

## 中国北西部河西回廊の降雨について

板野 稔久・光田 寧

### RAINFALL IN THE HEXI CORRIDOR, NORTHWESTERN CHINA

By Toshihisa ITANO and Yasushi MITSUTA

#### Synopsis

Rainfall in the Hexi Corridor is studied. Results show that rain falls only when cyclone system on the polar front passes over this area. During the passage of upper trough, several cyclones are generated successively on the polar front at the northern edge of Tibetan Plateau and the rainfall seems closely related to the life cycles of such cyclones. Raindrops are formed at the middle and upper tropospheric level on the front. However, it takes several days for the raindrops to reach the ground surface possibly due to strong evaporation within the air. Therefore, the rainfall is observed earlier and larger in amount at the higher elevated stations than the lower places in the Hexi Corridor.

#### 1. はじめに

中国北西部に広がる乾燥地域の一部でチベット高原の北東辺に位置する河西回廊 (Hexi Corridor; Fig. 1, 2) では夏期を中心に少なからぬ量の可降水量が存在し, また潜在的に不安定な成層をしているので, 降雨が生じるための条件は整っているといえる。しかし, 持ち上げ凝結高度が2000 m以上と高いためか, 日中地表面において激しく熱せられるにもかかわらず, 局地的な積雲対流による降雨はほとんど見られない。結局, この地域で降雨がみられるのは西からやってくる極前線上の擾乱が通過したときに限られる。これは, 時折観測される降雨は散在する積雲によるものである<sup>1)</sup> というサハラ砂漠等の亜熱帯に位置する砂漠とは大きく違う点である。そのためもあって, 例えば河西回廊を中心として展開された100 km四方程度の大きさを持つ HEIFE の領域の各地点においては, 降雨はほぼ同じ日に観測される。しかし, HEIFE 領域内で観測される降水量は観測点の標高に大きく依存し, その結果, 年間降水量でみると河西回廊底部の砂漠 (標高約1500 m) では先に述べたように100 mm弱である一方, そこから50 kmも離れていない周辺の高地である祁連山脈の中腹 (標高約3000 m) では500 mm以上の降水が見られる (板野他, 1995)<sup>2)</sup>。

本論文では, 1991年8月にみられた典型的な降雨の例の解析を中心に, この地域に降雨をもたらす極前線上の擾乱の様子についてより詳しく調べる。解析に用いたデータは, GMSの赤外データ, HEIFE領域内の半日および一日雨量データおよび6地点の高層データ [ウルムチ (Urumqi; 43° 47' N, 87° 37' E)・敦煌 (Duhuang; 40° 09' N, 94° 41' E)・酒泉 (Jiuquan; 39° 46' N, 98° 29' E)・張掖 (Zhangye; 38° 56' N, 100° 26' E)・民勤 (Minqin; 38° 38' N, 103° 05' E) および西安 (Xian; 34° 18' N, 108° 56' E)]である。

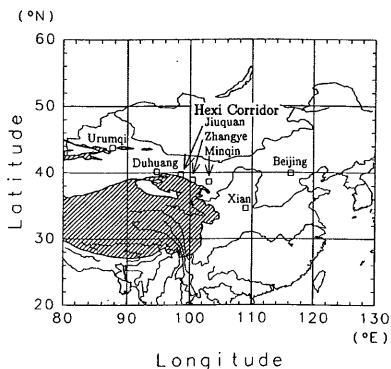


Fig. 1 Location of Hexi Corridor and the other stations used in this study. The area of higher elevation than 3000 m is shaded.

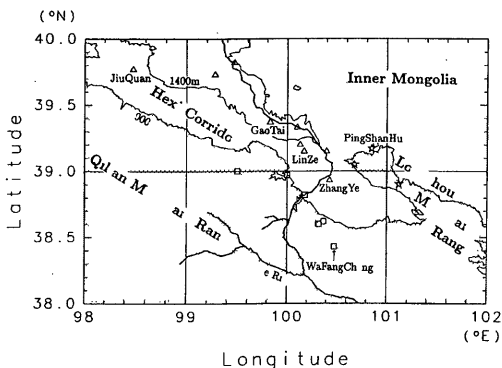


Fig. 2 Distribution of observatory around Hexi Corridor. The area of higher elevation than 2000 m is shaded.

