



Title	中国龍遊洞窟における砂岩の風化特性に関する研究
Author(s)	李, 黎
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46919
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	李 黎
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 20365 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 18 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科地球総合工学専攻
学 位 論 文 名	中国龍遊洞窟における砂岩の風化特性に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 谷本 親伯 (副査) 教 授 今井 克彦 教 授 常田 賢一 教 授 松井 繁之 教 授 奈良 敬

論 文 内 容 の 要 旨

ユネスコは 1972 年、「世界遺産条約」を採択し、世界の 340 カ所の文化・自然遺産を指定し、その保護を呼びかけている。その内中国では、28 ケ所の遺跡が国連ユネスコの世界遺産に認定されている。これまで、中国では遺跡を観光資源としてきたものの、保存するに対する認識や保存技術の不足により、多くの遺跡が危機に瀕していた。中国乾燥地帯における石造遺跡の研究を進めた研究は多いが、湿潤地帯に存在する石造遺跡は少ないため、研究も稀である。しかし、湿潤地帯における石造遺跡の風化は水の影響が大きく、これに対する考察が不可欠である。本論文は、中国湿潤地帯にある龍遊洞窟の岩石の風化特性を研究目的としている。

世界の石造遺跡は堆積性軟岩に建造されることが多く、これらの堆積岩の中でも特に砂岩に多く見られる。軟岩に分類される砂岩は風化しやすいため、長期間にわたって、安定を保つためには保存対策が必要である。湿潤地帯と乾燥地帯に存在する遺跡では同様の軟質砂岩に建造されたとしてもその風化特性は大きく異なるため、それぞれの風化メカニズムの正確な把握と劣化原因の究明が必要である。

本研究では、湿潤地帯にあって風化の激しい中国龍遊洞窟の保存処置を前提とし、湿潤地帯における堆積砂岩の石造遺跡の風化特性を究明した。特に、水中にある地下洞窟の風化過程は、水・岩石相互作用による岩石の風化と水との関係がもっとも重要とみなされ、これを取り上げた。

そこで、まず、対象地である龍遊洞窟における気象環境（温度、湿度、平均降水量）を把握し、同時に洞窟内で岩石サンプルを採取して、密度、間隙率、鉱物組成、化学組成、といった基本的な諸物性の測定・調査を行った。この結果に基づき、風化度の諸要素として鉱物そのものの性質、物質の移動と混合、化学成分の変化、懸濁水の pH の経時変化、間隙率の変化、破壊強度などを検討することで、龍遊砂岩の風化特性に関する岩石学的研究を行った。

以上の結果と地質調査に基づき、洞窟内の浸水、農業用水や雨水の水質、大気、植生などの周辺環境が洞窟に及ぼす影響を総合的に考察した。その中心は、鉱物風化と水質の関係を明らかにし、さらに龍遊砂岩の溶解特性実験を行って破壊強度の変化を検討し、風化層の砂岩透水特性から洞窟の安定性を検討することに置いた。そして、電気探査によって地下水の流れを分析し、これに加えて窟内微気象観測を分析し、岩盤の評価を行うことにより修復のための考察やその評価などを統合して修復計画の立案を立て、最適な保存対策工事を実施するための基礎的データを提示した。

論文審査の結果の要旨

文化財保存を目的とする保存科学は、新しい学問分野である。本論文は、中国浙江省龍遊県で、1992年に発見された巨大洞窟群を対象とし、洞窟を構成する白亜紀の砂岩の風化特性を解明する事により、適切な保存方法を提言しようとするものである。すなわち、地質や気象を中心とする自然環境と洞窟群に認められる損傷や破壊の実態の現地調査に始まり、採取した岩石試料の鉱物組成と地下水の分析により、水と岩石の相互作用の見地から風化過程を考察している。さらに、岩石の強度試験や弾性波及び比抵抗を利用した物理探査手法により岩石の工学的特性と洞窟群周辺の地下水理を解明し、最後に薬液塗布による洞窟の保存方法を提案している。研究分野としては、地質学・化学分析・顕微鏡観察・岩石力学・材料学・探査工学などの多岐にわたり、また巨視的及び微視的観察から応用科学である保存科学に取り組んでいる。

7度にわたる現地調査と多数の実験・分析を積み重ねた上で結論を導き、龍遊洞窟を構成する砂岩の風化過程を考察する上で、貴重な知見を提供するものである。主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 龍遊洞窟群の風化・劣化状態を調査し、湿潤地帯での砂岩（堆積岩）の風化特徴を特定している。
- (2) 岩石の鉱物組成と表面積（間隙率）の関係から、膠結形態と風化の変化を解明している。
- (3) 龍遊砂岩には、粘土鉱物、特にモンモリロナイトが多く含まれる事を確認し、その浸水崩壊度を定量的に示している。
- (4) ギブストムソン式から、砂岩の粒子径が小さい程、溶解度が高く、水との反応が活発となるが、同時に大きな結晶の成長を促進する事も示している。
- (5) 雨水が洞窟に浸透する過程で、水和・溶脱・酸化作用が生じ、砂岩の鉱物組成が変化する。これにより、風化の過程や環境の変化を考察する事が出来る。
- (6) 粘土鉱物の溶解度について、pH への依存性が特に高く、龍遊砂岩は高いアルカリ性を示す事から、溶解しやすい材料であることを解明している。
- (7) 微気象観察から、洞窟の開口部付近での岩石の風化に、結露が強い影響を及ぼしていることを明らかにしている。
- (8) 雨水の岩盤への浸透に際し、植物の有機酸も砂岩中の粘土鉱物と陽イオン交換反応を生じ、造岩鉱物である斜長石や炭酸塩を分解することが示されている。
- (9) 比抵抗を利用する電気探査により、洞窟群周辺の地下水の分布と浸透挙動を解明した。これにより、現状を改善する具体的方策を提示している。
- (10) 岩石（砂岩）の強度について、直接破壊する材料試験（一軸圧縮試験）と共に、弾性波伝播速度・エコーチップ及びシュミットハンマー試験などの非破壊試験を多数実施し、試料の採取を必要としない現地試験から、風化度を判定する手法を確立している。
- (11) 乾燥地帯での石造遺跡保存策である PS（珪酸カリウム系）塗布剤が、湿潤地帯の多孔質砂岩に対しても強度と耐水性の改善の上で有効であることを確認している。

以上のように、発見より歳月が短く、また未解明な点が多々残される龍遊石窟群を保存すべき遺跡の対象とし、多量のデータを基礎として、造岩鉱物・岩石物性・間隙率・地下水などの諸因子の関係を考察し、風化過程を解明した上で、地下水の制御と風化防止の方策を検討している。岩石の風化に対する新しい知見が多々認められ、保存科学の発展に寄与するところが大い。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。