

Title	Water in minerals and rocks : States, connectivity, diffusivity, and role during rock deformation
Author(s)	福田, 惇一
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/57992
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	福田 惇一
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 23597 号
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学位論文名	Water in minerals and rocks : States, connectivity, diffusivity, and role during rock deformation (岩石・鉱物中の水：状態、連結性、拡散性、および岩石変形時における役割)
論文審査委員	(主査) 教授 近藤 忠 (副査) 教授 土山 明 教授 中嶋 悟 准教授 廣野 哲朗 准教授 篠田 圭司 (大阪市立大学) 准教授 奥平 敬元 (大阪市立大学)

論文内容の要旨

水は地球内部に様々な形状で普遍的に分布している。岩石中においてそれは、分子状の H_2O 、すなわち流体として粒界や鉱物三重点に、そして流体包有物として含まれている。鉱物単結晶中においては、不純物として鉱物結晶構造中に-OHとして保持されている(例えば Aines and Rossman, 1984)。岩石・鉱物中におけるこのような水の輸送(拡散)機構は、地球全体において、レオロジーと総括される。岩石・鉱物の破壊、流動、変形に寄与する(Dysthe and Wogelis, 2006 にまとめ)。このような背景の下、本博士論文では、このような水の種類の状態や岩石中における連結性、拡散性について評価し、さらに岩石変形時における役割について検討した。

水の状態および、その量は赤外分光法により評価することができる。赤外分光法では、岩石・鉱物試料に赤外線を照射し、試料が内包する分子の赤外(線吸収振動)スペクトルから、これらの情報を読み取ることができる。実際の地球内部は高温・高圧下の世界である。そこで、本博士論文では、温度変化に敏感な岩石中の分子状 H_2O の状態について、高温その場顕微赤外分光法を用いて調査した。試料として、分子状 H_2O を粒界に多く保持する微結晶石英集合体である玉随を用いた。温度を室温から 400°C まで上昇させながら、随時高温その場赤外スペクトルを測定し、玉随中に保持された分子状 H_2O の状態変化を考察した。そして粒界に保持されている分子状 H_2O は高温下で、超臨界状態のように振る舞う事を見出した。このような高温下では粒界中の分子状 H_2O は膨張し、岩石中での連結性が変わりうる。そこで、電気インピーダンス測定を行い、高温下での水の連結性を電気伝導度の値から考察した。すると、このような分子状 H_2O は温度上昇と共に、玉随粒界に膨張していくが、試料に保持されている分子状 H_2O は、高温下でも完全に粒界を満たしてはならず、部分的に孤立して存在していることが明らかとなった。また、水の量と電気伝導度の値の関係性についても明らかにした。このように、用いた玉随試料中に保持された水の状態と連結性を評価した後、脱水に伴う拡散機構について報告した。500°Cまでの高温で試料を保持し、分子状 H_2O の脱水に伴う赤外スペクトル強度の減少を解析し、拡散性を見積もった。実験前後の高解像度捜査型電子顕微鏡像を比べることにより、水が試料粒界を伝って脱水していく際に、石英粒

子が溶解-沈殿した痕跡も確認された。

以上のように、岩石内部における水の高温下での状態、連結性、拡散性について評価したのち、次に天然の花崗岩質変形岩を用い、変形機構と関連する水の分布、輸送機構について考察した。特に、花崗岩質岩帯において、水の授受と、次いで起こる反応がよく観察されるカリ長石に注目した。まず、天然の変形岩を扱う上で、EBSD測定により、その変形機構を明らかにした。その結果、変形時に剛体として振る舞った比較的大きなカリ長石(数百 μm 以上の)は結晶内部の歪みの解消として、転位クリープによって再結晶化し、 $30\mu\text{m}$ 以下の細粒なカリ長石粒子が岩石基質を構成するようになると、変形機構が拡散クリープに変化することが明らかとなった。このように、粒径に応じた変形機構の変化は、地殻全体の強度分布を変化させると考えられる。変形機構を明らかにした後、カリ長石周囲の水の分布を、赤外分光法面分析を用いて評価した。すると、数百 μm 以上のカリ長石内部の水分布は付近質でその量は $200 - 1500 \text{ ppm H}_2\text{O}$ と大きな変化があった。一方、上述のような変形機構で細流化した細粒カリ長石内部の水は $200 - 250 \text{ ppm H}_2\text{O}$ で、数百 μm 以上のカリ長石中の水の量と比較して少なく、大きな変化がないことが分かる。以上のことから、元々、付近質に存在していた数百 μm 以上のカリ長石中の水は細粒化の際に、放出されたことが示唆される。このように、変形時に吐き出された水はさらなる岩石の変形および、各鉱物間の反応にも寄与する事が考えられ、地殻の強度分布を再構築する上で、重要な要素になることが示唆される。

