

6. 2-6 気候変動による高山・亜高山帯生態系への影響調査 [群馬県]

6.1 概要

6.1.1 背景・目的

群馬県には浅間山や日光白根山等 2,000m を越える山々や、ラムサール条約湿地に登録された尾瀬・芳ヶ平湿地群など、地域固有の高山・亜高山生態系が存在する。

これらの生態系は、気候変動による気温の上昇や、それに伴う他種との競合等により生育域の変化や減少が起こる可能性がある。

したがって、県内の高山帯・亜高山帯（おおむね標高 1,500m 以上）における植生及び植物種を対象に、将来的な年平均気温の上昇に伴う生態系への影響予測および適応策の検討を行った。

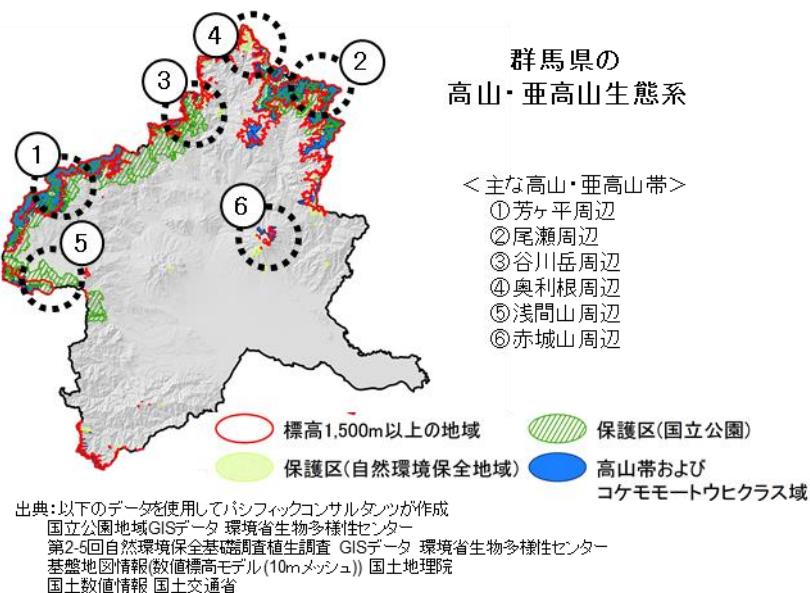


図 6-1 群馬県内の高山・亜高山帯の概要

6.1.2 実施体制

本調査の実施者： パシフィックコンサルタンツ株式会社

アドバイザー： 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 主任研究員 石濱史子
国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター センター長 山野博哉

本調査の実施体制を図 6-2 に示す。

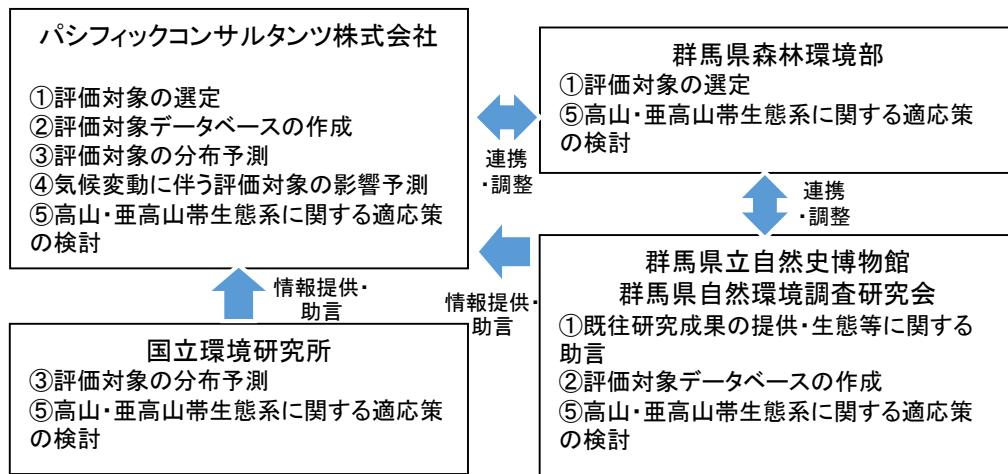


図 6-2 実施体制

6.1.3 実施スケジュール（実績）

調査計画を表 6-1 に示す。調査は 2 ヶ年で実施した。

平成 30 年度は、評価対象として群馬県の高山・亜高山帯植生を選定し、分布推定モデル構築のための資料・データの収集を行い、現況再現のためのモデルを構築した。平成 31 年度は、気候シナリオを用いた植生分布的域の将来予測を行い、その結果をもとにモニタリング対象種の抽出等、適応策の検討を行った。

