# 1982年7月23日の九州豪雨域上空で観測された上部対流圏の様相

## 二 宮 洸 三\*

### 要 旨

1982年7月23日の九州豪雨上空の上部対流圏の様相を観測データ・再解析データに基づいて調べた、21日中国大陸上で発生した梅雨前線中規模低気圧は23日に対馬海峡上に達し、低気圧暖域で持続した雲クラスター内のメソスケール対流系が九州豪雨をもたらした.豪雨域上空の200hPa面で分流(diffuence)・発散が観測された.気象衛星赤外雲画像・雲頂黒体温度(T<sub>BB</sub>)データは、豪雨域上空の-70℃のT<sub>BB</sub>低温域、その東側の弧状(三日月状)のT<sub>BB</sub>高温域、さらに外側に弧状の低温域を示した.本事例の様相を先行事例報告と比較した.これらの事例には低温T<sub>BB</sub>域、上層の発散・分流の共通点が見られたが、事例間に差異も見られた.

## 1. はじめに

1982年7月23-24日の九州豪雨に関する幾つかの先 行研究(二宮(2021b)の参考文献参照)では,豪雨 を伴った梅雨前線中規模(メソα規模)低気圧の内部 的変動やメソβ-γ規模降水系のみが調べられ,豪雨域 上空の変動は注目されていない.一方,米国の対流性 擾乱上空の風速場の変動は以前から注目されており, Ninomiya (1971), Maddox *et al.*(1981)は対流域上空 の対流圏上部の発散場と高気圧性循環場の形成を報告 している.九州豪雨域上空でも類似な状況が発現した であろうか?この疑問が本調査の動機である.

なお米国の対流性擾乱が発生する暖候期と梅雨期 (アジア夏季モンスーン期)の上部対流圏の基本場は異 なる.梅雨期7月の200hPa平均場を見ると、~30°N、 70-110°Eに位置したチベット高気圧から高気圧ゾー ンが北西太平洋上に伸びている(Tao and Chen 1987).1981年7月の200hPa平均場では速度ポテン シャル極大域(発散域)は15N°,120°E(チベット高

*	Kozo NINOMIYA	(無所属).		
	knino@cd.wakwak.	com		
			-2021年7月26日	受領一
			-2021年10月1日	受理一

© 2022 日本気象学会

気圧の南側)付近に現れている(村上 1986).米国の 暖候期にはこのような高気圧ゾーンは見られない.

本報告は、1982年7月23-24日の九州豪雨域上空の 上部対流圏と雲域の状況を調査し、類似例の先行報告 と比較検討した.

#### 2. 使用した観測データ・解析図・再解析データ

- (1) 日本およびその近傍の高層観測データ
- (2) 静止気象衛星(GMS)で観測された雲移動ベクトル
- (3) 赤外(IR) 雲画像
- (4) GMS で観測された雲頂黒体温度(T<sub>BB</sub>)分布図
- (5) 再解析データ: ERA40(Uppala et al. 2005:1.125° 格子データ)

#### 3. 1982年7月23日の九州豪雨の概況

二宮(2021a, b)は九州豪雨の状況を下記の様に述 べている.「21日中国大陸で発生した梅雨前線中規模 低気圧は23日に対馬海峡上に達し,低気圧暖域で維持 された雲クラスター内部で発生したメソスケール降水 系が九州豪雨をもたらした.豪雨のピークは23日09-15時(UTC)に九州西部域で発現した.豪雨は狭域に 集中し地点降水量の極大値は100mm h<sup>-1</sup>に達した」 4. 高層観測データが示した豪雨域上空の風速場

第4節では,豪雨域上空の状態を観測データによっ て調べる.第1図は,23日12時(豪雨ピーク時)にお ける200hPa高度・風速観測値分布図である.各観測点 の国際地点番号(日本の地域番号47は省略)を付した. 778 (潮岬:×印)の高度データに時間的不連続が見ら れたので図示していない.図には降水量20mm h<sup>-1</sup>以 上の雨域を示した.亜熱帯ジェット軸は35°N付近にあ り12420mの等高度線に囲まれた高気圧ゾーンがチ



第1図 23日12時における200hPa高度・風速観測
値(1風矢羽根=5ms<sup>-1</sup>)分布図.各観
測点の国際地点番号(地域番号47は省略)
を付した.×印は欠測を示す.太破線は降
水量20mm h<sup>-1</sup>以上の雨域を示す.



