

「平成21年7月中国・九州北部豪雨」発生時の 総観規模およびメソ α スケールで見た循環の特徴について

鈴木真一*

The Synoptic and Meso- α Scale Characteristics of the Atmospheric Circulation Related to the Intense Rainfall in Chugoku and Northern Kyushu in July, 2009

Shin-ichi Suzuki

**Storm Flood and Landslide Research Department,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
ssuzuki@bosai.go.jp*

Abstract

The synoptic and meso- α scale characteristics of the atmospheric circulation related to the intense rainfalls in Chugoku and northern Kyushu in late July, 2009, is investigated using Geostationary Meteorological Satellite data, Radar/Rain gauge-Analyzed precipitation data by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (NLIT) and grid point data of Japan Meteorological Agency (JMA) numerical prediction data. Four disturbances are identified from 17 July to 27 July. They moved eastward along the westerly jet and are accompanied by upper-level disturbances with positive potential vorticity anomalies. Two disturbances are wavy structures of the westerly jet and others are also waves but interacted with isolated vortices in the north of the westerly jet.

Key words : Meso- α scale, Synoptic scale, Disturbance, Potential vorticity, Intense rainfall

1. はじめに

平成21年7月19日から26日にかけて、中国地方および九州北部を中心に記録的な大雨となった。気象庁(2009)によれば、この降水は梅雨前線に伴うものとされている。図1は気象庁全国合成レーダエコー強度GPVから求めた西日本の1日毎の降水量である。これを見ると、19日から22日は九州／中国地方で多くの降水が見られるが、22日は雨域が日本列島の南岸の太平洋上にあり、23日は九州の西で雨が強い、などの時間的／空間的変動があることがわかる。東西に延びたような梅雨前線があって、停滞した雨が降っている、という状況ではない。

このような梅雨前線での変動は、メソ α 擾乱、もしくはメソ α 低気圧と呼ばれている(Ninomiya and Akiyama, 1992; Yoshizumi, 1977)。Tagami *et al.* (2007)は2001年6月11日から1か月間の梅雨前線上のメソ α 低気圧を解析し、その特徴を2つに分けている。一つは、対流圏上層の正の渦位偏差に伴って発生するもので、対流圏の下

層から上層にかけて構造の軸が西に傾いた、総観規模の低気圧によく似たものである。もう一つは擾乱内部の対流活動による加熱を考慮した湿潤大気中の傾圧不安定波動(Tokioka, 1973)で、構造の軸が上層ほど東に傾いたものである。総観規模からメソ α スケールの擾乱やそれによってもたらされる降水を考える際に、渦位(もしくは等温位面渦位, Isentropic Potential Vorticity; IPV)を用いる考え方があり、“IPV thinking”と呼ばれている(Hoskins *et al.*, 1985; 二階堂, 1986a, b; 小倉, 2000)。IPV Q は

$$Q = -g(f + \zeta_\theta) \left(\frac{\partial \theta}{\partial p} \right)$$

で定義される。ここで、 g は重力加速度、 f はコリオリパラメータ、 ζ_θ は等温面上の風速から計算された渦度、 p は気圧、 θ は温位である。IPVの値は、 f が含まれていることで北半球では極地方ほど大きく、また、 $(\partial \theta / \partial p)$ があることで、対流圏より成層圏で大きい。

