

近年のひょう害を例とした極端気象による農業被害対策に関する考察

横山 仁*・鈴木 真一**・出世 ゆかり*・安達 聖***・岩波 越*

Study on Measures for Mitigating Against Agricultural Damage Caused by Extreme Weather Events Using Recent Cases of Hail Damage

Hitoshi YOKOYAMA*, Shin-ichi SUZUKI**, Yukari SHUSSE*, Satoru ADACHI***, and Koyuru IWANAMI*

**Storm, Flood and Landslide Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
yokoyama-h@bosai.go.jp*

***Graduate School of Science, Tohoku University*

****Snow and Ice Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan*

Abstract

We examined measures for mitigating against agricultural damage caused by extreme weather events using recent cases of hail damage as an example. The characteristics of three cases of damage by hail were surveyed in the field and summarized by interviews and information collected by a weather reporting system called "FuruRipo!" that has been developed by NIED. It was considered that assessing the hailfall distribution immediately after storm events at affected agricultural sites is more effective than hailfall forecasts, which have not yet been fully developed and which may be difficult for farmers to utilize. The effectiveness of mulch film damage analysis was suggested for understanding the actual characteristics of hailstorms in rural areas. It is considered that the data collected using the "FuruRipo!" system, in conjunction with X-band MP radar and interview survey, will be effective for improving the accuracy of hailfall events. In order to reduce the risk of agro-meteorological disasters, it is necessary to implement not only the latest technological countermeasures, but also measures that can be adopted by farmers themselves, such as understanding the geographical characteristics of an area and taking out insurance.

Key words: Hail, Agro-meteorological disasters, Mitigation measures, "FuruRipo!", Mulch film

1. はじめに

令和元年房総半島台風や令和元年東日本台風など、近年、国内で顕著な気象災害が相次ぎ、農業においても甚大な被害が発生している。また、ゲリラ豪雨や突風、降ひょう、落雷といった極端な気象による災害も近年多発しており、農業も例外ではない¹⁾。なかでも、ひょうによる被害は固形物が直接、農作物に当たり植物にダメージを与えることから、

以前より主要な農業気象災害とされている²⁾。ひょうは発達した積乱雲で形成される直径 5 mm 以上の氷の粒で、我が国においても大きいものでは直径数 10 mm に成長することがある³⁾。また、降ひょうは局地的である場合が多いが、ひとたび被害を受ければ穴や傷等の物理的被害だけでなく、病害の発生等二次的被害をもたらす²⁾。しかし、現状では予測が難しく近年も依然として被害が発生している⁴⁾。

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

** 国立大学法人 東北大学 大学院理学研究科

*** 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究部門

ここでは、ひょう害の多発地帯とされる関東地方において、著者が現地調査を行った 3 つの事例について実態を述べるとともに、近年のひょう害を例とした極端気象による農業被害対策について考察する。

2. 最近のひょうによる農業被害事例

2.1 2017 年 6 月 16 日の事例

2017 年 6 月 16 日の昼過ぎに上空に寒気を伴った気圧の谷の通過の影響で北関東を中心に降ひょうがあり、13:30 頃、宇都宮地方気象台で直径 20 mm のひょうが観測された。降ひょうは局地的であることが多く、気象台で観測されるのは珍しい。図 1 は当日の地上天気図である。日中、関東各地で気温が上がり、宇都宮では 12:59 に当日の最高気温となる 28.2℃を記録した。気象リポートシステム「ふるりポ！」(後出)や Web、SNS 等の情報によれば、当日の夕方にかけて茨城、埼玉、東京、千葉の各都県で広く降ひょうが確認された。これらの情報と現地調査の結果、降ったひょうの粒径は 30 ~ 40 mm のものが多かったと考えられるが、茨城県南部では、大人のこぶし大やピンポン球サイズのひょうが降ったとの情報もあった。茨城県内では、主に 15:30 ~ 16:00 にひょうが降ったとみられており、降ひょう域に近い茨城県西部にある下館アメダスでは、15:30 に 28.3℃であった気温が 16:00 には 20.9℃となり、30 分で 7.4℃気温が低下した(図 2)。また、風も急激に強まり、15:54 に最大瞬間風速 14.9 m/s の北北東の風を記録した。図 3 は、当日 16:00 における X バンドマルチパラメータレーダ(以下、X バンド MP レーダ)の画像である。50 mm/h 超の降雨強度を示す強いエコーが茨城県内に発生しているほか、栃木、埼玉、東京においてもそれぞれ強いエコーがみられる。農作物の被害も広範囲に及び、農林水産省(2018)⁶⁾によれば農業被害の総面積は 226 ha に及んだ。最も被害の大きかった茨城県では、県南西部を中心に、水陸稲、麦類、かんしょ、雑穀・豆類、野菜、果樹、工芸農作物等が被害を受けたほか、パイプハウス等の農業施設も被害を受け、新聞報道によれば茨城県における被害総額は約 4 億 7 千万円となった⁷⁾。図 4 に被害の状況を示す。被害を受けた葉タバコ畑では、一株の葉の約 8 割が落葉する被害が確認された。また、ナシでは多目的防災網が張られていない果樹園で、果実に傷がついたり葉が裂け

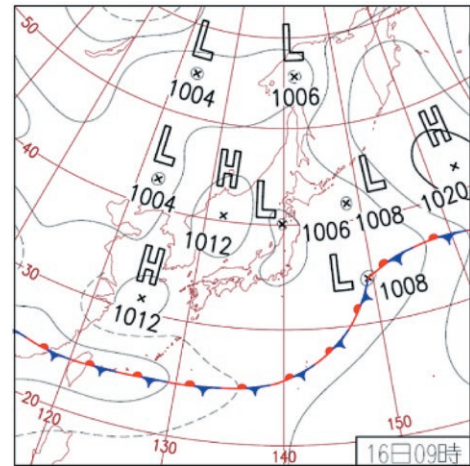


図 1 2017 年 6 月 16 日 9:00 の地上天気図⁵⁾
Fig. 1 Weather chart at 9:00 on June 16, 2017.

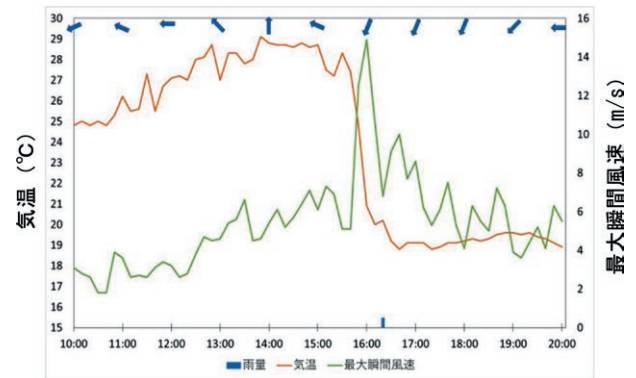


図 2 2017 年 6 月 16 日の下館アメダス観測データ
(グラフ上部にある矢印は 1 時間ごとの風向)
Fig. 2 Shimodate AMeDAS observation data on June 16, 2017 (Arrow at the top of graph is wind direction every hour).