表 6-1 調査計画（2 箇年）

時期	調査の内容		
H30年度	①評価対象の選定	→	②評価対象データベースの作成
H31年度	④評価対象の気候変動に伴う影響の予測	←	③評価対象の分布予測 ⑤高山・亜高山帯生態系に関する適応策の検討

6.1.4 気候シナリオ基本情報

使用した気候シナリオの基本情報は、表 6-2 に示すとおりである。

本調査では、地形的な複雑性の高い高山・亜高山帯の植生分布を予測するため、可能な限り詳細な気候シナリオが必要となる。したがって、用いる気候シナリオとして、「NIES 統計 DS データ(空間解像度 1km メッシュ)」を用いることとした。

表 6-2 気候シナリオの基本情報

項目	高山・亜高山植生の分布適域
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5
気候パラメータ	月平均気温、月降水量
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	有り（地域）

6.1.5 気候変動影響予測結果の概要

本調査において得られた結果の概要を以下に示す。

文献調査結果の概要

- 群馬県の既存の保護地域における、高山・亜高山帯植物の分布情報を文献調査により収集した。文献調査の結果、調査対象地域で生育が確認されている 59 科 238 種の高山・亜高山植物とその分布情報を収集した。
- 文献調査により抽出した高山・亜高山帯植物から、下記の 20 種をモニタリング対象候補種として抽出した。抽出の際は、分類・発見のしやすさ、気候への感度、各種の区系要素等を考慮した。

モニタリング対象候補種（案）
オオシラビソ、ハイマツ、ミズバショウ、オゼソウ、マイヅルソウ、ワタスゲ、ハクサンイチゲ、リュウキンカ、ミツバオウレン、チングルマ、ダケカンバ、ジョウエツキバナノコマノツメ、モウセンゴケ、タカネナデシコ、ヒメシャクナゲ、コケモモ、エゾリンドウ、ヨツバシオガマ、イワイチョウ、シラネニンジン

ヒアリング調査結果の概要

- 群馬県内の高山・亜高山帯植生の現状に関する事項**
 - 群馬県内の植生は、既に気候変動以外の影響を強く受けているため、気候変動に着目した影響のみを把握することは難しい可能性がある。
 - シカの影響は群馬県内の各地で発生しており、尾瀬至仏山、日光白根山から両毛地域で被害拡大中である。
- 高山・亜高山帯における適応策に関する事項**
 - 適応策の検討にあたっては、まずはモニタリング対象となる対象種リストを作成することが重要である。その際は、アクセス性や発見のしやすさなどの調査の持続性で絞り込むことや、気候変動のみの影響を検知できるように、他の要因による影響が少ない種を対象とする考えられる。また、植物の区系界に着目し、周北極要素、ベーリング要素、オホーツク要素などの北方系植物を対象とする考えられる。
 - 生物多様性分野の適応策の一つの方向は、気候変動以外の要因を最小化するということがある。今回の調査で、気候が温暖化した状況下でも残存する場所を特定できれば、そこを確実に残すために保全の優先順位を上げるといった、保全施策の優先順位の検討材料を提供することは可能であると考えられる。

影響予測結果の概要（高山・亜高山帯植生の分布適域の変化）

- 対象とした植生の多くにおいて、気候変動の進行に伴う生育適域面積の減少が予測された。
- 対象とした植生ごとの将来における分布適域面積の予測結果は、図 6-3 に示すとおりである。
- 例えば高山低木群落においては、現在と比べて 21 世紀末 (RCP8.5) では、分布適域が現在の面積と比較して約 17% 減少する可能性がある。
- 一方、将来においても一定程度の適域面積が残存する地域が確認されているため、これらの地域は、レフュージア(逃避地)として保全上重要な地域であると考えられる。

