



Title	中規模対流システムに伴う豪雨の解析
Author(s)	播磨屋, 敏生; HARIMAYA, Toshio; 若松, 英寿 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 59, 85-98
Issue Date	1996-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.59.85
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14232
Type	departmental bulletin paper
File Information	59_p85-98.pdf



中規模対流システムに伴う豪雨の解析

播磨屋敏生

北海道大学理学部地球物理学教室

若松 英寿*

北海道大学大学院環境科学研究科環境構造学専攻

(1995年11月30日受理)

Analysis of Heavy Rainfall Associated with a Mesoscale Convective System

Toshio HARIMAYA

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

Hidehisa WAKAMATSU*

Division of Environmental Structure, Graduate School of Environmental Science,

Hokkaido University

(Received November 30, 1995)

There was a heavy rainfall over a wide area of the Tohoku district and Hokkaido which continued for 4 days in August 3-6, 1981 causing considerable damage. As the case study, the formation process of this heavy rainfall was studied, based on the structure and movement of rainfall cells and rainfall clusters. The results are as follows.

There were five rainfall clusters within the front, which moved gradually from southwest to northeast along the direction of the front. The rainfall clusters reached the mature stage causing heavy rainfall in the central part of the Hokkaido. Numerous rainfall cells were observed within the rainfall cluster. New rainfall cells appeared behind the rainfall cells that had existed already and replaced. The rainfall cells reached the mature stage over the central part of Hokkaido. Thus, rainfall clusters appeared to have reached the mature stage over the central part of Hokkaido. The results of analysis also showed that the rainfall clusters corresponded with the area in which the temperature of the cloud top was below -48°C on cloud picture of GMS, and the rainfall cells corresponded with the area in which the radar echo was more than 4mm/h in rainfall intensity.

I. ま え が き

北海道では、1981年8月3日から6日にかけて大雨が降り続き、各地に大被害をもたらした。石狩川下流域の空知・石狩・胆振地方では、350 mm から 400 mm の大雨が帯状の狭い地域に集中した。そ

* 現在、富士通株式会社
* Now with, Fujitsu Ltd.

してその中心地である岩見沢付近では、8月4日に幅10 kmで長さ50 kmの狭い帯状の地域に250 mm以上の雨が降った。前報(播磨屋・菊地, 1983)の解析によれば、この豪雨は、狭い帯状域を降水セルが南南西から北北東へつぎつぎに通過し、その中でより強い降水セルがある特定の区間で最大降水強度をもたらしたことにより形成されたことが明らかになった。しかし、降水量データに見られた約6時間変動に対応する、より大きいスケールの降水クラスターについてはふれられなかった。

一般に集中豪雨が発生するためには、次に述べる四つの条件が必要であると言われている。1) 数個から十数個の積乱雲の群れが形成され、しかもその維持のため次々新しい積乱雲が形成される。2) 積乱雲群が全体として停滞することが必要である。3) 移動していく積乱雲のそれぞれが同じ所に雨を降らせる。4) 強い中規模擾乱を引続き維持していた大規模擾乱の停滞と地形の効果が必要である。

しかし、集中豪雨は具体的に積乱雲及び積乱雲群のどの様な振舞いでもたらされるのか、まだよくわかっていない。ある気象現象の寿命は、原則的にはそのスケールに比例する。それで積乱雲から積乱雲群までのスケールにおける大きい範囲にわたる、また長い時間にわたる解析のためには、等しい精度、時間間隔のデータで広範囲をカバーする測定値のネットワークが適している。ここでは、気象庁のAMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) による10分間降水量をもとに、この集中豪雨の詳しい降水量解析を行い、降水セルと降水クラスターの構造と移動を通して、豪雨の形成過程を明らかにする。

II. 気象状況

1981年8月1, 2日は夏型の気圧配置で、内陸部を中心として30°Cを越す真夏日となった所が多かった。しかし、3日午後にはサハリン南部を通過した低気圧から伸びる寒冷前線は、3日昼過ぎから夜半にかけて北海道北部を南下した。その後この前線は4日夕方まで北海道中央部を北東から南西に横切って停滞したため、各地で記録的な大雨となった。Fig. 1は1981年8月4日09時における地上

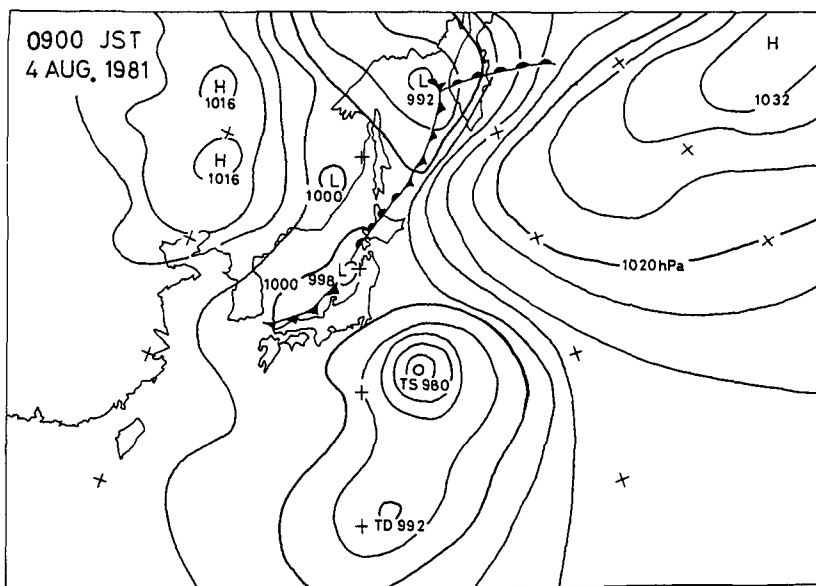


Fig. 1. Surface weather map on 0900 JST, August 4, 1981. Isobars are drawn at every 4hPa.

