

南四国において発生する暖域内スコールライン*

松 尾 敬 世**

要 旨

南四国において、南西気流中の暖域内でおこる大雨は、対流圏中層以下の対流不安定により発生したSW走向線状エコーによっておこる。

線状エコーは降雨の期間中定常的に特定の線上に存在しやすく、またその線上の特定の発生地点より生成する傾向がある。この傾向は、南東気流中で大雨をもたらすSE走向線状エコーについても同様に認められる。

線状エコーは主に東進するが、特定の線上で停滞発達しやすい。この傾向も、SE走向線状エコーについても同様に認められる。

47. 7 豪雨において、線状エコー中の降雨細胞の直径は、約 25 km で、もっとも発達した線状エコー中の降雨細胞は、1 個当たり約 60 mm の雨量を雨量観測地点に降らせた。

1. はじめに

四国地方の豪雨には、2つのタイプがあることが知られている。1つは下層の南西気流中でおこる豪雨であり、さらに1つは南東気流中の豪雨である。これらの豪雨は、いずれも局地的であり、統計的には、南四国で数点の豪雨地点が知られている。レーダ観測によれば、これらの豪雨はよく発達した線状のエコーによることが多い。総観的にみれば、低気圧の東進に伴い、最初に温暖前線前面での下層の南東風による大雨がある。それにひき続いて温暖前線上・暖域内・寒冷前線上と下層の南西風による大雨に移行する。

四国東岸の南東風による大雨は、台風を除けば、低気圧の東進に伴い、四国東岸が南東風から南西風に移行する過程で、四国西部あるいは中部からのびたSW走向線状エコーと四国東部のSE走向線状エコーが合流する地点で局地豪雨になることが多い。これとは別に南西風による大雨は、前線とその南の暖域内に発達した線状エコーとの合流型の大雨を除けば、いずれも良く発達した1本の線状エコーによることが多い。

これらの大雨は、いずれも大スケールのじょう乱から小スケールのじょう乱まで密接に結びついて発生してい

と思われるが、その実体はきわめて小スケールの問題であり、降雨の基本単位は積乱雲であると考えられる。積乱雲が配列して、線状エコーを生成し、それが成長・消滅・移動・停滞などとさまざまな現象を繰り返す。これらの現象の法則性は、予報の観点からどうしても見出し出されねばならない。そのためには、総観場の中に埋没している小スケールの解析を、ケーススタディで行なう必要があるように思われる。

今回は、暖域内の南西気流中の大雨を主に調査した。資料は1967～1972年の中で7月に四国に大雨をもたらした6例（うち1例のみ9月）について報告する。

- (I) 1967年7月6日（停滞前線の南）。
- (II) 1967年7月8日～7月9日（停滞前線の南）。
- (III) 1971年7月22日～7月24日（日本海低気圧の暖域内）。
- (IV) 1972年7月4日～7月6日（日本海低気圧の暖域内）。
- (V) 1972年7月12日～7月13日（停滞前線の南）。
- (VI) 1972年9月14日～9月16日（日本海低気圧の暖域内）。

2. 高層資料解析

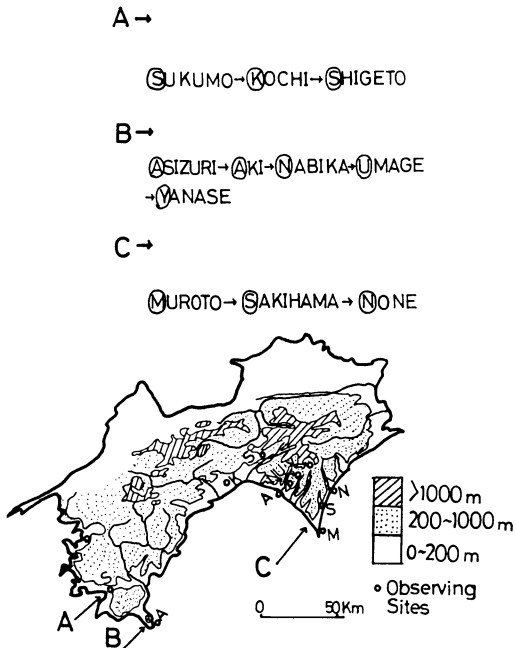
これら6例の大雨について、高知県の南西の風上側にあたる鹿児島の高層資料により、エマグラムを使用し、主に大気の静的安定度を調べた。いずれの大雨の場合も、大気的气温と高さの関係を示す状態曲線は、湿潤断熱減率に近い条件付き不安定となっていた。700 mb

* The Squall Lines in the Warm Sector in South-Shikoku District.

