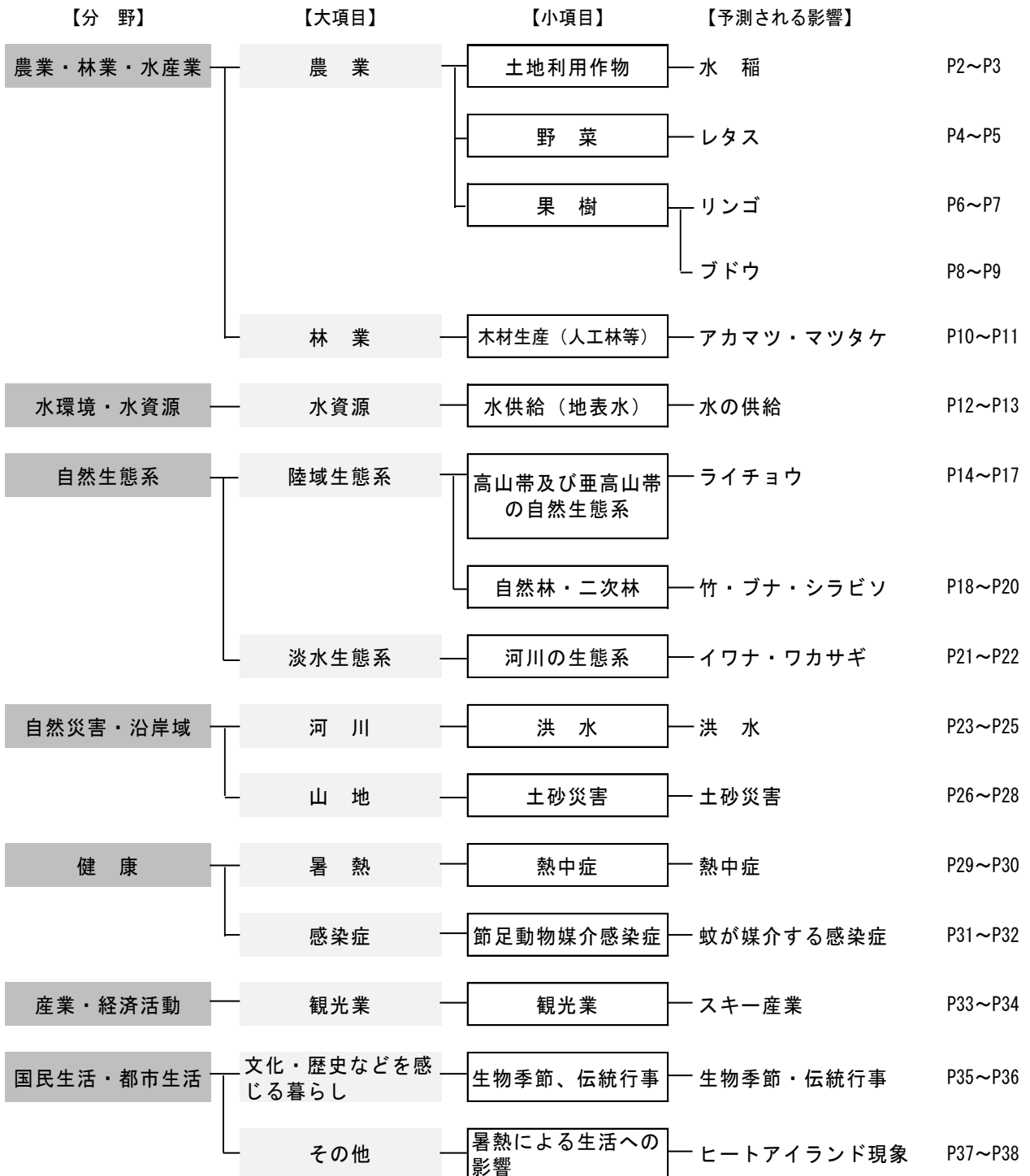


長野県における気候変動の影響と適応策 (詳細版)

令和3年(2021年) 月 日
長野県

長野県における気候変動の影響と適応策 体系図



※ 信州気候変動適応センターにおいて、国の研究機関等と連携し、県民生活や産業活動への影響が大きい分野から、順次、影響評価を行い、対象分野・項目を追加していきます。

1 水稲

(ア) 気候変動により想定される影響

本県の農地は、標高が高く冷涼な気候条件にあることから、温暖化による影響を受けにくい環境にありますが、これまでの研究等により、高温の気象条件による影響として、登熟期に高温に遭遇することによる品質の低下や、土壌中の窒素の増加に伴う倒伏の発生、また、カメムシ等の病害虫の発生への影響等が想定されています。

県農業試験場では、過去の気象条件等の解析や高温条件を再現できる温室を活用した試験研究により、品質低下の原因把握や、影響評価を行っています。

【登熟期に高温に遭遇することによる品質の低下】

過去の気象条件と生育状況の分析を行ったところ、登熟期に気温が高い状態で推移した年は、一等米比率の低下がみられ、その原因は、高温障害として既に明らかになっている「白未熟粒」に加え、「胴割粒」の増加であると考えられました（図1）。

実際に、温室を活用して登熟期に高温条件に遭遇させる試験を行った結果、「胴割粒」の増加が確認され、収量や品質の維持には登熟期の高温回避・緩和対策が重要であることが明らかになりました。

【土壌中の窒素の増加に伴う影響】

高温の気象条件では、土壌中に元々含まれている有機物が分解され、窒素（地力窒素※）が過度に増加することで、倒伏の発生など作柄に影響することが、温室での試験により判りました。

平均気温が約1℃高い条件で肥料を20～30%減らした場合の影響を評価したところ、地力窒素の増加に伴い、養分の吸収量や生育は、露地で標準的に肥料を与えた場合と同等の結果となり、倒伏が防止されました。一方で、収量は低下する傾向が示されたことから、温暖化が進行した場合には、肥料を減らす等により倒伏を回避しつつ、収量を維持する肥培管理（肥料の使い方）が重要となります。

【病害虫の発生への影響】

地球温暖化の進行は、病害虫の発生状況にも大きく影響することが予想されています。現在、高温の気象条件が水稲病害の発生に及ぼす影響評価、また、高温条件による割れ粃の発生が斑点米カメムシ被害※に及ぼす影響の評価を進めているところです。

※地力窒素

地力窒素とは、土壌に元々含まれている窒素のことで、外から施肥する肥料に含まれる窒素ではなく、土壌中の有機物が土壌微生物によって分解される過程で生じてくる窒素のこと。

※斑点米カメムシ被害

カメムシ類が吸汁して米が変色・未熟になり、品質が低下すること。



図1 高温による水稲の品質低下（左：正常粒（整粒）、中央：白未熟粒、右：胴割粒）

（白未熟粒：デンプンが詰まりきらないうちに登熟してしまい、細胞内の空気の隙間に光が乱反射して白く見える。食味低下の要因になる。
胴割粒：米粒の内部に亀裂を生じる現象。精米時等に碎米が多発し、歩留まりや食味低下の要因になる。）

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

これまでに得られた成果や知見を踏まえ、胴割粒の発生リスクや斑点米カメムシの発生等の詳細な評価を行うとともに、高温登熟性に優れる品種の開発、高温の気象条件における肥培管理技術の確立等の取組を引き続き進めます(図2)。また、気象的な条件が多様である本県にあわせて産地ごとの課題を整理し、栽培リスクマップ等も活用して対策技術の現地への普及を図ります。

○ 地球温暖化による水稲作への影響評価

- ・ 温暖化予測データの詳細解析と、栽培リスクマップ*の作成
- ・ 高温が水稲病害の発生に及ぼす影響評価
- ・ 高温条件による割れ粳の発生が、斑点米カメムシ被害*に及ぼす影響の評価
- ・ 高温条件が玄米品質低下に及ぼす影響評価
- ・ 県下各地の「コシヒカリ」等主要品種の生育特性把握及び地域別課題の抽出



図2
高温条件による影響評価及び高温登熟性に優れる新品種を開発するために新たに整備した温室

○ 県産米の高品質維持に向けた対策技術の開発

- ・ 高温登熟性*に優れる水稲系統の作出
- ・ 温暖化における安定生産(収量、品質の確保)のための肥培管理技術の確立
- ・ 高温により発生が助長される病害対策技術の構築
- ・ 高温条件下での玄米品質低下を防ぐ対策技術の提示

○ 登熟期の高温による品質低下を回避できる県オリジナルの晩生品種「風さやか」の県下への普及拡大

● 温暖化による水稲への影響評価と対応管理技術の開発

- ・ 温暖化に対応した地域ごとの生産上のリスクやメリットの解明と解決手法の確立
- ・ 温暖化対応技術体系マニュアルの策定と試行

● 温暖化における水稲の肥培管理技術の確立

- ・ 農地情報(土壌養分、作柄等)に基づく施肥方法(施肥配分・量、新肥料)の開発

● 土壌炭素貯留量*の解明と安定品質を確保するための施肥・管理技術の開発

- ・ 土壌炭素蓄積と高収量・品質を同時に確保できる施肥体系の確立
- ・ 稲わら及び輪作体系における麦・大豆等前作残渣のすき込み量からの土壌中の地力窒素の推定

※栽培リスクマップ	地球温暖化が進行した場合に栽培が困難となる地域や品質・収量低下の程度が分かるようにした地図のこと。
※斑点米カメムシ被害	カメムシ類が吸汁して米が変色・未熟になり、品質が低下すること。
※高温登熟性	登熟とは種子が発育・肥大すること。登熟期間中の高温による品質・収量の低下が少ない性質のこと。
※土壌炭素貯留量	堆肥や植物残さなどを農地に混和することで、土壌中の腐植(有機炭素)が増え(貯留)、主要な温室効果ガスである大気中の二酸化炭素濃度上昇を緩やかにすること。

2 レタス

(ア) 気候変動により想定される影響

レタスの生育適温は 20℃前後とされ、夏季冷涼な本県で有利に生産できる品目として成長してきました。温暖化によるレタスへの影響としては、花芽を付けた茎が伸びる「抽だい（とう立ち）」と呼ばれる現象の発生時期が早まることや、葉のふちが枯れる高温期の生理障害である「チップバーン^{*}」の増加、また、土壌中の無機態窒素の増加などによる、結球の乱れや品質の低下が想定されています。

【「抽だい（とう立ち）」の発生】

県野菜花き試験場では、レタスの栽培時期（作型）や品種における茎長と気温の関係を調査し、それに基づいて抽だい推定式を算出しました。この結果、寒地（野辺山、軽井沢、菅平）及び寒冷地（松本、佐久）において、平均気温が 1℃又は 2℃上昇した場合、抽だいらスクの増大により、栽培が困難となる時期や、品種があることが明らかになっています。また、品種によっては抽だいらスクが小さいものがあることも判ってきています（図 3）。

【「チップバーン」の増加】

県内のレタス産地では、現在、高温期の生理障害である「チップバーン」の発生が問題となっており、温暖化により発生が増えることが懸念されています。主な要因については、カルシウム欠乏とされていますが、その他複合的な要因により発生すると考えられており、また、品種間差があることが判ってきています。現在、詳細な原因について調査を進めています。

【土壌窒素無機化量^{*}の増加による品質低下】

温暖化により年平均気温が 2℃上昇する場合、畝面のマルチ下 10cm における地温も約 2℃上昇し、土壌窒素無機化量はレタス 1 作当たり、14～27%増加すると推定されています。窒素無機化量が増加すると結球が乱れ、品質が低下します。そのため、温暖化に対応した施肥窒素量の見直しが必要となることも想定されます。

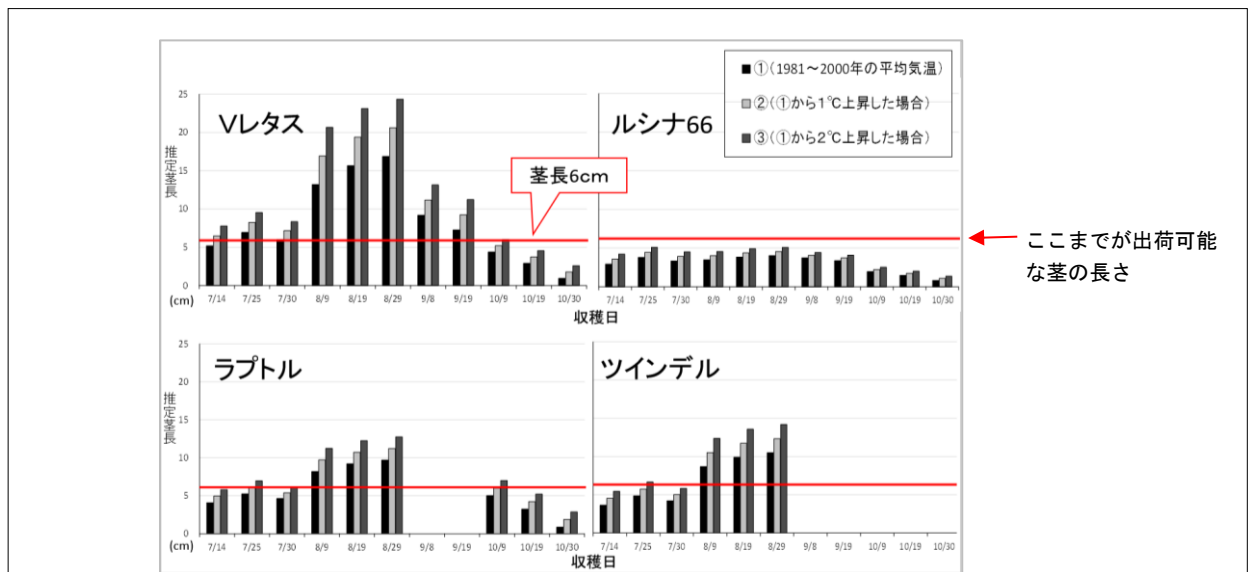


図 3 気温が上昇した場合の寒地（野辺山）におけるレタス 4 品種の抽だいらスク変化

※ 品種「Vレタス」は気温上昇により高温期の抽だいらスクが増えますが、「ルシナ 66」は出荷可能な茎長を維持する予想です。品種選定の重要性が分かります。

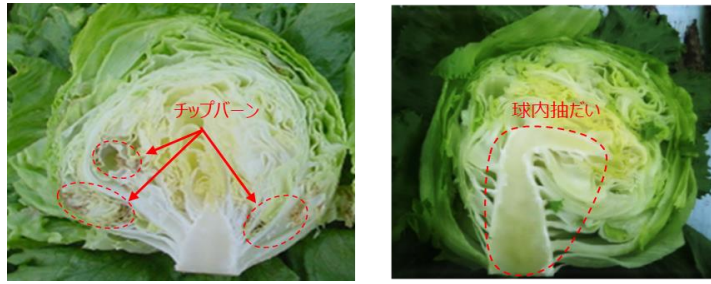


図4 品質が低下したレタス（左：チップバーン 右：球内抽だい）

(イ) 適応策 (○：現在取り組んでいる対策 ●：今後取り組む対策)