天気図である。低気圧に伴う前線は、太平洋上と中国大陸北東部に存在する強い高気圧にはさまれて東進するのを阻まれた形となり、その後北東および北北東の方向に移動して行く。また日本の南方海洋上には中心気圧が 980 hPa の台風 12 号が存在しており、この台風からのあたたかく湿った気塊が移流してきて前線を活発化させ、多量の降水をもたらした。台風 12 号はその後北進して 4 日夜半には台風からのびる雨雲が北海道に流入して前線と合流した形となり、以後 5 日夜半にかけて各地で再び強い豪雨をもたらした。この前線と台風による降雨は 3 日から 6 日におよび、結果として記録的な豪雨となった。

AMeDAS による 8 月 4 日の日降水量の分布を Fig. 2 に示す。100 mm/day 以上の多い降水量の観測された地域は影のついた部分として表されているが、道央付近を中心として南西から北東の方向にのびて存在している。そしてその中心部に存在する岩見沢を中心とした幅 10 km、長さ 50 km の狭い帯状の領域 (AMeDAS の観測点としては、美唄、岩見沢、栗沢、長沼の 4 ヵ所) では 250 mm 以上の日降水量が観測されている。4 日の日降水量を北海道および東北の全地域で見ても、多量の日降水量が観測された地域は北海道の道央地方に限られる。次に多いのは北海道および青森、秋田両県の西部で、道東および東北地方はこの日には少量の降水量しか観測されなかった。

Fig. 3 は 8 月 4 日 08 時 32 分の気象衛星による雲画像である。Fig. 1 の天気図に示されていた前線に伴う帯状の雲は日本列島に沿った形で南西から北東の方向にのびており、北海道はほとんど全域が

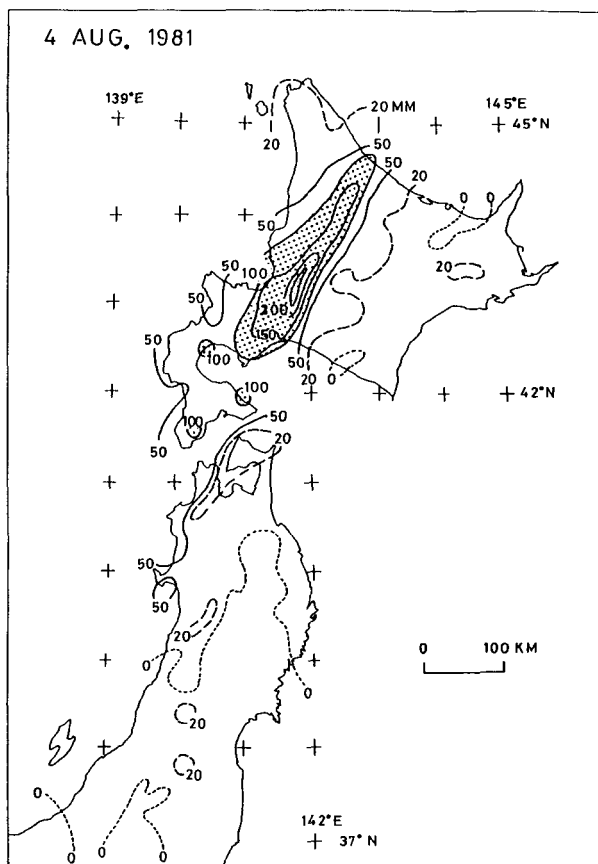


Fig. 2. Distribution of the rainfall amount on August 4, 1981. Contours are drawn at every 50mm/day.

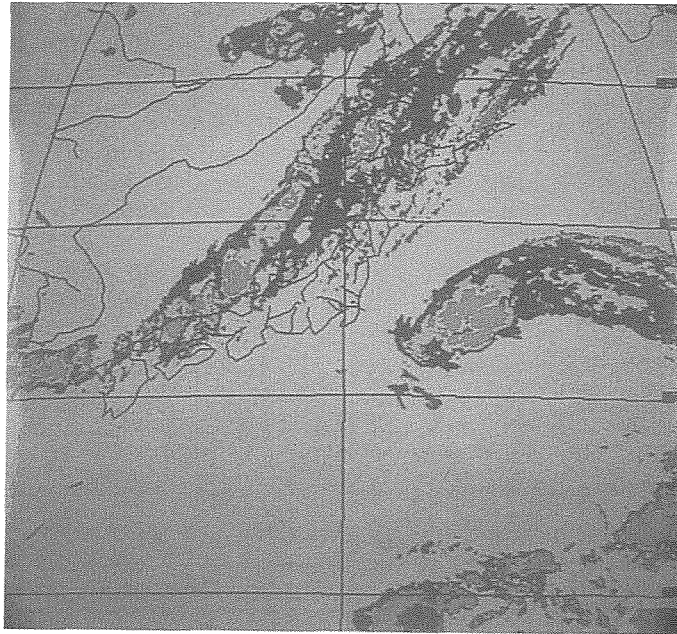


Fig. 3. Cloud picture of GMS (Geostationay Meteorological Satellite) on 0832 JST, August 4, 1981.

