

# 弱い降ひょうを伴った対流系の降水分布の 特徴について\*

清野 豁\*\*・小元敬男\*\*\*・八木鶴平\*\*・米谷恒春\*\*

国立防災科学技術センター

## On Precipitation Characteristics of a Weak Hailstorm

By

Hiroshi Seino, Yukio Omoto, Tsuruhei Yagi and Tsuneharu Yonetani

*National Research Center for Disaster Prevention, Japan*

### Abstract

One of the thunderstorms on 5 August 1975 brought weak hail to Isesaki City and Sakai Town, Gunma Prefecture. Characteristics of precipitation distribution associated with the hailstorm were studied by means of data obtained by the 3.2 cm Fujioka radar, hailpads and raingauges of NRCDP and other stations in the vicinity.

Thunderstorm echoes were of multicell type. The hailstorm echo had the longest life time and showed the most intense radar reflectivity among them. The area of hail was approximately 7.5 km in length and 2.5 km in width, and it existed coincidentally with the heavy rain core of rainfall distribution. Total rainfall amount Sakai Town office was 17.8 mm in 21 minutes, which was the maximum value in the core. Radar echo photographs showed that the most intense portion of radar reflectivity of the hailstorm passed over the hail area. The major axis of elongated hail area coincided with the hailstorm echo path. Maximum diameter of hail estimated from hailpads was 1 cm. In the distributions of hailfall parameter (number, maximum diameter, impact energy and mass at each point) calculated from hailpads, two maxima located at the distance of about 4 km in the direction of the major axis were clearly noticed. However, no evidence corresponding to such a small scale variation was obtained from radar photographs. The time when the intense portion of radar reflectivity of the hailstorm initially reached each raingauge site in the core or the hail area approximately coincided with time obtained from raingauge records.

These characteristics are considered to show that hail existed around the intense portion of the echo to fall with heavy rain. It was also reported from farmers that hail had fallen with heavy rain. Therefore, the time of hail which cannot be recorded on hailpads was estimated by means of the Fujioka radar and raingauge data in the area under consideration in this case.

### 1. ま え が き

昭和50年8月5日北関東に発生した積乱雲群のひとつから弱い降ひょうがもたらされた。

\* この研究は特別研究「積雲対流がもたらす災害発生機構に関する研究」の一環として行なわれたものである。

\*\* 第1研究部異常気候防災研究室      \*\*\* 第1研究部

降ひょう域は当センターの降ひょう観測網の比較的密な領域にあたり、また降ひょう分布の微細構造を調べる目的で設置した小スケールと微小スケールの観測網にも弱いながら降ひょうが観測された。さらに当センターが設置した日巻の雨量計4台も降ひょう域内とその近傍に位置した。これらの記録とレーダーの記録を合わせて、この降ひょう系による降水分布の特徴について、とくに次の三点に着目して解析した。

- (1) 降ひょう記録計から推定される降ひょう域とレーダーエコーの運動およびその等エコー構造との関係。
- (2) 降ひょう域と、降ひょう系にもたらされた降雨量分布との相対的位置関係。
- (3) 降ひょう記録計からは確定できない降ひょう時刻を、レーダーと雨量計の記録から推定すること。

解析にあたっては、我々の資料の他に気象庁、群馬県河川課、日本国有鉄道高崎鉄道管理局の雨量資料を使用した。

## 2. 観 測 網

本観測で使用した当センターのレーダーの性能を簡単に記すと、波長 3.2 cm，尖頭出力 40 Kw，ビーム幅 2° であり、レーダーから距離 60 km までの範囲についてはエコー反射強度を 9 レベルまで等値線表示することができる。アンテナの仰角は地形の影響を少なくす

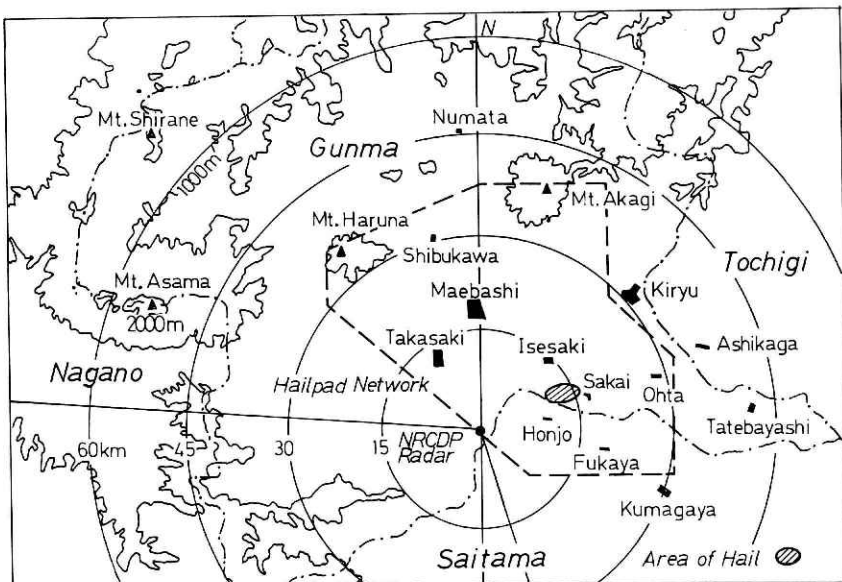


図 1 観測対象地域の地形図と観測網

Fig. 1 Topography and range marks of NRCDP research radar located at Fujioka. Area surrounded by a broken line shows hailpad network of NRCDP. Hail area on 5 August 1975 is shown by hatch.