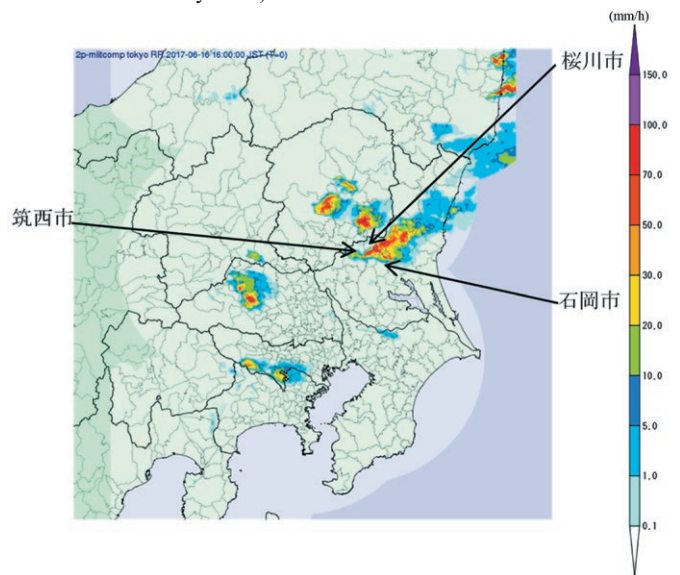


図 3 2017 年 6 月 16 日 16:00 の X バンド MP レーダ画像
(筑西市を示す矢印先端付近が下館アメダス位置)
Fig. 3 X-band MP radar image taken at 16:00 on June 16, 2017 (Location of Shimodate AMeDAS is near the tip of arrow indicating Chikusei city).



図4 2017年6月16日の降ひょう被害(上から、トウモロコシ、パイプハウス、ナシ、葉タバコ、マルチフィルムの被害写真。茨城県桜川市、石岡市。6月28日、7月6日撮影)

Fig. 4 Damage by hailfall on June 16, 2017 (From top to bottom, corn, pipe-framed greenhouse, pears, leaf tobacco and mulch film, Sakuragawa city and Ishioka city, Ibaraki, taken on June 28 and July 6).

る等の被害がみられた。被害を受けた果樹園のなかには、多目的防災網用の支柱はあったものの、網が展張されていなかったために被害を受けたとみられる事例もあった。比較的重労働とされる網の展張作業が、近年、高齢化や担い手不足等に伴い敬遠される傾向にあり、今後、同様の事例が増えることが懸念される。このほか、パイプハウスやマルチのフィルムにも多数の傷や穴があくといった被害がみられ、農業施設の被害額は約2億3千万円となり⁷⁾、農業被害総額の約半分を占めた。被害を受けたパイプハウスのフィルムには、穴や凹みとともに、北から南に向けて多数の筋状の傷がついていたが、これは降ひょう時の強い北北東の風による影響とみられた。なお、被害を確認したのは農POフィルム(農業用ポリオレフィン系特殊フィルム)を展張したハウスのみで、隣接して設置されていた農ビフィルム(農業用塩化ビニルフィルム)が展張されたハウスに被害はなかった(フィルム厚はいずれも0.1mm)。

2.2 2017年9月25日の事例

2017年9月25日20時頃、茨城県南西部に降ひょうがみられ、つくば市を中心にハクサイやキャベツ、



図5 2017年9月25日の降ひょう被害(いずれもハクサイの被害写真、茨城県つくば市。9月26日撮影)

Fig. 5 Damage caused by hailstorm on September 25, 2017 (Chinese cabbage, Tsukuba city, Ibaraki, taken on September 26).

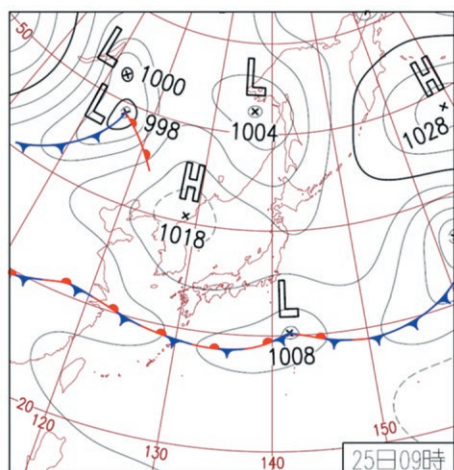


図 6 2017 年 9 月 25 日 9:00 の地上天気図⁵⁾
Fig. 6 Weather chart at 9:00 on September 25, 2017.

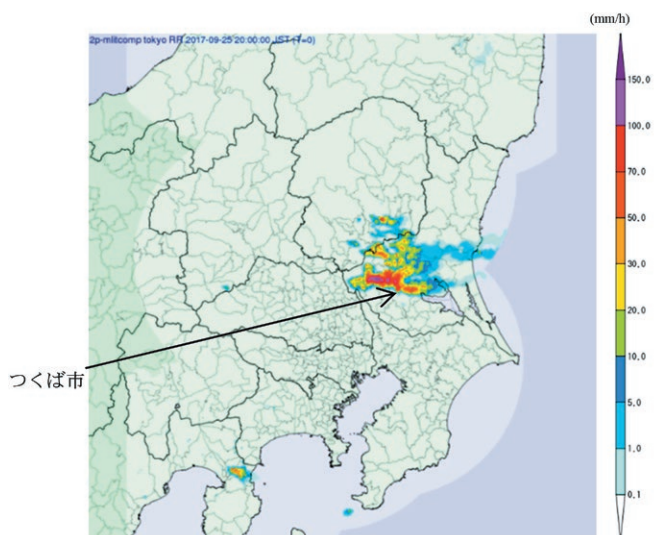


図 7 2017 年 9 月 25 日 20:00 の X バンド MP レーダ画像
Fig. 7 X-band MP radar image at 20:00 on September 25, 2017.

ナス等が被害を受けた(図 5)。当日の地上天気図を図 6 に、20:00 における X バンド MP レーダ画像を図 7 に示す。高気圧に覆われ、日中、晴れていたが、午後に入り大気が不安定な状態となり、関東北部を中心に局地的に雨雲が発達し、ひょうが降ったものとみられる。得られた情報は 2.1 の事例に比べて少なかったが、「ふるりポ！」情報や現地調査の際の聞き取り等の結果、ひょうは粒径が最大で 20 ～ 30 mm 程度であったとみられた。被害を受けたのは、多目的防災網等の防ひょう施設のない一般的な露地野菜畑であった。なお、ハウスに対する被害事例は確認されなかった。