その雲に覆われている事がわかる。日本列島の南東方向に見られるのは台風12号からのびた雨雲のバンドである。前線内部に存在する灰色に囲まれた黒い部分は雲頂温度が -48°C 以下の領域であり、背の高い対流雲の存在を示し、その下の地表面では降水があるものと推測される。その領域が4カ所見られ、いずれもライン状に近い形をしている。それに伴って降水量にも強弱があることが期待される。

III. 降水クラスター

解析に使用した降水量データは、AMeDASによるものである。観測点の総数は、北海道と東北全域、そして新潟と栃木両県の一部を含む492カ所である。その解析に使用された観測点の位置は、Fig. 4に丸印で示されている。天気図を見た時には一見前線が停滞した事によって一様に強い降水がもたらされたように見えたが、その前線の内部にはFig. 3の気象衛星による雲画像から見られるように降水の強い部分が局在しているのではないかと推測される。その降水の強い部分の動態を調べるために、次のような解析を行った。

Fig. 2の日降水量分布図からわかる通り、多量の降水の観測された地域は南西から北東の方向にのびている。そこで4日15時の南南西から北北東にのびるレーダーエコー(札幌管区気象台レーダーによる)の東端を軸にとり、40kmの等間隔で24個のエリアに分け、北の方から順に1から24までのエリアナンバーを付けた。1つのエリアに含まれる観測点の数には多少バラツキがあるが、平均すると約10.5個の観測点が含まれている。この24個のエリアにおける解析は、1つのエリア内に含まれる全ての観測点で観測された1時間降水量の総計を、観測点の総数で割って1時間降水量の面積平均値を求めて行った。

Fig. 5はエリアナンバー3(音威子府を含む)、7(岩見沢を含む)、11(函館を含む)、15(弘前を含む)の領域における1時間降水量の面積平均値を棒グラフで、その3時間移動平均値を折れ線グラ

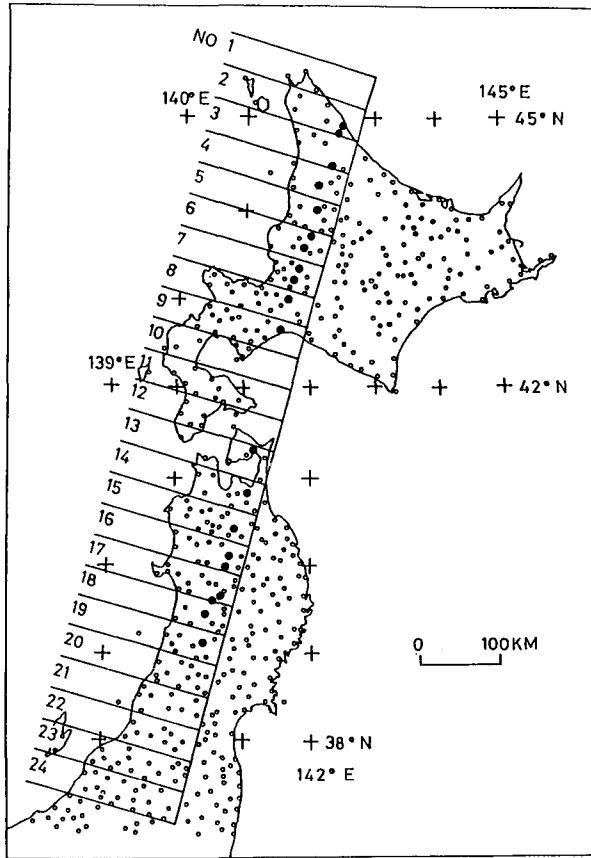


Fig. 4. Positions of AMeDAS observational points used in the analysis. The points shown by solid circles were used for the analysis of rainfall cells.

フで表したものである。横軸は時間で8月3日の12時30分から、4日の23時30分までである。縦軸には降水量がとってある。図の中で3時間移動平均値のピークには、AからEまで記号が付けられているが、これは後の解析で得られる降水クラスターにそれぞれ相当している。B、C、Dの3つのピークを見てみると、時間の経過と共に徐々に北の方向に移動して行くことがわかる。しかも降水量のピークは約6時間周期で現れている。このようにエリアに分けての解析においても強い降水のピークが周期性をもって現れていることは、前線内部にはより降水の強い領域がかなりの大きさを持って存在しており、徐々に北東及び北北東に移動して行ったものと推測される。次にこの前線内部に存在する、より降水の強い領域の振舞いを調べる。

降水強度そのものは、地形の影響などの局地的な特性を含んでおり、後に述べる降水クラスター等の移動そのものを追跡したりするには向いていない (Harimaya et al., 1988; 播磨屋・菊地, 1990)。そこで地形の影響による降水を取り除くのに有効な $\Delta R(t)$ 解析 (Staff Members, Tokyo University, 1969, 1970) を用いて解析を行った。

$$\Delta R_3(t) = 2R(t) - \{R(t-3\text{hour}) + R(t+3\text{hour})\}. \quad (1)$$

(1)式は降水クラスターの移動を求めるためのもので、AMeDASの降水量データを基にして3時間降水量の $\Delta R(t)$ 解析を行うので、 $R(t)$ というのは t という時間を中心とした3時間の降水量である。そ

