

ユーラシア内陸域における 水蒸気輸送・発散の季節変化

安成 哲三 (筑波大学地球科学系)・谷田貝 亜紀代 (筑波大学地球科学研究科)

1. はじめに

中国北西部の乾燥地域とその周辺に広く分布する半乾燥地域では砂漠化が問題になっており、現在様々な視点から研究が進められている。ここでは、その地域のグローバルな水循環場を理解するために、乾燥・半乾燥地域にとって特に重要な変動要素である水蒸気フラックスの季節変化を、客観解析データを使用し大気水収支法によって計算した。

大気水収支法による水蒸気の輸送、収束発散の推定の研究は、Starr *et al.* (1958) により始められ、高層ゾンデデータにより解析されてきたが、近年 (FGGE(1979) 年以降) は、予報解析モデルによる 4 次元同化の客観解析データが整備されてきており、水収支の研究にも用いられ始めている (例えば Oki *et al.*, 1995)。全球で計算されたものには、例えば Peixoto (1970) があり、北半球、またアジアについては、Asakura (1971), Kubota (1971) などが、水蒸気輸送場の季節変化やソースシンクを論じている。

ユーラシア大陸内陸について鬼頭ほか (1993) は、NMC (米国気象局) による 1986 年から 1990 年の客観解析資料を用いて、夏季の中国北西部の水蒸気フラックスを調べているが、他の季節については論じられていない。

ここでは、ECMWF (ヨーロッパ中期予報センター) の 1985 年から 1989 年の客観解析資料を用いて、ユーラシア大陸内陸を中心とした水蒸気輸送とその収束・発散量の 5 年間の平均を月ごとに示す。

2. データと解析方法

解析に使用した ECMWF の客観解析資料は、全球 2.5 度グリッド、鉛直 7 層 (1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100 hPa) 上に等圧面高度 (Z)、風速 (U, V)、気温 (T)、相対湿度 (Rh) の値がある。時間間隔は 1 日 2 回 (00UTC, 12UTC) である。なお、本解析で使用した ECMWF 客観解析資料は、初期化後のものである。

このデータにより、相対湿度と気温からグランチの式を用いて比湿を計算し、そのレベルの風速をかけたのち地上から 100hPa まで鉛直積分した。詳しい計算方法は、沖ほか (1992) を参照されたい。可降水量は

$$W = \frac{1}{g} \int_{100}^{P_s} q dp \quad (1)$$

と表すことができ、大気中の全水蒸気輸送量は、100hPa 以上では比湿は無視できるほど小

さいから,

$$\vec{Q} = \frac{1}{g} \int_{100}^{P_s} q \vec{V} dp \quad (2)$$

となる. ただし, g :重力加速度, p :気圧, P_s :地表面気圧. また, 対流圏下層の水蒸気輸送場を見るために, 地上から 700hPa までの鉛直積分も計算した.

$$\vec{Q}_l = \frac{1}{g} \int_{700}^{P_s} q \vec{V} dp \quad (3)$$

大気の水収支は, 雲水による輸送を無視すれば,

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{Q} = E - P \quad (4)$$

E : 蒸発量, P : 降水量 となり, 月単位で可降水量の時間変化が無視できるとすると, 水蒸気発散量は, 蒸発量と降水量の差に等しいことになる.

3. 結果

図 1~図 12 は, 各月の a) 全層 (地上~100hPa) 積分した水蒸気フラックス \vec{Q} 及びその発散 (収束) $\nabla \cdot \vec{Q}$ と, b) 地上から 700hPa までを積分した水蒸気フラックスベクトル \vec{Q}_l を示している. 図のほぼ中央部には, チベット高原 (高度 3000m の等値線) を示した. a) は, 全層の水蒸気収束発散によって着色されている. 桃色で着色した地域は発散域, 一方水色の地域は収束域である. 発散量は, 可降水量の時間変化を無視したときの, (蒸発量) - (降水量) の値であるから, 桃色で着色されたところは, その月の水蒸気のソース地域を表しているといえる.

ECMWF のデータは, 2.5 度間隔で与えられているが, データのもととなっている高層ゾンデデータの間隔は, この間隔よりも広いところが多く, そのようなところは (近年は衛星による推定値も入っているが), グリッドにおける値の推定はモデルに依存しているといえる. また, 時間間隔が 12 時間ごとであり, これに平均風速を掛けた距離以下の収束発散量は誤差が大きいことが考えられる. 従って, ここに示された結果は 500~1000km 以上の空間スケールの分布のみを, 意味のある分布として見る必要がある.

以下季節を追いながら記述する. 1 月は, 偏西風による東向きの輸送が卓越しているが, 天山山脈の北側には, 南西から水蒸気が輸送されている. タクラマカン砂漠周辺のフラックスは小さいが, 収束していることがわかる. 全体的に見ると, シベリアでは, 弱い収束, 海上では強い発散域になっている. 中国華北からモンゴルにかけては, 弱い発散傾向になっている. 全層フラックスでは, チベット高原の南に東向きの強い水蒸気輸送帯がある. しかし下層 (b) ではそれほど強くないことから, 亜熱帯西風ジェットによる強い輸送であることがわかる. この 1 月の平均場に現れた特徴は大体 11 月から 3 月ごろにかけて同様にみられる.

春季は, 循環場の様子が次第に変化している. 中央アジアでは, 11-2 月は南西から北東に向かって水蒸気が輸送されているが, 3, 4, 5 月と季節が進むにつれて, 次第に西から輸送されるようになり, 6 月には, 北側から輸送されている. すなわち, 春季の中央アジアでの風の南北成分の変化が非常に顕著であるといえる. また, 中央アジアから西シベリア低

地にかけて、収束域が発散域に変わってくる。これは、雪氷の融解、植生による活発な蒸散が行なわれているためであると考えられる。

亜熱帯西風ジェットによる輸送は4月ごろから、下層の輸送も強くなり、また、中国南部から日本にかけて、強くなってくる。中国南部は、強い収束となっているが、これは梅雨に当たる。中国、日本への南西モンスーンによる大きな水蒸気輸送軸は、4、5、6、7月と次第に北東、北向きにかわり、また強まっている。また、太平洋高気圧の西の淵をまわりこんでいる南東からの輸送成分は6、7、8月と次第に北上しているのがわかる。また夏季にはチベット高原の南側が広範な水蒸気収束域になっている。

