

1983年9月6日の福岡市における豪雨の特徴(2)

——レーダエコーを主とした解析*

早川 誠而**・鈴木 義則**・前田 宏***
元田 雄四郎****

要 旨

1983年9月6日福岡市で局地的な豪雨が発生し、大きな被害が出た。この日福岡市は、高気圧の周辺部にあたり下層では南西からの暖湿気流の流入が強く、不安定の場となっていた。この豪雨についてレーダを主とした解析の結果次のようなことが分かった。

1) 大きな災害をもたらした豪雨は、雨域が $10\sim 15\text{ km}\times 40\sim 50\text{ km}$ の楕円状で、最大時間雨量約 100 mm 、継続時間約2時間といった時、空間的に集中度の高いものであった。

2) レーダ解析の結果、この豪雨はスーパーセルタイプによるものではなく、風上側に次々に降雨セルが発生し、これが同じ場所で発達し、同じ所に強い雨を降らせるというタイプのものであった。

3) 一個のセルの大きさは約 $5\sim 10\text{ km}$ 程度で、個々のセルの寿命は $40\sim 60$ 分程度であった。

4) セルの発生の距離間隔は $5\sim 10\text{ km}$ で、このセルが相互につながって組織化され、メソ β スケールの降雨群を形成した。最も発達した段階では降雨群の中に $4\sim 6$ 個のセルが存在し、降雨域は、幅 10 km 前後、長さ $40\sim 50\text{ km}$ 前後の大きさであった。

1. はじめに

1983年9月6日九州北部地方は、太平洋高気圧周辺部にあつて、下層に暖湿気流が流れ込み不安定な場となり局地的な豪雨となった。最大1時間雨量が 110 mm を越える集中豪雨に見舞われた福岡市では、崖崩れ、中小河川の氾濫、家屋の浸水が起り、過密都市における豪雨による拡大要因や、災害時の都市機能喪失などの問題が提起された。

最近の集中豪雨としては、1982年7月長崎豪雨と1983年7月山陰豪雨が挙げられ、多くの研究成果が報告されている。例えば、長谷川、二宮(1984)は主として気象

衛星データを中心にその特徴を調べ、渡部(1984)は風とレーダエコーとの関係を調べ、荒生(1986)は降水量から降雨域の特徴を調べている。

この他に、九州で起こった局地的な豪雨として諫早(大沢・尾崎, 1959)、天草(長浜・渡辺, 1973)、太宰府(長浜・尾崎, 1974)が挙げられる。

これらの報告の中でレーダによる詳細な報告は長浜・尾崎(1974)や渡部(1984)にみられるが、いずれもレーダの分解能が粗く、降雨セルの微細構造については必ずしも十分解明されているとは言えない。最近、武田ら(1985)や石原ら(1987)はレーダ解析をもとに組織化された降雨帯の降雨セルの微細構造について調べている。ここではレーダ解析を中心に豪雨の特徴について考察を行った。

2. 降雨とレーダエコーの特徴

2.1 降雨分布の特徴

第1図は、福岡市に豪雨災害をもたらした降雨系の最も雨の強かった16時~17時までの1時間雨量と15時~19時までの総雨量分布図である。特に強い雨は、幅約 5

* Features of the Heavy Rainfall in the Fukuoka City on 6th September 1983 (2).

Mainly revealed by rader observation data.

** Seiji Hayakawa・Yoshinori Suzuki, 山口大学農学部.

*** Hiroshi Maeda, 長崎海洋気象台.

**** Yushiro Motoda, 九州大学農学部.

——1986年7月3日受領——

——1988年10月18日受理——

km, 長さ約 10 km のごく限られた範囲に集中している。

第2図は強雨域の付近にある観測所の時間雨量の変化図で、豪雨の中心付近のほぼ東西の断面に沿った地点を選んだ。最も強い雨が観測された福岡市南消防署 (point D) では、16時から17時の1時間に 80 mm 以上の雨となり、総雨量 148 mm の雨の内 146 mm の雨が16時~18時の2時間に集中している。空間的にみても強雨の中心から約 2 km しか離れていない南区役所 (point E)

や約 5 km 離れた気象台 (point B) では雨量が極端に少なく、この豪雨系が時間的にも空間的にも極めて強い集中性をもっていたことが分かる。

2.2 レーダエコーの特徴

第3図は九州大学のレーダで観測されたレーダエコーの8~20分間隔の詳細な時間変化を示す。13時~18時までに観測されたエコー群はA~Fの7つの降雨群であった。各エコー群の特徴は次の通りである。