** T. Matsuo, 気象庁海洋課

——1974年11月5日受領——

——1977年1月10日受理——



第1図 四国の地形と雨量観測点.

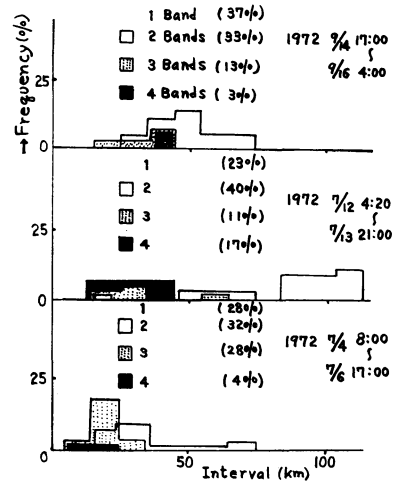
より下層は、ほとんどの場合が南西風で湿っていた。また 600 mb 以下の下層では、湿球温位が上空ほど低くなっており、対流不安定の気層となっていた。このことは下層の気層が何らかの力で持ち上げられれば、対流現象が生じることになる。下層ジェットは、(Ⅲ)・(Ⅳ)・(Ⅴ)の大雨についてみられた。

3. レーダ解析

第1図に、四国の地形と、南四国においてしばしば集中豪雨が発生する雨量観測地点とを示す。それぞれの雨量観測地点は、南西から北東にのびる A・B・C 線上に存在する。A・B・C 線はそれぞれ SW 走向線状エコーが最も出現しやすいラインになっている。これについては後で述べることにする。

(a) SW 走向線状エコー間の間隔

室戸岬を中心として、半径 150 km の円の区域にあらわれた SW 走向線状エコー（以下線状エコーとのみ書くことにする）は、多くの期間で複数存在した。線状エコーの数が多くなるほどその出現頻度は少なくなり、5 本以上の線状エコーが同時に観測されることはほとんどなかった。2 本以上の線状エコーが存在する時、その線状エコー間の間隔の頻度分布を求めたのが、第2図である。線状エコーの数が多くなるほど、その間隔がせま



第2図 線状エコー間の間隔の頻度分布.

なる傾向があるが、平均するとおよそ 30 km の間隔となる。これは後に述べるように、南四国において 30 km 間隔の 3 本の線上で、線状エコーが発生・停滞しやすいからである。

(b) 南四国における線状エコーの発生端

6 例の大雨について、線状エコーの存在地域を調べるために、室戸岬を中心に 10 km ごとに南西—北東に区切り、どの区域に線状エコーが存在しやすいかの出現頻度を求めた（図3、4 参照）。