*独立行政法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部

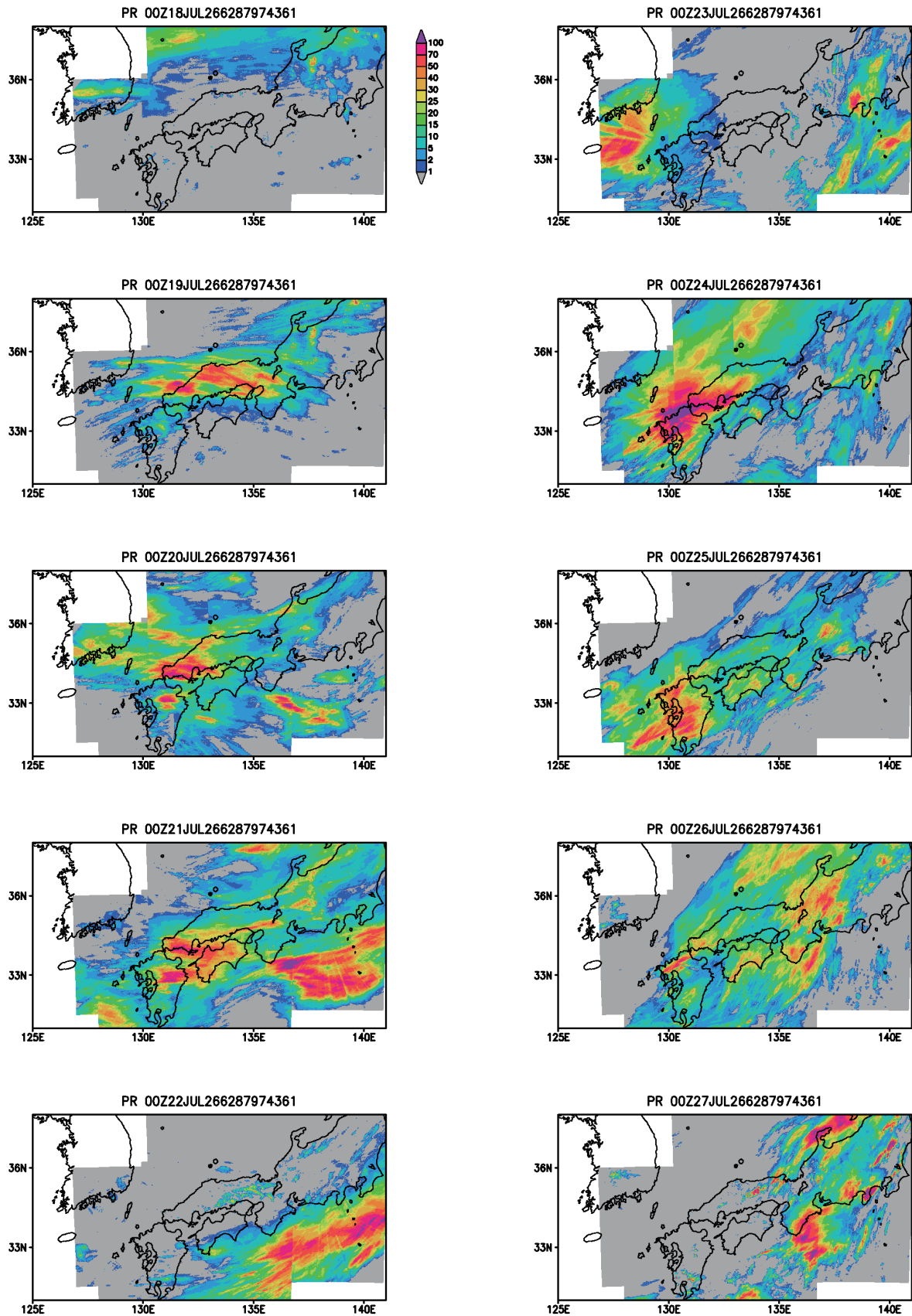


図1 国土交通省解析雨量での7月18日から7月27日までの1日雨量(mm)。それぞれ00:00Zから23:55Zまでの5分毎のデータから1日積算を計算した。

Fig. 1 Time development of precipitation amount (mm) for 24 hours from 18 July to 27 July 2009, estimated from Radar/Rainuange Analyzed precipitation data which analyze precipitation rate every five minutes.

