

敦煌莫高窟における気象観測(1)

—1988年春の温度・湿度変化について—

三浦定俊・西浦忠輝・李実*・張拥軍*

1. はじめに

莫高窟には4世紀から14世紀にわたる世界的にも貴重な仏教絵画が残されている。1988年から、中国の文化財保護に関する日中国際研究協力事業として莫高窟壁画保存のために、壁画の劣化状態、地質、地形、気象環境等に関する共同研究が開始され、筆者らはそのメンバーとして研究を行なっている[†]。ここでは、1988年春の莫高窟の気象(温度・湿度)調査結果について報告する¹⁾。

莫高窟の気象測定については過去、孫儒憐による研究がある²⁾。その報告によると、1964年の窟内(161窟)の年平均相対湿度は16%(最高47%, 最低3%)であり、たいへん乾燥していた。また日較差は外気が18℃に対して、窟内は5℃と小さく^{††}変化の少ない環境にあることを示していた。孫儒憐による測定はアスマン式通風乾湿計で1回ごとに手動で測定したもので、細かい時間間隔で長期間にわたり測定することは難しかったが、我々の測定は自動測定装置を使用して、より詳しい研究ができるようになったことが特長である。

2. 莫高窟周辺の気候

この地域は河西走廊の西端、ゴビ砂漠の東端にあたり、気候は砂漠気候に属する。敦煌は北緯40度8分、東経97度47分に位置し、莫高窟付近の海拔高度は1370mである。年平均気温(累

表-1 敦煌と東京の気象の比較(累年平均値)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
敦煌 温度	-9.2	-4.3	4.9	12.5	18.5	22.8	24.9	23.6	16.9	8.6	0.1	-7.0	9.4
東京	4.7	5.4	8.4	13.9	18.4	21.5	25.2	26.7	22.9	17.3	12.3	7.4	15.3
敦煌 湿度	50	42	33	32	33	37	42	40	41	40	48	53	41
東京	53	55	58	65	68	75	77	75	75	70	64	57	66
敦煌 降水量	0.7	1.2	1.5	2.6	1.9	5.2	11.4	4.6	1.7	0.6	0.8	0.6	(合計) 32.9
東京	54	63	102	128	148	181	125	137	193	181	93	56	(合計) 1460

* 敦煌研究院保護研究所

† 敦煌研究院との共同研究は、1988年11月3日から10日の間、研究院において第一回を実施し、さらに1989年2月7日から3月28日の間、東京国立文化財研究所に共同執筆者である李・張両研究員(保護研究所)を迎え、温湿度計測実地研修をかねて、莫高窟における気象測定結果についての考察を行ない、本報告をとりまとめた。

†† この時測定した日較差が今回の測定値に比べて大きい理由は、当時窟入口に扉がなかったため、外気が自由に窟内に入り込んでいたからと考えられる。

年値)は9.4℃,年平均相対湿度は41%,年降水量はわずか32.9mmで(表-1),砂漠気候の特徴として1回の降雨で年降水量に近い雨が降り,秋から春にかけては降雨量がほとんどゼロの日が続く。東京では一年を通して毎月ある程度の雨が降るのに対して,敦煌では一年の降水量のほとんどが6月から9月にかけて集中する。また敦煌では降水量が少ないにもかかわらず,年蒸発量は2400mmにも達し³⁾,降った水はすぐに蒸発して地表面にはほとんど留まらない。

3. 測定箇所と測定方法

3-1 測定箇所

測定は,莫高窟全体では南よりの最上部(三層目)に位置する,未公開の194窟で行なった。この194窟には中唐の壁画があり,前室からさらに中へ入った奥の基壇上には「敦煌のヴィーナス」とも称される菩薩を含む7体の仏像が安置されている。窟の大きさは奥の部屋で概ね3.6m四方,高さ約3mで莫高窟としては小さな方であるが,入口右手にはさらに小さな側洞(195窟)を持っている。壁画の状態は,天井や南側の壁画で剝落が著しく,南北の壁画には塩類の析出による茶褐色の斑点状の剝落が見受けられた。現在,保護のために壁画の前に高さ2mほどのアクリル製の衝立が置かれている。