(1) エコー群A (a₁~a₈) は福岡レーダの観測によれば12時50分頃、九州大学の観測点の南東約 8 km 付近に大きさ約 10 km² のエコーとして現れ、新しいエコーが既存のエコーの南西側に次々に形成され、系全体としては2時間半以上持続した。

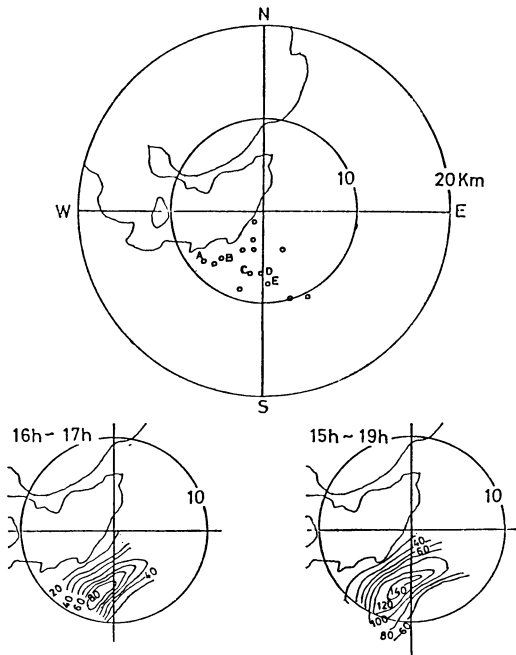
(2) エコー群B (b₁~b₂) は14時02分にレーダ観測点の南西約 12 km 付近に発生し、その後東北東に進みながら風上側に発生した1個の対流セルと結合しただけで約1時間の寿命であった。

(3) エコー群C (c₁~c₉) は、14時40分頃レーダ観測点の南南西約 20 km 付近に発生し、その風上側(既存のエコーの南西側)に次々に新しく発生したセルと結合することによって群を長時間維持していた。このエコー群が福岡市周辺に豪雨をもたらした主役となった。

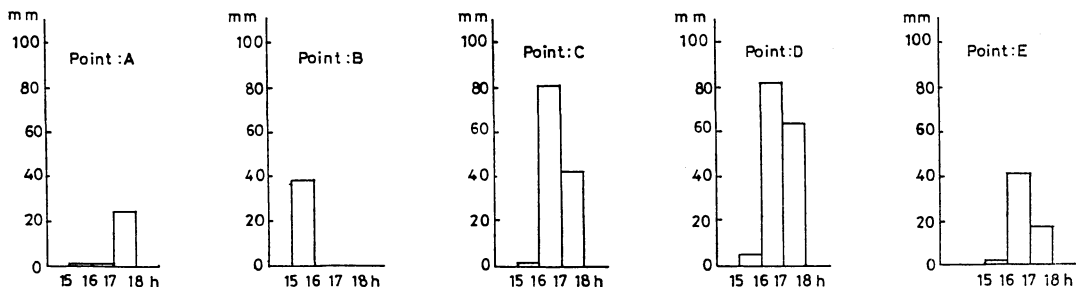
(4) エコー群D (d₁~d₃) は15時59分頃、レーダ観測点の西南西 30 km 付近に現れ、風上に現れた2個のセルと結合し、寿命は1時間44分であった。

(5) エコー群E (e₁~e₄) は16時43分頃レーダ観測点の南西約 15 km 付近に現れ、既存のエコーの南西側(風上側)に発生したエコーと結合し、寿命は約1時間12分であった。