IPV は非断熱過程において保存されるので、その分布を時間を追って追跡することができる。例えば、ときに激しい対流現象をもたらす寒冷渦は、対流圏上層に IPV の大きな値をもつ渦として見る事ができ（坪木と小倉, 1999）、IPV を見る事で偏西風の波動の碎波から孤立渦の生成、消滅を追跡することができる。また、偏西風ジェットのように上空ほど西風が強い場の対流圏上層に正の渦位偏差があり、その偏差が東進している場合、正の渦位偏差の東側は上昇流が、西側には下降流が励起されることが示されており（例えば小倉（2000））、温帯低気圧の発達も、対流圏上層の正の渦位偏差と、対流圏下層の擾乱の相互作用として理解できる。

本報告では、2009 年 7 月後半に西日本で見られた降水の変動とそれをもたらした擾乱について、特に渦位分布の変動に注目して解析を行い、擾乱の特徴とその環境場について考察を行った。

2. 使用したデータ

本解析では、気象庁および国土交通省の気象レーダとアメダス観測から解析された国土交通省解析雨量、気象庁数値予報モデル格子点データ（GPV データ）、静止気象衛星（MTSAT）の IR3 チャンネル（水蒸気画像）の等価黒体温度（TBB）のデータを用いた。衛星のデータについては、高知大学気象情報ページのデータを利用した。

3. 解析結果

図 2 は気象衛星（MTSAT）の IR3 チャンネルでみた等価黒体温度（TBB）の東西時間断面である。TBB の低い領域は、雲が高い、もしくは中層が湿った領域であることを

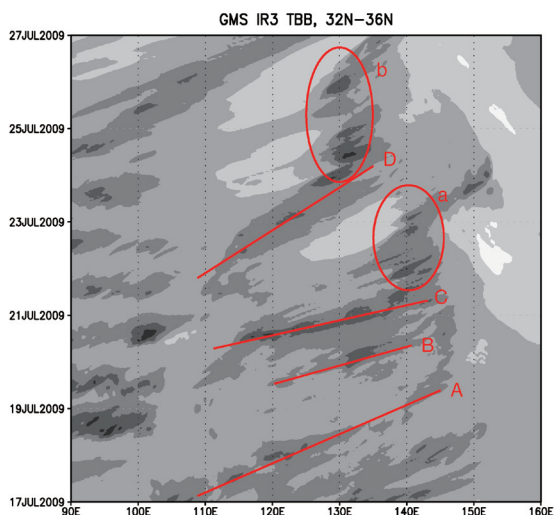


図 2 北緯 32 度から 36 度まで平均した静止気象衛星 MTSAT の IR3 チャンネルで観測された TBB(°C) の東西時間断面。赤線 A, B, C および D と楕円 a, b については本文参照。

Fig. 2 Time-longitude plot of the 32-36 °N averaged TBB (°C) observed by IR3 channel of the Geostationary Meteorological Satellite (MTSAT). See the text for red lines A, B, C and D and ellipses a and b.

示す。赤の実線 A, B, C および D で示される西から東へ移動する擾乱が確認できる。また、赤の楕円 a, b で示した低 TBB 領域は、雲域が停滞していることを示している。このうち、擾乱 A は九州四国地方に大きな降水はもたらしていない。擾乱 B および C では、7 月 20 日から 21 日にかけて降水をもたらした。楕円 a の停滞した雲域は、21 日から 23 日にかけて関東地方およびその南岸に降水をもたらした。擾乱 D は西から東へ移動した後、九州四国地方に停滞し、24 日から 26 日にかけて降水をもたらしている。

降水活動の時間変化については、同様に作成した国土交通省解析雨量のデータ（図 3）でも、擾乱 A を除き、同様に確認される。850 hPa における渦度の東西時間断面（図 4）をみると、大きな正渦度の分布が西から東へ動いている様子がみえる。特に、擾乱 B, C, D, a および b に対応する正渦度の分布が明瞭である。