窟の入口は上下にガラリがついたアルミ製の扉で仕切られているが,比較的容易に外気が中へ出入りし,午前中には一時的に日光が東面した扉のガラリを通して窟の内部へ射し込んでおり,窟内部でもかなり外気の影響を受けていることが予想された。測定は温度と湿度を1対として,194窟の奥,前室の入口近く,入口扉上の外気と3箇所で行なった。測定箇所の高さはそれぞれ120cm,165cm,282cmである。

3-2 測定方法

温度の測定には白金測温抵抗体(Pt100Ω),相対湿度の測定には高分子薄膜型湿度計を用いた。温度と湿度

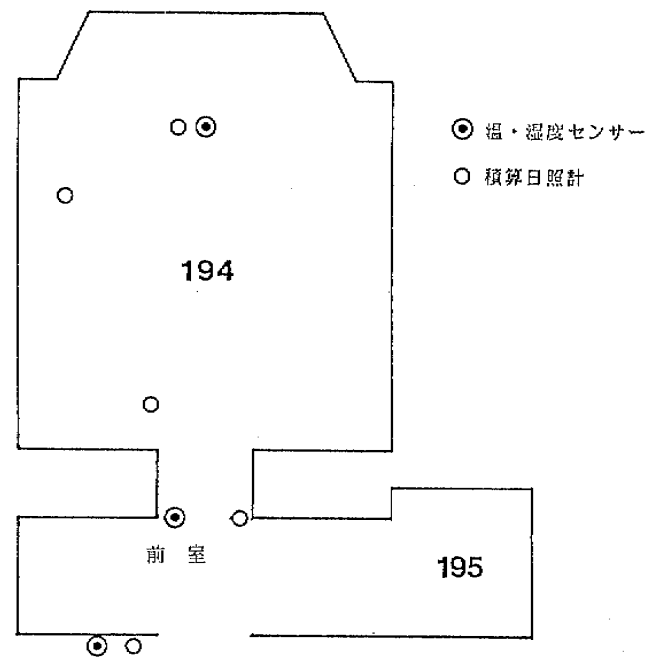


図-1 測定器配置図

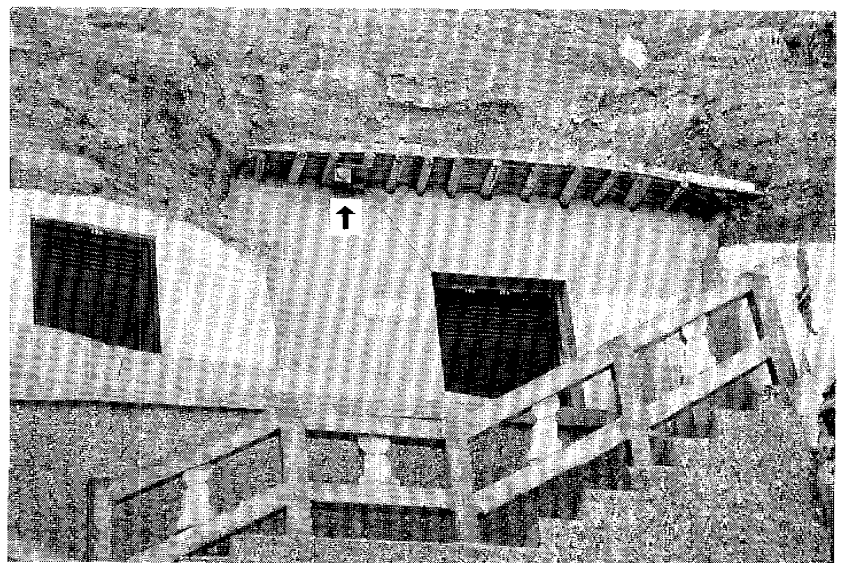
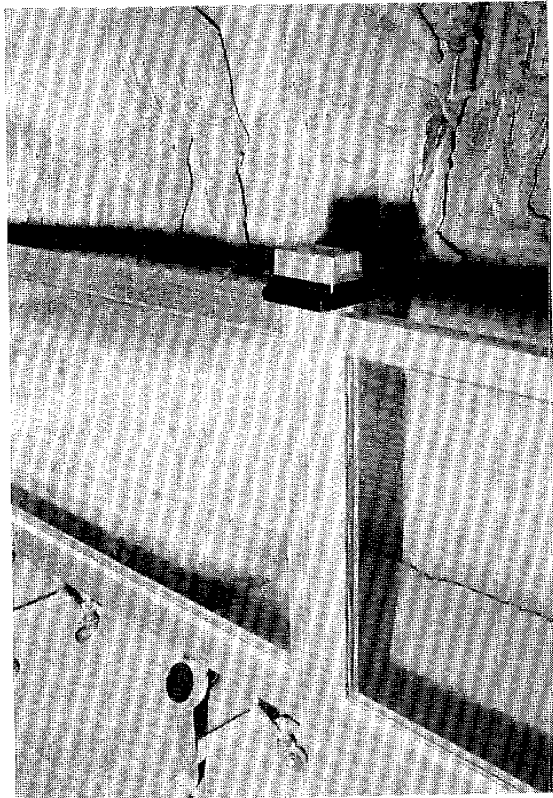