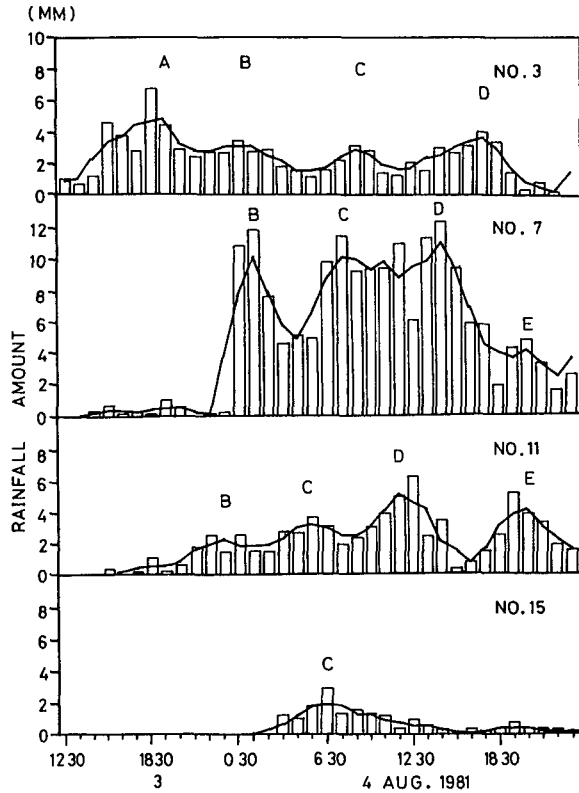


Fig. 5. Area rainfall amount (bar graph) and 3-hour running mean (line) of hourly rainfall amount in area numbers 3, 7, 11, 15, respectively.

して(1)式は3項移動平均からの偏差値を作ることに相当している。それで降水クラスターが観測点の上空を通ると、その値は正となる。また周期については、Fig. 5の解析からわかる通り約6時間周期が卓越しているので、その周期を抽出するために、3時間降水量の $\Delta R(t)$ 解析を行った。

Fig. 6は、AMeDASの観測点で観測された3時間降水量について $\Delta R(t)$ 解析を行った結果である。横軸は時間で8月3日の6時から8月4日の24時まで、縦軸はエリアナンバーで上方向が北を表わす。コンターは3時間あたり0, 10, 30 mmとなっている。この図を見ると時間の経過と共に5つの $\Delta R(t)$ の値の正の領域が現れており、これらを降水クラスターと定義する。図の中で影の付いた領域がそれに相当する。5つの降水クラスターにそれぞれ降水クラスターA, B, C, D, Eと名をつける。ここで解析された降水クラスターは、気象衛星雲画像から前線内部に5個の中規模の雲バンドが存在していることを解析した黒田(1982)の言う中規模の雲バンドに対応する。Aを除いた4つの降水クラスターは、エリアナンバー10以北の北海道地方に限って見てみると、時間の経過と共に北北東の方向に移動していることがわかる。但しエリアナンバー11以南の領域をみると若干南進しているような傾向も見られる。

次に降水クラスターの水平分布の時間変化を見てみる。Fig. 7がその図である。影の付いた領域が降水クラスターを表しており、時間は4日7時30分から18時30分までである。まずどの時刻においてもこの8月3, 4日に観測された降水クラスターはライン状の形をしており、南南西から北北東の方向にのびていることがわかる。7時30分の段階で降水クラスターCは図で示された通りライン状の

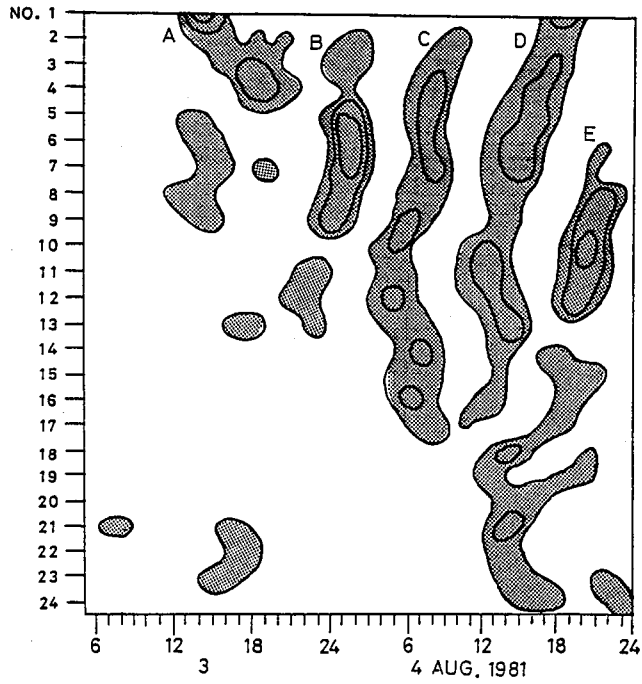


Fig. 6. Time-space cross section of $\Delta R_3(t)$. Shaded areas indicate places with a positive $\Delta R_3(t)$. Contours are drawn for 0, 10, 30 mm/3h. Ordinate indicates area numbers.

