

3. 6. 気候変動による高山植生及び希少植物への影響調査

3. 6. 1. 概要

3. 6. 1. 1. 背景・目的

温暖化は、中国山地や四国山地など高地に分布する自然林などの植生や、そこを生育環境とする希少植物の消失を引き起こし、地域の生物多様性が低下することが懸念される。そこで、中国四国地域における自然林の分布変化を予測するとともに、その変化から自然林を生育環境とする植物への影響を予測し、適応策を検討した。

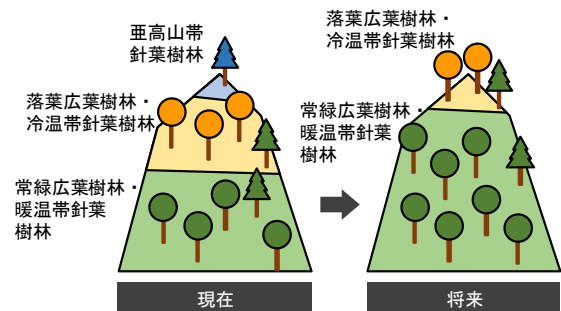


図 3. 6. 1 気候変動による植生の分布変化のイメージ

3. 6. 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（アルバック）、国立大学法人高知大学

アドバイザー： 国立大学法人鳥取大学 教授 永松 大

国立大学法人高知大学 講師 比嘉基紀

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。

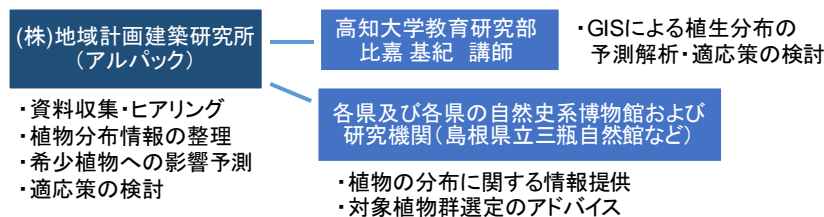


図 3. 6. 2 実施体制

3. 6. 1. 3. 実施スケジュール

初年度は、植生分布モデルを作成するためのデータセットを整備し、モデル作成するとともに、希少植物の調査対象種の抽出と分布情報収集を一部実施した。2年目は、植生分布モデルを改良したうえで植生分布の将来予測を行うとともに、希少植物の分布情報を収集し、メッシュ情報として整理した。3年目には、最新の気候シナリオを用いて植生の将来分布を予測するとともに、希少植物への影響を予測し、適応策を検討した。

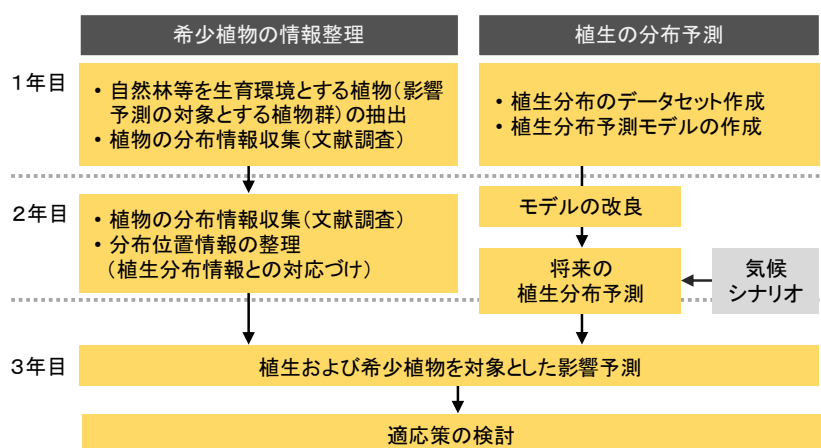


図 3. 6. 3 実施スケジュール

3.6.1.4. 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 3.6.1 気候シナリオの基本情報

項目	植生の分布適域
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	月平均気温、月最低気温（最寒月）、月降水量（5-9 月、12-3 月）
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）

3.6.1.5. 気候変動影響予測結果の概要

文献調査及び有識者ヒアリングを行った結果、中国四国地域の自然林を主たる生育地とする希少植物種として、163 種が抽出された。

現地観測の結果、四国地域の標高 1,000m 程度の山地（讃岐山脈、高縄山地）では、落葉広葉樹林から常緑広葉樹林への移行が進みつつある状況が確認された。

影響予測を行った結果、亜高山帯針葉樹林の分布適地は 21 世紀中頃に消失し、冷温帯落葉広葉樹林の分布適地も 21 世紀末には大幅に減少する可能性があることが予測された。また、四国地域では 21 世紀中頃から多くの希少植物の分布適地が消失する可能性があり、21 世紀末には中国山地でも影響が生じる可能性があることが予測された。

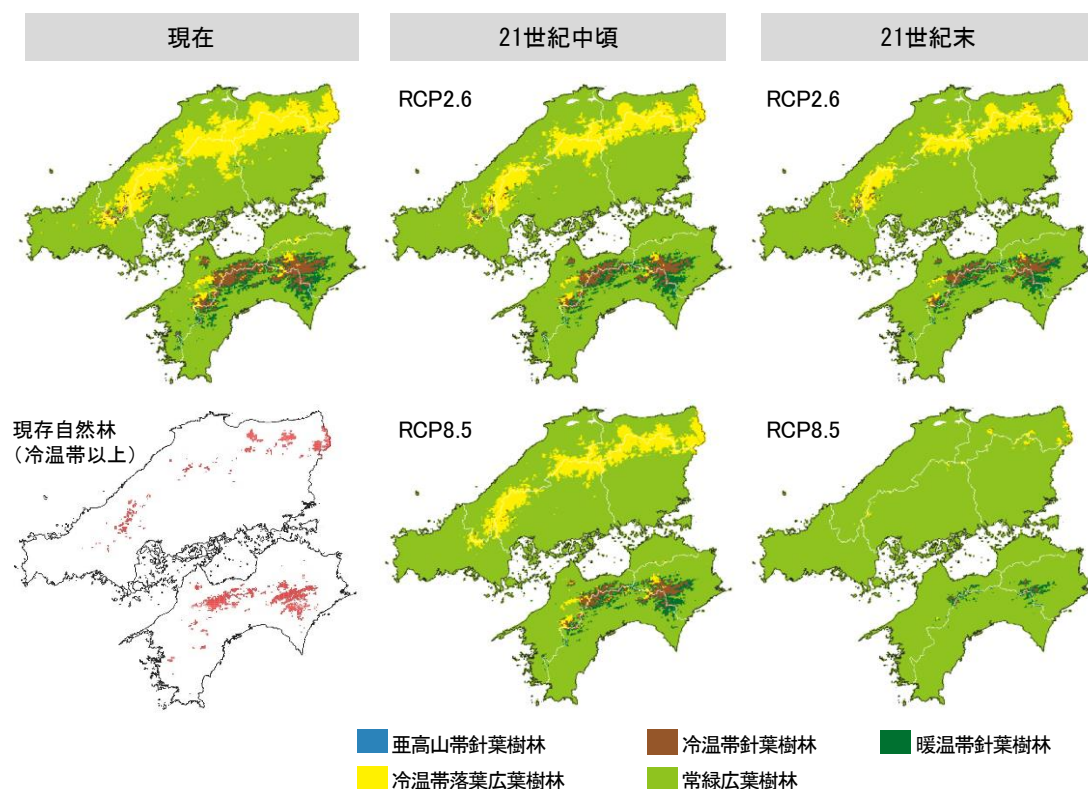


図 3.6.4 (1) 植生分布の予測結果 (MRI-CGCM3)

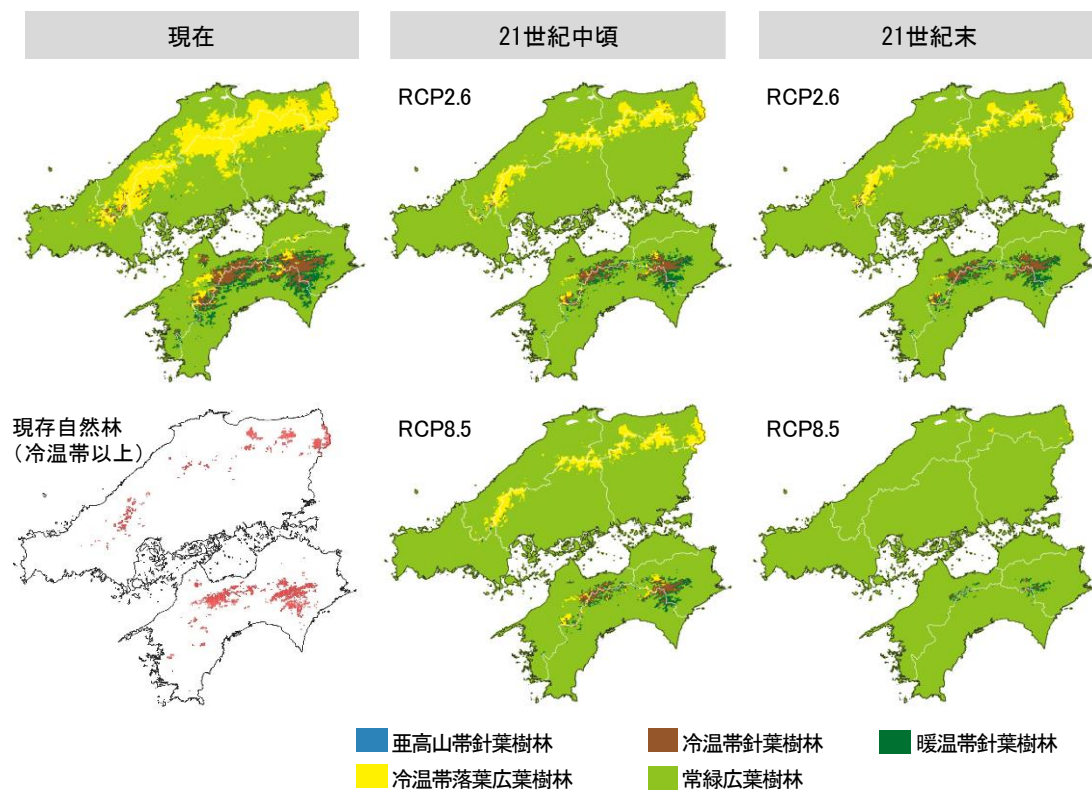
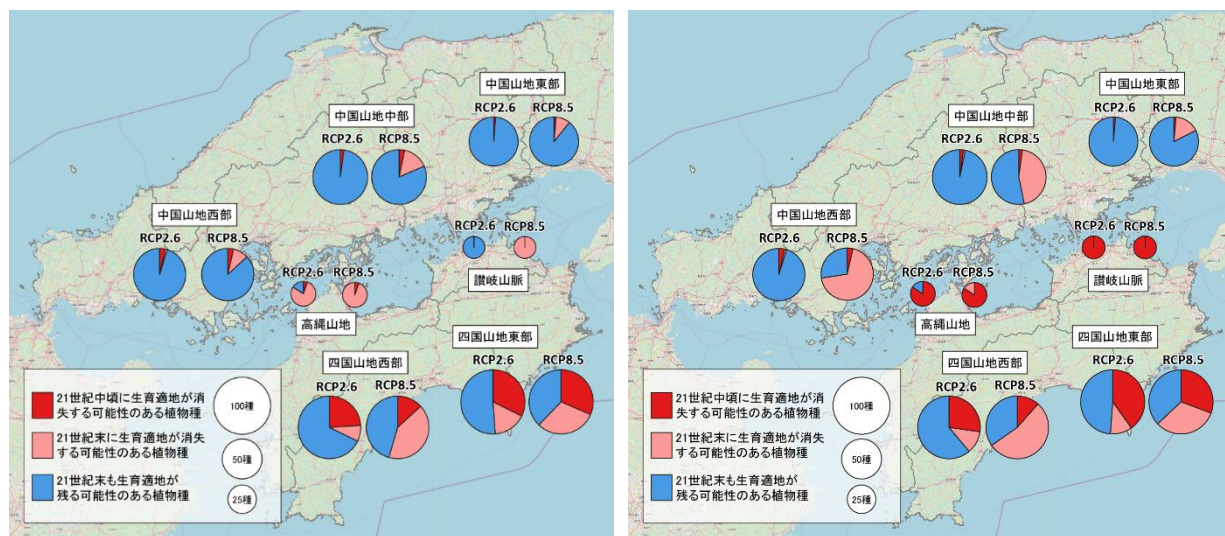


図 3.6.4 (2) 植生分布の予測結果 (MIR0C5)



MRI-CGCM3

MIR0C5

図 3.6.5 希少植物種数のシナリオ・年代別の予測結果

3.6.1.6. 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、気候変動により分布適域の縮小が予測される植生として、亜高山帯及び冷温帯に分布する自然性の高い森林植生（自然林）を影響評価の対象とした。ただし、植生の分布適域の予測にあたっては、暖温帯に分布する植生も含めた予測モデルを作成した。予測モデルの対象植生は、亜高山帯針葉樹林、亜高山帯落葉広葉樹林、冷温帯落葉広葉樹林、冷温帯針葉樹林、暖温帯針葉樹林、常緑広葉樹林の6区分である。

また、希少植物としては、環境省及び各県が作成したレッドデータブックに記載された植物種の中から、亜高山帯及び冷温帯の自然林を主たる生育環境とする170種を抽出し、影響評価の対象とした。

② 本調査の将来予測の対象外とした事項

植生の分布には積雪深が影響していることが知られているが、積雪深データを含む気候シナリオが整備されていないため、本調査ではその代わりに冬季降水量を用いた。また、植生の分布には地形も影響を与えるため、分布予測モデルパラメータに地形条件として1kmスケールでの地形及び傾斜角度を用いているが、微地形や山頂の風衝による影響などは評価できていない。

本調査では植生の分布適域の変化を予測対象としており、実際に植生が移り変わる時間までを予測した結果ではないことに留意が必要である。同様に、本調査では広域的な影響予測を行うために、希少植物の分布適域についても各種の生育基盤となる植生の分布適域に基づいて予測した。すなわち、個々の種の生育に適した環境条件などについては考慮していないため、分布適域が残ると予測されていても、実際には生育に適した環境が消失する場合もある。

③ その他、成果を活用する上での制限事項

本調査は、広域的な視点において影響評価と適応策検討を実施したものである。そのため、上述のとおり、個別の希少植物種に対する影響予測としては精度が十分とはいえない。本調査の結果から、優先的に保全すべき地域の抽出や種群の検討などを絞り込み、個々の種を対象とした詳細な調査や保全措置の検討を進めていくことが期待される。

3.6.1.7. 適応オプション

適応オプションの概要を下表に示す。

表 3.6.2 気候変動による高山植生及び希少植物への影響にかかる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	期待される効果の程度
競合種の排除による自然林の植生遷移抑制	●	●	●	普及なし	<ul style="list-style-type: none"> 保護区における除伐等の許認可 林冠木の後継樹確保 	△	◎	△	△	短期	N/A
植生保護柵によるニホンジカの食害防止	●			普及一部あり	<ul style="list-style-type: none"> 維持管理のコストと担い手 	△	○	△	◎	短期	高
自然林の周辺における森林利用	●	●	●	普及なし	<ul style="list-style-type: none"> 森林整備のコスト 	△	○	△	◎	長期	中
保護区の配置及び区分の見直し	●			普及一部あり	<ul style="list-style-type: none"> 土地所有者、関係者の許諾 	△	◎	△	◎	長期	中
二次林・人工林を発達した落葉広葉樹林へ誘導	●	●		普及一部あり	<ul style="list-style-type: none"> 広葉樹林化の技術、指針 	△	◎	△	△	長期	中
植物種の人為的な移動	●			普及率1%	<ul style="list-style-type: none"> 継続的モニタリングによる必要性の判断 移植・増殖・栽培技術 	△	△	△	△	N/A	N/A
植物種の域外保全											