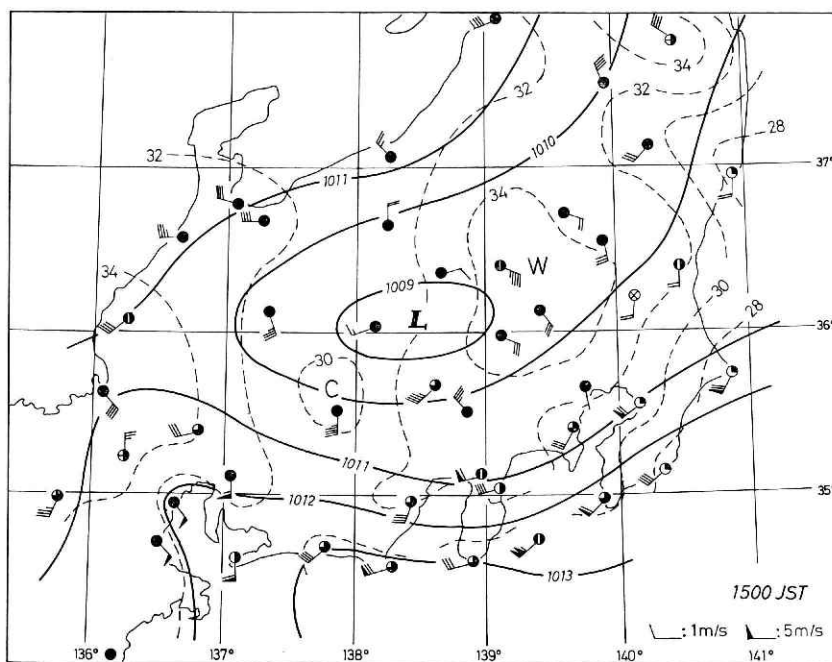


図 2 昭和 50 年 8 月 5 日 15 時の局地天気図

Fig. 2 Local map at 1500 JST 5 August 1975. Solid and broken lines indicate isobar (mb) and isotherm ( $^{\circ}\text{C}$ ), respectively.

るために通常  $3^{\circ}$  に設定している。この時のビーム中心高度は距離 15 km で 0.8 km, 30 km で 1.6 km, 45 km で 2.4 km である。当日の観測は PPI 通常エコーを 30 秒毎に、PPI 等エコーを約 20 分毎に行い、特定のエコーの REI 等エコー観測を必要に応じて実施し、これらはパルスカメラによる写真撮影により記録された。なお REI 観測方位は目的とする PPI エコーの最大反射強度の現われた方位とした。

図 1 は観測対象地域である群馬県と埼玉県北部の地形である。等高線は標高 1000 m と 2000 m について示した。同心円は群馬県藤岡市に設置したレーダーからの 15 km 毎の距離を表わす。レーダーの南西象限 ( $154^{\circ}\sim 273^{\circ}$ ) は地形の影響で死角となる。群馬県平野部から埼玉県北部にかけて破線で囲まれる領域は、昭和 50 年度の降ひょう記録計による観測領域を示す。この領域の 36 市町村、約  $1600\text{ km}^2$  の面積の中に 253 台の記録計が設置されている。平均密度は約  $6\text{ km}^2$  に 1 台であるが、比較的降ひょう頻度の高い両県境付近、とくに伊勢崎市南部の密度が高くなっている。同領域内にはこの他に、降ひょう分布の微細構造を調べる目的で伊勢崎市南部の水田地帯に設置された小スケールの観測網 ( $9\times 10^5\text{ m}^2$  内に 15 台の降ひょう記録計を設置) と境町の配水場内に設置された微小スケールの観測網 ( $4\times 10^2\text{ m}^2$  内に 16 台) がある。また前橋市と新田町が我々と同型の降ひょう記録計を用いて展開した観測網も同観測領域内にあるが、この日は降ひょうを記録していない。これらの降

ひょう記録計は、発泡スチロール板の上のせた厚さ 0.12 mm のアルミ箔にひょう痕を記録するもので、その受ひょう面積は 500 cm<sup>2</sup> である。

平野部の伊勢崎市南部から境町にかけての地域には貯水型自記雨量計 5 台を設置して、7 月 30 日から 8 月 6 日までの期間日巻にして観測を行った。

### 3. 気象概況

この年の 8 月 1 日から 5 日まで日本付近は太平洋高気圧の勢力圏にあった。群馬県内は連日暑さが厳しく、県内各地で最高気温の極値が観測された。前橋地方気象台でも 5 日 09 時に 29.0°C であった気温は午後には 36.2°C に上昇し、8 月の最高気温の極値を記録している。図 2 は 5 日 15 時の局地天気図である。一般的に、ひょうを伴う積乱雲の発生する日には中部地方内陸部に熱的低気圧が発生する日が多い。この日も例外ではなかった。館野の高層観測による 5 日 09 時の 500 mb の気温は -6°C、Showalter 指数は -3°C であった。我々は館野の 500 mb の気温と Showalter 指数を使ってひょうを伴う雷雲発生の可能性を予想している(小元・米谷, 1976)。この方法で予想すると、5 日はひょうを伴う雷雲の発生の可能性ありとなる。実際に、藤岡レーダーには夕方から対流性エコーが現われ始め、埼玉県との県境に近い伊勢崎市南部から境町にかけて降ひょうがあった。

### 4. レーダーエコー概況

5 日のレーダー観測は 09 時から開始されたが、17 時まで藤岡から 125 km の範囲内では降水エコーは全く現われなかった。17 時をすぎた頃から浅間山の北方、嬬恋村付近に対流性エコーが現われ始めた。レーダー観測はエコーの消滅する 23 時まで続けられた。図 3 は PPI 等エコー構造の時間変化を示したものである。等値線は ISO レベルを表わし、ISO 1, 3, 5, 7, 8 はそれぞれ反射強度 23, 33, 42, 52, 57 dBZ (dBZ=10 LogZ) に相当する。同心円は藤岡レーダーから 15 km 毎の距離を表わし、黒く塗りつぶした部分は榛名山と赤城山の地形エコーである。レーダーサイドから 154° と 273° の方向にのびる直線は、レーダーの死角領域の境界線を示す。1907 の図中に降ひょう記録計による降ひょう観測領域を破線で、5 日の降ひょう域を斜線域で示した。1800 に藤岡市の西北西約 47 km の、浅間山南麓に発生したセル *a* (以後発生順にアルファベットを付した) は東北東進した。セル *a* が移動するにつれ、この南北に新しくセルエコーが発生し、1932 には図に示すように *c*, *d*, *e* とともに南北に長い対流系を構成した。その後 *a*, *c*, *e* は消滅し、残った *d* が新たに発生した *n*, *l* とともに南北の長さ約 40 km の対流系を構成した。セル *d* からは 2004 と 2021 に ISO 8 に達する強い反射強度が観測されており、2021 と 2032 の反射強度の強い部分は、1907 の図中に示した降ひょう域とよく重なっている。この降ひょう域上を通過したエコーは *d* 以外にはなかったので、*d* が降ひょうをもたらしたと考えられる。2032 の *d* と *n* ははっ

