

1986年7月10日鹿児島市豪雨の特徴解析*

早川 誠 而*・鈴木 義 則**・前田 宏***
元 田 雄 四 郎****

要旨

1986年7月10日、鹿児島市で局地的な豪雨が発生し、死者18名を含む大きな災害を引き起こした。この豪雨は、1983年9月6日の福岡市豪雨（早川ら、1988）と同様に、太平洋高気圧の周辺部において、下層に暖湿気流が流れ込み、不安定な場となって発生したものであった。解析の結果次のようなことが分かった。

1) 災害をもたらした豪雨は、福岡市豪雨と同様に、風上側に次々に発生した新しい降雨セルが古いセルと入れ替わりながら、組織だった系を最時間維持するものであった。

2) 降雨群のエコーが最も発達した段階におけるレーダエコーの水平分布の特徴は、降雨群の中に4個のセルが存在し、幅10~15 km、長さ40 kmの大きさにまとまっていた。これも福岡市豪雨とほぼ類似の構造と規模であった。

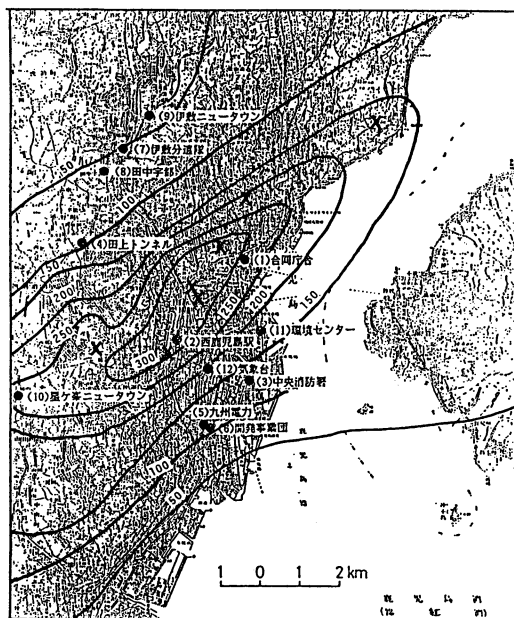
3) 豪雨はレインバンドの走向の変化が生じるときに発生した。このレインバンドの変化は風の鉛直シアーの変化で説明できる事を示した。

4) メソ解析の結果、豪雨が発生した場所は梅雨前線帯の南縁付近で、下層に暖湿気流（相当温位350K）が流入し、弱い波動が前線上を通過する条件が重なっていた。

1. はじめに

1986年7月10日、鹿児島市で豪雨が発生した。最大1時間雨量は100 mmを越え、シラス台地で崖崩れによる大きな災害をもたらした。被災地は鹿児島市の中央部を中心とする狭い範囲で、非常に局地的であり、死者18名、負傷者16名、家屋の全壊(76戸)、半壊(20戸)などの被害のほか、中小河川の氾濫による洪水被害も多数発生した。

第1図は、この豪雨の日雨量分布図である。最大300 mm以上の降雨量が記録されているが、総雨量のほとんどは15時~17時の2時間にもたらされたものである。そして人命を伴った崖崩れの発生箇所(図中×印)は総雨量が多い(強雨セルが通過)ところに集中し、大半が上



第1図 降水量分布図(1986年7月10日09時~7月11日09時)

* Case study of the Heavy Rainfall in Kagoshima City on 10 th July 1986.

** 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12月26日受領——

——1988年10月18日受理——

述の15時~17時の間に発生した。

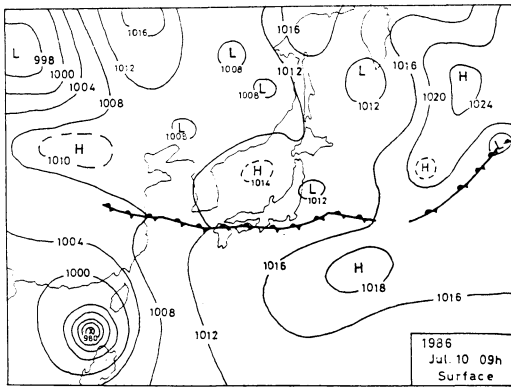
この豪雨も、1983年9月6日の福岡市豪雨（早川ら、1988）と同様に、非常に局地的であった。従って、アメダスの観測網では最も強い雨域は引っかけらず、しかも気象台のレーダでもその実態を十分に捕らえることが出来ず、予測遅れと観測体制の不備とが大きな社会問題となった。