写真-1 194窟外観(入口上の庇に温湿度測定器と積算日照計)



写真一 2 194窟内に設置した温湿度測定器(上)と積算日照計(下)

18%で、これに対して窟内の平均日較差は前室で3.5℃、9%、奥で0.4℃、7%である。窟の奥ほど温度・湿度とも安定していることが明らかである。

今回得られた測定値の中で、夜間著しい湿度の上昇がみられたものがあった。特に6月3日から4日にかけての夜には、約40%の急激な外気の相対湿度上昇があり、これにつれて窟内の相対湿度も20%程上昇してい

る(図一4、5)。この時の気温と相対湿度についてクリモグラフをかくと、図一6のようになり、外気と窟内の絶対湿度が急に上昇していることがわかった。この絶対湿度上昇の原因は、夜間に降雨があったためと推定した。

6月4日は日較差が5℃程度で平均日較差の半分以下だったので、この日は曇天であったと思われ、降った雨はすぐに蒸発せず地中にしみこんで、外気の湿度が下がった後も窟内の湿度は高いまま維持されたのではないだろうか。莫高窟では6月頃に、崖から水が流れ落ちるほど

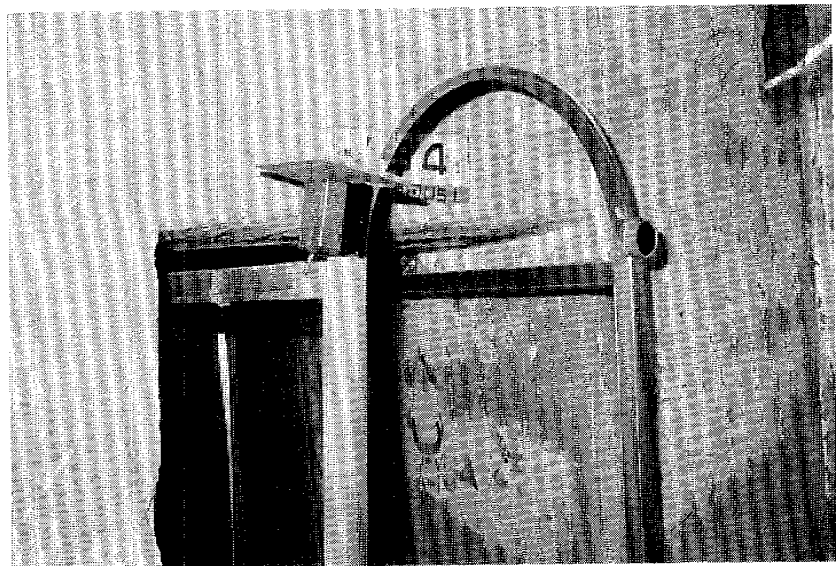
の感知部は、変換器と一緒に一つの箱(壁取り付け型温湿度測定器 HN-Q20, 千野製作所)の中に組み込まれている。