これまでの影響評価で得られた知見を踏まえ、中長期的な視点に立ち将来的な温暖化環境条件がレタスの生理生態や品質に及ぼす影響を評価するとともに、温暖化に対応できる品種育成や栽培技術の確立に向けた取組を推進します。

○ 地球温暖化によるレタス生産への影響評価

- ・温暖化予測データの詳細解析と栽培リスクマップの作成
- ・レタス主要病害虫のモニタリングと過去の発生時期の比較
- ・気候変動による温暖化が細菌性病害の発生に与える影響解明

○ レタスの高品質生産を維持するための対策技術の開発

- ・チップバーン発生難易の品種間差異を判定するための条件解明
- ・チップバーン発生難易の判定基準の策定と選抜系統や既存品種への適用
- ・不結球*の発生原因の究明と対策技術確立
- ・土壌窒素無機化量推定式の適応性の検証と地力窒素*の簡易測定による適正施肥技術の開発
- ・温暖化条件下での緑肥による地力維持効果の確認
- ・レタス栽培における有機物利用技術の確立

○ 晩抽性品種*の育成

- ・高温で発生しやすい根腐病の複数レース耐病性*で晩抽性品種の育成
- ・育成系統の適応性評価

● 晩抽性で根腐病複数レース耐病性かつ生理障害の発生が少ない新品種に適した栽培技術の体系化

● 品種の変化に応じた抽だいリスクマップの作成と地帯別適作型モデルの開発



図5 レタスの品種比較試験

※チップバーン	葉のふちが枯れこむ生理障害。土壌の乾燥や石灰吸収不良などが主な原因。品種によって発生しやすさに差がある。
※不結球	結球する種類（品種）のレタスが、生育が進んでも結球しないこと。
※土壌窒素無機化量	肥料や堆肥に含まれる有機物が土壌中の微生物によって分解され徐々に無機化する量のこと。その速度は温度に影響される。
※地力窒素	地力窒素とは、土壌に元々含まれている窒素のことで、外から施肥する肥料に含まれる窒素ではなく、土壌中の有機物が土壌微生物によって分解される過程で生じてくる窒素のこと。
※晩抽性品種	病原性（病原菌が宿主のレタスに病害を引き起こす性質・能力）がレタス品種によって異なること。
※複数レース耐病性	病原性（病原菌が宿主のレタスに病害を引き起こす性質・能力）がレタス品種によって異なることを病原性の分化と呼び、その菌系統をレースという。異なる菌系統（複数レース）に耐病性があること。

3 リンゴ

(ア) 気候変動により想定される影響

落葉果樹の中でも寒冷な気候を好むリンゴは、標高が高く冷涼な本県の気候に適合した品目です。しかし、地球温暖化による気温の上昇により、リンゴの安定した生産に必要な花芽の分化等の生育や品質への影響のほか、日焼け等の果面障害の発生頻度の増加、害虫発生の長期化や頻度の増加が予想されています^[4]。

【リンゴの生育や品質への影響】

県果樹試験場では、平均気温が2℃上昇した場合の気候条件を再現できる大型のガラスハウス（図6）を整備し、平成26年にリンゴ「ふじ」を定植して樹体の生育、果実の品質を調査しています。これまでの結果では、発芽期や開花期が前進し、樹体生育が旺盛になりました。また、11月下旬の収穫期において、果実重が増加し、果皮色（図7）、硬度、糖度、酸含量及びみつ入りが低下して、成熟不良果の割合が増えました。このように、気温の上昇は、リンゴの生育や果実品質に様々な影響を及ぼすことが明らかになってきています。

また、気温が上昇すると、地温も同程度上昇すると予測され、この場合、リンゴ園の地力窒素*発現量は8~26%増加すると見込まれており、今後、地力窒素発現量の増加が樹体生育に及ぼす影響を検討していきます。

【果面障害（日焼け果など）の発生頻度の増加】

地球温暖化の進行によって、果面障害（特に、日焼け果）の発生頻度が高まることから、発生防止のための遮光資材が導入されつつあります。現在、遮光資材による被覆が果面温度や栽培環境に及ぼす影響や、連年使用した場合のリンゴ樹への影響について調査を進めています。

【病害虫の発生頻度の増加】

地球温暖化の進行は、病害虫の発生状況にも大きく影響し、特に害虫発生の長期化や年発生回数の増加が予想されています。このため、現在の病害虫発生をモニタリングし、過去のデータと比較することで、気温上昇による影響が大きい病害虫の推定を進めています。

※地力窒素 地力窒素とは、土壌に元々含まれている窒素のことで、外から施肥する肥料に含まれる窒素ではなく、土壌中の有機物が土壌微生物によって分解される過程で生じてくる窒素のことです。



図6 温暖化再現ハウス



図7 温暖化再現ハウス内で収穫した「ふじ」の果実
左：地球温暖化を再現したハウスで栽培
右：現在の気温気候条件で栽培

※温暖化再現ハウスでは着色が薄くなっていることが判る



図 8 高温による日焼け



図 9 果実温度変化をセンサーで測定し、日焼け発生程度に及ぼす影響を調査

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

これまでの影響評価により、温暖な気象条件における幼木期の生態・樹体生育及び果実品質の知見が得られており、今後は、温暖な気候条件でも品質の良い果実を生産するための対策技術の開発を進めます。また、日焼け防止のための遮光資材被覆下での果面温度の上昇抑制や、連年使用した場合の果実生産への影響を明らかにするとともに、気温上昇による影響が大きい病害虫の予測を進めます。

○ 温暖化によるリンゴ生産への影響評価

- ・温暖化再現ハウスに定植したリンゴ樹の生態、生育状況、果実の生産性と品質調査
- ・土壌溶液窒素*の推移と樹体内窒素量の調査
- ・病害虫発生モニタリング（観察）と過去の発生時期との比較

○ 遮光資材被覆（図 10）が果面温度（果実の表面温度）とリンゴ樹の生育に及ぼす影響

- ・遮光資材利用時の果面温度の把握
- ・遮光資材利用時の栽培環境と樹体生育の実態把握

○ 高温条件でも着色良好なリンゴ早生品種「シナノリップ」の県下への普及拡大

● リンゴ栽培に及ぼす温暖化の影響評価と対応策の検討

- ・温暖化条件下において良果生産を可能とする栽培技術の検討
- ・果実着色に対する樹体内窒素濃度の影響評価
- ・温暖化条件下における果実の貯蔵性向上技術の開発
- ・温暖化進行により防除上問題となる病害虫防除の体系化技術の開発

※土壌溶液窒素 土壌中の水に溶けて、作物が利用可能な状態となった窒素。



図 10 遮光資材被覆の設置試験

4 ブドウ

(ア) 気候変動により想定される影響

長野県は主要なブドウ産地としては気温が低いため、地球温暖化による影響は比較的小さいものの、気温の上昇により、「巨峰」等の黒色系品種で果実の着色が阻害され、品質が低下することが想定されています。

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構では、全国のブドウ「巨峰」の果皮色と気温の関係を現すモデルと気候予測データを用いて、近未来（2031-2050年）における「巨峰」の着色不良の発生地域の予測を行いました（図11）。この結果、露地栽培における「巨峰」の着色不良発生地域は、1981-2000年と比較すると、長野から上田地域、松本地域、天竜川沿いに着色不良発生頻度が20%までの地域が広がると予測され、中でも標高の低い長野地域では着色不良発生頻度がやや高くなると予測されています。

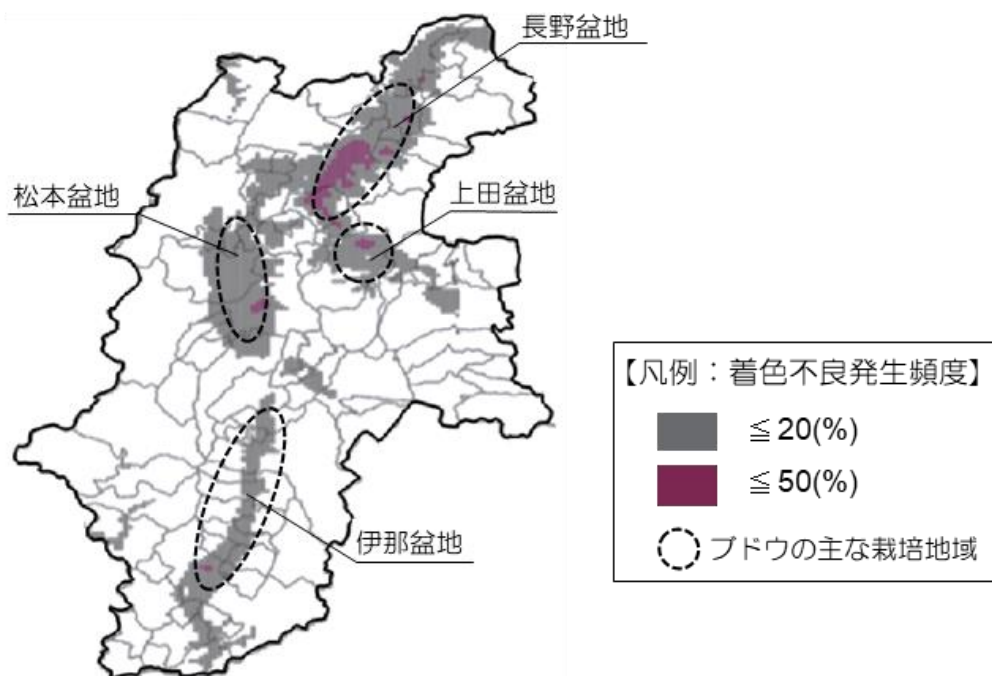


図11 巨峰の着色不良発生頻度の予測
2031-2050年に年平均気温が1981-2000年の年平均気温に対して0.98~2.65℃上昇した場合

※出典：農研機構（2019）「ブドウ着色不良発生頻度予測詳細マップ」から長野県領域を切り出して作成
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/131034.html

※ 全球気候モデルはMIROC5、MRI-CGCM3、GFDL-CM3、Had-GEM2-ES、CSIRO-Mk3-6-0の5つの平均値、排出シナリオはRCP4.5（近未来（2031-2050年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ0.98~2.65℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度1km

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

ブドウについては、これまでの「巨峰」等の品種に代わり、消費者・実需者からの需要が高い皮ごと食べられる種なし品種への転換と産地拡大を進めています。このため、各品種の高品質安定生産のため、着色不良発生の状況把握や、発生原因の解明調査を行い、着色安定技術の開発を進めます。

○ ブドウ栽培に及ぼす温暖化の影響評価と対応策の検討

- ・ 果実の着色不良発生の状況把握と発生原因の解明
- ・ 「巨峰」等の品種に代わり、消費者・実需者からの需要が高い皮ごと食べられる種なし品種（シャインマスカット・ナガノパープル・クイーンルージュ[®]等）への転換と産地拡大を推進

● ブドウ栽培に及ぼす温暖化の影響への対応策の検討

- ・ 果実の着色安定技術の開発



図 12 県内での栽培が拡大しているシャインマスカット



図 13 反射資材敷設が皮ごと食べられる県オリジナル赤ブドウ品種「クイーンルージュ[®]」の着色に及ぼす影響についての研究

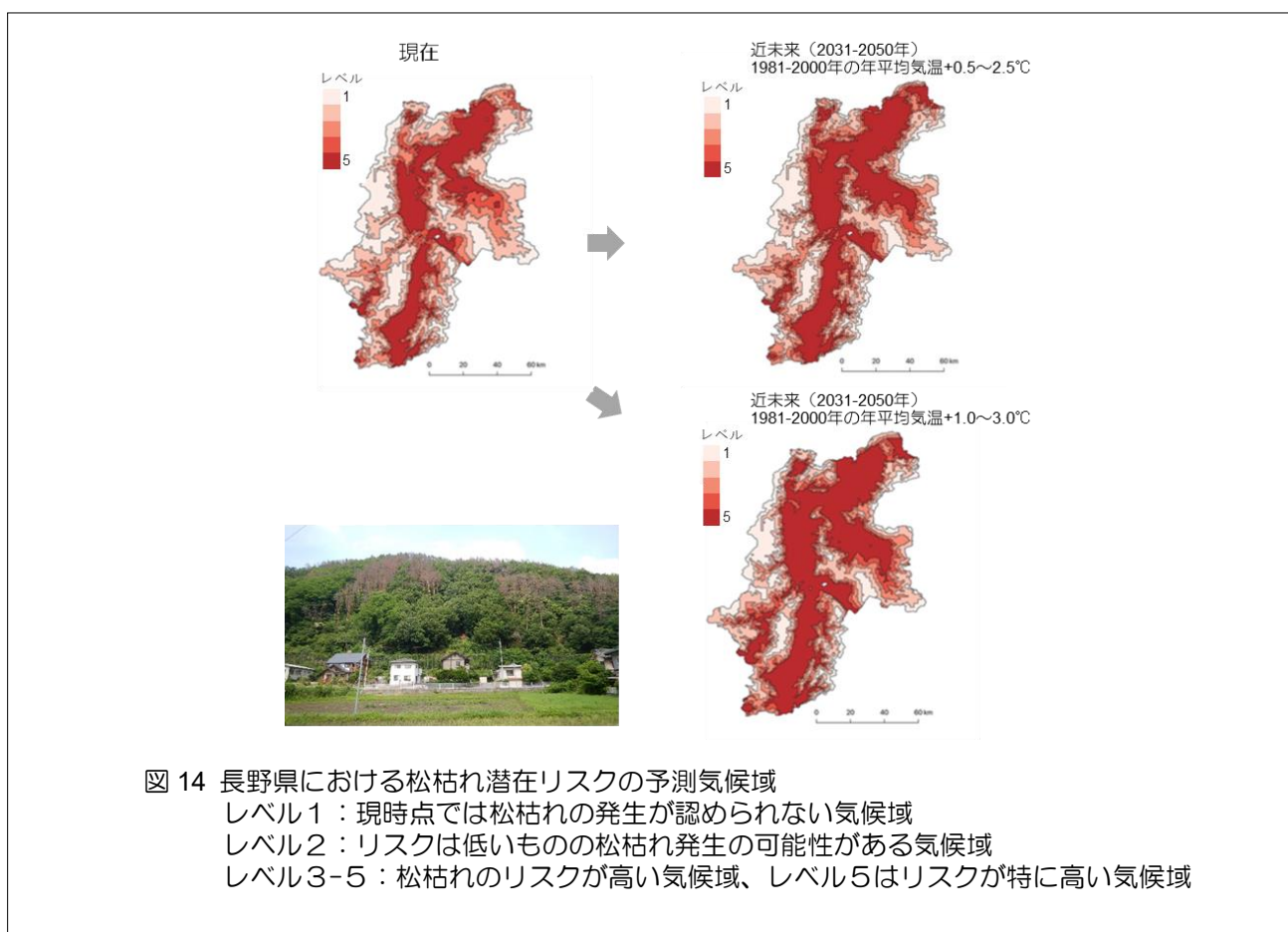
5 アカマツ・マツタケ

(ア) 気候変動により想定される影響

松枯れ（マツ材線虫病、松くい虫）による松林の被害は、日本における森林被害の一つであり、今なお各地で防除が必要とされています。また、地球温暖化により被害がさらに広がることも世界的に危惧されています^[1]。

