

敦煌莫高窟の気象 (3)

—敦煌地域の降水特性、特に莫高窟の保存にかかわる大雨について—

高橋 英紀*¹・藤田 創造*¹・三浦 定俊・張 拥軍*²・王 宝義*²

1. はじめに

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1988年から敦煌莫高窟壁画保存のため壁画の劣化状態、地形、地質、気象環境などに関する共同研究が開始された。このなかで気象環境に関しては194・195窟および53・469窟の内外において温度・湿度・日照・風速の観測がおこなわれ、成果の一部が報告されている^{1,2)}。それによると194窟における食塩の析出による壁画の剝落現象には上方からの雨水の影響が指摘されている。194窟は莫高窟の最上部(三層目)に位置しており、天井部分の岩層も比較的薄く地形的にも雨水の影響の可能性が認められる。

本論では莫高窟の壁画の保存に大きな影響をおよぼすと見られる降水について1961～1980年の敦煌気象台における気象資料をもとに年最大日降水量、年最大月降水量の出現確率を求めるとともに、上位3位までの年最大日降水量が観測された日の地上および上層天気図から敦煌付近における大雨のシノプティックな背景について解析を加えた。

2. 気象資料と解析方法

敦煌における1961～1970年のデータは中国中央気象局「中国地面気象記録年報」、1971～1980年については甘肅省気象局「敦煌站地面基本気候資料」によった。求めた再現期間は年最大日降水量と年最大月降水量で、算出方法は次に示す経験的方法によった。この方法によるとあまり大きな再現期間ではその信頼度が落ちるが統計期間の1/2程度の再現期間であれば比較的正確である。

$$T_j = \frac{2N}{2j-1} \quad j=1, 2, 3, \dots, N$$

ここで T_j は経験的再現期間。

敦煌での大雨のシノプティックな背景については日本の気象庁作成の印刷天気図、9時(GMT 0000)および21時(GMT 1200)を使用した。なお、中国は全域を北京標準時で統一しており、日本との時差は-1時間である。ただし、敦煌は東経94°47'にあり日本の明石との経度差は40°で、太陽時刻で2時間40分の遅れとなる。

3. 年最大日降水量および年最大月降水量の再現期間

図-1は敦煌における年最大日降水量および年最大月降水量の再現期間を示したものであり、図より読み取った再現期間10年、7年、5年、3年の年最大月降水量、年最大日降水量を表-1に示す。敦煌における年降水量の平年値は32.9mmであり(三浦ら、1990)、7～8年に1度は年降水量に相当する雨が1ヶ月の間に降っていることになる。また、日降水量15mmの雨は5年に1度、19mmを越えると10年に1度の頻度となる。なお、統計を取った1961～1980年の20年間の降水に関する極値を3位まで表-2に示す。年降水量では1979年の105.5mmが最大で