【 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 3.6.3 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
競合種の排除による自然林の植生遷移抑制	<ul style="list-style-type: none"> 大阪府の能勢妙見山のように下限のブナ林で競合種の除伐を実施している例はあるものの、効果を科学的に検証した例は見られないため、情報面は「△」と評価した。
植生保護柵によるニホンジカの食害防止	<ul style="list-style-type: none"> すでにニホンジカによる影響が甚大となっている地域では、各県及び林野庁、環境省、市民団体等により植生保護柵の設置が行われているが、対象面積はわずかである。 柵の設置による効果については数多くの検証事例があるため、情報面の評価は「◎」とした。
自然林の周辺における森林利用	<ul style="list-style-type: none"> 森林利用が経済的に成り立たず放置されている現状があるため、コスト面は「△」とした。 人工林及び二次林の整備手法は一般的または伝統的な手法でよいとため、情報面は「◎」とした。
保護区の配置及び区分の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動への適応策としてではないものの、大山隠岐国立公園では、近年にも重要な地域である毛無山や三徳山が区域に追加されているため、普及状況は「一部あり」とした。 保護区の区域拡大に関しては、指定の根拠を整理するための調査費用を要するため、コスト面は「△」と評価した。
二次林・人工林を発達した落葉広葉樹林へ誘導	<ul style="list-style-type: none"> 広葉樹林化に関する技術については、森林総合研究所研究プロジェクト「広葉樹林化のための更新予測および誘導技術の開発」にまとめられているものの、技術的な課題は多いことから、情報面は「△」と評価した。
植物種の人為的な移動	<ul style="list-style-type: none"> 生態が不明な希少植物が多く、生態や生育適地を明らかにするための調査研究が不可欠であることから、情報面（種の生態）、人的側面（研究者）及びコスト面（研究費用）はいずれも「△」とした。
植物種の域外保全	<ul style="list-style-type: none"> 高知県では、希少種イヌマムカゴの保全のために県立牧野植物園での域外保全に取り組まれている（前田、2011；環境省生息域外保全モデル事業）。実施例は1県・1種であるため、普及率は1%とした。

3.6.2. 気候シナリオに関する情報

3.6.2.1. 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 3.6.4 気候シナリオの基本情報

項目	植生の分布適域
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	月平均気温、月最低気温（最寒月）、月降水量（5-9月、12-3月）
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）

3.6.2.2. 使用した気候パラメータに関する情報

本調査で使用した気候シナリオの年平均気温値を図 3.6.6 に示す。

年平均気温は、21 世紀中頃までに、MIROC5 では 1.4～1.7℃、MRI-CGCM3 では 0.6～1.0℃、21 世紀末までに MIROC5 では 1.8～4.2℃、MRI-CGCM3 では 1.0～3.5℃上昇するとされている。また、最寒月の最低気温は、21 世紀末までに MIROC5 では 2.0～4.8℃、MRI-CGCM3 では 0.6～3.8℃上昇すると

されている。

夏季降水量及び冬季降水量については、気候モデルによる差が認められるものの、現在と比べて目立った増減はないと予測されている。

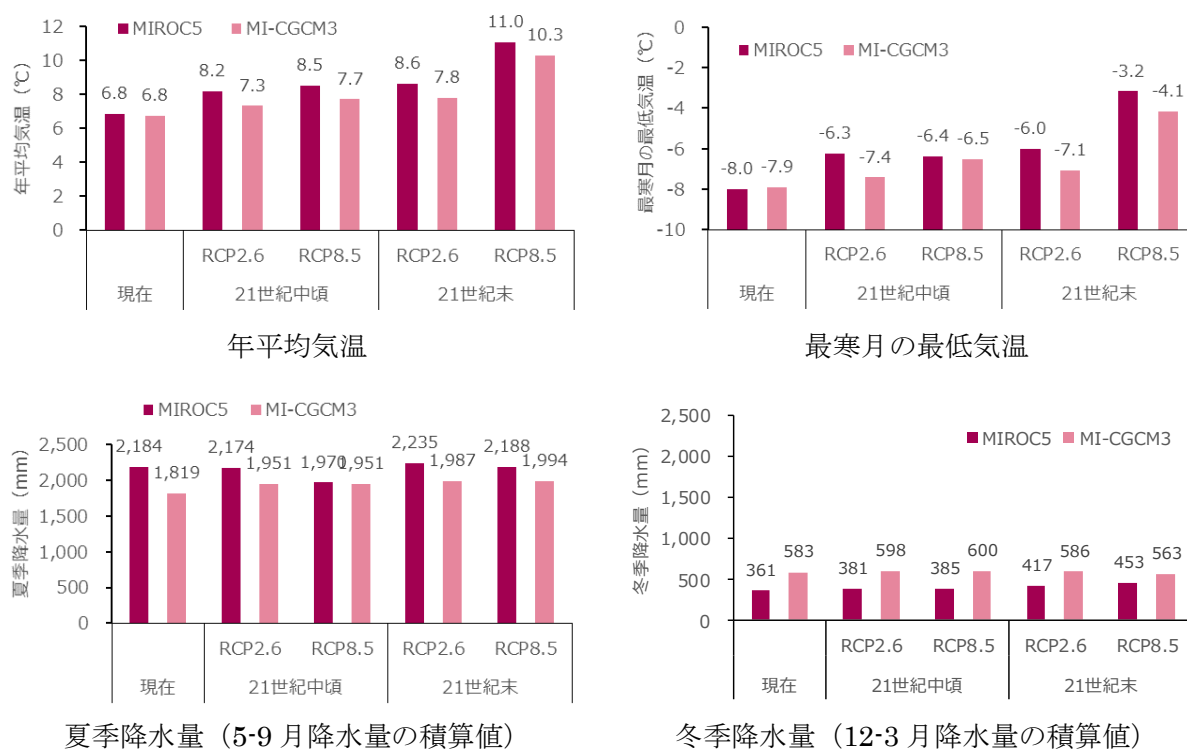


図 3.6.6 使用した気候シナリオの予測値

3.6.2.3. 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、全体として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。

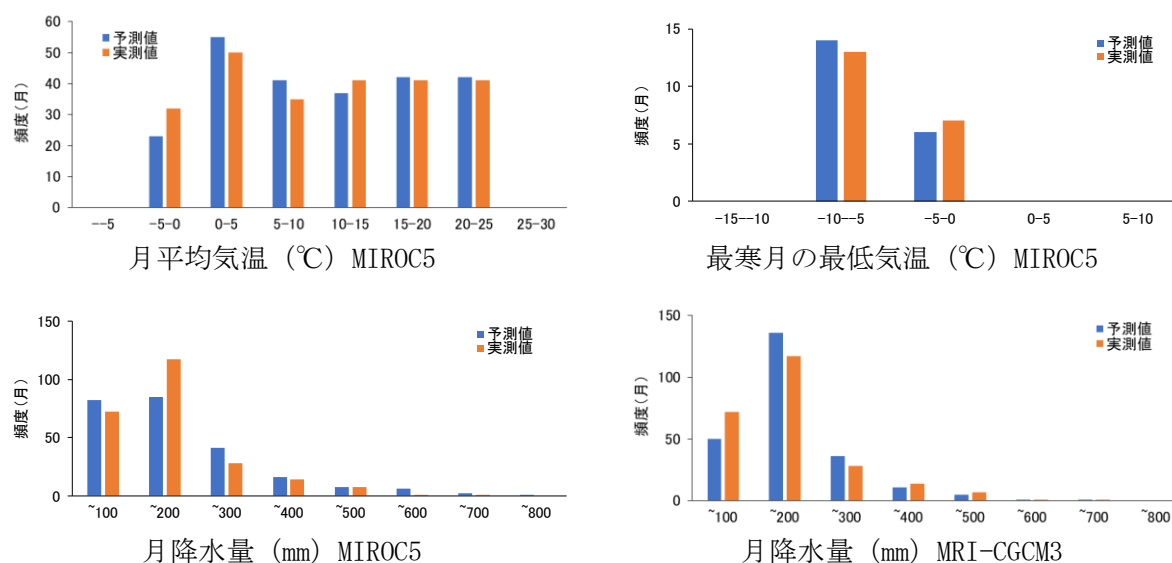


図 3.6.7 気象観測地点における予測値と実測値の比較 (広島県高野 標高 580m)

3.6.2.4. バイアス補正に関する情報

本調査では、バイアス補正済みのデータを使用した。その他、本調査独自でバイアス補正は行わなかった。

3.6.2.5. 気候シナリオ選択の理由

本調査では、全国の 1km メッシュの月別値（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シナリオを用いた。

3.6.3. 気候変動影響に関する調査手法

3.6.3.1. 手順

本調査の作業手順を以下に示す。

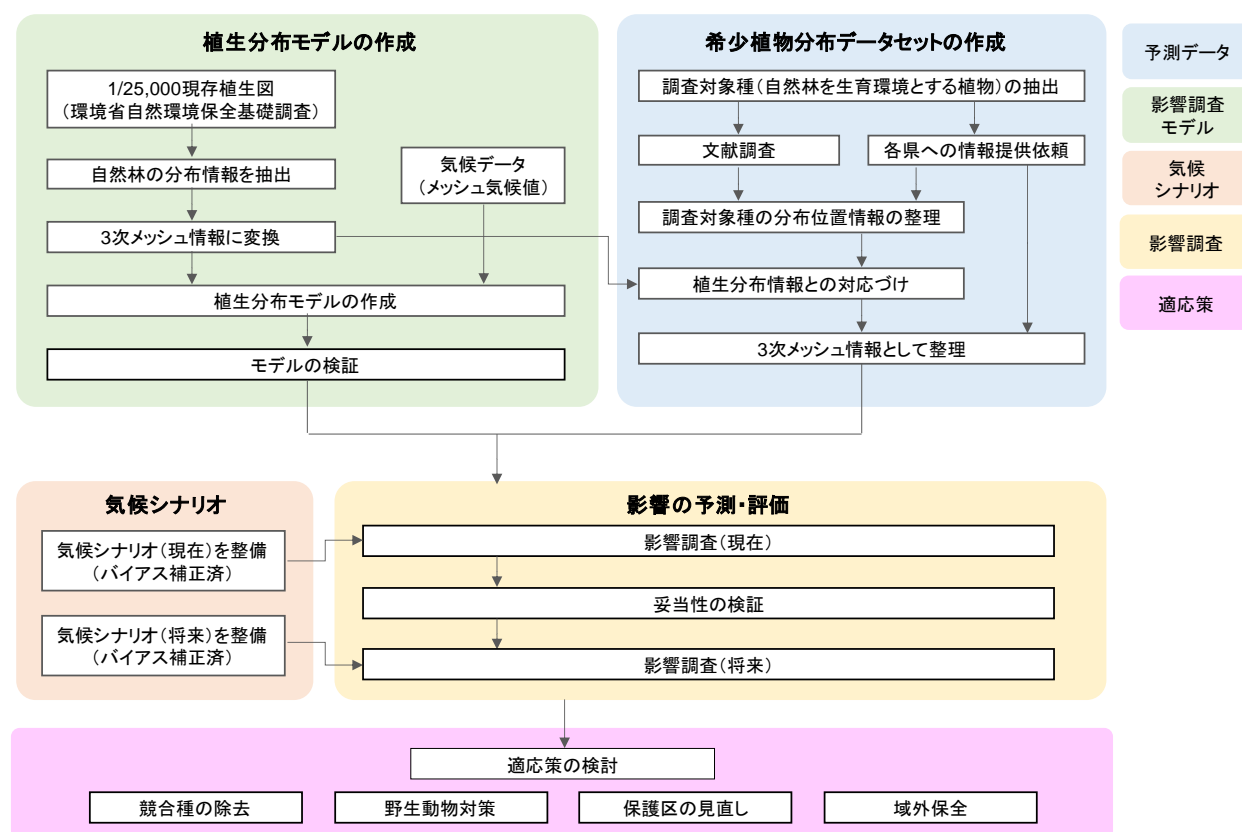


図 3.6.8 調査の実施手順

3.6.3.2. 使用したデータ・文献

① 使用したデータ・文献の概要

本調査で使用したデータ及び文献とその概要を表 3.6.5 に示す。

表 3.6.5 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）	中国四国地域の主要な気象観測所等のデータを気候シナリオの検証に用いた。
	メッシュ気候値 2000（気象庁、2002）	植生分布モデル作成のための現在の気候データとして使用した。
植生データ	第 6 回・第 7 回自然環境保全基礎調査の 1/25,000 植生図（環境省生物多様性センター、 http://gis.biodic.go.jp/webgis/ ）	1km メッシュのデータとして変換し、植生分布モデル作成のための植生分布データとして使用した。
希少植物の分布データ	鳥取県レッドデータブック掲載種の 1km メッシュ分布データ（鳥取県植物誌研究会）	影響予測の対象データとして使用した。
	香川県レッドデータブック掲載種の 1km メッシュ分布データ（香川県）	影響予測の対象データとして使用した。
	高知県レッドデータブック掲載種の 1km メッシュ分布データ（高知県）	影響予測の対象データとして使用した。
	サイエンスミュージアムネット 自然史標本データベース	データベースの植物分布情報について、情報を精査した上で、影響予測の対象データとして使用した。
	ヒアリングを実施した地域の専門家からの聞き取りデータ	1km メッシュの情報に変換し、影響予測の対象データとして使用した。
その他データ	基盤地図情報数値標高モデル 10m（国土地理院）	データを用いて 1km メッシュの平均傾斜角度を算出し、植生分布モデル作成に使用した。
	「日本の地形・地盤デジタルマップ」（若松ほか、2005）	植生分布モデルのパラメータのひとつとして、地形区分データを使用した。
	自然公園、自然環境保全地域、鳥獣保護区（国指定）の範囲（国土数値情報ダウンロードサービス（ http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html ）	適応策の検討において、現状の保護区域の分布状況を把握するために使用した。
文献資料	各県が発行しているレッドデータブック	希少植物の選定及び分布情報収集のために使用した。
	環境省レッドリスト（平成 30 年 1 月時点最新版）	希少植物の選定のために使用した。
	各地域の植物調査報告、植生誌、植生に関する論文	資料に記載された希少植物の分布位置情報を抽出し、影響予測対象とした。
	ニホンジカの将来分布を予測した論文 Ohashi et al.（2016）の元データ	影響予測及び適応策検討の基礎条件として、中国四国地域におけるニホンジカの将来分布を整理するために使用した。

② 植生分布モデルの基礎データの作成

植生分布モデルのベースとなる植生分布データとしては、第 6 回・第 7 回自然環境保全基礎調査の 1/25,000 植生図（環境省生物多様性センター、<http://gis.biodic.go.jp/webgis/>）を使用した。植生図の中から、凡例をもとに亜高山帯針葉樹林、亜高山帯広葉樹林、落葉広葉樹林、冷温帯針葉樹林、暖温帯針葉樹林、常緑広葉樹林を抽出し、分布の有無に基づいて 3 次メッシュ（1km メッシュ）の植生分布データとして整理した。

③ 希少植物の分布データの作成

a. 調査対象種の選定

調査対象種の選定フローを図 3.6.9 に示す。

環境省及び各県のレッドデータブック（以下、RDB と略す）に掲載されている希少植物の中から、主に山地帯（冷温帯）以上に生育する種を抽出し、1 次リストとした。1 次リストには、地形的な影響を受けて成立している溪畔林、草原や岩場、林縁、湿原を主たる生育環境とする種も含めた。次に、その中から生育環境に関する情報や広域的な分布位置に基づいて自然林を主たる生育環境とする種を抽出し、それらの植物種を 2 次リストとした。自然林は表 3.6.5 に示す 4 つの植生タイプとした。植物種の生育環境は地域によって異なる可能性もあるため、地域の専門家にヒアリングを実施し、意見を踏まえてリストを修正した。

