

3. 中国四国地域の気候変動影響に関する調査

3.1. 暖冬によるナシ栽培への影響調査

3.1.1. 概要

3.1.1.1. 背景・目的

気候変動がもたらす暖冬による低温時間の減少は、ナシの開花不良を通してその生産に影響を及ぼすことが懸念されており、温暖な地域ではすでに被害が生じ始めている。本調査では、ナシの自発休眠打破¹に必要な低温積算量²を指標として、気候変動にともなう主要ナシ品種の栽培適地の変化を予測し、影響評価と適応策の検討を行うことを目的とした。

- 1) 自発休眠打破：十分な低温時間を経験し、展葉・開花が可能となる状態をいう。
- 2) 低温積算量：低温に曝される時間の積算量。自発休眠打破に必要な量（低温要求量）は品種により異なる。

3.1.1.2. 実施体制

本調査の実施者：株式会社地域計画建築研究所（アルパック）、国立大学法人鳥取大学

アドバイザー： 国立大学法人鳥取大学 農学部 教授 田村文男

国立大学法人鳥取大学 農学部 講師 竹村圭弘

また、本調査の実施にあたっては、各県及び各県の研究機関並びに専門家から情報提供及びアドバイスなどのご協力をいただいた。

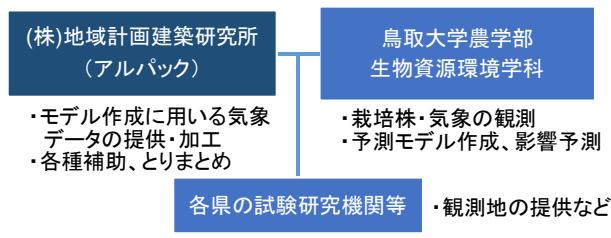


図 3.1.1 実施体制

3.1.1.3. 実施スケジュール

1年目から2年目の冬季に栽培個体及び栽培地における気象の観測を実施し、得られたデータを用いて既存の栽培適地予測モデルの検証及び改良を実施した。2年目には暫定のモデルと気候シナリオを用いて影響予測の試行を行い、3年目に最終版のモデル及び気候シナリオによる影響予測と適応策の検討を実施した。

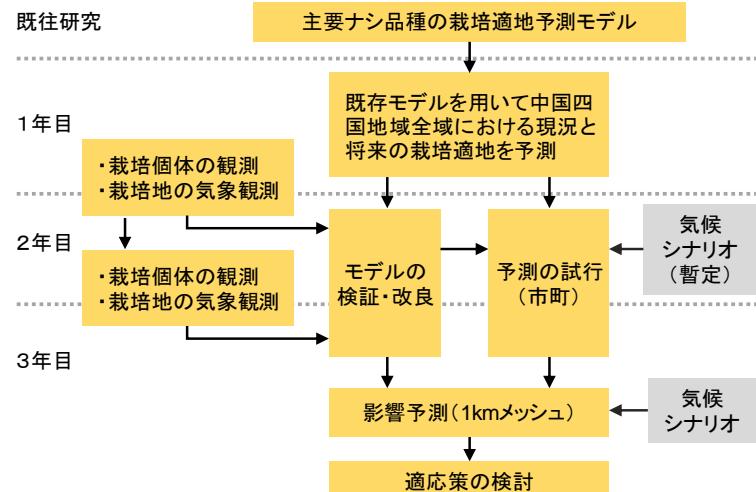


図 3.1.2 実施スケジュール

3.1.1.4. 気候シナリオ基本情報

影響予測に使用した気候シナリオの基本情報は下表に示すとおりである。

表 3.1.1 気候シナリオの基本情報

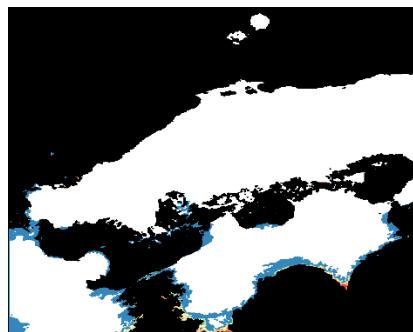
項目	ニホンナシ主要品種の自発休眠打破
気候シナリオ名	NIES 統計的 DS データ
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3
気候パラメータ	平均気温（日別値）
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	21世紀中頃、21世紀末
バイアス補正の有無	あり（全国）

3.1.1.5. 気候変動影響予測結果の概要

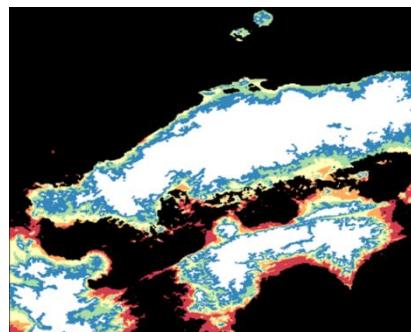
低温要求量が CU. 1400 である ‘二十世紀’ 及び ‘新高’ については、21世紀中頃には四国地域の太平洋沿岸域で影響が生じる可能性があり、21世紀末には沿岸域を中心とした中国四国地域の広域において栽培が困難となる地域が広がると予測された。

低温要求量が CU. 1000 程度と少ない ‘あきづき’ や ‘豊水’ などについても、RCP8.5 シナリオでは 21世紀末に沿岸域で自発休眠打破に至らない年が出現するが、低温要求量 1,400 程度の品種と比べると栽培適地は広く残ると予測された。

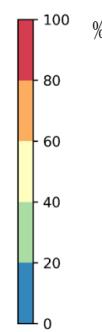
低温要求量 CU. 1400 の品種（‘二十世紀’、‘新高’）



21世紀中頃、RCP2.6



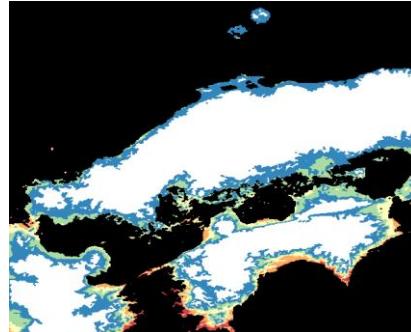
21世紀末、RCP8.5



低温要求量 CU. 1000 の品種（‘あきづき’、‘豊水’、‘新甘泉’）



21世紀中頃、RCP2.6

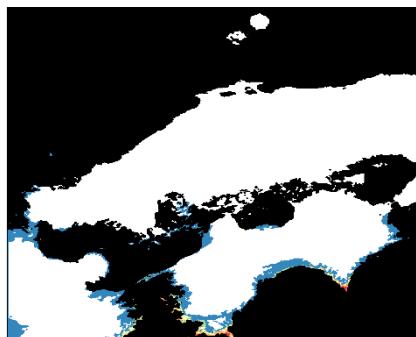


21世紀末、RCP8.5

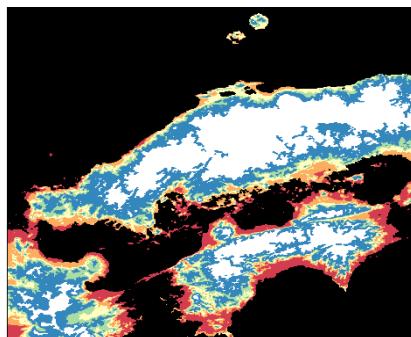
数値は、予測期間（20年間）に占める自発休眠打破に至らない年の割合（%）を示す。

図 3.1.3 (1) 将来の栽培適地の予測結果 (MRI-CGCM3)

低温要求量 CU. 1400 の品種（‘二十世紀’、‘新高’）

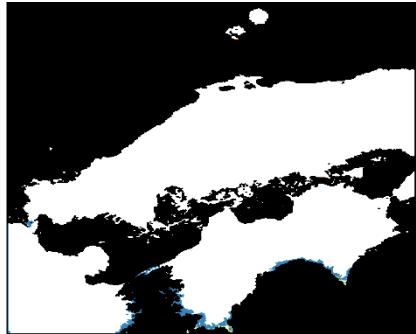


21世紀中頃、RCP2.6

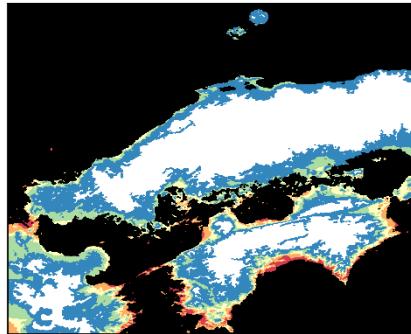


21世紀末、RCP8.5

低温要求量 CU. 1000 の品種（‘あきづき’、‘豊水’、‘新甘泉’）



21世紀中頃、RCP2.6



21世紀末、RCP8.5

数値は、予測期間（20年間）に占める自発休眠打破に至らない年の割合（%）を示す。

図 3.1.3 (2) 将来の栽培適地の予測結果 (MIROC5)

3.1.1.6. 活用上の留意点

① 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、暖冬にともなう低温積算量の減少による影響に着目し、3月31日時点における低温積算量が各ナシ品種の低温要求量に達しているかどうかを自発休眠打破の判断材料として、栽培の適性を予測評価した。

② 本調査の将来予測の対象外とした事項

本調査では、低温積算量による自発休眠打破の有無で評価を実施したが、芽の凍害や晩霜害など、発芽不良をもたらす他の要因については検討対象としていない。また、気候変動による影響としては、夏季の高温による日焼け、台風による果実の落下なども考えられるが、これらの影響については考慮していない。

③ その他、成果を活用する上での制限事項

上述のとおり、本調査では自発休眠打破以外の要因については考慮していないため、栽培適地として予測されている地域の中には、他の要因により栽培不適となる地域が生じる可能性がある。

また、予測モデルについては、低温積算量の積算開始・終了時期の設定や、沿岸地域と内陸地域による日較差（冷え込み）の違いの反映など、改善の余地が残されている。予測結果は不確実性をともなっていることに留意が必要である。

3.1.1.7. 適応オプション

適応オプションの概要を下表に示す。

表 3.1.2 適応オプションの概要

適応オプション	想定される実施主体			現状		実現可能性			効果		
	行政	事業者	個人	普及状況	課題	人的側面	物的側面	コスト面	情報面	効果発現までの時間	効期待される程度
薬剤による処理		●		10%	・適期の判断（低温積算量のモニタリング） ・早期の自発休眠打破による凍霜害の発生	◎	○	△	○	短期	中
栽培品種の選択		●		20%	・気候条件に適した品種の見極め ・植え替えから収穫までのタイムラグ	△	△	△	○*	長期	高
低温要求性の小さい品種の開発	●	●		10%	・品質の劣らない品種の開発 ・専門的知見と開発コスト	○	○	△	○	長期	高
栽培地選択		●		0%	・将来の栽培適地はアクセスが困難な山地域となる ・造成などによる新たな農地の確保が必要	△	△	△	○*	長期	高

