

令和3年度 環境省委託事業

令和3年度国民参加による
気候変動情報収集・分析委託業務

報 告 書

令和4年3月

栃木県那須塩原市

目次

1. 業務の背景と目的	1
1-1 那須塩原市の特徴	1
1-2 那須塩原市の気候変動の現状と将来予測	2
1-3 本業務の意義と目的	3
1-4 業務の概要	3
2. 高原野菜（ホウレンソウ）	4
2-1 概要	4
2-2 気象条件が生育に与える影響	5
2-3 調査・分析結果	8
2-3-1 アンケート調査	8
2-3-2 ホウレンソウ温度反応性調査	11
2-3-3 温室の形態と防暑対策調査	13
2-3-4 病害虫の影響調査	17
2-3-5 雑草の影響評価	20
2-3-6 野生鳥獣の影響調査	24
2-4 代替作物の検討	28
2-5 ワークショップ	31
2-6 将来予測計画	35
2-7 まとめ	37
3. 防災	38
3-1 概要	38
3-2 調査結果	39
3-2-1 水害対策のためのEbAの戦略的導入	39
3-2-2 斜面崩壊による水害激甚化に対するEbA導入	41
3-2-3 EbA導入の周知と合意形成	45
3-3 ワークショップ	48
3-4 将来予測計画	52
3-5 まとめ	54
4. 妥当性確認（検討委員会）	55
4-1 気候変動が高原野菜生産（ホウレンソウ）に及ぼす影響評価と対策の検討	55
4-2 EbAによる水害対策強化・リスク軽減の検討・評価	57

5. 成果公表及び普及啓発	59
5-1 リーフレットの作成・配布	59
5-2 広報誌・ホームページへの掲載	61
5-3 学習教材の活用	61
6. まとめ（成果と課題）	62

1 業務の背景と目的

1-1 那須塩原市の特徴

那須塩原市は、栃木県の北部に位置し、東京都から150km圏の距離にあり、広大な那須野が原の北西一帯を占めている（図1-1(1)）。市の面積は592.74km²で、面積の約半分を占める山岳部の多くは日光国立公園となっており、初夏の新緑、秋の紅葉など四季折々の多彩な表情を持っている。市の南東部は、那珂川や箒川などにより形成された、緩やかな傾斜の平地が広がる複合扇状地であり、扇中央部には本州有数の酪農地帯、扇端部には田園地帯が広がっている。

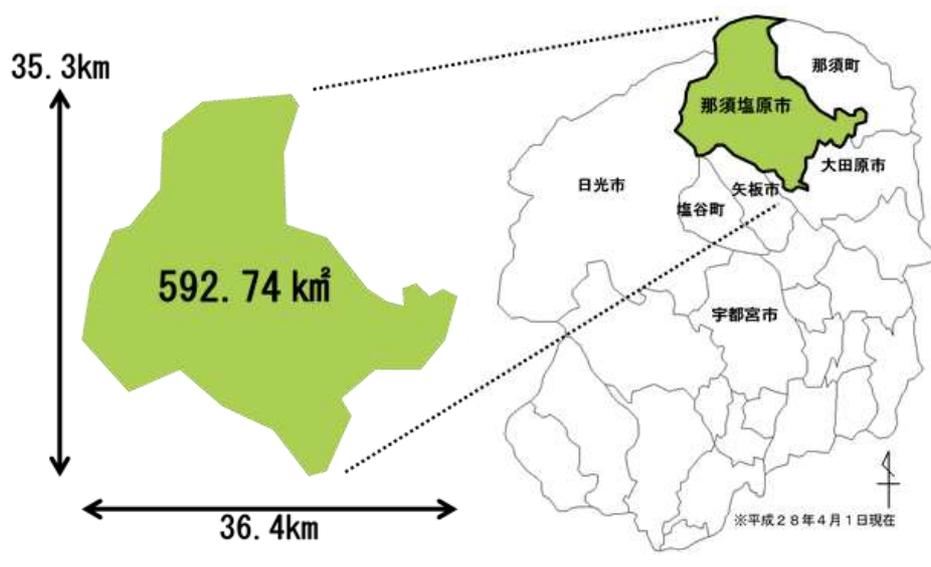


図1-1(1) 那須塩原市の位置と面積

本市には、多彩な産業がバランスよく立地している中、特徴的な産業は農業及び観光であり、農業では、「生乳生産本州一のまち」としての地位を築いている酪農を始め、ほうれんそう・大根などの高原野菜や食味ランキングで「特A」の評価を受けている銘柄もある水稻、夏から秋にかけて収穫される夏秋どりいちごなど、特色ある作物が生産されている（図1-1(2)）。

観光では、1200年以上の歴史がある塩原温泉郷、「下野の薬湯」と言われ湯治の里として親しまれている板室温泉、那須野が原開拓に関わった明治の元勳の歴史的遺産を始めスキー場や牧場などがあり、首都圏からのアクセスの良さから多くの観光客が訪れている。



図1-1(2) 那須塩原市を代表する風景

1-2 那須塩原市の気候変動の現状と将来予測

年平均気温は、上昇しており、2050年には現在※の栃木県南部と同程度に、2100年には現在※の高知県と同程度になると予測されている（図 1-2(1)）。気温の上昇による影響として、水稻や野菜における品質の低下、酪農では乳量や繁殖率の低下等が懸念される。

真夏日（日最高気温 30℃以上の日）の日数は、増加しており、熱中症の危険性から、既に保育施設や小中学校等において、保育活動や学習活動の制限が行われている。

1時間降水量 30 ミリ以上の短時間強雨の発生回数は、増加傾向にあり、さらに、1時間降水量 50 ミリ以上の短時間強雨の発生回数は、温暖化対策を講じなかった場合、2100年には2020年の2.5倍に増加することが予想されている（図 1-2(2)）。大雨の増加による洪水・内水氾濫の発生頻度の増加や大規模化、斜面崩壊発生確率の上昇が懸念される。

※現在の年平均気温は 1991～2020 年の平均値

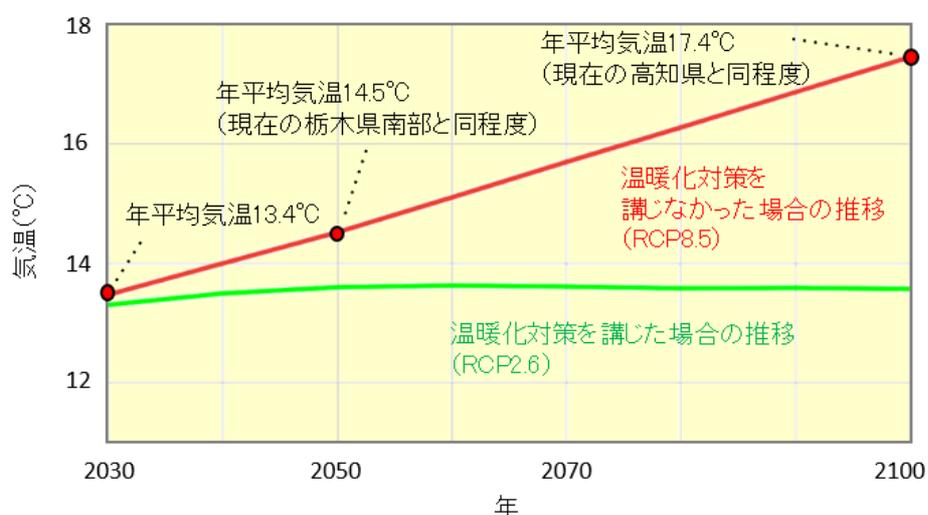


図 1-2(1) 本市の年平均気温の将来予測



図 1-2(2) 本市の1時間50mm以上降水量の発生回数の将来予測

※本市が令和3年度に気候変動の将来予測とリスクを分析した気候変動リスク分析事業の結果を使用

1-3 本業務の意義と目的

本市では、地球温暖化や気候変動といった地球規模の課題を地域レベルで考え「サステナブルシティ那須塩原」を実現するとともに市民の理解や問題意識を深める契機として、2019年12月3日に、2050年までにCO₂排出量実質ゼロを目指すことを宣言し、各種取組を推進している。

さらに、2020年3月に那須塩原市気候変動適応計画を策定するとともに、同年4月1日に、他自治体に先駆けて、市町村レベルでは全国初の地域気候変動適応センターを設置し、適応策を推進していくこととした。

本業務は、1年目の調査において深刻な影響が確認された農業と、多くの市民が懸念を抱いている防災の課題について、対象を絞り込み、重点化を行った上で、さらなる調査・分析を進め、将来予測計算に向けた計画を作成する。さらに、より具体的で身近な課題に対する調査・分析結果等を広く周知することで、市民や事業者、各種団体等、皆が地域の気候変動影響を自分事として捉え、自ら行動できる地域社会の実現を図ることを目的とする。

1-4 業務の概要

本業務は、那須塩原市気候変動適応センターが主体となり、国立大学法人宇都宮大学との友好連携協定に基づく連携事業として実施した。

(1) 地域にとって優先的に対応が求められる気候変動影響に係る情報の収集および計画の立案・

課題1：気候変動が高原野菜生産（ハウレンソウ）に及ぼす影響評価と対策の検討

本市の主要農産品であるハウレンソウについて、気候変動による影響を調査・研究し、適応策を検討した。

・課題2：EbAによる水害対策強化・リスク軽減の検討・評価

気候変動による水害等のリスクに対し、本市において有効な対策となり得る、生態系を活用した適応策（EbA：Ecosystem-based Adaptation）を検討した。

(2) 収集した情報や将来予測計算に向けた計画の妥当性を確認

・収集した気候変動影響情報については、宇都宮大学等の専門家の協力のもと分析及び文献調査等による妥当性の確認を行った。各分野の担当者を次頁の表1-4(1)に示す。

・専門家による検討委員会を年3回開催し、収集した情報や将来予測計算に向けた計画の妥当性を確認した。

(3) 公表・普及啓発

・確認した情報についてリーフレットを作成し、市民や関係者に配布するほか、ホームページで広く市民に情報発信する。

・ワークショップを開催し、市民の理解を促進した。

表 1-4(1) 各分野の担当者一覧（宇都宮大学）

分野	氏名
高原野菜（気象解析）	農学部 教授 高橋 行継
高原野菜（温度反応性・ワークショップ）	バイオサイエンス教育研究センター 准教授 岡本 昌憲
高原野菜（温室の形態と防暑対策）	農学部 教授 池口 厚男
高原野菜（病害虫）	農学部 教授 園田 昌司
	農学部 准教授 西川 尚志
	農学部 助教 煉谷 裕太朗
高原野菜（雑草）	雑草管理教育研究センター 教授 小林 浩幸
高原野菜（野生鳥獣）	地域デザイン科学部 教授 高橋 俊守
高原野菜（代替作物）	農学部 教授 房 相佑
高原野菜（将来予測計画）	農学部 教授 山根 健治
防災（水害）	地域デザイン科学部 教授 池田 裕一
	地域デザイン科学部 助教 飯村 耕介
防災（斜面崩壊）	地域デザイン科学部 教授 海野 寿康
	地域デザイン科学部 技術職員 吉直 卓也
防災（合意形成・ワークショップ）	地域デザイン科学部 准教授 近藤 伸也
防災（将来予測計画）	地域デザイン科学部 教授 池田 裕一

2 高原野菜（ホウレンソウ）

2-1 概要

本市では、食用作物、飼料作物、酪農、園芸作物などの農業が盛んである。野菜の出荷額は39億6千万円（2019年度）であり、中でもホウレンソウは国の指定産地『日塩』の主力となっており、面積120ha、生産量は1,340tに及ぶ重要な農産物となっている。ホウレンソウの生育適温は概ね10～20℃であることから、本市の高冷地（標高800～1000m）では夏季でも高品質な作物を生産することができ、雨よけハウスなどを利用することで、周年栽培が可能となっている。

しかし、昨年度の聞き取り調査により、市内の生産者の多くが、気象の変化や今後の営農への影響を懸念しており、特に、夏季の高温による品質低下や病害虫の増加が顕在化している。ホウレンソウにおいても、高温による品質の低下、ダニの越冬、萎凋病の早期発生、雑草（スベリヒユ・ゴウシュウアリタソウ）の増加などが挙げられていた。生産者の健康面も、夏季の高温によって脅かされており、作業時間の変更や休憩・吸水時間を増やす等の対策がとられている。

そこで、今年度はこのホウレンソウに着目し、さらに調査することとした。オンライン上でGoogleフォーム及び書面を使った生産者へのアンケート調査、現地における温室の形態と防暑対策調査、環境計測、生育調査、病徴観察とウイルスの探索、ゴウシュウアリタソウなどの雑草の影響評価、野生鳥獣の影響調査などを通して、温暖化が現地のホウレンソウ栽培に及ぼす影響について評価した。

また、ホウレンソウ産地としての本市の気候特性の分析、ホウレンソウの温度反応性についての実験と分析などを通して、今後の気候変動による影響のモデリングを試みて、将来予測計算に向けた計画を作成した。

さらに、環境変化に適応するための、代替作物について検討した。

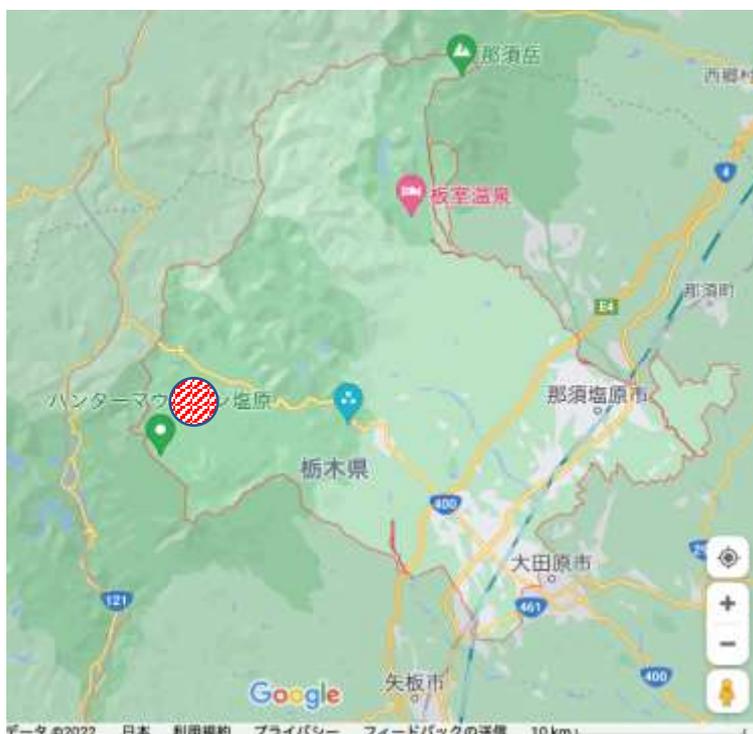


図 2-1(1) 重点調査地域（赤丸付近）

2-2 気象条件が生育に与える影響

2-2-1 ホウレンソウ産地としての那須塩原市の気候特性

ホウレンソウは農林水産省統計(2021)によれば、2020年全国作付面積は19,600ha、収穫量は2,902千tである。代表的な葉菜であるが最近5ヶ年をみると作付面積、生産量ともに前年比1%程度の微減が続いている。

栃木県での作付面積は602haで、収穫量は5,800t、10a収量は964kgとなっている。作付面積では全国の中堅どころ、収量や収穫量からも大産地とはいえ、近隣の北関東各県や埼玉県、千葉県などの全国でも生産量上位の各県に対して大きく水をあげられており、1/2~1/3の規模である。

この中で本市は県内でも平野部との標高差を活かした周年栽培が可能で、ホウレンソウ生産が盛んな地域である。主要な生産地の標高は800~1000mにあり、特に夏季の気温では平野部に産地が多い埼玉、千葉、茨城県等より恵まれている。

ホウレンソウの生育適温は概ね10~20℃とされており、温度環境制御をしない限り、上記の地域での夏季安定生産は難しい。那須塩原ではこれらの地域に対して標高差があることから、夏季でも生育適温を大きく逸脱することがなく、周年栽培を可能にしている。

黒磯アメダスの平均気温でみると、夏季の高温化が進む2010年代で8月にわずかに25℃を超える期間が出てきたものの、平年値では最高でも24.0℃である。最高気温も2010年代に入って30℃をわずかに超える期間があるが、中山間地特有の大きい気温日較差もあり最低気温は21℃台である。これらの観測データは標高343mの黒磯アメダス観測地のものであり、主力産地はこれよりも標高が高いところに存在している。気温は一般論で標高100mにつき0.6℃低下することを考慮すれば、実際の生産地の気温は2~3℃程度低いものと考えられる。このため、高温耐性が強い品種選定と栽培方法の工夫で生産が可能である。

2-2-2 気候変動がもたらす産地への影響と対策

周年栽培では、夏場の気温が生産に大きく関係すると考えられる。また、春先の高温が影響で病害虫発生状況に変化が出始めているとの報告(2021)があり、解析・検討が必要である。

また、2010年代に入って気圧配置の季節性が崩れ始めており、典型的な四季の気圧配置が発現しにくくなりつつある。1990年代から2000年代は夏季の猛暑が続き、太平洋高気圧の勢力が9月いっぱいまで強かった。これに対して2010年代以降は太平洋高気圧の勢力がひと夏を通じてなかなか安定しない傾向がある。もちろん太平洋高気圧の勢力は夏季において一定の強弱を繰り返すものであるが、最近の勢力の変化はこれまでの範囲を大きく逸脱するものである。次ページの図2-2-2(1)と(2)は2021年8月中旬の気圧配置であるが、本来なら盛夏であるのにも関わらず、太平洋高気圧が後退し、その縁を回り込むように台風が日本列島に接近している。もちろん、この時期の台風接近は非常に珍しいものではないが、注目しなくてはならないのは、オホーツク海高気圧の存在と地上天気図でははっきりしないが上空の寒気を伴う低気圧が北からしばしば南下して日本付近に影響を及ぼすようになってきていることである。このため、夏の気象は近年不安定になってきており、各地での豪雨災害が梅雨明けを過ぎても発生しており、その頻度が高くなってきている。

さらに、秋季から冬季においては太平洋高気圧の勢力が夏季とは逆に後退しない、あるいは大陸からの寒気の南下が不十分なため、本格的な冬の到来が遅くなってきている。近年「秋がなくなった」という話がよく聞かれるが、このことをよく物語っている。冬季も冬型の気圧配置が長続きせず、図

2-2-2(3)、(4)のような晩冬から春先に多い気圧配置が厳冬期に見られるようになってきている。しかし、その一方で寒暖の差が激しく大雪に見舞われることもある。このように、気象の変動幅がこれまでの常識を逸脱するようなものになってきている。

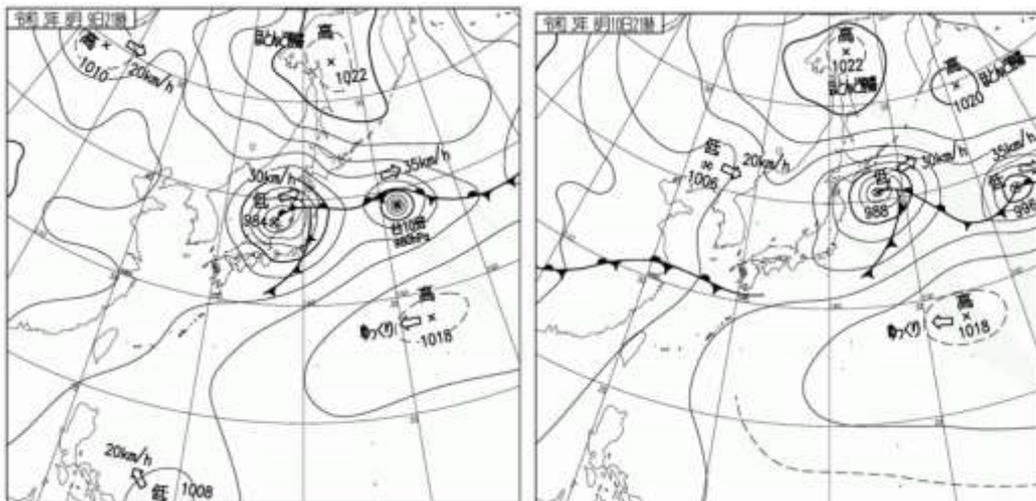


図 2-2-2(1) 2021 年 8 月 9 日 21 時地上天気図 図 2-2-2(2) 2021 年 8 月 10 日 21 時地上天気図

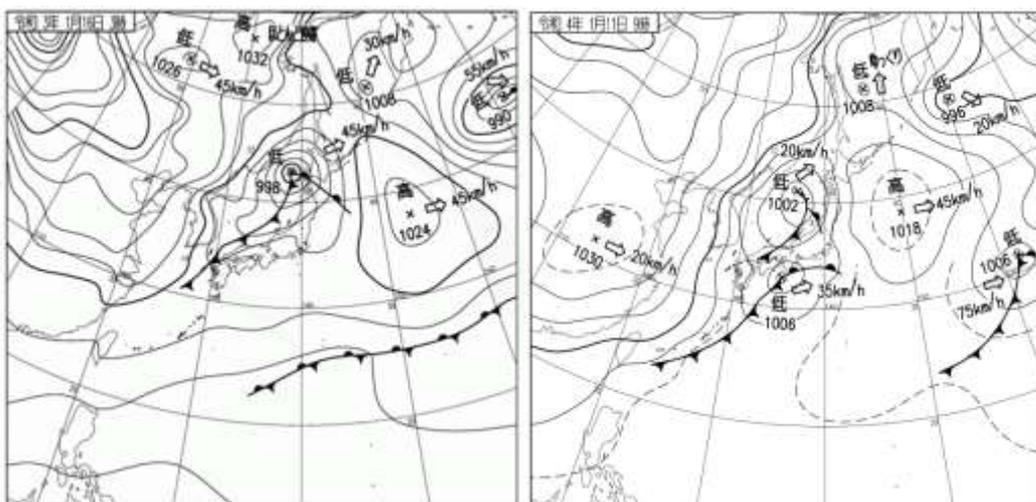


図 2-2-2(3) 2021 年 1 月 16 日 3 時地上天気図 図 2-2-2(4) 2022 年 1 月 11 日 9 時地上天気図

【適応策】

今後の対策としてはまず夏季の大雨対策が挙げられる。圃場の排水をよくして大雨でも冠水しないように管理すること、雨よけ施設では突風やひょうに対して施設の強化が求められる。また、冬季においても多積雪と温暖化によって雪質が変化し、含水率が増える可能性もあるため、ハウスの強化など従来の積雪対策以上のものが必要になると考えられる。また、ハウレンソウの生育期間である 1～2 ヶ月間の気温の短期的な予測と、その気候に適する品種の選択が重要になってくる。

