

昭和50年6月9日の群馬県の降ひょう

著者	小元 敬男, 八木 鶴平, 清野 豁
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	22
ページ	1-付7
発行年	1976-03-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002738/

551.515.4:551.578.7:551.501.81:632.116(521.24)

昭和 50 年 6 月 9 日の群馬県の降ひょう (序 報)

小元敬男・八木鶴平・清野 豁
国立防災科学技術センター第1研究部

The Hailstorm of 9 June 1975 in Gunma — A Result of Preliminary Analysis —

By

Y. Omoto, T. Yagi and H. Seino

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo.

Abstract

A result of preliminary analysis is presented of the severe hailstorm of 9 June 1975 in Gunma prefecture. On this day severe thunderstorms with damaging hail occurred over the wide area in Honshu (Fig. 1). Loss of agricultural products by hail was reported as approximately 12,600,000,000 yen (about 42 million US dollars). Among 12 prefectures suffered by hail, damage in Gunma prefecture was the greatest (3,400,000,000 yen). Distribution of hail in this prefecture is given in Fig. 2. The possibility of occurrence of severe thunderstorms accompanied by hail was forecasted on the previous day by our method given in Fig. 4. Synoptic conditions on 9 June 1975 are shown in Figs. 5A, 5B and 6.

We have been conducting a hail observation project in this prefecture since the summer of 1971. Observation points each with a hail pad were 217 in Gunma and 77 in Saitama prefectures in 1975. The network is shown in Fig. 7. Results of the preliminary examination of the collected hard aluminum foils with hail records are shown in Figs. 8 and 9. In these figures rough classification categories are used to represent hailfall characteristics. The maximum size of hailstones on each foil is classified as "large", "medium" and "small", corresponding to hailstones with diameters, larger than 2.0 cm, between 0.8 and 2.0cm, and smaller, respectively. The number of hailstones at each observation site are classified into four categories, according to the numbers of indents on the aluminum foil with 500 cm² exposure surface, i.e., "many" (more than 300), "moderate" (150 to 300), "few" (10 to 150), and "trace" (1 to 9).

The hail data over the entire hail network is given in Fig. 8, where only data of NRCDP sponsored observation points are shown. It is seen that the network observed the hail areas indicated as II and III in Fig. 2, but missed those designated as I and IV. A certain regularity of hailfall characteristics was found. Namely, there are four areas with data classified as "large and many" gathered. It is seen that each one of these corresponds to the regions in Fig. 2 where areas with heavy damage are clustered. A map revealing more detailed distribution of hail is shown in Fig. 9 covering town of Nitta and

its immediate surrounding area. There were 36 observation points operated by the town in addition to our 6 in the area of 38 km². One of the noteworthy features revealed from this dense network data is the sharpness along the south edge of the hail area, where the "large" class hailstones were observed by station nearest to the hail boundary. The abrupt change in number of hailstones along the boundary was also notable. No hail indents was recorded at an observation point 900 m south of a station where the aluminum foil with more than 1000 indents was obtained (only those correspond to hailstones larger than 7 mm were counted in this case. The change in maximum diameters of hailstones along the opposite side of the hail zone III was not so distinct. Another interesting feature found by this dense network is the existence of four hail intensity maxima as denoted by letters A, B, C, and D in Fig. 9, heavy hailfall area correspond to D was actually outside of the figure (see also Fig. 8). Regularity in the distribution of these maxima, i.e., approximately 5 km intervals) suggest an intensity oscillation of the hailcloud II' (e.g., Fig. 22) with a period approximately 13 minutes.

From the hailfall pattern and radar data we grouped the hailclouds appeared in Gunma on this day into 4 systems, calling storm I~storm IV (Fig. 11). As described below each one of these storm had features quite its own.

Three notable features are described below of the first hailstorm (storm-I) which formed over a basin area of northwestern Gunma at about 14^h20^m. (1) it developed into an isolated cumulonimbus accompanied by hail through a systematic formation and merger of small cumuli, formed one after another to the west of the older cells as shown in Fig. 12. The feature is somewhat similar to that of the formation of typical hailstorm in the western South Dakota modeled by Dennis et al. (1970). These small echoes moved quite rapidly but the system as a whole did not move until it became an well organized cumulonimbus echo. (2) A systematic alteration of major cells, each one as cumulonimbus or cumulus congestus, were observed during the 3 and 1/2 hours life time of this storm. In this case, a new storm cell formed some 10 km south of the older ones. While the former moved northeastward as the latter eastward resulting contact followed by merger of two cells occurred. The difference in the direction of motion of these small and large echoes were generally in agreement with the rule for convective echoes, for example, discussed by Newton and Fankhauser (1964). After the contact the older cell began to weaken and the new cell took over the major portion of the multicellular storm. Such change took place between echoes Ia and Ib, Ib and Ic, and somewhat unique manner between Ic and If (Fig. 15A and 15B). (3) Intermittent appearance of areas of heavy damage along its path may be explained by the above mentioned multicellular nature of the storm-I. A unique behavior was noted to the echo If which formed as if a part of the storm IIa but moved north-northeastward very rapidly and became a part of the storm system I.

The storm II was a very complicated convective cloud system. It experienced four significant changes in structure during its 4 hours life time. It grew from a cluster of very small cells to an echo typical to an isolated cumulonimbus in a very short time, then stayed in this form about a half hour moving very slowly (Fig. 17). If the reports we received were correct, hailfall began within 15 minutes after the first echo appeared in our radar scope. Single cumulonimbus form of the storm II changed to a band type echo as the west end of the storm fixed, perhaps by the effect of Mt. Haruna, whereas the opposite end spread eastward. The development of the band form echo progressed somewhat different manner between the early half of the period and the remaining. The change into the band echo from an isolated cumulonimbus type took place as a result of formations and expansion of new echoes to the east of the quasi-stationary old echo. Then the band began to lengthen similar manner as observed during the development stage of the echo Ia. Namely eastward movement of internal structure accompanied with formations of new cells at the fixed west end. The scale was larger than that observed in case of Ia, however. The third change was the collapse of the band echo into the echo

with indeterminate shape. It occurred in connection with formation and development of the two cell system to the south of the band. These two echoes IIIi-IIIh and IIIa-IIIb moved northeastward, approached to the band echo and attached to it from the southside of central and western portions of the band. As a result formed a disorganized convective system consisted of cumulonimbi and large cumuli those belonged both the storm II and storm III (Fig. 18). The last major change was the separation of this echo into two, one consisted of only cells of the storm II and other consisted mainly of cells of the storm III and one of the storm II. After the separation no intensification of echoes of the storm II was observed. The areas with heavy damage due to hail from the storm II scattered in a broad belt of hailfall, only echo cells IIa and IIe seemed accompanied hail, according to the preliminary analysis.

The early period of the storm III was, as described above, attached with the storm II with boundary very difficult to find from normal PPI radar photographs. After the separation from the major portion of the storm II, a process similar to that observed in the band development period of the storm II followed, i.e., new echo formation at one end dissipation at the other end. During this period the storm III was a spiral band shape in appearance. This form did not last long, however, and collapsed as the storm IV which approached from the west contacted and merged forming combined storm III-IV (Fig. 20). The storm IV was the weakest among the four hail storms appeared in Gunma on this day. Hail from this storm occurred in a region without hail recorder and its intense portion situated over an area blind from our radar.

An interesting feature is revealed in the internal structure of the storm III at 19h33m isoecho pattern observation (Fig. 21a). A ring shape intense reflectivity zone was situated at the southwest end of this storm. This structure is quite similar to that of a hailstorm of 29 June 1967 in Alberta, for example, shown by Chisholm (1973). A distinct hook echo was observed in this portion 10-20 minutes before. Although such features are regarded as typical to convective system accompanying destructive local storms, no such event was reported. Even no hail record was obtained from stations in the area of interest. Hail from this storm was accompanied by the cell IIIf alone. This convective cell formed just above our radar site, near the southwest end of the convective storm III at above 19h35m. Shortly after the formation it joined with IIIe with a indistinguishable boundary. Although the cell IIIf was obviously an independent cumulonimbus type system when examined by isoecho reflectivity analysis (Fig. 21b), but in PPI radar photographs the boundary of this cell and the cells IIIe and IVc were difficult to define. Around 20h it began to separate from the multicell type storm III-IV. The structure of this hailcloud IIIf was quite different from other hailcloud of the same size observed earlier time. Namely Ia or IIa were convective echoes with structures similar to that modeled by Browning (1964), or of hailcloud shown by Fujita and Byers (1963), but IIIf was more like a small squall-line with a long axis almost perpendicular to the direction of the storm movement with hailfall area in the middle of the storm axis (indicated by an arrow in Fig. 21c). The vertical structure of this storm including the portion of hailfall on the ground was observed (Fig. 24). Since the orientation of this section is almost coincided with the direction of the storm motion, the forward inclination of the axis of high radar reflectivity, known as typical to hailclouds, was obtained. One of the interesting characteristics of this storm is the 13 minutes periodic oscillation of hailfall intensity. However, more careful examination of radar data is necessary to reveal the nature of this intensity change in connection with the changes in structure and dynamics of the storm. Detailed analysis is underway to understand above-mentioned behaviors of hailstorms and hailfall pattern.

1. はし が き

昭和50年5月下旬から6月中旬にかけて日本各地で激しい降ひょうを伴う雷雨がたびたび発生し、農作物が甚大な被害を受けた。ひょう害が発生した日数はこの間に14日あり、北は青森県から南は高知・宮崎両県まで2府30県で合わせて250億円に上る被害が出た。表1はこの期間における主なひょう害の府県別被害を示す。このように激しい降ひょうがたびたび発生したのは、この時期としては例年になく頻繁に、日本上空に寒気が浸入したためである。

この間の最大のひょう害は6月9日のものである。この日、東北から山陰まで1府11県にひょうが降り(図1)、被害総額は126億円に達した。中でも群馬県では33市町村がひょう害をこうむり、被害額も30億円を超過という、ひょう害がめずらしくないこの地方でも空前の規模といわれるほどであった。

群馬県には当センターの「積雲対流がもたらす災害の発生機構に関する特別研究」の一環として実施している降ひょう記録計による観測網がある。また、3節に述べるように、われわれ

表1 市町村別被害状況(6月11日調べ)

発 生 月 日	府 県 名 (被害金額, 単位億円)	推定被害総額
5月24日	長野(1.5), 兵庫(3.7), 京都 群馬, 長野(2.0), 山梨, 岐阜, 三重(0.9), 奈良	4.5
5月26日	京都, 広島, 岡山(2.0), 島根(5.1), 山口, 大分(0.5), 徳島(2.7), 高知(2.7), 熊本, 宮崎(0.3)	17.0
5月31日 6月1日	岐阜, 福井, 滋賀(0.7), 京都, 兵庫(2.0) 岡山(3.9), 鳥取(73.5), 島根(0.5), 宮崎	81.0
6月3日	福島(1.1), 栃木(1.3), 茨城, 千葉(7.2) 山梨(1.7), 長野, 静岡	12.0
6月9日	岩手(14.0), 山形(21.6), 福島(19.0) 秋田(7.8), 茨城(1.5), 栃木(8.4), 群馬(33.9) 新潟(16.1), 長野(3.4), 兵庫, 京都	126.0

表1. 昭和50年5月下旬～6月中旬の主なひょう害。推定被害総額(単位, 億円)は被害金額のデータが得られなかった県の分を推定して含めた。

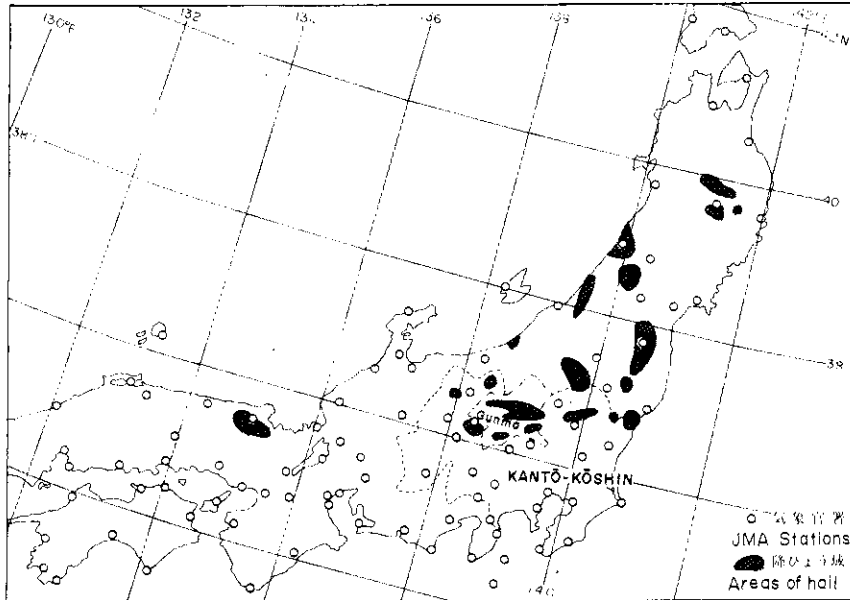


図1 昭和50年6月9日の降ひょう分布。新聞記事，該当県の気象月報，異常気象報告などを参考に作成。

Fig. 1. Distribution of hail on 9 June 1975.