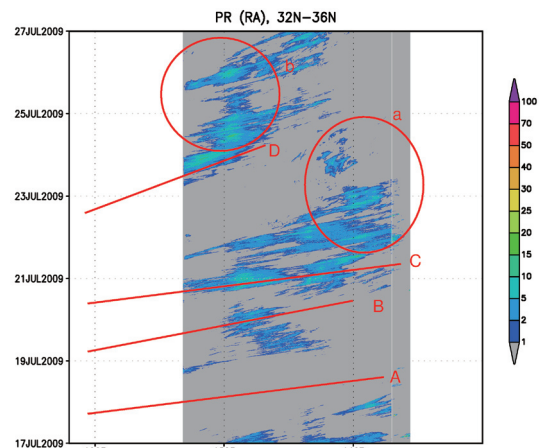


図 3 北緯 32 度から 36 度まで平均した国土交通省解析雨量の雨量強度 (mm/hour) の東西時間断面

Fig. 3 Time-longitude plot of the 32-36 °N averaged precipitation rate (mm/hour) of Radar/ Rain gauge-Analyzed precipitation data by MLIT.

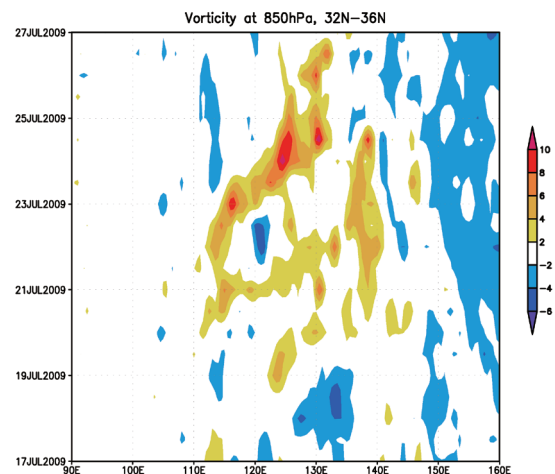


図 4 北緯 32 度から 36 度まで平均した 850 hPa における相対渦度 (10^{-5} s^{-1}) の東西時間断面

Fig. 4 Time-longitude plot of the 32-36 °N averaged horizontal vorticity (10^{-5} s^{-1}) at 850 hPa.

図 5 は、北緯 40 度の 350K 等温位面における IPV の東西時間断面である。いくつかの渦位の大きな領域が西から東へ移動している様子がみえる。図 5 に描かれた図 2 の擾乱 A と同じ位置の線を見ると、この線の位置は各時刻での渦位の大きい位置の東側にあたり、この擾乱は上空の高渦位偏差の通過に伴っているものであると考えられる。擾乱 B に対しては、A に比べて値が小さくなっているが、同様に高渦位偏差の東進に伴っている。擾乱 C については、西から高渦位の気塊が通過していく様子が見えるが、更にこの場合は東経 120 度から 140 度にかけて、渦位が 6PVU 以上の気塊が 21 日から 23 日に渡って持続して存在し、その東側の縁にあたる東経 140 度付近で降水が持続する結果となった。擾乱 D についても、同様に移動と停滞する高渦位の気塊に対してその東側で降水があったことがわかる。

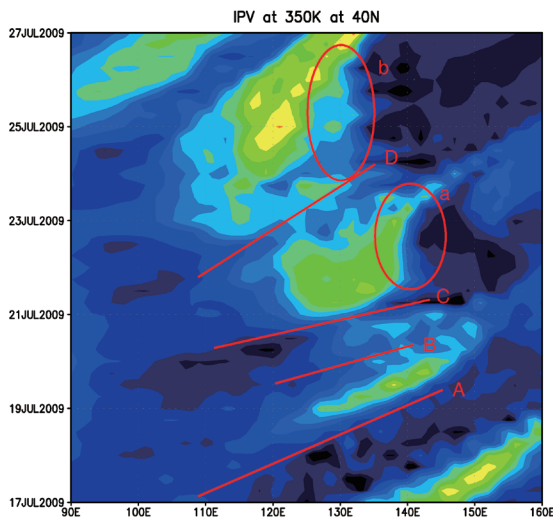


図 5 北緯 40 度における 350K 等温位面の渦位の東西時間断面。図の右側に示した値の単位は PVU ($10^{-6}\text{m}^2\text{s}^{-1}\text{K kg}^{-1}$)。赤の実線と楕円は、図 2 と同じ位置に描いている。

Fig. 5 Time-longitude plot of potential vorticity (PVU) at 40°N at 350K isentropic surface. The unit shown in the right of the figure is PVU ($10^{-6}\text{m}^2\text{s}^{-1}\text{K kg}^{-1}$). The red lines and ellipses with letters are at the same positions as Fig. 2.