測定は1988年3月21日16時に開始した。測定間隔は3時間(測定回数8回/日)で、測定値は「フィールドメモリ」(TS-6T 改造型, 早坂理工)に記録した。測定値の読みだしは携帯型コンピュータ(HC-20, エプソン)で行ない、現場でテープに記録して持ち帰り解析した。

4. 結果と考察

測定値は1日ごとにまとめて、平均値・最高値・最低値を計算し、さらにその値から旬(10日)と月の平均を算出した。結果の一部を図2と3に示す。

測定結果をみると、窟内の気温は外気温に比べて低く、変動の幅も小さい。湿度は外気の方が逆に低く、窟内の湿度は、ほぼ外気の変化に追従して変化している。日較差を比較すると、4月の外気温の平均日較差は12.9℃、湿度は



写真一 3 前室に設置した温湿度測定器(左)と積算日照計(右)

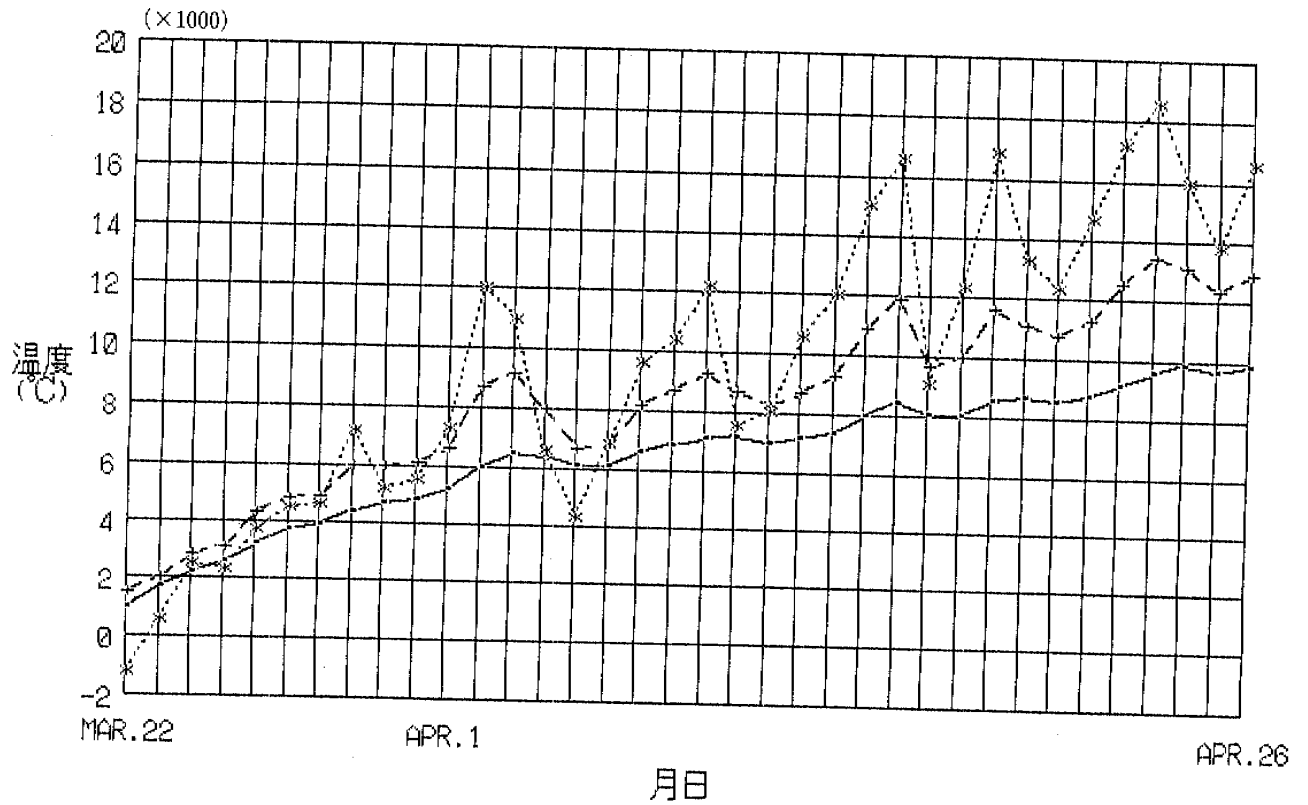


図-2 194窟内外の温度変化 (1988.3.22-4.26)
(実線：194窟内，破線：前室内，点線：外気)

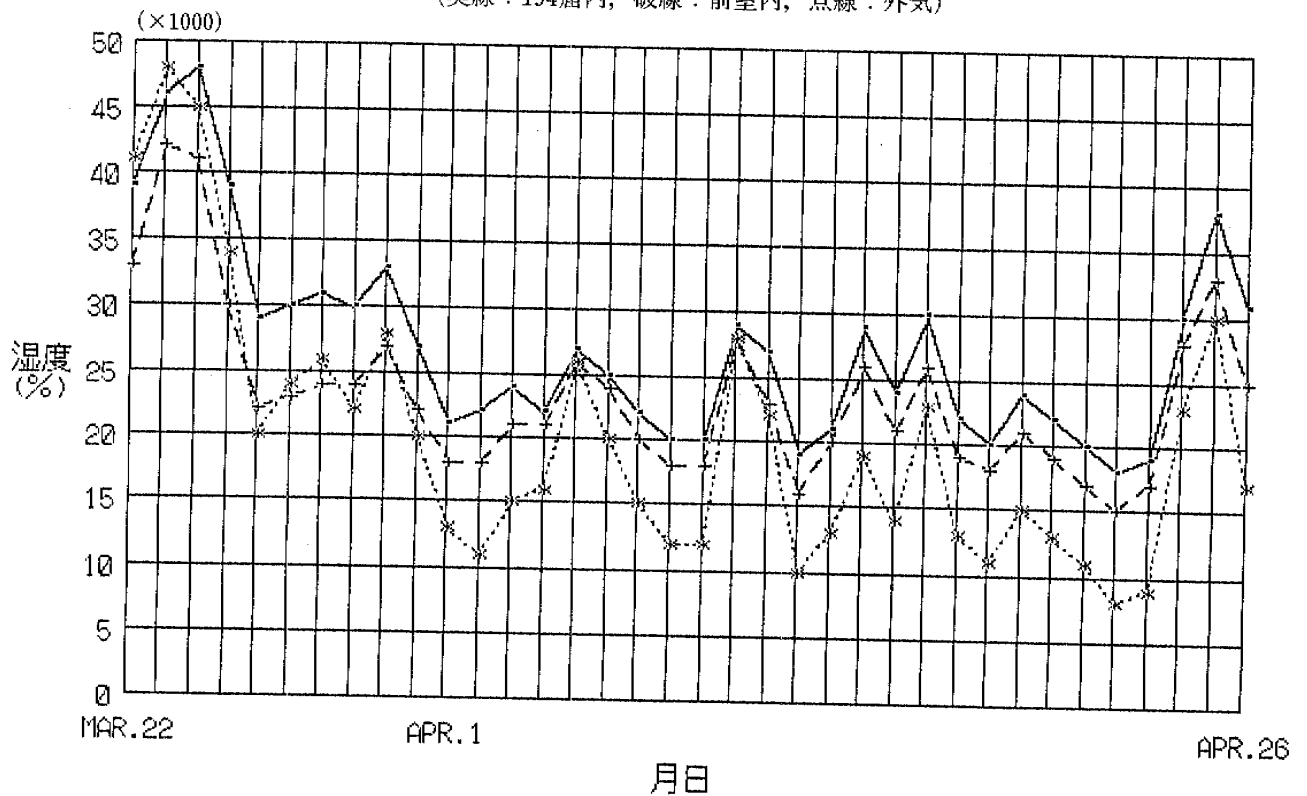
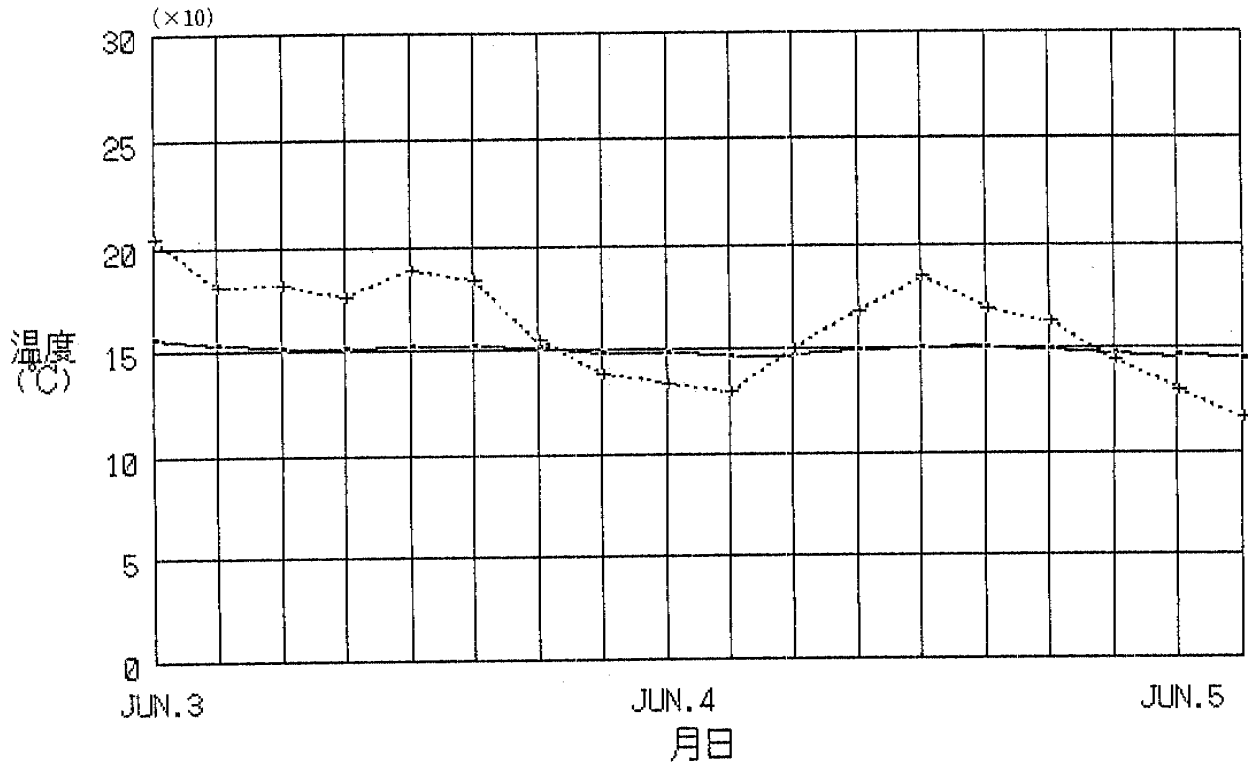