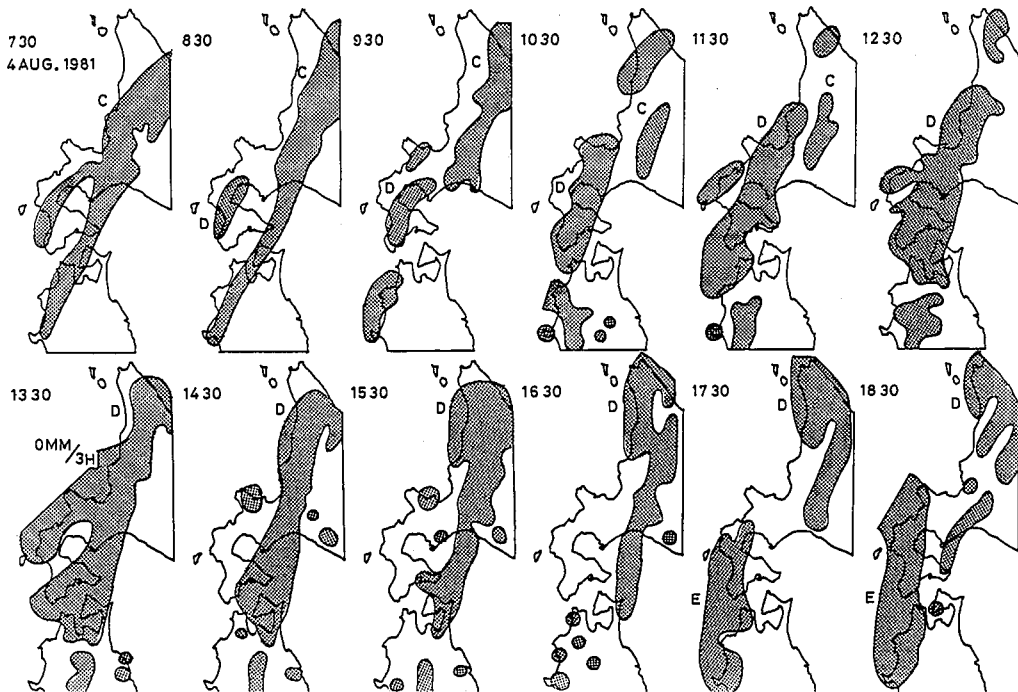


Fig. 7. Temporal change of the horizontal distribution of rainfall cluster. Shaded areas indicate rainfall clusters.

形で存在しており、そして最盛期に達している。しかしその後徐々に北東の方向に移動しながら衰弱して行き、それに代って今度は降水クラスターDが西の方から移動してきて道南地方や青森県西部に現れるようになる。この降水クラスターDは長時間にわたって道央地方をおおい多量の降水をもたらした後、16時30分頃から衰弱期に入り、早いスピードで北東の方向へ移動して行った。そして17時30分の段階になると、今度は降水クラスターEが西の方に現れるようになる。このように今回のケースでは降水クラスターはライン状の形態をしており、時間の経過と共に北東の方向に移動して行き、既存の降水クラスターが衰弱期になると新しいクラスターが西の方から現れるという事が明らかになった。

それらの降水クラスターによってもたらされた8月3日、4日の2日間における各エリア毎の総降水量を示したものがFig.8である。図を見てわかる通りエリアナンバー7の岩見沢を含む領域、つまり道央地方を中心として降水量の多いピークが見られる。下の図は5個の降水クラスターがもたらした

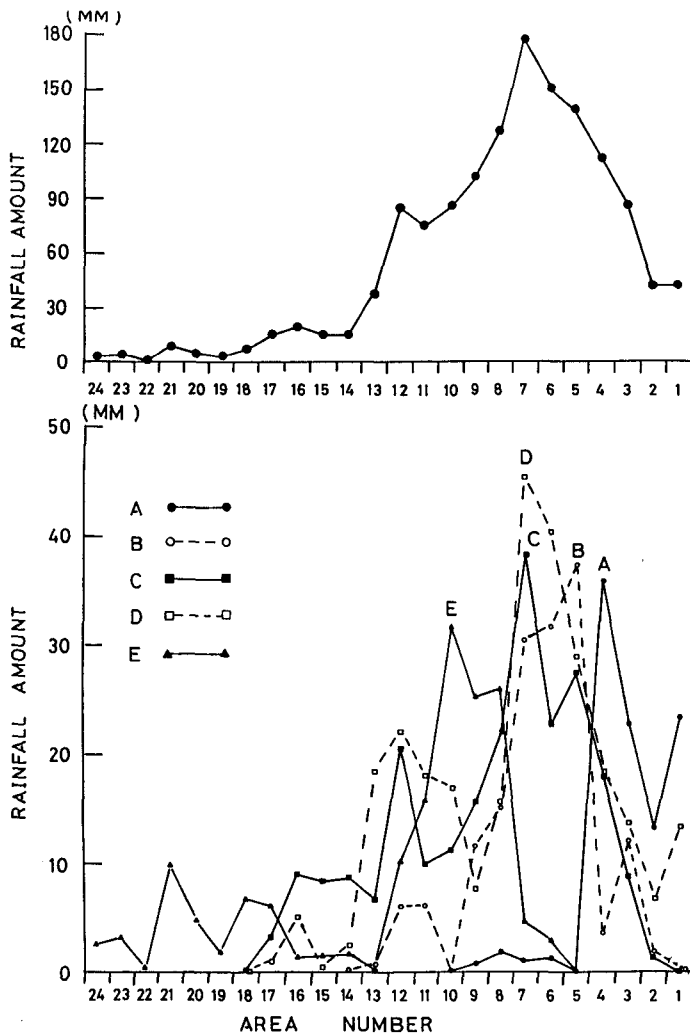


Fig. 8. Total rainfall amount on August 3 and 4, 1981 in each area number (upper) and each rainfall amount formed by rainfall clusters (lower).

たそれぞれの降水量を示したものである。Aは道北、Eは道南とピークが少しずれる傾向にあるが、B、C、Dの3つは降水量のピークは道央付近に集中している。これまでの解析と考え合わせると、降水クラスターは徐々に北東の方向に移動してきて、同じ地域つまり道央地方にさしかかったときに最盛期を迎え、多量の降水をもたらしたことが明らかになった。前線内部に存在する降水クラスターは、徐々に北東に移動してきて何らかの影響を受け同じ場所で最盛期に達したことは非常に興味深い。