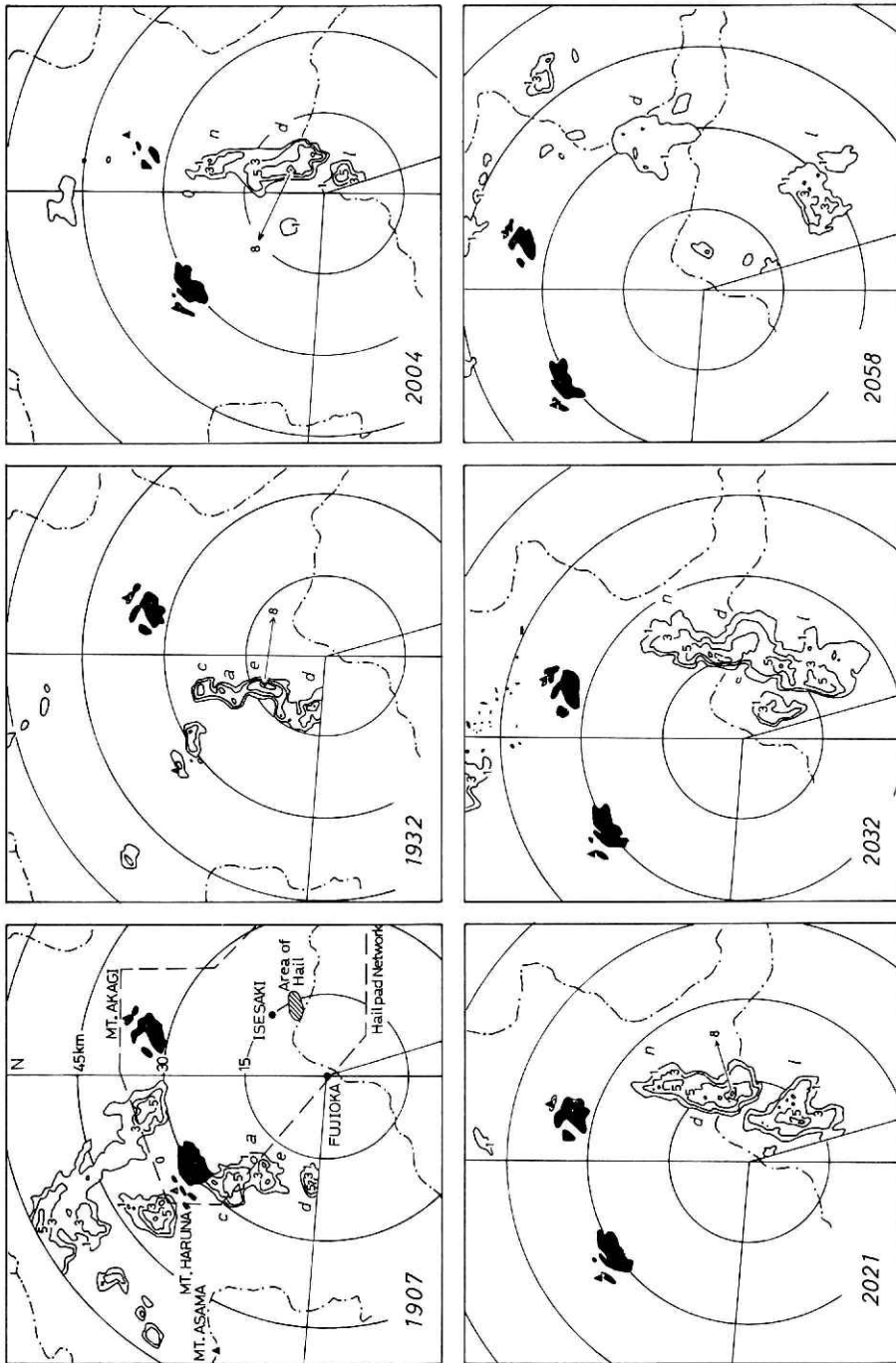


図 3 PPI 等エコー構造の時間変化  
 Fig. 3 PPI isoecho structures of the hailstorm observed by Fujioka radar. Contours 1, 3, 5, 7 and 8 correspond to 23, 33, 42, 52 and 57 dBZ (dBZ=10 Log Z), respectively. Cell "d" brought hail to the area shown by hatch in the figure at 1907.