全国の松枯れ地点情報^[7]と、気温・降水量情報（メッシュ平年値 2010；気象庁、1980-2010年の30年平均）を元に予測モデルを構築し、現在における潜在リスク域を予測しました。また、将来気候予測データ^[8]（全球気候モデルはMRI-CGCM3、排出シナリオはRCP2.6（近未来（2031-2050年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ0.5~2.5℃上昇する予測）とRCP 8.5（近未来（2031-2050年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ1.0~3.0℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度1km）を用いて近未来（2026-2050年）における潜在リスクを予測しました^[8]。

近未来の松枯れ潜在リスク域は、現在よりも増加し、またRCP2.6よりもRCP8.5で増加すると予測されました（図14）。他県と比較すると、長野県は近未来におけるもっとも潜在リスク域が拡大する条件下においても低リスク域が残りやすい結果となりました。ただし、近未来では、単純にリスク域が広がるだけでなく、低リスク域が分断化し、それまでは離れていた高リスク域が繋がることも予想され、防除がより困難になる可能性があります。一方、他県と比較して標高が高い長野県においては、温暖化が進んだとしても高標高地域では被害の及ばない松林が残ることも予想されます。



(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

松くい虫の被害レベルマップを作成し、将来の被害予測を実施するとともに、被害状況マップを基に、松くい虫を媒介するカミキリムシが生息する標高限界を考慮した標高別ゾーニングを進めます。また、守るべき松林を決め、重点的に対策を実施します。

- 松くい虫の被害レベルマップを作成し被害拡大経過を検証しながら、将来の被害予測を実施 (図 15)
- 守るべき松林 (保安林、マツタケ山、景勝地周辺等) を決め、重点的に対策を実施
- 既に被害が大きい地域では、木質バイオマスなどの原料として利用する被害木の資源化を促進
- 松くい虫被害の原因とされるマツノザイセンチュウに抵抗性があるアカマツの苗木開発
- マツタケ人工栽培の研究の促進 (図 16)
- 被害レベルマップを基に、松くい虫を媒介するカミキリムシが生息できる標高限界を考慮した標高別の松くい虫対策ゾーニングの実施 (図 17)

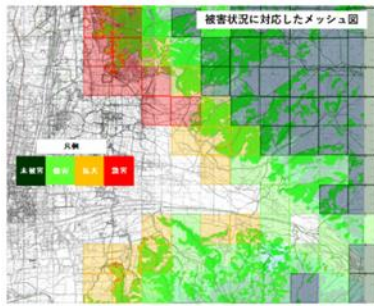


図 15 松くい虫の被害状況マップ



図 16 マツタケ菌共生苗木の開発

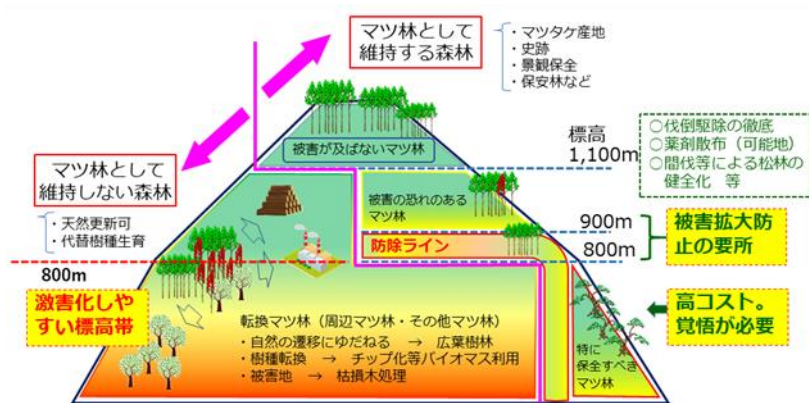


図 17 標高帯で示す松林保全

6 水の供給

(ア) 気候変動により想定される影響

気候変動が流域の水資源に及ぼす影響を評価するため、千曲川流域を対象として河川流量や積雪水量が将来どのように変化するかを予測しました^[9]。高解像度で多数のアンサンブルを持つ気候予測データ^[10]（d4PDF：全球気候モデルはMRI-AGCM3.2、排出シナリオはRCP8.5（21世紀末（2051-2100年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ3.6～6.7℃上昇する予測）、地域気候モデルはNHRCMを用いた力学的ダウンスケーリングによる空間解像度20km）を、陸面過程モデルと河川流下過程の要素をもつ分布型水文モデルに入力し、陸域の水循環解析を行うことで河川流量および流域内の積雪水量の評価を行っています。

【流量】

図18は、千曲川（飯山市柏尾橋）における1979-2003年及び2075-2099年の月平均流量の季節変化を示しています。1979-2003年では、冬の間降り積もった雪が雪融け水として、4月前後に一気に川に流れるため流量のピークが現れます。一方、2075-2099年では、気温の上昇により降雪量が減るだけでなく、積もった雪が冬の間融けやすくなるため、春先の融雪による流量のピークは減少しています。また、夏季の河川流量は2075-2099年においてはばらつきが大きくなると予測されました。

なお、洪水による気候変動への影響については、「10 気候変動への影響：洪水」で説明します。

【水資源（積雪水量）】

図19は、千曲川の流域全体に雪として貯水している水量を流域面積で割り、降水量と同じ単位で表現したものです（積雪水量）。年最大流域平均積雪水量は現在では平均値が257mm、2075-2099年では平均値が104mmとなり、積雪水量が約60%減少すると予測されました。また、2075-2099年の年最大流域平均積雪水量の平均値が現在の最小値に近くなり、大幅に減少することが予測されました。

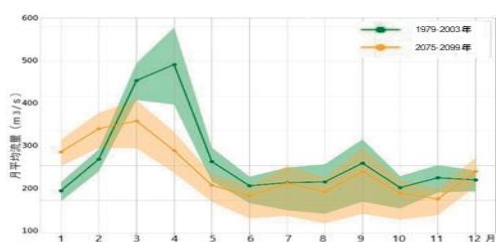


図18 千曲川（柏尾橋地点）の月平均流量
緑：現在、オレンジ：将来、点はアンサンブル平均値、幅は25%パーセンタイル値と75%パーセンタイル値

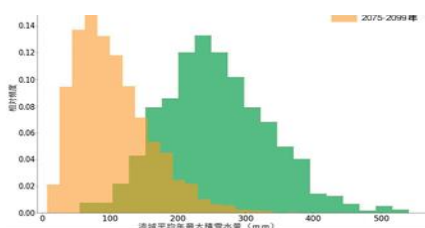


図19 千曲川流域平均年最大積雪水量のヒストグラム
緑：現在、オレンジ：21世紀末



図20 ダムにおける植物プランクトン（裾花ダム）



図21 流木と濁度上昇時の取水口

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

流量の減少などに対応するため、水源地域の公的関与を推進し、渇水時に給水に影響が生じないよう水道事業者間による応急給水を行います。また、局地的豪雨などによる水質悪化に備え、水質監視の強化、取水設備の機能強化、薬品注入設備の増強等による高濁度対策を進めます。

【流量】

- 水源地域の公的関与の推進
 - ・ 水源地域の公有地化や市町村条例による開発、取水規制
 - ・ 県条例による「水道水源保全地区」、「水資源保全地域」の指定
- 市町村と連携し、限られた水源の保全・涵養、生活用水、農業用水、工業用水等を適正に利活用
- 河川の水量は、農業、発電、水道などの利水のほか、水質、水生生物、景観などに影響を及ぼさないよう、渇水時に確保すべき流量を維持
- 発電取水について、許可水利権者に、流水の正常な機能が維持される流量の放流が行われるよう引き続き要請
- 農業用水の安定供給のため、農業水利施設を補修・更新
- 渇水時に、給水に影響が生じた場合には、水道事業者による災害等相互応援要綱に基づき、事業者間の応急給水を実施

【水資源】

- 水源涵養のため、間伐を中心とした森林整備や、計画的な主伐、再造林による多様な林齢・樹種からなる森林づくりを推進

【水質：浮遊砂発生量、植物プランクトンの増殖、水道影響】

- 水道事業者による水道水源の監視強化を指導し、突然の水質悪化に備える
- 県営水道では取水設備の機能強化、薬品注入設備の増強等による高濁度対策や安定的な浄水に努める
- ダム水を水源としている事業者に対しては、監視の強化や原水の水質に応じた浄水施設の整備を指導し、夏場の水質悪化時に備える
- 集中豪雨による濁度上昇に伴う取水制限又は停止が発生し、給水に影響が生じた場合には、水道事業者による災害等相互応援要綱に基づき、近隣の局地的豪雨でない範囲から事業者間の応急給水を実施

7 ライチョウ

(ア) 気候変動により想定される影響

ニホンライチョウ（以下、ライチョウ）（図 22）は中部山岳の高山帯にのみ隔離分布し（図 23）、本種の世界最南限の集団です。また、ハケ岳や白山、中央アルプスでは既に絶滅し、現在、その個体数は 2,000 羽弱まで減少（推定値）しており、絶滅危惧種に指定されています。ライチョウは、温暖化に脆弱とされる高山植生に強く依存した生活をおくっています。

ライチョウ生息地の中心部である北アルプス中南部において、ライチョウの分布と高山植生との関係性に基づいて構築した生態ニッチモデルと、気候予測データ（全球気候モデルは CMIP3 の 24 のモデル、排出シナリオは SRES A1B、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度 1km）を用いて、21 世紀末（2081-2100 年）におけるライチョウの潜在生息域の予測を行いました⁵⁾。まず、ライチョウは稜線に近く、ハイマツ群落や雪田草原群落、風衝地群落といった高山植物群落がバランス良く成立する場所で生息する確率が高い結果となりました。

次に、ライチョウが気候変動によってどのような影響を受けるかを、1981-2000 年と 21 世紀末の潜在生息域を比較することで評価しました。その結果（図 24）、今回用いた排出シナリオ（経済成長重視を想定したシナリオ）に基づくと、高山植生の減少によって、ライチョウの潜在生息域は 21 世紀末に現在の 0.4%に減少することが予測されました。このことは、温暖化の影響が、現在のライチョウ生息地の中心部である北アルプスの個体群にも大きく及ぶことを示唆しています。



図 22 侵入雄に警戒して、警戒声を発するニホンライチョウ



図 23 日本におけるニホンライチョウの生息分布（青）

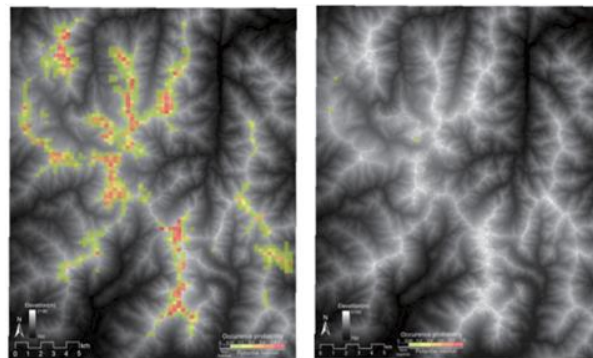


図 24 北アルプス中南部におけるニホンライチョウの潜在生息域の予測結果
左：現在、右：21 世紀末

これまでの高山帯での人工温暖化実験によれば、気温上昇によって高山植物のフェノロジー（季節の移り変わりに伴う動植物の行動や状態の移り変わり）が変化することや、ガンコウランなど常緑低木の成長量の増加が生じることが報告されています（図 25）^[11]。また、中央アルプスの高山風衝地での定点観測の結果からは、近年の気温の上昇などの気候変動の影響によって、現在、ガンコウランの被覆が広がりつつある様子も観察されます（図 26）。しかし、本州中部山岳域でも、山域ごとの地史的背景や現在の気象環境により高山植生・植物相は異なっており、こうした気候変動の影響は必ずしも一律ではありません。

本州中部山岳域の高山植物種多様性の地理的分布は不均質で、飛騨山脈の白馬岳周辺、赤石山脈の北岳周辺、ハケ岳南部など一部の山域が非常に高い、高山植物種多様性ホットスポットとなっています（図 27）。また、その種多様性には、希少種（低頻度出現種：山域固有種・隔離分布等を示す種）の分布と有意な正の相関があり、高山植物種多様性ホットスポットは、特定の山域への希少種の集中的な分布により形成されていることが示唆されます（図 28）。希少種の分布には、一部の山域では超塩基性岩地・石灰岩地と関連が深いことから、こうした地質的な特徴をもつ山域が、過去の気候変動下で高山植物の逃避地（レフュージア）に機能してきた背景があることが考えられます。気候変動に脆弱とされる高山植物ですが、地域的な気候変動適応策を考える上では、こうしたレフュージアとなる特性の有無など山域間の環境の違いへの配慮も必要となります。

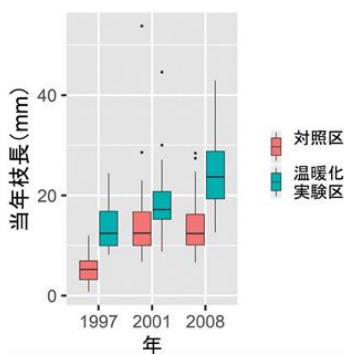


図 25 人工温暖化実験での常緑低木ガンコウランの成長量

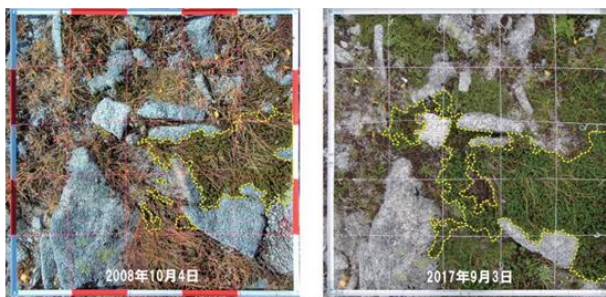


図 26 中央アルプス木曾駒ヶ岳風衝草原に設置した方形（1m×1m）の約 10 年間の植生変化
左：2008 年、右：2017 年、黄点線：ガンコウラン群落の範囲