## 2. 1991年8月10-13日の降雨

河西回廊とは中国北西部 39°N, 100°E あたりに位置する北西-南東に伸びる幅の広い谷の名称で、その南西側にはチベット高原の北東端を形成している 5000 m 級の祁連山脈 (Qilian Mountain) がそびえ、東側には 2000 m 級の老首山脈 (Longshou Mountain) が連なっている (Fig. 2)。1991年8月には大きくわけて3回の降雨が観測されているが、その3回とも上空のトラフの通過によるもので、質的には良く似た構造をしている。その中で、8月10-13日の降雨イベントについて以下に述べる。

Fig. 3 は河西回廊で降雨が観測される前の8月8日 12GMT の 500 hPa の天気図である。チベット高原の北側にトラフがあるのがみとめられるが、河西回廊で降雨が観測されるのはこのトラフがゆっくりと東進してチベット高原の東へとぬけていく間である。トラフの前面には寒冷前線が形成されており、GMS の赤外画像でみるとそれに伴う長い帯状の雲がシベリアから南西方向へチベット高原の上空まで伸びているのがみとめられる<sup>2)</sup>。

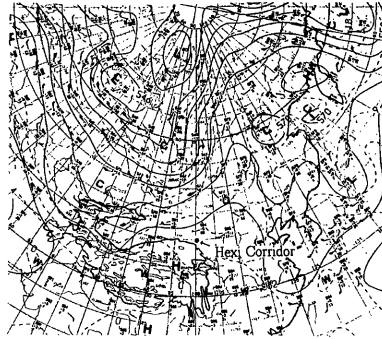


Fig. 3 500hPa weather map at 12GMT August 8, 1991.

8月8-15日における一連の雲の動きを Fig. 4 に示した。この図はGMSの観測した相当黒体温度の等温線を直交座標系に投影したものである。中国北西部はGMSの視野では西端の方にあたり、そのため得られる画像は相当ゆがんでいるので、この操作は必須である。8月8日、500 hPa トラフに伴う低気圧がチベット高原の北側にあり、中心から南西に伸びる寒冷前線がチベット高原北端にさしかかろうとしている。翌9日、低気圧の中心は北東進して寒冷前線はチベット高原のすぐ北側に達している。しかし、この時前線上には次の低気圧が発生を始めており、引き続き10・11日にかけて発達していく一方で、元の低気圧は衰退していく。12日になると2番目の低気圧も衰退を開始するが、次の新しい低気圧がチベット高原の北端で発生を始めている。その後、この3番目の低気圧は発達しながら北東進してモンゴル高原から中国東北地方に達している。以上のようにトラフがチベット高原の北側を通過する間、その前面の前線上で次々と低気圧が発生し、Cyclone family が形成された。同様の現象は1991年8月の他の降雨時にも確認できており、この地域の典型的な天候のパターンであると思われる。

次に、この期間に河西回廊付近で観測された日雨量の分布図を Fig. 5 に示す。最初に降雨が観測されたのは8月10日であるが、この時には数ミリ程度の雨が祁連山脈と河西回廊の一部、それも領域の西部の山地を中心にみられるのみである。翌11日には祁連山脈全域で1ミリ以上の降雨が見られる。等日雨量線はほぼ等高線に平行である。しかし、河西回廊底部や老首山脈ではほとんど降雨はみられていない。12日には領域の全域で降雨が観測され、また多くの場所で日雨量は10ミリを超えている。14日には擾乱が東へぬけたために、領域の東部でのみ2ミリ以下の降雨が観測されている。