IV. 降 水 セ ル

前報（播磨屋・菊地，1983）によると、降水クラスターよりも小スケールの降水セルがこの豪雨において認められた。はじめに降水セルの定義から述べる。

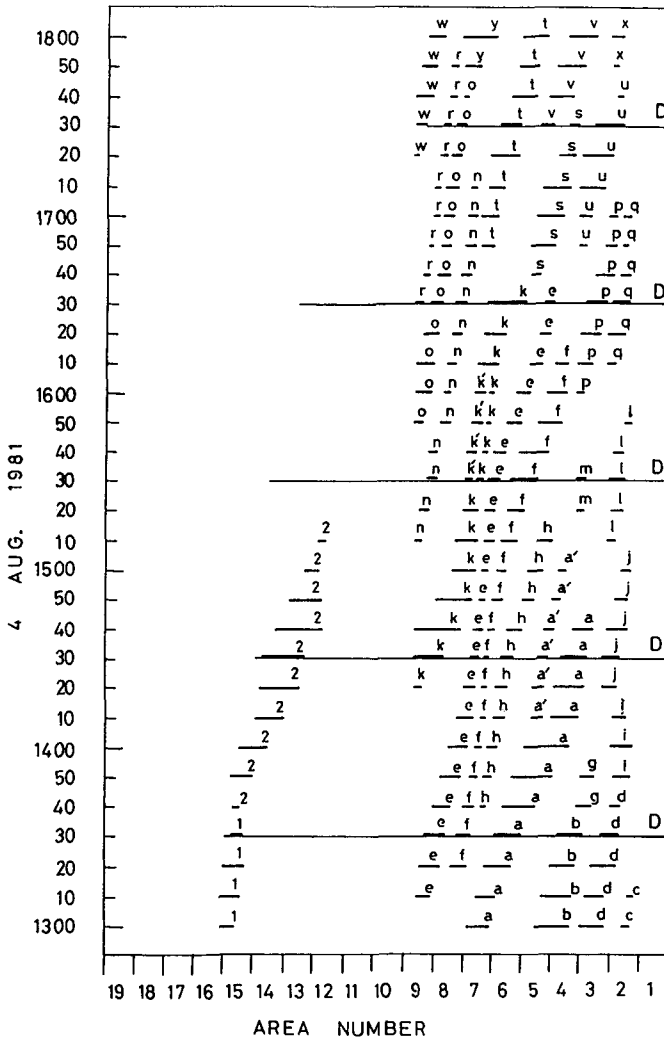


Fig. 9. Temporal changes of the sizes and relative positions of rainfall clusters and rainfall cells. Capital letters, and a small letters and numbers indicate rainfall clusters and rainfall cells, respectively.

$$\Delta R_{20}(t) = 2R(t) - \{R(t-20min) + R(t+20min)\}. \quad (2)$$

(1)式においてと同様に降雨塊が観測地点の上空を通過すると $\Delta R_{20}(t)$ の値が正となるので、値が正の場合を降水セルと定義する。ここでは40分周期を抽出するために20分間降水量を用いた。この解析では、Fig. 4の南南西から北北東にほぼ一直線上に並んだ20個の黒丸で示されたAMeDASの観測点(南から、湯沢、大館、角館、田沢湖、八幡平、湯瀬、休屋、野辺地、むつ、苫小牧、長沼、岩見沢、美唄、滝川、深川、幌加内、朱鞠内、美深、歌登、北見枝幸)で、 $\Delta R(t)$ 解析を行った。その結果の $\Delta R(t)$ 解析の時空間分布図は播磨屋・菊地(1983)において見られる。

Fig. 9は降水クラスターDとその内部に存在する降水セルの移動と大きさを時系列で示したものである。横軸はエリアナンバーを表しており、数の小さい方が北を示している。図の中で長くて細い線が降水クラスターを表しており、短くて太い線が降水セルを表している。図を見ると、どの時刻においても降水クラスターは数多くの降水セルから成り立っており、その降水セルは新しいセルが既存のセルの南側に発生し、入れ替わりながら時間の経過と共に徐々に北東の方向へ移動しているという特徴を示している事がわかる。

その降水セルと降水クラスターとの関係を水平分布で見たのがFig. 10である。この図において降

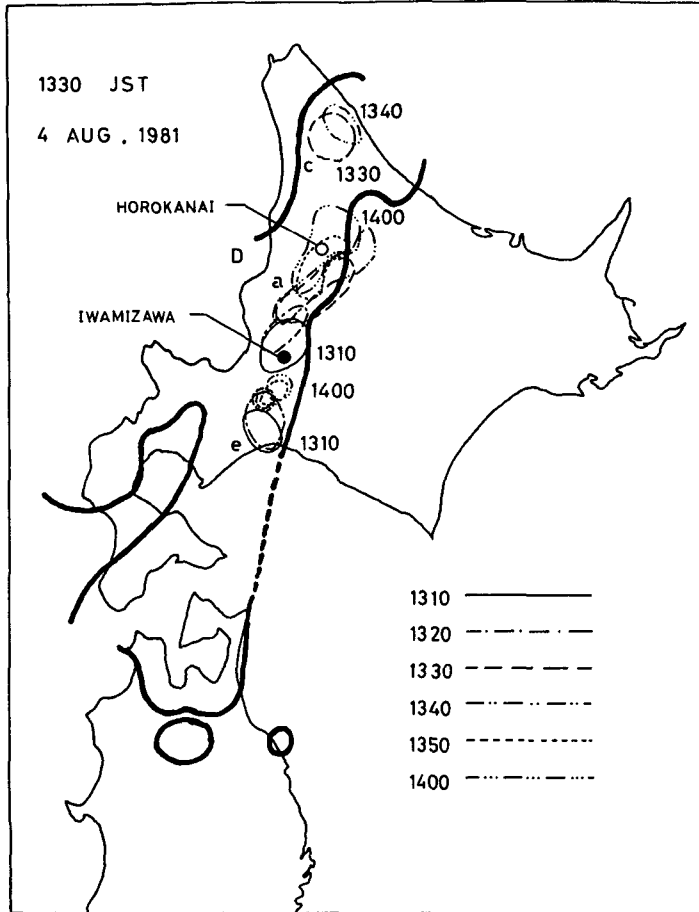


Fig. 10. Composite map of rainfall clusters and rainfall cells. Thick lines and thin lines indicate rainfall clusters and rainfall cells, respectively.