2.3 2019 年 5 月 4 日の事例

2019 年 5 月 4 日の関東甲信地方は、移動性高気圧に覆われ、午前中晴れていたが、強い寒気が上空に流れ込んだ影響で、昼ごろから夕方にかけて大気の状態が不安定となり、群馬、埼玉、東京、山梨の各都県でひょうが降った。図 8 に当日の地上天気図を、図 9 に 15:30 における X バンド MP レーダ画像を示す。被害額が集計されている都県のなかで最も被害の大きかった群馬県では、特産のナシやウメ等の果樹、露地野菜のナス、タマネギ等が被害を受け、被害総額は 8 億 4,645 万円となった⁴⁾。また、埼玉県は、被害の大きかった、さいたま市、川越市、上尾市、久喜市、蓮田市、伊奈町の被害(合計 9,388 万円)を特別災害に指定した⁸⁾。我々が現地調査を

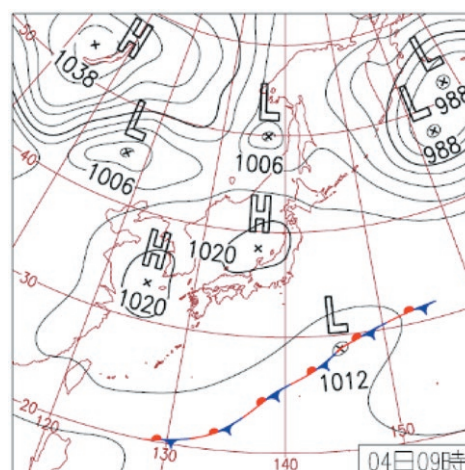


図 8 2019 年 5 月 4 日 9:00 の地上天気図⁵⁾
Fig. 8 Weather chart at 9:00 on May 4, 2019.

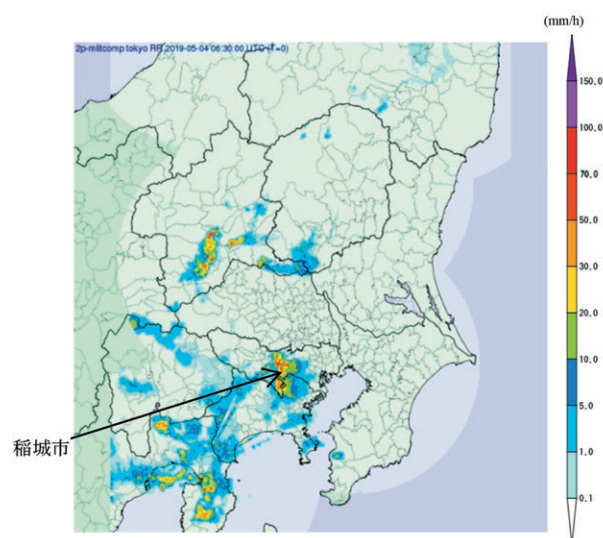


図 9 2019 年 5 月 4 日 15:30 の X バンド MP レーダ画像
Fig. 9 X-band MP radar image at 15:30 on May 4, 2019.



図 10 2019 年 5 月 4 日の降ひょう被害(上から、ナシの葉、ナシの幼果、ギボウシの葉の被害写真、東京都稲城市、府中市。5 月 10 日撮影)

Fig. 10 Damage by hailfall on May 4, 2019 (From top to bottom, pear leaves, young pear fruits, hosta leaves, Inagi city, Fuchu city, Tokyo. Taken on May 10).

行った東京都においても、立川市、府中市、町田市、小平市、日野市、東村山市、国分寺市、国立市、東大和市、多摩市、稲城市で被害総額 9,300 万円の農業被害があり、東京都は被災農業者に対し金融支援を決定した⁹⁾。図 10 は東京都稲城市および府中市における被害写真である。ナシの葉や幼果が傷を受けたり、落葉、落果などの被害がみられた。ふるりポ！の情報や現地調査から、ひょうは最大で 20 ～ 30 mm 程度であったものとみられる。また、図 11 は、

被害から 39 日後の 6 月 12 日のナシの被害果であるが、果実の肥大とともに傷も拡大している状況が確認され、ひょうによる果樹被害の影響の大きさを物語る。ところで、東京都多摩地区付近はひょうの常襲地帯とはいえ¹⁰⁾、本調査においても多目的防災網を設置している果樹園はなかった。被害を受けた農家への聞き取りによっても、ひょうが全く降らないわけではないが降ることは極めて稀であり、そのために多目的防災網の設置コストや手間をかけられない、との話が多数聞かれた。なお、本事例においてもハウスへの被害は確認されなかった。



図 11 2019 年 5 月 4 日の降ひょう被害を受けたナシの 39 日後の状況(東京都府中市。6 月 12 日撮影)

Fig. 11 Pear condition about one and a half months after damage by hailstorm on May 4, 2019 (Wounds expand with increasing fruit size. Fuchu city, Tokyo. Taken on June 12).

3. ひょう害の実態に関する考察

3.1 降ひょう分布の特徴

前章までに、最近、関東地方で発生したひょうによる農業被害事例について示した。さまざまな農作物やパイプハウス等にひょう害が発生していることがわかるが、いずれの事例も上空に寒気が入るなどして積乱雲が発達し、ひょうが降ったとみられる。気圧配置としては日本海に中心を持つ高気圧が存在し、南海上に前線が停滞するといった点で共通していた。これらのことは、関東地方における暖候期の降ひょうの経験則にほぼ一致する²⁾。しかし、小元(1991)²⁾は前線に関して、三陸沖から南西に延び鹿島灘あたりで消える寒冷前線の存在を挙げており、この点は今回の事例と異なる。気圧配置の違いは降ひょう予想とも関連することから、今後、さらなる検討を要するものといえる。降ひょうの地理的特徴に関しては、関東甲信地方には降ひょう系が周辺に較べて比較的頻繁に通過する地帯、つまり「ひょう

道」が存在し、それは山岳地帯では盆地や谷沿いに行けること、また、関東平野では北関東の孤立した山塊から南東進するひょう道が多いことなどが示されている¹⁰⁾。2.1 および 2.2 の事例はいずれも、日光山地付近から南東進するひょう道に分類されるものと考えられる。しかし、2.3 の事例については、中島ら (2019)¹¹⁾ が降ひょう域にあたる東京都町田市から東大和市付近にかけて収束域が形成され、降水系が強化された結果もたらされたものとの見方を示している。また、当日のレーダ画像から、群馬県内にも積乱雲とみられる強いエコーが確認できるものの、このエコーは 2.3 の事例で被害をもたらした積乱雲とは別の積乱雲である (図 9)。この事例以外にも近年の東京付近での降ひょうは、ひょうが降った地域で発生もしくは発達した積乱雲に伴うものと考えられる事例が多く発生しており^{12), 13), 14)}、小元 (1971)¹⁰⁾ による山塊由来のひょう道に分類できない。また、我が国全体の降ひょう実態に関する Omoto (1967)¹⁵⁾ の調査において、1954 年～1964 年の 11 年間に一度も降ひょうが確認されておらず、