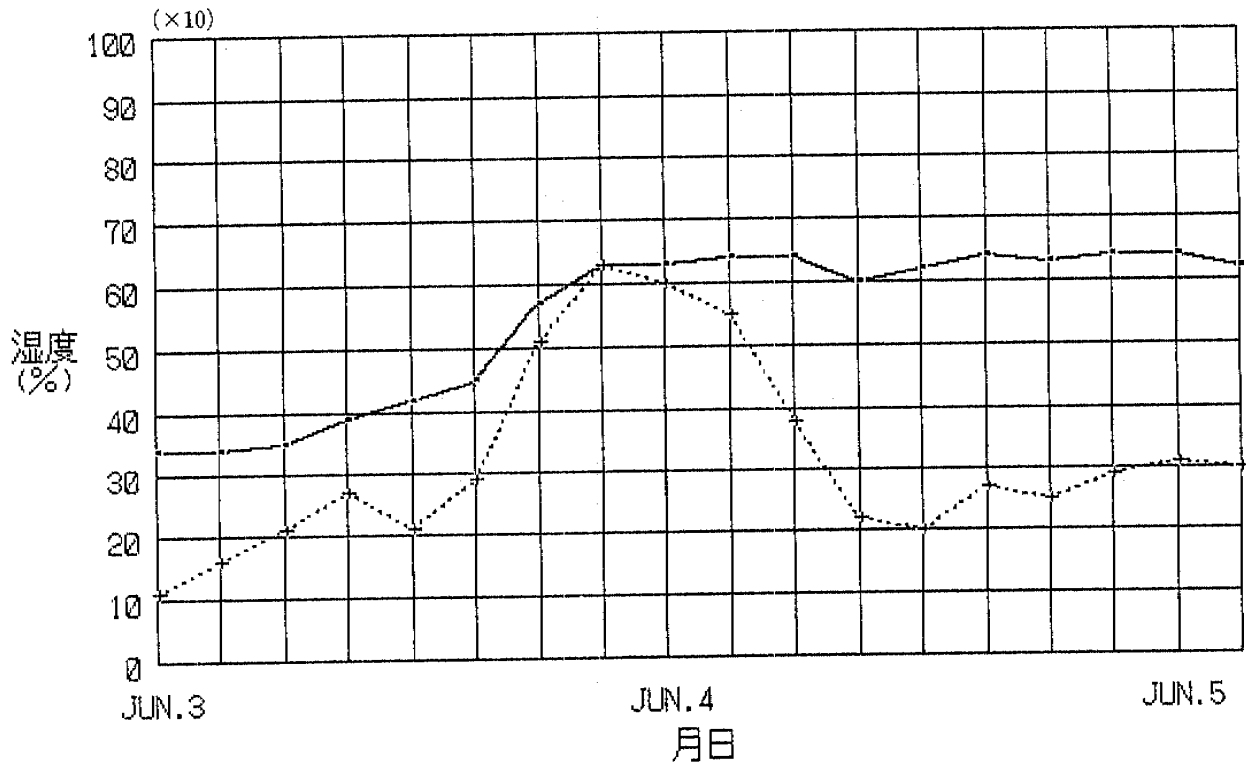
図-3 194窟内外の相対湿度変化 (1988.3.22-4.26)
(実線：194窟内，破線：前室内，点線：外気)