この渦位の分布から、平成 21 年 7 月中国・北部九州豪雨に際にみられた擾乱は、Tagami *et al.* (2007) で分類された型のうち、対流圏上層の正の渦位偏差によって発生しているタイプのものであると考えられる。図 6 は 7 月 21 日 00Z から 7 月 27 日 00Z まで平均した 200 hPa 面の高度である。等値線はほぼ流線と考えてよく、今回の豪雨の時期の平均的な対流圏上層の循環場を示している。これを見ると、偏西風ジェットが地中海から東へ吹いており、カスピ海付近にこの季節に特徴的なリッジがあり、そこからジェットは一様にやや南下して、中国東北部付近がトラフになっている。このようなトラフの東側では、一般的に天気が悪い。そのような条件に更に擾乱の影響で

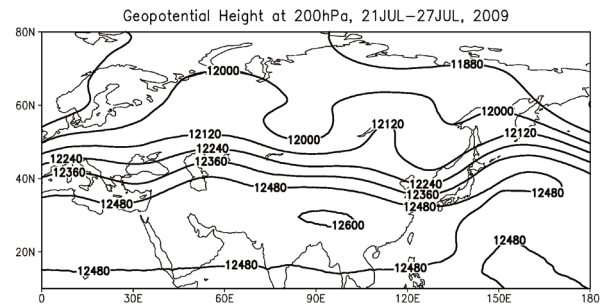


図 6 7 月 21 日 00Z から 7 月 27 日 00Z まで平均された 200 hPa 面高度 (m)

Fig. 6 Geopotential height (m) at 200 hPa averaged from 00Z 21 July to 00Z 27 July 2009.

悪天がもたらされた。日本の東、東経 160 度付近がリッジになっている。

図 7 は 7 月 18 日 00Z から 7 月 27 日 00Z までの一日毎の 350K 等温位面における渦位の時間変化の様子である。図 2 で示した移動している擾乱 A, B, C, D および停滞した降雨域 a, b に対応する正の渦度偏差を赤丸で示している。7 月 18 日には、東経 120 度北緯 40 度付近に極側の高渦位の気塊が南側へせり出している様子がみえ、これが 19 日には東経 130 度付近、20 日には 145 度付近に移動している。これが擾乱 A である。擾乱 B は 20 日には東経 120 度付近、21 日には東経 140 度付近にある。擾乱 A, B は、偏西風ジェットに沿ったメソ α スケールの波動的な擾乱だと考えられる。

一方、擾乱 C は、19 日には東経 100 度、北緯 50 度付近の高渦位の気塊として認識でき(図 7 (b) の C の円内の黄色の部分)、20 日にはさらに東に進むが、この時にはその北側に北から高渦位の気塊が近付いており(図 7 (c) の C' の円内のオレンジ色の部分)、21 日にはこの 2 つの高渦位の気塊がまとまり、1 つのトラフになっている(図 7 (d) の C の円内の黄色の部分)。21 日の山口県防府市付近の豪雨は、このトラフの東側で発生していた。このトラフは 22 日から 23 日にかけて日本付近を通過して東へ去っている。時を同じくして日本の東に低渦位(図では青色)の気塊が北上し、ここに高気圧を形成している。その高気圧の西側で擾乱 C はやや停滞し、降雨域 a をもたらした。