降ひょうが極めて希な地域に分類¹⁶⁾ されている愛知県や静岡県で、2019 年 11 月に激しい降ひょうがあり、カキやミカン等の果樹や野菜が大きな被害を受けた⁴⁾。これらの地域では東京同様に多目的防災網のような施設は設置されていないため、一度ひょうが降ると甚大な被害となりやすい。多目的防災網 (図 12) はひょう害対策であることはいまでもないが、多目的の名が示す通り、風害や鳥獣害、病害虫のほか霜害対策としての効果もあるとされ、栃木県内では 2015 年時点で二ホンナシ栽培面積の 95% に設置されているという¹⁷⁾。しかし、資材費や設置費等の負担も決して小さくないことから、今までひょう害を受けなかった地域において直ちに普及を図ることは難しい。小元 (1971)¹⁰⁾ の調査から年数が経っており、降ひょうの地理的特徴等が変化している可能性もあると考えられることから、まずは、近年の降ひょう分布の実態を明らかにし、それをもとに多目的防災網等防ひょう施設の設置等を検討することが重要であろう。

3.2 ひょう害の特徴－パイプハウスでの事例－

農作物のひょうによる被害に関しては、いままでに多くの情報があり (例えば、^{2), 18), 19)}、今回の 3 事例についても類似した被害状況であった。一方、農業施設もひょう害を受け、なかでもパイプハウスの被害はよく報告されるが、被害状況に関する詳細な情報は少なく、特に、ひょうのサイズやフィルムに関する情報はみあたらない。今回、2.1 の事例ではハウスに被害がみられたが、2.2、2.3 では被害の事例は確認されなかった。一般に、聞き取り等による情報には誤差があり、検証が必要であることはいまでもないが、前者のひょう粒径の情報が 30～40 mm であったのに対し、後二者は 20～30 mm であったことから、現段階で粒径 30 mm がハウスフィルムに被害を及ぼすおおまかな閾値とみることができよう。しかし、事例がわずかであり、風速等他の要因との関連も考えられることから、今後、被害の解析事例をさらに増やし検討していくことが必要である。

ところで、2.1 でのハウスフィルムへの被害は農 PO フィルムを展張したハウスのみで、農ビフィルムが展張されたハウスに被害は確認されなかった。一般に、農 PO は農ビに比べ軽量でべたつきが少なく展張性に優れることからフィルム張替え作業が省力的であり、耐候性も高いなど広く普及してい



図 12 降ひょう被害を受けなかった多目的防災網が展張された果樹園 (上：ナシ、下：ブルーベリー、茨城県石岡市、桜川市。2017 年 7 月 6 日撮影)

Fig. 12 Orchard that was protected from hail damage by multipurpose disaster protection net. (Top: Pear, Bottom: Blueberry, Ishioka city and Sakuragawa city, Ibaraki. Taken on July 6, 2017).

る²⁰⁾。ただし、農ビに比べやや硬く、こすれに弱い等の面があるとされ、今回の被害もそうした特性が要因の1つと推察された。しかし、焼却時に有害ガスが発生しないことや、廃棄量が少ないなど環境面の特性も含め、農業用プラスチックフィルムにおける農POの優位性が変わることはないものとみられることから、今後、ひょうに対して被害を受けにくい特性の付与が望まれる。

4. ひょう害の対策に関する考察

4.1 農業において求められる降ひょう情報

ひょう害は古くから発生しているにもかかわらず、今回の事例のように依然として被害が顕在化しており、露地栽培のように多目的防災網が施されていない場合には、ほぼ無防備な状態で被害を受けているのが実情である。そこでもし、事前に降ひょうが予測されていれば、露地栽培の場合でも早期収穫等何らかの対策が実施できる可能性がある²⁾。過去に、小元・米谷(1976)は、500 hPaにおける気温とShowalter Indexの組合せから、1～2日前での降ひょう予測手法を示した²¹⁾。また、現在は、気象庁が府県天気予報等において降ひょうの可能性を天気概況として表現したり、雷に関する注意報や雷ナウキャスト等において注意を促すといった情報提供を行っている。こうした情報にしたがい、農家は前日あるいは当日の朝ぐらまでに降ひょうの可能性を知ることができれば、収穫を早めたり、覆いをかける等の対策が実施できる可能性がある。ただし、事前の対策作業は人手や労力を必要とし、さらに、予測が外れた場合の損失等も考慮すると、現状では予測の時間的、空間的な分解能や予測精度が十分とはいえず、現実的に農家が対策を行うとは考えにくい。こうした仕組みが有効に働くためには、高い予測精度と伝達システムの確立が前提であることを小元(1991)も述べている²⁾。しかし、降ひょうは短時間で局地的な現象であることが多いことから、現時点で高い精度の予測は難しい。また、仮に、数10分～1時間前程度に降ひょうの予測情報が得られるようになったとしても、農家が実施できる対策は限られる。このことは、広大な農地を所有する農家にとっては特に顕著である。さらに、近年、耕作している農地が遠距離に分散していることも珍しくなく、情報を得たとしても農地にすらたどり着けないといっ

た可能性も考えられる。こうしたことから、農業におけるひょうの直前の予測情報の効果的な活用法は現段階では考えにくい。しかし、将来的に、迅速にネットが展張できるシステム、例えば、無人航空機(UAV)を使った防ひょうネットの展張、といったような技術が開発されれば、直前の予測は有効な情報となるであろう。一方、近年の施設園芸の普及状況から、パイプハウスや温室等園芸施設に対する対策も重要である。施設園芸の大きな問題の1つに夏季の暑熱化があり、換気や冷房のほか、遮光(遮熱)が有効な対策となっている。一般に、遮光(遮熱)資材は、施設内よりも施設外に展張するほうが効果的とされ、施設の屋根面上に資材が展張される仕組みになっている施設も少なくない。そこで、このシステムを活用し、例えば降ひょうが予測されたら、遮光(遮熱)資材を展張することにより、屋根面のフィルムやガラスを守る、といった対策が考えられる。特に最近ではハイテク化が進み、植物工場等の自動環境制御型温室も多いことから、降ひょう情報をAPI化によって制御システムに組み込めば、人手を介さずに自動化することも可能となるであろう。

以上のように、将来的にはさまざまな予測情報の利活用が考えられるが、現状では、降っても被害を受けない多目的防災網等保護施設の設置と、被害後の速やかな事後処理の実行が現実的対策といえる。特に、農作物にひょうが当たりダメージを受けると、受けた傷口からの病気の発生といった二次的被害が発生しやすいことから、ひょう害後できるだけ早い段階での殺菌剤散布等が重要とされており、自治体や農業協同組合(JA)等が農家への主要なひょう害対策として普及指導を図っている^{18), 19), 22)}。しかし、前述のように、近年は所有する農地が遠距離に分散していることが多いなど、農家も所有する農地すべての状況を常に把握することは困難なため、降ひょうがあつたとしても気づくまでに時間(日数)がかかり、被害を拡大させてしまうことがある。したがって、まずは「このあたりでひょうが降ったようだ」といったような推定ができれば、それをいち早く農家や関係機関に伝えることによって、二次的被害の軽減や自治体、JA等による被害調査の初動の迅速化といった面に活用できる。以下で、現在進められている降ひょう実態の把握に向けた取り組みについて述べる。