大陸では、6月から8月にかけて、西シベリア低地での広域の発散が特徴的である。この地域が、中央アジアや、タクラマカン、ゴビ砂漠へのひとつの大きな水蒸気ソースとなっていることがわかる。内陸の湖（特にカスピ海）の発散も強くなっている。

5月から、9月にかけて、タクラマカン砂漠では発散、パミール、天山山脈で収束傾向が見られる。またこの時期、下層の平均フラックス場をみると、天山山脈をまわりこむようにして、タクラマカン砂漠に北からの水蒸気が輸送されていることがわかる。このように、月平均場からは、タクラマカン砂漠への水蒸気輸送は、北部、北西部からの輸送が主流であることがわかるが、Yatagai and Yasunari (1993) は、タクラマカンの特に南部で夏季に顕著な降水が起こるときには、南からの水蒸気輸送が強い時であることを示した。

9、10月は夏の間から、冬の間への移行期といった様子を示しており、チベットの南側の東向き輸送も弱くなっている。またシベリアは収束域になる。

中央アジアの乾燥地域には、6月から9月には北から水蒸気が輸送されていることがわかる。その北側の西シベリア低地から、中央シベリア高原にかけては月によって、輸送方向が異なるが、この地域では上空のトラフの位置により、輸送方向が大きく変わることが考えられる。各年ごとフラックス場を見ても、年により大きく異なっていた（図は省略）。鬼頭(1993)は夏季平均水蒸気フラックスの年々変動の大きさをも見積もり、ロシアの南北成分、中央アジアの東西成分の安定度が低く、年による違いが、大きいことを示している。このように、ここに示したものは平均場であり、年によって大きく異なる地域があることを注意しなくてはならない。他の月についても、年による違いの評価が必要である。それは、今後の課題としたい。

謝辞

水蒸気輸送データの計算には、東京大学生産技術研究所の沖大幹氏の作成したプログラムを、また、作図には、The GMT System (Wessel and Smith, 1991) を使用させて頂きました。ここに謝意を表します。

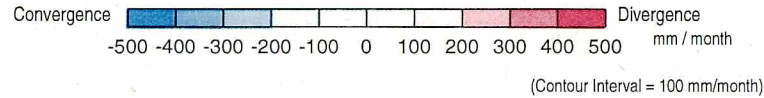
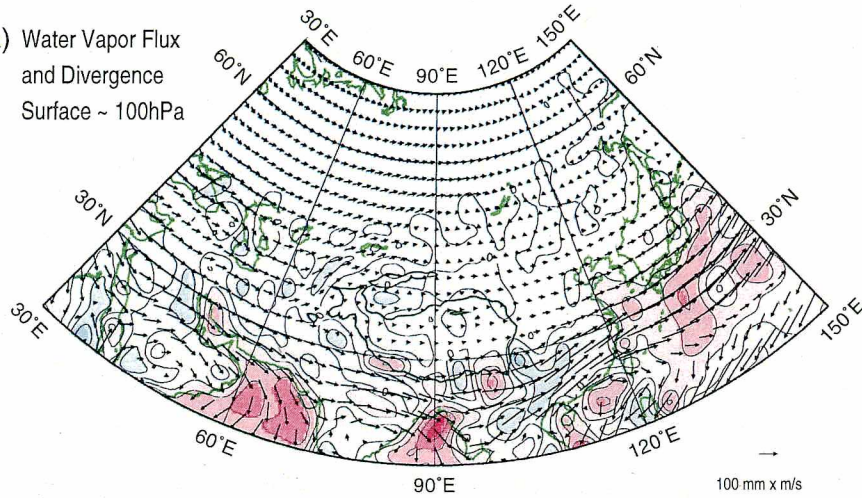
参考文献

- 沖 大幹・虫明功臣・増田耕一(1992):大気水収支法による地球規模での年河川流出量の算定. 水工学論文集 36, 573-578.
- 鬼頭昭雄・山崎孝治・時岡達志(1993):客観解析データによる夏季の中国北西部の水蒸気フラックス. 沙漠研究 3, 9-17.

- Asakura, T. (1971): Transport and source of water vapor in the Northern Hemisphere and monsoon Asia. Yoshino, M.M. ed.: *Water Balance of Monsoon Asia*. Univ. of Tokyo Press 131-151.
- Kubota, I. (1971): Seasonal variation in water vapor balance over the Northern Hemisphere and Asia. Yoshino, M.M. ed.: *Water Balance of Monsoon Asia*. Univ. of Tokyo Press, 53-73.
- Oki, T., K. Mushiake, H. Matsuyama and K. Masuda (1995): Global atmospheric water balance and runoff from large river basin. *Hydrological Processes* (in press).
- Peixoto, J.P. (1970): Pole to pole divergence of water vapor. *Tellus*, **22**, 17-25.
- Starr, V.P. and J. Peixoto (1958): On the global balance of water vapor and the hydrology of deserts. *Tellus*, **10**, 189-194.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith (1991): Free software helps map and display data, *EOS Trans. AGU*, **72**, 441, 445-446.
- Yatagai, A. and T. Yasunari (1993): The precipitation and water vapor transport over and around the arid and semi-arid regions of China. *Proceedings of The Japan-China international symposium on the study of the mechanism of desertification*, 349-355.