資料は 1 時間間隔のレーダスケッチシートを使用した。

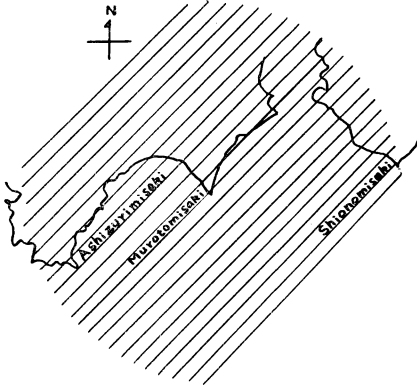
線状エコーは南四国において、3 本の線上で発生しやすいことがわかる。

- ・第1の線 宿毛—土佐山田繁藤
- ・第2の線 足摺—魚梁瀬
- ・第3の線 室戸—東洋町野根

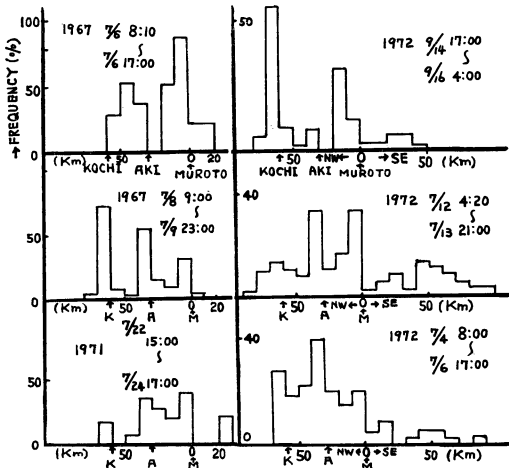
以後簡単のため、第1～第3の線をそれぞれ A、B、C 線と呼ぶことにする。

次にそれぞれ A、B、C 線上のどの位置から線状エコーが発生するかを調べるため、スケッチシートにより線状エコーの風上側の端（エコー強度 MDT 以上）を線上にプロットして求めた（第5図参照）。

どの大雨も、ほぼ同じ発生地点の密点域が存在する。6 例の大雨について、それぞれの線上で線状エコーの発生地点の頻度をまとめて求めたのが第6図である。1つの丸の示すパーセントは、20 km 平方の領域の頻度で、個々の線に着目して求めたものである。ほぼ 30 km 間隔



第3図 室戸岬を中心にした南西―北東方向の区分図。

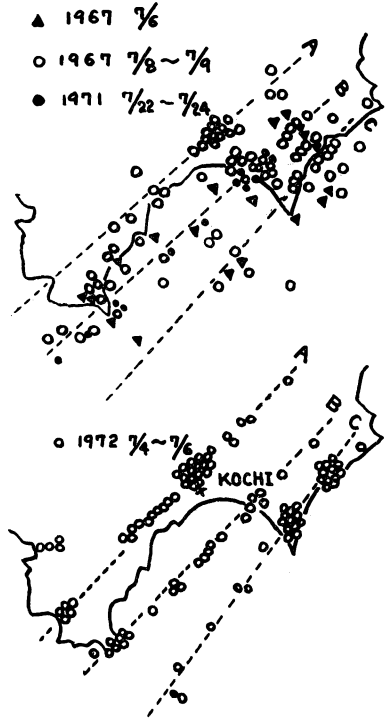


第4図 線状エコーの出現区域の頻度分布。

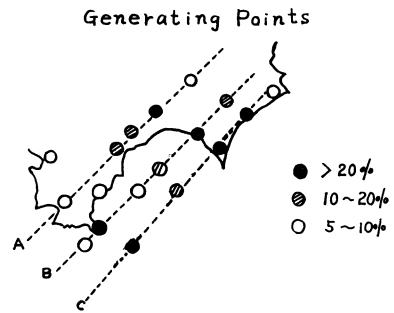
に発生地点が存在する。特に強い発生地点は、足摺岬付近、野根付近、繁藤―魚梁瀬―佐喜浜の少し南西側にある。南西風でよく大雨になることが知られている繁藤、魚梁瀬、佐喜浜は、それぞれA、B、C線上にあり、線状エコーの発生端の少し風下側にある。

SW走向線状エコーの発生端に対しSE走向線状エコーの発生端はどのようになるのか。

中内(高知県地区研究会, 1975)が同様の方法で求めたSE走向線状エコーの発生端を第7図に示す。1つの丸の示す頻度は約10 km 平方の領域のものを示している。第6図のSW走向線状エコーの発生端を南東走向につなげると、第7図のSE走向線状エコーがしやすい



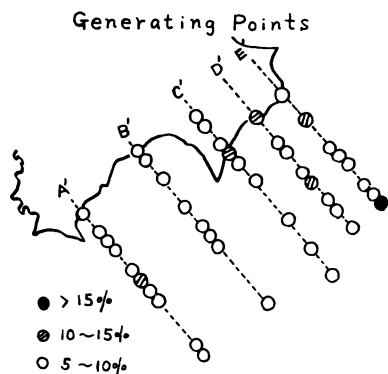
第5図 線状エコーの発生・成長地点。



第6図 SW走向線状エコーの発生・成長地点の頻度分布。

5本の線が書けるのが興味深い。

これまで南西風による大雨は、南西から北東方向にせばまった谷間によって風が収束することによって起こると考えられてきた。事実、高知県の豪雨地点は、谷間の収束点付近となっている。しかし、南東風の大雨については、第1図からもわかるように、そのような風の収束に好都合な谷間は存在しないようにみえる。それにもかかわらず、南西風と同様な発生端が存在することを考え



第7図 SE走向線状エコーの発生・成長地点の頻度分布(中内).