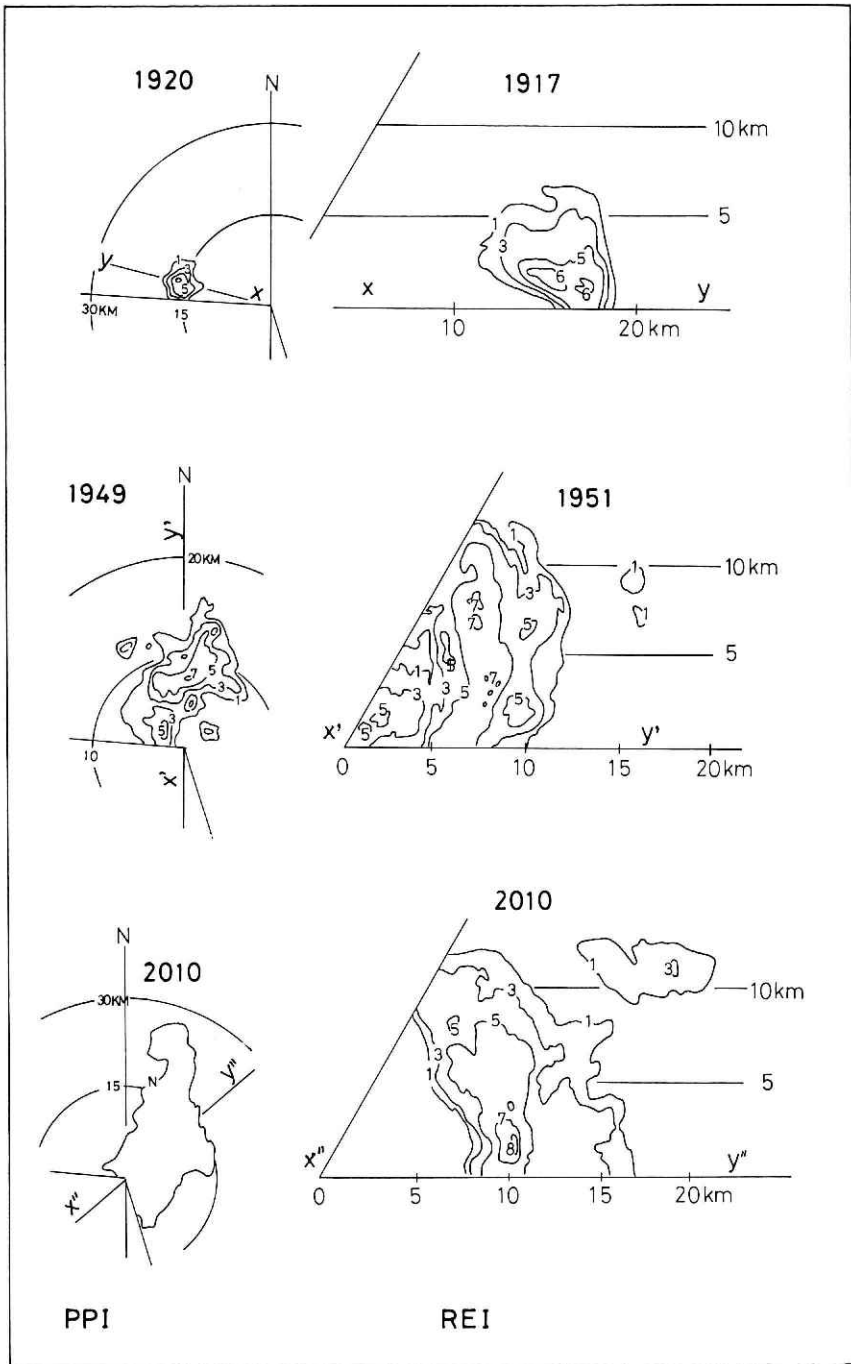


図4 ひょうをもたらしたセルdの垂直断面図

Fig. 4 REI isoecho structures of cell "d" in figure 3. Contours are same as figure 3.

きり区別できない。この後  $d$  は 2110 に太田市付近に達し、1855 に発生してから 2 時間余りの寿命を終えた。この日発生した対流性エコーのうち  $d$  が最も寿命が長く、かつ最も強い反射強度が観測され、またひょうを伴っていたと考えられることは、この日の対流性エコーの中で  $d$  の対流活動が最も激しいものであったことを示している。ISO 8 の反射強度は 1932 のセル  $e$  にも観測されているが、その寿命は約 1 時間と短く、また  $e$  の通過地域で降ひょうが発生したという報告はなかった。ひょうをもたらしたセル  $d$  を含む対流系の各セルの移動ベクトルは  $260^\circ$ ,  $7\text{ m/s}$  で、系の走行方向に直角な移動ベクトルは  $275^\circ$ ,  $5\text{ m/s}$  であった。これに対し館野 21 時の高層観測による  $900\text{ mb}\sim 300\text{ mb}$  間の  $50\text{ mb}$  毎に平均した大気平均風ベクトルは  $275^\circ$ ,  $7\text{ m/s}$  であった。したがって系の移動ベクトルは平均風に平行で速度はやや遅く、セルは平均風より左へ  $15^\circ$  偏ってほぼ平均風と同じ速度で移動したことになる。セル  $l$  については藤岡レーダーの死角領域内から現われたため発生時刻から 2004 までの経過は不明である。

セル  $d$  について、その最大反射強度の現われた方位でみた垂直断面図を図 4 に 1917, 1951, 2010 について示した。各図はそれぞれエコーのレーダーサイドからの方位が異なる上に、必ずしもエコーの同じ領域の垂直断面ではないので、時間的・空間的に連続してはいない。1917 の断面図では ISO 1 の領域は  $6\text{ km}$  の高さまで分布し、下層に ISO 6 の領域がみられる。エコーの移動方向は  $260^\circ$  で、これに対し REI 方位は  $285^\circ$  であるから、この断面図はエコーの移動方向に対し右  $25^\circ$  の方向からみたことになる。エコー強度の等値線はレーダー側 (エコーの移動方向からみて前方) へ傾いている。館野における 21 時の高層観測によ

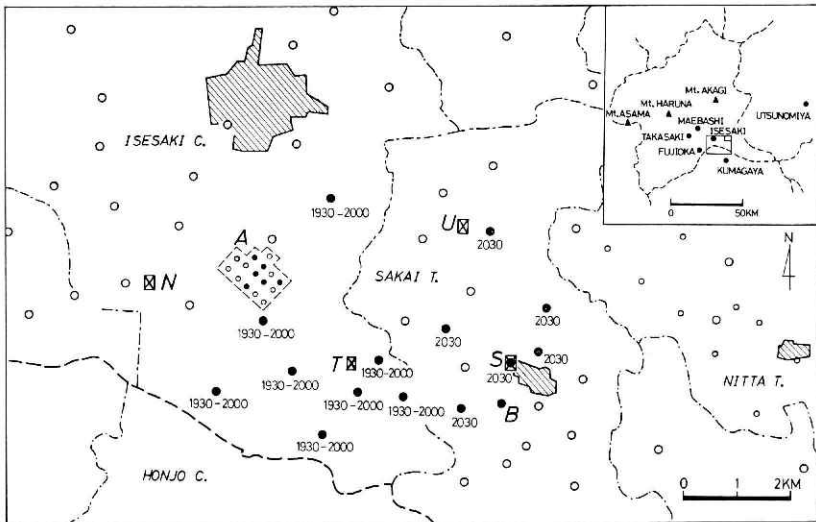


図 5 降ひょう域付近の観測網

Fig. 5 Distribution of hail in Isesaki and Sakai on 5 August 1975 and reported hail time. Small- and micro-scale hailpad networks are shown by capital letters A and B. N, T, S and U are rain gauge sites of NRCDP.