はこの降ひょうを予報しており，当日は筆者の1人（八木）が現地に赴いてレーダー観測を行っていた^{脚注1)}したがってこの群馬県における降ひょうについて，他に類例をみないような豊富な観測データが得られた。以下にこれらの資料を用いて，群馬県におけるこの日の降ひょうの実態と，これをもたらした対流系の行動を明らかにするために行った予備的解析(preliminary analysis)の結果を述べる。

2. 群馬県の被害状況

6月9日の雷雨による群馬県の農業被害は，県農政部の発表によると，総額36億3,771万円であった。^{脚注2)}内訳は農地被害が1億400万円，農業用施設の被害が1億4,000万円，農作物の被害が33億9,371万円である。県内でとくに被害の大きかったのは，県南東部の新田町，赤城山南麓の新里村，それにひょう害に加えて豪雨による被害を受けた沼田市と昭和村である。参考までに市町村別の被害状況を付録表1として本文末に付す。なお，作物別では桑の被害が一

注1. レーダーは5月下旬より8月中旬まで藤岡に設置してあったが，予算上，研究員は常駐せず雷雨が予報された日のみ運転された。

注2. 群馬県では翌10日にも激しい雷雨があり，降ひょうと大雨によって若干の被害がでた。県の報告は両日の被害をまとめている。

番大きく5億9千万円、次いでコンニャク（3億円）、以下トマト、スイカ、キュウリの順になっている。コムギは収穫直前の畑が壊滅的な被害を受けた地区もあるが、被害程度が30%以上の面積が、県のコムギ作付面積の5%に満たない、ごく狭い範囲に限られたので、この時期の降ひょうの割に被害が少なくてすんだ。付録表2に作物別被害状況を示す。

今回のひょう害の大きな特徴は数多くのひょう害を経験してきた地元の農業関係者が、未だかつて無かったというほど広い範囲に激甚被害地域が散在したことである。このため、降ひょうの実態は現地でもなかなかわからず、これまでに発表されたいくつかの報告の降ひょう分布図の間に、かなりの相違が見られる。図2は市町村ごとに調べた被害分布に降ひょう記録計のデータとレーダー写真の解析結果を考慮して求めた降ひょう分布である。ここでⅠ～Ⅳは、以下でそれぞれ降ひょう系Ⅰ～Ⅳと称する対流系によってもたらされた降ひょうの区域である。

著しい被害を受けた区域は、降ひょう域Ⅰでほぼ1列に並んでおり、Ⅱではかなり不規則に現われている。筆者の1人（小元）は降ひょうの翌日と翌々日、赤城山南麓と新田町の降ひょう地域を車で回ったが、被害のほとんど目立たない地域から、突然、幅数百m、長さ1～2kmでいどの狭い激甚被害地域に入ることもあり、変化は非常に局地的であった。この間撮影したひょう害写真を数枚付録に掲げておいた。

激甚ひょう害地区では、強風あるいは強雨の跡が歴然としている場合が多かった（付録、写

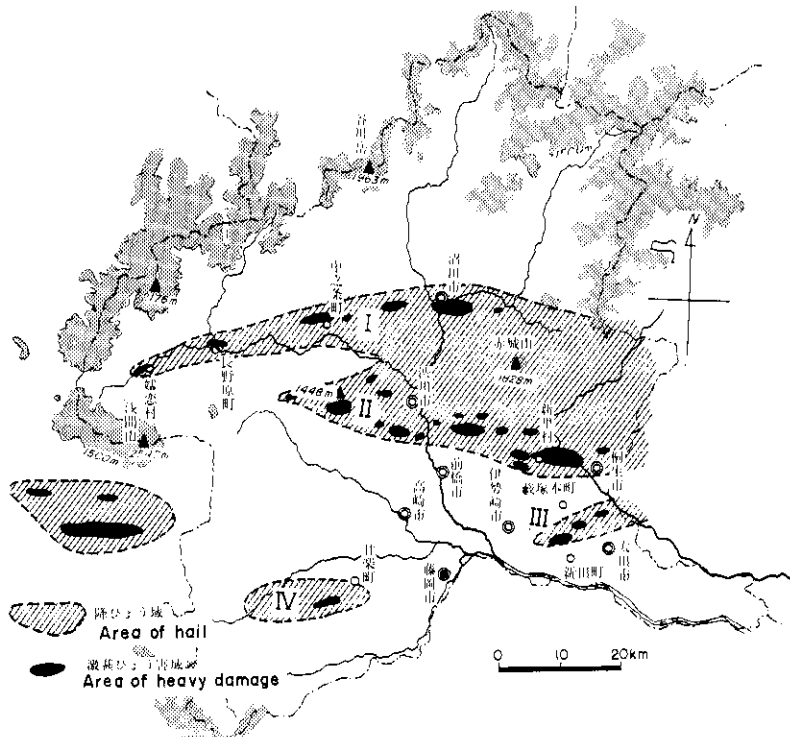


図2 昭和50年6月9日群馬県内の降ひょう分布

Fig. 2. Distribution of hail in Gunma prefecture by the hailstorm of 9 June 1975.

真 1, 写真 5)。降ひょう地域内における風の実測記録は得られなかったが、2 km 以内でひょうが降っていた時刻に、桐生気象通報所で最大風速（10 分間平均）16.5 m/sec を測っている。降ひょう域からやや離れているが、前橋地方気象台でも雷雨の最中に瞬間最大風速 21.0/sec を記録しており、この雷雨が強風を伴っていたことは明らかである。図 3 A は、気象庁、建設省、群馬県、国鉄および当センターの雨量観測所のデータを用いて作成した 6 月 9 日の雨量分布である。赤城山麓や新田町のひょう害地域に雨量観測点が少なかったこともあって、詳細な分布は求めることができなかったが、多雨域と降ひょう域は大体において一致している。また、降ひょう時の降雨が非常に激しいものであったことは、激甚被害地域から数 km 離れているが、降ひょう域Ⅲ内にあった当センターの雨量観測点 2 箇所（境町采女小学校屋上、境町役場屋上）の記録から知ることができる（図 3 B）。両地点ともに、20 mm 前後の雨が、週巻雨量計では時間幅が読めないほど短時間に降った。

ひょうに叩かれた上に強い風雨に晒されることによって、農作物はさらに痛めつけられるというのがひょう害の実態である。ひょう害の発生機構を究明するためには降ひょうだけでなく降雨強度、風速等の記録を得ることが必要である。

3. 気象状況

6 月 8 日の気象状況から述べると、バイカル湖東方に発生し約 20 km で南東進した上空の冷たい低気圧が、8 日 9 時には朝鮮半島北部に達し、9 日中にも日本海中部の上空に中心が移動してくることはほぼ明らかであった。一方、地上天気図によると梅雨前線は本州はるか南方洋上にあって本邦への影響は少なく、全国的に天気はあまり悪くなかった。9 日もほぼこの状態が続き、日中の気温はかなり上がると考えられた。われわれが用いている雷雨、降ひょう予報法において（小元・米谷、1975）、館野の午前 9 時の観測データが図 4 の A 域に入った場合、関東・甲信地域内にひょうを伴う雷雨が発生する可能性が大きいと判断される。8 日の地上および 500 mb 天気図から、図中、矢印で書き込まれているような変化が予想され、9 日は朝から現地に赴いて観測準備をととのえた。なお、館野の観測データが B 域に入った場合は、雷雨は発生しやすいが降ひょうを伴う可能性は小さい；C 域に入った場合は雷雨が起こる可能性は少ないと判断される。図に問題の降ひょう日とその前後のデータを記入しておいたが、この区分が満足できるものであることを示している。

図 5 A, B は 9 日 21 時の地上および 500 mb 天気図である。ピークは過ぎていたが、群馬県上空に雷雨が散在しており、太田市北部ではひょうが降っていた。地上天気図には伊豆諸島付近に小低気圧があり、この付近で梅雨前線は関東地方に接近している。東日本の各地で雷雨が観測されていたが、晴のところも多く、全国的に天気はそう悪くない。関東地方も雲は多かったが、日中は晴間もでて気温が上がり、前橋でも 27.2℃と平年より 2.7℃高くなった。一方、

上空の冷たい低気圧は予想どおり、中心が日本海中部に移動してきた。このため全国的に大気が不安定となり、東日本から山陰東部までの広い範囲に降ひょうを伴う雷雨が発生した。とくに激しかったのは東北4県と新潟・群馬の両県で、新潟県中条町では直径5～7mmという巨大なひょうが降った。

図6は15時(15^h00^m)の本州中部の局地天気図を示す。群馬県北西部の嬬恋村上空にこの日最初の積乱雲があり、ひょうが降り始めた頃である。初夏にひょうの降る日は、熱雷・界雷の区別なく、ほとんどの場合中部地方内陸部に熱的低気圧が発生するようであるが、この日もそうであった。この熱的低気圧は、ほとんど移動せず、夕方おそく消滅した。

なお、問題の500mb低気圧は中心が日本海中部に達してから、急に向きを変え、ゆっくり旋回しながら山陰沖にとどまった。このため、上空の寒気もしばらく去らず不安定な天気が続いた。群馬県では、10日に榛名山周辺と赤城山北西麓で再び降ひょうがあり、平野部では雷雨性大雨による被害が出た。12日にも県北西部の嬬恋村でひょう害が発生した。

4. 降ひょう分布

われわれは昭和46年以来、群馬県において、降ひょう記録計による観測を実施している。当初100個所で観測していたが、昭和49年に積雲対流に関する特別研究の一環として観測を強化した。50年は、さらに観測範囲を拡大して、埼玉県北部の分を合わせると、250地点に記録計を設置した。図7は昭和50年度の観測網である。ここで、黒丸は当センターが群馬・埼玉両県の農業共済組合連合会に委託して観測を行っている地点で、小黑点は粗すぎるわれわれの観測網の欠陥をおぎなう目的で、前橋市と新田町が予算を組み、ほぼ同型の記録計を設置した地点である。

今回の降ひょうは、図2でⅡおよびⅢと付記した降ひょう域の大部分が観測網にかかった。降ひょうを観測した記録計設置地点数は、当センターの委託分が67、新田町分が23、前橋市は1であった。これらの記録から、各観測点について、単位面積当りのひょう粒数、粒径分布、

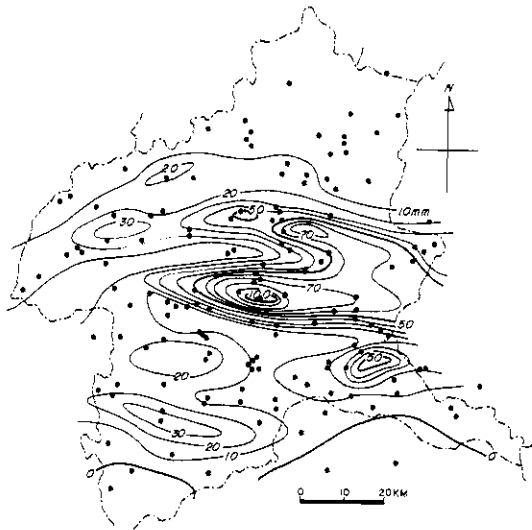


図3 A 6月9日9時より10日9時までの雨量分布 (単位mm)

Fig. 3A. Distribution of 24 hour precipitation amounts (mm) in Gunma from 9am 9th to 9am 10th June 1975.

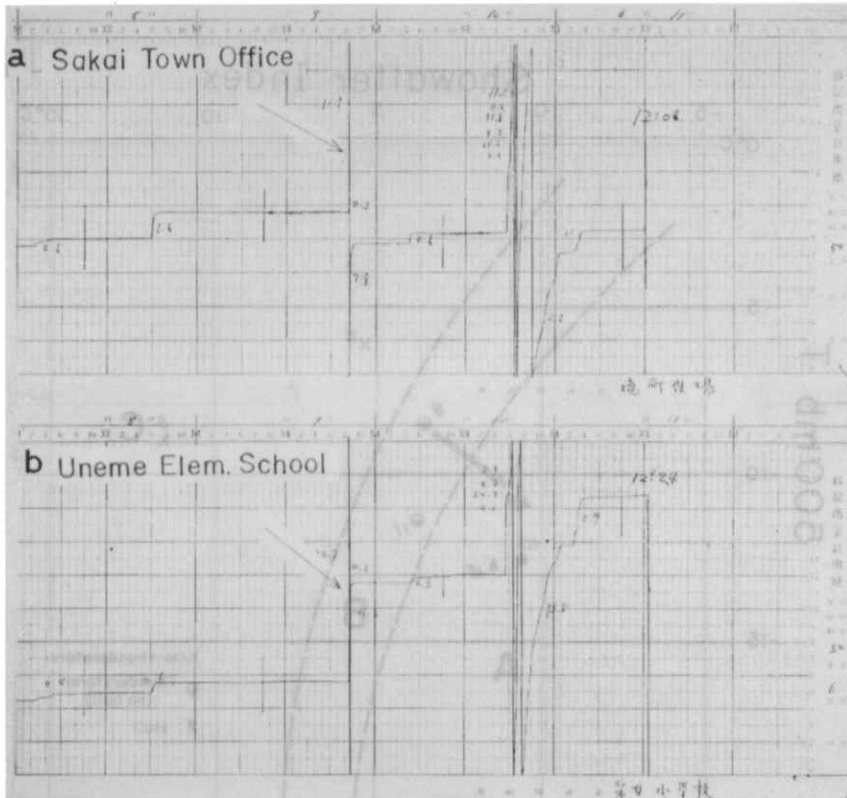


図3 B 境町の降ひょう地点に設置してあった週巻自記雨量計の記録。6月9日（矢印）および10日の雷雨

Fig. 3B. Raingauge records within a weak hail area on the 9th. During the hailstorm rain was so intense that at each place the pen moved up and down, and then up again almost on a vertical line. Records of a severe thunderstorm of the next day are shown for comparison.