【 実現可能性の評価基準 】

(人的側面) ◎：自団体・一個人のみで実施が可能、△：他団体・他個人との協同が必要

(物的側面) ◎：物資設備は不要、○：既存の技術に基づく物資設備で対応可能、△：新たな技術の開発が必要

(コスト面) ◎：追加費用は不要、△：追加費用が必要、N/A：追加費用は不明

【 効果の評価基準 】

(効果発現までの時間) 短期：対策実施の直後に効果を発現する、長期：長期的な対策であり、対策実施から効果の発現までに時間が要する、N/A：評価が困難である

(期待される効果の程度) 高：他の適応オプションに比較し、期待される効果が高い、中：他の適応オプションに比較し、期待される効果が中程度である、低：他の適応オプションに比較し、期待される効果が低い

表 3.1.3 適応オプションの考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
薬剤による処理	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域の9県中1県で取り組まれていることを踏まえ、普及率は10%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。 シアナミド処理は、低温積算量CU.200～400程度を補う効果があるが、低温積算量がそれ以上に不足する場合には効果がない（黒木ほか、2013）こと、早期の自発休眠打破による晩霜害を誘発するおそれがあることから、期待される効果の程度は「中」とした。
栽培品種の選択	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域の9県中2県で取り組まれていることを踏まえ、普及率は20%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。2県では、「あきづき」、「凜夏」の導入が試行されている。 事業者（農家）が品種を選択するためには、まとまった苗木の確保が必要であり、苗木生産者等の他者の取り組みも関係するため、物的側面及び人的側面は「△」と評価した。
低温要求性の小さい品種の開発	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域の9県中1県で取り組まれていることを踏まえ、普及率は10%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。 品種開発のための研究には研究費用が必要となるため、コスト面は「△」とした。 一方で、鳥取大学や高知県の試験研究機関には果樹の研究施設があり、研究者も配置されているため、それらの維持と広域的な連携を前提として、人的側面及び物的側面は「○」と評価した。
栽培地選択	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域では取り組んでいる県がないため、普及率は0%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。 土地の確保、農地の造成、果樹育成等に多大な労力やコストを要するため、人的側面、物的側面、コスト面については「△」と評価した。 地域によっては21世紀末でも多くの品種が栽培可能となるため、期待される効果の程度は「高」と評価した。

3.1.2. 気候シナリオに関する情報

3.1.2.1. 気候シナリオ基本情報

本調査で使用した気候シナリオは下記のとおりである。

表 3.1.4 気候シナリオの基本情報

項目	ニホンナシ主要品種の自発休眠打破
気候シナリオ名	NIES 統計的 DS データ
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3
気候パラメータ	平均気温（日別値）
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	21世紀中頃、21世紀末
バイアス補正の有無	あり（全国）

3.1.2.2. 使用した気候パラメータに関する情報

影響予測に用いた気候シナリオでは、冬期の日平均気温は、21世紀中頃に MIROC5 では 2.5～2.8°C、MRI-CGCM3 では 0.5～1.0°C 上昇すると予測されている。21世紀末には、MIROC5 では 3.0～5.6°C、MRI-CGCM3 では 1.1～3.8°C の上昇が予測されている。

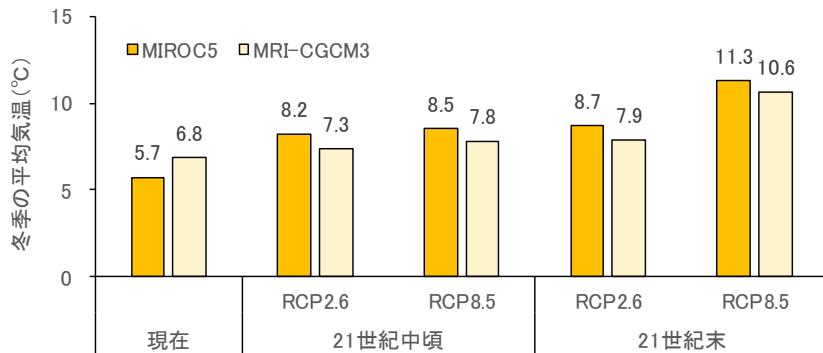


図 3.1.4 鳥取市における 10 月から 3 月の日平均気温の予測値

3.1.2.3. 気候シナリオに関する留意事項

気候シナリオの予測値と実測値との比較検証の結果、全体的に予測値と実測値の差は小さく、特異なデータの偏りなどは認められなかった。したがって、影響予測に用いる気候指標のデータとしては大きな問題ないと考えられた。

3.1.2.4. バイアス補正に関する情報

本調査では、バイアス補正を行っていない。

3.1.2.5. 気候シナリオ選択の理由

本調査では、中国四国地域の広域における 1km メッシュの平均値を用いる必要があったため、統計的ダウンスケールによる気候シナリオの中から、21 世紀中頃及び 21 世紀末の 20 年間の気候値が整備されており、最新で信頼性が高いと考えられるものを採用した。

3.1.3. 気候変動影響に関する調査手法

3.1.3.1. 手順

本調査の作業手順を以下に示す。

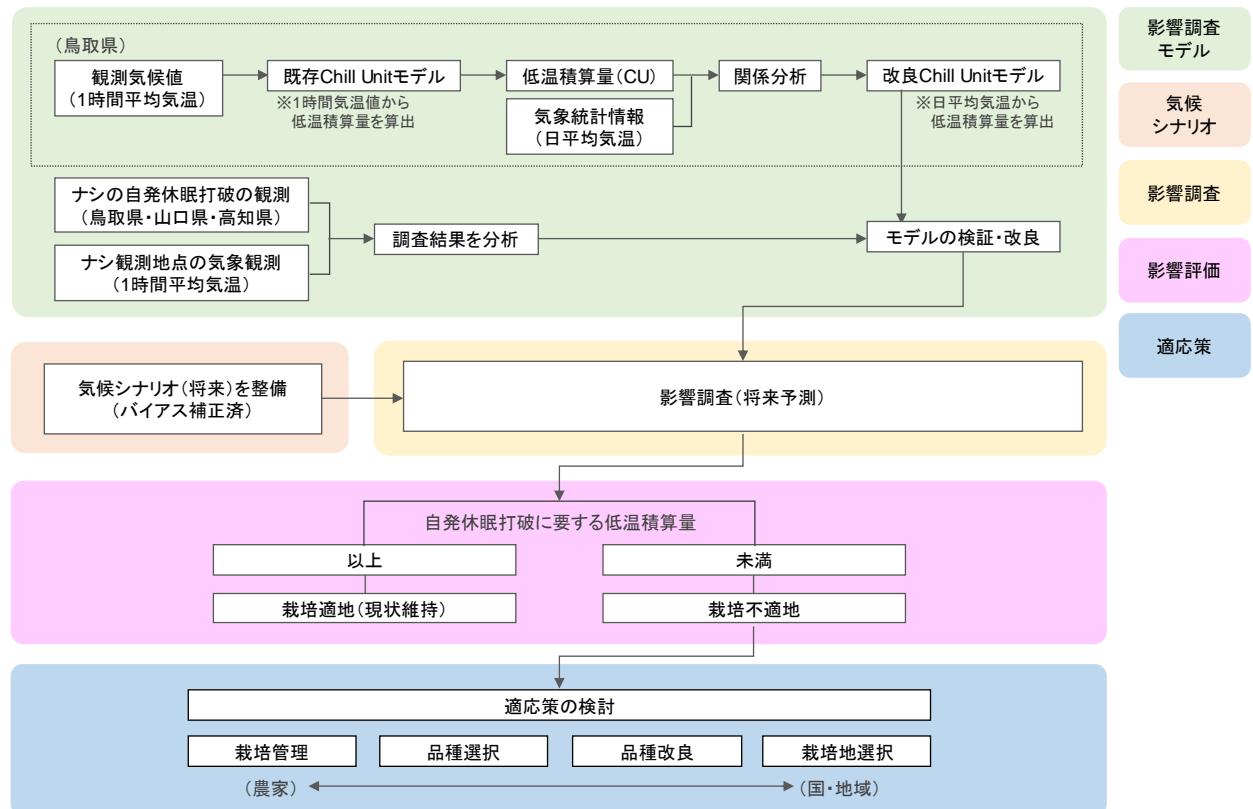


図 3.1.5 調査の実施手順

3.1.3.2. 使用したデータ・文献

本調査に用いたデータ及び文献資料を下表に示す。

表 3.1.5 調査に用いたデータ及び文献資料

区分	データ・文献資料の名称・出典	概要及び使用方法
気象データ	気象統計情報（気象庁 HP よりダウンロード）	鳥取及び高知における過去 20 年間の日平均気温データ。影響予測モデルの再現性検証に用いた。
その他データ	2015 年農林業センサスデータ（政府統計の窓口 e-Stat よりダウンロード）	「販売目的で栽培した果樹類の品目別栽培経営体数と栽培面積」よりナシの主要栽培地域を推定した。
文献資料	低温積算量の推定に関する論文 (Tamura et al., 1997)	時間平均気温を用いた低温積算量の推定手法が掲載されている。この推定式による低温積算量と日平均気温との関係式から影響予測モデルを作成した。
	ナシ主要品種の低温要求量に関する論文 (Tamura et al., 2000)	影響予測の対象とする主要なナシ品種の低温積算量の根拠として用いた。

3.1.3.3. 有識者ヒアリング

本調査では、下記のとおりヒアリングを実施した。

表 3.1.6 ヒアリングの実施概要

NO.	1
ヒアリング対象者	鳥取大学農学部 教授 田村文男氏 鳥取大学農学部 講師 竹村圭弘氏
日付	2019年12月11日 9:30~10:30
場所	鳥取大学農学部 ミーティングルーム
概要	影響予測の結果に基づき、予測結果の妥当性や今後の取り組みに向けた課題についてご意見を伺った。

3.1.3.4. 観測および実証実験

① ナシ栽培株の観測

鳥取県（日本海側）、山口県（瀬戸内海側）、高知県（太平洋側）の3地域に観測地を設定し、ナシ栽培個体の観測を実施した。観測地及び対象品種は表 3.1.7 に、観測の実施状況は図 3.1.6 に示すとおりである。

観測は、平成29年から平成30年5月及び平成30年11月から平成31年4月にかけて実施した。観測期間中は、葉芽が連続して着生している発育枝を2週間ごとに採取し、落葉以前の発育枝を摘葉した後、頂芽を切除して芽が7節着生した枝を5本ずつ調製した（図3.1.6）。その後、0.03%硫酸アルミニウムを添加した水溶液中に置いた吸水性スポンジに水挿しした。水挿し後は、 $23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の照明下の恒温室内に静置し、腐敗防止のため7日ごとに水替えを行い、同時に水切りによって正常な部分まで切り戻しを行った。水挿し後28日目に、葉芽の発育程度を図3.1.7に示すとおり7段階に分けて記録した。本実験では、発育指数3以上に達した葉芽を萌芽したと見なし、上位5節の萌芽の有無から5本の平均値を萌芽率として算出した。また、予測モデルの精度向上に寄与するため、土壤水分・温度・ECセンサー（GS3 P/N40477）を用いて樹体内の水分含量を測定した。また、3品種（‘豊水’、‘あきづき’、‘二十世紀’）を対象に、低温処理として、採取後の枝を5°C及び10°Cの低温条件下に25日間置き、5日ごとに葉芽の発育指数を記録した。