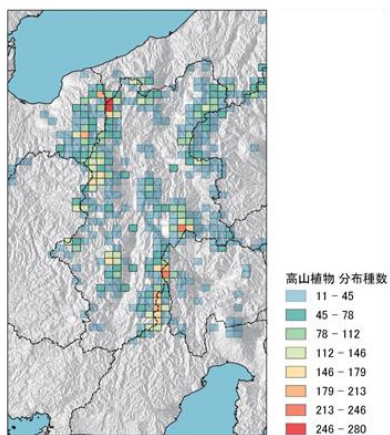


図 27 本州中部山岳の高山植物種多様性の分布

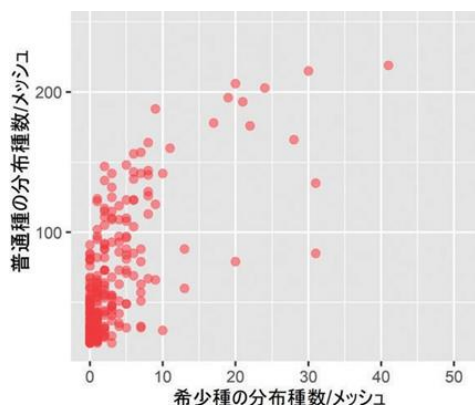


図 28 高山植物の希少種と普通種の分布種数の関係

温暖化によって、動植物の生息（生育）適地が、移動したり消滅したりします。標高が上がれば気温が下がるため、温暖化した場合でも、山の斜面では同じ気候条件は近くに見つかります（図 29）。一方、平野部や山と島の上部では、より標高の高いところが近くにないため、遠くへ移動する必要があります。新しい生息（生育）適地が近くになければ、動植物の絶滅リスクが高まる可能性があります。

この指標となるのが気候変動の速度（VoCC）^[12]です。1981-2010年の気候（ここではアメダスメッシュ化データ^[13]の年平均気温）と2076-2100年の気候^[5]（複数の全球気候モデル、排出シナリオはRCP2.6（21世紀末（2051-2100年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ1.0~2.8℃上昇する予測）、4.5（21世紀末（2051-2100年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ1.8~4.5℃上昇する予測）および8.5（21世紀末（2051-2100年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ3.6~6.7℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度約1km）を比較して、現在の年平均気温を示す場所が21世紀末にはどれくらい近くに見つかるかを調べました^[14]（図 30）。

その結果、大雪山系、日高山脈、中部山岳の山頂部では、国内には移動先さえ見つからない場合があります。長野県でも、そうした地域（高山帯）に生息（生育）している動植物は、温暖化に対して非常に脆弱であると考えられます。

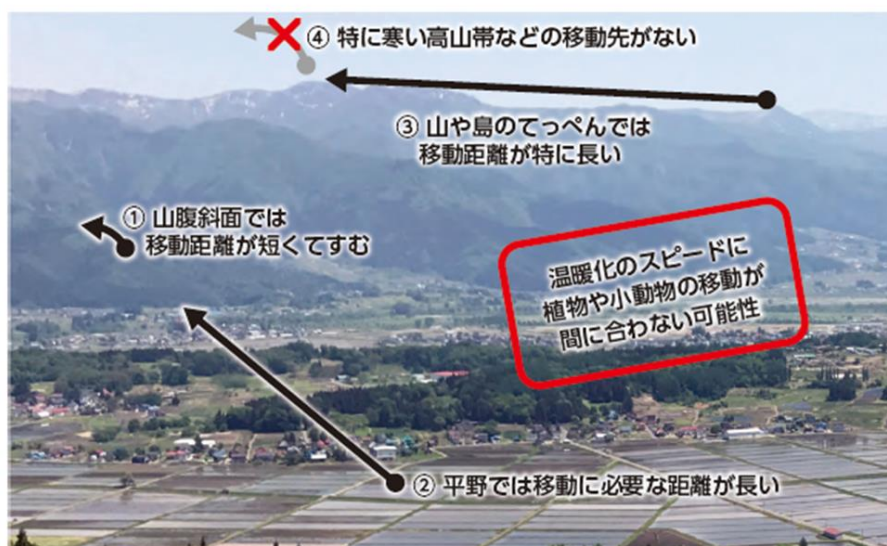


図 29 温暖化したとき、以前と同じ気温の場所を探す場合の例
 気温 1℃の変化は、標高では約 150m 上への移動、水平では約 145km への北上に相当する



図 30 現在のペースで温暖化が進んだ場合の気候変動の速度（VoCC）と、移動先を重ねた地図

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

国など関係機関との連携による生息環境の調査を継続的に進めるとともに、登山者などの協力を得ながらITを活用した生息状況を明らかにする研究を推進します。さらに、ライチョウの保護をサポートする人材の養成や、保護対策高度技術者を育成するなど官民連携で対策及び研究を進めます。

【ライチョウ】

- 国など関係機関と連携し、ライチョウの生息環境の調査を実施
- ライチョウの目撃情報を収集するスマートフォン用アプリを開発し、生息状況を明らかにする研究を推進 (図 33)
- ライチョウの保護をサポートする人材 (ライチョウサポーターズ) を養成
- 関係機関との連携によるライチョウの保護対策高度技術者養成などの保全対策の実施 (図 34)

【高山植生、気候変動の速度】

- 温暖化による高山植生への影響の実態把握と予測研究を行い、危機的な変化はその情報を周知
- 関係機関との連携により、対応策を研究・検討



図 31 ライチョウの親子



図 32 ライチョウの餌になるガンコウラン



図 33 目撃情報投稿アプリ



図 34 保護対策高度技術者養成の研修

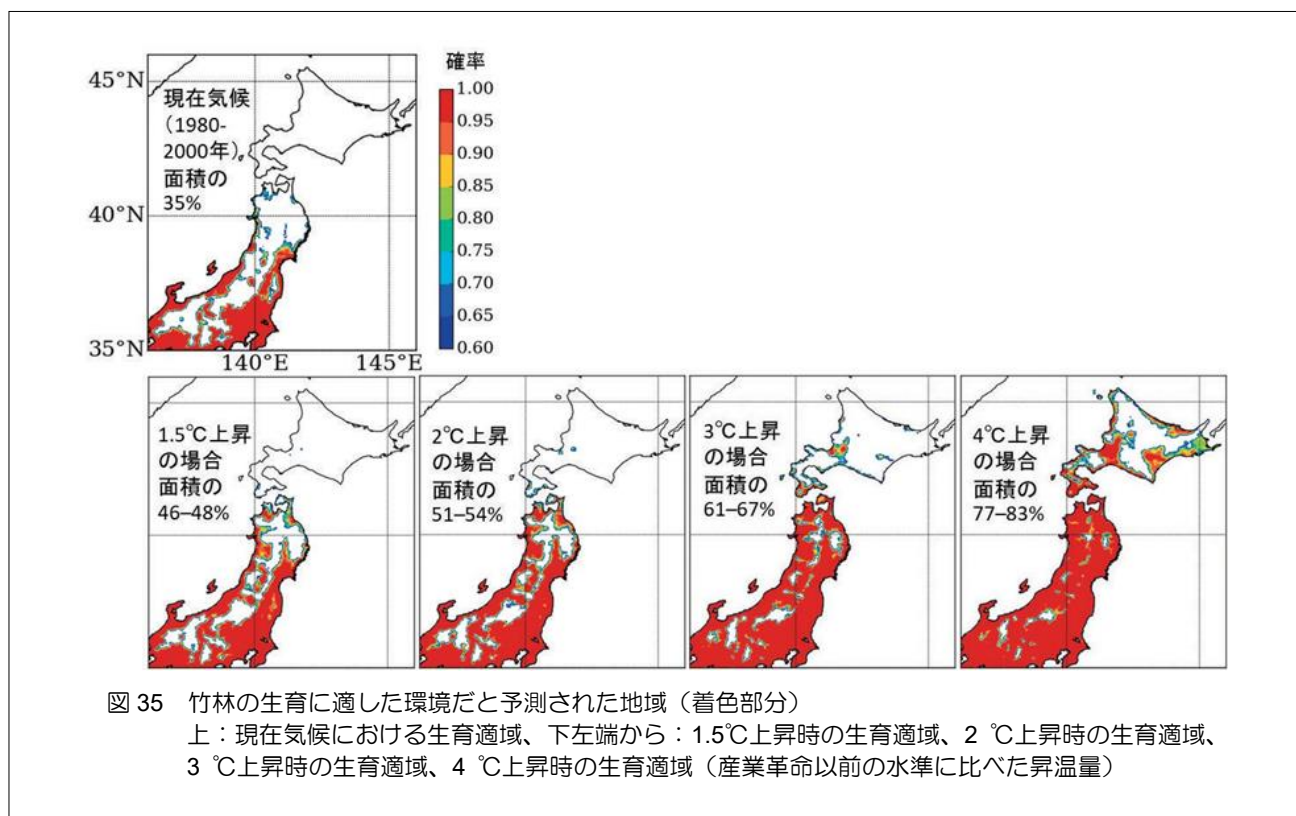
8 竹・ブナ・シラビソ

(ア) 気候変動により想定される影響

日本で高さが 10m を超えるような竹林を形成するのはマダケ属の竹（モウソウチク（孟宗竹）やマダケ（真竹）、ハチク（淡竹）等）です。現在の日本の竹林のほとんどは他の地域から人の手によって持ち込まれ、本来はその地域の生態系に存在しなかった外来種であると考えられます。しかし 1970 年代以降にはタケノコの輸入自由化や農家の高齢化に伴って竹林の管理放棄が進みました。成長の早いモウソウチク等はタケノコから約 1 か月で 20m もの高さに達し、落葉広葉樹の里山林では、周りの植物を日陰にして枯らしてしまいます。放置竹林は周囲の在来植生に急速に拡大し、里山における生態系・生物多様性への脅威となっていることから、里地里山管理の上で最大の問題点とも言われています。

現在の竹林の分布と気候条件（気温と日射量）の関係を説明するモデルを構築し、気候予測データ^[15]（全球気候モデルは MRI-AGCM、排出シナリオは RCP8.5（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 3.6~6.7℃上昇する予測）、地域気候モデルは NHRCM を用いた力学的ダウンスケーリングによる空間解像度 5km）を用いて、モウソウチクとマダケの生育に適した地域を予測しました^[16]（図 35）。

その結果、1980-2000 年には東日本（北緯 35 度以北、東経 136 度以東：図 35 の範囲）で生育に適した土地の割合は 35%であったのに対し、日本の平均気温が産業革命前に比べて 1.5℃上昇した場合には 46 ~ 48%、2℃上昇では 51 ~ 54%、3℃上昇では 61 ~ 67%、4.0℃上昇した場合には 77 ~ 83%まで増加し、北限は最大 500km 進んで稚内に到達すると予測されました。温暖化を抑制する緩和策と同時に、外来種予防三原則に基づいた生態系管理などの適応策も進めることが重要です。



長野県の森林のうち自然林の分布現況を概観すると、県の最南部に暖温帯の照葉樹林が分布するものの、県下の大部分、標高およそ 1,500m 付近までの範囲にはブナ林に代表される冷温帯の夏緑広葉樹林や温帯針葉樹林が広くみられます。その上部にはシラビソ、オオシラビソなどからなる亜高山帯常緑針葉樹林、さらに標高約 2,500m 付近より上部には高山帯植生が発達します。

ブナおよびシラビソの分布と気候条件との関係を現すモデルと気候予測データ^[17]（全球気候モデルは MIROC5、排出シナリオは RCP8.5（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 3.6~6.7℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度 1km）を用いて 21 世紀末（2081-2100 年）におけるそれぞれの種の潜在生育域を予測しました^[18,19]。

ブナは、1981-2000 年では全県にわたって潜在生息域が見られますが、21 世紀末には生育適域が北信地域や木曽地域、下伊那地域の低標高地で消失し山岳地の山腹に限定的となることが予測されています（図 36）。また、シラビソは、現在気候下では北アルプス北部を除く亜高山帯域に広く生育域がありますが、21 世紀末にはより高標高域のみに生育域が縮小することが予測されています（図 37）。

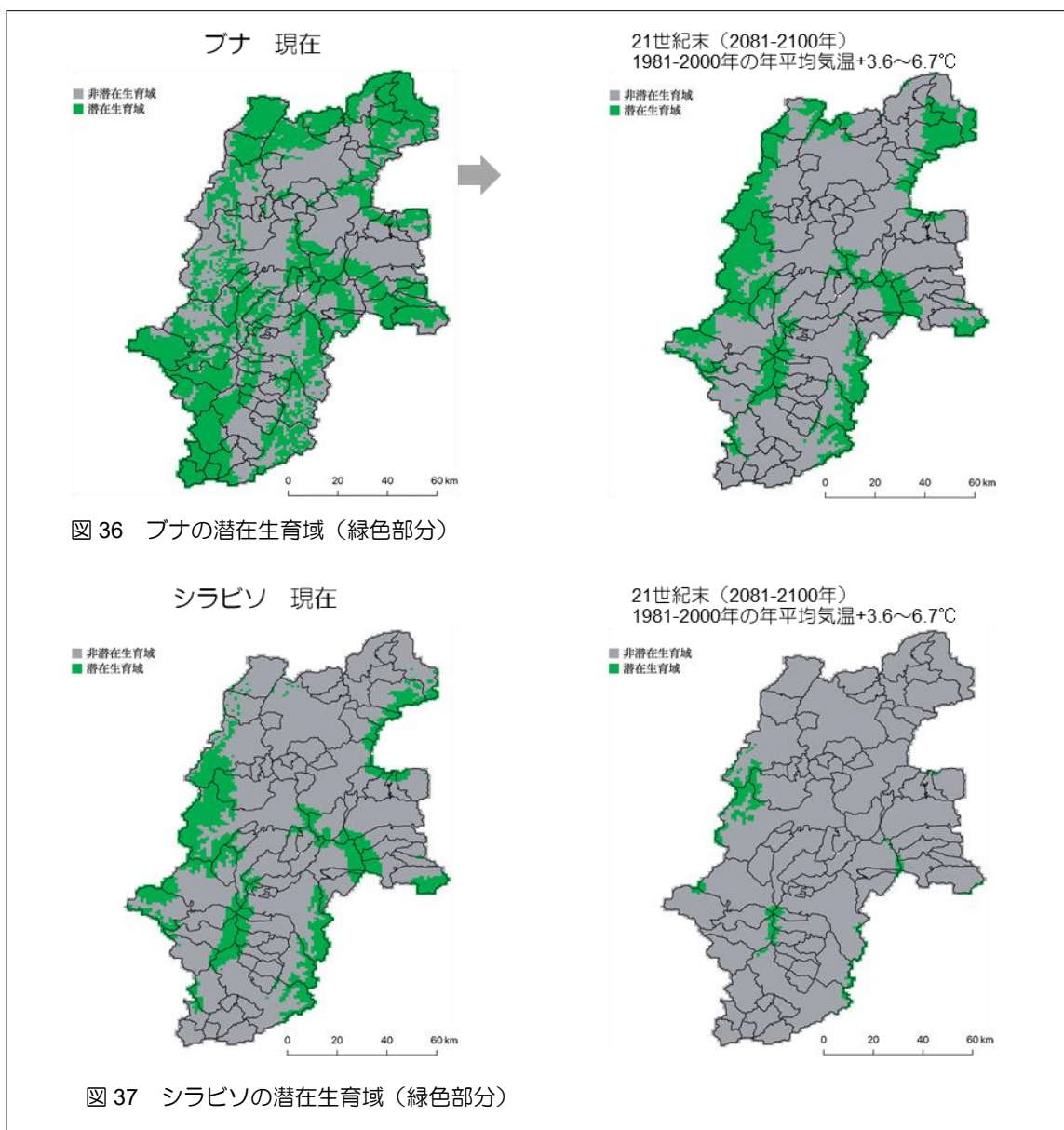


図 36 ブナの潜在生育域（緑色部分）

図 37 シラビソの潜在生育域（緑色部分）

(イ) 適応策 (○：現在取り組んでいる対策 ●：今後取り組む対策)