降ひょうのエネルギーを求めることができる。しかし、500cm²の受ひょう面をもつ1枚の記録用アルミ箔に、多い場合は500個以上ものひょう痕が重なり合って付いているために、整理に時間がかかり、計算結果はまだ得られていない。したがって、今回は大ざっぱな分類で降ひょう状況を記述する。すなわち、最大粒径を大・中・小の3クラスに、ひょう粒数を多・並・少・痕跡の4クラスに分けた。ここで大はウズラ卵大又は梅干大（ $d \geq 2$ cm）中は小梅大（ $0.8 < d \leq 2.0$ cm）、小はそれ以下で大豆大・小豆大（ $d \leq 0.8$ ）と呼ばれるひょうである。数については、500cm²のアルミ箔受ひょう面上の凹みの数が、多は300個以上、並は150～300個、少は10～150個、痕跡は10個以下とした。

図8は観測対象の全地域について、上記の分類にしたがって求めた降ひょう状況である。ここでは新田町独自の観測点のデータは省略した。この図はわれわれの観測網が、個々のひょう害激甚地区（図2）に対応させるには無理であるが、かなり正確に降ひょう状況を把握できる

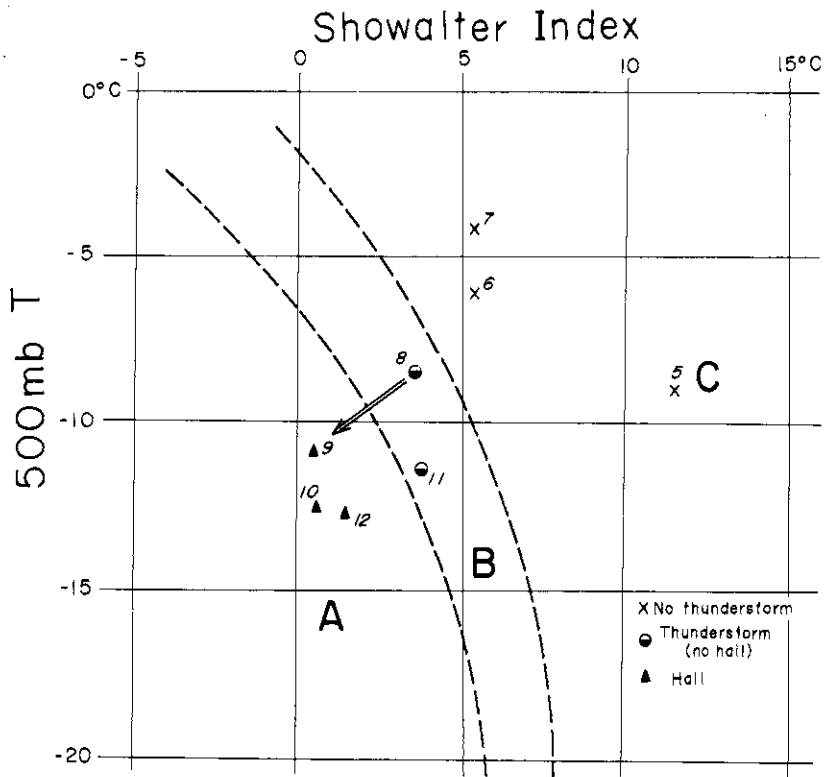


図4 関東甲信地方の雷雨・降ひょうの予報用ノモグラム、参考までに、6月5日から12日までの群馬県の天気を記入した。ここで▲は降ひょうあり、●は雷雨があったがひょうは降らなかった日である。

Fig. 4. A nomogram for forecasting hail and thunderstorm in Kanto-Koshin region (Omoto and Yonetani, 1975). Data at Tateno 9 am (00Z) observation are used to forecast convective activities in each afternoon. Zoning indicated as A, B, C, respectively correspond to forecasting, thunderstorm with hail is possible; thunderstorm but no hail is possible, and no thunderstorm. Actual data for Gunma prefecture during the period 5 to 12 June, 1975 are given.

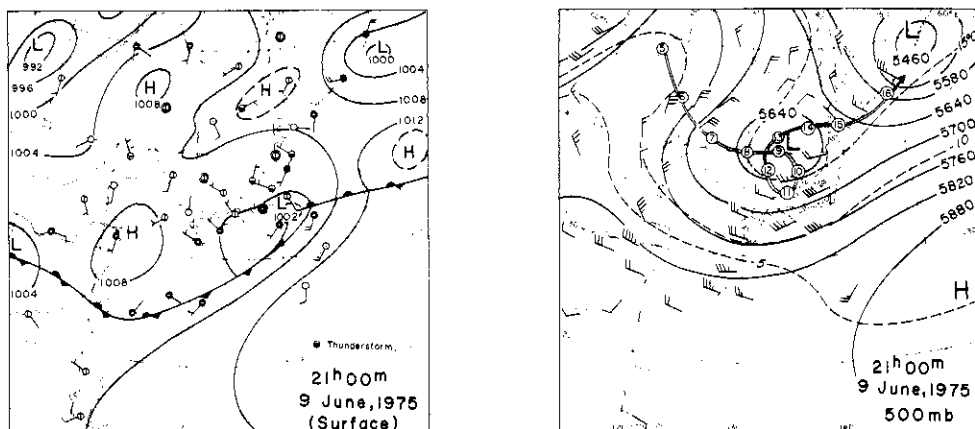


図5 6月9日21時の天気図。(A)地上天気図；(B)500mb天気図。問題の上層低気圧の毎日21時の位置も示す。

Fig. 5. Synoptic conditions at 21h (12Z) 9 June 1975. (A) surface chart with isobars, fronts, and the Japanese weather symbols. (500mb chart with height contours (solid lines, m) isotherms (broken lines, °C). Positions of the centers of the 500 mb low at 12Z each day from its formation are given in numbered circles.

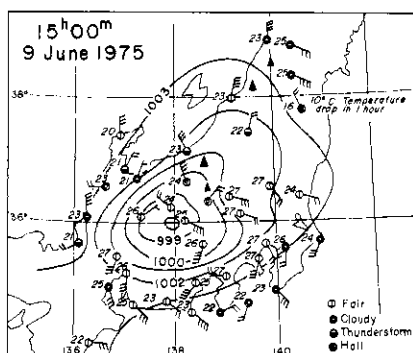


図6 6月9日15時の本州中部の局地天気図。▲印は30分以内にひょうが降った地点。

Fig. 6. Local weather map of central Honshu at 3 pm local time. Painted triangles indicates where hail occurred within 30 minutes of this map time. Winds are in the Beaufort scale.

ことを示している。これまでに発表された、2、3の報告において、この日の降ひょう分布は、図2でI、II、Ⅲとした降ひょう域が一本の幅広い帯で表わされている。しかし実際は、図8から明らかなように、IIとⅢの間に明らかに、ひょうの全く降らなかった地域があった。ごく局地的な変化は別として、耕作地の分布に大きく左右されるひょう害分布から推定したものより正確に、この図が降ひょうの実態を表わしていることは明らかである。

当センターが委託した分と町当局が設置した降ひょう記録計と合わせると、新田町の観測地点は42箇所となる（平均すると1km²に1台強である）。さらに、今回の降ひょうが同町内でも観測点の分布密度の高い北部地域に発生したこと

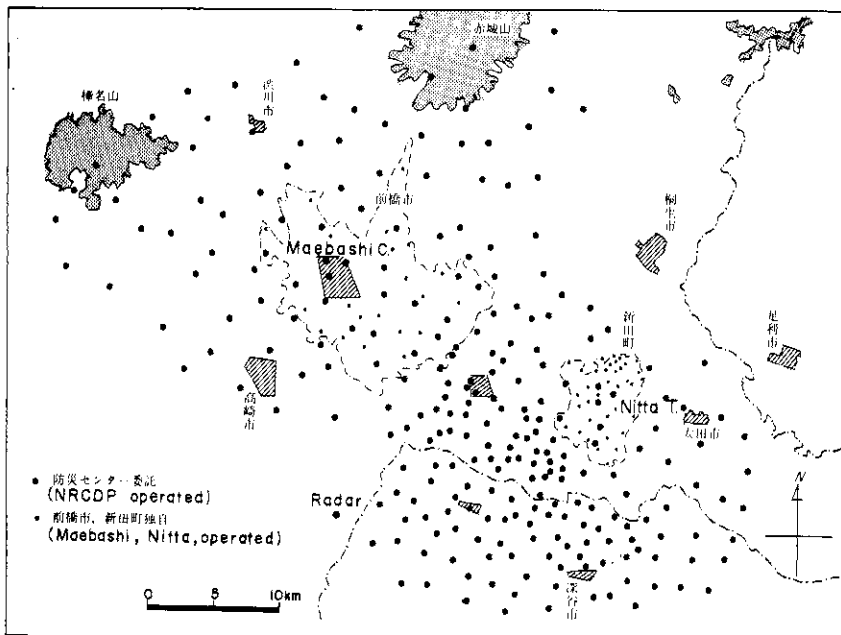


図7 昭和50年度の降ひょう観測網。

Fig. 7. Hail observation points for the 1975 hail season.

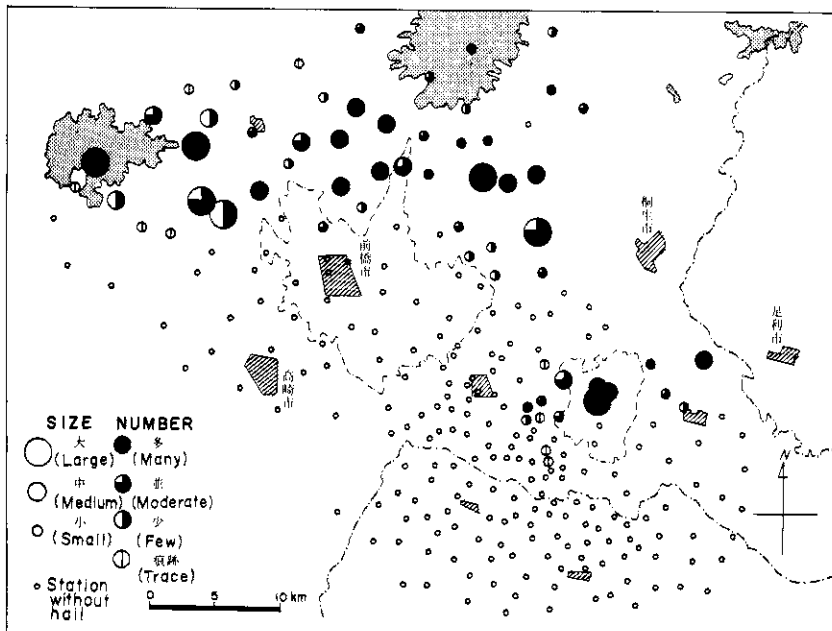


図8 6月9日の観測網内の降ひょう

Fig. 8. Distribution of hail on 9 June 1975 over the entire NRCDP network area.

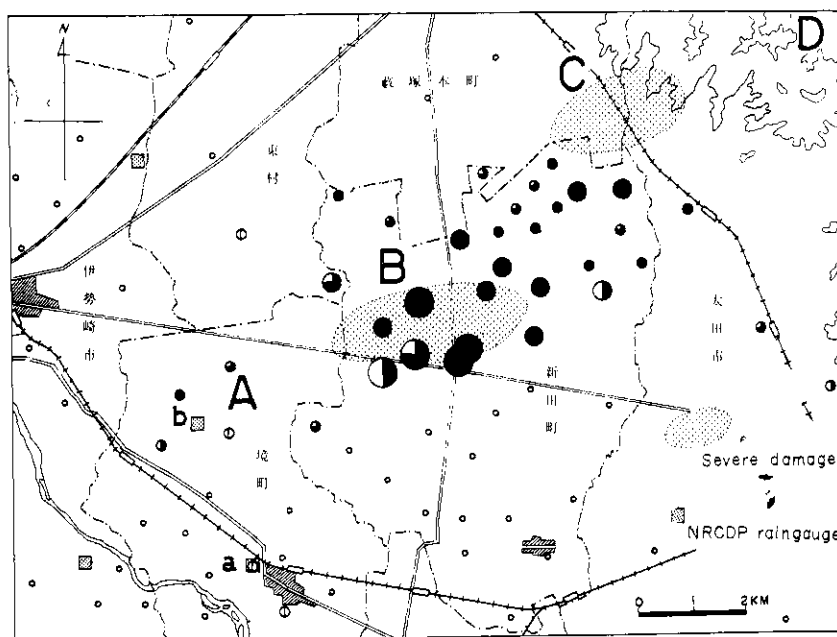


図9 新田町周辺の降ひょう状況，記号は図8と同じ

Fig. 9. Distribution of hail over and in the vicinity of the town of Nitta during the hail storm of 9 June 1975.

