

鎌倉市百八やぐらにおける 乾湿繰り返しと岩石風化について

朽津 信明・関 博充・陳 建平*

1. はじめに

神奈川県鎌倉市を中心とする地域には、「やぐら」と呼ばれる石造文化財がある。これらは主として凝灰岩質の山腹を削り抜いて造られた横穴で、鎌倉時代から室町時代にかけて、墳墓あるいは供養堂として使われていたと考えられている。こうしたやぐらにおいては、主として塩類の析出に伴う壁面の崩落、いわゆる塩類風化という現象や、三浦半島にみられる断層と岩体の層理面、ならびにやぐら内に存在する亀裂によって区切られたことが原因となり発生する落石、などの報告が既になされている^{1, 2)}。また、壁面における植物繁茂を引き起こす原因として、雨水の流れ込みによる水分供給があることを報告した³⁾。一方、降雨とは無関係に、壁表面に「濡れ」が観察できるやぐらが存在する。そこで本研究では、壁表面に存在する水分の挙動を調査し、岩体表面に存在する水分がやぐらの保存に影響があるのか、ある場合どのように影響するのかを検討したので、その結果について報告する。

2. 対象やぐらの状況

本研究で対象としたやぐらは、鎌倉市にあるやぐら群の中で、最も優れたものを含む百八やぐら群である(図1)。百八やぐら群は既に報告されている¹⁻³⁾通り、覚園寺の裏山にあり、標高110m付近の丘陵上に3段にわたりやぐらが築かれている(図2)。岩質はいずれも新第三系の均質な凝灰質砂岩で、やぐらごとの岩質はほとんど変わらない。百八やぐら群は百数十窟のやぐらからなるが、中には雨の日や、その直後でもないのに、壁面に湿り気のあるやぐらがある。

例えば鎌倉市史⁴⁾において「第38号穴」と番号がつけられたやぐらは、群中において下から二段目の南東側に位置している(図2)。このやぐらの大きさは、幅約2.2m、奥行約1.9m、高さ約1.3mを測る、比較的小規模なやぐらである(図3)。奥壁に5個、右壁に4個、左壁に1個、五輪塔が刻まれているが、当初は左壁も計4個あったと推測される(以下、「十三塔やぐら」と呼ぶ)。

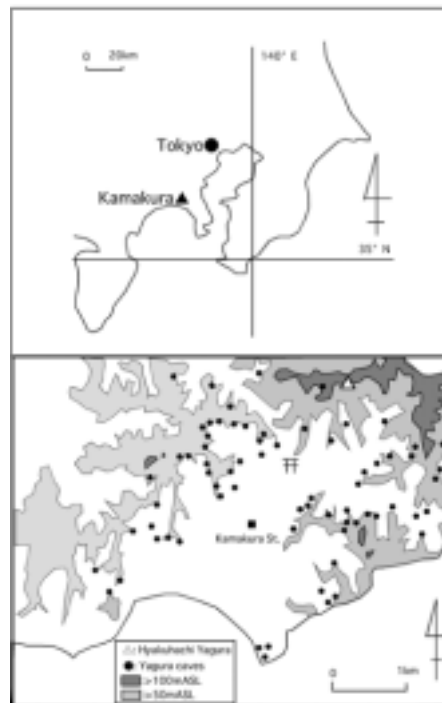


図1. 百八やぐら位置図(朽津ほか¹⁾に基づく)

*龍門石窟研究院

十三塔やぐらに認められる主要な劣化現象の分布図を図4に示す。十三塔やぐらの奥壁には、壁右上から中央下にわたる亀裂が存在し、亀裂内部や亀裂下壁面には藻類が生えている。また、五輪塔の一部、特に火輪には小規模であるが崩落による欠損がみられる。この他、左壁中央から左側にも亀裂が確認され、これらが、現在は失われている3個の五輪塔が崩落した原因となった可能性が考えられる。壁面左側と下部には藻類が繁茂している。右壁には局所的にはあるが塩類の析出が観察される。また、今にも崩落しかけている五輪塔もある。全体的に入り口付近の方が劣化している。