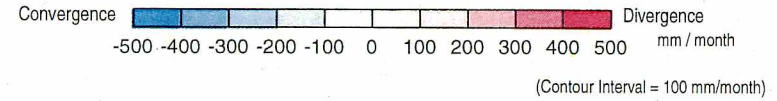
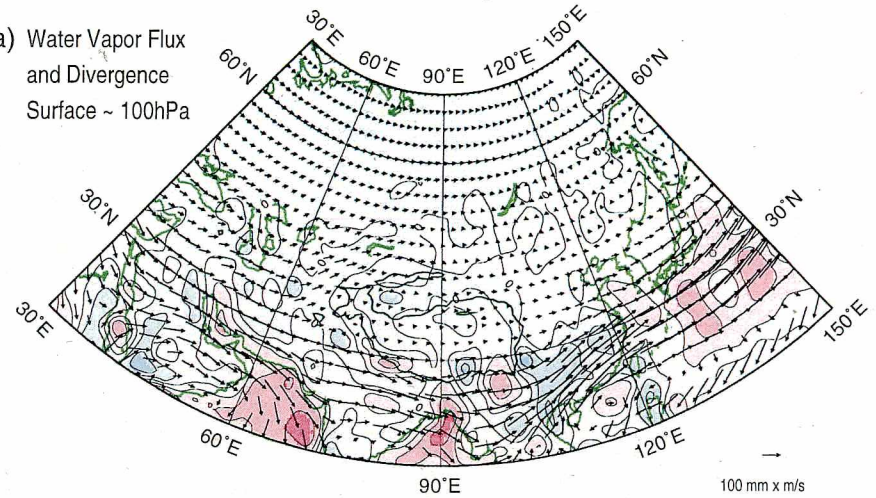
January Mean (1985~1989)

a) Water Vapor Flux and Divergence Surface ~ 100hPa

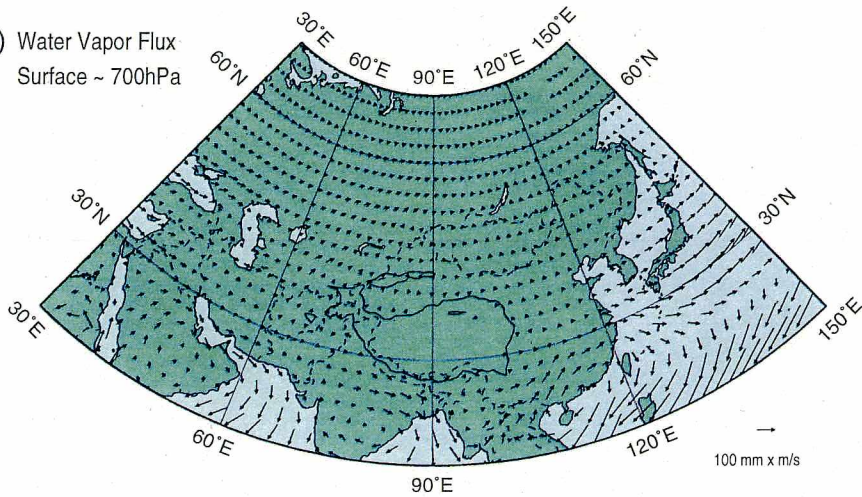


February Mean (1985~1989)

a) Water Vapor Flux and Divergence Surface ~ 100hPa



b) Water Vapor Flux Surface ~ 700hPa



b) Water Vapor Flux Surface ~ 700hPa

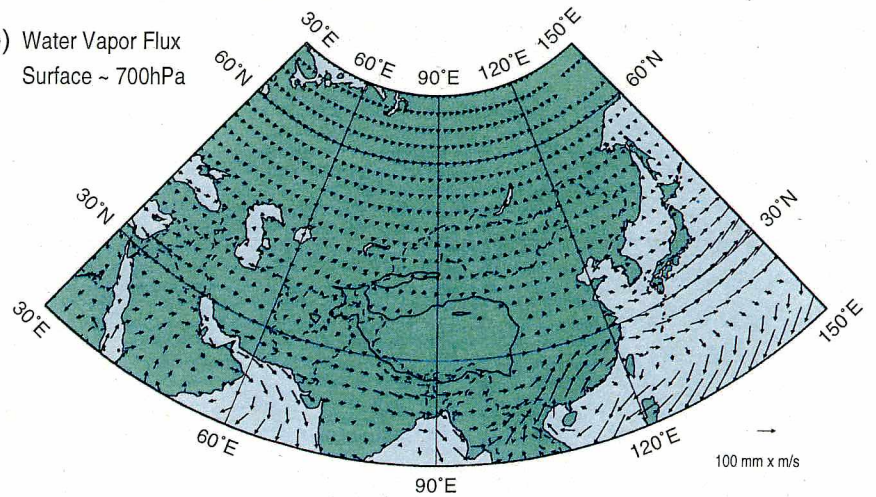
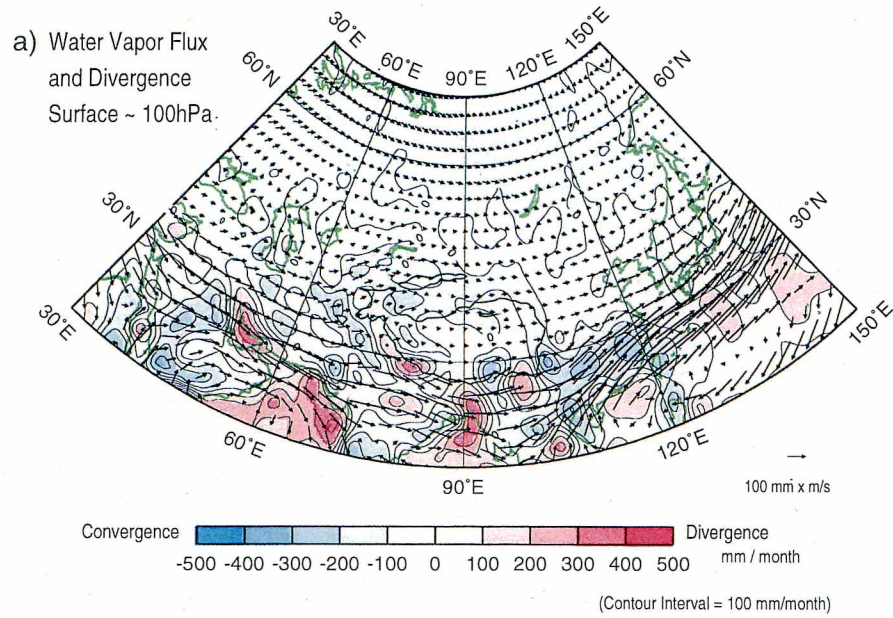


図1 1985年から1989年を平均した1月の水蒸気フラックスとその発散-収束。a) 矢印は地上から100hPaまで積分した水蒸気フラックス。桃色域は水蒸気発散, 水色域は収束を表す。b) 地上から700hPaまで積分した大気下層の水蒸気フラックス。

図2 図1に同じ。ただし2月。

March Mean (1985~ 1989)



April Mean (1985~ 1989)