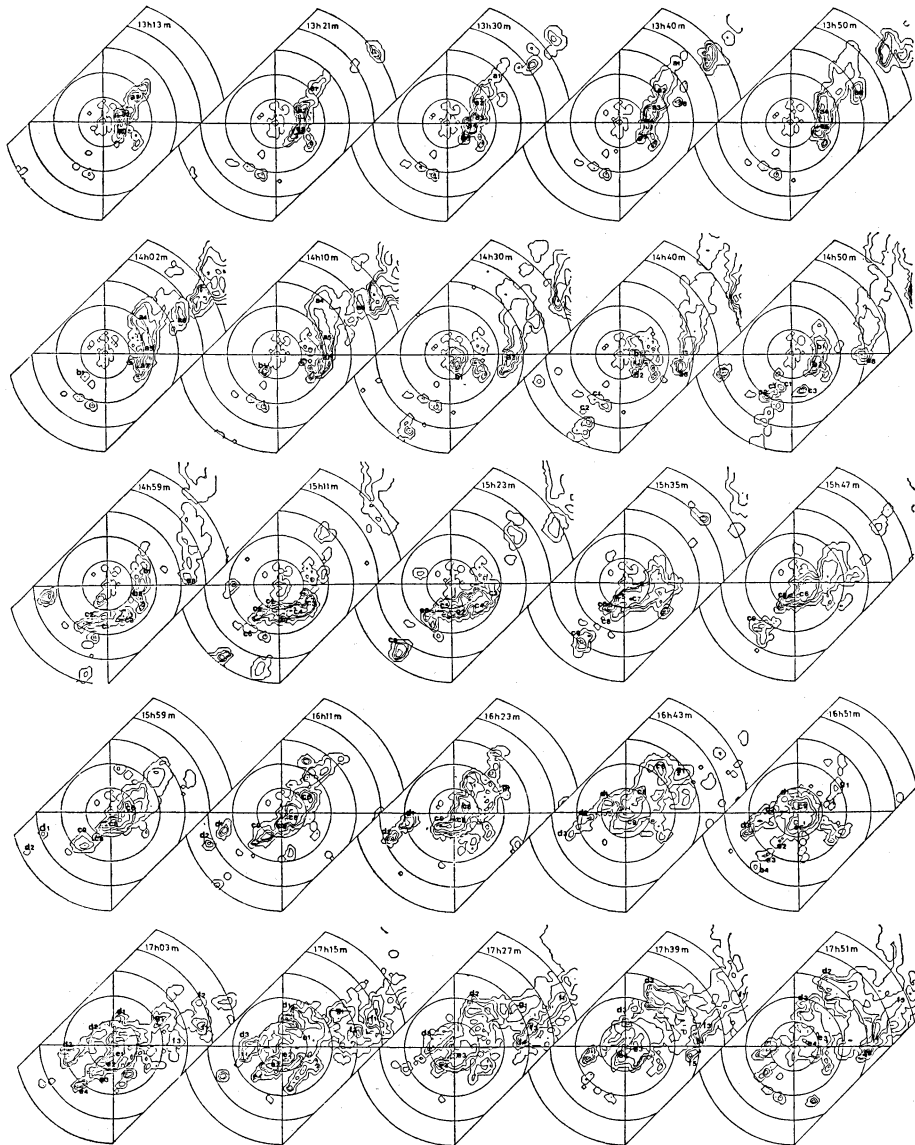
(6) エコー群F (f₁~f₅) は17時03分頃レーダ観測点の東北東 38 km 付近に発生し、次々に風上側に発生したエコーと結合し、北九州地方に降雨をもたらした。



第1図 福岡市に災害をもたらした降雨系の時間雨量および総雨量(15~19時)分布図。資料提供は福岡管区気象台山本予報官による。



第2図 各地の時間雨量の変化(1986年9月6日), A: 西消防署, B: 福岡管区気象台, C: 中央消防署, D: 南消防署, E: 南区役所。



第3図 降雨群A～Fのレーダエコーの水平分布. 小文字のアルファベットはそれぞれの降雨系の各セルを示し, 等値線は外側から 10, 20, 30, 40, 45, 50 dBz 毎に描かれている.

以上の結果から, 長続きした降雨群は風上側に次々に新しく発生したセルと結合し, メソβスケールの帯状エコー群を構成したと言える. ただし, エコー群A, B, D, E, Fの振舞いとエコー群Cの振舞いがかなり違っている. 中でも, エコー群Cは一時的に走向が変化し他のエコー群と比べ各セルのエコー群への寄与の仕方がかなり違っていた. エコー群の走向変化に伴い, 降雨帯の

中に狭い間隔で多くのセルが存在するようになり, しかも移動速度も遅くなったことも豪雨をもたらした原因であった. すなわち, 集中豪雨の一つの条件である停滞し易く, 雨の集中攻撃の密度が高い状態が作られていたと言うことである.