論文審査の結果の要旨

水は地球内部に様々な形態で普遍的に分布している。岩石中には分子状の H_2O 、すなわち流体として粒界や鉱物三重重点に、そして流体包有物として含まれる。鉱物単結晶中においては、不純物として結晶構造中に $-\text{OH}$ として保持されている(例えば Aines and Rossman, 1984)。この岩石・鉱物中における水の輸送(拡散)機構は、地球全体において、岩石・鉱物の破壊・流動・変形(レオロジー)に寄与する(例えば Dysthe and Wogelius, 2006)。以上より、本博士論文では水の種類の状態や岩石中における連結性、拡散性について評価し、更に岩石変形時の役割について検討した。岩石・鉱物試料に赤外線を照射し、試料が内包する分子の赤外(線吸収振動)スペクトルから、水の状態と量により評価を行う事ができる(赤外分光法)が、実際の地球内部は高温・高圧下の世界である。本博士論文では、温度変化に敏感な岩石中の分子状 H_2O の状態について、高温その場顕微赤外分光法を用いて調査した。試料として、分子状 H_2O を粒界に多く保持する微結晶石英集合体である玉随を用いた。温度を室温から 400°C まで上昇させながら、高温その場赤外スペクトルを測定し、玉随中に保持された分子状 H_2O の状態変化を考察した。そして粒界に保持されている分子状 H_2O は高温下で、超臨界状態のように振る舞う事を見出した。このような高温下では粒界中の分子状 H_2O は膨張し、岩石中での連結性が変わりうる。そこで、電気インピーダンス測定を行い、高温下での水の連結性を電気伝導度の値から考察した。すると、分子状 H_2O は温度上昇と共に玉随粒界に膨張していくが、試料に保持されている分子状 H_2O は、高温下でも完全に粒界を満たさず、部分的に孤立して存在することが明らかとなった。また、水の量と電気伝導度の値の関係性についても明らかにした。このように、用いた玉随試料中に保持された水の状態と連結性を評価した後、脱水に伴う拡散機構について報告した。 500°C までの高温で試料を保持し、分子状 H_2O の脱水に伴う赤外スペクトル強度の減少を解析し、拡散を見積もった。実験前後の SEM 像を比べることにより、水が試料粒界から脱水する際に石英粒子が溶解-沈殿した痕跡も確認された。以上のように、岩石内部における水の高温下での状態、連結性、拡散性を評価したのち、天然の花崗岩質変形岩を用い、変形機構と関連する水の分布、輸送機構を考察した。特に花崗岩質岩帯において、水の授受と、次に起こる反応がよく観察されるカリ長石に注目した。まず天然の変形岩を扱う上で、EBSD測定により変形機構を明らかにした。その結果、変形時に剛体として振る舞った比較的大きなカリ長石(数百 μm 以上)は結晶内部の歪みの解消として、転位クリープによって再結晶化し、 $30\mu\text{m}$ 以下の細粒なカリ長石粒子が岩石基質を構成するようになると、変形機構が拡散クリープに変化することが明らかとなった。この粒径に応じた変形機構の変化は、地殻全体の強度分布を変化させると考えられる。続いてカリ長石周囲の水の分布を、赤外分光法面分析を用いて評価した。すると、数百 μm 以上のカリ長石内部の水分布は不均質で $200 - 1500 \text{ ppm H}_2\text{O}$ と大きな変化があった。一方、上述の変形機構で細流化した細粒カリ長石内部の水は $200 - 250 \text{ ppm H}_2\text{O}$ で、数百 μm 以上のカリ長石中の水の量と比較して少なく、大きな変化がないことが分かる。以上より、本来は不均質に存在して

いた数百 μm 以上のカリ長石粒中の水は細粒化の際に移動したことが示唆される。この水はさらなる岩石の変形及び、鉱物間の反応にも寄与する事が考えられ、地殻強度分布を再構築する上で、重要な要素になることが示唆された。以上により、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。