2-3 調査・分析結果

2-3-1 アンケート調査

2021年10月から11月にかけて、ハウレンソウ栽培農家の方にアンケート調査を行い、13名から回答があった。回答者の年齢構成は右図（図2-3-1(1)）の通りであった。

以下、気候変動による影響に関するアンケート調査の内容に関して、特筆すべき点に関して紹介する。

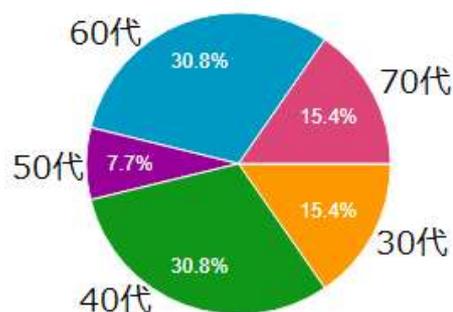


図2-3-1(1)回答者の年齢構成

2-3-1-1 気候変化に関して

約85%の方が「最近気候が変化した」と感じており、特に「暑い（気温が高い）、冬期の積雪量の減少」という意見が多かった。また、「鳥獣たちの食べ物の変化（山に餌が少ないのか?）」という意見もあり、生態系の大きな変化が感じられた（図2-3-1-1(1)）。

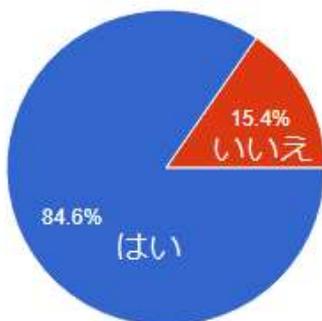


図2-3-1-1(1)「Q:最近気候が変化したと感ずることがありますか？」への回答

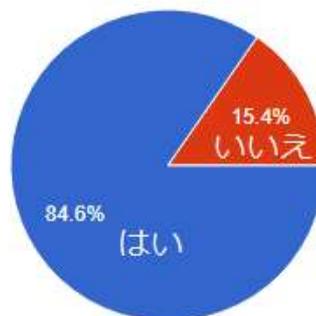


図2-3-1-1(2)「Q:気候の変化によりハウレンソウの形態・品質が変化したと感ずることはありますか？」への回答

また、約85%の方が「気候の変化によりハウレンソウの形態・品質が変化した」と感じており（図2-3-1-1(2)）、その変化の内容として「軟弱になった」「春、秋の日照不足により品質が悪い（葉、茎が細い）」「萎凋病発生時期の前倒し（早期化）」「高温と強い日差しでハウレンソウの葉が日焼けする」という意見が多かった。

また、そのように感じる季節に関しては9割の方が「夏」と回答した。温暖化の影響を強く受けていると考えられる。今後、ハウレンソウの安定した生産のためには栽培体系、栽培品種の変更など、大きな変革を余儀なくされると考えられる。

2-3-1-2 病害虫に関して

「ヨトウムシ・アオムシ・アブラムシ・カタツムリ」の発生を感じている方が多かった。また、「ヨトウ虫、ケナガコナダニ、黒い色のアブラ虫は、見たことがなかった」「以前は、殺虫剤、1回1種類であったが今は2回～3回、8種類は殺虫剤を使用している。」という意見もあった、さらに約58%の

方が「薬剤の害虫に対する効果が低下した」と感じており(図 2-3-1-2(1))、今後、害虫対策には農薬の選定に加え、ハウス内に害虫を入れない対策を徹底する必要があると考えられる。

約 58%の方が病気の「発生が見られる」と回答し(図 2-3-1-2(2))、特に春から秋にかけてべと病や萎凋病など、菌類による病気の発生を確認している。また、約 15%の方が「殺菌剤の効果が低下した」と感じていることから、今後、予防対策も含め防除法の改善が必要になると考えられる。

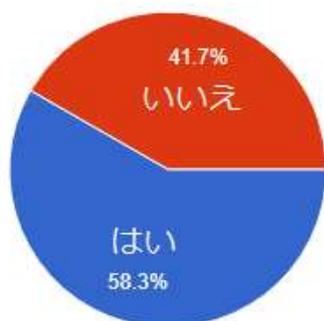


図 2-3-1-2(1) 「Q:薬剤の害虫に対する効果が低下したと感じることはありますか？」への回答

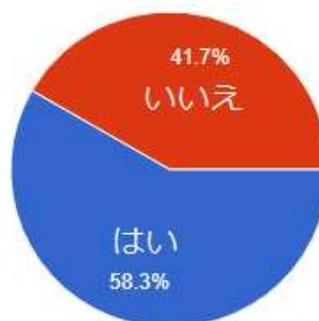


図 2-3-1-2(2) 「Q:カビ(菌類)、細菌、ウイルスなどの微生物による病気の発生は見られますか？」への回答

2-3-1-3 雨よけハウスに関して

約 83%の方が遮光シートやハウスの両側の開口などの防暑対策をしている(図 2-3-1-3(1))。防暑対策の開始月は7月が80%と最も多く、終了月は50%が8月、40%が9月、10%が10月であった。被覆材の張り替え期間は3から4年が約 75%を占めた。今後、温暖化により防暑対策期間が延びることや異常気象により張り替え期間が短くなることが予想されるため、さらなる対策が必要と考えられる。

2-3-1-4 雑草に関して

約 83%の方が雑草の発生に困っており(図 2-3-1-4(1))、多くの方が「除草剤、手作業で抜く」という作業を行っている。「今年、新たに見たことない種類が増えた。」という意見もあり、今後このような傾向が続くと防除対策に多くの費用と作業、時間が割かれることになる。

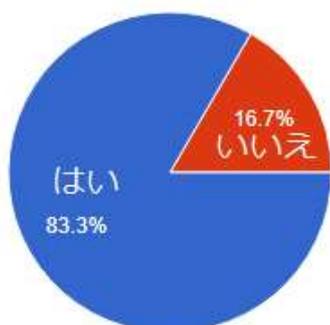


図 2-3-1-3(1) 「Q:防暑対策を実施していますか？」への回答

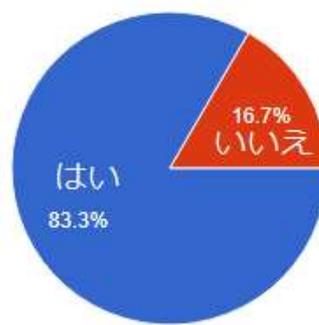


図 2-3-1-4(1) 「Q:雑草が発生して困っていますか？」への回答

2-3-1-5 鳥獣害に関して

上の原地区に農場がある 20 人の生産者に対してアンケートを郵送で配布したところ、12 人から回答を得た（回収率 60%、有効回答率 55%）。アンケート調査は、野生鳥獣による被害の認識、被害対策への意欲、被害対策の効果に関する認識、野生鳥獣や対策に関する科学的知識の 4 項目それぞれに関連した観測変数として 15 問を作成した。被害認識については、約 67%の方が「野生鳥獣による作物への被害は近年増えている」と回答し、約 75%の方が「自分の農地の鳥獣被害は深刻だ」と感じている（図 2-3-1-5(1)）。対策効果については、侵入防止柵や環境整備と比較すると、捕獲による対策を望む意識が高い傾向にある。野生鳥獣に関する知識については、シカ頭数が近年増加していることや、被害をもたらす野生鳥獣の種類について知識を持っているという回答が高かった。しかし、対策意欲については、予算をかけることの必要性について指摘があるものの、勉強会や作業への協力については、まだ十分に意識が醸成されていなかった。

こうした状況を受けて、被害の実態を可視化したり、野生鳥獣に関する学習会を開いたり、効果のある対策について正しい知識を備えることを通じて、対策への意欲を全体的に高めていくことが求められる。

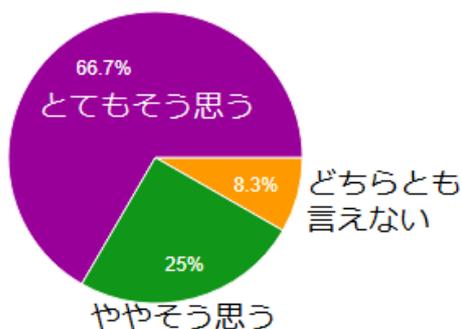


図 2-3-1-5(1) 「Q:野生鳥獣による作物への被害は近年増えていますか？」への回答

2-3-2 ホウレンソウ温度反応性調査

ホウレンソウは年間を通じて栽培され、季節に適した形で様々な品種が各種苗会社から市販されている。本市のホウレンソウ栽培農家は主に9種類の品種を栽培している(図2-3-2(1))。具体的な品種名は伏せるが、品種1と2は春から夏の間栽培され、品種3から6は夏季に栽培され、そして品種7から9は秋から冬に栽培される。これら異なる品種における温度の反応性を解析した。

はじめに、18℃から30℃の異なる環境下で種子発芽について検証を行った結果(図2-3-2(2))、品種に関わらず多くのホウレンソウ品種で、18℃や22℃で最も種子発芽率が良好であった。この結果は、各種苗メーカーが推奨とするホウレンソウの種子発芽最適温度(18℃から22℃)と一致していた。18℃と22℃の環境下では、品種3、4、9の3品種の発芽率が良好で約80%であった。一方、品種2に関しては、発芽最適温度でも、発芽率が40%にとどまり、この低い発芽率が種子休眠性によるものなのか、それとも種子の質によるものなのかは本調査では明らかにできなかった。また、26℃から30℃と高温環境下になるにつれて、どの品種も発芽率が顕著に下がることが明らかになった。26℃の高温環境下では、品種3、1、9の3品種の発芽率が良好で約50%から40%であった。また、さらに高温の30℃の環境下では、品種3は約30%の発芽を示したものの、他の品種2、6、8では発芽率が最も低く、10%を下回る発芽率であった。以上の結果から、高温環境下における発芽において、品種間差が顕著であることが明らかとなった。また、高温は種子の発芽を大幅に低下させることから、夏季用品種であっても、種子播種後における温度管理が極めて重要であることが示唆された。

品種	最適種子播種時期
1	2~5月
2	4~8月
3	7~9月
4	7~9月
5	7~9月
6	7~9月
7	9~11月
8	9~11月
9	9~12月

図2-3-2(1) 各品種の季節区分

品種	18℃	22℃	26℃	30℃
1	64.0	68.0	44.0	18.7
2	44.0	41.3	13.3	6.7
3	77.3	80.0	53.3	30.7
4	64.0	78.7	34.7	13.3
5	38.7	52.0	20.0	16.0
6	52.0	56.0	25.3	8.0
7	66.7	68.0	14.7	12.0
8	61.3	60.0	16.0	9.3
9	70.7	78.7	37.3	16.0

図2-3-2(2) 各温度下での発芽率%

次に、26℃の比較的高温環境下と30℃の高温環境下で、生育に与える温度反応性を解析した(2-3-2(3)、(4))。26℃の環境下での栽培では、夏季用品種の3、5と6が比較的高い生産性を示し、また、秋季用品種8においても夏季用品種と同等の高い生産性を示した。一方で、30℃の高温環境下での栽培では全ての品種において生産量が低下したが、意外なことに秋季用品種8は最も良好で、生産性の低下率も穏和であった。また、30℃の高温環境下での栽培で、夏季用品種の5と6も生産性が良好であった。しかし、品種5から9については、高温環境下の30℃で開花が早まることから、収穫のタイミングについて注意する必要があることが判明した。ホウレンソウは葉物野菜であり、花をつけると規格外となり、かつ、食味も低下するため、商品価値が著しく低下してしまう。興味深いことに、春季用品種においては早期の開花が認められなかった。また、葉からの蒸散量を、サーモカメラを用いて調査した。12月のガラス室で栽培した場合(おおよそ昼間のガラス屋の温度が約16℃)は、品種1、2、4、5、6が盛んに蒸散していた(2-3-2(5))。26℃の比較的高温の環境下では、夏季用品種の4、5、6が盛んに蒸散していた(2-3-2(6))。30℃の高温環境下では、品種1、4、5が盛んに蒸散しており、26℃と30℃では、蒸散量の温度反応性が品種間で異なることが判明した(2-3-2(6)、(7))。

蒸散量は、植物体から熱を放出する作用と、気孔開口によって光合成の活性化の両面の作用がある。品種間差はあるものの夏季用品種の4や5は、葉からの蒸散量を活発にすることで、植物体からの熱の放出が、高温下での生育をもたらす要因になっている可能性もある。ただし、蒸散量に依存した耐暑性形質は、土壌中の水分に依存することから、品種5の耐暑性形質を利用するには、高温環境下における水管理が重要であることが示唆された。品種8については、高温下での発芽率低下さえ克服できれば、高温下での生産性が高いことが明らかとなった。品種3については高温下での発芽が最も良好で、比較的高温の栽培環境下(26°C)でも生産性が高いが、極度の高温になる30°Cでは生産性が極端に低下した。したがって、品種3については、発芽後の栽培環境で高温になりすぎない栽培管理が重要であることが示唆された。

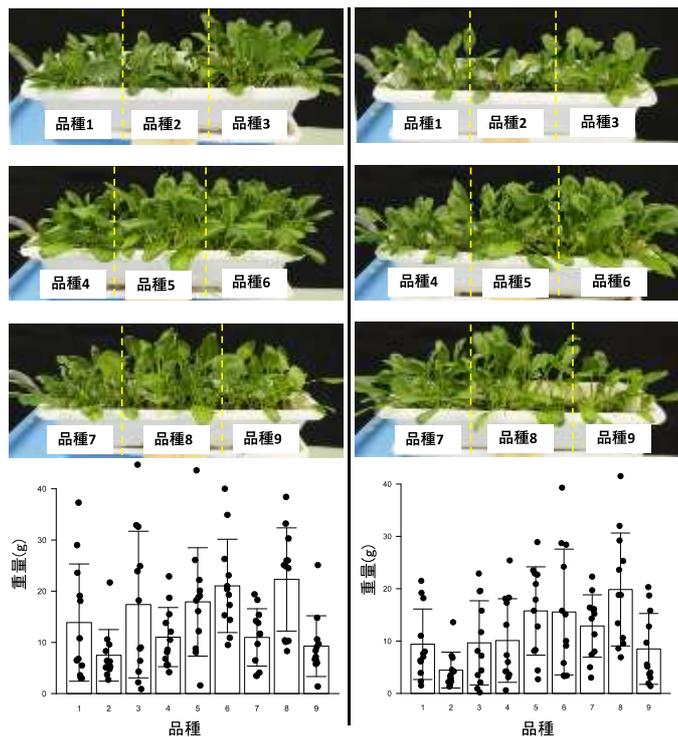


図 2-3-2 (3) 26°Cでの生育

図 2-3-2 (4) 30°Cでの生育

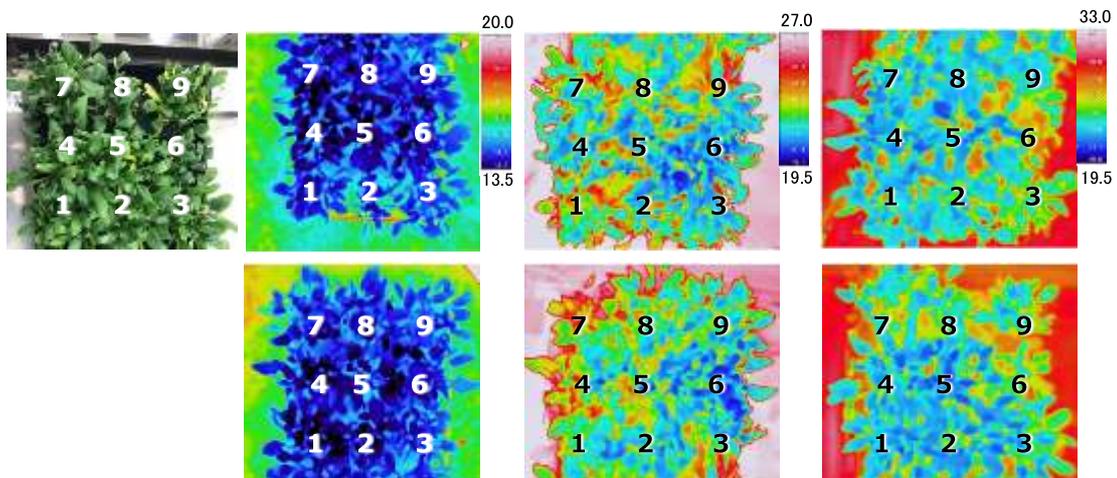


図 2-3-2 (5) ガラスハウスでの表面温度

図 2-3-2 (6) 26°Cでの表面温度

図 2-3-2 (7) 30°Cでの表面温度

以上の結果から、より温暖化が進み、ハウス内の温度が現在よりも高くなれば、種子の発芽率が低下すること、生産性が低下すること、そして開花が早期に起こり商品価値も低下することから、これらの問題に対応可能な品種の開発が必要であることが明らかとなった。また、品種の開発にはある程度の年数を要することから、既存の品種を栽培する際には、品種特性に合わせて、ハウス内の栽培温度を低減させるタイミング(種子発芽時期あるいは成長の時期)を適切に決定するとともに、温度を下げる栽培管理や資材の選択、栽培施設の改良などが必要であることが示唆された。

【適応策】

開花はハウレンソウの商品価値を著しく低下させるため、夏季用品種であっても、高温下で開花が起きない新しい品種の育種、あるいはハウス内の栽培温度を低減させる施設管理が必要であることが示唆された。

2-3-3 温室の形態と防暑対策調査

2-3-3-1 暑熱下におけるハウレンソウ雨よけハウスの温室内環境と遮光シート

夏季の暑熱下におけるハウレンソウ雨よけハウス内の風速、放射等の環境を測定することで、熱環境を把握することを目的とした。また、市販されている遮光シートの日射抑制の程度を明らかにする。雨よけハウスの被覆材は設置後 5~6 年使用し続ける場合が多く、被覆材の経年劣化による日射抑制の効果が見られる。敷設後 4 年を経過したハウスでの日射抑制がどの遮光シートに対応するかについても検討した。

□遮光シートの日射抑制率

市販されている 7 種類の遮光シートについて日射(短波: 265~3000 nm)の抑制率を計測した。

- 1) 測定装置: 900 mm × 900 mm × 900 mm のアングルフレームを作成した。側面は放射が外部から侵入しないように黒色のシートで覆い、上面に供試資材を貼り、供試資材の下で日射を測定した(図 2-3-3-1(1))。
- 2) 測定項目: 日射は気象測器(Kipp & Zonen CMP-3)、日射及び供試資材下面の上下短波放射は気象測器(Kipp & Zonen NR01)を用いて、ともに 1 Hz で計測した。