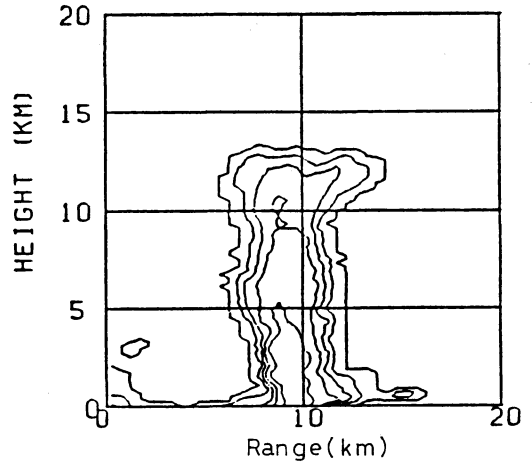
次に福岡市に豪雨をもたらしたエコー群を中心にセルの特徴について述べることにする.

福岡市の豪雨に関連したエコーとしてエコー群CとEの2つがある。すなわち、14時30分頃レーダ観測点の南西約20 km 付近にセル状エコーとして現れ、このエコーが北東に移動していくに伴い、既存のエコーの南西側に新しいエコーがつつぎと現れて line 状エコー群を形成したCと、これと同じように16時43分に観測点の南西約15 km に発生したセルが後続のセルと結合し、line 状エコー群Eに発達した。

これらのエコー群の形成過程をさらに細かく追ってみる。まず始めにレーダ観測点の南西約13 km 付近にエコーセル b_1 が形成され、これが北東方向に移動し、14時30分には直径約10 km の対流雲に発達した。その後セル b_1 は衰え始めるが、14時40分にセル b_1 の南南西6.5 km 付近にセル b_2 が現れ、 b_1 と b_2 が結合し、15時20分まで存在していた。

エコー群Cでは、14時30分頃観測点の南西約20 km 付近にセル c_1 が現れ、ついで14時40分には c_1 の風上約7 km 付近に c_2 が形成され、14時50分には c_1 と c_2 の間にセル c_1' が形成され、各々のセルの間隔は3~4 km であった。一方、14時44分頃にセル c_1 の東側約9 km 付近にセル c_3 が現れ始める。この時刻頃までは各セルの動きは南西から北東方向で、このままでは c_3 はセル b_2 と結合し別の群として発達したであろう。しかしながら各セルは次第に動きを東北東から東の方向へ変化し、14時59分頃からエコー群Cの走向は北東方向から東北東方向へと変化し、ほぼ東西方向に並ぶ line 状構造を呈するようになった。この傾向は15時20分頃まで続き、その後次第に南西~北東方向へと走向が変化した。この東方向に向きを変えたことにより、セル c_1 の東側に形成された c_3 は14時54分にはお互い結合し、組織化し始めた。そして、15時11分にはエコー群Cは c_2 , c_3 , c_4 , c_5 , c_6 , c_7 の6個のセルから構成されるものとなり、東西約30 km, 幅7~8 km のメソβスケールの対流雲へと組織化されたことが分かる。各セルの位置関係は c_5 は c_2 の南西5 km, c_6 は c_5 の南西6~7 km, c_4 は c_3 の西南西5 km, c_7 は c_4 の西南西5 km 付近であった。その後15時23分にみられるようにセル c_8 の南西約19 km 付近にセル c_9 が形成され、互のセルの距離が離れていた。しかし、15時35分にみられるように、セル c_8 の南西約5 km 付近に c_8 が現れ、しかも、エコー群自体の走向も南西~北東へと変化した。

さらに、15時59分にはセル c_8' が c_8 の南西6 km 付近に形成され、セル c_9 と結合し、16時11分にみられるように line 状エコー群として組織化され、このエコー



第4図 エコー a_2 の鉛直断面図。

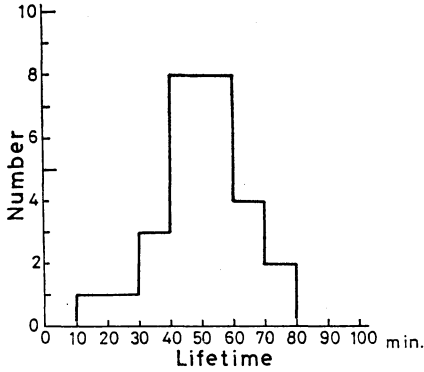
群は16時50分まで存在していた。

一方、15時59分にみられるようにエコー群Cの西約18 km 付近に d_1 , d_2 なるセルが形成され、その後 d_1 , d_2 , d_3 の3個のセルによって line 状エコー群Dを形成したが、このときの互いのセル間隔は南西方向に9~10 km であった。