表 3.1.7 観測地及び対象品種

地域	観測地	調査対象としたナシの品種					
		‘豊水’	‘幸水’	‘新高’	‘あきづき’	‘二十世紀’	‘王秋’
鳥取県	鳥取大学農学部 鳥取市	○	○	○	○	○	○
山口県	民間果樹園 美祢市			○		○	○
高知県	高知県農業技術セ 高知市 シター果樹試験場	○	○	○	○		



観測地の状況（鳥取大学圃場）



観測地で採集した枝の自発休眠打破
の観測状況（鳥取大学実験室）

図 3.1.6 ナシ栽培株の観測状況

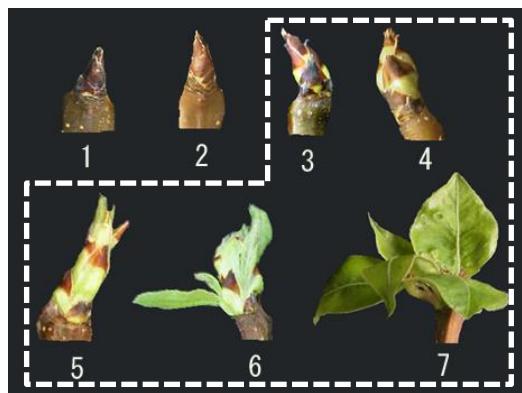


図 3.1.7 葉芽の発育指数 ※破線で囲った発育指数を萌芽したと見なした。

② 気象の観測

ナシの栽培個体の各観測地点に温湿度測定器「おんどとり TR-7wf」（T&D 社製）を設置し、観測期間における 1 時間ごとの気温を計測した。また、観測値から、後述する Tamura et al (1997) の手法を用いて各観測地点の低温積算量を推定した。

3.1.3.5. 気候変動影響予測手法の検討

ナシの低温要求性に関しては、品種ごとに生理生態的な観測研究が進められ、それらの情報に基づいて自発休眠の打破に必要な低温要求量が品種ごとに推定されている (Tamura et al., 1997 ; Tamura et al., 2001 など)。また、気候変動による影響に関しては、低温積算量を指標として、「新高」(朝倉ほか、2008) や、鳥取県におけるナシ数品種 (竹村ほか、2016)、千葉県における「幸水」(戸谷・川瀬、2011) への影響予測も試みられている。しかし、各品種についての観測研究は必ずしも十分ではなく、低温要求量についても推定値に CU. 200 程度の幅がある。また、栽培適地の予測に関しては、対象品種が限られていること、中国四国地域のように広域を対象とした影響予測には至っていないこと、予測の精度が十分でないことが課題である。

また一方で、気候変動による影響を広域的に予測するにあたっては、モデルの簡素化も必要であ

る。低温積算量は、Tamura et al. (1997) のように1時間ごとの気温から算出するのが一般的であるが、既存の気候シナリオの活用を考えると、竹村ほか(2016)が試みているように日平均気温から低温積算量を推定することが必要である。

そこで、本調査では、上述の観測結果を用いて竹村ほか(2016)の予測モデルを改良し、影響予測に用いることとした。

表 3.1.8 ‘二十世紀’の低温積算量算出モデル
(Tamura et al., 1997)

1時間ごとの平均気温(°C)	温度指数
<8.0	1.0
8.1~10.0	0.8
10.1~12.0	0.4
12.1~14.0	0.2
14.1~16.0	0.0
16.1~18.0	-0.4
18.1~20.0	-0.8
20.1>	-1.0

低温積算量は、各時間の温度指数の積算により求める。

3.1.3.6. 影響予測モデルに関する情報

① 栽培適地予測モデルの概要

本調査で使用したモデルの概要を表3.1.9及び図3.1.8に示す。

本モデルは、竹村ほか(2016)の予測モデルをもとに、本調査で実施した観測結果を用いて係数などを補正したものである。

表 3.1.9 栽培適地予測モデルの概要(低温積算量の推定式)

平均気温の条件	低温積算量の推定式
$t < 14.1^{\circ}\text{C}$	$CU = -2 \cdot 10^{-6} \cdot t^6 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot t^5 - 10^{-4} \cdot t^4 - 7.6 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 - 0.006 \cdot t^2 + 0.0243 \cdot t + 23.974$
$14.1^{\circ}\text{C} \leq t < 16.1^{\circ}\text{C}$	$CU = 0$
$16.1^{\circ}\text{C} \leq t$	$CU = -9.6$

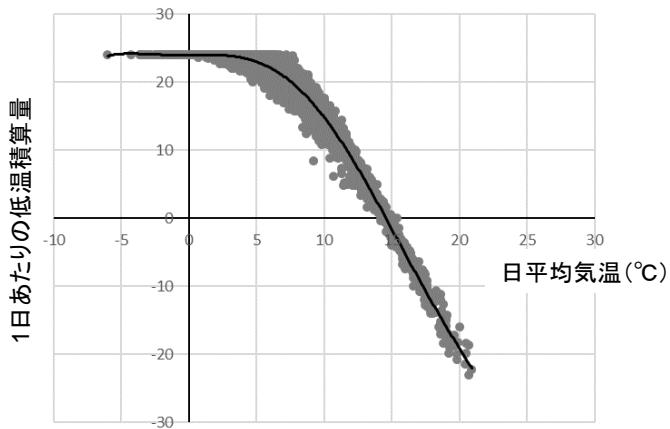


図 3.1.8 既存算出モデルより求めた1日あたりの低温積算量と日平均気温との関係

② モデルの検証

a. 過去の気象データを用いた検証

栽培適地モデルに過去の気象観測データを入力し、発芽不良の被害発生の実態と照合した。過去の気象観測データとしては、気象統計情報(気象庁HPよりダウンロード)の20年間の観測値を用いた。検証の対象地域は、被害が発生していないことが知られている鳥取県と、被害の発生が確認

されている高知県の2県とした。

鳥取市では、すべての年で低温積算量の推定値が2,000を上回っており、発芽不良が確認されていない状況と合致していた。高知市では、2000年代に低温積算量の推定値が‘新高’の要求量であるCU.1400を下回る年があり、大きく下回った2006年から2007年及び2015年から2016年には実際に発芽不良が確認されていた。

以上のとおり、モデルによる低温積算量の推定値と発芽不良の発生状況には対応関係が認められることから、影響調査のモデルとして一定の再現性を有していると評価できる。

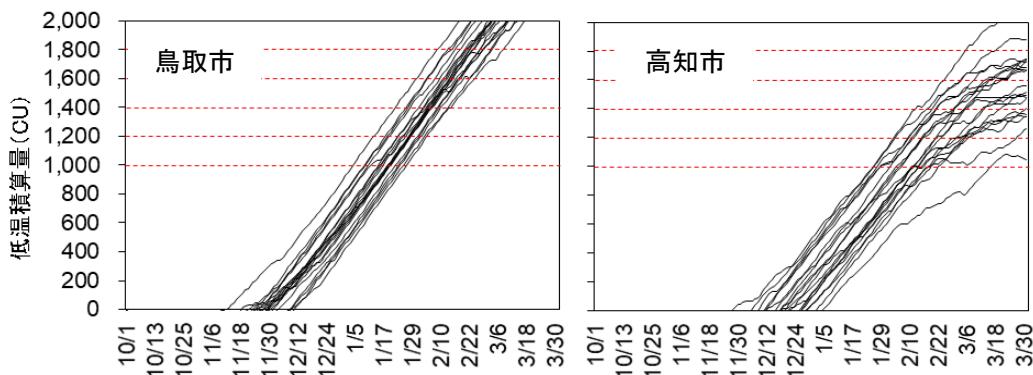


図3.1.9 過去の気象データ（実測値）を用いて算出した低温積算量（CU）

b. 既存モデルによる推定値との比較

観測地で実測した1時間ごとの平均気温と既存モデル（Tamura et al. 1997）により推定した自発休眠打破日と、改良した予測モデルを用いて推定した自発休眠打破日とを比較し、その差を算出した。自発休眠打破日は、低温積算量（CU）が1,000、1,400、1,800の3条件について推定した。その結果は下表に示すとおりであり、推定された日の差は3日未満とわずかであった。

表3.1.10 既存モデル及び予測モデルにより推定した自発休眠打破日

観測地	CU1,000			CU1,400			CU1,800		
	既存 モデル	予測 モデル	差	既存 モデル	予測 モデル	差	既存 モデル	予測 モデル	差
鳥取	12月27日	12月25日	(-2)	1月13日	1月12日	(-1)	1月31日	1月29日	(-2)
山口	12月27日	12月27日	(±0)	1月13日	1月13日	(±0)	1月30日	1月30日	(±0)
高知	1月5日	1月3日	(-2)	1月24日	1月22日	(-2)	2月11日	2月8日	(-3)

低温積算量の算出には、観測値における気温の実測値を用いた。

3.1.3.7. 影響予測に必要な入力パラメータ

本調査の影響予測に必要なデータは、10月～3月の期間の日平均気温のみである。

3.1.3.8. 影響予測における留意事項（制限事項）

本調査の手法については、使用において特に留意すべき点はない。

3.1.4. 調査結果

3.1.4.1. 文献調査結果

収集した気象データ及び文献情報については、上述のとおり、影響予測モデルの作成及び検証に活用した。

また、ナシの栽培地域情報については、情報の精査を行ったうえで、e-Stat（政府統計窓口）で提供されているGIS用のESRI Shape形式データを用いて図3.1.10に示す地図の作成に使用した。

また、ナシの品種ごとの低温要求量について、Tamura et al. (2001) によってまとめられた情報をもとに、表3.1.11に整理した。

表3.1.11 各ナシ品種の低温要求量 (Tamura et al., 2001)

低温要求量	品種名
CU. 800-1000	‘あきづき’，‘豊水’，‘夏そやか’，‘二宮’，‘涼月’，‘新甘泉’
CU. 1000-1200	‘秋甘泉’，‘長十郎’，‘えみり’，‘幸水’，‘なつひめ’，‘夏さやか’，‘夏しづく’，‘類産梨’，‘早生幸藏’
CU. 1200-1400	‘ゴールド二十世紀’，‘八幸’，‘新高’，‘二十世紀’，‘太白’，‘八雲’
CU. 1400-1600	‘長寿’，‘独逸’，‘八達’，‘今村秋’，‘菊水’，‘雲井’，‘につこり’，‘新星’，‘翠星’
CU. 1600-1800	‘赤穂’，‘天の川’，‘君塚早生’，‘晚三吉’，‘王秋’，‘新雪’，‘新水’
CU. 1800 <	‘秀玉’