第2図 a)は47-807(福岡), b)は47-827(鹿児島)の23日12時における観測風のホドグラフ. 鹿児島上空の上部対流圏では北風成分の増加が著しい.

ベット高気圧から東に伸びている.豪雨域北側の807 (福岡)と南側の827 (鹿児島)の間に著しい風向差 (風 向発散)と高気圧性循環が見られる.

第2図は23日12時における47-807(福岡)と47-827 (鹿児島)における観測風のホドグラフである.豪雨域 南側の鹿児島における上部対流圏で北風成分の増加が 著しい.ホドグラフで温度風を考えれば,豪雨域上空 の相対的高温域が推定される.

次に上層風の時間的変化を確かめる.第3図は,観 測された上層風速の時系列データ(22日12時から24日 12時の期間)である.第3図aは福岡の200hPa風速, 第3図bは鹿児島の200hPa風速,第3図cは鹿児島の 300hPa風速である.第3図のa)とb)は200hPa風速 の南北シアーを示している.両地点の風向差は23日12





第4図 23日12時における上層雲移動ベクトル(1 風矢羽根=5 m s<sup>-1</sup>). 黒丸は250hPa 面 データ,白丸は200hPa 面データを示す. 気象衛星センター技術報告(1982)解析図 に加筆.

時において最も大きい.第3図のb)とc)は鹿児島 の200-300hPa間の鉛直シアーを示す.200hPa風の北 風成分の増加も23日12時に最も大きい.

広域の風速分布を知るため、第4図に23日12時にお ける上層雲移動ベクトルを示す.黒丸は250hPa面 データを,白丸は200hPa面データを示す.豪雨域近傍 の雲移動ベクトルの観測は無いが,周辺場の状況は確 認される:高気圧ゾーンは145°E付近まで伸びており, 27°N/125-130°E (豪雨域上空)付近に見られる分流場 は高気圧ゾーン内に発現している.

## 5. 静止衛星データで見られた豪雨域上空の変動

第5節では、豪雨域上空の雲分布の変動を静止気象 衛星観測データによって調べる.第5図 a, b は23日 05:31と23日11:31の赤外(IR)画像である.この IR 画像では  $T_{BB}$ 低温域は白く、高温域は黒く表示されて いる.地上・レーダ観測データの解析(二宮 2021b) によれば、23日06時には九州北西部に豪雨域があり、 12時には豪雨域が九州中西部に移動していた.なお、 九州西方海上(32.5°N/127.5°E付近)にクラスターに 後続する孤立した対流雲域( $T_{BB}$ -40°C;第6図)が出 現している.その後この対流雲は発達し既存のクラス ターに接近・併合した(15時頃).

第5図 a, bは「豪雨域の T<sub>BB</sub>低温域のおよそ500km 外 周にT<sub>BB</sub>高温域と, さらにそ の外側を取り巻くやや低温の 弧状 T<sub>BB</sub>域」を示している. 第5図の a) と b)を比較す ると,外周の T<sub>BB</sub>高温域と, その外側の T<sub>BB</sub>低温域が東方 に移動していることが観察さ れるが,高層観測データでは この移動を確認できない.

雲分布の状況を第6図 (23 日12時の  $T_{BB}$ 分布図) で詳し く観察する. この  $T_{BB}$ 分布図 は東西幅約20km,南北幅約 40km 域内のおおむね60個の 画素データの平均値から作図 されている(気象衛星セン ター 1982).  $T_{BB}$ 画素の幅は 赤道で東西・南北約5 km, 40°N 付近では南北約10km で



11:31 UTC 23

第5図 豪雨期間の IR 画像.a) は23日05:31の IR 画像,b)は23日11:31の衛星 IR 画像(気 象衛星センター技術報告(1982)より引用).

