

気候変動の影響への適応に向けた 将来展望

資料編（最終報告書）

平成 31 年 3 月
農林水産省

目 次

1. はじめに.....	1
2. 影響評価の概要.....	2
2.1 農業.....	5
2.1.1 水稻.....	5
2.1.2 果樹.....	16
2.1.3 野菜.....	33
2.1.4 麦・大豆・飼料作物等.....	36
2.1.5 工芸作物.....	68
2.1.6 畜産.....	75
2.2 農業生産基盤.....	81
2.3 森林・林業.....	89
2.3.1 人工林.....	89
2.3.2 天然林.....	93
2.3.3 鳥獣害.....	95
2.4 水産業.....	98
2.4.1 水産業（増養殖類）.....	98
2.4.2 水産業（回遊性魚介類）.....	101
3. 影響評価結果.....	107
3.1 気候.....	107
3.1.1 気温.....	107
3.1.2 降水量.....	108
3.2 農業.....	109
3.2.1 水稻.....	109
3.2.2 果樹.....	112
3.2.3 野菜.....	117
3.2.4 工芸作物.....	121
3.2.5 畜産.....	123
3.3 森林・林業.....	125
3.3.1 人工林.....	125
4. 気候変動の影響及び適応策の実施状況に関するアンケート.....	127
4.1 農林水産省気候変動適応計画の認知度.....	128
4.2 自治体の適応計画の取り組み状況.....	130

4.3 気候変動による影響について	132
4.4 気候変動による影響に対する取り組み状況	141
4.5 将来展望で対象とすることを望む時期について	145

1. はじめに

本報告書では、将来展望 本編（最終報告書）において評価を実施する際に参照した論文の情報をまとめました（§ 2. ）。

また、将来展望 本編（最終報告書）において、新規影響評価を行った品目・項目に関するマップについては、基本的に 1981-2000 年の結果と 2046-2055 年（RCP8.5）のみを掲載しました。本報告書ではその他の期間および RCP についてのマップを掲載しました（§ 3. ）。

さらに地域内の気候変動の影響及び適応策の実施状況等に関して、47 都道府県を対象にアンケートを実施しました。本報告書ではアンケートの結果を掲載しました（§ 4. ）。

2. 影響評価の概要

将来展望（本編）において、評価を実施する際に活用した論文情報を § 2.1 ～ § 2.4 にまとめました。まとめた論文の一覧を表 1 に示します。

表 1. 本資料に掲載した論文一覧

分野	品目	番号	文献名	将来予測に使用は容易か	適応策の検討	備考
水稻 (p.5)	水稻	①	S-8-1(6) 農業・食料生産における温暖化影響と適応策の広域評価【追加】	×専用モデル（詳細不明）	あり	
		②	近年の気候変動の状況と気候変動が農作物の生育等に及ぼす影響に関する資料集	○推計式	なし	影響ごとに10パートに分割 ¹
		③	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	△推計式（登塾気温の設定が必要）	なし	品目ごとにパートに分割 ² <食味>を記載
		④	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	△推計式（登塾気温の設定が必要）	なし	品目ごとにパートに分割 <収量>を記載
果樹 (p.16)	果樹	①	年平均気温の変動から推定したリンゴ及びウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響	○栽培適域温度	なし	
		②	Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change【委員ご提供情報】	○回帰式（将来予測なし）	なし	
		③	気候温暖化は30年後の果樹生産にどんな影響を及ぼすか(第2報)～近年の生育障害の特徴と将来の温度環境予測～	○低温遭遇積算時間	なし	
		④	Prediction of Skin Coloration of Grape Berries from Air Temperature【委員ご提供情報】	○回帰式（将来予測なし）	なし	
		⑤	Prediction of climatic suitability for wine grape production under the climatic change in Hokkaido【委員ご提供情報】	○好適栽培条件	なし	
		⑥	高品質の開発と収穫期拡大技術を核としたパインアップルの温暖化対応技術の確立【委員ご提供情報】	○栽培適域温度	あり	
		⑦	Predicted Changes in Locations Suitable for Takan Cultivation Due to Global Warming in Japan	○栽培適域温度	なし	
		⑧	Assessment of deterioration in skin color of table grape berries due to climate change and effects of two adaptation measures.【委員ご提供情報】	○回帰式	なし	

¹ 複数の対象品目について記載がされている。そのため、文献中で分類された影響（冬草雑草、水稻病害、野菜の病害、果樹病害、茶病害、害虫の発生世代数の増加、水稻の害虫、野菜の虫害、果樹の虫害、茶の虫害）ごとに調査を行った。ここでは水稻への水稻病害、害虫について掲載する。

² 複数の対象品目について記載がされている。そのため、文献中で分類された品目（水稻（食味、収量）、秋まき小麦、大豆、小豆、牧草、バレイショ、テンサイ）ごとに調査を行った。

分野	品目	番号	文献名	将来予測に使用は容易か	適応策の検討	備考
野菜 (p.33)	病害虫	①	A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones	△回帰式だが、特定の定数の値が必要	なし	
麦・大麦・飼料作物 (p.36)	小麦	①	高温による小麦の減収要因,「北海道における2010年猛暑による農作物の被害解析」報告書【委員ご提供情報】	○回帰式(将来予測なし)	なし	
		②	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	×専用モデル(詳細不明)	あり	品目ごとにパートに分割
	大豆	①	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	△指標による(詳細は2.1.4.2.①をご参照)	あり	品目ごとにパートに分割
		②	ダイズ品種の発育モデルの作成と気温上昇が発育速度に及ぼす影響の広域推定【委託プロ研究者ご提供情報】	×発育モデル(播種日等の設定が必要)	なし	
	小豆	①	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	△指標による(播種日等の設定が必要)	なし	品目ごとにパートに分割
	バレイショ	①	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	×専用モデル(詳細不明)	なし	品目ごとにパートに分割
	飼料用作物	①	地球温暖化が牧草の地域区分と生産量に及ぼす影響	×牧草型の適域温度が不明	なし	
		②	Future risk of the maize orange leafhopper, Cicadulina bipunctata, and maize wallaby ear symptom in temperate Japan【委員ご提供情報】	○回帰式(害虫の発生可能性、疾病の発生可能性)	なし	
		③	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	△指標による(詳細は2.1.4.2.①をご参照)	なし	品目ごとにパートに分割
		④	気候変動に対応したサイレージ用トウモロコシの二期作栽培技術<関東地域版>【委託プロ研究者ご提供情報】	×適地:有効積算気温(期間が必要) ×収量:専用モデル	あり	
		⑤	温暖化が寒地型牧草生産におよぼす影響のモデルによる評価【委託プロ研究者ご提供情報】	×牧草乾物収量推定モデル	あり	
工芸作物 (p.68)	テンサイ	①	戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集	×専用モデル(詳細不明)、 △回帰式(使用する気温の対象期間の設定が必要)	あり	品目ごとにパートに分割
	茶	①	茶の精密栽培地帯区分図の作成と温暖化シミュレーション	○適域判定基準	なし	
	病害虫	①	A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones	△回帰式だが、特定の定数の値が必要	なし	

分野	品目	番号	文献名	将来予測に使用は容易か	適応策の検討	備考
畜産 (p.75)	肉用豚	①	地球温暖化が肥育豚の飼養成績に及ぼす影響－「気候温暖化メッシュデータ（日本）」によるその将来予測	○回帰式	なし	
	肉用鶏	①	平均気温の変動から推定したわが国の鶏肉生産に対する地球温暖化の影響	○回帰式	なし	
	乳用牛	①	暑熱環境下における体感温度の上昇がホルスタイン種牛の乳量に及ぼす影響【委員ご提供情報】	○回帰式（将来予測なし）	なし	
農業生産基盤 (p.81)	農業用水	①	気候変動が広域水田灌漑に及ぼす影響の全国マップとその不確実性【委員ご提供情報】	×水循環モデル	なし	
		②	Nationwide assessment of the impact of climate change on agricultural water resources in Japan using multiple emission scenarios in CMIP5【委員ご提供情報】	×水循環モデル	なし	
	ため池	①	将来の気候変動がため池に及ぼす影響予測の事例報告【委員ご提供情報】	△雨量により評価。分割した154の流域情報が必要	なし	
人工林 (p.89)	スギ林	①	温暖化に対するスギ人工林の脆弱性マップ	△手法に一部別文献の知見を活用しているため	なし	
	マツ林	①	S-4 温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究 第2回報告書 地球温暖化「日本への影響」-長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価	△気温のしきい値を利用。研究にて作成された影響関数が必要	なし	
天然林 (p.93)	天然林	①	S-8-1(5)地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価【委員ご提供情報】	×専用モデル（詳細不明）	あり	
鳥獣害 (p.95)	鳥獣害	①	Land abandonment and changes in snow cover period accelerate range expansions of sika deer	×専用モデル（詳細不明）	なし	
水産業（増養殖類） (p.98)	水産業（増養殖類）	①	水産資源ならびに生息環境における地球温暖化の影響とその予測	△海水温による評価。海水温の将来予測データが必要	なし	魚種ごとにパートに分割 ³
水産業（回遊性魚介類） (p.101)	水産業（回遊性魚介類）	①	温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測	△海水温による評価。海水温の将来予測データが必要	なし	
		②	温暖化が与える日本海的主要回遊性魚類の既存産地への影響予測	×日本海渦解像海洋大循環モデル (RIAMOM)	なし	
		③	水産資源ならびに生息環境における地球温暖化の影響とその予測	△海水温による評価。海水温の将来予測データが必要	なし	魚種ごとにパートに分割

³ 複数の対象品目について記載がされている。そのため、対象品目（スサビノリは2.4.1①、ヒラメは2.4.2③）ごとに調査を行った。

2.1 農業

2.1.1 水稻

① S-8-1(6) 農業・食料生産における温暖化影響と適応策の広域評価【追加】

1. 執筆者（公表年）	石郷岡康史ほか 18 名（2014 年）
2. 掲載紙	環境省環境研究総合推進費 戦略研究開発領域 S-8 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 2014 報告書 「日本への影響」－新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策－
3. 対象品目	コメ（品質、収量）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：品質；現在（1981～2000 年）、2001～2020 年、2021～2040 年、2041～2060 年、2061～2080 年、2081～2100 年 収量；現在（1981～2000 年）、2081～2100 年
	空間解像度：1km メッシュ
	気候モデル：MIROC3.2-hires
	排出シナリオ：SRES-A1b
	適応策の検討：あり（移植日の移動）
	予測手法：生育収量予測プロセスモデル
多品種に対応した生育収量予測プロセスモデルを影響評価モデルとして導入し、複数の予測気候条件に基づくシミュレーションを行い、収量と品質を指標とした気候変化影響と、適切な作期移動を実施した場合の効果を評価した。 対象期間は 1981～2100 年とし、移植日を現行移植日から±70 日間の範囲において 7 日間間隔で移動させ、それぞれの出力結果について収量と品質の観点からの年代毎の最適移植日の抽出を試みた。品質については、出穂後 20 日間の日平均気温 26℃以上の積算値（HDD とする）とコメ品質（1 等米比率）との関係が比較的明瞭であるため、本研究においても HDD を高温によるコメ品質低下リスクを表す指標として用いた。移植日の移動の効果のみを評価するため、品種は地域ごとの現行栽培品種に固定した。 ※モデルに関する詳細な記載なし。	
6. 影響の概要	
【生産量・品質】 対象期間（1981～2100 年）におけるモデル出力値を、現行移植日による結果を「適応なし」、20 年毎に HDD 平均値が 20℃・日以下の範囲で収量平均値が最多となる移植日による結果を「適応あり」として、各年代（20 年毎）で相互比較することで移植日移動による適応の効果を調べた。結果の一例として、MIROC3.2-hires A1b による、「適応なし」の場合の HDD の値により分類された全生産量の 20 年毎の推移を図 1 に示す。HDD の値が高い（すなわち高温による品質低下リスクの高い）生産物の割合が大きく増加することが判	

明した。

【収量】

収量の地域的分布（図 2）から、増加する地域と減少する地域の偏りが極めて大きくなる。

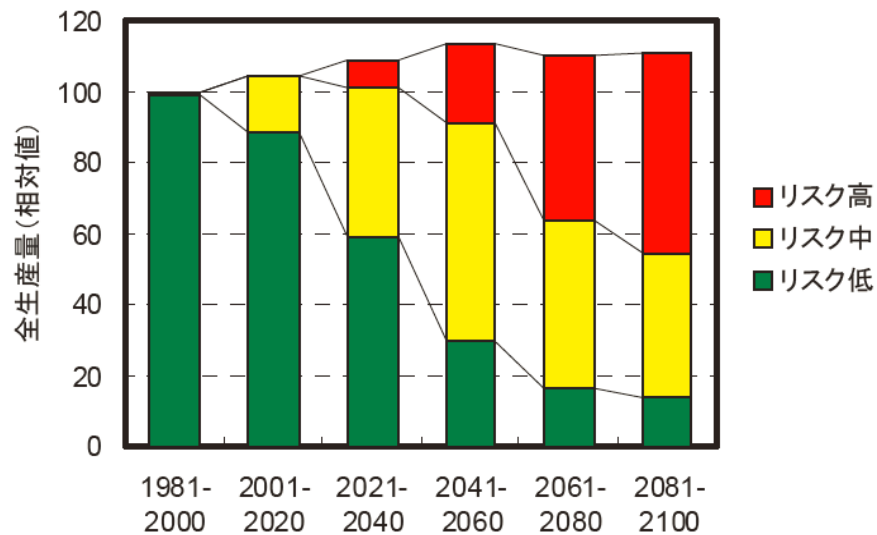


図 1. 全生産量の 20 年毎の推移 (MIROC3.2-hires A1b ; 適応なし)

各メッシュの算定収量に水田面積を乗じて全国集計したもので、1981～2000の現行移植日による値を100とした場合の相対値で表した。高温に因る品質低下のリスク：低 ($HDD < 20$)、中 ($20 < HDD < 40$)、高 ($40 < HDD$)

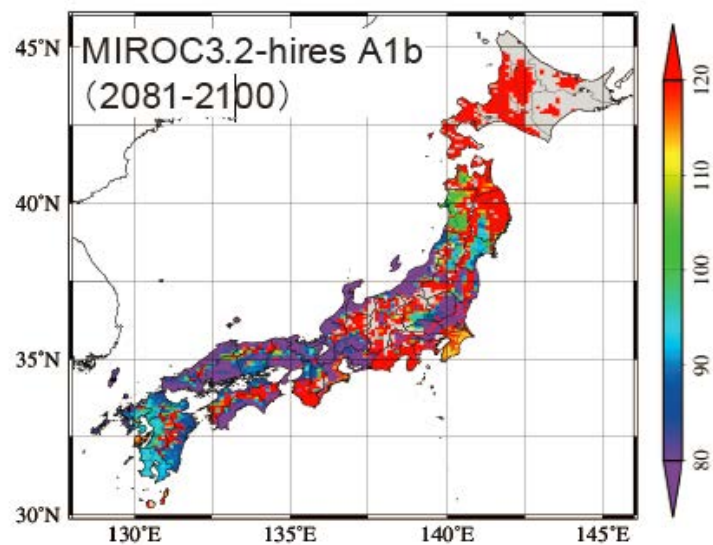


図 2. 推定収量の分布 (2081～2100 平均 ; MIROC3.2-hires A1b)

値は 1981～2000 平均の値を 100 とした相対値

② 近年の気候変動の状況と気候変動が農作物の生育等に及ぼす影響に関する資料集 4
 < 水稻の害虫について ⁵⁾>

1. 執筆者(公表年)	農林水産省 (2002 年)
2. 掲載紙	農林水産省 H P http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/g_kiko_hendo/eikyo/pdf/zenyo_1.pdf
3. 対象品目	ニカメイガ (年間世代数)、ツマグロヨコバイ (個体数)、ヒメトビウンカ (年間世代数)
4. 対象地域	全国 (ニカメイガ、ヒメトビウンカ)、上越市・富山市・金沢市 (ツマグロヨコバイ)
5. 予測手法の概要	予測期間： 2060 年代 (ニカメイガ)、2060 年 (ヒメトビウンカ)、2010～2080 年 (ツマグロヨコバイ)
	空間解像度：10km メッシュ
	気候モデル：CSIRO (ニカメイガ)、MRI (ツマグロヨコバイ)、CSIRO・NIES (ヒメトビウンカ)
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：なし
	予測手法：推定式 (式 1) (ニカメイガ) 推定式 (式 2) (ツマグロヨコバイ) 推定式 (式 1) の気温に日射の影響を上乗せ (ヒメトビウンカ)

⁴ 既存文献を収集、整理したもの。本文献には、複数の対象品目について記載がされているが、ここでは水稻の病害虫について記載する。なお、各対象の詳細については、適宜原著論文に当たる必要がある。

⁵ 原著論文である「山村光司 (2001) 温暖化に伴う水稻害虫の増加、地球環境、Vol.6、No.2、251-257」(http://www.airies.or.jp/journal_06-2jpn.html)

【ニカメイガ】

$r=(T-T_0)/K$ ($T \geq T_0$ のとき) および $r=0$ ($T < T_0$ のとき)・・・(式 16)

ただし、 r ：昆虫の発育速度、 T ：気温、 T_0 ：発育零点、 K ：有効積算温度定数

ここでは既存研究による $T_0=9.3$ 、 $K=859$ を用いて、予測を行った。

【ツマグロヨコバイ】

積雪量が少ない年に北陸・東北地方でツマグロヨコバイが大発生しやすいことが以前から経験的に指摘されてきた。各地点におけるデータを用いて作成した、前年の個体数 N_{t-1} と総降雪深 S_t から、ある年の総誘殺個体数 N_t を求める最適予測式を以下に示す。

$\log_{10}(N_t+0.5)$

$$= 7.9 + 0.45 \log_{10}(N_{t-1}+0.5) - 2.3 \log_{10}(S_t) - 1.8 [\log_{10}(S_t) - 2.6]^2 \cdots \text{(式 2)}$$

ここでは、本式に基づいて予測を行った。

【ヒメトビウンカ】

式 1 をそのまま用いると発生時期が実際と一致しない。この不一致は日射の影響と考えられている。そのため、気温に日射の影響を上乗せし（図 3）、発生時期の予測を行った。なお、係数については試行錯誤的に求めたと記載され、この数値は未記載である。

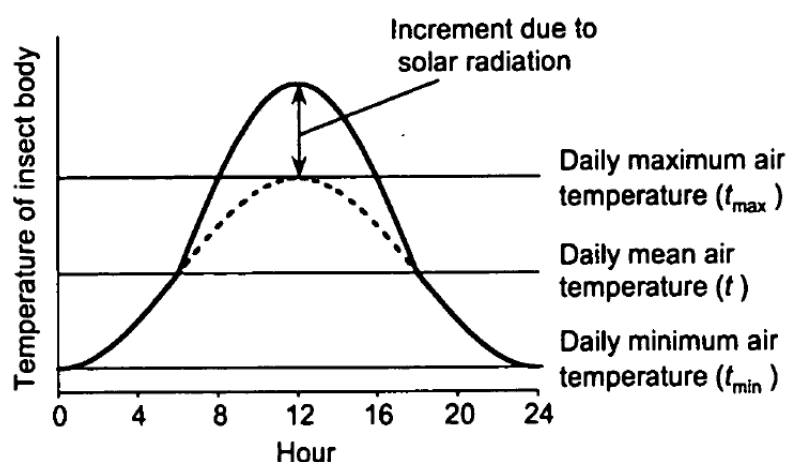


図 3. 昆虫の体表面温度の日変化における仮定⁷

表面温度は、気温と日射量の増分の和で与えられる。なお、両成分はほぼ同位相の正弦曲線で与えられる。

6. 影響の概要

【ニカメイガ】

ニカメイガの世代数は温暖化前と比べて日本全国を通じてほぼ 1 世代ずつ増加すると予想されている（図 4）。もともとニカメイガ（二化螟蛾）という和名は、それが日本の大部分

⁶ 日平均気温が T_0 よりも高い日について日平均気温と T_0 との差を計算し、年間を通じてそれを合計することで「総積算温度」を計算できる。これを K で割ることで、年間の発生世代数を計算することができる。

⁷ 原著論文である山村光司（2001）に引用された文献、Yamamura, K. and M. Yokozawa(2002) Prediction of the geographical shift in the prevalence of rice stripe disease transmitted by the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*(Fallen) (Hemiptera: Delphacidae), under global warming. Appl. Entomol. Zool., 37(1) 181-190.から。詳細は p.163 § 5.6④参照

の地域で2化する、すなわち年に2世代発生することから付けられた。しかし2060年代にはそれは当てはまらず、日本の多くの地域で3化するようになると予想される。一般に害虫の個体数は世代数が経過するにつれて増大してゆく。したがって、イネの栽培方法によっては、ニカメイガによる被害量も増える可能性がある。

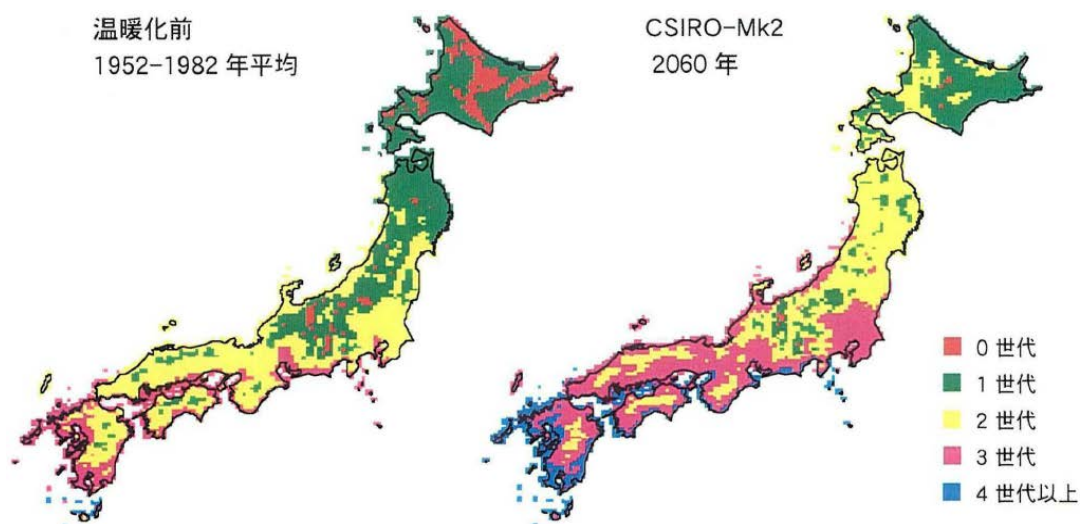


図 4. ニカメイガの年間発生世代数の予測値

【ツマグロヨコバイ】

温暖化のもとでは積雪量が減少するため、ツマグロヨコバイの発生量が増加する可能性が高い。MRI モデルの結果によれば、北陸地方の海岸部における個体数は2060年までに上昇して最大値に到達すると予想される（図5）。

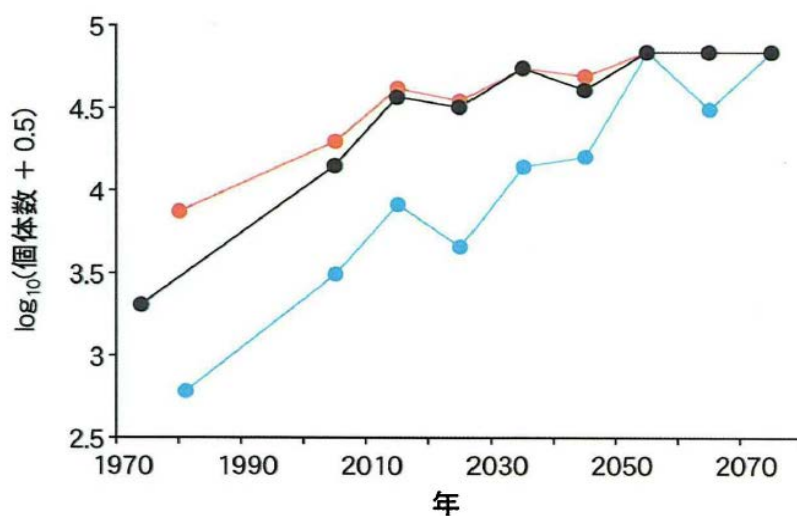


図 5. 温暖化がツマグロヨコバイの発生量に与える影響

MRI モデルによる予測結果。青丸：上越市、赤丸：富山市、黒丸：金沢市

【ヒメトビウンカ】

現在日本の多くの地域では5月から6月に田植えが行われることから、6月1日前後が感染の危険時期であると判断することができる。図6に温暖化前と2060年におけるヒメトビウンカの世代数予測値を示す。温暖化前（図6左）は北海道に越冬世代（0世代）と第1世代の境界線が存在することから、この付近は6月1日に成虫が存在するため発病の危険地帯であることが表現されている。また、関東以南には第1世代と第2世代の境界線が存在し同様に危険地帯であることが表現されている。一方で2060年（図6右）では、北海道にあった世代の境界線は消えて、危険地帯から外れる。しかし東北、北陸地方には第1世代と第2世代の境界線が現れることから、これらの地域ではイネ縞葉枯病発生の潜在的な危険性が増加すると予想することができる。ただし、この図が示すのはヒメトビウンカの個体数が十分に多い場合の予測値であり、その意味であくまでも潜在的な危険地帯である。

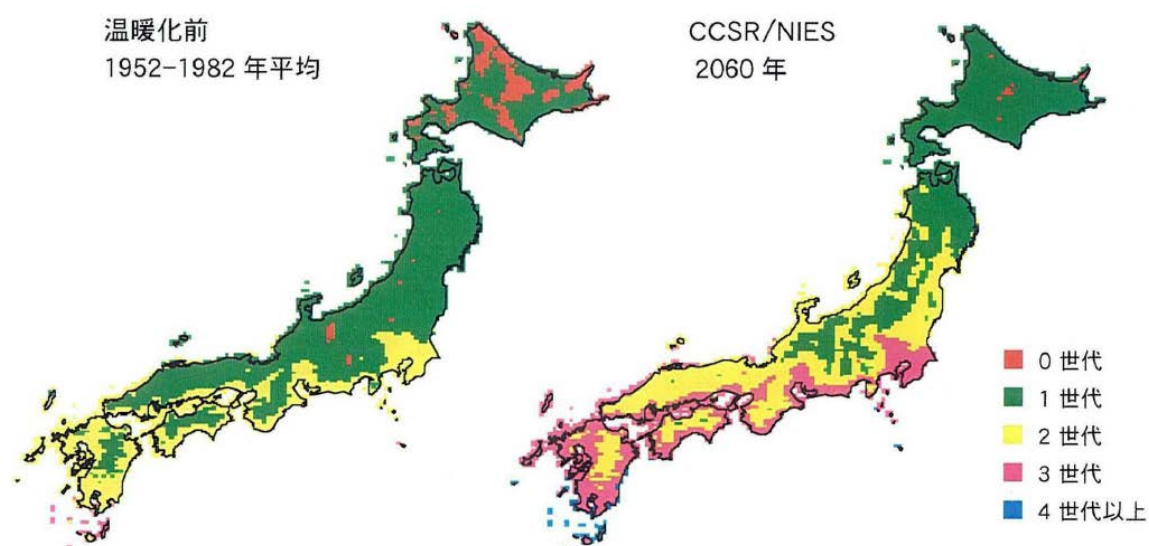


図 6. 6 月 1 日におけるヒメトビウンカの世代数予測値

世代の境界線付近がイネ縞葉枯病に対する潜在的な危険地帯であると判断される。

③ 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集【委員ご提供情報】

<食味について>

1. 執筆者 (公表年)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編 (2011 年)
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	水稻 (食味)
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：現在、2030 年代
	空間解像度：－ (道内の 18 市町村 ⁸)
	気候モデル：CCSR、CGCM1
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：なし
	予測手法：推定式による
対象品種および気象データ：きらら 397 (中生品種、穂ばらみ期耐冷性)	
食味指標：	
$\text{アミロース含有率 (\%)} = -0.0137x + 31.776$	
$\text{蛋白質含有率 (\%)} = 0.0000425(x - 849)^2 + 7.38$	
x は出穂後 40 日間の日平均積算気温 (登熟気温、℃) である。	
※本式 ⁹ は 1991～2006 年にかけて道内うるち米作付地域の 22 カ所で実施した「きらら 397」の栽培試験データ 236 点から得たものである。	
6. 影響の概要	
本文献内の別の項目にて、2030 年代には現在より出穂期が早まることが示されている。また、同一暦日でも気温が高くなるため、登熟気温は 65～108℃高くなる。そのため、登熟気温と負の相関関係の精米アミロース含有率は、18 地帯平均で現在よりも 0.9%～1.5% 低下する。また、精米蛋白質含有率については、登熟気温が約 850℃で最低となる 2 次関数が認められている。表 2 および表 3 より、現在の登熟気温と比べ 2030 年代の登熟気温が約 850℃付近に変化するため、2030 年代には CCSR および CGCM1 とともに成苗で 0.2%、中苗で 0.3%低くなる。	

⁸ 江差町、北斗市、ニセコ町、共和町、伊達市、厚真町、恵庭市、長沼町、新條津村、岩見沢市、深川市、雨竜町、小平町、士別市 (士別)、旭川市、中富良野町、名寄市 (風連)、北見市

⁹ 丹野久。"寒地のうるち米における精米蛋白質含有率とアミロース含有率の年次間と地域間の差異およびその発生要因"。日作紀。33, 59-63 (1964)

表 2. 精米アミロース含有率 (%) と蛋白質含有率 (%) の推定値
(現在および CCSR による 2030 年代)

地帯	地域	市町村名	現在						CCSR											
			中苗			成苗			中苗						成苗					
			登熟 気温 ℃	アミ ロース 含有 率	蛋白 含有 率	登熟 気温 ℃	アミ ロース 含有 率	蛋白 含有 率	登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース 含有 率	同左 差異	蛋白 含有 率	同左 差異	登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース 含有 率	同左 差異	蛋白 含有 率	同左 差異
1	檜山	江差町	840	20.3	7.4	854	20.1	7.4	901	61	19.4	-0.8	7.5	0.1	907	53	19.4	-0.7	7.5	0.1
2	渡島	北斗市	795	20.9	7.5	812	20.7	7.4	884	89	19.7	-1.2	7.4	-0.1	890	78	19.6	-1.1	7.4	0.0
3	後志	ニセコ町	759	21.4	7.7	781	21.1	7.6	828	69	20.4	-0.9	7.4	-0.3	848	67	20.2	-0.9	7.4	-0.2
4	後志	共和町	802	20.8	7.4	824	20.5	7.4	876	74	19.8	-1.0	7.4	-0.1	884	60	19.7	-0.8	7.4	0.0
5	胆振	伊達市	781	21.1	7.6	802	20.8	7.4	870	89	19.9	-1.2	7.4	-0.2	878	76	19.7	-1.0	7.4	-0.1
6	胆振	厚真町	720	21.9	8.1	742	21.6	7.8	818	98	20.6	-1.3	7.4	-0.7	830	88	20.4	-1.2	7.4	-0.5
7	石狩	恵庭市	771	21.2	7.6	790	21.0	7.5	842	71	20.2	-1.0	7.4	-0.3	853	63	20.1	-0.9	7.4	-0.1
8	石狩	長沼町	772	21.2	7.6	795	20.9	7.5	848	76	20.2	-1.0	7.4	-0.3	861	66	20.0	-0.9	7.4	-0.1
9	石狩	新篠津村	753	21.5	7.7	778	21.1	7.6	836	83	20.3	-1.1	7.4	-0.4	848	70	20.2	-1.0	7.4	-0.2
10	空知	岩見沢市	777	21.1	7.6	795	20.9	7.5	849	72	20.1	-1.0	7.4	-0.2	859	64	20.0	-0.9	7.4	-0.1
11	空知	深川市	795	20.9	7.5	813	20.6	7.4	878	83	19.7	-1.1	7.4	-0.1	885	72	19.7	-1.0	7.4	0.0
12	空知	雨竜町	768	21.3	7.6	788	21.0	7.5	829	61	20.4	-0.8	7.4	-0.3	842	54	20.2	-0.7	7.4	-0.2
13	留萌	小平町	737	21.7	7.9	769	21.2	7.6	801	64	20.8	-0.9	7.5	-0.4	819	50	20.6	-0.7	7.4	-0.2
14	上川	士別市	723	21.9	8.0	752	21.5	7.8	794	71	20.9	-1.0	7.5	-0.5	810	58	20.7	-0.8	7.4	-0.3
15	上川	旭川市	758	21.4	7.7	784	21.0	7.5	816	58	20.6	-0.8	7.4	-0.3	831	47	20.4	-0.6	7.4	-0.2
16	上川	中富良野町	769	21.2	7.6	790	21.0	7.5	829	60	20.4	-0.8	7.4	-0.3	847	57	20.2	-0.8	7.4	-0.1
17	上川	名寄市	713	22.0	8.1	738	21.7	7.9	793	80	20.9	-1.1	7.5	-0.7	813	75	20.6	-1.0	7.4	-0.5
18	網走	北見市	697	22.2	8.3	721	21.9	8.1	765	68	21.3	-0.9	7.7	-0.7	784	63	21.0	-0.9	7.5	-0.5
平均			763	21.3	7.7	785	21.0	7.6	837	74	20.3	-1.0	7.4	-0.3	849	65	20.1	-0.9	7.4	-0.2

表 3. 精米アミロース含有率 (%) と蛋白質含有率 (%) の推定値
(CGCM1 による 2030 年代)

地帯	地域	市町村名	CGCM1											
			中苗						成苗					
			登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース 含有 率	同左 差異	蛋白 含有 率	同左 差異	登熟 気温 ℃	同左 差異	アミ ロース 含有 率	同左 差異	蛋白 含有 率	同左 差異
1	檜山	江差町	922	82	19.1	-1.1	7.6	0.2	926	72	19.1	-1.0	7.6	0.2
2	渡島	北斗市	904	109	19.4	-1.5	7.5	0.0	910	98	19.3	-1.3	7.5	0.1
3	後志	ニセコ町	851	92	20.1	-1.3	7.4	-0.3	871	90	19.8	-1.2	7.4	-0.2
4	後志	共和町	899	97	19.5	-1.3	7.5	0.0	907	83	19.4	-1.1	7.5	0.1
5	胆振	伊達市	891	110	19.6	-1.5	7.4	-0.1	898	96	19.5	-1.3	7.5	0.0
6	胆振	厚真町	845	125	20.2	-1.7	7.4	-0.7	857	115	20.0	-1.6	7.4	-0.5
7	石狩	恵庭市	866	95	19.9	-1.3	7.4	-0.2	879	89	19.7	-1.2	7.4	-0.1
8	石狩	長沼町	878	106	19.7	-1.5	7.4	-0.2	887	92	19.6	-1.3	7.4	-0.1
9	石狩	新篠津村	864	111	19.9	-1.5	7.4	-0.4	877	99	19.8	-1.4	7.4	-0.2
10	空知	岩見沢市	885	108	19.7	-1.5	7.4	-0.2	893	98	19.5	-1.3	7.4	0.0
11	空知	深川市	914	119	19.3	-1.6	7.5	0.1	922	109	19.1	-1.5	7.6	0.2
12	空知	雨竜町	870	102	19.9	-1.4	7.4	-0.3	882	94	19.7	-1.3	7.4	-0.1
13	留萌	小平町	843	106	20.2	-1.5	7.4	-0.5	855	86	20.1	-1.2	7.4	-0.3
14	上川	士別市	842	119	20.2	-1.6	7.4	-0.7	855	103	20.1	-1.4	7.4	-0.4
15	上川	旭川市	859	101	20.0	-1.4	7.4	-0.4	871	87	19.8	-1.2	7.4	-0.2
16	上川	中富良野町	875	106	19.8	-1.5	7.4	-0.2	883	93	19.7	-1.3	7.4	-0.1
17	上川	名寄市	841	128	20.3	-1.8	7.4	-0.8	855	117	20.1	-1.6	7.4	-0.5
18	網走	北見市	817	120	20.6	-1.6	7.4	-0.9	831	110	20.4	-1.5	7.4	-0.7
平均			870	108	19.9	-1.5	7.4	-0.3	881	96	19.7	-1.3	7.4	-0.2

現在の気象は各市町村の代表的な稲作地のアメダスメッシュのデータ。登熟気温は出穂後 40 日間の日平均積算気温。同左差異は現在値との差異。移植日は 5 月 25 日。出穂日は本文献内の別表をご参照（ここでは割愛）。

④ 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集【委員ご提供情報】

<収量について>

1. 執筆者 (公表年)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編 (2011 年)
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	水稲 (収量)
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：2030 年代
	空間解像度：－ (道内の 18 市町村 ¹⁰)
	気候モデル：CCSR、CGCM1
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：なし
	予測手法：推計式による
対象品種および気象データ：きらら 397 (中生品種、穂ばらみ期耐冷性) ■方法 A : $y = s (3.335 - 0.0415 (t - 22.8)^2)$ y : 収量 (kg/10a)、s : 出穂前 10 日以降 40 日間の平均日射量 (W/m²)、t : 出穂前 10 日以降 40 日間の平均気温 (°C) 上式は、村田 (1964)¹¹を参考に、出穂前 10 日以降 40 日間の平均気温が 25°C 以下である 9 つの道県について、過去 15 年間 (1994～2008 年) の道県別の平均収量と同期間の平均気温および日射量との関係から算出。 ■方法 B : $y = s (1.28 - 0.0192 (21.9 - t)^2)$ y : 気候登熟量示数 (kg/10a)¹²、s : 出穂後 40 日間の積算日射量 (MJ/m²)、t : 出穂後 40 日間の平均気温 (°C) 上式は、内島 (1983)¹³を参考に日本全国の水稲奨励品種決定試験成績データを用いて林ら¹⁴が算出。	

¹⁰ 江差町、北斗市、ニセコ町、共和町、伊達市、厚真町、恵庭市、長沼町、新條津村、岩見沢市、深川市、雨竜町、小平町、士別市 (士別)、旭川市、中富良野町、名寄市 (風連)、北見市

¹¹ 村田吉男. "わが国の水稲収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について". 日作紀. 33, 59-63 (1964)

¹² 理想的な栽培環境における潜在的収量性を示すと考えられている指標。

¹³ 内島立郎. "北海道、東北地方における水稲の安全作季に関する農業気象学的研究". 農技研報 A. 31, 23-113 (1983).

¹⁴ 林陽生, 石郷岡康史, 横沢正幸, 鳥谷均, 後藤慎吉. "温暖化が日本の水稲栽培の潜在的特性に及ぼすインパクト". 地球環境. 6 (2), 141-148 (2001).

6. 影響の概要

2030年代の推定収量は、方法AではCCSRの8月～9月の日射量低下（減収要因）と、同期間の平均気温上昇（増収要因）の影響により、全道平均で現在比98～101%とほぼ現在と変わらない（表4）。方法Bでは、出穂後40日間の日射量は減少するが、同平均気温が気候登熟量示数の最適気温に近くなるため、現在比で107%～110%へと増収する（表5）。

なお、一部の市において、将来の出穂期の変動が収量性に及ぼす影響について解析を行っている。出穂期が遅い8月10日の場合は、方法A、方法Bそれぞれで現在比94%～98%、98%～104%と低く見積もられた。さらに、出穂期の連続的な変化が気候登熟量示数に与える影響は、2030年代には出穂期の遅延化に対する示数の低下が現在よりも穏やかとなり収量性は安定化の方向に向かうことが予測された。

表4. 方法Aによる現在および2030年代の収量推定値

地帯市町村 番号名	現在				CCSR							CGCM1							
	出穂 期	出穂前10日以降40日間			推定 収量	出穂 期	出穂前10日以降40日間				推定 収量	同左 現在 との 比 %	出穂 期	出穂前10日以降40日間				推定 収量	同左 現在 との 比 %
		平均 気温 ℃	日射 量W /m ²	日射 量W /m ²			同左 現在 の 差異	同左 現在 の 差異	同左 現在 の 差異	同左 現在 の 差異				同左 現在 の 差異	同左 現在 の 差異				
1 江差町	8/3	21.7	178	570	7/29	22.6	0.9	161	-17.4	522	92	7/28	23.0	1.3	166	-1.1	537	94	
2 北斗市	8/7	20.9	168	521	7/30	22.3	1.4	148	-19.7	480	92	7/29	22.7	1.8	153	-1.3	496	95	
3 ニセコ町	8/5	20.4	175	527	7/29	21.8	1.4	163	-11.6	524	99	7/28	22.2	1.8	170	-0.4	550	104	
4 共和町	8/4	21.1	188	587	7/29	22.3	1.2	172	-15.0	558	95	7/28	22.7	1.6	178	-0.8	579	98	
5 伊達市	8/8	20.6	172	527	7/30	22.1	1.5	162	-10.4	523	99	7/29	22.5	1.9	164	-0.7	533	101	
6 厚真町	8/11	19.5	170	478	8/3	21.1	1.6	156	-13.9	490	102	8/1	21.7	2.2	157	-1.1	504	105	
7 恵庭市	8/6	20.5	175	531	7/31	21.6	1.1	162	-12.7	517	97	7/30	22.1	1.6	164	-0.9	531	100	
8 長沼町	8/6	20.5	177	538	7/30	21.7	1.2	167	-10.4	533	99	7/27	22.3	1.8	170	-0.6	551	102	
9 新篠津村	8/7	20.1	179	530	7/31	21.5	1.4	172	-6.9	549	104	7/29	22.1	2.0	175	-0.4	564	106	
10 岩見沢市	8/5	20.5	179	545	7/29	21.7	1.2	174	-5.8	556	102	7/26	22.4	1.9	174	-0.5	563	103	
11 深川市	8/1	21.0	188	585	7/26	22.4	1.4	171	-16.2	555	95	7/23	23.1	2.1	174	-1.2	563	96	
12 雨竜町	8/3	20.5	186	566	7/29	21.5	1.0	168	-18.5	534	94	7/26	22.3	1.8	170	-1.4	551	97	
13 小平町	8/8	20.0	186	546	8/3	20.9	0.9	171	-15.0	532	97	7/31	21.8	1.8	175	-1.0	561	103	
14 士別市士別	8/6	19.7	184	526	7/31	20.8	1.1	168	-16.2	518	98	7/27	21.7	2.0	170	-1.2	545	103	
15 旭川市	8/3	20.3	185	555	7/28	21.3	1.0	178	-6.9	563	101	7/25	22.1	1.8	181	-0.4	583	105	
16 中富良野町	8/2	20.6	188	573	7/28	21.5	0.9	167	-20.8	530	93	7/25	22.4	1.8	168	-1.7	544	95	
17 名寄市風連	8/7	19.5	179	504	8/1	20.8	1.3	168	-11.6	518	103	7/28	21.8	2.3	170	-0.8	546	108	
18 北見市	8/11	19.1	182	489	8/5	20.1	1.0	162	-19.7	479	98	7/31	21.2	2.1	162	-1.7	510	104	
平均	8/6	20.4	180	539	7/30	21.6	1.2	166	-13.8	527	98	7/28	22.2	1.9	169	-1.0	545	101	

出穂期は本文献内の別表（ここでは割愛）に示された中苗と成苗の平均。

表 5. 方法 B による現在および 2030 年代の収量推定値（気候登熟量示数）

地帯市町村 番号 名	現在				CCSR						CGCM1							
	出穂	出穂後40日間の		気候	出穂	出穂後40日間の		気候	同左	出穂	出穂後40日間の		気候	同左				
	期	平均	日射	登熟量	期	平均	同左	日射	同左	登熟量	現在	期	平均	同左	日射	同左	登熟量	現在
	気温	量MJ	示数	気温	現在	量MJ	現在	示数	との	気温	現在	量MJ	現在	示数	との			
月日	℃	/m ²	kg/10a	月日	℃	差異	/m ²	差異	kg/10a	比%	月日	℃	差異	/m ²	差異	kg/10a	比%	
1 江差町	8/3	21.2	587	745	7/29	22.6	1.4	562	-25.0	714	96	7/28	23.1	1.9	564	-23	706	95
2 北斗市	8/7	20.1	549	668	7/30	22.2	2.1	519	-30.0	664	99	7/29	22.7	2.6	522	-27	662	99
3 ニセコ町	8/5	19.3	567	649	7/29	21.0	1.7	563	-4.0	711	109	7/28	21.5	2.3	579	12	740	114
4 共和町	8/4	20.3	607	748	7/29	22.0	1.7	588	-19.0	753	101	7/28	22.6	2.3	603	-4	767	102
5 伊達市	8/8	19.8	571	682	7/30	21.9	2.1	570	-1.0	730	107	7/29	22.4	2.6	570	-1	727	107
6 厚真町	8/11	18.3	560	576	8/3	20.6	2.3	544	-16.0	679	118	8/1	21.3	3.0	547	-13	696	121
7 恵庭市	8/6	19.5	574	672	7/31	21.2	1.7	557	-17.0	708	105	7/30	21.8	2.3	562	-12	719	107
8 長沼町	8/6	19.6	581	684	7/30	21.4	1.8	572	-9.0	729	107	7/27	22.1	2.5	579	-2	741	108
9 新篠津村	8/7	19.1	589	668	7/31	21.1	1.9	589	0.0	746	112	7/29	21.8	2.6	594	5	760	114
10 岩見沢市	8/5	19.7	588	695	7/29	21.4	1.7	590	2.0	752	108	7/26	22.2	2.6	594	6	759	109
11 深川市	8/1	20.1	607	739	7/26	22.0	1.9	580	-27.0	742	100	7/23	23.0	2.9	587	-20	739	100
12 雨竜町	8/3	19.5	604	704	7/29	20.9	1.4	567	-37.0	715	102	7/26	21.9	2.5	574	-30	735	104
13 小平町	8/8	18.8	603	662	8/3	20.3	1.4	570	-33.0	700	106	7/31	21.2	2.4	591	-12	751	113
14 士別市士別	8/6	18.4	592	621	7/31	20.1	1.6	560	-32.0	680	109	7/27	21.2	2.8	573	-19	728	117
15 旭川市	8/3	19.3	596	684	7/28	20.6	1.3	595	-1.0	742	108	7/25	21.6	2.4	604	8	772	113
16 中富良野町	8/2	19.5	607	709	7/28	21.0	1.5	565	-42.0	713	101	7/25	22.0	2.5	571	-36	731	103
17 名寄市風連	8/7	18.1	575	580	8/1	20.1	1.9	560	-15.0	681	117	7/28	21.2	3.1	572	-3	727	125
18 北見市	8/11	17.7	579	547	8/5	19.4	1.6	541	-38.0	626	114	7/31	20.6	2.9	555	-24	692	126
平均	8/6	19.3	585	669	7/30	21.1	1.7	566	-19.1	710	107	7/28	21.9	2.5	575	-11	731	110

出穂期は本文献内の別表（ここでは割愛）の中苗と成苗の平均。現在差異は現在の値との差異。

2.1.2 果樹

① 年平均気温の変動から推定したリンゴ及びウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響

1. 執筆者（公表年）	杉浦俊彦、横沢正幸（2004 年）
2. 掲載紙	園学雑. （ J. Japan. Soc. Hort, Sci, ） 73 （1）：72－78
3. 対象品目	リンゴ・ウンシュウミカン（栽培適域）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：2020 年代、2040 年代、2060 年代（2060 年代、2060 年代 ±1℃）、現況（1971～2000 年の気候値）
	空間解像度：10km メッシュ
	気 候 モ デ ル：CCSR/NIES、CCCma/CGCM1、CSIRO-Mk2、 ECHAM4/OPYC3
	排出シナリオ：IS92a ¹⁵
	適応策の検討：なし
	予測手法：リンゴ、ウンシュウミカンの栽培温度適域を設定
・リンゴ：年平均気温 6～14 ℃および 7～13 ℃ ・ウンシュウミカン：年平均気温 15～18 ℃	
6. 影響の概要	リンゴ、ウンシュウミカンとも栽培に有利な温度帯は年次を追うごとに北上することが予想された。地球温暖化は今世紀半ばまでにわが国のリンゴおよびウンシュウミカンの栽培環境を大きく変化させる規模のものである可能性が示された。 【リンゴ】 2060 年代には東北中部の平野部までが現在よりも栽培しにくい気候となる可能性が示唆され、東北北部の平野部など現在のリンゴ主力産地の多くが、暖地リンゴの産地と同等の気温になる、一方、北海道はほとんどの地域で栽培しやすくなる可能性が示唆された（図 7、図 8）。 【ウンシュウミカン】 2060 年代には現在の主力産地の多くが現在よりも栽培しにくい気候となる可能性が示唆されるとともに、西南暖地の内陸部、日本海および南東北の沿岸部など現在、栽培に不向きな地域で栽培が可能になることが予想された（図 9）。

¹⁵ IPCC によって 1992 年に開発されたシナリオの一つで、二酸化炭素濃度がほぼ年率 1%複利で増加することに対応する。

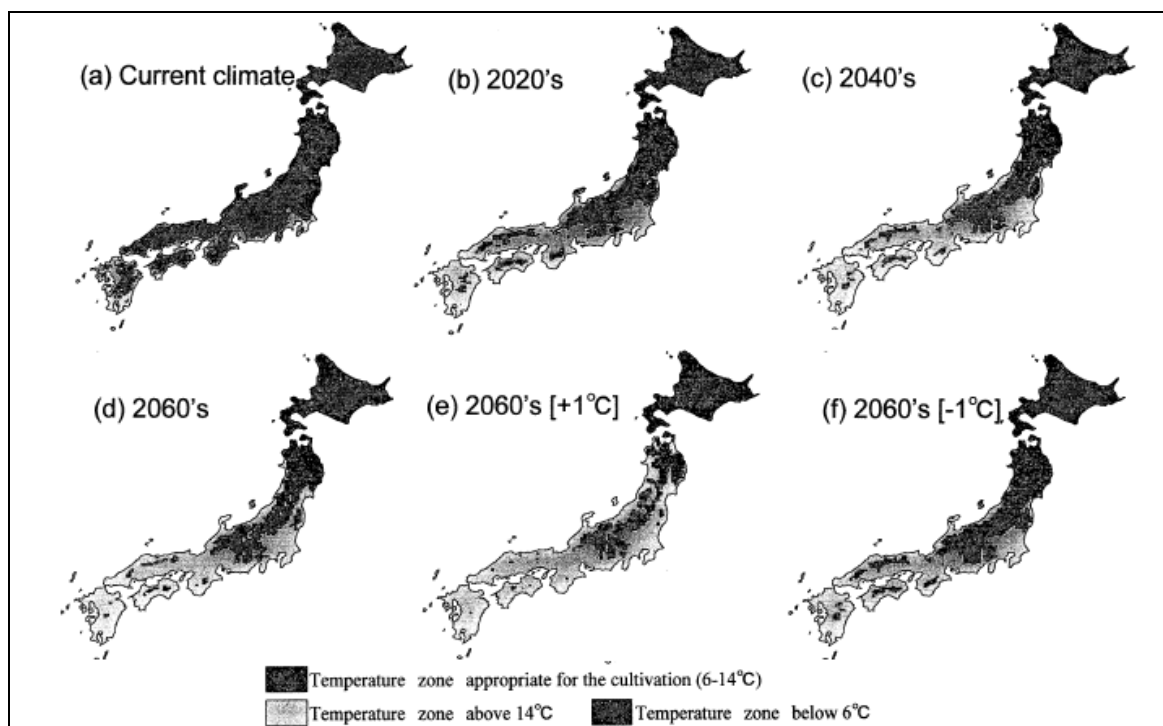


図 7. リンゴ生産における適域（年平均気温 6～14℃）の空間分布

(a)現在気候、(b)2020 年代の気候、(c)2040 年代の気候、(d)2060 年代の気候、(e)(d)より 1℃昇温、(f)(d)より 1℃降温

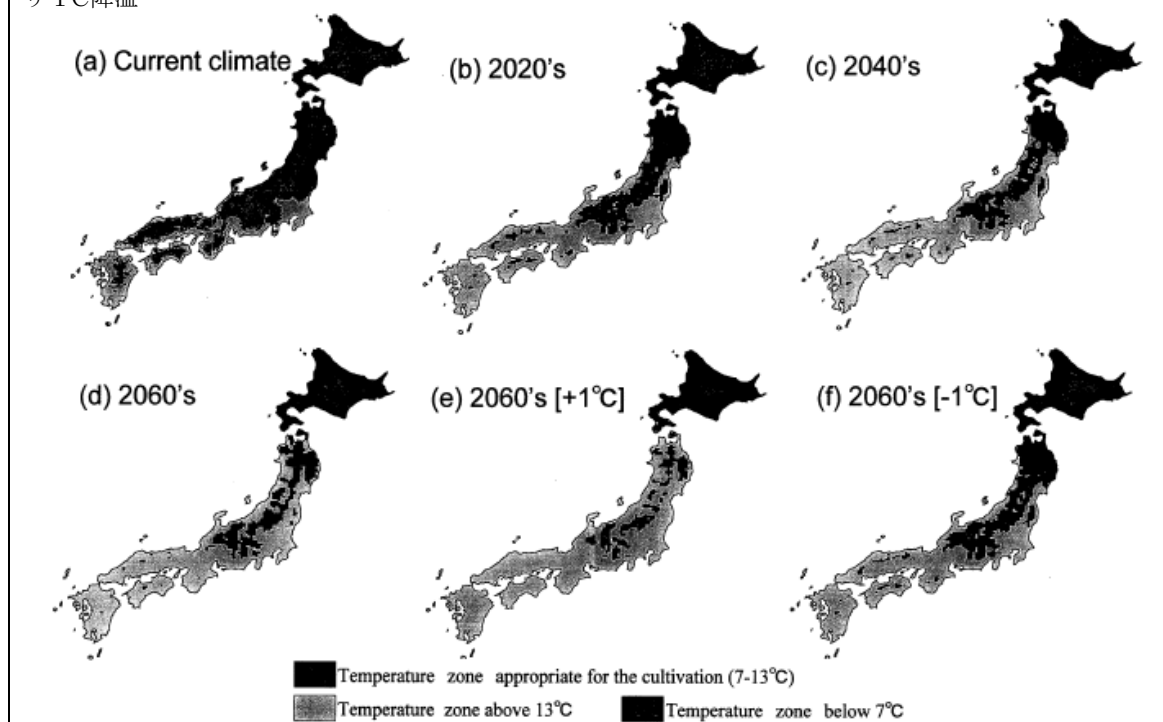
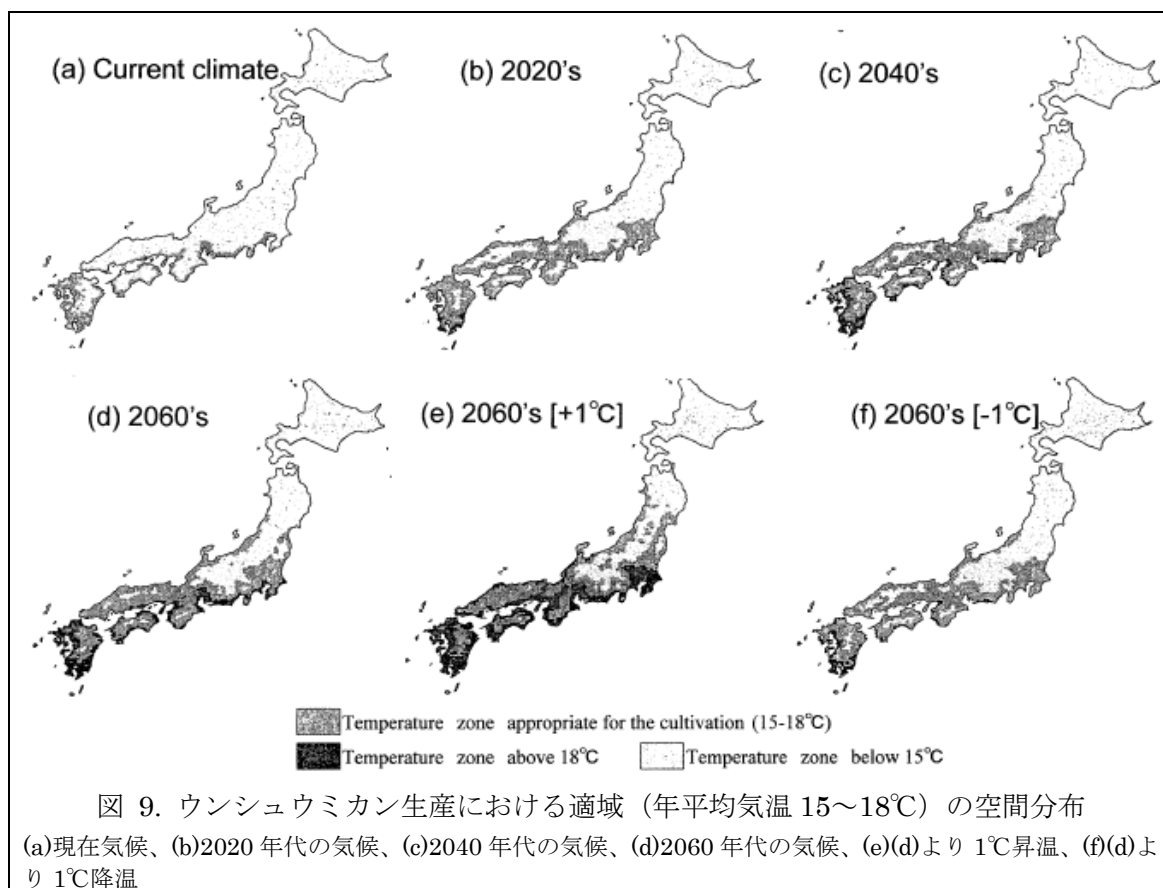