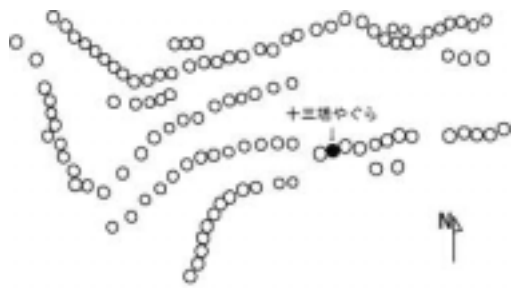


図2. 十三塔やぐらの位置図



図3. 十三塔やぐらの外観

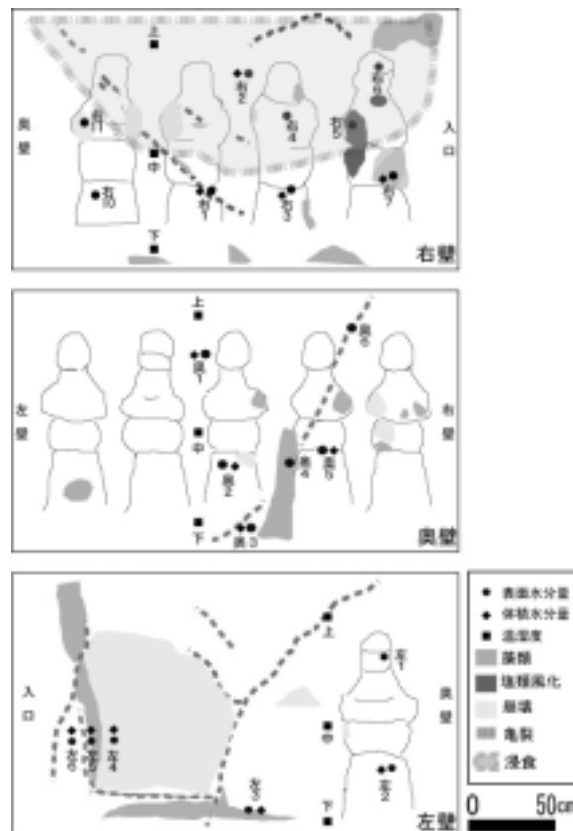


図4. 十三塔やぐらの劣化状況略図

3. 十三塔やぐらにおける観測

3-1. やぐら内外の温湿度変化

Onset社およびティアンドディ社の温湿度計^{1, 5)}を用いて、やぐら内外の温湿度を測定した。やぐら外の温度、相対湿度は2005年4月21日より、やぐら内は同年6月29日より測定した(図5)。やぐら内外の温度は日変化を繰り返しながら8月にむけて上昇し、9月以降、下降を始めた。やぐら外の相対湿度は、測定当初40%~95%で変動していたが、梅雨に入る6月頃より100%近くになり、その後横ばいとなり、7月下旬頃より、95%~100%で変動するようになった。10月以降75~100%で推移した。一方、やぐら内の相対湿度は常に100%近くで推移し、8月には、90~100%で変動した。9月以降、湿度センサーが故障し、測定不能になった。やぐら内外の温度、相対湿度から絶対湿度を求めた(図6)。いずれも夏に上昇し、秋から冬にかけて下降する傾向が見られた。

小規模なやぐらの中でも、場所によって環境状況が異なっている可能性が考えられたので、奥、右壁にそれぞれ上、中、下の3箇所に温湿度計を設置し、8月24日より測定を開始した。それにより求められた絶対湿度の変動は、地点ごとにはあまり変わらず、いずれもやぐら外の絶対湿度の変動と類似した(図6)。