ると、必ずしも谷により気流が収束させられることが大雨の原因とは考えにくい。何か他の原因で、ある地域に大雨が降りやすければ、そこには川ができ、谷が形成されることになる。谷は大雨の引き金にも、大雨の結果として形成されたものとしても考えることができる。

(c) 47. 7 豪雨における線状エコー中の降雨細胞

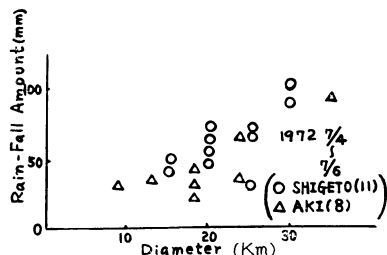
(i) 発達した線状エコー中の降雨細胞と降水量

47. 7 豪雨の前期に、土佐山田繁藤(A線上)と安芸市(B線上)の上空を通過し大雨を降らせた線状エコー中の降雨細胞を、雨量自記紙により追跡した。減衰をかけた線状エコーのレーダ写真によっても、線状エコー中の降雨細胞を識別することはできなかった。また、当時(47年)、室戸岬レーダには、RHI装置がついていなかった。そのためルーチンのレーダ資料により、線状エコー中の降雨細胞を見いだすことはあきらめ、10分間雨量を求めることによって追跡することにした。

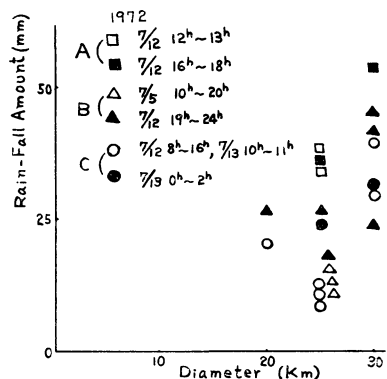
繁藤上空には3本の線状エコーが通過し、その中に合計11個の降雨細胞が、安芸上空には1本の線状エコーが通過し、その中に8個の降雨細胞が含まれていた。降雨細胞の直径は、降雨細胞が700 mbの風速で移動していると仮定した計算によって求めた。降雨細胞の直径はいずれも25 km前後で、1個当たり平均して約60 mmの雨量を降らせた(第8図参照)。繁藤上空を通過した降雨細胞の方が、安芸上空を通過した降雨細胞より降水量が多く発達していた。

(ii) 中程度の線状エコー(大雨とならなかった線状エコー)中の降雨細胞と降水量

上で述べた合計19個の降雨細胞は、47. 7 豪雨の期間中もっとも発達したものであったが、それほど発達して



第8図 47. 7 豪雨における最も発達した線状エコー中の降雨細胞の直径と雨量.



第9図 47. 7 豪雨における中程度に発達した線状エコー中の降雨細胞の直径と雨量.