のまとまった雨を観察することがあるので、あるいはこの時の雨がそのような強い雨であった可能性がある。

今回測定している194窟は段丘の最上部にあり、崖の上からの雨水の影響を受け易く、雨量に



図一4 194窟内(奥)と外気の温度変化 (1988.6.3-5)
(実線：194窟内, 点線：外気)



図一5 194窟内(奥)と外気の相対湿度変化 (1988.6.3-5)
(実線：194窟内, 点線：外気)

よっては壁面が濡れた状態になることも充分予想される。その場合、塩類析出による剥落など、水によって引き起こされる壁面の損傷が心配される。南北の壁面の黄褐色の斑点状の剥落は、過去にまさしくこの様な現象が起きたことを証明するものである。

1989年10月にアメリカ、ゲッティ財団の協力により、莫高窟の崖上に温度・湿度・風向・風速・雨量・日照などを測定するための気象ステーションが設置された。今後、その計測結果もあわせて、窟内の微気象と壁画の劣化の関係を詳しく検討し、報告を続けていきたいと考えている。

5. ま と め

敦煌莫高窟の第194窟の内と外で温度・湿度を測定し、莫高窟壁画のおかれている微気象について考察した。その結果は、窟内外とも相対湿度は20%前後

でたいへん乾燥しているが、窟内の方が温度・湿度の変化が少なく安定している。特に窟内の気温の変化は1日に1℃以下でたいへん小さい。また雨が降るとその影響は窟内にまでおよぶが、雨量によっては塩類析出による剝落の発生など、壁画に大きな影響を与えることが心配された。