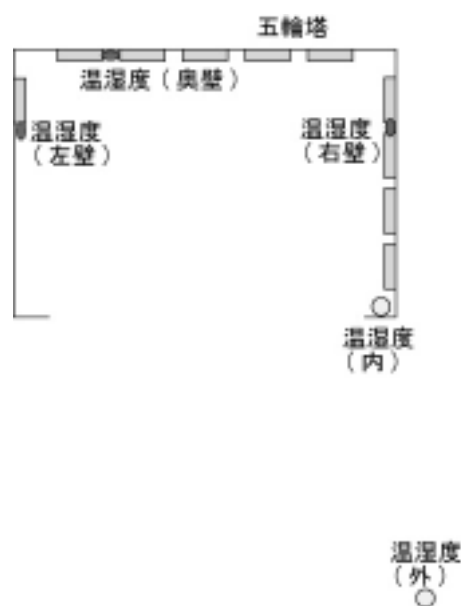


図5. 十三塔やぐらの平面略図と装置設置位置

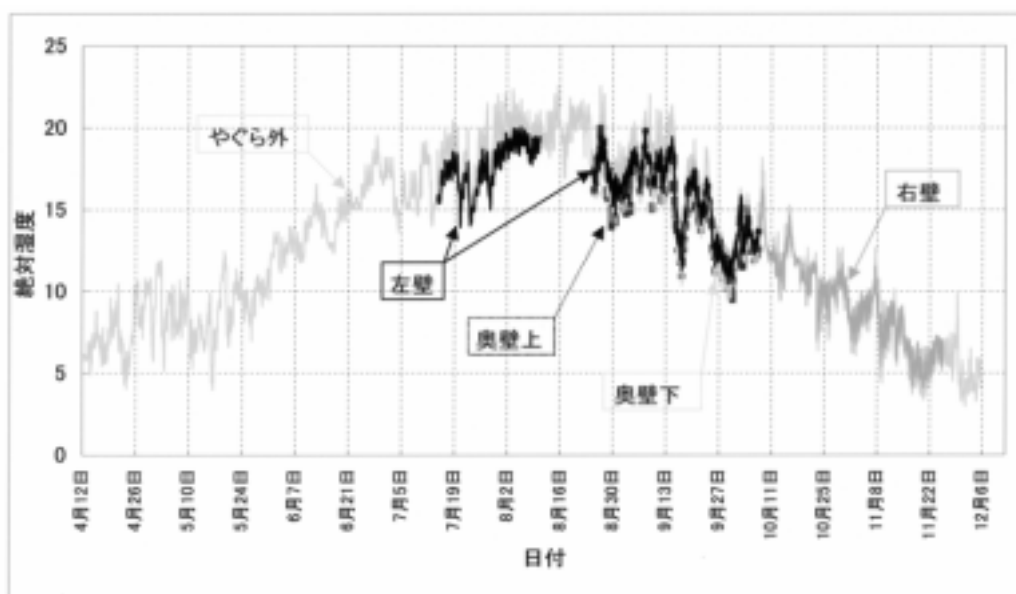


図6. 十三塔やぐら内外の絶対湿度

3-2. やぐら壁面の水分量調査

壁面表面の水分量の測定には、JTエンジニアリング社製赤外線水分計（JE-100）を用いた。水には赤外線の吸収帯があり、赤外線を照射した物質の含有水分に応じて、光が吸収され、赤外線の吸光度が変化する。この方法は既に漆喰壁表面の含水率測定にも用いられ、吸光度と含水比の相関が得られたことが報告されている⁶⁾。本研究でもこの方法を用いた。

やぐら内測定場所は奥壁、右壁・左壁の濡れが観察される場所、観察されない場所、劣化がある場所、無い場所など、合計21箇所を選んだ（図4）。また、表面水分量と岩体そのものの含水量の関係を調べるために、IMKO社のTDR水分計（サーフェスプローブ）³⁾を用いて、壁面が平坦な場所に限り、体積平均含水率（ $10 \times 7 \times 6 \text{ cm}^3$ ）を測定した。いずれの測定も7月14日より開始した。

近赤外線による奥壁、左壁、右壁の表面水分量の変動パターンを、図7に示す。梅雨入り前の測定（4月12日）から梅雨入り後の測定（6月29日）にかけて、吸光度上昇がみられたもの（A類）、変化が余りみられなかったもの（B類）、さらには6月29日ではなく、7月8日になって吸光度上昇がみられたもの（C類）、以上三つに大きく分けられた。A類は6月29日以降、場所によって程度の差はあるが、吸光度に変動が認められた。それらはさらに、梅雨明けが過ぎた、8月10日から8月22日にかけて、吸光度が上昇したもの（A-1類）、急激に下降し、その後横ばいとなったもの（A-2類）、徐々に下降したもの（A-3類）に細分された。一方、B類はその後もほぼ横ばいで推移した。C類は7月14日以降、徐々に下降した。