図 8. リンゴ生産における適域（年平均気温 7～13℃）の空間分布

(a)現在気候、(b)2020 年代の気候、(c)2040 年代の気候、(d)2060 年代の気候、(e)(d)より 1℃昇温、(f)(d)より 1℃降温



② Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change

【委員ご提供情報】

1. 執筆者 (公表年)	Toshihiko Sugiura, Hidekazu Ogawa, Noriaki Fukuda & Takaya Moriguchi (2013 年)
2. 掲載紙	Scientific Reports 3, (2418) : 1-7
3. 対象品目	リンゴ (発芽日、満開日、食味・食感)
4. 対象地域	青森県、長野県
5. 予測手法の概要	予測期間：－
	空間解像度：－ (青森県、長野県の試験場のデータを使用)
	気候モデル：－
	排出シナリオ：－
	適応策の検討：なし
予測手法： 実験による (回帰式あり)	
品種：「ふじ」「つがる」 データ取得場所と期間：「ふじ」・・・長野県 1970 年-2010 年、青森県 1975 年-2010 年 「つがる」・・・長野県 1980 年-2010 年 収集したデータ： 「酸含量」「可溶性固形分濃度 (Brix 値)」「果実硬度」「蜜入り指数 (ふじのみ) : 0 (なし) ~4 (大)」「皮色 (ふじのみ) : 1 (ピンク) ~6 (臙脂)」「地色指標 : 1 (緑) ~8 (濃黄色)」「発芽日¹⁶」「満開日¹⁷」 ※上記のデータのうち、気温との関係が図化されているものは、「酸含量」「果実硬度」「蜜入り指数」「発芽日」「満開日」である。	
6. 影響の概要	
将来影響予測は行われていない。 【発芽日及び満開日】 発芽日と満開日の平均気温との関係を図 10 に示す。発芽日及び満開日ともに、気温に対して負の相関があることが分かった。このため、近年の温暖化により発芽日、満開日が前進化していることが説明できる。	

¹⁶ 頂芽 (茎の先端にある芽) が破れ、青みの現れたものが全体の約 10%になった日

¹⁷ 全体の約 70%が満開になった日

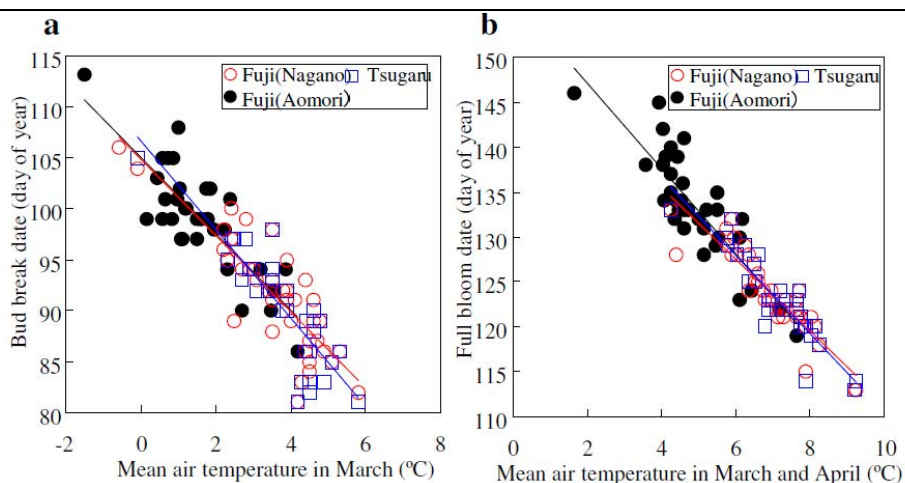


図 10. 生物季節学的な指標（発芽日、満開日）と気温との関係
(a) 発芽日は3月の、(b) 満開日は3～4月の平均気温との関係。直線は回帰直線。

【食味・食感】

酸含量（食味）、果実硬度（食感）、蜜入り指数（成熟度）と平均気温との関係を図 11 に示す。酸含量、果実硬度、蜜入り指数のいずれにおいても、気温と負の相関があることが明らかになった。

■酸含量（ y (g/L)） : (ふじ：長野) $y = -0.086 x + 5.687$
 (ふじ：青森) $y = -0.134 x + 6.364$
 (つがる：長野) $y = -0.091 x + 4.773$

■果実硬度（ y (kg)） : (ふじ：長野) $y = -0.098 x + 8.170$

■蜜入り指数（ y (-)） : (ふじ：長野) $y = -0.284 x + 6.232$
 (ふじ：青森) $y = -0.384 x + 8.4028$

y は、各指標である。 x は、満開後 110-180 日（ふじ：長野）、100-170 日（ふじ：青森）、90-120 日（つがる：長野）の平均気温である。

本文献では、春季の高温や夏から秋季（成熟期）の高温が食味・食感に関する指標の変化の要因と考えており、もし温暖化による気温上昇が進み、発芽・満開日が前進化すると、さらにリンゴの食味と食感が変化することが予測されている。

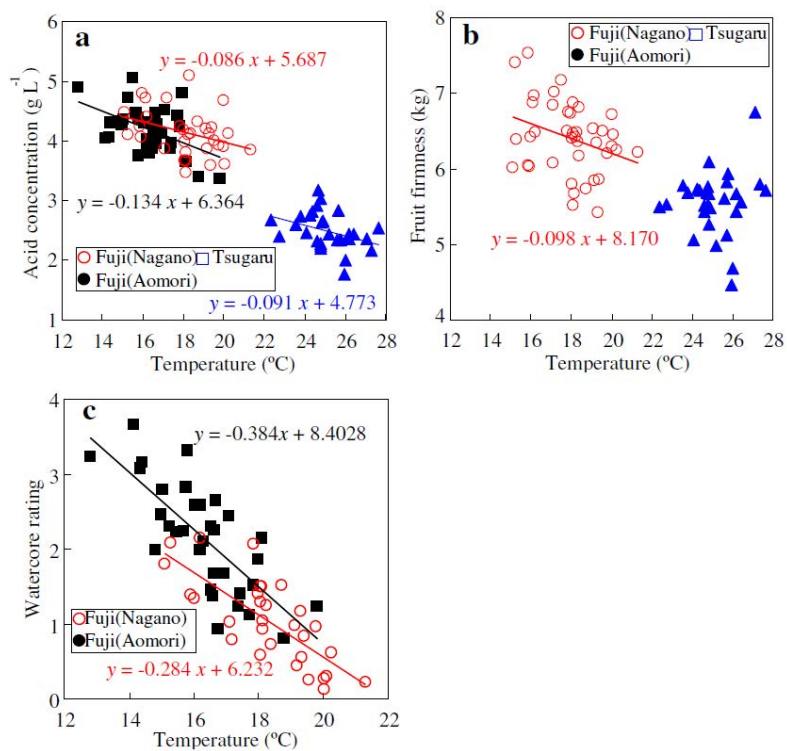


図 11. (a) 酸含量、(b) 果実硬度、(c) 蜜入り指数と気温との関係
 気温は、満開後 110-180 日 (ふじ：長野)、100-170 日 (ふじ：青森)、90-120 日 (つがる：長野) の平均。(a) ~ (c) の指標は、満開後 180 日 (ふじ：長野)、170 日 (ふじ：青森)、120 日 (つがる：長野) の値である。

③ 気候温暖化は 30 年後の果樹生産にどんな影響を及ぼすか（第 2 報）～近年の生育障害の特徴と将来の温度環境予測～

1. 執筆者(公表年)	山梨県果樹試験場プロジェクト (2006 年)
2. 掲載紙	—
3. 対象品目	ブドウ、モモ、オウトウ (加温開始時期)
4. 対象地域	山梨県
5. 予測手法の概要	予測期間：2036 年頃 ¹⁸
	空間解像度：—
	気候モデル：—
	排出シナリオ：—
	適応策の検討：なし
	予測手法： 加温開始の目安となる低温遭遇積算時間を設定

加温開始の目安となる低温遭遇積算時間の設定：

ブドウ：400 時間、モモ：1000 時間、オウトウ：1200 時間

ただし、低温とは特別気温が 7.2℃以下とする。

6. 影響の概要			
【加温開始時期】			
10/1 からの特別気温が 7.2℃以下となる積算時間を図 12 に示す。平年値に比べると、30 年後においてはブドウ、モモ、オウトウなどの加温開始時期が 7～10 日遅れると予想される。			

甲府地方気象台観測値

— 平年値

— 30年後

積算時間	平年値	30年後(遅れ)
400時間	12/22	12/29 (+ 7日)
1000時間	1/17	1/26 (+ 9日)
1200時間	1/26	2/ 5 (+10日)

施設栽培での加温開始の目安

ブドウ：400時間

モモ：1,000時間

オウトウ：1,200時間

図 12. 気温上昇が 7.2℃以下の低温遭遇積算時間に及ぼす影響

清野ら (1981) の方法によるシミュレーション¹⁹

30 年後は日別平年値に最高、最低気温の上昇を加算

¹⁸ 本研究では現況の 30 年後を影響評価対象としている。そのため、本研究の報告された年から 30 年後を記載した。

¹⁹ シミュレーション手法の詳細についての記載はない。

④ Prediction of Skin Coloration of Grape Berries from Air Temperature 【委員ご提供情報】

1. 執筆者 (公表年)	Toshihiko Sugiura, Mikio Shiraishi, Shohei Konno and Akihiko Sato. (2018 年)
2. 掲載紙	The Horticulture Journal, Volume 87 (2018) Issue 1 Pages 18-25
3. 対象品目	ブドウ (着色)
4. 対象地域	18 府県 ²⁰
5. 予測手法の概要	予測期間：－
	空間解像度：－
	気候モデル：－
	排出シナリオ：－
	適応策の検討：なし
	予測手法：実験による (回帰式あり)
2011 年～2015 年における、「巨峰」(日本の主要品種)、「ピオーネ」(日本で 3 番目に栽培が多い品種)、「涼香」(新しい品種)において採集したデータに基づき、気温とブドウの果皮の色について回帰分析を実施している²¹。 品種：「巨峰」(日本の主要品種)、「ピオーネ」(日本で 3 番目に栽培が多い品種) 「涼香」(新しい品種) 収集したデータ²²： 満開日²³、収穫日²⁴、果皮の色 (0：緑～12：黒)、アントシアニン含有量 ※上記のデータのうち、気温との関係が図化されているものは、「果皮の色」のみである。	
6. 影響の概要	
将来影響予測は行われていない。 「巨峰」(図 13. (A))、「ピオーネ」「涼香」(図 13. (B))については、収穫日前の 40 日間における平均気温が 24℃未満の場合は、十分な相関が得られなかったが、平均気温が 24℃以上の場合は十分な負の相関が得られた。各品種の 24℃以上における回帰式の係数 (巨峰では約－1.0) より、平均気温が 1℃上昇するごとに、カラーチャートの値が 1.0 (巨	

²⁰ 茨城県、栃木県、石川県、山梨県、長野県、三重県、京都府、大阪府、奈良県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、徳島県、香川県、愛媛県、福岡県、鹿児島県

²¹ 果皮の色とアントシアニン含有量の関係についても分析しているが、温暖化による影響について、図で記載されているわけではないため、ここでは割愛した。

²² 気候データは、気象庁のアメダスデータを統計処理することで 1km メッシュとした、AMeDAS mesh dataset (seino, 1993) を用いた。

²³ 全体の 80%以上の花房において、全体の 80%以上の小花が開花した日とする。

²⁴ 各房の収穫日は香りで判断するが、ここでの収穫日は全体の 50%が収穫された日とする。

峰) 低下することがわかる。

$$\text{巨峰: } y = -1.003x + 35.06$$

y は果皮の色、x は収穫日前 40 日間の平均気温である。

また、図 13. (B) には、傾きを巨峰と同じ -1.003 として、ピオーネおよび涼香の回帰式を作成したところ、回帰式の切片はピオーネで 34.03 、涼香で 35.79 となった。

これは、同じ平均気温であっても、カラーチャートの値が、巨峰に比べピオーネでは約 -1.0 ($\div 34.03 - 35.06$)、涼香では約 $+0.7$ ($\div 35.79 - 35.06$) となることが示される。

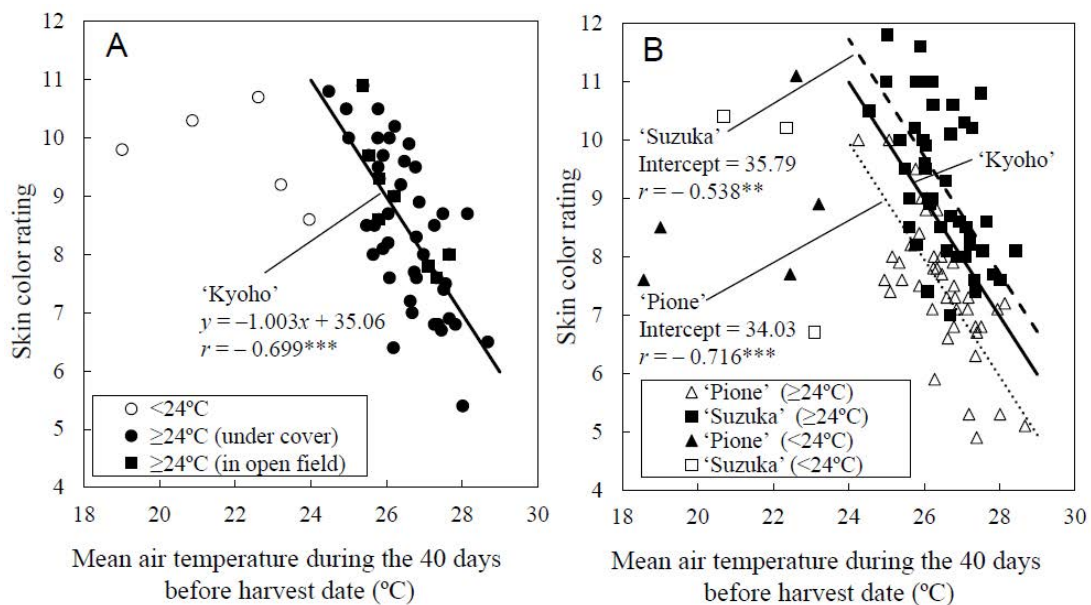


図 13. 収穫日前 40 日間の平均気温と収穫時の果皮の色との関係性

(A) は「巨峰」の 24°C 以上 (図の●と■²⁵) において、回帰式を示した。(B) は「ピオーネ」「涼香」の 24°C 以上 (図の■と▲) について、(A) の回帰式の傾き (-1.003) を用いて回帰式を作成した。なお、r はピアソンの相関係数を示す (** $P < 0.01$ 、*** $P < 0.001$)。

²⁵ ●は透明なプラスチックシートで覆われた場合 (ハウス栽培)、■は露地栽培。

⑤ Prediction of climatic suitability for wine grape production under the climatic change in Hokkaido 【委員ご提供情報】

1. 執筆者 (公表年)	Manabu NEMOTO、Tomoyoshi HIROTA、Tomonori SATO (2016年)
2. 掲載紙	Journal of Agricultural Meteorology 72 (3-4) : 167-172
3. 対象品目	ワイン用ブドウ (ヨーロッパブドウ) (栽培好適地)
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：－ (1990年代から全球気温が2℃上昇した際を想定)
	空間解像度：1km メッシュ
	気候モデル：GCM3種 (MIROC3.2Hires、MPI、NCAR) ×RAM ²⁶ 3種 (NHM (JMA)、WRF、RSM) の9種類 ²⁷
	排出シナリオ：SRES A1B
	適応策の検討：なし
	予測手法：栽培好適条件の設定
以下3つの条件を満たした地点は、ヨーロッパブドウの栽培好適地となる。 ①夏季気温：13.1℃≤生育期 (4月～10月) の平均気温≤20.9℃ ②夏季降水：255mm≤生育期 (4月～10月) の総降水量≤1200mm ③冬季気温：冬季の日最低気温の月平均気温>－15℃	
6. 影響の概要	
全球気温が2℃上昇した場合の、9つの気候モデルのデータを基にした栽培好適地分布を図14に示す。 夏季気温条件のみの結果についてはb)、夏季降水条件のみの結果についてはc)、冬季気温条件のみの結果についてはd)に示してある。これらb)～d)の条件を重ね合わせた結果がa)である。モデルにより、栽培好適地と判定されたメッシュ (a)にて色がついたメッシュ) には、ばらつきがあり、全体として栽培不適地は、特に北海道の南西部に存在すると予測された。これは、主に夏季降水量が条件を満たさなかったことによる。 図15は、図14a)を集約したものである。白地域は、9つのモデルが全て好適地と判断した地域。黄色地域は、1～3つのモデルが不適地と判断した地域であり少しの不確実性を含む。赤色地域は、4～9つのモデルが不適地と判断した地域で、不確実性が大きい。結果として、北海道の低地は、将来2℃上昇した際に1990年代と比較し、栽培好適地が拡大すると予測された。	

²⁶ Regional atmospheric model

²⁷ RECCAにより作成されたデータセット

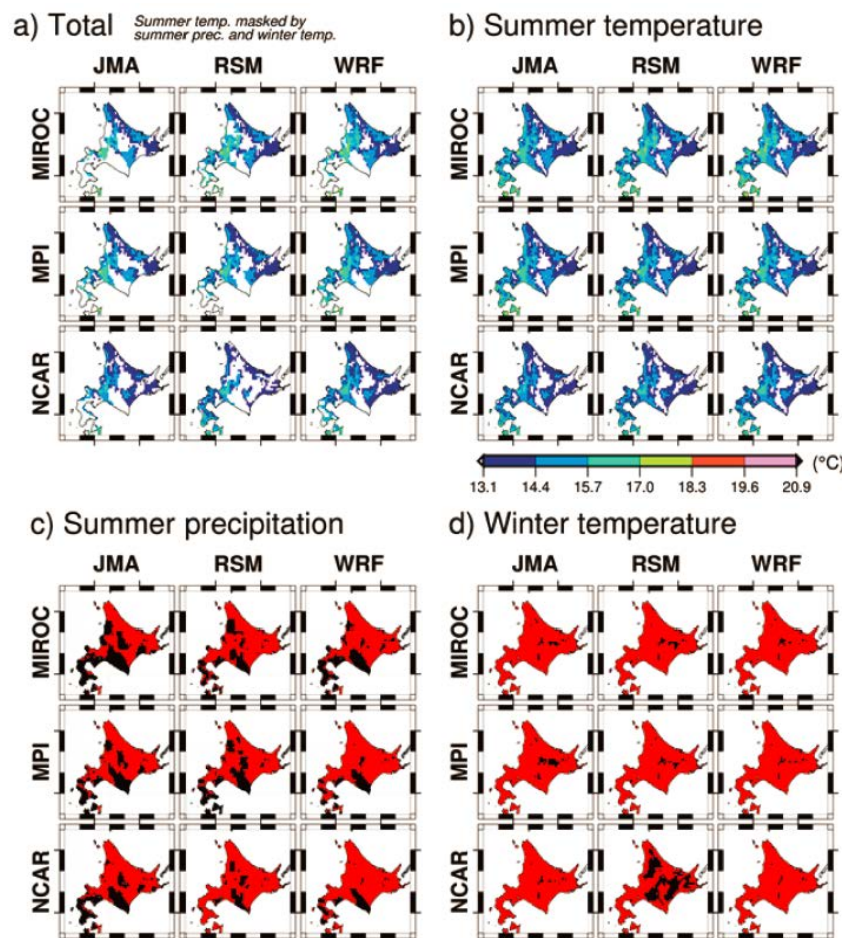


図 14. RECCAデータを用いた2℃上昇時の北海道における気候条件のモデルの差異
 a)3つの条件を満足した、ブドウの好適地分布（色つきメッシュ）、b)夏季気温：白地域は、気温が13.1℃未満の不適域、c)夏季降水：黒地域は総降水量1200mm以上の不適域、d)冬季気温：黒地域は-15℃以下の気温となる不適域

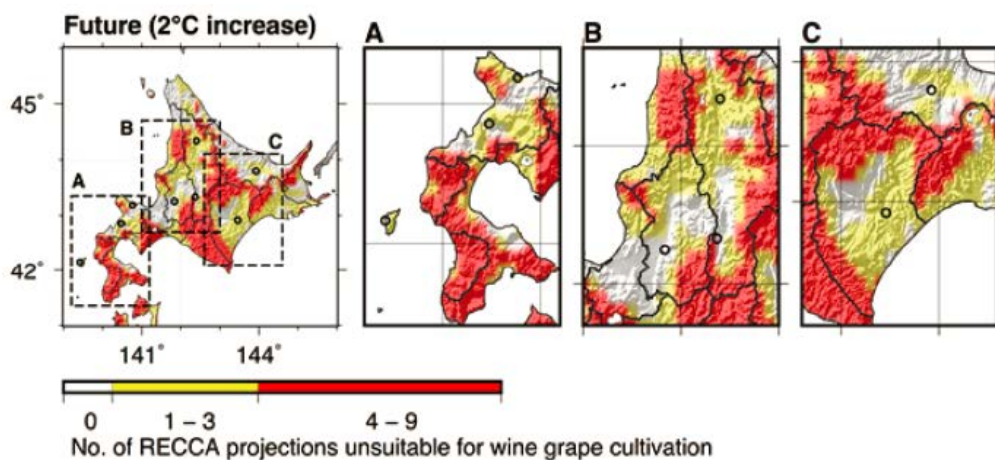


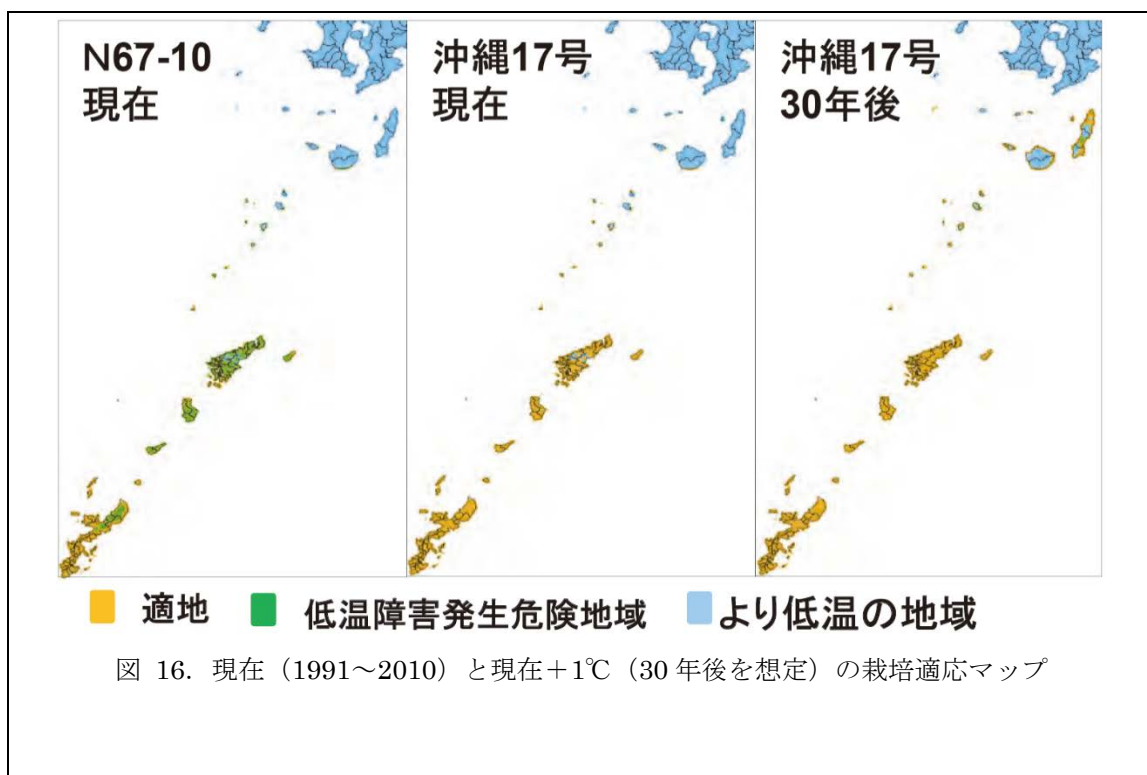
図 15. RECCAデータを用いた2℃上昇時の北海道における気候条件のモデルの差異

⑥ 高品質の開発と収穫期拡大技術を核としたパインアップルの温暖化対応技術の確立 28

【委員ご提供情報】

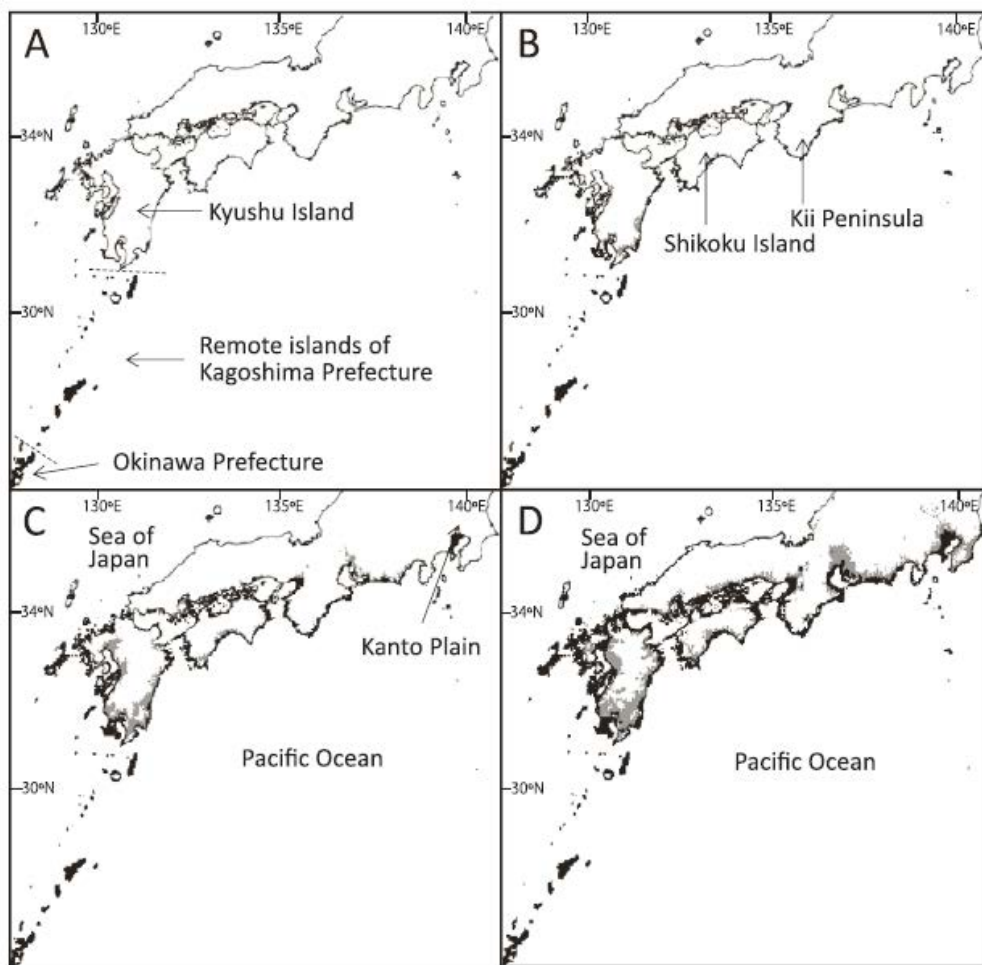
1. 執筆者 (公表年)	[研究グループ] 沖縄県農業研究センター名護支所、沖縄県農業研究センター石垣支所、農研機構果樹研究所 [総括研究者] 沖縄県農業研究センター名護支所 正田 守幸 (2014 年)
2. 掲載紙	農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（実用技術開発ステージ）／研究紹介、75-76
3. 対象品目	パインアップル（栽培適地）
4. 対象地域	沖縄県、鹿児島県の一部
5. 予測手法の概要	予測期間：1991～2010 年（現在）、30 年後
	空間解像度：1km メッシュ
	気候モデル：30 年後の気温が現在より 1℃高くなると仮定
	排出シナリオ：－
	適応策の検討：あり
予測手法： 栽培温度適域を設定	
各品種の適地 N67-10：平均気温 20℃以上かつ日最低気温 7.0℃未満の日が年間 3 回未満の地域 沖縄 17 号：平均気温 20℃以上かつ日最低気温 3.0℃未満の日が年間 3 回未満の地域	
6. 影響の概要	
温暖化進行後も生産可能で、収穫期の調整が可能な高品質パインアップル品種の開発を目指し、「沖縄 17 号」が開発された。 低温障害の評価試験と気象データをもとに、平均気温と日最低気温から「沖縄 17 号」と従来品種（「N67-10」）の適地マップを作成した。 また、「沖縄 17 号」については現在と 30 年後の適地マップを作成した。これにより、従来品種と温暖化適応品種の適地マップの比較が行える（適応策の検討）。 「沖縄 17 号」は現在のパインアップル（＝「N67-10」）生産地域よりも適応範囲が広く、30 年後の栽培適地は南西諸島の北部まで広がる可能性がある（図 16）。	

28 「従来品種（N67-10）」と「新品種（沖縄 17 号）」について、栽培適地マップの作成の他、果実重・果実品質・食味・病害抵抗性・吸芽発生数の比較や、花芽誘導効果・収穫日・糖酸比を比較する実験結果も記載している。ただし、温暖化による将来影響に関する評価ではなかったため、ここでは割愛した。



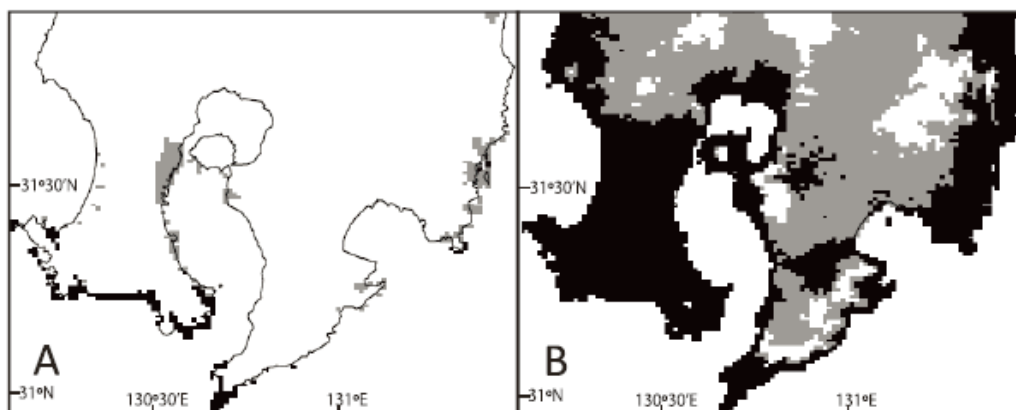
⑦ Predicted Changes in Locations Suitable for Tankan Cultivation Due to Global Warming in Japan.

1. 執筆者 (公表年)	Toshihiko Sugiura, Daisuke Sakamoto, Yoshiko Koshita, Hiroyoshi Sugiura and Toshikazu Asakura (2014)
2. 掲載紙	J. Japan. Soc. Hort. Sci. 83 (2): 117–121
3. 対象品目	タンカン (栽培適域)
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：1981～2000 年、2011～2030 年、2031～2050 年、2051～2070 年
	空間解像度：1km メッシュ (45"×30")
	気候モデル：MIROC3.2-Hires
	排出シナリオ：SRES-A1B
	適応策の検討：なし
	予測手法：栽培温度適域を設定
適域判定基準： ①年平均気温が 17.5℃以上 ②年間日最低気温が－2℃以下の年が 20 年に 4 回未満 ・栽培適域：①、②ともに満たす ・冷害の恐れのある地域：①は満たすが②は満たさない ・栽培不適域：①を満たさない	
6. 影響の概要	
【適域評価】 現在の栽培適域は、沖縄県、鹿児島県の離島、一部の南九州地区の海岸部である (図 17. A)。将来の栽培適域は徐々に北方へ拡大すると予測された (図 17. B–D)。2011～2030 年には、南側四国の海岸部や紀伊半島の一部が適域となる。2031～2050 年には、関東平野のほとんどの海岸部が適域となる。2051～2070 年には、西日本の日本海側でも適域が存在すると予測された。	



黒色：栽培適域 灰色：冷害の恐れがある地域 白色：栽培不適域

図 17. タンカン栽培に適した地域の変化予測 ((A) 1981-2000、(B) 2011-2030、(C) 2031-2050、(D) 2051-2070)



黒色：栽培適域 灰色：冷害の恐れのある地域 白色：栽培不適域

図 18. タンカン栽培に適した地域の変化予測 ((A) 1981-2000、(B) 2051-2070)

⑧ Assessment of deterioration in skin color of table grape berries due to climate change and effects of two adaptation measures. 【委員ご提供情報】

1. 執筆者（公表年）	Toshihiko SUGIURA, Mikio SHIRAISHI, Shohei KONNO and Akihiko SATO（2019）
2. 掲載紙	Journal of Agricultural Meteorology（2019）75（2） （早期公開 DOI: 10.2480/agrmet.D-18-00032）
3. 対象品目	ブドウ（満開日、果皮色）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：1981～2000 年、2031～2050 年、2081～2100 年
	空間解像度：1km メッシュ
	気候モデル：MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, CSIRO-Mk3-6-0, and HadGEM2-ES
	排出シナリオ：RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5
	適応策の検討：なし
	予測手法：回帰式

【満開日推定モデル】

全国 50 のブドウ畑から得られた気温と開花日のデータから回帰式を開発した。

表 6. 4 月～5 月における気温と満開日の関係

Cultivar	Cover ^z	n ^y	r ^x	Slope ^w	y-Intercept ^w	SE ^v	FFD ^a (DOY)
‘Kyoho’	OF	353	-0.936 ***	-5.386	234.8	3.60	154.0
	PC	69	-0.900 ***	-5.423	233.1	3.12	151.8
	PH	239	-0.906 ***	-5.831	236.0	4.55	148.5
	PS	63	-0.878 ***	-5.467	218.2	8.06	136.2
‘Pione’	OF	105	-0.927 ***	-5.273	235.7	3.66	156.6
	PC	56	-0.914 ***	-4.594	221.7	3.86	152.8
	PH	106	-0.856 ***	-6.084	241.5	4.48	150.3
	PS	41	-0.899 ***	-5.339	217.7	7.06	137.7
‘Suzuka’	PC	21	-0.868 ***	-7.599	267.1	3.87	153.1
	PH	41	-0.879 ***	-6.418	244.5	4.90	148.3

OF：オープンフィールド、PC：部分被膜、PH：サイドフィルムなしのプラスチック温室、PS：サイドフィルム付きプラスチック温室

Y：満開日のデータポイントの合計数（場所と年）、X：ピアソンの相関係数、***P<0.001

W：回帰パラメータ（y=ax+b、y は満開日、x は 4 月と 5 月の平均気温 a は勾配、b は切片）

V：回帰方程式の標準誤差、4 月 5 月の平均気温が 15℃のときの回帰式によって推定される満開日

DOY：1 月 1 日からの日数

【果皮色推定モデル】

式(1)～(3)（Sugiura et al., 2018：本資料の 2.1.2④をご参照）により、各年の果皮色評価の将来推定を行った。

$$SC \text{ (‘Kyoho’)} = -0.959 \times Tm \text{ (50-92DAF)} + 33.9 \dots (1)$$

$$SC \text{ (‘Pione’)} = -1.053 \times Tm \text{ (46-91DAF)} + 35.3 \dots (2)$$

$$SC \text{ ('Suzuka')} = -0.655 \times Tm (52-93DAF) + 26.6 \cdots (3)$$

SC : 果皮色、Tm : 括弧で示される期間の平均気温、DAF : 満開日からの日数

6. 影響の概要

【適域評価】

図 19 に着色不良の発生確率についての結果を示す。OF での「巨峰」の果皮色評価は、1981 - 2000 年の 9.4 から 2031 - 2050 年 (RCP4.5) の 7.9 に低下した。北日本を除くほとんどの地域の平野において、OF での「巨峰」のための適応策を導入する必要があることが示された。長期的な適応策としては、生物季節学的変化または優れた色の品種の使用が効果的と考えられる。

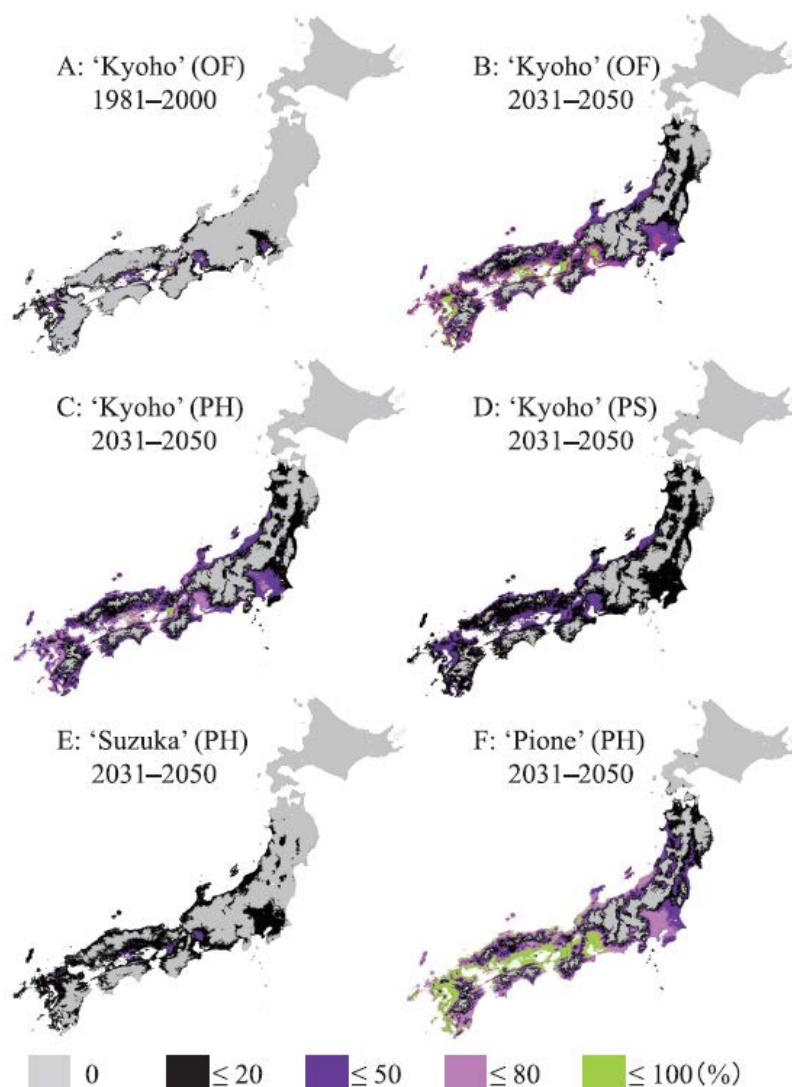


図 19. 果皮色の将来推定結果のマップ ((A) 1981-2000、(B-F) 2031-2050 (RCP4.5))
マップの色は着色不良と評価された年が発生する確率を示す。また、OF : オープンフィールド、PH : サイドフィルムなしのプラスチック温室、PS : サイドフィルム付きプラスチック温室を示す。

2.1.3 野菜

2.1.3.1 病害虫

① A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones.

1. 執筆者(公表年)	Kohji Yamamura、Keizi Kiritani (1998 年)
2. 掲載紙	Appl. Entomol. Zool. 33 (2) : 289-298
3. 対象品目	節足動物 12 分類 ²⁹ (年間世代増加数)
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：－
	空間解像度：－
	気候モデル：－
	排出シナリオ：－ (年平均気温+1℃、+2℃、+3℃)
	適応策の検討：なし
予測手法：簡易式を用いた計算	
以下に示す簡易式を作成し、年間世代増加数を計算した。 $\Delta N \div \Delta T [c + d(m - T_0)] / K$ ここで、ΔN：増加世代数、ΔT：気温上昇量、c：定数 (204.4³⁰)、d：12.46、m：現在の年平均気温、T_0：発育零点、K：有効積算温度定数³¹ T_0およびKについては、複数の著者によりリスト化された値を用いた³²。	
6. 影響の概要	
平均気温 (m) を 15℃とした時を基準とし、+1℃、+2℃、+3℃温暖化したときの年間世代増加数の変化をそれぞれ図 20、図 21、図 22 に示す。 1℃上昇時 (図 20) では、世代数の増加は、サイズの小さな節足動物 (ダニ類、アザミウマ類、ハチ類 (大部分が小さな補食寄生者)、アブラムシ類) のみと予測された。	

²⁹ ダニ類、アブラムシ類、アザミウマ類、ハチ類、ハエ類、センチュウ類、カメムシ類、カイガラムシ類、チョウ・ガ類、チョウ・ガ類 (貯穀害虫)、カブトムシ類、甲虫類 (貯穀害虫)

³⁰ アブストラクトでは 204.4 だが、本文中では 206.7 でありどちらが正しいかは不明

³¹ 発育期間中の平均温度とその昆虫が生育することの出来る最低の温度 (=発育零点) との差と発育日数との積で表される。 $K = \text{経過日数} \times (\text{発育期間中の平均温度} - \text{発育零点})$ 。日度を単位とする。

³² 種別に異なり、その値は明記されていない。

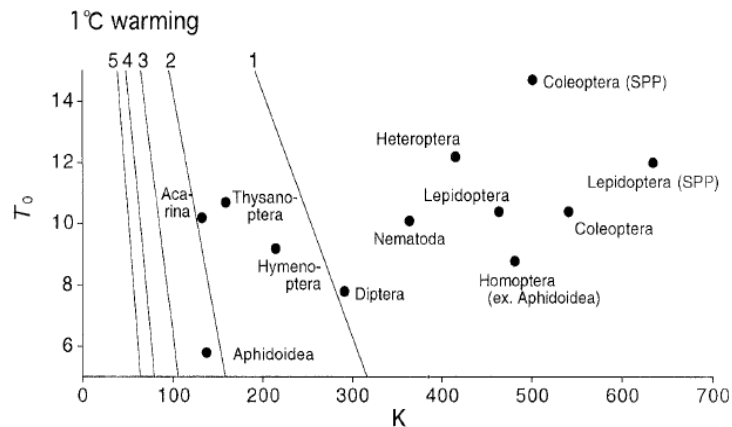


図 20. 年平均気温が 15°C の地点が、1°C 上昇した際の虫類の年間世代増加数
 散布図中の直線および数字は、世代増加数を示す。Acarina : ダニ類、Aphidoidea : アブラムシ類、
 Thysanoptera : アザミウマ類、Hymenoptera : ハチ類、Diptera : ハエ類、Nematoda : センチュウ類、
 Heteroptera : カメムシ類、Homoptera : カイガラムシ類 Lepidoptera : チョウ・ガ類、Lepidoptera
 (SPP) : チョウ・ガ類 (貯穀害虫)、Coleoptera : カブトムシ類、Coleoptera (SPP) : 甲虫類 (貯穀害
 虫)

2°C 上昇時には、貯穀害虫を除く多くの節足動物にて世代数が増加すると予測された。

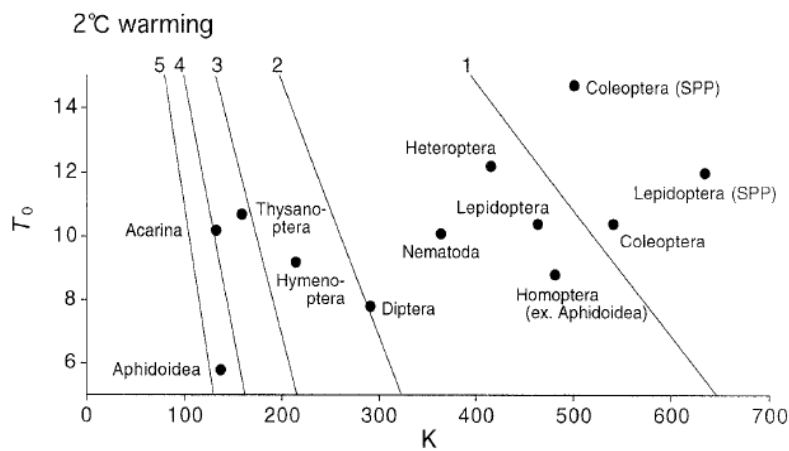


図 21. 図 20 と同じ。ただし 2°C 上昇した際の虫類の年間世代増加数

3°C 上昇時には、貯穀害虫も現在よりも 1 世代多くなると予測された。しかし、貯穀害虫
 の予測については、外気温よりも 10°C 以上高い製粉機のような環境でも生存しているこ
 とから、予測の妥当性は明確ではない。

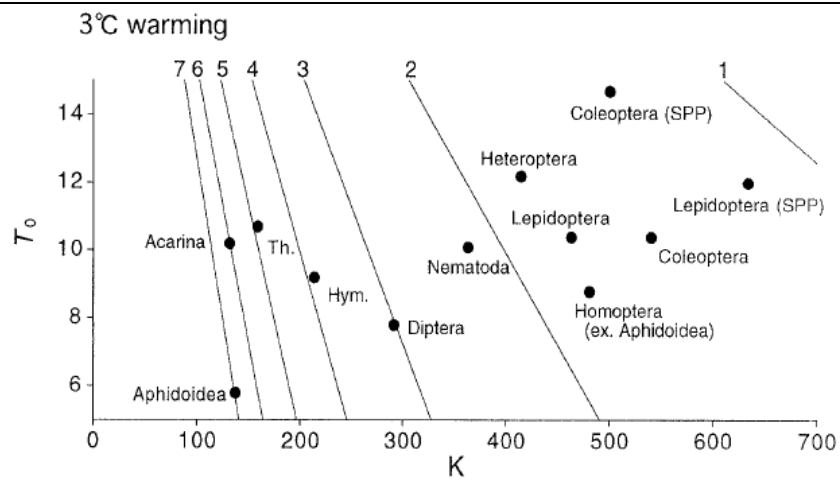


図 22. 図 20 と同じ。ただし 3°C 上昇した際の虫類の年間世代増加数

2.1.4 麦・大豆・飼料作物等

2.1.4.1 小麦

① 高温による小麦の減収要因,「北海道における 2010 年猛暑による農作物の被害解析」報告書【委員ご提供情報】

1. 執筆者（公表年）	西尾善太、伊藤美環子、田引正、中司啓二、長澤幸一、山内宏昭、広田知良（2011 年）
2. 掲載紙	北海道農業研究センター研究資料、69、 15-21
3. 対象品目	秋まき小麦（収量、登熟日数、稈長）
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：－
	空間解像度：－
	気候モデル：－
	排出シナリオ：－
	適応策の検討：－
	予測手法：回帰式（生産力検定試験の生育調査、収量調査の結果を解析）
北海道の代表的な秋まき小麦品種「ホクシン」および「キタノカオリ」を対象として、1997～2010 年のまでの 14 年間の生産力検定試験結果について、生育温度が秋まき小麦の収量構成要素に与える影響を解析した。解析内容は以下の 3 点である。 ①夏季の気温と小麦の収量構成要素の関係 ②春季の気温と小麦の収量構成要素の関係 ③春季と夏季の気温の相関関係	
6. 影響の概要	
将来影響予測は行われていない。 【夏季の気温とコムギの収量構成要素の関係】 小麦の出穂から成熟までの登熟期間の平均気温と、登熟日数の間には、強い負の相関関係が見られ（ホクシン $r = -0.87$ ($n=14$, $P<0.01$)、キタノカオリ $r = -0.87$ ($n=14$, $P<0.01$)) (図 23)、登熟期間の平均気温と千粒重の間にも、強い負の相関関係が見られた（ホクシン $r = -0.81$ ($n=14$, $P<0.01$)、キタノカオリ $r = -0.82$ ($n=14$, $P<0.01$)) (図 24)。一方、登熟日数と千粒重の間には、強い正の相関が見られた（ホクシン $r=0.74$ ($n=14$, $P<0.01$)、キタノカオリ $r=0.72$ ($n=14$, $P<0.01$)) (図 25)。「ホクシン」、「キタノカオリ」ともに、登熟期間の平均気温が 1°C 上昇すると、登熟期間は約 2.6 日短縮し、千粒重は、「ホクシン」が約 2.2g、「キタノカオリ」が約 1.9g 減少した。登熟日数が 1 日短縮すると、千粒重は、「ホクシン」が約 0.62g、「キタノカオリ」が約 0.56g 減少した。1997～2010 年の十勝地方の秋まき小麦の 10a あたりの収量（製品単収）は、十勝地方中央部に位置する帯広市の	

7～8月の平均気温と有意な負の相関を示した（図 26）。

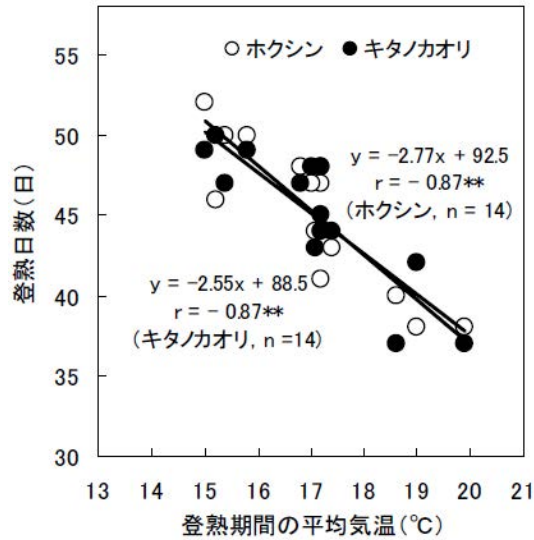


図 23. 秋まき小麦品種「ホクシン」と「キタノカオリ」の登熟期間の平均気温と登熟日数の関係（1997～2010年 北農研芽室研究拠点）（** $P < 0.01$ ）

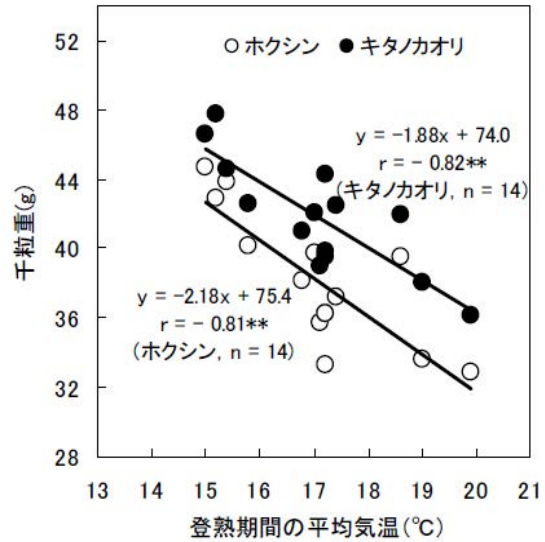


図 24. 秋まき小麦品種「ホクシン」と「キタノカオリ」の登熟期間の平均気温と千粒重の関係（1997～2010年 北農研芽室研究拠点）（** $P < 0.01$ ）

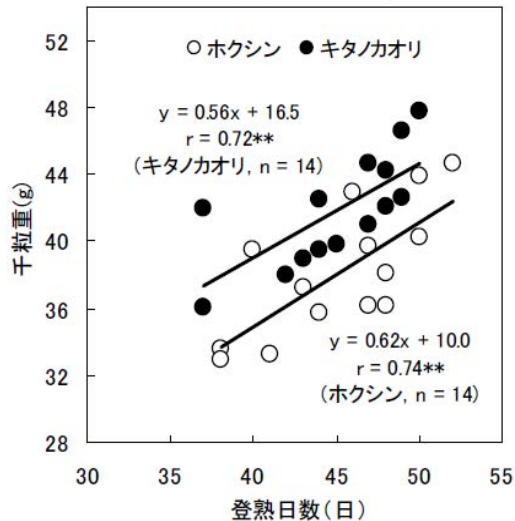


図 25. 秋まき小麦品種「ホクシン」と「キタノカオリ」の登熟日数と千粒重の関係（1997～2010年 北農研芽室研究拠点）（** $P < 0.01$ ）

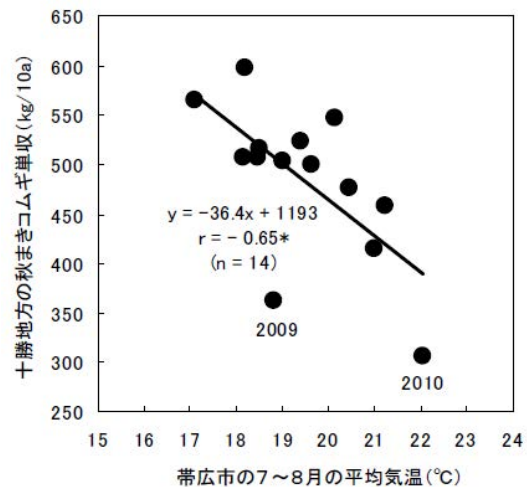


図 26. 帯広市の7～8月の平均気温と十勝地方の秋まき小麦の製品単収の関係（1997～2010年）（* $P < 0.05$ ）

【春季の気温とコムギの収量構成要素の関係】

4月中旬の平均気温と「ホクシン」の稈長間に有意な負の相関が見られ（ $r = -0.62$ （ $n=14$ 、 $P < 0.05$ ））（図 27）、4月下旬の平均気温と「キタノカオリ」の穂数間に有意な負の相関が見られた（ $r = -0.60$ （ $n=14$ 、 $P < 0.05$ ））（図 28）。また、5月下旬の平均気温と穂長の間には、両品種とも有意な負の相関が見られ、気温が1℃上昇すると、穂長は、「ホクシン」

が約 2.6mm、「キタノカオリ」が約 4.3mm 減少した(ホクシン $r = -0.68$ ($n=14$, $P<0.01$)), キタノカオリ $r = -0.83$ ($n=14$, $P<0.01$)) (図 29)。

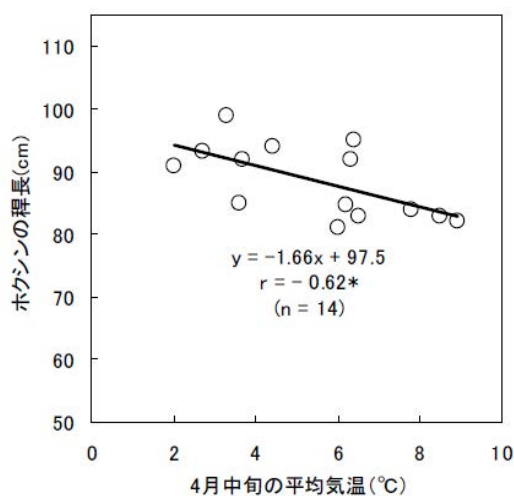


図 27. 4 月中旬の平均気温と秋まき小麦品種「ホクシン」の稈長の関係 (1997～2010 年 北農研芽室研究拠点) (* $P<0.05$)

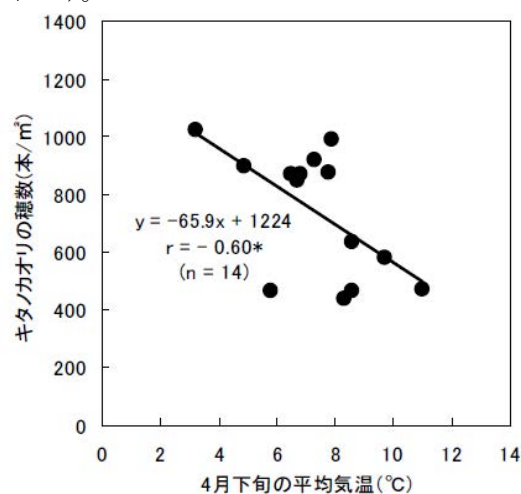


図 28. 4 月下旬の平均気温と秋まき小麦品種「キタノカオリ」の穂数の関係 (1997～2010 年 北農研芽室研究拠点) (* $P<0.05$)

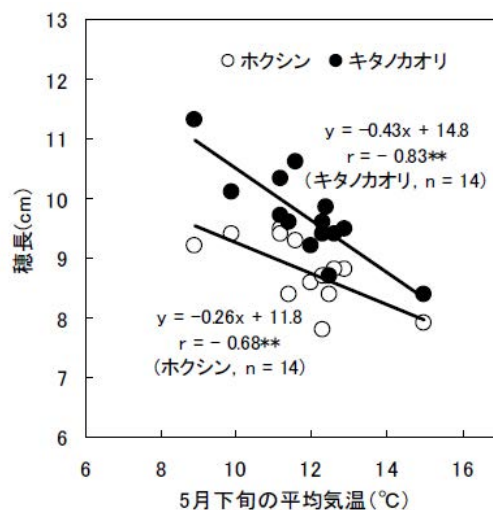


図 29. 5 月下旬の平均気温と秋まき小麦品種「ホクシン」および「キタノカオリ」の穂長の関係 (1997～2010 年 北農研芽室研究拠点) (** $P<0.01$)

【春季と夏季の気温の相関関係】

1997～2010 年の 14 年間の月別の平均気温の相関解析の結果の概要を示す。4 月の平均気温と、秋まき小麦の登熟期間の平均気温との間には、有意な負の相関が見られた ($r = -0.61$ ($n=14$, $P<0.05$)) (図 30)。3 月の平均気温と 6 月の平均気温 ($r = -0.69$ ($n=14$, $P<0.01$)) (図 31)、および 4 月の平均気温と 8 月の平均気温 ($r = -0.83$ ($n=14$, $P<0.01$)) (図 32)の間にも、それぞれ有意な負の相関が見られた。一方、1 月と 2 月、8 月と 9 月の気温の間には、それぞれ有意な正の相関が見られた ($r=0.72$ ($n=14$, $P<0.01$); $r=0.73$ ($n=14$, $P<0.01$))。

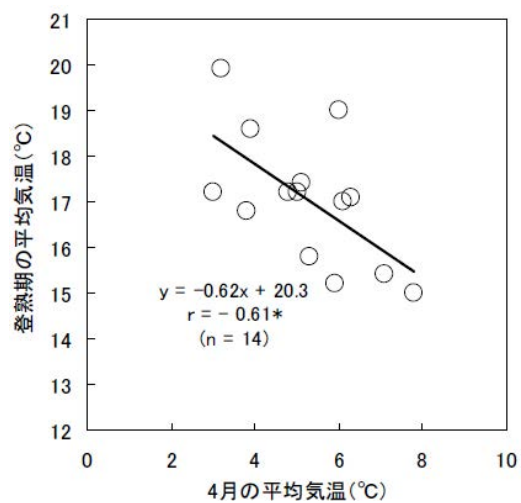


図 30. 4 月の平均気温と秋まき小麦の登熟期間の平均気温の関係 (1997～2010 年) (* $P < 0.05$)