ここでは鹿児島豪雨の特徴について、総観場とレーダ解析を中心に福岡市豪雨（1983.9.6）との比較を交えながら考察を行った。

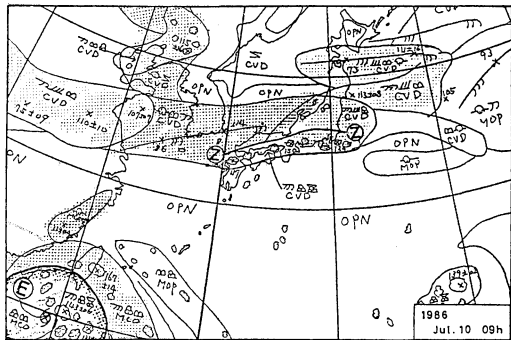
2. 総観場の状況

2.1 天気概況

第2図は1986年7月10日09時の地上天気図を示す。梅雨前線は、九州北部を東西にのび、東シナ海北部（五島西海上）に波動が解析されている。太平洋高気圧は、日



第2図 地上天気図 (1986年7月10日09時)



第3図 雲解析図

本の南海上に西に張り出している。九州南部は、前線に向かって流入する下層の暖湿気により成層が不安定であった。また、ルソン島北方のバシー海峡に台風7号があって、北西に進んでいた。台風存在は、1983年の福岡市豪雨の場合と似ている。

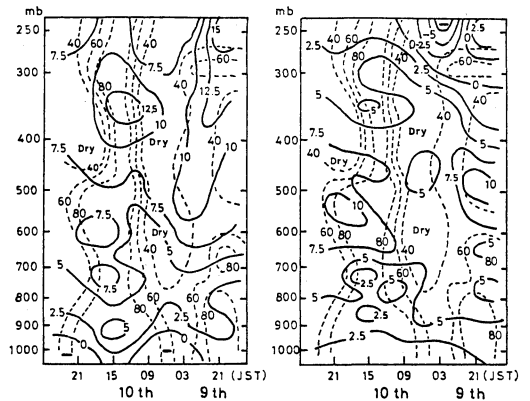
2.2 衛星雲画像の特徴

雲解析図（第3図）では、前線の雲域は、多重構造を示しているが、最南側のCbを含む雲域は、日本の南岸沿いに九州北部を横断し、五島西海上の波動付近まで達していた。この波動の位相は約50km/hrで東進し、15時頃南九州に達し、21時には四国沖へ進んだ。雲域は35~40km/hr東進しているが、日中は九州南西海上で次々に積雲が発生し、発達しながら北東進して（元田ら、1987）前線の雲域（九州南部）へ流れ込んでいた。従って、波動が陸地にかかり、南西から流入する積雲が合流するタイミングが問題であるが、地域的には九州南部、特に九州山地の西側で大雨のポテンシャルが高いと予想される。

2.3 湿度と風の鉛直時間断面図

鹿児島における湿度と風の鉛直時間断面図を第4図に示す。10日15時前後は800mb、600mb付近に卓越した南風成分と800~500mbに西風成分の弱まりが認められ、中層の風の変化でセルの移動も変化した。この風の変化は、鉛直シアーの変化をもたらし、エコー系の移動パターンにも影響を及ぼした。

また、この時間帯に弱い波動が前線上を通過しているため、南風成分が強化され下層の強い暖湿気 ($\theta_e=350$ K) 流入がある。この成層は、相当温位でみると、600