また、TDR水分計による体積含水率の測定値を図8に示す。各地点とも若干の変動は示すものの、特定の傾向は認められず、表面水分量のような分類は困難だった。

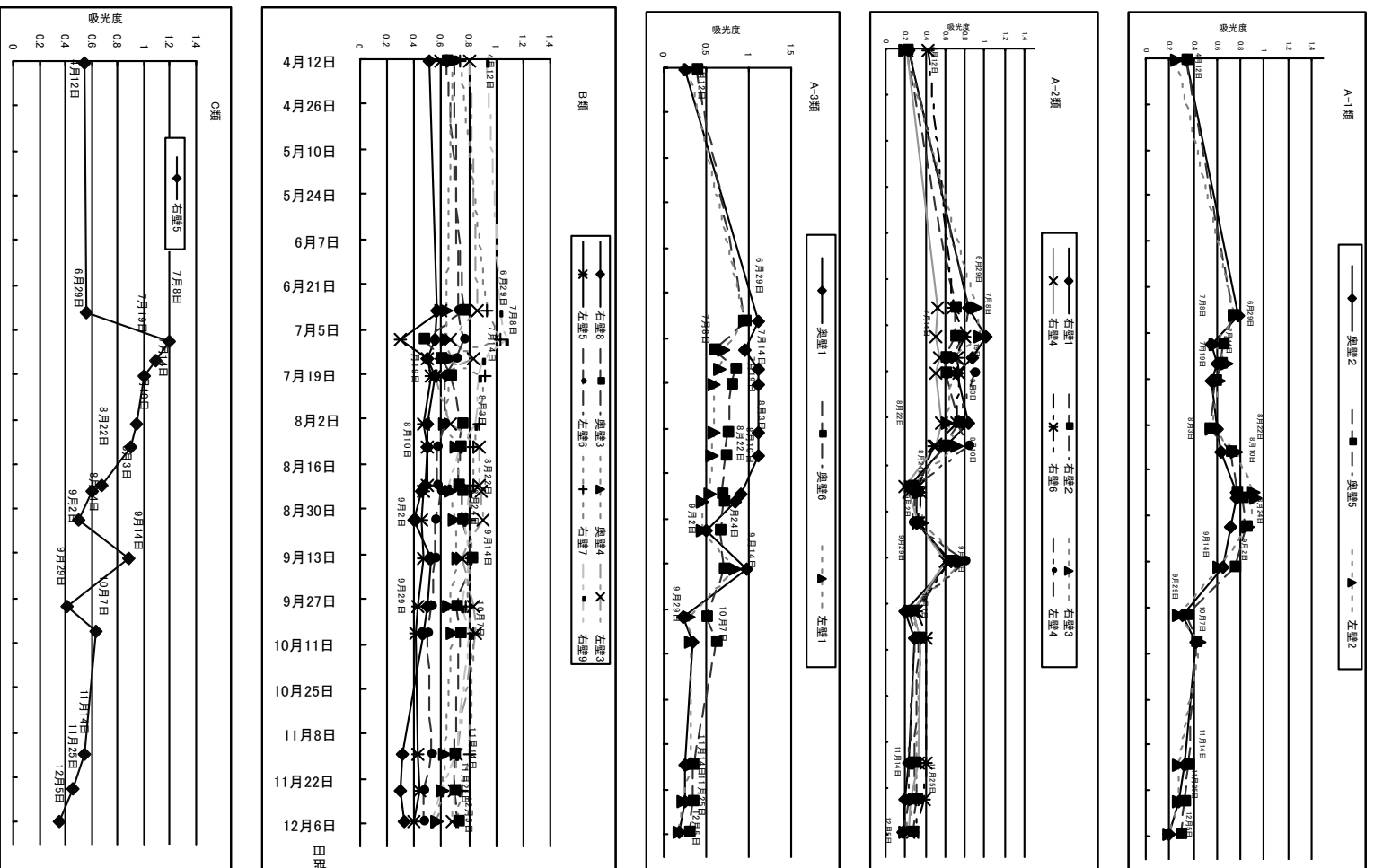


図 7. 表面水分量の挙動パターン

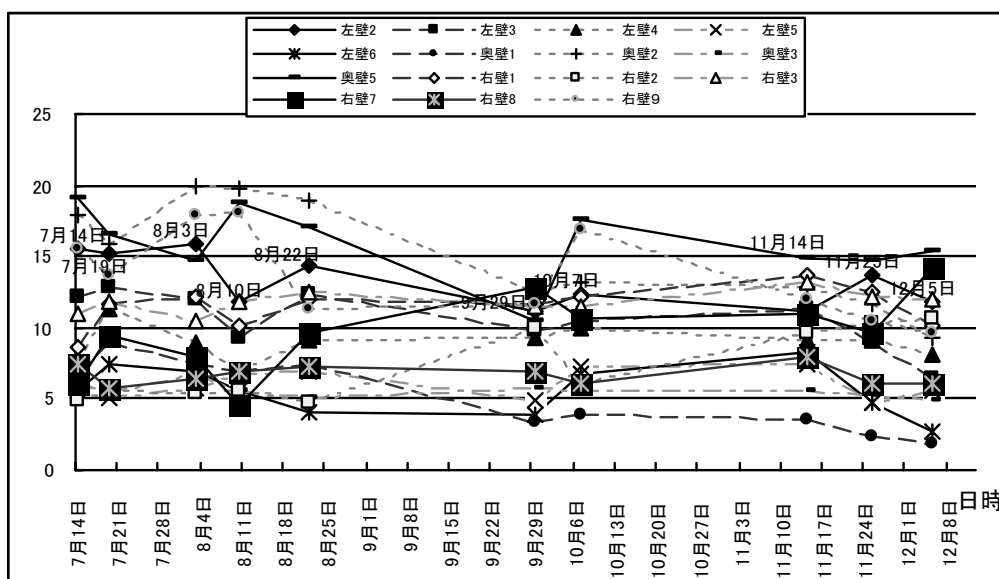


図8. 壁面体積含水率の変化

4. 考察

降雨に関係なく内部に「濡れ」が観察される十三塔やぐらにおいて観測を行った。

表面水分量でA類と分類されたものは、梅雨入り後に壁面が濡れ始め（吸光度が上昇し）、その後も湿潤と乾燥が周期的に起きていると判断される。これは、やぐら外の絶対湿度の値が4月から7月に向かって上昇し、また9月以降下降する傾向とマクロに一致する。また、梅雨が明けた8月以降、乾燥が進む場所と湿潤が続く場所があることが判った。すなわち、湿潤が続く場所（A-1類：奥壁2、5、左壁2）、急激に乾燥する場所（A-2類：右壁1、2、3、4、6、左壁6）、徐々に乾燥する場所（A-3類：奥壁1、6、左壁1）である。三種類の場所で測定した表面水分量と絶対湿度の変動パターンを比較すると、A-3類（奥壁の上部にほぼ対応）とA-2類（右壁にほぼ対応）では、それぞれの表面水分量の挙動と絶対湿度の変動パターンは整合的で（図6・7）、絶対湿度が上がると壁面が濡れ、絶対湿度が下がると壁面が乾燥することが判った。