いない線状エコー中の降雨細胞もそれぞれの線上に多く認められた。これらの大雨とならなかった中程度の線状エコー中の降雨細胞についても同様な図を求めた(第9図参照)。

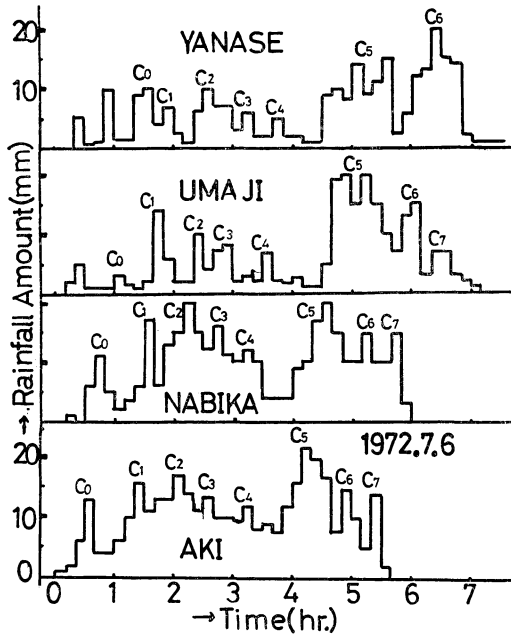
降雨細胞1個当たりの雨量は少ないが、直径は発達した線状エコー中のものと同様に、ほぼ25 km程度の大きさであった。

この場合も前と同様、A線上の繁藤の降雨細胞は、他の線上のものより発達済みであった。

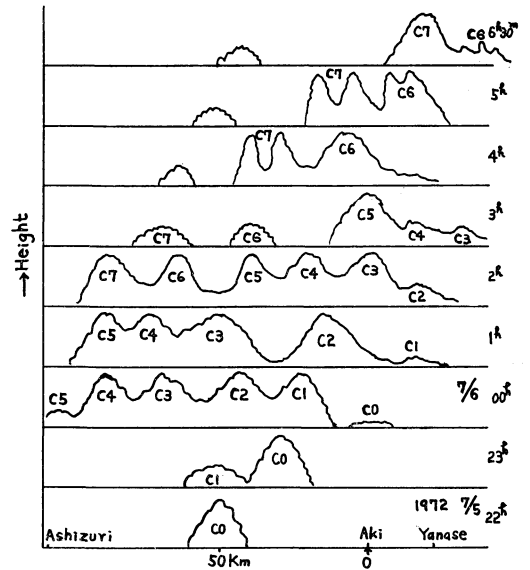
(d) B線上に発達し安芸市に大雨を降らせた線状エコー中の降雨細胞の一生

安芸市に大雨を降らせた線状エコー中の降雨細胞を陸上では雨量自記紙により、海上ではレーダスケッチ図より追跡した。第10図に沿岸の安芸市から北東の風下側に、奈比賀、馬路、魚梁瀬の4地点の雨量自記紙より求めた10分間雨量の時間変化を示す。降雨細胞が安芸市より風下へ変化しながら移動している様子がわかる。

第11図が降雨細胞の時間経過を示した図である。エコー



第10図 B線上に発生した大雨の10分間雨量の時間変化。



第11図 B線上に発生し安芸市に大雨を降らせた線状エコー中の降雨細胞の一生。

一頂は陸上では雨量が多いほど高いと推定し、海上ではPPIのエコー強度により推定した。PPIのエコー強度の強・並・弱の段階に対応させて、エコー頂を3段階に大まかに分けたので、それはむしろ降雨細胞の強さを高さで表示したものと考えてよい。

最初に安芸市と足摺岬のほぼまん中付近の海上に、降雨細胞 C_0 が発生した。 C_0 は風下の北東に移動するにつれて成長するが、その風上側のまへの C_0 の発生地点に、次の降雨細胞 C_1 が発生して線状エコーが生成し始めた。次の1時間には、さらに C_1 の後に、 $C_2 \sim C_5$ まで順々に発生して足摺岬までのびる長い線状エコーとなった。さらに次の1時間には、足摺岬を発生地点として C_5 の後に C_6, C_7 が発生して、合計8個の降雨細胞を含む1本の長い線状エコーが完成した。降雨細胞は沿岸で大雨を降らせた後、内陸に移動するにつれて、線状エコー中の風下側のものから順に急速に衰弱消滅した。線状エコーの風上側発生端（降雨細胞発生端）が、風上側に時間とともに進行するのに対して、消滅点はほとんど変化しなかった。豪雨地点が線状エコーの風下側消滅端の20 km～30 km 風上側にあることは、大雨が降雨細胞の寿命の中で末期に発生することと対応している。降雨細胞が衰弱傾向にある時、より小さい細胞に分裂する傾