4.2 ひょう害の把握に関する現状

現在、各都道府県の普及指導センター等では、農業に関する普及指導活動の効果的、効率的な推進を図るため、普及指導活動に関する課題を収集したり、地域の技術および知識の周辺農業者への情報提供等に協力する者として普及情報協力者を設置しており、全国で 5,000 人余の普及情報協力者がいる²³⁾。例えば、群馬県では県内各地の篤農家 60 数名を普及情報協力者として任命し、気温の観測、降霜、降ひょう、台風等による被害現場の情報提供を依頼している²⁴⁾。これにより、災害発生の有無や大まかな災害程度を把握し、県、市町村、JA が情報を共有する仕組みになっている。地域性の強い産業である農業にとって非常に効果的な制度であるが、局地性の高いひょう害については、被害実態の迅速な把握は容易ではないのが実情である。

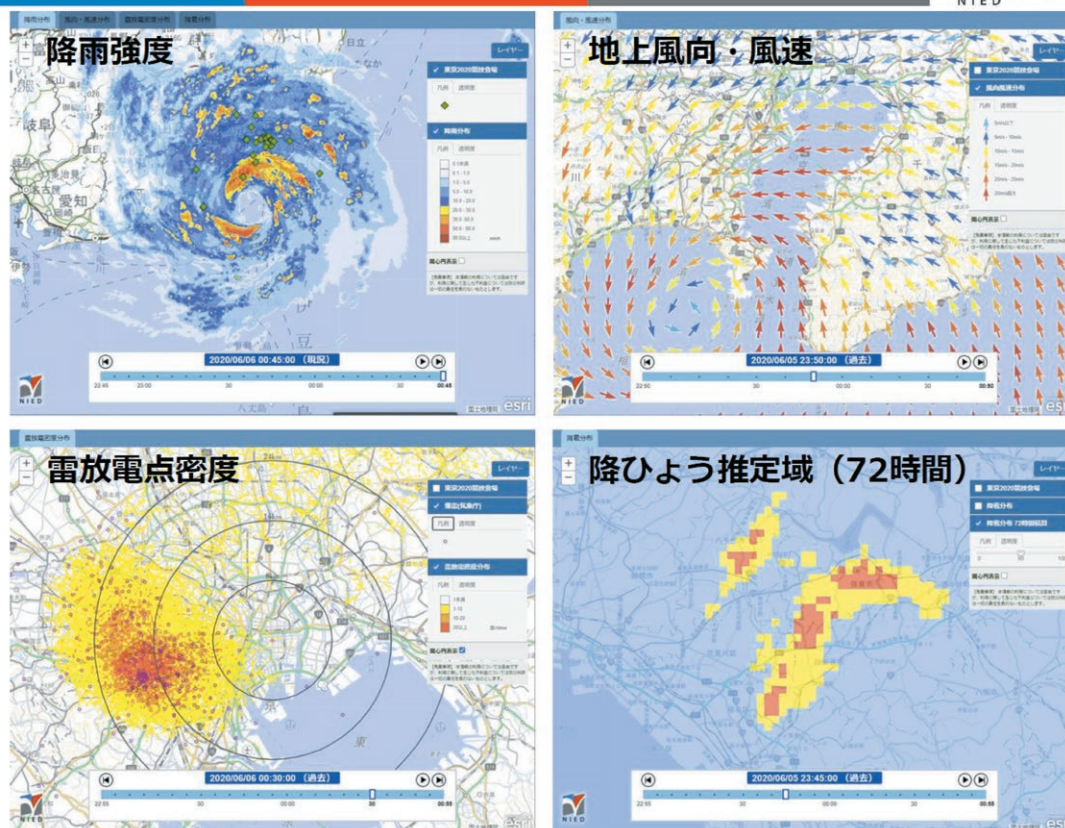
4.3 ひょうに関する研究の動向

4.3.1 レーダデータを用いたひょう検知

防災科研では、以前より、X バンド MP レーダを用いた極端気象の研究を精力的に進めている²⁵⁾。X バンド MP レーダは、2000 年に防災科研が開発導入し、その後「XRAIN」として国土交通省が広く全国に展開した。降水粒子の形や落下姿勢、サイズ分布など、降水粒子の識別に関わる複数の偏波パラメータを取得することができることから、ひょう検出に対してもその有効性が示され、ひょう検知アルゴリズムの開発に関する研究が進められている²⁶⁾。引き続き、検知精度向上に向けた研究は継続しながらも、ひょう害等が相次ぐ現状から、防災科研が 2020 年から開始した Web-GIS システム「ソラチェック」において、降ひょう推定域の提供を始めた(図 13)。これは、過去 72 時間～現在までにひょうが降ったとみられるエリアを 5 分毎に 500 m 解像度で表示するもので

ソラチェックの表示例

生きる、を支える科学技術
NIED 防災科研



(注) 図中の「年月日、時刻」は実際とは異なります。

図 13 Web-GIS システム「ソラチェック」の表示例(防災科研ホームページより)²⁷⁾

Fig. 13 Display example of Web-GIS system “SORA CHECK” (From NIED website).

ある。ほかに、降雨や風向風速、雷放電数密度の分布がホームページ上 (<https://isrs.bosai.go.jp/soracheck/storymap/?entry=5>) で閲覧できる²⁷⁾。解像度や精度の向上等いくつかの課題もあるが、ひょうが降ったとみられるエリアがスマホやPC等から簡単に見られることから、農業をはじめとして、さまざまな分野での活用が期待される。

4.3.2 地上での降ひょうの把握

ひょう検知の高精度化を進めるにあたって不可欠なのが、レーダデータと照合するための地上での降ひょう実態の情報である。1971年に、防災科研の前身である国立防災科学技術センターが、わが国で初めて簡易降ひょう記録計「Hailpad」を用いた調査を行い、降ひょう分布の実態把握とともに、ひょう研究全体の進展に大きく貢献した^{28), 29)}。Hailpadは安価に製作でき、設置した場所にひょうが降れば、ひょう痕として降ひょうの実態をとらえることができる。しかし、感知面積が 500 cm^2 程度であるため、ひょうの捕捉率を上げるためにはかなりの数を設置する必要がある、多くの人員や手間を要する。また、当然ながら、設置した場所でひょうが降らなければ情報を得ることはできない。そこで例えば、農作物への被害自体から降ひょうの実態を推察することができれば、あえてこうした機材を設置する必要もなく効率的である。しかし、農作物の場合、きれいに穴が開くといった被害痕になることは珍しく、たいていは裂傷となったり落葉してしまう場合が多く、降ひょうの有無は推定できても、ひょう形状や密度等を捉えるのは難しい。一方、近年、ハウスやマルチ等農業資材への被害も多くみられ、その被害痕は農作物に比べて形状が比較的明瞭に維持される傾向にあり、より実際のひょう粒を反映していると思われる。したがって、それらの被害痕を解析することにより、Hailpadと同様にひょうに関するさまざまな情報を推測できる可能性がある。特に、マルチフィルムは、ハウスフィルムに比べ薄く、高い張力で展張される場合が多いため、ひょうの形状をより忠実に反映するものと考えられる。図14は、2.1の事例において被害を受けたマルチフィルムを上から撮影した写真と、それを二値化した画像である。画像に映る黒色部分のうち植物葉や明らかにひょう害ではない部分を取り除き、ひょうの定義に従い直径 5 mm を円近似直径と仮定した面積 20 mm^2 以上