つまり、壁面における結露と蒸発とが、壁面の濡れに影響を与えている可能性が考えられる。一方、A-1類（奥壁下にほぼ対応）は、奥壁下の絶対湿度とは変動パターンが一致せず（図6・7）、温湿度とは別の要因を検討する必要がある。奥壁上部表面の水分が重力により壁をつたって下降したために乾燥が遅れたのかも知れない。なお、10月以降は三地点とも十分乾燥したために、ほぼ同じ挙動を示すのであろう。

A類の細分結果は、表面水分量を測定した場所と関係しており、A-1類はやぐらの奥壁側下部、A-2類はやぐら手前側、A-3類はやぐら奥側上部に測定地点がある（図4）。これを劣化分布図と比べると、やぐら手前側に風化が起きており、現在の保存状態はやぐら奥側よりも悪い。この観測結果から、乾燥が早い場所の方が保存状態が悪く、乾燥が遅い方が残りが良いように見える。

これに対してB類としたものでは表面水分量の変化が小さい。これは壁面での結露や蒸発にはあまり関係せずに存在している水である可能性が考えられる。B類に属する場所の殆どでは

表面に藻類が観察されるのに対し、A類にはそのような傾向はない(図4)ことから、藻類の存在というものが、表面における水分の存在パターンと何らかの形で関係している可能性も示唆される。