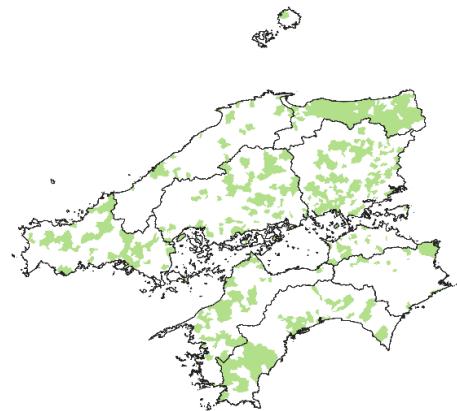


図3.1.10 ナシの栽培地域 (2015年農林業センサスデータより作成)

3.1.4.2. 有識者ヒアリングの結果

有識者へのヒアリングでは、下表のとおり本調査の妥当性を確認いただき、今後の課題などについて助言をいただいた。

表3.1.12 ヒアリング結果の概要

NO.	1
ヒアリング対象者	鳥取大学農学部 教授 田村文男氏 鳥取大学農学部 講師 竹村圭弘氏
概要	<ul style="list-style-type: none">予測結果については大きな問題はない。予測モデルには今後改善すべき点があるが、そのためには基礎的な観測や研究が必要である。今後は、地域での共同研究や、他の果樹に対する影響予測への応用などが期待される。

3.1.4.3. 観測や実証実験の結果

① ナシ栽培株の観測

各観測地におけるナシの葉芽の発育指数（図3.1.7参照）の推移を表3.1.13及び表3.1.14に示す。平均発育指数が3以上の場合に萌芽したとみなし、自発休眠が打破された状態として評価した。

平成29年度は、高知県の‘新高’を除いて、いずれの品種についても1月第4週までに平均発育指数が3を上回った。平成30年度は、高知県の‘豊水’、‘あきづき’、‘新高’を除いて、1月第3週までに平均発育指数が3以上となった。平成29年度に観測した高知県の‘新高’については、

萌芽しないままの状態ですべての枝が枯死ししたため、平均発育指数が3を上回ることがなかった。

平均発育指数の推移を観測地域で比較すると、萌芽に至る時期は、気候条件に対応して山口、鳥取、高知の順となっていた。ただし、平成29年度の‘あきづき’については、冷涼な鳥取よりも高知において早期の萌芽が確認された。

樹体内の水分状態の観測では、日変化における飽差^{※1}の上昇、水ポテンシャルの低下、樹液流速の上昇、体積含水率の減少が観測された。また、落葉とともに樹液流速の減退や飽差・水ポテンシャルに対する応答が認められた。

※1 飽差：同じ気温における空気中の飽和水蒸気圧と、実際に含まれている水蒸気圧との差。

表3.1.13 採取したナシの枝における葉芽の発育指数の推移（平成29年度）（二次利用不可）

品種	観測地	枝の採取時期 ^{※1, 2}							
		11月 第2週	11月 第4週	12月 第2週	12月 第4週	1月 第2週	1月 第4週	2月 第2週	2月 第4週
‘豊水’	鳥取	2.44 a	1.84 a	2.08 a	2.64 a	3.08 a	4.36 a	3.72 a	3.76 a
	高知	1.25 b	1.96 a	2.23 a	2.60 a	3.70 a	3.91 a	1.25 b	1.45 b
‘あきづき’	鳥取	1.56 a	1.56 a	1.80 a	2.20 a	2.72 b	3.60 b	5.08 a	5.24 a
	高知	1.92 a	1.56 a	2.56 a	1.29 b	4.48 a	5.48 a	1.24 d	1.24 d
‘幸水’	鳥取	2.32 a	1.52 a	2.12 a	2.76 a	3.76 a	2.39 a	2.22 a	3.76 a
	高知	1.65 b	1.20 a	1.05 b	1.00 b	2.04 b	3.45 a	1.18 a	3.83 a
‘新高’	鳥取	1.68 a	1.20 a	1.28 a	2.28 a	2.56 b	3.36 b	4.36 b	4.76 a
	高知	1.04 b	1.54 a	1.00 a	1.28 b	2.60 b	2.71 b	2.05 c	1.08 b
	山口	1.36 ab	1.12 a	1.38 a	2.51 a	4.76 a	4.76 a	5.82 a	5.32 a
‘二十世紀’	鳥取	1.32 a	1.80 a	2.04 a	3.00 b	4.20 b	4.68 a	4.79 b	4.64 b
	山口	1.32 a	1.60 a	2.92 a	4.56 a	5.92 a	5.96 a	6.08 a	6.80 a
‘王秋’	鳥取	1.80 a	1.52 a	1.72 a	2.48 a	2.52 a	3.68 a	3.48 b	4.20 a
	山口	2.04 a	1.32 a	2.08 a	2.56 a	3.76 a	4.57 a	5.89 a	4.36 a

※1 地域間で英文字が異なる場合は、t検定によって5%水準で統計的に有意な差が認められたことを表す。

※2 網掛けは、各品種が萌芽に至った（発育指数が3以上となった）時期を表す。

表3.1.14 採取したナシの枝における葉芽の発育指数の推移（平成30年度）（二次利用不可）

品種	観測地	採取時期 ^{※1, 2, 3}				
		12月 第2週	12月 第4週	1月 第1週	1月 第3週	2月 第2週
‘豊水’	鳥取	2.44 a	1.84 a	2.08 a	3.76 a	—
	高知	1.25 b	1.96 a	2.23 a	1.45 b	3.45 a
‘あきづき’	鳥取	1.56 a	1.56 a	1.80 a	5.24 a	—
	高知	1.92 a	1.56 a	2.56 a	1.24 d	3.08 a
‘幸水’	鳥取	2.32 a	1.52 a	2.12 a	3.76 a	—
	高知	1.65 b	1.20 a	1.05 b	3.83 a	—
‘新高’	鳥取	1.68 a	1.20 a	1.28 a	4.76 a	—
	山口	1.36 ab	1.12 a	1.38 a	5.32 a	—
	高知	1.04 b	1.54 a	1.00 a	1.08 b	3.68 a
‘二十世紀’	鳥取	1.32 a	1.80 a	2.04 a	4.64 b	—
	山口	1.32 a	1.60 a	2.92 a	6.80 a	—
‘王秋’	鳥取	1.80 a	1.52 a	1.72 a	4.20 a	—
	山口	2.04 a	1.32 a	2.08 a	4.36 a	—

※1 地域間で英文字が異なる場合は、t検定によって5%水準で統計的に有意な差が認められたことを表す。

※2 網掛けは、各品種が萌芽に至った（発育指数が3以上となった）時期を表す。

② 気象の観測

気象の観測結果の一例として、平成 30 年 11 月から平成 31 年 3 月までの日平均気温（記録した時間平均気温から算出）と、Tamura et al. (1997) の手法により算出した低温積算量を図 3.1.11 に示した。3 月 31 日時点の低温積算量には、鳥取と山口で約 400、鳥取と高知で約 800 の差が認められた。

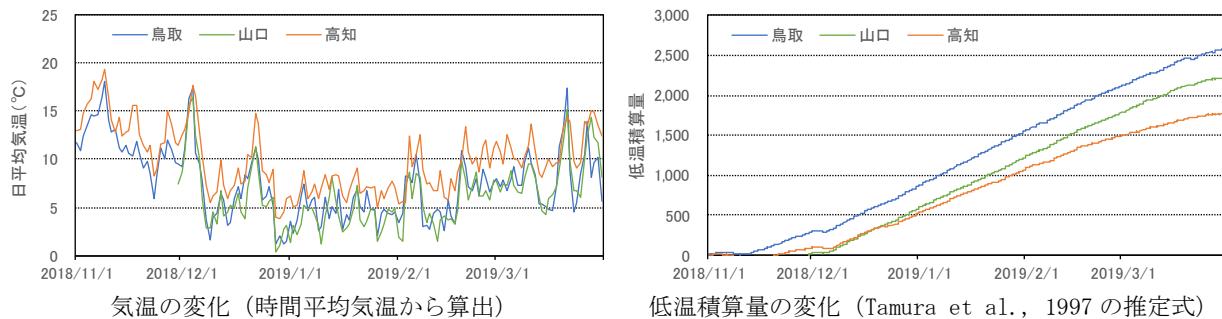


図 3.1.11 ナシ栽培個体の観測地点における気象の観測結果

③ 自発休眠打破と低温積算量 (CU) との関係

平成 29 年度の観測結果を用いて、自発休眠打破の観測時期とその時の低温積算量 (CU) を表 3-1-8 に整理した。

‘新高’及び‘王秋’では、自発休眠打破が観測された時期の低温積算量 (CU) が既往知見による値と同程度であった。‘豊水’及び‘あきづき’、‘幸水’では、既往知見の値を上回っており、特に‘あきづき’ではその差が 485～856 と大きかった。‘二十世紀’では既往知見を下回っていた。

表 3.1.15 ナシ各品種の自発休眠打破の時期と低温積算量 (CU) との関係

品種名	観測地	自発休眠打破の観測時期 (平成 29 年度)	自発休眠打破時期の 低温積算量 (CU)	既往知見による自発休眠打破 に必要な低温積算量 (CU) ^{※1}
‘豊水’	鳥取	1 月第 2 週	1,344	CU. 800 - 1000
	高知	1 月第 2 週	1,285	
‘あきづき’	鳥取	1 月第 4 週	1,656	CU. 800 - 1000
	高知	1 月第 2 週	1,285	
‘幸水’	鳥取	1 月第 2 週	1,344	CU. 1000 - 1200
	高知	1 月第 4 週	1,477	
‘新高’	鳥取	1 月第 4 週	1,656	CU. 1400 - 1600
	山口	1 月第 2 週	1,416	
	高知	枯死	—	
‘二十世紀’	鳥取	12 月第 4 週	1,025	CU. 1200 - 1400
	山口	12 月第 4 週	972	
‘王秋’	鳥取	1 月第 2 週	1,656	CU. 1600 - 1800
	山口	1 月第 4 週	1,416	

④ 低温処理による影響

平成 30 年度に採取した枝について、低温処理を実施した後の発育指数の推移を表 3.1.16 に示す。12 月 15 日に採取した枝では、「あきづき」にのみ統計的に有意な差は認められなかったが、3 品種のいずれも 10°C 区より 5°C 区で低温処理をしたものの方が発育が進んでいた。

