

流跡線解析に見られた1982年7月22-24日の九州豪雨期間の大規模循環場の状態

二 宮 洸 三*

要 旨

1982年7月22-24日の九州豪雨期間の大規模場の流跡線を調べた。22-23日(豪雨ピーク前)には、九州以東域には日本海域からの850hPa面流跡線が到着し低気圧東側の低湿度域を維持した。23日12時(豪雨ピーク時;UTC)には、豪雨域南側に南シナ海域・中国南部からの流跡線が到達して湿潤気流を維持した。

1. はじめに

1982年7月22-24日の九州豪雨に関する先行研究では、豪雨に関連した大規模環境場と中規模低気圧の変動が調べられている。

長浜(1984)は九州豪雨の環境場を次のように記述している:「オホーツク海高気圧が西方に伸びていた。500hPaの弱いトラフに伴った梅雨前線低気圧は朝鮮半島南岸に位置し、低気圧の温暖前線の近傍で豪雨が発生した」

Ogura *et al.*(1985)は九州豪雨の特徴を次のように記述している:「豪雨は朝鮮半島南岸の中規模低気圧から南東に伸びる温暖前線近傍で発生した。温暖前線近傍で強い南西流が侵入し、下層南風ジェット流が形成された。豪雨域では条件付き不安定成層が見られた。豪雨直前に線状降水系が南下し、長崎近傍で線状降水系が停滞し、塊状降水系に変化した」

Nagata and Ogura(1991)は数値モデル実験で、豪雨域の降水粒子からの蒸発の熱力学的効果を調べた。豪雨域におけるモデル出力データ(上昇流を含む)を使用して3次元流跡線解析で低気圧性循環が強化されていることを示した。3次元流跡線解析で使

れる上昇流は数値モデルに依存しているのでその妥当性の確認が必要であろう。

九州豪雨の環境場について二宮(2021)の記述を要約すると次のようになる「21日中国大陸上で発生した梅雨前線低気圧は23-24日には対馬海峡近傍に位置した。低気圧暖域に流入した下層湿潤気流に伴って雲クラスターが持続して豪雨をもたらした。23日前後には乾燥した高気圧域が低気圧の東側に停滞し、低気圧の東縁辺に南風下層ジェット、水蒸気傾度、強い渦度、上昇流、強い降水が維持された。24-25日には低気圧は衰弱し、豪雨域は九州北西部から南東部に移り降水量は減少した。」日本では下層湿潤気流を「湿舌」と表現している。「湿舌」は梅雨前線帯のAR(atmospheric river; Ralph *et al.* 2004)である。

2. 豪雨域周辺の流跡線解析

流跡線解析は大規模流による大気物質の輸送を調べるためにも使用されており(Negral *et al.* 2012)、流跡線解析は豪雨の大規模環境場の観察にも有用であるが、九州豪雨期の大規模場の流跡線解析の報告は無い。

3. 1982年7月の大規模場の流跡線解析図

1980年代、気象庁数値予報課では数値予報データを用いた幾つかの解析図が試作された。上野(当時数値予報課在職)は「等圧面上の後方流跡線解析図」(水平流のみで流跡線を求める)を作成した。