エコー群Cが衰えた16時43分頃に、レーダ観測点の南西約16 km 付近にセル e_1 , e_2 が新たに形成され、16時51分には e_3 , e_4 が加わり計4個のセルの形成がみられ、17時03分には互いに結合してかなり組織だった line 状エコー群Eに発達した。個々のセルは北東方向に移動したため、line 状エコー群も南西から北東方向へ移動した。その後、17時39分にみられるようにセル s がセル e_4 の南西約20 km 付近に形成されたが、18時03分の分布にみられるようにエコー群Eとは結合出来ず line 状エコー群形成には至らなかった。セルの配列からみた特徴の一つとして、セル間の距離がこれまでの観測と比べ離れ過ぎていたことが挙げられる。

第4図は、エコー a_2 の鉛直断面を示す。エコー頂は13 km に達し、反射強度の強い部分が上層(9~11 km 付近)にあって発達中のレーダエコーの特徴を有していることが分かる。

以上の観測結果から言えることは、今回の福岡市豪雨は新しい対流性エコーが既存のエコーの風上側に相対的に大体同じ様な位置に現れ、互いのセルが結合して発達した line 状エコー群を形成し、新しいエコーが既存のエコーと入れ替わりながら群を長時間維持するものであったことである。



第5図 セルの寿命と発生個数との関係.

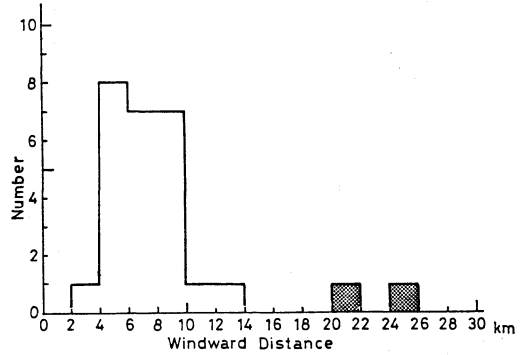
第1表 $M\alpha\beta$ スケールに発達したときのエコー群の特徴.

	セルの発生個数	最盛時			寿命
		長さ (km)	幅 (km)	中のセルの数	
A	8	40	10	5	2時間31分
B	2	20	6~7	2	1時間
C	9	30~40	10~15	6	2時間11分
D	3	30~40	7~10	3	1時間44分
E	4	30~35	10前後	4	1時間12分
F	5	40~50	10前後	5	

2.3 セルの寿命とその発生位置

対流性エコーの持続時間はレーダによって得られる重要な情報の一つである。

第5図は、今回のエコー群を形成した各セルの寿命とその発生個数との関係を示し、第1表は、エコー群を生成したセルの個数、最大に達したときのエコー群の大きさとその中に含まれるセルの個数およびエコー群の寿命を示す。第5図によれば、寿命が40~60分のもので全体の約6割を占め、外国で得られている対流性エコーセルの結果(小平, 立平; 1972)にくらべセルの持続時間が長い。また、第1表によればエコー群の持続時間は多くのセルを伴ったものほど寿命が長い傾向にあり、3~5個のセルが合体して幅 10~15 km, 長さ 30~50 km のエコー群を構成した場合、寿命は短いもので1時間、長いもので2時間半程度であった。



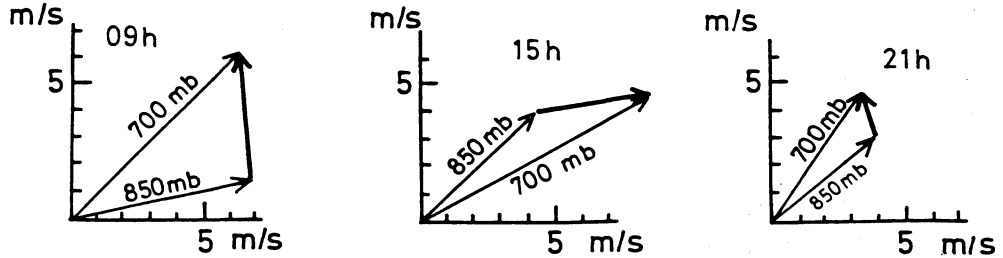
第6図 既存のエコーに対する新しい対流性エコーの風上側発生位置. 影部以外は既存のエコーと結合したものの。