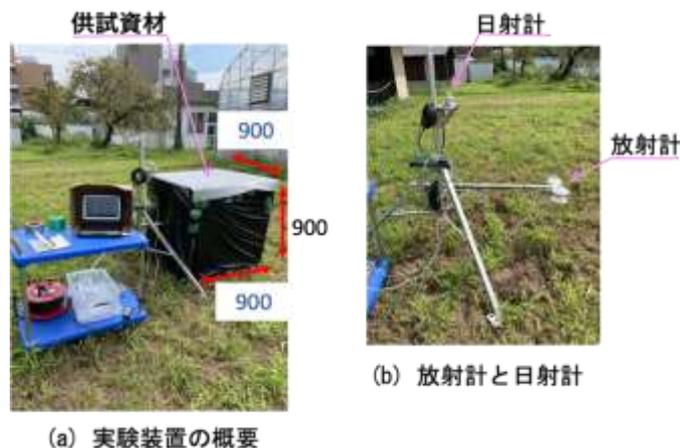


図 2-3-3-1(1) 実験装置

- 3) 測定方法：図 2-3-3-1(2)に示す供試資材を張ったアングルフレーム内の中央に放射計を入れ、5 分間測定した。測定後、アングルフレームをずらして外部日射を 5 分間測定した。測定日は 2021 年 8 月 31 日、9 月 19 日であった。
- 4) 供試遮光シート：供試した遮光シートは一般に購入が可能な①サンテアラ調光、②シャ乱光、③明涼、④クールホワイト、⑤スカイクロス、⑥カルクール、⑦遮光ネットであった。外観を図 3-2 に示す。また、表 2-3-3-1(1)に遮光の公称値を示す。

表 2-3-3-1(1) 供試遮光シートの概要



図 2-3-3-1(2) 供試遮光シートの外観

	品名	単価 円/m ²	公称遮光率
1	サンテアラ調光	896	-
2	シャ乱光	193	-
3	明涼40	438	40
4	クールホワイト	216	-
5	スカイクロス65	3,972	50
6	カルクール TA-37520	649	70
7	遮光ネット	134	75

□結果

2回の測定期間のうち快晴が続いた9月19日のデータを用いた。測定期間中の平均外気温度は28.1℃であった。遮熱率は外からくる短波放射に対してカットした熱量で表した。

$$\text{遮熱率} = \frac{\text{外から来る短波放射} - \text{資材下の短波放射}}{\text{外から来る短波放射}}$$

供試資材の遮熱率を表 2-3-3-1(2)に示す。光ではなく熱をどれだけカットしたかを表している。最も高い資材は一般的な寒冷紗である⑦遮光ネットであった。光が透過されないで、これを常時敷設することは現実的でない。一方、②シャ乱光は約 26%で、熱的な点では最も低くなった。

表 2-3-3-1(2) 遮熱率

	品名	資材下の短波放射 (W/m ²)	外の短波放射 (W/m ²)	遮熱率 (%)
1	サンテアラ調光	569.2	870.3	34.6
2	シャ乱光	654.7	890.0	26.4
3	明涼40	400.3	892.0	55.1
4	クールホワイト	295.5	894.0	66.9
5	スカイクロス65	296.3	897.0	67.0
6	カルクール TA-37520	341.8	896.0	61.9
7	遮光ネット	63.8	893.7	92.9

単位遮熱量当たりのコストを表 2-3-3-1(3)に示す。

表 2-3-3-1(3) 遮熱コスト

	品名	遮熱単価 円/W
1	サンテーラ調光	2.98
2	シャ乱光	0.82
3	明涼40	0.89
4	クールホワイト	0.36
5	スカイクロス65	6.61
6	カルクール TA-37520	1.17
7	遮光ネット	0.16

2-3-3-2 雨よけハウス内環境の測定

□目的

雨よけハウスは間口部分が開放され、側壁は栽培者の判断で被覆材を巻き上げて栽培している。生産地で被覆材として使用されている P0 フィルム（ポリオレフィン系フィルム）は、通常5年から6年交換なしに敷設したままが現状である。経年劣化によって日射透過が漸減することは容易に予想される。そこで、被覆材を敷設してから4年経過したハウス内の環境を把握することを目的とし、経年劣化した P0 フィルムがどの程度の遮熱率があるかを明らかにすることを目的とした。

□方法

対象とした雨よけハウス：協力得た生産者の間口 5.4m、長さ 45m の温室（図 2-3-3-2(1)）

測定項目：温室内の風向、風速、短波放射、温度、湿度、外気温度、日射（図 2-3-3-2(2)）

測定期間：2021 年 9 月 6 日～8 日



図 2-3-3-2(1) 対象温室



図 2-3-3-2(2) 温室内測定の様子

□結果

測定期間は天候不順であったが、9月7日は晴れており日射も十分あったので、日射量が多い13:00前後のデータで温室内の放射を解析した。

1) 温室内外の気象：平均外気温は10.6℃で、外気温と日射の時系列変化を図2-3-3-2(3)に示す。

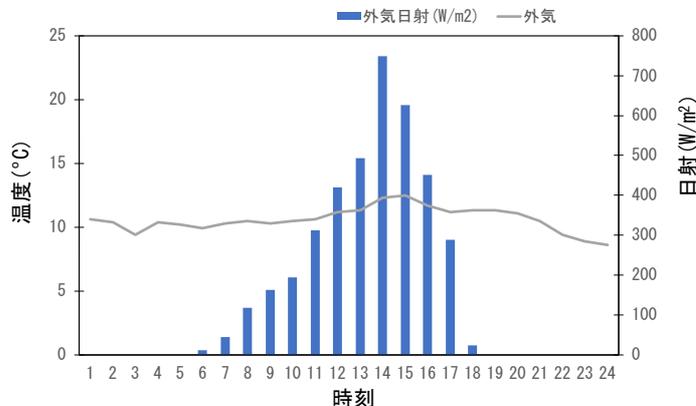


図2-3-3-2(3) 2021年9月7日の外気温と日射

2) 温室内：温室内の平均気温は14.8℃であった。これと温室内の上方からくる短波放射を図2-3-3-2(4)に示す。温室内の風速は日中が最も高く約0.7m/sであった。これを図2-3-3-2(5)に示す。

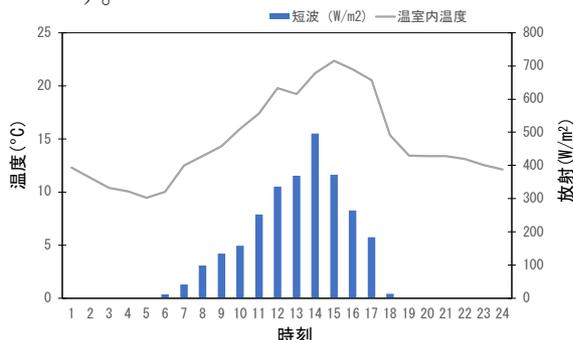


図2-3-3-2(4) 2021年9月7日の温室内気温と上方短波放射

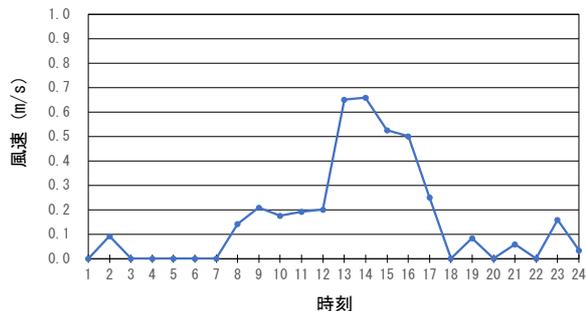


図2-3-3-2(5) 2021年9月7日の温室内の風速

3) 遮熱率：日射に対する温室内の上方からくる短波放射の比較を図2-3-3-2(6)に示す。前節と同様の計算を行った。最も日射が大きい14:00で33.6%であることがわかった。この値は遮光シートではサンテラ調光と同程度であることがわかった。

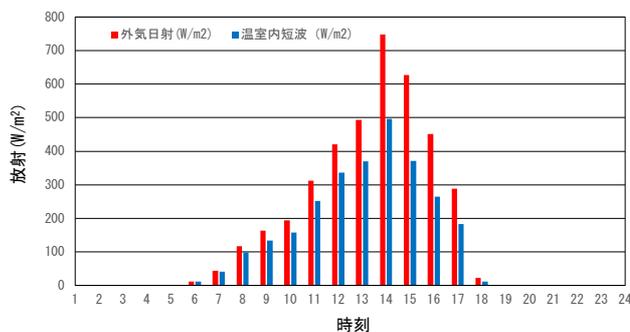


図2-3-3-2(6) 2021年9月7日の温室内外の短波放射の比較

【適応策】

市販の遮光シートの遮熱効果と現場の雨よけハウス内の温室内環境を測定したところ、市販の遮光シートは概ね50%～65%程度の遮熱効果をもつことがわかった。現地で検討されているシャ乱光は、約26%の遮熱効果であり熱エネルギーを防ぐという意味では最も低くなった。

敷設から4年経過したP0フィルムによるハウス内環境の遮熱の計測結果は、サンテータ調光使用時と同程度であった。現場では資材にコストを掛けられないため、遮光シートの導入は困難であり、P0フィルムの経年劣化で対応しているのが現状であるが、低コスト資材の導入なども検討すべきである。

2-3-4 病害虫の影響調査

2-3-4-1 ホウレンソウの病害について

気候変動によるホウレンソウへの病害の影響について、生産者に対するアンケート調査及び現地調査を実施した。アンケート調査より病気の発生時期は4～9月であり、特に5月以降に発生が多いことが示された。病気の種類としては、べと病、炭疽病、萎凋病が多かった。「殺菌剤の効果が低下したと感ずることがあるか？」についての回答は『はい(15.4%)：軟腐病(細菌病)、べと病(菌類病)いいえ(84.5%)』であった。10月22日の現地調査では、明らかな細菌病、菌類病は見られなかった。今回、コロナ禍のため調査の時期が遅れたため、これらの病気が発生する時期(～9月)を過ぎていたからと推察される。

10月22日の現地調査で見つかったモザイク症状を示すもの(図2-3-4-1(1))、葉脈間が黄化したもの(図2-3-4-1(2))や葉巻症状を示すもの(図2-3-4-1(3))はウイルス病が疑われた。電子顕微鏡で観察したところ、ウイルス粒子のようなものは観察されたが特定には至らなかった。そこで、病原の可能性のあるウイルスとして*Potyvirus*属ウイルス(ポティウイルス)、*Tobravirus*属ウイルス(トブラウイルス)、*Tobamovirus*属ウイルス(トバモウイルス)及びキュウリモザイクウイルスに的を絞り、検出を試みた。また、ハウスの近くに生えていた雑草(図2-3-4-1(4)：ハルジオン)がウイルスの伝染源である可能性を考え、ここからもウイルスの検出を試みた。



図 2-3-4-1(1) モザイク症状



図 2-3-4-1(2) 葉脈間が黄化した症状



図 2-3-4-1(3) 葉巻症状



図 2-3-4-1(4) 病徴を示すハルジオン

各ウイルスを検出するためのユニバーサルプライマーを用いて RT-PCR を行った結果、いずれのサンプルからも目的のウイルスは検出されなかった (図 2-3-4-1(5)~(8))。



図 2-3-4-1(5) ポティウイルスの検出結果

各種ホウレンソウやハルジオンからは矢頭の位置にバンドが出なかったためポティウイルス非感染であることが示された。



図 2-3-4-1(6) トブラウイルスの検出結果

各種ホウレンソウやハルジオンからは矢頭の位置にバンドが出なかったためトブラウイルス非感染であることが示された。



図 2-3-4-1(7) トバモウイルスの検出結果

各種ホウレンソウやハルジオンからは矢頭の位置にバンドが出なかったためトバモウイルス非感染であることが示された。

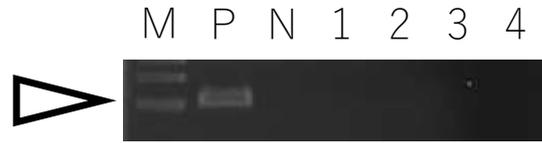


図 2-3-4-1(8) キュウリモザイクウイルスの検出結果

各種ホウレンソウやハルジオンからは矢頭の位置にバンドが出なかったためキュウリモザイクウイルス非感染であることが示された。

1 : ホウレンソウ (モザイク) 2 : ホウレンソウ (葉脈間黄化) 3 : ホウレンソウ (葉巻) 4 : ハルジオン
M : DNA サイズマーカー P : ポジティブコントロール N : ネガティブコントロール

RT-PCR では感染している病原体が特定できなかったため、先述した 3 つの病徴が異なるホウレンソウから抽出した RNA を用いて cDNA ライブラリを作成し、MiSeq (イルミナ社) による次世代シーケンス解析を行った。解析の結果、200 塩基以上の配列がそれぞれ 147、169、207 個得られたが、得られた配列のほとんどは植物ゲノム由来であり、ウイルス及び植物に感染する細菌や菌類由来のものは見いだせなかった。そのため、今回採集した植物の障害は、病原体由来ではなく生理障害である可能性も考えられた。

【適応策】

べと病、炭疽病、萎凋病はいずれも土壌伝染性の菌類病なので土壌消毒が必要である。殺菌剤の効果の低下すなわち薬剤抵抗性の増加については、他の薬剤が使えるか検討するとともに、薬剤だけに頼るのではなく、密植を避け、排水を良くして、過湿にならないように注意するといった耕種的防除法や、地温を上げて病原体の殺菌を試みるといった物理的防除法も組み合わせることで対応すべきと考えられる。ウイルス病に関しては今回の調査では明らかにできなかったが、もし夏場に発生が認められた場合は拡散防止措置として、罹病植物の廃棄（土中に埋没又は焼却）や伝染源となる雑草管理や媒介虫の管理など、伝染環を断ち切ることが必要になると考えられる。

近年の気温上昇や異常気象により、発生する病気は今とは少し異なることが予想される。特に、高温多湿化すると菌類病、細菌病の発生が頻発し、被害が拡大する可能性がある。また、雑草などの植生が変化することでウイルスを媒介する昆虫の侵入が危惧される。特にアブラムシは日本で広く発生するキュウリモザイクウイルスやカブモザイクウイルスを媒介する。これらのウイルスはハウレンソウに感染することから、今後注目していく必要がある。

2-3-4-2 ホウレンソウの虫害について

アンケート調査の結果、「殺虫剤・殺ダニ剤の効果が低下したと感じるか？」の問いに対し、「はい：58.3%」の回答を得た。このことから、殺虫剤・殺ダニ剤抵抗性は深刻していることが示された。気候温暖化により発生期間が長期化し、殺虫剤・殺ダニ剤の使用回数が増加しているのが主な原因と考えられる。

アンケートと聞き取り調査により、ハウレンソウで問題となっている主要な害虫として、ハウレンソウケナガコナダニ、アブラムシ類及びヨトウムシ類があげられた。

・ハウレンソウケナガコナダニ

使用薬剤：カスケード乳剤(キチン合成阻害)、アフーム乳剤(塩素イオンチャネル阻害)、ダニトロンフロアブル(ミトコンドリア電子伝達系 I 阻害)、コテツフロアブル(酸化的リン酸化の脱共役剤)
ハウレンソウケナガコナダニのこれらの薬剤に対する抵抗性は報告されていない。

・ヨトウムシ類

使用薬剤：アフーム乳剤、プレバソフロアブル(リアノジン受容体阻害)、アディオソ乳剤(ナトリウムチャネル阻害)。

これまでに複数のチョウ目害虫でプレバソフロアブル、アディオソ乳剤に対する抵抗性が報告されている。

・アブラムシ類

使用薬剤：ウララ水和剤(弦音ストレッチ受容体阻害)、アドマイヤーフロアブル(ネオニコチノイド系：ニコチン性アセチルコリン受容体阻害)、アディオソ乳剤。

ハウレンソウを加害するアブラムシとしてモモアカアブラムシが良く知られている。

モモアカアブラムシではネオニコチノイド系及び合成ピレスロイド系に対する抵抗性が報告されている。昨年度の本事業において、モモアカアブラムシのネオニコチノイド系及び合成ピレスロイド系に対する抵抗性遺伝子の検出法を確立した。しかしながら、本年の調査ではモモアカアブラムシは採集されなかった。一方、「これまで見たことのない黒いアブラムシが発生している」との報告があった。これについては形態学的な特徴及びミトコンドリア COI 遺伝子の塩基配列に基づく診断によってマメ

クロアブラムシであることが判明した。マメクロアブラムシの発生と気候温暖化の関係については現時点では不明である。

【適応策】

ホウレンソウケナガコナダニの薬剤抵抗性は報告されていない。今後、多くの圃場でホウレンソウケナガコナダニを採集し、各種薬剤に対する感受性試験を行い、実態を解明する必要がある。ヨトウムシ類についても、発生している害虫種の特定と抵抗性遺伝子の有無について調べる必要がある。さらに、マメクロアブラムシの発生と気候温暖化の関係について、今後追跡調査が必要である。

2-3-5 雑草の影響評価

当該地区のホウレンソウ栽培における当面の雑草防除対策を検討するとともに、将来の温暖化による強害草の発生状況の変化を予測するため、特に重要とされたゴウシュウアリタソウを対象として、①防除対策の現状を調べ、②現時点で取りうる防除法を既往文献に基づいて整理した。また、③数圃場を対象として土壌埋土種子数を調べ、④当該地区産の種子の発芽に対する温度反応の調査を行った。

2-3-5-1 雑草の発生と防除対策の現状

アンケートと聞き取り調査、圃場での植生調査から、当該地区のホウレンソウ栽培ではゴウシュウアリタソウ（ヒユ科）、スベリヒユ（スベリヒユ科）、コハコベ（ナデシコ科）、タネツケバナ（アブラナ科）、ミゾソバ（タデ科）、スズメノカタビラ、イヌビエ（以上イネ科）の発生が確認された。特に一部の圃場ではゴウシュウアリタソウがまん延して大きな問題になっており、地区内での分布も次第に拡大していることがわかった。

当該地区ではゴウシュウアリタソウの防除対策としてダゾメットによる土壌消毒のほか、播種前後に残草が多い場合にはジクワット・パラコート液剤の茎葉散布が行われるのが一般的で、播種後にアシュラム液剤、アラクロール乳剤の土壌処理が行われる圃場もあった。それでも抑草は不十分で、手取り除草が行われ、生産者によってはガスバーナーによる種子の枯殺が試みられているとのことである。

2-3-5-2 各圃場における防除対策の評価と改善策

除草剤のうち、播種前後に散布するジクワット・パラコート液剤（表 2-3-5-2(1)）は現存個体を効率的に防除でき、次作に向けて圃場を早期に準備するのに有効である。また、地表面の種子を枯殺する効果もあるとされている。開花・結実期以前に植物体を枯死させることができれば、後述のように埋土種子数を減らすことで中長期的にも有効な防除手段となりうるが、種子散布が始まってからの使用では効果は限定的である。また、種子寿命が長く、土壌中に多数の種子が長く生存している場合にはその効果を十分に実感するには至らない可能性がある。ガスバーナーによる枯殺効果も同様である。播種後のアシュラム液剤、アラクロール乳剤（表 2-3-5-2(1)）の全面土壌散布の効果はヒユ科のゴウシュウアリタソウには不十分と推定される。

一方、ホウレンソウ栽培では使用できないが、ニンジン栽培などではペンディメタリン乳剤・細粒剤、トリフルラリン乳剤の播種後出芽前全面土壌散布（岩崎 2004；東京都産業労働局 2012；全農営農・技術センター農薬研究室 2015）やリニュロンの播種後出芽始期全面土壌散布（全農営農・技術センター農薬研究室 2015）がゴウシュウアリタソウに有効である。したがって、これらの剤に登録のあ

る品目への一時的な切り替えか、そうした品目を含む作付体系を組むことは、有効な防除手段となりうる。

土壌消毒に関しては、埼玉県で行われた試験ではダゾメットよりもカーバムナトリウム塩液剤による土壌消毒の方がゴウシュウアリタソウの防除に有効だった（岩崎 2003）。したがって、現在ダゾメットを使用している圃場では、カーバムナトリウム塩液剤への変更によっても防除効果が高まる可能性がある。ただし、岩手県北で行われた試験では両剤に差はなかった（藤沢 2016）、条件の違いによって効果が異なる可能性は否定できない。

また、後述するように、ゴウシュウアリタソウの発芽数及び発芽速度は作期、特に播種後まもなくの土壌温度に左右されるので、ハウレンソウを連作する場合でも、許容される範囲で作期を調節することで出芽個体数を減少させることができると考えられる。

