

大阪大学工学部 学生員 ○山根 仁 大阪大学工学部 学生員 山崎 誠之
大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯 大阪大学大学院 正会員 川崎 了
ハイテック (株) 舩屋 直

1. はじめに 世界遺産である敦煌莫高窟は、建造から長い年月がたっており、自然および人為的な劣化を受けた洞窟が多数存在する。そこで、大阪大学大学院工学研究科と敦煌研究院は、2000 年 1 月に学術交流協定を結び、莫高窟壁画保護のための調査を進めている。莫高窟が受けている被害の自然的要因の一つに、雨水・地下水などの影響による塩の析出がある。今回、塩類集積と関係の深い水の移動を把握することを目的として、2000 年 10 月 9 日～22 日の期間に合同調査を実施した。その調査内容は、①地質調査、②比抵抗調査、③温湿度調査、④原位置透水試験の 4 つである。本報告では、③すなわち洞窟内における空気中の温湿度に関する調査結果について述べる。

2. 調査地点の概要 敦煌市(甘肅省)は、北京から西に 1900km 離れた、ゴビ砂漠とタクラマカン砂漠の中間に位置する(北緯 40.8°，東経 97.47°)(図-1 参照)、古代シルクロードの中継都市として有名な都市である。莫高窟は、敦煌市の中心部から南東 25 km に位置する。敦煌周辺の気候帯は、温暖乾燥気候に属し、年間平均気温 9.4℃，年間相対湿度 41%，年間平均降水量 32.9 mm である¹⁾。



図-1 敦煌の位置

莫高窟には、4 世紀中頃から 14 世紀にかけて作られた多数の洞窟があり、今なお 492 箇所の洞窟と 45,000m²の壁画、約 2 千の塑像が残されており、中国仏教美術の変遷を今に伝える貴重な資料として、世界中から注目されている。そのため、莫高窟は 1987 年にユネスコによって世界遺産に登録された。

今回、調査対象とした第 108 窟は、10 世紀頃に制作された洞窟である。この洞窟は、壁画の崩落が激しく、洞窟内の 1/4 程度の壁画がすでに崩落しており、壁画裏面の礫岩層(第四系)が観察できる。この洞窟の大きさ及び温湿度を測定した測線は、図-2 に示す通りである。

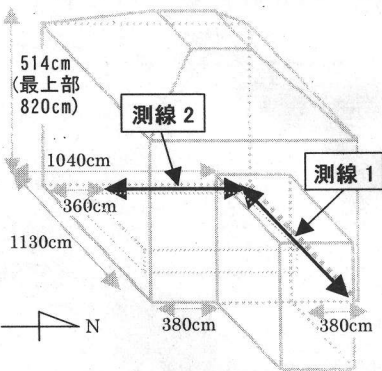


図-2 108 窟のサイズ及び測線の配置

3. 測定方法 温湿度の測定には、米国オンセットコンピューター社製の HOBO H 8 プロを使用した。このセンサーの仕様を、表-1 に示す。東西方向に設置した測線 1 には、東から順にセンサー 1 番から 12 番を、南北方向に設置した測線 2 には、北から順にセンサー 12 番から 19 番をそれぞれ 1m 間隔で設置した。測定期間は、10 月 13 日 17:30 ～10 月 16 日 11:00 であり、測定間隔は 15 秒とした。この測定期間中は、洞窟入り口の扉を閉め、安静な状態に保った。

4. 測定結果 測定より得られた結果として、測線 1 を図-3 に、測線 2 を図-4 にそれぞれ示す。なお、両図中の凡例の数字は、各センサーの番号を表す。また、外気の影響を最も受けると考えられる洞窟の入口に近いセンサー 1 番と外気との比較を図-5 に示す。

5. 考察 本来、空気中の水分量が一定であれば、温度が上昇することによって、飽和水蒸気量が大きくなり、相対的に湿度が小さくなる。しかし、図-3 より測線 1 では、センサー 1,2,4 において温度の上昇に伴っ