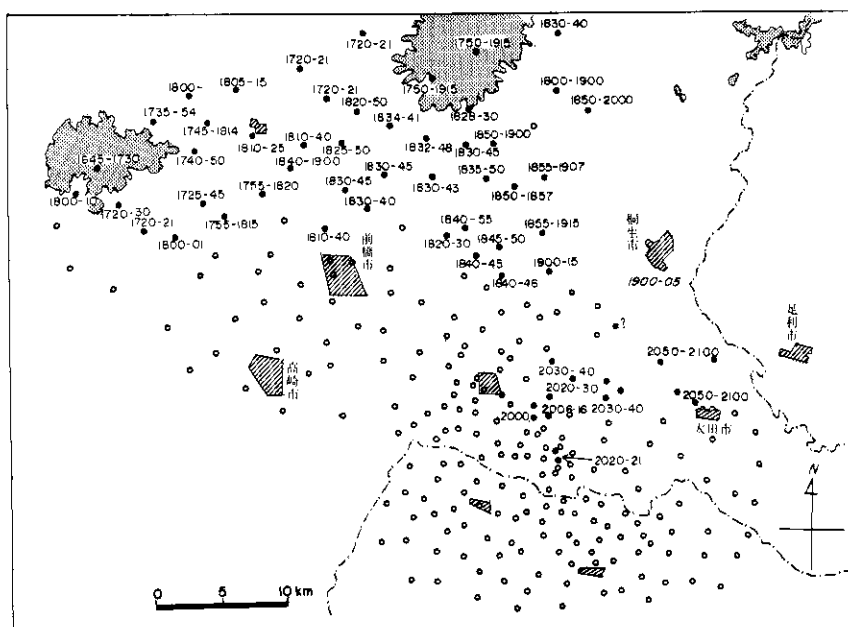


図10 委託観測地点から報告された降ひょう時間

Fig. 10. Reported times of hail.

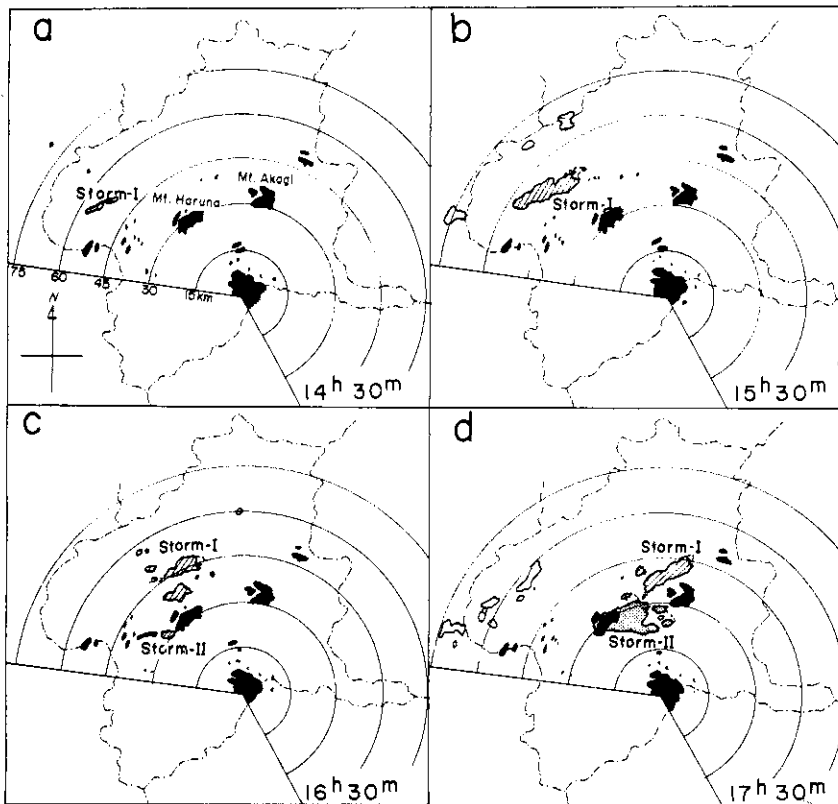


図 11 藤岡レーダー（レンジ75km）による1時間ごとの分布。黒塗りはグラウンドエコー。

Fig. 11. PPI radar echo configurations observed by Fujioka radar with 75 km range at one hour intervals. Ground echoes are painted black.

により、激甚ひょう害が発生した地域一帯の、降ひょう状況に関する詳細なデータが得られた。なお、群馬県でもとくにひょう害発生頻度の高い、境町と伊勢崎市の南部地域では当センターの観測を他の地域より密にしているのであるが（図7）、今回の降ひょうはこの地域をかすめた程度であった。すなわち、境町では北部の観測網の粗い地域に降り、データの不足が感じられた。

次に図9から見出される、系Ⅲにおける降ひょうの特徴について述べる。第1に、当然かも知れないが、ひょう害の激しい所ではひょう粒数が多く、しかも大きなものが降ったことが確認された。激甚降ひょう域の南縁、すなわちひょう雲の進行方向に向って右側の境界が非常にはっきりしている点が注目される。例えば、最大粒径が「大」でひょう粒数も「多」であった金井観測点から約1 km離れた隣の観測点では、全くひょう痕が記録されていない。ここだけに限らず、一般に、ひょう雲の進行方向に向って右側境界では、最大粒径だけに注目すると、

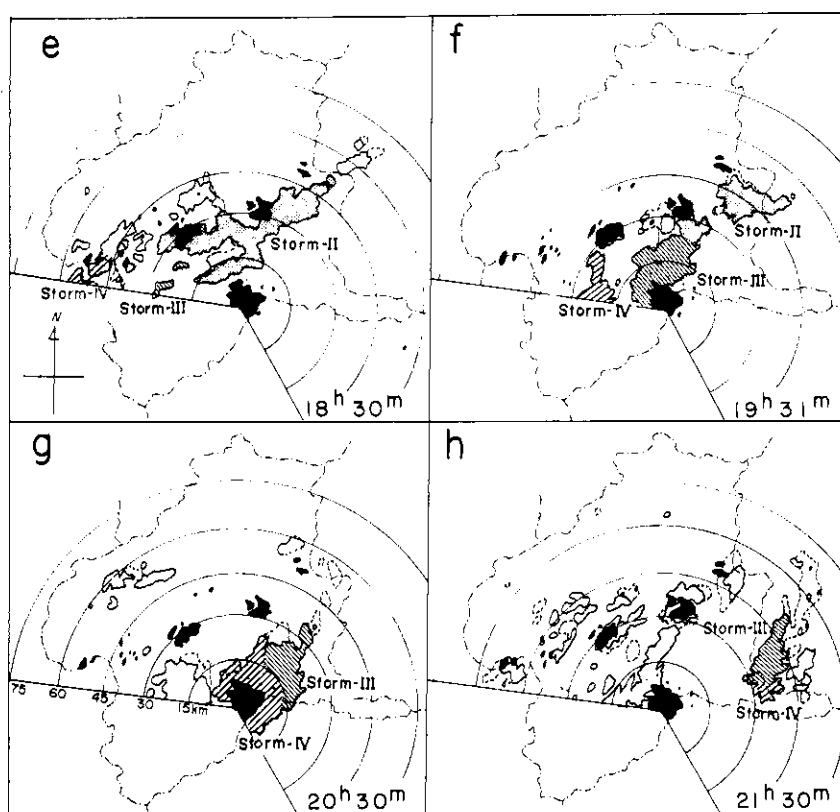


図11 （続き）

Fig. 11. (Continued)

降ひょう域の境界までかなり大きなひょうが降っていた。これに対して、その反対側および雲の進路に沿った方向の変化はゆるやかで、しかも最大粒径とひょう粒数が共に次第に減少している。

図9はもう一つ、降ひょう分布について興味ある特徴を示している。図外、右上方隅からやや離れた所にある太田市矢田堀観測点のデータを含めると、降ひょう域Ⅲには強度の極大が少なくとも4箇所（図中、A、B、C；図外D）あった。ただし降り初めの地点にもっとも近い、境町伊与久地区の極大Aは付近の観測網が粗いこともあってあまりはつきりしていない。BとCは、それぞれ、新田町市周辺と藁塚本町西野周辺の激甚ひょう害域に対応している。ただし、後者も密度の高い観測網からややはずれている。これら強度極大域の中心は、5 km弱のほぼ等間隔に1列に並んでいた。

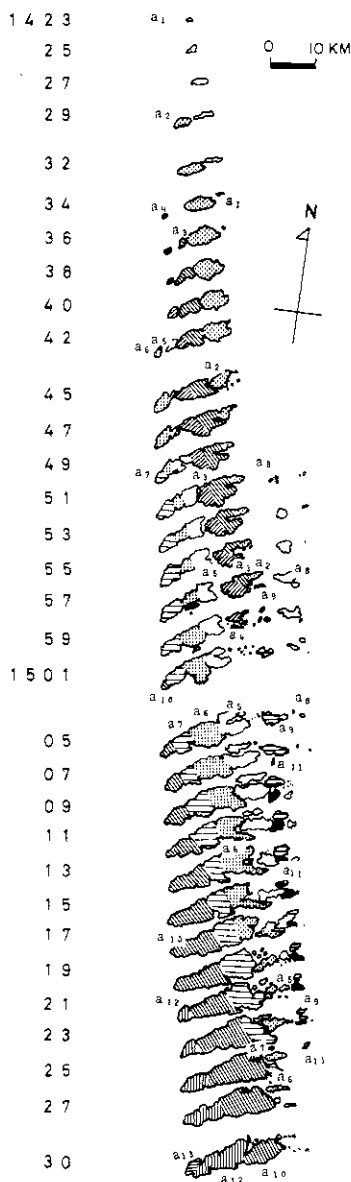


図12 発生から最盛期までの積乱雲
Iaのエコー構造の時間変化。

Fig. 12. Changes in PPI radar echo structure of the formation through mature stages of the first hail cloud Ia.

5. 降ひょう系の行動

ここでは、委託観測地点から報告された降ひょう時間（図10）と藤岡レーダーの観測記録とから求めた降ひょう系の行動について述べる。

藤岡レーダーの指示機に現われた。この日最初の対流性エコーは、14^h18^mに長野県松代付近に発生したものである。これは数分で消えたが、その後およそ1時間にわたって、長野県北東郡で対流性エコーがいくつも現われたり消えたりした。そのうち、野沢温泉方面にあらわれたエコーはひょうを伴っていたようである。なお、図11に14^h30^mから21^h30^mまで1時間おきに、藤岡レーダー（75kmレンジ）で観測されたPPIレーダーエコー分布を示す。

5.1 降ひょう系—I

図2の降ひょう域Iにひょうを降らせた、この対流系の最初のエコーは、14^h23^mに吾妻川上流の嬬恋村大前付近に発生した。この小エコーは（Ia₁）は時速約50kmで東北東進し、13分後に消滅した。Ia₁発生5分後にこのすぐ後方にIa₂が発生、成長して前者と併合してほぼ同速度で移動した。さらにIa₂の後にIa₃というように、次々と後方に新しいエコーが発生、成長して直前に発生したエコーに併合、その反対側の先端に当る部分では最も古いエコーが消える、といった状態が約1時間続いた（図12）このように小セル^{脚注1}は50～60km/hrと比較的早い速度で移動していたが、発生点の後退と、小セルの併合した複合系の成長とがバランスするという様相を呈し、系全体としてはほとんど停滞していた。この、孤立した大型積乱雲と見られるエコーIaの複数セル構造は、系が発達するにつれて不明瞭となり、15^h20^m頃に全体として約20km/hrで東進し始めた。

等エコー観測によると（図13a）、Iaは15^h01^mに小セルa₈の部分でエコーレベル7^{脚注2}降雨強度R

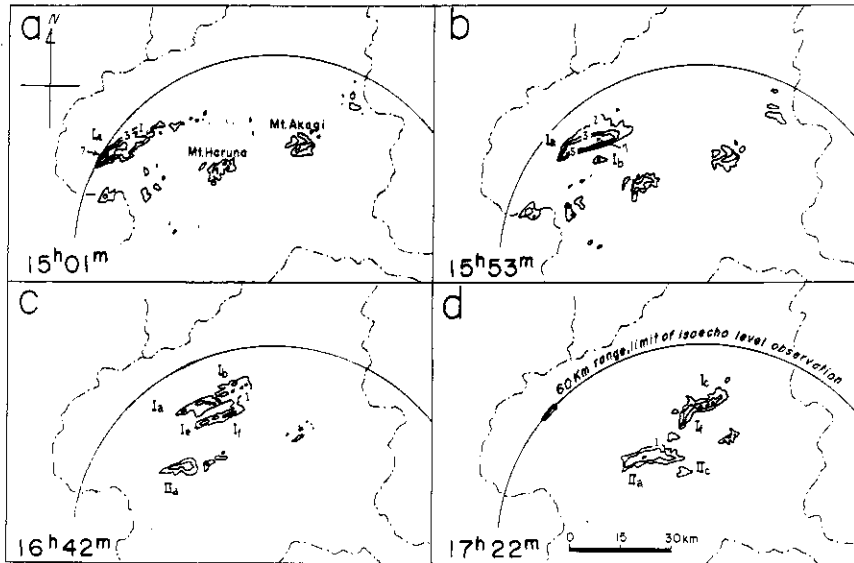


図13 降ひょう系Ⅰの等エコー構造，1，3，5，7はそれぞれ降雨強度1，4，16，64mm/hrに相当する。

Fig. 13. PPI isoecho structures of the hailstorm I. Contours 1, 3, 5, 7 correspond to rainfall rates 1, 4, 16, 64 mm/hr respectively.