10 20 40N n 10 -10 10 20: 10 C' 0 -10 40<sup>°</sup> <sup>\</sup>C -40 -30 30 ·-40 W -10 -10 10 -20 30 C 20 70. -60 40 20 10 -30 Ŵ 30N-6 30 -10 -30 0 -20 -20 -20 30 -20 -10 0 -10 20 220 100 ·20 /140E 301

30N

cloud-top TBB (°C): 12 UTC 23

第6図 23日12時の T<sub>BB</sub>分布図. 等値線間隔は10°C. 低温域は C で, 高温域は W で示す. 気象衛星センター (1982) 掲載図に加筆.

ある.第6図では九州中部 ( $32.5^{\circ}$ N/ $131^{\circ}$ E 付近)上空 に $-70^{\circ}$ Cの T<sub>BB</sub>低温域があり, T<sub>BB</sub>低温域西側(風上側) では T<sub>BB</sub>の水平傾度は非常に大きい. T<sub>BB</sub>低温域の東側 に雲クラスターの雲域が広がっている.

雲頂 T<sub>BB</sub>と気温を比較するため第1表に23日12時に おける鹿児島の上部対流圏の観測データを示した.

第1表 23日12時の鹿児島(47-827)の高層データ.

気圧 (hPa)	高度 (m)	気温 (℃)		
300	9680	-27.1		
250	10970	-36.1		
200	12480	-48.7		
150	14300	-64.4		
125	15400	-72.3		
116(圏界面)	15840	-75.7		

豪雨域の雲頂は圏界面近くに達していた. レーダ観 測によれば、多くの強い降水エコー頂は8-10km であ り、豪雨ピーク時には15km に達した(二宮 2021b).

第6図では、九州中部( $32.5^{\circ}$ N/ $131^{\circ}$ E付近)上空 に-70°CのT<sub>BB</sub>低温域がある.この低温域の北東 ( $33.5^{\circ}$ N/ $132^{\circ}$ E付近)には-20°CのT<sub>BB</sub>高温域が、低 温域の南東( $30.5^{\circ}$ N/ $133.5^{\circ}$ E付近)にも- $30^{\circ}$ Cの高温 域がある.低温域の東側( $32.5^{\circ}$ N/ $134^{\circ}$ E付近)もやや高 温( $-40^{\circ}$ C程度)である.さらに東側の( $32.0^{\circ}$ N/ $135.5^{\circ}$ E 付近)には低温域( $-50^{\circ}$ C程度)があり、その東( $33.0^{\circ}$ N/ $137^{\circ}$ E付近)には高温域( $-30^{\circ}$ C程度)がある.その さらに東側( $33.5^{\circ}$ N/ $138.5^{\circ}$ E付近)に弧状の低温域 ( $-40^{\circ}$ C)がある.そして雲クラスターの東外周をT<sub>BB</sub> 高温ゾーン( $-10^{\circ}$ C)が取り囲んでいる.これらの内 部構造は高層観測データでは確認されない.



第7図 23日12時 (UTC) における ERA40の200hPa 解析図. a) は高度 (m), b) は風速 (m s<sup>-1</sup>), c) は渦度 (単位10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>), d) は発散 (単位10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>) 分布図.

雲クラスター内部での $T_{BB}$ 低温域の間隔は約500km,  $T_{BB}$ 高温域の間隔も約500kmであり、豪雨域で励起された波動的現象が想像されるが、高層観測や3時間間隔の $T_{BB}$ 分布図からはその構造を確認できない。

### 6. ERA 解析で観察された豪雨域上空の様相

第6節では200hPaの状況をERA40によって調べ る.第7図は23日12時の200hPa解析図である.第7図 のa)は高度,b)は風速,c)は渦度,d)は発散の分 布図である.まず環境場を観察する;第7図のa)で は、チベット高気圧から高気圧ゾーンが北西太平洋 (145°E付近)に伸び,b),c)では高気圧ゾーン東端 に高気圧性の強風ゾーンと強い負渦度ゾーンが出現し ている.c)に見られる東シナ海上(127°E付近)の負 渦度域は上層発散を伴わず豪雨対流系には関係してい ない.豪雨域近傍に注目すると,c)では豪雨域東縁に 負渦度域が見られ,d)では九州北部一四国上空に強 い発散域が出現している.