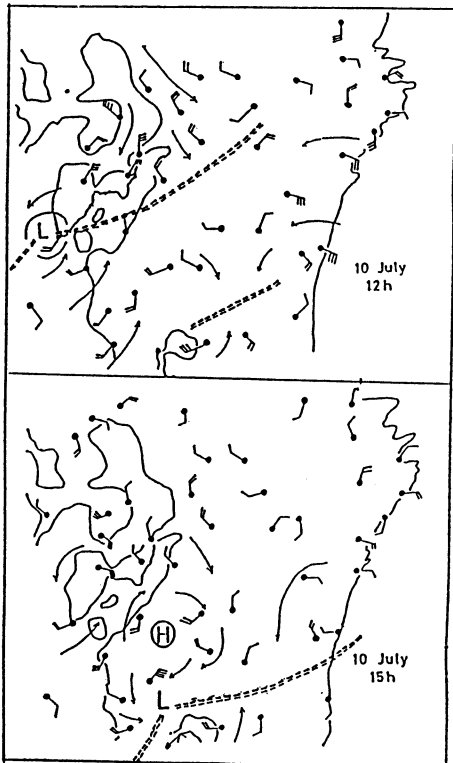
第4図 湿度と風の時間断面図 (左図：東西成分、右図：南北成分)

mb で 328K, 最下層で 355 K と対流不安定であった。その上、鹿児島 9 日 21 時 250 mb に北風成分が強まっており、上層に寒気が流れ込んで来ていることを示している。10 日 9 時には 500~400 mb まで降下しており、これらの条件が重なって豪雨が発生した。パターンの移動についても、福岡レーダでは、12 時に東へ 40 km/hr (雲域の移動と一致)、15 時には停滞 (セルは 50°N へ 35 km/hr), 18 時には東へ 35 km/hr となっていた。

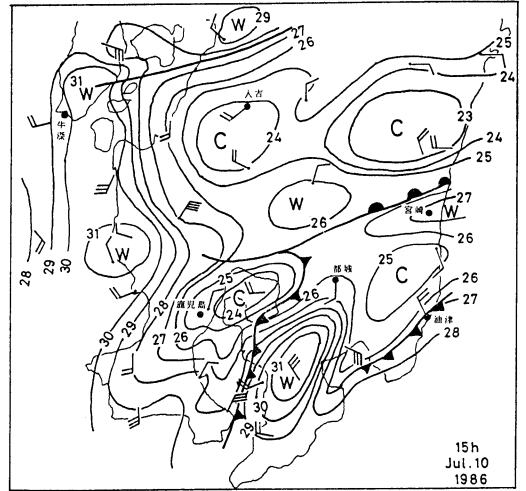
3. アメダス地上風の特徴

第 5 図は、12 時と 15 時における地上の風向・風速とこれから考えられる収束帯を示す。図によれば、12 時には熊本付近から天草にのびる地上のシアーライン (温度の集中帯でもある) としてみられ、15 時には鹿児島北東部の低気圧性地上風循環を伴って、宮崎北部から鹿児島にのびる線まで南下していた。

15 時の風を詳しくみると、鹿児島市北部の吉野町高層観測室では西南西で 3 m/s, 上荒田の気象台では北北東で 0.9 m/s となっており、風は弱い、風向の違いから



第 5 図 アメダス地上風と収束帯



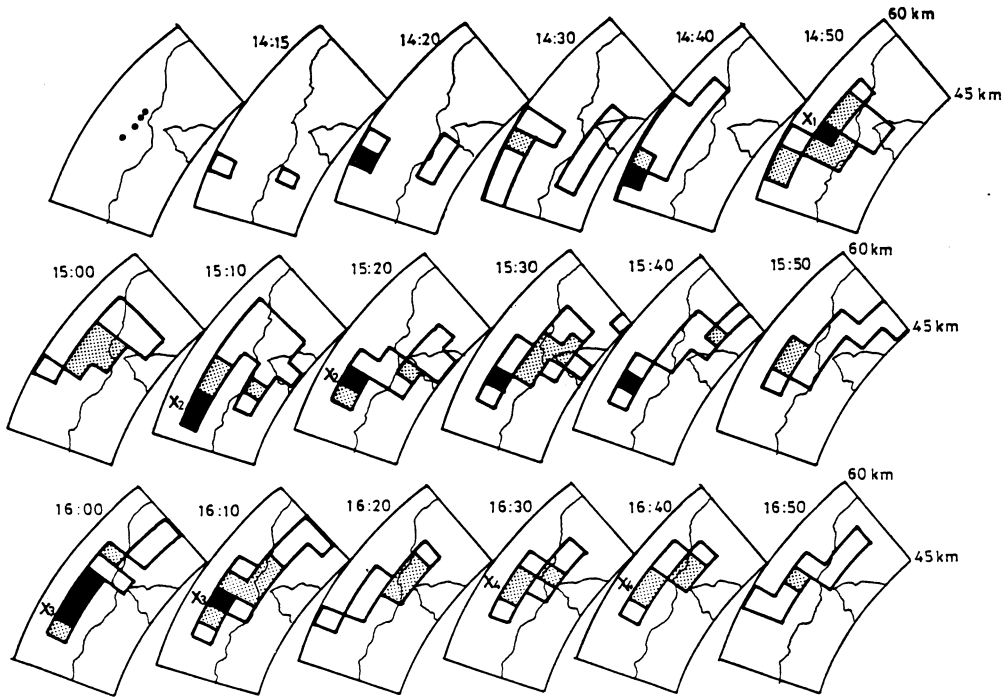
第 6 図 地上の温度分布とアメダス地上風 (1986年 7 月 10 日 15 時)