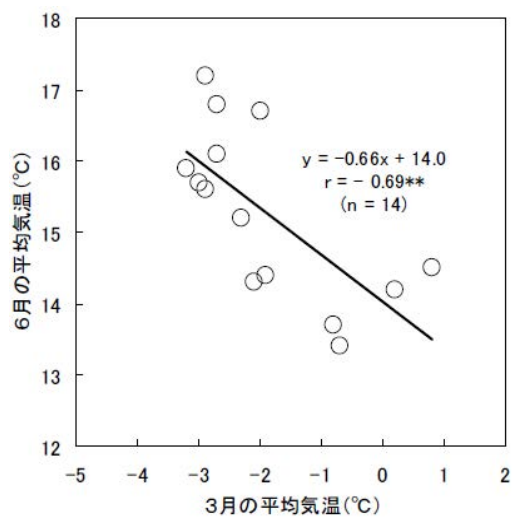


図 31. 3 月と 6 月の平均気温の関係 (1997～2010 年) (** $P < 0.01$)

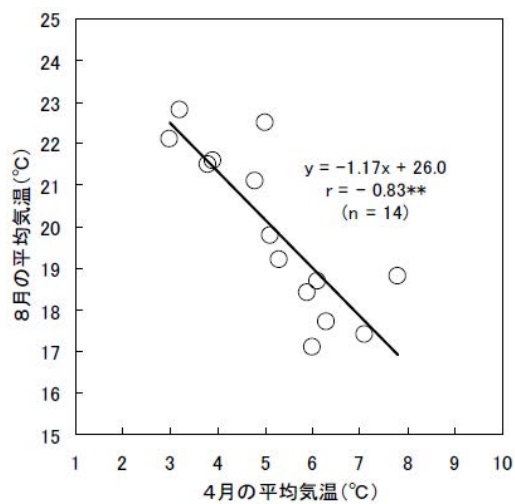


図 32. 4 月と 8 月の平均気温の関係 (1997～2010 年) (** $P < 0.01$)

② 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築－気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測－」成果集

＜秋まき小麦について＞

1. 執筆者（公表年）	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編（2011 年）
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	秋まき小麦「ホクシン」（収量）、「きたほなみ」（播種時期）
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：現在（1981-2000 年）、2030 年代
	空間解像度：道内9箇所（倶知安、岩見沢、滝川、名寄、富良野、網走、訓子布、芽室、大樹）
	気候モデル ³³ ：CCSR、CGCM1
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：あり
予測手法：作物モデル「WOFOST」	
WOFOST は、ヨーロッパで開発された作物モデルであり、気象データ及び土壌タイプに基づく生育シミュレーションが行える。なお、本モデルは本道の秋まき小麦に適用可能なプログラムとして改良・提示されている。 各地点のポテンシャル子実収量（水分制限なし;PY1）、土壌水分別の水分ストレス（不足、過剰）を考慮した収量ならびに期間降雨量についてシミュレーションを行った。 また、気候変動下にある 2030 年代における播種適期については、今後の基幹品種となる「きたほなみ」で WOFOST による検討を行った。	
6. 影響の概要	
【収量】 2030 年代では、春季以降の気温上昇及び日射量の低下により、ポテンシャル収量(PY1)は全域において低下した。一方、水分ストレスを考慮した収量は、現在において水分不足が比較的少ない地点においては減収となったが、干ばつ傾向が強く PY1 比で低収の地点においては降水量の増加により増収と試算された。前者の例として十勝中部の芽室を、後者の例として上川北部の名寄を示す。 芽室は現在においても比較的降水量が多く、土壌によらず PY1 に近い高収傾向と算出された地域であるが、2030 年代の PY1 低下（87～90％）に伴い、火山性土のみならず低地土でも現在比 84～89％程度的大幅な減収と試算された（図 33）。	

³³ 計算には、これら GCM の結果を日本付近の二次メッシュ（10km 四方）に展開した「気候変化メッシュデータ日本」（Yokozawa et al., 2003）を使用している。

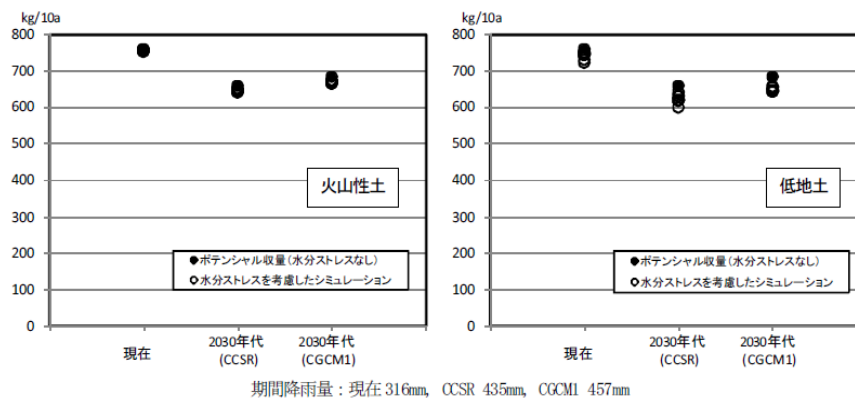


図 33. 芽室における各年代の収量シミュレーション

名寄は、現在、特に水分ストレスの高い地域であり、低地土では有効土壌 30cm として試算したが、2030 年代の期間降雨量は現在のほぼ 1.5 倍であったことから、他地域と同様 PY1 は低下するものの、そのレベルに近づく大幅な増収と試算された（図 34）。

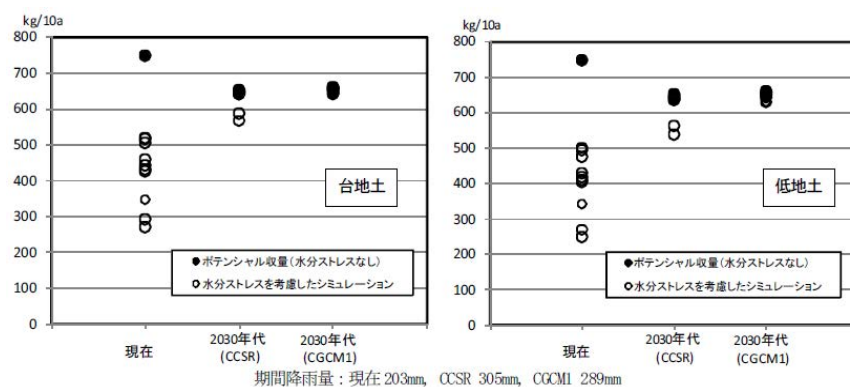


図 34. 名寄における各年代の収量シミュレーション

【適応策の検討】

2030 年代には、秋まき小麦の播種適期は現在に比べ大幅に遅れると予測された。特に道東における播種晩限の遅れが顕著であった（表 7）。

表 7. 現在および 2030 年代の播種適期（「きたほなみ」）

	倶知安		岩見沢		旭川		網走		芽室	
	始期	終期	始期	終期	始期	終期	始期	終期	始期	終期
現代	9/12 ~	9/19	9/16 ~	9/24	9/11 ~	9/19	9/21 ~	10/4	9/15 ~	9/28
2030年代(CCSR)	9/18 ~	9/26	9/26 ~	10/4	9/19 ~	9/27	(9/26 ~ 9/30)		(9/20 ~ 9/24)	
2030年代(CGCM1)	9/18 ~	9/26	9/26 ~	10/4	9/19 ~	9/27	9/27 ~	10/11	9/23 ~	10/6
							9/28 ~	10/11	9/23 ~	10/7

* 現代の播種適期は、「めん用秋まき小麦「きたほなみ」の高品質安定栽培法」(平成20年普及推進事項)による、1997～2006年の平均気温平年値に基づく期日。()内は、この10年間の最暖年で580℃を超えない日～最寒年で390℃を確保した日を考慮した期日(道東のみ)。

** 2030年代の播種適期は、11月15日を過ぎても日平均気温3℃以上の日は積算に加えて算出した。

2.1.4.2 大豆

① 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集

<大豆について>

1. 執筆者（公表年）	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編（2011 年）
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	大豆 ³⁴ （生育、収量、品質、栽培適地）
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：現在（1981-2000 年）、2030 年代
	空間解像度：市町村レベル、1km メッシュ
	気候モデル ³⁵ ：CCSR、CGCM1
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：あり ³⁶
	予測手法：発育指数（生育（開花期））、積算日平均気温と登熟期間中の気温特性により計算（生育（成熟期））、回帰式（収量）
【生育期節等の推定】 ・開花期：発育指数（Developmental Index；DVI）を用いた。 $DVI（発育指数）= \sum DVR$ $DVR（発育速度）= 1/G[1+EXP\{-A \times (T-Th)\}]$ G、A、Th は品種固有のパラメータ。 G：当該品種の播種～開花までの最小日数、A：温度係数、T：日平均気温、Th：ある日長条件下での発育速度が最大の 1/2 になる温度 ・成熟期：開花～成熟期の積算日平均気温と登熟期間中の気温特性により成熟期を予測。 【子実重の予測】 子実重と気象条件の解析結果から得た、以下の収量予測式を用いて予測した。 ユキホマレ：$Y = -0.915(x - 19.4)^2 + 39.0 \quad (R^2 = 0.3182)$ トヨムスメ：$Y = -1.047(x - 19.8)^2 + 41.0 \quad (R^2 = 0.5877)$ 【栽培適地（栽培地帯区分）】	

³⁴ ユキホマレとトヨムスメの二品種を対象とした。

³⁵ 計算には、これら GCM の結果を日本付近の二次メッシュ（10km 四方）に展開した「気候変化メッシュデータ日本」（Yokozawa et al., 2003）を使用している。

³⁶ 2030 年代の予測結果に基づき、中生～晩生品種導入による収量・品質の確保、病害虫への対応が挙げられている。

現在の栽培地帯区分は6月から9月の積算平均気温及び無霜期間を主に、開花期前後の低温による障害、登熟期の霜害および収穫時期の降水確率を考慮してⅠ～Ⅵ地帯³⁷に区分されている。GCMにより予測された6～9月の積算平均気温、無霜期間、7月の平均気温を現在の各地点の値と比較し、2030年代の地帯区分と播種可能時期を推定した。

6. 影響の概要

【生育期節の予測】

主要地点の開花期、成熟期の結果を「ユキホマレ」については図35、図36に、「トヨムスメ」については図37、図38に示す。

2030年代には開花期・成熟期は7～10日程度早まると予想された。

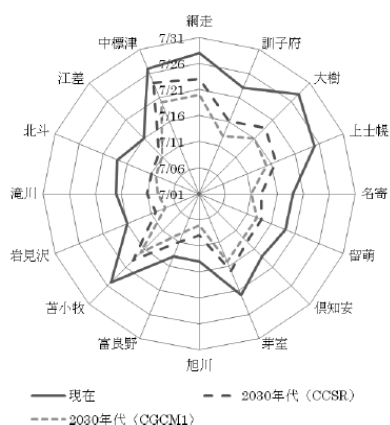


図 35. ユキホマレの開花期予測
播種日は5月20日として予測した

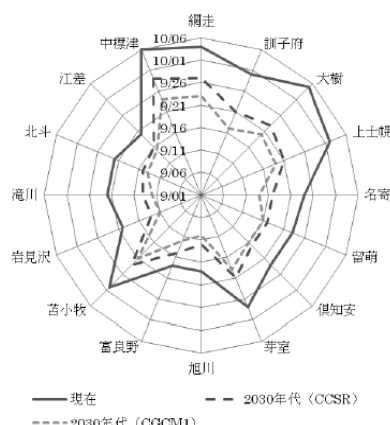


図 36. ユキホマレの成熟期予測
播種日は5月20日として予測した

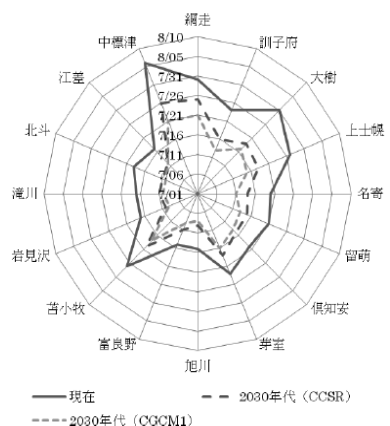


図 37. トヨムスメの開花期予測
播種日は5月20日として予測した

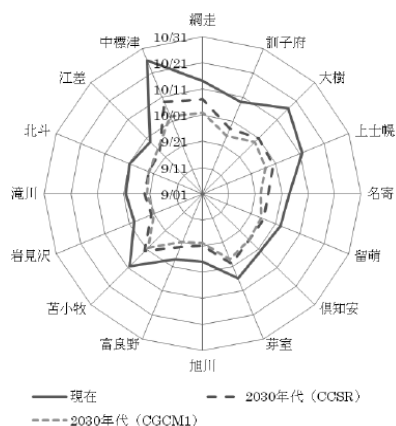


図 38. トヨムスメの成熟期予測
播種日は5月20日として予測した

【子実中の予測】

予測結果を図39に示す。2030年代においては、やや早の「ユキホマレ」は現在の6～8月の平均気温が18℃以下の地点で、中生の「トヨムスメ」ではほとんどの地点で増収する

³⁷地帯区分のランクが大きくなるほど、6～9月の積算気温が高く、また無霜期間が長くなる。

可能性が示唆された。一方で、現在の6～8月の平均気温が18℃以上の地点では、「ユキホマレ」は減収傾向となり、中生品種の選定が必要と考えられた。

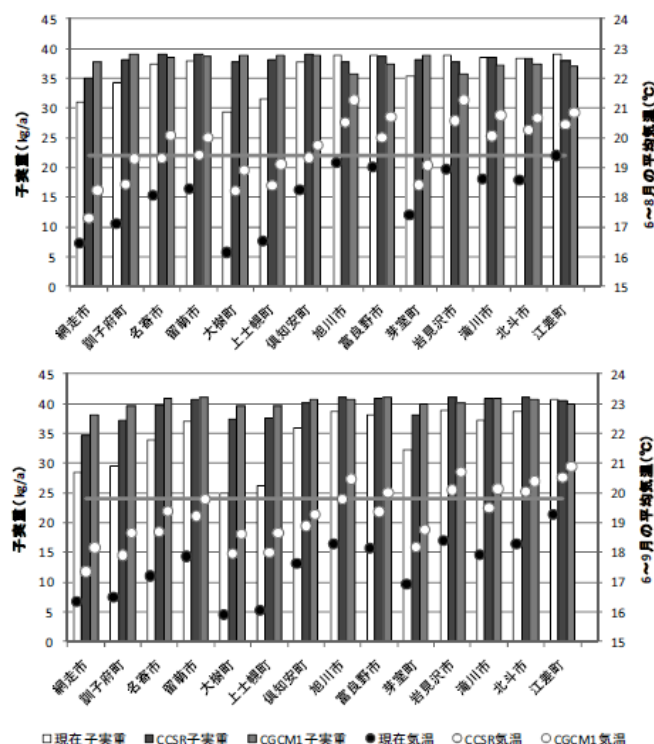


図 39. 子実重の将来予測：(上) ユキホマレ、(下) トヨムスメ

【栽培適地（栽培地帯区分）】

地帯区分の変化の予測結果を表 8 に示す。全ての地点で地帯区分が1～2 ランク上がり、中標津町でも大豆栽培が可能と考えられた。また、道南地域では、東北地方の品種が栽培できる可能性が示唆された。

表 8. 温暖化に伴う地帯区分の変化

現代(アメダス平年値)							CCSR2030年代							CGCM12030年代						
地帯区分	6～9月積算	7月平均	晩霜	初霜	無霜期間	播種時期	区分6～9月予測	7月積算	7月平均	晩霜	初霜	無霜期間	播種時期	区分6～9月予測	7月積算	7月平均	晩霜	初霜	無霜期間	播種時期
網走市 I	1993	17.1	5/12	10/26	167	5下	II	2118	18.0	5/01	11/10	193	5中	II	2216	19.0	4/28	11/10	196	5上
訓子府町 I	2014	17.9	5/24	10/01	130	5下	II	2184	19.2	5/13	10/09	149	5上	III	2276	20.1	5/11	10/09	151	5上
名寄市 II	2100	19.1	5/24	10/06	130	5下	IV	2282	20.4	5/12	10/20	156	5中	IV	2366	21.2	5/10	10/20	158	5中
留萌市 II	2180	19.2	5/08	11/03	179	5中	IV	2345	20.4	4/28	11/18	204	5中	IV	2413	21.0	4/28	11/18	204	5上
大樹町 II	1940	16.7	5/24	10/06	135	5下	IV	2191	18.9	5/12	10/21	162	5上	IV	2271	19.6	5/11	10/21	163	5上
上士幌町 II	1959	17.2	5/22	10/05	136	6上	IV	2197	19.1	5/12	10/15	156	5下	IV	2276	19.8	5/09	10/16	160	5下
倶知安町 II	2150	19.3	5/21	10/05	137	5下	IV	2304	20.4	5/07	10/19	165	5上	IV	2351	20.8	5/09	10/19	163	5中
旭川市 III	2231	20.2	5/16	10/07	144	5中	V	2415	21.6	5/04	10/22	171	5上	V	2497	22.4	5/03	10/22	172	5上
富良野市 III	2215	20.0	5/14	10/06	145	5中	V	2363	20.9	5/03	10/20	170	5上	V	2440	21.7	5/02	10/20	171	5上
芽室町 III	2066	18.0	5/18	10/06	141	5中	V	2217	19.1	5/08	10/16	161	5上	V	2289	19.8	5/07	10/16	162	5上
岩見沢市 IV	2244	19.9	5/05	10/17	165	5中	VI	2451	21.6	4/24	11/01	191	5上	VI	2526	22.4	4/23	11/01	192	5上
滝川市 IV	2186	19.5	5/14	10/09	148	5中	VI	2379	21.1	5/06	10/19	166	5上	VI	2456	21.8	5/06	10/19	166	5上
北斗市 V	2233	19.1	4/30	10/23	176	5下	?	2445	20.9	4/18	11/11	207	5上	?	2488	21.3	4/20	11/11	205	5上
江差 VI	2352	20.0	5/16	10/07	144	5中	?	2504	20.9	5/04	10/22	171	5上	?	2547	21.4	5/03	10/22	172	5上
苫小牧市	2091	17.7	4/27	10/16	172	5下	III	2273	19.2	4/17	10/28	194	5上	III	2331	19.8	4/18	10/28	193	5上
中標津	1845	15.6	5/30	10/06	129	6上	I	2061	17.4	5/19	10/16	150	5中	I	2168	18.4	5/14	10/15	154	5中

注) 播種時期は旬の平均気温が10℃を上回ったときとした。

② ダイズ品種の発育モデルの作成と気温上昇が発育速度に及ぼす影響の広域推定

【委託プロ研究者ご提供情報】

1. 執筆者（公表年）	中野聡史、熊谷悦史、島田信二、鮫島良次、大野宏之、本間香貴、白岩立彦（2015 年）
2. 掲載紙	日本作物学会紀事（Jpn.J.Crop Sci.） 84(4): 408-417
3. 対象品目	ダイズ品種「リュウホウ」「エンレイ」「フクユタカ」 （開花期、子実肥大期）
4. 対象地域	東北（リュウホウ）、関東東海（エンレイ）、九州（フクユタカ）
5. 予測手法の概要	予測期間：－
	空間解像度：－
	気候モデル：－
	排出シナリオ：－（日平均気温 $38+3^{\circ}\text{C}$ を想定）
	適応策の検討：なし
	予測手法：発育モデル（DVR モデル）

【開花期（R2）と子実肥大始期（R5）の推計】

発育指数（DVI）を用いて以下の通り設定した³⁹。

出芽期（VE）：DVI=0.0、開花期（R2）：DVI=1.0、子実肥大始期（R5）：DVI=1.2

※出芽日はリュウホウ、エンレイで 6/15、フクユタカで 7/15 とした。

DVI は以下の式で示される発育速度（DVR）を積算することで求めた。

DVR モデル： $DVR = 1/G \times (1 - \exp\{B(L - L_c)\}) / (1 + \exp\{-A(T - T_h)\})$

T、L は変数であり、G、Th、Lc、A はパラメータである。

T：日平均気温（日最高気温と日最低気温の算術平均値）（℃）、L：日長時間（時間）

G：各発育相の最小日数（日）、Th：ある日長下で DVR が 1/2 になる温度（℃）

Lc：発育が進む限界日長（時間）、A：気温に対する係数、B：日長に対する係数

パラメータは、VE～R2 と R2～R5 のそれぞれの期間ごとに決定した（表 9）。

表 9. 出芽期(VE)～開花期(R2)および開花期(R2)～子実肥大期(R5)の発育パラメータ

品種	VE-R2					R2-R5				
	G (日)	T _h (℃)	L _c (時間)	A	B	G (日)	T _h (℃)	L _c (時間)	A	B
リュウホウ	27.89	18.14	16.76	0.590	0.676	9.08	16.17	16.29	0.206	0.050
エンレイ	25.05	17.80	15.63	0.398	1.071	11.29	19.68	15.26	0.737	0.080
フクユタカ	30.68	14.09	15.36	0.257	0.830	12.05	16.94	14.33	0.448	0.080

³⁸ 気象データはメッシュ農業気象データ（大野宏之 2014, メッシュ農業気象データ利用マニュアル, 中央農研研究資料 9: 1-77.）を使用した。

³⁹ なお、R1 は開花始、R3 は莢伸長初期、R4 は莢伸長期である。

6. 影響の概要

通常時の日平均気温+3℃を想定することで、気温上昇による生育期間の変化を推計した（図 40）。リュウホウとエンレイは同様の傾向を示した。具体的には、R2 は関東および北陸の平野部で 2～4 日早まり、より寒冷的な東北や山間部で 5～7 日以上早まる結果となった。一方で、R2～R5 の期間はほぼ変わらない地点が多く、結果的に R5 も R2 と同程度となった。

フクユタカの R2 は気温上昇を想定した場合でも、山間部以外ではほぼ変化がなく、また、R2～R5 の期間および R5 到達日もほぼ変わらない地点が多い結果となった。

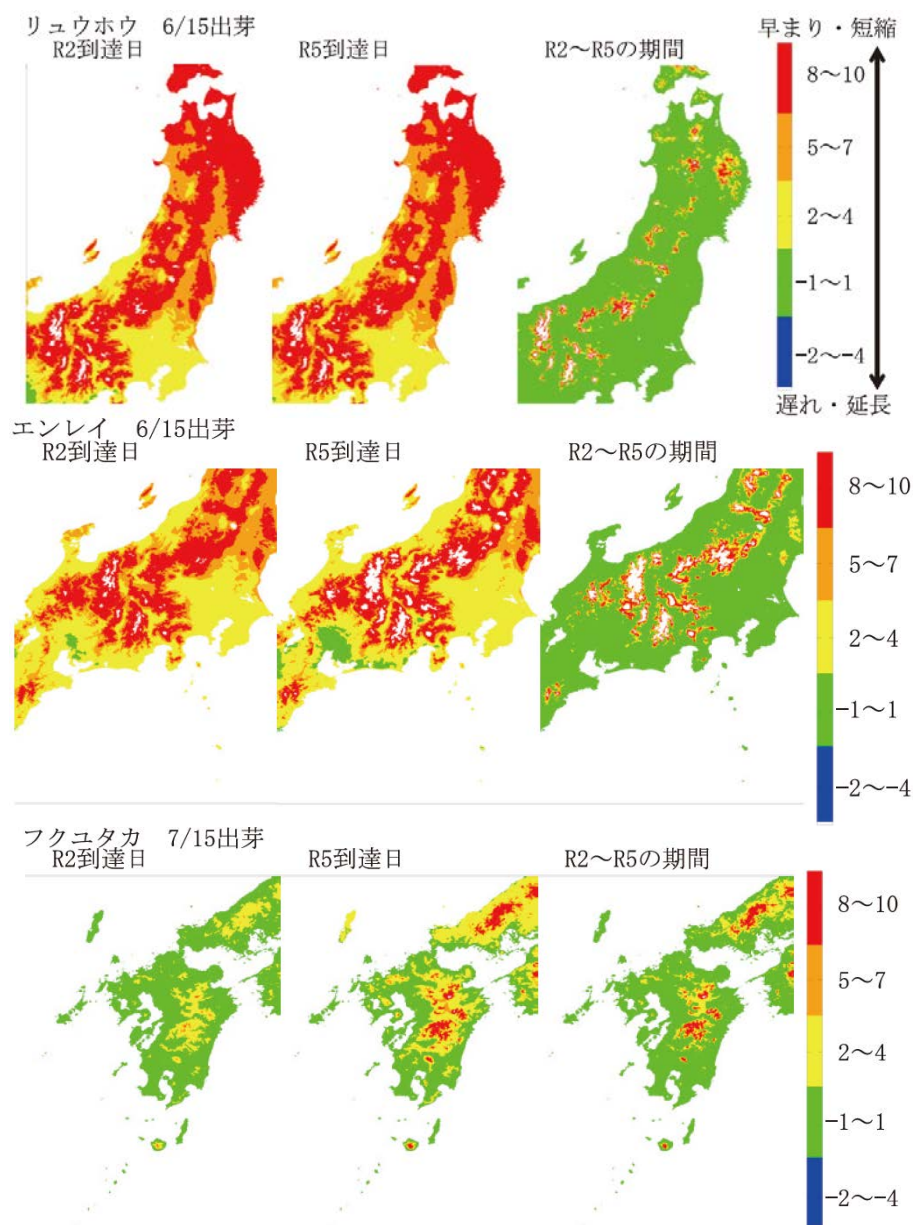


図 40. 気温+3℃を想定した場合の開花期（R2）、子実肥大始期（R5）までの早まり（日数）および R2～R5 の期間短縮（日数）の推定結果。1980～2013 年の 34 年分の平均値

2.1.4.3 小豆

① 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集

<小豆について>

1. 執筆者（公表年）	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編（2011 年）
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	小豆（生育期節、収量、品質）
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：現在（1971-2000 年）、2030 年代
	空間解像度：市町村レベル
	気候モデル ⁴⁰ ：CCSR、CGCM1
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：なし ⁴¹
予測手法：DVR 法（生育期節）、回帰式（子実重（収量））、回帰式（品質） 【生育期節】 DVR ほうにより、生育期節は以下式で予測できる。 $DVR = (1 - \exp(b \times (\text{日平均気温} - c))) / a$ ここで a、b はパラメータであり、出芽始、開花始、成熟期について決定した推定式は以下である。 ①出芽始 1) $DVR(B1) = (1 - \exp(-0.0025060 \times (X - 3.2613000))) / 0.1689790$ 2) $DVR(B2) = (1 - \exp(-0.1619660 \times (X - 5.7038900))) / 4.6241900$ ②開花始 1) $DVR(F1) = (1 - \exp(-0.1298900 \times (X - 9.6795700))) / 24.1444000$ 2) $DVR(F2) = (1 - \exp(-0.0712693 \times (X - 7.8864600))) / 3.1916600$ ③成熟期 1) $DVR(M1) = (1 - \exp(-0.0781348 \times (X - 2.83455))) / 26.5272$ 2) $DVR(M2) = (1 - \exp(-0.0445813 \times (X - 5.44225))) / 33.4536$ ①～③のいずれにおいても、1)式に播種日からの日平均気温を代入し順次累積し、累積値が 1 となった日付から 2)式を用いて再度順次累積し、2)式による累積値が 1 となった日をそれぞれの生育期節とする。 【子実重（収量）】 地区別（石狩・空知、上川・留萌、後志、渡島・桧山、胆振、十勝、オホーツク）に回帰	

⁴⁰ 計算には、これら GCM の結果を日本付近の二次メッシュ（10km 四方）に展開した「気候変化メッシュデータ日本」（Yokozawa et al., 2003）を使用している。

⁴¹ 予測結果を基に、栽培による対策、品種による対策、生産地の移動による対策が挙げられている。

式を導き、温暖化気候データを代入して予測を行った。

石狩・空知（岩見沢）： $Y=-5.10(X-19.47)^2+202.7$ （ $R^2=0.1116$ ）

上川・留萌（旭川）： $Y=-18.37(X-19.66)^2+205.0$ （ $R^2=0.3930$ ）

後志（倶知安）： $Y=-23.27(X-18.77)^2+236.3$ （ $R^2=0.4541$ ）

渡島・桧山（大野）： $Y=-11.87(X-19.66)^2+200.1$ （ $R^2=0.7154$ ）

胆振（苫小牧）： $Y=-9.59(X-18.88)^2+236.9$ （ $R^2=0.6551$ ）

十勝（芽室）： $Y=-17.18(X-19.11)^2+276.9$ （ $R^2=0.8325$ ）

オホーツク（境野）： $Y=-11.14(X-19.09)^2+251.6$ （ $R^2=0.7020$ ）

【品質】

登熟期間の平均気温（X）から百粒重⁴²（Y）を推定する以下の式を用いた。

$Y=-0.041X^2+0.799X+13.671$ （ $R^2=0.7681$ ）

また、登熟期間の平均気温（X）と流通規格内歩留（4.7mm 篩⁴³目上率）（Y）の以下の関係から将来の流通規格内歩留について推計を行った。

$Y=-0.9978X^2+33.378X-182.51$ （ $R^2=0.5133$ ）

6. 影響の概要

【生育期節】

播種期を現在並とすると、開花期と成熟期⁴⁴は、CCSR では現在より 7～10 日（表 10）、CGCM1 では 9～12 日程度早まり（表 11）、栽培可能地域が根室管内にまで拡大する可能性が示唆された。

⁴² 豆 100 粒の重さ

⁴³ 篩（フルイ）

⁴⁴ 表中の生育日数の現代との差ではないことに留意。

表 10. 2030 年代 (CCSR) の小豆生育予測

場 所	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	生育日数 (日)	現代と の差	登熟平均 気温(℃)	6-9月平均 気温(℃)
北斗市	7.12	9.02	104	8	22.3	20.0
倶知安町	7.16	9.06	108	7	21.3	18.9
岩見沢市	7.10	9.01	103	8	22.4	20.1
滝川市	7.13	9.02	104	8	22.6	19.5
旭川市	7.11	8.31	102	8	21.1	19.8
富良野市	7.13	9.03	105	5	21.7	19.4
名寄市	7.15	9.07	109	8	20.8	18.7
留萌市	7.16	9.05	107	7	21.6	19.2
網走市	7.26	9.16	118	8	19.5	17.4
訓子府町	7.17	9.10	112	11	19.8	17.9
苫小牧市	7.20	9.11	113	7	21.0	18.6
大樹町	7.20	9.12	114	16	20.1	18.0
芽室町	7.19	9.10	112	8	20.3	18.2
上士幌町	7.19	9.11	113	15	20.1	18.0
中標津町	7.26	9.19	121	19	18.8	16.9
平均値	7.17	9.08	110	10	20.9	18.7

※播種日を5月20日と想定した場合。

表 11. 2030 年代 (CGCM1) の小豆生育予測

場 所	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	生育日数 (日)	現代と の差	登熟平均 気温(℃)	6-9月平均 気温(℃)
北斗市	7.12	9.02	104	8	22.8	20.4
倶知安町	7.15	9.04	106	9	21.8	19.3
岩見沢市	7.09	8.29	100	11	23.2	20.7
滝川市	7.11	8.31	102	10	21.7	20.1
旭川市	7.09	8.29	100	10	22.9	20.5
富良野市	7.11	8.31	102	8	22.5	20.0
名寄市	7.13	9.02	104	13	21.8	19.4
留萌市	7.15	9.03	105	9	22.2	19.8
網走市	7.21	9.13	115	11	20.4	18.2
訓子府町	7.15	9.06	108	15	20.8	18.7
苫小牧市	7.19	9.07	109	11	21.7	19.1
大樹町	7.18	9.08	110	20	20.9	18.6
芽室町	7.17	9.07	109	11	21.0	18.8
上士幌町	7.16	9.07	109	19	21.0	18.7
中標津町	7.21	9.15	117	23	19.8	17.8
平均値	7.15	9.05	107	13	21.6	19.3

※播種日を5月20日と想定した場合。

【子実重 (収量)】

現在に比べ CCSR では、十勝・オホーツク・胆振地域で 12～19%の増収、後志・渡島・

桧山地域では、0～4%の微増、石狩・空知・上川地域では2～4%の減収となり、各地域の作付面積を現在並とすると、全道の生産量は12%の増収と見込まれた（表 12）。CGCM1でも各地域の収量傾向は同様で、全道としては11%増収すると予測された（表 12）。

表 12. 2009 年の作付面積下での地域別収量の予測

地 域	2009年	現在 (1971～2000年)		2030年代(CCSRモデル)		期間 対比 (%)	2030年代(CGCM1モデル)		期間 対比 (%)
	作付面積 (ha)	地域収量 (kg/10a)	生産量 (t)	地域収量 (kg/10a)	生産量 (t)		地域収量 (kg/10a)	生産量 (t)	
石狩・空知	2,058	201	4,137	196	4,034	98	186	3,828	93
上川・留萌	2,903	201	5,835	192	5,574	96	156	4,529	78
後志	2,032	231	4,694	230	4,674	100	212	4,308	92
渡島・檜山	882	187	1,649	195	1,720	104	187	1,649	100
胆振	1,426	210	2,995	236	3,365	112	236	3,365	112
十勝	12,523	226	28,302	268	33,562	119	277	34,689	123
オホーツク	1,357	208	2,823	246	3,338	118	251	3,406	121
全道	23,181	218	50,435	243	56,267	112	241	55,774	111

※期間対比は、各々現在に対する2030年代予測値での地域収量の割合を示す。

【品質】

推定式を用いると、2030年代には道南、道央の一部で流通規格内歩留の低下が懸念された。

登熟期間の気温が18.8℃を超えると流通企画内歩留は90%程度となり、21.0℃を超えると、およそ80%以下に規格内歩留が低下する（図 58）。

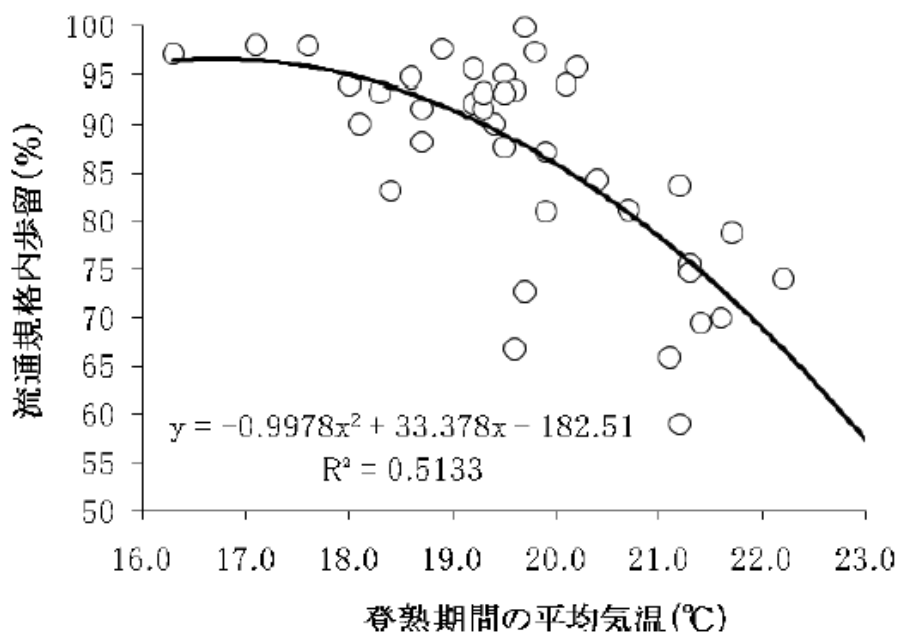


図 41. 小豆の登熟期間の気温と流通規格内歩留の関係

(2006～2009年生検、地域適応性検定試験および奨励品種決定現地調査)

2.1.4.4 バレイショ

① 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集

<バレイショについて>

1. 執筆者（公表年）	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編（2011 年）
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	バレイショ（収量（上いも収量、でん粉収量）、品質（でん粉価）、生育ステージ、疫病の初発期）
4. 対象地域	北海道（芽室、長沼、比布、境野）
5. 予測手法の概要	予測期間：現在（1990 年～2009 年）、2030 年代
	空間解像度：芽室、長沼、比布、境野の四地点
	気候モデル：CCSR
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：なし ⁴⁵
	予測手法：回帰式を基にした定性評価（収量、でん粉収量、でん粉価）（式は未記載） 作物モデル「WOFOST」（収量、生育ステージ） ジャガイモ疫病発生予察システム（FLABS）（疫病の初発期）
【収量、でん粉収量、でん粉価】 月平均気温と収量、でん粉収量、でん粉価の相関を検討した。 【収量及び生育ステージ】 日単位で作物生育、乾物生産等をシミュレーションする WOFOST を用いて、気温および日射量から予測をする。また異常高温となった 2010 年についても合わせて解析を行う。 【生育ステージ】 有効積算温度を用いて計算する。生育ステージごとの生育有効温度の設定を表 13 に、生育ステージ別の有効積算温度の設定を表 14 に示す。	

⁴⁵ 品種育成として、でん粉価に影響を受けにくい品種、現在よりもでん粉価の高い品種、気候要因の変動に対して収量が安定している品種、湿度や土壌水分等のストレスにより生じる生理障害（中心空洞、褐色心腐）が発生しづらい品種の栽培が挙げられている。また栽培技術として、培土断面を大きくする（土の断熱効果により塊茎近傍の地温変動を緩和する）ことが挙げられている。

表 13. バレイショにおける生育有効温度の設定

生育ステージ	日最高最低 平均気温(T)	有効温度
植付～萌芽	$T \leq 3^{\circ}\text{C}$	0
	$3 < T < 18^{\circ}\text{C}$	$T - 3$
	$18^{\circ}\text{C} \leq T$	15
萌芽～枯凋	$T \leq 2^{\circ}\text{C}$	0
	$2 < T < 30^{\circ}\text{C}$	$T - 2$
	$30^{\circ}\text{C} \leq T$	28

WOFOSTの既定値をそのまま使用

表 14. バレイショの生育ステージ別有効積算温度の設定

生育ステージ	有効積算温度(度)
植付～萌芽	170
萌芽～塊茎肥大開始	150
塊茎肥大開始～生育停止	1675

南フランス用の設定を使用(熟期は紅丸相当)

【ポテンシャル収量】

WOFOST による収量（塊茎の全重）は乾物で算出されるため、乾物率を 20%として、生重に換算した。ここでの収量は、入力した気温と日射量の条件下で得られる最大可能収量であり、湿害、干ばつおよび病虫害による減収は考慮していない。

【ジャガイモ疫病の初発期予測】

FLABS における発病好適基準から、2030 年代における初発期の変化を計算。FLABS は萌芽日以降の日平均気温、降水量により感染好適指数を割り当て、累積値が 21 に達した時を危険期到達とし、初発期を予測するものである（表 15）。例として、芽室町での 2008 年の気象条件と、温暖化した場合の気象条件（2008 年の気象条件に旬別の CCSR による予想上昇程度を加えたもの）で予測を行った。

表 15. 気温・降水量と好適指数

その日の平均気温	前5日間の降水量の合計			
	5～10mm	11～20mm	21～25mm	26mm以上
15.1～26.5℃	1	2	2	3
11.7～15℃	0	1	2	2
7.2～11.6℃	0	0	1	1

6. 影響の概要

【収量、でん粉収量、でん粉価】

検討の結果、月平均気温と収量、でん粉収量、でん粉価の相関関係はいずれも負であった。そのため、気温が高まるとこれらの指標がいずれも低下すると予想される。従って、温暖化傾向はバレイショの収量・品質を低下させると推測されるが、相関係数が高くないため、低下の程度を予測することは困難であった。

【収量及び生育ステージ】

2030 年代および 2010 年に対する予測結果を表 16 に示す。なお、表中の括弧内の値は、2001 年の定期作況報告における平年値である。最大可能収量（以下、収量）は 2030 年代において、現在と比較し減少すると予測された。

気温のみを考慮した計算結果と気温と日射の両方を考慮した計算結果を比較した場合、2030 年代において後者の方が、収量の低下が大きくなった。このことから 2030 年代の収量低下の主因は日射量の減少にあると推定された。

表 16. WOFOST によるバレイショ生育予測結果

入力設定				計算結果				
地点	年代	気象要素	植付期	萌芽期	生育停止	生育 日数	収量 t/ha	収量 現在比
芽室	現在	平年値	5/9 (5/10)	5/30 (5/27)	9/29 (9/27)	122	65	100
	2010	気温	5/9	5/31	9/9	101	50	77
		気温・日射	5/9	5/31	9/9	101	50	77
	2030 CCSR	気温	5/9	5/27	9/18	114	61	94
		気温・日射	5/9	5/27	9/18	114	55	85
		気温 気温・日射	5/1 5/1	5/21 5/21	9/13 9/13	115 115	62 55	95 85
訓子府 (境野)	現在	平年値	5/13 (5/13)	6/4 (6/1)	10/12 (10/6)	130	70	100
	2010	気温	5/13	6/2	9/14	104	55	79
		気温・日射	5/13	6/2	9/14	104	53	76
	2030 CCSR	気温	5/13	5/31	9/27	119	65	93
		気温・日射	5/13	5/31	9/27	119	59	84
		気温 気温・日射	4/30 4/30	5/21 5/21	9/18 9/18	120 120	67 60	96 86

植付日は各農試平年または2030年代の気温上昇に合わせて前進のいずれかを設定
生育日数は萌芽期から生育停止まで
平年値は2000年のもの、気象要素が「気温」のみの場合の日射量は平年値を仮定
訓子府の気象データは、アメダス境野で代用
収量(塊茎全重)は、乾物重での計算結果を乾物率20%と仮定して生重に換算
カッコ内は、2001年における作況平年値(生育停止の欄には枯渇期を記載)

【ジャガイモ疫病の初発期予測】

2008 年における疫病の危険期到達期は 6 月 20 日であったが、温暖化後では、6 月 16 日と 4 日早く危険期に達した（表 17）。

表 17. 好適指数積算値の予測値

	5/31	6/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2008年	0	0	0	0	0	0	1	3	5	7	9
温暖化後	0	1	1	1	1	1	2	5	8	11	14

	6/11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2008年	11	11	12	13	14	15	16	18	20	22
温暖化後	17	17	18	19	20	21				

2.1.4.5 飼料用作物

① 地球温暖化が牧草の地域区分と生産量に及ぼす影響

1. 執筆者（公表年）	佐々木寛幸、神山和則、須山哲男、福山正隆（2003 年）
2. 掲載紙	畜産草地研究所研究報告 4：33-47.
3. 対象品目	牧草（地帯区分、生産量）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：100 年後（2090 年）
	空間解像度：二次メッシュ（地帯区分）、都道府県（生産量）
	気候モデル ⁴⁶ ：CSIRO-Mk2、ECHAM4、CCSR、CGCM1
	排出シナリオ ⁴⁶ ：IS92a
	適応策の検討：なし ⁴⁷
予測手法：予測手法：将来気温変化に基づく栽培適地区分を予測。牧草型の面積に生産量を乗じて予測。	

現在と 100 年後における寒地型牧草⁴⁸と暖地型牧草⁴⁹の栽培適地区区分図から、寒地型牧草地帯、暖地型牧草地帯、両者とも栽培困難な夏枯れ地帯の 3 分類による地帯区分図を作成し、地帯区分の変化及び生産量の変化を予測した。解析の流れを図 42 に示す。

なお、寒地型・暖地型牧草の気温条件等については、記載なし。

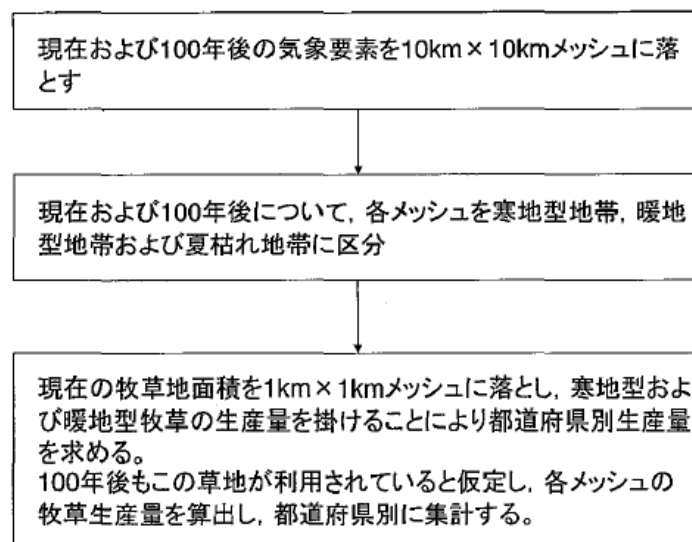


図 42. 解析の流れ

⁴⁶ 論文の中で実際に利用された気候データは、農業環境技術研究所が作成した「局地気候変化シナリオ」である。一方で、本シナリオの詳細な記載は本文中にないため、「農林水産省 近年の気候変動の状況と気候変動が農作物の生育等に及ぼす影響に関する資料集（平成 14 年 4 月）」表Ⅲ.2.1 及び表Ⅲ.2.2

（http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/g_kiko_hendo/eikyo/pdf/zenyo_1.pdf）から引用した。

⁴⁷ 直接の適応策の検討は行っていないが、寒冷地型から暖地型牧草への草種変更について触れられている。

⁴⁸ 寒地型牧草の中で比較的耐暑性の高いトールフェスクが栽培可能な地域

⁴⁹ バヒアグラスが栽培可能な地域

6. 影響の概要

【地帯区分】

各地帯区分間の境界が北上する（図 43）。二次メッシュ数の割合の変化は以下の通り。

現在 : 寒地型 66%、夏枯れ 10%、暖地型 24%

100 年後 : 寒地型 41%（現在の 0.61 倍）、夏枯れ 6%（現在の 0.62 倍）、
暖地型 53%（現在の 2.21 倍）

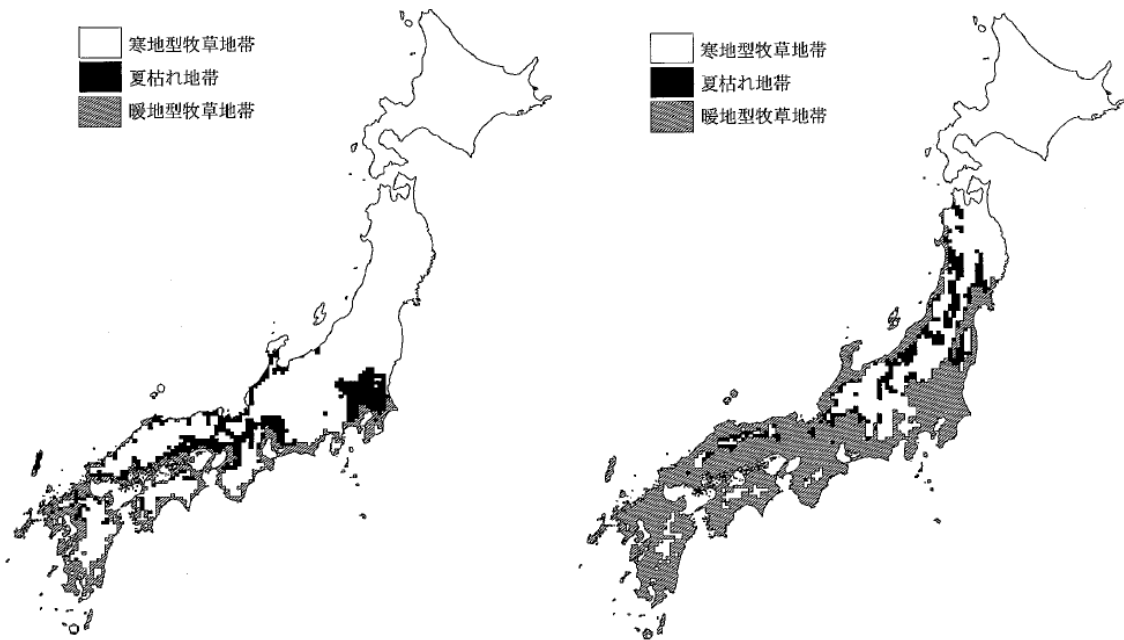


図 43. 牧草生産区分：現在（左図）、100 年後（右図）
（屋久島以南は暖地型牧草地帯）

【生産量】

基本的に、温暖化によってもその地帯区分が変動しなければ寒地型牧草地帯では大幅に増収となり、暖地型牧草も増収となるため、ほとんどの都道府県で増収となる。しかし、現在の寒地型地帯のかなりの面積が夏枯れ地帯となる県⁵⁰では、暖地型牧草の増加分を含めても、牧草全体の生産量が減少する。乾物生産量をわが国全体で合計すると、温暖化により寒地型牧草では 1.4 倍、暖地型牧草では 4.6 倍、両者を合わせた牧草全体では 1.5 倍の生産量となる。

⁵⁰ 文献では山形県のみが該当する。

② Future risk of the maize orange leafhopper, *Cicadulina bipunctata*, and maize wallaby ear symptom in temperate Japan 【委員ご提供情報】

1. 執筆者（公表年）	K.Matsukura, K.Yoshida, S. Kumashiro, M. Matsumura (2016 年)
2. 掲載紙	Popul Ecol (2016) 58: 241. doi:10.1007/s10144-015-0535-9
3. 対象品目	フタテンチビヨコバイ ⁵¹ （存在可能性、ワラビー萎縮症）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：2020 年、2040 年、2060 年、2080 年、2100 年
	空間解像度：1km メッシュ
	気候モデル：MIROC3.2_HIRES
	排出シナリオ：— ⁵²
	適応策の検討：なし
	予測手法：回帰式（存在可能性） 回帰式（ワラビー萎縮症発生可能性）

【存在可能性】

フタテンチビヨコバイの存在可能性の回帰式は以下の通り（図 44）。なお、 T_{cum} が 120 以下の場合に、存在する（存在可能性 5%以上）と設定した。

$$P_{dist} = (1 + \exp(0.05T_{cum} - 3.07))^{-1}$$

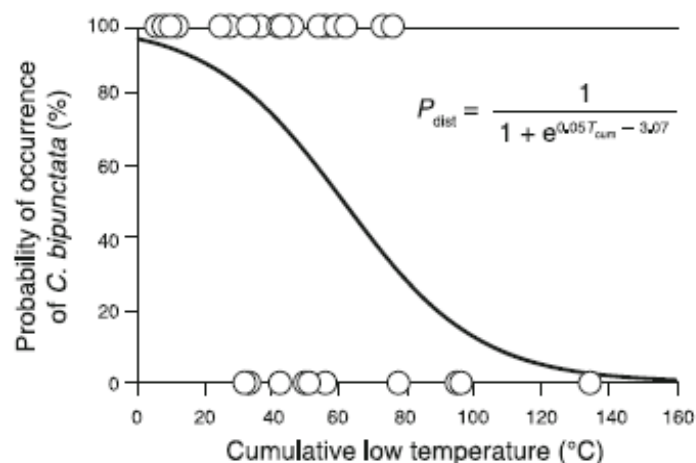


図 44. 日本におけるフタテンチビヨコバイの発生分布と 11 月から 3 月の 5℃以下の累積日低温の関係

存在可能性 (P_{dist}) は累積日低温 (T_{cum}) により与えられる式によって計算できる。図中の円は、現在の分布（不在： $P_{dist}=0$ 、存在： $P_{dist}=100$ ）を示す。また、累積日低温データは Nominal 回帰分析 ($n=35$) を用いた。

⁵¹ *Cicadulina bipunctata*

⁵² [Okada et al.,\(2009\)](#)で作成されたデータを用いているが、当該文献では SRES A1B、A2 を用いている。調査対象文献においてどちらのシナリオを用いたかは未記載。

ここで P_{dist} : フタテンチビヨコバイの存在可能性、 T_{cum} : 11 月から 3 月までの 5°C 以下の累積日低温⁵³。

累積日低温 : $H = \sum (h_{\text{AS}} + h_{\text{DS}})$

h_{AS} (5:00-13:00 の気温) : $K \leq T_l$ の時、 $h_{\text{AS}} = 0$

$T_l < K \leq T_h$ の時、 $h_{\text{AS}} = 8/24 * 1/2 * (K - T_l)^2 / (T_h - T_l)$

$K > T_l$ かつ $K > T_h$ の時、 $h_{\text{AS}} = 8/24 * 1/2 * (2K - T_h - T_l)$

h_{DS} (13:00-翌日 5:00 の気温) : $K \leq T_{ln}$ の時、 $h_{\text{DS}} = 0$

$T_{ln} < K \leq T_h$ の時、 $h_{\text{DS}} = 16/24 * 1/2 * (K - T_{ln})^2 / (T_h - T_{ln})$

$K > T_{ln}$ かつ $K > T_h$ の時、 $h_{\text{DS}} = 16/24 * 1/2 * (2K - T_h - T_l)$

ここで、 K : 閾値 (5°C)、 T_l : 日最低気温、 T_h : 日最高気温、 T_{ln} : 翌日の日最低気温

【ワラビー萎縮症発生可能性】

回帰式は以下の通り。

$N(t) = N_0 \times \exp(rt)$

$N_0 = \exp(\alpha_0 + \alpha_1 * \ln(T_{12}) + \alpha_2 * \ln(T_2) + \alpha_3 * \ln(P_w))$

$r = \exp(\beta_0 + \beta_1 * \ln(T_7) + \beta_2 * \ln(N_0))$

ここで、 $N(t)$: t 日目におけるフタテンチビヨコバイの成虫密度

t : 7/1 からの数

($t=1$ は 7/2、 $t=61$ は 8/31 である)

N_0 : フタテンチビヨコバイの初期密度

r : 内的自然増加率⁵⁴。

T_2 、 T_7 、 T_{12} : 各々 2 月、7 月、12 月の月平均気温

P_w : 12 月から 3 月までの合計降水量

切片 (α_0 、 β_0) および係数 (α_1 、 α_2 、 α_3 、 β_1 、 β_2) はそれぞれ (0.333、-0.191)、(3.307、2.486、-0.088、 -1.943×10^{-3} 、 1.009×10^{-2}) である。⁵⁵

なお、存在可能性が 5% 以上の場合、以下の条件にてワラビー萎縮症の発生可能性を定義。

8/1 時点で、 $N(t) < 21$: ワラビー萎縮症は未発生、 $21 \leq N(t) < 74$: 感染しやすい品種にてワラビー萎縮症が発生、 $74 \leq N(t)$: 耐性がある品種でさえワラビー萎縮症が発生。

6. 影響の概要

【存在可能性】

フタテンチビヨコバイの存在可能性の範囲は、特に 2060 年代以降、九州、四国、本州の南

⁵³ Cumulative daily low temperature

⁵⁴ 個体群生態学において、その生物が潜在的にもっている最大の繁殖増加率。

⁵⁵ 文献中に α_{0-3} 及び β_{0-2} の値の記載はなく、引用の Matsukura et al., (2012) Estimation of climatic factors relating to occurrence of the maize orange leafhopper, *Cicadulina bipunctata*. Popul Ecol 54:397-403 から記載

部において北方へと拡大した（表 18）。

表 18. 気候変動予測に基づく将来のフタテンチビヨコバイの潜在存在地域割合

Region ^a	Surface (km ²) ^b	Percentage of region in which <i>C. bipunctata</i> can potentially colonize ^c				
		2020	2040	2060	2080	2100
Hokkaido	88,258	0.0	0.0	0.0	1.3	7.1 ^d
Northern Honshu	126,319	1.1	8.7	24.7	51.9 ^d	73.0 ^d
Southern Honshu	110,361	18.0	43.3	64.4 ^d	72.0 ^d	85.4 ^d
Shikoku	19,563	40.6	66.1	83.3 ^d	86.5 ^d	95.8 ^d
Kyushu	46,570	69.0	87.1	94.8 ^d	96.5 ^d	98.9 ^d

a : 本州は北緯 36°C を境に二つ分割

b : 各地域の 1km メッシュの数と同値

c : 存在可能性は、120 日度 (degree days) の閾値および 11 月から 3 月までの 5°C 以下の累積低温によって判断される

d : フタテンチビヨコバイが越冬可能な地域の割合は、2020 年から 2100 年の予測よりも有意に高い (残留分析 $\alpha = 0.05$)

【ワラビー萎縮症発生可能性】

ワラビー萎縮症の激化が予測された。現在、ワラビー萎縮症に耐性がある飼料用トウモロコシの有用性は、2020 年代には九州南部で、2060 年代では九州、四国、本州南西部において低減するであろう（図 45）。

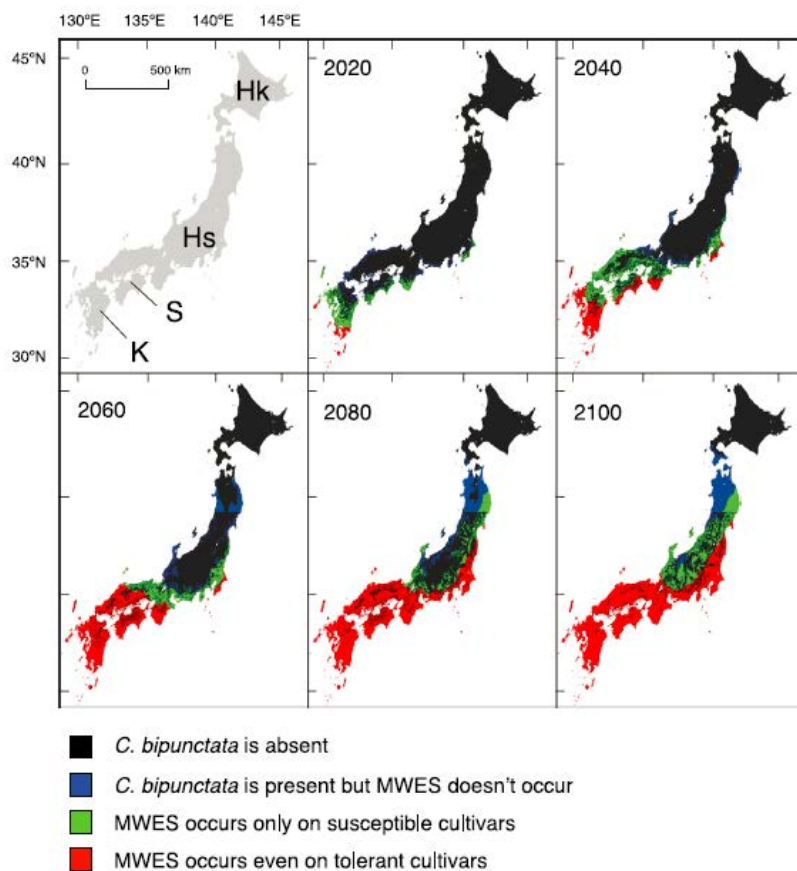


図 45. フタテンチビヨコバイとワラビー萎縮症の発生予測地図

③ 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集

<牧草について>

1. 執筆者（公表年）	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編（2011 年）
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	牧草 ⁵⁶ （出穂期、収量）
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：現在（1981-2000 年）、2030 年代
	空間解像度：市町村レベル
	気候モデル：CCSR、CGCM1
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：なし ⁵⁷
	予測手法：ノンパラメトリック DVR 法（出穂期） 蒸発散量と水利用効率の関係を利用（収量）
【ノンパラメトリック DVR（Developmental Rate）法】 作物の生育予測法の一つ。ここではチモシー1 番草の出穂期を予測する。 ①DVR の概要。発育ステージを萌芽期に 0、出穂期に 1 となる発育指数（DVR）の積算値として表現する。実際の計算には、地域別パラメータ（日平均気温および日照時間と DVR との関係）を用いた。 ②萌芽期を日平均気温が冬季以降に初めて 5℃以上となった期日とした。 【蒸発散量と水利用効率の関係を利用した収量予測】 ①1 番草および 2 番草の水利用効率を各々 40kg 10a⁻¹ cm⁻¹、20kg 10a⁻¹ cm⁻¹ に設定。 ②生育期間を設定（図 46） ③蒸発散量を以下の式で計算。 $ET = (0.0135 \times T + 0.24) \times Rs / L$ ここで ET：蒸発散量（cm d⁻¹）、T：日平均気温（℃）、Rs：日射量（J cm⁻² d⁻¹）、L：蒸発潜熱（2499－2.5×T、単位：J cm⁻³） ④③にて現在および 2030 年代の 1、2 番草生育期間の蒸発散量を旬ごとに求めた後、①の水利用効率を乗じ、それらを積算して各番草の収量を推定。ただし、①の水利用効率に	