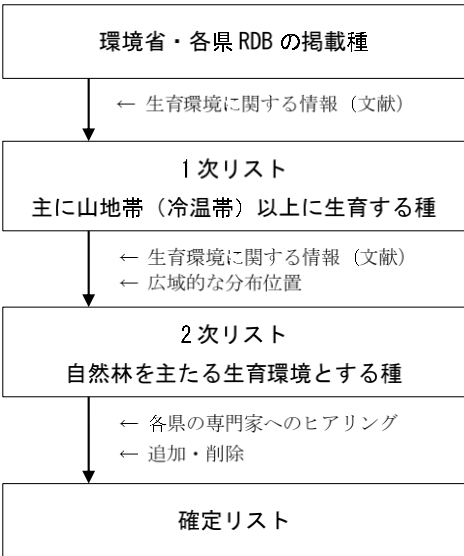


図 3.6.9 調査対象種の選定フロー

表 3.6.6 自然林として扱った主な群落

植生帯	植生タイプ	主な群落名
亜高山帯	針葉樹林	シラビソ（シコクシラベ）群落
	落葉広葉樹林	ナンゴクミネカエデ・ダケカンバ群集
冷温帯	針葉樹林	ウラジロモミ群落、ハリモミ群落
	落葉広葉樹林	スズタケ・ブナ群団、シラキ・ブナ群集、クロモジ・ブナ群集

b. 分布データセットの作成

植物の分布情報が掲載された文献を対象に、文献に記載された調査対象種の分布位置情報（地名、山名など）を入力し、データベースとして整理した。分布位置情報については、可能な限り山系ごとに整理し、分布の傾向を把握した。

文献調査の結果及び各県等から提供いただいた情報をもとに、1km メッシュごとに調査対象種の分布の有無及び分布種数を整理した。

3.6.3.3. 有識者ヒアリング

有識者ヒアリングの概要を以下に示す。

NO.	1
ヒアリング対象者	鳥取大学 教授 永松 大 氏
日付	平成 29 年 12 月 20 日 15:00～18:00
場所	鳥取大学 永松先生研究室
概要	<ul style="list-style-type: none">・ 影響予測の方法やアウトプットは計画の内容でよい。・ 山頂効果についても可能であれば盛り込めないか。・ 山地帯は幅が広いので、上部・下部に分けて予測できるとよい。・ 鳥取県の東側県境では、少し余裕を持たせて、兵庫県側 1 メッシュくらいは含めて影響予測ができないか。・ 対象とする希少植物種は狭く絞り込まず、少し広めに取り上げるべき。

NO.	2
ヒアリング対象者	鳥取大学 教授 永松 大氏
日付	令和元年 8 月 20 日 15:00～17:00
場所	岡山市内
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・中国地域と四国地域で将来の植生の分布変化が異なるので、地域ごとにグラフを作成して結果を示すのがよい。 ・同じ落葉広葉樹林の中でも標高の高い場所にしか分布していない種などは、分布適地が消失する可能性が高いので、注記が必要である。 ・常緑樹の伐採を行うという適応策は、対象範囲が限定されているし、手法的にも難しくないため、実現性がある。ただし、林冠木（ブナなど）が枯れた場合の対応についても考慮しておく必要がある。 ・今回の検討で、多様性の高いホットスポットでありながら保護区に指定されていない場所が明らかとなったので、そこを保護区に指定していくことは重要である。

NO.	3
ヒアリング対象者	島根県立三瓶自然館 井上 雅仁氏
日付	平成 29 年 12 月 16 日 10:00～12:00
場所	島根県立三瓶自然館
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・予測結果を一般の人に理解してもらうために、カタクリのようによく知られている種を調査対象種に含めておくのがよい。 ・1 県の RDB にしか掲載されていないような種も、中国四国地域の地域性を示している場合もあるので、調査対象に含めておくのがよい。 ・分布情報の収集には、日本の博物館に収められた標本情報を整理した S-net（サイエンスミュージアムネット）が利用できる。 ・環境省では、①自然公園内における風力発電事業地の適地抽出や②レッドデータブックの改定作業で、植物の分布情報を調査している。情報を一元的に管理できればよい。

NO.	4
ヒアリング対象者	岡山理科大学 教授 波田善夫氏
日付	平成 29 年 12 月 15 日 15:00～17:00
場所	岡山理科大学
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・植生の分布に関しては、環境省の植生図作成とりまとめ業務の報告書が参考になる。 ・植生帯の移動は、実際は主要構成種の更新と関連する。石槌山では 50 年前にササが一斉枯死し、シコクシラベが更新した。 ・調査対象種については改めて確認する（後日、結果を拝受）。

NO.	5
ヒアリング対象者	吉野由紀夫氏
日付	平成 30 年 1 月 6 日 10:00～12:00
場所	吉野氏研究室
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・影響を検討する上で、堀川氏や倉田氏がまとめられた分布図の表現が参考になる。 ・シダ類の分類が難しい種については、調査対象種として選定しなくてもよいと考えられる。 ・県内の分布情報や文献を整理しているので、分布を知りたい種を明示してもらえれば、情報の提供が可能である。（広島県内の植物分布に関する論文を拝受した。）

NO.	6
ヒアリング対象者	吉野由紀夫氏
日付	平成 31 年 3 月 12 日 10:00～12:00
場所	吉野氏研究室
概要	・文献調査で分布位置情報を確認できなかったシダ植物及びラン科植物など 30 種の分布位置について、情報を提供いただいた。

NO.	7
ヒアリング対象者	山口県植物研究会 眞崎 久氏
日付	平成 30 年 2 月 19 日 16:00～17:00
場所	山口県立田布施農工高
概要	・山口県には高い山が少ないこともあり、自然性の高いブナ林は寂地山に限られる。希少植物も寂地山周辺で見られるものが多い。 ・リストには、オモゴウテンナンショウなどを加えてはどうか。 (その他、個別の種について、分布位置情報の提供や、調査対象種としての適性に関するご意見をいただいた。)

NO.	8
ヒアリング対象者	徳島県植物研究会 木下 覚氏
日付	平成 30 年 1 月 16 日 10:00～12:00
場所	木下氏自宅
概要	・亜高山帯のある剣山地ではシカの被害が甚大であり、気候変動による影響はほぼシカの影響といっても過言ではない。 ・保護区の設置が必要である。 ・気候変動の影響をモニタリングするためには、シカの影響を排除する必要がある。 ・オシダは剣山にしかないので、調査対象種に加えてはどうか。 (その他、個別の種について、分布位置情報の提供や、調査対象種としての適性に関するご意見をいただいた。)

NO.	9
ヒアリング対象者	特定非営利活動法人みんなでつくる自然史博物館・香川 末廣喜代一氏
日付	平成 30 年 2 月 8 日 10:00～12:00
場所	高松市内
概要	・香川県では讃岐山脈の上部にごく小面積で落葉広葉樹林が残っている状況であり、ブナが生育していてもブナ林と呼べない場所も多い。 ・場所によってはブナ林にアカガシが隣接して生育しているので、植生が置き換わる可能性がある。 ・県内の分布情報は NPO が保有しているが、県から委託を受けて調査した結果を含むため、使用する際は県に了承を得て欲しい。 ・「香川県の植物誌」等の古い資料は入手不可なので、データで提供する。

NO.	10
ヒアリング対象者	愛媛県植物研究会 松井宏光氏
日付	平成 30 年 1 月 12 日 10:00～12:00
場所	NPO 森からつづく道事務所
概要	・気候変動でササが増加することによって消失する植物もあり得る。 ・石鎚山脈のシラビソ林やダケカンバ林などは、特殊な地形に成立している場合が多い。 ・オンツツジやトキワバイカツツジは自然に生えている植物ではあるが、他の植物の保全を考えると伐採した方がよい場合もある。 ・県の植物相については、古い資料を除くとまとまったものがない。 ・植物研究会の観察記録をまとめたデータはある。情報提供は可能。

NO.	11
ヒアリング対象者	愛媛県植物研究会 松井宏光氏
日付	平成 31 年 2 月 28 日 10:00～12:00
場所	NPO 森からつづく道事務所
概要	・文献調査で分布位置情報を確認できなかった植物約 70 種の分布位置について、情報を提供いただいた。

NO.	12
ヒアリング対象者	高知大学 比嘉基紀氏
日付	平成 30 年 1 月 6 日 16:00～18:00
場所	高知大学
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 県のみ DD（情報不足）で掲載されている種は対象外としてはどうか。 ・ 変種や品種で分類されている種については、まとめて扱ってはどうか。 ・ 調査対象種の種数は 100 種程度が妥当と考えられる。 ・ バイカオウレン（シコクバイカオウレン）は高知県では人里近くに生育しているので、調査対象種としては適していないかもしれない。 ・ 高知県の分布情報は高知県立牧野植物園が管理しているので、活用可能か相談してみる。

NO.	13
ヒアリング対象者	高知県立牧野植物園
日付	平成 30 年 5 月 15 日 16:00～17:00
場所	高知県立牧野植物園
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高知県では、植物種の分布情報を 1km メッシュで整理している。 ・ データは高知県が所管しているので、県に了承をとってもらえればデータをメールで送付可能である。 ・ 現地調査を実施する場合は、ぜひ標本を採集してほしい。

3. 6. 3. 4. 観測および実証実験

下表に示す自然林及びその周辺の植生を対象として、現地観測を実施した。現地観測では、自然林及びその周辺の登山道及び車道沿いを踏査し、落葉広葉樹林において競合植物となる可能性のある常緑広葉樹の生育状況（生育の有無、主要な樹種、生育量など）を目視により確認した。また、シカによる影響について、下層植生の衰退状況、食痕や糞の有無、不嗜好性植物（シカの嫌いな植物の生育状況）について目視により確認した。

表 3. 6. 7 植生帯境界の現況把握の対象地

地域	山地名	確認箇所	標高	調査実施日
中国地域	中国山地	高山	400～900m	平成 30 年 11 月 22 日
		大山～蒜山	700～1,000m	平成 30 年 8 月 17 日
四国地域	四国山地	剣山系	1,000～1,100m	平成 30 年 4 月 17 日
		皿ヶ峰	800～1,000m	平成 31 年 2 月 28 日
	讃岐山脈	大滝山	900～1,000m	平成 30 年 7 月 31 日
	高縄山地	高縄山	900～1,000m	平成 31 年 2 月 28 日

3. 6. 3. 5. 気候変動影響予測手法の検討

日本では、森林植生の優占種（ハイマツ、シラビソ、ブナ、アカガシ、ササ類など）を対象に分布規定要因と温暖化影響評価に関する研究が行われてきた（Nakao et al. 2011, Tsuyama et al. 2012,

Higa et al. 2012 など)。しかし、これまでの研究は種の分布を対象としたものが中心で、複数種を対象とした研究は始まったばかりであり、気候変動が森林植生の分布に及ぼす影響は十分に検討されていない。

そこで、本調査では、森林植生の分布を示すデータとして高解像度の植生図を用いるとともに、複数の植生を対象とする多項ロジットモデルを用いて、中国四国地域の森林植生の分布構造の検証を行ったうえで、将来の予測を実施した。

3.6.3.6. 影響予測モデルに関する情報

① 植生分布モデルの概要

植生分布モデルは、上述のデータを用いて下図のとおり構成した。

気候要因としては、1) 暖かさの指数 [WI]、2) 最寒月の月最低気温 [TMC]、3) 夏期降水量 [PRS] (5～9月の月降水量の積算値)、4) 冬期降水量 [PRW] (12～3月の月降水量の積算値) を使用し、いずれもメッシュ気候値より算出した。暖かさの指数 [WI] は、月平均気温 5℃以上の月を対象として、各月の月平均気温から 5℃を差し引いた値を累積して算出した。

3 次メッシュの分布データを応答変数、気候変数を説明変数として、多項ロジットモデルまたはソフトマックス回帰により、植生分布モデルを構築した。

$$p_k = \frac{\exp(\alpha_k + \beta_k X_k)}{1 + \sum \exp(\alpha_k + \beta_k X_k)}$$

$$k = 1, 2 \dots, m - 1$$

モデルのパラメータは、ベクトル型一般化加法モデルにより推定した。推定には、R ver. 3.4.3 (R Core Team 2017) 及びパッケージ VGAM (Yee 2015) を使用した。すべての変数の組み合わせについてモデルを構築し赤池情報量基準 (AIC) を求めた。AIC が最小のモデルをベストモデルとし、ベストモデルからそれぞれの変数を除いたときの AIC の増加量を変数の重要性とした。

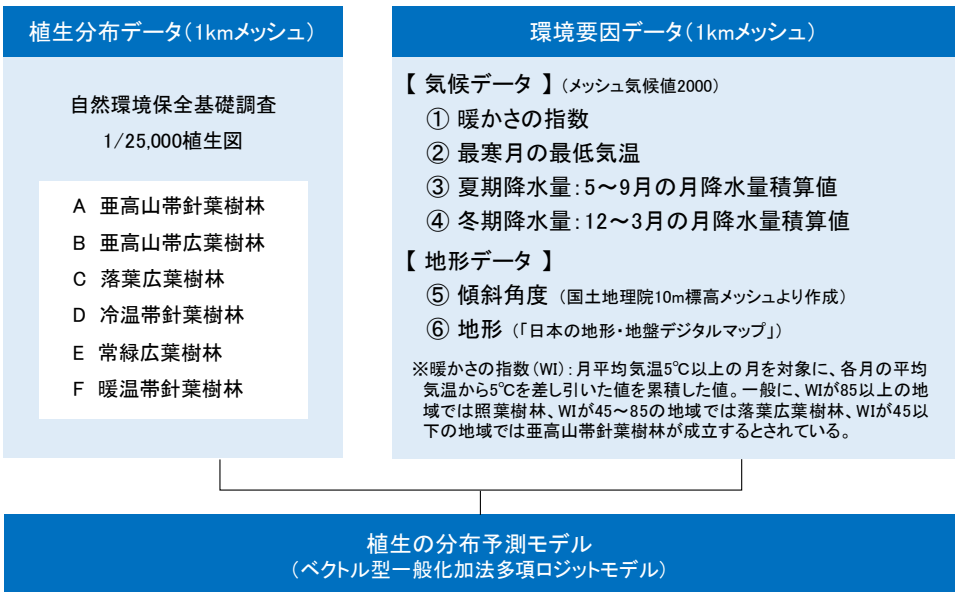


図 3.6.9 植生分布モデルの概要

② 気候要因と植生分布との関係性

それぞれの植生の分布は気温条件（暖かさの指数 [WI] 及び最寒月の月最低気温 [TMC]）に強く影響されていた。また、冷温帯及び暖温帯の針葉樹林の分布には夏季降水量 [PRS]、落葉広葉樹林の分布には冬季降水量 [PRW] がプラスの影響を与えていた。一方で、冬季降水量は [PRW] は常緑広葉樹林の分布に負の影響を与えていた。

モデルに対する寄与率としては、暖かさの指数 [WI] が最も大きく、次に最寒月の月最低気温 [TMC]、夏季降水量 [PRS] の順となっていた（図 3.6.11）。なお、それぞれの気候要因には共線性が確認された。