表 2-3-5-2(1) 2021 年 11 月現在でハウレンソウに登録のある除草剤一覧

除草剤の種類	使用時期	使用方法	対象雑草	その他の情報
IPC乳剤	播種直後	全面土壌散布	一年生雑草	イネ科に有効な除草剤
アシュラム乳剤	播種後～子葉1葉展開期			ヒユ科には効果が劣る
レナシル水和剤	播種覆土直後			ヒユ科には効果が劣る
アラクロール乳剤	播種直後			イネ科に有効な除草剤
セトキシジム乳剤	雑草生育期イネ科雑草3～5葉期 但し収穫7日前まで	雑草茎葉散布 又は全面散布	一年生イネ科雑草 (スズメノカタビラを除く)	
グリホサート系	耕起7日前まで（雑草生育期）	雑草茎葉散布	一年生雑草	非選択性除草剤
グルホシネート系	収穫7日前まで （雑草生育期は播種前又は畦間 処理）			
ジクワット・パラ コート液剤	播種前 畦間処理（雑草生育期但し、収 穫14日前まで）			

注) FAMICが提供する情報（<http://www.famic.go.jp>）に基づく。筆者が現地の使用状況を踏まえて一部情報を整理。

2-3-5-3 土壌埋土種子数—まん延防止対策と中長期的な対策の必要性

当該地区のうち、2021 年秋の時点でゴウシュウアリタソウの発生が認められた 3 圃場と認められなかった 2 圃場（表 2-3-5-3(1)）を対象として、11 月 17 日に表層から 15cm の深さまでの土壌を採種し、土層中に存在していた本種の生存種子数を調べた。その結果、ゴウシュウアリタソウの発生圃場では 11,000～48,000 粒/m² の種子が確認されたが、発生のない圃場では種子が検出されなかった（表 2-3-5-3(1)）。このことから、作型や土壌条件の違いがゴウシュウアリタソウの発生の有無を決めているのではなく、発生のなかった圃場には本種は未侵入であることがわかった。したがって、現在ゴウシュウアリタソウが発生していない圃場では、他の圃場から新たに持ち込むことのないように、農業機械による作業を最初に行うか、汚染圃場での使用後は面倒でも丁寧に洗浄するなどの対策が特に重要である。

また、発生圃場における埋土種子数の違いは直前の作での種子散布数の違いによる可能性がある。すなわち、埋土種子が最も多く検出された圃場 1-2 では 8 月中旬に収穫が行われたが、温度推移を考慮すれば、この時期にゴウシュウアリタソウが最も生育旺盛で、多数の種子が散布されたと推定され

る。ただ、今回検出された埋土種子数は過去に散布された種子の累積である可能性も残されており、それを明らかにするためには調査の継続が必要になる。そのうえで、仮に土中での種子寿命は比較的短く、埋土種子の大半が前作中に生産されたものだったとすれば短期間の徹底防除で根絶できる可能性があるし、逆に埋土種子の寿命が長く、長年にわたって蓄積したものであるなら、短期間での根絶は困難であり、それを前提とした対策を立てる必要がある。

ゴウシュウアリタソウに限らず、一年生雑草の根本的な防除対策は土壤埋土種子の根絶である。前項で述べた防除対策は、いずれも直接又は間接に土壤埋土種子を低減させる効果を有すると考えられるが、それらの有効性を明らかにするためには埋土種子数の消長の確認が必要であり、中長期的な課題となる。

表 2-3-5-3(1) ゴウシュウアリタソウの生育状況と土壤埋土種子数

圃場番号	経営者	ゴウシュウアリタソウ/調査日			直近の栽培状況 ^{3),4)}
		10月22日	11月17日		
		圃場での生育状況 ¹⁾	埋土種子数 ²⁾ (粒/m ²)		
1-1	A	++	-	15,000	9月上旬播種→ [除草剤散布 耕起省略] → 休耕
1-2	A	[調査せず]	+	48,000	8月中旬収穫→ [除草剤散布 耕起] → 10月播種
2	A	+++	-	11,000	8月中旬播種→ [除草剤散布 耕起] → 休耕
3	B	-	-	0	8月中旬播種→ [除草剤散布、耕起省略] → 休耕
4	B	-	-	0	8月中旬播種→ [除草剤散布、耕起省略] → 休耕

注：1) 遠視による現存量調査（個体数ではない）：-：不在、+：在、++：多い、+++：特に多い。

2) 表層から15cmの深さまでの土層中に存在していた生存種子数。

3) 一重下線、二重下線はそれぞれ調査日の10月22日、11月17日時点の作。□内は、前作終了後、次作前の作業を示す。

4) 前作終了の散布除草剤はジクワット・パラコート液剤。

2-3-5-4 ゴウシュウアリタソウ種子の温度反応、特に高温域での発芽率変化の可能性検討

10月22日に、表2に示した圃場1-1と圃場2からゴウシュウアリタソウを集団採種した。しかし、その時点では開花はみられたものの結実がほとんど確認されなかったため、植物体毎それぞれ100個体程度採取し、ガラス室内で種子の後熟を待った。その後、実験室内に移して果実から種子を取り出したところ、発芽能力のある種子がいくらか得られたため、それをを用いて次の発芽試験を行った。11月30日に種子を9cmシャーレに敷いた湿潤ろ紙上に播種して図2-3-5-4(1)左の図に示す20組合せの環境条件下に10日間置いて発芽数を調べた（いずれも30粒3反復の平均値）。

試験結果から、明条件（昼温、夜温の切替え時刻に合わせて夜温の間は暗条件）では27.5/17.5℃～37.5/27.5℃でよく発芽すること、15/5℃から27.5/17.5℃にかけては直線的に発芽数が増加することがわかった（図2-3-5-4(1)）。24時間暗条件では全ての温度で明条件よりも発芽が劣り、32.5/22.5℃程度で最もよく発芽した。ただし、明条件での発芽速度は高い温度帯ほど高く、15/5℃から37.5/27.5℃まで単調に増加した。試験結果から、気温が1.5℃上昇し、ハウス内でも同様の上昇があると、27.5/17.5℃以上の温度域では発芽数は変わらず、それより低い温度域では増加すると考えられる。これを現地でのハウレンソウ栽培の実態に即して考えれば、最も重要な盛夏の作では発芽数は変わらず、それよりも低い温度域で播種が行われる前後の作で発芽数が増加する可能性がある。また、発芽速度が速まれば土壤水分など別の要件が揃う短時間のうちに発芽を完了できる可能性は高まるの

で、活着・種子生産に成功する確率はどの温度域でも若干高まる可能性がある。なお、上述のとおり、この試験は後熟によって発芽能力を得た種子を対象として実施したものであり、圃場で成熟して自然落下した種子とは応答が異なる可能性がある。

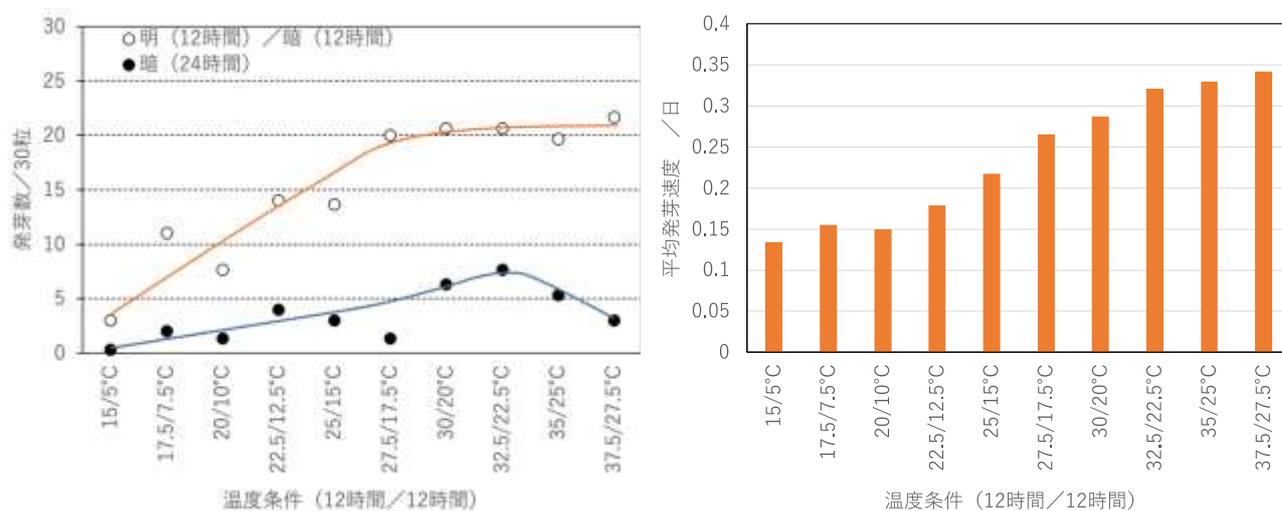


図 2-3-5-4(1) ゴウシュウアリタソウの種子発芽における温度反応

左は 10 日間の発芽数、右は明条件での平均発芽速度を示す。

【適応策】

ゴウシュウアリタソウは明条件でよく発芽し、15/5°Cから 27.5/17.5°Cにかけては直線的に発芽数が増加することが明らかとなった。ゴウシュウアリタソウの発芽数及び発芽速度は作期、特にホウレンソウ播種後まもなくの土壌温度に左右されるため、連作する場合でも、許容される範囲で作期を調節することで出芽個体数を減少させることができると考えられる。気温が上昇した条件でのゴウシュウアリタソウ個体群の消長と適切な管理法を明らかにするためには、今後、土壌埋土種子集団を含むゴウシュウアリタソウ個体群の動態を作期、管理作業との関連から解析し、残さがすき込まれるタイミングと結実率・種子生産量、休眠・発芽性の関連などについても検討を進めるべきである。

岩崎泰史. 2003. 野菜栽培における侵入雑草 (ゴウシュウアリタソウ) の生態とその防除対策. 埼玉県農林総合研究センター研究報告, 3, 71-74.

岩崎泰史. 2004. 野菜栽培における侵入雑草 (ゴウシュウアリタソウ) の生態とその防除対策. 関東雑草研究会報 15, 10-13.

藤沢巧 2016. 帰化雑草「ゴウシュウアリタソウ」に対する数種土壌くん蒸剤の防除効果. 研究成果情報 (東北農業・野菜花き (野菜)).

<https://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H25/yasaikaki/H25yasaikaki004.html> (2021年12月14日に確認)

東京産業労働局 2012. ニンジン栽培における黒マルチと太陽熱消毒による防除効果. 東京普及インフォメーション, 81, 5.

全農営農・技術センター農業研究室 2015. 外来雑草ゴウシュウアリタソウの防除方法. グリーンレポート 547, 16-17.

2-3-6 野生鳥獣の影響調査

2-3-6-1 アンケート調査

上の原地区における野生鳥獣の影響を調査するため、①生産者に対してアンケート調査を実施するとともに、②現地農場における野生鳥獣対策と侵入状況について現地調査を実施した。

□野生鳥獣による被害に関するアンケート調査について

上の原地区に農場がある生産者を対象に、野生鳥獣による農作物被害について意識調査を実施した。栃木県開拓農業協同組合の協力のもと、上の原地区に農場がある 20 人の生産者に対してアンケートを郵送で配布したところ、12 人から回答を得た（回収率 60%、有効回答率 55%）。

アンケート調査は、野生鳥獣による被害の認識、被害対策への意欲、被害対策の効果に関する認識、野生鳥獣や対策に関する科学的知識の 4 項目を潜在変数とした。それぞれに関連した観測変数として 15 問を作成し、回答方法は 5 段階のリッカート尺度とした（表 2-3-6-1(1)）。さらに、上の原地区における被害状況について自由回答項目を設けた。

回答者の年齢は 30 代から 70 代まで幅があった。上の原地区に農場があり居住もしている方が 10 人で、その他は周辺地区から通っていた。以下、それぞれの観測変数の平均値をもとに、結果の概要を述べる（図 2-3-6-1(1)）。

【被害認識】

- ・地区において、野生鳥獣による作物への被害が増えつつあるという認識は高い。
- ・実際に作物が野生鳥獣による被害を受けている瞬間を見たことがある生産者も多い。
- ・地区の鳥獣被害の様子について、家族や同業者と毎月のように話題にしている。
- ・自分の農地における鳥獣被害が深刻であると認識している生産者が多い。

【対策意欲】

- ・鳥獣被害が気にならないという考えには否定的な生産者が多い。
- ・被害対策の学習会への参加意欲はまだそれほど高くない。
- ・鳥獣対策に関わる作業が発生した場合の協力意識は十分に高まっていない。
- ・被害対策に予算をかけるべきであると考えている生産者は一定数以上いる。

【対策効果の認識】

- ・対策については、駆除や捕獲による方法を求める意識が高い。
- ・対策については、防護柵や環境整備による方法は駆除や捕獲よりも低い。

【科学的知識】

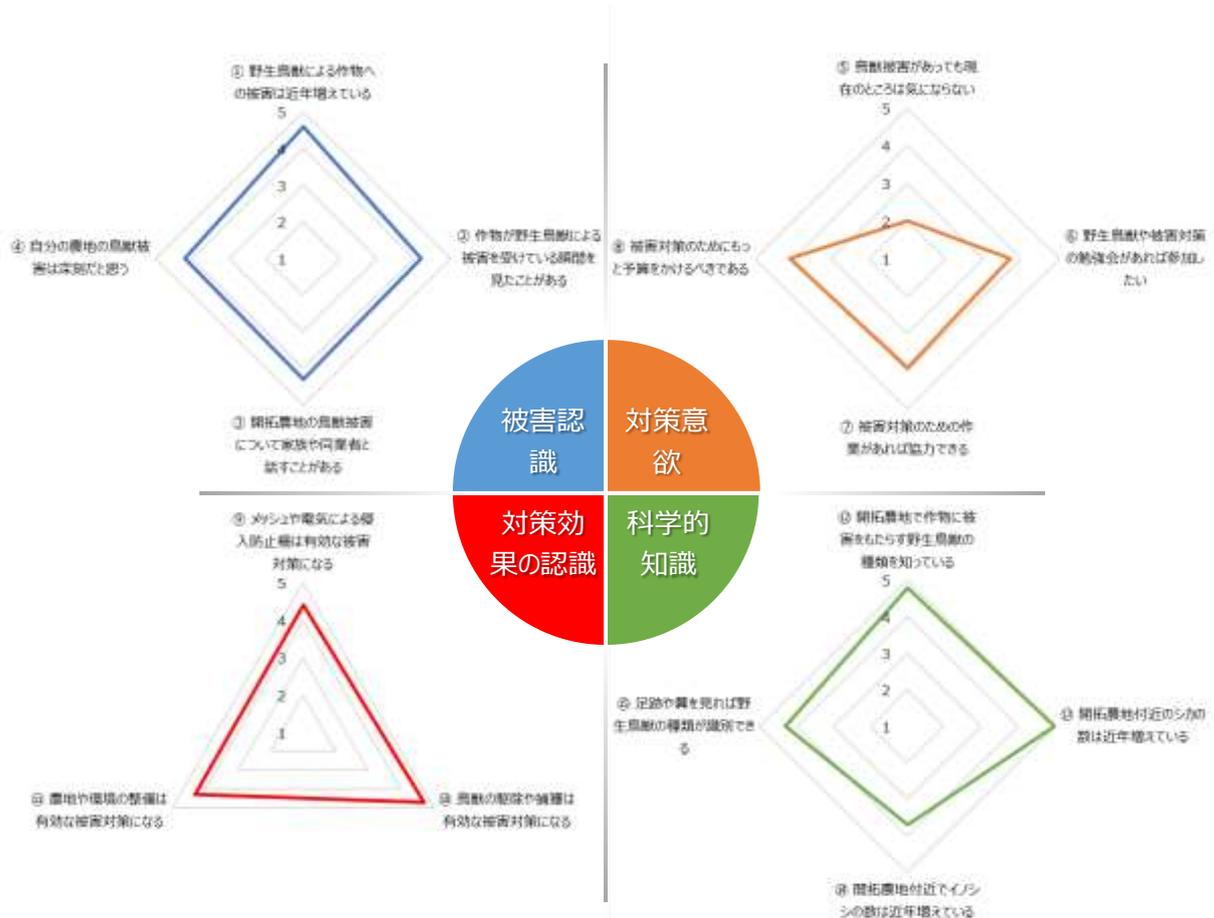
- ・加害獣に対する生産者の知見については、知っているという意識が高い。
- ・イノシシに比べて、シカによる被害の方が顕著であると認識されている。
- ・野生鳥獣の痕跡による識別能力については、わかるという生産者が一定以上いる。

【自由回答】

- ・かつて地区にはシカ、イノシシ、サルはいなかったが、近年急に増えてきた。
- ・シカは人慣れしており、人を見ても逃げることがない状況になっている。
- ・野生鳥獣の出没が増えている背景として、冬に積雪量が減る等、気候変動による影響があるのではないかと。

表 2-3-6-1(1) 上の原地区における野生鳥獣被害に関するアンケート調査項目

潜在変数	観測変数	平均
被害認識	① 野生鳥獣による作物への被害は近年増えている	4.6
	② 作物が野生鳥獣による被害を受けている瞬間を見たことがある	4.2
	③ 開拓農地の鳥獣被害について家族や同業者と話することができる	4.3
	④ 自分の農地の鳥獣被害は深刻だと思う	4.2
対策意欲	⑤ 鳥獣被害があっても現在のところは気にならない	2.0
	⑥ 野生鳥獣や被害対策の勉強会があれば参加したい	3.7
	⑦ 被害対策のための作業があれば協力できる	3.9
	⑧ 被害対策のためにもっと予算をかけるべきである	4.1
対策効果の認識	⑨ メッシュや電気による侵入防止柵は有効な被害対策になる	4.4
	⑩ 鳥獣の駆除や捕獲は有効な被害対策になる	4.7
	⑪ 農地や環境の整備は有効な被害対策になる	4.3
科学的知識	⑫ 開拓農地で作物に被害をもたらす野生鳥獣の種類を知っている	4.8
	⑬ 開拓農地付近のシカの数は近年増えている	5.0
	⑭ 開拓農地付近でイノシシの数は近年増えている	3.7
	⑮ 足跡や糞を見れば野生鳥獣の種類が識別できる	4.3



②③以外 1.全くそう思わない 2.あまりそう思わない 3.どちらとも言えない 4.ややそう思う 5.とてもそう思う
 ②③ 1.全くない 2.年に1回程度ある 3.年に数回ある 4.月に数回ある 5.日常的にある

図 2-3-6-1(1) 上の原地区における野生鳥獣被害に関するアンケート調査結果

2-3-6-2 現地農場における野生鳥獣の侵入状況について

上の原地区における生産者による野生鳥獣対策及び侵入状況を把握するための調査を実施した。このため、ドローンを用いた高解像度空中写真の撮影による圃場環境の確認と地図化及びセンサーカメラを用いた野生鳥獣の侵入状況について調査を行った。

【ドローンによる観測】

2021年10月18日14:00～15:00に、ドローン（DJI社製Mavic 2 zoom）を用いた上の原地区全域の観測を行った（図2-3-6-2(1)）。全体で199枚の画像を取得し、Agisoft Metashape Professional 1.7.5を用いて数値標高モデル（DSM）及びオルソ画像を作成した（図2-3-6-2(2)）。得られたデータは、ArcGIS Pro 2.8.3を用いて高分解能空中写真から、圃場の利用状況や侵入防止策の設置状況について予備調査を行い、野生鳥獣の出没が予想される地点にセンサーカメラを設置した。空中写真から、侵入防止策が上の原地区を囲むように設置されているものの、出入りの道路にはゲートが設置されていないこと、圃場にはそれぞれ個別に防護柵が設置されている様子が伺えた。また、上の原地区内には、耕作が行われている地区が多いが、一部は放棄地となっており、見通しの悪い高茎草本による草原が形成されて鳥獣にとって好適な生息地となりやすい環境も形成されていた。



図 2-3-6-2(1) ドローンの飛行計画（Litchi 2.9.1 を用いて作成）



図 2-3-6-2(2) ドローンによる画像から作成した上の原地区の3次元モデル

【センサーカメラを用いた調査】

2021年11月26日から12月24日にかけて、塩原高原野菜生産出荷組合長、栃木県開拓農業協同組合の協力のもと、自動撮影カメラを上原地区内の計8カ所に設置した。地上高約80cmの高さに木杭や柵を利用して、カメラを取り付けた。カメラの設置場所を図2-3-6-2(3)に示した。

短期間ではあったが、上原地区内において、シカ、カモシカ、サル、ハクビシン、タヌキ、ノウサギの6種の

野生鳥獣を撮影することができた。この内、最も撮影枚数が多かったのはシカであった。各地点において撮影された野生鳥獣を表2-3-6-2(1)に、また主要な撮影画像を図2-3-6-2(4)～(6)に示した。



図2-3-6-2(3) 自動撮影カメラ設置箇所

表2-3-6-2(1) 各地点で撮影された野生鳥獣

地点	確認された野生鳥獣
①	シカ
②	シカ、サル、ハクビシン
③	シカ、サル、タヌキ、ノウサギ
④	シカ
⑤	シカ、ハクビシン
⑥	シカ
⑦	シカ
⑧	シカ、カモシカ、サル