* 1 北海道大学大学院地球環境科学研究科

* 2 中国・敦煌研究院保護研究所

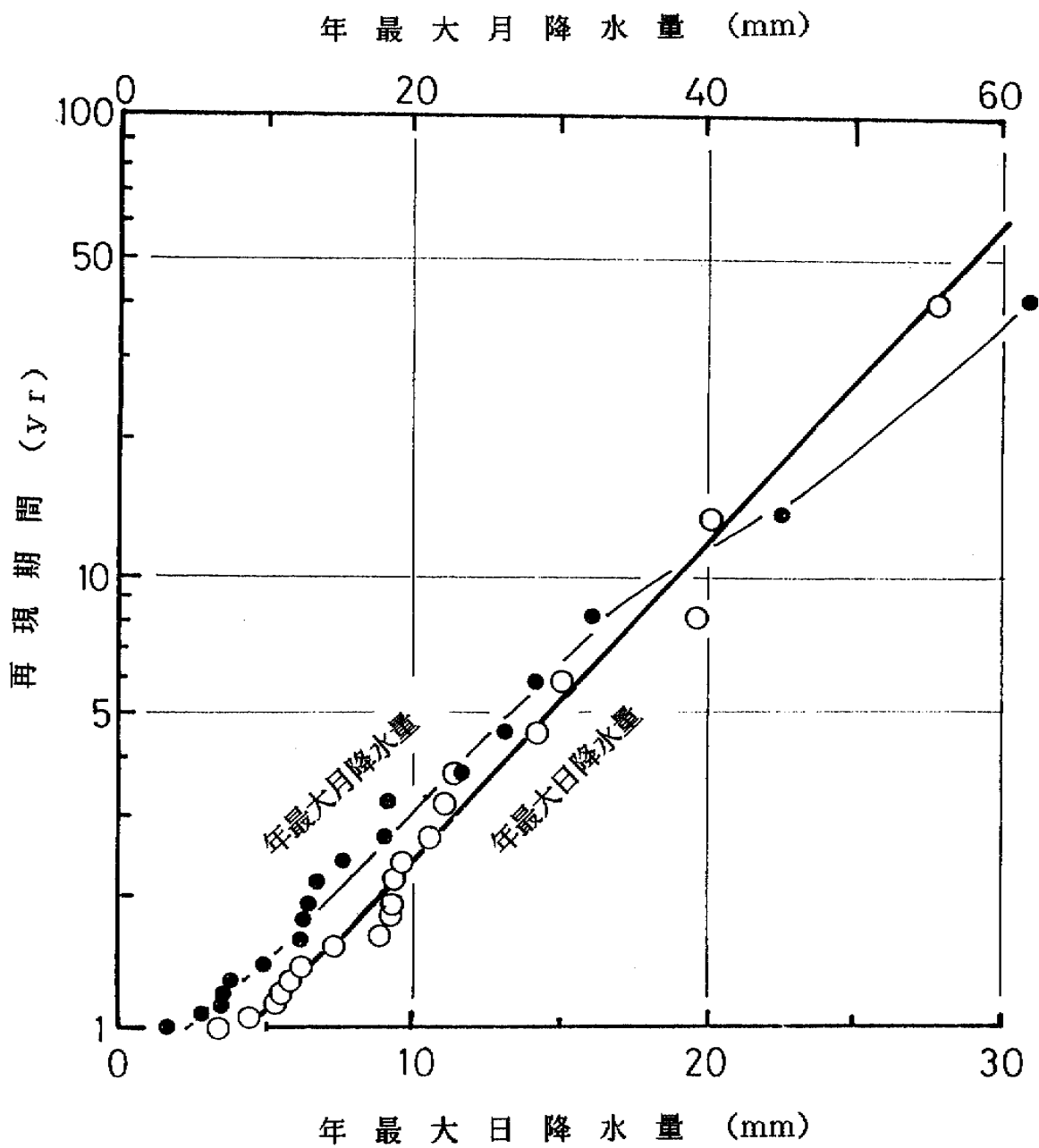


図-1 敦煌における年最大月降水量と年最大日降水量の再現期間

表-1. 敦煌における年最大の月降水量および日降水量の再現期間

再現期間 (年)	年最大月降水量 (mm)	年最大日降水量 (mm)
10	36	19
7	31	17
5	27	15
3	20	12

表-2. 敦煌における降水に関する3位までの極値と起時

	1 位	2 位	3 位
年降水量 (mm)	105.5	79.2	65.2
起時	1979年	1971年	1973年
月降水量 (mm)	60.7	45.4	32.1
起時	1971年7月	1979年7月	1973年6月
日降水量 (mm)	27.1	20.3	19.7
起時	1971年7月9日	1979年6月30日	1976年7月6日

あり平年の3倍近い降水量であった。この年は月降水量でも7月に45.4 mmと2位の大雨が記録された年である。

4. 敦煌における大雨のシノプティックな背景

表-2に示した日降水量の極値3位までの降水があった日のシノプティックな降雨の背景について順次概説する。なお、印刷天気図の時刻は日本時間のままで使用する。

4-1. 1971年7月9日、27.1 mm の場合

7月9日21時の地上天気図に敦煌での降雨記録があり、それによると雲量9、弱い雨(止み間あり)、過去1時間以内に雷、積乱雲発生、気温17℃、露点15℃となっている。この時、華北や華中でも広い範囲で雨が降っており、多くの地域で積乱雲の発達が見られている。敦煌はこの雨域のほぼ西端にあっている。