第8図の a), b), c) は, 34.2°N における鉛直流, 発散および渦度の log *p*-経度断面図である.b)では豪 雨域(129-131°E)の対流圏下層の強い収束と中層の 発散, 130-136°Eの上部対流圏の副次的発散層を示し ている.a)では上昇流の極大は700hPa付近にあり, 上昇流は対流圏上部に及んでいる.その上空では高度 と共に上昇流は減少している(発散を意味する).c) ではチベット高気圧に伴う広域の上部対流圏の負渦度 ゾーンがある.豪雨域すぐ東側上空の負渦度域は第7 図の c)にも見られる.この負渦度域は豪雨域からの 上層アウト・フロー(外出流)域東縁に現れている.

7. 先行研究との比較

7.1 1968年4月23日の米国東部の雷雨事例

Ninomiya (1971) は1968年4月23日米国東部で発生 した severe thunderstorms 上空の対流圏中層の昇温 と対流圏上部のアウト・フローに伴う発散・分流・変 形場の形成を解析している.この解析では多くの上層 雲移動ベクトルデータが使用されている.対流域の水 平規模は約500km であり高層観測に基づく定量的解 析も可能であった.この事例の衛星雲画像は九州豪雨 事例の雲画像に類似した「低 T<sub>BB</sub>域風下の弧状 T<sub>BB</sub>高温 域」を示した.

7.2 1975年4月25日の米国中部の MCC 事例

Maddox et al.(1981)は1975年4月25日米国中部で 発達した mesoscale convective complex(MCC;水平 規模およそ700km)上空の中部対流圏の高温域と上部 対流圏の発散・分流の形成を高層観測データで解析し た.数値モデル実験では湿潤モデルと乾燥モデルの差 を解析し、湿潤対流による上昇流の強化・対流圏中層 の対流昇温・その上空の200hPa等圧面高度の増加・上 層発散・負渦度の形成を示した。

7.3 Severe thunderstorm 上空の T<sub>BB</sub>分布

Smith (1985) は, severe thunderstorm 上空の V 字型 T<sub>BB</sub>低温域の代表例として Fujita (1981) による 1979年5月3日の米国 Nebraska storm の解析を紹介 している. 彼の T<sub>BB</sub>解析図では "cold V-shaped area in the anvil top and warm wake" が示されている. この状況は九州豪雨の雲域の弧状分布とは異なる.

7.4 1979年7月14日の梅雨前線雲クラスター事例 Ninomiya *et al.* (1988) はこの事例について次のよ



うに記述している:「12日に中国大陸上で発生した雲 クラスターは14日には九州近傍に達した.この事例で はクラスター内の九州西部に豪雨(~100mm h<sup>-1</sup>)が 発現し,雲頂  $T_{\rm BB}$ は $-70^{\circ}$ Cに低下した.豪雨域上空の 上部対流圏に発散が発現した」

### 7.5 梅雨前線降雨域の内部重力波類似事例

Ninomiya (1983) は, 1971年7月1日の梅雨前線降 雨域(降水量は~30mm h<sup>-1</sup>)上空で発現した「内部 重力波類似の変動」を高層観測データで検出した.こ の事例で重力波的変動が顕在化した理由は不明である.

7.6 Thunderstorm anvil 内の重力波伝播

Trier and Sharman (2018) は高分解能・高頻度衛 星データを用いて2015年6月3-4日の北米の thunderstorm anvil 内の重力波を観測している.

#### 8. 検討と問題点

8.1 九州豪雨事例と他の対流性擾乱との比較

本事例および事例7.4の雲クラスターの規模は,事 例7.1,事例7.2の雲システムよりも小さい.降水量は 本事例が最も大きい.対流雲域の T<sub>BB</sub>はどの事例で も-70℃程度に達していた.対流域上空の大きな発 散・分流の形成も本事例,事例7.1,7.2,7.4に共通し て観測されたが,対流域の広い事例7.1,7.2で顕著で あった.本事例では対流圏中層における高温域は高層 観測データによっては検出されていない(二宮 2021a) が,鹿児島における風の鉛直シアーは豪雨域の高温域 を間接的に示していた.