その中間の城山付近を中心にメソ高気圧の存在が考えられる。この時間地上の温度場の解析 (第 6 図) では、鹿児島から北東方向に長さ 50 km, 幅 30 km 程度の楕円形の気温 24°C (周囲は 30°C 前後) の強い降水による冷気塊が出来ている。すなわち、弱いシアーラインに沿って線状エコーが配列し、ここは温度傾度の大きいところでもある。

4. レーダエコーの特徴

国見岳にある建設省のレーダが捕らえた強雨エコーの変化を第 7 図に示す。解析には、MT に収録された 5 分毎のデータを用いたが、ここでは 10 分毎の変化を図示した。建設省のレーダは中心から半径方向に 3 km, 方位方向に 128 等分に区切られた領域のデータである。豪雨の発生した地点は、レーダサイトから 20 km 前後の地点で、1 メッシュはほぼ縦・横 3 km 前後であり、探知距離ぎりぎり位置することになった福岡や種子島レーダに比べ分解能はかなり良い。しかも MT には各メッシュ点の反射強度が入っているため強雨セルとして追跡することが可能であった。

鹿児島市の災害に関連した降雨系は第 7 図における X₁~X₄ の 4 つのエコーによるものである。まず初めに 14 時 40 分頃エコー X₁ が現れ 14 時 50 分頃最盛時に達する。次に 15 時 10 分頃にエコー X₂ が現れ、北北東に進みながら 15 時 50 分頃まで続く。続いて 15 時 50 分頃、X₂ の近傍でエコー X₃ が現れ 16 時 00 分に最も発達し 16 時 20 分



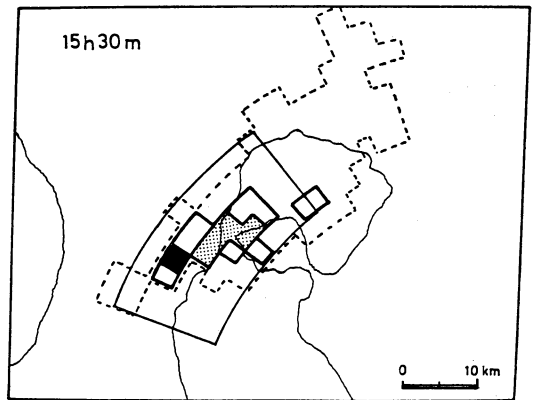
第7図 鹿児島市に災害をもたらした降雨系のレーダ・エコーの水平分布、左最上図の黒丸は災害の発生場所を示す、等値線は外側：50~100 mm/hr、影部：100~150 mm/hr、黒塗：150 mm/hr 以上 (1986年7月10日)。資料は建設省国見岳レーダによる。

には衰えるが、16時30分頃に X_4 のエコーが現れ、17時頃まで持続した。

これから、鹿児島に災害をもたらした降雨系は14時40分頃から17時頃まで続いた X_1 から X_4 の4つのエコーによってもたらされたものといえる。エコーの進行方向は南南西から北北東の方向で福岡市の豪雨例と同様に風上側に新しいエコーが次々に現れ、ほぼ同じ場所で発達し、同じ所に強い雨をもたらした集中豪雨となったものである。