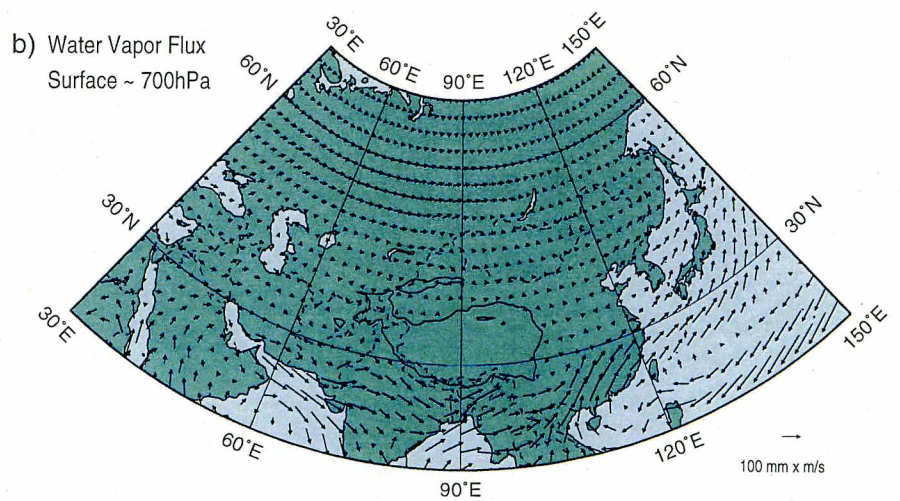
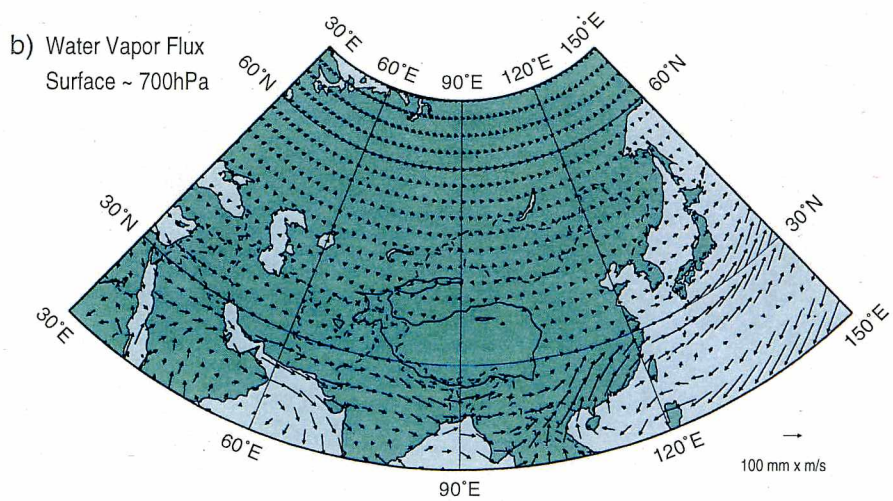
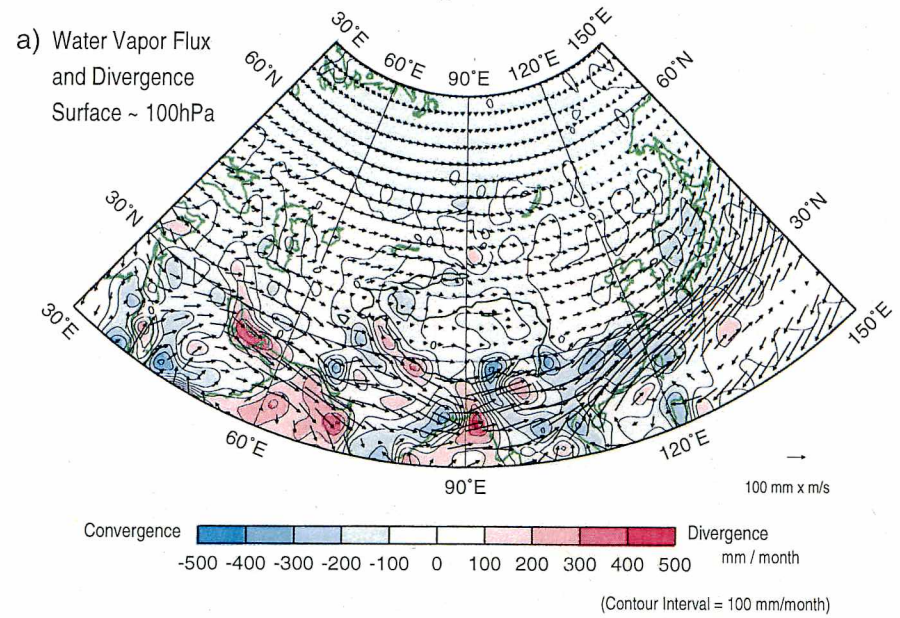


図3 図1に同じ. ただし3月.

図4 図1に同じ. ただし4月.