表 3.1.16 ナシ各品種の低温処理後における発育指数の推移

11 月 15 日採取 (CU. 75.4)		処理日数 ^{※3}			
		5 日後	10 日後	15 日後	20 日後
'豊水'	5°C 区 ^{※1}	1.52 Aa	1.60 Aa	1.76 Aa	2.16 Aa
	10°C 区 ^{※2}	1.36 Aa	1.72 Aa	1.56 Aa	2.08 Aa
'あきづき'	5°C 区	1.88 Cb	2.20 BCa	2.08 BCb	3.04 ABa
	10°C 区	2.12 Aa	2.04 Aa	2.72 Aa	2.40 Aa
'二十世紀'	5°C 区	1.44 Ca	1.36 Ca	1.88 BCa	2.32 Ba
	10°C 区	1.52 Aa	1.44 Aa	1.80 Aa	2.32 Aa
12 月 15 日採取 (CU. 531.8)		処理日数 ^{※3}			
		5 日後	10 日後	15 日後	20 日後
'豊水'	5°C 区 ^{※1}	1.92 Ca	2.64 BCa	3.20 ABa	3.40 Aba
	10°C 区 ^{※2}	1.96 Ba	2.04 Ba	2.68 ABa	3.16 Aa
'あきづき'	5°C 区	3.40 Aa	2.60 Aa	3.20 Aa	4.02 Aa
	10°C 区	2.63 Aa	3.04 Aa	3.44 Aa	2.84 Aa
'二十世紀'	5°C 区	2.04 Ca	2.92 BCa	3.64 ABa	3.96 Aa
	10°C 区	2.15 Aa	3.12 Aa	2.96 Aa	3.76 Aa

※1 5 日間で低温積算量 (CU) 120 に相当。

※2 5 日間で低温積算量 (CU) 96 に相当。

※3 各行で大文字の英文字が異なる場合は、Tukey HSD tests によって 5 % 水準で統計的に有意な差が認められたことを表す。また、各列の同一品種内で小文字の英文字が異なる場合は、によって 5 % 水準で統計的に有意な差が認められたことを表す。

⑤ 考察

ナシの栽培個体及び栽培地における気象の観測の結果、各品種について、自発休眠の打破に必要な低温積算量や低温処理の効果に関する基礎的な情報が得られた。調査対象としたナシ 6 品種のうち、「あきづき」などについては、自発休眠の打破に関して既往の知見と異なる傾向が確認された。このような結果は、品種によって自発休眠打破に有効な温度帯が異なることなどが影響していると考えられる。

樹体内の水分状態の観測では、ナシの枝が落葉して休眠に入るタイミングで樹液流速の減退や飽差・水ポテンシャルに対する応答が認められた。この応答の時期を低温積算量の積算開始時点とすることにより、モデルの精度向上につなげられる可能性がある。

3.1.4.4. 気候変動影響予測結果

① 低温要求量 CU. 1800 の品種（‘王秋’、‘新雪’など）

低温積算量が不足する地域は、現在は四国の沿岸部のみに限られているが、21世紀中頃には広域の沿岸部に広がり、21世紀末には山地を除き内陸部にも拡大する可能性がある。

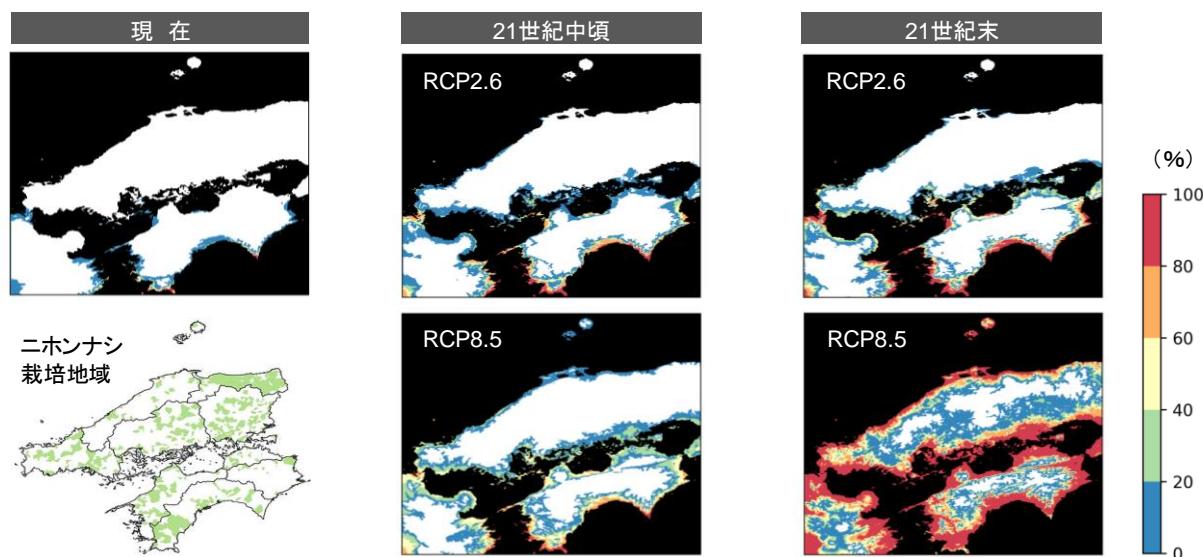


図 3.1.12 (1) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度

【低温要求量 CU. 1800 の品種（‘王秋’、‘新雪’など）、MRI-CGCM3】

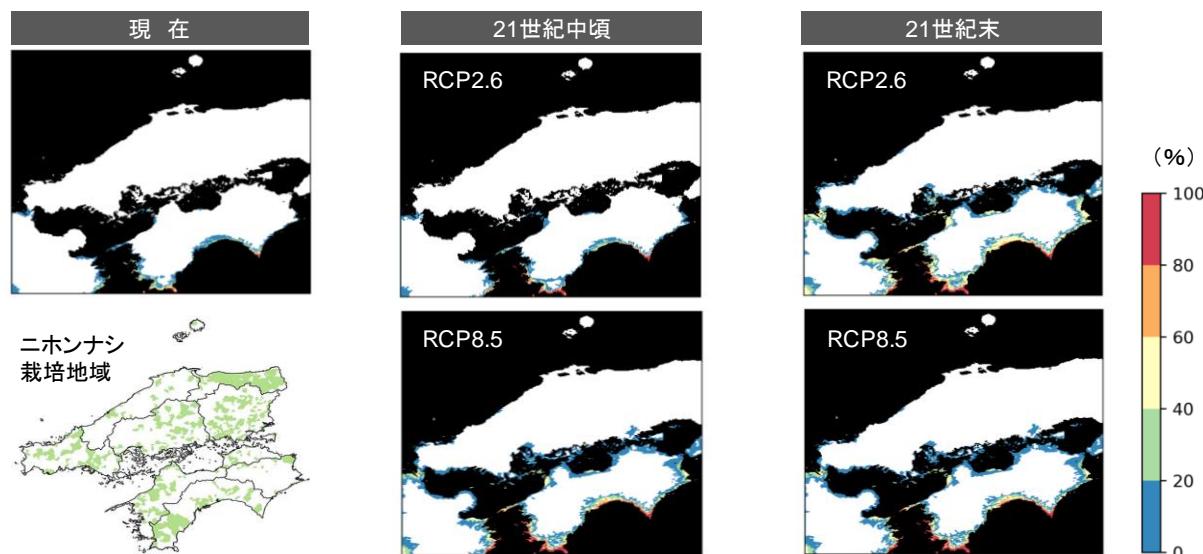


図 3.1.12 (2) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度

【低温要求量 CU. 1800 の品種（‘王秋’、‘新雪’など）、MIROC5】

② 低温要求量 CU. 1400 の品種（‘二十世紀’、‘新高’など）

低温積算量が不足する地域は、現在は栽培地域の中では認められないが、21世紀中頃には高知県の沿岸部で生じる可能性がある（RCP8.5）。21世紀末には、山地以外で自発休眠打破に至らない地域が生じ、四国や瀬戸内の沿岸域・低地では自発休眠に至らない年が40%を上回る可能性がある。

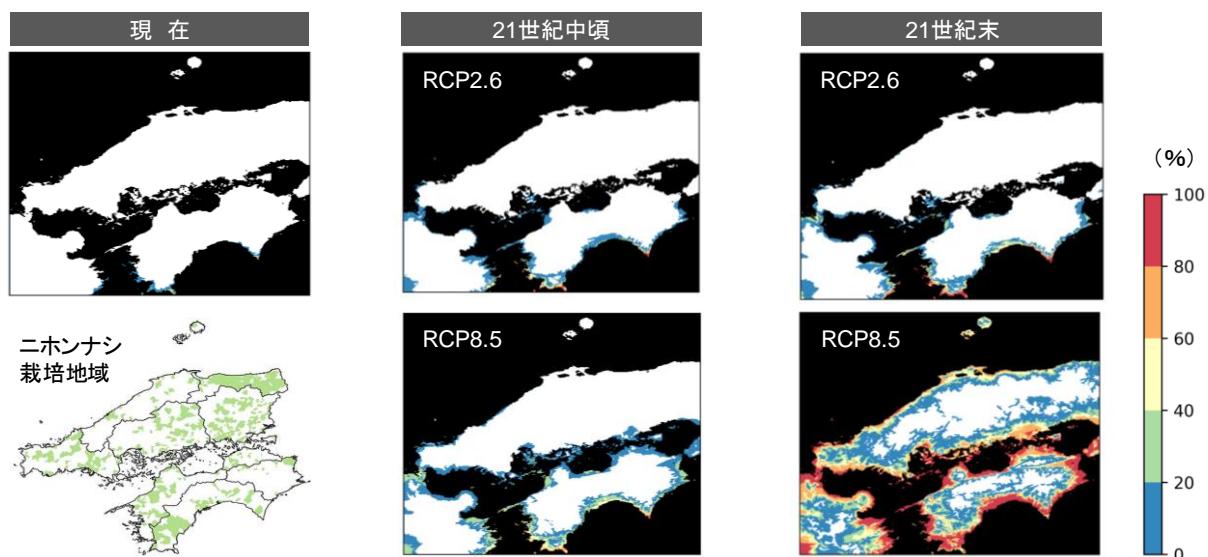


図 3.1.13 (1) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度
【低温要求量 CU. 1400 の品種（‘二十世紀’、‘新高’など）、MRI-CGCM3】