1982年7月の流跡線解析には当時の現業8層380km

* Kozo NINOMIYA (無所属).
knino@cd.wakwak.com

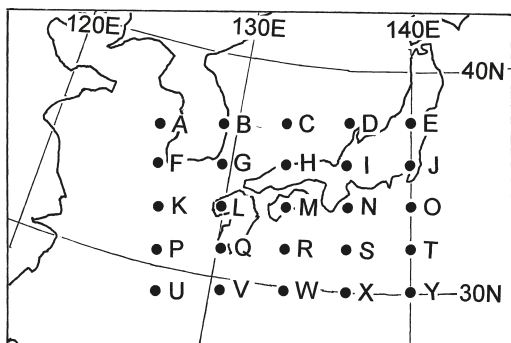
—2022年8月30日受領—
—2023年2月8日受理—

格子北半球プリミティブモデル（滝川 1983）の予測データを使用し、1時間間隔で気塊の位置を遡って求めた。なお上野は他の開発業務に専念したため流跡線

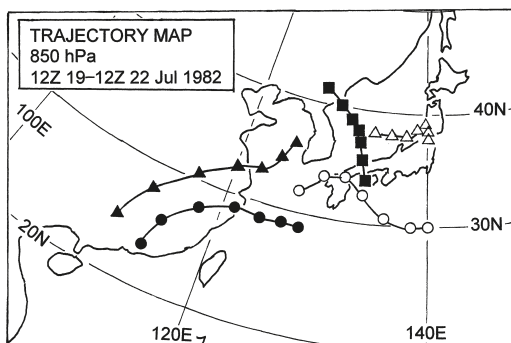
解析を用いた事例調査を行っていない。

本報告の主目的は九州豪雨域周辺を含む日本列島周辺の大規模風速場の変動を流跡線解析によって調べることであり、上記の1982年7月の解析図を使用した。

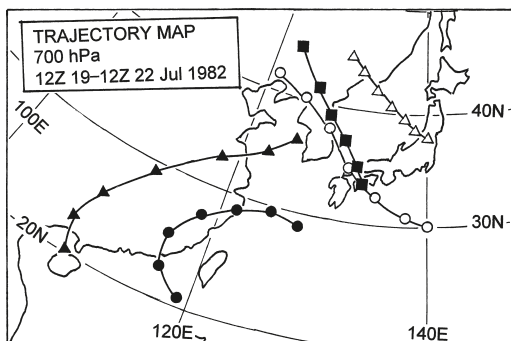
1982年7月の後方流跡線解析図では、第1図に示した25点の格子点を終点とする25本の流跡線が示されている。25本の流跡線を1枚の図に図示してあり複雑で観察し難いので本報告では第1図のA, U, M, E, Yの5点を終点として選び、7月22日12時（UTC、以下同じ）、23日12時、24日12時を終点とする72時間流跡線図を図示する。



第1図 流跡線解析の終着点に選ばれた25格子点。



第2図 1982年7月22日12時（UTC）を終点とする19日12時-22日12時の850hPa面流跡線。12時間間隔の位置が示してある。第1図の格子点A, U, M, E, Yを終点とする流跡線を▲, ●, ■, △, ○で示す。第3図以降でも同じ記号を使用する。



第3図 1982年7月22日12時（UTC）を終点とする19日12時-22日12時の700hPa面流跡線。

4. 7月22日12時を終点時とする流跡線

第2図に、豪雨発生前の1982年7月22日12時を終点とする19日12時-22日12時の850hPa面後方流跡線を示す。図には流跡の12時間間隔の位置が示してある。格子点A, U, M, E, Yを終点とする流跡線上の12時間間隔の位置を▲, ●, ■, △, ○で示した（第3図以降でも同じ記号を使用する）。

第2図から次の状況が観察される；A点に到る流跡線は中国南部から東シナ海上空を経て到達し、U点に到る流跡線は中国南部から東シナ海南部（湿潤域）を經由して到達した。豪雨域に向かう湿潤流はこの流跡線に沿っていた。E点には日本海域（低湿度域）から、Y点には九州西岸海域から流跡線が到着している。M点に到る流跡線は中国北東部-朝鮮半島北部（低湿度域）から到達し、豪雨域東側の低湿度気塊（二宮 2021）をもたらした。

第3図は1982年7月22日12時を終点とする19日12時-22日12時の700hPa面後方流跡線図である。E, Y, M点に到る流跡線は中国北東部（低湿度域）から到着し、A, U点には南シナ海-中国南部（湿潤域）から流跡線が到着している。この2種類の流跡線の境界は、130E近傍に見られた顕著な水蒸気傾度帯（二宮 2021）に対応している。

5. 7月23日12時を終点時とする流跡線

第4図に1982年7月23日12時（豪雨ピーク時）を終点時とする20日12時-23日12時の850hPa面後方流跡線を示す。A点に到る流跡線は中国南部から東シナ海上空を経て到達、U点に到る流跡線は南シナ海上の湿潤域から南西諸島域を經由して到達した。豪雨域に向かう湿潤流（二宮 2021）はこの流跡線に沿って出現していた。Y点に到る流跡線は東シナ海から日本列島南岸

海域を経て到達し、E 点に到る流跡線は関東沖近海域から到達している。M 点に到る流跡線は朝鮮半島上の低湿度域から九州南方域を経て到達し豪雨域東側の低湿度域を維持している。

第5図は1982年7月23日12時を終点とする20日12時-23日12時の700hPa 面後方流跡線図である。E 点、Y 点に到る流跡線は、日本海北部、東シナ海北部（低湿度域）から到達している。A 点に到る流跡線は中国中部から到達し、M 点、U 点に到る流跡線は南シナ海（湿潤域）から到達している。