最後にC類では梅雨に入ってからではなく、時期が遅れて濡れが始まったように観察された。その後徐々に下降しだしたが、下降の挙動パターンはA-2類と類似している。この場所は他のA-2類に分類された測定地点と同様にやぐら手前にあることから、濡れた壁面が乾燥する場合において、表面水分量の挙動パターンはA-2類と同じであると考えられる。しかし、この部分(奥5)には塩類が認められる(図4)ことから、その存在が、(例えば潮解などの形で)表面の濡れ方に影響を与えている可能性を検討する必要があるだろう。

なお、上記の各分類と、TDRでの測定から得られた体積含水率の値との間には、一定の傾向は認められなかった(図7・8)。これは、表面に存在する水分と、岩体自身が保持している水分との間に、このやぐらではそれ程密接な関係がないことを示唆している。今回B類やC類で指摘したように、表面における藻類や塩類の存在は、むしろ表面水分量の方と何らかの関係があるように考えられるが、やぐらの景観や風化を考える際には、こうしたものの存在には十分注意する必要がある。従って、今回のような方法で計測を続けていくことが、文化財としてのやぐらを健全に保存し、公開していくことに寄与すると考えられる。

5. まとめ

鎌倉市百八やぐらの中で、降雨時期と無関係に壁面に濡れが観察される、十三塔やぐらを調査した。その結果、そうした濡れが観察される部位の壁面水分量は、やぐら内の絶対湿度が上がると上昇し、下がると下降する傾向が見られたことから、主として結露によって水分が与えられている可能性が考えられた。また、そうした水分の乾燥が早い部位で壁面が劣化している傾向が見られた。

謝辞

本研究における現地調査において、鷲峰山真言院覚園寺と鎌倉市教育委員会の玉林美男氏に便宜をお図りいただいた。記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 朽津信明・高東亮・秋山純子・森井順之：鎌倉のやぐらに見る凝灰岩質砂岩の風化とそれに与える温度・湿度の影響，地形，24，169-181(2003)
- 2) 朽津信明・李心堅・関博允：鎌倉百八やぐらの保存を目的とした亀裂計測，保存科学，44，109-116(2005)
- 3) 朽津信明・森井順之・范子龍・秋山純子：鎌倉市・百八やぐらの劣化と水環境，保存科学，43，47-54(2004)
- 4) 鎌倉市史編纂委員会：『鎌倉市史 考古編』，吉川弘文館，500-501(1959)
- 5) 朽津信明・森井順之：江戸東京博物館「銀座煉瓦街遺構」の劣化と保存，保存科学，43，55-62(2004)
- 6) 石崎武志・佐野千絵・三浦定俊：高松塚古墳石室内の温湿度及び墳丘部の水分分布調査，保存科学，43，87-94(2004)

キーワード: やぐら (yagura tombs) ; 表面水分量 (surface water content) ; 結露 (condensation) ;
赤外線吸光度 (infrared absorption) ; 風化 (weathering)

Wet and Dry Cycle and Weathering of Hyakuhachi-Yagura at Kamakura City

Nobuaki KUCHITSU, Hiromitsu SEKI and CHEN Jian-Ping*

Hyakuhachi-Yagura is a site of medieval cave tombs carved on tuffaceous rocks in Kamakura city. One cave named “Cave with Thirteen Pagodas” was surveyed among the caves of Hyakuhachi-Yagura. Surface water content of the walls inside the Cave is discussed, based on a measurement of infrared absorption. At some positions on the walls, exceptionally, water content is stably high, and green organisms are observed. At other positions, water content generally rises during the summer and lowers during the other seasons. The variation in the water content is not influenced by daily weather conditions but by the absolute humidity within the Cave. Accordingly, the water on the walls of the Cave is considered to be given mainly by condensation when the absolute humidity is high. The timing for the lowering of the water content varies somewhat according to positions within the Cave. The water content lowers earlier on the walls near the entrance and later on the walls of the inner part. The inner walls are generally preserved better than the walls near the entrance. Therefore, it is considered that the lowering pattern of water content may influence the weathering of the walls here.

*Longmen Grottoes Academy, Henan Province, China