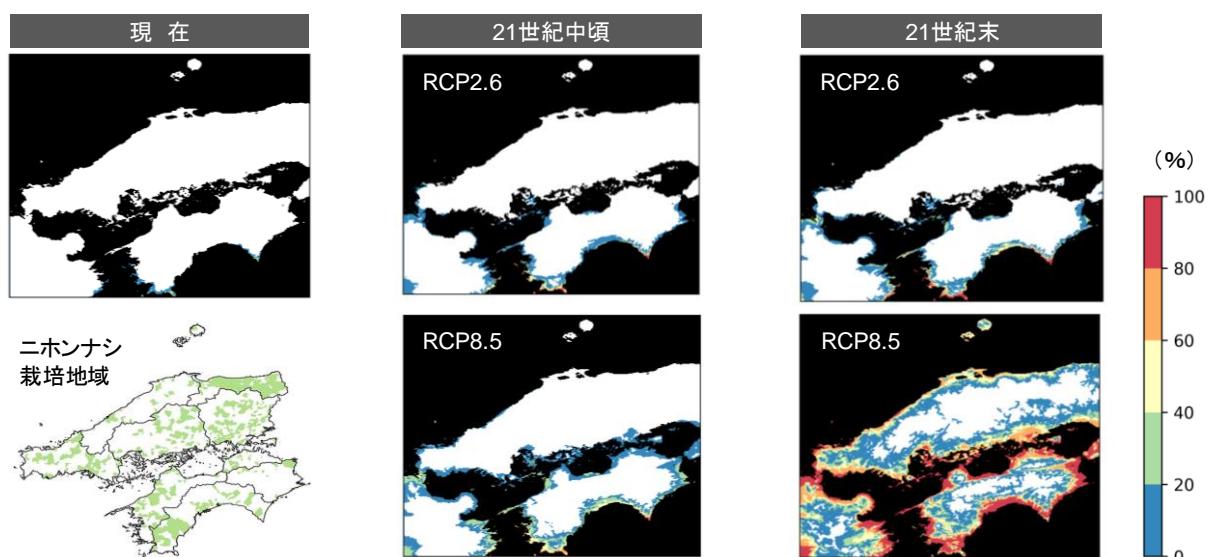


図 3.1.13 (2) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度
【低温要求量 CU. 1400 の品種（‘二十世紀’、‘新高’など）、MIROC5】

③ 低温要求量 CU. 1000 の品種（‘あきづき’、‘豊水’など）

21世紀中頃及び21世紀末のRCP2.6シナリオでは、低温積算量の不足地域は発生せず、栽培適地として維持される可能性が高い。21世紀末には、RCP8.5シナリオの場合に、発生頻度は低いものの、自発休眠打破に至らない地域が生じる可能性がある。

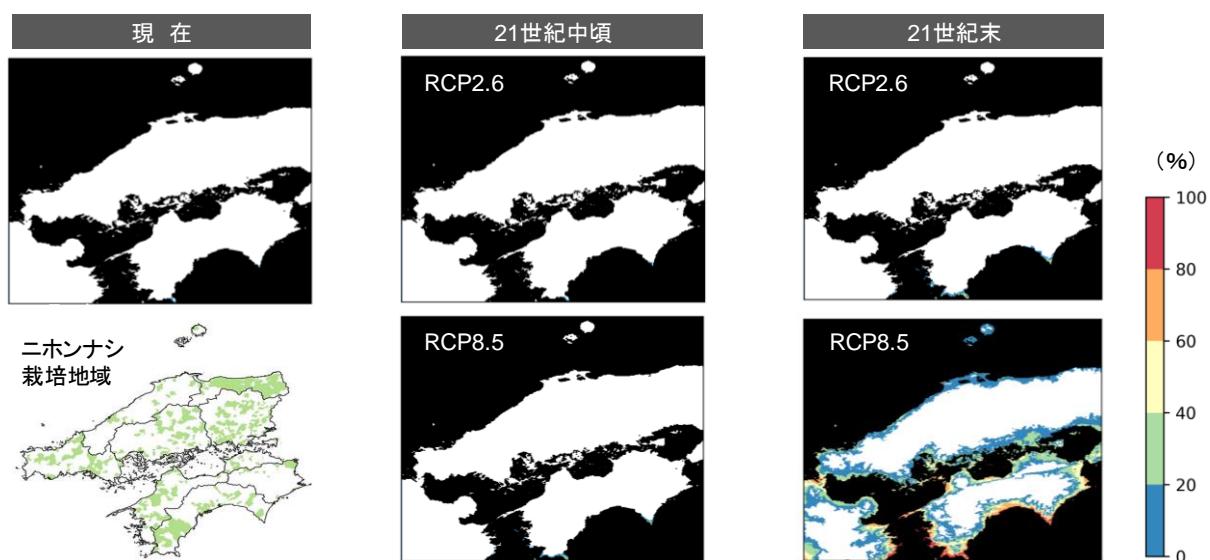


図 3.1.14 (1) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度
【低温要求量 CU. 1000 の品種（‘あきづき’、‘豊水’など）、MRI-CGCM3】

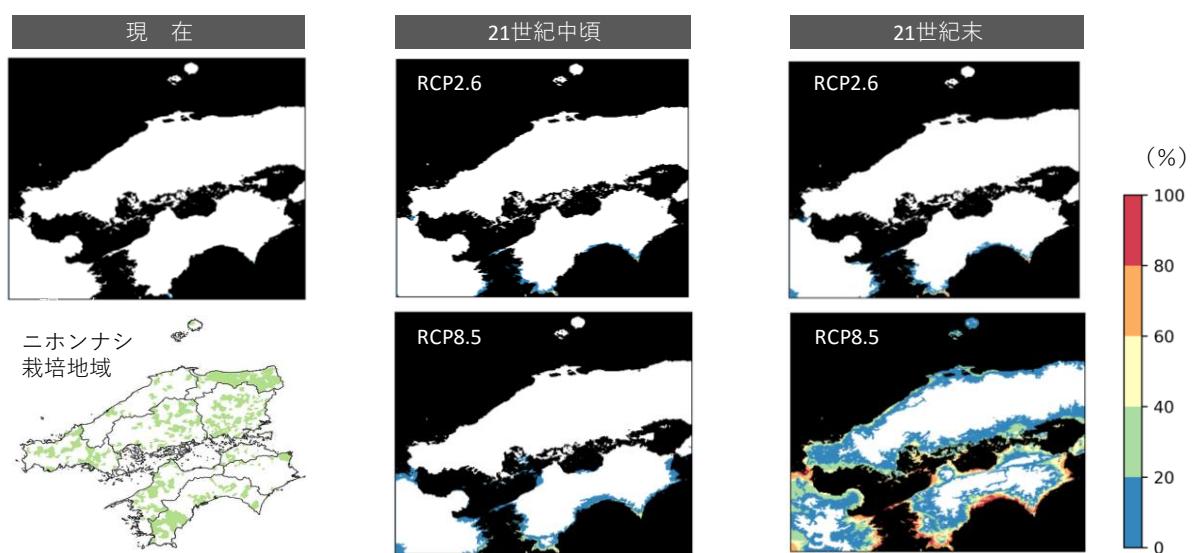


図 3.1.14 (2) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度
【低温要求量 CU. 1000 の品種（‘あきづき’、‘豊水’など）、MIROC5】

④ 低温要求量 CU. 800 の品種

21世紀末の RCP8.5 シナリオにおいてのみ、自発休眠打破に至らない地域が生じる可能性がある。

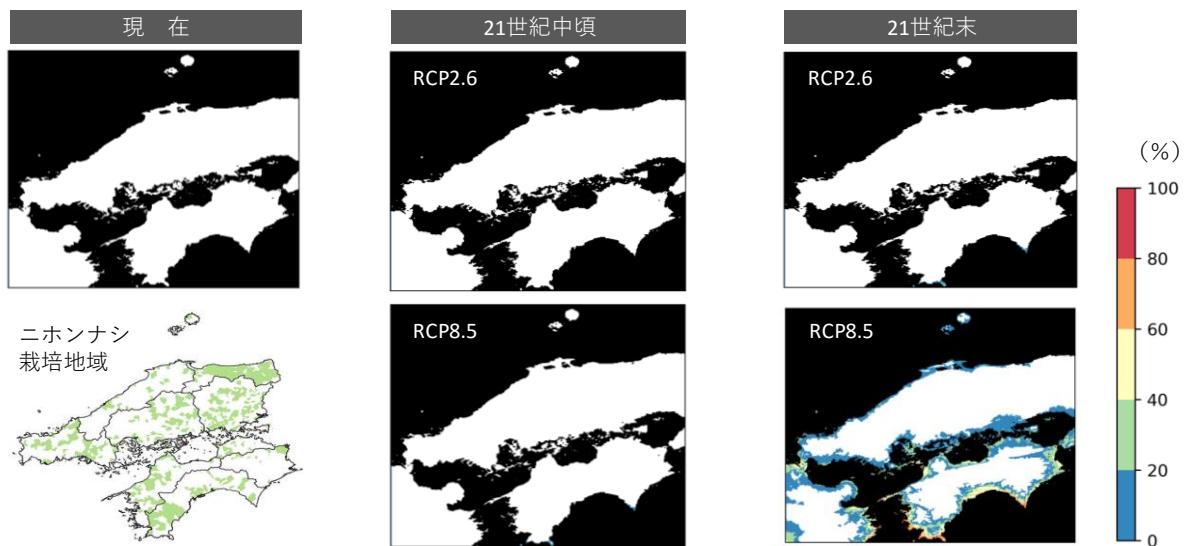


図 3.1.15 (1) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度
【低温要求量 CU. 800 の品種、MRI-CGCM3】

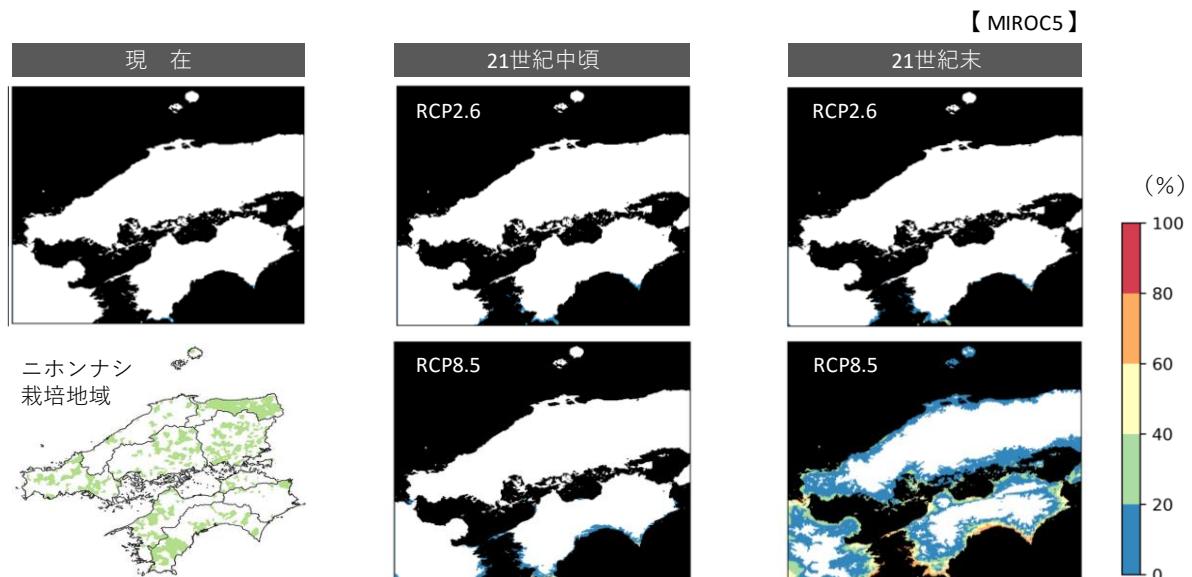


図 3.1.15 (2) ニホンナシの自発休眠打破に至らない年の発生頻度
【低温要求量 CU. 800 の品種、MIROC5】

⑤ 主要産地における影響の予測結果

鳥取市では、21世紀末に‘二十世紀’や‘王秋’などの栽培が不適となる可能性があると予測された。高知市では、21世紀中頃から‘新高’などが自発休眠打破に至らない年が生じ、21世紀末にはほぼすべての品種が栽培困難となる可能性があると予測された。一方で、内陸の高標高地に位置する広島県世羅町では、21世紀末多くの品種が栽培可能と予測された。