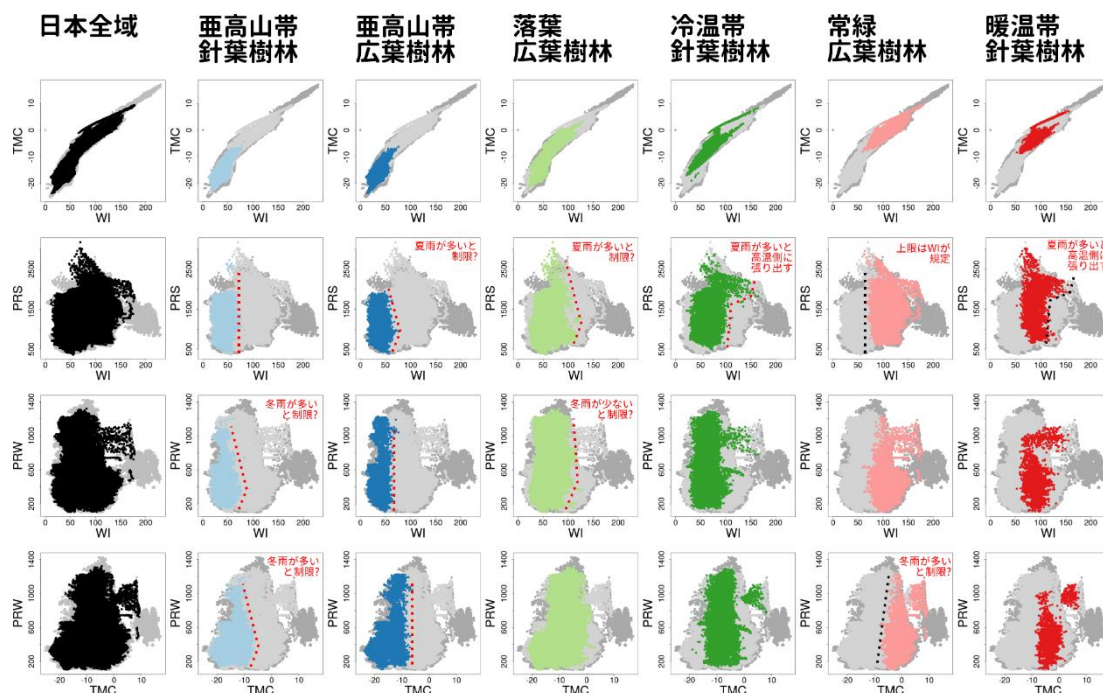


図 3.6.10 各植生の分布と気候要因との関係

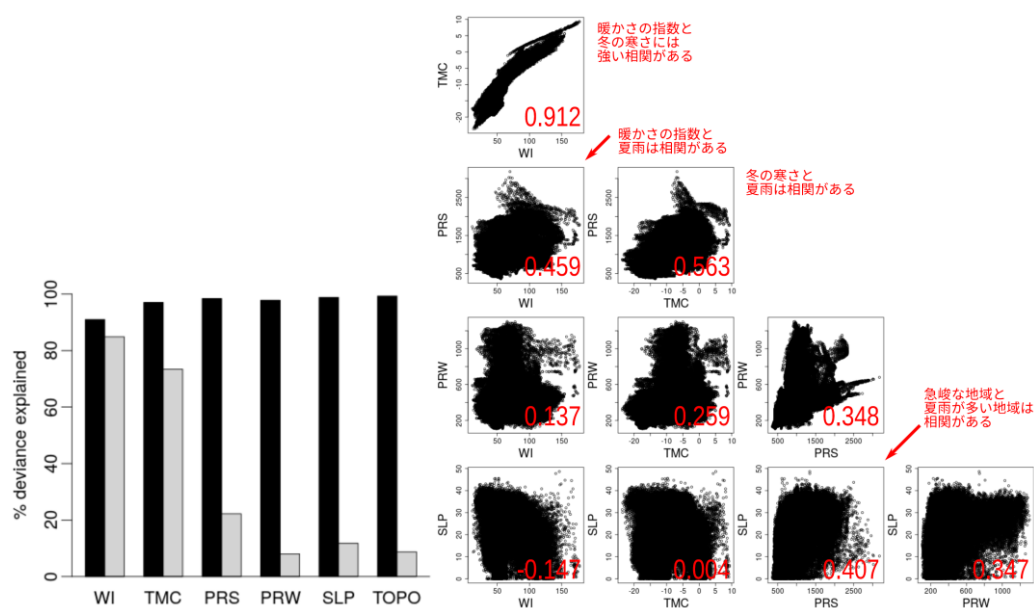


図 3.6.11 モデルに対する各気候要因の寄与率と気候要因間の関係性

③ モデルの検証

植生分布モデルの作成にあたっては、データセットの 6 割を学習データ（モデルを作成するためのデータ）として、残りの 4 割を検証データとして使用した。作成したモデルの全体の正答率は 63.1%、Kappa の一致係数が 0.693 であった。内訳は下表に示すとおりであり、落葉広葉樹林及び常緑広葉樹林の正答率は 80%を越えていたが、亜高山帯の植生や針葉樹林の正答率が低めとなっていた。

表 3.6.8 植生分布モデルの検証結果

	実測値					
	亜高山帯 針葉樹林	亜高山帯 広葉樹林	冷温帯落 葉広葉林	冷温帯 針葉樹林	常緑 広葉樹林	暖温帯 針葉樹林
予測値						
亜高山帯針葉樹林	1,327	1,118	749	207	0	0
亜高山帯広葉樹林	1,283	1,631	930	208	0	0
冷温帯落葉広葉林	3,324	2,706	15,827	4,478	97	194
冷温帯針葉樹林	201	111	1,121	1,382	203	556
常緑広葉樹林	0	0	246	185	3,745	635
暖温帯針葉樹林	0	1	92	266	325	536
正答率 (%)	21.6	29.3	83.5	20.5	85.7	27.9

④ 希少植物の分布適地予測

調査対象種の分布位置情報（1km メッシュ、自然林の分布範囲のみ）に、植生分布の予測結果（1km メッシュ）を重ね合わせることで、各種の分布適地を予測した。分布適地の判断は、各種の生育適地である植生が維持されるかどうかを基準とし、調査対象種の選定の際に整理した情報を用いた。種ごとの 1km メッシュの予測結果をもとに、1) 各メッシュの分布種数、2) 主要な山地における分布種数、3) 各県における分布種数を算出した。

3.6.3.7. 影響予測に必要な入力パラメータ

本影響予測モデルは、対象予測期間の気候要因（暖かさの指数、最寒月の月平均気温、夏季降水量、冬季降水量）を変更または更新することにより、影響の予測が可能である。

3.6.3.8. 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。

なお、植生分布モデルは全国を対象としているため、中国四国地域に限らず、他地域に対しても使用可能である。

3.6.4. 調査結果

3.6.4.1. 文献調査結果

① 調査対象種の選定

a. 主に山地帯以上に生育する植物種（1次リスト）

各県のレッドデータブック掲載種の中から、山地帯以上の高地を主たる生育環境とする植物種を

抽出した結果を表 3.6.9 に示す。

抽出された植物種の種数は延べ 517 種であり、各県のレッドデータブックに掲載された種のうちの 13.2～36.6%が高地に生育する種であった。また、約 1/2 にあたる 267 種が森林生の植物種であった。

表 3.6.9 中国四国地域の山地帯以上を主な生育環境とする希少植物（1 次リスト）の概要

	生育環境					RDB 選定状況									
	落葉広葉樹林	針葉樹林	溪畔林	草原・林縁・岩場	湿地・湿原	環境省	鳥取	島根	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知
種数	206	34	27	224	31	68	148	78	138	115	135	205	53	202	190
RDB 種数※	-	-	-	-	-	-	404	366	556	458	626	882	401	864	1,030
RDB 種数に占める割合 (%)	-	-	-	-	-	-	36.6	21.3	24.8	25.1	21.6	23.2	13.2	23.4	18.4

※各県の発行している最新のレッドデータブック（2018 年 2 月時点）に掲載されている維管束植物の種数を示す。

b. 自然林を主な生育環境とする植物種

表 3.6.6 に整理した植物種群の中から、亜高山帯及び冷温帯の自然林を主たる生育環境とする希少植物を抽出した結果を表 3.6.10 に示す。

抽出された植物種は延べ 163 種であり、低木が 29 種、多年草が 109 種、多年草（シダ）が 25 種であった。調査地対象種の分布種数は、徳島、愛媛、高知の 3 県が 124～128 種と多く、香川県が 41 種で最も少なかった。

なお、調査対象種の一覧は、添付資料にまとめた。

表 3.6.10 調査対象種（確定リスト）の概要

生活形	主な植物種	生育環境		植生帯		RDB 選定状況									
		落葉広葉樹林	針葉樹林	冷温帯（山地帯）	亜高山帯	環境省	鳥取	島根	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	高知
低木	ツノハシバミ、ヤシヤビシヤク、フウリンウメモドキ、シロヤシオなど	25	15	27	14	1	6	10	5	10	15	11	4	9	7
多年草	ゴゼンタチバナ、ミヤマツチトリモチ、フタバアオイ、ツバメオモトなど	98	26	100	25	24	38	21	36	30	39	63	19	62	60
多年草（シダ）	ヒメスギラン、ミヤマシシガシラ、イッポンワラビ、ミヤマノキシノブなど	24	9	24	6	5	9	7	5	8	9	13	6	11	12
計		147	50	151	45	30	53	38	46	48	63	87	29	82	79
各県での RDB 選定種以外を含む調査対象種の分布種数							90	82	80	104	76	124	41	126	128

② 調査対象種の分布情報整理

データベースとして整理した確認記録の件数は約 37,000 件（重複を含む）であり、これらのうち約 10,000 件については分布範囲を特定し、分布範囲を 1km のメッシュ情報として整理した。各 1km メッシュにおける調査対象種の確認種数は下図に示すとおりである。

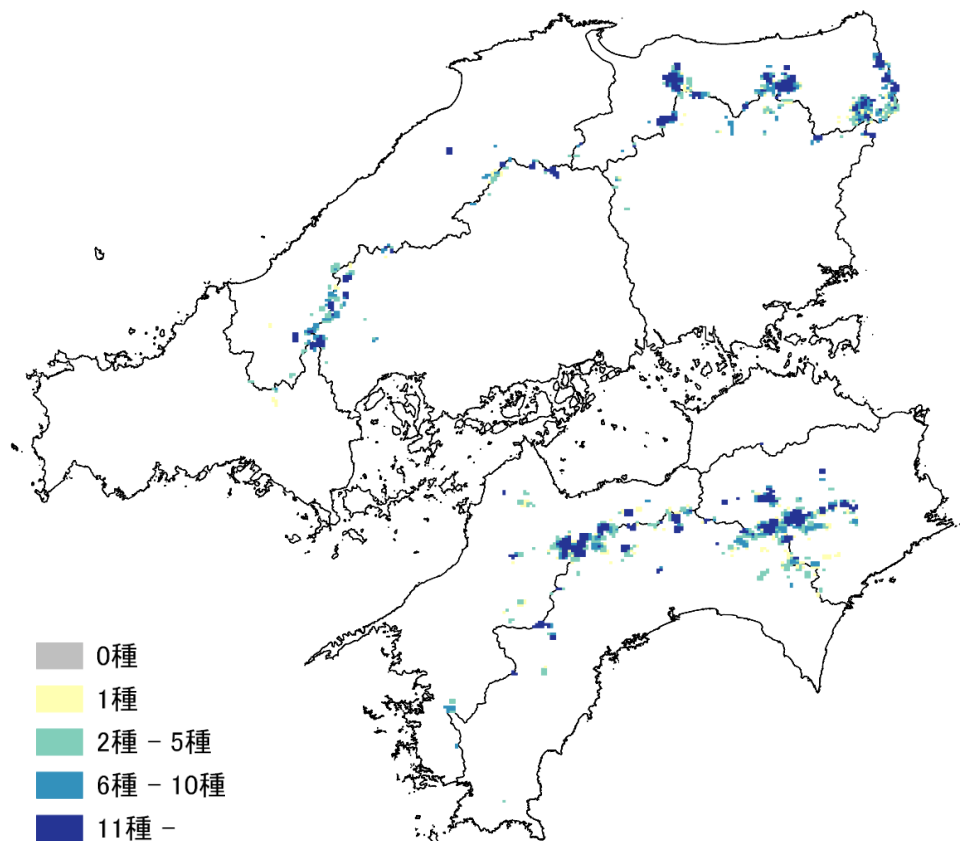


図 3.6.12 メッシュあたりの希少植物の確認種数

3.6.4.2. 有識者ヒアリングの結果

調査開始段階における各地域の有識者へのヒアリングでは、各地域の植生の現状と予測される気候変動による影響について地域の知見をご提供いただいたほか、調査対象種の選定については文献・データベース情報、分布情報などをご紹介いただいた。

アドバイザーへのヒアリングでは、影響予測のアウトプット方法や留意点の説明、適応策の課題などについて具体的な助言をいただき、報告書などの作成に反映した。

3.6.4.3. 観測や実証実験の結果

調査結果の概要を表 3.6.11 に示す。

中国山地では、植生帯の境界付近にあたる標高 600～800m においても、下部の植生帯の優占樹種であるカシ類などの常緑植物はまれであった。これには、中国山地の北面が多雪環境で常緑樹が生育しにくい条件にあることや、中国山地では古くからたたら製鉄にともなう森林利用が繰り返し行われてきたことにより常緑樹が衰退していることが関係していると考えられる。このような条件では、気候変動にともなう植生の変化は短期間では生じないと推測される。

一方で、四国地域の讃岐山脈や高縄山地では、すでに落葉広葉樹林の自然林の中に、丈領広葉樹林の優占樹木であるアカガシや構成種である常緑樹が侵入し、植生の変化が生じつつある状況が確認された。このような場所では、植生の変化が急速に進むと考えられることから、希少植物への影響も生じやすく、対処も急がれると考えられる。

また、剣山地のようにシカの影響が顕著な場所では、シカの採食による希少植物への影響が甚大であり、その対処が最優先の課題となっている。一方で、シカの採食により常緑植物等も消失していることから、気候変動による直接的な影響（落葉広葉樹林から常緑広葉樹林への移行）は和らげられているものと考えられる。

以上のように、中国四国地域の中でも、気候条件、過去の人為的な影響、シカの生息状況などによって、気候変動による植生への影響の現れ方が異なっており、適応策の必要性や手法の検討においては各地域の条件を整理することが重要と考えられる。

表 3.6.11 現況把握調査の結果の概要

地域	山地名	確認箇所	植生の状況
中国地域	中国山地	高山、人形峠	<ul style="list-style-type: none"> ・ 標高 800m 以上にブナの自然林が残り、標高 800m 以下の周辺にはコナラの優占する二次林が広がっていた。 ・ ブナの自然林に限らず、コナラの二次林でも常緑樹はまれであり、標高 500m 未満で常緑樹（ウラジログシヤヒサカキなど）の生育が確認された。 ・ シカによる植生への影響は目立たなかった。
		大山～蒜山	<ul style="list-style-type: none"> ・ ブナが優占する自然林が広がり、林床にはチュウゴクザサなどササが優占していた。 ・ 矮性低木を除くと、構成種は落葉樹であり、常緑樹の生育はほとんど認められなかった。 ・ シカによる植生への影響は目立たなかった。
四国地域	四国山地	剣山系	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落葉広葉樹林や冷温帯針葉樹林の自然林が残るが、シカによる植生への影響が著しく、自然林の下層には競合相手となる常緑樹の生育も認められなかった。
		皿ヶ峰	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落葉広葉樹林の自然林及びその周辺の二次林には、常緑広葉樹林の構成種の生育は確認されなかった。ただし、冷温帯針葉樹林の構成樹種であるスギやツガなどの稚樹が生育していた。
	讃岐山脈	大滝山	<ul style="list-style-type: none"> ・ 林床の植物は比較的豊かであったが、落葉広葉樹林の自然林内には常緑広葉樹林の主要構成種であるアカガシがすでに侵入し、樹高 10m 以上に成長している場所も確認された。 ・ 林内には、アカガシなど常緑樹の実生が多数認められた。
	高縄山地	高縄山	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落葉広葉樹林の自然林内において、常緑広葉樹林の構成種であるヤブツバキやシロダモが繁茂している場所が確認された。