ると、高度 7 km 付近の風は 286°, 8 m/s で、ちょうど積乱雲内を上昇してきた気流が outflow となってレーダーよりに anvil を形成していると考えられる。1951 の断面図は移動方向に対しほぼ真横からみたものである。ISO 1 は 12 km の高さまで分布しており、ISO 5 は約 11 km の高さにはほぼ垂直にのびている。高度 3~4 km 付近と 7~8 km 付近には ISO 7 の強い反射強度領域がある。2010 の断面図は右斜め後方からみた断面図である。ISO 8 を含む強い反射強度領域が 2~4 km の下層に存在している。1951 と 2010 の断面図にみられるように強い反射強度領域が上空にまで達していることは、対流活動が活発であったことを示している。後述するように、2010 の断面観測の直後にセル  $d$  から降ひょうがもたらされた。

## 5. 降水分布

### 5.1 降ひょう分布

前節に述べた対流系にもたらされた降水分布のうち、まず降ひょうについて述べる。図 5 は降ひょうのあった伊勢崎市南部から境町にかけての降ひょう記録計網を示したものである。丸印は降ひょう記録計の設置点で、大きな丸印が当センターのもの、新田町内の小さな丸印は新田町が我々と同型の記録計を用いて独自に展開した観測点である。図中 A, B で示したのは 2 節で述べた小スケールと微小スケールの降ひょう観測網である。B の観測網はこの図上では一点として表わされる。N, T, S, U は後述する雨量観測点で、それぞれ名和水源地、豊受公民館、境町役場、采女小学校の頭文字で示した。降ひょう記録計設置点のうち黒く塗りつぶした丸印が降ひょうを観測した地点で、下に示した数字は現地から報告された降ひょう時刻である。伊勢崎市内と境町ではそれぞれ降ひょう時刻を統一して報告されている。

降ひょうは降ひょう記録計の発泡スチロール板の上においたアルミ箔にへこみとして記録

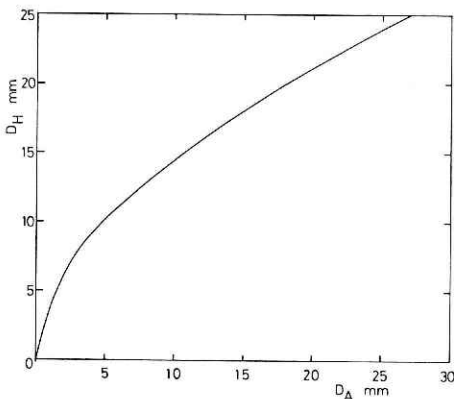


図 6 アルミ箔の検定曲線

Fig. 6 Calibration curve for diameters of indent ( $D_A$ ) and hail ( $D_H$ ).

される。へこみのついたアルミ箔は新しいアルミ箔と交換され回収される。回収されたアルミ箔から各観測点ごとにひょう痕(へこみ)の数と大きさが読みとられる。我々はひょう痕の直径を 1 mm 間隔で読み取っている。読み取られたひょう痕の直径  $D_A$  はあらかじめ求められた検定曲線(図 6)を用いてひょうの直径  $D_H$  に変換される。

直径  $D_i$  のひょう粒 1 個の質量  $M_i$  は

$$M_i = (\pi/6) \rho D_i^3$$

で表わされる。ここで  $\rho$  はひょうの密度で



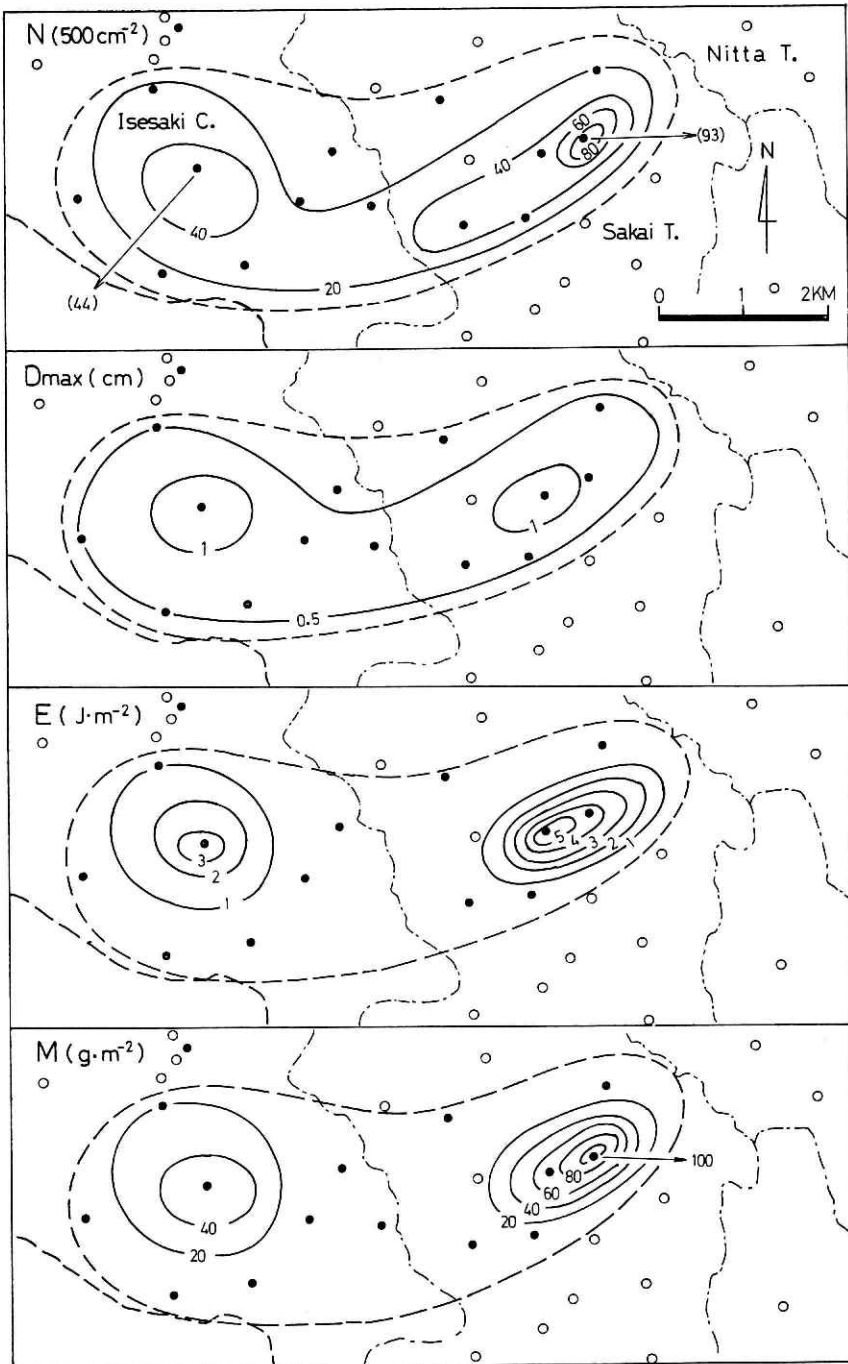


図 7 降ひょうパラメーターの分布

Fig. 7 Distributions of hailfall parameters (number, maximum diameter, impact energy and mass).