擾乱 D は 18 日に東経 70 度、北緯 50 度付近の高渦位の気塊として認識でき、これが徐々に東へ動いている(図 7 (a) から (d) の D の円内)。一方、図 7 (c) の C' の東側に高渦位の気塊があり(これを D' と呼ぶ)、この D' は C が東へ移動した 22 日(図 7 (a))には偏西風ジェットの位置まで南下し、24 日には D とまとまり(図 7 (g) の D+D')、一つのトラフになっている。これは朝鮮半島付近に留まり(図 7 (h) から (j) の b)、このトラフの東側で降雨が持続した。

擾乱 C', D' は、北緯 50 度付近にあって停滞している時点では図 6 の中国東北部付近の停滞性のトラフを形成している要素になっているが、高渦位の気塊が間欠的に南下して偏西風帯の擾乱と結合し、朝鮮半島付近でトラフを形成していた。このような擾乱の形成の過程は非線

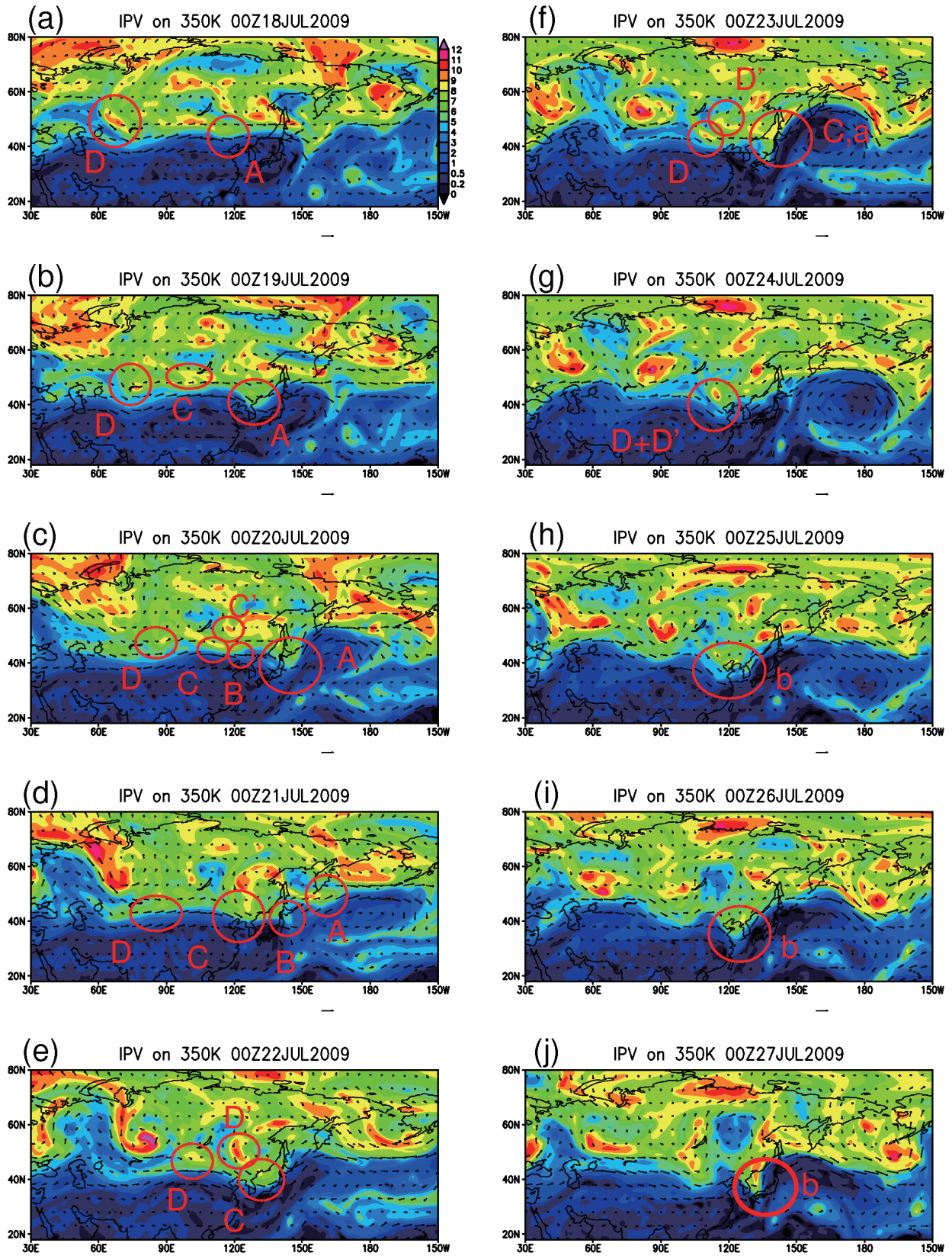


図 7 2009 年 7 月 18 日 00Z から 27 日 00Z まで 1 日毎の 350K 等温位面における渦位 (PVU)。赤の楕円と添字については本文参照。

Fig. 7 Time development of isentropic potential vorticity (PVU) at 350K isentropic surface from 00Z 18 July to 00Z 27 July 2009. Ellipses with letters denote features referred to in the text.

形性を強くもつものであり、長期予報は困難であると思われる。

4. まとめ

「平成21年7月中国・九州北部豪雨」の発生時の総観規模／メソ α スケールの循環場について、国土交通省解析雨量、気象衛星画像、気象庁GPVデータを用いて解析を行った。7月19日から26日にかけて、九州四国地方を4つの擾乱が西から東へ移動し、この擾乱に伴って降水が見られた。これらの擾乱は全て対流圏上層の高渦位の気塊に関連したものであった。4つのうち、2つは偏西風帯を移動してくる擾乱であるのに対し、残りの2つは、偏西風帯よりも北にある独立した高渦位の気塊と融合してトラフを形成する様子が見られた。

参考文献

- 1) Hoskins, B. J., M. E. McIntyre and A. W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 877–946.
- 2) Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1992: Multi-scale features of baiu, the summer monsoon over Japan and East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 467–495.