⁵⁶ 対象草地は、道内の主要酪農・畜産地域で栽培面積が最も大きい、チモシー単播およびチモシー・マメ科草混播草地（以下、チモシー草地）とし、対象品種は普及面積が最大の早生とする。

⁵⁷ 予測結果に基づく技術的対応方向として、晩生品種の導入による収量確保、草地の整備基盤、病害虫への対応が挙げられている。

より推定される収量はポテンシャル収量に近い⁵⁸と考えられるため、予測については収量の絶対値よりも現在から 2030 年代への変化傾向を中心に論ずる。

地点	年代	4月			5月			6月			7月			8月			(旬)
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
八雲	現在																1st
	2030年代																
名寄	現在																2nd
	2030年代																
遠別	現在																
	2030年代																
稚内	現在																
	2030年代																
枝幸	現在																
	2030年代																
紋別	現在																
	2030年代																
訓子府	現在																
	2030年代																
浦河	現在																
	2030年代																
大樹	現在																
	2030年代																
釧路	現在																
	2030年代																
中標津	現在																
	2030年代																

図 46. 現在および 2030 年代におけるチモシー草地 1、2 番草の生育期間の設定
1 番草は出穂期、2 番草は生育日数 60 日で刈取り。年二回刈り。早生品種を想定。

6. 影響の概要

【DVR 法による 1 番草出穂期の予測】

2030 年代のチモシー 1 番草の萌芽期は CCSR、CGCM1 のいずれの場合でも、全ての地点で現在より 5～17 日（平均 12 日）早まると推定された（図 47）。

2030 年代のチモシー 1 番草の出穂期は萌芽期と同様に、全ての地点で現在より 8～20 日（平均 13 日）早まると推定された（図 48）。

なお、1 番草の全地点平均の生育日数は 65 日で、現在の 66 日とほとんど変わりがなく、温暖化により 1 番草の生育期は現在よりも早まるが、一部地域を除き、萌芽期から出穂期までの生育日数には大きな変化はないと推察された。

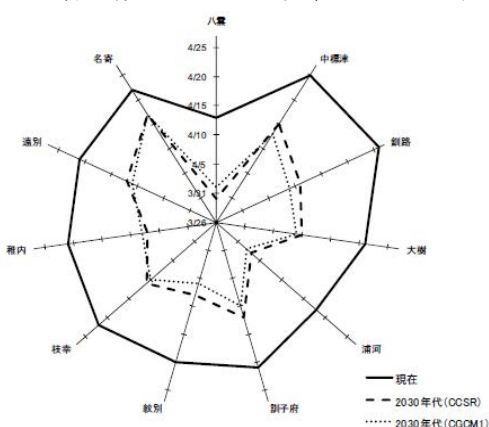


図 47. チモシー 1 番草萌芽期の変化

早生品種「センボク」の場合。軸の単位は月/日

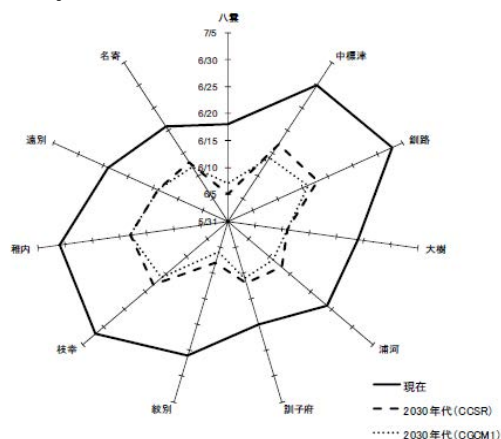


図 48. チモシー 1 番草出穂期の変化

早生品種「センボク」の場合。軸の単位は月/日

⁵⁸ ①で算出した水利用効率は、適切な肥培管理が行われた更新後 2、3 年目の高収草地から得られた値であり、水分環境の影響を除けばこの値により推定される収量はポテンシャル収量に近いと考えられる。

【蒸発散量と水利用効率の関係を利用した収量予測】

年間収量は、気温上昇にも関わらず生育期間の日射量の減少によって現在の 8～9 割に留まる（図 49）。気温上昇のみを考慮した場合は、現在と同等かわずかに増収する（図 50）。

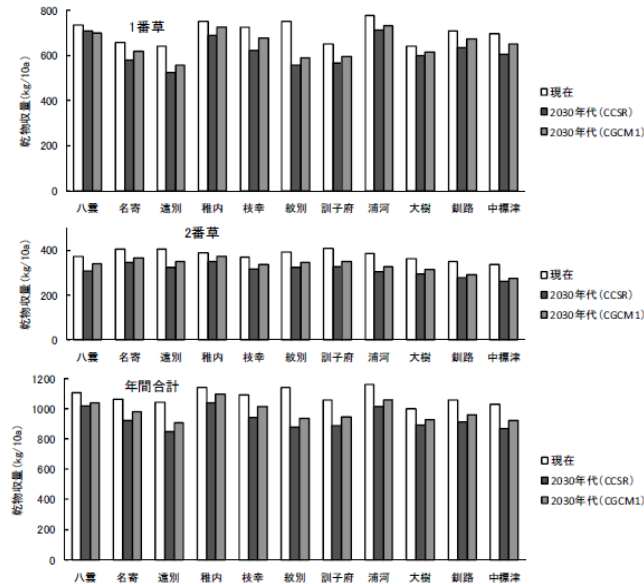


図 49. 温暖化が道内各地のチモシー草地の収量に及ぼす影響（その 1）

平均気温、日射量は将来の値を使用。1 番草は出穂期、2 番草は生育日数 60 日で刈取り。年 2 回刈り。早生品種を想定。

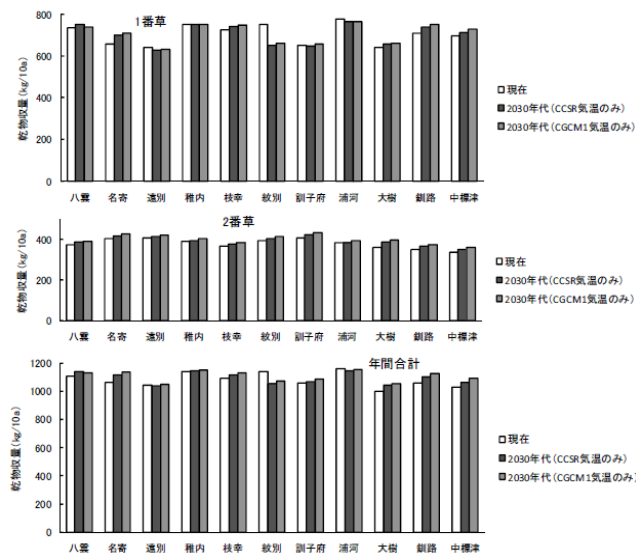


図 50. 温暖化が道内各地のチモシー草地の収量に及ぼす影響（その 2）

平均気温は将来の値を使用。ただし日射量は現在と同じとした。1 番草は出穂期、2 番草は生育日数 60 日で刈取り。年 2 回刈り。早生品種を想定。

④ 気候変動に対応したサイレージ用トウモロコシの二期作栽培技術＜関東地域版＞

【委託プロ研究者ご提供情報】

1. 執筆者(公表年)	農研機構畜産研究部門 (2017 年)
2. 掲載紙	農研機構畜産研究部門技術リポート 18 号
3. 対象品目	飼料用トウモロコシ (栽培適地、収量)
4. 対象地域	関東
5. 予測手法の概要	予測期間： 現在 (1981～2010 年)、2031～2050 年、2081～2100 年
	空間解像度： 1km メッシュ
	気候モデル： MRI-CGCM3 (現在はメッシュ気候値 2010 を使用)
	排出シナリオ： RCP4.5
	適応策の検討： 飼料用トウモロコシの二期作
	予測手法： 10℃基準有効積算温度 ⁵⁹ による適地区分の設定 (栽培適地) ニューラルネットワークによる収量予測モデル ⁶⁰ (収量)

【栽培適地】

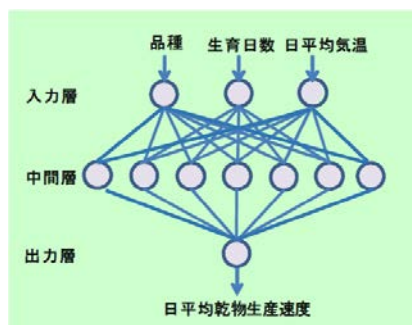
二期作の栽培適地の適地区分を、10℃基準有効積算温度に基づき表 2 の通り設定した⁶¹。

表 19. 10℃基準有効積算温度に基づく二期作適地区分の設定

適地区分	10℃基準有効積算温度
非農耕地	—
栽培不適地	2200℃未満
栽培限界地	2200～2300℃
栽培適地	2300℃以上

【収量】

ニューラルネットワークモデル (図 51) を構築し、年間合計乾物収量の変化予測を行った。なお、入力層は「品種」「播種日から収穫日までの生育日数」「生育期間の日平均気温」の 3 要素 (説明変数)、中間層は 7 セル、出力層の値 (目的変数) は日平均乾物生産速度とした。



⁵⁹ 日平均気温から 10℃を引いた値を 1 日の有効温度とし、計算対象とする期間の有効温度を合計した値

⁶⁰ 脳神経系の情報伝達システムを参考に開発された数学モデルである。膨大な量の非線形のデータの中から、要因間の複雑な関係を発見する際に適している。なお、具体的な推計式等については未記載。

⁶¹ なお、起算開始日に関する情報については記載されていない。

図 51.ニューラルネットワークによる収量予測モデル（模式図）

6. 影響の概要

【栽培適地】

二期作の栽培適地が拡大し、今世紀の末ごろには関東地域の低標高地のほとんどが二期作栽培適地となることが予測された（図 52）。

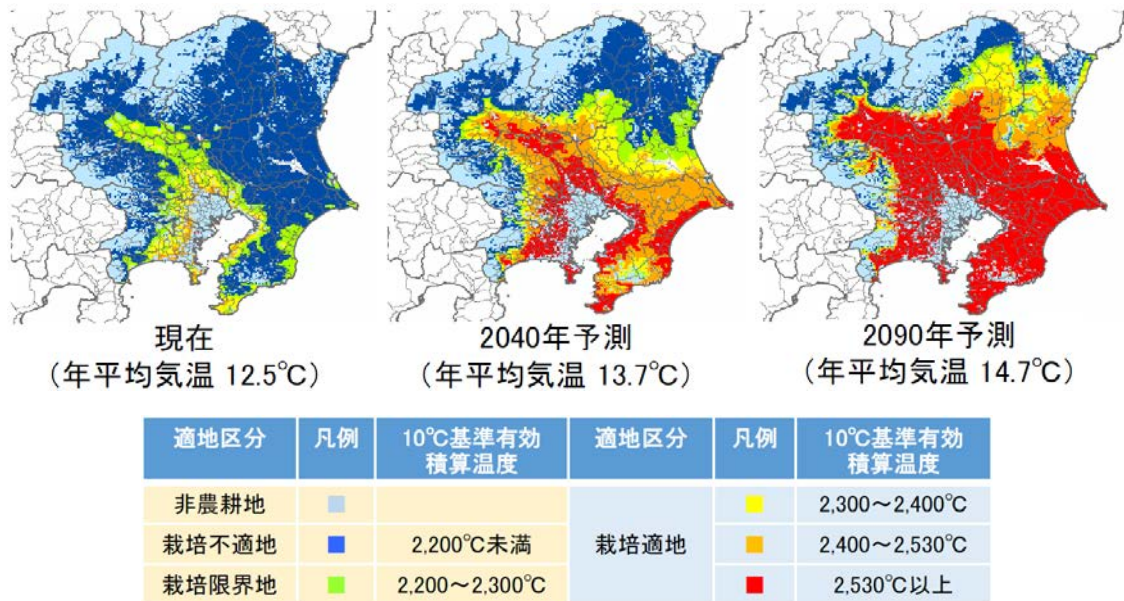


図 52. 現在から 2040 年及び 2090 年までのトウモロコシ二期作栽培適地の変化予測

現在は 1981～2010 年の 30 年平年値。2040 年及び 2090 年の予測値は 2031～2050 年及び 2081～2100 年の 20 年間の予測値の平均。10°C基準有効積算温度が 2300°C以上で 1 作目、2 作目ともに乾物率 25%以上、2530°C以上で 1 作目、2 作目ともに乾物率 30%以上となる。なお、1 作目と 2 作目の間隔を 7 日、有効積算温度を 100°Cと仮定して加算している。

【収量】

温暖化に伴い年間合計乾物収量は増加することが予測された（図 53）。また、収量予測結果により、トウモロコシ二期作は今後の温暖化を活用できる栽培技術であることが明らかになった。

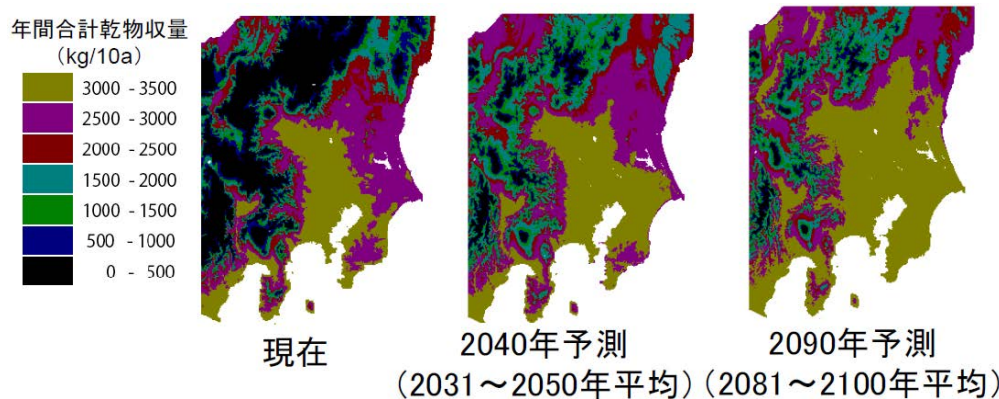


図 53. 関東地域におけるトウモロコシ二期作の年間合計乾物収量の変化予測

1 作目の品種は「KD500」、2 作目の品種は「なつむすめ」

⑤ 温暖化が寒地型牧草生産におよぼす影響のモデルによる評価

【委託プロ研究者ご提供情報】

1. 執筆者 (公表年)	樽見恵理奈、築城幹典、森昭憲 (2018 年)
2. 掲載紙	システム農学、34(1) : 7-15
3. 対象品目	寒地型牧草 (オーチャードグラス) (乾物収量)
4. 対象地域	岩手県
5. 予測手法の概要	予測期間 : -
	空間解像度 : 1km メッシュ
	気候モデル : -
	排出シナリオ : - (平均気温 +3°C を想定)
	適応策の検討 : 草地更新サイクルの変更、窒素施肥量の増加
	予測手法 : 牧草乾物収量推定モデル
【牧草乾物収量推定モデル】 牧草乾物収量は式 (1) により、式 (2) ~ 式 (4) の積を求めることで推定した。 式 (2) ~ 式 (4) は牧草乾物収量に独立に影響すると仮定された指数関数である。 $y = y_1 \times y_2 \times y_3 \cdots \cdots \cdots \text{式 (1)}$ $y_1 = 7736 \times \{1 - \exp(-0.01668 \times N)\} \cdots \cdots \cdots \text{式 (2)}$ $y_2 = (3.906 \times 10^{-12}) \times T^{14.87} \times \exp(-0.935T) \cdots \cdots \text{式 (3)}^{62}$ $y_3 = \exp\{(-1.002 \times 10^{-3}) \times (x - 2) \times T^{1.968}\} \cdots \cdots \text{式 (4)}^{63}$ y : 牧草年間乾物収量 (kgMD/ha)、y₁ : 窒素施肥量による年間乾物収量 y₂ : 生育期間平均気温による牧草年間乾物収量の最大値を 1 とする相対値 y₃ : 草地更新後年数による牧草年間乾物収量の最大値を 1 とする相対値 N : 窒素施肥量 (kgN/ha)、x : 草地更新後年数 (2 年目以降) T : 生育期間平均気温 (°C)	
6. 影響の概要	
【予測収量】 草地更新後 2 年目における、生育期間平均気温と窒素施肥量を変えた場合の乾物収量の予測結果を図 54 に示す。平均気温 16°C、窒素施肥量が 400kgN/ha で最大収量となった。 窒素施肥量が 150kgN/ha の時の、生育期間平均気温と草地更新後年数を変えた場合の乾物収量の予測結果を図 55 に示す。平均気温が 16°C、草地更新後 2 年目で最大収量となる。	

⁶² 本研究では、y₂ 算出のための二次関数についても検討を行っている。結果として、幅広い気温帯を取り扱うことのできる指数関数を採用した。

⁶³ 本研究では、y₃ 算出のための二次関数についても検討を行っている。赤池情報量規準 (AIC) を用いた関数比較を行い、よりよい結果を示した指数関数を採用した。

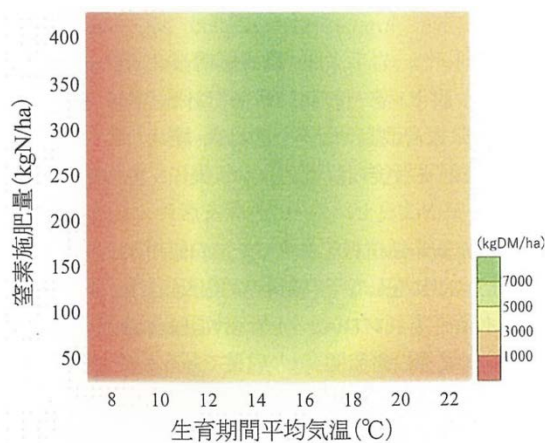


図 54. 生育期間平均気温と窒素施肥量を変えた場合の乾物収量
(草地更新後 2 年目)

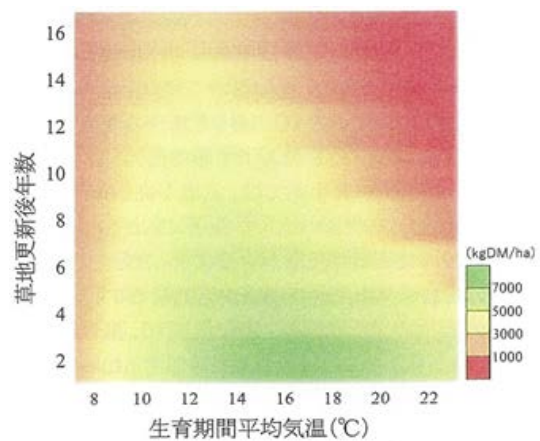


図 55. 生育期間平均気温と草地更新後年数変えた場合の乾物収量
(窒素施肥量 150kgN/ha)

岩手県における現在の平均気温および生育期間の気温が現在よりも 3℃上昇した際の乾物収量の予測結果を図 56 に示した。いずれの気温においても更新後次第に収量は減少した。また、同じ草地更新後年数で比較すると、気温が高くなるほど収量の高い地帯の分布が北上した。

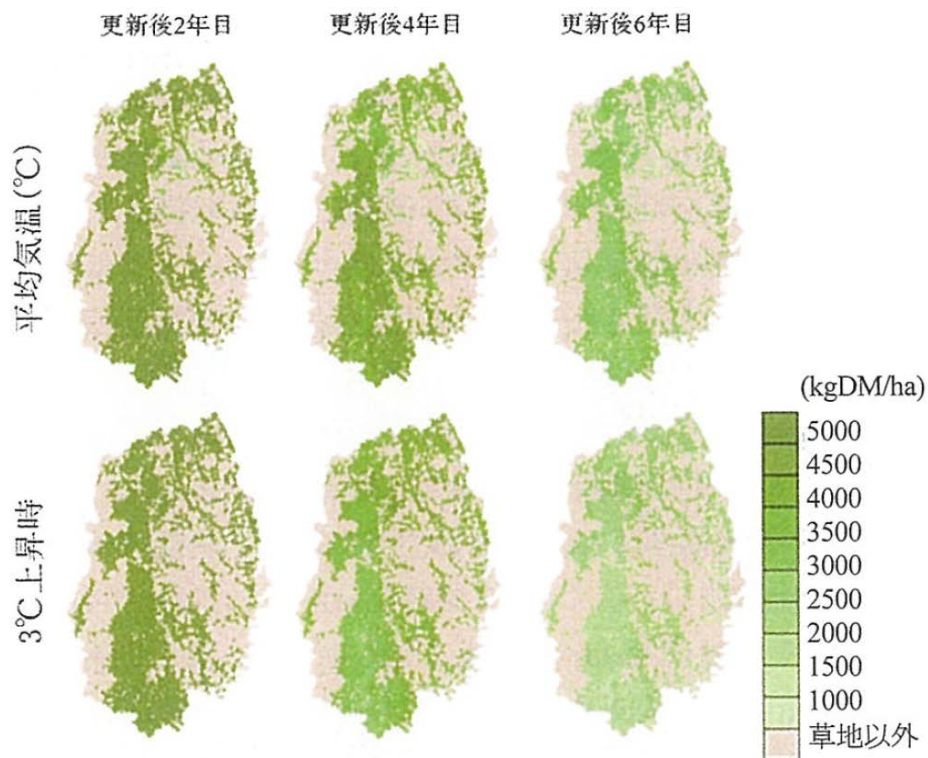


図 56. 岩手県における温暖化後の乾物収量の予測結果 (kgDM/ha)
(窒素施肥量 150kgN/ha)

【適応策の検討】

牧草乾物収量推定モデルを用いて、温暖化条件下の岩手県において乾物収量を維持するための適応策（草地更新サイクルおよび窒素施肥）を検討した。

1. 草地更新サイクル

現在の草地更新後 10 年間の平均収量を目標収量として、温暖化条件下で目標収量を確保するための草地更新サイクルを求めた。結果、生育期間平均気温が 1℃、2℃、3℃上昇時の草地更新サイクルは、それぞれ 9、8 および 7 年で行う必要があるという結果になった。岩手県では、気温が高くなるほど夏枯れの発生による収量低下が顕著に生じ、収量を維持するためには草地更新サイクルを短縮する必要があると考えられる。

2. 窒素施肥

窒素施肥量 150kgN/ha の時の 10 年間の平均収量を目標収量として、温暖化条件下で目標収量を確保するための窒素施肥量を求めた。結果、生育期間平均気温が 1℃上昇時のみ、窒素施肥量を 180kgN/ha に増加させることで収量を維持できたが、それ以外の条件では 500kgN/ha 以上が必要となり、現実的な値とはならなかった。

2.1.5 工芸作物

2.1.5.1 テンサイ

① 戦略研究「地球温暖化と生産構造の変化に対応できる北海道農林業の構築—気象変動が道内主要作物に及ぼす影響の予測—」成果集

＜テンサイについて＞

1. 執筆者（公表年）	地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部中央農業試験場編（2011 年）
2. 掲載紙	北海道立総合研究機構農業試験場資料 第 39 号
3. 対象品目	テンサイ（収量（根重）、品質（根中糖分）、生育期間）
4. 対象地域	北海道
5. 予測手法の概要	予測期間：現在（1986-2000 年）、2030 年代
	空間解像度：10kmメッシュ
	気候モデル：CCSR、CGCM1
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：あり
	予測手法：回帰式（根重、根中糖分、糖量） 作物モデル「WOFOST」 ⁶⁴ （生育期間）
【根重】$=0.034 \times (\text{4 月中旬} \sim \text{6 月下旬の積算最高気温}) + 11.512$ 【根中糖分】$= -0.0062 \times (\text{7 月上旬} \sim \text{10 月上旬の積算最低気温}) + 25.0329$ 【糖量】$= \text{根重} \times \text{根中糖分}$ 【生育期間・収量】WOFOST を用いて、気温及び日射量から生育ステージおよび収量の変化を予測した。なお、本モデルによる収量（乾物）に 0.7 を乗じ糖量としている。ここでの糖量は、入力した気温と日射量の条件下で得られる最大可能量であり、湿害、干ばつおよび病虫害による減収は考慮していない。	
6. 影響の概要	
【根重】【根中糖分】【糖量】 回帰式をもとに、現在から 2030 年代への根重、根中糖分及び糖量を推定した（図 57）。結果、根重は全道各地で増収する予測となり、根中糖分は全道各地で現在よりも低下すると予測された。糖量では概ね、十勝、網走、道北地方で現在の 10～11t/ha から 2030 年代に 11t/ha 以上に増収するが、道央地域では現在と同程度の 10～11t/ha の予測となった。 次に、全道平均の各予測値を表 20 に示す。現在と比較して根重が増収、根中糖分が低下、糖量は増加すると推定された。	

⁶⁴ WOFOST の概要については、2.1.4.1 ①をご参照。

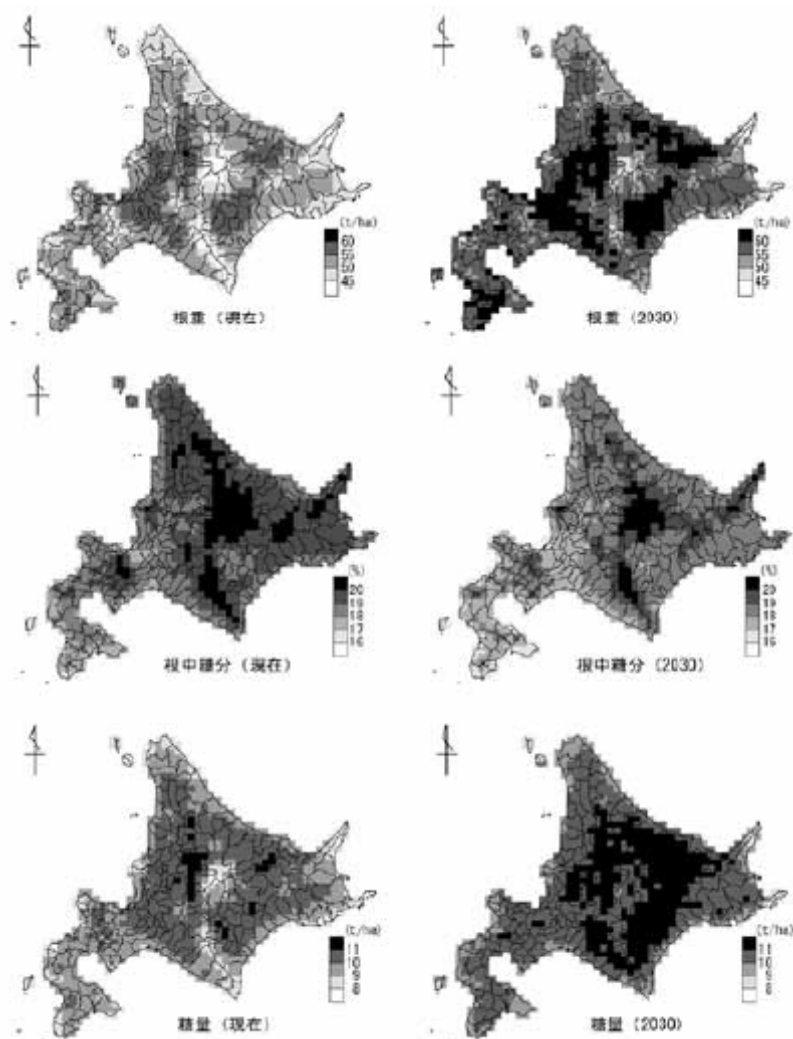


図 57. 現在（左列）と 2030 年代（右列）における
 テンサイ根重（上段）、根中糖分（中段）、糖量（下段）
 2030 年代の気象は CCSR による。

表 20. テンサイにおける 2030 年代の予測値

	根重 予測値 (t/ha)	根中糖分 予測値 (%)	糖量 予測値 (t/ha)	備考	
				積算最高 気温(℃) 4月中旬～ 6月下旬	積算最低 気温(℃) 7月上旬～ 10月上旬
現在（1986-2000年）	55.67	17.0	9.46	1299	1298
CCSRによる予測値	62.21	16.2	10.08	1491	1429
CGCM1による予測値	61.59	15.8	9.73	1473	1486
注) 糖量：根重×根中糖分					

【生育期間】

現在（平年）、2010 年（異常高温年）、2030 年代についての生育予測の結果を表 21⁶⁵に示す。現在（平年）における生育日数（出芽から肥大停止までの日数）は 180 日、最大可能収量としての糖量（以下、糖量）は 11.0t/ha と推定された。2030 年代において、播種期を現在と同様とした場合の生育日数は 196 日となり、現在より 16 日長くなり、糖量現在比は 92%と推定された。一方気温の変化のみを考慮した場合は 105%となり、将来の減収要因は気温上昇ではなく、日射量の減少にあると推定された。

2030 年代において、播種期を気温の上昇分だけ前進させた場合の生育日数は 199 日、糖量現在比は 94%であった。このため、5 日程度の前進では両指標への影響は限定的である。

表 21. WOFOST による直播テンサイの生育予測結果

地点	入力設定			計算結果						
	年代	気象要素	播種期	出芽	肥大開始	肥大停止	生育日数	最大 LAI	糖量 t/ha	糖量現在比
芽室	現在	平年値	4/25	5/7	7/9	11/3	180	5.0	11.0	100
	2010	気温	4/25	5/9	7/4	11/7	182	3.0	9.4	85
		気温・日射						3.1	9.7	88
	2030	気温	4/25	5/4	7/2	11/16	196	4.6	11.5	105
		気温・日射						3.1	10.1	92
		CCSR 気温						4.9	11.5	105
		気温・日射	4/20	5/1	7/1	11/16	199	3.3	10.3	94

播種期は4/25または2030年代の気温上昇に合わせて前進（4/20）のいずれかを設定

生育日数は出芽から肥大停止まで

平年値は2000年のもの、気象要素が「気温」のみの場合の日射量は平年値を仮定

生育予測値における収穫日と糖量の関係を図 58 に示す。2030 年には最大糖量に達する時期が 11 月上旬にずれ込むと予想され、10 月下旬前後に収穫を行った場合の糖量現在比は表 21 の値よりもさらに低下する可能性がある。従って、現在 10 月上中旬から開始している収穫開始時期の遅延化が必要である。

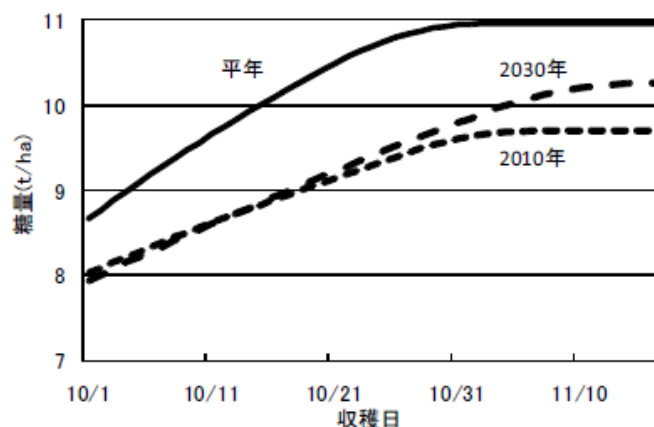


図 58. 収穫日と糖量の関係（WOFOST による予測）

設定は表 21 と同様。2010 年及び 2030 年は気温と日射を考慮し、2030 年の播種期は 4 月 20 日とした。

⁶⁵ 表中 LAI（Leaf Area Index）は葉面積指数をさし、単位面積当たりの葉の面積を表す。

2.1.5.2 茶

① 茶の精密栽培地帯区分図の作成と温暖化シミュレーション

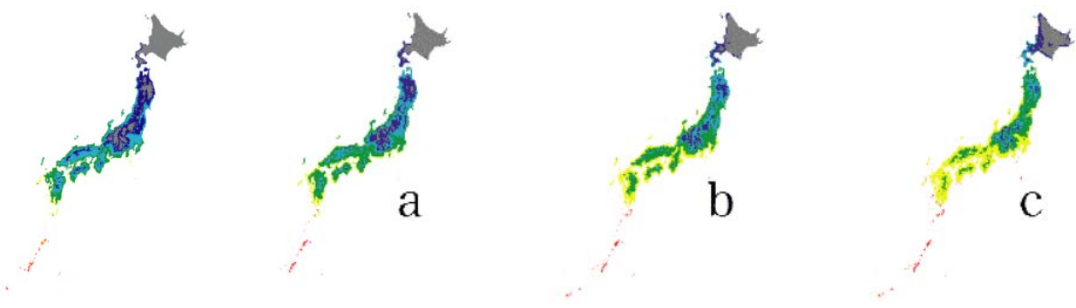
1. 執筆者(公表年)	水野直美 (2002)
2. 掲載紙	茶研報 93:62-69
3. 対象品目	茶 (栽培適域)
4. 対象地域	日本
5. 予測手法の概要	予測期間 :
	空間解像度 : 3 次メッシュ
	気候モデル : - (気温が+2℃、+4℃、+6℃)
	排出シナリオ : -
	適応策の検討 : -
予測手法 : 1月から12月の月最低気温のうち、もっとも低いものにより算定 適域判定基準 : 1月から12月の月最低気温のうち、もっとも低いものを抽出する。 ≤ -7.8 : 枯死域 $-7.8 < \text{気温} \leq -4.1$: 限界地 $-4.1 < \text{気温} \leq -1.1$: 冷涼地 $-1.1 < \text{気温} \leq 2.9$: 温暖地 $2.9 < \text{気温} \leq 10.5$: 暖地 $10.5 < \text{気温}$: 亜熱帯	
6. 影響の概要	
この研究では、気温情報をもとに茶の栽培地帯区分の検討を行っている。具体的には、枯死域、限界地、冷涼地、温暖地、暖地、亜熱帯域の判定を実施している。6℃の温度上昇が起きても栽培上懸念のある亜熱帯域の拡大は限定的である一方、本州と北海道西部の大部分で栽培可能となる。	
 現在 気温が+2℃ (a)、+4℃ (b)、+6℃ (c)	

図 59. 茶の栽培地帯区

2.1.5.3 病害虫

① A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones.

1. 執筆者(公表年)	Kohji Yamamura、Keizi Kiritani (1998 年)
2. 掲載紙	Appl. Entomol. Zool. 33 (2) : 289-298
3. 対象品目	節足動物 12 分類 ⁶⁶ (年間世代増加数)
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：－
	空間解像度：－
	気候モデル：－
	排出シナリオ：－ (年平均気温+1℃、+2℃、+3℃)
	適応策の検討：なし
予測手法：簡易式を用いた計算	
以下に示す簡易式を作成し、年間世代増加数を計算した。 $\Delta N \div \Delta T [c + d(m - T_0)] / K$ ここで、ΔN：増加世代数、ΔT：気温上昇量、c：定数 (204.4⁶⁷)、d：12.46、m：現在の年平均気温、T_0：発育零点、K：有効積算温度定数⁶⁸ T_0およびKについては、複数の著者によりリスト化された値を用いた⁶⁹。	
6. 影響の概要	
平均気温 (m) を 15℃とした時を基準とし、+1℃、+2℃、+3℃温暖化したときの年間世代増加数の変化をそれぞれ 図 60、図 61、図 62 に示す。 1℃上昇時 (図 60) では、世代数の増加は、サイズの小さな節足動物 (ダニ類、アザミウマ類、ハチ類 (大部分が小さな補食寄生者)、アブラムシ類) のみと予測された。	

⁶⁶ ダニ類、アブラムシ類、アザミウマ類、ハチ類、ハエ類、センチュウ類、カメムシ類、カイガラムシ類、チョウ・ガ類、チョウ・ガ類 (貯穀害虫)、カブトムシ類、甲虫類 (貯穀害虫)

⁶⁷ アブストラクトでは 204.4 だが、本文中では 206.7 でありどちらが正しいかは不明

⁶⁸ 発育期間中の平均温度とその昆虫が生育することの出来る最低の温度 (=発育零点) との差と発育日数との積で表される。 $K = \text{経過日数} \times (\text{発育期間中の平均温度} - \text{発育零点})$ 。日度を単位とする。

⁶⁹ 種別に異なり、その値は明記されていない。

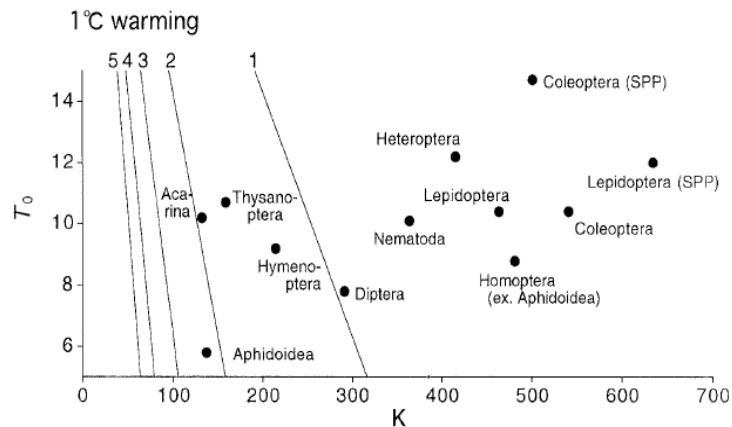


図 60. 年平均気温が 15°C の地点が、1°C 上昇した際の虫類の年間世代増加数
 散布図中の直線および数字は、世代増加数を示す。Acarina : ダニ類、Aphidoidea : アブラムシ類、
 Thysanoptera : アザミウマ類、Hymenoptera : ハチ類、Diptera : ハエ類、Nematoda : センチュウ類、
 Heteroptera : カメムシ類、Homoptera : カイガラムシ類、Lepidoptera : チョウ・ガ類、Lepidoptera
 (SPP) : チョウ・ガ類 (貯穀害虫)、Coleoptera : カブトムシ類、Coleoptera (SPP) : 甲虫類 (貯穀害
 虫)

2°C 上昇時には、貯穀害虫を除く多くの節足動物にて世代数が増加すると予測された。

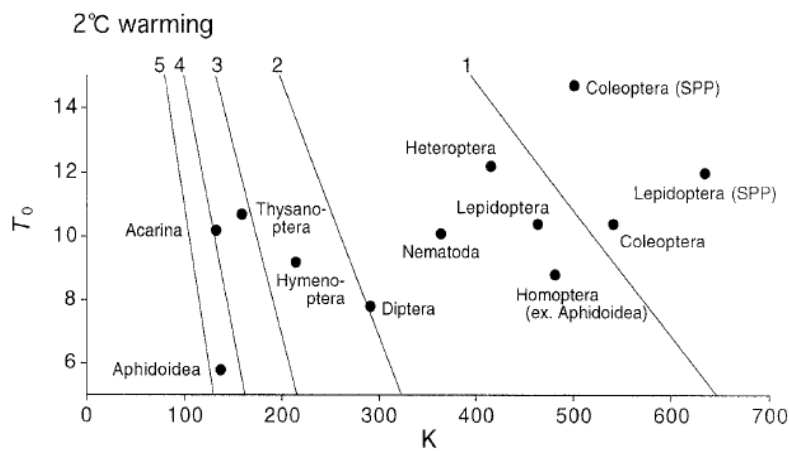


図 61. 図 60 と同じ。ただし 2°C 上昇した際の虫類の年間世代増加数

3°C 上昇時には、貯穀害虫も現在よりも 1 世代多くなると予測された。しかし、貯穀害虫
 の予測については、外気温よりも 10°C 以上高い製粉機のような環境でも生存しているこ
 とから、予測の妥当性は明確ではない。

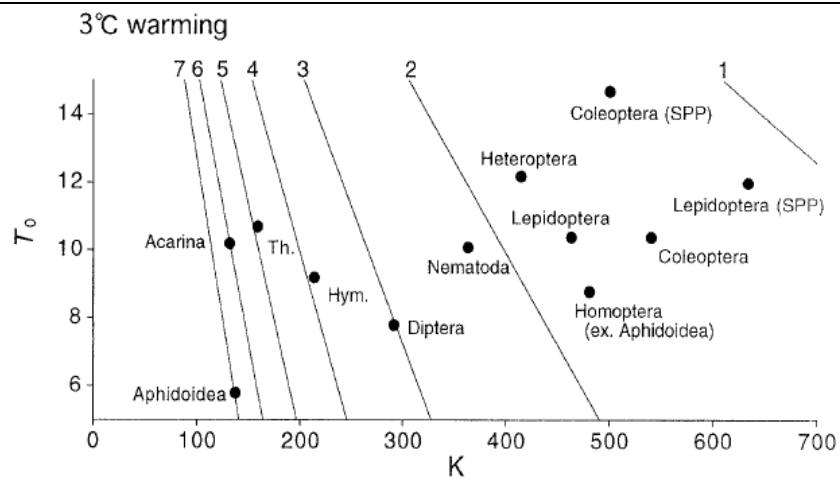


図 62. 図 60 と同じ。ただし 3°C 上昇した際の虫類の年間世代増加数

2.1.6 畜産

2.1.6.1 肉用豚

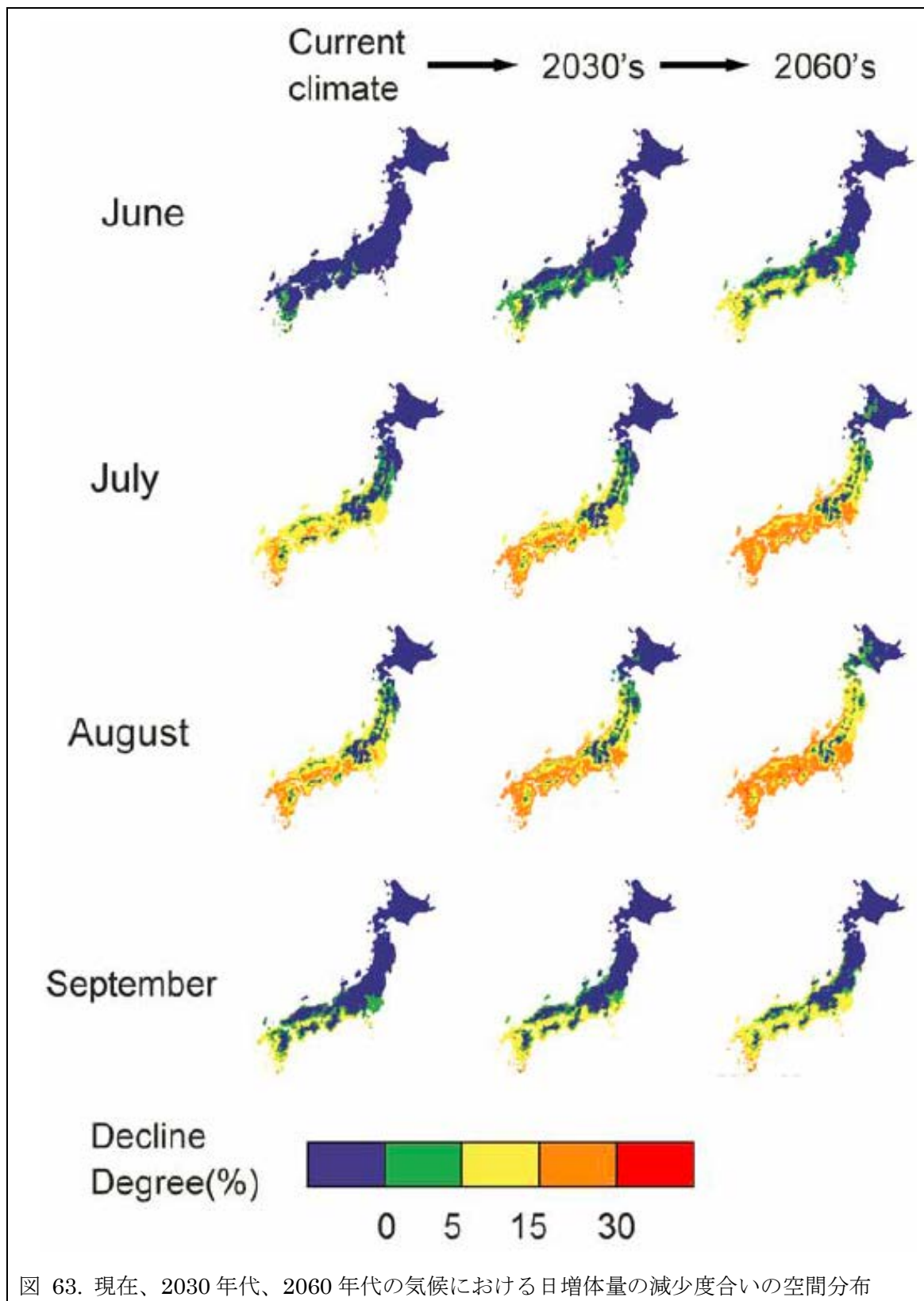
① 地球温暖化が肥育豚の飼養成績に及ぼす影響 —「気候温暖化メッシュデータ（日本）」によるその将来予測—

1. 執筆者（公表年）	高田良三、山崎 信、杉浦俊彦、横沢正幸、大塚誠、村上斉（2007 年）
2. 掲載紙	日本畜産学会報 79 (1) 59-65
3. 対象品目	肥育豚 ⁷⁰ （日増体量 ⁷¹ ）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：2030 年代、2060 年代、現況（1971～2000 年の気候値）の 6～9 月
	空間解像度：10km メッシュ
	気 候 モ デ ル：CCSR/NIES、CCCma/CGCM1、CSIRO-Mk2、ECHAM4/OPYC3
	排出シナリオ：IS92a
	適応策の検討：なし ⁷²
予測手法： 回帰式による推計	
・ 環境温度と日増体量の回帰式 $Y = -0.3917 X^2 + 16.724X - 77.489$ ($R^2 = 0.9995$)、Y は 23℃の時を 100 とした日増体量、X は気温を示す。 実験により得られた上記の回帰式にメッシュごとの各年代における 6～9 月の月平均気温を用いて、日増体量変化を推定した。	
6. 影響の概要	
【日増体量】 2030 年、2060 年と年代の経過と共に日増体量の低下する地域が広がり、また低下する程度もより厳しくなることが予測された（図 63）。2060 年の 7 月、8 月においては、北海道を除いたほとんどの地域で生産性が低下し、特に関東以西では日増体量の 15～30%の低下が予測された。	

⁷⁰ Landrace×Large White×Duroc 種の去勢雄。試験開始時の体重は 42.1 ± 2.1 kg

⁷¹ 日増体量と同様に日飼料摂取量についての回帰式 ($Y = -0.7041X^2 + 34.888X - 330.81$ ($R^2 = 0.9304$))、Y は 23℃の時を 100 とした日飼料摂取量 (g/日)、X は気温を示す) も記載されているが、影響評価を行っていないため、ここでは記載から外した。

⁷² 評価は行われていないが、暑熱対策例として、飼料への油脂添加によるエネルギー摂取量の増加、畜舎の各種断熱法、細霧噴霧、強制ファン等が挙げられている。



2.1.6.2 肉用鶏

① 平均気温の変動から推定したわが国の鶏肉生産に対する地球温暖化の影響

1. 執筆者（公表年）	山崎信、村上斉、中島一喜、阿部啓之、杉浦俊彦、横沢正幸、栗原光規（2005 年）
2. 掲載紙	日本畜産学会報 77 (2) 231-235
3. 対象品目	ブロイラー（産肉量）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：2020 年代、2040 年代、2060 年代（2060 年代、2060 年代±1℃）、現況（1971～2000 年の気候値）の 7～9 月
	空間解像度：10km メッシュ
	気候モデル：CCSR/NIES、CCCma/CGCM1、CSIRO-Mk2、ECHAM4/OPYC3
	排出シナリオ：IS92a ⁷³
	適応策の検討：なし ⁷⁴
	予測手法：回帰式による推計

$y = -0.3239x^2 + 15.042x - 74.632$ 、 $y = 23^\circ\text{C}$ の時を 100 とした産肉量； $x = \text{気温} (^\circ\text{C})$
 実験により得られた上記の回帰式（図 64）にメッシュごとの各年代における 7～9 月の月平均気温を用いて、産肉量の変化量を推定した。

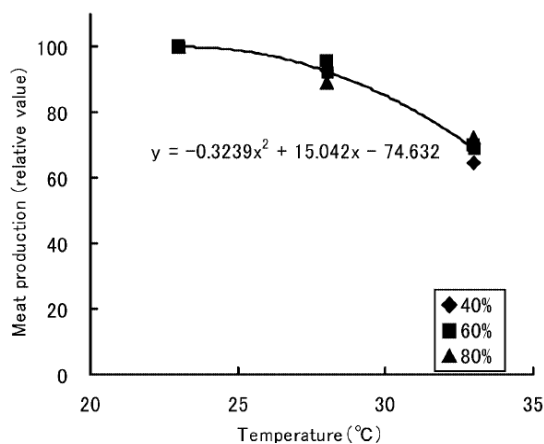


図 64. ブロイラー産肉量（相対値）における相対湿度と環境温度の効果
 各相対湿度（◆:40%、■:60%、▲:80%）における 23℃のブロイラー鶏舎の産肉量を 100 とした。

6. 影響の概要

【産肉量】

7、8 及び 9 月の各月とも、2020 年、2040 年、2060 年と年代の経過とともに産肉量へ

⁷³ IPCC によって 1992 年に開発されたシナリオの一つで、二酸化炭素濃度がほぼ年率 1%複利で増加することに対応する。

⁷⁴ 評価は行われていないが、暑熱対策例として、送風による体熱放散の促進、鶏舎内への細霧の散布、高温順化、制限給餌、飼料添加物を含む給与飼料の改善が挙げられている。

の温暖化の影響が大きくなることが予測され（図 65）、特に九州、四国、近畿などの西日本において、産肉量が比較的大幅に低下する地域の拡大が懸念された。さらに、現在は産肉量が低下する気温ではない東北地方も、年代の経過とともに産肉量の低下する地域になる可能性が示された。

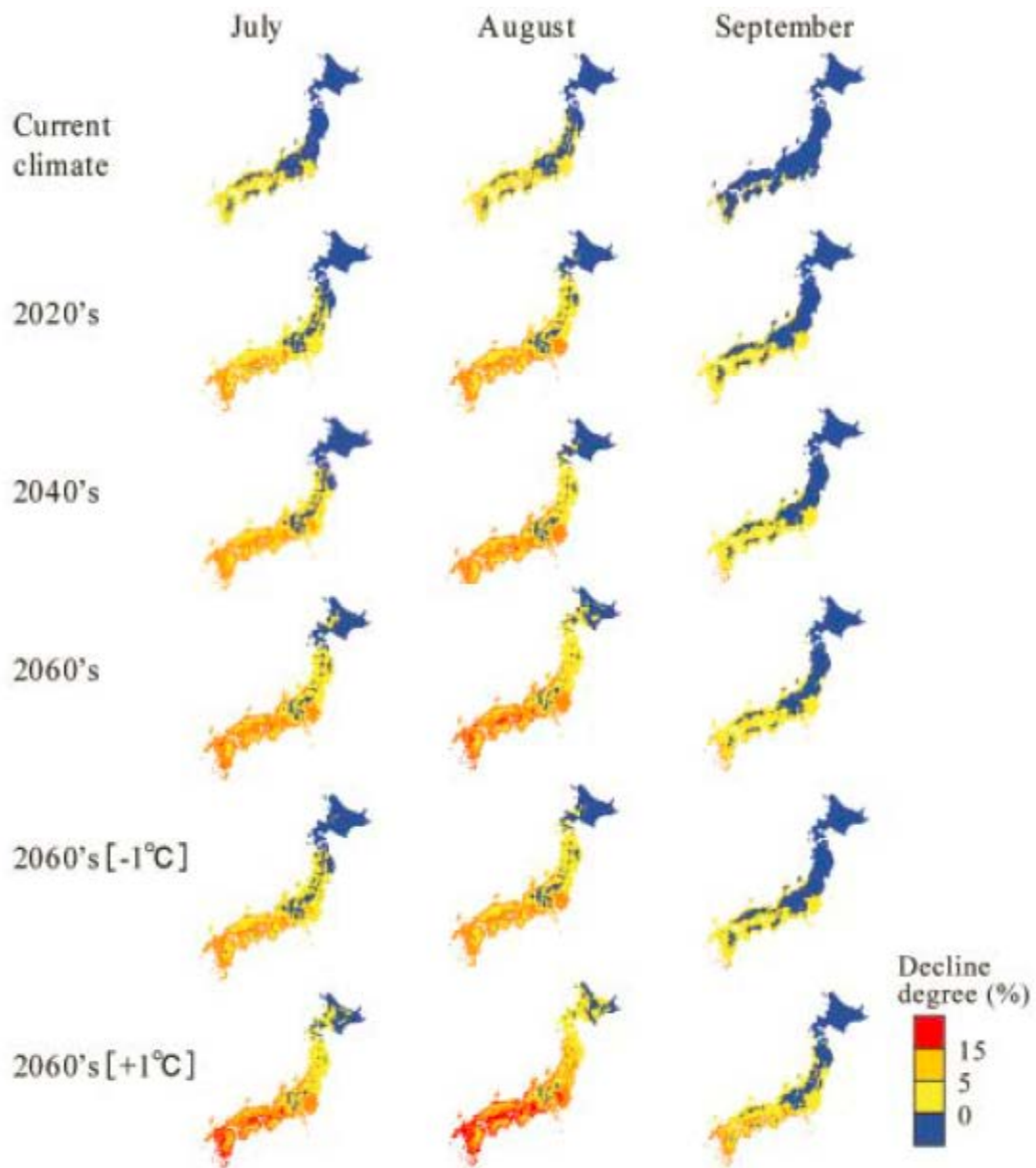


図 65. 現在、2020 年代、2040 年代、2060 年代、2060 年代に±1℃の気候におけるブロイラー産肉量の減少度合いにおける空間分布

2.1.6.3 乳用牛

① 暑熱環境下における体感温度の上昇がホルスタイン種牛の乳量に及ぼす影響【委員ご提供情報】

1. 執筆者(公表年)	戸田克史、中井文徳、家木一、藤岡一彦、渡辺裕恭、井内民師、寺田文典(2002年)
2. 掲載紙	日本畜産学会報、73(1):63-70、2002
3. 対象品目	ホルスタイン種泌乳牛(乳量)
4. 対象地域	愛媛県、徳島県
5. 予測手法の概要	予測期間:—
	空間解像度:—(各県の試験場での実験)
	気候モデル:—
	排出シナリオ:—
	適応策の検討:なし
	予測手法: 実験による(回帰式あり)
期待乳量[kg/日]: Hayashi と Nagamine(1993)の2点法泌乳曲線モデル⁷⁵より算出 乳量水準[kg/日]: 試験開始日から14日間の範囲で実乳量と期待乳量の差から暑熱環境条件の影響を比較的受けていないと判断される日の乳量の平均値 乳量減少量=期待乳量-実乳量(実際の乳量) ET(体感温度の日平均): (時間別乾球温度⁷⁶×0.35+時間別湿球温度⁷⁷×0.65)の日平均 臨界ET: 暑熱環境の影響により乳量減少が始まるET ○ETと乳量減少量のタイムラグの補正 野村と加納(1966)⁷⁸およびUeno(1999)⁷⁹に従い、乳量とETに対して移動平均値(31項移動平均)を求めて、現時系列から傾向変動を除去し、それぞれの項目について定常時系列を求め、ETと入寮の定常時系列間の相互相関係数を算出し、ETとタイムラグを補正した日の期待乳量と実乳量の差(減少量)の散布図を作成した。 ○非線形分析 実験データより、ETと乳量減少量(期待乳量と実乳量の差)の非線形回帰式を作成した。また回帰式の作成にあたり、臨界ETを推定するために分割モデル(図66)を当てはめ	

⁷⁵ 算出に使用した算出式の記載はない

⁷⁶ 乾湿温度計(乾湿計)において乾球側の示す温度をいう。いわゆる空気(気温)のこと。

⁷⁷ 乾湿温度計(乾湿計)において純水で球部を常に湿らせた湿球側の示す温度をいう。湿球側では、水の蒸発による温度低下が生じるため、乾球側より低い値を示す。

⁷⁸ 時系列解析を用いて、乳量と畜舎温度は20℃以上で負の相関関係を示し、畜舎温度が当日に限らず翌日または翌々日の乳量に影響を及ぼすことを明らかにした。

⁷⁹ 7月～8月において最高および最低温湿度指数の変化は2～3日後の乳量にもっとも大きく影響することを報告している。

た。

◆分割モデル (y : 乳量減少量、 x : ET、 x_0 : 臨界 ET、 a と b は定数)

• $y=a$ ($x<x_0$)

• $y=bx+c$ ($x>x_0$)

6. 影響の概要

将来影響予測は行われていない。

乳量水準 37kg/日である個体 B の期待乳量と実乳量の差と ET の散布図および非線形回帰分析の結果を図 66 に示した。このウシの臨界 ET は 20.3℃であった。また、臨界 ET 以上の湿温度環境下での、ET が 1℃上昇する場合の 1 日あたりの乳量の変化量は -1.71kg/日/ET となった。