向が C_6 にみられた。逆に C_7 は沿岸より少し内陸で細胞が合体することにより、いくぶん発達の傾向がみられた。

降雨細胞が発生してから完全に消滅するまで2～3時間の寿命があるが、これは降雨細胞そのものの寿命が長いというより、むしろ線上に数点の発生成長地点があるため、そこで再成長させられるためであると考えられる。 C_6, C_7 の例が顕著である。

(e) B線上に発生したエコーセルの移動速度……

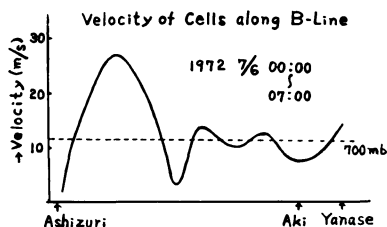
47. 7 豪雨

陸上のセルの速度は雨量自記紙により求め、海上については浅田のレーダ写真による値（天気、1973）を使用した。

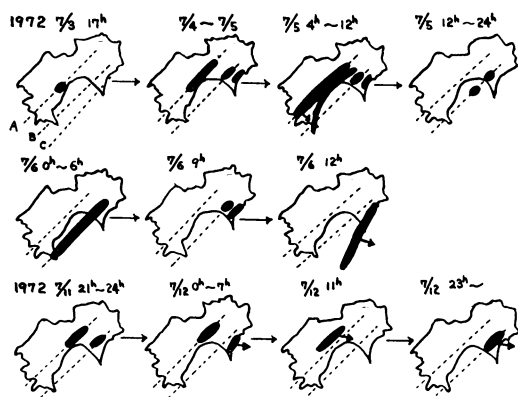
第12図中の破線は当時の700 mbの風速である。エコーセルは全体として700 mbの風速より速い速度で北東進している。足摺岬と安芸市付近とそれらの丁度中間の海上に、エコーセルの速度が遅い地点が存在する。第5図のB線上の線状エコーの発生成長地点と、このエコーセル速度の遅い地点がよく対応している。

(f) 47. 7 豪雨におけるSW走向線状エコーの時間変化

暖域内の線状エコーは南四国において、3本の線上に存在しやすいことがわかったので、これを用いて47. 7



第12図 B線に発生したエコーセルの移動速度.



第13図 47. 7 豪雨における線状エコーの移動形態のモデル図.

豪雨の状況の時間変化をモデル化して図に示す(第13図).

(i) 前期(7月3日~7月6日)

(1) 1972年7月3日17時

A線上の須崎市付近にはじめて直径20kmぐらいのエコーセルが出現した(A線生成期).

(2) 7月4日~7月5日

この期間にA, B, C線に、多くの線状エコーが発生消滅をくりかえした. 特にA線上では、非常に発達した3本の線状エコーが発生し、土佐山田繁藤では集中豪雨となった(A線発達期, B・C線生成期).

(3) 7月5日4時~12時

A線上の線状エコーが長く幅広くなって発達するにつれて、その風上側のエコー発生点を宿毛から足摺へと変えながら、いづらか南西から南南西に立つに従って南東進しB線に移動した後、急速に衰弱しながら北東進した(A線消滅期).

(4) 7月5日12時~24時

B線にあまり発達していない孤立したエコーセルや

線状エコーが発生・消滅をくりかえした(B線生成期).

(5) 7月6日0時~6時

B線に発達した長い線状エコーが形成し、沿岸の安芸市に総雨量360mmの大雨を降らせた(B線発達期).

(6) 7月6日9時

B線上の線状エコーが内陸に進むにつれて急速に消滅すると、隣りのC線上の野根付近から風上の南西方向にのびるようにして線状エコーが生成し始めた(B線消滅期).

(7) 7月6日12時~

C線上で線状エコーが発達し、南西走向よりいづらか南南西に立ちぎみになって、南東進して紀伊水道を横断した(C線発達移動期).

(ii) 後期(7月11日~7月13日)

(1) 7月11日21時~24時

21時頃からA, B線に、あまり発達していないエコーセル、線状エコーが発生消滅をくりかえした(A・B線生成期).