竹については、資源としての利活用や竹林整備等に対する支援を通じ、里山の機能を維持していきます。ブナ・シラビソについては、継続的なモニタリングを実施し、温暖化による実態把握に基づき対応策を研究・検討を進めます。

【竹】

- 自然環境や生態系、生物多様性への影響について、継続的なモニタリングを実施、対応策を検討
- 資源としての竹の利活用や竹林整備等に対する支援を通じ、里山の機能を維持

【ブナ、シラビソ】

- 自然環境への影響について、モニタリングと予測を実施
- 影響の実態把握に基づき、関係機関との連携し、対応策を研究・検討



図 38 人工林に侵食するハチク（淡竹）



図 39 ブナ林

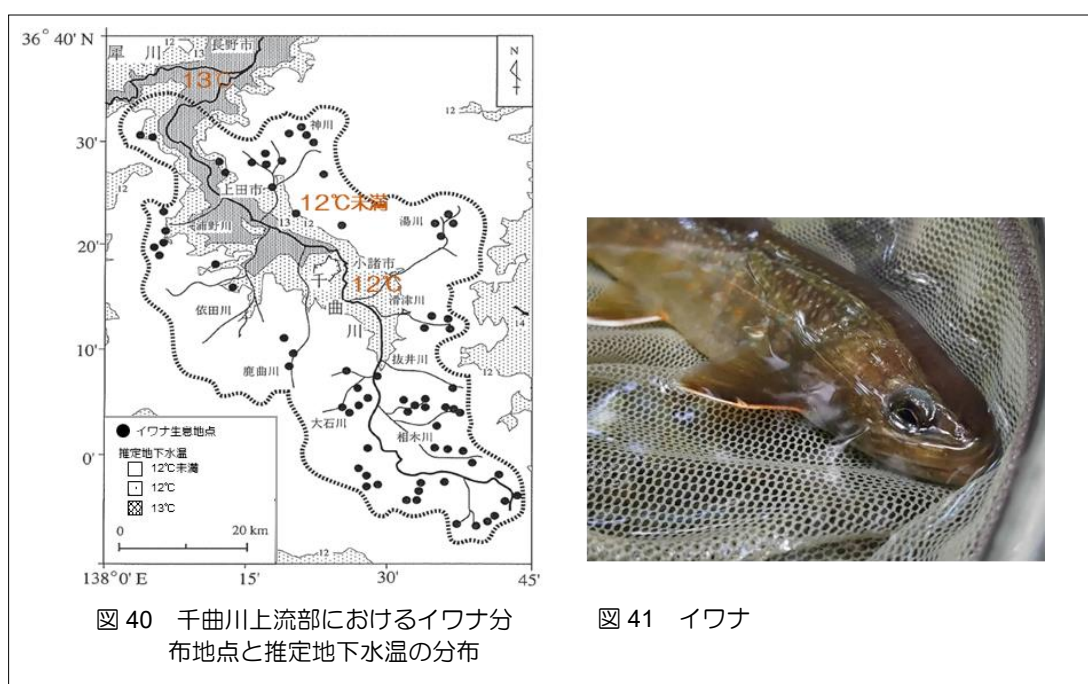
9 イワナ・ワカサギ

(ア) 気候変動により想定される影響

【イワナ】

イワナは温暖化が進むと生息適地がさらに上流部に限られ、場所によっては絶滅の可能性も考えられます。また、堰堤によって移動を阻害されることもさらに影響すると考えられています。

千曲川上流部のイワナ生息地における水温を推定し、水温が1℃～4℃上昇したと仮定した場合における生息地の消失と分断化の程度を検討しました(図40)²⁰⁾。1～3℃の平均気温上昇では影響は検出されないものの、4℃の上昇で5地点(7%)が消失すると予測されました。また、現在の河川には、魚類の上流への移動を妨げる堰堤が数多く設置されており、これらがイワナの生息地の消失や個体群の分断化を助長しており、その結果、イワナの絶滅リスクが高まることが心配されています。



【ワカサギ】

湖などの閉鎖的な環境で生きる内水面の魚は、陸上の動物に比べて、気候変動の影響を受けやすいと考えられます。

また、水温の上昇によって、湖の生態系の一次～二次消費者である動物プランクトンの発生時期や量が変わり、ワカサギなどのふ化直後の魚の生き残りに大きな影響があると言われています。

諏訪湖における過去30年間の水温をみると年々上昇している傾向がみられました(図42)。特に、ワカサギのふ化時期と考えられる3月下旬以降では、5月上旬から5月下旬の水温が上昇していました。また、ワカサギの卵を採卵する主要河川である上川でも、水温が上昇していることが認められています²¹⁾。

ワカサギは、産卵のために諏訪湖に注ぐ中小河川を遡上しますが、遡上のピーク日は遅くなる傾向があり、遡上ピーク日と河川水温、諏訪湖の水温、親魚体重との間には関係が認められます。これらのことから、ワカサギの産卵およびふ化は、以前に比べ湖や河川の水温が高い状態で起こっていることがうかがえ、ふ化後の成長や成熟に影響をあたえている可能性が考えられます²²⁾。



図 43 ワカサギ

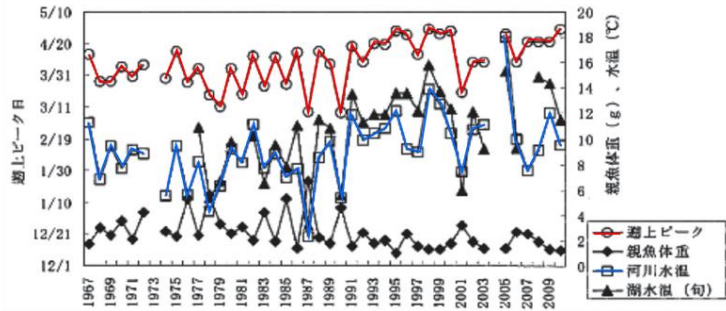


図 42 諏訪湖におけるワカサギの遡上ピーク及び遡上ピーク時の親魚体重、河川温度、湖沼水温の経年変化 (水温上昇に伴い遡上が遅延)

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

温暖化に伴う大雨や融雪による川の増水によるイワナへの影響把握や現状把握を進めます。また、簡易魚道による遡上促進効果の評価や多自然型川づくりを基本とした河川改修を推進します。

- イワナの生息状況や生息環境の変化などの現状把握、保全・保護方策検討
- 温暖化による異常気象が与える県内のイワナへの影響把握
 - 大雨や融雪などにより川が増水することに伴うイワナ資源への影響把握
- 支流の重要性の把握
 - イワナ稚魚採捕用トラップを開発し、移動要因の解明や支流から移動するイワナ稚魚の実態調査
- 緩和技術の開発
 - 簡易魚道による遡上促進効果の評価
- 多自然川づくりを基本とした河川改修
- 水産資源としての量を維持するため、水質等の生息環境に係る変化を観測



図 43 イワナ稚魚採捕用トラップによる調査



図 44 イワナ稚魚

10 洪水

(ア) 気候変動により想定される影響

近年では日本各地で毎年のように豪雨による洪水被害が頻発しています。2019年には長野県においても令和元年東日本台風による大雨で千曲川が氾濫し大きな被害を受けました。(図45)



図45 令和元年東日本台風による洪水被害の状況

長野県の将来における洪水リスクについて予測しました。将来の降雨予測に用いたデータは、気候予測データ^[2] 全球気候モデルは GFDL-CM23、HadGEM2-ES、MIROC5、MRI-CGCM3、CISRO-Mk3-6-0 の6つ、排出シナリオは RCP2.6 (21世紀末(2051-2100年)において、1981-2000年の年平均気温に比べ1.0~2.8℃上昇する予測) および 8.5 (21世紀末(2051-2100年)において、1981-2000年の年平均気温に比べ3.6~6.7℃上昇する予測)、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度1km)を近未来(2031-2050年)および21世紀末(2081-2100年)でそれぞれ平均した値を使用しました。

1981-2000年における再現期間(30年から200年)の降雨空間分布を求め、気候予測による降雨の増加率をそのまま空間分布に乘じ、将来の降雨空間分布を作成しました^[23]。洪水氾濫解析は2次元不定流モデルを利用し、堤防の効果を水系毎、河川区間毎に河道標高を下げることで表現しました^[24]。

図46は、一例として長野県における再現期間100年の洪水の浸水深分布を示しています。一部の地域は令和元年東日本台風の浸水深分布と合致していました。千曲川、姫川、天竜川、釜無川などの大きい河川沿いに広く氾濫域が存在していることがわかります。また、地形が急峻な場所、平野部に出たところ、合流地点などにおいて広い氾濫が見られます。なお、この図は全県一様に再現期間100年の洪水が発生した場合を示した図であり、地点毎で見る必要があります。

表1および表2は、長野県と日本全国の洪水時における床上浸水面積の予測値をそれぞれ示したものです。RCP2.6の場合、床上浸水面積が近未来より21世紀末において減少していますが、RCP8.5の場合には、長野県の床上浸水面積は大きくなっていることがわかります。

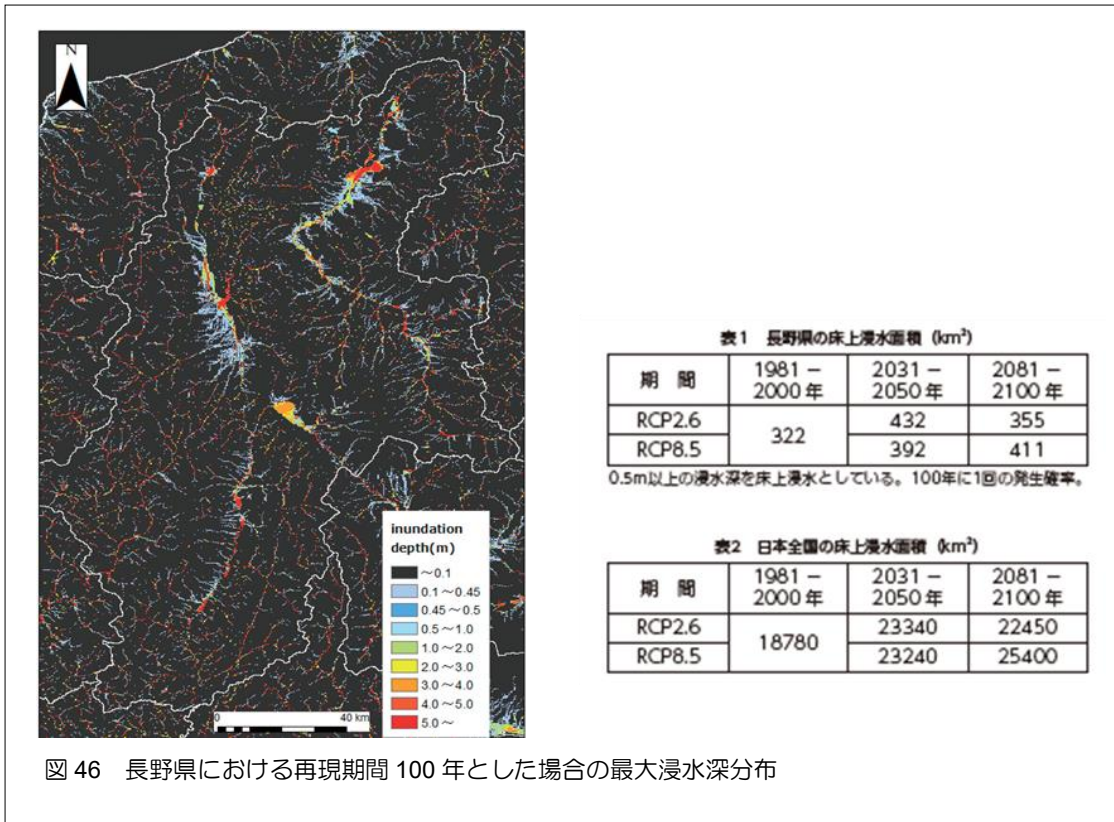


図 46 長野県における再現期間 100 年とした場合の最大浸水深分布

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

1000 年に 1 度の降雨洪水浸水想定区域図の作成やハザードマップと連携した「地域の防災マップ」や「災害時住民支え合いマップ」などの作成支援を行い、県と市町村が一体となって防災・減災対策を推進します。さらに、浸水被害防止のための河川改修や雨水貯留施設の整備、施設の長寿命化など、流域治水を進めます。

【建設・危機管理分野】

- 洪水予報河川及び水位周知河川における 1000 年に 1 度の降雨洪水浸水想定区域図の作成
- 河川施設及び洪水調節施設の整備、内水対策等を実施し、総合的な治水対策を推進
- 河川管理施設について、定期点検、長寿命化計画に基づく適切な維持管理の実施
 - ・ 施設の異常、土砂の堆積状況の把握を行うとともに、適時適切な護岸の修繕や河床掘削、流木の除去等を実施
 - ・ 河川区域に隣接する民地の立木（河畔林）の除間伐を実施
- 「信州防災『逃げ遅れゼロ』」宣言に基づき、県と市町村が一体となって防災・減災対策を推進
- 一定規模の降雨により発生する洪水に対する浸水被害防止のための河川改修の実施
- 大規模出水に対する市町村への部局を横断した支援体制の構築
- 大水害に対する「地域の取組方針」の県下 10 圏域での策定と対策の実施
- 部局連携により、ハザードマップと連携した「地域の防災マップ」や「災害時住民支え合いマップ」等の作成を支援
- 要配慮者利用施設による避難確保計画・避難訓練を推進
- 要配慮者利用施設を保全するハード・ソフト一体対策の推進
- 水位計、監視カメラの増設によるリアルタイム情報の発信（図 47）