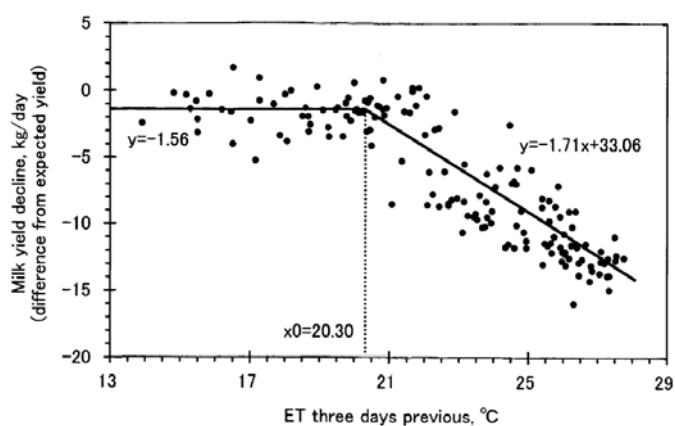


図 66. サンプル個体 B の乳量減少量（期待乳量と実乳量の差）と ET（日平均体感温度）の関係

回帰分析には、非線形回帰分析を用いるにあたり分割モデルを当てはめた。また、サンプル個体 B とは、1998 年に徳島県の畜産試験場で実験された乳量水準が 37kg/日の個体である。

2.2 農業生産基盤

2.2.1.1 農業用水

① 気候変動が広域水田灌漑に及ぼす影響の全国マップとその不確実性【委員ご提供情報】

1. 執筆者(公表年)	工藤亮治、吉田武郎、堀川直紀、増本隆夫、名和規夫(2016)
2. 掲載紙	応用水文 No.28 「論文編」 Applied Hydrology
3. 対象品目	農業水利用(河川流量)、水利施設管理(河川流量)
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：2081 年-2100 年
	空間解像度：5km メッシュ(逆距離内挿法によるダウンスケーリング、CDF マッピング法によるバイアス補正、Gumbel 分布による極値補正)
	気候モデル：MIROC5、CSIRO-Mk3-6-0、HadGEM2-ES、CNRM-CM5、MRI-CGCM
	排出シナリオ：RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5
	適応策の検討：なし
	予測手法：水循環モデルによる評価

影響評価マップの作成手順を図 67 に示す。マップ作成方法は GCM による気候変動実験結果を気候シナリオとして用い、空間詳細化、バイアス補正などを施して評価モデルである水循環モデル⁸⁰へ入力し、現在気候下、気候変動下それぞれの出力を比較することで影響を吟味する。

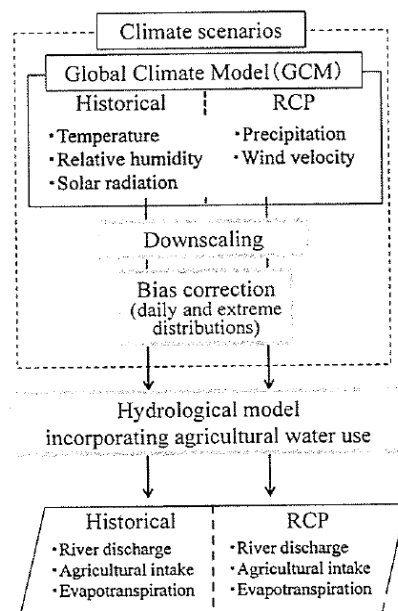


図 67. 影響評価マップの作成手順

⁸⁰ 水循環モデルとは、複数のサブモデル(積雪融雪モデル、基準蒸発散量モデル、水田水利用モデル、流出モデル)が相互作用することで水田における水利用を考慮した水循環を解析するモデルである。

水循環モデルに入力するために GCM の結果から収集した要素は、日最高/最低/平均気温、日平均比湿、日平均風速、日積算日射量、および日降水量である。一部の GCM では日射量が出力されていないため、気温の日較差（日最低気温と日最高気温の差）から日射量を推定した。

農業水利用及び水利施設管理への影響は、水利用、洪水の 2 つの観点から行う。水利用の評価指標は、それぞれの期間の半旬（5 日）平均流量（以下 Q_{mv} ）の 10 年確率値。洪水の評価指標は施設設計等の基準となる 10 年確率を目安とし、10 年確率日流量とした。

6. 影響の概要

影響評価マップの例として、RCP4.5 における代かき期の 10 年確率 Q_{mv} の変化を図 68 に示す。全ての GCM で東北、北陸地方の 10 年確率 Q_{mv} が減少する傾向が見られ、シナリオ間の変化傾向の整合性も高い。一方で、中四国、九州などの西日本では GCM によって増加するもの、減少するものが混在しており傾向の整合性が低い、言い換えれば評価の不確実性が多い。

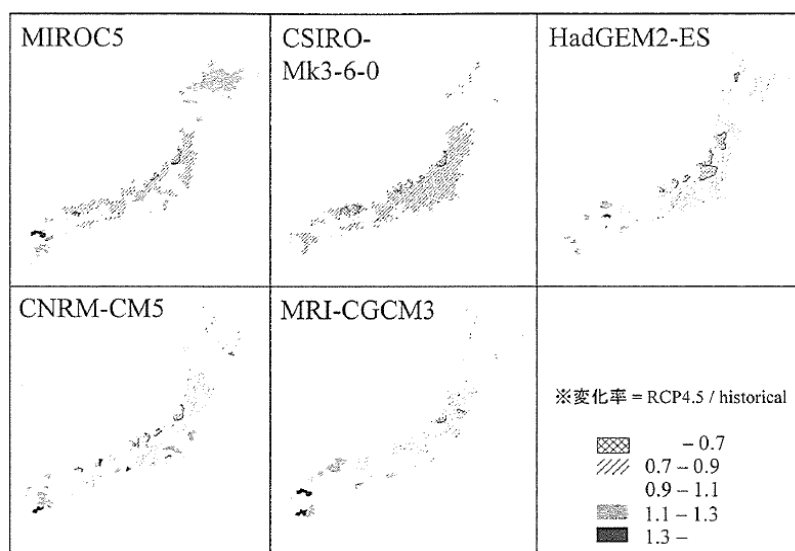


図 68. 農業水利用に対する気候変動影響評価マップの例（代かき期 10 年確率半旬平均流量）
※アンサンブルメンバーを有する GCM ではアンサンブル平均のマップを示している。

代かき期の北日本（東北、北陸）で 10 年確率半旬平均流量が大きく減少し、気候変動（特に気温変化）に対して脆弱であることが示された。また、同じ北日本でも気温がさらに低い北海道では同指標に大きな変化が見られなかったことから、RCP4.5 程度の昇温（北海道ではおよそ 3℃程度）では水資源的にはほとんど影響がないことが示された。以上の結果は、各シナリオでその傾向も整合的であり評価指標のばらつきも小さいことから信頼性は比較的高いと考えられる。

各評価指標のばらつきを地域ごとに検討した結果、西日本（特に中四国と九州）では代かき期（図 69 上段）、出穂期（図 69 中段）いずれにおいても 10 年確率半旬平均流量の評価の不確実性が大きくなった。西日本のこれらの時期は降水量の変動が大きく、河川流量

の年変動も大きい時期と考えられる。

また、洪水に関連する指標として用いた 10 年確率日流量は GCM 間やアンサンブルメンバー間でばらつきが非常に大きく変化率の定量的な評価は困難であった（図 69 下段）。

ただし、傾向の整合性は高く、北海道では増加傾向が強くなることが示された。

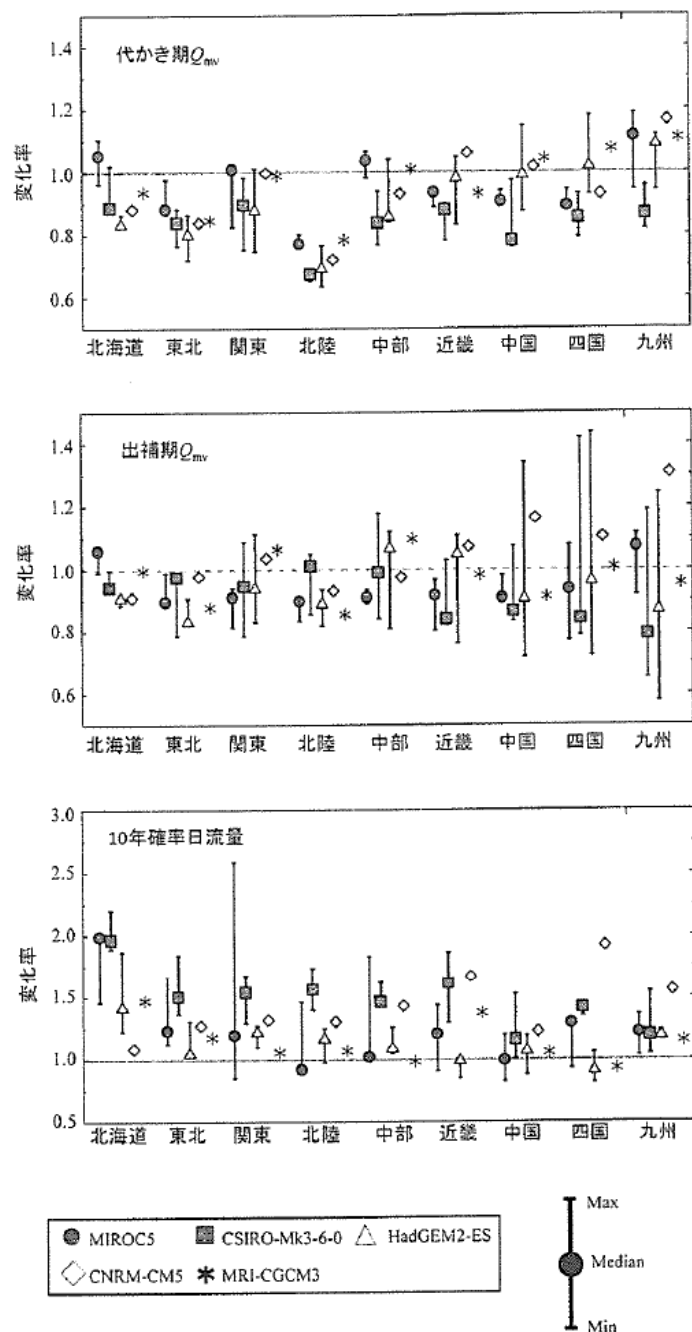


図 69.評価指標による不確実性の差

※ Q_{mv} : 半旬平均流量

※地域区分は、評価結果を流域単位で結果を整理しているため、河川管理上の地域区分としている。

※各 GCM のアンサンブルメンバーのばらつきをエラーバーで示している。

② Nationwide assessment of the impact of climate change on agricultural water resources in Japan using multiple emission scenarios in CMIP5 【委員ご提供情報】

1. 執筆者 (公表年)	Ryoji Kudo, Takeo Yoshida and Takao Masumoto (2017 年)
2. 掲載紙	Hydrological Research Letters 11(1), 31–36
3. 対象品目	農業用水 (河川流量)、水利施設管理 (河川流量)
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：2081-2100 年
	空間解像度：5km メッシュ (逆距離内挿法によるダウンスケーリング、CDF マッピング法によるバイアス補正、Gumbel 分布による極値補正)
	気候モデル：MIROC5、CSIRO-Mk3-6-0、HadGEM2-ES、CNRM-CM5、MRI-CGCM3、
	排出シナリオ：RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5
	適応策の検討：なし
	予測手法：水循環モデル (DWCM-AgWU) ⁸¹ による評価

工藤ら (2016) ⁸²と同様の手法である。工藤ら (2016) では主に RCP4.5 を対象としているが、本文献では RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 について予測し、結果の比較を実施している。

影響評価マップの作成手順を図 8 に示す。GCM による気候変動実験結果を気候シナリオとして用い、空間詳細化、バイアス補正などを施して評価モデルである水循環モデルへ入力し、現在気候下、気候変動下それぞれの出力を比較することで影響を吟味する。

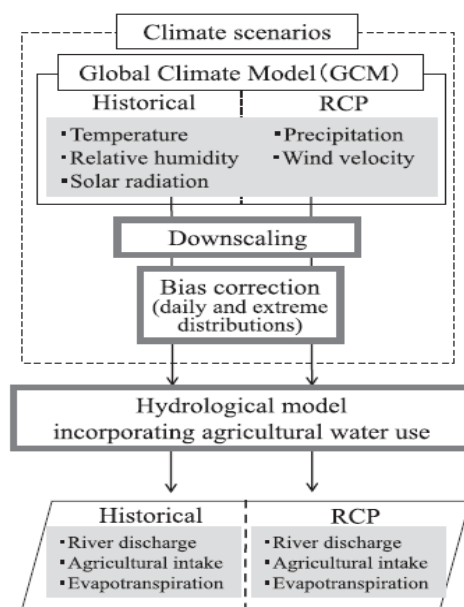


図 70. 影響評価マップの作成手順

⁸¹ 水循環モデルとは、複数のサブモデル (積雪融雪モデル、基準蒸発散量モデル、水田水利用モデル、流出モデル) が相互作用することで水田における水利用を考慮した水循環を解析するモデルである。

⁸² 工藤亮治ほか (2016) : 気候変動が広域水田灌漑に及ぼす影響の全国マップとその不確実性、応用水文 No.28 「論文編」 Applied Hydrology

水循環モデルに入力するために GCM の結果から収集した要素は、日最高/最低/平均気温、日平均比湿、日平均風速、日積算日射量、および日降水量である。一部の GCM では日射量が出力されていないため、気温の日較差（日最低気温と日最高気温の差）から日射量を推定した。

農業水利用及び水利施設管理への影響は、水利用、洪水の 2 つの観点から行う。水利用の評価指標は、それぞれの期間の半旬（5 日）平均流量の 10 年確率値。洪水の評価指標は施設設計等の基準となる 10 年確率を目安とし、10 年確率日流量とした。

6. 影響の概要

影響評価マップの一例として、代かき期の 10 年確率半旬平均流量を図 9、図 10 に示す。図 9.では、北日本では、北海道を除いて放射強制力が高いほど半旬平均流量は大幅に減少することが予測された。また、特に北陸地方と東北地方では RCP2.6 の下でも減少傾向を示しているため、気候変化の影響を受けやすいことが明らかになった。

図 10 は結果の不確実性の地域特性を示している。北日本（東北および北陸）ではすべての排出シナリオの下で一貫した減少傾向がある。一方で西日本（特に九州）は変化率 1.0 の変化率の線を跨ぐ分布となっており、将来の不確実性が大きくなることが示された。

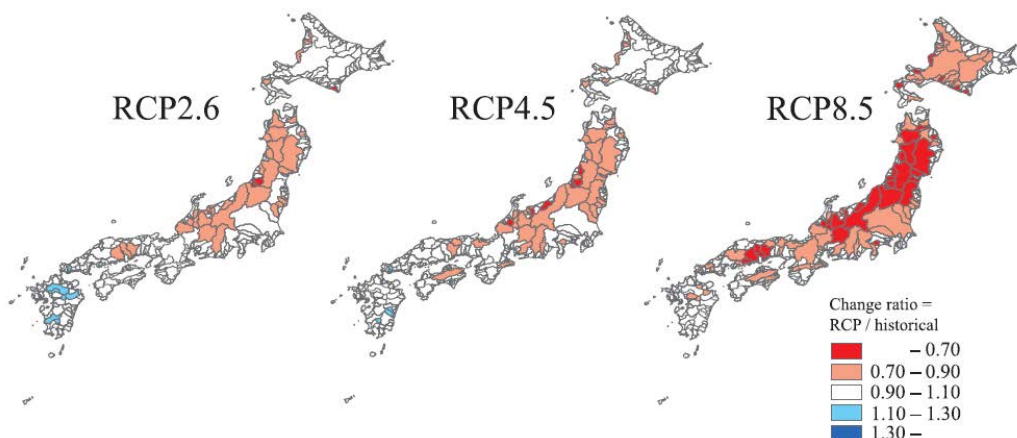


図 71. 農業水利用に対する気候変動影響評価マップの例

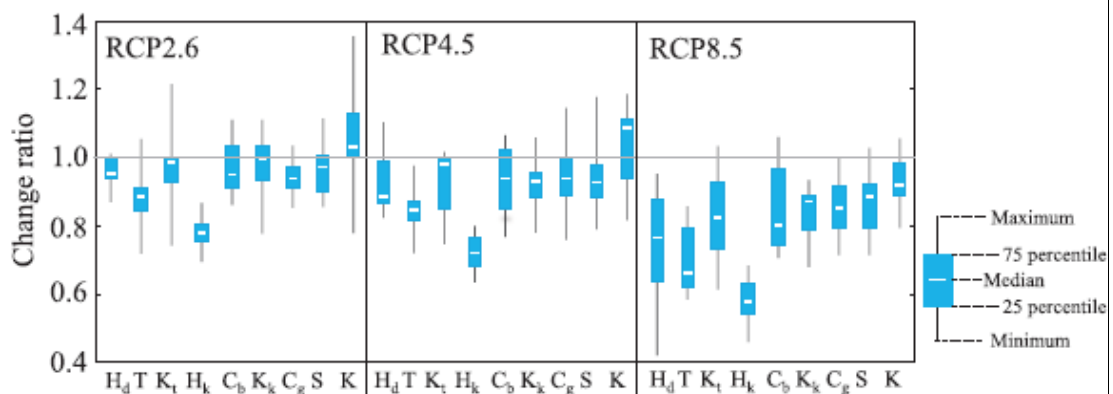


図 72. 10 年確率代かき期半旬平均流量の不確実性の差（地域別、11 気候シナリオの幅）

Hd: 北海道、T: 東北、Kt: 関東、Hk: 北陸、Cb: 中部、Kk: 近畿、Cg: 中国、S: 四国、K: 九州

2.2.1.2 ため池

① 将来の気候変動がため池に及ぼす影響予測の事例報告【委員ご提供情報】

1. 執筆者（公表年）	佐藤俊典（2015 年）
2. 掲載紙	農業農村工学会誌（水土の知）、82(9)、3-6
3. 対象品目	ため池（被災指標値、管理指標値、被災率）
4. 対象地域	全国
5. 予測手法の概要	予測期間：21 世紀半ば（2041-2060 年）、21 世紀末（2081-2100 年）
	空間解像度：地域（全国を 154 地域に分割）
	気候モデル：MRI-CGCM3、MIROC5
	排出シナリオ：RCP2.6、RCP8.5
	適応策の検討：なし ⁸³
予測手法：ため池の災害や管理に関する影響を 3 つの指標で表現。	

予測期間における 5～10 月の降雨データを対象に計算を行った。ため池の災害や管理に関する影響を 3 つの指標（被災指標値、管理指標値、被災率）で表現し、154 地域ごとに「現在」に対する「21 世紀半ば」「21 世紀末」時点の値の増減を将来のリスクの増減と読み替えて整理した。なお「被災指標値」は全国一律での視点、「管理指標値」は現在の地域ごとの気象条件の違いを加味した視点、「被災率」は地域ごとのため池の特徴や将来の気象条件の変化も加味した視点を持つ（表 22）。

表 22. 影響予測指標の概要

指標	概要	基準雨量	算定値
被災指標値	・過去のため池災害と降雨量との関係を参考にした、ため池災害が発生する可能性のある日降雨量。流域ごとに 3 つの指標を設定。	・全国共通 ・100 mm/d（流域比：100～200） ・150 mm/d（流域比：50～100） ・180 mm/d（流域比：0～50）	・各基準雨量の超過日数（計算期間 20 年間の総数） ・予測地域ごと、予測時期ごとに算定
管理指標値	・ため池管理者へのアンケート調査などを参考に設定した、管理行動（巡視、事前排水、導水停止、土のう設置など）の契機となる降雨量。	・予測地域ごとに現在の気象庁基準（1 時間雨量または 3 時間雨量）で設定 ・大雨注意報基準雨量 ・大雨警報基準雨量	・各基準雨量の超過日数（計算期間 20 年間の総数） ・予測地域ごと、予測時期ごとに算定
被災率	・表計算ソフトで作成した簡易な解析モデルで基準雨量に対するため池の水位応答を計算し、モデル上の設計洪水位を超える場合を「被災」と定義。 ・解析モデルでは、ため池諸元（貯水量、面積、流域比、洪水吐規模、初期水位など）をそれぞれ 3～5 段階の条件として設定し、これらの条件の組合せにより各地域のさまざまなため池を模擬的に再現して計算。	・予測地域ごとに予測時期ごとの以下の確率降雨（日雨量）を気候モデル・シナリオごとに算定 ・20 年確率降雨 ・50 年確率降雨 ・100 年確率降雨 ・これらの確率降雨を時間単位降雨量（中央集中型降雨波形）に変換して解析モデルに入力	・解析モデル上のすべての計算条件の組合せに対する、設計洪水位を超える条件の組合せの割合 ・予測地域ごと、予測時期ごとに算定

6. 影響の概要

【概要】

3 つの指標の全国 154 地域全体の結果について、現在よりも将来リスクが高まる地域数で整理した結果を表 23 に示す。リスクの高まる地域の変化は、指標値ごとの違いよりも全体的には気候モデルとシナリオの組み合わせによって、その傾向が決まっているように見える。

表 23. 影響予測結果 現在よりリスクが高まる地域数一覧

⁸³ 定性的な記載に留まる。

予測時点		21 半				21 末			
温暖化シナリオ		2.6		8.5		2.6		8.5	
気候モデル		MI3	MC5	MI3	MC5	MI3	MC5	MI3	MC5
被災指標値	100 mm	41	115	113	95	114	107	133	126
	150 mm	29	75	74	58	77	59	102	96
	180 mm	21	41	53	44	51	33	88	66
管理指標値	注意報基準	42	116	123	89	126	111	136	124
	警報基準	34	51	72	54	82	43	108	86
被災率	20 年確率	46	96	96	101	96	95	142	135
	50 年確率	46	112	93	109	95	101	139	135
	100 年確率	47	108	92	107	94	97	135	133

【被災指標値】

結果の事例として、指標値 100mm と 180mm の将来リスクが高まる地域数割合を図 73～図 76 に示す。全国的には同じ指標値では、RCP2.6（2.6）よりも RCP8.5（8.5）の方が、リスクが高くなるケースが多くなった。

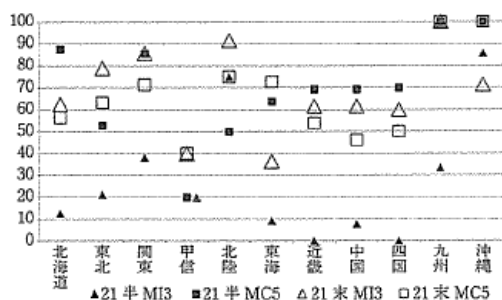


図 73. 将来リスクが高まる地域割合（％）
（100mm：2.6）

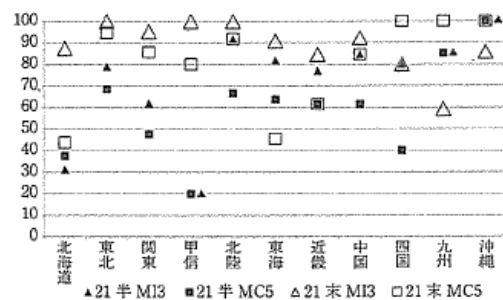


図 74. 将来リスクが高まる地域割合（％）
（100mm：8.5）

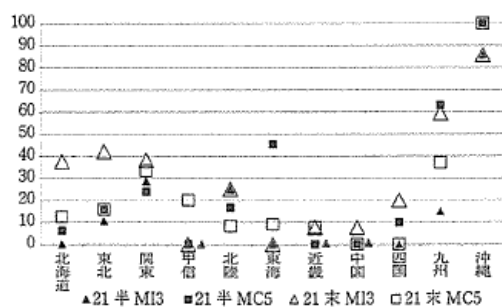


図 75. 将来リスクが高まる地域割合（％）
（180mm：2.6）

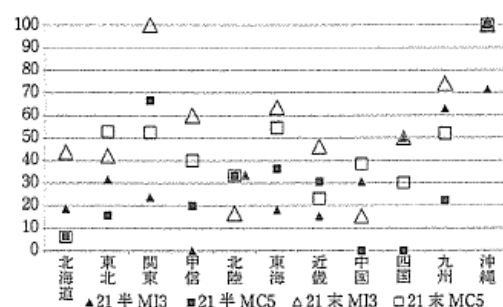


図 76. 将来リスクが高まる地域割合（％）
（180mm：8.6）

2.6：RCP2.6、8.5：RCP8.5、21 半：21 世紀半ば、21 末：21 世紀末、MC5：MIROC5、MI3：MRI-CGCM3

【管理指標値】

結果の事例として、注意報基準、警報基準それぞれの将来リスクが高まる地域数割合を図 77～図 80 に示す。全体的には注意報基準と警報基準で同様の傾向が見られたが、基準値が低い注意報基準の方がリスクより高い傾向であり、21 世紀末には、ほとんどの地方でリスクが高

まる地域数の割合が 5 割を超えた。

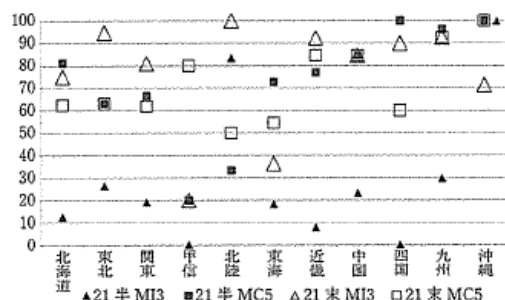


図 77. 将来リスクが高まる地域割合 (%)
(注意報基準 : 2.6)

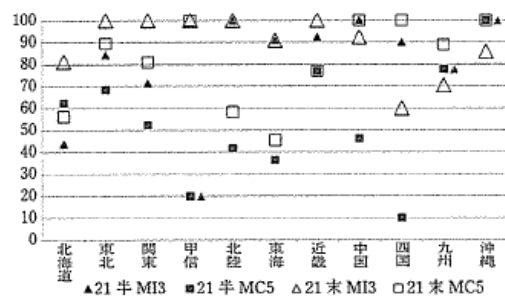


図 78. 将来リスクが高まる地域割合 (%)
(注意報基準 : 8.5)

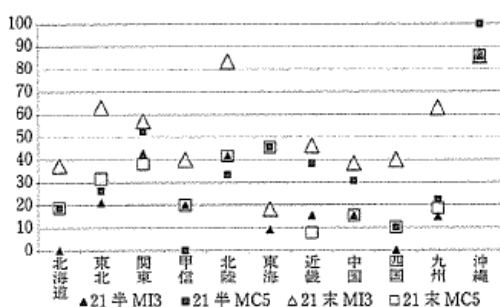


図 79. 将来リスクが高まる地域割合 (%)
(警報基準 : 2.6)

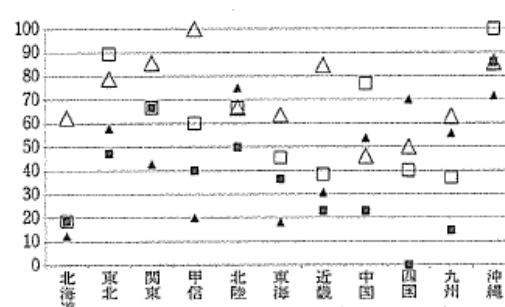


図 80. 将来リスクが高まる地域割合 (%)
(警報基準 : 8.6)

2.6 : RCP2.6、8.5 : RCP8.5、21 半 : 21 世紀半ば、21 末 : 21 世紀末、MC5 : MIROC5、MI3 : MRI-CGCM3

【被災率】

結果の事例として、50 年確率降雨量での将来リスクが高まる地域割合を図 81、図 82 に示す。全般的な傾向として、各地方ごとのリスクは、MRI-CGCM3 では 21 世紀半ばよりも 21 世紀末の方が一層高くなる。一方で MIROC5 では、地方によって 21 世紀半ばと 21 世紀末のリスクの大小が異なった。

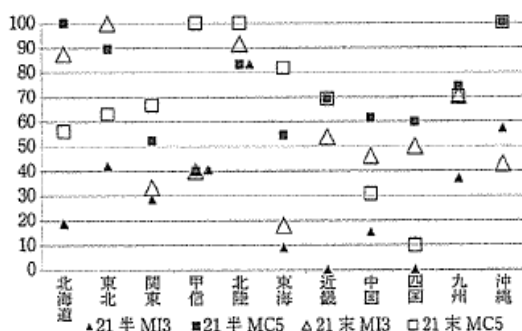


図 81. 将来リスクが高まる地域割合
(%)
(50 年確率 : 2.6)

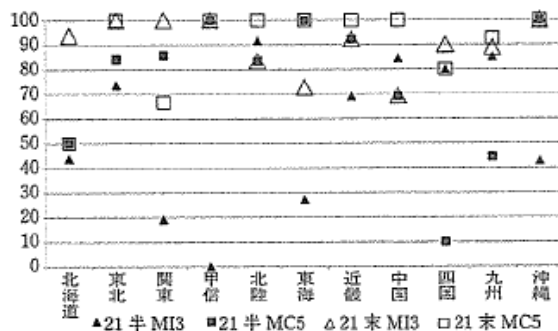


図 82. 将来リスクが高まる地域割合 (%)
(50 年確率 : 8.5)

2.6 : RCP2.6、8.5 : RCP8.5、21 半 : 21 世紀半ば、21 末 : 21 世紀末、MC5 : MIROC5、MI3 : MRI-CGCM3

2.3 森林・林業

2.3.1 人工林

2.3.1.1 スギ林

① 温暖化に対するスギ人工林の脆弱性マップ

1. 執筆者（公表年）	松本陽介、重永英年、三浦覚、長倉淳子、埤田宏（2006 年）
2. 掲載紙	地球環境 11(1), 43-48.
3. 対象品目	スギ（生育適域）
4. 対象地域	全国（沖縄県を除く）
5. 予測手法の概要	予測期間：1971～2000 年、2081～2100 年
	空間解像度：2 次メッシュ（5'×7' 30"）
	気候モデル：気候統一シナリオ
	排出シナリオ：温暖化シナリオ
	適応策の検討：なし ⁸⁴
予測手法：蒸散降水比（= 年蒸散量 ⁸⁵ ／年降水量）を設定 ⁸⁶	
スギの生育不適域：蒸散降水比が 0.5 以上の 2 次メッシュ ⁸⁷	
6. 影響の概要	
【生育適域】 現在の年蒸散量と年降水量から求めた蒸散降水比の全国マップを図 83（左）に、将来予測値（2081～2100 年）から計算した蒸散降水比の全国マップ（2 次メッシュ）を図 83（右）に示す。将来の蒸散降水比は、降水量の増加が大きくなる中国地方の瀬戸内側や九州北部では現在に比べて低下するが、関東平野、青森県北部などでは上昇する。 全国では、スギの生育が不適となる閾値（0.5）以上の 2 次メッシュに存在するスギ人工林面積は、現在の環境下では約 24,000ha であるが、温暖化シナリオ下では約 43,000ha に増加すると推定された。	

⁸⁴ 「大半が山地斜面に作られているスギ人工林の樹種転換を大規模に短期間で行うことや高額を要する投資は困難と思われ、脆弱性対策として大規模な灌漑・灌水を行うことには自ずと限界がある」と記載されている。

⁸⁵ 一定の葉量を持つスギ人工林分を想定し、葉のガス交換特性と月別の 2 次メッシュ気候値とから、全国の 2 次メッシュ毎に林分の年蒸散量を計算した。蒸散量の計算は The Potential Effect of Climate Change on the Transpiration of Sugi (Cryptomeria japonica D. Don) Plantations in Japan. 農業気象 60 (5), 451-456. Shigenaga ら(2005)と同様の方法で行った。

⁸⁶ 当該文献では、蒸散降水比による評価とは別に、土壌保水力による現在評価が行われている。ただし、入力データに気候指標を用いておらず、将来影響評価には適応できないため、ここには記載していない。

⁸⁷ なお、スギ造林には不適とされる温量指数（月平均気温が 5℃以上の月に関して、各月平均気温と 5℃の差を年積算値）が 65 未満のメッシュ、及びスギ人工林が存在しないメッシュは空白とした。

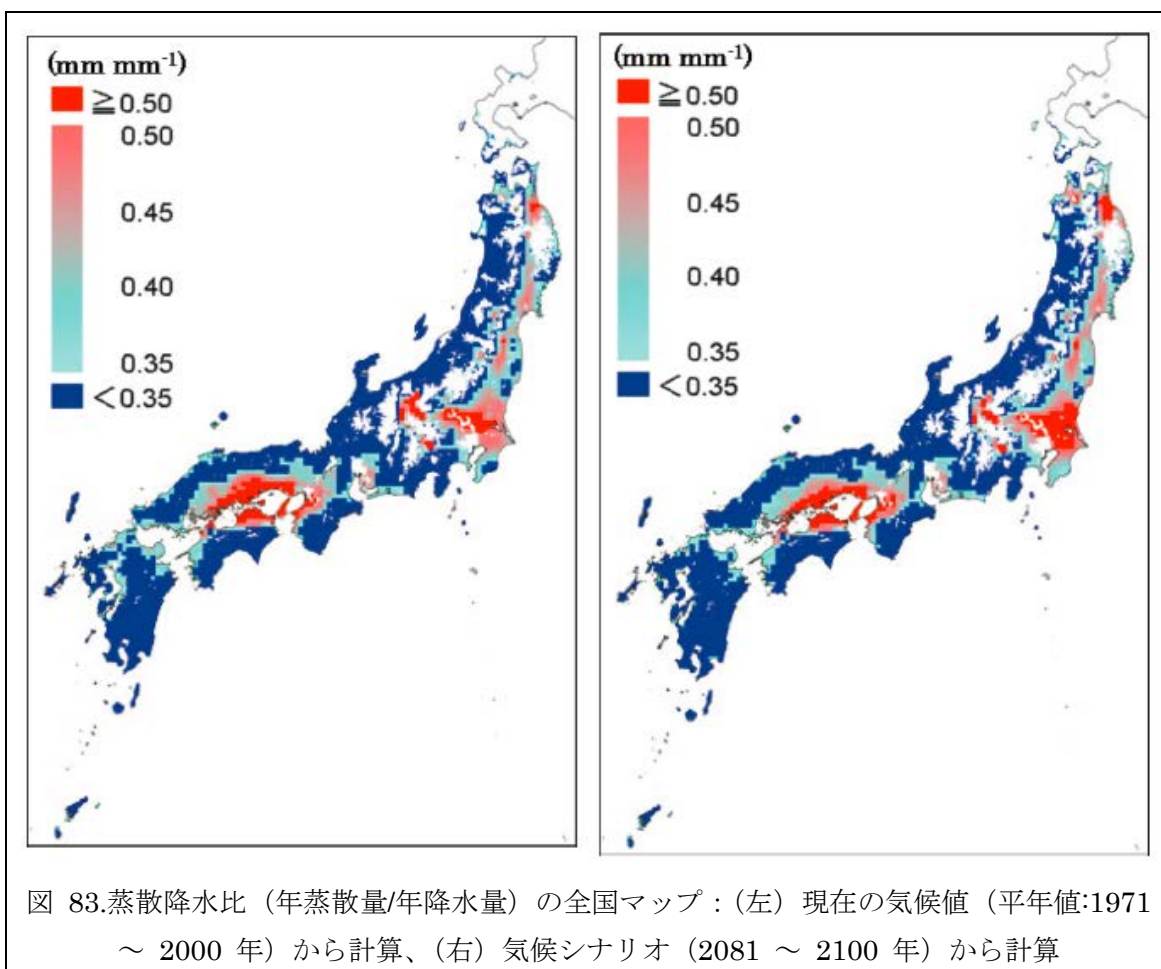


図 83.蒸散降水比（年蒸散量/年降水量）の全国マップ：（左）現在の気候値（平年値:1971～2000 年）から計算、（右）気候シナリオ（2081～2100 年）から計算

2.3.1.2 マツ林

① S-4 温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究 第2回報告書 地球温暖化「日本への影響」-長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価-

1. 執筆者（公表年）	温暖化影響総合予測プロジェクトチーム（2009）
2. 掲載紙	国立環境研究所 HP https://www.nies.go.jp/s4_impact/pdf/20090612.pdf
3. 対象品目	マツ（マツ枯れ危険域）
4. 対象地域	全国（北海道・東北、関東・甲信越・北陸、東海・中部・近畿、中国・四国・九州）
5. 予測手法の概要	予測期間：2020年代（2011～2030年）、2030年代（2021～2040年）、2040年代（2031～2050年）、2050年代（2041～2060年）、2060年代（2051～2070年）、2070年代（2061～2080年）、2080年代（2071～2090年）、2090年代（2081～2100年）、現在は1971～2000年
	空間解像度：全国4地域（都道府県レベルを各地域に集約）
	気候モデル：MIROC3.2-hires
	排出シナリオ：450s ⁸⁸ 、550s ⁸⁹ 、BaU ⁹⁰
	適応策の検討：なし
予測手法：月平均気温によるしきい値（MB 指数）を基にした県別の影響関数（未記載）を利用 MB 指数：各月の平均気温の積算温度。各月の平均気温のうち、15℃以上の月について、15℃を引いた値を合計して求められる。 ・マツ枯れの発現が抑制されている自然抑制域（ゾーン1）：MB 指数<19 ・自然抑制限界域（ゾーン2）：19≤MB 指数<22 ・マツ枯れの危険性が高い危険域（ゾーン3）：MB 指数≥22 作成した3次メッシュの潜在マツ林域に対して、メッシュ気候値2000のデータの各メッシュの月平均気温が1℃ずつ上昇した場合の気温環境を構築した。さらにメッシュごとのMB指数を基に県別の影響関数を作成した。影響関数には、全メッシュポイントに対する、リスクゾーン3（後述）となるポイントの割合を計算した値が格納されている。	

⁸⁸ GHG 濃度 450ppm（二酸化炭素等価濃度、本分析による 2100 年時は約 2.1℃上昇）安定化シナリオ。GHG 濃度のオーバーシュート有り。平衡気温上昇が約 2.1℃（産業革命前比）

⁸⁹ GHG 濃度 550ppm（二酸化炭素等価濃度）安定化シナリオ。GHG 濃度のオーバーシュート有り。平衡気温上昇が約 2.9℃（産業革命前比、本分析による 2100 年時は約 2.7℃上昇）

⁹⁰ なりゆきシナリオ。気温上昇が 2100 年で約 3.8℃（産業革命前比）。なお、1990 年比の気温上昇量は産業革命前比-0.5℃で換算できる。

6. 影響の概要

【全国的な傾向】

温暖化の進行に伴いマツ枯れ危険域が拡大する。安定化レベルに関わらず、将来にわたりマツ枯れ危険域は拡大すると見込まれる。しかし、GHG 安定化濃度が最も低い 450s シナリオでは、今世紀末頃にその拡大傾向が止まる可能性が見込まれる。450s、550s、BaU シナリオにおける全国のマツ枯れ危険域は、今世紀中頃（～2050s）には、約 22%、約 26%、約 28%とシナリオ間でやや差が現れるが、今世紀末頃（～2090s）にはシナリオ間で危険域に大きな差が生じ、それぞれ、約 27%、約 37%、約 51%に達すると見込まれる（図 84）。

【地域別の傾向】 どの地域も温暖化の進行に伴いマツ枯れ危険域が広がっていくと予想される（図 85）。

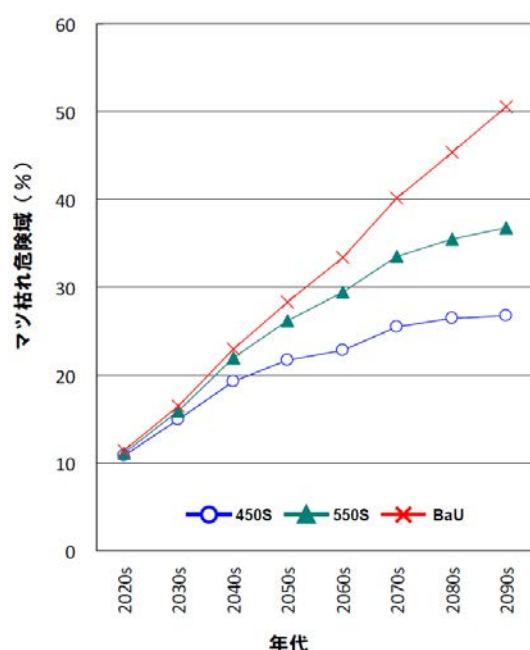


図 84. 1990 年を基準とし、マツ枯れ危険域でない地域が危険域に変わっていく割合（全国平均）

2100 年まで毎年割合を算定し 20 年間の平均値を表示

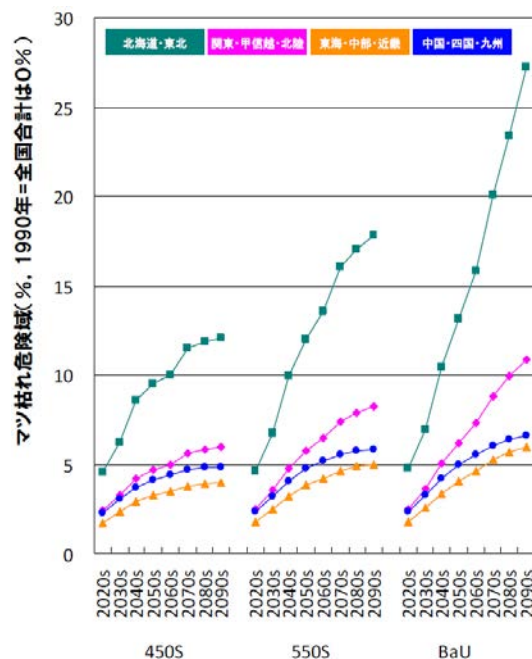


図 85. 1990 年を基準とし、マツ枯れ危険域でない地域が危険域に変わっていく割合（地域別）

2100 年まで毎年割合を算定し 20 年間の平均値を表示

2.3.2 天然林

① S-8-1(5)地球温暖化が日本を含む東アジアの自然植生に及ぼす影響の定量的評価【委員ご提供情報】

1. 執筆者(公表年)	温暖化影響総合予測プロジェクトチーム (2009 年)
2. 掲載紙	S-8 地球温暖化「日本への影響」・新たなシナリオに基づく総合的影響予測と適応策-
3. 対象品目	ハイマツ、シラビソ、ブナ、アカガシ (潜在生育域)
4. 対象地域	全国 (沖縄県除く)
5. 予測手法の概要	予測期間: 2081~2100 年
	空間解像度: 1km メッシュ
	気候モデル: MIROC5、MRI-CGCM3、GFDL-CM3、HADGEM2-ES
	排出シナリオ: RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5
	適応策の検討: あり (ブナについて、保護区内外の潜在生育域の比較)
	予測手法: 分布予測モデルによる
分布予測モデルに将来の気候シナリオを組み込むことにより、将来における種の分布可能な環境をもつ地域 (潜在生育域) の予測を行う。ただし、本文献内には分布予測モデルに組み込む具体的な気象要素や関係式の記載は無い。	
6. 影響の概要	
日本の 4 つの気候帯で優先する 4 つの樹種の潜在生育域 (寒帯: ハイマツ、亜高山帯: シラビソ、冷温帯: ブナ、暖温帯: アカガシ) に関する将来影響予測を行っている (図 86)。 【ハイマツ】 現在と 2081-2100 年の RCP8.5 の結果を比較すると、ハイマツは全ての地域で絶滅リスクが高まる。 【シラビソ】 シラビソでは、潜在生育域からはずれる分布南限の四国における山頂付近の個体群が、脆弱であると推定される。 【ブナ】 ブナでは、本州太平洋側から西日本の地域の潜在生育域がほとんどなくなるため、この地域の個体群が脆弱であると推定される。 【アカガシ】 アカガシは、潜在生育域は増加するものの、移動速度が遅いことや生育する自然林が分断されているため、分布拡大は遅いと予測されている。	

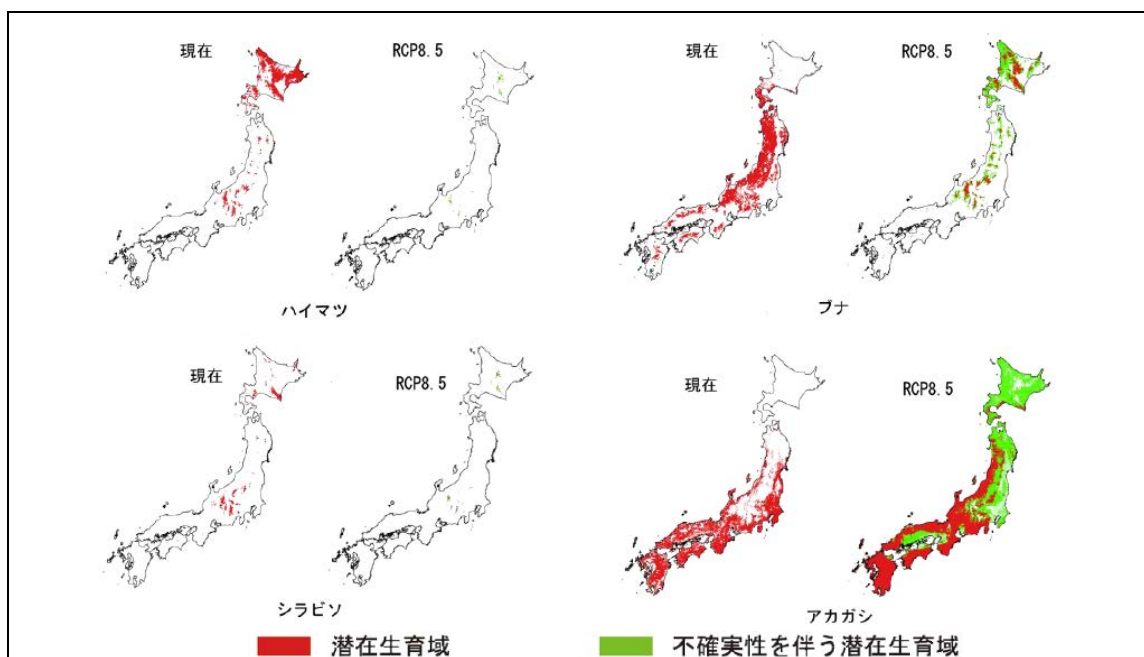


図 86 ハイマツ、シラビソ、ブナ、アカガシにおける現在気候と RCP8.5 の将来気候シナリオで予測された潜在生育域

潜在生育域は、2081～2100 年の 4 つの GCM にもとづく分布確率の中央値によって特定した。不確実性を伴う潜在生育域は 4 つの GCM のいずれかで潜在生育域になると予測された地域を示す。

【適応策の検討】

ブナの潜在生育域と既存の保護区の地理的比較によると、保護区内の潜在生育域は、現在気候で 22,122km² あるが、RCP8.5 で 4,525km² に減少した。一方で保護区外の潜在生育域は、現在気候で 40,445km² あるが、RCP8.5 で 1,965km² に減少した。このことから、中部から北海道南部の保護区外の潜在生育域を保護区に変更することが 1 つの適応策と考えられる。一方で、生物多様性の観点から、遺伝的形質が異なる本州太平洋側と西日本地域のブナの保護も重要である。このように、ブナの適応策は地域によって異なる方法が有効と考えられる。

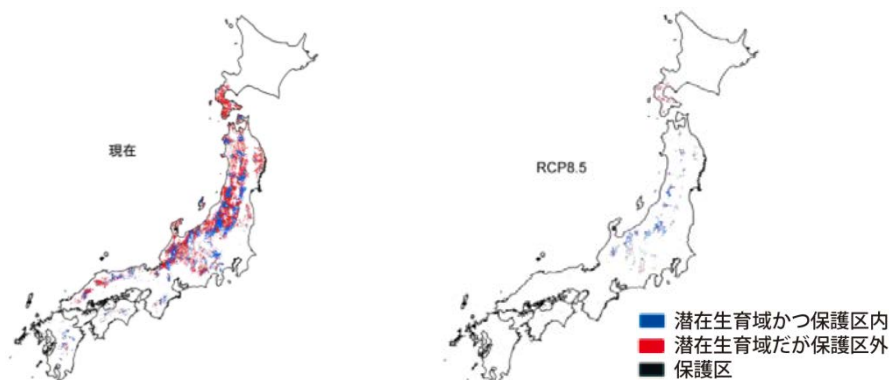


図 87 現在と 2081～2100 年 RCP8.5 におけるブナの潜在生育域の比較.

現実的な評価を行うため、ブナの潜在生育域は、実際の分布域内に限定してある
青：潜在生育域かつ保護区内、赤：潜在生育域だが保護区外、灰色：保護区

2.3.3 鳥獣害

2.3.3.1 シカ

① Land abandonment and changes in snow cover period accelerate range expansions of sika deer 【委員ご提供情報】

1. 執筆者（公表年）	Haruka Ohashi, Yuji Kominami, Motoki Higa, Dai Koide, Katsuhiro Nakao, Ikutaro Tsuyama, Tetsuya Matsui, Nobuyuki Tanaka（2016 年）
2. 掲載紙	Ecology and Evolution; 6: 7763–7775
3. 対象品目	ニホンジカ（分布域）
4. 対象地域	日本（全国）
5. 予測手法の概要	予測期間：2028 年、2053 年、2078 年、2103 年
	空間解像度：1km メッシュ
	気候モデル：CSIRO-Mk3.0、MRI-CGCM2.3.2a、GFDL-CM2.1、MIROC3.2(high resolution)
	排出シナリオ：SRES A1B
	適応策の検討：なし
	予測手法：シカの永続性コロニー形成モデルを使用（図 89）

ニホンジカの生息地の適合性を計算するために、気候、土地利用、地形の変数を使用、モデルを開発した（図 88）。

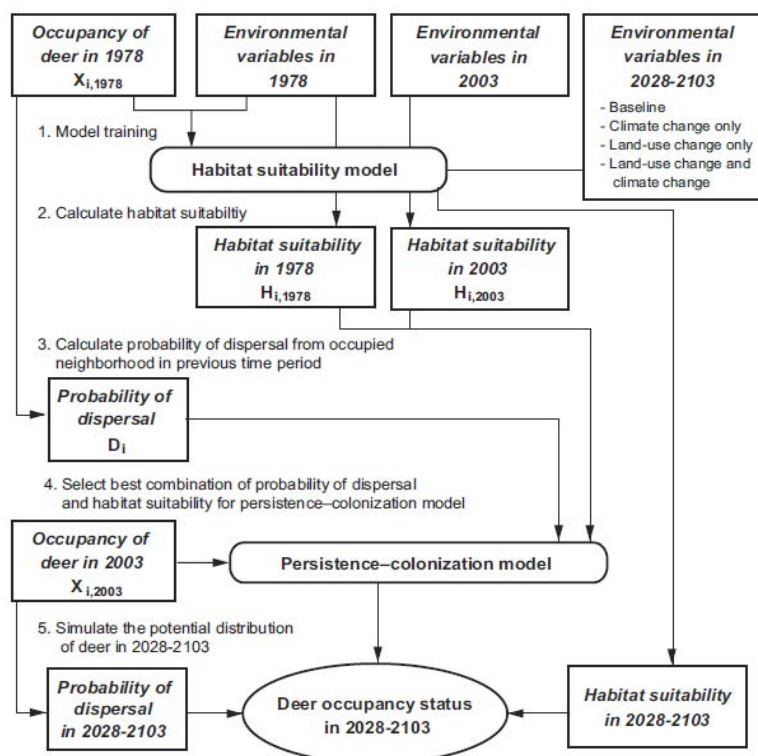


図 88. 永続性コロニー形成モデルに用いられるモデル化手順の模式図

このモデルを用いて、土地利用の変化と気候変動の組み合わせを伴う 4 つのシナリオの下、今後 100 年のシカの分布範囲の変化を予測した。

6. 影響の概要

【分布域】

今後 100 年間で、ニホンジカの広範囲の拡大が予測された（図 89）⁹¹。2028 年には、気候変動と土地利用の変化がシカの分布範囲に及ぼす影響は比較的小さい。気候変動と土地利用シナリオの違いは 2078 年以降に明確となる。

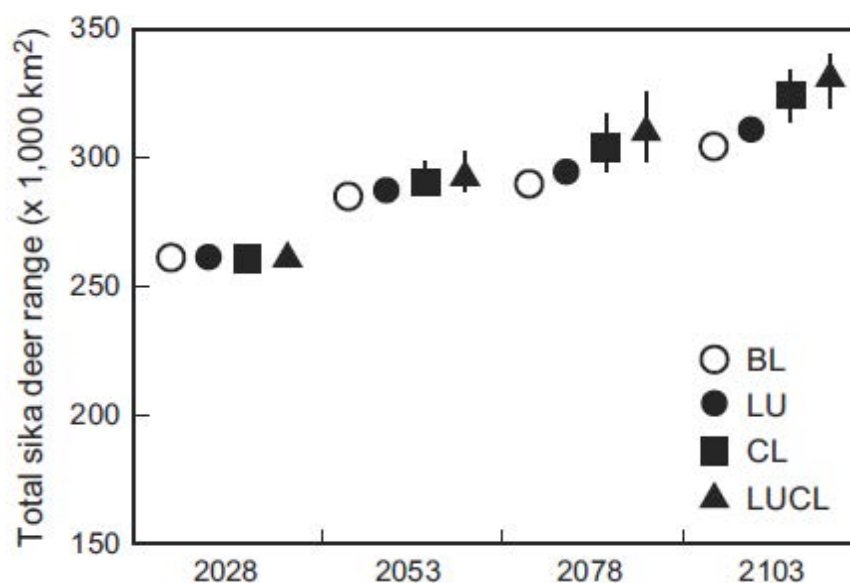


図 89. 2028 年、2053 年、2078 年、2103 年におけるニホンジカの分布域面積予測

BL：ベースラインシナリオ（気候変動なし）、LU：土地利用変化のみのシナリオ、
CL：気候変動のみのシナリオ、LUCL：土地利用と気候変動を考慮したシナリオ
バーは 95 パーセンタイルを示す。

ベースラインシナリオでは、2103 年に、 $304.2 \times 10^3 \text{ km}^2$ まで分布域が拡大する（図 90a）。土地利用変化のみのシナリオでは、ベースラインシナリオより 1.4%から 2.6%広く拡大する（図 90b）。気候変動のみのシナリオはベースラインシナリオより 3.1%から 9.8%広く拡大する（図 90c）。両方を考慮したシナリオでは、ベースラインシナリオより 4.6%から 11.9%広がる（図 90d）。特にニホンジカの範囲拡大は、郊外周辺および本州北部で発生すると予測された（図 90g）。

⁹¹本文中に明確な面積は記載されていないが、1978 年から 2003 年の間の分布変化メッシュ数（10925 個：5km メッシュ）から約 $273.1 \times 10^3 \text{ km}^2$ が元となる分布域と考えられる。

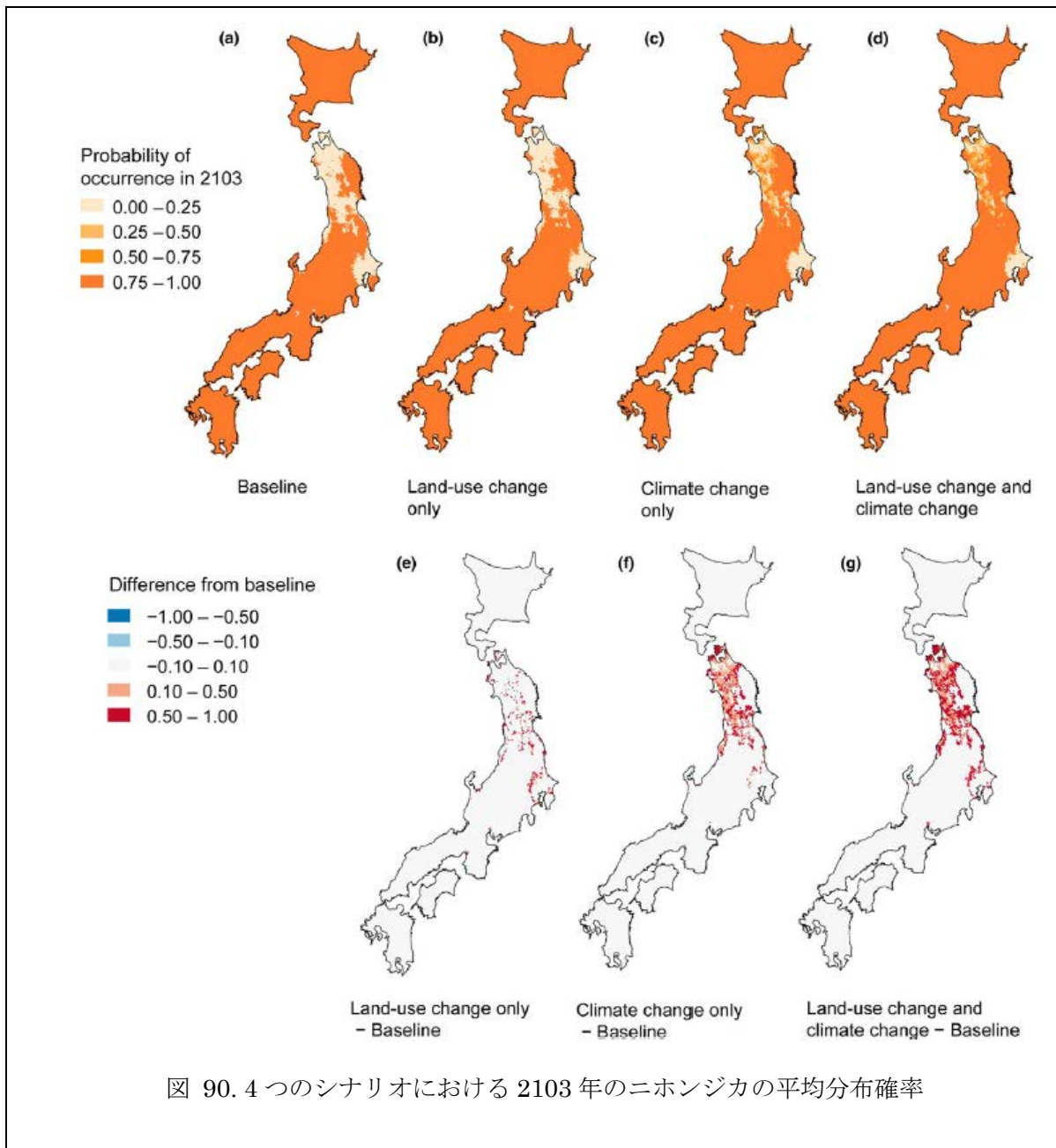


図 90. 4 つのシナリオにおける 2103 年のニホンジカの平均分布確率

2.4 水産業

2.4.1 水産業（増養殖類）

① 水産資源ならびに生息環境における地球温暖化の影響とその予測⁹²

<スサビノリについて>

1. 執筆者(公表年)	水産総合研究センター (2014)
2. 掲載紙	水産研究・教育機構 - 水産総合研究センターHP https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/ondanka/siryo1.pdf
3. 対象品目	スサビノリ ⁹³ (養殖適地)
4. 対象地域	日本周辺海域
5. 予測手法の概要	予測期間: 短期(現状+1.0℃上昇)、中期(現状+1.4℃上昇)、長期(現状+2.9℃上昇)
	空間解像度: - (未記載)
	気候モデル: - (未記載)
	海面水温上昇は、現状、現状+1.0℃、現状+1.4℃、現状+2.9℃の4段階
	排出シナリオ: SRES A2
	適応策の検討: なし
予測手法: 各期における適正水温の設定	
・葉体期(冬季。遅くとも1月): 5℃以上、20℃以下 ・採苗(殻胞子)期(10月以降): 10℃以上、25℃以下	
6. 影響の概要	
【短期的(現状+1.0℃上昇時)】 葉体期の生育下限水温5℃以下となる海域は、日本海沿岸の宗谷地方からオホーツク海沿岸、北海道東部沿岸を経て、太平洋沿岸の襟裳岬まで、現状と余り変わらない(図91左下)。12月に有明海を除く我が国の主要養殖漁場で、水温20℃以下となり養殖可能となる。有明海では1月以降水温20℃以下となり養殖可能となる。東京湾から有明海に至る養殖漁場では、養殖時期が1ヶ月程度遅れる。また、長崎県以南及び関東以西の太平洋岸では採苗時期が1ヶ月程度遅れる(図92左下)。 【中期的(現状+1.4℃上昇時)】 葉体期の生育下限水温5℃以下となる海域は、北海道東部沿岸(日高、十勝、根室)のみとなる。最低水温期である冬季(2月)においても、九州南部(鹿児島県)で生息上限水	