ある。ひょうが終速度で落下してきてアルミ箔にあたる瞬間の運動エネルギーを衝突エネルギーとすると、直径  $D_i$  のひょう粒1個の衝突エネルギーは

$$E_i = (1/2)M_i V_i^2 = (\pi/12)\rho D_i^3 V_i^2$$

で表わされる。  $V_i$  は直径  $D_i$  のひょうの終速度である。1枚のアルミ箔上のひょう痕の総数が  $N$  個であるとき、その観測点における単位面積当りの総質量  $M$  と総衝突エネルギー  $E$  は次のように表わされる。

$$M = \sum_{i=1}^N M_i / S$$

$$E = \sum_{i=1}^N E_i / S$$

ここで  $S$  は受ひょう面積であり、我々の降ひょう記録計では  $500 \text{ cm}^2$  である。

図7に計算された降ひょうパラメーターの分布を示した。上からアルミ箔  $500 \text{ cm}^2$  内のひょう痕の数  $N$ 、ひょうの直径に換算したときの各観測点におけるひょうの最大直径  $D_{\max}$ 、 $1 \text{ m}^2$  あたりのひょうの総衝突エネルギー  $E$ 、 $1 \text{ m}^2$  あたりのひょうの総質量  $M$  の分布を示したものである。破線は推定される降ひょう域を示している。いずれの分布にも極大域が二つ存在しており、それらの間隔は約  $4 \text{ km}$  である。ひょうをもたらしたセルの移動方向は4節に述べたように  $260^\circ$  であったので、この図上では左から右へやや右上りに移動していて、降ひょう域内の二つの極大域はひとつのセルからもたらされている。しかしながらレーダーエコーの写真記録からは、この変動を説明できる差異は得られなかった。図中右側(東側)の極大域についてみると、 $N$  と  $M$  および  $D_{\max}$  と  $E$  同士で同じ地点に極大域がみられる。これは  $M$  が  $D^3$  に比例し、 $E$  が  $D^4 (=D^3 \times V^2)$  に比例することによると考えられる。この日の降ひょうにより得られたアルミ箔上のひょう痕の数は高々100個未満であり、直径も最大で  $1 \text{ cm}$ 、大部分は  $0.5 \text{ cm}$  程度の大きさであった。また総衝突エネルギーの最大値は  $5.2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  であった。これらの数字はこの日の降ひょうが弱いものであったことを示している。同年6月9日に群馬県内には広範囲の降ひょうが発生して大きな被害が出た(小元・清野, 1976; 小元・八木・清野, 1976)。この時調べた衝突エネルギーと農作物の被害率の関係(小元・清野・八木・米谷, 1976)からみても、8月5日の降ひょうによる農作物の被害はほとんど予想されない。事実この日の降ひょうによる農作物の被害はなかったと報告されている。

図5中に  $S$  で示した境町役場には降ひょう記録計と雨量計が合わせて設置されている。この観測点のひょうの総質量は  $75 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  で、これは雨量約  $0.1 \text{ mm}$  に相当する。この地点における、問題とする対流系にもたらされた総降水量は  $17.8 \text{ mm}$  であったので、ひょうの総降水量への貢献度は1%にも満たない。しかし、この日の降ひょうでは被害はおこらなかったが、ひょうは比較的質量の大きな固形降水であるために降水量への貢献度は小さくても、

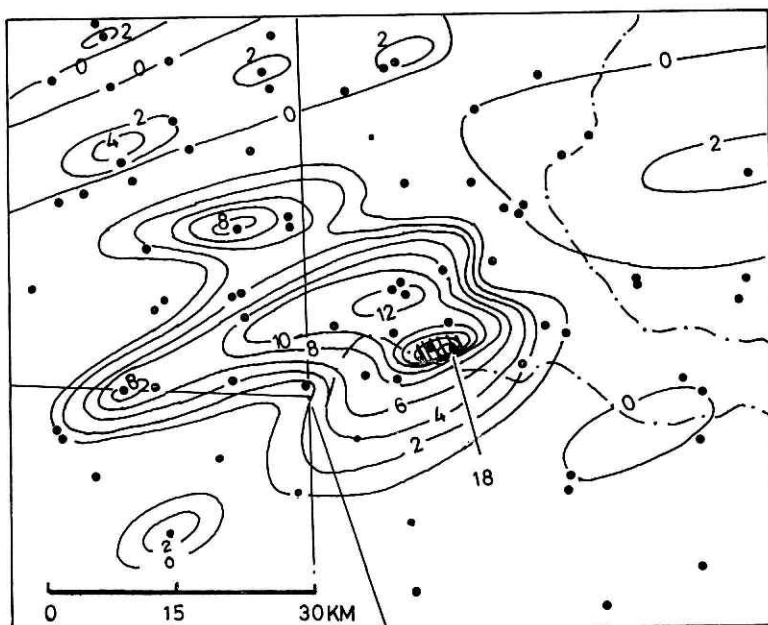


図 8 8月5日の日雨量分布 (mm)

Fig. 8 Distribution of 24 hour rainfall amount (mm) from 09h 5th to 09h 6th August 1975.

一般的には被害へは大きく寄与すると言える。

微小スケールの観測網の 16 台の降ひょう記録計にも弱い降ひょうがあった。各記録計の降ひょうパラメーターのばらつきは、衝突エネルギーと目測強度との関係 (小元・清野・八木・米谷, 1976) からみて、一点の観測値のばらつきの範囲内と考えられたので、16 個の値を平均して図 7 中の一点として使用した。一方、小スケールの観測網にも弱い降ひょうが 15 台の記録計のうち 6 台に記録された。この観測網については各点の値をそのまま使用した。降ひょう分布の微細構造を調べる目的で設置された観測網 A, B であったが、昭和 50 年度の観測期間中この 8 月 5 日のわずか 1 回しか降ひょうが観測されず、しかも弱い降ひょうであったことから、所期の目的を十分に達したとは言いがたい。