終わりに、本共同研究の推進に御努力頂いた多くの方々に深く御礼申し上げます。

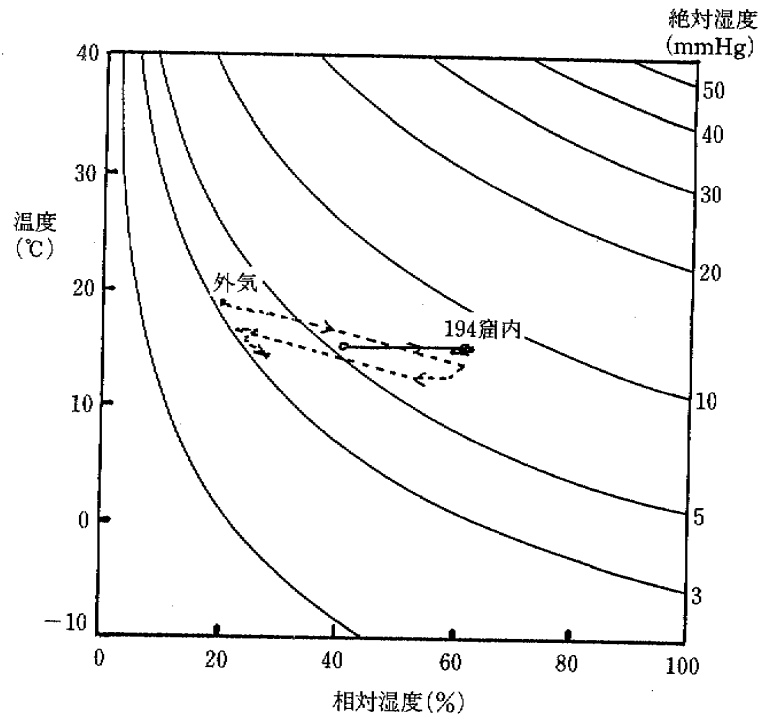


図-6 クリモグラフ (1988.6.3-5)
(実線:194窟内, 点線:外気)

参 考 文 献

- 1) 李実, 張拥軍, 三浦定俊, 西浦忠輝「敦煌莫高窟的気象観測」『敦煌研究』(1), 108-114 (1990)
- 2) 孫儒圃「莫高窟壁画保護的若干問題」『敦煌研究』(2), 169-173 (1985)
- 3) 甘肅省測繪局『甘肅省地図冊』62 (1982)

Climate in the Mogaoku Caves (1)

Sadatoshi MIURA, Tadateru NISHIURA, LI Shi* and ZHANG Yongjun*

In 1986 a joint research between China and Japan started in order to conserve cultural relics in China. The authors, members of the research team, studied the climate of the Mogaoku caves at Dunhuang. The temperature, humidity and sunshine were measured at cave No. 194. This cave is located in the third row, that is, on the upper position of a cliff. The cave, which is a rather small one among the Mogaoku caves, is about 4m wide, 7m deep and 3m high. The measurement started in March, 1988. The temperature and humidity were recorded every three hours (eight times a day) in a data logger. The analysis of the climate data from March to June of 1988 revealed that the daily change was much smaller in the cave than outside. The paintings have been well conserved due, perhaps, to this stable and dry environment. But a sudden and large increase of humidity occurred within the cave during nights in June. The authors were concerned about this phenomenon from the point of view of conservation. The increase was probably caused by rain. Even though the Mogaoku caves are situated in a dry and desert region, heavy rain falls are occasionally observed. Sometimes precipitation during such heavy rain reaches nearly the annual amount of rainfall. In such a case the paintings will certainly suffer great damage from the invasion of moisture. Examination of the paintings of the cave proved that many fragments had flaked off in the past due to the efflorescence of soluble salts.

* Preservation Research Institute, Dunhuang Research Academy, People's Republic of China