緑泥石を、透過電子顕微鏡 (TEM) を用いた HREM 法で観察し、その構造的特徴、特に蛇紋石層を含む複雑な積層構造を明らかにしている。第 4 章ではその中の一部の緑泥石の試料について、走査透過型電子顕微鏡 (STEM) を用いた最新の結像法である広角環状暗視野結像法 (HAADF 法) により、通常の X 線構造解析では解析できなかった鉄緑泥石構造中の八面体層における陽イオン分布の決定を試みている。第 5 章では続成起源の鉄緑泥石を HREM 法で観察してその積層構造を調べ、熱水起源の試料との違いを明らかにしている。第 6 章では再び鉄緑泥石について、これまでの結果をもとにその構造的な特徴と形成条件の関係について議論している。これらの中で、本論文の研究成果として第 3,4,5 章がその中心であるので以下詳細に説明する。

緑泥石は地球の様々な地質環境で形成される非常に一般的な層状珪酸塩鉱物であり、その積層構造や化学組成の違いは緑泥石の形成環境を反映すると考えられる。一般的にマグネシウム成分に富む緑泥石は良質な単結晶試料が得られるためにその構造の解明が進んでいるが、鉄緑泥石の方は良質な結晶が存在せず、その構造がよくわからないままとなっていた。また通常の X 線回折では構造中に緑泥石層と共存する蛇紋石層が明瞭に識別できないことも大きな問題となっていた。第 2 章ではこれらの問題を解決するため HREM 法を用い、しかもこれまでの研究にはなかった構造の Y_i と呼ばれる方向からの高分解能観察（そのためにはより高度な試料作製や TEM の操作技術が必要となる）により、鉄緑泥石の構造を明らかにした。その結果、熱水起源の鉄緑泥石は鉄成分の割合が多くなるにつれてその構造中に蛇紋石層が卓越するようになり、またその積層様式も様々な多型 (polytype) の構造要素を含んだ非常にランダムなものであることが判明した。興味深いことは、他の方法で推定されるかなり高い形成温度においてこのような積層不整が卓越していることであり、これまでの層状珪酸塩鉱物の構造に関する新しい知見を与えたものと言える。

第 3 章では、第 2 章で観察した一部の鉄緑泥石試料を STEM-HAADF 法を用いて観察し、構造中の八面体層の中の陽イオン分布の決定を試みている。一般的に緑泥石は積層不整が甚だしいために精密な X 線構造解析ができず、構造中の陽イオン分布の決定は不十分なものであった。本研究ではそのコントラストが原子番号の 2 乗に比例するという STEM-HAADF 法を用いた原子コラムの直接観察により、鉄緑泥石-蛇紋石混合層構造の中には 2 種類の陽イオン分布をもつ八面体層が識別され、かつこれにより構造中に 2 種類の蛇紋石層が共存するという非常にユニークな結果を得ている。またこのようなコントラストの解釈のために像シミュレーションも行い、結論の妥当性を検証している。

第4章では砂岩中の間隙中に形成された、いわゆる続成作用で形成された鉄緑泥石を HREM 法で観察し、熱水起源の鉄緑泥石との構造的な違いを調べた。この続成起源の鉄緑泥石ではやはり蛇紋石層の存在が常に確認されたが、その頻度は同様な鉄成分量の熱水起源の緑泥石に比べてかなり少なく、また積層構造の不整の度合いも小さなものとなっていることがわかった。

以上本学位論文は、鉄緑泥石の結晶構造をその化学組成と形成環境を考慮しながら HREM 法を用いて体系的に解明した世界でも最初の研究であるとともに、最新の電子顕微鏡の結像手法を導入し、従来の回折的な手法では不可能であった鉱物中の陽イオン分布をその直接観察によって明らかにした数少ない成功例と言うことができ、その学術的価値は非常に高いものと判断する。

また本学位論文の第2章と第3章の内容は、指導教員である小暮敏博氏との連名で国際誌に投稿しているが、いずれも論文提出者が主体となって研究を行ったものであり、その寄与が十分であると判断する。

以上の理由により、井上紗綾子氏に博士（理学）を授与できると認める。