Fig. 6 はウルムチ-西安間の鉛直断面図 (Fig. 1 参照) である。8月10日00GMTには、敦煌 (94° 41' E) の上空付近に北東方向へ流れるジェットの本流があり、以後東に移動し14日には域外へぬけている。この間、ジェットの流れる向きは断面にはほぼ垂直な北東方向である。一方、相当温位の断面においては、10日の時点で100°E 付近の500 hPa より下層に明瞭な前線がみとめられる。今まで述べてきた低気圧が極前線上のものであることは、これらの図より明らかであろう。10-11日にかけて、ジェットの軸のすぐ下にあたる400-700 hPa のところに相対湿度が80%以上の湿った部分が見られる。しかし、この時点ではこの湿った部分はまだ河西回廊の底 (約850 hPa) には達していない。一方、Fig. 5によれば、10日には祁連山脈中腹で弱い雨が観測されているが、これは上空で形成された雨足がまだ河西回廊底部には届いていないけれども、標高の高い祁連山脈の中腹には既に届いていたためではないかと思われる。一見、これは地形効果によるものであるようにも見えるが、この時の風は祁連山脈から吹き出すセンスであるので (Fig. 6)、あまり説得力がない。12日00GMTには雨足は河西回廊底部まで達し、そのためこの日には回廊の全域で降雨が観測されている。また500 hPa より上空ではフロントが強化されているが、Fig. 4で3番目の低気圧が

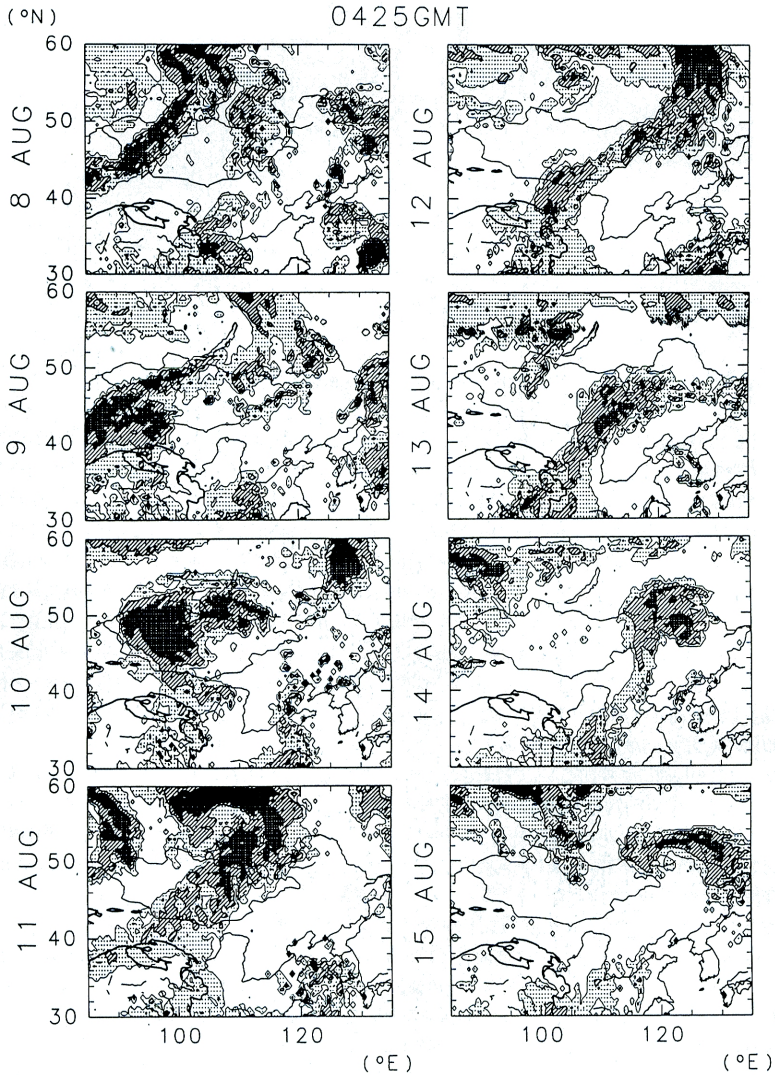


Fig. 4 Isotherm of  $T_{BB}$  derived from GMS infrared data. Each shadings show the area of 240-260 K (light), 220-240 K (moderate) and -220 K (heavy) respectively.