第8図は15時30分の強雨エコーと弱エコーの分布を示す。降雨域は幅 10~15 km、長さ 40 km の大きさになっている。

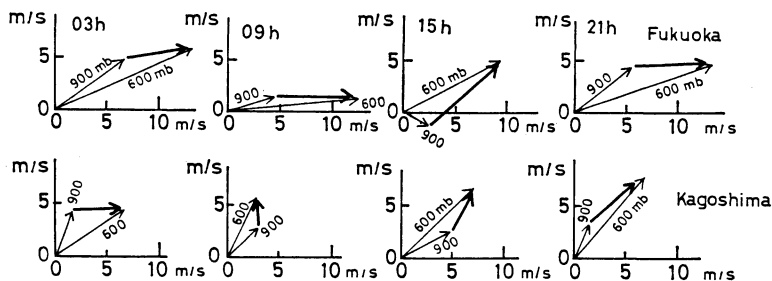
このように、鹿児島市に災害をもたらした降雨系は、寿命が約2時間20分でその間に風上側に発生した4つのセルが入れ替わりながらエコー群として系を維持していた。最盛時のエコー群は、幅 10~15 km、長さ約 40 km の大きさに発達し、エコーの組織化の過程やエコー群の構造は福岡市豪雨 (早川ら, 1988) と非常に似かよった特徴がみられた。この点が興味の引かれるところであ



第8図 鹿児島に災害をもたらした降雨系の発達時のレーダ・エコーの水平分布と第7図に用いた領域を示す (1986年7月10日)。

る。

一方、鹿児島航空測候所のレーダ資料によれば九州中部以南に線状のCbクラスターによるエコーが配列して



第9図 福岡と鹿児島における900 mbと600 mbの風向・風速および鉛直シアー (1986年7月10日)。

おり、エコー群の南西端が、エコー発生源とすれば、九州南部に散在する線状エコーの発生源の包絡線は、天草、牛深付近から、宮崎県南部の油津を結ぶライン上にあり、このラインは14h~18hの間は余り変化しないで持続していた。また、このラインの南西側60 km付近の鹿児島市付近と志布志湾南部付近を結ぶラインにもエコーが存在しており、梅雨前線帯の多重構造を示している。この小規模な前線系は、梅雨前線帯の中で、傾圧不安定の場の中で上下層間で密度差により形成されたとすれば、内部重力波が発生すると考えることが出来る。ここで実測から波長が90 km (天草・牛深~鹿児島)、位相速度: 50 km/hr とすれば、周期は1.8時間となる。最盛期のエコー (強雨) の持続時間もこの位であり、定常的な振舞いをするとして、衰弱するまで3~4周期かかるとみて、5~7時間は停滞していたと考えられる。実際に、線状エコーの定常的な位置は14h~20hまで続いていた。

5. 風の鉛直シアーの特徴

福岡と鹿児島における900~600 mbの風の鉛直シアーを第9図に示す。9時には、エコー域の主体は九州北部にあり、このときの福岡の風の鉛直シアーは東西走向のパターンとなっており、福岡レーダによるエコーも東西に配列しており、シアーの走向と合致している。

このエコー域 (前線帯) に向かって、南からの移流によるエコーの配列は、鹿児島の南北走向のシアーと平行になると考えられるが、この時点では鹿児島付近にエコーがなく、また鉛直シアーも弱い。

15時には、900~600 mbの鉛直シアーは強まり、鹿児島ではやや東にかたよった南北走向の鉛直シアーとなる。福岡も同じ傾向を示し、この時間帯にエコーは、風上側の天草付近と、鹿児島市、志布志湾付近を発生源と

する線状エコーが北東方向にそれぞれ配列していた。この発生源は、前線帯南縁で地形的に気流が収束し易い地峡性の所で、しかも、その地形の走向が収束線と同じで、鉛直シアーの走向と合致していると言う地形の影響も条件の一つとして考えられる。