## 5.2 降雨量分布

もうひとつの降水要素である降雨量分布を図 8 に示した。これは日雨量分布を示したものであるが、我々がレーダー観測を行った 8 月 5 日の 09 時から 23 時までの間には 17 時から 23 時までの時間帯以外に降水エコーは観測されていない。また気象庁 AMeDAS の記録によると、5 日 09 時から 6 日 09 時の間で群馬県内に降雨 (少なくとも 1 mm 以上の降雨) があったのは 17 時から 23 時の間のみであった。これら二つの記録から図 8 に示した雨量分布はここで述べた対流系にもたらされた総降雨量を示していると考えてよい。レーダーエコーセルの移動方向は  $260^\circ$  であったが、雨量分布の多雨域はエコーの移動方向に一直線には位

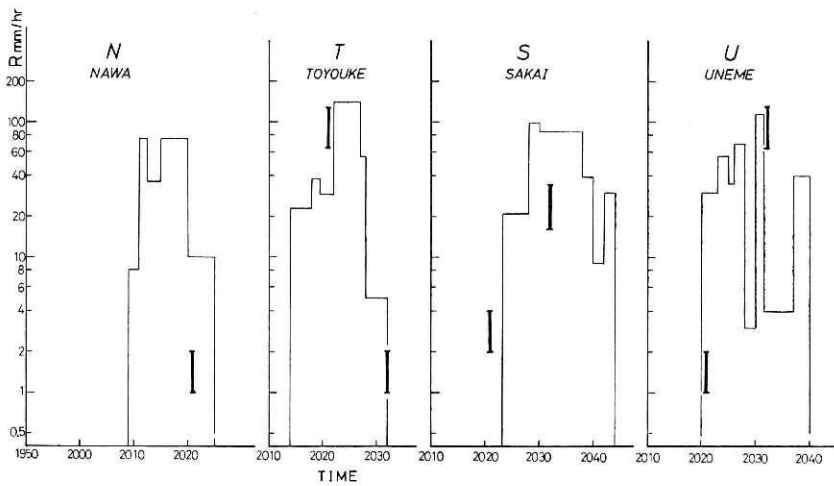


図9 雨量計自記紙から算出した降雨強度の時間変化  
 Fig. 9 Time change of rainfall rate ( $\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1}$ ) calculated from records of raingauges. Rainfall rates estimated from PPI isoecho observations at 2021 and 2032 are designated by thick lines for reference.

置しておらず、エコーが multicell type であったことを示している。レーダーサイトの東北東 15 km 付近、すなわち伊勢崎市南部から境町にかけて位置する多雨域は雨量分布内の多雨域の中で最も降雨量が多く、かつ斜線域で示す降ひょう域とよく重なっている。短時間の降雨量の多さも対流活動の激しさを示すものと考えられるから、降ひょう域と重なる多雨域をもたらしたセルの対流活動は他のセルより活発であったことをこの分布は示している。4 節に述べたように降ひょう域をセル  $d$  の反射強度の強い部分が通過しているの、さらにそれは降ひょう域と一致した多雨域上をも通過していることになる。

図5中の N, T, S, U で示した雨量観測点は日巻にして観測を行った。これら4点は図8に示す降ひょう域と重なった多雨域内に位置したので、自記紙から降雨強度を算出した。図9の細い実線がその結果である。記録の傾きが変わるまで強度一定として求めてあるので時間間隔は一定していない。各観測点で求められた最大降雨強度は N で  $70 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$ 、T で  $140 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$ 、S で  $100 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$ 、U で  $110 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$  であった。なお総降雨量は N で 10.6 mm、T で 16.4 mm、S で 17.8 mm、U で 11.4 mm であった。図中にはレーダーエコー反射強度から推定される各地点の降雨強度の範囲を、等エコー観測の行われた 2021 と 2032 について太い実線で示した。各地点ともエコー強度 ISO 7 (降雨強度に換算して  $64 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$  以上に相当) が通過したことに対応して、雨量計自記紙からもこれに相当する降雨強度が算出された。自記紙から読み取った各観測点の降雨開始時刻は、N で 2008、T で 2013、S で 2023、U で 2020 であった。また ISO 7 に相当する  $64 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$  以上の降雨強度が算出された最初の時刻は、N で 2011、T で 2022、S で 2028、U で 2026 であった。雨量計自記紙の時刻には若干の誤差を含んでおり、上記時刻は補正していないので地点

により 1~3 分のずれがある。雨量観測点はほぼセル  $d$  の移動方向に沿って並んでいる。2021 と 2032 の PPI 等エコー観測をもとに各雨量観測点を ISO 7 の領域が最初に通過する時刻を補間して求めると、N で 2012, T で 2021, S で 2028, U で 2028 となり、上述した  $64 \text{ mm} \cdot \text{hr}^{-1}$  以上の降雨強度が雨量計自記紙から算出された最初の時刻とほぼ一致する。このことからこの多雨域がセル  $d$  にもたらされたものであることは明らかである。

## 6. 考 察

昭和 50 年 8 月 5 日の積乱雲に伴う降ひょう分布、降雨量分布について、レーダー観測結果を合わせて調べたところ、降ひょう域と降雨量分布の最大降雨量を含む多雨域がよく重なり、またこの領域をひょうをもたらし対流系の反射強度の強い部分が通過していた。北関東における我々の観測例では、本報告の例も含めて、エコー反射強度の強い部分が通過した地域に降ひょうが観測された例が多い（清野・小元, 1975; 小元・八木・清野, 1976; 八木, 1976 など）。降ひょう記録計から推定される降ひょう域と比較する PPI レーダーエコーの観測高度は、これらの例では大部分 1 km 前後であり、観測されたひょうの直径は 1~2 cm であった。Phillips (1973) はアメリカ・コロラド州における観測例で、降ひょう地点と時刻を正確に押えた上で、その時刻のレーダーエコー構造と降ひょう地点を比較したところ、ビーム高度 1 km のエコー構造でみると、エコーの移動方向からみて前方の反射傾度の最も大きな部分に降ひょう地点が位置していた。これはエコーの移動に伴い降ひょう域を最大反射強度領域が通過していることになり、我々の結果と一致する。Changnon (1970) はアメリカ・イリノイ州の 434 の降ひょう域について降雨域との位置関係を調べて、39% の降ひょう域が降雨域の主軸の中心に、36% が主軸の右側に、25% が主軸の左側に位置していたという結果を得た。また大きな被害を与えた降ひょう域はすべて降雨域のコアに発生しており、この強い雨と風によってひょう害はさらに強まると述べている。北関東における 8 月 5 日の場合は降雨域のコアに降ひょう域が位置したが、被害をおよぼすまでには至らなかった。