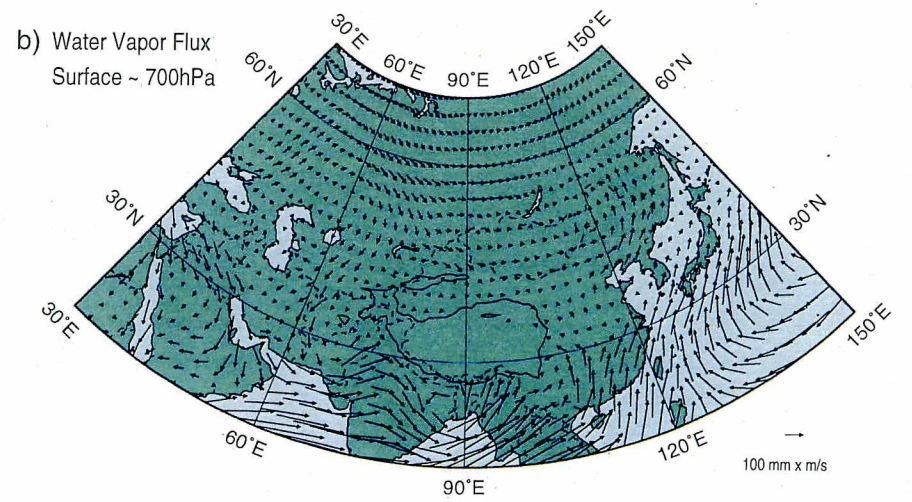
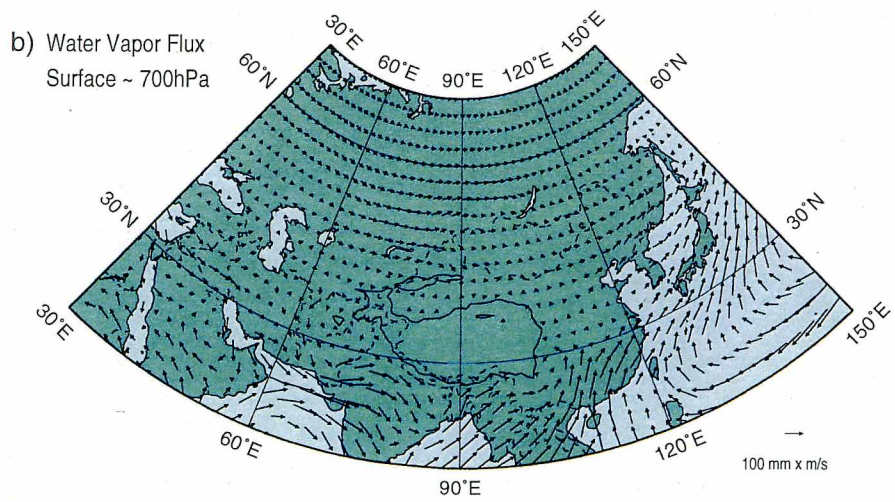
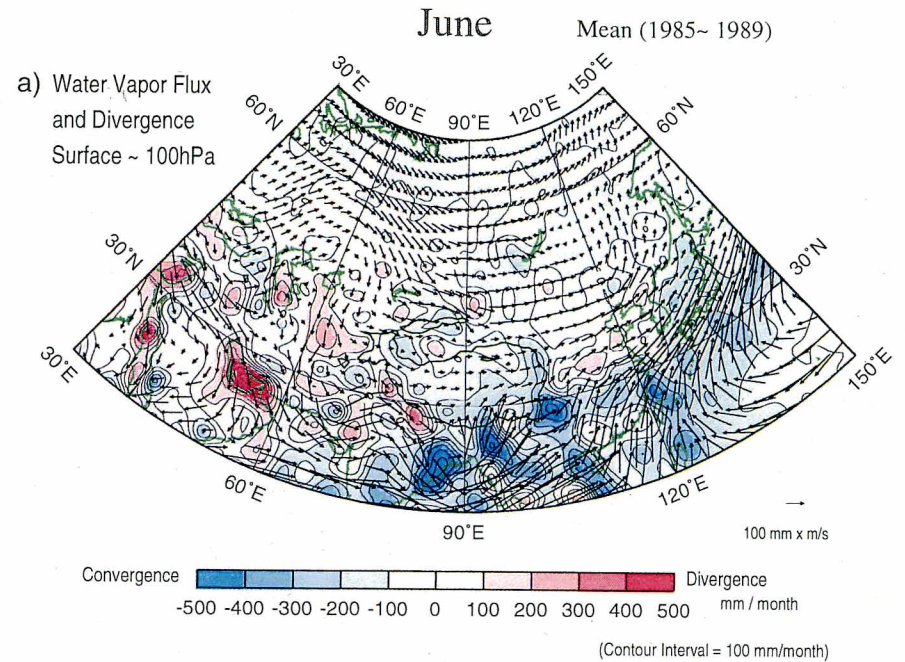
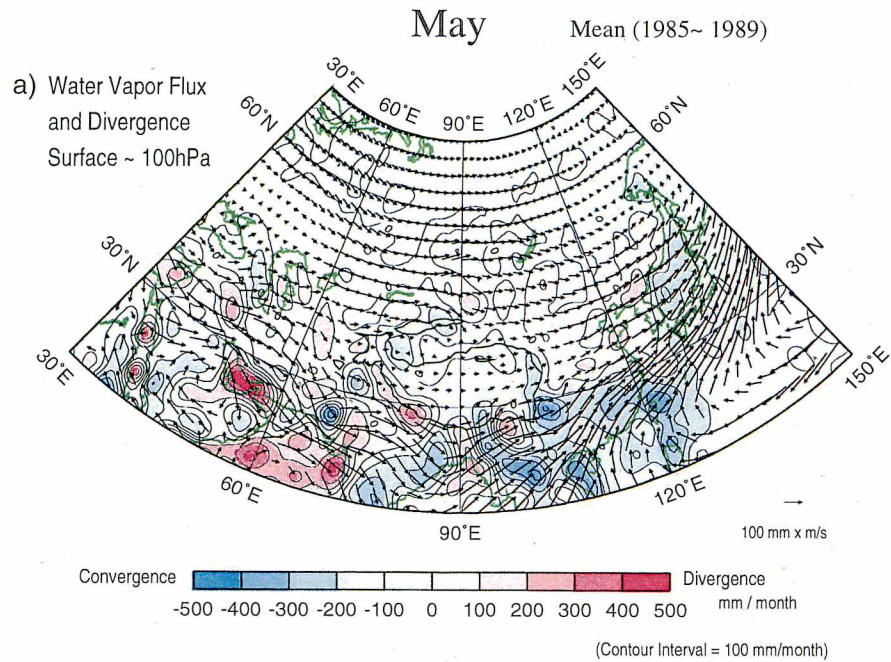
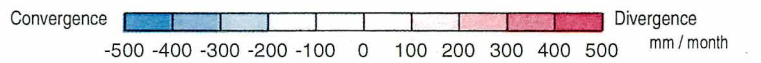
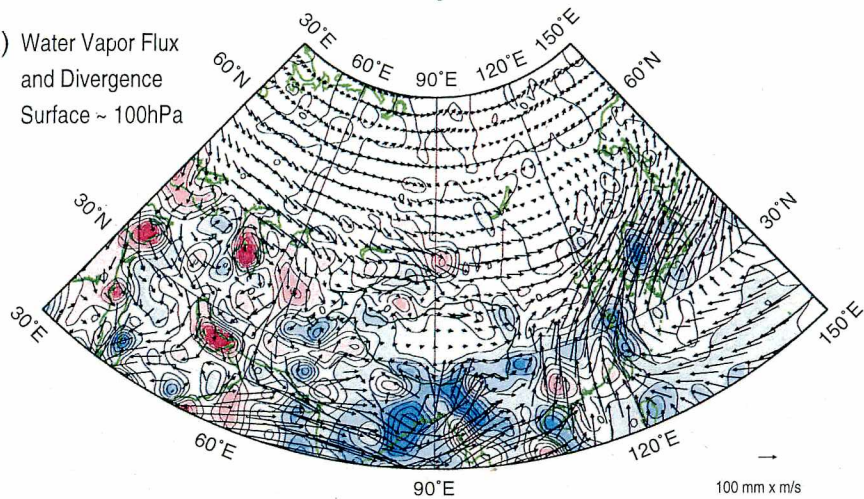