- 計画的な河川パトロールや河川モニターによる河川施設や不法投棄の巡視
- 全ての県管理河川において、県、市町村等からなる大規模氾濫減災協議会を設置、円滑かつ迅速な避難及び的確な水防活動等を実現するために取り組む事項をまとめた「取組方針」を策定し、水防災意識の高い社会を構築
- 流域施設における雨水貯留施設の整備促進
- 中小河川における 1000 年に 1 度の想定最大規模降雨洪水浸水想定区域図の作成

【農業分野】

- ICT を活用した農業水利施設の遠方監視・操作を導入
- 豪雨による農地等の湛水被害を防止するため、耐用年数の超過により機能が低下した排水機場のポンプ設備を計画的に改修

【治山分野】

- 根系が発達し樹根支持力が大きな森林や湿性環境や流水の影響に強い樹種からなる森林づくりを行い、洪水時に流木発生源にならない「溪畔林型」の森林づくりを推進
- 樹木の直径が大きな森林づくりを行い、土石流流体力を低減及び抑制する災害緩衝機能が高い「溪畔林型」の森林づくりを推進

【営利企業分野】

- 豪雨時における基幹施設の浸水対策として、止水壁等の設置
- 停電時にも機能維持を図るため、可搬式発電機の配備
- 災害時等連携協定の見直し、支援物資の相互利用、受援体制の整備などソフト対策の充実



図 47 簡易型河川カメラの設置

(ア) 気候変動により想定される影響

斜面崩壊などの土砂災害による被害を防止・軽減する対策の一つとして、土砂災害防止法に基づき土砂災害警戒区域を指定し、危険の周知や警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地抑制などが推進されています。過去の斜面崩壊実績時の地形、地質、水文量等を元に斜面崩壊発生確率を現すモデルを構築し^[25]、これに気候予測データ^[2]（全球気候モデルは複数モデル、排出シナリオは RCP2.6（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 1.0～2.8℃上昇する予測）および 8.5（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 3.6～6.7℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度 1km）の気温から求めた可能最大降雨量を入力することで、近未来（2031-2050 年）および 21 世紀末（2081-2100 年）における土砂災害警戒区域内の斜面崩壊発生確率の予測を行いました。

図 48 は、観測史上最大値の降雨量の実績に基づく土砂災害警戒区域内の斜面崩壊発生確率を示しています。概ね県内に高い発生確率の区域が点在していますが、中でも北信地域に高発生確率の区域が集中する傾向があります。図 49 は図 48 の値と RCP8.5 における可能最大降雨量の条件による斜面崩壊発生確率の増加量を示しており、北信地域では気温上昇による降水量の増加に伴う発生確率の上昇が予測されました。さらに、図 50 には図 49 で示された土砂災害警戒区域内における斜面崩壊発生確率が 90%以上の箇所数の現在と 21 世紀末の差を市町村別に集計して示しました。おおむね山地面積が大きく人口の集中する市町村ほど発生確率 90%以上の区域が多くなる傾向にあることがわかります。

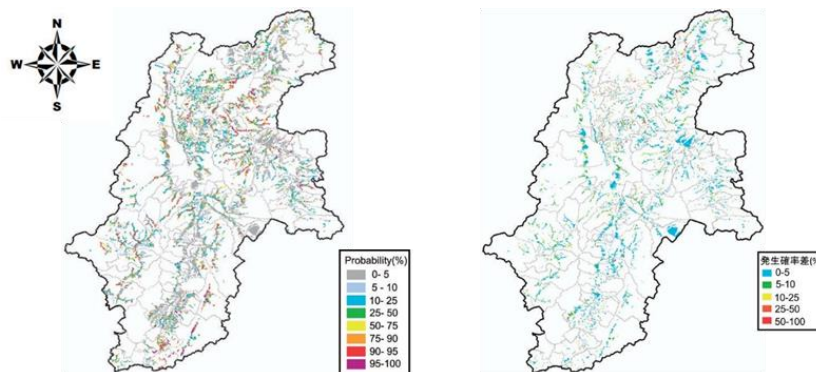


図 48 土砂災害警戒区域内における斜面崩壊発生確率（現在実績）

図 49 現在と 21 世紀末（RCP8.5（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 3.6～6.7℃上昇する予測）、可能最大降雨量）における土砂災害警戒区域内における斜面崩壊発生確率の増加量

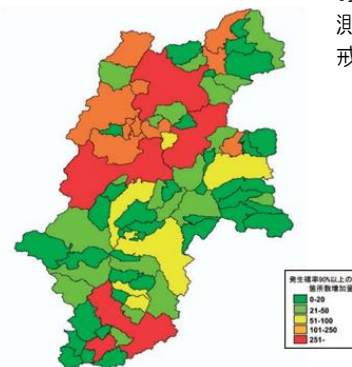


図 50 既存最大雨量と RCP8.5 時の可能最大降雨量による土砂災害警戒区域の発生確率 90%以上箇所数差

(イ) 適応策 (○：現在取り組んでいる対策 ●：今後取り組む対策)

砂防事業、地すべり対策事業等のハード整備による防災・減災対策を進めるとともに、森林税等による間伐、崩壊防止型森林の造成など、災害に強い森林づくりを推進します。信州防災「逃げ遅れゼロ」宣言による、県・市町村一体の防災・減災対策や、自然エネルギー設備導入を促進し、一時孤立にも対応する災害につよい地域づくりを進めます。

【建設・危機管理分野】

- 土砂災害に対する砂防事業、地すべり対策事業、急傾斜地崩壊対策事業、雪崩対策事業等によるハード整備により防災・減災対策を推進
- 土石流とともに流木を止める透過構造の砂防施設の整備
- 土砂災害の恐れのある場所を明示する土砂災害警戒区域等を指定や解除に係る基礎調査を継続し、一定の開発行為の制限、建築物の構造規則、既存住宅の移転促進を推進
- 土砂災害警戒区域等に既に立地する要配慮者利用施設や避難所を守るため、ハード対策、ソフト対策の両面から土砂災害対策を推進
- 「信州防災『逃げ遅れゼロ』」宣言による、県と市町村が一体となって防災・減災対策を推進
- 関係機関と連携し総合的な土砂災害対策を実施するため、長野県総合土砂災害対策推進連絡会を設置
- 要配慮者利用施設における避難確保計画策定・避難訓練の実施を支援
- 部局連携による「地区防災マップ」や「災害時住民支え合いマップ」等の作成を支援
- 大雨時の防災情報である「土砂災害警戒情報」の的確な情報を発信するための精度向上に向けた取組（降雨等各種データ更新による基準値の見直しや高解像度化）
- 長野県河川砂防情報ステーションによる防災情報の提供
- 我が事として捉える防災意識向上の取組（公民館や学校などに防災教育講師として砂防ボランティアを派遣）
- 大規模災害が発生した場合には、土石流、地すべり、火山噴火などの土砂災害による二次災害発生に備え、国土交通省、市町村等と連携し、迅速に応急対策工事の実施と、警戒避難体制の早期構築を実施
- 防災拠点や住宅における再生可能エネルギー設備・蓄電池等の導入を促進するとともに、再生可能エネルギーの事業化を支援し、一時孤立にも対応した災害に強い地域づくりを推進
- 既存の砂防関係施設を有効活用するため、ライフサイクルコストを考慮した長寿命化修繕計画を策定
- 土砂洪水氾濫による被害の防止・軽減を目的とした施設整備の推進

【農業分野】

- 地すべり防止区域において、地すべり防止施設の長寿命化計画に基づき、計画的に工事を実施
- 豪雨や地震による災害を防止するため、防災重点農業用ため池の豪雨・耐震対策、山腹水路の改修、地すべり対策等を実施
- ため池が決壊した場合、迅速かつ安全に避難するために必要な「ため池ハザードマップ」作成を支援
- 農業・農村が有する多面的機能の維持・発揮を図るため、農業者等が共同して取り組む地域活動や地域資源（農地・農業用水路・農道等）の保全管理活動支援

【治山分野】

- 地域との協働により事前防災治山計画の策定
- 「山地防災マップ」の整備

- 森林税等による森林整備と施設整備が一体となった治山事業により、森林の土砂災害防止機能を向上させ、土砂災害や流木災害を防ぐ「災害に強い森林づくり」について集落周辺を中心に推進（図 51）
- 既存治山施設の長寿命化と、山地災害危険箇所の事前防災対策を計画的に推進
- 森林の多面的な機能を持続的に発揮させるための間伐を中心とした森林づくりと木材の積極的な利用
- 高木植生の葉が茂っている部分を適度な密度に保ち、根系を発達させることで土壌緊縛力を強固にするとともに、低木植生が発達している森林や地表への落葉や落枝量を豊富に供給することで土砂流出の防止する土壌を形成し、崩壊防止機能を発揮できる「崩壊防止型」森林の造成
- 上部からの崩壊土砂や落石を受け止め、下方への土砂災害を拡大させないため、根系を発達させ、樹木の直系が大きな森林とすることで樹幹支持力が大きな「崩壊土砂抑止型」森林の造成
- 土留工等の治山施設は個別施設長寿命計画を策定し、計画的な維持管理を実施
- 地盤変動等の観測による、大規模災害発生箇所の早期発見
- 災害発生源となる危険箇所の抽出やシミュレーションを行い、森林の立地状態区分（崩壊防止型、崩壊土砂抑止型、畦畔林型）を指定する際に使用



図 50 「畦畔林型」の森林づくり



図 51 災害に強い森林づくり指針

12 熱中症

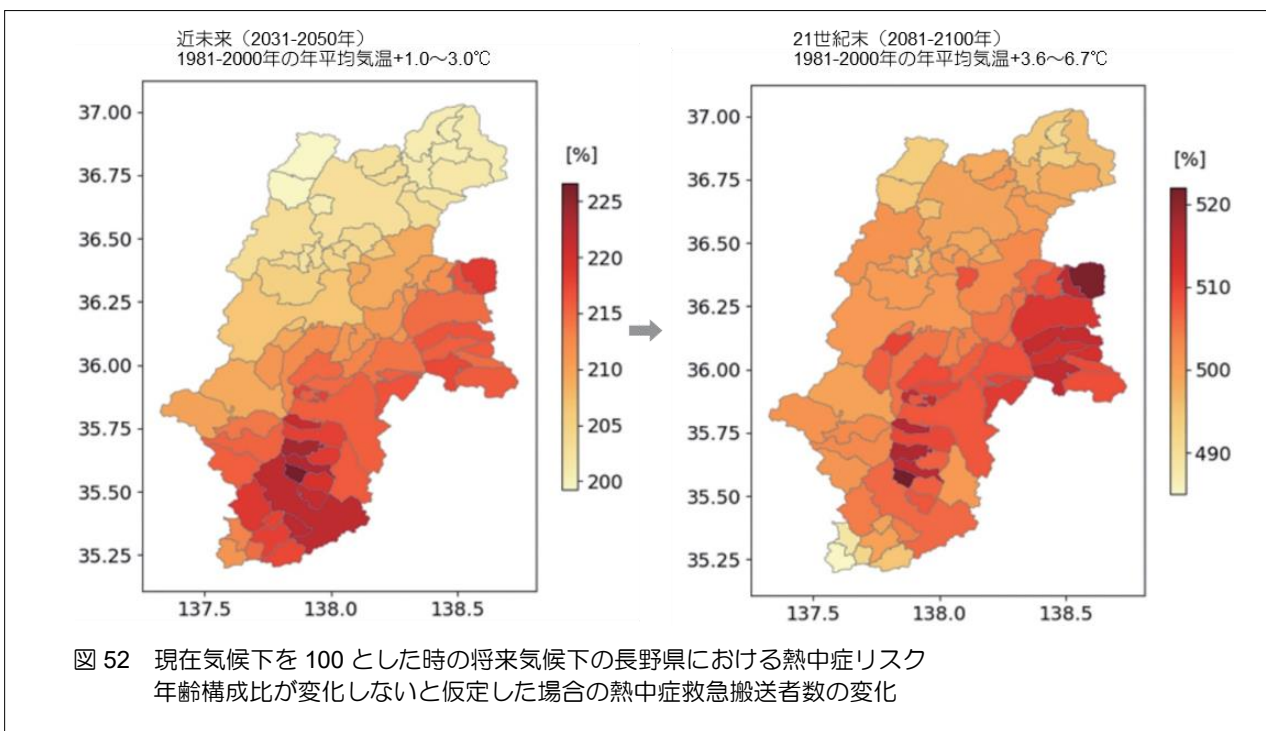
(ア) 気候変動により想定される影響

近年、夏季の高温による熱中症が問題となっています。今後の温暖化が熱中症に及ぼす影響を評価するため、日最高気温から熱中症救急搬送者数の日別値を予測する統計モデルを開発し^[26]、そのモデルと気候予測データ^[2]（全球気候モデルは複数モデル、排出シナリオは RCP2.6（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 1.0～2.8℃上昇する予測）および 8.5（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 3.6～6.7℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度 1km）を用いて近未来（2031-2050 年）および 21 世紀末（2081-2100 年）における熱中症リスク（現在気候下に対する熱中症搬送者数の増加率）予測マップを作成しました。開発したモデルは、地域・季節・年齢による熱中症リスクの差異を考慮して作成されています。

図 52 は、長野県における近未来（左図）および将来（右図）の現在に対する熱中症リスク増加率マップです。長野県全体の平均値でみると、近未来における熱中症リスクは、RCP2.6（図省略）および RCP8.5 とも約 2 倍に増加し、21 世紀末における熱中症リスクは、RCP2.6 では約 2 倍（図省略）、RCP8.5 では約 5 倍になると予測されました。

市町村別にみると、近未来の RCP8.5 では、県の東部から南部にかけてリスク増加率が周辺よりも大きい地域がみられます。また、21 世紀末の RCP8.5 では全県的にリスク増加率が大きくなります。特に、県の東部から南部にかけての地域では、リスク増加率が極めて大きくなると予測されました。

なお、ここで言う熱中症リスクは、長野県の年齢構成比が現在から変化しないと仮定した場合における熱中症救急搬送者数をもとに評価しています。今後の課題としては、将来における 65 歳以上の高齢者割合の増加など、人口動態の変化を考慮した熱中症救急搬送者数（絶対値）を評価指標とすることが考えられます。



(イ) 適応策 (○：現在取り組んでいる対策 ●：今後取り組む対策)

平常時からホームページやラジオ放送、リーフレットなどにより熱中症予防啓発を実施するとともに、危険な暑さが予想される場合には、熱中症警戒アラートにより、関係部局及び市町村が連携して、住民に熱中症への備えを呼びかけます。

- 平常時からホームページ、ラジオ放送、リーフレット（一般向け、高齢者向け、外国人向け）等により熱中症予防啓発を実施
- 危険な暑さが予想される場合、令和2年7月から関東甲信越地方において試行された熱中症警戒アラート（令和3年から全国で正式運用）（図53）により、関係部局及び市町村等と連携し、熱中症予防を呼び掛け（図54）

熱中症警戒アラート 発表基準 			
暑さ指数 (WBGT)	注意すべき生活活動の目安	日常生活における注意事項	熱中症予防運動指数
33以上 熱中症警戒アラート発表			
都県内のどこかの地点で暑さ指数 (WBGT) が 33 を超える場合に発表 <small>暑さ指数 (WBGT) とは、人間の熱 (ラジアン) に影響の大きい「気温」「湿度」「輻射熱」の3つを取り入れた暑さの厳しさを示す指標</small>			
31以上	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。	原則は運動中止
28~31	中度以上の生活活動でおこる危険性	外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。	嚴重警戒 (激しい運動は中止)
25~28	強い生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休憩を取り入れる。	警戒 (積極的に休憩)
21~25	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが、激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。	注意 (積極的に水分補給)

図53 熱中症警戒アラート

長野県 × Oisuka 大塚製薬

長野県と大塚製薬は連携協定を締結し、熱中症対策に取り組んでいます。

こまめな水分補給で 熱中症対策!