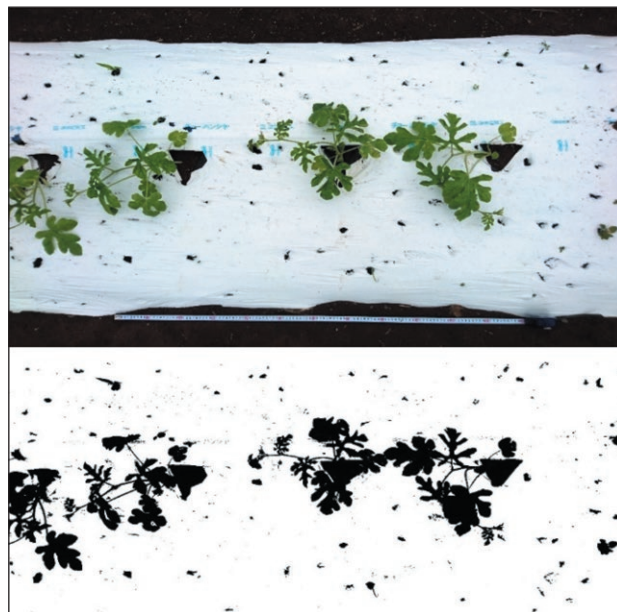


図14 2017年6月16日にひょう害を受けた白マルチフィルム写真(上)と、その二値化画像(画像解析ソフト「IMAGE J」を使用、茨城県桜川市)

Fig. 14 White mulch film damaged by hail on June 16, 2017 (above) and binarized image (produced using "IMAGE J" software, Sakuragawa city, Ibaraki).

表1 2017年6月16日にひょう害を受けた白マルチフィルム画像の解析結果

Table 1 Analysis results for white mulch film image damaged by hail on June 16, 2017.

被害痕の密度 (個/ m^2)	被害痕の長径の平均(mm)	被害痕の短径の平均(mm)
69.8	16.2 ± 7.6	7.9 ± 4.1

の穴を被害痕として解析を試みた。被害痕は真円状のものは少なく、多くは楕円状であった。画像に映る被害痕の密度、長径、短径を求めた結果、密度が $69.8\text{ 個}/\text{m}^2$ 、長径が平均 $16.2 \pm 7.6\text{ mm}$ 、短径が同 $7.9 \pm 4.1\text{ mm}$ となった(表1)。被害痕の多くが楕円状であったのは、実際のひょう形状を表している可能性もあるが、被害当時、比較的強い風を伴っていたことから、斜めに当たったことによるものとも考えられる。小元・清野(1978)³⁰⁾は、強風下では粒径をひょう痕の短径から推定することを推奨しており、本稿でも楕円であったのは風によるものと仮定し、短径をもとに解析した。図15に被害痕の短径の頻度分布を示す。最も数が多かったのは短径が 5 mm のもので全体の約17%を占めた。また、短径が $4 \sim 13\text{ mm}$ のものが全体の9割を占めていた。これらの値は、聞き取りによって得られた粒径の情報に

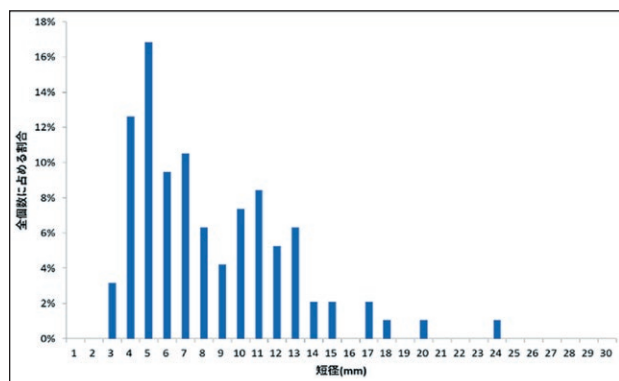


図 15 2017 年 6 月 16 日にひょう害を受けた白マルチフィルム被害痕の短径の頻度分布

Fig. 15 Frequency distribution of short-diameter white mulch film damage scars caused by hailfall on June 16, 2017.

比べると小さい傾向があるが、小元・清野(1978)³⁰⁾は、聞き取りによる値は過大評価されやすいとしており、今回もその傾向がみられると考えられた。ひょうによる農作物被害に関しては、Changnon(1971)³¹⁾は直径 6.4 mm 以上のひょう粒数が農作物被害と関係が深いことを示している。本事例においても短径 6.4 mm 以上のひょう粒を調べたところ、36.7 個/m²となった。これは、全体(69.8 個/m²)の約 53%にあたり、半数を超えるひょうが農作物に被害を及ぼす可能性の高い粒径であったと考えられる。

さらに、被害との関係をより定量的に比較するため、農作物の被害率との関連性が最も高いパラメータの 1 つとされる単位面積当たりの衝突エネルギー E_I ³⁰⁾を下記により求めた。

直径 d cm のひょう粒の衝突エネルギー e_I は次式から求められる³⁰⁾。

$$e_I = \frac{\pi \rho^2 g}{9 \rho_a C_D} d^4$$

ここで、 g は重力加速度、 ρ 、 ρ_a はそれぞれひょう粒および空気の密度、 C_D は抵抗係数で、単位面積あたりのひょう粒の衝突エネルギー E_I は、1 m² に降った全ひょう粒の e_I の和として与えられる。 $\rho = 0.9$ g/cm³、 $\rho_a = 1.2 \times 10^{-3}$ g/cm³、 $g = 980$ cm/s²、 $C_D = 0.6$ として、 E_I を求めた結果、 3.7×10^4 J/m² という値が得られた。Wojtiw and Renick (1973)³²⁾は、風速および衝突エネルギーと被害率との関係について、 E_I が 10^3 J/m² を超えると被害率が急激に高まり、強風時