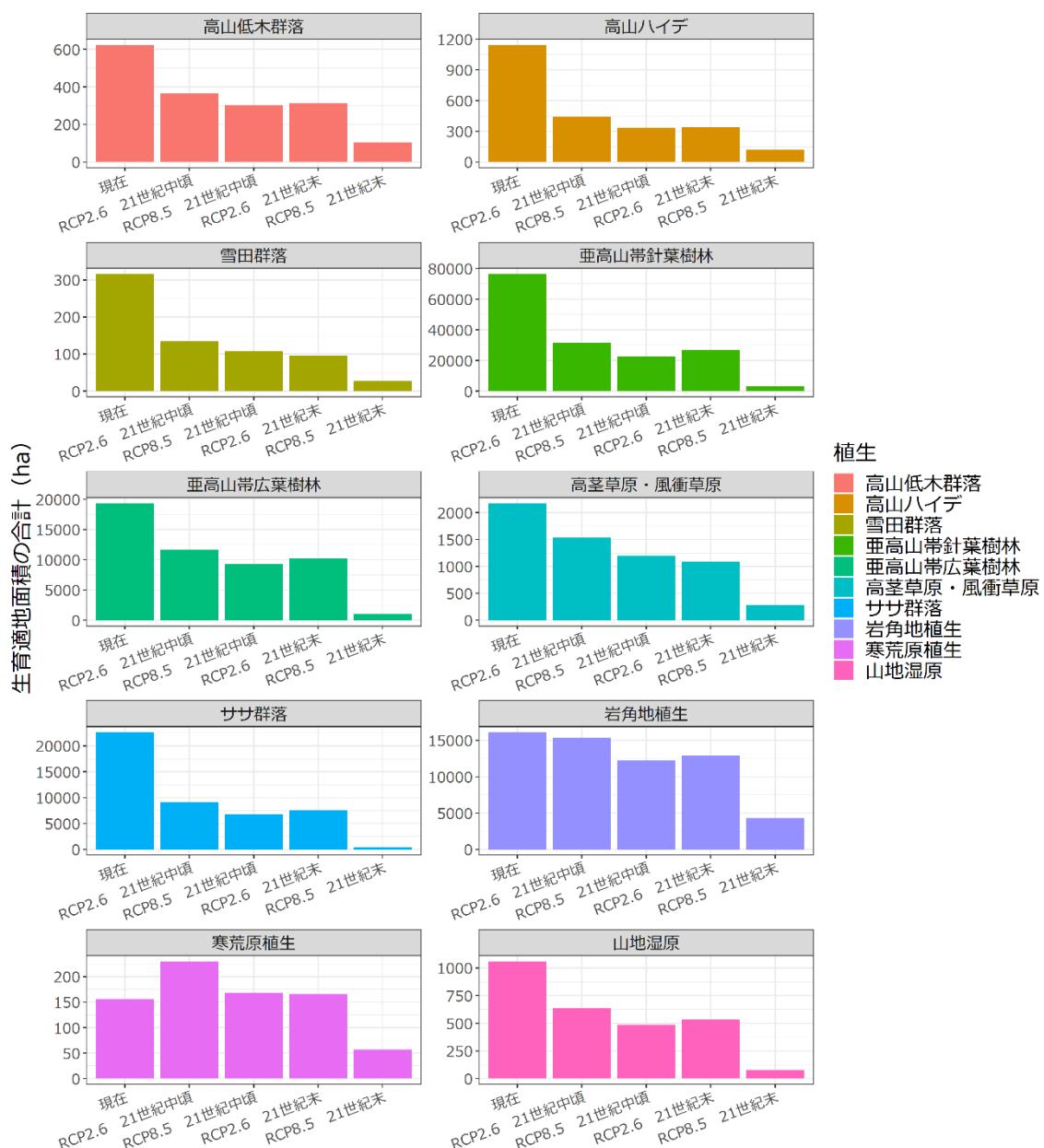


図 6-3 植生ごとの分布適域の将来予測 (MRI-CGCM3)