8.2 対流域の雲分布の差異

本事例では事例7.3の "cold V-shaped area in the anvil top"は認められない.本事例では雲クラスター 内の「波動的分布」が観察されたが,事例7.5に類似した変動は高層観測データで検出できなかった.事例 7.6の thunderstorm anvil 内の重力波は高分解能・高頻度衛星データによって検出されている.

8.3 上層発散・負渦度の生成過程についての考察

豪雨域の上昇流は対流圏上部で急速に減少し,上層 の発散を形成した(連続の式に従って).また激しい対 流域中層では対流昇温により相対的暖気域が形成さ れ,その上空には上層アウト・フローに伴う相対的高 気圧域・高気圧性渦度場が形成されている(Ninomiya 1971, Maddox *et al.* 1981).本事例の観測的事実から 同様な過程が考えられる.

8.4 再解析データの問題点と残された課題 本事例では ERA40の小規模場の再現性は不十分で あった (二宮 2018). ERA40降水量格子点値の4mm  $h^{-1}$ は, 観測降水量面積平均値に比して過小であり (二 宮 2021a), 収束量・鉛直流も過小評価されているであ ろう. したがって, ERA40によって雲クラスター内の 雲分布の微細構造は調べられない.

豪雨が上部対流圏に及ぼす影響の理解には高分解能 モデル実験が有効であろうが、本報告では調べていない。数値モデル出力・再解析データの利用に際しては 観測データとの整合性の確認が必要である。

8.5 観測データ解析の意義

数値モデルや再解析データの再現性は使用した大気 モデルの物理的性質と分解能で決まり,モデル化され ていない,もしくは,その分解能では解像されない現 象は排除される.他方,実大気中では全ての現象が出 現している.観測データの分解能は観測点の密度で決 まるが小スケールの事象の一部が捕捉されている可能 性があり,観測データは重要である.本報告が豪雨域 上空の変動についての関心を喚起することを期待する.

## 9. まとめ

1982年7月23日に梅雨前線中規模低気圧が対馬海峡 上に達し,暖域内で持続した雲クラスター内で九州豪 雨が発現した.豪雨域上空の風速変動と雲クラスター 内部構造を高層観測データ・衛星データ・再解析デー タに基づいて調べた.その結果は下記に要約される.

- (1) 23日12時の200hPa 面では、九州豪雨上空に顕著 な発散・分流が出現した.豪雨域の南側の300-200hPa 間風速鉛直シアーが顕著であった.
- (2) 豪雨域上空に-70°Cの T<sub>BB</sub>低温域があり, T<sub>BB</sub>低温 域西側では T<sub>BB</sub>の水平傾度は非常に大きく, T<sub>BB</sub>低 温域東側に雲クラスターの雲域が広がっていた.
- (3) 雲クラスター内部・近傍の T<sub>BB</sub>分布を見ると、豪 雨域の上空の-70℃の T<sub>BB</sub>低温域の東側に弧状の T<sub>BB</sub>低温雲域とその外側の T<sub>BB</sub>高温雲域の分布が 観測された. T<sub>BB</sub>低温雲域の水平間隔, T<sub>BB</sub>高温雲 域の水平間隔は共に500km 程度であったが、その 伝播は確認されない.
- (4) 1982年7月の九州豪雨上空の上部対流圏についての観測事実と、他の対流性擾乱上空の観測事実とを比較した。本事例の雲クラスターの空間規模は、米国の severe thunderstorm, MCCの対流システムより小さいが、対流雲域のT<sub>BB</sub>は共通して-70°C程度に達し、対流域上空の発散・分流も共通して観測されていた。本事例では severe

"天気" 69. 4.

thunderstorm o "cold V-shaped area in the anvil top" は認められない.