汗をかいたときに飲むものは水だけでいいのでしょうか?

3 POINT 熱中症対策

POINT 1

こまめな水分補給
+ 電解質補給

POINT 2

暑さを避け
涼しい服装

POINT 3

暑いときには
無理をしない

おすすめの水分補給

暑さを感じたときもこまめに飲む

水分補給

暑さを感じたとき

食塩摂取量を確認しよう

砂糖(ブドウ糖・果糖)で水分の吸収をスピードアップ



マスクをしている際や、室内での熱中症にも注意!

暑さ、のどの渇きを感じる前にこまめな水分補給。
風通しを良くしたり、エアコンを活用するなど室内でも涼しく過ごす工夫をしましょう。

図54 熱中症対策ポスター

13 蚊が媒介する感染症

(ア) 気候変動により想定される影響

ヒトスジシマカはデング熱などの感染症の主たる媒介蚊です。日本に生息するヒトスジシマカの分布域と気象因子の比較から、年平均気温が11℃以上となる地域が分布可能な生息域と判定されています^[27]。

この気温を気候パラメータとして、気候予測データ^[17]（全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP8.5（21世紀末（2051-2100年）において、1981-2000年の年平均気温に比べ3.6～6.7℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度1km）を用いて、近未来（2031-2050年）および21世紀末（2081-2100年）における長野県のヒトスジシマカの生息域の将来予測を行いました（図55）。

1981-2000年の県内のヒトスジシマカ生息可能域は主に標高の低い長野から上田にかけて、松本周辺、伊那谷に狭く分布しますが、近未来から21世紀末では、気温の上昇に伴い生息可能域が広がる予測結果となりました。

また、図56は、長野県におけるヒトスジシマカの生息域の分布率の将来予測となっています。4つの全球気候モデルと3つの排出シナリオ別に、現在に対する近未来および21世紀末の分布率の変化となっています。全球気候モデルによるばらつきはあるものの、昇温の度合いが大きいRCP8.5では50～80%程度の増加、昇温の度合いが小さいRCP2.6では10～40%程度の増加が予測されました。

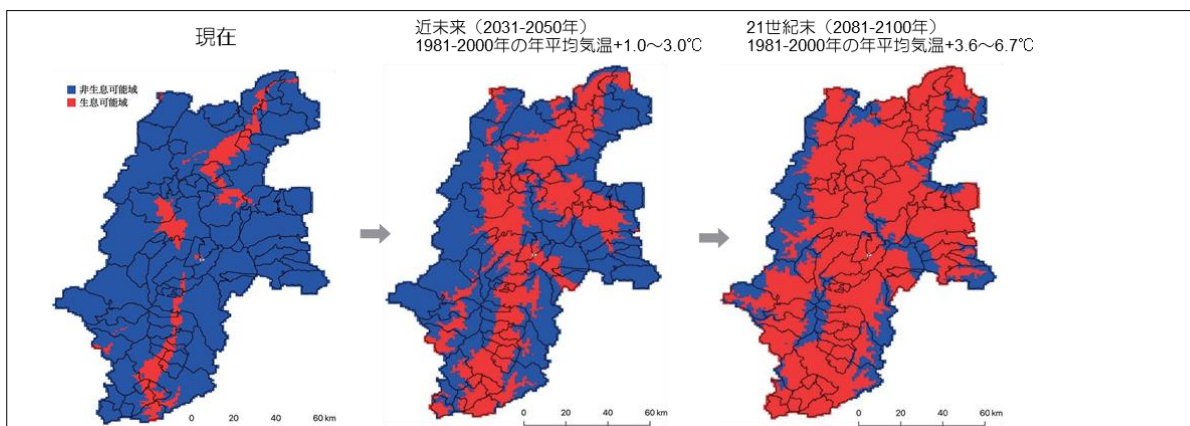


図55 長野県におけるヒトスジシマカの生息域の将来予測（基準期間に対する相対値）

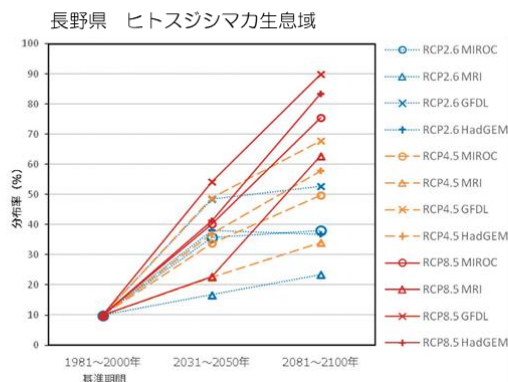


図56 長野県におけるヒトスジシマカの生息域の分布域（分布可能面積の比率）の将来予測（基準期間に対する相対値）気候モデルを4つ、排出シナリオを3つの場合の結果

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

ヒトスジシマカなど節足動物の発生を減らすための対策や感染症予防策について積極的に県民に周知・啓発を行います。特に、現場の医師等に感染症発生動向調査の重要性や制度についての理解を促進するとともに、感染症に関する人材の育成、疫学調査担当機関と検査担当機関の連携強化を進めます。

- ヒトスジシマカなど節足動物の発生を減らすための対策や、刺されないための対策を注意喚起
- 蚊の駆除対策等について啓発や研修会を実施
- 感染症の予防策等について、様々な広報媒体を用いて積極的に県民等へ周知 (図 58)
- 感染症対策の基本である感染症の発生情報の収集・分析、情報提供に関して、特に現場の医師等に感染症発生動向調査の重要性や制度についての理解を促進
- 感染症の発生状況等について、適時適切に情報提供
- 感染症に関する人材の育成、疫学調査を担当する保健所と検査を担当する環境保全研究所との連携強化、新たな検査施設の確保等、環境保全研究所及び保健所検査関係課の機能強化に向けたあり方を関係部局と検討



図 57 ヒトスジシマカ^[28]



図 58 ヒトスジシマカ撲滅ポスター

14 スキー産業

(ア) 気候変動により想定される影響

地球温暖化の進行により、自然環境資源を生かした地方のレクリエーション・サービス産業への影響、とりわけ大きな影響が想定されるのはスキー産業です。例えば積雪がなければスキー場のゲレンデはそもそもオープンできませんが、積雪があったとしても気温上昇による雪質の低下が集客数の減少につながると考えられます。このような温暖化の影響に対する適応技術の代表例は、人工降雪機や人工造雪機などですが、一般に効果的なものほど導入費用は高価ですので、予想以上の温暖化が進めば公的な支援なしではスキー産業を維持することは難しくなるかもしれません。

そこで長野県におけるスキー場を対象とし、過去のスキー場来客数の実績と気象データによる統計的解析と気候変動予測データ^[2]（全球気候モデルは MIROC5、排出シナリオは RCP2.6（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 1.0～2.8℃上昇する予測）および 8.5（21 世紀末（2051-2100 年）において、1981-2000 年の年平均気温に比べ 3.6～6.7℃上昇する予測）、統計的ダウンスケーリングによる空間解像度 1km）を用いて、近未来（2031-2050 年）および 21 世紀末（2081-2100 年）における気温上昇時のスキー場来場数の減少と、それによる経済学的被害額の推計を試みました^[29,30]。

ここでは、スキー場への訪問回数と旅費と気象データから、スキーなどのレジャーを行う場所としての価値を推計しています。こうして推計された価値をレクリエーション価値と呼んでいます。現在のレクリエーション価値をエリア別に左青の棒グラフで示しました。また、RCP2.6 シナリオでの被害額は中央桃色、RCP8.5 シナリオでの被害額は右赤色で示しました（図 59）。結果として、近未来における被害予測ではあまり変化は見られませんが、21 世紀末には北アルプスや北信、上田、佐久、諏訪地域など、スキー場の集まる地域において大きな被害が見込まれ、現在のレクリエーション価値と比べて、年 30～40%ほどの被害になることを示唆しています。

また、その被害額に対する気温の上昇、積雪深の減少の影響度合いを計算した結果（図 60）、温暖化が大きく進行する RCP8.5 では、気温の影響度合いがより高くなることがわかりました。

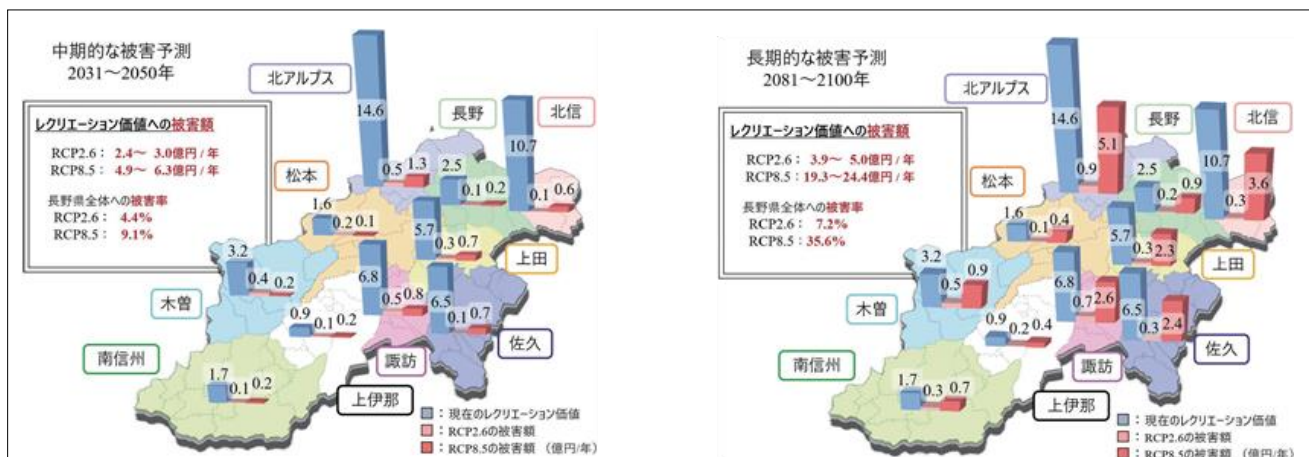


図 59 レクリエーション価値への被害予測 左：近未来、右：21世紀末



図 60 被害に対する影響度合い（長野県全体の平均）
 左：RCP2.6（21世紀末（2081-2100年）1981-2000年の年平均気温+1.0～2.8℃）、
 右：RCP8.5（21世紀末（2081-2100年）1981-2000年の年平均気温+3.6～6.7℃）

(イ) 適応策 (○：現在取り組んでいる対策 ●：今後取り組む対策)

持続可能な山岳高原リゾートとして、国内外から多くの観光客が繰り返し訪れる観光地域づくりを推進するため、通年型リゾートにつながる取組、地域資源を活かした再生可能エネルギー導入やクリーンモビリティの普及などゼロカーボンに向けた取組を支援します。

- 春、秋のサイクルツーリズムや夏の登山など、年間を通じて観光客増加につながる取組を支援し、広域型DMO等とともに、通年型山岳高原リゾートとしてのブランドづくりを推進
- 暖冬により雪不足の影響を受けたスノーリゾートの中小企業者に対し、長野県中小企業融資制度資金により支援
- 地域資源を活かした再生可能エネルギー導入やクリーンモビリティの普及を促進し、地域内経済循環と環境配慮を両立するとともに、高標高地等の自然資源を活用した山岳高原リゾートとして、国内外から多くの観光客が繰り返し訪れる観光地域づくりを支援