図5 図1に同じ。ただし5月。

図6 図1に同じ。ただし6月。

July Mean (1985~1989)

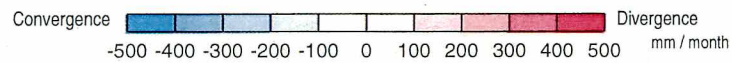
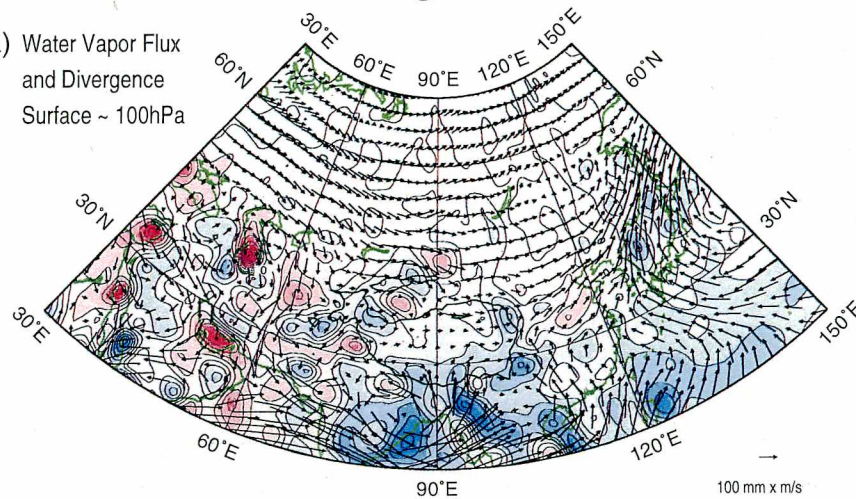
a) Water Vapor Flux and Divergence Surface ~ 100hPa



(Contour Interval = 100 mm/month)

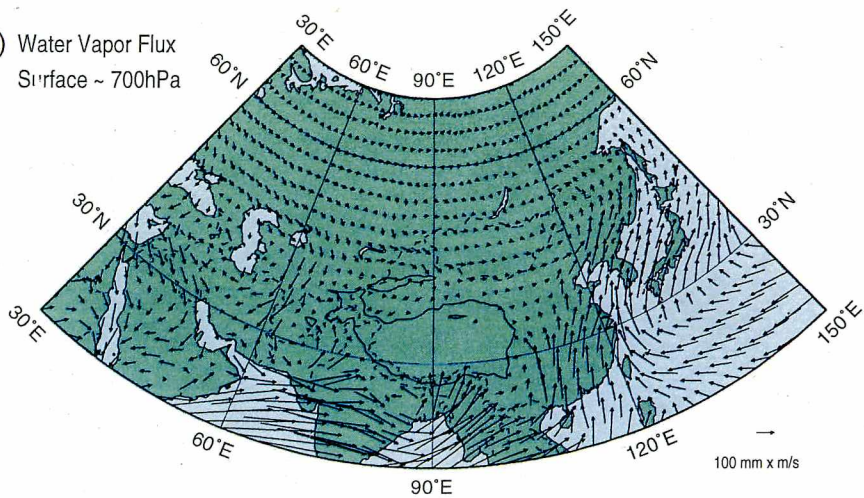
August Mean (1985~1989)

a) Water Vapor Flux and Divergence Surface ~ 100hPa



(Contour Interval = 100 mm/month)

b) Water Vapor Flux Surface ~ 700hPa



b) Water Vapor Flux Surface ~ 700hPa

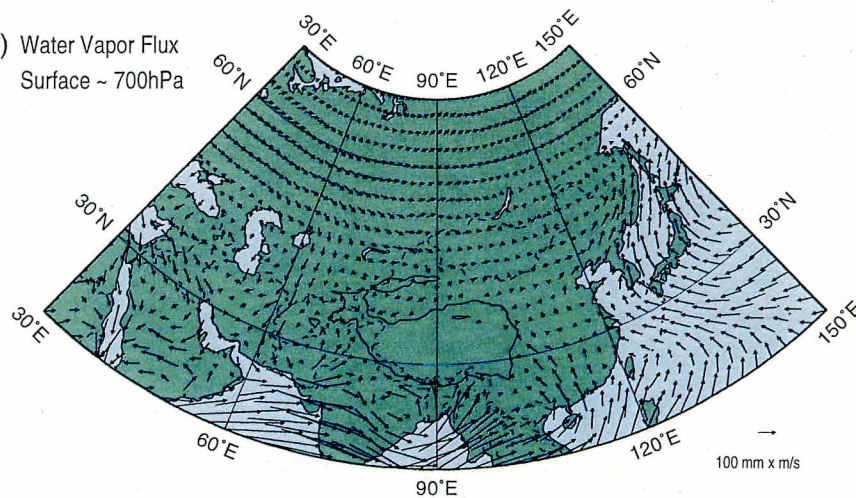


図7 図1に同じ.ただし7月.