(5)激しい対流性擾乱の上部対流圏に及ぼす影響は幾つかの要因で決定される.その理解のためには多くの事例解析・数値実験が必要である.

## 謝 辞

本解析に使用した観測データの多くは1982年に気象 庁予報部で収集した. ERA40データの解析は2011年に 海洋研究開発機構で行った. 編集委員と査読者から有 益なコメントを頂いた.

## 参考文献

- Fujita, T. T., 1981: Mesoscale aspects of convective storms. Proc. IAMAP symp. Nowcast., Hamburg, European Space Agency, 3–10.
- 気象衛星センター,1982:昭和57年7月豪雨気象衛星資料 集.気象衛星センター技術報告別刷,56pp.
- Maddox, R. A., D. J. Perkey and J. M. Fritsch, 1981: Evolution of upper tropospheric features during the development of mesoscale complex. J. Atoms. Sci., 38, 1664– 1674.
- 村上多喜雄, 1986:モンスーン. 東京堂出版, 198pp.
- Ninomiya, K., 1971: Dynamical analysis of outflow from tornado-producing thunderstorms as revealed by ATS III pictures. J. Appl. Meteor., 10, 275–294.
- Ninomiya, K., 1983: Internal-gravity-wave-like variations of temperature, humidity and wind observed in the tro-

posphere downstream of heavy rainfall area. J. Meteor. Soc. Japan, 61, 163-169.

- 二宮洸三,2018:1982年7月23-24日九州豪雨時の梅雨前線 低気圧について見られた再解析データと観測データの相 違. 天気,65,417-423.
- 二宮洸三,2021a: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1部:低気圧の発達と構 造. 天気,68,131-148.
- 二宮洸三,2021b: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II部:低気圧内の小規模 循環系・降水系.天気,68,575-590.
- Ninomiya, K., T. Akiyama and M. Ikawa, 1988: Evolution and fine structure of a long-lived meso- $\alpha$ -scale convective system in the Baiu frontal zone. Part 2: Meso- $\gamma$ -scale characteristics of precipitation. J. Met. Soc. Japan, 66, 351-371.
- Smith, W. L., 1985, Satellites. Handbook of Applied Meteorology (D. D. Houghton ed.), John Wiley & Sons, 380– 472.
- Tao, S. and L. Chen, 1987: A review of recent research of the East Asian summer monsoon in China. Monsoon Meteor.(P.-C. Chang and T. N. Krishnamurti eds.), Oxford University Press, 60–92.
- Trier, S. B. and R. D. Sharman, 2018: Trapped gravity waves and their association with turbulence in a large thunderstorm anvil during PECAN. Mon. Wea. Rev., 146, 3031-3052.
- Uppala, S. M., *et al.*, 2005: The ERA-40 re-analysis. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., **131**, 2961–3012.

# Upper Tropospheric Features Observed over the Kyusyu Heavy Rainfall Area on 23 July, 1982

# Kozo NINOMIYA\*

# \* E-mail: knino@cd.wakwak.com

(Received 26 July 2021; Accepted 1 October 2021)

## Abstract

Upper tropospheric features over the Kyusyu heavy rainfall area on 23 July, 1982 are studied using observation data and reanalysis data. A Baiu-frontal mesoscale depression, which formed over China on 21 July, developed and moved eastward, and reached over the Tsushima Strait on 23 July. The cloud cluster formed

in the warm-sector of the depression caused intense rainfalls. At 200hPa height, strong divergence and diffluence are formed over the heavy rainfall area. IR cloud images and cloud-top  $T_{BB}$  (blackbody temperature) data show meso-scale features of the cloud cluster. The coldest  $T_{BB}$  of  $-70^{\circ}$ C is found over the heavy rainfall area. Crescent-shaped areas of warm and relatively cold  $T_{BB}$  are seen in the eastern outside of the coldest  $T_{BB}$  area. The features of the present case are compared with features in previous reports on sever convective storms. Very cold  $T_{BB}$ , upper tropospheric divergence and diffluence are commonly found in these cases. However, some differences are seen among the cases.