第6図は1982年7月23日12時を終点とする20日12時-23日12時の500hPa 面後方流跡線図である。第6図に見られる500hPa 流跡線の多くは500hPa の基本流である西北西風に沿っている。U 点に到る流跡線は中国南部から到達し、他の格子点に到る流跡線はすべて中国中北部（低湿度域）から到達している。この500hPa 面の様相は豪雨ピーク時の前後にもほぼ共通して見られた。

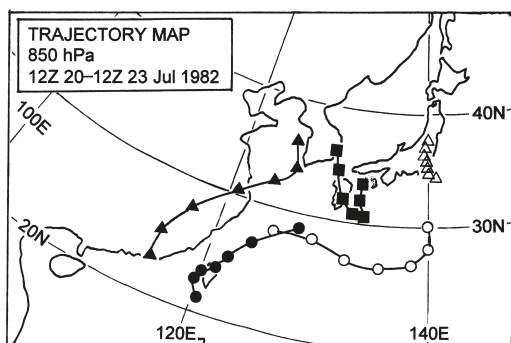
豪雨域に到る下層の流跡線は台湾近傍の南シナ海

（湿潤域）から南西諸島域を経由して到達し豪雨域に向かう湿潤流を維持し、中層の中国中部（低湿度域）からの流跡線は、豪雨域西方の低湿度層を維持した。中緯度帯中層（低湿度域）からの流跡線は豪雨域西方の対流不安定層（二宮 2021）の維持に寄与した。

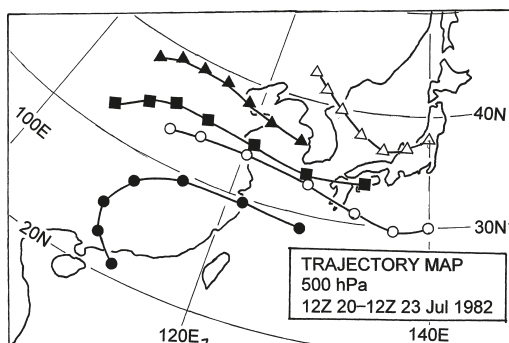
6. 7月24日12時を終点とする流跡線

第7図に、1982年7月24日12時（九州豪雨ピーク後）を終点とする21日12時-24日12時の850hPa 面流跡線を示す。A、U 及び M 点に南シナ海—中国南部（湿潤域）からの流跡線が到着し、Y 点に日本列島南方の太平洋域から流跡線が到着している。この状況下で豪雨域は九州南部・四国南部に移動している（二宮 2022）。南シナ海—中国南部（湿潤域）からの流跡線は東日本には到着せず、豪雨域も東日本に進んでいない。

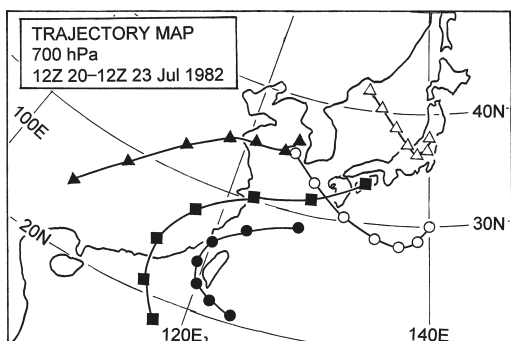
第8図に1982年7月24日12時を終点とする21日12時-24日12時の700hPa 面流跡線を示す。A 点には黄海から、M 点には中国中部から流跡線が到着し、U 点に



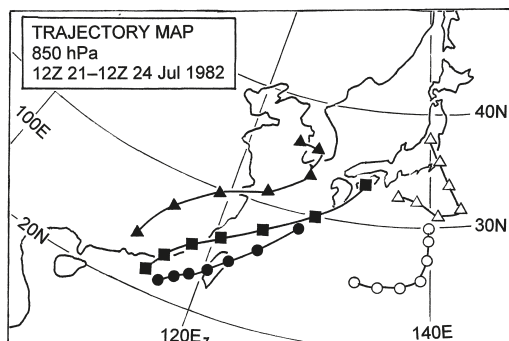
第4図 1982年7月23日12時を終点とする20日12時-23日12時の850hPa 面流跡線。