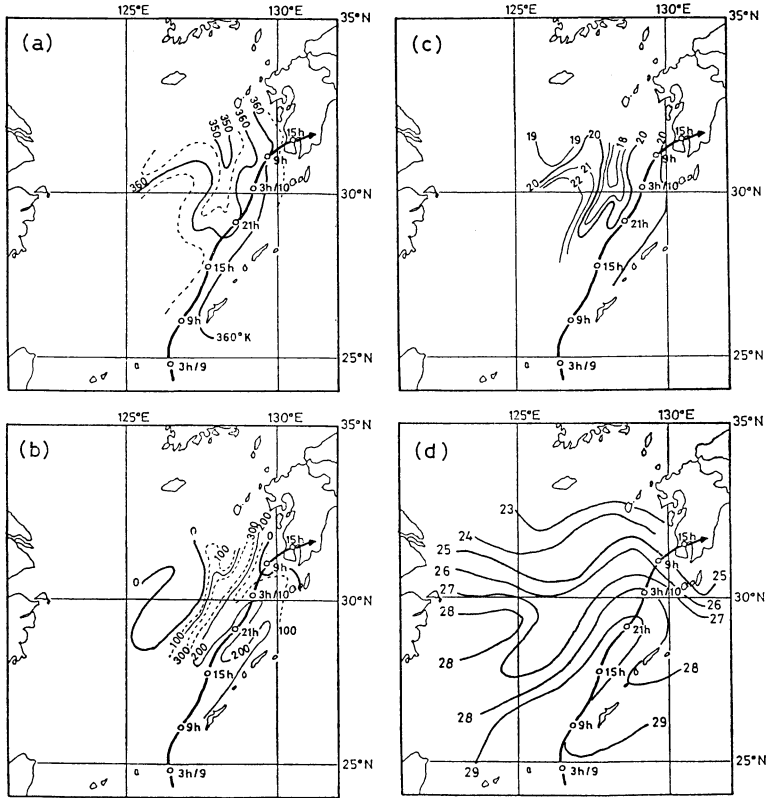
この前線上の弱い波動の通過した後は、エコー帯の後面に弱い北西流の寒気が入り、21時の北東~南西走向のパターンに変化して行った。この頃、梅雨前線は九州中部付近まで南下していた。

すなわち、弱い波動の前面の南側で下層の強い暖湿気の流入と上層に寒気流入があって15時前後の時間帯に鉛直シアーが変化してこれらがエコーの配列を支配していたと思われる。これは福岡市豪雨のケースと非常に良く似た結果と言え、また Seltzer 他 (1985) の示した鉛直シアーとの関係とも一致している。

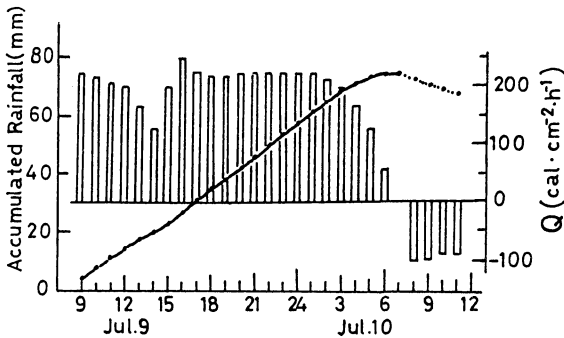
6. 気塊の流跡線による東シナ海からの熱エネルギー補給についての解析

鹿児島市に10日15時頃流入した下層の気塊が、東シナ海をどのような経路で渡って来たかを900 mbの風により流跡線を描いて海洋観測船長風丸の資料によって解析し (第10図)、これをもとに東シナ海からの熱エネルギー量について簡単な見積を行った。

気塊は相当温位 360K の領域を太平洋高気圧の周辺に沿って黒潮本流の上を北上しているが、この海域には雲解析図でも雲はないので海面上極低い層を流入してきた事が分かる。薩摩半島の西海上には散乱した積雲の領域があるところを見ると、成層が少し不安定化しかけていることを示す。しかし、この領域では相当温位 355K と低く、しかも沿岸に低い海面水温域 (水温 24°C、気塊は 27~28°C の黒潮の上を移動してきている) があって、その上を通過するので対流活動がやや抑制されたとみる



第10図 観測船長風丸のデータをもとに作成した相当温位 (a), 熱収支量 (b), 比湿 (c), 海面水温 (d) の各分布量



第11図 流跡線に沿う熱収支量と積算降水量

$$Q_s = \rho C_p C_D (T_s - T_a) \cdot V_s$$

潜熱のエネルギー

$$Q_L = \rho L C_D (q_s - q_a) \cdot V_s$$

全収支量 $Q = Q_s + Q_L$

ここで、 ρ : 空気密度, C_p : 定圧比熱, C_D : 抵抗係数, L : 蒸発の潜熱, T_s, q_s : 海面の水温と比湿, T_a, q_a : 海面上の気温と比湿, V_s : 海面上の風速である。

