



Title	マグネシウムシリケートハイドレートに関する鉱物学的・地球化学的研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	西木, 悠人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15383号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89614
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuto_Nishiki_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 西木 悠人

審査担当者 主査教授 佐藤 努
副査教授 廣吉直樹
副査准教授 エラクネス ヨガラジャ
副査准教授 大竹 翼

学位論文題名

マグネシウムシリケートハイドレートに関する鉱物学的・地球化学的研究
(Mineralogical and geochemical study on magnesium silicate hydrates)

マグネシウムシリケートハイドレート (M-S-H) は、地球科学や地球工学等の分野で注目されている物質であるものの、どのような条件下でどのような構造を形成するのかに関しては理解が不十分である。そこで本研究では、複数の室内実験および地質調査という様々なアプローチから、M-S-H の構造、生成条件、特性に関して明らかにした。本研究は、以下に示す全 9 章で構成されている。

第 1 章は序論であり、地球科学分野や地球工学分野にとっての M-S-H の重要性を示した。またセメント工学で理解が進んでいる C-S-H の基本特性にも注目しながら、これまで M-S-H が学術的にどのような位置づけで研究されてきたのかを記述し、本研究としての目的を示した。

第 2 章では M-S-H に関する先行研究をレビューした。これまで、M-S-H の基本特性を明らかにするために実施されてきた実験を説明するとともに、地球表層環境で実際に生成された M-S-H の観察事例も示した。

第 3 章では、閉鎖系において酸化マグネシウムとシリカフェームと超純水を 1 年間反応させて M-S-H を合成し、様々な分析手法を駆使してその構造に関するキャラクターゼーションを行った。その結果、Mg/Si 比や温度に応じて異なるタイプの層状ケイ酸塩構造が形成されることが示された。

第 4 章では、塩化マグネシウム水溶液とオルトケイ酸テトラエチル水溶液を混合したのちに水酸化ナトリウム水溶液を添加することで pH を 7, 10, 12 に固定し、M-S-H, 非晶質シリカ, 水酸化マグネシウムの沈殿条件および形成される M-S-H の構造に関して調査した。その結果、M-S-H の生成条件を明らかにすることができた。

第 5 章においては、フロースルー実験を実施し、地下水のように水の流入・流出がある系(開放系)において M-S-H の生成を確認するとともに、速度論的観点から出発物質の溶解や M-S-H の生成を評価した。アウトプット溶液の Si 濃度から生成速度を評価すると、濃度の高い実験の方が低い条件での実験よりも M-S-H の生成速度が大きくなることが確かめられた。このことから、溶存 Si が存在することで M-S-H が生成され、溶液中から Mg²⁺ イオンが消費されていくため、酸化マグネシウムの溶解が促進されることが示唆された。

第 6 章では M-S-H に関する地質調査を行った。北海道神居古潭帯の赤岩青巖峡付近の蛇紋岩体にて湧水 (pH 10 以上) とそれに伴う沈殿物が確認された。これは、pH の高い湧水と溶存 Si を多く含む地表水が混合して、M-S-H の形成が誘発されたものと考察した。

地球表層の岩石 (特に超苦鉄質岩や苦鉄質岩) と水の相互作用においては、Mg イオンは Fe(II) イ

オンと共存する場合も十分に想定される。そのため第7章では、Fe(II)-Si-水系や Mg-Fe(II)-Si-水系において合成実験を実施し、沈殿物のキャラクタリゼーションを行った。その結果、生成物の粒子内で Mg, Fe, Si は均質に分布しており、Mg と Fe(II) が固溶したシリケートハイドレートが確認された。

第8章では地球工学的フィールドを想定した M-S-H に関する地球化学反応モデリングを行った。地熱発電所の熱水配管内での M-S-H スケールの生成を推測し、その阻害のための適切な pH 条件を提案した。また、かんらん石の風化を利用した大気中の二酸化炭素の鉱物化に関するモデリングも行った。近年注目されている岩石風化促進では、かんらん石が雨水などと反応して、含水炭酸マグネシウム鉱物が形成されることが期待されているが、かんらん石より溶脱される Mg イオンは含水炭酸マグネシウムではなく、主として M-S-H の生成に使われることが想定され、M-S-H の生成を考慮することで二酸化炭素固定量の試算に大きな影響を与えることを示した。

第9章は本研究全体の結論であり、それぞれの章で得られた知見をまとめるとともに、本研究が地球科学分野や地球工学分野において示唆することを述べた。

これを要するに、著者は、地球科学や地球工学等の分野で注目されている M-S-H の構造、生成条件、特性を明らかにし、地球表層環境で普遍的に M-S-H が生成する卑近な物質であることを示した。これらの研究成果は、地下利用を進める資源工学や粘土鉱物学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。