24時間前の8日21時、敦煌は雲量10であり、やはり20時から21時のうちに雨が降っている。敦煌の西数百 km の距離にある観測拠点(チャルキリク、ウルムチ)でも雲が多かった。この2地点では、9日21時にはすっかり高気圧におおわれ、天気は回復している。しかしチャルキリクでは、21時現在の雲量が1しかないにもかかわらず、少なくともその数時間前に雨が降ったと報告がある(地上天気図の「過去天気」の表記による)。

一方、44° N、108° Eに位置する低気圧(以下、低気圧Aとする)が、前日21時から若干東方に移動している。チャルキリクやウルムチ付近での雲量変化、チャルキリクからの降水の報告と、8日21時と9日21時の低気圧の位置を比較して、大まかに言ってこの雨域は低気圧Aに伴うものと解釈できる。

7日と8日の地上天気図では、敦煌を覆う雲は、それぞれ乱層雲、高層雲が主体であり、9日のような積乱雲の発達は見られなかった。しかし、これは敦煌だけのことではなく、華北でも積乱雲以外の雲が主体である。9日21時には、敦煌を含む広い範囲で積乱雲が発達している。

したがって、9日になって特に活発な雨雲が敦煌に到達したというわけではない。広い雨域が移動しつつ全体的に発達してきて、まとまった雨を各地で降らす能力を持った段階で、まだ雨雲が敦煌から抜けきっていなかったために、敦煌でもまとまった雨が降ったという状況が読みとれる。

さらに、850 hPa、700 hPa、500 hPaの上層天気図をもとに検討を加えた結果、この日の強い雨は以下の状況のもとで発生したものと見られる。

- 1) 華中から華南にあった強い暖気の存在。
- 2) 華中を東進してきた低気圧による1)の暖気の北上。
- 3) 敦煌の西から張り出してきた強い気圧の峰による寒気の南下。
- 4) 雨雲が、発達するまでに敦煌を通過しきらなかったこと。
- 5) 低気圧Aの存在。