第2表 福岡における850 mbと700 mbの風向と風速。(1983年9月6日)

	850 mb		700 mb	
	風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)
09時	257	7	225	9
15時	225	6	240	10
21時	229	5	213	6

第6図は、新しい対流性エコーが既存の対流性エコーにどのくらいの風上位置に現れたかを示す。結合したセルは、風上 3~14 km の範囲内で発生し、その内 5~10 km の範囲以内に見えるのが大部分を占める。図中、斜線を施したセルは、既存のエコーと結合しなかった場合で、この観測例では 20 km 以上離れていた時であった。

対流セルが入れ替わり系を維持させる機構として組織化された多重セル型のモデルが提出されている(Browning 他; 1976)。このモデルでは、既存の対流性エコーの風下側に下層収束が生じ、新しいセルが発生する。今回の観測結果は、武田ら(1985)の結果と同様に既存の対流雲の風上側に新しい対流セルが発生し、既存のエコーと入れ替わることによって群を長時間維持させていた。すなわち、今回の観測例は新しい対流セルが古いセルと入れ替わりながら群を維持させていたことでは多重セル型のモデルに近いが、進行方向の前方に次々と新しいセルが形成された Browning 他(1976)の結果とは新しいセルの発生位置やレーダエコーの水平分布に違いがある。ただし、新しいセルが風上側に発生し有限なる寿命の後に風下側で消滅し、線状エコー全体として停



第7図 福岡における850 mbと700 mbの風向・風速および風の鉛直シア（1983年9月6日）。

止して見えた点は石原ら（1987）の観測とほぼ似たような結果である。これにくらべ前報の著者ら（1987）の結果は、一個の巨大対流雲の中でのセルの入れ替わりで発達が維持されており、どちらかと言うとスーパーセル型に近い構造であった。

3. 風の鉛直シアとレーダエコーの走向

前述のごとく、エコー群Cの14時50分～15時30分頃の振舞いとその後のこの群の振舞いおよび他のエコー群との振舞いとはかなり違っていた。すなわち、一般的に個々のセルは北東方向に移動していたが、エコー群Cのセルは14時50分～15時30分頃までは東の方向へ移動し、エコー群自体の走向も東西走向へと変化していた。

帯状エコー内のセルは、不安定域の平均風向・風速に流され、近似的には、中層の700 mb付近の風に流されて移動すると言われている（小平，立平，1972）。他方、雲列あるいはレインバンドの走向は、温度風（鉛直シア）の方向に、ほぼ平行に並ぶ傾向を持っていると言う解析結果（Seltzer 他，1985）がある。この点について今回のレーダエコーで調べてみた。著者ら（1988）の解析にあるように15時頃は、高層風の観測点は豪雨をもたらした擾乱系領域の西端にあたり、高層風は一般場の状態と違って擾乱の状態を表現している。

6日の福岡市における850 mbと700 mbの風を第2表に示す。著者ら（1988）の結果によればメソβスケールの低気圧性水平シアを持つ循環系は15時前後を除いて北東進し、15時前後では東北東へ移動している。これらの事実は、ほぼ700 mbの風で循環系が流されていることを示すものである。一方、雲域内では700 mb付近を中心に風速の極大値があり、850 mbと700 mbの鉛直シアが卓越していると考えられる。風の鉛直シアを第7図に示す。09時には南北走向の鉛直シアが15時には東西走向となり、21時にはまた、元の南北走向に変化している。すなわち、Seltzer等（1985）の結果に

みられるように南北走向から東西走向へ、そして南北走向へ変化する鉛直シアの変化に従ってレインバンドの走向も変化したと考えることが出来る。南西あるいは西南西から移動してきたセルは、この鉛直シアの走向に沿ってレインバンドを形成し、15時頃は東西走向へと変化したと言うことであろう。