に換算して64mm/hr領域ができていた。図13にはその後も含めて、降ひょう系Ⅰの等エコー構造の時間変化を示す。この図は、その後発生した積乱雲エコー IbとIcが、それぞれIa、Ibとといった先に発生したエコーに南側より接近、合併したことを示している。以下にこの過程について述べる。エコーIaは北関東に発生する孤立積乱雲の典型的エコーの良い例であると考えられるので、図14に15h53mのIaのPPI写真を掲げた。

降ひょう系Ⅰにおける、第2の積乱雲エコー Ibは、15h50m頃、Iaの南方約8kmに発生、北東進して16h00mにIaと接触、数分で両者の見分けがつけ難い状態となった。Iaは

1. Ia₁, Ia₂, などとここで呼ぶ小エコーは、人によって雷雨セル (thunderstorm cell) と称している一種の対流セルと考えられるが、本文では小セルと称しこれが寄り集まってできた積乱雲スケールの対流系 (例えば Ia) と区別する。後者を本文では、(積乱雲) エコー Ia 又はセル Ia と記す。

2. 以下でISOレベル7等と記す。

以下において、降ひょう系Ⅰ又はストームⅠとは Ia, Ib, Ic, …の総称、降ひょう系Ⅱ又はストームⅡとは IIa, IIb, IIc, …の総称である。ストームⅢ、ストームⅣについても同様である。

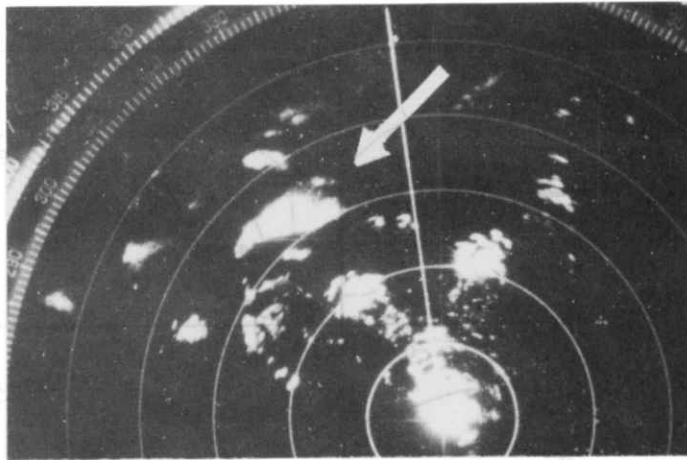


図14 15時53分の積乱雲エコー Ia . 藤岡レーダーPPI写真.

Fig. 14. Photograph showing PPI radar echo of the cumulonimbus echo Ia at 15:53 (From Fujioka).

Ib と合併後、急に衰弱して16^h25^mごろ完全に消滅した(図15A). ほぼ同じ過程が、Ic と Ib の間にも見られた. すなわち、16^h18^mに Ib の南方約10kmの所に発生したエコー Ic は16^h42^mに前者と接触した. Ib はこの約10分後に消滅した. なお、16^h26^mに Ic の南方約10kmに発生した対流性エコーはあまり発達せず、ほどなく消滅した. 次いで16^h28^m頃 Ic の西端の南西約12kmに発生したエコーも、Ic と接触せず、発達して降ひょう系 IIa となった. ところが、17^h10^mに Ic の南約8km、IIa の北東縁に突起のような形であらわれたエコー If は、かなりの速さで北々東進して、IIa から離れ Ic に合併した(図15B). 昭和村に水害をもたらした赤城山北西麓の豪雨は、このセル If と Ic の併合時期に起こった. この豪雨が起っていた頃の等エコー構造は図13dに示されているが、図16はこの頃のPPI ノーマルエコーである.

ストームー I は婦恋村から利根村まで、東西約70kmにおよぶ細長い地域に、ほぼ連続的にひょうを降らせたようであるが、ひょう害を受けた地区は離れ離れであった. 激甚ひょう害地区と、そこにひょうを降らせたエコーセルは次のようであったと考えられる. 婦恋村三原 (Ia), 長野原町貝類 (Ia), 中之条町成田, 折田, 猪窪 (Ib), 同町八幡 (Id), 高山村, 原・元宿 (Ic), 沼田町川田 (Ic), 昭和村 (Ic+f).

5.2 降ひょう系 II

この系に属するものとするには少し問題があるが、16^h26^mに Ic の南西約10km, 烏川上流の榛名山頂の南西約10kmの地点に小エコー IIa' が発生, 単一の小セルのままで60 km/hr とかなり早い速度で東進し, 約20分後に榛名山東斜面で消滅した(図17). IIa' の発生後ほどなく、16^h28^mに、そのすぐ西に点状エコーが連なってあらわれ、融合して一時はひも状となったが、やがて1個の対流性エコーの特徴をもち、ゆっくり北東進し始めた. しかしその西端は、40分

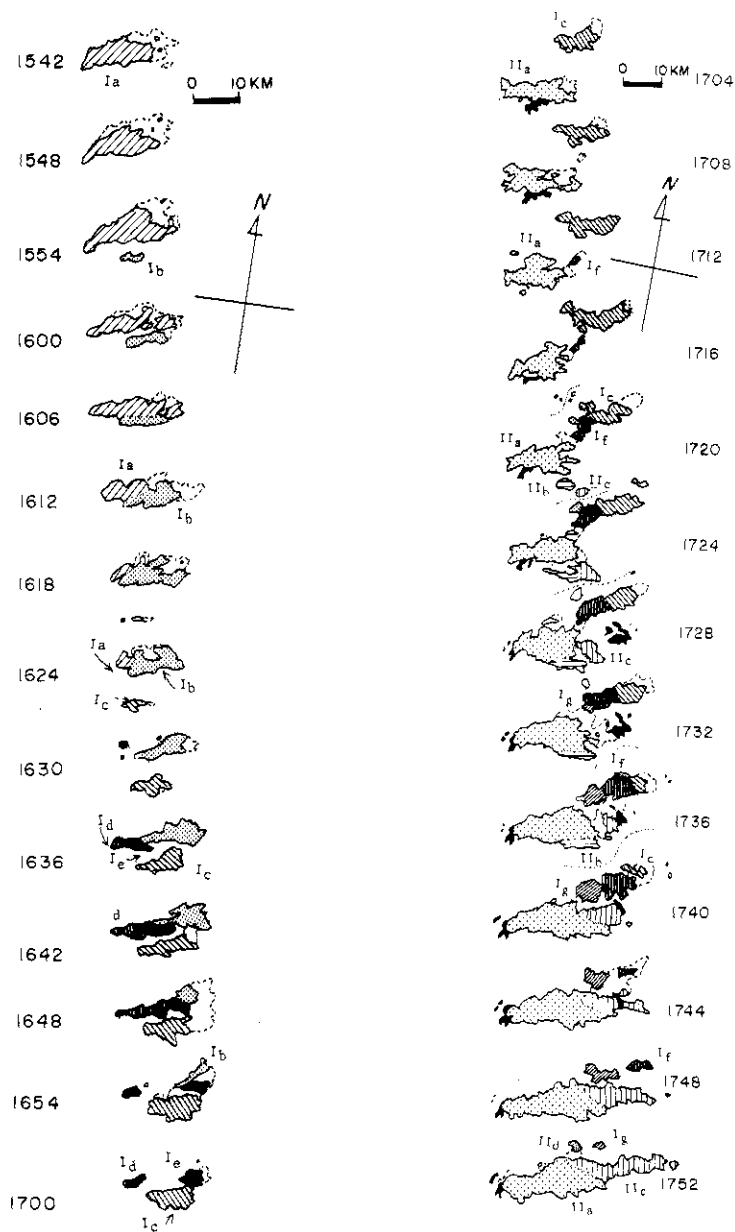


図 15 降ひょう系 I のレーダー構造の変化。左図は 15 時 42 分より 17 時 00 分までを示す、ただし系 I のエコーだけを示した。右図は、17 時 04 分より 17 時 52 分までの変化で、ストーム I とストーム II に属するエコーのみを示す。

Fig. 15. Time sequences showing changes in the structure of the hailstorms I and II. To the left are shown only echoes belonged the storm I. To the right are shown both storms.

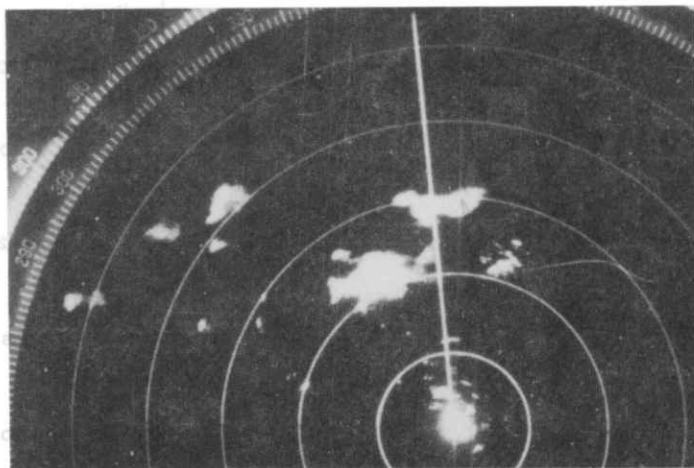


図16 赤城北西山麓に豪雨とひょうが降る直前(17^h15^m)の降ひょう系ⅠとⅡの藤岡レーダーPPIエコー

Fig. 16. A photograph showing PPI radar echos at 17^h15^m of the hailstorm I and the hailstorm II just before the time hail and heavy rain began in the area northwestern slope of Mt. Akagi where land slides caused severe damage. Both storms I and II accompanied hail at this time.

間に10kmほど移動した後、榛名山頂付近にひっかかったように固定してしまい、内部のセル構造のみが東進した。

降ひょう系Ⅱのエコーは、3時間余りの長い生涯に4度、顕著な変形をした。第1回は、すでに述べたひも状エコーから積乱雲型エコーへの変形である。次の変形は17^h40^m頃には起ったもので、それまでの孤立積乱雲に特有の少しだけ開いたような扇形エコーから、東西に細長い帯状エコー(バンド状エコー)への変化である。これは西端が動かなくなった後も東端が延びつづけたことによる。18^h24^mには幅が平均約10km、長さ約75kmに達した(図18)。この頃の写真を図19に掲げた。第3の変形は、18^h30^m頃から始まった。これは17^h45^mにこの帯状エコーの西端から南方約20km離れた妙義山付近に発生したエコーⅡhと18^h00^mにそのすぐ東に発生したエコーⅡiの動きに関連する。すなわち、両者が連なった東西に細長い小帯状エコーは、南西方向より上述のバンド状エコーの中央部のセルⅡeに結合した。その後、数分間で系Ⅱの帯状構造は崩れた(18^h25^m)。さらに18^h20^m頃、Ⅱhの西南西12kmと北西7kmに発生した2つのエコー(ⅢaとⅢb)もセルⅡeの西隣りのセルⅡfと結合し(18^h38^m)、非常に複雑な形を持つ大型雷雨エコーができ上った、これを以下でⅡ-Ⅲ併合系と呼ぶ。最後の大きな変形は、併合系から再びストームⅡとストームⅢへの分離である。一時、両者は境界が分らないほど密着していたが、19^h20^m頃、Ⅱのごく一部がⅢに付着したままであったが、両者は明瞭に分離した(図20)。系Ⅱはその後、ゆっくりではあるが衰弱の一途をたどり、20^h10^m頃その系に属するエコーは完全に消失した。

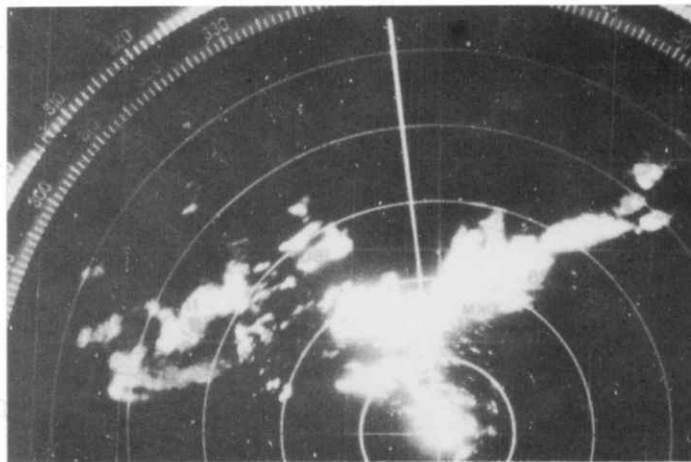


図19 系Ⅱが帯状エコーとして最も発達した頃のPPIレーダー写真。

Fig. 19. A PPI photograph of the hailstorm II during the most developed stage in band form (18^h20^m).