(2) 7月12日0時~7時

B線上の線状エコーがC線に東進移動. A線上の線状エコーは消滅傾向にあった(A・B線消滅期, C線生成期).

(3) 7月12日11時

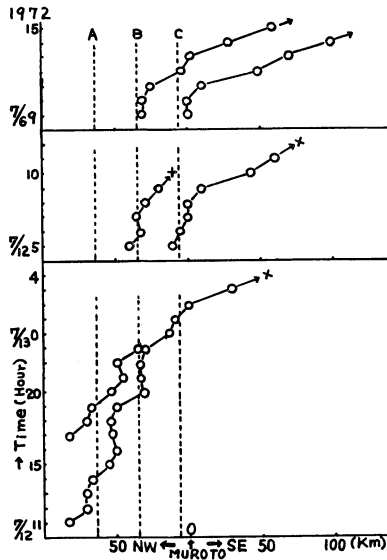
A線の西側約20kmの所に、線状エコーが生成しそのまま東進した.

(4) 7月12日23時~

この期間中線状エコーは東進を続け、13日の昼までには紀伊水道を横断した. 線状エコーは単純に移流的に東進するのではなく、A・B・C線の西側でエコーが発生し、線の東側で急速に消滅すると、もう1本の線状エコーが線の西側に発生し、東進するにつれて同様に消滅した. このためそれぞれの線上で線状エコーは、短期間ではあるが停滞しているようにみえた.

(5) 線状エコーの移動

線状エコーの移動には3つのタイプが考えられる. 第1は移流的に東進するタイプ, 第2は伝播的に東進するタイプ, 第3は風下の北東方向へ移動するタイプが観測される. これらの移動の形式が実際には複雑におこっているために、移動や停滞に関する統一的法則を見出すことは難しい. しかし多くの場合、SW走向線状エコーは移流的に東進または南東進した. 第14図は47. 7 豪雨において南東進したSW走向線状エコーの移動の状況を図示したものである. 縦軸、横軸はそれぞれ南東進して



第14図 SW走向線状エコーの移動変化。

いるSW走向線状エコーを室戸岬から北西（あるいは南東）方向にはかった距離と、その時の時刻を示している。SW走向線状エコーは3本の線上で停滞する傾向があり、それらの線の間では移動性である。特に四国東岸のC線を過ぎて海上に出ると、急速に速度を増す傾向がみられる。

第15図は南東風の大雨の原因となるSE走向線状エコーの北東進の状況を示している。SE走向線状エコーもSW走向線状エコーと同様な傾向があることがわかる。

4. おわりに

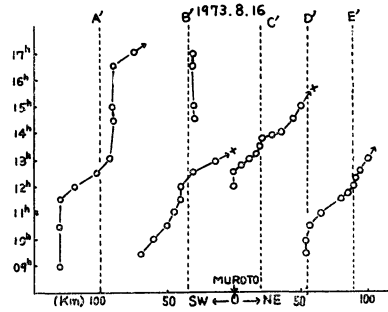
対流圏中層以下の対流不安定を伴った暖域内で発生したSW走向線状エコーについて得られた事実を要約してみると、

(1) SW走向線状エコーは、南四国において、3本の線上で出現頻度が高く、その線上にエコーの発生地点が降雨の期間中定常的に数点存在する。これらの発生地点は、SE走向線状エコーについても同様に認められる。

(2) SW走向線状エコーが東進移動する時、3本の線上で停滞しやすく、線の間では移動性である。また線状エコーがC線を過ぎて海上に出ると移動速度が速くなる。

SE走向線状エコーもSW走向線状エコーと同様に、5本の線上で停滞しやすく、線の間では移動性となる傾向がある。

(3) 47. 7 豪雨の期間中発生した線状エコー中の降雨



第15図 SE走向線状エコーの移動変化。

細胞の直径は、約 25 km であった。

(4) 線状エコーは降雨細胞が風上へ次々と発生して一列に配列して生成し、いちばん古い風下側の降雨細胞から順に、その寿命の中で末期に大雨を降らせた後に急速に衰弱していく。このため豪雨地点となるのは、定常的な発生地点の少し風下で、線状エコーの風下の消滅点から 20~30 km 風上の地点となる場合が多い。