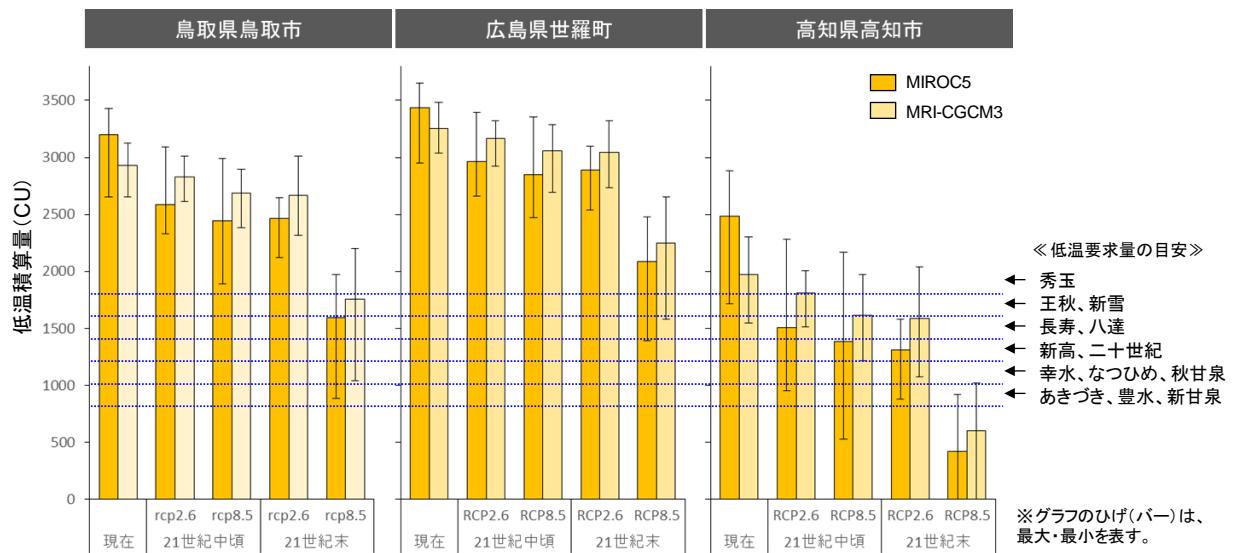


図 3.1.16 主要産地におけるナシ品種の栽培適性の予測結果

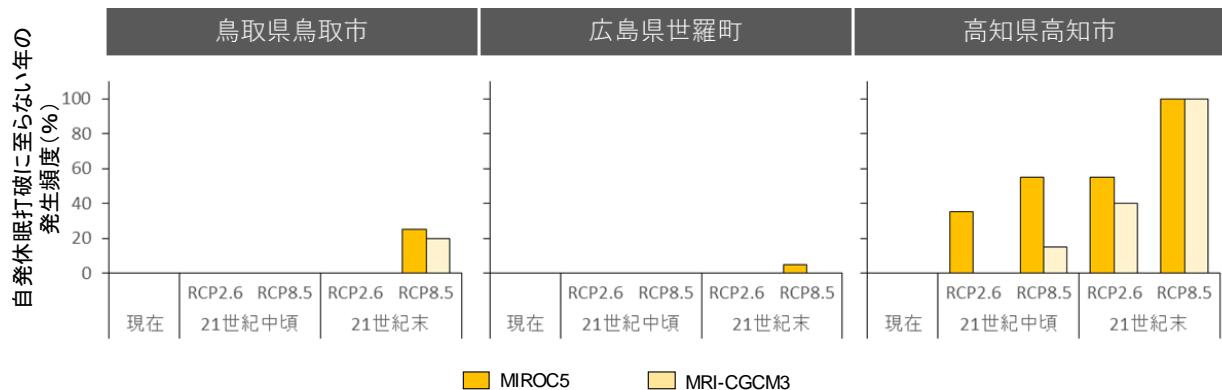


図 3.1.17 主要産地における低温要求量 CU. 1400 の品種が自発休眠打破に至らない年の発生頻度

3.1.4.5. 結果を活用する上での留意点・制限事項

本調査では、暖冬にともなう低温積算量の減少による影響に着目し、3月31日時点における低温積算量が各ナシ品種の低温要求量に達しているかどうかを自発休眠打破の判断材料として、栽培の適性を予測評価した。発芽不良をもたらす芽の凍害や晩霜害などについて検討対象としていないため、実際には本調査での予測結果よりも悪い状態が生じる可能性もある。

また逆に、3月31日時点の低温積算量が低温要求量に達していないからといって、すべての枝が発芽せず収量が得られない事態になるということではないため、影響が生じると予測される地域でまったく栽培ができないことではない点に留意が必要である。

モデルの精度にも改善の余地が残されており、現時点では予測に不確実性をともなうことに注意が必要である。

発芽不良のほかにも、気候変動による影響としては、夏季の高温による日焼け、台風による果実の落下なども考えられる。これらの影響については予測を実施していないが、栽培地としての適性を考えるうえでは重要な要素であり、今後、影響予測を進めていくことが重要である。

3.1.5. 適応オプション

3.1.5.1. 手順

適応オプションの検討手順を下図に示す。

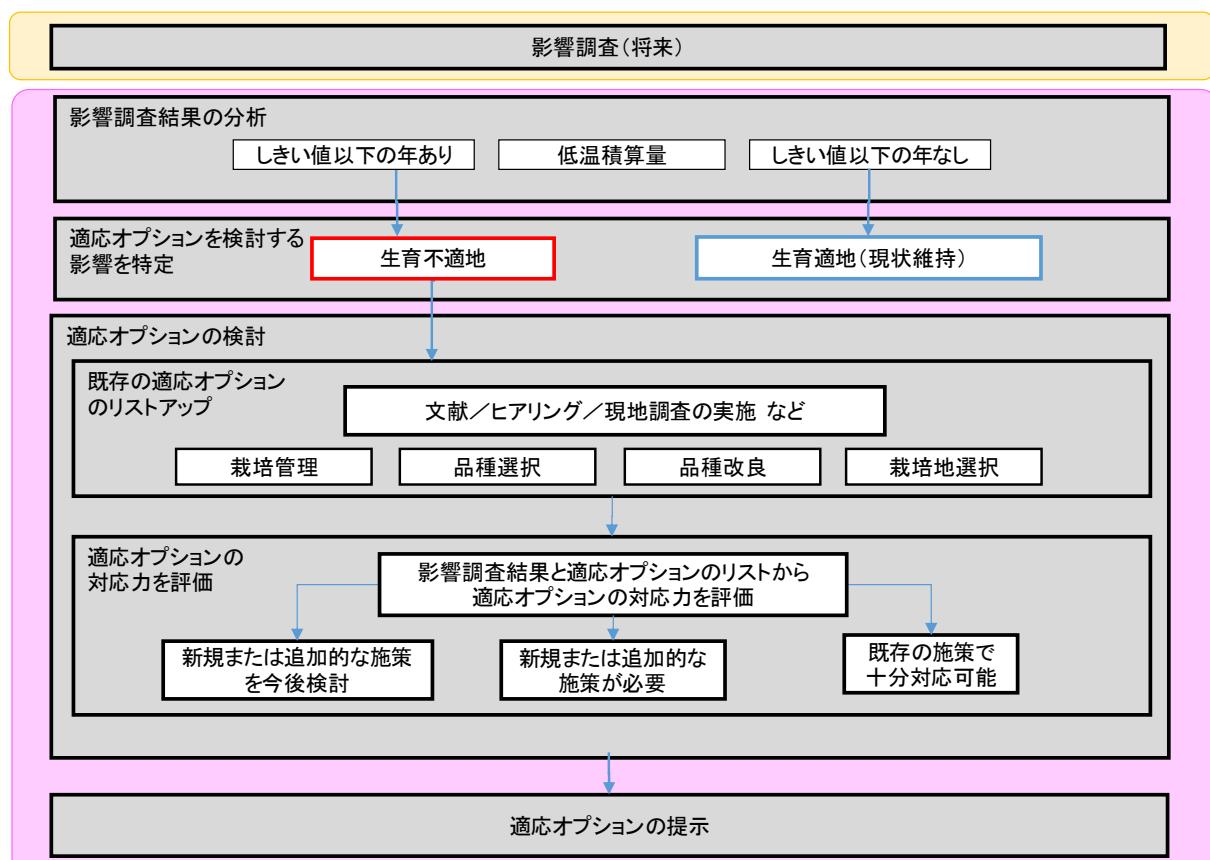


図 3.1.18 適応オプションの検討フロー

3.1.5.2. 概要

適応オプションの概要を表 3.1.7 に示す。

表 3.1.17 適応オプションの概要

適応オプション	想定される実施主体			現状		実現可能性			効果		
	行政	事業者	個人	普及状況	課題	人的側面	物的側面	コスト面	情報面	効果の発現時間まで	効期待のさ程度る
薬剤による処理		●		10%	<ul style="list-style-type: none"> 適期の判断(低温積算量のモニタリング) 早期の自発休眠打破による凍霜害の発生 	◎	○	△	○	短期	中
栽培品種の選択		●		20%	<ul style="list-style-type: none"> 気候条件に適した品種の見極め 植え替えから収穫までのタイムラグ 	△	△	△	○*	長期	高
低温要求性の小さい品種の開発	●	●		10%	<ul style="list-style-type: none"> 品質の劣らない品種の開発 専門的知見と開発コスト 	○	○	△	○	長期	高
栽培地選択		●		0%	<ul style="list-style-type: none"> 将来の栽培適地はアクセスが困難な山地域となる 造成などによる新たな農地の確保が必要 	△	△	△	○*	長期	高

【 実現可能性の評価基準 】

(人的側面) ◎ : 自団体・一個人のみで実施が可能、△ : 他団体・他個人との協同が必要

(物的側面) ◎ : 物資設備は不要、○ : 既存の技術に基づく物資設備で対応可能、△ : 新たな技術の開発が必要

(コスト面) ◎ : 追加費用は不要、△ : 追加費用が必要、N/A : 追加費用は不明

【 効果の評価基準 】

(効果発現までの時間) 短期 : 対策実施の直後に効果を発現する、長期 : 長期的な対策であり、対策実施から効果の発現までに時間を要する、N/A : 評価が困難である