降ひょう系Ⅱによって大きな被害を受けた地区は、榛名山の西斜面から山頂、東斜面、赤城山の南斜面から南東斜面とこれに接する関東平野の縁に当たる部分、の広い範囲に分散している(図2)。ストームⅡのエコーが非常に複雑な動きをしたことに加えて、観測点からの降ひょう時間の報告にもかなりのばらつきがあり、この地域の降ひょう状況は、正確に把握したとは言えないが、もし図18に示したような複雑セル構造が成り立つとすると、ひょうを降らせたエコーはセルⅡaとセルⅡeである。そして、吾妻町、榛名町、榛東村、吉岡村、渋川市のひょう害はセルⅡa、富士見村、前橋市、宮城村、粕川村、新里村、大間々町、桐生市のひょう害はセルⅡeによってもたらされたものとなる。この分類によると、セルⅡaからひょうが降っていた時間は1時間30分を超え、セルⅡeでも約40分となり、1個の雷雨セルからの降ひょうとは考えられない。さらに、激甚ひょう害地区もⅡeの地域では少なくとも2列になっている。見方によって3列または4列とも考えられる。以上から、ⅡaとⅡeは、ともに、幾つかの小セルの集合体であったと考えた方がよい。

5.3. 降ひょう系Ⅲ

この系の最初の2つのエコーⅢaとⅢbは、上に述べたように発生後まもなく、ストームⅡと合併した。この間、北東-南西方向に長軸をもつⅡ-Ⅲ併合系の南西端に、19^h10^m頃Ⅲcが、19^h30^m頃Ⅲfが発生、それぞれ北東隣りのセルを押し出すように成長した(図20)。この変化は、スケールは一まわり大きい、系Ⅰの発生初期に見られる現象と良く似ている。なお、19^h22^mの等エコー観測によると、この複合対流系の南西端に明瞭なかぎ状エコー(hook echo)構造が認められた。約10分後には、この部分で反射強度の強いところが環状となった(図21a)。このようなエコー構造は、激しい局地あらしを伴う対流系の特徴として知られている。しかし

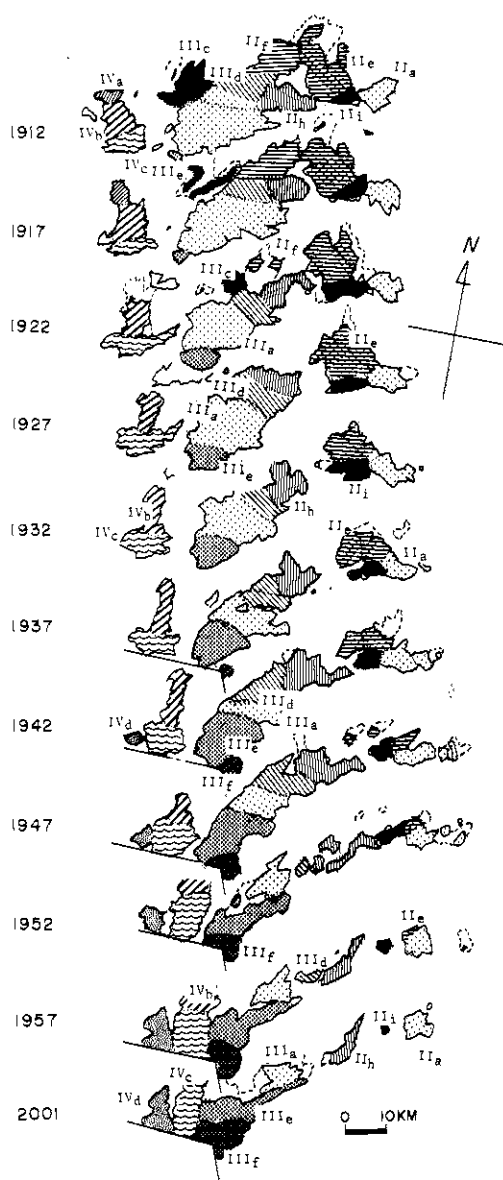


図20 19時12分より20時01分の間における併合系Ⅱ-Ⅲおよび併合系Ⅲ-ⅣのPPIエコーの行動。

Fig. 20. Behavior of the PPI radar echo of the combined storm II-III and the combined storm III-IV during the period from 19h12m and 20h01m.

今回この部分で、とくに激しいあらしが観測されたという形跡はない。

複合系Ⅲで降ひょうを伴ったのはセルⅢfである。このセルは19h40m頃、スパイラルバンド状になったⅡ-Ⅲ併合系の南西端付近に発生したようであるが、その位置がレーダー設置点の付近であったために、発生時の状況は良く分らない。これより2時間ほど前、長野県佐久市上空に発生、東進して来たストームⅣは、甘楽郡の一部にひょうを降らせながらこの複合系に接近、19h55m頃セルⅣcがⅢfに西側から接合した（図20）。レーダー指示機上でストームⅢとストームⅣは、一時、境界が定められないほどゆ着したが、20h15m頃には、再び離れⅢfは独立した積乱雲エコーとなった。この間の推移は図22に示されている。図23は20h20mの藤岡レーダーのPPI写真と等エコー構造である。この数分後ひょうが降り始めた。

ひょうは境町北部から太田市北部にかけて、西南西から東北東にのびる帯状地域に降った。前節で述べたように、その中にはほぼ5km間隔で4ヶ所強度の極大があった。レーダー記録からこの地域を通過したⅢfの移動速度は23km/hrであったことが分かった。したがってこの対流系からの降ひょう強度が13分周期の変化をしたと見なすことができる。しかし、この変動が、単一セル構造を持つ対流系の脈動的強度変化によるものか、あるいはエコーⅢfが、やはり雷雨セルの複合体であったことによるかについての判断は、今後の問題にのこした。一方、この地域内にあった、当センターの雨

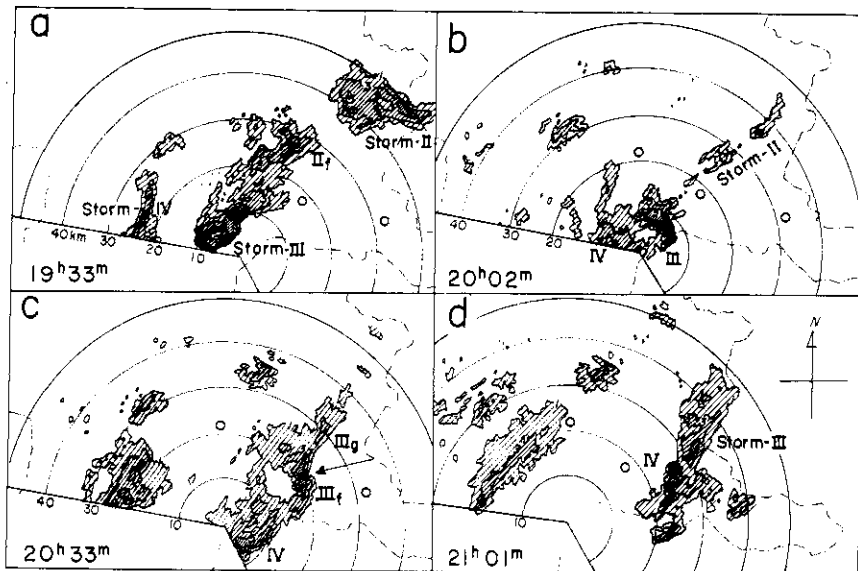


図 21 降ひょう系Ⅲの等エコー構造の変化。

Fig. 21. PPI-isoecho structures of the hailstorm III.

最観測点の一つ、境町采女小学校の自記記録から、この場所の降ひょう開始時刻は $20^{\text{h}}30^{\text{m}}$ であったと考えられる。これと既知の移動速度から、降ひょう域Ⅲについては、任意時刻の降ひょう地点をかなり正確に知ることが出来た。その結果、 $20^{\text{h}}33^{\text{m}}$ の降ひょう域が、図21cにおいて矢印で示された。反射強度レベル7の位置とほぼ一致することが確かめられた。

次に、この系の鉛直構造について若干述べてみたい。たまたま、新田町のひょう害激甚地区にひょうが降っていた $20^{\text{h}}42^{\text{m}}$ に、この方位のREI等エコー観測が行なわれており、偶然が重なって、降ひょう域を含みかつ進行方向に平行な面のひょう雲の断面構造を見ることができた(図24)。図中、太アンダーラインの部分が、地上でひょうが激しく降っていた地域である。また、21時の館野の高層気象観測データーから予想される高度に、弱いながらブライトバンドも見られた。この図でとくに注目したいのは、このひょう雲における反射強度の極大軸が前に傾いている点である。前傾の角度は 24° であった。ひょう雲のレーダー断面において、強雨、降ひょうの軸が前に傾いていることは、前年度の観測においても見出されている(小元・清野・八木, 1975)。

降ひょう系Ⅲは、 $20^{\text{h}}25^{\text{m}}$ 頃より約50分間にわたってひょうを降らせた後、次第に弱まり、 $22^{\text{h}}10^{\text{m}}$ 頃栃木県の南西部山岳地帯の上空で消滅した。なお、 $20^{\text{h}}55^{\text{m}}$ 頃Ⅲ-Ⅳ併合系の前方10 kmほど離れた、尾島町上空あたりに発生した小エコーは、発達しながら東進し栃木県南部にひょうを降らせ、 $22^{\text{h}}30^{\text{m}}$ 頃茨城県下館市付近に達し、藤岡レーダーの75kmレンジ外に去った。

6. 考 察

昭和50年6月9日の午後、群馬県は激しい雷雨に襲われ、降ひょうによって、農作物が甚大な被害を被った。藤岡レーダーの観測によると、この降ひょうをもたらした対流系には、単独積乱雲（孤立積乱雲）と、積乱雲や雄大積雲が幾つか結合した複合積乱雲とがあった。

単独積乱雲型のひょう雲には、孤立した雄大積雲がそのまま発達して、一個の独立した積乱雲になったものと、複合積乱雲から分離して独立した積乱雲になったものがある。ひょう雲 Ia（図12）と IIa（図17）は、典型的な前者のタイプである。単独積乱雲と呼ぶには少し問題があるが、エコーⅢfは複合積乱雲からの分離型という（図22）。

一方、この日観測された複合積乱雲には、この種の対流系の形成と維持のプロセスに関連した、PPIエコーの振舞の違によって4つのタイプがあった。

まず、既存の複合積乱雲の一端に、つぎつぎ新しい積乱雲が形成されるタイプで、バンド状対流性エコーの特徴である。このばあい、他端では古いエコーが衰弱、消失していくことが多い。18^h00^mと18^h30^mの間におけるストームⅡ（図18）、19^h12^mから19^h52^mまでの併合系Ⅱ—Ⅲ（図20）はこのタイプの複合積乱雲である。この過程は、孤立積乱雲 Ia の成長期における変化（図12）よりひとまわりスケールを大きくしたようなものである。この Ia の成長過程は、Dennisら（1970）によってモデル化された、南ダコタ州西部の典型的ひょう雲のものと良く似ている。

つぎは、既存の対流性エコーの南ないし南西

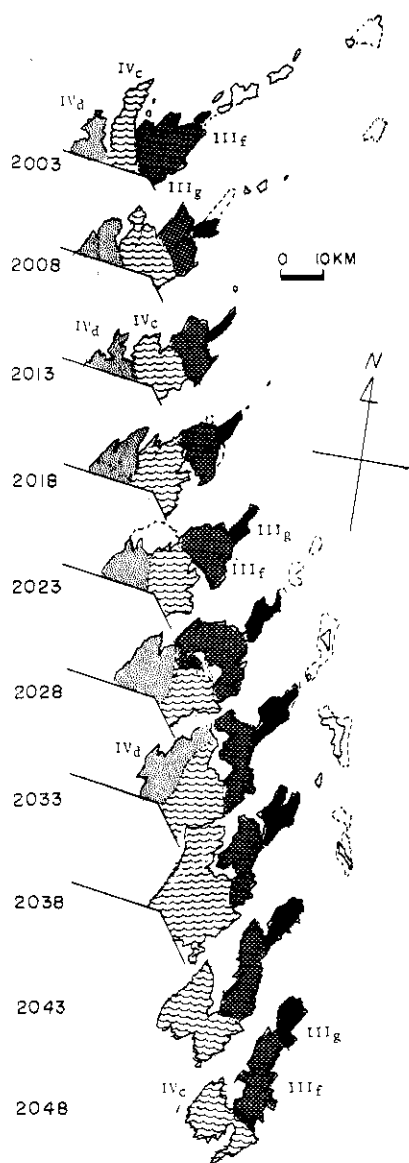


図22 降ひょう系Ⅲの最盛期におけるPPIエコーの変化。

Fig. 22. A time sequence showing deformation of the hailstorm III during the most active period.