強い反射強度が観測されるということは、強い降雨あるいは多量のひょうが含まれているためと考えられるので、我々は降ひょう時の垂直構造を得るために、REI 方位決定の際には、PPI エコーに最大反射強度が現われた方位をとっている。この方法で降ひょうをもたらししている時刻の積乱雲の垂直断面をとることができた例が実際にいくつかあった（小元・八木・清野, 1976; 八木, 1976 など）。あるいは降ひょうをもたらし直前または直後の垂直断面もいくつか得られている。

我々の降ひょう記録計は、ひょうの大きさと個数についての情報をもたすが、降ひょう時刻や降ひょう持続時間についての情報を得ることはできない。時間に関する情報その他特記すべき情報は現地観測者の気の付く範囲でおおまかな目安程度で報告してもらっている。したがって正確な降ひょう時刻・持続時間の把握は期待できない。そこでこれまでに述べてき

た結果から降ひょう時刻の推定を試みた。ひょうを伴った対流系にもたらされた降雨量分布の多雨域に降ひょう域が位置したのは、降ひょうが比較的小粒で弱かったので強い雨にまじって降ったためと考えられる。現地からも強い雨にまじって降ったことが報告されている。セル*d*の反射強度の強い部分がこの多雨域・降ひょう域を通過していることから、この反射強度の強い部分付近にひょうが存在していたと考えられる。これらのことを考え合わせて、エコーの強い部分が通過した時刻、雨量計に大きな降雨強度をとまなう降雨のあった時刻から降ひょう開始時刻は、Tで 2022 頃、Sで 2028 頃、Uで 2026 頃と推定される。Nは降ひょう域からはずれていた。各地点における降ひょう持続時間は、ひょうが強い雨にまじって降ったことから、約 20 分の降雨持続時間を超えることはないであろう。また降ひょう域全体の降ひょう時刻は 2020~2040 頃と考えられる。図 5 中に示した現地から報告された降ひょう時刻のうち境町分の 2030 は上記の降ひょう推定時刻とほぼ一致するが、伊勢崎市分の 1930—2000 についてはかなりのくい違いがみられる。しかし図 5 に示した現地から報告された降ひょう時刻は、あくまで1日のうちのおよその目安を表わすものである。

## 7. 結 論

昭和 50 年 8 月 5 日北関東に発生した降ひょうを伴った対流系にもたらされた降ひょう分布・降雨量分布について、レーダー観測結果と合わせて解析した結果、次のような特徴がみられた。

(1) 降ひょう域の大きさは長さ約 7.5 km、幅約 2.5 km で、主軸の方向は後述の特定のエコーセルの移動経路に一致していた。

(2) 降ひょう域内の降ひょうパラメーター（ひょう粒数、各観測点における最大直径、単位面積あたりのひょうの衝突エネルギー、単位面積あたりのひょうの質量）の分布には、主軸方向に二つの極大域が約 4 km 離れて存在していた。

(3) レーダーエコーは multicell type であった。一方降雨量分布には、これに対応して、セルの移動方向に平行に複数の多雨域がみられ、このうち最も降雨量の多かった地点(21分間に 17.8 mm)を含む多雨域が降ひょう域と一致した。

(4) ひょうをもたらしたエコーセルは、この日発生したエコーセルの中で最も長い2時間余りの寿命を保ち、かつ他のセルより強い反射強度が観測された。また、このセルの反射強度の強い部分が降ひょう域・多雨域上を通過しており、その直前に行われた等エコー観測では ISO 8 に達する強い反射強度がみられた。

(5) ひょうをもたらしたセルの反射強度 ISO 7 の領域が、降ひょう域と一致した多雨域内の雨量観測点を通過した時刻と、これらの観測点の雨量計自記紙から算出した降雨強度のうち、ISO 7 に相当する  $64 \text{ mm}\cdot\text{hr}^{-1}$  以上の降雨強度が初めて得られた時刻はほぼ一致した。

(3) (4) (5) の特徴から、ひょうがエコーの反射強度の強い部分に存在していて、強い雨とともに降ったと考えられる。一方現地からもひょうが強い雨に混じって降ったと報告された。我々の降ひょう記録計は時刻を記録しないので、一般に降ひょう時刻とその持続時間の確定は困難であるが、上述の結果をもとにレーダーと雨量計の記録から降ひょう時刻の推定を試みることができた。

## 8. 謝 辞

観測にあたっては群馬県農業試験場、同園芸試験場、同藤岡農業改良普及所、藤岡市、伊勢崎市、境町のご協力を得た。また群馬県河川課と日本国有鉄道高崎鉄道管理局からは雨量資料の提供を受けた。ここに記して謝意を表したい。

## 参 考 文 献

- 1) Changnon, S. A. (1970): Hailstreaks. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 109-125.
- 2) 小元敬男・米谷恒春 (1976): 関東地方の雷雨 (その 1)—雷雨日の大気鉛直構造の数値解析—。国立防災科学技術センター研究報告, **14**, 65-78.
- 3) 小元敬男・清野 豁 (1976): 激甚ひょう害域の降ひょう分布。昭和 51 年度日本農業気象学会大会講演要旨, 29.
- 4) 小元敬男・八木鶴平・清野 豁 (1976): 昭和 50 年 6 月 9 日の群馬県の降ひょう。国立防災科学技術センター研究速報, **22**, 1-31.
- 5) 小元敬男・清野 豁・八木鶴平・米谷恒春 (1976): 農作物のひょう害と降ひょう強度との関係。国立防災科学技術センター昭和 51 年度研究発表会講演要旨, 2-5.
- 6) Phillips, B. B. (1973): Precipitation Characteristics of a sheared, Moderate Intensity, Supercell-Type Colorado Thunderstorm. *J. Appl. Meteor.*, **12**, 1354-1363.
- 7) 清野 豁・小元敬男 (1975): 1972 年 8 月 3 日のひょう雲の構造と行動。国立防災科学技術センター研究報告, **14**, 53-63.
- 8) 八木鶴平 (1976): ひょうを伴った線状雷雨エコーの解析。1976 年日本気象学会秋季大会講演予稿集 (30), 106.

(1977 年 12 月 19 日原稿受理)