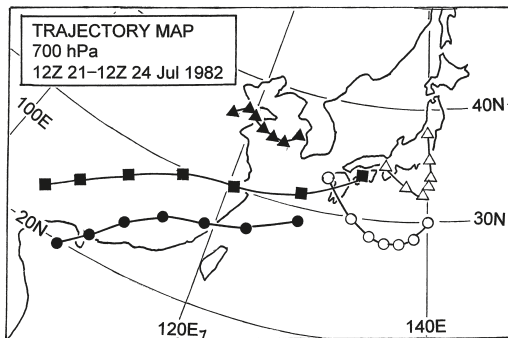
第6図 1982年7月23日12時を終点とする20日12時-23日12時の500hPa 面流跡線。



第5図 1982年7月23日12時を終点とする20日12時-23日12時の700hPa 面流跡線。



第7図 1982年7月24日12時を終点とする21日12時-24日12時の850hPa 面流跡線。



第8図 1982年7月24日12時を終点とする21日12時-24日12時の700hPa 面流跡線。

のみ中国南部（湿潤域）からの流跡線が到着し、Y 点には九州近傍からの流跡線が日本列島南方を經過して到着している。700hPa 面流跡線の状況にも西日本と東日本の間に顕著な差異が見られた。

7. 検討が必要な問題点

7.1 等圧面の流跡線解析の意義

気塊は等圧面に束縛されないので等圧面流跡線解析の意味は不明確であり、湿潤大気中では温位は保存量ではないので等温位面の流跡線の意義もまた不明確である。しかし豪雨域周囲の大規模場の循環系の様相を観察するには等圧面流跡線解析も有効であろう。九州豪雨期の先行報告の等圧面解析図から「流跡線の起点の状況（水蒸気場など）」を知るには等圧面流跡線図は便利である。今後、多事例における等圧面流跡線と温位面流跡線の比較検討が望まれる。

7.2 等相当温位面の流跡線解析の意義

相当温位は湿潤過程での保存量だが、「格子スケール（格子点で表現されるスケール）の相当温位は対流域では保存量ではない」（付録参照）。したがって等相当温位面の流跡線解析の意味もまた不明確である。

7.3 海面からの水蒸気補給と流跡線解析

梅雨期の「大気の川；AR」の生成・維持には海面からの水蒸気補給が重要なことは Sekizawa *et al.* (2019), Kawano and Kawamura (2022) が指摘している。流跡線に示された気塊の水蒸気量の変化も興味深いが、本報告ではこの解析を行っていない。気塊の水蒸気量は飽和すればそれ以上増加せず、気塊が北東進すると気温が低下し飽和水蒸気量も減少する（二宮 2021）。

海洋からの水蒸気補給は再解析データや大気モデルデータによっても評価される。Ninomiya *et al.* (2003)

は大気モデルにより梅雨期に南シナ海域・黒潮流域に大きな水蒸気補給が現れることを確認している。

気塊の経路は大規模風系に依存し、上記の海域上で形成された湿潤気塊が常に日本に到達するとは限らない。大きな水蒸気流速は下層南西風に伴っており、豪雨は気流の収束・水蒸気流速収束の条件下で発現している（二宮 2021）。豪雨期の大規模風速場の変動を観察するには、等圧面流跡線解析も有効である。

7.4 他豪雨事例との比較

本報告が対象とした九州豪雨の特徴として、「低気圧の停滞、強い上昇流の継続、厚い湿潤中立層の維持、低気圧に流入する下層湿潤流の持続」があげられる。本事例の流跡線場の様相が豪雨の共通の様相であるかどうかを確認するには他事例の解析が必要である。なお豪雨の発生条件を正確に論ずるためには対流圏最下層の循環を調べる必要があり、今後の調査では対流圏下層（925hPa）の流跡線解析が望まれる。本短報が豪雨期大規模環境場の理解のために流跡線解析についての関心を励起すれば幸いである。

8. まとめ

上野が作成した後方流跡線解析図を用いて1982年7月22-24日の九州豪雨期間の大規模環境場の状況を調べた。その結果は下記のように要約される。

- ①豪雨期間には東日本と南西日本に到達する流跡線の間の顕著な差異がみられた。22-23日には九州以東地域には日本海域からの850hPa 面流跡線が到着し低気圧東側の低湿度域を維持した。23日12時（豪雨ピーク時）には豪雨域南側に南シナ海域・中国南部の湿潤域からの流跡線が到来し湿潤気流を維持した。
- ②解析期間を通じて、流跡線場の状況は豪雨環境場の状況（低気圧暖域内の下層湿潤南西流、低気圧東側の低湿度域、低気圧暖域と低湿度域の温暖前線の境界）と整合的であった。
- ③豪雨の発現は複数の要因の組み合わせで決定されるので、多くの事例解析が必要である。