以上の結果が本当に暖域内の豪雨に特徴的なものかどうか、もっと多くの観測と理論的裏づけが必要と思われる。この種の局地豪雨の解明には、集中豪雨のポテンシャル予報の作業と並行して、豪雨の発生機構の基本単位である積雲対流の観測が重要であると考え。そうすればもっときめの細かい予報の発展に役立つものと思う。

なおこの報告作成に当たり、色々とご協力をいただいた福岡管区気象台の浅田技術部長をはじめ、室戸岬測候所の職員の皆様と、資料の提供をしていただいた高知地方気象台防災課、高知県庁河川課、地方消防署の皆様にも厚く感謝する。

文 献

- 浅田暢彦, 1973: 室戸岬レーダからみた四国地方の気象特性, 天気, 10, 533-541.
- 福岡管区気象台レーダ班, 1974: 福岡レーダからみた九州の空, 天気, 21, 265-279.
- 加藤一靖, 1973: 東北地方にみられるレーダエコーの特徴について, 天気, 20, 631-647.
- 気象庁, 1974: 梅雨末期集中豪雨研究報告, 気象庁技術報告, 86.
- 気象庁観測部, 1973: 地方レーダ気象文献のまとめ.
- 中内義貴, 1975: 南四国における南東走向スコールラインについて, 高知県地区研究会.
- 大阪管区気象台, 1972: 昭和47年7月3日から13日の四国, 中国, 近畿地方の大雨に関する異常気象報告, 大阪管区異常気象報告(昭和47年特別1号).
- 東京管区気象台, 1971: レーダ情報利用のための手

引.
山鹿 延, 1974: 昭和47年7月4日～6日における
熊本県の大雨, 天気, 21, 298-306.

柳沢善次, 1961: レーダより求めた雷雨発生分布,
天気, 18, 185-192.



坪井八十二 根本順吉編
異常気象と農業

朝倉書店, 1976, A 5 判, 211頁, 2,500円

近年の異常気象の頻発は気候変動によるものであり、今後の気候悪化が心配されている。農業技術が進歩し、冷害なども克服できるようになったとも言われるが、どうであろうか。本書によれば、明治の末から大正の始めに起きたような冷夏がまた現われれば、相当の減収になるらしい。予報というものは難かしいもので、現在問題になっている気候悪化が杞憂であればよいが、楽観はできない。本書はこのような事態にそなえて書かれたものである。

この種の本は近年多く出版されているが、一般読者を対象とした啓蒙的なものが多い。本書は農業技術者・気象技術者・研究者などを対象とした教科書的・専門書的な本である。これは、執筆者の顔ぶれ、気象・農業の専

門家である根本順吉、坪井八十二、久保木光照、関根勇八、中川行夫であることからみてもわかるであろう。

序論では、地球の寒冷化と異常気象、農業と気象災害に関する総括的なことが書かれており、異常気象の定義にもふれている。本論は2部に分かれ、Ⅰ部は冷害、Ⅱ部は干害について、それぞれの定義、気象学的指標、その歴史、生態、生理、気象との関係、時間・空間的スケール、予想法、対策などについて述べているので、実務家・一般農業経営者にもよい参考になるだろう。

異常気象と農業と言っても、その内容は非常に広いが、本書で取扱っているのは、農業生産技術に関連したことが中心である。また、日本の米作が中心となっており、干害では他の若干の作物についてもふれている。

この本の特色の1つは、多くの参考文献とともに、豊富な資料が巻末に付録として載せられていることである。10アール当たりの水稻収量、夏期気温、日照時間の経年変化のグラフ、日平均気温、積算温度、半旬ごとの降水量、日照時間などの気候表、冷害および干害の歴史年表、また索引も付いており、利用者には有用で、便利であろう。

(高橋浩一郎)

気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
関西支部昭和51年度第3回例会 (しぐれについて)	昭和52年3月17日 (13時～)	日本気象学会関西支部	舞鶴海洋気象台
昭和52年度 日本気象学会春季大会	昭和52年5月24日～26日	日本気象学会	気象庁