発生するのはこの時である。翌13日は前線が東へぬけてしまった後で、河西回廊付近には寒気が残っている。

以上の結果、対流圏中・上層で凝結して形成された雨粒が降雨となってその雨足が地表に届くまでには数日を要することがわかる。これは砂漠上の空気は相対湿度が低いため、降雨の初期の段階では上空で形成さ

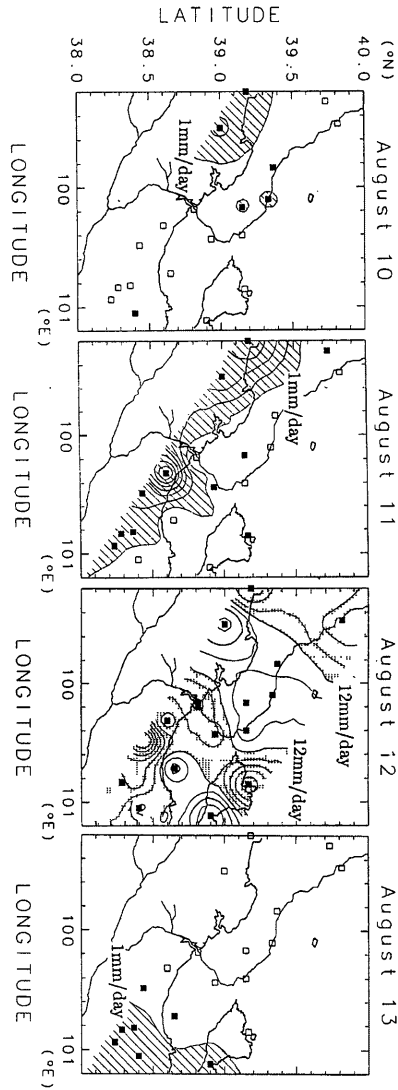


Fig. 5 Distributions of daily rainfall around Hexi Corridor (contour interval = 1 mm/day). Locations of stations which observed any rainfall are shown by closed squares and no rain by open squares. Area between 1-8 mm/day is hatched (Aug. 10, 11 and 13) and that exceeds 12 mm/day is shaded (Aug. 12).

れた雨粒は地表に達する前に蒸発してしまうためではないかと思われる。例えば、**Fig. 6**をみると、前線面背後の寒気域の相当温位が8月11日から12日と日を追うごとに下がっているのが認められるが、こ