表-1 使用機器の仕様

内部温度センサー	
・ 計測範囲	-30℃～+50℃
・ 精度(+20℃)	±0.4℃
湿度センサー	
・ 計測範囲	0%～100%RH
・ 精度	±0.3%

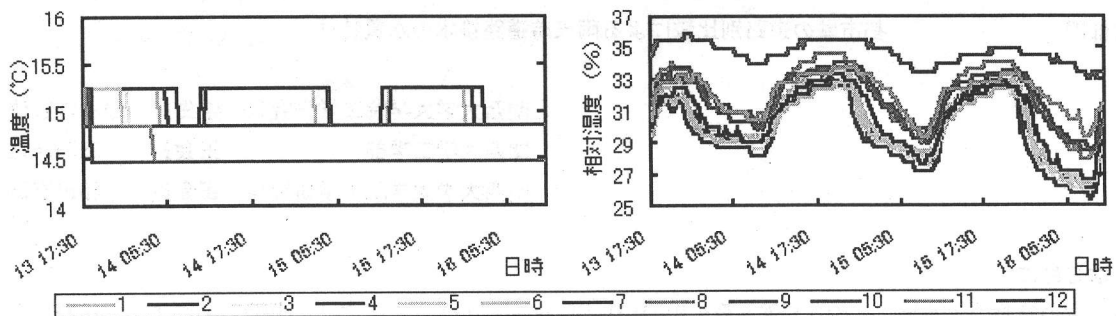


図-3 測線 1 における温度及び相対湿度の変化

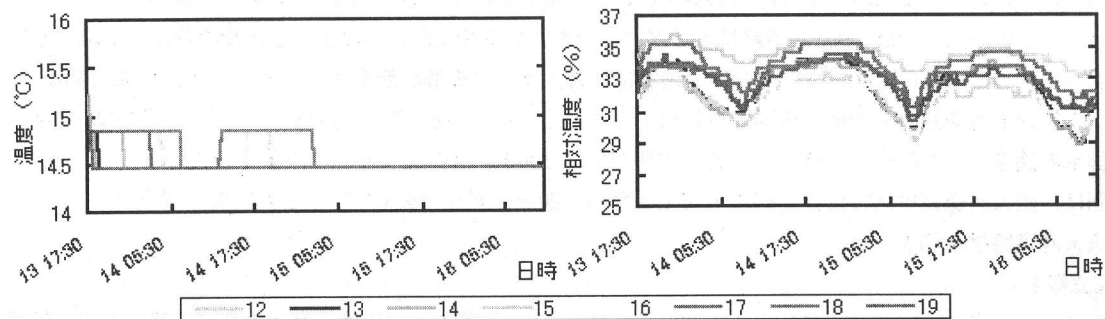


図-4 測線 2 における温度及び相対湿度の変化

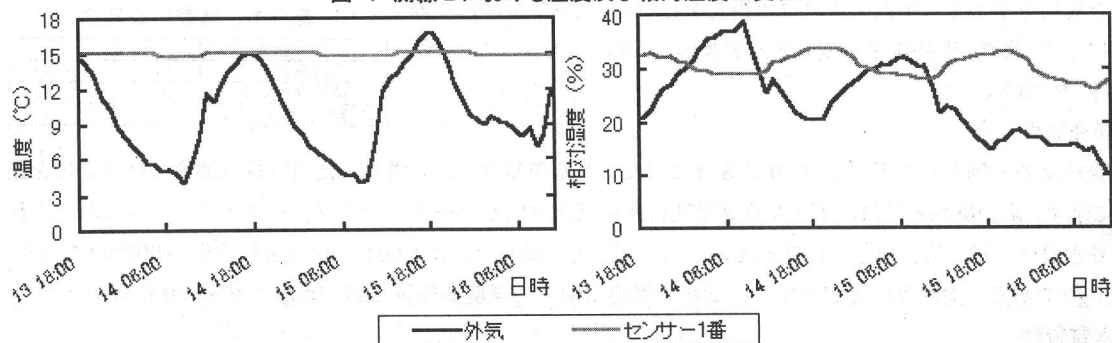


図-5 外気と洞窟内の温度及び相対湿度の変化比較

て、相対湿度が上昇している。また、図-4 より測線 2 では、全てのセンサーで、温度の変化がみられないにも関わらず相対湿度のみが上昇している。これらことから、洞窟内に何らかの方法で水分が供給されていることが推測できる。また、全ての相対湿度の変化が、日周期変化をしていることも図-3,4 より分かる。そのため、水分の供給が日周期であることも考えられる。その原因の一つと考えられる外気との比較から、温度に関しては、窟内は非常に安定しており、相対湿度にいたっては、窟内と外気では全く逆の日周期変化をしていることが分かる(図-5 参照)。これより、窟内の温湿度変化に外気の影響があるとは考えにくい。

水分の供給が外気の影響ではないとすると、洞窟内の底面や側面などからの蒸発によって供給されていると考えられる。しかし、一般的に地下水面が規則正しい日周期変化をすることはないため、他に水分の供給源となるものがあると推定される。

6. まとめ 洞窟内での温湿度測定により、外気の影響ではない相対湿度の変化がみられた。このことから、洞窟内に水分が供給されているものと推測される。今後さらなる調査によって、水分の供給源をあきらかにする必要がある。

なお、本研究を遂行するに際して、敦煌研究院の王旭東副所長、汪万福副所長にご協力頂いた。末節ながら、ここに記して感謝の意を表するしだいである。