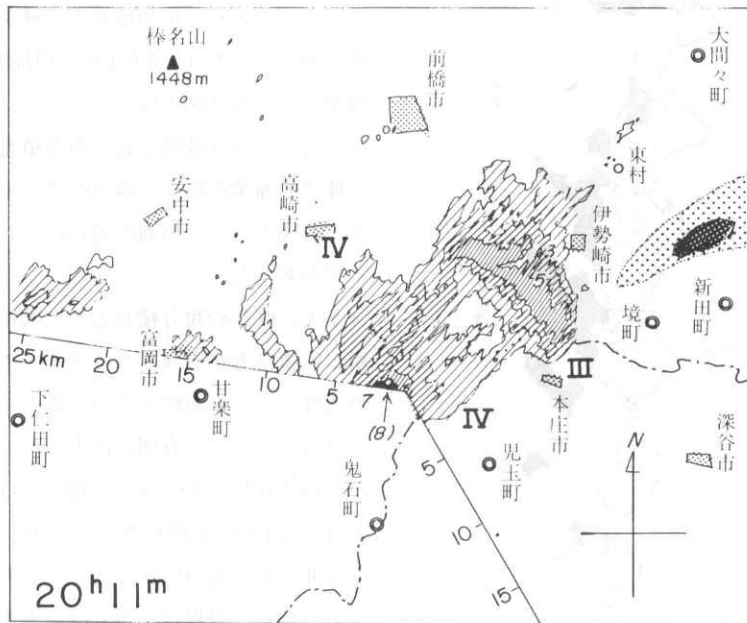
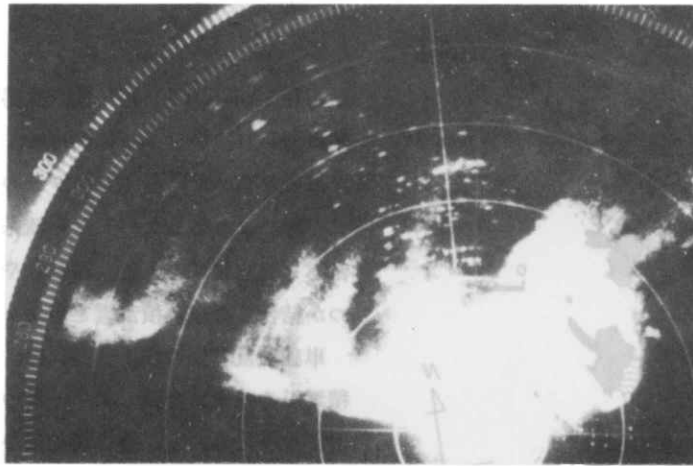


図23 藤岡レーダー25 kmレンジによる III_f の P P I エコー写真(上), および同上の等エコー構造(下).

Fig. 23. A PPI radar photograph of the developing stage of the hailcloud III_f (above), and its isoecho structure (below), at 20^h20^m. Hailfall began few minutes after this photograph was taken.

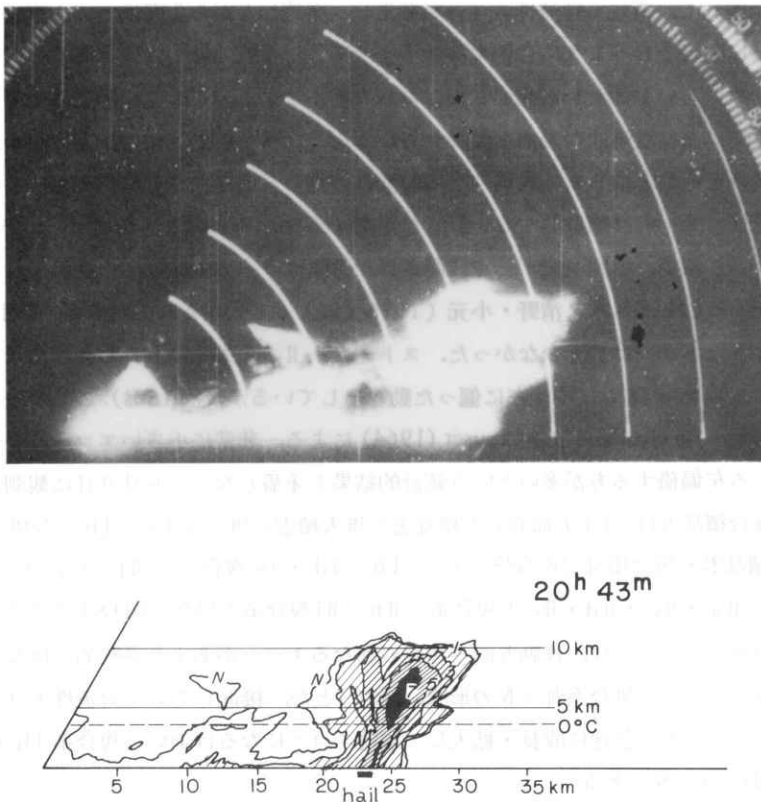


図 24 進行方向にはほぼ一致する面で切ったひょう雲の断面のレーダー写真(上), およびその等エコー構造

Fig. 24. Vertical cross-section of the hailcloud III_f at about 20h33m. Hailfall was observed in the area on the cross-section between 20 and 25 km from the radar site. The cross-section is approximately parallel to the direction of movement of the cloud.

10~20 km 離れて、新しく対流性エコーが発生し、発達しながら北東進して、東進中の古い大きなエコーに吸収されるように合併するタイプである。たいてい、合併と同時に、古いエコーが衰弱し初め、若い対流セルが発達してこの系の本体となる。この過程が幾度もくり返されることによって、系は数時間の寿命を保つ。ここに述べた新・旧エコーの移動方向の違いは、大きなエコーほどそれを取りまく大気の平均的流れに対して大きく右偏倚角をもって移動するという、対流性エコーの移動に関する一般的な規則 (Newton and Fankhauser, 1964) に従うものである。ところで、藤岡レーダーで観測された雷雨エコーの中には、一般流に対して左偏倚するものがあることが八木・清野・小元 (1975) によって指摘されているが、6 月 9 日の雷雨ではこのようなエコーはごく少なかった。ストーム II の北東縁にあらわれ、かなりの速さで北々東進したエコー If は、やや左に偏った動きをしているが、(図 15 B)、これが未だごく小さい時期であり、Newton and Fankhauser (1964) による、非常に小さいエコーは、一般流に対して、むしろ左偏倚する方が多いという統計的結果と矛盾しない。6 月 9 日に観測されたこのタイプの複合積乱雲は、(イ) 孤立した積乱雲と雄大積雲の併合 (Ia と Ib の合併、図 15 A)、(ロ) 独立積乱雲と複合積乱雲の合併 (Ic と Ib・Id・Ie 複合系、図 15 A)、(ハ) 複合系同志の併合 (IIa・IIc・IId・IId の複合系と IIh・IIi 複合系の併合、図 18) などである。

その他のタイプとしては、移動方向や速度の異なるエコーがあまり系統的ではなしに併合して複合エコーになる (併合系 III-N の形成、図 20) とか、接近している対流性エコーの双方または、どちらか一方が急速に成長・拡大して連続エコーになるばあい (複合系 Ib・Id・Ie の形成、図 15 A) 等がある。

ひょうを降らせる対流系のレーダーエコーの水平的な広がり、孤立積乱雲では長さ数十 km、幅数 km である。このタイプのひょう雲のエコーの形状は、図 14 の写真にあるような、少し開いた扇形のものが多い。降ひょうは、このエコーの後部、扇のかなめに近い所で観測される。このようなひょう雲は、Browning (1964) が定義し、Marwitz (1972) らによって詳しく調べられた supercell storm (邦訳スーパー・セル・ストーム、超細胞降雨塊、駒林, 1973) と称される対流系に似た構造をしている。しかし、ひょう雲 Ia も IIa も普通 supercell storm と呼ばれているものよりは小型であった。なお、これらは Fujita and Byers (1960) が詳細に構造を明らかにしたひょう雲にそっくりであったといえる。水平的な広がりからみて、独立した積乱雲のようであった対流系 III f のエコーは、反射強度の大きな領域がスコール・ラインのように進行方向に大きな角度をもって細長くなっており、降ひょう雲と構造は全く違っていた。なお、複合積乱雲の降ひょう系は、形状も大きさも様々であって、一般化したモデルを作ることは出来ない。複合系でも、Browning 型の構造、すなわち系の南西端付近で激しいあらしが観測されることが多いが、18^h30^m頃の赤城山周辺の降ひょうは、バンド状複合系のほぼ中央で起こっていた。

レーダー観測において、指示機にあらわれる多数の雷雨エコーの中から、降ひょうを伴うも

のと、伴わないものを見分けることは極めてむずかしい。北関東に初夏に発生するひょう雲は、当センターの車載式レーダー（波長3.2cm）によると、エコー頂が10km以上に達し、ISOレベルも5（ $R=16\text{ mm/hr}$ ）又はそれ以上である。しかし、エコー頂が12kmを超えるような積乱雲でも、ひょうを伴わないものが多数あり、逆にエコー頂が10km以下のひょう雲も少なからず観測されている（例えば、東京管区气象台、1967）。また、群馬県における雷雨エコーのほとんどは、ISOレベル5以上の最大反射強度を持っているが、ひょうを降らせるのは、その中のごくわずかである。今度の例でも、 $19^{\text{h}}33^{\text{m}}$ のエコーⅢe（図21a）や $20^{\text{h}}11^{\text{m}}$ のNc（図23下）は、最大ISOレベル7または8という強いものであったが、これらからひょうは降らなかった。ところで図21Aに示されたⅡ-Ⅲ併合系の等エコー構造は、1967年6月29日カナダのアルバータ州に発生し、Chisholm (1970), Marwitz (1972), English (1973) らによって詳細に調べられた、supercell storm の一種である severely sheared storm と分類されたひょう雲のものと、驚くほど良く似ている。また、この併合系の $19^{\text{h}}13^{\text{m}}$ と $19^{\text{h}}21^{\text{m}}$ の等エコー観測では、トルネード（竜巻）を伴うような supercell storm の特徴として知られている、かぎ状（hook）構造が明瞭に見出された。しかし、問題の部分の通過地域で、とくに激しい局地あらしが起った形跡はなく、ひょうも全く降っていなかった。

レーダーを使ってひょう雲を判別する目的で、波長の異なるレーダー波に対する反射特性の違いを利用するとか、ドップラーレーダーによる測定などの研究が盛んに行なわれているが、まだ、決定的な方法は見出されていない。しかし、海外における多数のひょう観測プロジェクトのほとんどが、波長の異なる複数のレーダーを使用している。米国とソ連では、ひょう雲観測用に2波長レーダーが開発された。

次に、「馬の背を分ける」と言われるほどの局地的変化の激しい降ひょう分布について検討してみたい。ひょう害分布は、たしかにそのように思われるような極端な変化している。しかし、「その通路をほんの数メートル離れただけで、一滴の雨も、一粒のひょうも降っていない」（関口、1968）と言ったようなことを裏付ける観測データはあまりない。筆者が文献から求めたこれにもっと近い2例を次にあげておく。まず、米国イリノイ州における密度の高い観測網（格子間隔92m）で得られたもので、このばあい単位面積（ 1 m^2 ）あたり約500個というのがもっとも顕著な変化であった（Morgan and Towry, 1975のデータより）。つぎはフランスのプロジェクトの例で、 1 m^2 あたり4,120個相当のひょう粒を観測した記録計の隣りで、ひょう痕が全くついていなかったというものである（Admirat, 1973）。このばあいの観測点間の距離は、約1.4kmである。

ところで、今回、新田町の激甚ひょう害地の南縁で、上記より著しい変化が記録された。ひょうを記録しなかった地点より約900m離れた観測点のアルミ箔に、直径7mm以上のひょう粒に対応する凹みが1,006個ついていた例がそれである。はおかえりによって、1個のひょうが2個あるいは3個の凹みをつけることがあり、正確な補正法が見出されていないいま、単位

面積当りのひょう粒数を知ることにはできないが、1 m²当りのひょう粒数（但し米粒大を除く）は7,000～10,000個程度であったろう。ここから1 km足らずの観測点では全く降っていなかったのである。しかしながら、「数十メートル離れただけで……」という降り方を実証するには、やはり数十メートルの間隔で記録計を設置した観測網がいる。正確な記録を得るために必要であっても、実際問題として、このような密度の高い観測網で広い地域をおおうことは不可能である。実用的立場から、図2に表わされている程度の激甚ひょう害区域の分布に対応する降ひょう強度の変化を検出することのできる観測網は、1 km²につき記録計が4台必要である。これは新田町が展開した観測網よりもやや密度が高い。なお、降ひょう分布の微細構造を求める目的で、この年、伊勢崎市南部の水田地帯、群馬県農業試験場内、群馬県園芸試験場内および境町配水場の計4個所に10～16台の記録計によるマイクロ観測網を展開したが、6月9日は残念ながらいずれの観測地点も僅かの差（2～4 km）で降ひょう域からはずれたためにデータが得られなかった。

7. あとがき

以上、群馬県に戦後最大のひょう害をもたらした昭和50年6月9日に群馬県に発現した積乱雲の行動と、当日の降ひょう分布について述べてきた。この報告は、この雷雨の実態を明らかにすることに重点をおいて書かれたものである。今回得られたデータを使った激しいあらしを伴う対流雲の発達メカニズムならびに降ひょうに関する基礎的な問題については、さらに時間をかけて研究を進めるつもりである。6月9日の観測記録にはかかる基礎的面から追求したくなる現象がいくつもとらえられている。例えば、ひょう雲Iaのレーダー記録は、直径数kmの対流セルの集合体から、単一セル的な大きな対流雲への変化の過程を詳細にとらえている。エコーIaとIIaは、発生後しばらくはほとんど停滞しており、積乱雲または雄大積雲に発達してから動き出したが、力学的に興味ある行動である。ここでIIaのすぐ近くに発生した積雲IIa'がIIaと全く違った行動をとったことも注目される。また、単独積乱雲的なエコーIII fからの降ひょうが13分周期の変動をしたことも、さらに突込んで調べたい問題である。これによってIII fの複数セル的な性質を明らかにすることとなり、ひいては雲中におけるひょう粒の振舞についても興味ある結果が得られそうである。