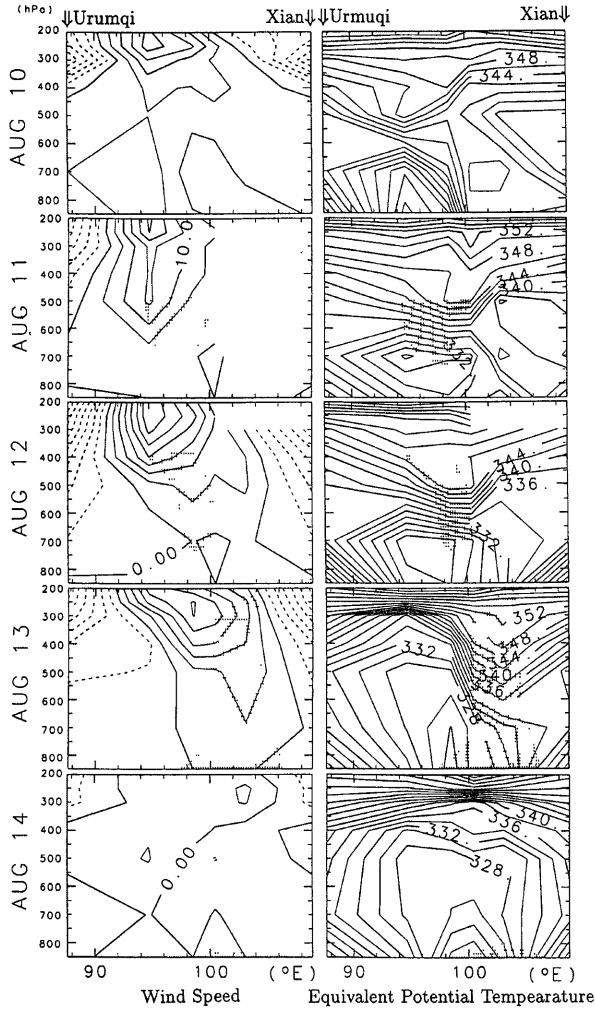


Fig. 6 Vertical cross section between Urumqi and Xian. Left figure shows isotachs of wind component normal to the cross section (contour interval=5 m/sec) with positive into cross section (NE-ward) and right isotherm of equivalent potential temperature (contour interval=2 K). Area with which relative humidity exceeds 80 % is shaded.

これは雨粒が蒸発して上空から順次空気が冷やされたためであると考えられる。一方、佐橋<sup>3)</sup>はこの同じ1991年8月のケースについて、河西回廊で降雨がみられる時には地表での気圧が高くなっていることを指

摘しているが、この現象には雨滴が蒸発して気温が低下した分だけ空気が重くなるという効果が相当働いているものと思われる。もちろん他の効果、例えばチベット高原によってせき止められた寒気がたまった結果 (Cold air damming)<sup>4)</sup> 気圧が高くなったことなども考えられるが、この蒸発による効果は無視できないであろう。

### 3. 中国北西部乾燥地域での低気圧の活動について

中国北西部乾燥地域における低気圧活動については、それがこの地域に降雨をもたらす主たる原因であることもあるので特に重要である。しかし、過去の研究を見ていく限りでは研究者によって着目点の違った意見が提出されているものの、満足のいく統一的な説明はまだのようである。T. Murakami<sup>5)</sup> は冬期 (12-2月) のチベット高原の周りの平均的な過度を計算して、高原の北側には高気圧性の過度が卓越することを示している。彼はカルマン渦の例を引用してこの現象を説明している。一方、Manabe と Broccoli<sup>6)</sup> や Broccoli と Manabe<sup>7)</sup> は GCM の実験の結果、夏以外の季節には偏西風がチベット高原を越える時、渦位の保存によりチベット高原の風下側にトラフを生じ、高原の北東側は低気圧の活動が少ない場所になることを示している。夏期については、チベット高原の熱的な影響等のため偏西風の軸が北の方へ移動するため、中国北西部の乾燥地域では擾乱の通過が少なくなると言及している。

けれども、Chung 他<sup>8)</sup> は国際地球観測年 (1958 年) のデータをもとに中国で作成された天気図を用いて一年間の統計をとった結果、低気圧発生のピークが中国ゴビ砂漠からモンゴル高原にかけて見られることを示している。また、Chen 他<sup>9)</sup> は統計期間を 1958-87 年の 40 年間に伸ばして同様の結果を得ている。彼らは季節毎に分けた統計もとっているが、季節変化はあるものの上記の場所が一年を通して低気圧のよく発生する場所であることは間違いないようである。この結果は T. Murakami<sup>5)</sup> や Manabe と Broccoli<sup>6)</sup> による主張とは食い違っている。

今回、GMS の赤外データを解析した結果、極前線がチベット高原の北側を通過する間に、高原のすぐ北側で数個の低気圧が発生するという現象がみられた。Chung 他<sup>8)</sup> や Chen 他<sup>9)</sup> は低気圧発生のピークをチベット高原の北端ではなく少し北側のゴビ砂漠・モンゴル高原内部に示し、更にそれらをアルタイ山脈の風下低気圧であると述べているけれども、今回の結果は基本的には彼らの結果を支持するものであると思われる。なぜなら、実際にはチベット高原の北端で低気圧が発生しているのだが、ゴビ砂漠やモンゴル高原の内部にはほとんど地上の観測点がないために彼らにはピークの位置が少しずれて見えただけではないかと考えられるからである。今回、衛星リモート・センシングによるデータを解析に用いた結果、より正確に低気圧発生の場所がチベット高原の北端付近であることを明らかにできたといえる。ただ、このような衛星データによる統計的な研究やなぜチベット高原の北端で低気圧が発生するのかといった理論的な研究は今後の課題である。