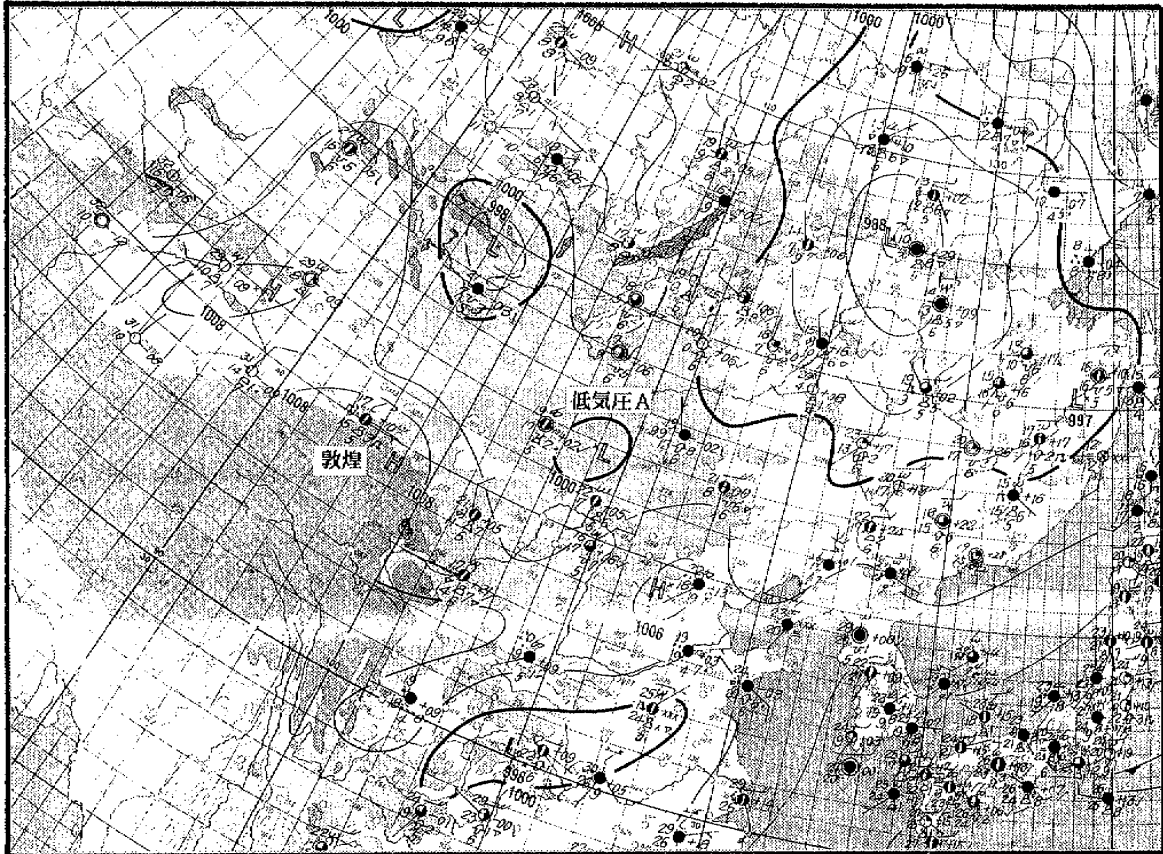


図-2 1971年7月9日21時(1200 GMT)の地上天気図

4-2. 1979年6月30日、20.3 mmの場合

地上天気図によると9時より21時のほうが敦煌では若干活発に降っているようであり、天気図から読み取れる敦煌における天気状況は以下の通りである。

9時には層雲または積雲の断片に乱層雲、雲量10、弱い雨(止み間あり)、気温14℃、露点12℃と言う状況にあり、21時にも雲は9時と同じ、雲量10、弱い雨(止み間なし)、気温11℃、露点9℃で気温が低下しただけで天気状況はあまり変わっていない。

6月28日9時現在、クチャ(庫車; 42° N、83° E付近)で雷雨が観測され、その周囲、東西半径500 kmほどの領域で、積乱雲があり雲量9以上の観測地が点在している。78° E以西は地上天気図上では不詳だが、東西にのびる雨雲が、発達した状態でこの付近を覆っているのは間違いのない。この頃、敦煌は見事に晴れている。21時には、ウルムチでも雨が観測されている。

29日9時には、クチャ付近が雲の西端になり、東端は酒泉あたりに達している。ところが、積乱雲はウルムチ近辺を離れておらず、雨雲は敦煌や酒泉付近で移動速度が鈍り、その後どう動いたかは判然としない。

このような雨雲の動きは、700 hPa/500 hPa 高層天気図上にある西北西の風に沿ったものであった。しかし、その流れは敦煌付近で衰えていて、これが移動速度の低下をよく説明している。

ウルムチ付近で長い間積乱雲が維持されていたのは、高層にある冷たい低気圧から流れ込む寒気のせいで、それが気圧の峰により南東へ進んで敦煌付近にたまり、大気が不安定となって、雨雲の発達を助長している。ブロッキング高気圧へ次々と流れ込む暖気の流れの「よどみ」とあって、南下した寒気は、ちょうど敦煌付近を中心に遊離して居座る結果となった。

周囲が暖気の場合であるから、この遊離した寒気は長続きせず、7月1日には中心軸が東へ抜けている。しかし雨雲は敦煌付近に残っている。

もう一点注意しなければならないのは、偏西風蛇行の状態が刻々と変化していることである。敦煌に影響を及ぼしたブロッキング高気圧は、最大勢力範囲が緯度差にして30度にも達する巨大なもので、偏西風帯は、7月2日21時の500 hPa 高層天気図上で、実に北緯75度あたりまでまわりこんでいる。6月末から7月末にかけて、この偏西風蛇行は次第に激しくなっており、高気圧の南西にあった低気圧が東進して、高気圧は偏西風帯から独立しようとしている。こうした偏西風蛇行の進行に伴い、敦煌付近に寒気が入ったわけである。そして、偏西風の流れを完全にくびろうとする低気圧の東進はその後も続き、やがて寒気の流入軸と共に東に移動し、敦煌を通過している。このため敦煌は、7月2日には6月とはまた違った暖気の勢力圏に入っている。

ブロッキング高気圧や低気圧の移動は、小さな気圧の谷や峰よりもはるかに遅く、かつ複雑な進路をとる。1979年6月末の場合も、敦煌のはるか北西にあった寒冷渦はほとんど停滞状態で、その西に発生したブロッキング高気圧は経度にして40度もの彼方であった。