3.6.4.4. 気候変動影響予測結果

① 植生の分布適地

将来における植生分布適地の予測結果を図 3.6.13～図 3.6.14 に示す。

予測結果の概要は、以下のとおりである。

- 亜高山帯針葉樹林の分布適地は、現在も極めてわずかであり、21 世紀中頃には消失する可能性がある。
- 21 世紀末には、RCP8.5 シナリオにおいて、落葉広葉樹林や冷温帯針葉樹林の分布適地が四国地域からほぼ消失し、中国地域でも高い山の山頂周辺にわずかに残る状態となる可能性がある。
- 現存する冷温帯落葉広葉樹林は、中国地域では 21 世紀中頃まではほぼ分布適地のまま維持されるが、21 世紀末には分布適地が現在の 1/4～1/10 程度にまで減少する可能性がある。
- 同じく四国地域では、21 世紀中頃までに現在の 4/5 程度が分布適地外となり、21 世紀末にはほぼ全体が分布適地でなくなる可能性がある。
- 現存する冷温帯針葉樹林は、四国地域では 21 世紀中頃に分布適地のまま残るのは 1/2 程度と予測され、21 世紀末には分布適地として残る場所は 1/10 程度となる可能性がある。

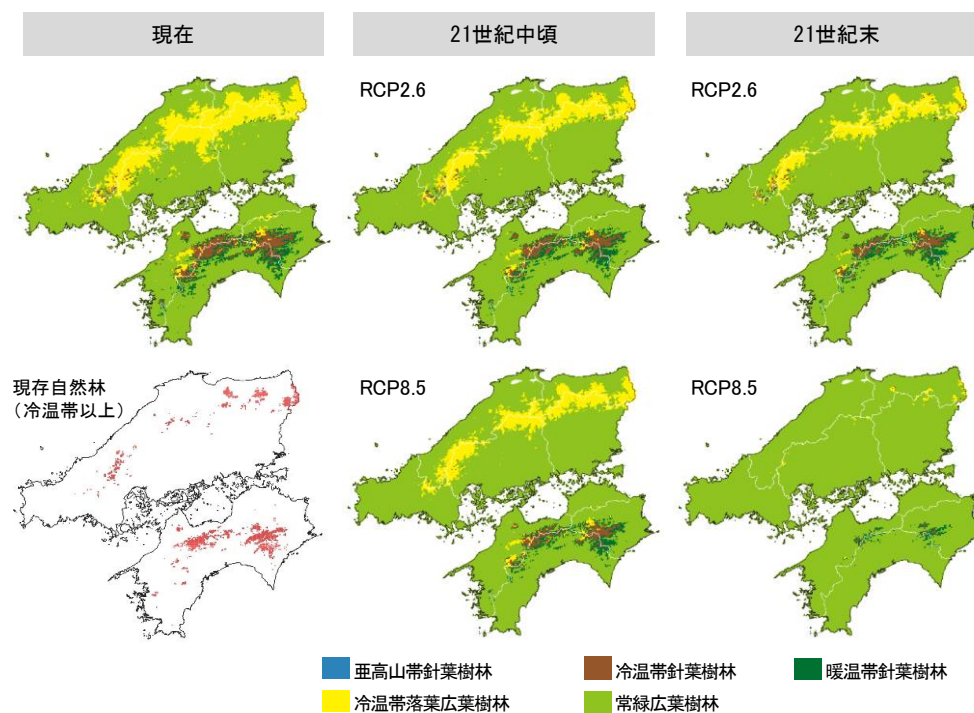


図 3.6.13 (1) 植生分布適地の予測結果 (MRI-CGCM3)

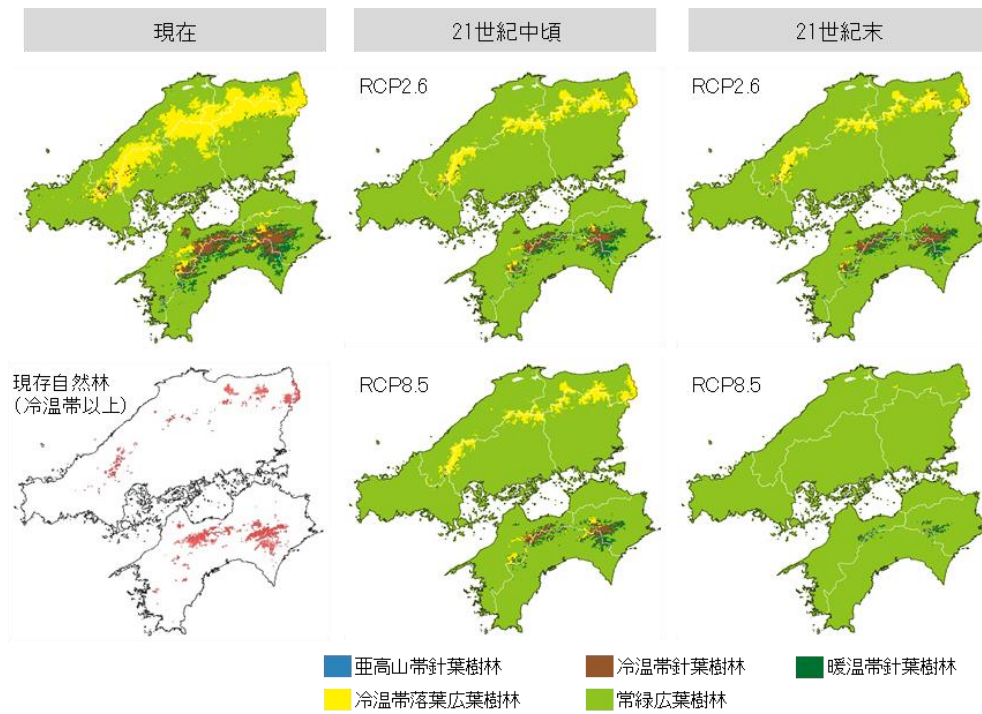


図 3.6.13 (2) 植生分布適地の予測結果 (MIROC5)

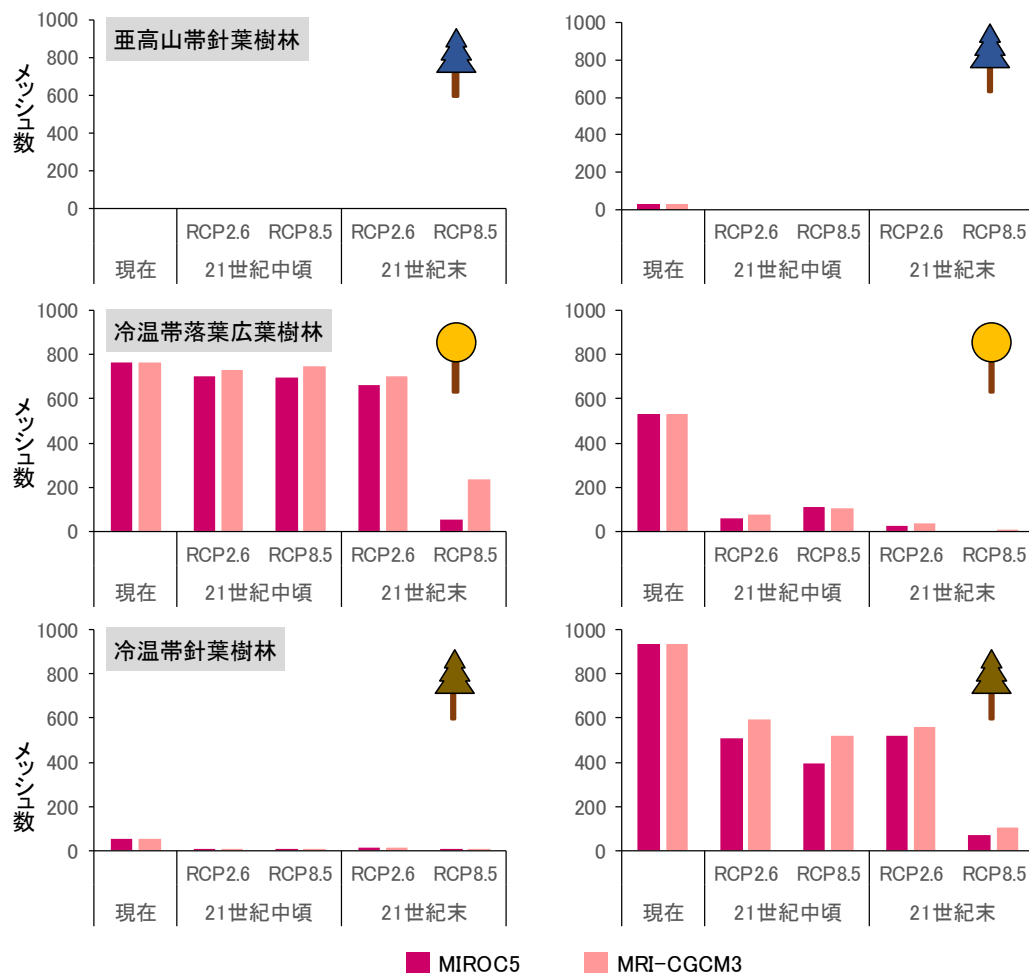


図 3.6.14 現存する自然林メッシュのみを対象とした分布適地変化の予測結果

② 希少植物の分布適地

将来における希少植物の分布適地の予測結果を図 3.6.15～図 3.6.19 に示す。

予測結果の概要は以下のとおりである。

a. 全域

- 中国地域では、21 世紀中頃までは顕著な影響が生じないと予測されるが、種の多様性の高い場所も含めて、21 世紀末には希少植物の分布可能な場所が大幅に減少する可能性がある。
- 四国地域では、21 世紀中頃から希少植物の分布適地に減少が生じ、21 世紀末には 100 メッシュ程度（RCP8.5）まで減少する可能性がある。

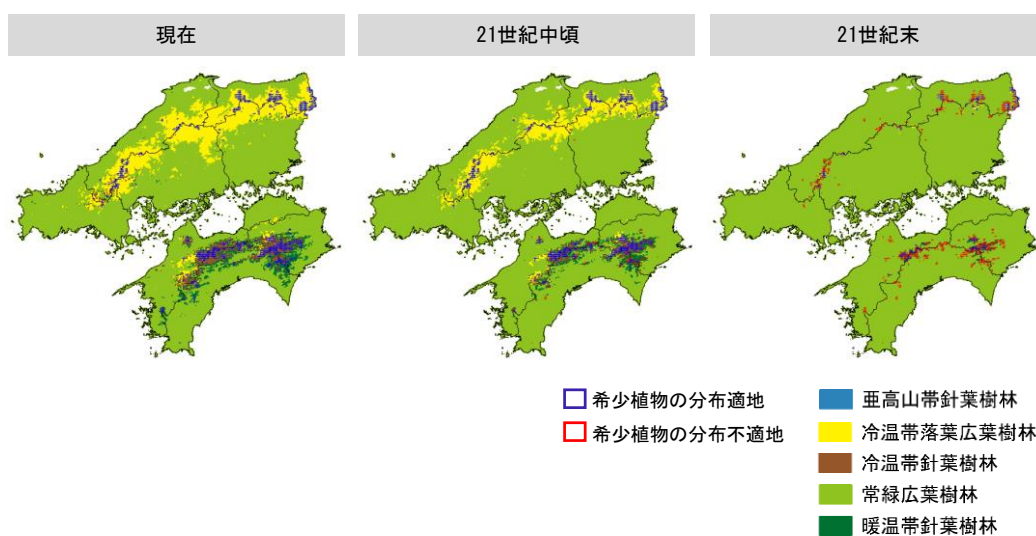


図 3.6.15 (1) 植生の分布予測結果と希少植物の分布地との重合わせ (MRI-CGCM3, RCP8.5 の例)

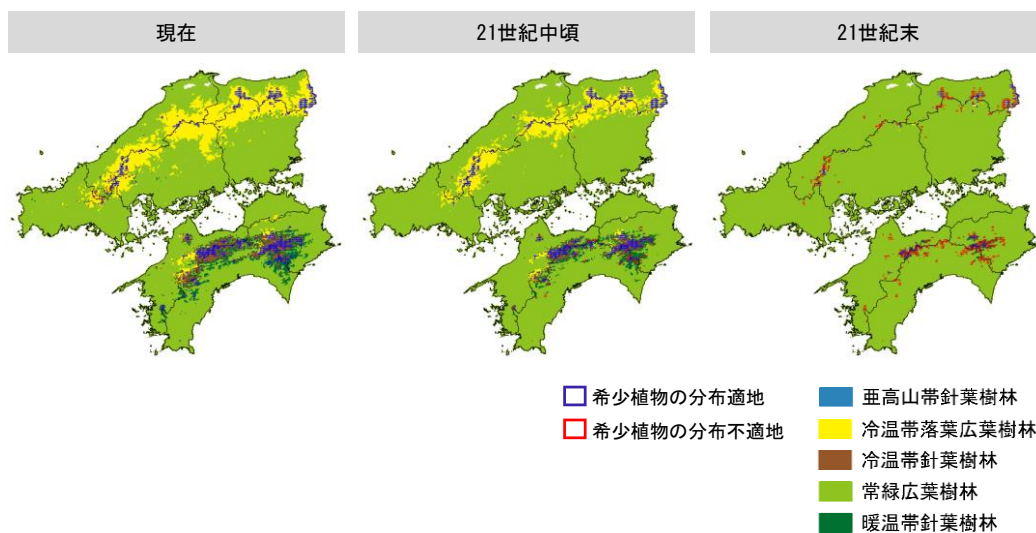


図 3.6.15 (2) 植生の分布予測結果と希少植物の分布地との重合わせ (MRI-CGCM3, RCP8.5 の例)

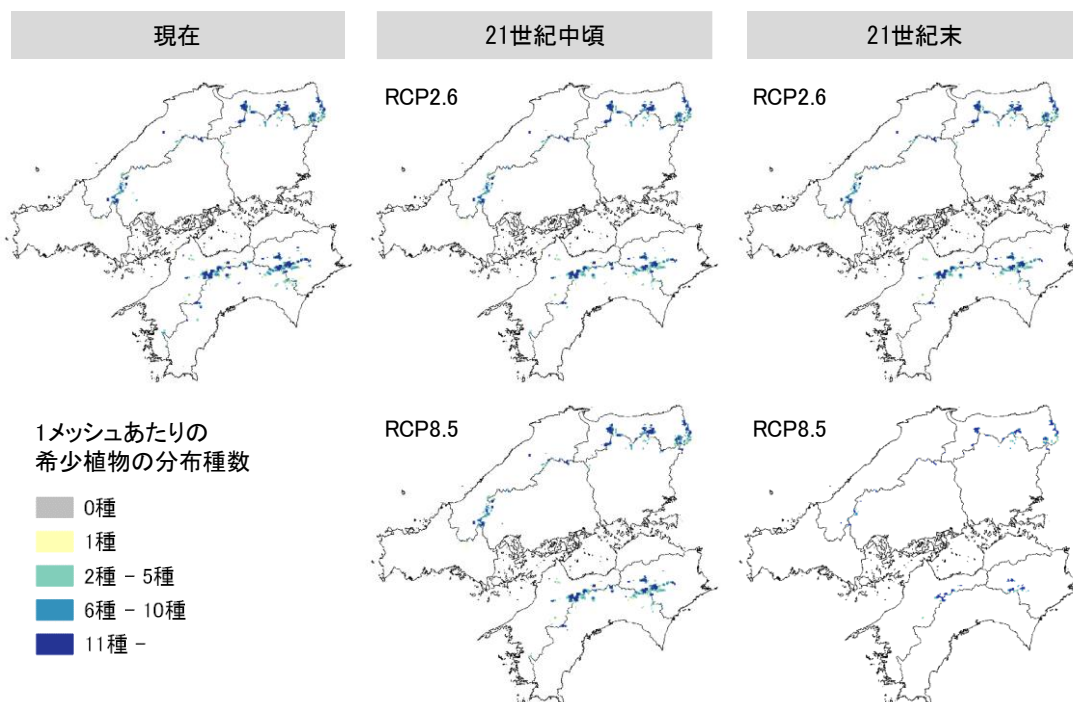


図 3.6.16 (1) メッシュごとの希少植物の生育数の予測結果 (MRI-CGCM3)