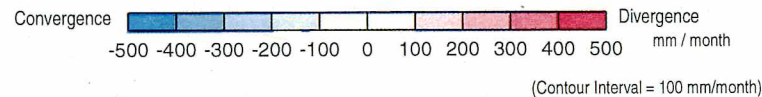
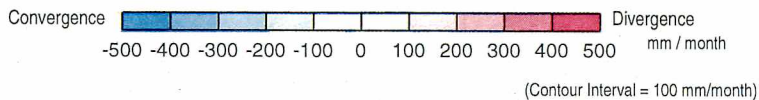
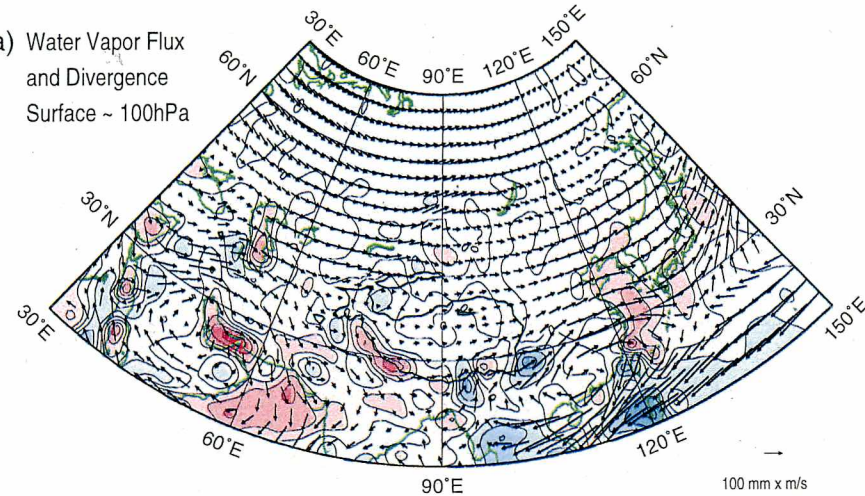
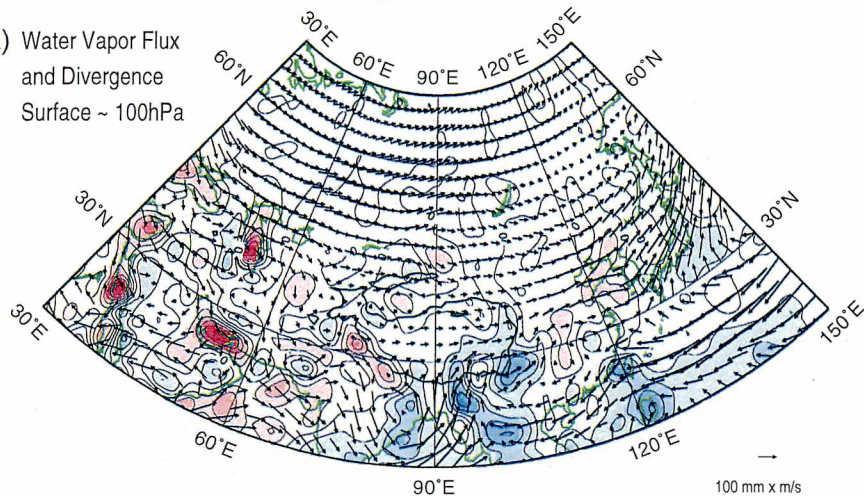
図8 図1に同じ.ただし8月.

September Mean (1985~1989)

October Mean (1985~1989)

a) Water Vapor Flux and Divergence Surface ~ 100hPa

a) Water Vapor Flux and Divergence Surface ~ 100hPa



b) Water Vapor Flux Surface ~ 700hPa

b) Water Vapor Flux Surface ~ 700hPa

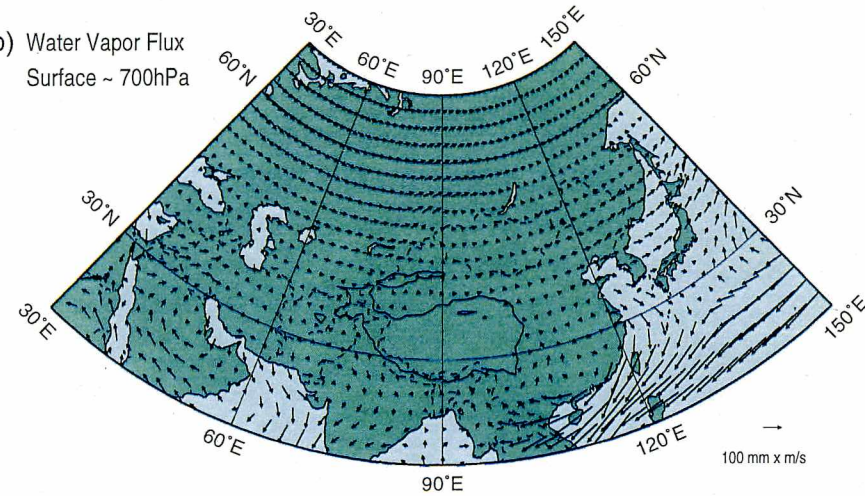
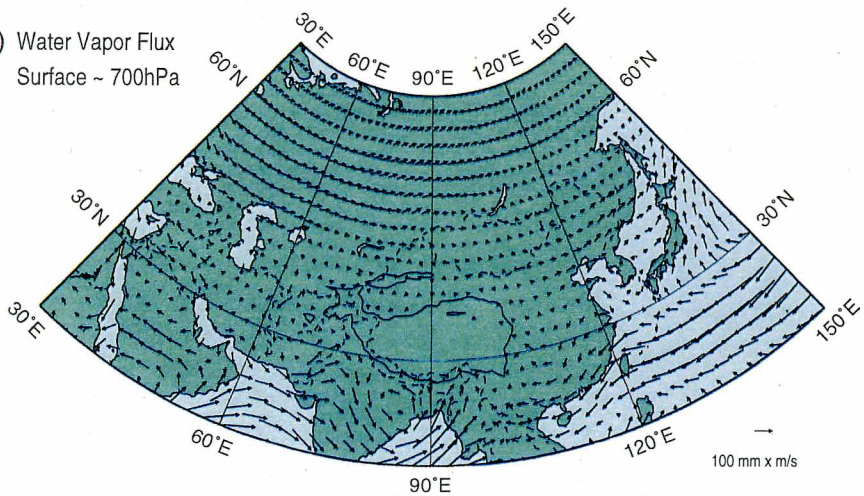
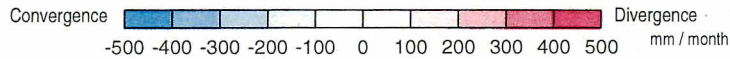
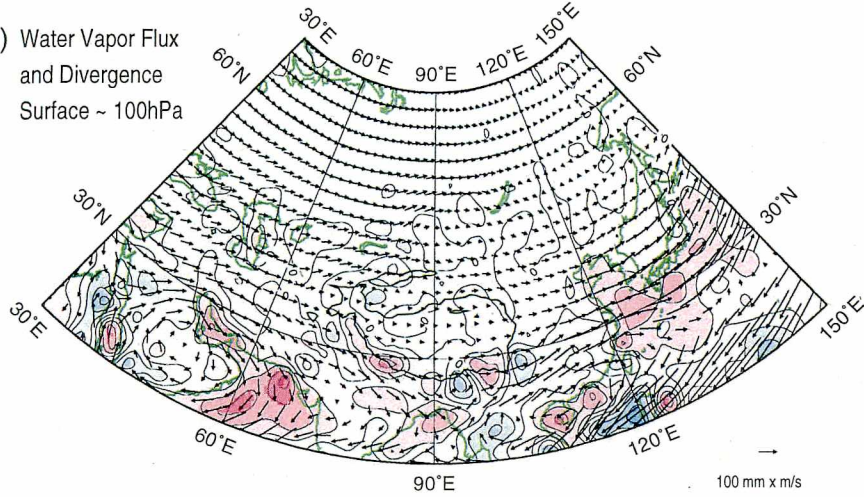