気塊に次々に蓄積される熱収支量は、蒸発・降水量等で放出されないと仮定している。これによれば、鹿児島市に達するまでに約 70 mm の降水量に換算できる膨大な量が黒潮本流から補給されていた事がわかる。

ことが出来る。

流跡線に沿ってバルク法による熱収支量を見積って降水量に換算したのが第11図である。

熱収支量は次式を用いて算出した。

顕熱のエネルギー

7. まとめ

1986年7月10日鹿児島市の豪雨について解析された結果は次の通りである。

1) 総観場からみれば、鹿児島市豪雨は太平洋高気圧の周辺部に当り、福岡市豪雨と同様に気圧の谷に伴う前

線上の弱い波動と南西からの暖湿気流が合流して不安定場を刺激して豪雨となったものであった。

2) 集中豪雨をもたらしたエコー系は、停滞した一つの巨大積雲に起因するものではなく、風上側に次々に発生する新しいセルが古いセルと入れ替わる形で、結果として組織だった系を長時間維持し、豪雨をもたらした。

そして、最も発達した段階では、内部に4個のセルが存在し、かつ10~15 km幅、長さ40 kmの大きさに発達しており、福岡市豪雨(1983.9.6)とほぼ類似のレーダ・エコーの水平分布構造を持っていた。

3) 集中豪雨は、レインバンドの走向の変化に伴って発生した。このレインバンドの変化を風の鉛直シアーの変化で説明できた。すなわち、レインバンドは鉛直シアーに平行に形成された。

4) 豪雨が発生する場所は、前線帯の南側であり、下層の暖湿気流が流入する。豪雨は地形の影響もあるが、前線帯の南縁の成層不安定場に下層の強い暖湿気流入と前線上の気圧の谷に伴う弱い波動が通過する時に発生している。

5) 鹿児島市に10日15時頃流入した気塊は、黒潮本流の極低い層を北上して降水量に見積って約70 mmの、熱収支量を蓄積してきた。

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、レーダ解析と画像処理は九州大学大型計算機を使わせて頂きました。付記して謝意を表する。

文 献

元田雄四郎・早川誠而・鈴木義則・前田宏・木船一品, 1987: 雨の降り方から鹿児島豪雨災害(1986年7月10日)の特徴, 自然災害科学西部地区会報, 4, 37-40.

早川誠而・鈴木義則・前田宏・元田雄四郎, 1988: 1983年9月6日の福岡市における豪雨の特徴(1) アメダス資料を主とした解析, 天気, 36, 121-126

_____, 1988: 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, 天気, 36, 127-133.

坂上 務・早川誠而, 1987: 発達した対流性レーダ・エコーの特徴, 自然災害特別研究研究成果, No. A-61-3, 86-89.

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.

1989年度 日本生命財団研究助成の募集のお知らせ

人間活動と環境保全との調和に関する研究

——自然と人間の共生への新しい道を求めて——

助成の主旨

日本生命財団は、過去10年間にわたり環境分野の研究助成を行っており、本年度も標記の課題で公募を行います。

21世紀の豊かで調和のとれた環境づくりに貢献する独創的な研究、学際的な研究等ユニークな着想にもとづく研究計画をお持ちの研究者・グループのご応募を期待します。

研究助成の概要

- 応募資格は問いませんが意欲的に研究を遂行しているだけの個人・グループ
- 選考方法: 当財団選考委員会で厳正な選考のうえ、9月の理事会にて決定

- 助成期間: 1989年10月から1年間
- 助成金総額: 8,000万円程度(予定)

応募方法

- 「応募要項」「申請書」は下記あて郵送用切手同封の上、ご請求下さい。

なお、「応募要項」「申請書」は5月中旬までにご請求下さい。

(1部~2部 240円, 3部~4部 350円) 消費税分を加算下さい。

- 「申請書」の提出期限: 1989年5月26日(金)消印まで

〒541 大阪市東区今橋 3-1-7 日本生命今橋ビル
日本生命財団 研究助成部 電話 (06) 204-4012