各地点の特徴と課題点は以下の通りである。

①は野菜残渣が野積みされ、侵入防止柵の外からも視認できることから誘引効果が高く、柵の下部には穴も空けられている。②と⑤は侵入防止柵の設置効果が難しく柵が機能していない沢に位置している。③は侵入防止柵の下部に穴が空いており、出入りの痕跡が色濃く見られる。④は地区に出入りする道路でフェンスがなく、周

囲から鳥獣が容易に侵入できる。⑥は水場となる貯水池があり、近くの柵は下部が持ち上げられ、侵入した形跡がみられる。⑦と⑧は食害を受けて栽培を放棄した餌資源となる残渣が放置されている。

【適応策】

こうした状況から、主要な加害獣であるシカをはじめとする野生鳥獣による被害管理においては、地区内において野生鳥獣の餌資源や生息場所としての価値を下げる環境整備が重要である。また、侵入防止柵は個々の圃場で正しく機能するように設置する必要がある。これらの対策を優先的に進めるとともに、加害個体の捕獲による駆除を併せて行うことも求められる。気候変動による積雪量の減少などにより冬期の野生鳥獣の死亡率が低下することから、野生鳥獣の個体数増加や分布域の拡大傾向は今後も続くことが予想されるため、鳥獣対策を地区でまとまって実施することはますます重要な課題となると考えられる。



図2-3-6-2(4) 柵内に侵入して野菜残渣を採餌するシカ (5) 放棄された高原大根の残渣を採餌するカモシカ (6) 柵に開いた穴から出入りするサル

2-4 代替作物

2-4-1 代替作物の品種

ホンレンソウの代替作物として、アブラナ科の新型野菜である、香味菜の2品種「チンゲンルッコラ」及び「ケールルッコラ」を供試した。「チンゲンサイルッコラ」は、「チンゲンサイ」とイタリア野菜である「ワイルドルッコラ」との属間雑種であり、「ケールルッコラ」は、「青汁ケール」と「ワイルドルッコラ」との属間雑種である（図2-4-1(1)）。

2-4-2 代替作物としての「香味菜」の特徴

- ・片親である「ワイルドルッコラ」のもつC₃-C₄中間型光合成特性を受け継いでいるので「ホウレンソウ」や「小松菜」などが栽培困難な夏場の時期でも栽培可能である。
- ・「ワイルドルッコラ」と「チンゲンサイ」及び「青汁ケール」のもつ機能性や食材の特性を併せ持っているため、「和洋中」の食材として幅広く利用可能である（図2-4-2(1)）。



図2-4-1(1) 香味菜2品種「チンゲンルッコラ」及び「ケールルッコラ」と両親種間の形態特性

「チンゲンルッコラ」(上写真中央)は、チンゲンサイとワイルドルッコラとの属間雑種であり、

「ケールルッコラ」(下写真中央)は、青汁ケールとワイルドルッコラとの属間雑種である。



図 2-4-2(1) 香味菜 2 品種「チンゲルッコラ」及び「ケールッコラ」を
メイン食材とした和洋中の料理

香味菜の 2 品種「チンゲルッコラ」及び「ケールッコラ」を、協力を得た生産者の圃場にて苗を定植し、1 ヶ月後に収穫し商品としての完成度を検討した(図 2-4-2(2))。その結果、10 月期には 2 品種ともに概ね 1 ヶ月で出荷できるものと判断した。

【適応策】

代替作物としての「香味菜」を利用することで以下のようなメリットが期待できる。

- 1) 8 月前後の高温の時期に代替作物として栽培できる。
- 2) 平地で「ハウレンソウ」が生産できる時期などに栽培サイクルを導入することで価格競争において有利な立場を保持するとともに、生産者の高収入が期待できる。
- 3) 「ハウレンソウ」との輪作で土壌消毒剤の使用量及び使用回数を減らすことで、土壌環境の保全及び生産者の健康維持に貢献できる。



図 2-4-2(2) 香味菜 2 品種の定植前のセル苗と定植 1 ヶ月後の収穫物

A、C、E; 香味菜「チンゲンルッコラ」

B、D、F; 香味菜「ケールルッコラ」

2-5 ワークショップ

2-5-1 市民向けワークショップの概要

気候変動が農作物に与える影響については、生産者から様々な問題を調査するだけでなく、市民が生活の中で農作物について認識・感じている問題を調査することで、生産者から消費者まで広範囲の影響を収集することができる。こうして得られた調査結果は、地域性を配慮した適切な対応策の提案にも繋がるのが予想される。また、市民と共に気候変動が及ぼす農業全般に対する影響や問題点を共有することで、気候変動に対する市民の意識を高める啓発的効果も期待される。以上の理由から、気候変動が農作物に与える影響と対応策を市民とともに考えるワークショップを2022年1月22日(土)に開催した(図2-5-1(1))。

**気候変動について
みんなで考えよう**
気候変動が農業に与える影響と対応策

近年の気候変動により、農作物の品質・収量の低下が懸念されます。
栽培している農作物に影響は出ていませんか？
生活の中で農作物への影響を感じることはありませんか？
ワークショップに参加して、気候変動が農作物に与える影響や
対応策をみんなで考えましょう。

●開催日
令和4年 **1月22日** 土 午後2時～

●会場
那須塩原市役所西那須野庁舎3階301会議室
(那須塩原市あたご町2-3)

●対象者
市民、市内勤務・通学者

●申込方法
氏名・住所・電話番号を記入して、メールでお申し込み
ください。
申込先
那須塩原市気候変動対策局
nccac@city.nasushiobara.lg.jp

●申込期限
令和4年**1月14日(金)**まで

定員 **20名** 参加費 **無料**

講師

宇都宮大学
バイオサイエンス教育研究センター
岡本 昌憲 准教授

QRコード

〈お問い合わせ〉那須塩原市 気候変動対策局
TEL 0287-73-5651 mail:nccac@city.nasushiobara.lg.jp

那須塩原市

図2-5-1(1) ワークショップのチラシ・ポスター

2-5-2 市民向けワークショップ

本市のホームページや上記のポスター等にて、ワークショップの開催を周知して参加を呼びかけたところ、19名(男性10名、女性9名)から応募があった。参加者の年齢及び職業の内訳は図2-5-2(1)のとおりで、多様な市民の参加があった。冒頭に、宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センターの岡本昌憲准教授が講師となって、温暖化の原因と農作物における影響事例を紹介した(図2-5-2(2))。また、本市の高原野菜の強みの一つである



図2-5-2(1) 参加者の年齢と職業

ハウレンソウと温暖化の影響について、2-3-1の項目で生産者から得たアンケート調査結果を紹介するとともに、ハウレンソウ栽培における高温による種子発芽不良や成長阻害などについて紹介を行った。また、これらの問題についての対応策などを紹介して、気候変動に適応した農業生産について参加者の理解を深めた。

続いて、参加者をランダムに4グループに分けて、宇都宮大学農学部 of 学生を各グループの進行と議論をまとめるファシリテーターとして配備し、気候変動が及ぼす農業全般に対する影響や問題点を調査した(図2-5-2(3))。



図2-5-2(2) 講義の様子



図2-5-2(3) グループワークの様子

その結果、気候変動に関する様々な問題点や事象が明らかとなった(表2-5-2(1))。農作物に対する影響について言及すると、「野菜価格の高騰や価格の変動」、「害虫の影響の拡大あるいは増加」、「品質低下や食味の低下」などの問題点が挙げられた。一方で、「県北部でもみかんの栽培ができるようになった」との意見も挙げられ、温暖化による影響は農作物の栽培にとってプラスに作用する面もあることが調査から明らかとなった。

これらを踏まえて、問題点に対する対応策を各グループで議論した結果、様々な観点からの対応策が提案された(表2-5-2(2))。ハウレンソウに対する対応策としては、耐暑性の高い新品種の開発のほか、夏季には発芽の際だけ涼しい環境で育てるなどの提案が挙げられた。また、それ以外の農作物全般について、SNS やメディアを活用して、見た目が悪くても品質に問題ない野菜の購買を促す活動や産地地消などの提案が挙げられた。また、温暖化に対応するために、元々南の地域で栽培されている野菜を本市に取り入れるなどの代替え農産物についても意見が挙がった。代替作物に関しては、味・

価格などについて消費者から理解を得られるようなプロモーションをインターネット・SNS を用いて行う方法や、試食会を通じた普及活動の提案がなされた。各グループで議論された内容に関しては、最後に各ファシリテーターが発表することで、参加者全員に情報を共有した。

表 2-5-2(1) 気候変動による農作物への影響
<ul style="list-style-type: none"> ・ 野菜の価格高騰。 ・ 米の食味の低下。 ・ 稲作で水不足の年がある。 ・ くず米が多い年がある。 ・ リンゴの味が変わってきている。 ・ 大根やホウレンソウなどの野菜の価格変動が大きくなってきている。 ・ イチゴ農家の方からイチゴ収穫量が減少したと聞いた。 ・ イチゴの粒が小さくなった。 ・ 県北部でもみかんの栽培ができるようになった。 ・ 高温多湿で病気になりやすい。 ・ 家庭菜園でカメムシなどの害虫が見られるようになった。 ・ 販売されているダイコンが青い、カボチャのタネが発芽していた。 ・ 野菜の病気に対応するために薬剤をたくさんかけてしまう。 ・ 高齢就農者が体力的問題や栽培方法(栽培時期や栽培品種など)への固執によって地球温暖化へ対応できていない。 ・ 地球温暖化だけでなく、大雨やひょうなどによる品質の低下。 ・ 病害の蔓延・激化。 ・ スーパーや直売所での販売価格の高騰。

表 2-5-2(2) 気候変動への対応策
<ul style="list-style-type: none"> ・ 暑さに適応できるような品種の育成とブランド化。 ・ ホウレンソウにおける対応策としては、発芽の際だけ涼しい環境で育てる。 ・ もみ殻やわらなど廃棄される物を利用した農業。 ・ 野菜バス（生産者から消費者に直接農産物を届ける仕組み）やソーラーシェアリング（太陽光発電を行っている場所の下で野菜を育てる）の普及。 ・ 気象予報の精度増加によって気象災害に対する備えをいち早く行えるようにする。 ・ 新品種やノウハウなどの情報を農家に伝えるネットワークの構築。 ・ 上昇した気温に対応するために、元々南の方で栽培されている野菜を那須塩原市に取り入れる。 ・ メディアや SNS、地域雑誌などで地産地消を促進。 ・ 見た目の悪い野菜の購買をメディアや SNS、地域雑誌を通じて促す。 ・ 代替作物の味・価格などについて消費者から理解を得られるようなプロモーションをインターネット・SNS を用いて行う。 ・ 代替作物については試食会などの場を設ける。

- ・ 作付けの時期を考える。
- ・ 補助金や人員の確保などの支援。
- ・ 行政との連携。

2-5-3 事後アンケートの結果

本ワークショップに参加した市民に対して、開催効果を評価するための事後アンケートを実施した。ワークショップに参加した19名全員から回答を得て、総合的な満足度については、「大変良かった」が7名(37%)、「良かった」が12名(63%)であり、参加者がワークショップに対して概ね肯定的に受けとめていたことが明らかとなった。また、ワークショップに参加して新たな発見がありましたか?という問いに関しては、「たくさんあった」が11名(58%)、「それなりにあった」が7名(37%)、「少しあった」が1名(5%)であり、本ワークショップを通じて市民への気候変動の影響や対応策に関する知識の普及や共有に役立ったことが確認できた。一方で、委託事業の終了後のフォローアップについて指摘もあり、今回のようなワークショップを継続的に開催していき、気候変動が農作物に影響を及ぼす問題を市民に普及・共有するための啓発活動が今後も必要であることが提案された。ワークショップに参加しての印象と今後の課題を表2-5-3(1)に記載した。

表 2-5-3(1) ワークショップに参加しての印象と今後の課題

- ・ 気候変動啓発活動をしていくことが重要だと感じた。
- ・ 大変有意義な時間だった。
- ・ 色々な立場の方が参加しているので、グループワークのテーマが難しいと思った。
- ・ 皆さんの意見を聞いて大変勉強になった。
- ・ 事業終了後のフォローアップまでお世話していただけると幸い。
- ・ 気候変動が農作物に与える影響と対応策を多くの人に知ってもらう必要があると思う。
- ・ 考えさせられる意見がたくさん出た。ワークショップの時間が足りなかった。
- ・ 色々な話が出て参考になった。
- ・ グループワークでいろいろな職種の方の意見や考え方を聞いて良かった。
- ・ 私たち個人もCO₂削減に少しでも貢献したいと思う(例：ゴミの削減、マイボトル等…)。
- ・ 農業従事者、消費者、生産者の話が聞いて良かった。
- ・ それぞれの思いが聞いて良かったと思う。
- ・ 全員が真剣に考えており、良かった。
- ・ インターネットの活用など、PRが大切だと思う。
- ・ 色々な意見が出て、みんな考えているのだと改めて感じた。
- ・ 地球温暖化について皆さんと知れて良かったと思う。農業は実際に経験していないと難しい。

2-6 将来予測計画

品質と生育面への影響における将来の予測モデルの構築

近年のデータから、夏季の気象は不安定になってきており、各地での豪雨災害が梅雨明けを過ぎても発生しており、その頻度が高くなってきている。また、秋冬季においては本格的な冬の到来が遅くなってきている。冬季も冬型の気圧配置が長続きせず、春先の天気図が厳冬期に見られるようになってきている一方で寒暖の差が激しく大雪に見舞われるなど、気象の変動幅がこれまでの常識を逸脱する極端な気象事象が増えてきている。

温度反応試験の結果から、高温によりハウレンソウの発芽と生育が抑制されること、30℃で栽培すると葉の黄化が進行するとともに生産量が低下し、早期に開花が起きて商品価値を失う。以上の結果から、今後の温度上昇が発芽、生育・生産性及び抽台・開花に大きな影響を及ぼすことが予測される。より正確な影響予測を可能とするモデルの構築のためには、以下のデータが必要となる。

2-6-1 長期モデル

1) 必要なデータ

将来の予測モデルの構築のためには、塩原高原の生産地域（那須塩原市上の原地区）付近の微気象データ（日最高気温、日平均気温、ハウス内最高気温、ハウス内平均気温など）の収集と、環境調節室における温度別の主要ハウレンソウ品種の発芽、成長、抽台・開花について品種毎の反応性についての詳細なデータを収集する。

データはアメダスの他、上の原地区の栃木県開拓農業協同組合塩原高原支所に設置された気象センサーを活用する。また、生産組合において、ハウス内気温の測定を行う。

また、ゴウシュウアリタソウを例にして、気候変化による雑草の繁殖率の変化についてのデータを収集する。

2) 予測手法

気候変動のシナリオ(RCP8.5)を想定し、予測気温データ(図2-6-1(1))と温度別の生育データからハウレンソウの発芽と生育状況及び雑草生育によるハウレンソウの生育阻害と作業効率の低下を予測する。特に、上の原地区の気温と、ハウス内気温の予測を行う。

3) データ活用

将来の年別に季節毎の予測気温をもとに、季節毎に使用する品種の選定を行う。高温はハウレンソウ種子の発芽に影響し、今回供試した9品種においては、18℃から30℃の範囲では1℃上昇すると約4.3%発芽率が低下すると予測される。ハウス内平均温度は2020年の18℃前後から2100年には22℃程度まで上昇すると予測される(図2-6-1(1))ことから、ハウレンソウの発芽への影響が顕在化することが予測できる。一方、雑草(ゴウシュウアリタソウ)については、平均気温1℃上昇あたり4.1%の発芽率増加につながるため、2100年に向けて本雑草のリスクが高まることが予測できる。

これらの予測データを生産組合及び生産者に周知し、生産計画に利用する。

4) 課題

ハウス内気温については、栃木県開拓農業協同組合及び生産者の自主的なデータ収集が不可欠である。また、平均気温のゆるやかな上昇に対してはハウレンソウの生育についての予測が可能であるが、短期的な極端な変動に対しては予測することが難しい。そのために、短期的な気象予測の重要性が増すと考えられる。

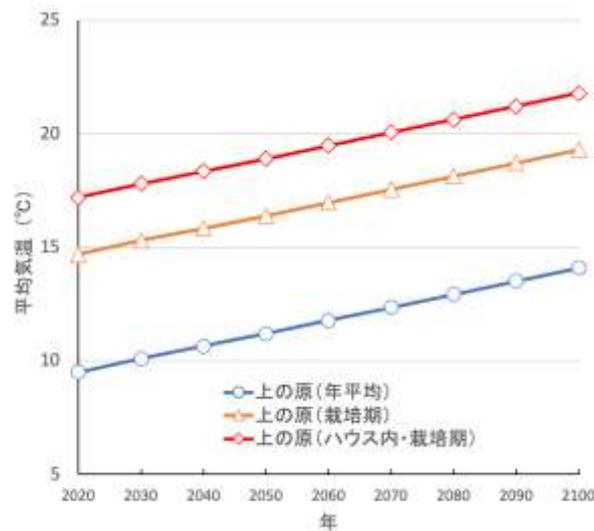


図 2-6-1(1) ホウレンソウ生産地（上の原地区）の年平均気温、栽培期（4～10月）平均気温及びハウス内・栽培期平均気温の将来予測例

アメダス黒磯観測所データと RCP8.5 シナリオから算出.

上の原地区の代表地点を標高 900m、ハウス内気温は外部気温より平均 2.5°C高いと想定した.

2-6-2 短期的な気象予測サービスの構築

作付け時に、播種から収穫までの期間（1～2ヶ月）の気象（平均気温・日照時間など）を予測できれば、適切な品種を播種することができ、成長不良や過繁茂によるロスを軽減することができ、持続的な経営に資すると考えられる。

1) 必要なデータ

微気象データ（日最高気温、日平均気温、ハウス内最高気温、ハウス内平均気温など）の収集と、温度による品種毎の反応性についての詳細なデータ。気象情報会社による予報データの定期的な入手。

2) 手法

天気予報・予測気温データからホウレンソウの播種時から収穫までの生育ステージを加味したモデルを作成する。

3) データ活用

気象と生育との関係モデルを生育時期（季節）毎に示す。特に、播種後 1～2ヶ月間の累積温度の予測により、最適な品種を選択する。

4) 課題

品質低下や、夏季における成長遅滞に耐性を持ち、予測された栽培期間の気候に適する品種群を選択するために、生産者、生産組合及び種苗会社との密接な連携が課題となる。また、気象情報会社は通常は農業目的のための予報を行っていないため、本市の産地と気象情報会社との連携が課題となる。

2-7 まとめ

国の指定産地であり、本市の農業生産の中でも重要な高原ホウレンソウについて、気候変動の影響を明らかにするとともに、適応策について検討した。アンケート調査、環境計測、生育調査、病虫害の調査、雑草の影響評価、野生鳥獣の影響調査などを行った。また、ホウレンソウ産地としての本市の気候特性の分析、ホウレンソウの温度反応性についての実験と分析などを通して、今後の気候変動による影響のモデリングを試みた。さらに、環境変化に適応するための、代替作物について検討した。

ホウレンソウ産地においては、温暖化対策とともに夏季の大雨対策の強化が求められる。また、冬季においても多積雪と温暖化によって雪質が変化し、含水率が増える可能性もあるため、栽培施設の強化などが必要になると考えられる。特に、気温の変動が激しくなっており、約85%の方が「気候の変化によりホウレンソウの形態・品質が変化した」と感じており、その変化の内容として「軟弱になった」「春、秋の日照不足により品質が悪い(葉、茎が細い)」「萎凋病発生時期の前倒し(早期化)」「高温と強い日差しでホウレンソウの葉が日焼けする」という意見が多く、温暖化の影響を強く受けていると考えられる。

高温はホウレンソウ種子の発芽に影響し、今回供試した9品種においては、18℃から30℃の範囲では1℃上昇すると約4.3%発芽率が低下すると予測された ($y = -4.3x + 145.2$, $R^2 = 0.644$)。26℃と30℃の高温環境下で、生育に与える温度反応性を解析したところ、夏季用品種群が比較的高い生産性を示し、気候に適した品種の使用の重要性が示された。

市販の遮光シートの遮熱効果と現場の雨よけハウス内の温室環境を測定したところ、市販の遮光シートは概ね50%~65%程度の遮熱効果をもつことがわかった。一方、敷設から4年経過したPOフィルムによるハウス内環境の遮熱の計測結果は、遮光資材(サンテータ調光)と同程度であった。

病害の発生時期は4~9月であり、特に5月以降に発生が多く、特にべと病、炭疽病、萎凋病が多かった。今後の病虫害の動向を予測するためには、夏季の発生状況についてさらに調査する必要がある。虫害では、現地で報告された「黒いアブラムシ」について、形態学的観察及びミトコンドリアCOI遺伝子の塩基配列に基づく診断によってマメクロアブラムシであることが判明した。マメクロアブラムシの発生と気候温暖化の関係については現時点では不明であり、さらなる調査が必要である。鳥獣害としては、シカ、イノシシ、サルが近年急に増加している。野生鳥獣の出没が増えている背景として、気候変動による影響があると予想される。