謝 辞

1982年7月の流跡線解析図を提供下さった上野 充元気象研究所物理気象研究部長に感謝し、この事例調査の遅れをお詫びします。

参 考 文 献

Kawano, T. and R. Kawamura, 2022: Remote effect of

- Kuroshio warm SSTs in the East China Sea on heavy rainfall in southern Kyushu, Japan on 3 July 2020. SOLA, 18, 205-210.
- 長浜宗政, 1984: 1982年7月23日長崎豪雨の総観解析. 気象庁技術報告, 第105号, 22-36.
- Nagata, M. and Y. Ogura, 1991: A modeling case study of interaction between heavy precipitation and low-level jet over Japan in the Baiu season. Mon. Wea. Rev., 119, 1309-1336.
- Negral, L., S. Moreno-Grau, X. Querol, J. Moreno, M. Viana, A. García-Sánchez, A. Alastuey and J. Moreno-Clavel, 2012: Weak pressure gradient over the Iberian Peninsula and African dust outbreaks: a new dust long-transport scenario. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 1125-1132.
- 二宮洸三, 2021: 1982年7月23-24日の九州豪雨を伴った梅雨前線低気圧の事例解析 第I部: 低気圧の発達と構造. 天気, 68, 131-148.
- 二宮洸三, 2022: 九州豪雨に継続した1982年7月24-25日の四国・紀伊豪雨の事例調査. 天気, 69, 671-677.
- Ninomiya, K., T. Enomoto, T. Nishimura, T. Suzuki and S. Matsumura, 2003: Synoptic- and meso- α -scale variations of the Baiu front simulated in an AGCM. J. Meteor. Soc. Japan, 81, 1387-1405.
- Ogura, Y., T. Asai and K. Dohi, 1985: A case study of a heavy precipitation event along the Baiu front in northern Kyushu, 23 July 1982: Nagasaki heavy rainfall. J. Meteor. Soc. Japan, 63, 883-900.
- Ralph, F. M., P. J. Neiman and G. A. Wick, 2004: Satellite and CALJET aircraft observations of atmospheric rivers over the eastern North Pacific Ocean during the winter of 1997/98. Mon. Wea. Rev., 132, 1721-1745.
- Sekizawa, S., T. Miyasaka, H. Nakamura, A. Shimpo, K. Takemura and S. Maeda, 2019: Anomalous moisture transport and oceanic evaporation during a torrential rainfall event over western Japan in early July 2018. SOLA, 15A, 25-30.
- 滝川雄壮, 1983: 8層北半球モデル. 電子計算室報告別冊, (29), 31-44.

付録: 相当温位変化の考察

相当温位 θ_e は湿潤過程における保存量であり, その保存は下記のように表現される.

$$(\partial \theta_e) / \partial t + \nabla \cdot (V \theta_e) + \partial (\omega \theta_e) / \partial p + \partial (\omega' \theta_e') / \partial p = 0 \quad (A1)$$

A1式の気象変数は「環境場における値」(格子面積平均値)を意味し, ' は平均値からの偏差 (積雲対流規模の) を示し, $\omega' \theta_e'$ は積雲対流による相当温位の対流輸送の面積平均値を示す. 対流輸送量は地表で0であり, 中層で最大となり, 対流圏上端で0となる.

A1式の第4項は「相当温位の対流輸送項」である. 対流域では「対流輸送項」のため「格子点スケールの相当温位」は保存されない.

Large-Scale Wind-Field of Kyusyu Intense Rainfall in 22-24 July 1982, Seen in Trajectory Analysis

Kozo NINOMIYA

E-mail: knino@cd.wakwak.com

(Received 30 August 2022; Accepted 8 February 2023)

Abstract

The large-scale features during the Kyusyu intense rainfalls in 22-24 July 1982 were studied based on trajectory analysis. In 22-23 July, the trajectories at 850hPa surface arriving in eastern Japan from the Japan Sea area maintained the dry area to the east of the intense rainfall area. In the peak period of the intense rainfalls around 12 UTC 23 July, the trajectories from the South China Sea and the southern part of China to the intense rainfall area sustained the low-level moist currents.