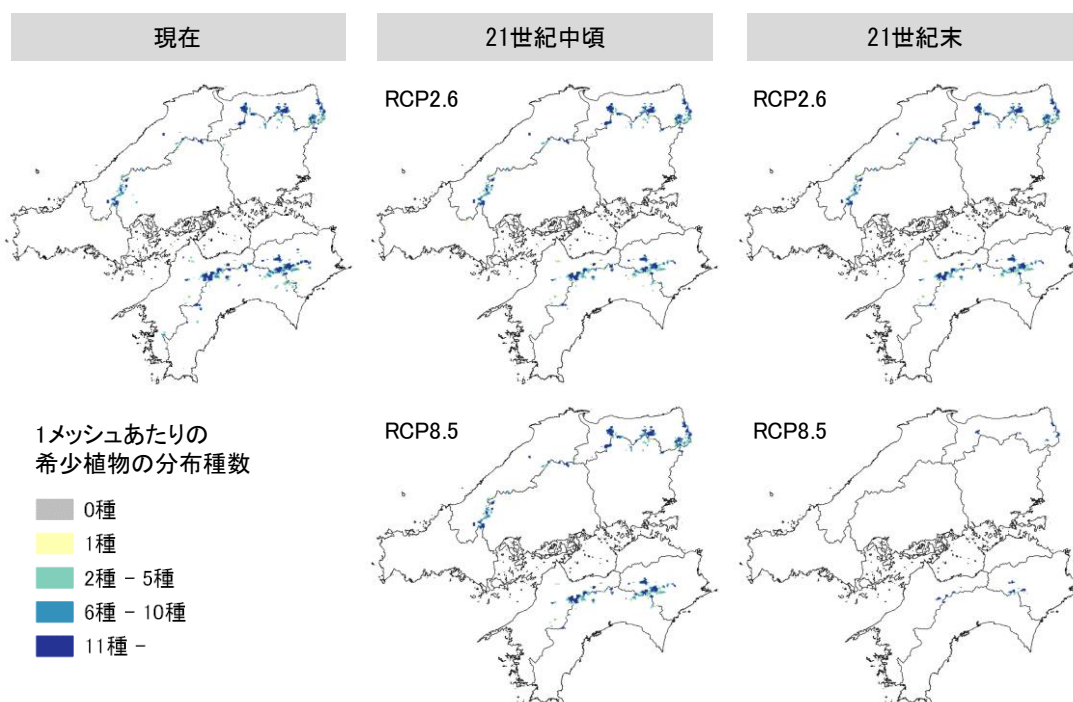


図 3.6.16 (2) メッシュごとの希少植物の生育数の予測結果 (MIROC5)

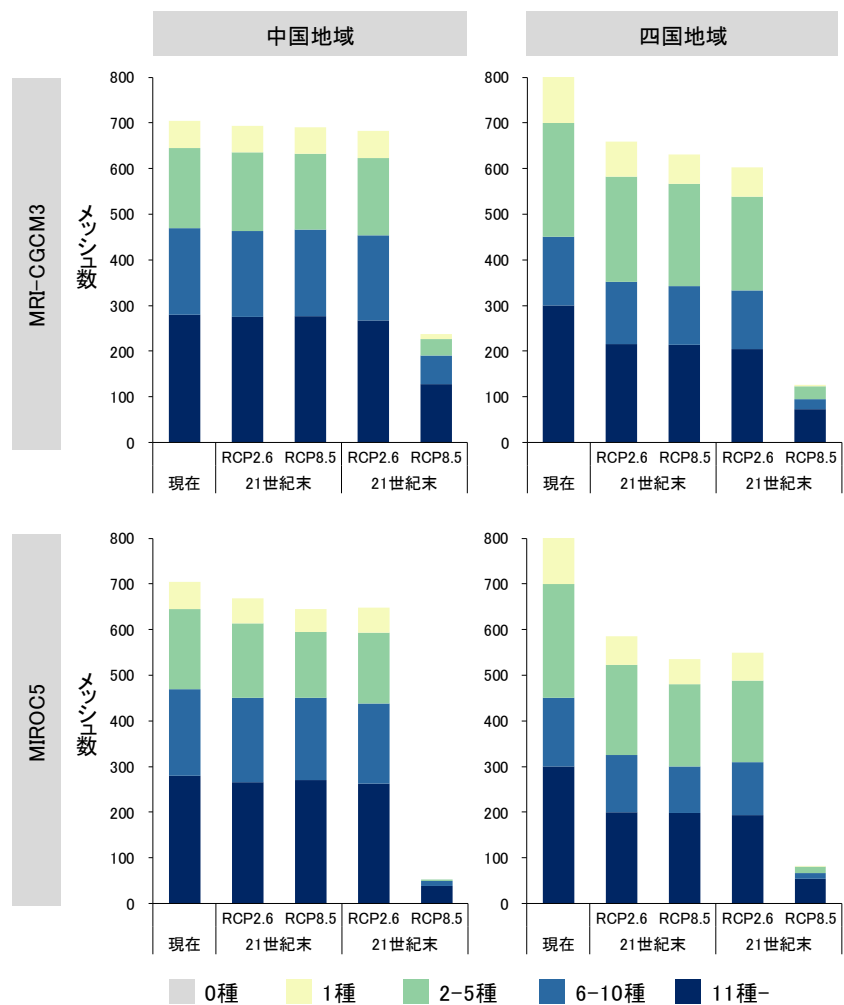


図 3.6.17 メッシュごとの希少植物の生育数の予測結果

b. 山地ごとの予測結果

- 21 世紀中頃には、四国山地や高縄山地において 10～20% 程度の種の分布適地が消失する可能性がある。
- 21 世紀末には、RCP2.6 ではいずれの地域においても 50% 以上の種は分布適地が残ると予測される。
- RCP8.5 では 50% 以上が消失する可能性があり、高縄山地や讃岐山脈では 100% の種が消失する可能性がある。

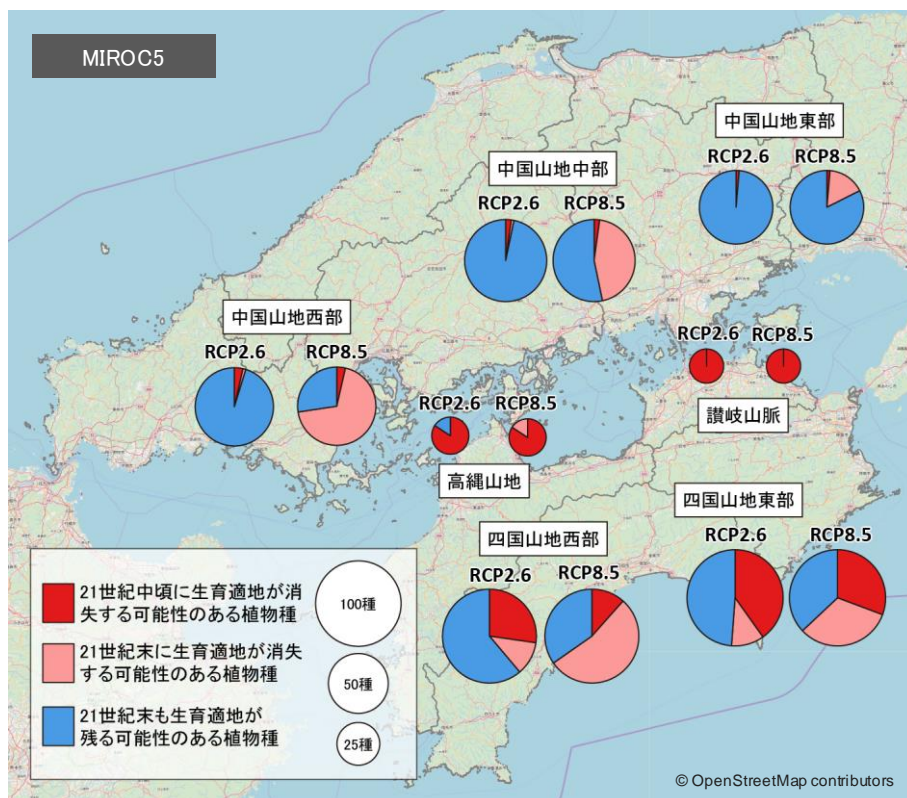
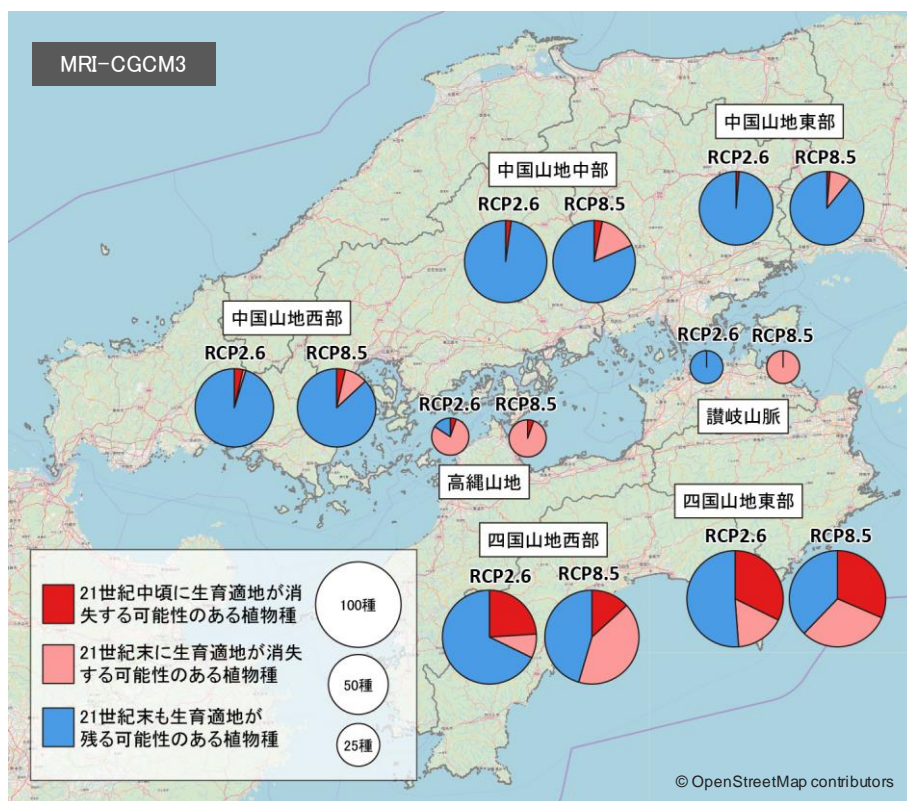


図 3. 6. 18 主要山地におけるシナリオ・年代別の希少植物種数の予測結果

c. 県ごとの予測結果

- 香川県では 21 世紀中頃、山口県では 21 世紀末に、県内に分布適地をもつ種がなくなる可能性がある。
- 鳥取県、島根県、広島県では、21 世紀中頃には 90% 程度の種の分布適地が残ると予測されるが、21 世紀末には大幅に減少する可能性がある。
- 四国地域（香川県を除く）では、21 世紀中頃からすでに減少幅が大きく、21 世紀末には 50 種未満にまで減少する可能性がある。
- 具体的な種としては、イチヨウラン、ツルツゲ、エゾノヨツバムグラなど、亜高山帯から冷温帯上部に分布適地を有する種から消失する可能性がある。
- なお、これらの結果は植生の分布適地の変化を元に予測した結果であるため、同じ植生でも標高の高い場所にしか生育できない種については影響が生じる可能性があることに留意が必要である。

3.6.4.5. 結果を活用する上での留意点・制限事項

本影響予測では、保全上重要な地域や気候変動に対し脆弱な地域を広域的に分析することを主目的として、将来予測される植生の分布変化に基づく希少植物への影響予測を実施した。すなわち、希少植物の種ごとに分布適地モデルを作成していないため、個々の種への詳細な影響予測については、不確実性をともなっている。特に、同じ植生帯の中で高標高域にのみ生育する種については、気候変動による影響に対して脆弱であり、本調査の予測結果よりも影響が強く現れる可能性がある。

また、植生の分布には積雪深や微地形なども影響していることが知られているが、積雪深データを含む気候シナリオが整備されていないため、本調査では冬季降水量を代用した。微地形については、分布予測モデルパラメータに地形条件として 1km スケールでの地形及び傾斜角度を用いているが、亜高山帯の植生が遺存的に分布している急峻な崖地や、山頂の風衝による影響などについては評価できていない。

本影響予測の予測結果は分布適地を示しており、実際に将来に起こりうる植生および植物種の変化は示していない。実際の分布を予測するためには、主要樹種の分布拡大速度や種間の競争関係、ニホンジカなど採食者による影響など、様々な要因を加味したシミュレーションが必要であり、モデル構築のための基礎データの収集から取り組んでいく必要がある。

このような不確実性を担保するためにも、主要地点における継続的なモニタリングを実施し、気

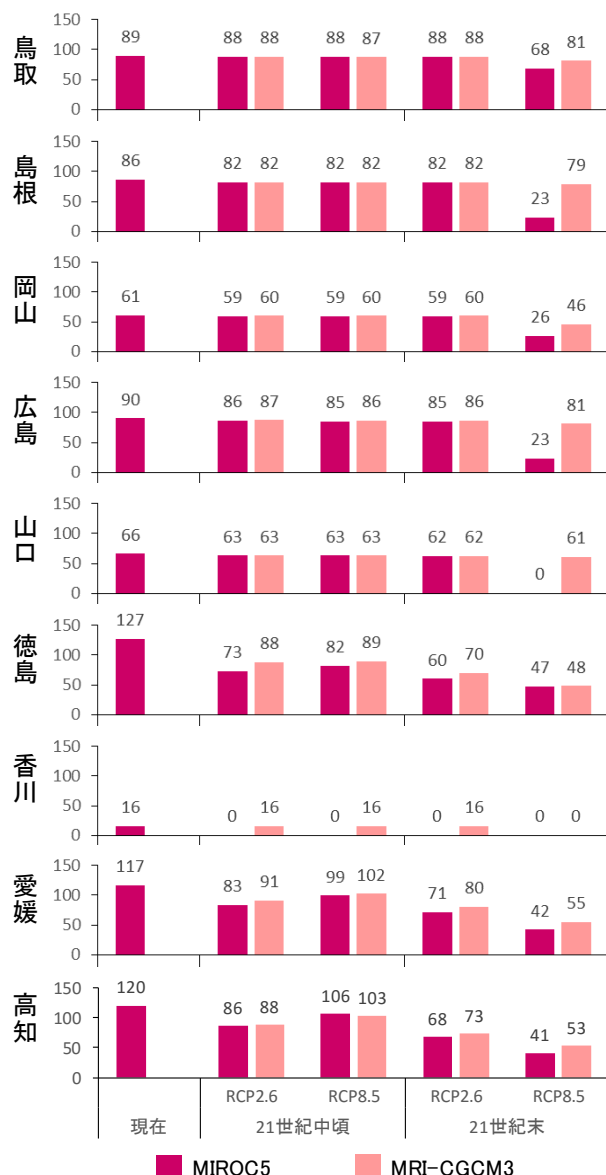


図 3.6.19 各県に分布する希少植物の種数の変化

候変動による影響を検知していくことが重要となる。

3.6.5. 適応オプション

3.6.5.1. 手順

適応オプションの検討手順を下図に示す。

適応策の優先度としては、現存する自然林の状態を維持するための方策を第一とし、将来予測の結果、生育不適地となると予測される場合には、モニタリングをしながら影響の兆候を確認し、状況に応じて競合種の排除などを進める。また、自然林が現存し、将来も生育適地として維持されると予測される場所については、他の要因による消失を回避するために、保護区の配置及び区分の見直しや、ニホンジカによる食害防止のための取り組みを進める。