温暖化により雑草害の増加も懸念されている。雑草の中でも近年被害が増加しているゴウシュウアリタソウの発芽試験を行ったところ、明条件で発芽が促進され、15/5℃から27.5/17.5℃にかけては直線的に発芽数が増加し、明条件での発芽速度は15/5℃から37.5/27.5℃まで単調に増加した。これらの結果から、気温が1.5℃上昇すると、27.5/17.5℃以上の温度域では発芽数は変わらず、それより低い温度域では増加すると推定されることから、特に、盛夏よりもやや低い温度域で播種が行われる作型で、温暖化により発芽数が増加すると予測された。

以上のように、春や秋の栽培における高温による過剰な成長による品質低下や、夏季における成長遅滞などが顕在化しているため、ホウレンソウの生育期間である1~2ヶ月間の天候・気温のより正確な予測が必要となっている。また、その予測された栽培期間の気候に適する品種を選択し、適切な管理を行うことが重要になる。これは生産者、生産組合と天気予報会社及び種苗会社とのより密接な連携により、総合的な生産システムの構築が期待される。

3 防災

3-1 概要

近年、世界各地で大雨や干ばつ、異常高温など極端な気象・気候現象が発生している。我が国でも、2010年代から豪雨の激甚化が顕著になり、毎年のように甚大な河川災害が発生している。関東地方では、2015年9月関東・東北豪雨や2019年の令和元年東日本台風などは記憶に新しい。気象庁は、これらの気象現象に地球温暖化が影響しているという見解を公表している。地球温暖化が進行すると、このような気候変動による水害をはじめとした災害が増加すると考えられる。

降水量の増加による河川水位の上昇等による外水氾濫を防ぐには、堤防をはじめとしたハード対策が重要であるが、予算が限られる中で気候変動に対応できるだけのハード整備を行うのは困難である。本市は、関東平野の外縁部の中山間地域にあつて自然も豊かである。そこで、自然環境が有する多様な機能を積極的に活用するEbA（Ecosystem-based Adaptation）を導入することにより、地域の防災・減災だけでなく、居住環境の向上も含めた多様な効果を期待することができる。そこで、市域の水害リスクを踏まえたEbA導入策について調査を実施するとともに、導入に伴う住民の合意形成の方向性についても検討することにした。

まず、調査内容として、水害リスクと緑地環境を指標として、EbAを戦略的に導入する方策について検討し、EbAの効果を検証した。つぎに豪雨の激甚化に伴う土砂災害の危険性について、地盤工学的検討を加えた。さらにEbA導入事例とその際の合意形成の状況について調査した。

つぎにEbAについて住民の理解を促すためのワークショップの実施状況について報告するとともに、降雨の将来的予測に基づくEbA適応策の検討の方向性について述べることにする。

3-2 調査結果

3-2-1 EbAによる水害対策強化・リスク軽減の検討・評価

(1) はじめに

近年、気候変動による水害の激甚化・頻発化が課題となっており、もはや河道だけでなく、堤内地の整備をも含めた流域治水による適応が求められている。その際、EbA (Ecosystem-based Adaptation) の導入は、自然環境が有する多様な機能を積極的に活用することで、地域の居住環境の向上や防災・減災等について多様な効果が期待できるものとして注目されている。ただし、地域に面的に導入する施策が多いので、地域住民に広く合意形成を図る必要があり、EbA 導入に際しては、住民にわかりやすい進め方が必要となると考えられる。

これについて、対象地域をいくつかの地区に分け、災害リスクと緑地環境を数値化してゾーニングし、GIS 上で可視化した例があり、地域全体を俯瞰して戦略的に EbA 導入を検討できることを示している。ただしこの事例は、汎用的な手法とするために、行政により作成されたオープンデータのみを用いることにしており、未整備なデータ、特に最近重要視されてきた内水氾濫について考慮できないでいる。

そこで本調査では、氾濫解析ソフトウェアを用いて内水氾濫シミュレーションを実施し、これを災害リスク評価に含めることで、より現実的な EbA 導入策を検討することにする。

(2) 調査方法

EbA 導入策を検討するにあたり、市域を標準地域メッシュで覆い、メッシュ毎に災害リスク及びEbAポテンシャルを評価する (図 3-2-1(1))。標準地域メッシュは、緯度 30 秒、経度 45 秒で区切ったメッシュ (およそ 1km 四方、面積約 1.291km²) で、行政機関により様々なオープンデータが整備されている。

ここでは、災害リスクの評価指標には、メッシュ毎の河川氾濫及び内水氾濫による浸水想定区域の面積率を用いる。前者については、国土数値情報に「浸水想定区域」として、想定最大規模降雨に対する河川氾濫解析の結果が提供されている。後者については、まだオープンデータが整備されていないので、自分で解析する必要がある。本研究では、国内でよく普及している iRIC の Nays2D Flood ソルバーを使用して内水氾濫解析を行った。このソフトウェアは国土数値情報の標高データを活用した解析が可能である。解析に用いる雨量時系列は、令和元年東日本台風のものを想定最大規模降雨量まで引き伸ばしたものとした (図 3-2-1(2))。そして解析結果をもとに、最大浸水深 20 cm 以上を浸水域とした。



図 3-2-1(1) 標準地域メッシュ

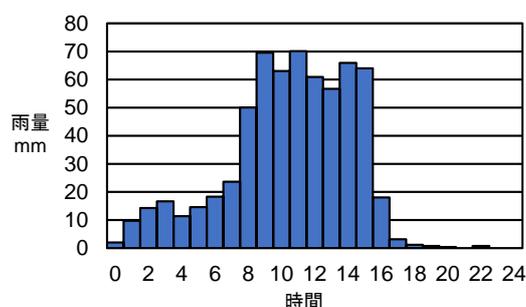


図 3-2-1(2) 降水量時系列

また、EbA ポテンシャルの評価指標として、国土数値情報の土地利用データからメッシュ毎の森林、田んぼ、農用地の合計面積を算出し、緑地面積率を求めた。

(3) 調査結果

図 3-2-1(3)は、内水氾濫の解析結果をもとに最大浸水深の状況を示したものである。内水の動きが、地形に沿って北西から南東に向かって流れ、平野部の市街地で浸水域が広がっている。最大浸水深は、河川沿いを中心に高い数値を示すとともに、平野部の市街地においても 1m を超える数値を示す箇所が多く見受けられた。内水氾濫を考慮することの重要性がうかがわれる。

次に、森林、田んぼ、農用地の分布は、図 3-2-1(4)に示した結果となった。緑地は、那須塩原市西部に多く分布し、平野部の市街地では平均よりも下回ることがわかった。

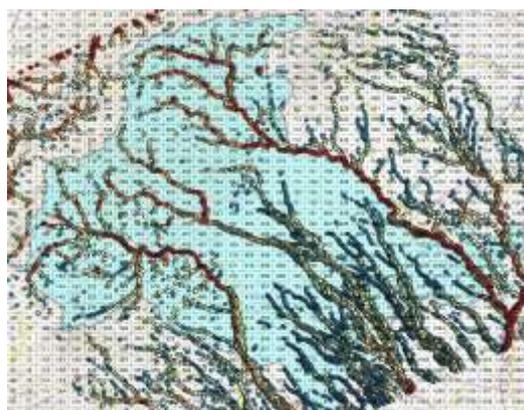


図 3-2-1(3) 最大浸水深の分布状況

凡例	浸水深
Blue	0.2~0.5m
Light Green	0.5~1m
Yellow	1~2m
Orange	2~5m
Red	5m以上

表 3-2-1(1) ゾーン区分

区分		災害リスク	
		大	小
緑地	大	ゾーン 1 (60)	ゾーン 2 (381)
	小	ゾーン 3 (133)	ゾーン 4 (84)

※「大」「小」は平均値との大小。
() 内は該当するメッシュ数。
各ゾーンの色は、図 3-2-1(5)の凡例。



図 3-2-1(4) 森林、田んぼ、農用地の分布状況

以上の結果をもとに、災害リスク及びEbA ポテンシャルそれぞれの平均値を基準にして、表 3-2-1(1)のように 4 つのゾーンに区分する。図 3-2-1(5)は、メッシュ毎にゾーニングした結果を示したものである。表 3-2-1(1)には、各ゾーンに該当するメッシュの個数も示した。

図 3-2-1(5)を見ると、「災害リスク大、緑地小」のゾーン 3 が平野部の市街地及び河川周辺地域に多く分布していることがわかる。ゾーン 3 では、そのメッシュの中だけでEbAを整備しても、大きな治水効果を得ることは困難と推察される。そのた

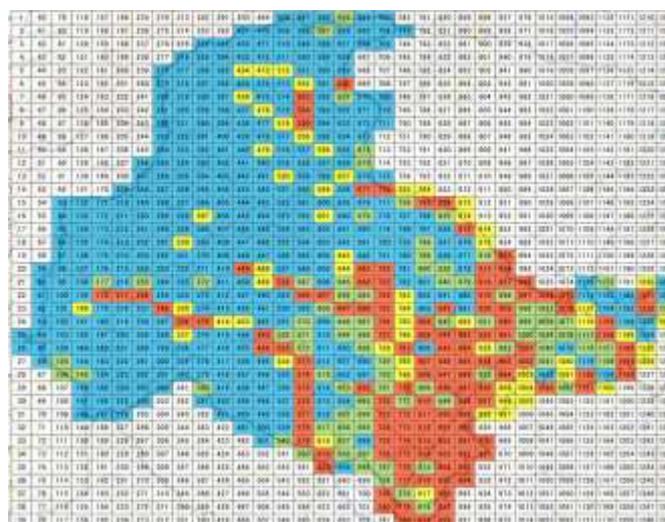


図 3-2-1(5) ゾーニング結果 (色分けは表 3-2-1(1)参照)

め、いくつかのメッシュをまたいで、「災害リスク小、緑地大」のゾーン2でEbAを導入することにより、地域全体で広域的な効果を検討する必要がある。その際、EbA整備の恩恵を受けるゾーン3の住民とゾーン2の住民の間に十分かつ持続的な合意形成が図られるように工夫することにより、地域全体の防災意識を高めることが重要といえる。

(4) EbAの効果の検証

ゾーン2でEbAを導入することでどれだけ浸水被害を抑制できるか、市域の一部地域（西那須野周辺）について3つの条件下で氾濫解析を行った。計算条件は表3-2-1(2)に示す通りで、解析結果（最大浸水深）を図3-2-1(6)(a)～(c)に示す。

表 3-2-1(2) EbAの効果検証の解析条件

ケース	降雨	農地貯留
Case0	想定最大規模降雨	なし
Case1	想定最大規模降雨	東北自動車道の北側の農地
Case1b	想定最大規模降雨	Case1に東北自動車道の南側の田んぼを追加

Case0は何も対策せずに降雨を与えた場合で、浸水深が1mに及ぶ領域（赤色部分）が2つ見える。Case1は東北自動車道よりも北側で農地貯留を設定した場合で（設定箇所は図中で赤くなっている）、浸水深の深い領域の状況が緩和されているのがわかる。Case1bは、Case1に加えて東北自動車道のすぐ南にも農地貯留を設定したもので、Case1より浸水状況が緩和されていることがわかる。

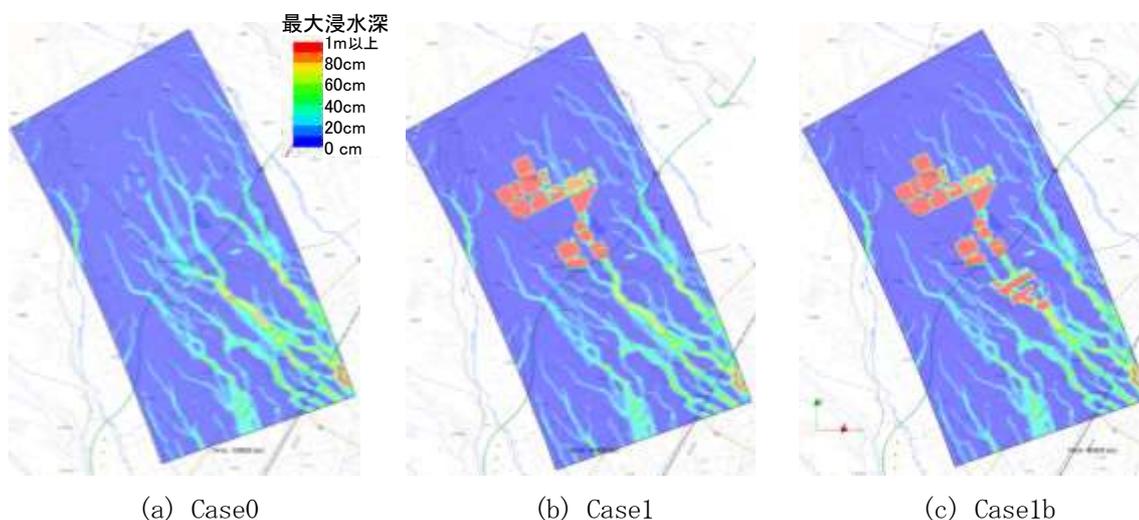


図 3-2-1(6) 農地貯留の効果（最大浸水深）

3-2-2 斜面崩壊による水害激甚化に対するEbA導入

(1) 検討項目

豪雨時の水害激甚化に対する河川周辺地域の土砂災害は、河川への崩壊土砂や倒木の流入など被害拡大として密接に関係している。水害に限らず災害対策の概念上、自然災害に対し脆弱な土地の開発を避けることは必然であり、そのような場所での生態系の保全と再生を図るなど生態系を活用した適応策を含めEbA概念の適用が昨今求められている。ただし、これら適用策の議論を行う上で、検討対

象地域の地形や地質／土質を調べた上で、その地盤の物理・力学特性の把握が必要不可欠であるとともに、該当地区で土砂災害が起こりやすいかどうかを事前に把握しておくことが必要である（災害脆弱性の把握）。

本検討では、市内4地点の地盤（土）の物理・力学特性を把握するとともに、土の物理・力学特性を用いて斜面安定解析を行い、降雨による地下水水位上昇を想定し、地下水位の深度に応じた斜面崩壊危険度の把握を行った。なお、地区一帯に分布している代表的な土を検討対象とするため、検討対象は自然斜面や切土・地山部とし、昨今、社会問題とされる人工改変された盛土や埋立地盤は、土の出自が不明なこともあり検討対象から除外した。

（2）現地調査及び現場試料採取

市内における4地点において、土試料の採取及び現地調査を10月18日～19日の2日間にわたり行った（検討対象地点：那須塩原市西那須野地区（烏ヶ森公園）、那須塩原市塩原地区（旧文化会館跡地）、那須塩原市黒磯地区（埼玉地区）、那須塩原市板室地区）。

上記4か所のうち、那須塩原市西那須野地区（烏ヶ森公園）、那須塩原市塩原地区（旧文化会館跡地）、那須塩原市板室地区（沼ッ原湿原付近）の3地点において

- 砂置換法による土の現場密度試験方法 JIS A 1214:2020
- スクリューウェイト貫入試験方法 JIS A 1221:2020

の2項目の試験を実施し、検討対象地盤（土）の密度や強度の把握を行った。また、後述する室内試験用の土試料（各地点約40kg前後）を採取した。なお、那須塩原市黒磯地区については、土中の石や礫が多く大型重機等が必要であり上記の試験が所有機材では実施できない地盤（土）であったため実施を断念している。このため、斜面安定解析は市が提供した情報を基に実施した。

両試験結果より3地点の深度4mまでの地盤や土の状態を把握、その結果、各値は極端に高い、あるいは低い値は示しておらず、調査地点は盛土や客土された場所ではなく地山、自然堆積地盤であることを確認した。これら情報は、力学試験の試験条件の際に使用した。

（3）土質物性試験による採取土砂の物理特性の把握

現場調査の際に採取した土砂について以下の土質物性試験を実施し、得られた各値からその土の工学的分類を行うとともに、工学的特徴及び斜面安定解析を実施する際の土の特性値を把握した表3-2-2(1)。各試験によって得られた土の特性値を表3-2-2(2)に示す。この結果は、後述する斜面安定解析において土の物理定数（物理パラメータ）として使用した。

表 3-2-2(1) 調査地点の現場密度及び換算 N

	現場含水比 $w_n(\%)$	乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	最大換算N値 (0m~4m)	平均換算N値 (0m~4m)
那須塩原市西那須野地区	105.0	0.6	4.8	3.3
那須塩原市塩原地区	76.6	0.6	14.4	6.3
那須塩原市黒磯地区	※	※	※	※
那須塩原市板室地区	65.4	0.6	3.0	2.7

表 3-2-2(2) 調査地点採取土の物理定数

	土粒子密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_P(\%)$	塑性指数 I_P	細粒分含有率 $F_c(\%)$	透水係数 $k(\text{m}/\text{s})$
那須塩原市西那須野地区	2.765	127.0	75.9	51.1	82.1	5.78×10^{-10}
那須塩原市塩原地区	2.723	102.5	55.3	47.2	70.6	4.25×10^{-10}
那須塩原市黒磯地区	※	※	※	※	※	4.25×10^{-10}
那須塩原市板室地区	2.757	NP	NP	NP	12.6	1.56×10^{-4}

- 走査電子顕微鏡 撮影 ○ 土の液性限界・塑性限界試験方法 JIS A 1205:2020
- 土粒子の密度試験方法 JIS A 1202:2020 ○ 土の粒度試験方法 JIS A 1204:2020
- 土の透水試験 JIS A 1218:2020 ○ 地盤材料の工学的分類 JGS 0051:2020

4 地点にて採取された表層部分の土は、各土質物性試験結果により以下に分類される。

- ・ 那須塩原市西那須野地区(烏ヶ森公園)：火山灰質砂質細粒土 (関東ローム)
- ・ 那須塩原市塩原地区(旧文化会館跡地付近)：火山灰質砂質細粒土 (関東ローム)
- ・ 那須塩原市黒磯地区：玉石混じり砂礫 洪積砂礫層(那須塩原市 提供データ)
- ・ 那須塩原市板室地区：火山灰質細粒分混じり砂

(4) 土質力学試験による採取土砂の力学特性の把握

地盤や土の強さ(せん断抵抗)を検討する場合、しばしば下記式であるモール・クーロンの破壊基準にて評価を行うことが求められる。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

ここに、 τ_f ：破壊時のせん断応力、 c ：粘着力、 σ ：平均(有効)応力、 ϕ ：内部摩擦角。
 式中のせん断強度の各定数(粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ)は土質力学試験にて把握することから非排水

三軸圧縮試験、バンダーエレメント試験をそれぞれ実施した。両試験より得られた各地点の力学定数を表 3-2-2(3)に示す。

表 3-2-2(3) 調査地点採取土の力学定数

	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	変形係数 $E(\text{kN/m}^2)$
那須塩原市西那須野地区	5.0	40.0	26454
那須塩原市塩原地区	6.0	36.7	31122
那須塩原市黒磯地区	※0	※41	※32300
那須塩原市板室地区	0.0	38.0	38538

力学試験の結果、西那須野地区及び塩原地区の表層土は、細粒土にも関わらず粘着力 c と内部摩擦角 ϕ の両方の力学特性を持つ土である。一方、板室地区の表層土は、粗粒土であったこともあり粘着力 c の値はゼロであり、内部摩擦角 ϕ のみもつ土であった。これらの値は、土質物性試験の結果同様に斜面安定解析にて力学定数として使用した。

(5) 採取土砂の土質物性及び力学特性による斜面安全解析

土質物性試験、土質力学試験によって得られた土質特性を用いた仮想模擬斜面(斜面勾配が 30 度、50 度)を作製し、降雨により地盤内に水が浸入し地下水位が上昇した場合における斜面の安定性を検討するため、二次元斜面安定解析を実施した。本検討では、斜面安定解析は、せん断強度低減法を用いた(解析ソフト: SoilWorks (MIDAS IT 社製))。せん断強度低減法は、弾塑性 FEM 解析法を用いて面安定問題の全体安全率 F を評価する手法であり、斜面安定の検討において実務上一般的に用いられる手法の一つである。解析で用いた模擬斜面の概要を図 3-2-2(1)に示し、解析結果の例を図 3-2-2(2)に

示す。なお、斜面勾配 30 度は、『土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律』における“急傾斜地”の勾配角度に相当する。