⁹² ホタテガイ養殖の項目が文献の目次には記載されているが、文献中には掲載されていないため、ここでは対象外とした。

⁹³ 本予測事例研究の出典は、「平成14・15年度地球温暖化に対応した漁場、漁港漁村対策調査総合報告書、水産工学研究所、平成16年3月(スサビノリ)」及び「地球温暖化に対応した漁場、漁港漁村対策調査、平成14年度会議資料(未発表)」

温 20℃以上となり、養殖不適となる（図 91 右上）。一方、水温上昇に伴い、北海道日本海沿岸域からオホーツク海沿岸域において養殖可能となるため、北日本での養殖生産の増加が期待できる。長崎県以南、関東以西の太平洋沿岸域では採苗時期が1ヶ月程度遅れる（図 92 右上）。

【長期的（現状+2.9℃上昇時）】

葉体期の生育下限水温 5℃以下となる海域は無くなり、北海道全域で生育可能となる。一方、最低水温期である冬季（2月）においても、鹿児島県から和歌山県に至る太平洋沿岸域南岸で生息上限水温 20℃以上となり、養殖不適となる（図 91 右下）。一方、水温上昇に伴い、北海道全域が養殖可能域となり、北日本での養殖生産の増加が期待できる。有明海の養殖可能期間は1ヶ月程度となる。採苗時期は全国的に1ヶ月程度遅れる（図 92 右下）。

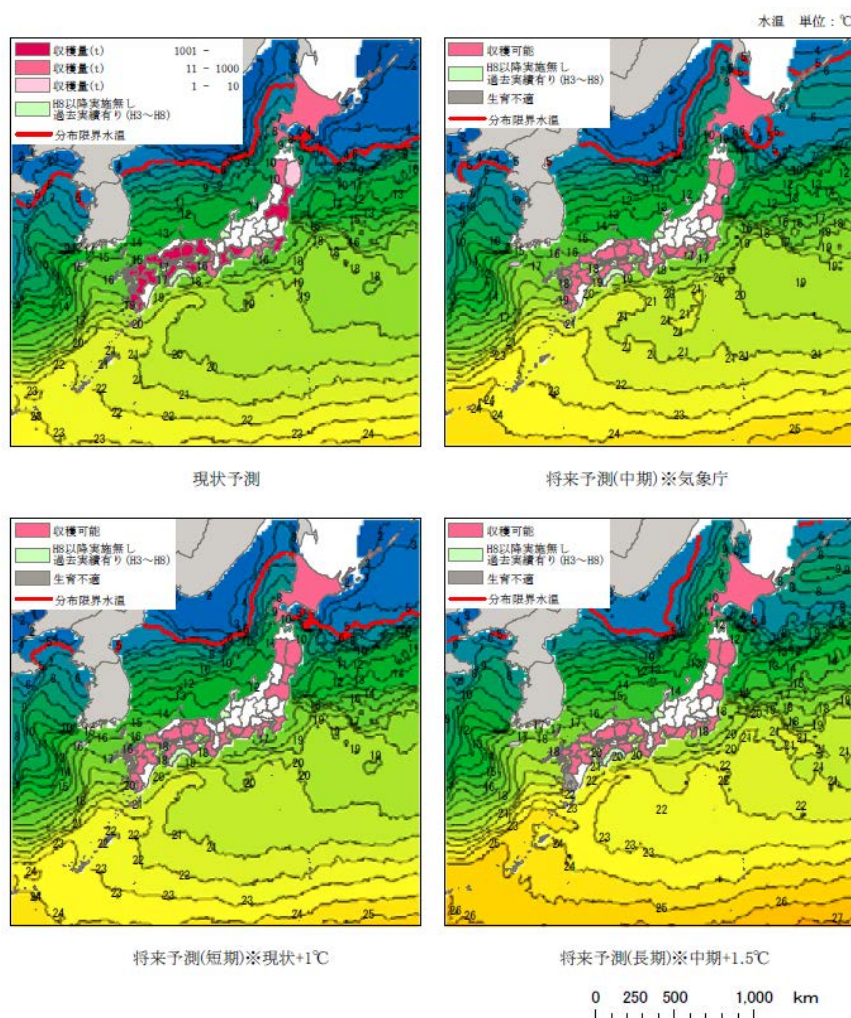


図 91. 2 月低温期における海水温分布及びスサビノリ収穫可能都道府県分布 ⁹⁴

⁹⁴ わかりやすさを優先し、図の論文中タイトル「低温期・2 月」から変更してあることに留意。

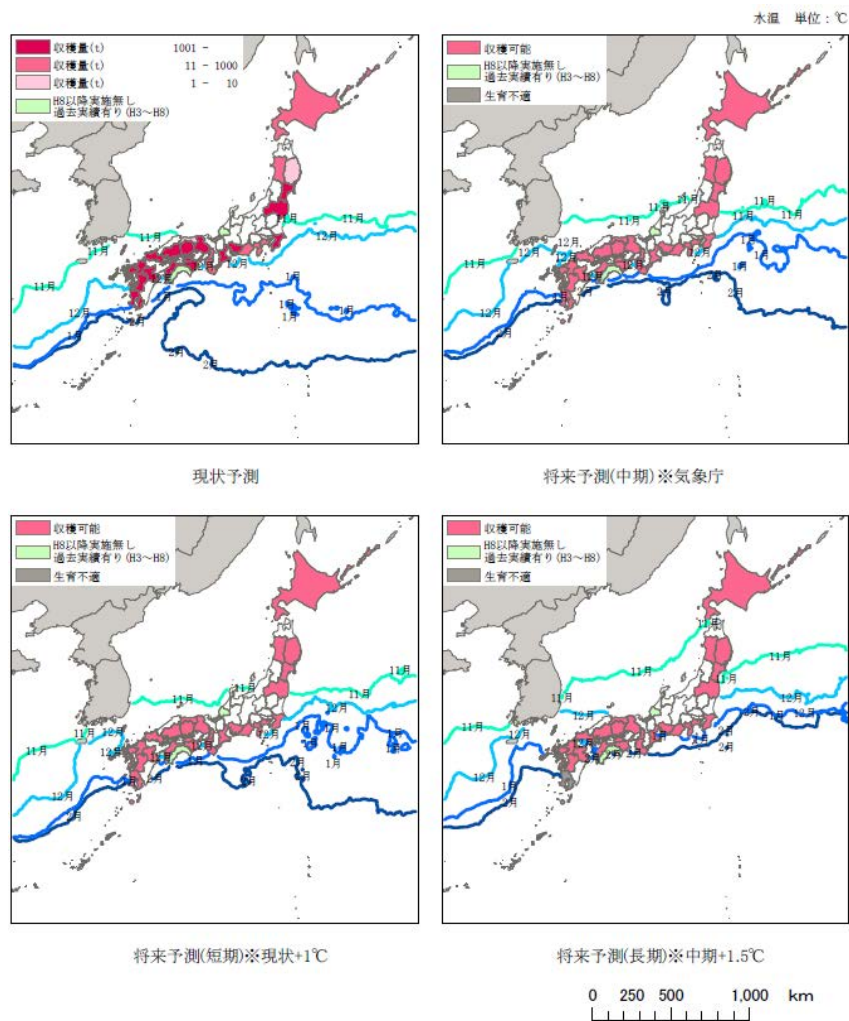


図 92. 葉体期における海水等温線 (20°C) 及びスサビノリ収穫可能都道府県分布 ⁹⁵

⁹⁵ わかりやすさを優先し、図の論文中タイトル「葉体期 (20°C)」から変更してあることに留意。

2.4.2 水産業（回遊性魚介類）

① 温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測

1. 執筆者（公表年）	桑原久実、明田定満、小林聡、竹下彰、山下洋、城戸勝利（2006）
2. 掲載紙	地球環境 Vol. 11 No. 1 49－57
3. 対象品目	「多獲性種」マイワシ、マサバ、カツオ、サンマ、マアジ、サケ（シロザケ）、スケトウダラ、ズワイガニ、スルメイカ（分布域（漁場）） 96
4. 対象地域	日本周辺海域
5. 予測手法の概要	予測期間：30年後（短期）、50年後（中期）、100年後（長期） ただし、2100年を100年後としている。
	空間解像度：20km 格子
	気候モデル：－ 月別の海面水温データ（地球温暖化予測情報第5巻、気象庁）をベースに、2100年に海水温上昇が現在より2.9℃上昇（IPCC 第3次評価報告書）するように、補正を行ったもの ⁹⁷ データを使用。
	排出シナリオ：－
	適応策の検討：なし
	予測手法：生息可能水温の高温側と低温側の限界値（評価水温）を設定（表24）。

表 24. 評価設定水温の一覧（一部変更）

移動性の分類	種類	生活史	評価水温（℃）：低温側～高温側
多獲性種	マイワシ	成魚	JAFIC のデータ使用 ⁹⁸
	マサバ		
	カツオ		
	サンマ		
	マアジ		
	サケ（シロザケ）	成魚	8～18
		稚魚	12～18
	スケトウダラ	成魚	－1～12
	ズワイガニ	成体	1～17
	スルメイカ	成体	2～28
6. 影響の概要			

⁹⁶ 我が国で主に漁獲されている34種が文献の対象であるが、本項目は「回遊性魚介類」のため、34種のうち、文献中の移動性の分類にて「多獲性種」に分類された9種を記載した。

⁹⁷ 「現状」は気象庁が算出した現状水温値、「短期」は現状水温+1.0℃、「中期」は気象庁が算出した長期水温値、「長期」は中期の水温+1.5℃とした。この水温上昇の設定は、100年間で2.9℃上昇する（上昇速度は一定）。

⁹⁸ JAFIC（漁業情報サービスセンター）が所有するサンマ棒受網漁期の8～11月における操業時の海面水温データ（1989～2001年）を利用した。これによると、漁場は、8月は16～20℃、9月は16～19℃、10月は12～23℃、11月は12～22℃に形成され、これを評価水温に設定した。なお、サンマ以外については、JAFICからの提供データの詳細について記載なし。

【分布域（漁場）】サバ、カツオ、サンマなど浮魚類は、漁獲時期、操業期間などに若干の変化が見られるものの遊泳力が強いいため影響は軽微、スケトウダラ、ズワイガニなど底魚類は、水深 100 m 以深の水温上昇は僅かであり影響は現れない。

水温上昇によるサンマ漁場の変化を示す（図 93）。9 月は、現状では北海道東部の根室半島沖に漁場（赤で囲まれた領域）が形成されるが、短期、中期と水温が上昇するに従い北上し、長期では日本近海では漁場が形成されない（北方四島で形成されるが、経済水域外）。11 月では、現状では三陸沖～千葉県銚子沖に漁場が形成されるが、水温が上昇するに従い北上し、長期では根室～いわき沖に分布するようになり、銚子沖には漁場は形成されない。多獲性種の浮き魚のマイワシ、マサバ、マアジなどは、サンマと同様な傾向が見られたが、分布水深の深いスケトウダラやズワイガニは、水深 200 m で評価すると温暖化による水温上昇はほとんど現れず、影響が少ないと考えられた。

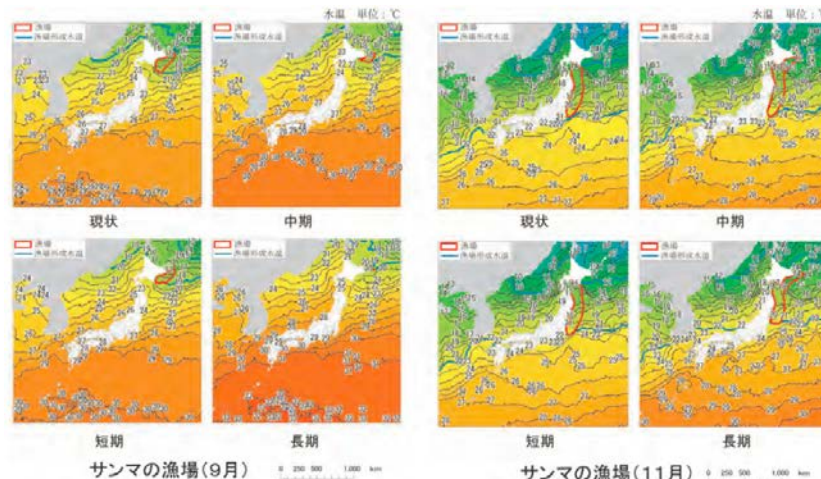


図 93. 水温上昇によるサンマ漁場の変化予測

図 94 は対象種が水温上昇に伴い分布域を変化することにより、各海域（海域区分）で生じる影響予測をしたものである。浮魚については一部の種類で漁場変化が生じ、漁業時期、操業時間および漁獲量に若干の変化が生じるものと考えられるが、多獲性の浮魚は総じて遊泳力が強く水温への応答が鋭敏であるため、影響は比較的軽微であると予測される。また、水深の深い場所に生息する種は、水温変化が少なく影響が少ないものと考えられる。

図 94. 多獲性種の影響予測

海域区分	都道府県	種別	マイワシ			マサバ			カツオ(三陸沖漁場)			サンマ(三陸沖漁場)			マアジ			シロギス			スケトウダラ			ズワイガニ			スルメイカ		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道区	北海道	手廻り時期	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
太平洋北区分	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
太平洋中区分	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
太平洋南区分	和歌山、徳島、高知、宮崎		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
東シナ海区分	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
日本海北区分	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
日本海西区分	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	
瀬戸内海区分	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	

② 温暖化が与える日本海の主要回遊性魚類の既存産地への影響予測

1. 執筆者（公表年）	木所英昭、渡邊達郎、田永軍、井桁庸介、森本晴之、藤野忠敬（2011）
2. 掲載紙	地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発、483、261-267
3. 対象品目	スルメイカ（分布密度）、ブリ（品質）
4. 対象地域	日本海
5. 予測手法の概要	予測期間：2025 年、2050 年、2075 年、2100 年
	空間解像度：1/12 度グリッド
	気候モデル：MIROC（気候）
	排出シナリオ：SRES A1B
	適応策の検討：なし
	予測手法：日本海渦解像海洋大循環モデル（RIAMOM ⁹⁹ ）
【スルメイカ】既存の調査船調査結果によるスルメイカの分布密度と水温の関係と、RIAMOM による日本海の物理環境（水温等）の予測結果を用いて、日本海におけるスルメイカの温暖化による分布状況の変化を予測した。 【ブリ】これまでの卵稚仔分布調査で得られたキュウリエソ（餌生物）の採集結果をもとに水温で指標化するとともに、RIAMOM による温暖化予測結果からキュウリエソの分布範囲を（暖水域の生態系の範囲として）予測した。高次捕食者であるブリが分布する海域における生態構造の変化予測から、栄養段階の変化及び品質の変化について想定した。	
6. 影響の概要	
【スルメイカ】 RIAMOM を用いた日本海の温暖化による水温予測をもとにすると、2050 年には本州北部沿岸域、2100 年には北海道沿岸域でスルメイカの分布密度が低い海域が拡大すると予測された。なお、日本海沿岸域ばかりでなく、亜寒帯冷水域にあたる日本海の中央部でもスルメイカの分布密度が夏季には分布密度が低下すると予測された（図 95）。また、既存産地における温暖化による影響として、漁獲量が減少する可能性が推察された。 【ブリ】 キュウリエソの分布域は温暖化によって拡大すると予測され、暖水域の生産構造の海域が拡大することを示唆した（図 96）。この結果は、栄養段階の高い（結果的に商品価値が低下する可能性がある）ブリの分布範囲が拡大することを示唆している¹⁰⁰。つまり、温暖化によ	

⁹⁹ RIAMOM（RIAM-Ocean Model）九州大学応用力学研究所（RIAM）で開発された日本海を対象にした高解像度海洋モデル

¹⁰⁰ 一般に、冷水域や湧昇域は生態構造が単純であり、高次捕食者の栄養段階が低く、エネルギーの効率が低い傾向がある。日本海の暖水域では、冷水域と異なり、動物プランクトンを直接、スルメイカやブリ

って、既存産地で漁獲されるブリの品質が低下することが想定される。

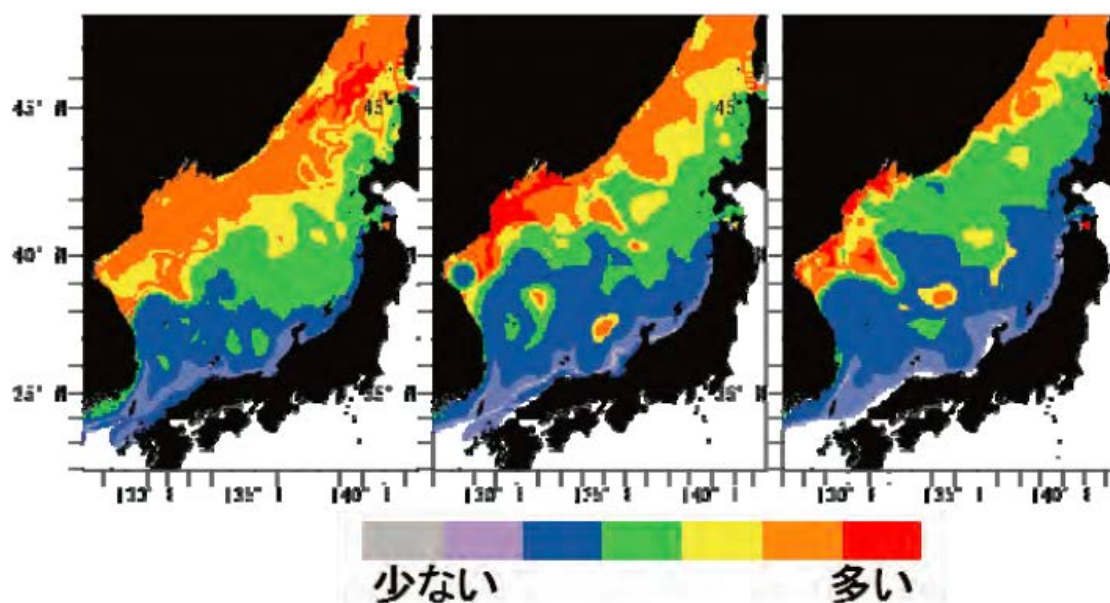


図 95. 温暖化による水温予測結果を用いた 2000 年、2050 年及び 2100 年の 7 月の日本海におけるスルメイカの分布密度予測図（一部抜粋）

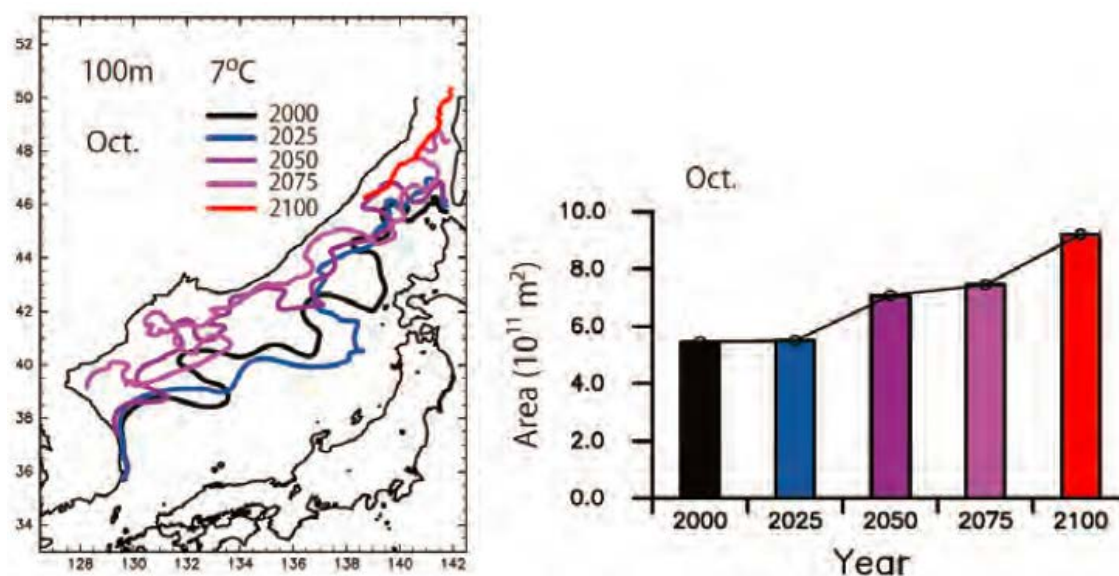


図 96. キュウリエソの分布条件（水深 100m の水温 7℃）を基にした 10 月の日本海におけるキュウリエソの分布範囲（左図）及び分布海域面積（右図）の変化予測

等の高次捕食者が利用するのではなく、動物プランクトンをマイクロネクトン（キュウリエソ）が捕食し、その後、マイクロネクトンを高次捕食者が利用する。そのため、暖水域のブリやスルメイカは一般的傾向から判断されるように冷水域よりも栄養段階が高くなると考えられる。

③ 水産資源ならびに生息環境における地球温暖化の影響とその予測¹⁰¹

<ヒラメについて>

1. 執筆者（公表年）	水産総合研究センター（2014）
2. 掲載紙	水産研究・教育機構・水産総合研究センターHP https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/ondanka/siryo1.pdf
3. 対象品目	ヒラメ ¹⁰² （養殖適地）
4. 対象地域	日本周辺海域
5. 予測手法の概要	予測期間：短中期（2010～2030 年）、長期（2100 年）
	空間解像度：日本周辺の海域 13 区分（図 97）
	気候モデル：－ 気象庁が発表した「日本周辺海域表層水温の長期変化」における平年値をベースに将来の海面水温を予測。 ・ 短中期予測は、IPCC AR4 における予測結果のうち、2010～2030 年における北緯 30～40 度付近表層の変化予測（0.5℃上昇）を前提。 ・ 長期予測は気象庁が発表した予測結果のうち海域別表層水温の変化予測を前提。
	排出シナリオ：SRES A1B
	適応策の検討：なし ¹⁰³
	予測手法：適水温 ¹⁰⁴ の設定
・ 成長適温：20～25℃ ・ 高い餌料効率：18～24℃ ・ 摂餌の不活発化：26℃超 ・ 斃死の増加：27℃以上 ・ 高温限界：32～33℃ ・ エドワジエラ症病原菌（<i>Edwardsiella tarda</i>）の増殖至適温度：30℃付近	
6. 影響の概要	
【養殖適地】 ヒラメ養殖の中心である、九州、四国沖を含む関東以南の太平洋岸における夏季表面水温の平年値は、斃死が増えるとされる 27℃あるいは摂餌が不活発になるとされる 26℃を越えている（表 25）。	

¹⁰¹ ホタテガイ養殖の項目が文献の目次には記載されているが、文献中には掲載されていないため、ここでは対象外とした。

¹⁰² 本予測事例研究の出典は、村田修（2005）ヒラメ。海水魚（熊井永水編、恒星社厚生閣、pp83-109）等に記載された適水温等に関する情報をもとに、水温上昇の予測値から推定。

¹⁰³ 「陸上養殖では、夏季であっても適当な水深から取水することで温度上昇の影響をある程度緩和できる可能性がある」と触れられている。

¹⁰⁴ 記載はないが、年平均と考えられる

短中期的（2010～2030 年）にはこうした水温帯の海域はそれほど大きく変化しないとみられるが、長期的には（2100 年）、太平洋側の関東東部海域（図 97H）、日本海側でも日本海南部海域（図 97K）にまで広がる可能性がある。

表 25. 海域別夏季表層水温の平年値と短中期および長期予測値 (°C)

海域	表層水温 平年値	短中期 (2010 ~2030)	長期予測 (2100)
A	24.5	25	27.4
B	26.4	26.9	28.8
C	28.1	28.6	30.2
D	28.9	29.4	30.9
E	28.4	28.9	30.5
F	27.8	28.3	29.9
G	27.2	27.7	29.3
H	24.5	25	26.8
I	20.8	21.3	22.8
J	16.8	17.3	19.4
K	24.4	24.9	26.8
L	22.4	22.9	25.2
M	17.7	18.2	20.8

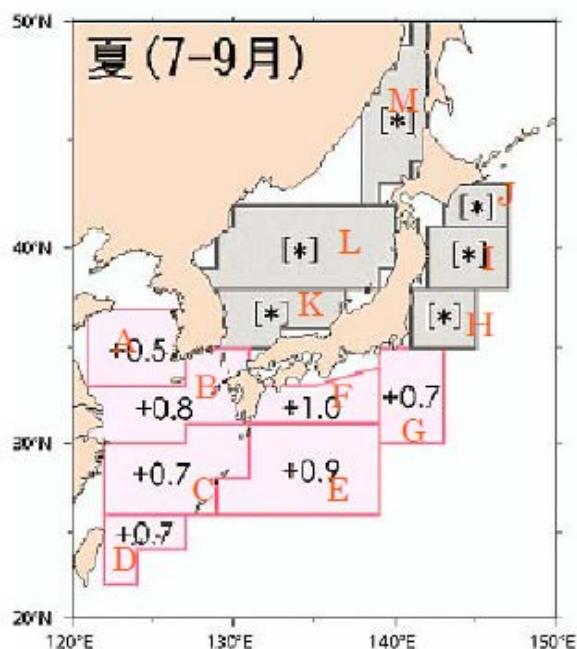


図 97. 日本周辺の海域区分と気象庁が算出した過去の日本近海の夏季における海域平均水温の長期変化傾向 (°C/100 年)

*で示す水域は長期変化傾向が統計的に有意でないことを示す。

3. 影響評価結果

将来展望（本編）において、新規影響評価を行った品目・項目に関するマップについては、1981-2000 年の結果と 2046-2055 年（RCP8.5）のみを掲載しています。本報告書ではその他の期間および RCP についてのマップを掲載しました。

3.1 気候

3.1.1 気温

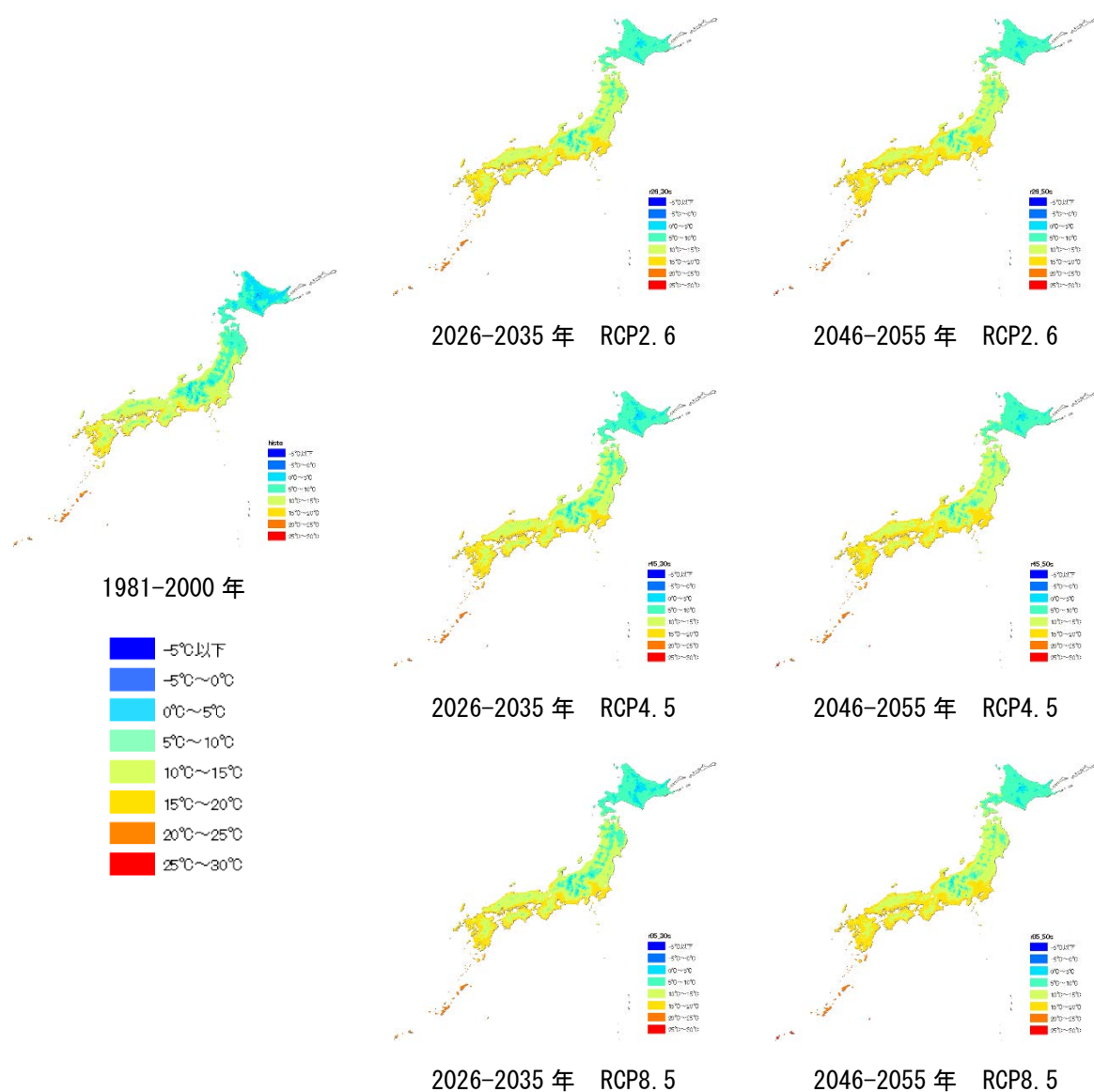


図 98 年平均気温の変化 (°C)

3.1.2 降水量

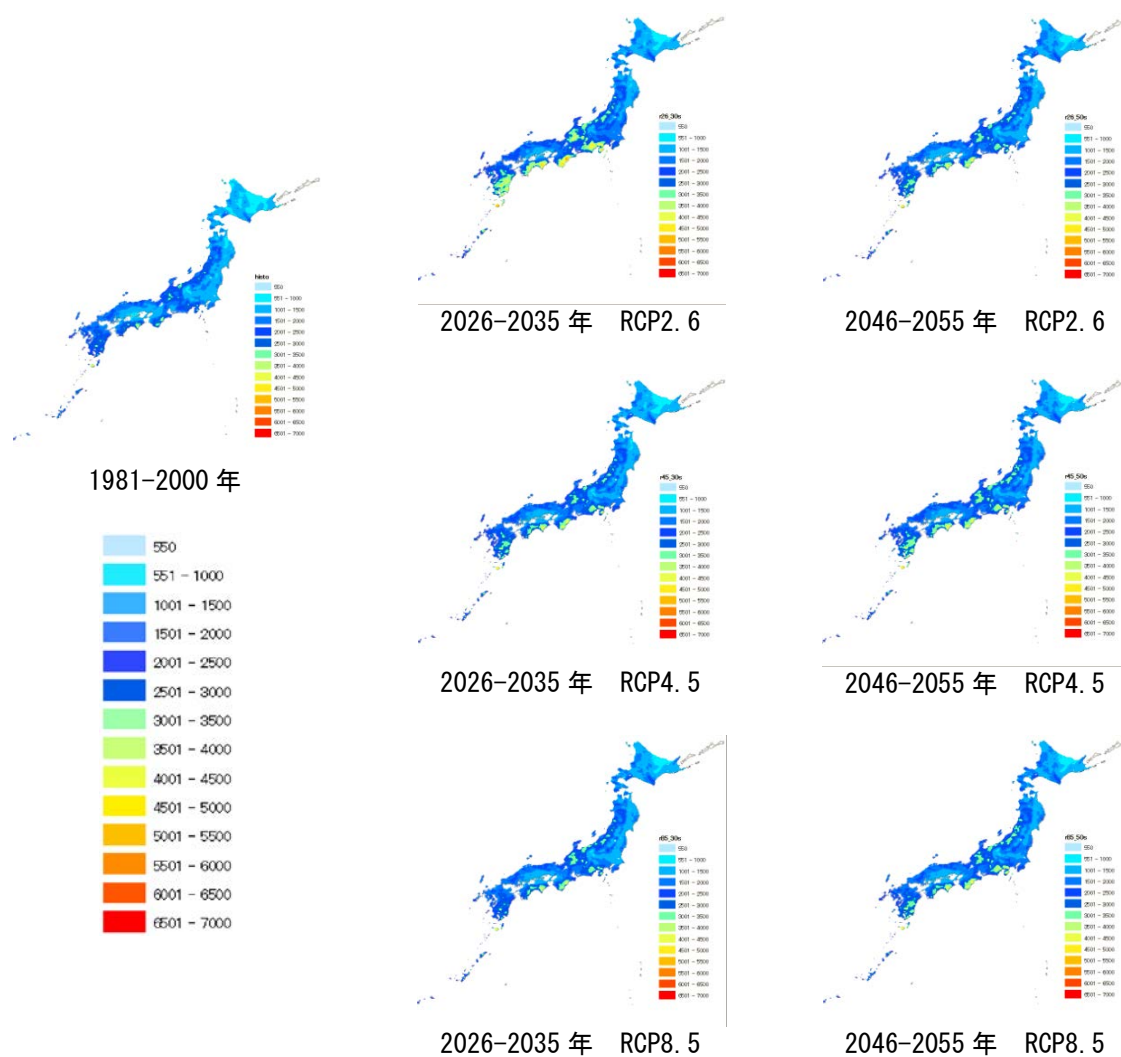
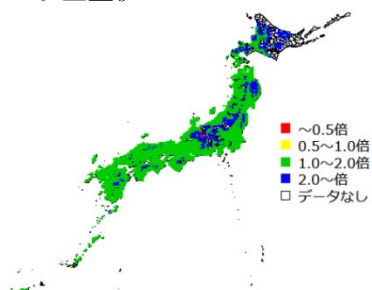


図 99 年降水量の変化 (mm)