現存する自然林の維持では保全が困難と考えられる場合には、将来も落葉広葉樹林などの分布適地として維持される場所でありながら人工林や二次林となっている場所を対象として、人工林の広葉樹林化など、自然林と同様の環境条件を備えた植生へ誘導する。

これらの取り組みでも保全が困難な種やケースについては、個々の種の保全のための適応策として、人為的な移動や域外保全を進める必要がある。また、それらを進めるにあたっては、それぞれの種の生態的特性を熟知しておく必要があり、事前に基礎研究を進めておくことが重要となる。

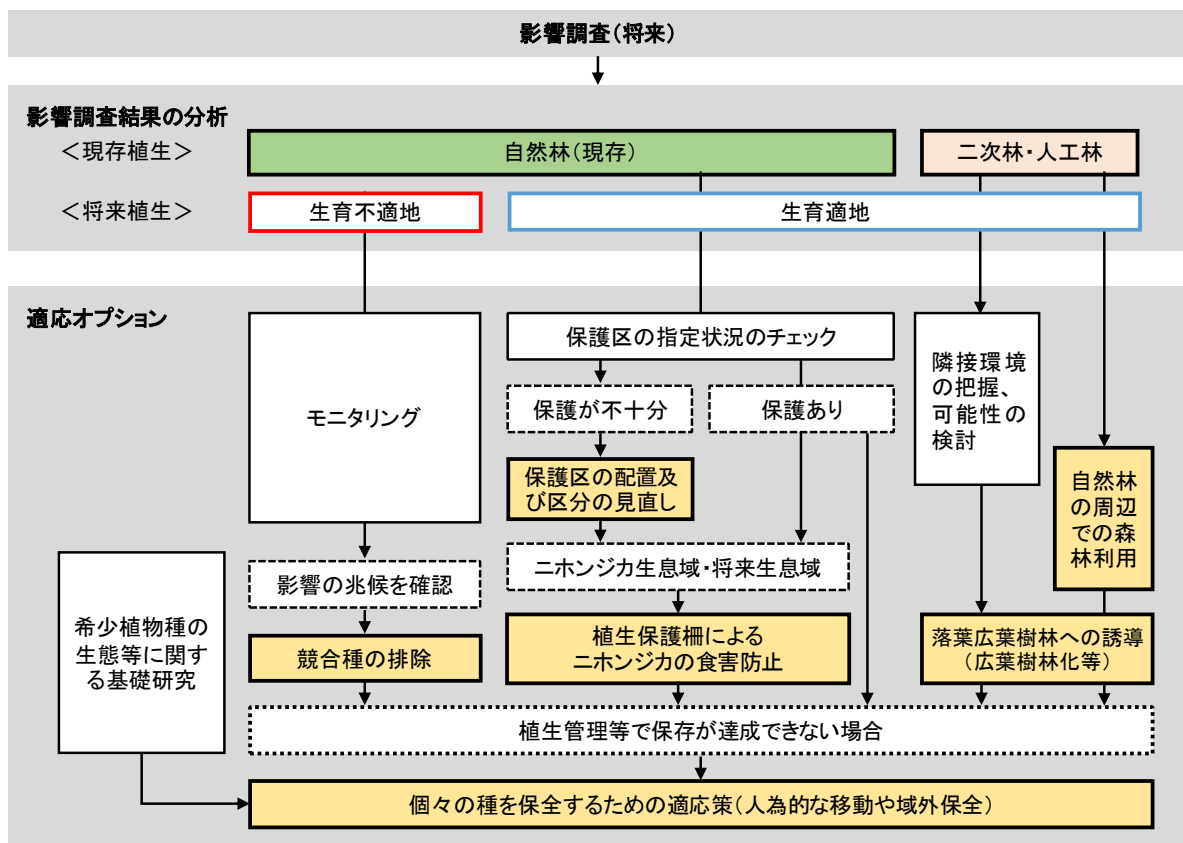


図 3.6.20 適応オプションの検討フロー

3.6.5.2. 概要

適応オプションの概要を下表に示す。

表 3.6.12 気候変動による高山植生及び希少植物への影響にかかる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	期待される効果の程度
競合種の排除による自然林の植生遷移抑制	●	●	●	普及なし	・保護区における除伐等の許認可 ・林冠木の後継樹確保	△	◎	△	△	短期	N/A
植生保護柵によるニホンジカの食害防止	●			普及一部あり	・維持管理のコストと担い手	△	○	△	◎	短期	高
自然林の周辺における森林利用	●	●	●	普及なし	・森林整備のコスト	△	○	△	◎	長期	中
保護区の配置及び区分の見直し	●			普及一部あり	・土地所有者、関係者の許諾	△	◎	△	◎	長期	中
二次林・人工林を発達した落葉広葉樹林へ誘導	●	●		普及一部あり	・広葉樹林化の技術、指針	△	◎	△	△	長期	中
植物種の人為的な移動	●			普及率1%	・継続的モニタリングによる必要性の判断 ・移植・増殖・栽培技術	△	△	△	△	N/A	N/A
植物種の域外保全											

【 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 3.6.13 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
競合種の排除による自然林の植生遷移抑制	<ul style="list-style-type: none"> 大阪府の能勢妙見山のように下限のブナ林で競合種の除伐を実施している例はあるものの、効果を科学的に検証した例は見られないため、情報面は「△」と評価した。
植生保護柵によるニホンジカの食害防止	<ul style="list-style-type: none"> すでにニホンジカによる影響が甚大となっている地域では、各県及び林野庁、環境省、市民団体等により植生保護柵の設置が行われているが、対象面積はわずかである。 柵の設置による効果については数多くの検証事例があるため、情報面の評価は「◎」とした。
自然林の周辺における森林利用	<ul style="list-style-type: none"> 森林利用が経済的に成り立たず放置されている現状があるため、コスト面は「△」とした。 人工林及び二次林の整備手法は一般的または伝統的な手法でよいとため、情報面は「◎」とした。
保護区の配置及び区分の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動への適応策としてではないものの、大山隠岐国立公園では、近年にも重要な地域である毛無山や三徳山が区域に追加されているため、普及状況は「一部あり」とした。 保護区の区域拡大に関しては、指定の根拠を整理するための調査費用を要するため、コスト面は「△」と評価した。
二次林・人工林を発達した落葉広葉樹林へ誘導	<ul style="list-style-type: none"> 広葉樹林化に関する技術については、森林総合研究所研究プロジェクト「広葉樹林化のための更新予測および誘導技術の開発」にまとめられているものの、技術的な課題は多いことから、情報面は「△」と評価した。
植物種の人為的な移動	<ul style="list-style-type: none"> 生態が不明な希少植物が多く、生態や生育適地を明らかにするための調査研究が不可欠であることから、情報面（種の生態）、人的側面（研究者）及びコスト面（研究費用）はいずれも「△」とした。
植物種の域外保全	<ul style="list-style-type: none"> 高知県では、希少種イヌマムカゴの保全のために県立牧野植物園での域外保全に取り組まれている（前田、2011；環境省生息域外保全モデル事業）。実施例は1県・1種であるため、普及率は1%とした。

3.6.5.3. 競合種の排除による自然林の植生遷移抑制

気候変動にともなって暖地に生育する常緑広葉樹が垂直方向上方へ向けて分布を拡大し、冷温帯の自然林（落葉広葉樹林及び針葉樹林）に侵入することにより、常緑広葉樹林へと置き換わることが予測される。また、常緑広葉樹林へと置き換わらなくても、下層に常緑樹が繁茂する状態となることで、林床の光環境は大きく変化するため、落葉広葉樹林下に生育する希少植物は生育が困難となる。

本適応策は、自然林に侵入した競合種となる常緑広葉樹を伐採することにより、常緑広葉樹林への変化を抑制し、明るい林床環境を維持することで、希少植物の生育環境を維持するものである。アカガシのように常緑広葉樹林の優占種となる樹種に加え、シロダモなど落葉広葉樹林内で繁茂する可能性のある常緑広葉樹も伐採の対象とする。除伐の対象が小さい侵入初期段階で実施することが効率的である。

讃岐山脈や高縄山地の山頂部のように、植生帯の境界領域に位置している落葉広葉樹林では、常緑広葉樹がすでに侵入している状況が確認されている、植生管理にはコストがかかるため、広域で実施することは困難であるが、これらの落葉広葉樹林はいずれも小規模であるため、実現の可能性は高いと考えられる。

自然公園など保護区における植生管理などの実施にあたっては、法令による規制や許可申請のた

めの手続きが支障となるため、適応策としての植生管理を妨げない運用上の工夫が必要となる。

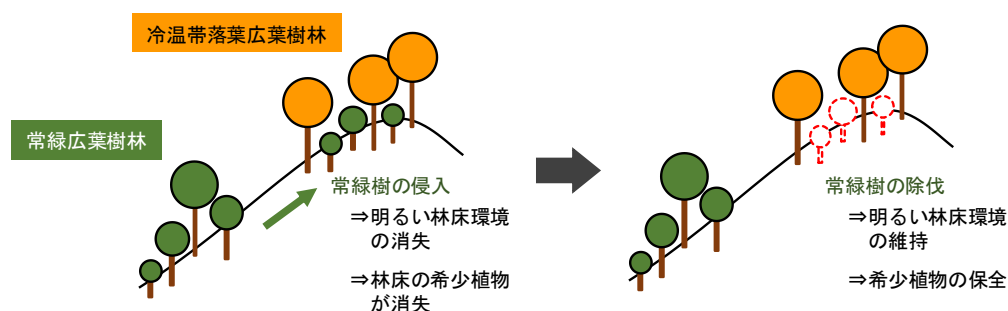


図 3.6.21 競合種の排除による自然林の植生遷移抑制のイメージ

3.6.5.4. 植生保護柵によるニホンジカの食害防止

増加したニホンジカの採食による影響は、四国山地東部や中国山地東部などですでに甚大な事態を引き起こしており、気候変動による影響も重なって今後は影響が中国四国地域のほぼ全域に拡大すると予測されている。植生保護柵によるニホンジカの食害防止は、柵の設置範囲に限定されるものの、確実に植生及び希少植物の保護が期待できる方法であり、他の適応策を実施する際にも欠かすことのできないものである。

柵を設置する方法としては、1ha 以上の広範囲をまとめて囲う方法と、数 100m² 規模の小面積をパッチ状に複数に分けて囲う方法があり、柵が破損した場合に植生へ及ぶ被害の程度などから後者の方がよいと考えられている。

保護区などにおける設置にあたっては、法令による規制や許可申請のための手続きが支障となるため、適応策としての工作物の設置を妨げない運用上の工夫が必要となる。また、高地の多雪環境では柵が破損しやすく、見回りのためのアクセスも不便であるため、柵の適切な維持管理が課題となる。

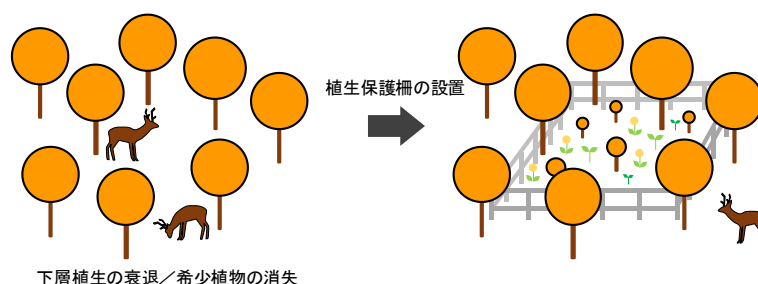


図 3.6.22 植生保護柵によるニホンジカの食害防止のイメージ

3.6.5.5. 自然林の周辺における森林利用

気候変動にともなって暖地に生育する常緑広葉樹が垂直方向上方へ向けて分布を拡大し、冷温帯の自然林（落葉広葉樹林及び針葉樹林）に侵入することにより、常緑広葉樹林へと置き換わることが予測される。また、常緑広葉樹林へと置き換わらなくても、下層に常緑樹が繁茂する状態となることで林床の光環境は大きく変化するため、落葉広葉樹林に生育する希少植物は生育が困難となる。

本適応策は、自然林の下方に隣接する人工林や二次林を利用することによって、分布拡大する常緑広葉樹を伐採し、上述の植生変化を抑制しようとするものである。常緑広葉樹林の優占種である

カシ類やシイ類は、堅果による重力散布を主としており分布拡大速度が遅いため、植生帯の境界領域における森林利用は植生変化の抑制に有効と考えられる。また、自然林の下部に広がる植林地帯は、生物多様性に乏しいという課題はあるが、常緑広葉樹の分布拡大を抑制するための緩衝帯としての機能が期待できる。

古くから伐採が続けられた中国山地では、自然林である冷温帯落葉広葉樹林の下部に落葉広葉二次林が広がる地域が多い。これらの森林を薪などのバイオマス利用に活用することで、気候変動の緩和策と適応策を同時に進めることとなる。奥山人工林の管理については、森林環境譲与税の活用も期待できる。

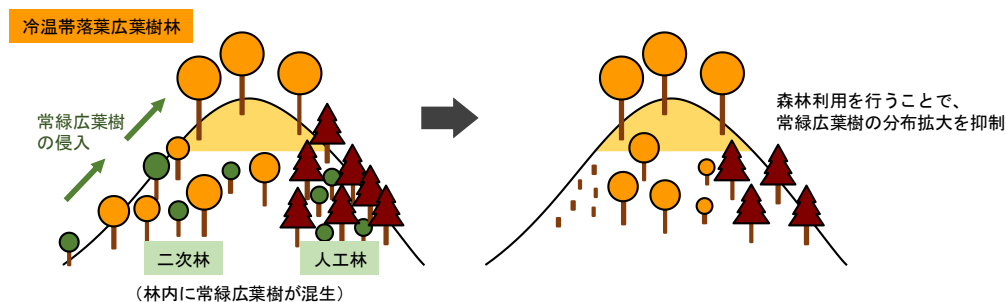


図 3.6.23 自然林の周辺における森林利用のイメージ

3.6.5.6. 保護区の配置及び区分の見直し

新たな保護区の指定や保護区の区分改定により規制を強化することにより、森林伐採や風力発電事業にともなう開発など、気候変動以外の要因による生育地の消失を抑止する。特に、希少植物のホットスポットであり、将来も自然林の分布適地が残ると予測される場所については、優先的に保護区の見直しを進める。

なお、現在の保護区（自然公園、自然環境保全地域、国指定鳥獣保護区、天然記念物）による自然林及び将来の自然林の分布適地のカバー状況は下表に示すとおりである。現在の自然林分布メッシュのうち保護区が含まれるメッシュの割合は全体で 67.9%であり、21 世紀末にも分布適地として残るメッシュのうち保護区が含まれるメッシュは 84.6%となっている。さらに、10 種以上の希少植物が分布するホットスポットに絞ってみると、保護区のカバー率は 88.7%となっている。