(期待される効果の程度) 高 : 他の適応オプションに比較し、期待される効果が高い、中 : 他の適応オプションに比較し、期待される効果が中程度である、低 : 他の適応オプションに比較し、期待される効果が低い

表 3.1.18 適応オプションの考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
薬剤による処理	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域の9県中1県で取り組まれていることを踏まえ、普及率は10%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。 シアナミド処理は、低温積算量CU.200～400程度を補う効果があるが、低温積算量がそれ以上に不足する場合には効果がない（黒木ほか、2013）こと、早期の自発休眠打破による晩霜害を誘発するおそれがあることから、期待される効果の程度は「中」とした。
栽培品種の選択	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域の9県中2県で取り組まれていることを踏まえ、普及率は20%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。2県では、「あきづき」、「凜夏」の導入が試行されている。 事業者（農家）が品種を選択するためには、まとまった苗木の確保が必要であり、苗木生産者等の他者の取り組みも関係するため、物的側面及び人的側面は「△」と評価した。
低温要求性の小さい品種の開発	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域の9県中1県で取り組まれていることを踏まえ、普及率は10%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。 品種開発のための研究には研究費用が必要となるため、コスト面は「△」とした。 一方で、鳥取大学や高知県の試験研究機関には果樹の研究施設があり、研究者も配置されているため、それらの維持と広域的な連携を前提として、人的側面及び物的側面は「○」と評価した。
栽培地選択	<ul style="list-style-type: none"> 中国四国地域では取り組んでいる県がないため、普及率は0%とした（本事業での自治体アンケートに基づく）。 土地の確保、農地の造成、果樹育成等に多大な労力やコストを要するため、人的側面、物的側面、コスト面については「△」と評価した。 地域によっては21世紀末でも多くの品種が栽培可能となるため、期待される効果の程度は「高」と評価した。

3.1.5.3. 薬剤による処理

シアナミド剤を果樹に散布することで、人工的に自発休眠を打破する方法である。安価で比較的簡単に実施できる手法で、ブドウ農家への普及も進んでおり、安全性も確認されている。黒木ほか（2013）によると、無処理の場合と比べて、低温積算量CU.200～400程度の不足分を補うことができるとされており、「新高」で3～4日、「幸水」で3～6日、「豊水」で3～7日程度、開花日が早まる。

即時的に効果が得られる方法であるが、薬剤の散布時期が早すぎると凍霜害のリスクが高まるため、散布時期を見極める必要がある。また、低温積算量の不足がCU.400を上回るような場合は、本手法では改善できない可能性もある。

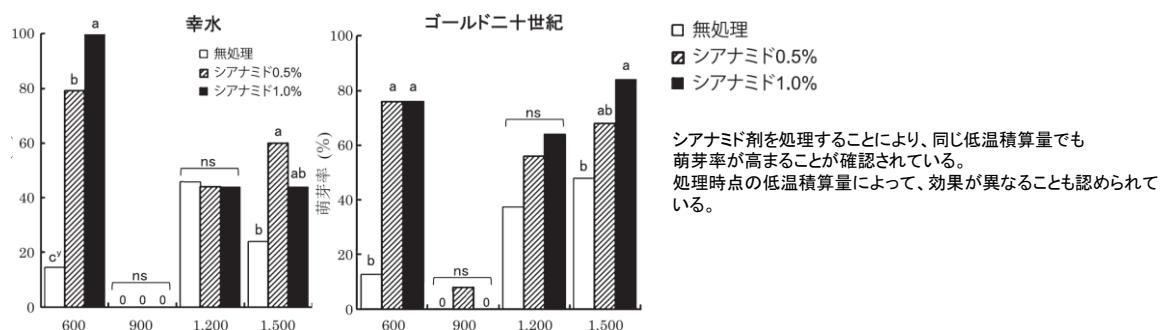


図 3.1.19 ニホンナシ花芽の休眠打破に与えるシアナミド処理の影響（黒木ほか 2013）

3.1.5.4. 栽培品種の選択

低温要求性の大きい品種（‘王秋’、‘二十世紀’、‘新高’など）から、低温要求性の小さい品種（‘あきづき’、‘凜夏’、‘豊水’、‘新甘泉’など）へ栽培品種を転換する。例えば、‘王秋’から‘あきづき’に転換する場合には、低温積算量 CU. 800 程度、「二十世紀」及び‘新高’から‘あきづき’転換する場合には低温積算量 CU. 400 程度の変化に対応できる。実際に、中国四国地域の中でも比較的温暖な高知県や香川県では、すでに品種の転換を進めている農家も出てきている。

農家が栽培品種を選択するにあたっては、当該地域及び年代の気候条件に対応した品種を知る必要があるため、各県や試験研究機関などによるサポートが重要となる。また、現在の栽培品種と価値が同程度か上回るものである必要があるため、後述の品種開発も並行して進める必要がある。

なお、果樹の品種転換には、苗木を植栽してから安定した収量が得られる前で 10 年程度を要することもあるため、将来の気候を見据えた行動が重要となる。

3.1.5.5. 低温要求性の小さい品種の開発

中国四国地域における主要栽培品種である‘二十世紀’及び‘新高’の栽培が困難となる地域・年代が生じることを見据えて、既存の主要品種の食味をもちながら、低温要求性の小さい品種を開発する。低温要求量が 800 以下と小さしながら、現行の主要品種と同等の品質を確保できれば、薬剤処理などの必要もなく、安定した生産が見込まれる。

低温要求性の低い品種開発については、農研機構による‘凜夏’の開発事例があり、気候変動への適応が主目的ではないものの、鳥取県でも低温要求性が小さく味もよいとされる‘新甘泉’などが開発されてきている。品種開発・研究に対する人的側面・コスト面での支援体制が確保できれば、実現可能性の高い手法である。

3.1.5.6. 栽培適地の選択

現在栽培されている低温要求性の大きい品種を栽培するために、低温積算量が満たされる標高の高い場所に新たに栽培地を創出する。標高の高い場所では、‘新高’や‘王秋’などの低温要求性の大きい既存の優良品種を将来も継続的に栽培できる可能性が高いため、果樹のブランド化や輸出に取り組む農家にとっては有力な選択肢となり得ると考えられる。栽培に適した場所の抽出には、本調査の栽培適地予測モデルが活用できる。

ただし、上述のように将来も栽培適地として維持される場所は、アクセスが困難な山地域であることが多いため、栽培のための労力やコストが課題となる。

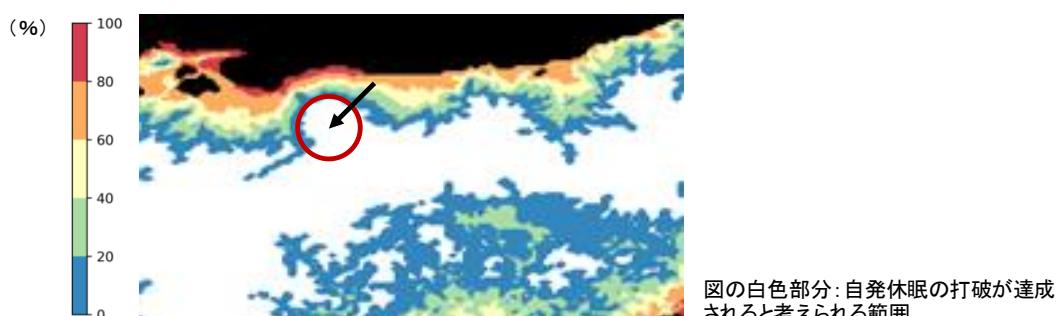


表 3.1.20 栽培適地の選択のイメージ

引用文献一覧

- 朝倉利員, 杉浦裕義, 阪本大輔, 杉浦俊彦 (2008) 生育予測モデルを利用したニホンナシの休眠・開花に対する温暖化影響の評価. 日本農業気象学会 2008 年全国大会講演要旨
- 本条均 (2007) 気候温暖化が落葉果樹の休眠, 開花現象に及ぼす影響. 園芸学研究, 6(1):1-5.
- 黒木克翁, 竹村圭弘, 松本和浩, 武田 誠, 富山政之, 田村文男 (2013) シアナミド処理がニホンナシ主要品種の自発休眠打破および開花期に及ぼす影響. 園芸学研究, 12(2): 179-185.
- 杉浦俊彦, 本条均 (1997) ニホンナシの自発休眠覚醒と温度の関係解明及びそのモデル化. 農業気象, 53(4):285-290.
- 杉浦俊彦, 黒田治之, 杉浦裕義 (2007) 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園芸学研究, 6(2):257-263.
- 杉浦俊彦, 杉浦裕義, 阪本大輔, 朝倉利員 (2009) 温暖化が果樹生産に及ぼす影響と適応技術. 地球環境, 14(2):207-214.
- 竹村圭弘 (2012) ニホンナシの芽の自発休眠機構並びに低温要求性の遺伝様式に関する研究. 鳥取大学学位論文.
- 竹村圭弘, 竹内ゆかり, 荒木駿吾, 田村文男 (2016) メッシュ農業気象データを利用した鳥取県におけるニホンナシ栽培可能地域の将来予測. 園芸学会中四国支部平成 28 年度大会, 55:9.
- Tamura, F., Tanabe, A. and Itai, A. (1997) A model for estimating rest completion for 'Nijisseiki' pear. Environment Control in Biology, 35(3):185-189.
- Tamura, F., Tanabe, A., Itai A. and Morimoto., M. (2001) Variation in the chilling requirement for breaking leaf bud endodormancy in wild pear species and pear cultivars. J. Japan. Soc. Hort. Sci, 70: 596-598.
- 戸谷智明, 川瀬信三 (2011) 気温上昇が千葉県内におけるニホンナシ‘幸水’の休眠期と開花期に及ぼす影響. 園芸学研究, 10(4):531-536.

6. 成果及び課題

中国四国地域において気候変動による影響の重大性・緊急性、科学的知見の必要性が高いと想定される、果樹（ナシ）、カキ・ワカメ等の水産資源、畜産、生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）、汽水湖、高山植生の6テーマについて、気候変動による影響調査と適応策の検討を行った。

今後、さらなる知見の収集を行うとともに、広域での協議の場の継続や適応の検討が必要である。

地域における気候変動適応策の推進のための普及啓発活動については、各県の地球温暖化防止センターや教育機関等と連携のうえ、気候変動の影響事例を調べるワークショップを実施した。本調査において、地域のボトムアップ型での情報収集・共有による学習効果を示すとともに、今後、地域間での情報共有も重要となってくる。

さらに、地方自治体や研究機関の連携促進のため、特に水産関連の研究機関を中心に意見交換会を開催した。引き続き、実施するとともに、他地域への展開及び継続的な普及啓発及び議論を深めていくことが課題である。