この原因は、弱い前線の通過で北側に寒気が流れ込み、等温線の集中帯が東西走向に並び、温度風（鉛直シア）も、等温線と平行に吹く性質による変化である。福岡付近では、14時頃から15時すぎにそれまで密でなかった等温線が、東西走向を示す等温線の集中帯が形成され（早川ら，1988）、しかも、鉛直シア（温度風）も近似的にこの時間帯に東西走向になったと考えることが出来る。レインバンドの走向もこれに付随して東西走向になったと考えられる。すなわち、等温線集中帯の東西走向がこの時間帯だけであったことから、レインバンドの走向の変化が説明できる。この原因は弱い前線の通過に伴うメソβスケール規模の温度場の変化によるものと考えられる。

4. まとめ

今回の豪雨について得られた結果は次の通りである。

1) 15時前後に一時的にレインバンドの走向が東西方向に変化した。高層風の観測によれば鉛直シア（温度風）もこの時間に東西方向を示していた。そしてそれまで組織的でなかった等温線の集中が15時過ぎにかけて東西走向に形成され、これに伴う風の鉛直シアの変化でレインバンドの走向を説明することが出来た。

2) レーダ解析の結果、今回の福岡市豪雨は1つの巨大積雲によってもたらされたのではなく、風上側に次々にセルが発生し、これが同じ場所で発達し、結果的に同じ場所に連続的に強い雨をもたらしたものである。

3) 1個のセルの大きさは5～10 kmで、これらのセルが相互に結合し、メソβスケールの降雨セル群を形成

し、最も発達した段階では、その中に4~6個のセルを含み、幅10km前後、長さ30~50kmの大きさとなった。

なお、本研究の一部は文部省科学研究補助金(自然災害科学資料災害特別研究「降雨災害をもたらす豪雨の集中度に関する研究」代表者名古屋大学・武田喬男)によった。また、レーダ解析と図形処理には九州大学大型計算機を使わせて頂いた。付記して謝意を表す。

文 献

- 荒生公雄, 1986: 10分間降水量でみた長崎豪雨の構造, 天気, 33, 17-26.
- Browning, K.A., J.C. Frankhauser, J.P. Chalon, P.J. Eccles, P.G. Strauch, F.H. Merrem, D.J. Musil, E.L. May and W.R. Sand, 1976: Structure of an evolving hailstorm, Part V: Synthesis and implications for hail growth and hail suppression, Mon. Wea. Rev., 104, 603-610.
- 長谷川隆司・二宮洗三, 1984: 静止気象衛星データからみた長崎豪雨, 天気, 31, 565-572.
- 早川誠而, 元田雄四郎, 坂上 務, 井田秀治, 1987: 帯状エコーの中で発達した対流雲のレーダエコーの特徴—1985年6月28日, 北部九州たつ巻発生を主とした一, 天気, 34, 29-43.
- 早川誠而, 鈴木義則, 前田 宏, 元田雄四郎, 1989: 1983年9月6日の福岡市における豪雨の特徴—アメダス資料を主とした解析—, 天気, 36, 121-126.
- 石原正仁・榎原 均・柳沢善次・松浦和夫・青柳二郎・今泉孝男, 1987: 2台のドップラーレーダーによって観測された関東地方の雷雲の内部構造, 天気, 34, 321-332.
- 小平信彦, 立平良三, 1972: エコーパターンの一般的特性, 気象研究ノート, 112, 73-89.
- 長浜宗政・尾崎康一, 1974: 1973年7月31日寒冷前線による福岡県の集中豪雨について, 天気, 21, 455-464.
- 長浜宗政・渡辺 勉, 1973: 集中豪雨のメソ解析と降雨及び山崩れ出水の状況, 気象庁技術報告, 84, 38-63.
- 大沢網一郎・尾崎康一, 1959: 諫早市の豪雨解析, 研究時報, 11, 829-838.
- Seltzer, M.A., R.E. Passarelli and K.A. Emanuel, 1985: The Possible Role of Symmetric Instability in the Formation of Precipitation Bands, J. Atmos. Sci., 42, 2207-2219.
- 武田喬男, 1985: 積乱雲とその群, 大気環境とその変動をさぐる, 47-116.
- 渡部浩章, 1984: 昭和58年7月豪雨の解析, 天気, 31, 739-746.

月例会「第33回山の気象シンポジウム」のお知らせ

日 時: 平成元年6月17日(土)13時~

場 所: 気象庁第一会議室(5F)

講演希望の方は演題に200字以内のアブストラクトをつけて、4月末日までに気象庁通報課岡野光也(〒100千代田区大手町1-3-4)まで郵送して下さい。