水クラスターDは13時30分のものであり、青森県北部から道央地方にかけてライン状の形で南南西から北北東にのびて存在している。そしてこの降水クラスターDの内部には、代表的な降水セルe, a, cが重ね書きされている。この図からこれらの降水セルは時間の経過と共に北東の方にその位置を変えている事がわかる。例えば降水セルaは13時10分には岩見沢を中心とした領域に存在しているが、14時00分には幌加内を中心とした領域に位置を移している。

降水クラスターDのもたらした総降水量とその内部に存在する降水セルがもたらした降水量を示したのがFig. 11である。横軸にAMeDAS観測点の相対的な位置を示している。上図は降水クラスターDによる総降水量を表しており、そのピークは長沼、岩見沢、美唄といった道央地方に見られる事がわかる。下図は、降水セルのうち3ヵ所以上の観測点で降水が観測され、かつ各々の観測点で観測された総降水量の和が10mm以上のものだけを選び出して図にしたものである。これを見ると寿命が長くかつ多量の降水をもたらした降水セルの多くは道央地方に集中しており、ピークも長沼から滝川といった領域に集中しており、上の図とピークの位置はほぼ一致している。このように一見停滞しているように見えた前線はその内部に数個の降水クラスターを含み、更なるその降水クラスターの内部には数多くの降水セルが存在しており、その降水セルの活発な入れ替わりで降水クラスターは維持されていたものと考えられる。

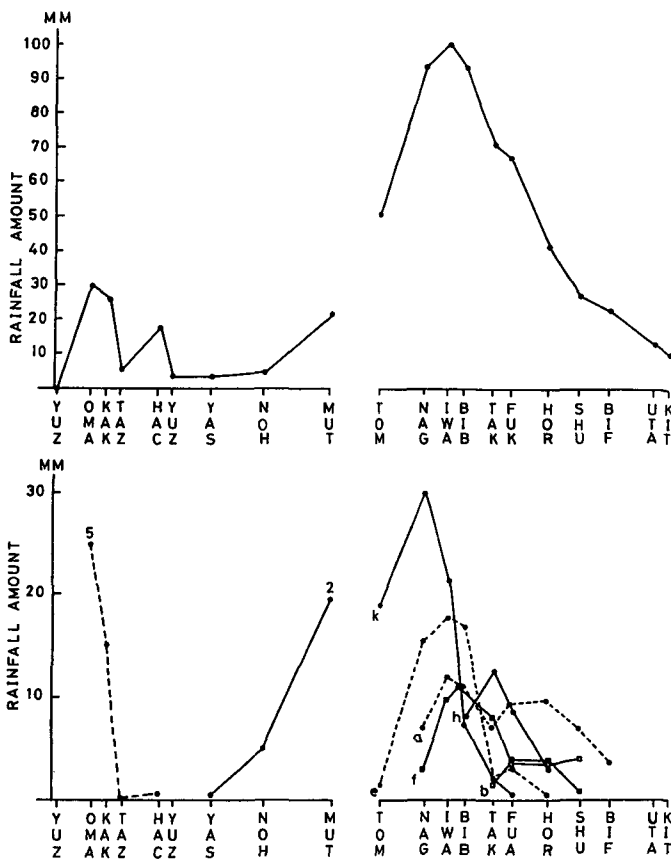


Fig. 11. Total rainfall amount formed by rainfall cluster D (upper) and rainfall amount formed by rainfall cells within rainfall cluster D (lower).

V. 考 察

降水クラスターは、気象衛星画像に見られる中規模の雲バンドに対応していた。降水セルは、何に対応しているのかを、レーダーエコーと比較しながら調べる。

降水セルとレーダーエコーを対応させて解析した結果が Fig. 12 である。時間は 11 時 35 分から 17 時 05 分まで、黒い領域がレーダーエコーであり、降水強度が 4 mm/h 以上である。影の付いた領域は