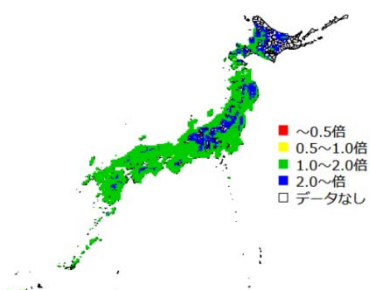
3.2 農業

3.2.1 水稻

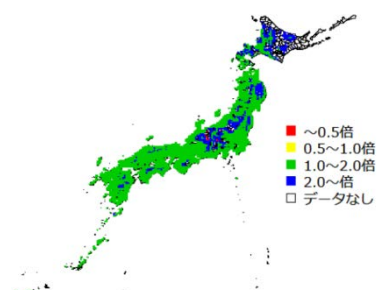
■ 収量重視



2031-2050 年 RCP2.6

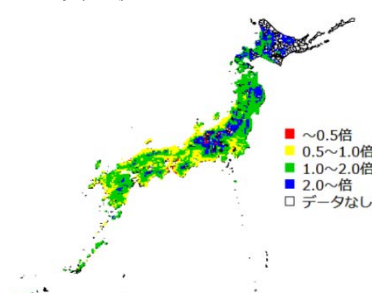


2031-2050 年 RCP4.5

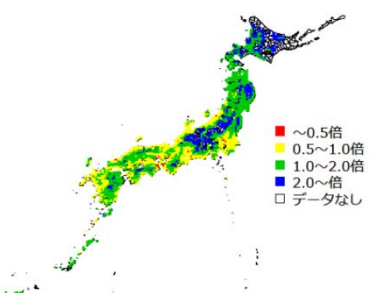


2031-2050 年 RCP8.5

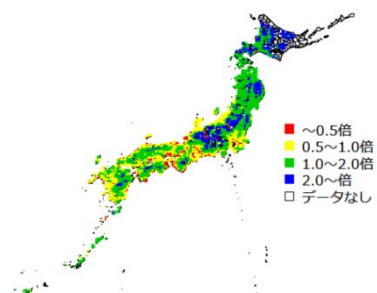
■ 品質重視



2031-2050 年 RCP2.6



2031-2050 年 RCP4.5



2031-2050 年 RCP8.5

図 100 水稻の収量の変化（気候モデルが MIROC の場合）

- 病害虫
- ・ ニカメイガ

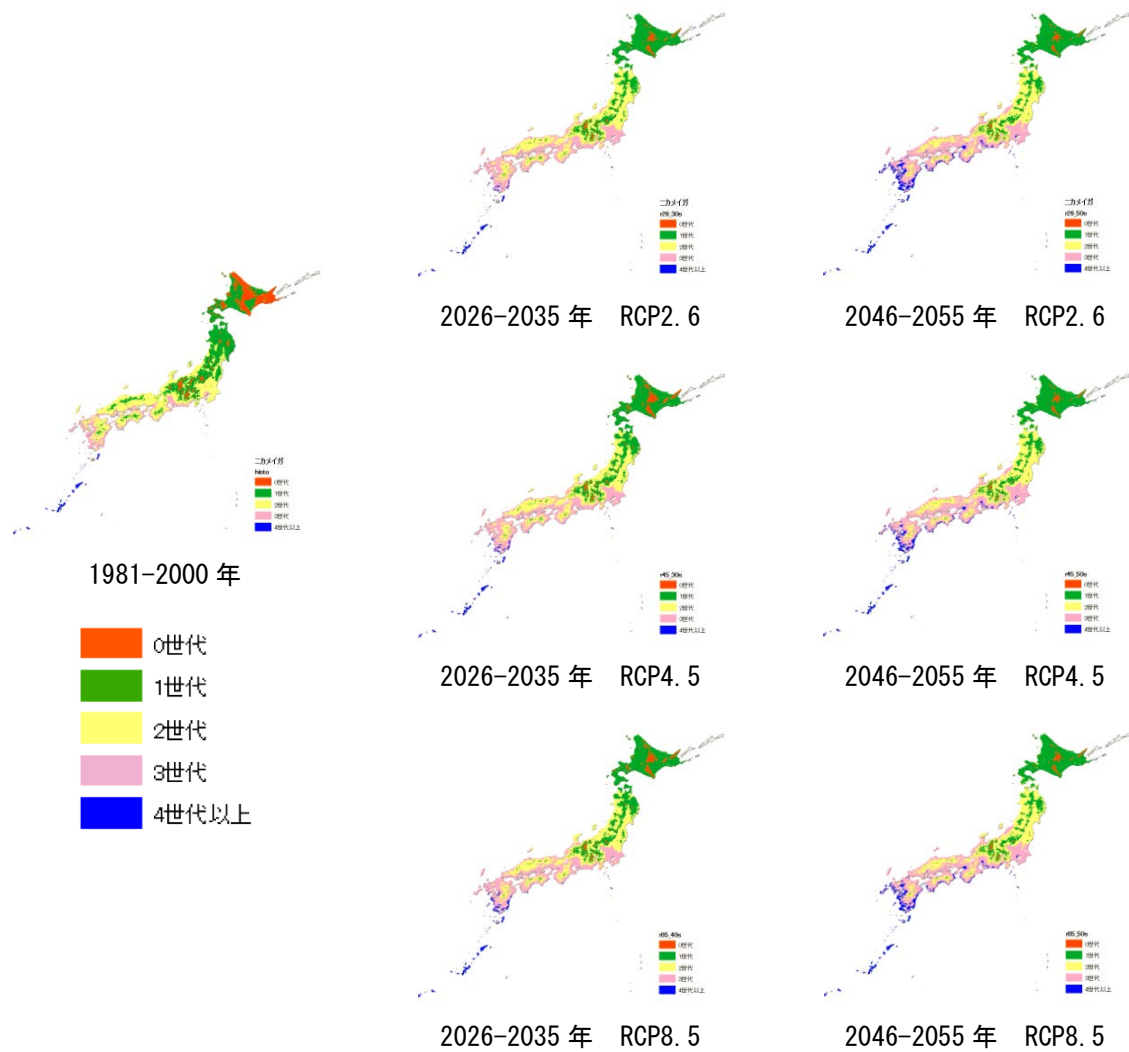


図 101 ニカメイガの世代数の変化（世代）

- ・ ヒメトビウンカ

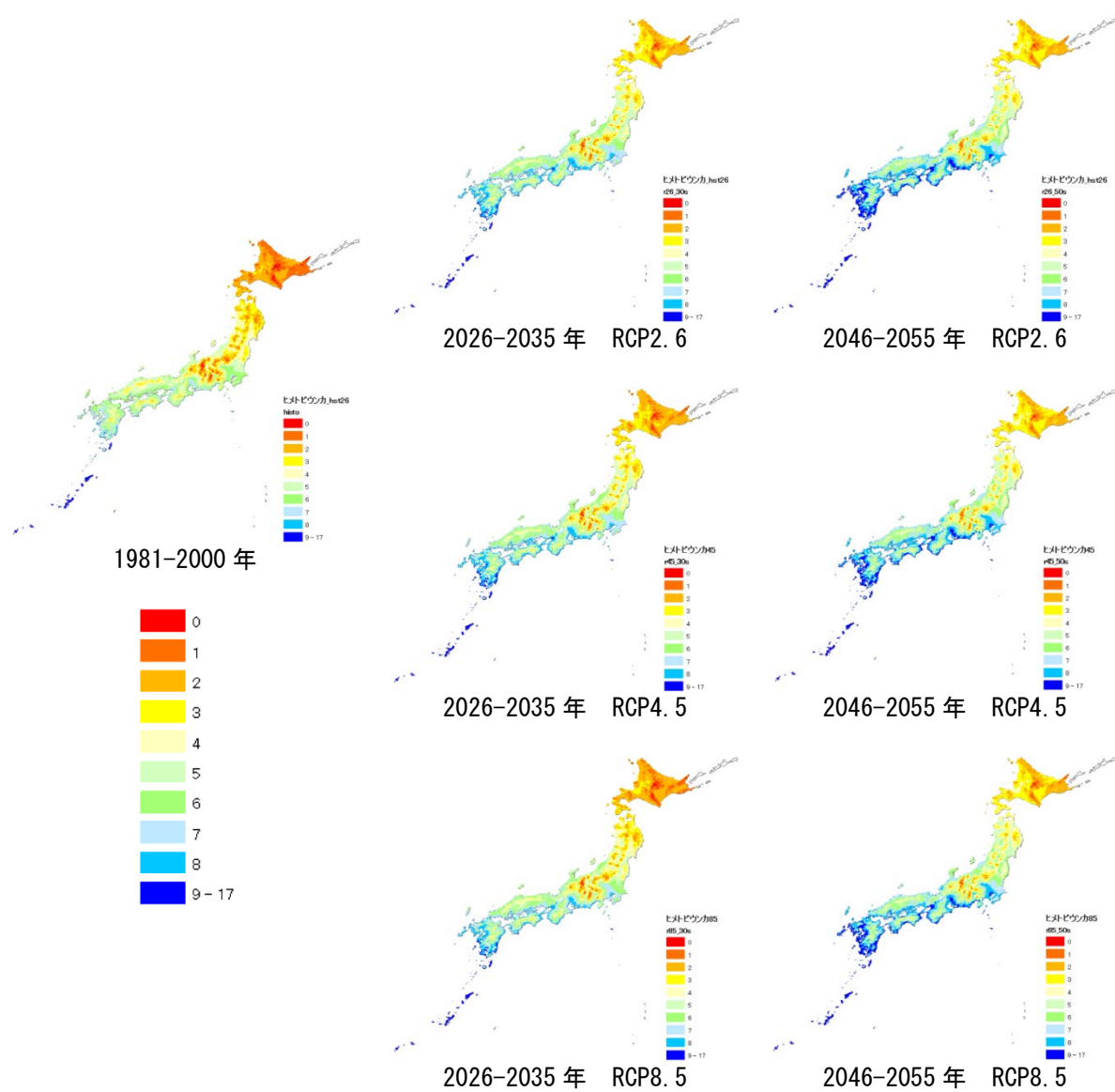


図 102 ヒメトビウンカの世代数の変化（世代）

3.2.2 果樹

3.2.2.1 リンゴ

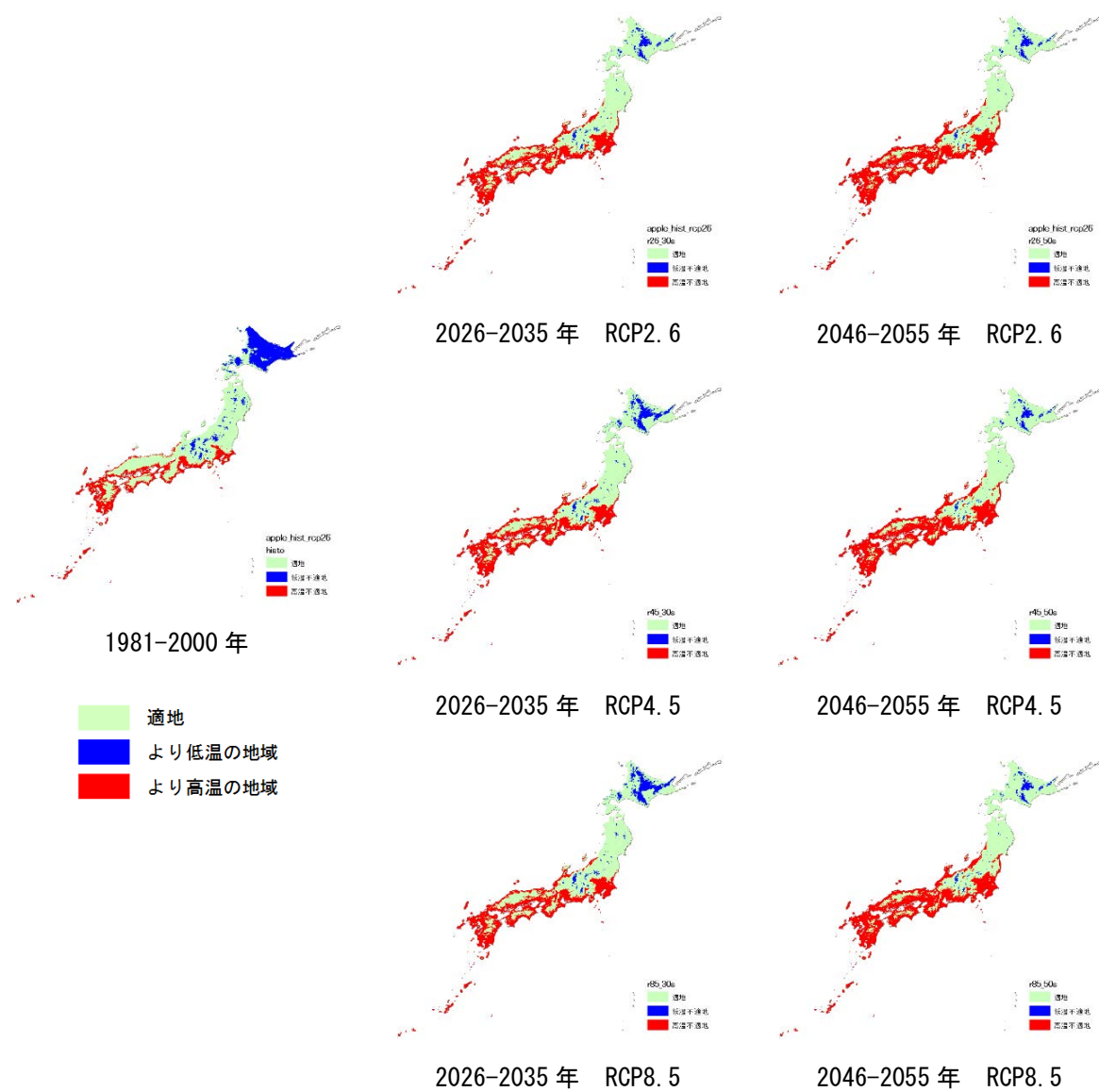


図 103 リンゴの栽培適域の変化

3.2.2.2 ウンシュウミカン

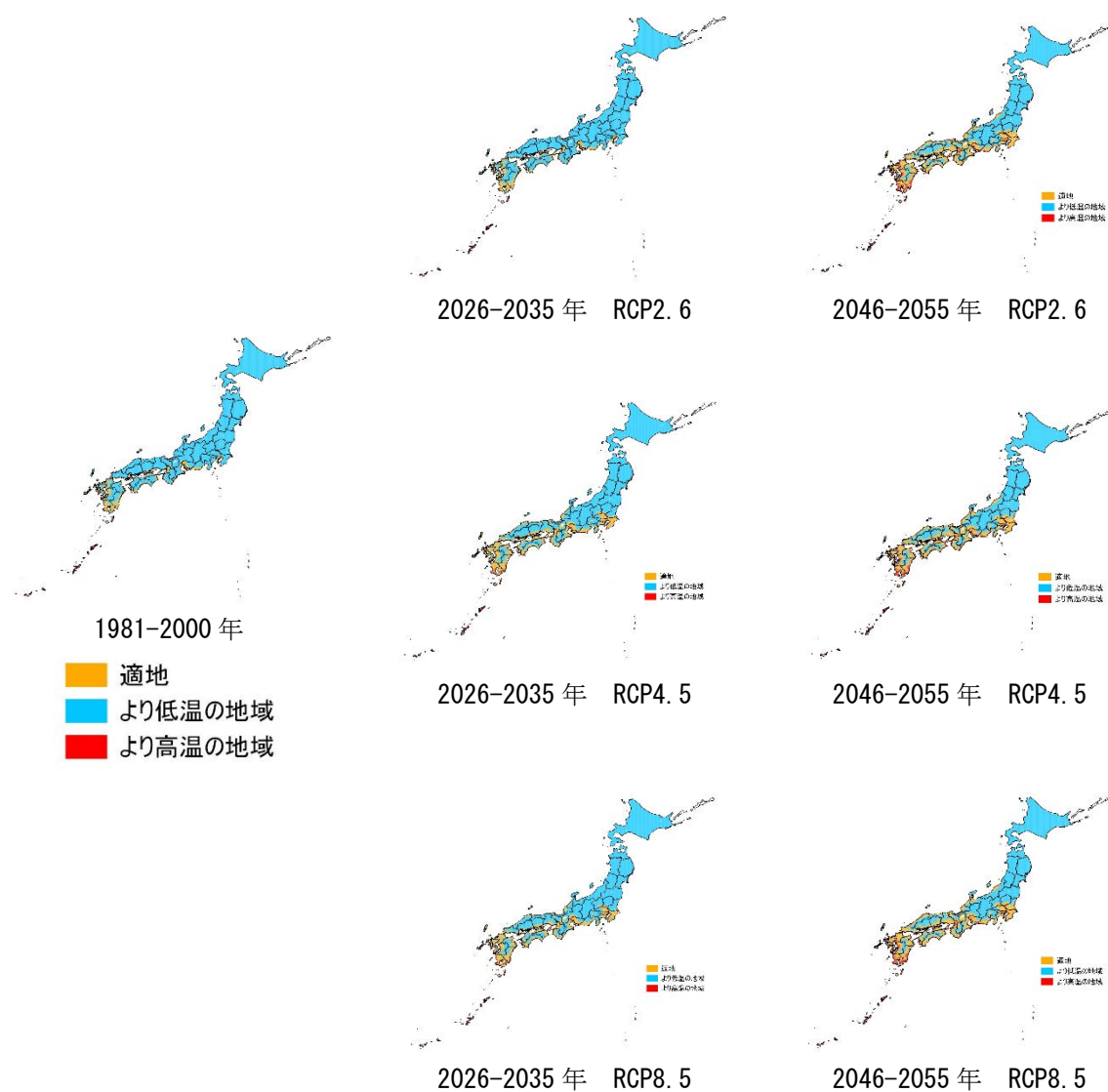


図 104 ウンシュウミカンの栽培適地の変化

3.2.2.3 ブドウ

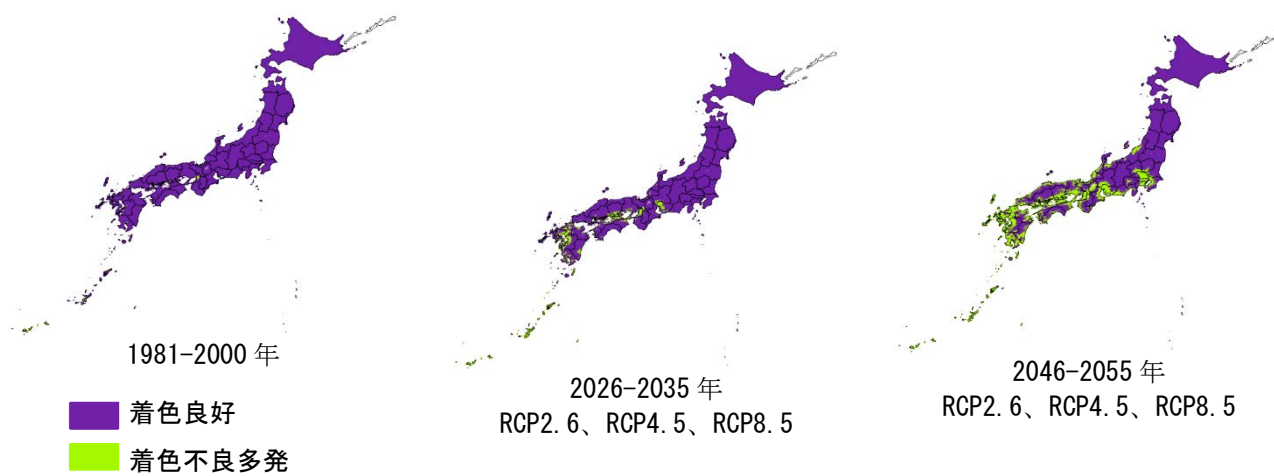


図 105 ブドウの着色不良が多発する地域

3.2.2.4 醸造用ブドウ

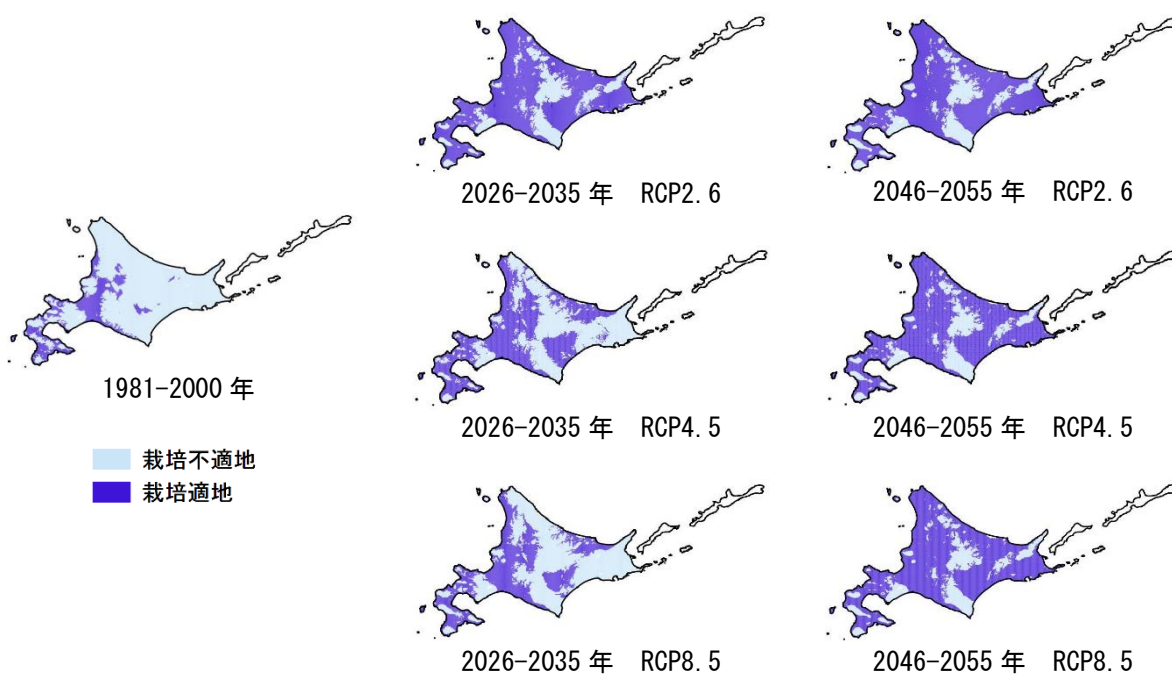


図 106 醸造用ブドウの栽培適地の変化（北海道）

3.2.2.5 パインアップル

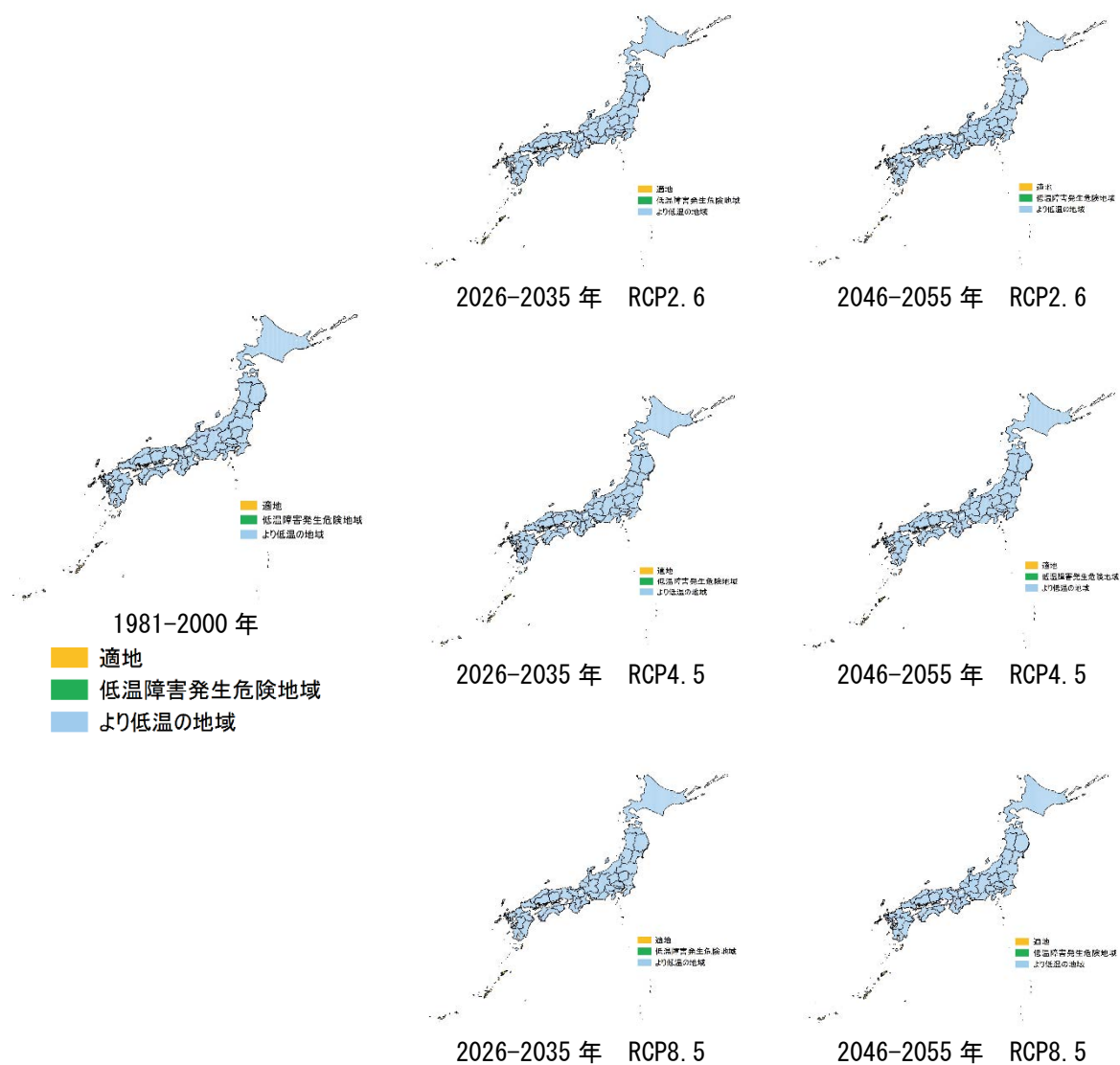


図 107 パインアップルの栽培適地の変化

3.2.2.6 タンカン

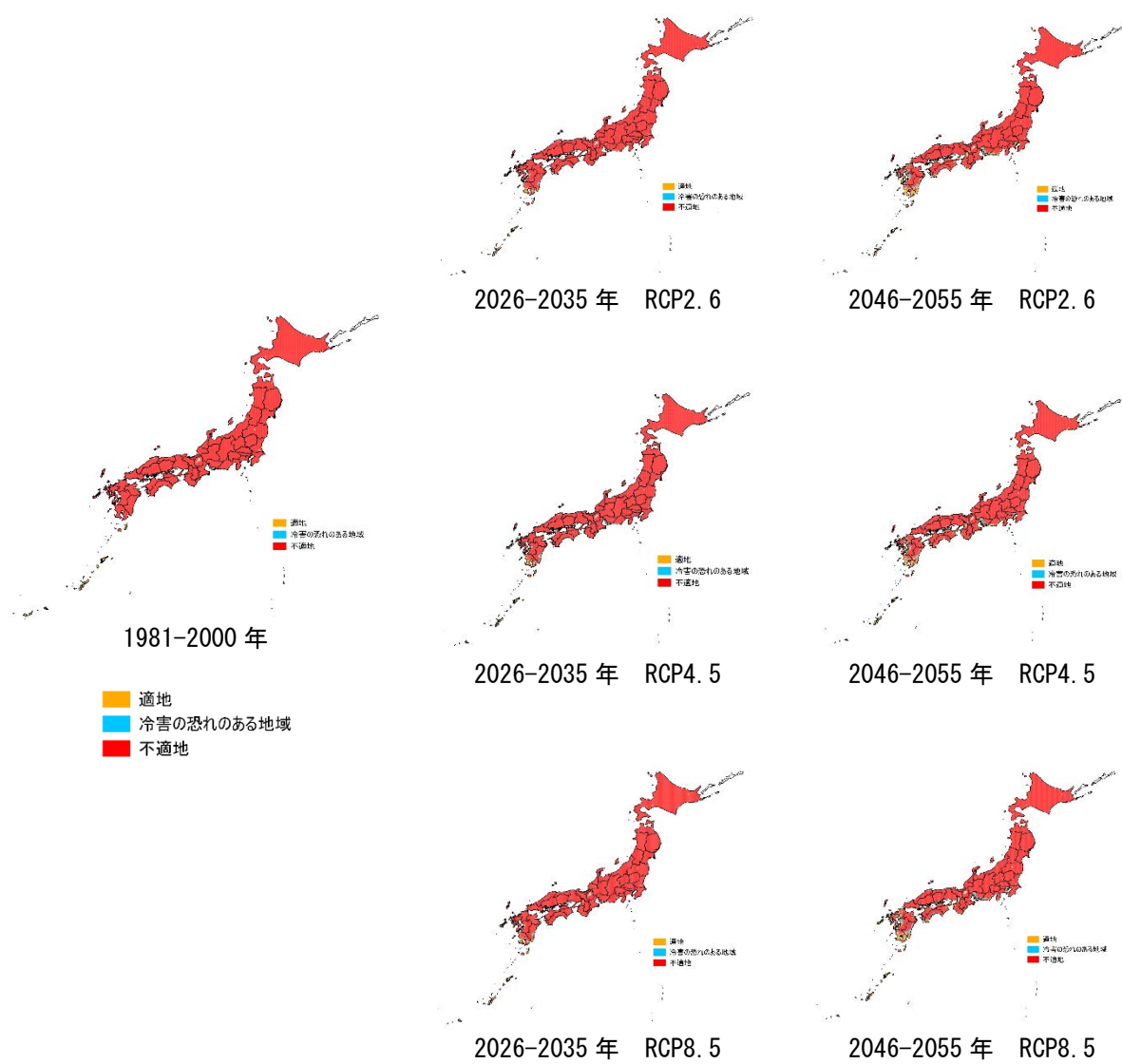


図 108 タンカンの栽培適地の変化

3.2.3 野菜

3.2.3.1 病害虫

■ モモアカアブラムシ

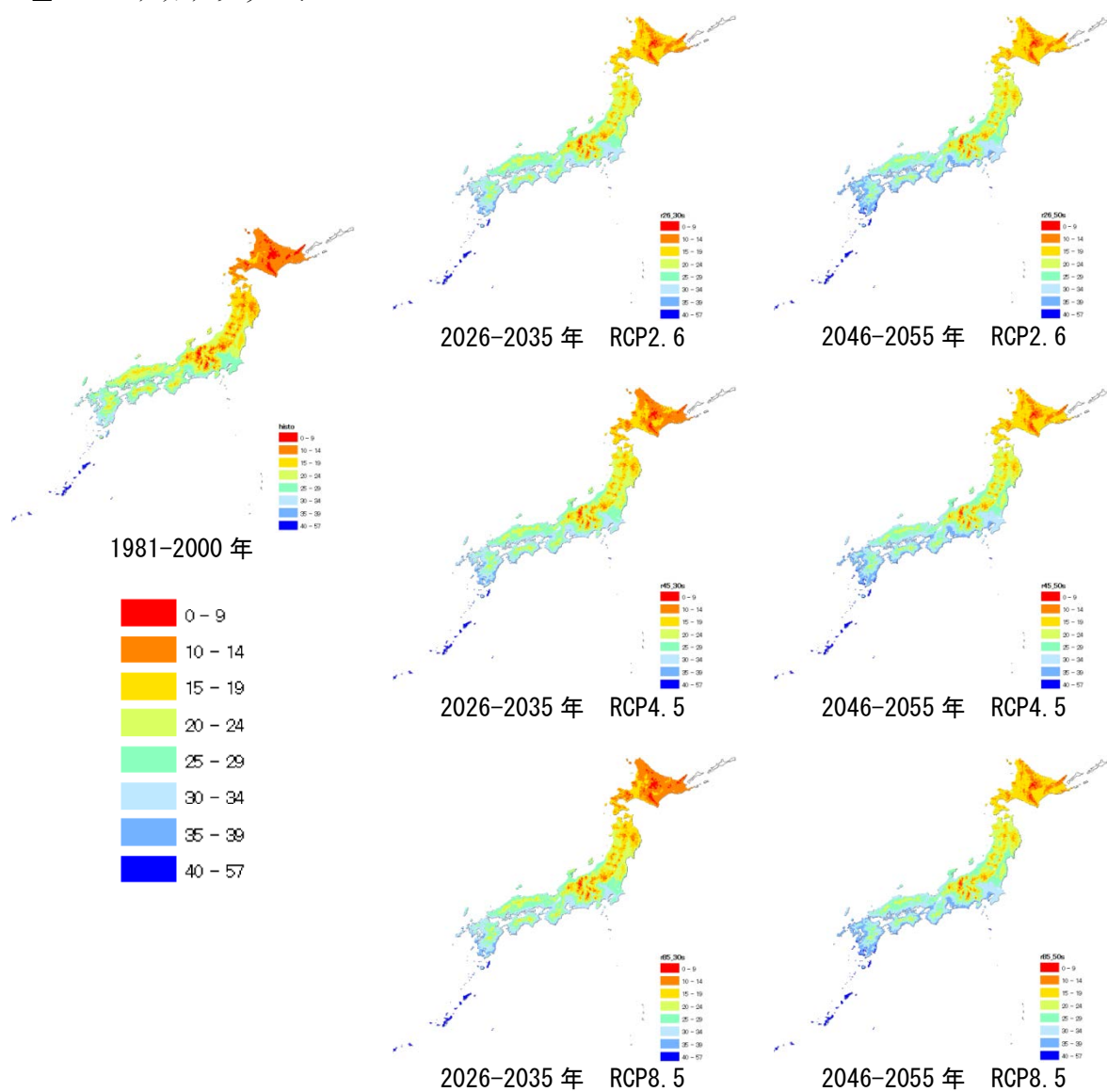


図 109 モモアカアブラムシの世代数の変化 (世代)

■ ワダアブラムシ

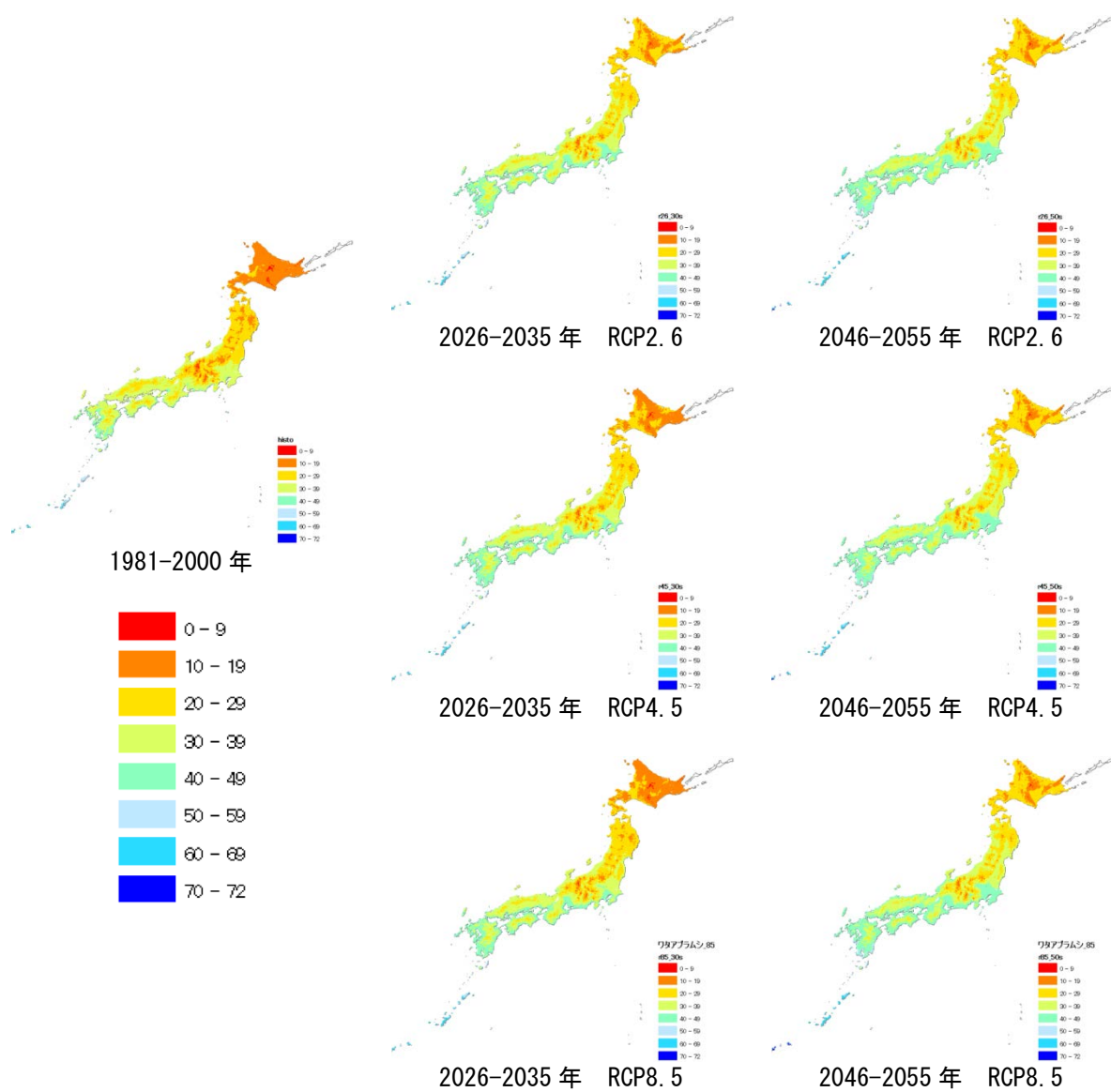


図 110 ワダアブラムシの世代数の変化（世代）

■ ハスモンヨトウ

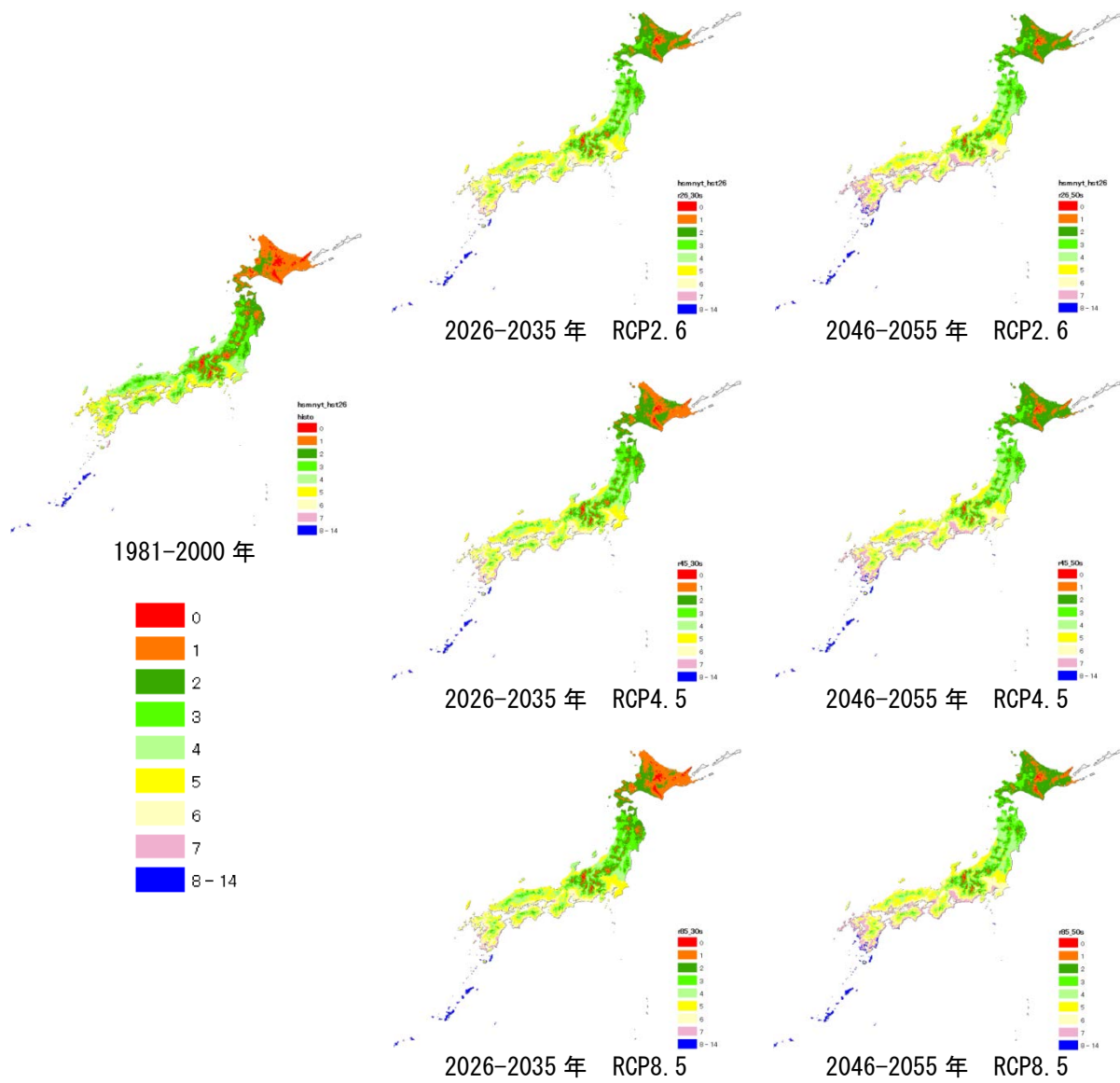


図 111 ハスモンヨトウの世代数の変化（世代）

■ マルカメムシ

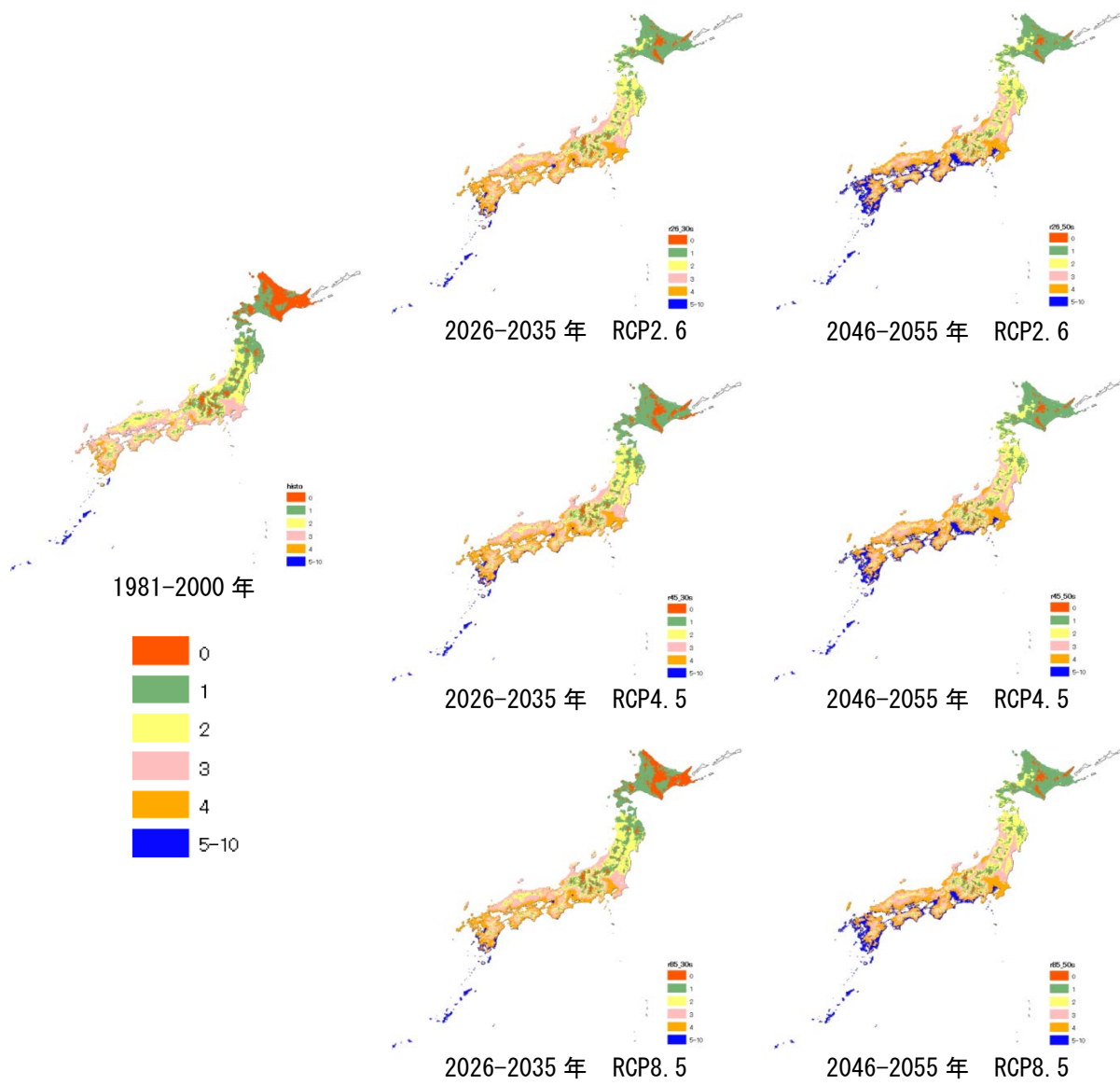


図 112 マルカメムシの世代数の変化 (世代)

3.2.4 工芸作物

3.2.4.1 茶

■ 栽培地帯区

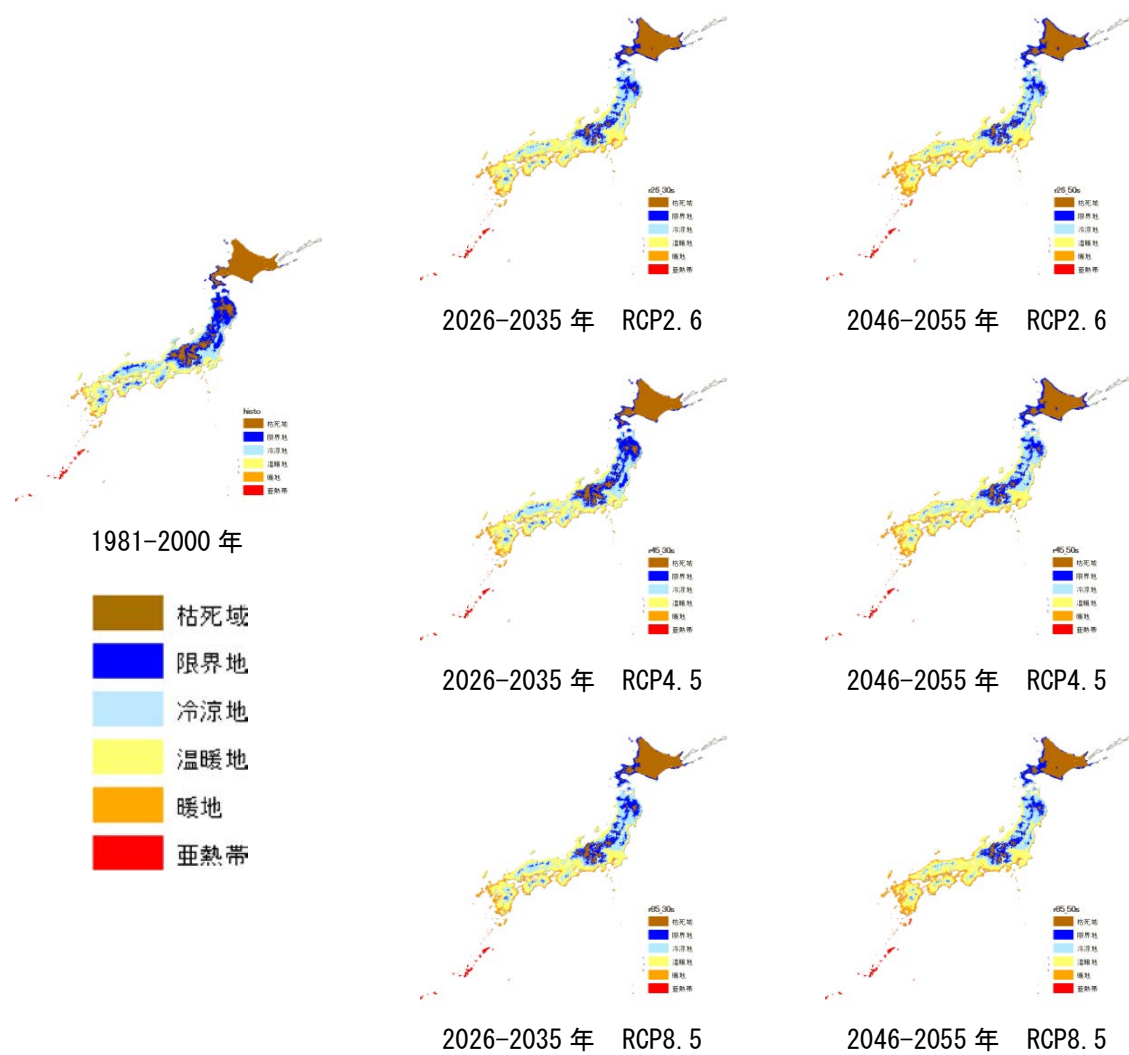


図 113 茶の栽培地帯区の変化

■ 病害虫 (チャノホソガ)

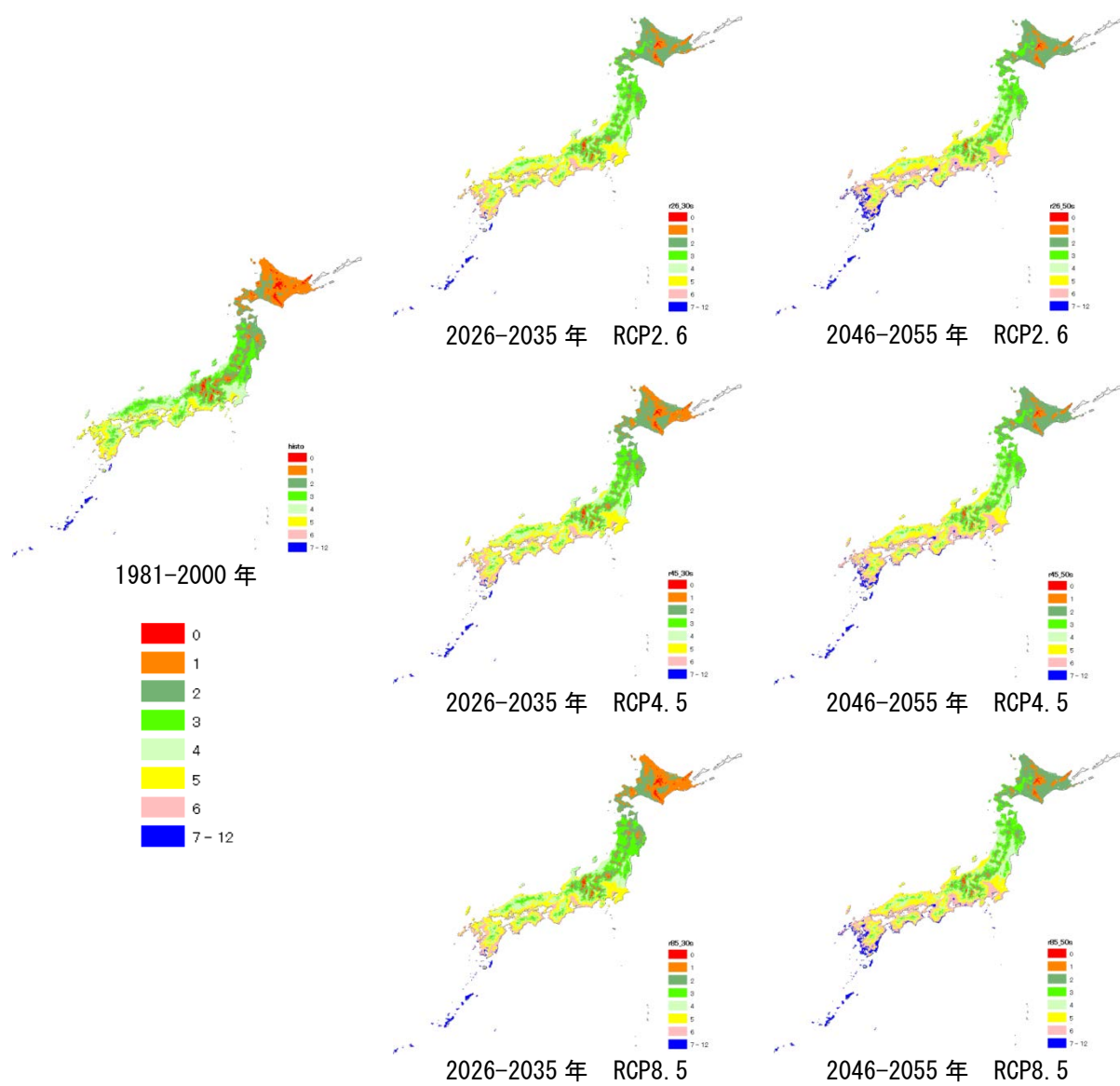


図 114 チャノホソガの世代数の変化 (世代)

3.2.5 畜産

3.2.5.1 豚

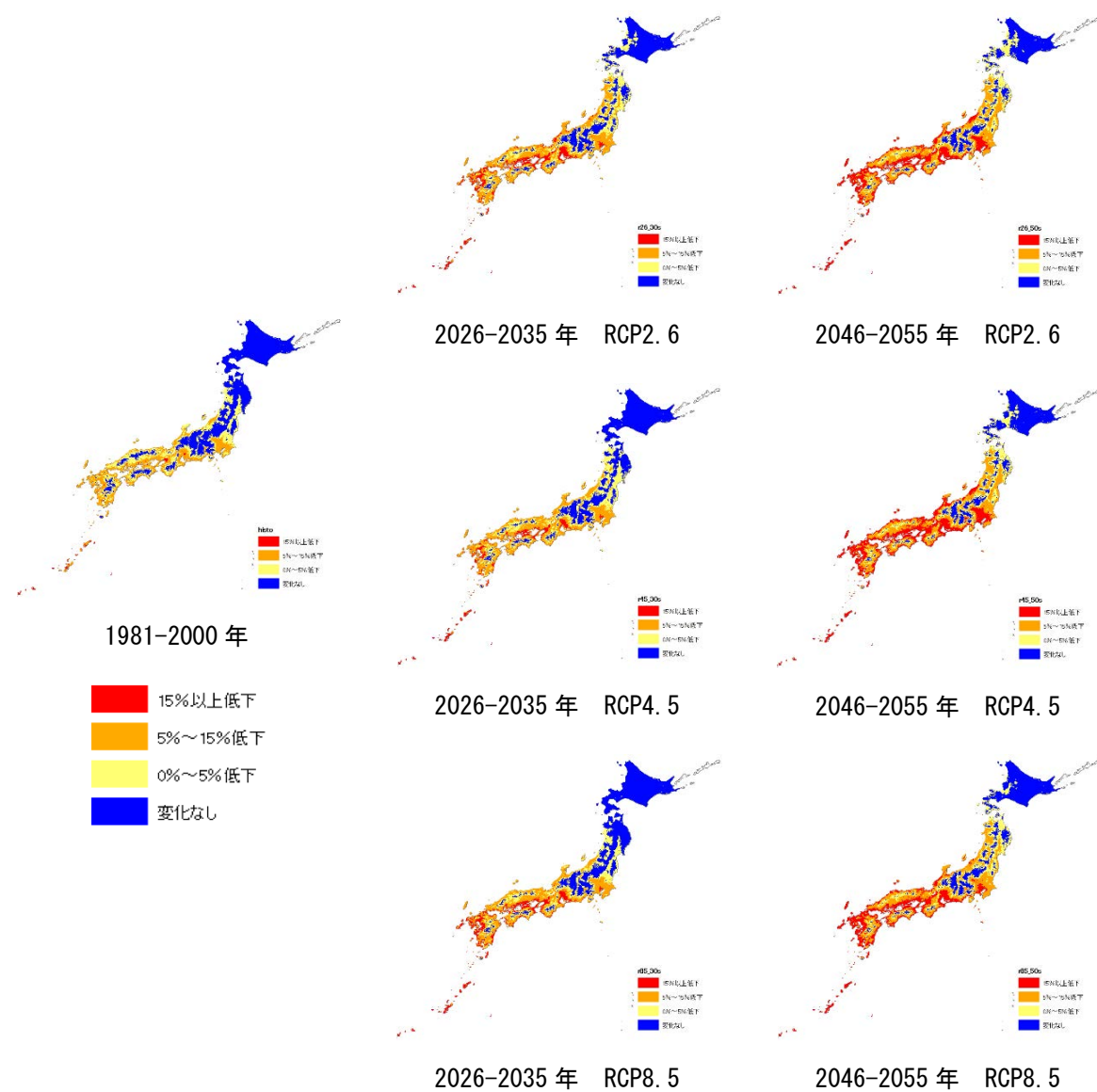


図 115 豚の日増体量（8月）の変化

3.2.5.2 鶏

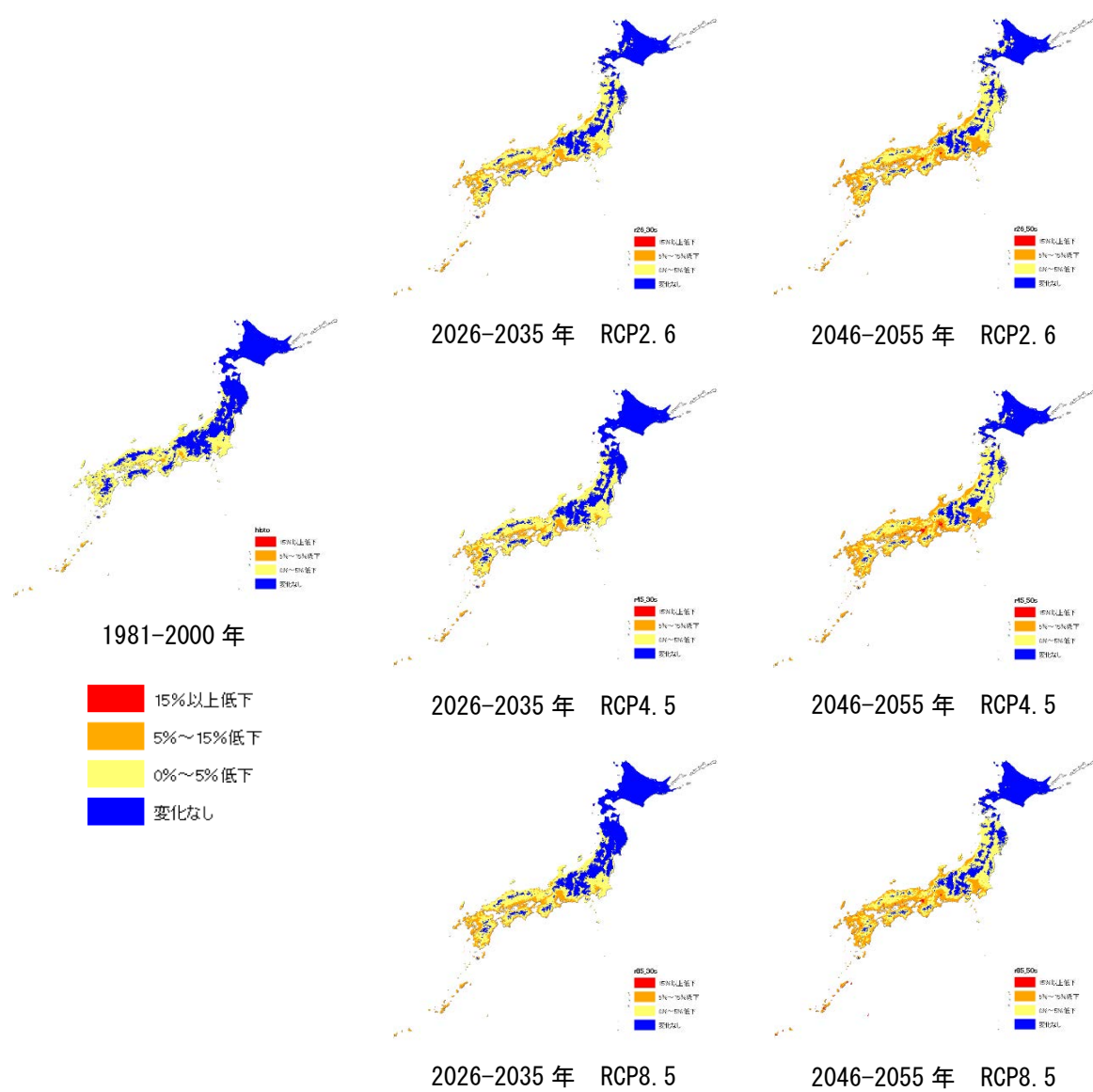


図 116 鶏の日増体量（8月）の変化

3.3 森林・林業

3.3.1 人工林

3.3.1.1 スギ林

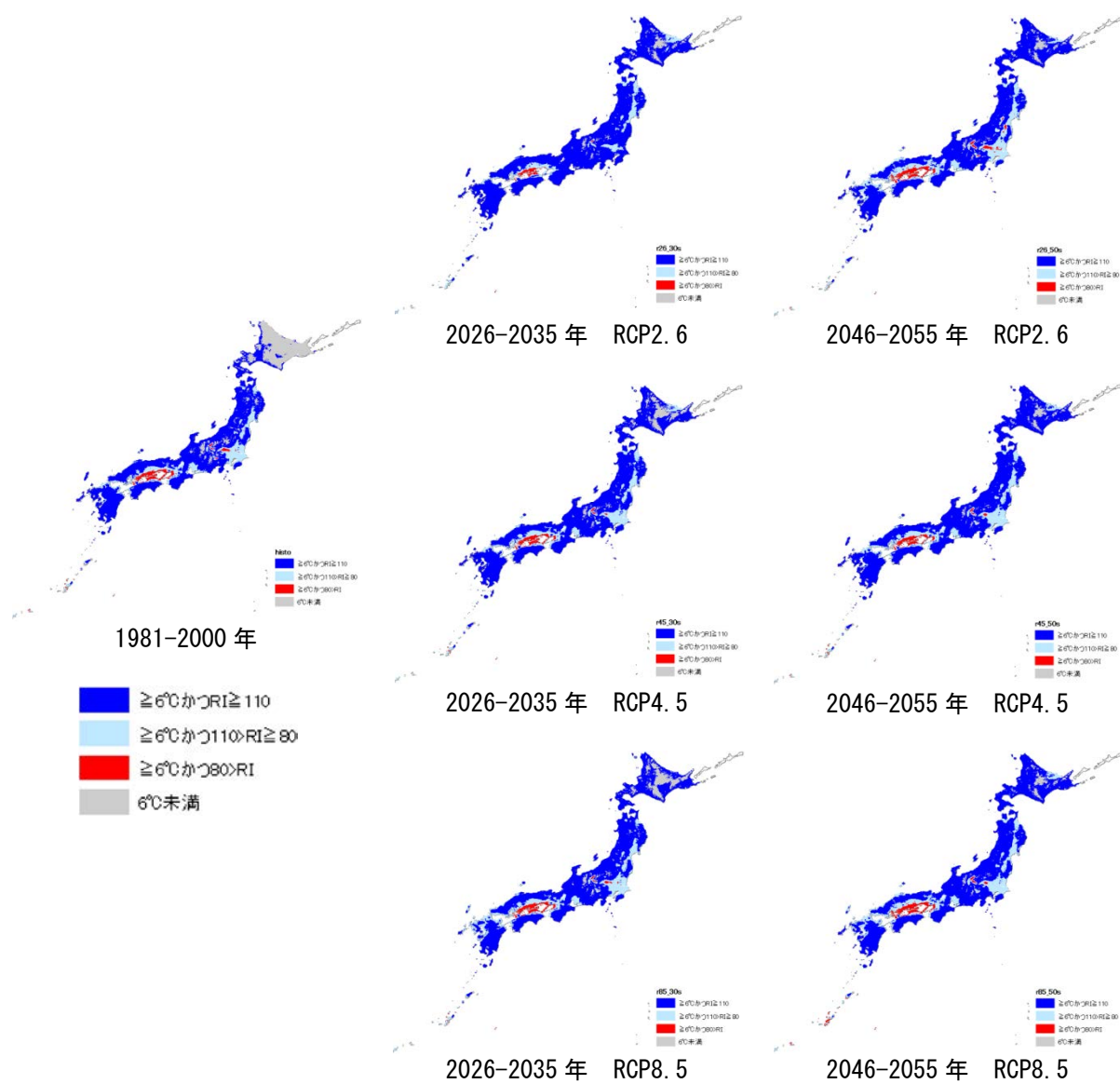


図 117 スギ林の生育適域の変化

3.3.1.2 マツ林

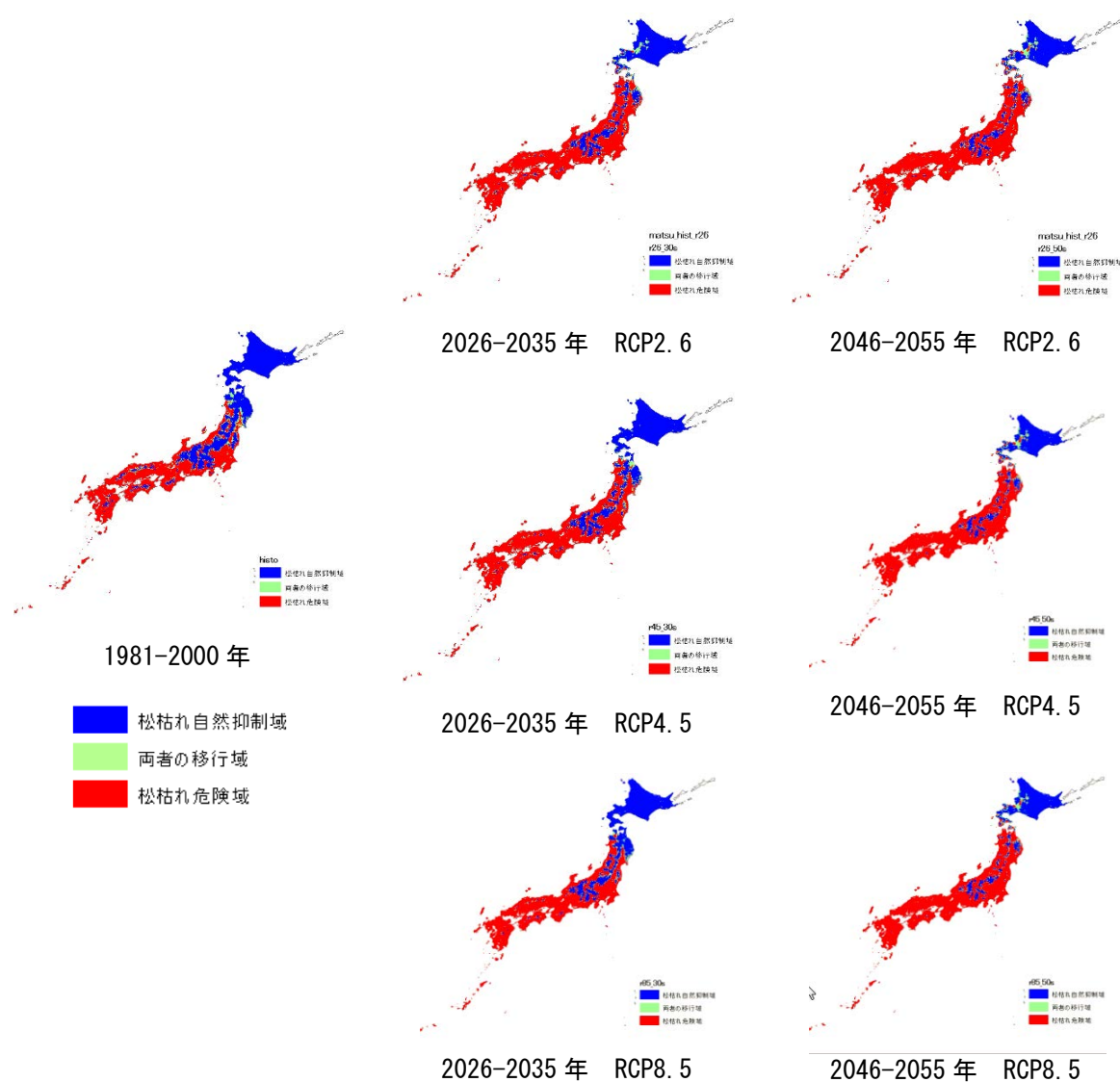


図 118 マツ枯れの危険域

4. 気候変動の影響及び適応策の実施状況に関するアンケート

地域内の気候変動の影響及び適応策の実施状況等に関して地域に根差した行政施策や研究等を行われている方々から、その実態について情報を収集することを目的に平成 28 年度事業において 47 都道府県を対象にアンケート調査を実施しました。以下にアンケートの概要を記載します。

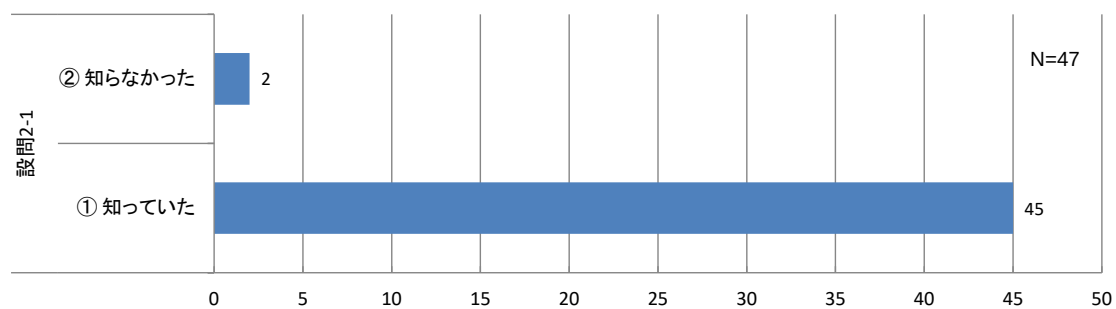
- 対象者： 47 都道府県の農林水産部の担当者（行政担当者及び技術者等）
- 実施期間： 2016 年 10 月 5 日から 11 月 1 日
- 回答率： 100%
- 質問項目：
 - 政府及び農林水産省の適応計画に関する認知度
 - 自治体における適応計画の取り組み状況
 - 自治体における気候変動による影響（現状，将来）
 - 「将来展望」に対するニーズ（対象品目，記載情報，等）
 - その他

4.1 農林水産省気候変動適応計画の認知度

2015 年に策定された「農林水産省気候変動適応計画」に関する認知度等についてお聞きしました。

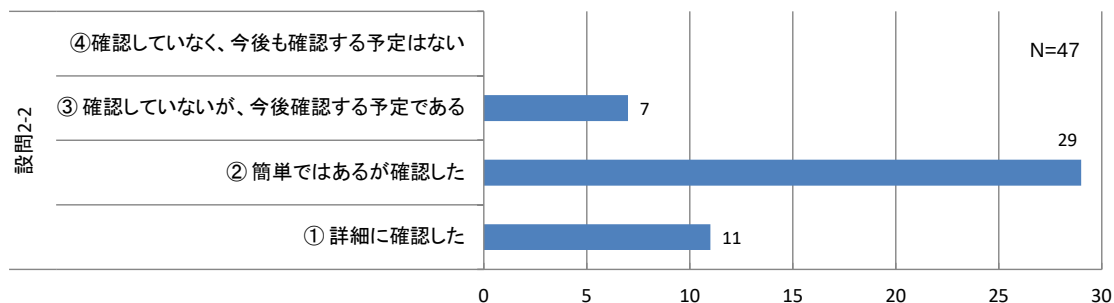
① 「農林水産省気候変動適応計画」の認知度

ほとんどの自治体が「農林水産省気候変動適応計画」を把握している、と回答されています。



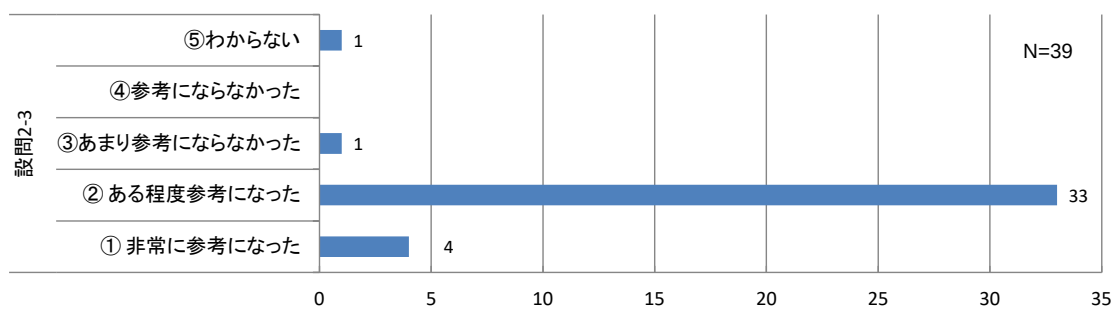
② 「農林水産省気候変動適応計画」の記載内容の確認

「②簡単ではあるが確認した」がもっとも多く選択されています。



③ 「農林水産省気候変動適応計画」に対する感想

「②ある程度参考になった」がもっとも多く選択されています。

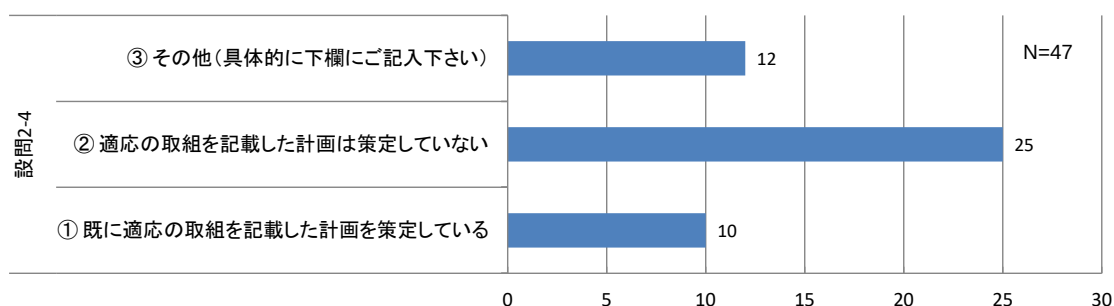


4.2 自治体の適応計画の取り組み状況

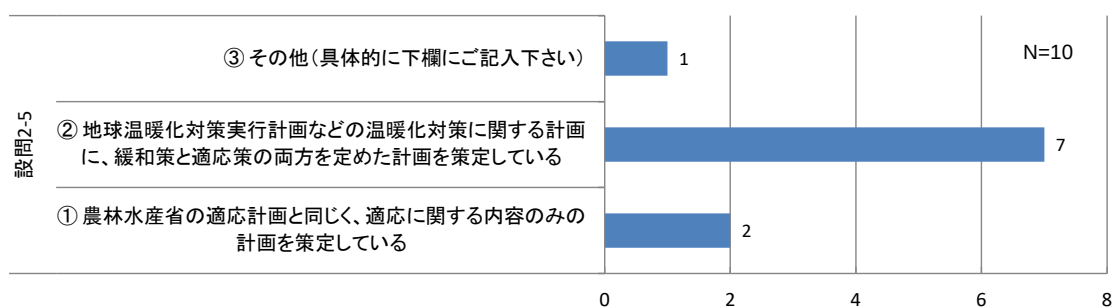
適応計画の取り組み状況についてお聞きしました。

① 農林水産分野における適応の取組を記載した計画の策定状況

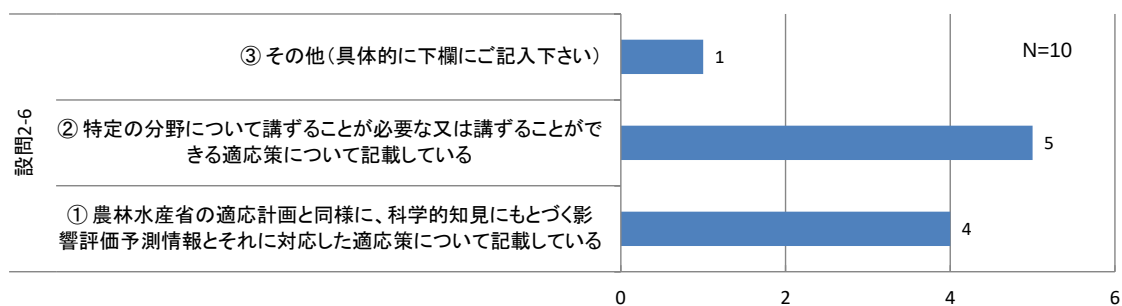
10 の自治体において「①既に適応の取組を記載した計画を策定している」が選択されています。



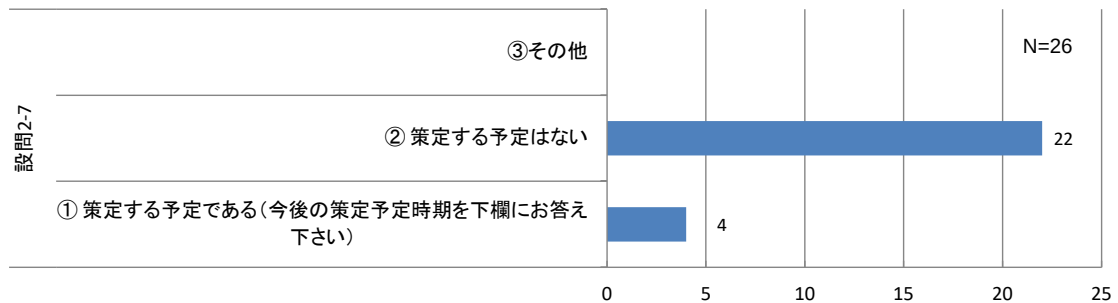
② 農林水産分野における適応の取組を記載した計画の構成（設問 2-4 で①を選択した自治体が対象）



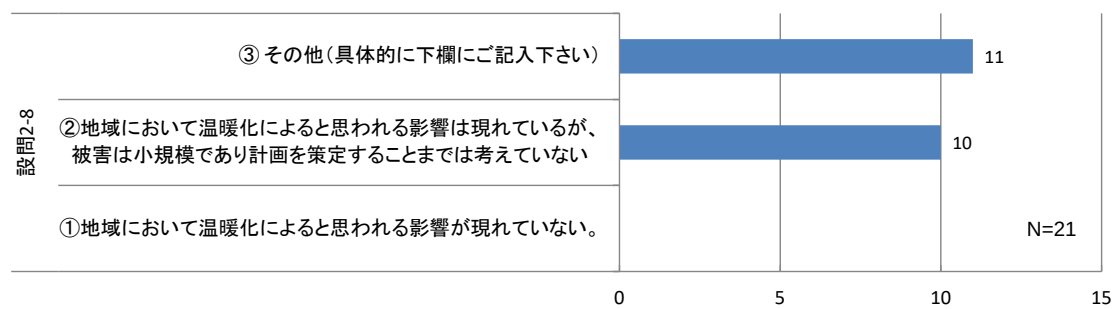
③ 農林水産分野における適応の取組を記載した計画の記載内容（設問 2-4 で①を選択した自治体が対象）