- 3) Tagami, H., H. Niino and T. Kato, 2007: A study of meso- α -scale disturbances on the baiu front and their environmental field. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 767–784.
- 4) Tokioka, T., 1973: A stability study of medium-scale disturbances with inclusion of convective effects. *J. Meteor. Soc. Japan*, **51**, 1–10.
- 5) Yoshizumi, S., 1977: A stability study of medium-scale disturbances with inclusion of convective effects. *J. Meteor. Soc. Japan*, **55**, 107–120.
- 6) 気象庁, 2009: 災害時気象速報平成21年7月中国・九州北部豪雨. 災害時自然現象報告書, **1**, 45pp.
- 7) 小倉義光, 2000: 総観気象学入門. 東京大学出版会.
- 8) 坪木和久・小倉義光, 1999: 雷雨を伴った寒冷渦の渦位事例解析. *天気*, **46**, 453–459.
- 9) 二階堂義信, 1986a: Q-map (等温位面上で解析された渦位分布図)その1 q-mapの原理. *天気*, **33**, 289–299.
- 10) 二階堂義信, 1986b: Q-map (等温位面上で解析された渦位分布図)その2 q-mapの実際. *天気*, **33**, 300–331.

(原稿受理: 2010年5月7日)

要 旨

平成21年7月中国・九州北部豪雨の発生した2009年7月の後半について、気象衛星データ、気象庁数値予報の格子点データ、レーダアメダスレーダを用いて、総観規模／メソ α スケールでみた循環場の特徴を解析した。7月17日から27日にかけて解析したところ、この豪雨に関連して4つの東進する擾乱が確認された。これら4つの擾乱は全て対流圏上層の正の渦位偏差に対応していた。4つのうち2つの擾乱は、偏西風帯の波動と考えられるが、残り2つは、偏西風の北側にある孤立した渦と偏西風波動とが相互作用をした非線形性の強い挙動を示していた。

キーワード: メソ α スケール, 総観規模, 擾乱, 渦位, 豪雨