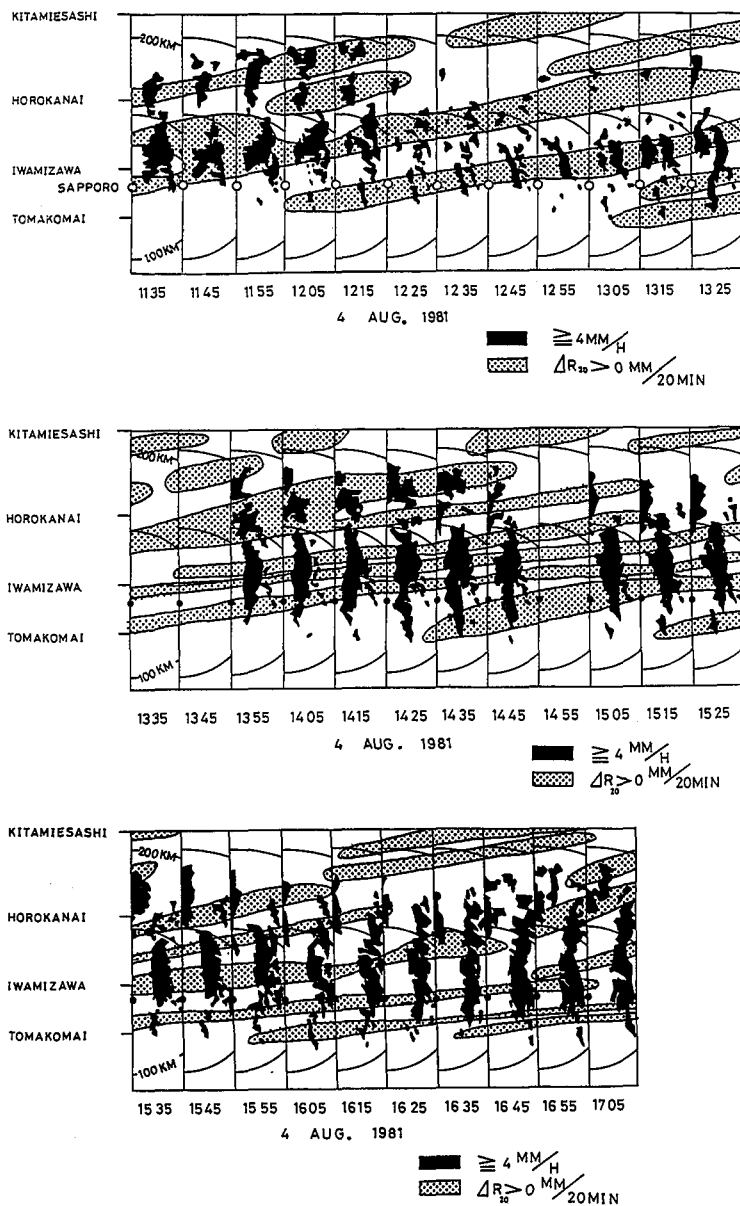


Fig. 12. Temporal changes of rainfall cells and radar echoes. Shaded area and black area indicate rainfall cells and radar echo of an area with rainfall intensity of more than 4mm/h, respectively.

降水セルを表している。10 分間隔で並んだ長方形は、北見枝幸から幌加内と岩見沢を通り苫小牧までのびた直線を長方形の中心軸にとった横幅が 65 km の領域である。レーダーサイトである札幌の位置は黒丸で示してある。なお 13 時 35 分、13 時 45 分および 14 時 55 分のレーダー観測は欠測である。この図からレーダーサイトである札幌からかなり遠い所は別として降水強度が 4 mm/h 以上のレーダーエコーと降水セルはわりとよく一致しており、時間の経過と共に北北東の方向に移動して行くのが見られる。ある時刻を見ると降水セルは 4 個から 6 個ぐらいに分かれて存在しているが、レーダーエコーの方を見ると何個もの降水セルにまたがった形で単一のレーダーエコーが存在するような事が多い。これはレーダーエコーの降水強度が 4 mm/h 以上の領域はそれ以上の段階がないため、おそらくより強い降水強度の領域が降水セルに対応しているのではないかと考えられる。これまで述べてきたことをまとめると、 $\Delta R(t)$ 解析で求められた降水セルは、レーダーで観測した場合の降水強度が 4 mm/h 以上のエコーセルにほぼ対応しているものと考えられる。

VI. 結 論

地形による降水を取り除くのに有効な $\Delta R(t)$ 解析を用いて、降水量を解析したところ次のようなことが明らかになった。3 時間降水量で求められた $\Delta R(t)$ 解析の値の正の領域である降水クラスターは、前線の内部に 5 個存在しており、降水クラスター A を除く 4 個の降水クラスターは時間の経過と共に前線に沿った形で徐々に南西から北東の方向に移動して行き、岩見沢を中心とした道央付近で最盛期に達し多量の降水をもたらした。降水クラスターの内部には 20 分間降水量で求められた $\Delta R(t)$ 解析の値の正の領域である降水セルが多数存在しており、それらが活発に入れ替わりながら降水クラスターを支えていた。主な降水セルは道央をはさむ領域で数多く発生し、さらに道央付近に達したときに最盛期に達したために、降水クラスターもそこで最盛期に達したかのように見えた。しかも 4 日 13 時 30 分から 15 時 30 分の間に降水量も多く降水セルも活発になっており、時間集中性も空間集中性も極めて高かったことがわかった。一般に集中豪雨は、積乱雲が群に組織化され、ある地域を目指し移動して行き、そこで最盛期となり、ごく狭い領域に多量の降水をもたらす事 (Takeda, 1981) が知られており、今回のケースも同様であった。降水クラスターは、実際には気象衛星でみた雲頂温度の低い -48°C 以下の領域、降水セルは降水強度が 4 mm/h 以上のエコーを持つ領域に相当していることが明らかになった。

謝辞 本研究の解析において AMeDAS の降水量データ及びレーダーデータの使用で気象庁及び札幌管区気象台にお世話になりました。ここに記して感謝申し上げます。この研究の一部は、文部省科学研究費補助金によって行われた。

文 献

- 播磨屋敏生・菊地勝弘, 1983. 1981 年 8 月上旬北海道豪雨の解析 (I) - 豪雨の微細構造と形成 - . 北海道大学地球物理学研究報告, **42**, 15-25.
- 播磨屋敏生・菊地勝弘, 1990. 北海道中西部豪雨の解析. 北海道大学地球物理学研究報告, **53**, 49-59.
- Harimaya T., K.Tobitsuka and K.Kikuchi, 1988. Enhancement of Rainfall by Topographic Effects. Nat. Diast. Sci., **10**, 1-14.
- 黒田雄紀, 1982. 昭和 56 年北海道豪雨に伴う雲パターンの特徴. 気象衛星センター技術報告, **6**, 73-90.
- Staff Members, Tokyo University, 1969. Precipitation bands of Typhoon Vera in 1959 (Part I). J.Meteor. Soc.

Japan, **47**, 298–309.

Staff Members, Tokyo University, 1970. Precipitation bands of Typhoon Vera in 1959 (Part II). *J. Meteor. Soc.*

Japan, **48**, 103–117.

Takeda, T., 1981. Case study of the structure and formation of a heavy-rain band. *Nat. Disast. Sci.*, **3**, 40–51.