図9 図1に同じ. ただし9月.

図10 図1に同じ. ただし10月.

November Mean (1985~1989)

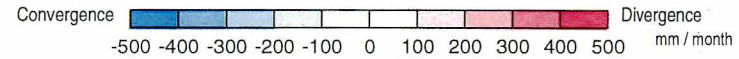
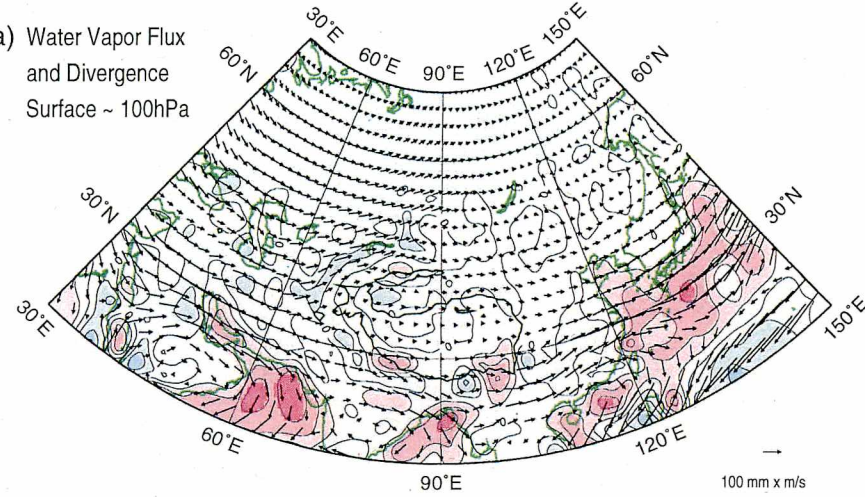
a) Water Vapor Flux and Divergence
Surface ~ 100hPa



(Contour Interval = 100 mm/month)

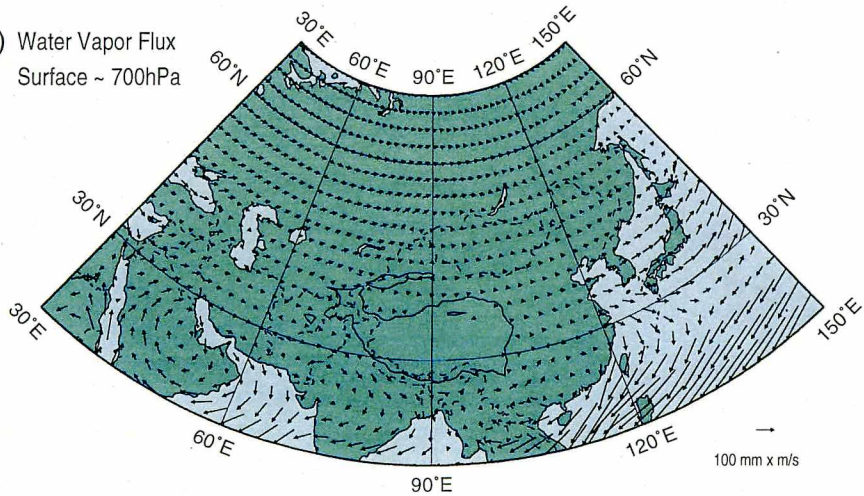
December Mean (1985~1989)

a) Water Vapor Flux and Divergence
Surface ~ 100hPa



(Contour Interval = 100 mm/month)

b) Water Vapor Flux
Surface ~ 700hPa



b) Water Vapor Flux
Surface ~ 700hPa

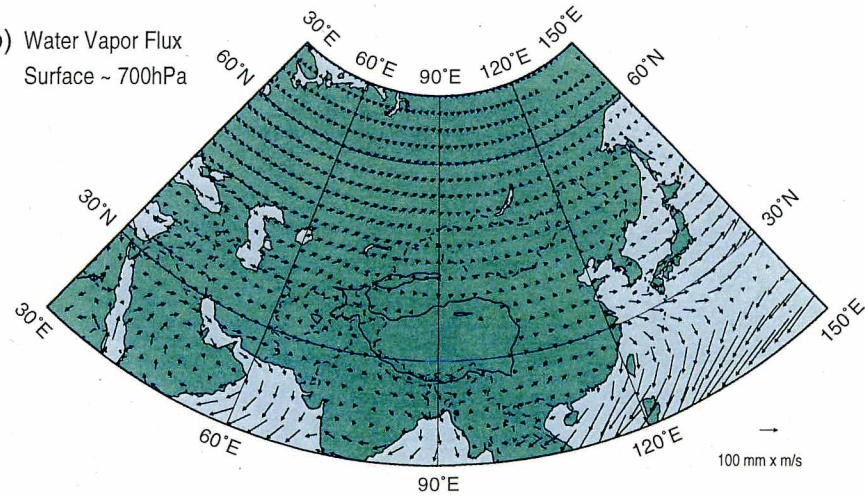


図11 図1と同じ.ただし11月.

図12 図1と同じ.ただし12月.