以上の様な天気状況のなかであってこの日の雨は次の4つが主な原因とみられる。

- 1) ブロッキング高気圧とその西の低気圧の存在、およびそれらの敦煌との位置関係。
- 2) 敦煌が雲や寒気/暖気の溜まりやすい状況にあったこと。
- 3) ブロッキングが相当発達した段階であって、強い寒気が入れる状況にあったこと。

敦煌に流れ込んだ雨雲は、低気圧から到来した可能性が高く、高速で移動してきたために急に天気が崩れた。しかしこれは、1)の条件があれば当然おこる現象である。2)はブロッキングのすぐ南に敦煌があったために起こったことだが、これも敦煌の地理的な位置と、夏の偏西風帯の位置からの蛇行プロセスを考えると、やはりシノプティックにみて起こりうる現象といえる。

敦煌で起こった79年6月の雨は、強い偏西風蛇行で発生した高層の「よどみ」による「滞留性の雨」といったタイプのもので、このような性質がもとで敦煌は小雨の日が多く続いたとみられる。そんな中、強い雨雲がたちこめ、すぐ後に強い寒気が溜まったため、雨量が増加したものと見られる。

4-3. 1976年7月6日、19.7 mm の場合

この日は、21時には雲量が2~3になっているが、9時現在では乱層雲が覆っていて、弱いながらも止み間のない雨が降っていた。9時には、気温15℃、露点14℃、かなり多湿になっている。

気圧配置の上では、敦煌の南に高気圧、東に低気圧があるが、それだけのことで、別に大雨を降らす状況は見あたらない。5日9時現在、チャルキリクで乱層雲による止み間のない雨が降っており、これが移動して敦煌を覆ったとも解釈できるが、規模が小さいので判然としない。付近は寒気と暖気が競り合っており、その影響とも考えられる。いずれにせよ、夏の気圧配置になっておらず、春の傾向を引きずっていると見ることができる。降水量も春から引きずったような経過を示している。この雨は性質上「夏の雨」とは言えない。

4-4. 敦煌における大雨のまとめ

これまでの考察を総合すると、今回の分析期間中の敦煌の大雨は、以下のいくつかの要因が組合わさって発生したものと見える。

- A. ほとんどの大雨の根幹にあるとみられるもの：偏西風蛇行のかなり発達した過程。
- B. 特に大きな雨の被害をもたらすおそれのあるもの：低緯度地域、華中および華南、からの暖気流入とそれに関わる低気圧の存在。
- C. 雨雲の発達と移動のタイミング。
- D. 東アジアの気団・気圧配置の季節変化に強く関連するもの：内陸に発生する夏の低気圧の存在と、冷夏傾向の中で、暖気と寒気が競いあうこと。
- E. チベット高原による地形効果によるもの：敦煌に対するブロッキング低気圧・高気圧の面的