表 3.6.13 現在の保護区による自然林及び将来の分布適地のカバー状況

地域	現在			21世紀末 RCP8.5 (MRI-CGCM3)					
	自然林の分布メッシュ			自然林の分布適地となる全メッシュ			左記のうち希少植物が10種以上分布		
	自然林 メッシュ数	保護区 メッシュ数	保護区率 (%)	自然林 メッシュ数	保護区 メッシュ数	保護区率 (%)	自然林 メッシュ数	保護区 メッシュ数	保護区率 (%)
鳥取県	427	294	68.9	242	182	75.2	139	109	78.4
島根県	141	111	78.7	62	58	93.5	35	34	97.1
岡山県	167	148	88.6	90	86	95.6	38	37	97.4
広島県	185	162	87.6	87	83	95.4	50	49	98.0
山口県	33	23	69.7	8	8	100.0	8	8	100.0
徳島県	515	279	54.2	110	93	84.5	63	62	98.4
香川県	1	1	100.0	0	0	-	0	0	-
愛媛県	410	312	76.1	129	123	95.3	62	61	98.4
高知県	577	308	53.4	115	100	87.0	55	49	89.1
全体	1,931	1,312	67.9	676	572	84.6	355	315	88.7

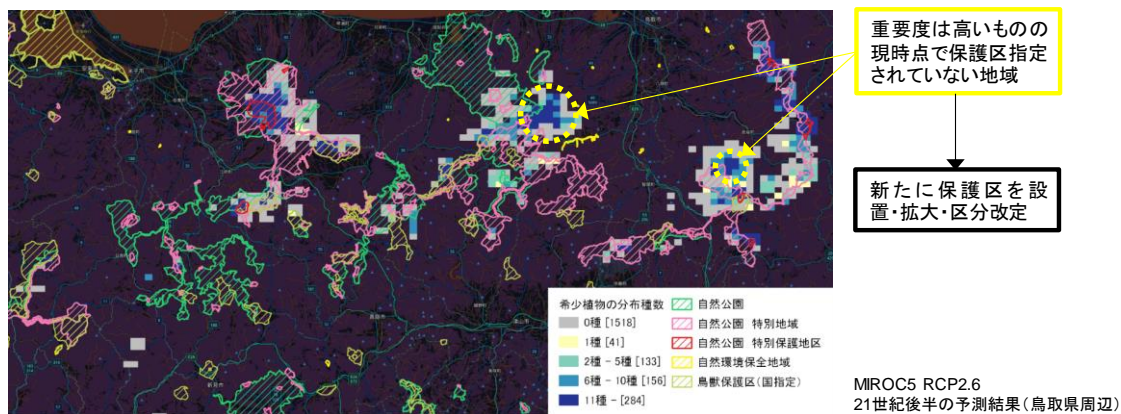


図 3. 6. 24 保護区の見直しについての検討イメージ

3. 6. 5. 7. 二次林・人工林を発達した落葉広葉樹林への誘導

気候変動による影響を受けても冷温帯落葉広葉樹林などの分布適地として残る場所でありながら、現状では人工林や二次林などとなっていて希少植物が生育できない場所を対象に、広葉樹林化や間伐などによる植生の改善を促すことによって希少植物の生育場所を創出し、気候変動の影響により消失する生育適地を補う。自然林周辺の人工林においては特に効果が大きく、人工林で分断された自然林を結節させることにより、種の移動経路を確保することも期待できる。

人工林の広葉樹林化については、木材生産地としての利用が困難な不成績造林地などが優先的な対象となり、育成複層林施業としての展開など、林野的施策と組み合わせた実施が期待できる。しかし、人工林の広葉樹林化については、広葉樹林化の技術的な課題や、保安林指定地や国有林における制度面での課題が大きく、これらの課題の解決が重要となる。

なお、これらの取り組みには、ニホンジカによる食害による影響を防止するための策を同時に実施することが不可欠である。

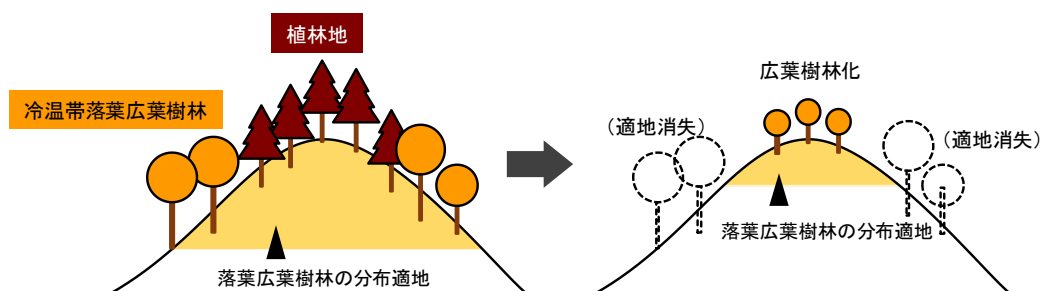


図 3. 6. 25 植林地の広葉樹林化による生育適地創出のイメージ

3. 6. 5. 8. 自生個体の人為的な移動

気候変動による植生分布の変化速度が植物種の移動速度を上回る場合に、自生個体を採集して生育適地へ移植することにより、種または個体群を保全する。移植への耐性が大きい種については効果が期待できるが、移植への耐性がない種、多種との共生関係の維持が必要な種、大径木に着生する種など生育立地が特殊な種で生育可能な条件が存在しない種などについては、この適応策による保全は困難である。

本適応策については、植生の変化や種の生育状況などをモニタリングしたうえで、植生管理（競

合種の排除など）では生育の維持が困難と判断された場合に実施することが適切である。また、適応策の実施にあたっては、事前に対象種の生育環境条件について詳細な調査研究を進めておき、生育に適した気候及び植生の条件の中から、微地形など詳細な条件を踏まえて移植地を選定する必要がある。

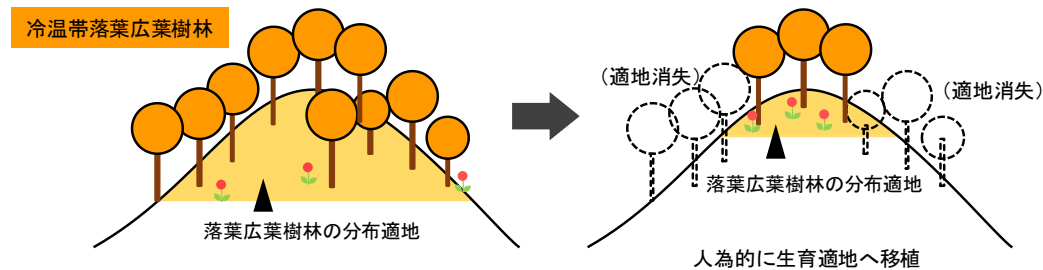


図 3.6.26 自生個体の人為的な移動のイメージ

3.6.5.9. 植物種の域外保全

気候変動により生育適地が消失する希少植物のうち、種または地域個体群が消失するおそれのある種を対象として、自生地から個体もしくは種子などを採集し、植物園など人工的な環境下において育成管理及び増殖を実施する。種の保全の取り組みとしては最終手段であるが、個体群が回復不可能となる以前の段階で取り組む必要がある。

高地性の植物を栽培している植物園もあるため、一定の効果は期待できるものの、温暖な環境下での生育維持については不確実性を伴う。ラン科植物などの中には、栽培が困難な種もあり、留意が必要である。

この適応策を実施するにあたっては、「自生個体の人為的な移動」と同様に、対象とする種の生態的な特性を把握しておくことが必要であり、事前段階での生態学的研究に取り組むことが重要となる。

引用文献一覧

- Higa, M., Nakao, K., Tsuyama, I., Nakazono, E., Yasuda, M., Matsui, T. and Tanaka, N. (2013) Indicator plant species selection for monitoring the impact of climate change based on prediction uncertainty. *Ecological indicators*, 29:307-315.
- 前田綾子 (2011) 絶滅危惧種ムカゴサイシンの保全のために、ふるさとの植物を守ろう 植物園と市民で進める生物多様性保全ニュース, 7: 3-4.
- 松井哲哉, 田中信行, 八木橋勉, 小南裕志, 津山幾太郎, 高橋潔 (2009) 温暖化にともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価. *地球環境*, 14:165-174.
- Nakao, K., Matsui, T., Horikawa, M., Tsuyama, I. and Tanaka, N. (2011) Assessing the impact of land use and climate change on the evergreen broad-leaved species of *Quercus acuta* in Japan. *Plant Ecology*, 212:229-243.
- Ohashi, H., Kominami, Y., Higa, M., Koide, D., Nakao, K., Tsuyama, I., Matsui, T., and Tanaka, N. (2016) Land abandonment and changes in snow cover period accelerate range expansions of sika deer. *Ecology and Evolution*, 6:7763-7775.

Tsuyama, I., Horikawa, M., Nakao, K., Matsui, T., Kominami, Y. and Tanaka, N. (2012)
Factors determining the distribution of a keystone understory taxon, dwarf bamboo of
the section *Crassinodi*, on a national scale: application to impact assessment of
climate change in Japan. *Journal of Forest Research*, 17:137-148.

希少植物の分布情報収集に用いた資料一覧

■環境省自然環境基礎調査

中国四国地域の各県（1980）第2回自然環境保全基礎調査植生調査報告書. 環境省.
中国四国地域の各県（1987-1988）第3回自然環境保全基礎調査植生調査報告書. 環境省.
第6回・第7回自然環境保全基礎調査 全国植生調査データベース（H12-27年度版）. http://gis.biodic.go.jp/webgis/files/veg_survey_db_h12-27.pdf. 環境省. 平成29年11月閲覧.
環境省（1979）日本の重要な植物群落（中国版）. 大蔵省印刷局.
環境省（1979）日本の重要な植物群落（四国版）. 大蔵省印刷局.
環境省（1988）日本の重要な植物群落 II 中国版 1. 大蔵省印刷局.
環境省（1988）日本の重要な植物群落 II 中国版 2. 大蔵省印刷局.
環境省（1988）日本の重要な植物群落 II 四国版. 大蔵省印刷局.

■標本データベース

サイエンスミュージアムネット 自然史標本情報検索. <http://science-net.kahaku.go.jp/specimen/collection/>. 平成29年12月閲覧.

■各地域のレッドデータブック

鳥取県生物学会（2012）レッドデータブックとっとり 改訂版 一鳥取県の絶滅のおそれのある野生動物一. 鳥取県生活環境部公園自然課.
島根県（2013）改定 しまねレッドデータブック 2013 植物編. しまね自然と環境財団.
岡山県野生動植物調査検討会（2009）岡山県版レッドデータブック 2009 植物編. 岡山県.
レッドデータブックひろしま改訂検討委員会（2012）広島県の絶滅のおそれのある野生生物：レッドデータブックひろしま 2011. 広島県.
山口県（2002）レッドデータブックやまぐち. 山口県.
徳島県版レッドデータブック掲載種検討委員会（2001）徳島県の絶滅のおそれのある野生生物 2001：徳島県版レッドデータブック. 徳島県.
香川県希少野生生物保護対策検討会（2004）香川県レッドデータブック：香川県の希少野生生物. 香川県.
愛媛県（2014）：愛媛県の絶滅のおそれのある野生生物. 平成29年11月閲覧.
高知県野生植物保護対策検討委員会（2011）高知県レッドリスト（植物編）2010年改訂版：～高知県の絶滅のおそれのある野生植物～. 高知県林業振興・環境部環境共生課.

■日本植生誌

宮脇（1982）日本植生誌〔3〕四国. 至文堂.
宮脇（1983）日本植生誌〔4〕中国. 至文堂.

■各地域の植物誌等

日本生物教育会島根大会実行委員会（2006）新島根の生物. 日本生物教育会島根大会実行委員会.
杵村（2005）島根県の種子植物相. 島根県立三瓶自然館研究報告 3: 1-49.
杵村（2006）島根県の種子植物相（補遺）. 島根県立三瓶自然館研究報告 4: 41-43.
杵村（1997）島根県のシダ植物相. ホシザキグリーン財団研究報告 1: 221-232.
中西ほか（1979）匹見地方の植生. 新匹見地点環境調査委員会.
広島大学理学部附属宮島自然植物実験所, 比婆科学教育振興会（1997）広島県植物誌. 中国新聞社.
世羅ほか（2010）広島県植物誌補遺. 広島市植物公園紀要 28: 1-74.
一橋・世羅（2014）広島県におけるスゲ属植物（カヤツリグサ科）の分布. 広島市植物公園紀要 32: 53-102.
岡国夫ほか（1972）山口県植物誌. 山口県植物誌刊行会.
山口県立山口博物館（1982）山口県のコケとシダ. 山口県立山口博物館.
阿部（1990）徳島県植物誌. 教育出版センター.
香川県（1980-1984）香川県植物誌（合弁花, 離弁花, 単子葉・裸子, シダ植物）. 香川県環境保健部自然保護課.
久米（2015）香川県産植物目録 補遺 1 一在来種子植物一. 香川生物 42: 25-59.
久米（2016）香川県産植物目録 補遺 2 一在来シダ植物一. 香川生物 43: 1-10.
高知県・高知県牧野記念財団（2009）高知県植物誌. 高知県, 高知県牧野記念財団.

■各地域の論文等

- 武田（1987）四国瀬戸内側の冷温帯夏緑広葉樹林について．中西哲博士追悼 植物生態・分類論文集 85-95.
- 吉野・世羅（2009）広島県のサンカヨウの新産地とアオホオズキ．広島市植物公園紀要 27: 7-11.
- 永松ほか（2013）大山に自生する希少植物の検討．鳥取県立博物館研究報告 50: 45-53.
- 荻住・得居（1956）高縄半島のブナ林．日本森林学会誌 38: 263-268.
- 梅沢（1964）四国山岳林の植生．北海道大学農学部邦文紀要 5: 28-58.
- 丸山・西上（1971）三瓶山の自然(II) 室の内の植生(1)．島根大学文理学部紀要 理学科編 4: 164-195.
- 西上・丸山（1972）三瓶山の自然(III) 室の内の植生(2)．島根大学文理学部紀要 理学科編 5: 91-115.
- 西上・丸山（1973）三瓶山の自然(V) 室の内の植生(3)．島根大学文理学部紀要 理学科編 6: 47-65.
- 杵村（1975）三瓶山の自然(VI) 男三瓶山北斜面の植生．島根大学文理学部紀要 理学科編 9: 111-120.
- 田草川・柏木（1956）三瓶山植物誌．島根農科大学研究報告 4: 150-160.
- 山中（1959）四国の亜高山帯森林植生について．植物学雑誌 72: 120-125.
- 福嶋・岡崎（1995）西中国山地の山頂部に発達する湿性型ブナ林とその立地環境．日本森林学会誌 77: 463-473.
- 石田ほか（2014）扇ノ山における断片化したブナ林の樹林面積と種多様性, 種組成の関係．植生学会誌 31: 51-69.
- 吉野ほか（1988）比婆山池ノ段（広島県）西斜面の植物．比婆科学 139: 1-16.
- 阿波学会（1970-2015）阿波学会紀要 16-60．徳島県立図書館．
- 松井宏光（2012）松山市産高等植物目録（第2版）．松山市野生動植物目録 2012 313-376.
- 石鎚山系総合学術調査団（1960）石鎚山系の自然と人文 石鎚山系総合学術調査報告．愛媛新聞社事業部．
- 松井（1985）皿ヶ嶺連峰の植生 愛媛県の植生 3．松山東雲短期大学研究論集 16: 155-163.
- 松井ほか（2014）面河溪遊歩道沿いの高等植物．面河山岳博物館研究報告 6: 23-34.
- 石田・世羅（2008）広島県産ラン科植物に関する新知見．広島市植物公園紀要 26: 53-63.
- 三上・世羅（1992）広島県ラン科植物自生記録（1）．広島市植物公園紀要 14: 1-46.