には弱風時の 1.5 ～ 2.5 倍の被害率になるとしている。今回、 10^4 J/m² 程度の衝突エネルギーの降ひょうであったとみられることから、無風～弱風であれば被害率は 40 ～ 50% と見積もられるが、降ひょう時は最大瞬間風速 14.9 m/s の風が吹いていたことから、被害率は 70 ～ 80% に達していたと推定でき、今回の被害状況に近い。今までに葉タバコの被害率と E_I や粒径との関係を明らかにした研究例はなく、また被害率の定義も研究ごとに異なる場合が多いが、Wojtiw and Renick (1973)³²⁾も本稿と同様に被害状況の目視による調査結果をもとに解析している。また、被害を受けたこのマルチは葉タバコ被害現場から直線で約 2 km の地点にあったことから、被害をもたらしたひょうは同じ積乱雲によるものと推察できる。したがって、マルチフィルムの被害痕を解析することにより、衝突エネルギー等のひょうに関する各種パラメータを推定できる可能性があると考えられる。なお、今回のマルチフィルムは白色であったため、被害痕は比較的容易に検出できたが、一般的なマルチフィルムは黒色であるため被害痕の抽出に多少の工夫が必要であろう。また、作物が繁茂している場合は捕捉率の低下が考えられる。しかし、マルチは農地に多く存在することから、農村部における降ひょう実態をより広範囲にとらえることができ、撮影も真上からスマートフォン等で行えば簡単である。ただし、降ひょう時刻に関する情報が得られないという弱点がある。

そうしたなか、防災科研では、ひょうが降った際にスマートフォンや PC 等から気軽に情報を送ることのできる気象リポートシステム(「ふるリポ!」<https://fururipo.bosai.go.jp/fururipo/>)を開発した(図 16)。これは、ひょうが降った際に、日時や場所、ひょうの大きさ、形状等の目撃情報や写真を防災科研に送信するもので、図 17 は、2.3 の事例において「ふるリポ!」に寄せられた情報をマップ化したものである。聞き取りや現地調査のみでは難しい広い範囲の降ひょう実態を、時刻情報とともにいち早く知ることができる点は、速報性が求められる農業分野においても有効である。従来の聞き取りやマルチフィルムの被害痕の解析等を組み合わせ、レーダデータとの照合を図れば、より広い範囲の詳細な降ひょうの推定が可能となるものと考えられ、今後、「ソーラチェク」の高精度化にも生かしていく予定である。さら



図 16 「ふるりぽ!」web サイト
Fig. 16 "FuruRipo!" website.



図 17 「ふるりぽ!」によって収集された降ひょう情報
マップ(2019年5月4日の事例)
Fig. 17 Hailfall information map collected by "FuruRipo!"
(May 4, 2019).

に、防災科研では国内のひょうに伴う災害の実態や特徴の包括的理解を目的とした「ひょう災害データベース」のweb公開を2019年に開始した⁴⁾。このデータベースは、同年5月以降に発生した全国のひょうによるとと思われる災害について、自治体の報道発表や新聞記事、SNS等で共有された情報を收集整理したもので、農業だけでなく、保険業界等さまざまな分野での活用が期待される。

5. おわりに—極端気象による農業被害軽減をめざして—

最新の対策技術の進展もさることながら、そもそも災害を引き起こさない、もしくは最小限に食い止められる農地環境づくりも重要な対策である。多目的防災網や防風施設等の設置もその一例であるが、まずは、その土地の地理的特性を調べ、どのような災害が起こりやすいかを認識することが最初に取り組むべきことといえる。ひょう害については、前述の通りひょう道という常襲地帯の情報が示されており、それがある程度参考になる。もし常襲地帯で新たに営農を始めるのであれば、多目的防災網の設置を検討したり、場合によってはそこでの営農は諦めるといったことも考える必要があるだろう。また、地域に伝わる諺やいい伝えといった情報も決して軽視してはならない情報である。それらは、その地域の気象的特性を示すだけでなく、災害の危険性等も含めた地理的特性が語り継がれている場合もあるからである。さらには、一見、たまたま残っているとみられる雑木林のような緑地が災害時に防災機能を果たすことがあり、実際に、近傍の平地林によって被害が免れたとみられる農地の事例も確認されている³³⁾。普段は、日陰となったり、農作業の障害となるなどの理由から、邪魔な存在とみられる場合が多い既存の緑地も、防災等それなりの意味を持って古くから残されている場合があることに関心を持ちたい。災害が多発する昨今、新たに防災施設を設置する経済的負担等も考慮すれば、こうした既存の緑地を貴重なグリーンインフラとして捉え、有効に活用するといった視点も必要であろう。

本稿では技術的対策を中心に述べてきたが、いくら対策を講じても災害を完全に防ぐことは難しく、農業においても保険(共済)制度は非常に大切な対策の1つといえる。農業系の保険は、1791年にドイツで始まったひょう害対象のものが最初とされてお

り³⁴⁾、我が国に限らず、以前よりひょう害が主要な農業気象災害であったことが伺える。また、最近では 2019 年に農林水産省が農業共済制度を見直し、収入保険制度を導入した³⁵⁾。高齢化や後継者不足等厳しい現状を抱える我が国の農業にとって、災害は時として営農継続をも危うくする側面を持っており、今後、保険面での災害対応力強化につながるものと期待したい。

6. まとめ

近年のひょう害を例とした極端気象による農業被害対策について検討した。概要は以下の通りである。

- (1) 現地調査を行った 3 つのひょう害事例について、聞き取りや防災科研が開発した web リポートシステム「ふるりポ！」の情報等をもとに実態を整理した。
- (2) 降ひょうの予測が難しい現時点において農業現場が求める降ひょう情報は、病害等二次的被害の軽減や被害調査の迅速化に活用できる「このあたりで降ったようだ」といったような降ひょうの実態情報であると考えられた。
- (3) 今回の現地調査において、過去のひょう道に分類できない事例があった。また、降ひょうが稀とされてきた地域で近年ひょう害が発生していることから、今後、降ひょう分布の実態を改めて調査する必要があると考えられた。
- (4) 農村地域での降ひょう実態の把握に、マルチフィルムの被害痕解析の有効性が示唆された。今後、「ふるりポ！」や聞き取り情報と組み合わせることによって、X バンド MP レーダを用いた降ひょう推定の高精度化に対し有効なデータになると考えられた。
- (5) 最新の対策技術だけでなく、地域の地理的特性の理解や保険加入といった農業者側の対策も、ひょう害をはじめとした農業気象災害リスクの軽減に必要である。

謝辞

ご協力いただいた、自治体、JA、農家等関係者の皆様に深く感謝申し上げます。また、現地調査にあたっては、水・土砂防災研究部門特別技術員 宇治靖氏にご協力いただいた。