④ 農林水産分野における適応に関する計画を策定予定（設問 2-4 で②を選択した自治体が対象）



⑤ 農林水産分野における適応の取組を記載した計画の構成（設問 2-7 で②を選択した自治体が対象）

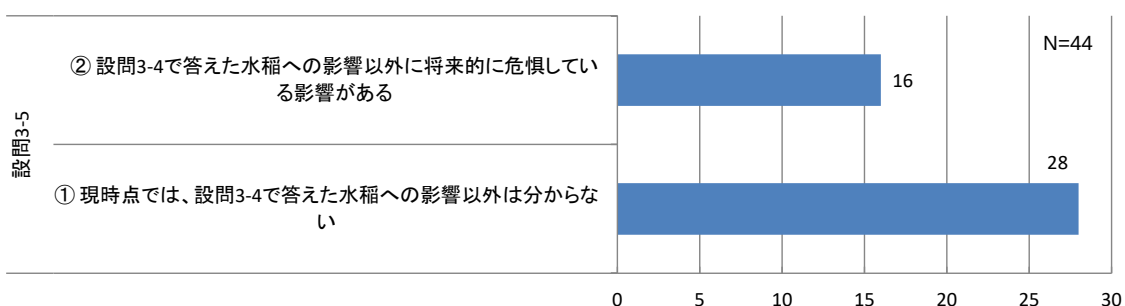
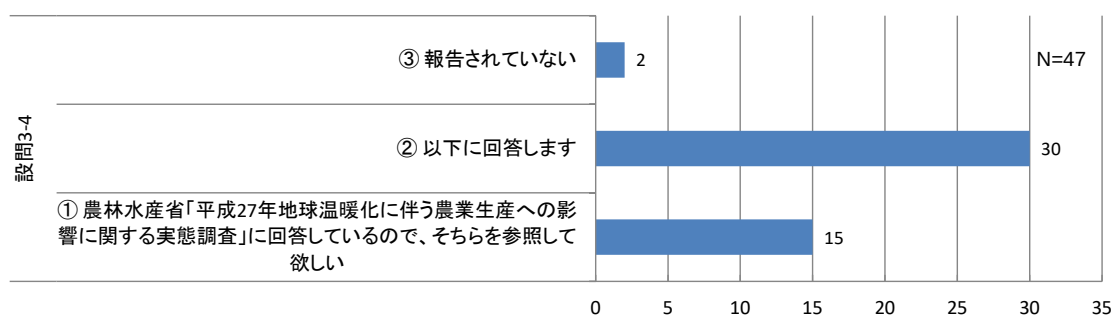


4.3 気候変動による影響について

分野毎に気候変動によるものと考えられる既に生じている影響、及び既に生じている影響以外で将来的に危惧される影響の有無についてお聞きしました。

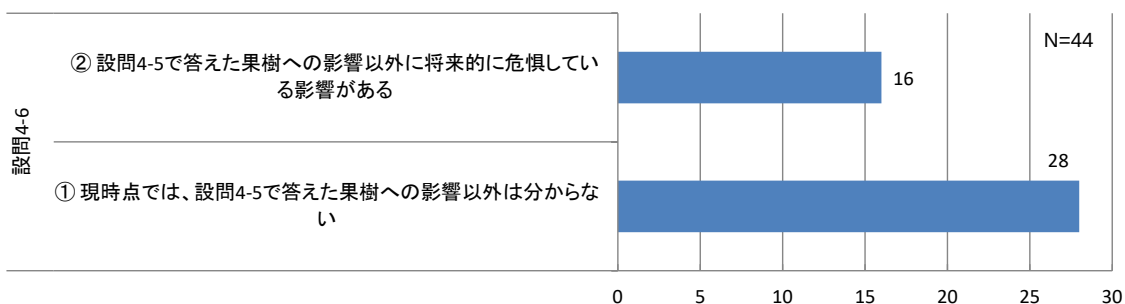
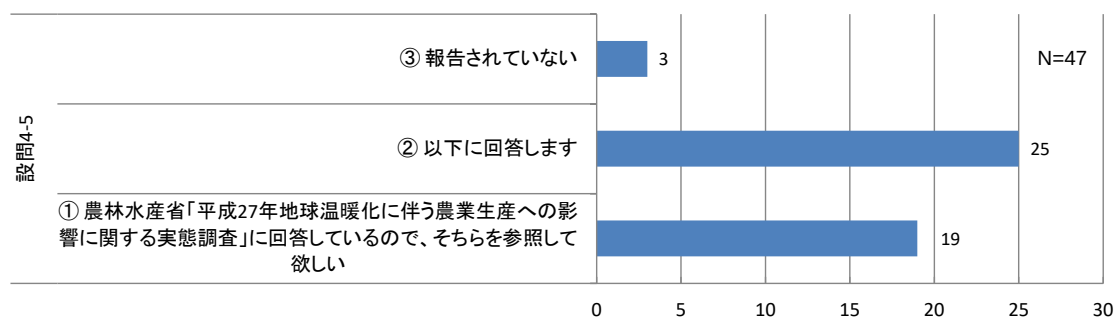
① 水稲

- ・ 現在： ほぼ全ての自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 16 の自治体で追加的な影響を危惧していると回答されています。



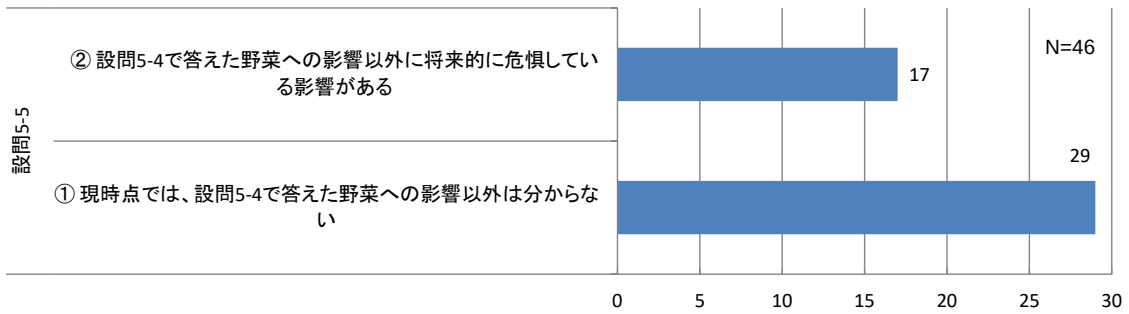
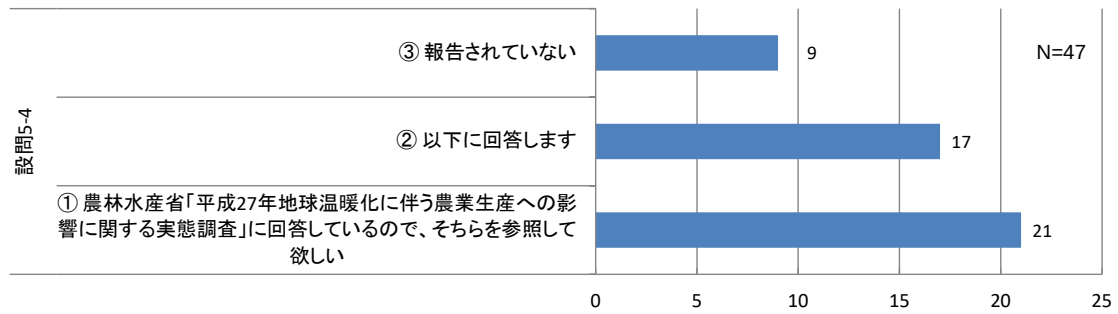
② 果樹

- ・ 現在： ほぼ全ての自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 16 の自治体で追加的な影響を危惧していると回答されています。



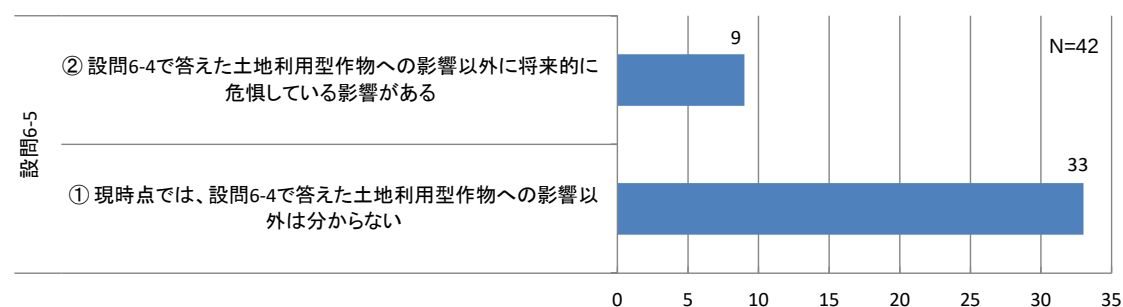
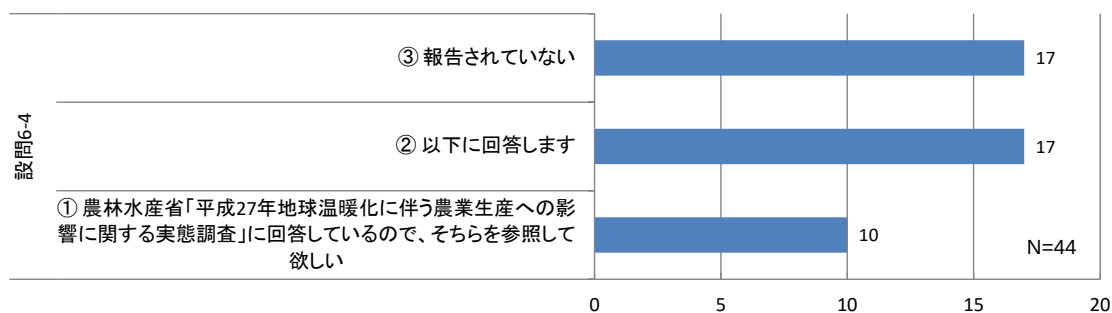
③ 野菜

- ・ 現在： 多くの自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 17 の自治体で追加的な影響を危惧していると回答されています。



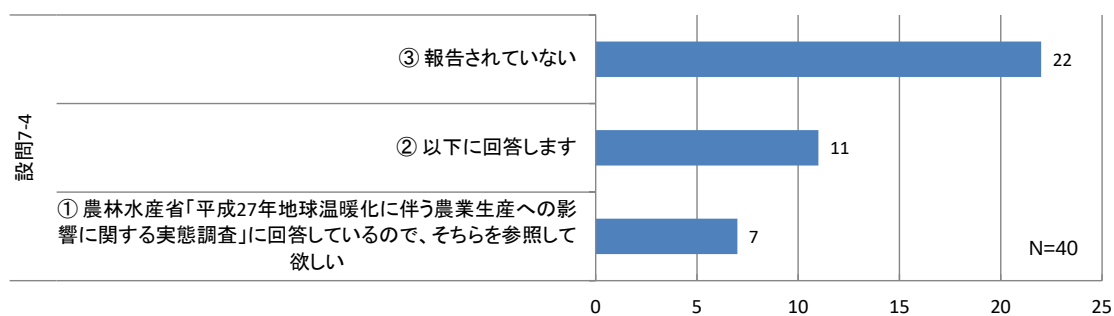
④ 土地利用型作物

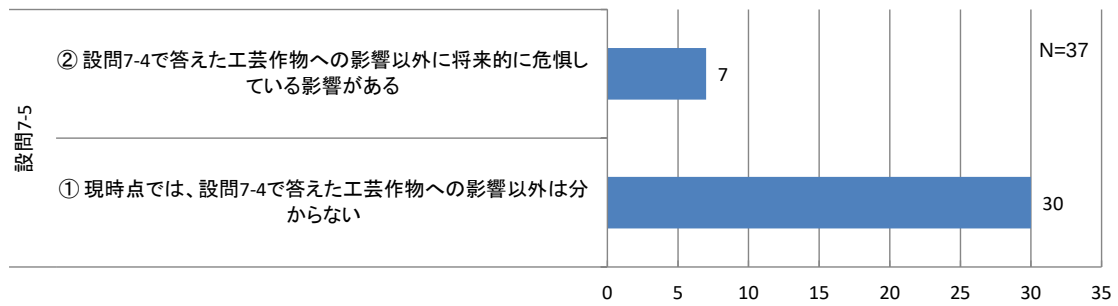
- ・ 現在： 半数以上の自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 多くの自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。



⑤ 工芸作物

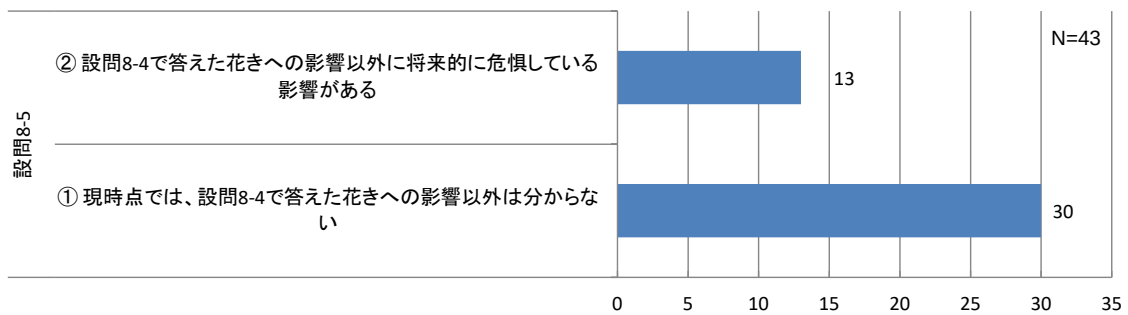
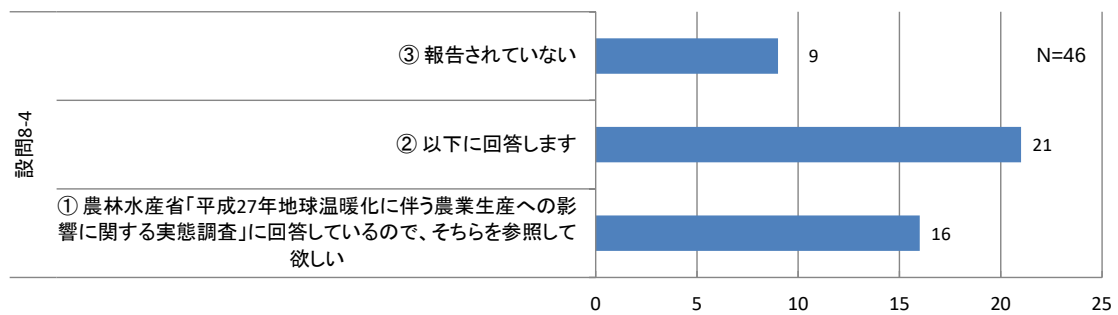
- ・ 現在： 18 の自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 30 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。





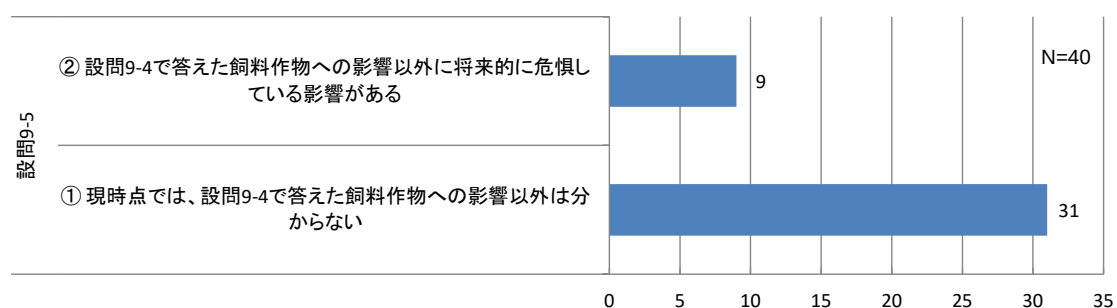
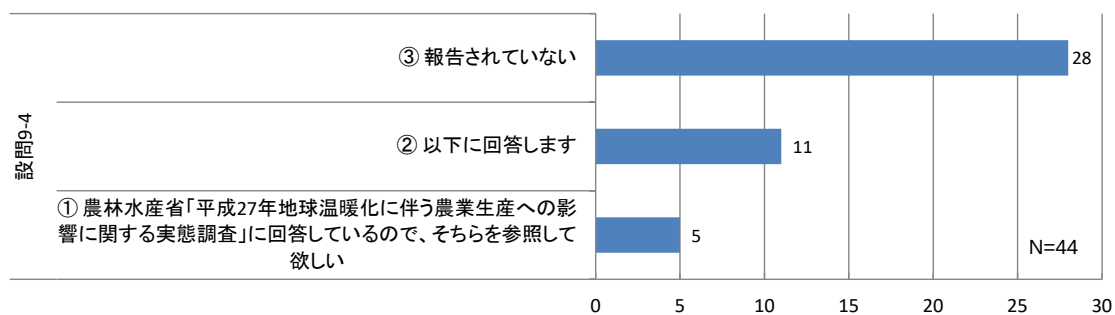
⑥ 花き

- ・ 現在： 多くの自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 30 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。



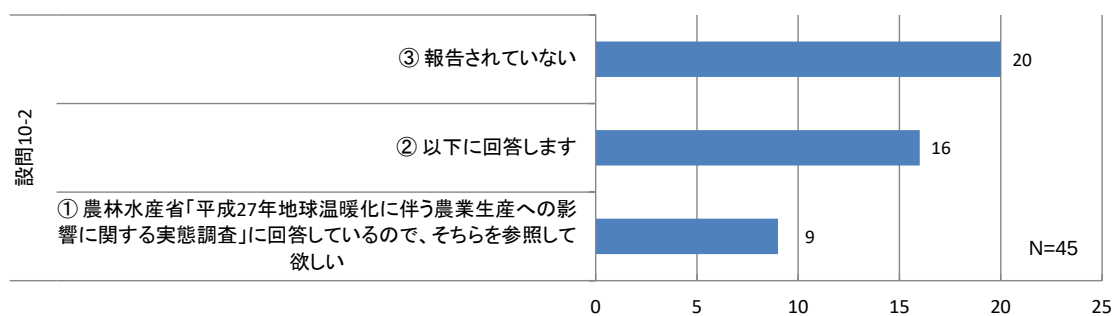
⑦ 飼料作物

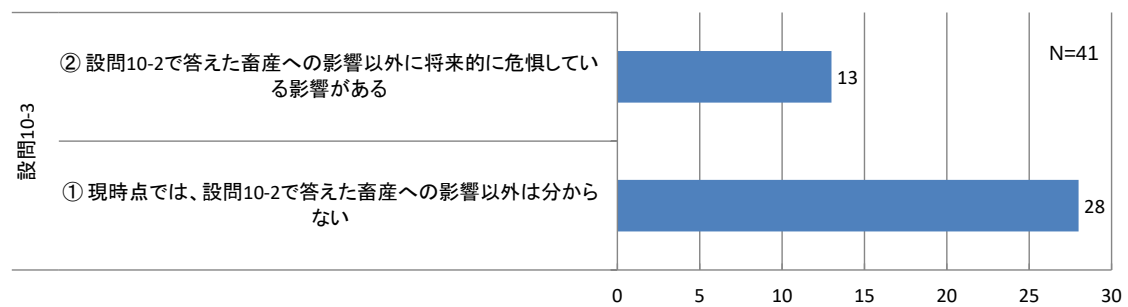
- ・ 現在： 16 の自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 31 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。



⑧ 畜産

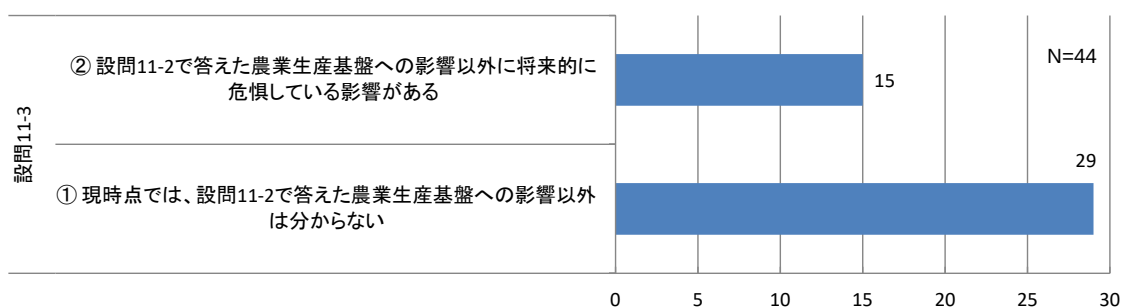
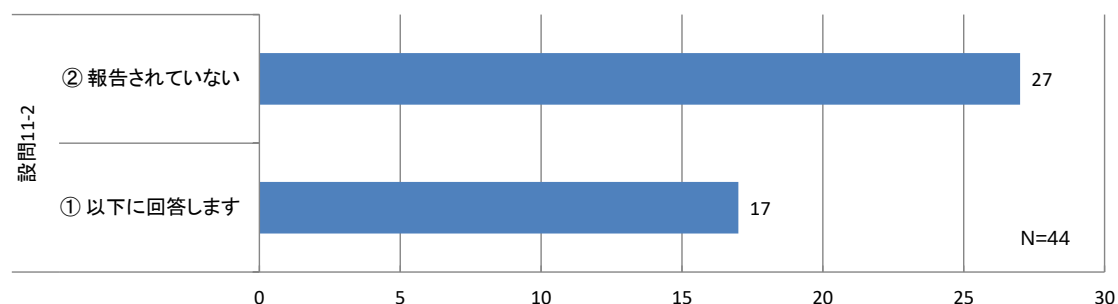
- ・ 現在： 25 の自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 28 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。





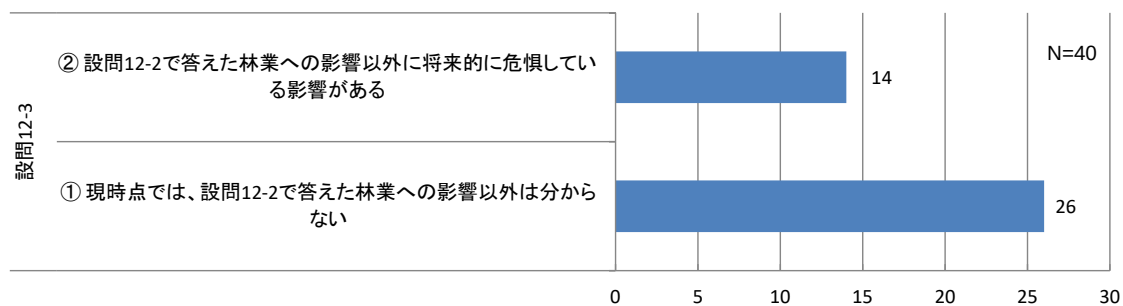
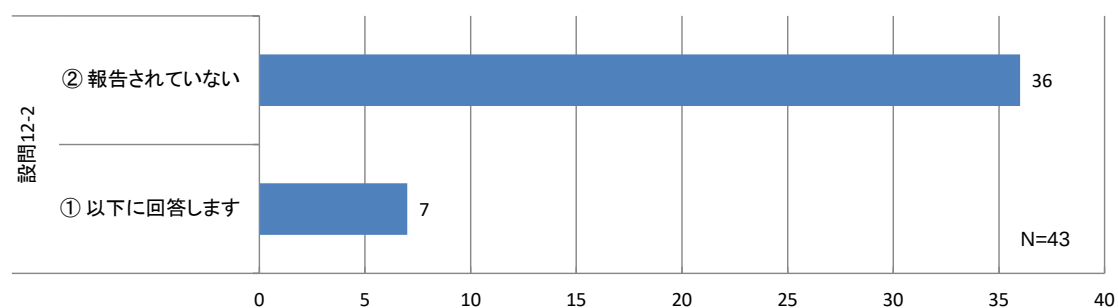
⑨ 農業生産基盤

- ・ 現在： 17 の自治体で影響があると回答されています。
- ・ 将来： 29 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。



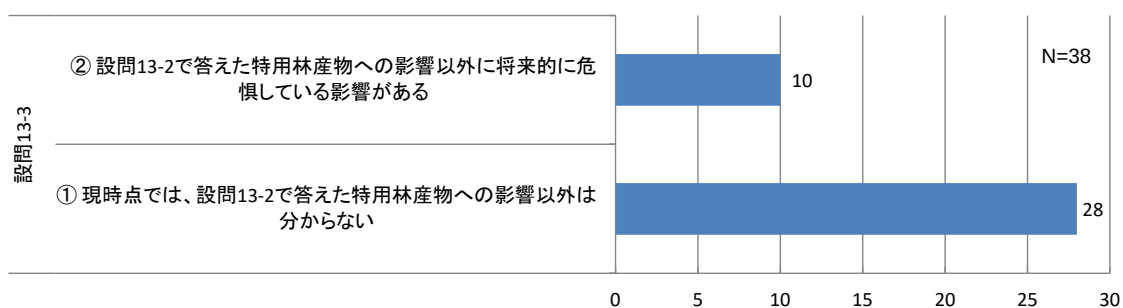
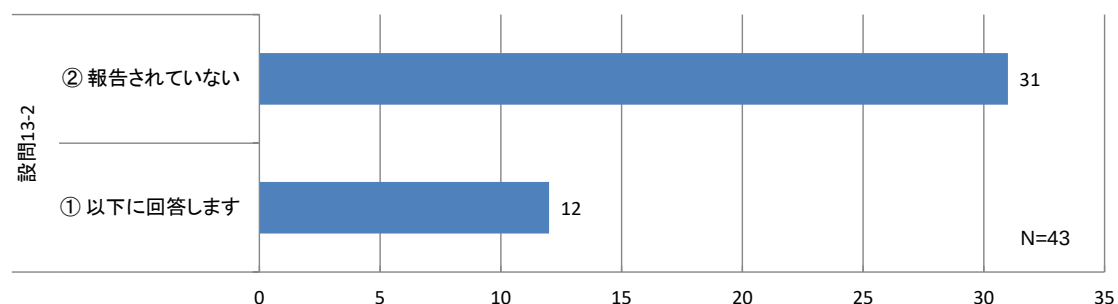
⑩ 林業

- ・ 現在： 多くの自治体で影響が報告されていないと回答されています。
- ・ 将来： 26 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。



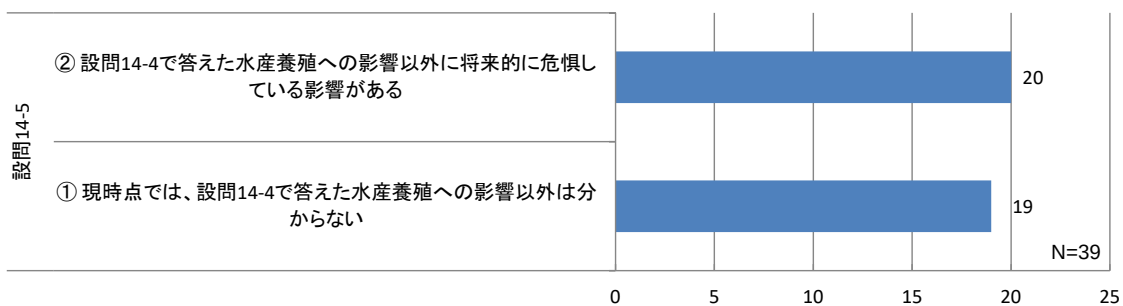
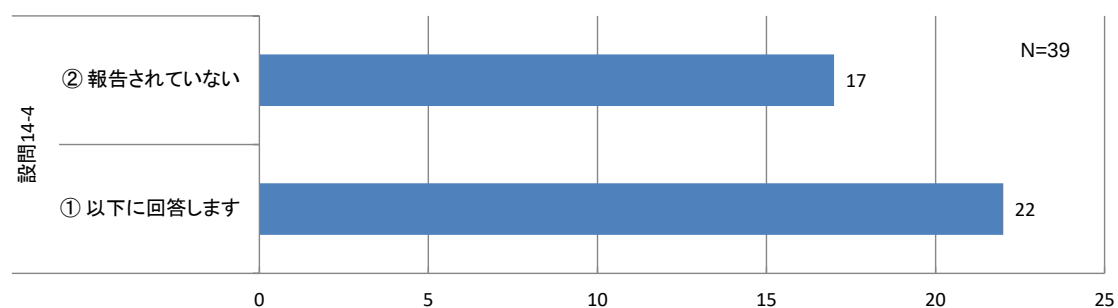
⑪ 特用林産物

- ・ 現在： 31 の自治体で影響が報告されていないと回答されています。
- ・ 将来： 28 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。



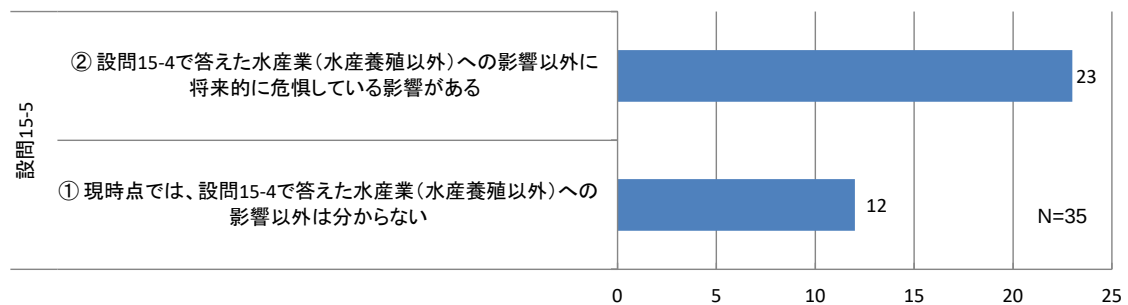
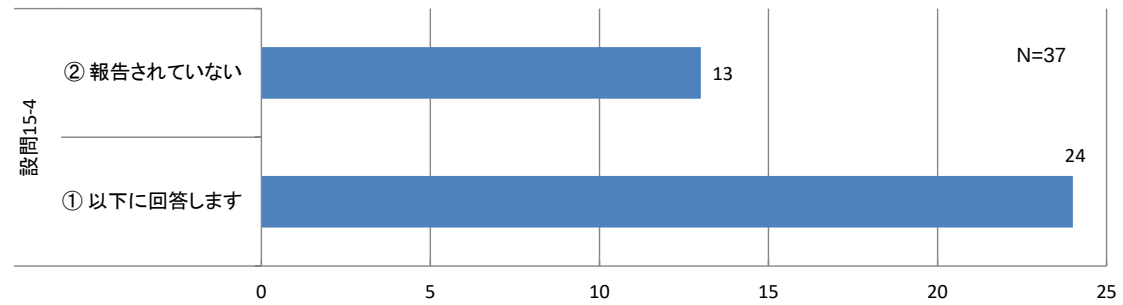
⑫ 水産養殖（海面及び内水面）

- ・ 現在： 22 の自治体で影響が報告されていると回答されています。
- ・ 将来： 19 の自治体で将来の追加的な影響は分からないと回答されています。



⑬ 水産業（水産養殖以外）

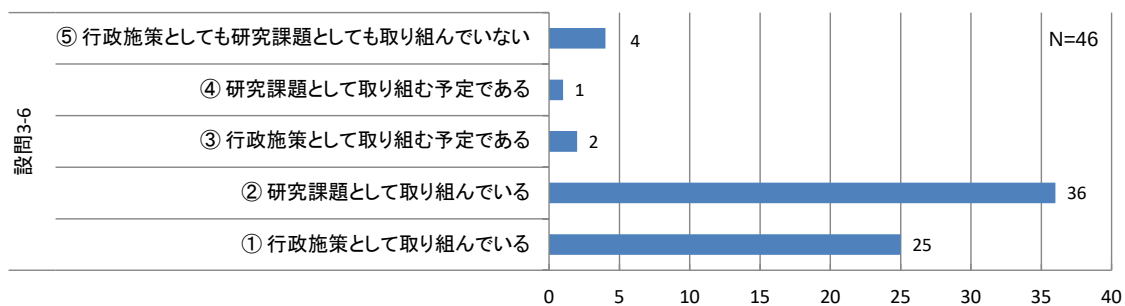
- ・ 現在： 24 の自治体で影響が報告されていると回答されています。
- ・ 将来： 23 の自治体で追加的な影響を危惧していると回答されています。



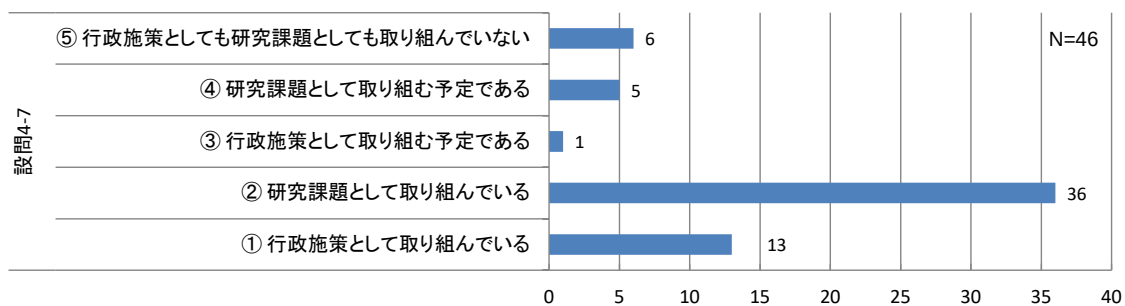
4.4 気候変動による影響に対する取り組み状況

気候変動による影響に対する取り組み状況を分野別に聞きました。

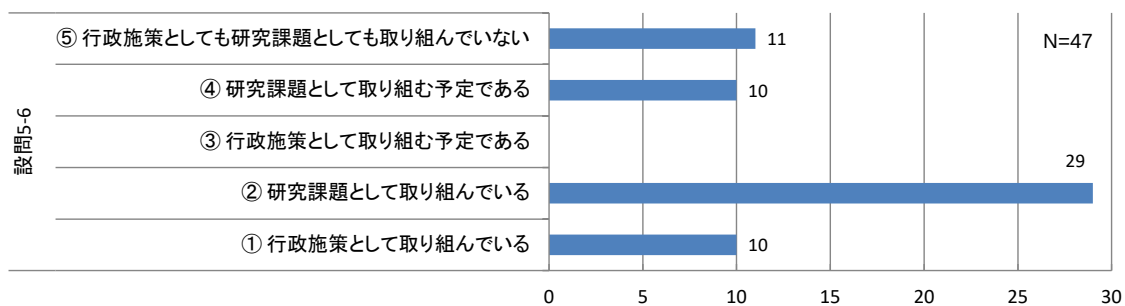
① 水稲



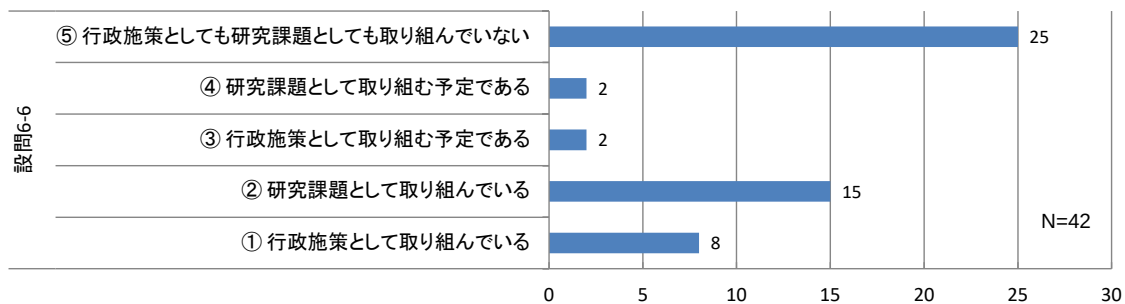
② 果樹



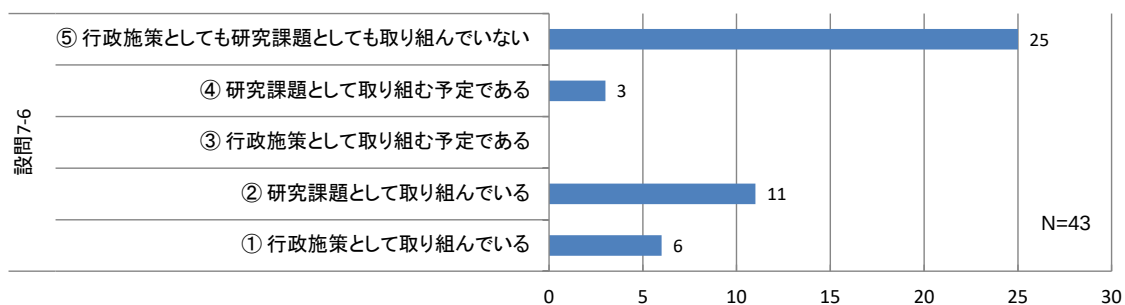
③ 野菜



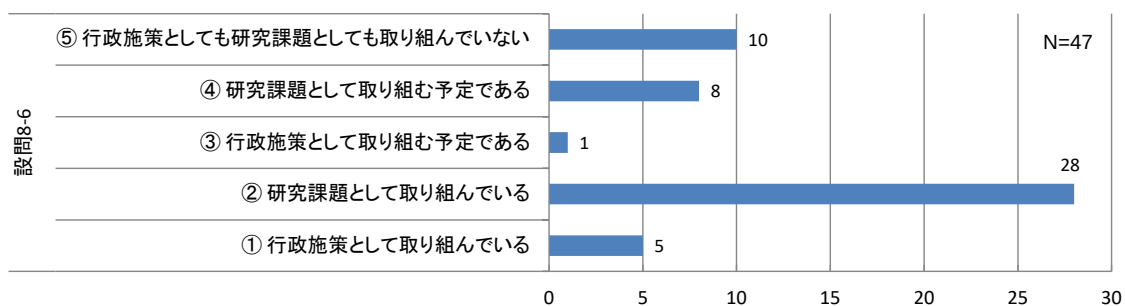
④ 土地利用型作物



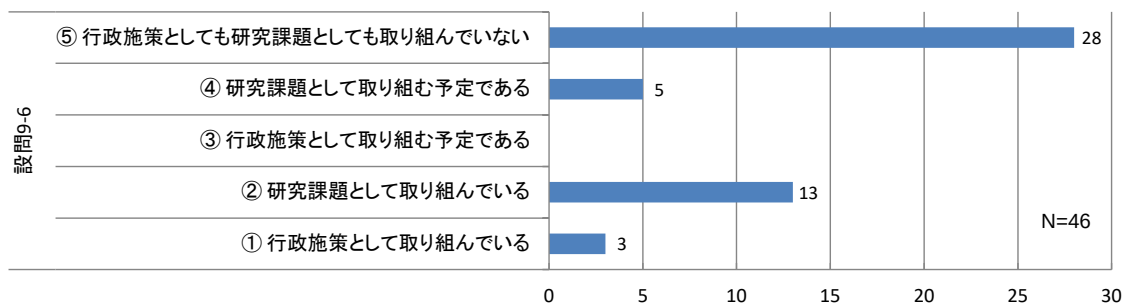
⑤ 工芸作物



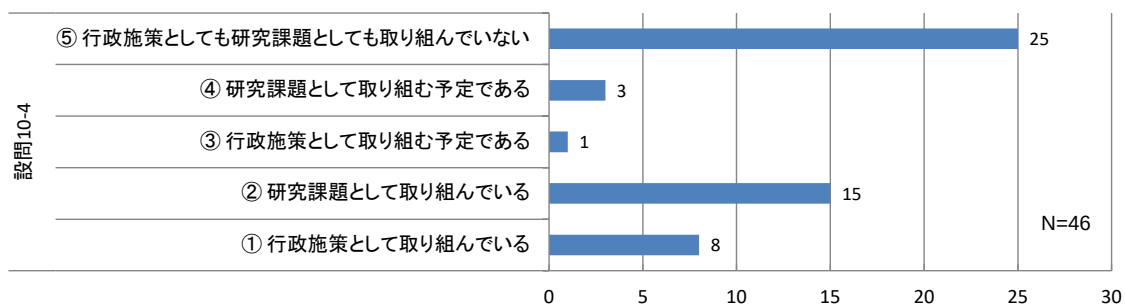
⑥ 花き



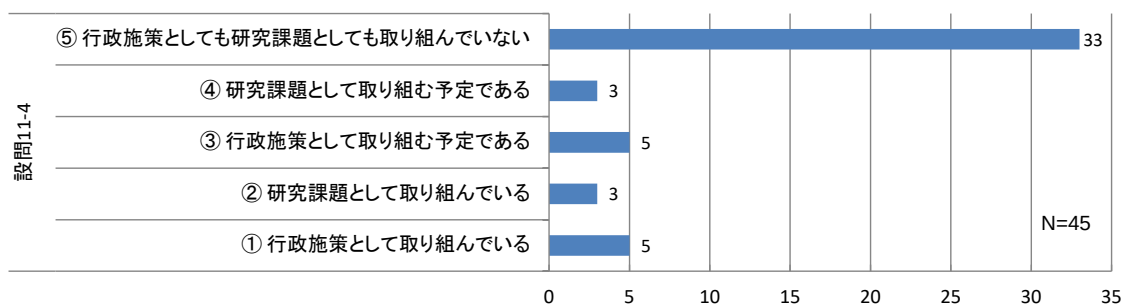
⑦ 飼料作物



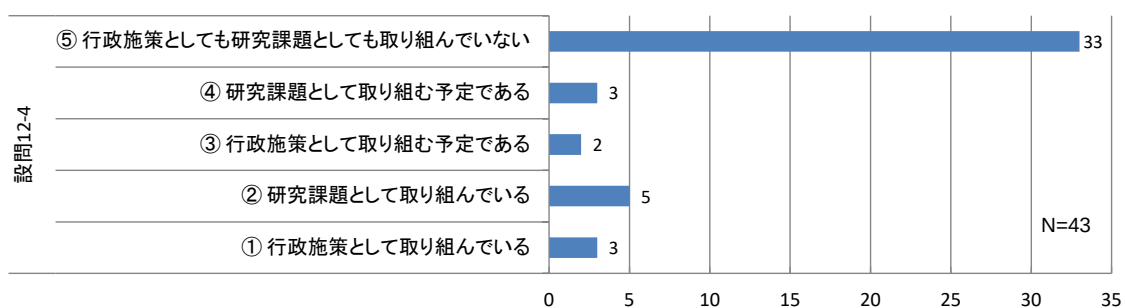
⑧ 畜産



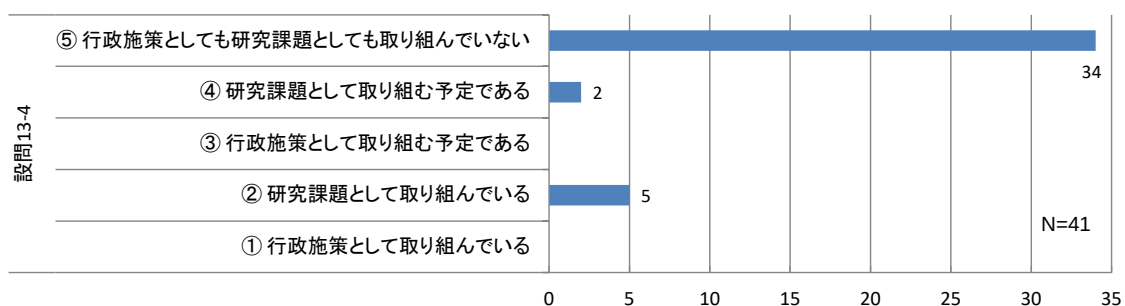
⑨ 農業生産基盤



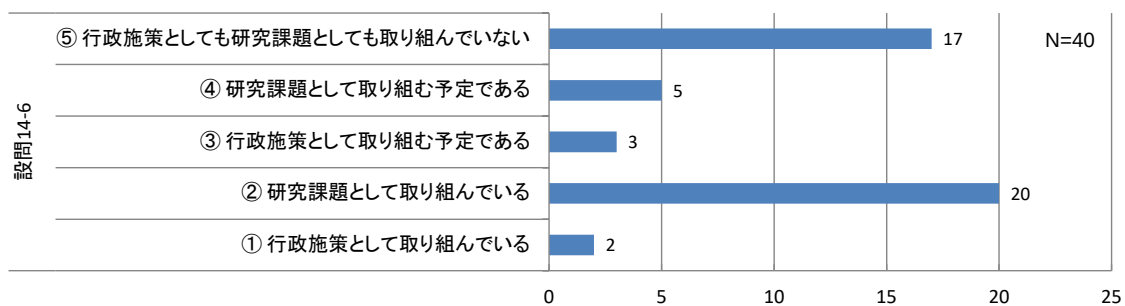
⑩ 林業



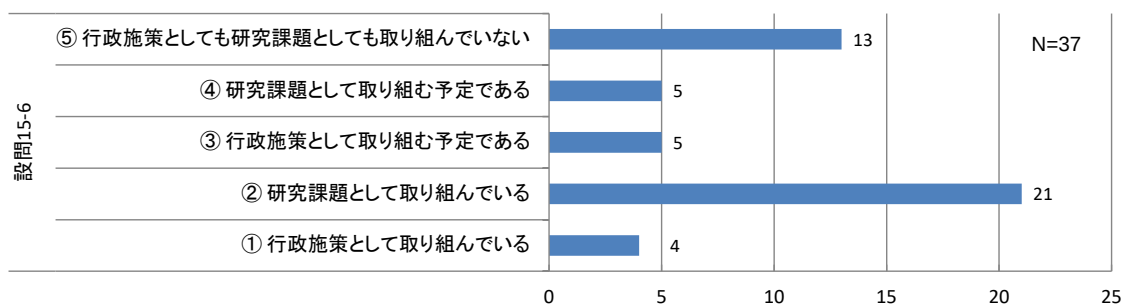
⑪ 特用林産物



⑫ 水産養殖（海面及び内水面）



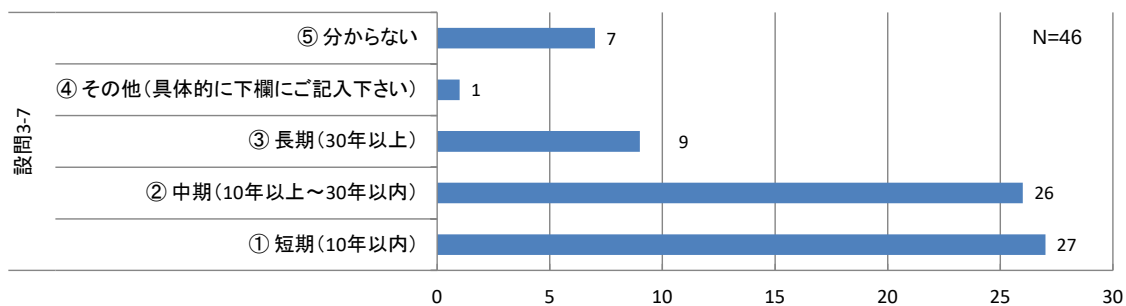
⑬ 水産業（水産養殖以外）



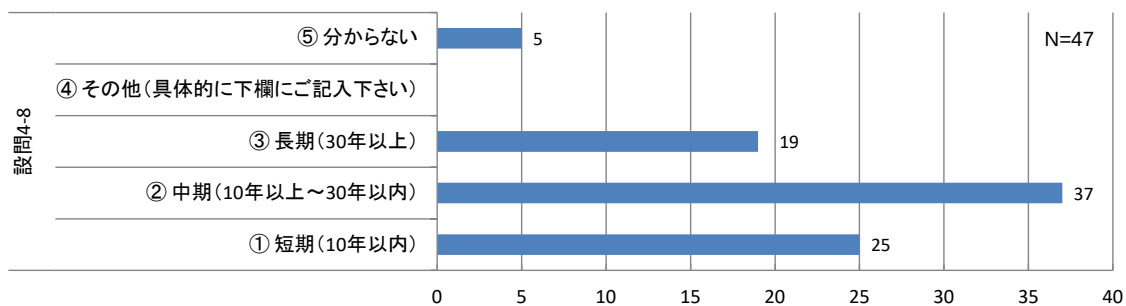
4.5 将来展望で対象とすることを望む時期について

将来展望で対象とすることを望む時期について分野別に聞きました。

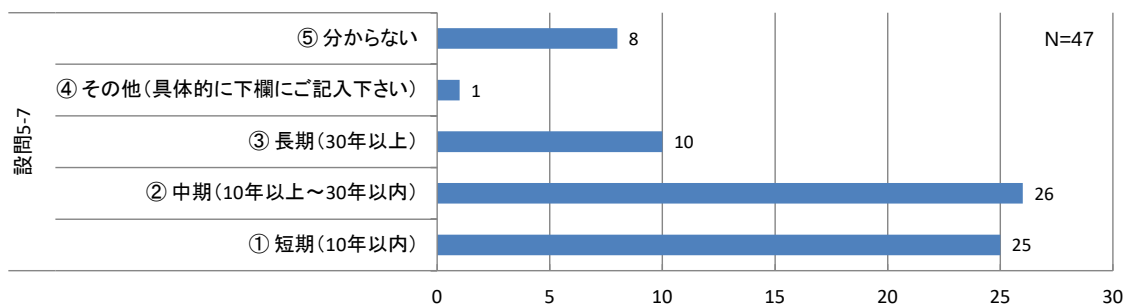
① 水稲



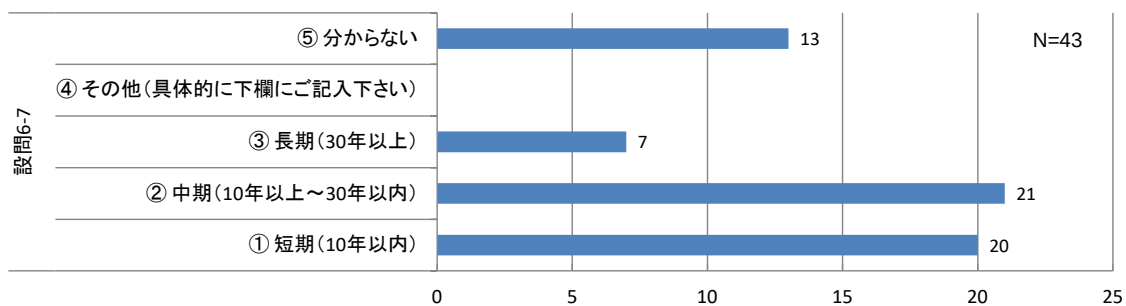
② 果樹



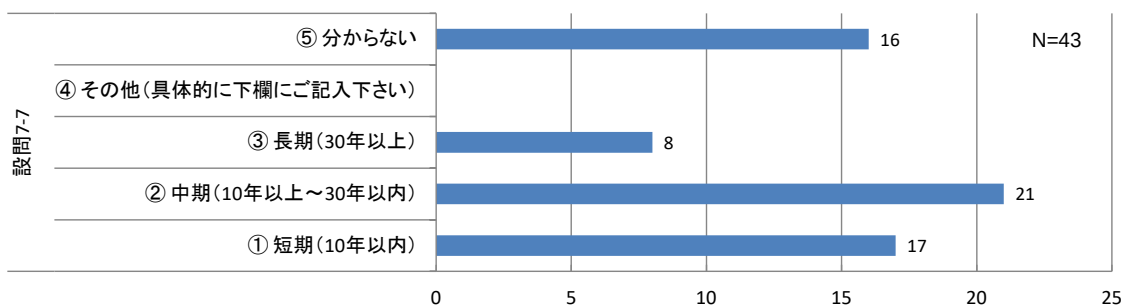
③ 野菜



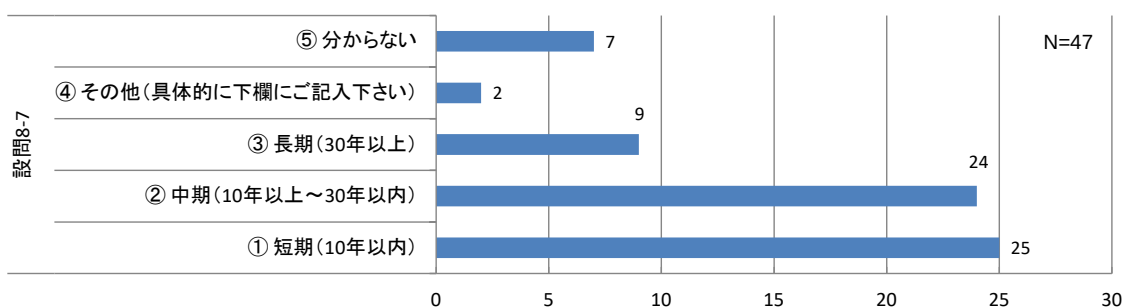
④ 土地利用型作物



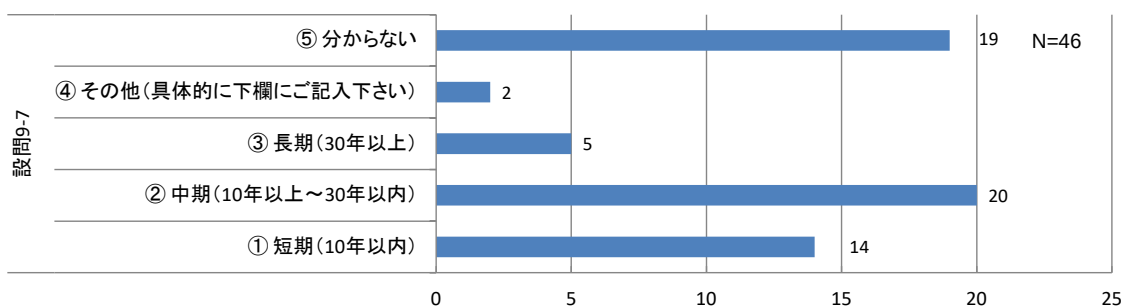
⑤ 工芸作物



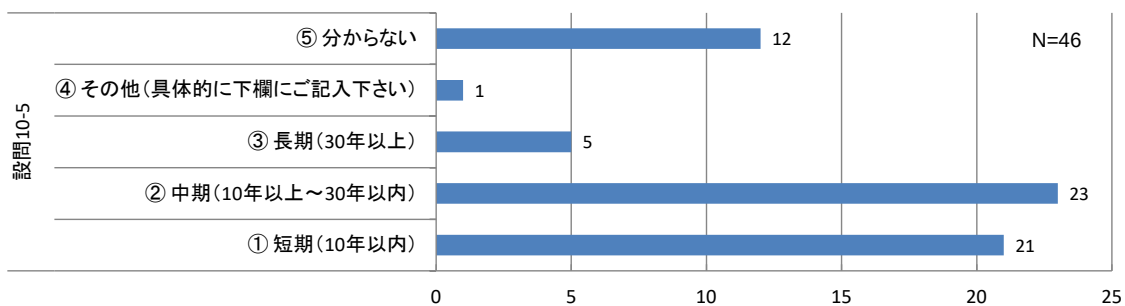
⑥ 花き



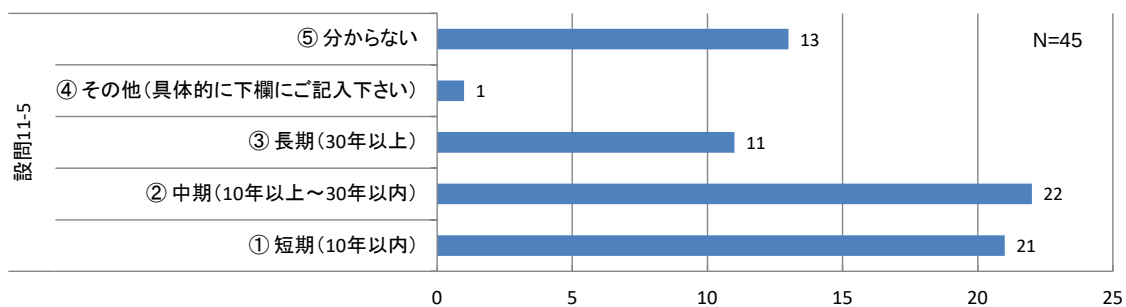
⑦ 飼料作物



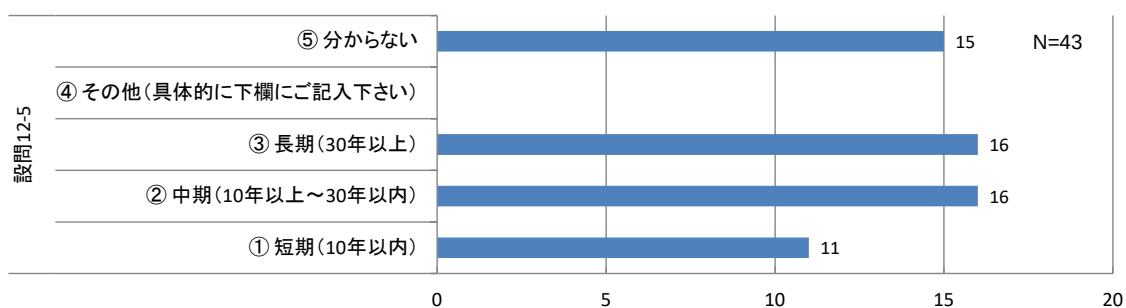
⑧ 畜産



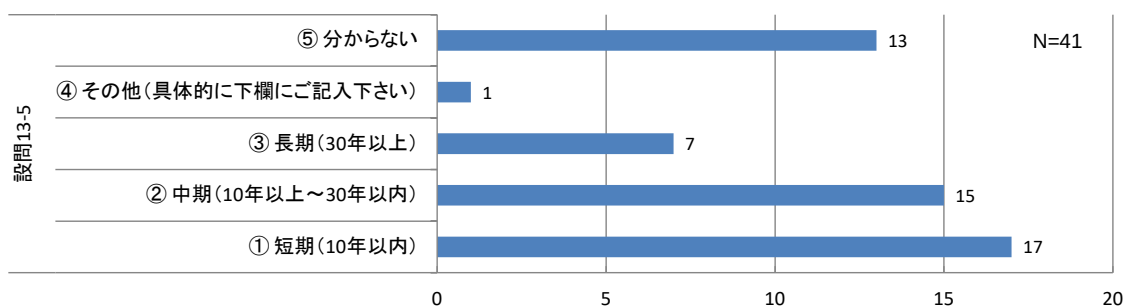
⑨ 農業生産基盤



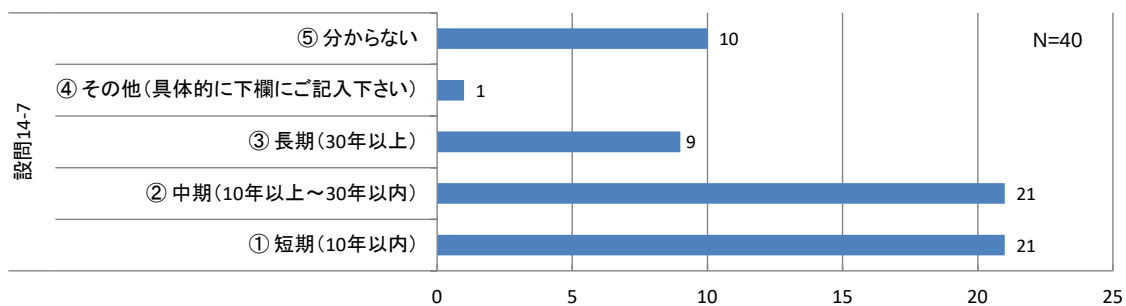
⑩ 林業



⑪ 特用林産物



⑫ 水産養殖（海面及び内水面）



⑬ 水産業（水産養殖以外）