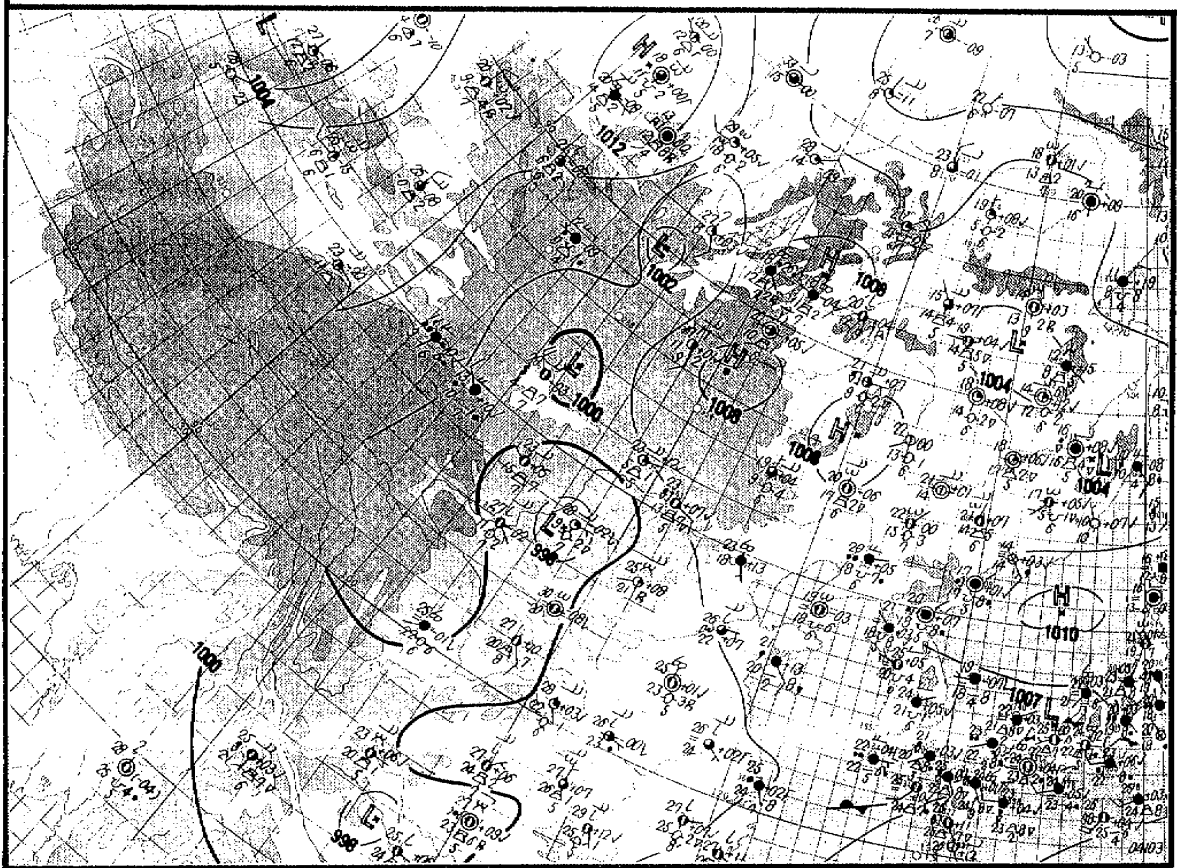


図-3 1979年6月30日21時(1200 GMT)の地上天気図

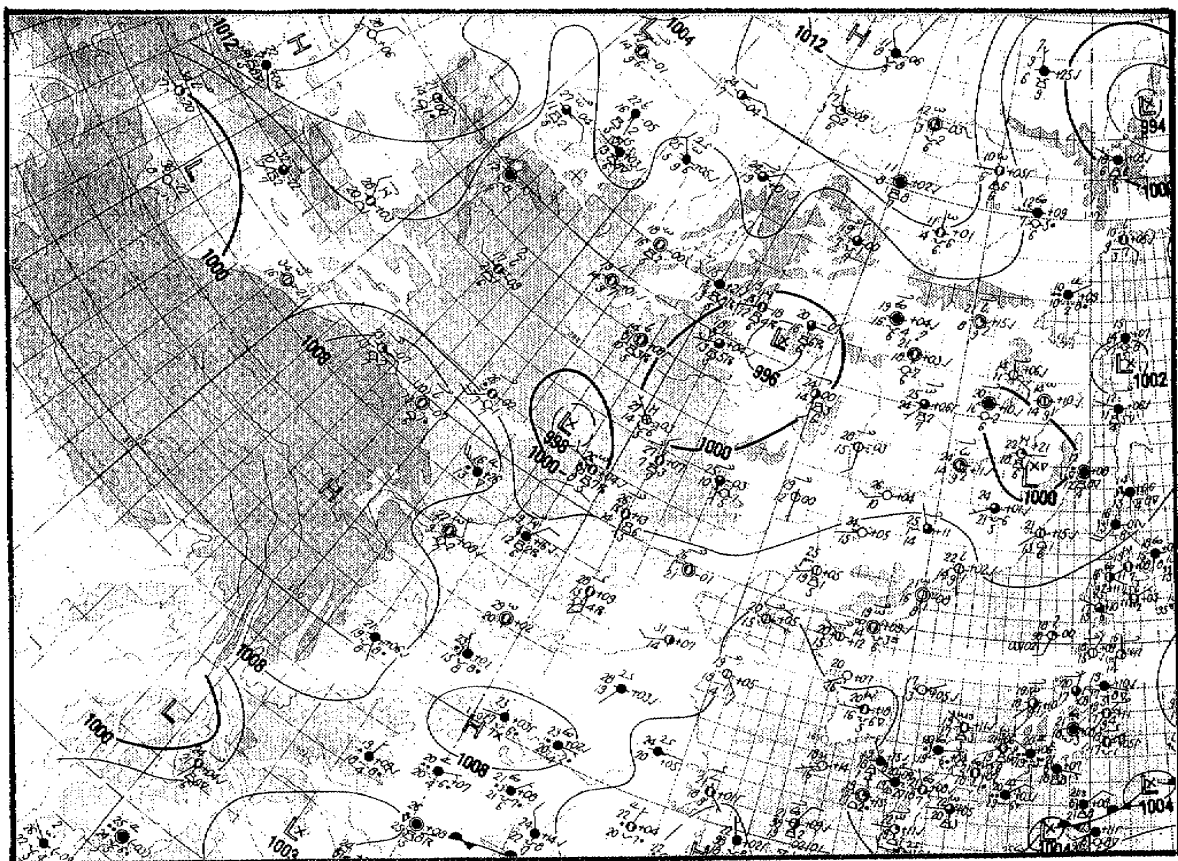


図-4 1976年7月6日21時(1200 GMT)の地上天気図

な位置と西部からの寒気の流入。

5. まとめ

莫高窟の壁画の保存に大きな影響をおよぼすと見られる降水について1961~1980年の敦煌気象台における気象資料をもとに年最大日降水量、年最大月降水量の出現確率をもとめた結果、年最大日降水量15mmの再現期間は5年、17mmで7年であった。すなわち年降水量の平年値32.9mmの半分の雨が1日で降る可能性が数年に1回の頻度で起きていることが分かった。

年最大日降水量では上位3位までの年最大日降水量が観測された日の地上および上層天気図から敦煌付近における大雨のシノプティックな背景について解析を加えた結果、偏西風蛇行のかなり発達した過程が敦煌で大雨が降る多くの場合に見られ、さらに低緯度地域、すなわち華中および華南からの暖気流入とそれに関わる低気圧の存在が降雨強度を大きくする原因となっていることが分かった。

敦煌遺跡の保存には降雨・地下水などの水環境が大きな影響を持っていると言われていたが、今回は日降水量が多い、すなわち降雨強度が大きい場合についてのみの検討であった。今後は、長期的に降る雨についてもデータの集積を待って解析に入りたい。また、そのほかの気象要素についても遺跡保存の観点から詳細な検討を加える予定である。

参 考 文 献

- 1) 三浦定俊・西浦忠輝・李 実・張拥軍：敦煌莫高窟における気象観測 (1), 保存科学, 29, 1-7, (1990)
- 2) 三浦定俊・西浦忠輝・張拥軍・王宝義：敦煌莫高窟における気象観測 (2), 保存科学, 31, 87-94, (1992)
- 3) 新編農業気象ハンドブック編集委員会：新編農業気象ハンドブック, 養賢堂, 1-854, (1974)

Climate at Dunhuang Mogao Grottoes (3)
—Characteristics of Heavy Precipitations in Dunhuang—

Hidenori TAKAHASHI*¹, Sozo FUJITA*¹, Sadatoshi MIURA,
ZHANG Yongjun*² and WANG Baoyi*²

Characteristics of heavy precipitation in the Dunhuang area, which have some influence on the humidity in the rocks of the caves, were analyzed based on the precipitation data for 20 years, from 1961 to 1980, at the Dunhuang Meteorological Observing Station. Return periods of the annual maximum daily precipitation and the annual maximum monthly precipitation were estimated from empirical analysis and diagram.

The results show that daily precipitations of 15 mm and 17 mm will occur once in 5 years and 7 years respectively. This also means that heavy precipitation, exceeding a half of the normal annual precipitation in a day, will fall once in several years.

Synoptic weather backgrounds for heavy precipitations were analyzed for three cases from the heaviest one to the third using the weather charts of ground and upper layer published by the Japan Meteorological Agency.

The results indicate that some cases of heavy precipitation in the Dunhuang area are caused by the effects of developing westerly wave. The warm air flow from southern China, Huanan and Huazhong districts, to the north caused by cyclones also strengthen precipitation.

* 1 Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University

* 2 Dunhuang Academy, China