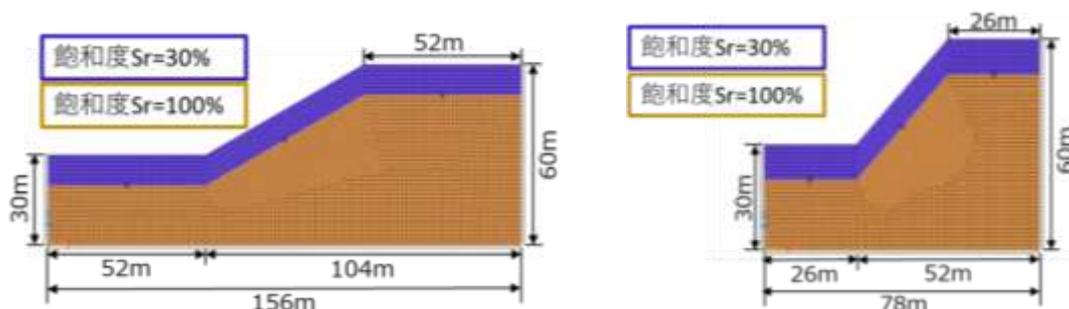


図 3-2-2(1) 斜面安定解析の地盤条件（左：勾配 30 度、右：勾配 50 度）



図 3-2-2(2) 板室地区 解析結果例 地下水位=地表面（左：勾配 30 度、右：勾配 50 度）

表 3-2-2(4) 斜面安定解析結果（各物性による斜面安全率と地下水位深度）

地表面からの 地下水位深度(m)		-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0 地表面
斜面 勾配 30°	西那須野地区 物性値 安全率 F_s	2.18	2.18	2.08	2.16	2.15	2.04	2.09	1.98	2.05	2.00	1.98
	塩原地区 物性値 安全率 F_s	1.94	2.04	1.98	2.00	1.98	1.95	2.00	1.88	1.64	1.88	1.85
	黒磯地区 物性値 安全率 F_s	1.96	2.00	1.96	1.91	1.94	1.91	2.00	1.93	1.93	1.98	1.88
	板室地区 物性値 安全率 F_s	1.80	1.80	1.76	1.74	1.69	1.74	1.75	1.71	1.73	1.65	1.66
斜面 勾配 50°	西那須野地区 物性値 安全率 F_s	1.44	1.43	1.43	1.38	1.35	1.35	1.30	1.31	1.28	1.25	1.24
	塩原地区 物性値 安全率 F_s	1.34	1.31	1.29	1.28	1.28	1.26	1.25	1.21	1.20	1.16	1.15
	黒磯地区 物性値 安全率 F_s	1.16	1.15	1.18	1.15	1.13	1.10	1.09	1.09	1.09	1.03	1.04
	板室地区 物性値 安全率 F_s	1.05	1.08	1.04	1.02	1.04	1.00	1.03	1.00	0.99	0.96	0.94

各地点の土質特性による斜面安定解析結果（安全率 F_s と地下水位深度の関係）について表 3-2-2(4)に示す。解析検討の結果、4 地点の物性とも斜面勾配 30 度では地下水位が地表と同じ位置に至った場合でも安全率 F_s は 1.0 より大きな値を示し、本条件では崩壊は生じない結果となった。一方、斜面勾配 50 度では、板室地区の物性値で地下水位が -4m 以浅になると安全率 F_s が 1.0 近傍～下回る結果が算出され、崩壊が生じる危険性がある結果となった。

以上の結果から、市内表層に分布する地盤（土）において次の知見を得た。

粘性土やシルト主体の火山灰質細粒土（関東ローム）が表層に堆積している場合、地下水位が上昇しても自然堆積地盤である地山や切土部分では、力学特性（せん断抵抗）によって土砂災害の発生が抑えられる一方、砂礫主体の火山灰質粗粒土が分布している場合、火山灰質細粒土と比べ地山や切土部

分であっても、条件によっては土砂災害が発生する危険性があることを示唆する結果となった。よって市内表層地盤の分類に注視が必要である。

3-2-3 EbA 導入の周知と合意形成

(1) 概要

EbA の取組のための新たな支えとして、管理者を除く地域住民に着目し、EbA を導入する際に発生する課題を抽出する。また田んぼダムの先行事例である新潟県新潟市にある田んぼダムを視察した。

(2) ヒアリング調査対象

ヒアリング調査対象とそれぞれの調査内容を表 3-2-3(1)に示す。市内の調査は、内水氾濫リスクへの災害対応及び EbA 導入に向けた現状の課題の抽出であり、新潟県新潟市内での調査は、EbA の1つである田んぼダムの先行事例における調査である。

(3) 調査期間

ヒアリング調査は那須塩原市内では 2021 年 10 月 28 日と 10 月 29 日、新潟市内が 11 月 26 日に行った。

表 3-2-3(1) ヒアリング調査対象と調査内容

調査対象	調査内容
那須塩原市森林組合	那須塩原市の森林整備の実態について 組織が抱える課題について
那須塩原市 総務課危機対策班	那須塩原市の内水氾濫リスクと災害対応について
那須塩原市農林整備課	那須塩原市の森林整備について 那須塩原市の農業組織について
新潟県農村環境課	田んぼダムの実施状況について 取り組みにおける課題について 取り組みに協力する農家の意見について
新潟市農村整備・水産課	
亀田郷土地改良区	

(4) 田んぼダムの視察

現在新潟市和田地区で検証が行われているスマート田んぼダムについて視察した。スマート田んぼダムは田んぼの取水せき(図 3-2-3(1))と排水せき(図 3-2-3(2))をスマートフォン等で遠隔操作できるようにしたもので、操作によって田んぼに入る水の量と排出する水の量が調節できるものとなっている。

通常の田んぼダムに設置されているポリエチレン製排水柵(図 3-2-3(3))は、田んぼの排水口にポリエチレン製の柵を設置し、その柵の中に排水口の直系よりも小さい穴を開けた調整板(図 3-2-3(4))を設置することによって降雨時の排水量を調整する装置である。



図 3-2-3(1) スマート田んぼダム取水せき



図 3-2-3(2) スマート田んぼダム排水せき



図 3-2-3(3) 田んぼダム排水枳



図 3-2-3(4) 田んぼダム調整板

(5) EbA 導入に向けた課題抽出

ヒアリング調査を踏まえ、EbA を行う際に発生すると想定される課題を以下の通りに抽出した。

a) 那須塩原市が地域として持っている課題

- ・内水氾濫におけるハザードマップ及び災害発生時の避難ルートが設定されていないことから、災害発生時に住民自身が適切な判断を行う必要がある。
- ・森林整備について、所有者が若い世代に世代交代するほど整備に関心を持たなくなる傾向にあり、森林整備を行わない所有者が増える。
- ・森林組合の高齢化が進んでおり、将来的に森林整備の継続が困難になる可能性がある。

- ・取組を行うために田んぼダム、緑のダムについて地域住民への周知が必要である。
- b) 田んぼダムの取組について新潟市での調査より明らかになった課題
 - ・水害の被害を受けにくい上流地域の農家にとって取組に協力する明確なメリットがなく、モチベーションが保ちづらい。
 - ・取組における効果の見える化が難しい。
 - ・災害が来ない期間が長くなるほど、取組の意義を見失ってしまう。
 - ・恩恵を受けている農家でない住民の参入がなく、地域としてのやり取りが難しい。

本市が抱える課題としては、森林整備を行う森林組合において高齢化が進んでいること、森林組合が整備するにしても、所有者が自分で整備するにしても若い世代の参入が少ないことと、そもそも若い世代の関心が薄いことが挙げられた。緑のダムにおいては、適切な森林整備を行っていくことがそのまま効果の発現につながるため、緑のダムを行っていくためには若い世代への周知をはじめとして、これらの課題を改善していく必要がある。また内水氾濫リスクについてもハザードマップや避難ルートへの取組がなされていないことから、地域住民への周知が必要であることが明らかとなった。

新潟市調査からは、田んぼダムの取組において、取組に協力してもらった農家に大きなメリットがないこと、恩恵を受けている地域住民が取組に参入していないこと、効果の見える化が難しいこと等から農家のモチベーションを保つことが難しく、取組を継続していくことに難しさを感じていることが明らかとなった。この課題は本市において田んぼダムを行っていく際にも同様の課題が発生することが予想されるため、対策を行っていく必要があると考える。

本調査で明らかになった項目は、ワークショップで実施した演習に反映した。

3-3 ワークショップ

3-3-1 概要

地域住民が気候変動によって豪雨発生が増加して内水氾濫リスクが増大することと、その解決策の一つとしてEbAがあり、EbAの継続には地域住民と管理者による合意形成が必要であることを認識することを目的としたワークショップ「気候変動についてみんなで考えよう～豊かな自然を生かして水害対策～」(以下ワークショップと表記)の実施状況について報告する。

ワークショップは2022年1月8日(土)に那須塩原市役所本庁舎201・202会議室にて実施した。参加人数は21名である。ワークショップの進行を宇都宮大学教員2名、ワークショップ進行補佐を宇都宮大学学生6名で行った。当日のプログラムを表3-3-1(1)に示す。

表3-3-1(1) ワークショップのプログラム

日時		内容
1 月 8 日 土	14:00~14:05	開始のあいさつ
	14:05~14:30	講演：気候変動による影響及び内水氾濫について
	14:30~15:00	演習1「内水氾濫リスクをふまえた避難ルートの選定演習」
	15:00~15:10	休憩
	15:10~15:50	演習2「EbA継続のための合意形成演習」
	15:50~16:00	振り返りアンケート



那須塩原市

図3-3-1(1) ワークショップのチラシ・ポスター

3-3-2 演習1「内水氾濫リスクをふまえた避難ルートの選定演習」

演習1「内水氾濫リスクをふまえた避難ルートの選定演習」(以下演習1)は、講演で示された内水氾濫リスクの高い場所を把握して、回避する避難ルートを選定することを目的とした演習である。5、6人を1グループとして想定地図(図3-3-2(1))の状況下で、70代の祖父、40代の父母、小学5年生と小学1年生の兄弟の5人家族が、気候変動により、今までにない量の降雨が予想されている中での避難ルートを検討する。

当日は4グループで議論がなされた。図3-3-2(2)はあるグループの成果物である。全てのグループの成果物を分析すると、全てのグループにおいて、アンダーパスの浸水、内水氾濫実績エリア、田畑における内水氾濫リスクを把握し、危険を避けた判断がとれていた。

3-3-3 演習2「EbA継続のための合意形成演習」



図3-3-2(1) 演習1の想定地図



図3-3-2(2) 演習1の成果例

演習2「EbA継続のための合意形成演習」(以下演習2)は、演習1までに気候変動によって内水氾濫リスクが高まることが示された中で、解決策の一つとしてEbAがあることを紹介して、EbAの継続のために地域住民が協力できることについて検討することを目的とした演習である。設定条件としては、田んぼダムと緑のダムに取り組んで3年目となる市の下流域で田んぼも森林も所有していない住民であるが、EbAの所有者の作業・費用の負担増加やモチベーションの低下によって継続が難しい状況下で地域住民ができることについて、3-2-3項で抽出した課題から下記の5項目をもとに検討する。

- ①管理者さんの費用や作業の負担を軽減する方法はないか
- ②管理者さんに感謝の気持ちを伝える方法はないか
- ③管理者さんが地域のために取組を行っていることを知ってもらう方法はないか
- ④管理者さんに取組の意義を感じてもらえる方法はないか
- ⑤取組の効果を実感してもらうために効果をわかりやすくすることはできないか

当日の議論は演習 1 と同じく 4 グループで行われた。図 3-3-3(1)は演習 2 の議論の状況である。上記 6 項目とその他の各項目に意見が出ていることがわかる。これら意見を全体で共有しているのが図 3-3-3(2)である。演習 2 の成果については 3-3-5 項で示す。



図 3-3-3(1) 演習 2 の議論の状況



図 3-3-3(2) 演習 2 での意見の共有

3-3-4 参加者アンケートの結果

演習 1 において新たな知識を獲得できたと回答した参加者は 16 名、できなかったと回答した参加者は 1 名であった。演習 1 の議論において判断に変化があった参加者は 11 名、変化がなかった参加者は 2 名、変化はあったが最初の判断に落ち着いた参加者は 4 名いた。これより、演習 1 では参加者の多くが新たな知識を獲得し、議論によって判断に変化が現れたといえる。演習 2 において事前に EbA の詳細を知っていた参加者が 2 名、EbA を聞いたことがある参加者が 10 名、全く知らない参加者が 5 名いた。また演習 2 で新たな意見を獲得できた参加者が 14 名、できなかった参加者が 2 名いた。これより演習 2 では EbA について聞いたことがある人が多かったにも関わらず、新たな意見を獲得できたことがわかった。

3-3-5 演習 2 より抽出した意見

演習 2 での成果物より新潟市での先行事例にはない意見を抽出した。

- (1) 管理者さんの費用や作業の負担を軽減する方法はないか
 - ・ 非農家の人に体験農業をしてもらい、作業負担を減らす。
 - ・ 田んぼ内での子供たちとの楽しみから作業する。
 - ・ 児童、生徒に農作業を体験してもらい、その後餅つき大会をしみんな楽しむ。
 - ・ ボランティア協議会を設ける
- (2) 管理者さんに感謝の気持ちを伝える方法はないか
 - ・ 近隣とのコミュニケーションを深める。
 - ・ 町内の行事に参加してコミュニケーションをとり親睦を深める。
 - ・ 薄れている近隣とのコミュニケーションを図る。
 - ・ 農家と住民が協力し、少しでも仲良くなるようにする。
- (3) 管理者さんが地域のために取組を行っていることを知ってもらう方法はないか
 - ・ 生き物調査などで実態を知ってもらう。
 - ・ 自治会に森林管理に参加してもらう。

- ・最下流の人と管理者と一緒に作業するイベントを行う。
- (4) 管理者さんに取組の意義を感じてもらう方法はないか
- ・森林オーナー制を導入し子供と保護者が下草刈り等を体験し交流を図る。
 - ・収穫祭(芋煮会等)を開催し農作業の楽しさを感じてもらう。
 - ・都市部の人が農作業を体験し、楽しさを知って農業後継者になってもらう。
- (5) 取組の効果を実感してもらうために効果をわかりやすくすることはできないか
- ・自治会で水害対策の避難訓練の実施。
- (6) その他
- ・子供たちに学校で田んぼ、森林の教育を行う。
 - ・後継者不足を改善する。

3-3-6 EbA 継続に対する留意点

演習2での意見を踏まえて、EbA 継続に対する留意点を下記の通りまとめた。

- ・住民への取組の周知
- ・地域住民の参入
- ・地域住民と管理者との交流
- ・若い世代への教育

3-4 将来予測計画

防災分野の課題は、EbAによる水害対策強化・リスク軽減の検討・評価であり、気候変動による水害等のリスクに対し、本市において有効な対策となり得るEbAに関する知見を収集し、過去の水害等の雨量データ等を用いたコンピュータシミュレーションによりEbAの効果を検証することを目指した。その結果、1000年確率相当の想定最大規模降雨について内水氾濫を含めた浸水リスクを評価し、浸水被害の大きい地区を想定し、また緑地面積率を評価してEbAの候補地となり得る地区を想定することができた。そして、それらの結果から戦略的にEbAを導入する方策を検討することができた。それは本市の地理的地形的状況を定量的に反映したものであった。

これを踏まえて、今後の将来予測の方向性は「降雨の将来予測に基づくEbAによる水害対策の強化・リスク軽減への全市的取組の検討」と考える。すなわち、気候変動による具体的な降雨の将来予測に基づき、生態系を活用した適応策（EbA：Ecosystem-based Adaptation）を戦略的に導入して、水害対策の強化・リスク軽減を図る方策を検討する。その際、本市の多種多様な地域資源を生かすとともに、市庁の各部署の連携及び関係する市民との協働を目指すものである。

その際の検討・作業項目としては、以下の（1）から（4）が挙げられる。

（1）降雨の将来予測に基づく水害リスクの評価

今年度のような想定最大規模降雨だけでなく、種々の確率年の降雨に対して水害リスクを評価することで、EbA整備の優先順位がより明確になる。

○データ収集

収集する詳細情報	収集手段	必要性
降雨の将来予測データ (種々の確率年の降雨規模を想定)	気候変動リスク分析事業結果	確率年毎の降雨をもとに合理的な豪雨対策を検討するため
降雨データ時系列の実績	アメダスデータ 水文水質データベース	氾濫解析の外力としての降雨時系列を想定するため
地域の標高・傾斜度・表層地盤種類	国土数値情報	氾濫解析の地域的条件を設定するため
浸水想定区域、土砂災害危険区域、事業所数、人口	国土数値情報	災害リスクを評価するため

○将来予測計算

氾濫解析ソフトウェアを使用して、種々の確率年の降雨に対する浸水状況を計算することで、水害リスクを評価する。現時点の国土数値情報には、治水計画規模と想定最大規模での河川からの氾濫による浸水想定区域しか整備されていないが、令和3年度的那須塩原市の事業による降雨の将来予測データを用いて、内水氾濫も考慮した確率年毎の浸水想定区域を解析することにより、きめ細かなEbA整備の基盤となるデータベースを作成する。

○将来予測結果の活用

将来予測により得られた確率年毎の浸水想定区域と土砂災害危険区域情報及び事業所数や人口のデータも合わせて総合的な水害リスクを評価し、EbA 整備の優先順位を明らかにする。

(2) 地域資源を生かした EbA 方策とその効果

農地貯留、森林環境の保全、那須疏水・東北自動車道・鉄道に沿う形でのグリーンベルトなど、さまざまな EbA のメニューを検討する。特に、本市は全体的に高原地域で傾斜地形をともなっている。このような地域では、平野部の田んぼダムをそのまま援用することが果たして正解なのか、各地の EbA あるいはグリーンインフラの種々の事例を視察するとともに、市内の各地域の水流を調査し、住民の方々からヒアリングして、地域資源活用アイデアを醸成することが必要である。

(3) EbA 整備のための戦略

市庁の各部署の連携が必要であり、これまでの業務体系あるいは事業形態のままでよいか、検討が求められる。また地域住民との協働や災害に対するソフト対策の在り方も重要といえる。

(4) ワークショップの開催

個々の地区の住民の理解・同意だけでなく、EbA の役割が異なる地域間の合意形成の進め方を、住民の方々で考えてもらうことが重要になる。さらに、住民だけでなく、市庁内の各部署の人材も参加して、住民の方々とともに EbA への理解を深め、部署間での合意形成に資することを目指す。

3-5 まとめ

今年度は、今後の水害の激甚化に備えて、本市の自然環境を活用した EbA 導入策について調査を実施するとともに、導入に伴う住民の合意形成の方向性についても検討した。

まず、想定最大規模降雨について内水氾濫解析を実施し、河川からの氾濫だけの浸水想定区域以外での浸水リスクを明らかにした。さらに水害リスクと緑地環境を指標として、4つのゾーン分けをしてEbAを戦略的に導入する方策について検討した。また3つの条件下でEbAの効果を検証し、その結果から本市の自然条件を考慮したEbA手法や活用の方向性を検討する必要性を示した。つぎに豪雨の激甚化に伴う土砂災害の危険性について、地盤工学的検討を加えたところ、市域の通常の地盤であれば、今後の激甚な豪雨であっても、土砂災害の危険性はさほど高くないことがわかった。さらにEbAメニューの一つである田んぼダムについて先駆的に導入している新潟県で現地視察及び関係者へのヒアリングを実施した。その結果、EbAを展開するにあたり、本市特有の課題も明らかにすることができた。

これらの調査・検討結果を踏まえて、住民のEbAに関する理解を促すためのワークショップ「気候変動についてみんなで考えよう～豊かな自然を生かして水害対策～」を実施した。その結果、内水氾濫のリスクをよく理解するとともに、EbA継続のための合意形成に必要な留意点をまとめることができた。

そして今年度の成果をまとめながら、今後の方策として、きめ細かな降雨の将来予測をもとに内水氾濫を含めた水害リスクを評価するとともに、本市の自然環境を生かしたEbA整備を進めて水害対策の強化・リスク軽減を図るとともに、これを住民はもちろんのこと、支庁の各部署が有機的に連携して、まさに全市的取組として継続していく仕組みづくり、ひとづくりを目指していくことが極めて重要である。

4 妥当性確認（検討委員会）

各課題に対して、有識者による検討委員会を開催し、収集した情報や将来予測計算に向けた計画の妥当性を確認した。

4-1 気候変動が高原野菜生産（ホウレンソウ）に及ぼす影響評価と対策の検討

4-1-1 検討委員会のメンバー

表 4-1-1(1) 検討委員会メンバー一覧

所属	氏名	選定理由
栃木県開拓農業協同組合	高田 英明	地域のホウレンソウ栽培の状況を熟知
塩原高原野菜生産出荷組合 (生産者)	齋藤 崇之	地域のホウレンソウ栽培の状況を熟知
塩原高原野菜生産出荷組合 (生産者)	大塚 裕太	地域のホウレンソウ栽培の状況を熟知
株式会社ウェザーニューズ	伊佐地 芳朗	気象・気候に関する専門的知見を有する
那須農業振興事務所	大島 亮介	栃木県内の農業の実態を熟知
那須塩原市農務畜産課	渡辺 直次郎	市の農業関係施策を担務