参考文献

- 1) 横山仁 (2018)：極端気象にともなう農業気象災害リスク軽減に向けた取り組み。第 34 回日本農業工学会シンポジウム「農業における気候変化への適応と気象災害リスクの軽減」講演要旨集、26-31。
- 2) 小元敬男 (1991)：農業気象災害と対策、Ⅱ。各種の農業気象災害と対策、9. ひょう害、養賢堂、197-216。
- 3) 出世ゆかり・坪木和久 (2006)：非定常で短寿命の対流セルのもたらす降ひょうの水平規模とひょうの大きさ：2002 年 5 月 26 日の阪神間の降ひょう事例について。「天気」、Vol.53, No.11, 871-877。
- 4) 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門 (2019)：ひょう災害データベース。(https://mizu.bosai.go.jp/key/HDDDB, 2020.9.1 参照)
- 5) 気象庁：日々の天気図。(https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html, 2020.9.1 参照)
- 6) 農林水産省 (2018)：平成 29 年農作物災害種類別被害統計(被害応急調査結果)。(https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/higai/, 2020.9.1 参照)
- 7) 朝日新聞デジタル (2017)：茨城) ひょう被害。(https://www.asahi.com/articles/ASK6N5V0LK6NUJHB015.html, 2017.6.22 参照)
- 8) 埼玉県農林部 (2019)：令和元年 5 月 4 日の降ひょうによる農業災害の特別災害の指定について。(https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2019/0517-05.html, 2020.11.15 参照)
- 9) 東京都産業労働局 (2019)：令和元年 5 月の降ひょうによる被災農業者に対する金融支援について。(https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2019/05/10/13.html, 2020.11.15 参照)
- 10) 小元敬男 (1971)：関東甲信地方の降雹について (3)。農業気象, 26(4), 211-217。
- 11) 中島虹・常松展充・横山仁・出世ゆかり・高橋日出男 (2019)：2019 年 5 月 4 日に東京都内で発生した短時間強雨時の降水量分布と地上風系の関係。日本気象学会 2019 年秋季大会予稿集, P401。
- 12) 出世ゆかり・鈴木真一・前坂剛・木枝香織・岩波越 (2014)：2013 年 7 月 8 日に東京都に降ひょう

- をもたらした積乱雲の X バンド MP レーダー観測. 日本気象学会 2014 年秋季大会予稿集, P135.
- 13) 山内洋・足立アホロ・小司禎教・佐藤英一(2018): 2014 年 6 月 24 日に東京都調布市付近に激しい降ひょうをもたらした雷雨の二重偏波解析. 気象研究ノート, **236**, 165-174.
- 14) 東京管区气象台(2017): 平成 29 年 7 月 18 日の大雨と降ひょうに関する東京都気象速報, 7pp.
- 15) Omoto, Y. (1967): Characteristics of hailstorms in Japan, *J. Agr. Meteor.*, **23**, 115-121.
- 16) 小元敬男(1989): 降ひょうと下降流突風(ダウンバースト)による災害に関する研究, 文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果, 168pp
- 17) 大谷義夫(2016): ニホンナシ園における防霜ファン, 多目的防災網および燃焼資材の組合せによる防霜効果, 栃木県農業試験場研究報告, **74**, 9-18.
- 18) 農研機構果樹研究所(2019): 果樹の災害対策集, ひょう害の事後対策. (<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/fruit/kajyusaigai/hyougai/index.html>, 2020.9.1 参照)
- 19) ぐんまアグリネット(2019): 果樹雹害追跡写真集. (<http://www.aic.pref.gunma.jp/agricultural/management/disaster/hail/index.html>, 2020.9.1 参照)
- 20) 島地英夫(1998): 施設園芸ハンドブック, 第 2 章 プラスチックフィルム. 日本施設園芸協会, 64-73.
- 21) 小元敬男・米谷恒春(1976): 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**, 65-78.
- 22) 茨城県農業総合センター(2019): 降雹・突風・大雨に対する技術対策について. (<https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nosose/cont/img/file234.pdf>, 2020.9.1 参照)
- 23) 農林水産省(2019): 平成 30 年度協同農業普及事業年次報告書, 11pp.
- 24) 倉澤政則(2018): 普及現場における気象情報の活用と農業気象災害への対応. シンポジウム「農業に役立つ気象情報の利用－栽培支援から災害対策まで－」要旨集, 7-8.
- 25) 防災科学技術研究所: マルチセンシングに基づく水災害予測技術の開発. (https://www.bosai.go.jp/activity_special/project/water-disaster-prediction.html, 2020.11.15 参照)
- 26) 鈴木真一・出世ゆかり・横山仁・前坂剛・木枝香織・岩波越(2017): 2017 年 6 月 16 日の降ひょう事例に対する X バンド MP レーダを用いたひょうの検出アルゴリズムの検証. 日本気象学会 2017 年度秋季大会予稿集, B302.
- 27) 防災科学技術研究所(2020): 気象リスク情報統合システム「ソラチェック」. (<https://isrs.bosai.go.jp/soracheck/storymap/?entry=2>, 2020.11.15 参照)
- 28) 清野豁(1978): 簡単な降ひょう記録計によるひょう粒の大きさの推定. 国立防災科学技術センター研究報告, **20**, 31-38.
- 29) 小元敬男・八木鶴平・清野豁・米谷恒春(1978): 群馬県における降ひょう観測(1971～1975). 農業気象, **34**(1), 17-21.
- 30) 小元敬男・清野豁(1978): 降ひょう特性と農作物の被害率の関係. 農業気象, **34**(2), 65-76.
- 31) Changnon, S. A. Jr. (1971): Hailfall characteristics related to crop damage. *J. Appl. Meteor.*, **10**(2), 270-274.
- 32) Wojtiw, L., and J. H. Renick (1973): Hailfall and crop damage in Alberta. Preprint 8th Conf. Severe Local Storms, Denver, Amer. Met. Soc., 138-141.
- 33) 横山仁・鈴木真一・飯塚聡・内山庄一郎・岩波越・村上暁信(2023): グリーンインフラとしての平地林による防災機能－災害現場で確認された農業気象災害軽減事例－, 防災科学技術研究所 研究報告, **88**, <https://doi.org/10.24732/NIED.00006517>.
- 34) 山内豊二(1983): 農業災害と農業保険の国際比較. 大明堂, 280pp
- 35) 農林水産省(2019): 農業保険(収入保険・農業共済). (<https://www.maff.go.jp/j/keiei/nogyohoken/index.html>, 2020.9.1 参照)
- (本研究報告は, 2021 年に発表したものの一部を修正, 加筆し編集し直したものである.)
- (2023 年 11 月 2 日原稿受付,
2023 年 11 月 8 日改稿受付,
2023 年 11 月 12 日原稿受理,
2023 年 12 月 8 日公開)

要 旨

近年のひょう害を例とした極端気象による農業被害対策について検討した。概要は以下の通りである。(1)現地調査を行った3つのひょう害事例について、聞き取りや「ふるりポ!」の情報等をもとに実態を整理した。(2)現時点における農業現場が求める降ひょう情報は、病害等二次的被害の軽減や被害調査の迅速化に活用できる「このあたりで降ったようだ」といったような降ひょうの実態情報であると考えられた。(3)近年の降ひょう分布の実態を改めて調査する必要があると考えられた。(4)農村地域での降ひょう実態の把握に、マルチフィルムの被害痕解析の有効性が示唆され、「ふるりポ!」や聞き取り情報と組み合わせることによって、XバンドMPレーダを用いた降ひょう推定の高精度化に対し有効なデータになると考えられた。(5)最新の対策技術だけでなく、地域の地理的特性の理解や保険加入といった農業者側の対策も、ひょう害をはじめとした農業気象災害リスクの軽減には必要であろう。

キーワード：ひょう，農業気象災害，対策，ふるりポ!，マルチフィルム