図 61 観光地でのEV利用

図 62 グリーンシーズンの観光

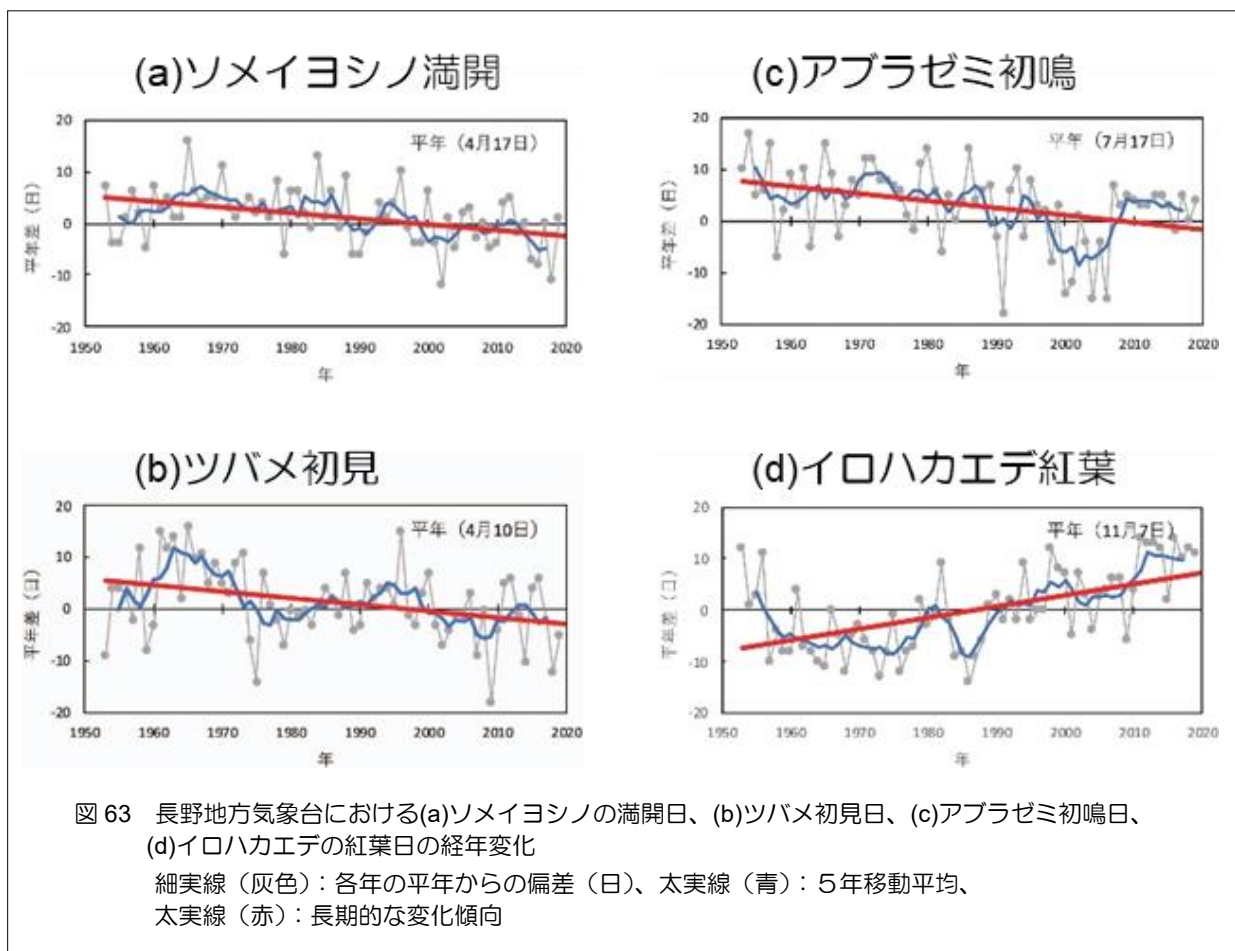
15 生物季節・伝統行事

(ア) 気候変動により想定される影響

【生物季節】

長野地方気象台では1953年より生物季節観測（植物の開花や紅葉、動物の初見や初鳴きなどの日の観察記録）が行われています。観察対象の植物33種、動物17種の開花日や紅葉日、初鳴日などの平年（1981-2010年）からの差について長期変化傾向を解析しました。

ソメイヨシノの満開日は10年あたり1日（a）、ツバメの初見日は1.2日（b）、アブラゼミの初鳴日は1.4日（c）早まっています。一方、イロハカエデの紅葉日は10年あたり2.2日（d）遅くなっていました（図63）。春から夏にかけてほとんどの植物季節は早まり、夏以降は遅くなっていました。動物季節の変化傾向は種によってさまざまでした。



【御神渡し】

諏訪湖の御神渡りの出現回数は、1990年代以降急激に減っています（図64）。この変化と諏訪特別地域気象観測所における真冬日日数（最高気温が0℃以下の日）の出現回数の変化は同調しています。冬の寒い日が減ることで、諏訪湖が結氷しない（あるいは、しにくい）年が増えることがその要因の一つと考えられます。

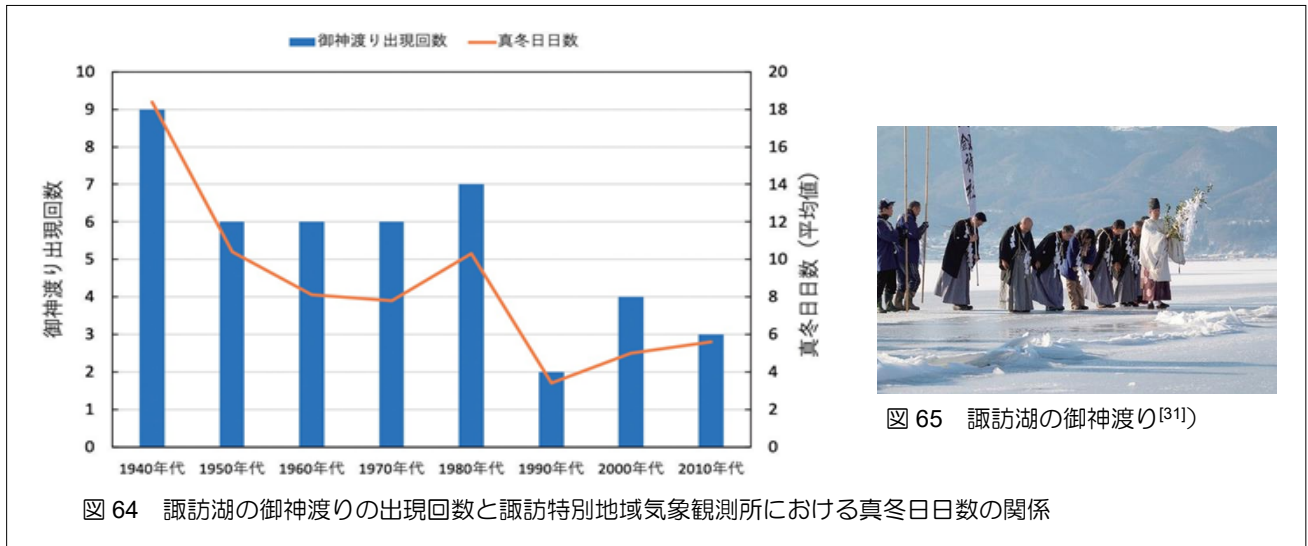


図65 諏訪湖の御神渡し^{[31])}

(イ) 適応策 (○：現在取り組んでいる対策 ●：今後取り組む対策)

県内で気象情報を保有する機関で構成する信州・気候変動モニタリングネットワークにおいて、継続的な気象モニタリングを実施するとともに、市民参加型温暖化影響モニタリングウェブサイト「信州・温暖化ウォッチャーズ」により、自然の変化の追跡調査を進めます。

【生物季節】

- 県内で気象情報を保有する機関で構成する信州・気候変動モニタリングネットワークにおいて、継続的な気象モニタリングを実施
- 温暖化影響に関する市民参加型モニタリングウェブサイト「信州・温暖化ウォッチャーズ」（図66）により、セミの生息地の変化などをICTを用いて継続的に実態調査



図66 信州・温暖化ウォッチャーズHP

【御神渡し】

- 県内の温暖化影響の象徴的な例として、継続的にモニタリング

16 ヒートアイランド現象

(ア) 気候変動により想定される影響

【ヒートアイランド現象】

都市域の気温が周囲の郊外にくらべて高くなる現象をヒートアイランドといいます。都市化やエアコンなどの排熱がその主な要因です。図 67 は、長野市内の小学校で測定された気温データから求めた 2018 年 7 月の月平均気温分布です^[32]。

長野市内の中心部付近から松代方面にかけての都市域に 27℃以上の気温の高い地点が多く分布し、ヒートアイランドを確認できます。都市域はヒートアイランドの影響による高温と、地球温暖化による気温上昇が加わり、高温のリスクがより高くなると考えられます。今後、さらに気温が上昇することによる高温リスクの増加が心配されます。

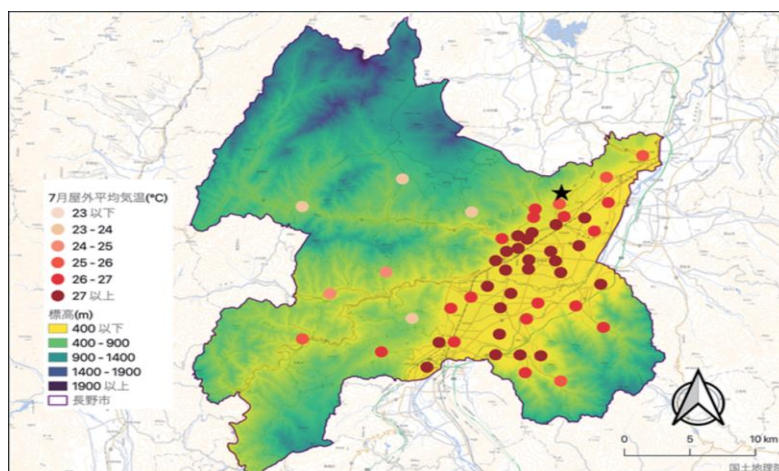


図 67 長野市内の小学校百葉箱内で測定された気温の分布図（2018 年 7 月の月平均気温）

【教室の温度】

長野市内の小学校の外気温とその学校の教室内の室温の関係^[33]をみると、外気温が高いときには室温が高いことがわかります（図 68）。また、室温のほうが外気温よりも 1～2℃ほど高いこともわかります。エアコンが教室にない場合には、室内においても熱中症のリスクが高まる可能性があります。

今後、地球温暖化により外気温が上昇するとそのリスクはさらに高まるものと予想されます。

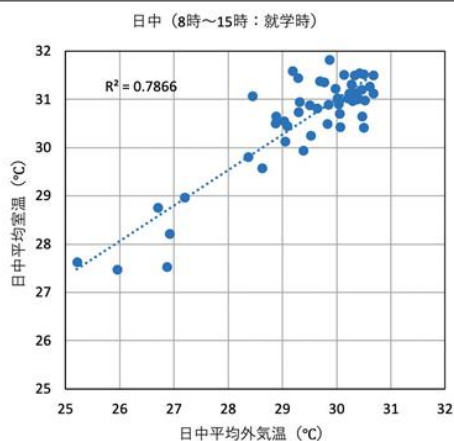


図 68 長野市内の小学校百葉箱内で測定された外気温と同じ学校の教室内で測定された室温の関係（2018 年 7 月 2 日～7 月 24 日と 8 月 22 日～8 月 31 日（夏休みを除く平日）における日中（8 時～15 時の平均値）

(イ) 適応策 (○ : 現在取り組んでいる対策 ● : 今後取り組む対策)

ヒートアイランド現象の実態把握や要因分析、対策手法に関する研究を推進するとともに、まちづくりにグリーンインフラを浸透させ、環境負荷の低減と防災機能の強化、魅力あるまちづくりを進めます。さらに、学校環境衛生基準に基づき、各学校において適正な温度調節を実施します。

【ヒートアイランド現象】

- 県内主要都市におけるヒートアイランド現象の実態把握や要因分析及び対策手法に関する研究を推進
- まちづくりにおけるグリーンインフラの推進に向けた計画に基づき、長野県のまちづくりに街路樹や建物緑化などのグリーンインフラを浸透させ、環境負荷の低減や防災機能の強化を図るとともに、魅力あるまちづくりを目指す

【教室の温度】

- 全ての県立高校及び特別支援学校へ設置したエアコン等の空調設備を活用するなど、学校環境衛生基準に基づき、各学校において適正な温度調節を実施

参考文献

- 1) Hasegawa T. and Horie T. (1997) Applications of systems approaches at the field level.
- 2) 西森基貴ほか (2019) シミュレーション, 38 (3) : 150-154.
- 3) Ishigooka Y. et al. (2011) Journal of Agricultural Meteorology, 67 (4) : 209-224.
- 4) 杉浦俊彦, 横沢正幸 (2004) 園芸学雑誌, 73 : 72-78.
- 5) Ishigooka Y. et al. (2017) Journal of Agricultural Meteorology, 73 : 156-173.
- 6) Sugiura T. et al. (2019) Journal of Agricultural Meteorology, 75 : 67-75.
- 7) Matsushashi S. et al. (2020) Forest Ecology and Management, 463 : 118010.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118010>.
- 8) Masutomi Y. et al. (2019) Environmental Research Communications, 1 : 121003.
- 9) 田中賢治ほか (2019) 水文・水資源学会 2019 年度研究発表会. 22) Hotta M. et al. (2019) BMC Ecology. <https://doi.org/10.1186/s12898-019-0238-8>.
- 10) Mizuta R. et al. (2017) Bulletin of the American Meteorological Society, 98 : 1383-1398.
- 11) 田中健太ほか (2013) 地学雑誌, 122 : 628-637.
- 12) Hamann A, Roberts DR, Barber QE, Carroll C, Nielsen SE. (2015) Global Change Biology, 21: 997-1004.
- 13) 清野 裕 (1993) 農業気象, 48 : 379-383.
- 14) 高野 (竹中) 宏平ほか (2019) 環境情報科学論文集, 33: 49-54 .
- 15) Mizuta R. et al. (2012) Journal of the Meteorological Society of Japan, 90A : 233-258.
- 16) Takano KT. et al. (2017) Ecology and Evolution. doi:10.1002/ece3.3471.
- 17) 花崎直太ほか (2014) 環境科学会誌, 27 : 362-373.
- 18) Nakao K. et al. (2013) Journal for Nature Conservation, 21 : 406-413. DOI: 10.1016/j.jnc.2013.06.003
- 19) 田中信行ほか (2009) 地球環境, 14 (2) : 153-164.
- 20) 北野 聡 (2001) 長野県自然保護研究所紀要, 4 (1) : 335-342. 35) Nakano S. et al. (1996) Freshwater Biology. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1996.d01-516.x>.
- 21) 武居 薫・上島 剛 (2012) H22 長野県水産試験場事業報告, 16
- 22) 武居 薫・上島 剛 (2011) H21 長野県水産試験場事業報告, 26
- 23) 田中裕夏子ほか (2019) 土木学会論文集 B1 (水工学), 75 (2) : I_109-I_114.
- 24) 山本 道ほか (2019) 土木学会論文集 B1 (水工学), 75 (2) : I_1087-I_1092.
- 25) 齋藤洋介ほか (2017) 土木学会論文集 G (環境), 73 (5) : I_229-I_237.
- 26) 気候変動適応技術社会実装プログラム (気候変動の影響評価等技術の開発に関する研究) 課題 (i) 気候変動に関する分野別影響・適応策評価技術の開発 サブ課題 e: 適応策評価のための暑熱環境と健康影響モデル開発 平成 31 年度 成果報告書 (令和 2 年 3 月、国立大学法人筑波大学).
- 27) 小林睦生 (2008) 獣医疫学雑誌, 12 (1) : 7-12.
- 28) 国立感染症研究所ホームページ (www.niid.go.jp)
- 29) 供田 豪ほか (2018) 土木学会論文集 G (環境), 74 (5) : I_349-I_357.
- 30) 供田 豪ほか (2019) 土木学会論文集 G (環境), 75 (5) : I_57-I_64. 45) Wikipedia 「諏訪湖」 (<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%AB%8F%E8%A8%AA%E6%B9%96>) .ura T. et al. (2019) Journal of Agricultural Meteorology, 75 : 67-75.
- 31) 諏訪地方観光連盟
- 32) 浜田 崇ほか (2019) 2019 年日本地理学会秋季学術大会予稿集
- 33) 浜田 崇ほか (2020) 長野県環境保全研究所研究報告
- 34) 尾関 雅章、浜田 崇ほか (2020) 長野県の気候変動とその影響