4-1-2 概要

(1) 第一回検討委員会

○開催日 2021年8月27日

○場 所 栃木県開拓農業協同組合 塩原高原出張所 会議室

○議 題

- ・市民参加による気候変動情報収集・分析事業について
- ・気候変動の影響に関する調査内容について

○主な意見

- ・温度センサーの設置について、散水する必要があるため調整が必要。
- ・気温や湿度の観測については、長いスパンで把握した方が望ましい。もし今まで、ハウス内の気温等を観測してデータを取っている生産者がいる場合は、そのデータを分析していくのも一つのアプローチの方法かと思われる。
- ・今までと違うような病気が出てきていると感じている。PCR で特定できれば新しい薬を散布するなど対策につながるので、力を入れて調査してほしい。
- ・雑草についても生産者は困っているので、詳しく調査してほしい。
- ・代替作物について、新しい作物ということなので農薬を使うことができないのではないか心配。栽培方法についても知見がないため、宇都宮大学の協力が必要。

(2) 第二回検討委員会

○開催日 2021年11月26日

○場 所 栃木県開拓農業協同組合 塩原高原出張所 会議室

○議 題 調査状況、分析状況、将来予測計画について

○主な意見

- ・温度反応性調査は、日中を想定し、ずっと調整した温度にしていたのか。ハウスは40℃を超えることもあるが、実際は夜温が落ち着けば発芽する。
- ・防暑対策としての遮光シートは、光を遮ればよいというわけではない。導入には、コスト面も考える必要がある。
- ・どの品種の種をまくかの判断に気象データを活用できないか。ハウレンソウの生育は、温度だけでなく、日射量や曇天も影響しているように感じる。
- ・代替作物は、冬場でも順調に育っており、暑さ・寒さに強い印象。販売ルートが確立できていないため、販売方法も課題となる。市内の食品加工会社と連携できないか。

(3) 第三回検討委員会

○開催日 2022年2月10日

○場 所 塩原公民館 第1会議室

○議 題 分析結果、将来予測計算に向けた計画について

○主な意見

- ・年々夏場の気温上がっており、ハウレンソウが発芽しない、品質が悪くなるといった影響が出ている。輸送温度に気を付けても軟弱なハウレンソウが出荷されてしまい、クレームにつながることもある。
- ・気候変動に対応するためには、生産現場のデータが必要になることがわかった。生産者としても気候変動に関するデータを取得し、蓄積させる必要がある。
- ・黒くて大きいアブラムシの発生が問題となっていたが、これまで正体がわからなかった。今回の事業で正体が判明したので、対策につなげることができる。
- ・ゴウシュウアリタソウは、トラクターや人が通った場所で発生しやすいと感じる。発芽に外圧が影響するのではないか。
- ・この事業をきっかけに、県の野生鳥獣対策事業を紹介してもらったほか、電気柵の貼り方などの防除の仕方について助言をもらうことができた。
- ・将来予測に栃木県開拓農業協同組合のセンサーのデータが活用できないか。
- ・将来予測に基づき適切な品種を選定できるようになるとよい。

4-2 EbAによる水害対策強化・リスク軽減の検討・評価

4-2-1 検討委員会のメンバー

表 4-2-1(1) 検討委員会メンバー一覧

所属	氏名	選定理由
国立環境研究所	西廣 淳	EbA に関する専門的知見を有する
栃木県気候変動適応センター	野中 寿一	栃木県内の防災の実態を把握
那須塩原市森林組合	八木沢 義雄	地域の森林の状況を熟知
株式会社ウェザーニューズ	伊佐地 芳朗	気象・気候に関する専門的知見を有する
那須塩原市総務課	平井 克巳	市の防災施策を担務
那須塩原市農林整備課	室井 正幸	市の林業、農業用水関係施策を担務

4-2-2 概要

(1) 第一回検討委員会

○開催日 2021年8月30日

○場 所 那須塩原市役所 本庁舎 302 会議室

○議 題

- ・市民参加による気候変動情報収集・分析事業について
- ・気候変動の影響に関する調査内容について

○主な意見

- ・EbA に関しては、県の適応センターでは具体的にはまだ取り組んでいない。河川担当部署が中心となって、流域治水プロジェクトを進めており、ロードマップの作成を進めているので、連携して取り組めると良い。
- ・森林管理について、実際の作業現場は、奥山の斜面は少なく、平地林を中心に間伐を行っている。そういった現場の状況も参考に検討を進めてほしい。
- ・株式会社ウェザーニューズが那須塩原市の身近な気候変動を分析している。来年度以降、分析したデータを使用することでより現実的な将来予想の検討ができるのではないかな。
- ・田んぼダムについて、傾斜のある那須塩原市の地形では、田んぼに貯水して決壊した場合、下流まで被害が広がる恐れがあることから、那須塩原市に適した手法の検討をお願いしたい。
- ・流域としてのメリットを評価して、上流の自然を守っていくことについて下流の人が協力する仕組みを考えていく必要がある。

(2) 第二回検討委員会

○開催日 2021年11月25日

○場 所 那須塩原市役所 東庁舎 901 会議室

○議 題 調査状況、分析状況、今後のスケジュールについて

○主な意見

- ・内水氾濫のシミュレーション結果を市民に公表するときは、市民を混乱させないように注意が必要。
- ・山沿いの小沢が氾濫したり、畑や牧草地の付近で道路の冠水が起こったりしている。森林や農地の保水力が低下していると感じている。
- ・今回、リスクが高いエリアと、EbA のポテンシャルが高いエリアを重ね合わせたことで、例えば、氾濫の恐れがある地域でEbA を導入できない場合は、その上流部でEbA を導入するといったことが見えてきた。
- ・田んぼの高低差、田んぼの排水量、田んぼと排水路の高さといったような情報が、田んぼダムが那須塩原市に適した対策となり得るかの判断する材料にもなるため、先進事例を調査してほしい。

(3) 第三回検討委員会

○開催日 2022年2月9日

○場 所 那須塩原市役所 東庁舎 901 会議室

○議 題 分析結果、将来予測計算に向けた計画について

○主な意見

- ・EbA は概念としてとても重要と言われているが、なかなか具体的な事例がない中、先駆的なモデルができてきたのではないか。
- ・内水氾濫リスクの分析について、EbA を導入した場合と導入していない場合の浸水深の差を提示した方がわかりやすいのでは。
- ・農地における貯留として、具体的にはどのようなことが考えられるか。実際の雨水排水システムがどうなっているか、農地そのものだけでなく水路等も含めて検討が必要。
- ・田んぼダムはハードルを上げずに検討した方が良い。田んぼは多少なり水を貯めることができる。特殊な排水設備がないと田んぼダムにならないわけではなく、田んぼを維持していくこと自体が雨水を貯留することにつながる。
- ・田んぼダムは、農家だけの負担にならないように進めた方が良い。恩恵を受ける下流の方に理解してもらえると良い。
- ・結果として公表しづらいデータもあるかと思うが、那須塩原市の土質が比較的安全であるというようなメッセージは出してもよいのでは。
- ・将来予測によって、将来の強雨に対するEbAのメリットやEbA だけでは対応しきれないなど、見えてくるものがあるのではないか。

5 成果公表及び普及啓発

本事業の成果をリーフレットにまとめ、市民や関係者に配布するほか、ホームページで広く市民に情報発信する。

5-1 リーフレットの作成・配布

各分野を代表する宇都宮大学の教員が情報収集・分析結果に基づきリーフレットを作成した。環境関係イベントや環境関係者会議で配布することで、多くの市民に本市で既に起こっている気候変動の影響を知ってもらうとともに、気候変動への対応を考える契機とする。また、各分野の関係団体等に配布し、気候変動が各分野の関係者に身近な問題であることを周知し、気候変動への対応に自ら取り組む意識を醸成する。

(1) リーフレットに掲載した主な項目

- ・気候変動の影響
- ・気候変動への適応策

(2) リーフレット作成担当

表 5-1(1) リーフレット作成担当者一覧

分野	担当
高原野菜	農学部 生物資源科学科 教授 山根 健治
防災	地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科 教授 池田 裕一

(3) リーフレット配布先（配布予定を含む）

表 5-1(2) リーフレット配布先一覧

分野	配布先
共通	・市民（環境関係イベント、環境関係者会議での配布）
高原野菜	・農業関係団体（農業協同組合）
防災	・市有施設（庁舎、公民館等）

みんなで取り組む 気候変動対策

農作物編

気候変動はすでに私たちの暮らしに影響を及ぼしています。気候変動を取り、出来ることから気候変動への対策に取り組みましょう。

那須塩原市の将来予測

●年平均気温の将来予測

温暖化対策を講じなかった場合
2050年には14.5℃
(現在の那須南南部と同程度)に上昇
2100年には17.4℃
(現在の高知南と同程度)に上昇

●搾乳量・農作物への影響

気候変動の影響により、乳牛の搾乳量や一部の農作物の収穫量が減少

2050年の搾乳量・収穫量
乳牛の搾乳量 2%減少
オレフィン収穫量 4%減少
水稲収穫量 4%減少
大豆収穫量 1%減少

気候変動への対策は大きく2つ

温暖化対策の推進 → 気候変動の緩和 → 気候変動の影響の軽減

緩和: 温室効果ガスの削減 (太陽光発電の導入、省エネ機器の導入、省エネ意識の醸成)

適応: 気候変動の影響への対応 (農作物の品種改良、水管理の改善)

このリーフレットは、那須塩原市農業委員会と宇都宮大学と協力して、気候変動の対策調査の結果をもとに、作成しました。(2024年現在)

那須塩原市気候変動対策局
〒325-8501 那須塩原市農業委員会事務局109-2
TEL 0287-73-5661 FAX 0287-62-7500 メール: fscsac@city.nasuhitobera.lg.jp

みんなで取り組む 気候変動対策

高原野菜編

那須塩原市は、宇都宮大学と協力して、高原野菜(ホウレンソウ)への気候変動の影響調査を実施しました。

気候変動の農作物への影響

気温	生育期間	生育日数	生育率
1	2-10℃	1	100%
2	2-15℃	2	100%
3	2-20℃	3	100%
4	2-25℃	4	100%
5	2-30℃	5	100%
6	2-35℃	6	100%
7	2-40℃	7	100%
8	2-45℃	8	100%
9	2-50℃	9	100%
10	2-55℃	10	100%
11	2-60℃	11	100%
12	2-65℃	12	100%
13	2-70℃	13	100%
14	2-75℃	14	100%
15	2-80℃	15	100%
16	2-85℃	16	100%
17	2-90℃	17	100%
18	2-95℃	18	100%
19	2-100℃	19	100%
20	2-105℃	20	100%

16℃〜30℃の範囲で生育率が低下
温度が高くなると生育率が低下

26℃と30℃の範囲で、生育に与える影響を研究した結果、温度が高いほうが生産量が低い

気候変動によって気温の上昇が進むと、特定の野菜が栽培できなくなるかも

みんなで取り組む 気候変動対策

気候変動の被害を避ける、小さくする

- 耐暑性の品種・品種への転換
- 栽培計画の見直し
- 農機具の排水整備による農用時期
- ハウス栽培における遮光シートなどの高温対策の検討

気候変動の原因である 温室効果ガス排出量を少なくする

真実者が、できることから始める。温室効果ガス排出量を少なくする取組として「ゼロカーボンアクション30」を推進しています。

エコカーに乗り換えよう

太陽光発電の導入を促進しよう

省エネ家電の導入を促進しよう

省エネ照明の導入を促進しよう

省エネ給湯機の導入を促進しよう

省エネ冷蔵庫の導入を促進しよう

省エネ洗濯機の導入を促進しよう

省エネ乾燥機の導入を促進しよう

ゼロカーボンアクション30

- エコカーに乗り換えよう
- 太陽光発電の導入を促進しよう
- 省エネ家電の導入を促進しよう
- 省エネ照明の導入を促進しよう
- 省エネ給湯機の導入を促進しよう
- 省エネ冷蔵庫の導入を促進しよう
- 省エネ洗濯機の導入を促進しよう
- 省エネ乾燥機の導入を促進しよう

このリーフレットは、那須塩原市農業委員会と宇都宮大学と協力して、気候変動の対策調査の結果をもとに、作成しました。(2024年現在)

那須塩原市気候変動対策局
〒325-8501 那須塩原市農業委員会事務局109-2
TEL 0287-73-5661 FAX 0287-62-7500 メール: fscsac@city.nasuhitobera.lg.jp

図 5-1(1) リーフレットの表(左)と裏(右)イメージ(高原野菜)

みんなで取り組む 気候変動対策

防災編

気候変動はすでに私たちの暮らしに影響を及ぼしています。気候変動を取り、出来ることから気候変動への対策に取り組みましょう。

那須塩原市の将来予測

●短時間強雨の将来予測

温暖化対策を講じなかった場合
1時間降水量50ミリ以上の短時間強雨の発生回数が2100年には2.5倍に増加

●道路冠水リスクの将来予測

温暖化対策を講じなかった場合
道路冠水リスクが2100年には1.8倍に増加

気候変動への対策は大きく2つ

温暖化対策の推進 → 気候変動の緩和 → 気候変動の影響の軽減

緩和: 温室効果ガスの削減 (太陽光発電の導入、省エネ機器の導入、省エネ意識の醸成)

適応: 気候変動の影響への対応 (農作物の品種改良、水管理の改善)

このリーフレットは、那須塩原市農業委員会と宇都宮大学と協力して、気候変動の対策調査の結果をもとに、作成しました。(2024年現在)

那須塩原市気候変動対策局
〒325-8501 那須塩原市農業委員会事務局109-2
TEL 0287-73-5661 FAX 0287-62-7500 メール: fscsac@city.nasuhitobera.lg.jp

みんなで取り組む 気候変動対策

防災編

那須塩原市は、宇都宮大学と協力して、自然を活用した防災機能を高める手法について調査しました。

自然を活用した防災機能を高める手法について調査しました。

那須塩原市の増加などにより、人工的な構造物だけで対策をすることが難しくなることが想定されます。

自然を活用した防災機能を高める手法が注目されています。

本市の自然を活用して対策できるかも

- ・田んぼなどの農地への創出
- ・森林の保水力を高める
- ・防災安全

田んぼづくりの先進地 新潟県の事例

新潟県では、田んぼの貯水機能を活用して、降雨をためてゆっくり排水することで、水害を軽減する取組を進めています。

小さい水を開けた調整池で排水する準備

みんなで取り組む 気候変動対策

気候変動の被害を避ける、小さくする

- ハザードマップを確認しよう
- 避難場所と避難経路を確認しよう
- 避難経路を調べて避難場所まで歩いてみよう
- 非常持ち出し品を準備しておこう
- 気象情報を入手できるようにしよう

気候変動の原因、温室効果ガス排出量を少なくする

真実者が、できることから始める。温室効果ガス排出量を少なくする取組として「ゼロカーボンアクション30」を推進しています。

エコカーに乗り換えよう

太陽光発電の導入を促進しよう

省エネ家電の導入を促進しよう

省エネ照明の導入を促進しよう

省エネ給湯機の導入を促進しよう

省エネ冷蔵庫の導入を促進しよう

省エネ洗濯機の導入を促進しよう

省エネ乾燥機の導入を促進しよう

ゼロカーボンアクション30

- エコカーに乗り換えよう
- 太陽光発電の導入を促進しよう
- 省エネ家電の導入を促進しよう
- 省エネ照明の導入を促進しよう
- 省エネ給湯機の導入を促進しよう
- 省エネ冷蔵庫の導入を促進しよう
- 省エネ洗濯機の導入を促進しよう
- 省エネ乾燥機の導入を促進しよう

このリーフレットは、那須塩原市農業委員会と宇都宮大学と協力して、気候変動の対策調査の結果をもとに、作成しました。(2024年現在)

那須塩原市気候変動対策局
〒325-8501 那須塩原市農業委員会事務局109-2
TEL 0287-73-5661 FAX 0287-62-7500 メール: fscsac@city.nasuhitobera.lg.jp

図 5-1(2) リーフレットの表(左)と裏(右)イメージ(防災)

5-2 ホームページへの掲載

市民の誰もがいつでも閲覧しダウンロードすることも可能な状態で、市ホームページにリーフレットを掲載し、掲載した情報を LINE などの SNS やメール配信サービスを使用して配信する。

5-3 学習教材の活用

1年目事業で作成した学習教材を活用し、児童・生徒に対する普及啓発を図っている。

6 まとめ（成果と課題）

（1）気候変動影響の予測を実施するに当たっての課題と課題解決のための取組

- ・地域気候変動適応センターにおいて独自の気候変動影響の予測を実施するに当たっての課題

本市は地域レベルで地球温暖化や気候変動を考えるため、2020年4月に那須塩原市気候変動対策局を設置し、適応策を推進していくこととした。しかし、当対策局による気候変動影響の予測に携わる人材は限られており、外部との連携が不可欠であった。

- ・その課題について検討項目

2020年度から宇都宮大学等と連携して、本市の基幹産業である農業、観光業、教育及び防災分野を中心に、情報収集を行い、本事業を推進した。2021年度は、課題を高原野菜と防災の2点に絞り、宇都宮大学の農学部、地域デザイン科学部、バイオサイエンス教育研究センター及び雑草管理学教育研究センターの専門家が参画し、予測実施に当たっての課題を明確化した。

- ・課題を克服するために実施した取組や工夫

高原野菜の検討委員会には、ハウレンソウの生産・出荷に携わっている栃木県開拓農業協同組合、塩原高原野菜生産出荷組合の委員に加え、本市の農業を掌握している那須塩原市農務畜産課及び栃木県那須農業振興事務所の担当者から意見を聴取した。

また、防災の検討委員会においては、EbAに詳しい国立環境研究所、栃木県気候変動適応センター、那須塩原市森林組合、那須塩原市の防災施策及び農業用水関係施策の担当者から幅広く防災についての意見を聴取した。さらに、両分野の検討委員として、気象・気候に関する専門的知見を有する気象会社の専門家から意見を聴取した。

（2）気候変動影響予測の実施に向けた計画立案時の課題と課題解決のための工夫

- ・気候変動影響予測の実施に向けた計画立案時の課題

高原野菜では、品質と生育面への影響における将来の予測モデルの構築が必要であるが、気象・環境条件の変動に対するハウレンソウの生育と品質の変化、雑草害等の予測には人工的に温度を設定して、反応を観察する必要がある。

防災分野では、気候変動による降水量の増加による外水氾濫を防ぐには、堤防をはじめとしたハード対策が重要であるが、予算が限られる中で気候変動に対応できるだけのハード整備を行うのは困難である。

- ・課題克服のための工夫

高原野菜では、現地で栽培されているハウレンソウ品種を用いて温度反応試験を行い、高温による発芽と生育の変化を観察した。また、代表的な雑草であるゴウシュウアリタソウの種子を採取して、光や温度条件による発芽率データを取得した。

防災分野では、自然環境が有する多様な機能を積極的に活用するEbA(Ecosystem-based Adaptation)を導入することにより、地域の防災・減災だけでなく、居住環境の向上も含めた多様な効果を期待することができる。水害リスクと緑地環境を指標として、EbAを戦略的に導入する方策について検討し、3つの条件下でEbAの効果を検証した。つぎに豪雨の激甚化に伴う土砂災害の危険性について、地盤工学的検討を加えた。さらに、EbA導入に伴う住民の合意形成の方向性についても検討した。

・その工夫の計画への反映

高原野菜では、温度反応試験の結果、ホウレンソウを 30℃で栽培すると葉が黄化し、生産量が低下し早期に開花が起きて商品価値を失ったことから、今後の温度上昇が発芽、生育・生産性及び抽台・開花に大きな影響を及ぼすことが予測される。長期的な予測モデルの構築のためには、塩原高原の生産地域付近の微気象データを収集する必要があると示唆された。また、成長不良や過繁茂によるロスを軽減するためには適切な品種を播種する必要があり、気象サービス会社と生産者が連携し、作付け時に、播種から収穫までの期間（1～2 ヶ月）の短期的な気象予測の重要性が示唆された。

防災分野では、EbA に関する知見を収集し、過去の水害等の雨量データ等を用いたコンピュータシミュレーションにより EbA の効果を検証した結果、1000 年確率相当の想定最大規模降雨について内水氾濫を含めた浸水リスクを評価し、浸水被害の大きい地区を想定し、また緑地面積率を評価して EbA の候補地となり得る地区を想定することができた。そして、それらの結果から戦略的に EbA を導入する方策を検討することができた。これらを踏まえて、将来予測計画の方向性は「降雨の将来予測に基づく EbA による水害対策の強化・リスク軽減への全市的取組の検討」と考えた。

リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。