積雲対流に関する特別研究の一環としての群馬県における観測は、群馬県農政部、気象庁高層課ならびに前橋地方気象台の協力を得て実施している。とくにレーダー観測については藤岡市水道部と藤岡農業改良普及所に少なからずお世話になっている。群馬県農業共済組合連合会からは現地における調査活動について便宜を与えていただいた。6月9日の降ひょうによる被害分布のデータを求めるに当っては、関係市町村からご協力をいただいた。また、建設省関東地方建設局利根川ダム統合管理事務所、同渡良瀬川工事事務所、群馬県土木部および高崎鉄道

管理局より所管の雨量観測所の雨量自記紙のコピーあるいは日雨量データの提供を受けた。以上の関係者各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- Admirat, P., 1973: Natural "hailcores" and their abilities to estimate the efficiency of hail prevention systems, Proc. WMO/IAMAP Scientific Conference on Weather Modification, Tashkent, 1-7 Oct. 1973. WMO No. 399, 197-206.
- Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds, *J. Atmos. Sci.*, **31**, 634-639.
- Chisholm, A. J., 1973: Radar case studies and airflow models, Part I, Alberta Hailstorm, *Meteor. Monographs*, **14**, No. 36, 1-36. Amer. Meteor. Soc., Boston, Mass.
- Dennis, A. S., C. A. Schock and A. Koscielski, 1970: Characteristics of hailstorms of western South Dakota, *J. Appl. Meteor.*, **9**, 127-135.
- English, M., 1973: Growth of large hail in the storm, Part II, Alberta Hailstorms, *Meteor. Monographs*, **14**, No. 36, 37-98.
- Fujita, T., and H. R. Byers, 1960: Model of a hail cloud as revealed by photogrammetric analysis, tech. Rept. No. 3, Contract Cwb. 9762, Univ. of Chicago, 9pp.
- 駒林誠, 1973: 気象の科学 N H K ブックス, 日本放送出版協会, 250 頁
- Marwitz, J. D., 1972: The structure and motion of severe hailstorms, Part III: Severely sheared storms, *J. Appl. Meteor.*, **11**, 189-201.
- Morgan, G. M. Jr., and N. G. Towery, 1975: Small scale variability of hail and its significance for hail prevention experiments, *J. Appl. Meteor.*, **14**, 763-770.
- Newton, C. W., and J. C. Fankhauser, 1964: On the movements of convective storms, with emphasis on size discrimination in relation to water-budget requirements, *J. Appl. Meteor.*, **3**, 651-669.
- 小元敬男, 清野 裕, 八木鶴平, 1975: ひょう雲の行動と降ひょう分布について, 1975年度春季大会予稿集(27), No.150 日本気象学会
- 小元敬男, 米谷恒春, 1975: 関東地方の雷雨(その1), 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号 65-94.
- 関口武, 1968: 日本気象風土記, 旺文社 252 頁
- 東京管区气象台1967: 異常気象調査報告—1967年5月下旬～6月下旬の雷雨・降ひょう(関東中部地方), 昭和42年異常現象報告第4号 260 頁
- 八木鶴平, 清野 裕, 小元敬男, 1975: 雷雨の等エコー構造と移動方向の関係について, 国立防災科学技術センター研究報告15号 印刷中.

(1976年2月5日原稿受理)

付録 昭和50年6月9日・10日の降ひょう・豪雨による群馬県の農業被害状況（群馬県農政部発表）

二日続いて災害が発生したために、両日の被害を分けることが困難となり、合わせた値が報告されたが被害金額のほとんどは9日のひょう害のものである。

表1 市町村別被害状況

(6月11日調べ)

農政管内	市町村名	主要被害農作物名	被害面積(ha)		被害金額 千円
			30%以下	30%以上	
中部農政管内	前橋市	桑, 麦	34.5	51.2	13,999
	渋川市	りんご, 小麦, 梅	139.0	13.6	36,053
	北橘村	小麦, 苗代	12.5	20.5	4,632
	富士見村	桑, 小麦, 飼料作物	—	213.0	137,486
	大胡町	桑, 小麦, 大豆	51.4	54.4	23,261
	宮城村	桑, 小麦, バンダム	675.0	182.0	138,605
	粕川村	桑, 麦, バンダム	12.0	182.2	76,750
	新里村	桑, 麦, さといも, 陸稲, 苗代	60.0	595.8	413,485
	黒保根村	桑	11.9	47.5	7,568
	榛東村	桑, 梅, ぶどう,	85.2	131.3	53,990
	吉岡村	りんご, ぶどう, 桑, 麦	70.4	148.3	53,295
	赤堀村	麦, バンダム, すいか	53.8	72.2	48,329
	東村	桑, すいか	4.0	9.0	1,093
西部農政管内	境町	桑, 小麦	5.0	17.4	11,087
	倉渕村	大根, ほうれんそう, レタス	8.5	4.3	4,720
吾妻農政管内	甘楽町	こんにゃく, 桑	20.8	9.7	18,200
	中之条町	桑	187.5	30.3	50,141
	長野原町	桑, バンダム, 白菜	39.0	33.0	16,107
	嬬恋村	ばれいしょ, キャベツ, バンダム	9.8	13.1	6,674
	高山村	桑, バンダム, 水稻, こんにゃく	106.8	140.1	115,120
利根農政管内	吾妻町	バンダム, ほうれんそう, 桑	11.7	4.0	9,439
	沼田市	キャベツ, バンダム, 桑, りんご, トマト	127.3	292.0	253,140
	利根村	バンダム, 大根, 白菜	9.0	95.8	74,661
東部農政管内	昭和村	レタス, 大根, 桑, こんにゃく	724.5	1,138.1	875,659
	桐生市	桑, 小麦	3.6	58.4	40,149
	太田市	桑, 小麦, きゅうり, すいか	59.0	231.0	133,566
	新田町	すいか, きゅうり, 桑, メロン	408.0	362.0	322,546
	蕨塚本町	すいか, 桑, きゅうり	230.0	270.0	139,180
	笠懸村	桑, ごぼう, バンダム, 柿, 桃	42.0	269.5	135,200
	大間々町	なす, トマト, 小麦, きゅうり	36.5	227.5	130,173
		計	3,338.7	4,917.2	3,393,708

表2 作物別被害状況

(6月14日発表)

作物名		県総作 付面積	被害面積	程度別被害面積			被害金額
				30%未満	30~70%	70%以上	
水陸 稲	水稲	ha 31,900	ha 182.4	ha 140.1	ha 32.9	ha 9.4	千円 24,129
	陸稲	1,560	50.1	10.5	38.1	1.5	9,090
	計		232.5	150.6	71.0	10.9	33,219
麦 類	小麦	10,200	878.9	409.37	251.59	217.94	112,124
	大麦	—	57.85	27.3	22.25	8.3	6,179
	裸麦	68	1.0	0.8	0.2		69
	ビール麦		118.39	975.4	56.9	33.95	28,050
	計		1,126.14	535.01	330.94	260.19	146,422
雑穀・豆 い類	さつまいも	478	15.4	1.2	3.8	10.4	7,666
	ばれいしょ	2,280	252.1	59.4	126.5	66.2	75,015
	さといも	—	170.8	64.5	80.7	25.6	17,430
	大豆	957	17.7	15.3	1.4	1.0	766
	その他雑穀		15.1	4.2	10.2	0.7	3,198
	計		471.1	144.6	222.6	103.9	104,064
野菜	きゅうり	1,190	86.0	10.1	37.7	38.2	155,899
	トマト	487	124.1	17.85	29.68	76.57	228,972
	なす	863	51.6	9.85	18.64	23.11	92,001
	いちじく	340	29.0	6.5	4.5	18.0	36,120
	さといも	1,280	447.5	141.15	152.03	154.32	177,753
	枝豆	737	73.1	3.2	48.4	21.5	23,360
	パンプキン	1,350	382.4	141.9	129.0	111.5	141,457
	キャベツ	2,570	203.0	48.2	62.2	92.6	90,322
	白菜	2,260	128.7	15.0	33.7	80.0	57,587
	ねぎ	1,120	24.2	2.0	14.0	8.2	3,969
	レタ	421	108.6	15.7	35.3	57.6	36,948
	大根	2,970	143.8	15.0	45.2	83.6	71,364
	メロン	—	34.0	1.0	21.0	12.0	35,640
	ミニトマト	—	15.4	0.4	8.0	7.0	2,414
	その他野菜		360.6	77.1	89.8	193.7	168,816
	計		2,212.0	504.95	729.15	977.9	1,322,622
果樹	りんご	445	138.0	95.8	20.8	21.4	71,217
	ぶどう	124	22.7	2.0	11.2	9.5	25,390
	桃	207	18.7	2.5	12.5	3.7	12,001
	梅	1,260	102.9	25.6	29.2	48.1	123,715
	その他果樹		30.1	3.8	13.2	13.1	24,328
	計		312.4	129.7	86.9	95.8	256,651
工作 芸物	こんにゃく	5,660	215.0	112.3	33.0	69.7	303,138
	たばこ	78	34.7	7.4	24.8	2.5	44,505
	計		249.7	119.7	57.8	72.2	347,643
飼料用作物 花卉(かき) 桑			467.3	170.2	190.1	107.0	48,293
			26.0	10.0	12.9	3.1	47,140
		32,700	2,413.98	942.8	872.84	598.34	589,665
合計			7,511.12	2,707.56	2,574.23	2,229.33	2,895,719



図1 宮城村鼻毛石の風害（クリの木，6月10日写す）。



図2 宮城村鼻毛石のひょう害（トウモロコシ，6月10日写す）。

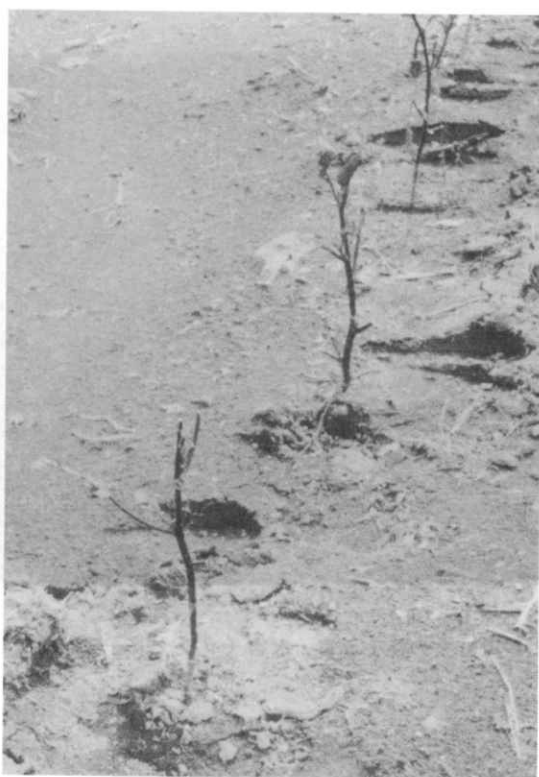


図3 粕川村前皆戸のひょう害（ナス，6月10日写す）。



図4 新里村山上のひょう害（コムギ，6月10日写す）。

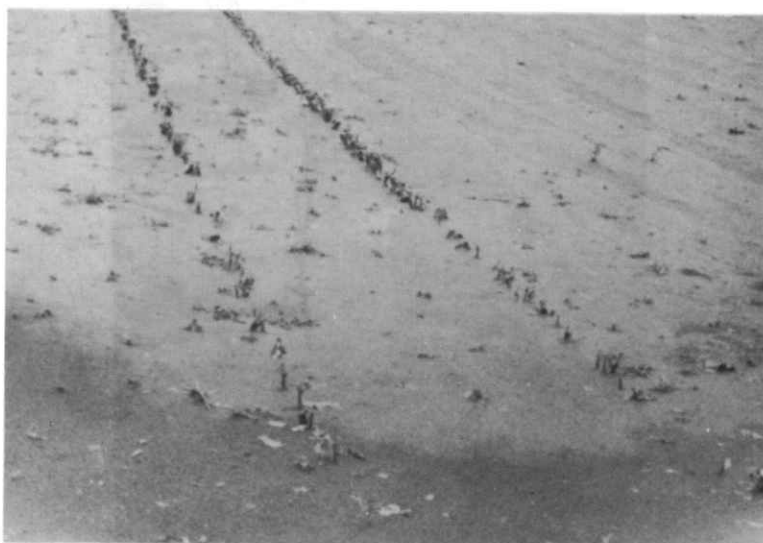


図5 新田町大のひょう害・水害（ソラマメ，6月11日写す）.



図6 新田町大ひょう害（スイカ，6月11日写す）.



図7 新田町大のひょう害（コムギ，6月11日写す）.



図8 新田町大のひょう害（コムギ，6月11日写す）.