### 4. まとめ

河西回廊における降雨とその時の総観気象特性について知るため、1991 年 8 月 10-13 日にみられた典型的な降雨を例として詳しく解析した。河西回廊の降雨は、上空のトラフがチベット高原の北側を通過する間に観測される。トラフの前には前線が形成されており、この間、前線がチベット高原の北端にさしかかるとそこで低気圧が発生し、その低気圧が発達しながら北東進すると次の新しい低気圧が高原の北側で発生するといった現象のみられることがわかった。このように発生した低気圧は、Chung 他<sup>8)</sup> や Chen 他<sup>9)</sup> の示した中国北西部からモンゴルに至る乾燥地域での低気圧発生のピークとして現れているものと同じものであると思われる。今回、解析に衛星データを用いたことで、低気圧の発生している場所が正確にはチベット高原

の北端であることが確認できた。なお、河西回廊で観測される降水量を上述の低気圧のライフサイクルとの関連でいえば、今回の解析例では新しい低気圧の発生の見られた8月12日に最も多くの降雨が観測された。

鉛直断面図では、前線上の対流圏中・上層で雨粒が形成されている様子がみられた。しかし、これらの雨足が地表に届くまでには数日を要する。これは、砂漠上の空気が乾燥しているために、上空で生成された雨粒の多くが地表に達するまでに蒸発してしまうからではないかと推測される。つまり、実際に河西回廊底部の砂漠で雨が降るのはその末期で、前半には標高の高い山中では雨が降るが乾燥した低地の砂漠では地上に達する前に空中で蒸発してしまう。そのように考えると、河西回廊付近において標高の高い所では低い所に較べて、より早くまたより多くの降雨が観測される点、また佐橋の指摘した低地の地表で一度低くなった気圧が上昇した時に降雨が観測される点等は統一的に説明できる。

以上に述べたことは、1991年8月の1つの降雨例を調べた結果得られたことであるが、同様のことは同じ8月の他の2つの降雨例でも確認でき、中国北西部の乾燥地域ではかなり普遍的なものではないかと思われる。今回、中国北西部の乾燥地域の降雨がこのような総観規模現象で起こっていることがわかったので、今後この地域の気候はそのような現象の積み重ねとして論じていくべきであろう。

#### 参考文献

- 1) Griffiths : World Survey of Climatology, Vol.10 ; Climates of Africa, Elsevier Publ., 1972, p.604.
- 2) 板野稔久・竹見哲也・光田 寧 : 中国北西部砂漠における降雨特性, 京大防災研年報, 第38号 B-1, 1995, pp.129-141.
- 3) Sahashi, K. : A Wet Period in the Desert Station in HEIFE, J. Meteor. Soc. Japan, Vol.73, 1995, pp.1213-1217.
- 4) Forbes, G. S., R. A. Anthes and D. W. Thomson : Synoptic and Mesoscale Aspects of an Appalachian Ice Storm Associated with Cold-Air Damming, Mon. Wea. Rev., Vol.115, 1987, pp.564-591.
- 5) Murakami, T. : Effects of the Tibetan Plateau, Monsoon Meteorology (C.-P. Chang and T. N. Krishnamurti eds.), Oxford Univ. Press., 1987, pp.235-270.
- 6) Manabe, S. and A. J. Broccoli : Mountains and Arid Climates of Middle Latitudes, Science, Vol.247, 1990, pp.192-195.
- 7) Broccoli, A. J. and S. Manabe : The Effects of Orography on Midlatitude Northern Hemisphere Dry Climates, J. Climate, Vol.5, 1992, pp.1181-1201.
- 8) Chung, Y.-S., K. D. Hage and E. R. Reinelt : On Lee Cyclogenesis and Airflow in the Canadian Rocky Mountains and the East Asian Mountains, Mon. Wea. Rev., Vol.104, 1976, pp.879-891.
- 9) Chen, S.-J., Y.-H. Kuo, P.-Z. Zhong and Q.-F. Bai : Synoptic Climatology of Cyclogenesis over East Asia, 1958-1987, Mon. Wea. Rev., Vol.119, 1991, pp.1407-1418.