6.1.5.1 植生分布予測（高山低木群落）

現在は尾瀬地域西側の至仏山周辺にまとまった生育地が確認される。将来においては適域の減少が確認されるが、至仏山の生育地は RCP8.5 の 21 世紀末においても一定程度残存する可能性がある。

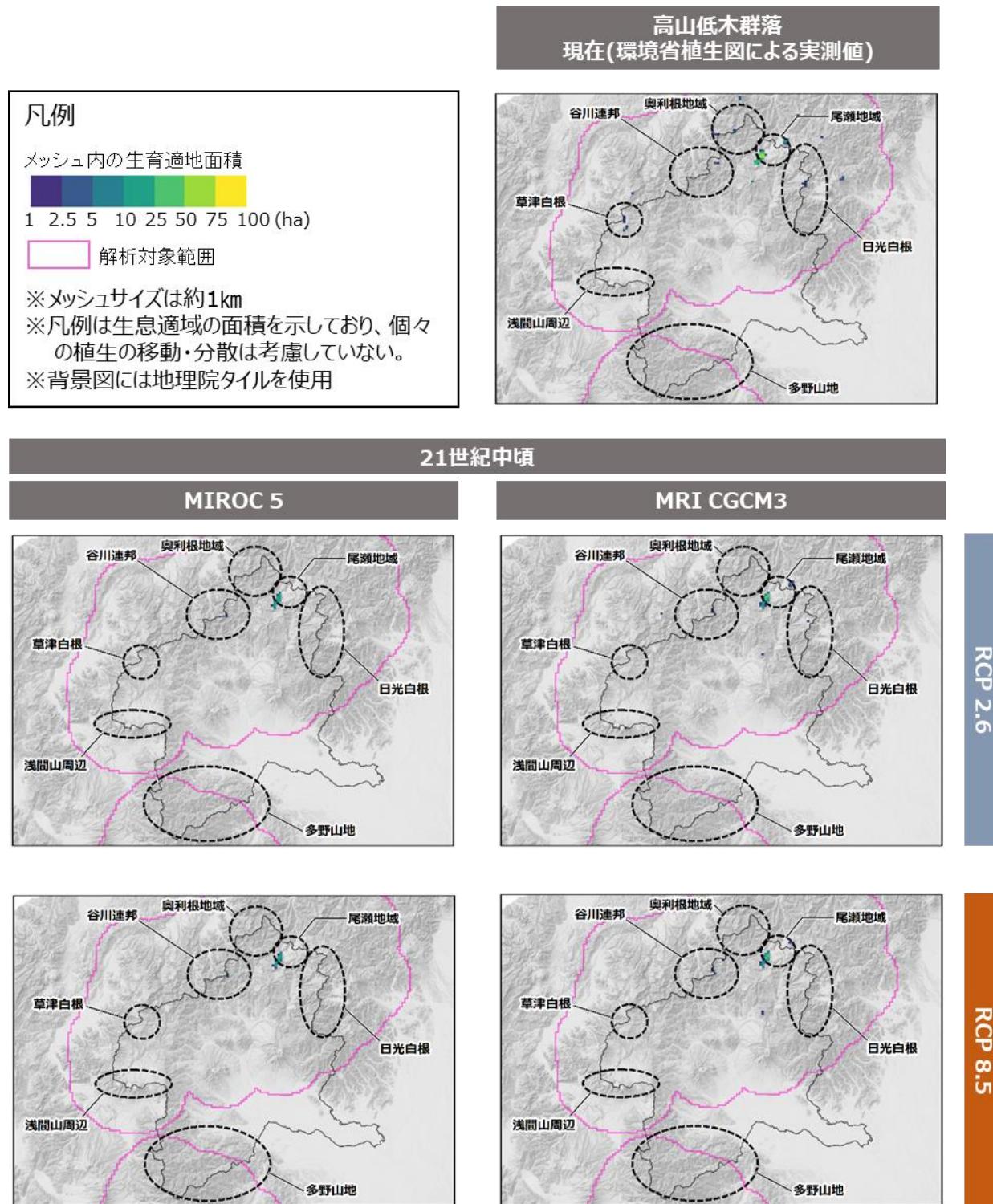


図 6-4 分布適地の予測結果（高山低木群落・21世紀中頃）

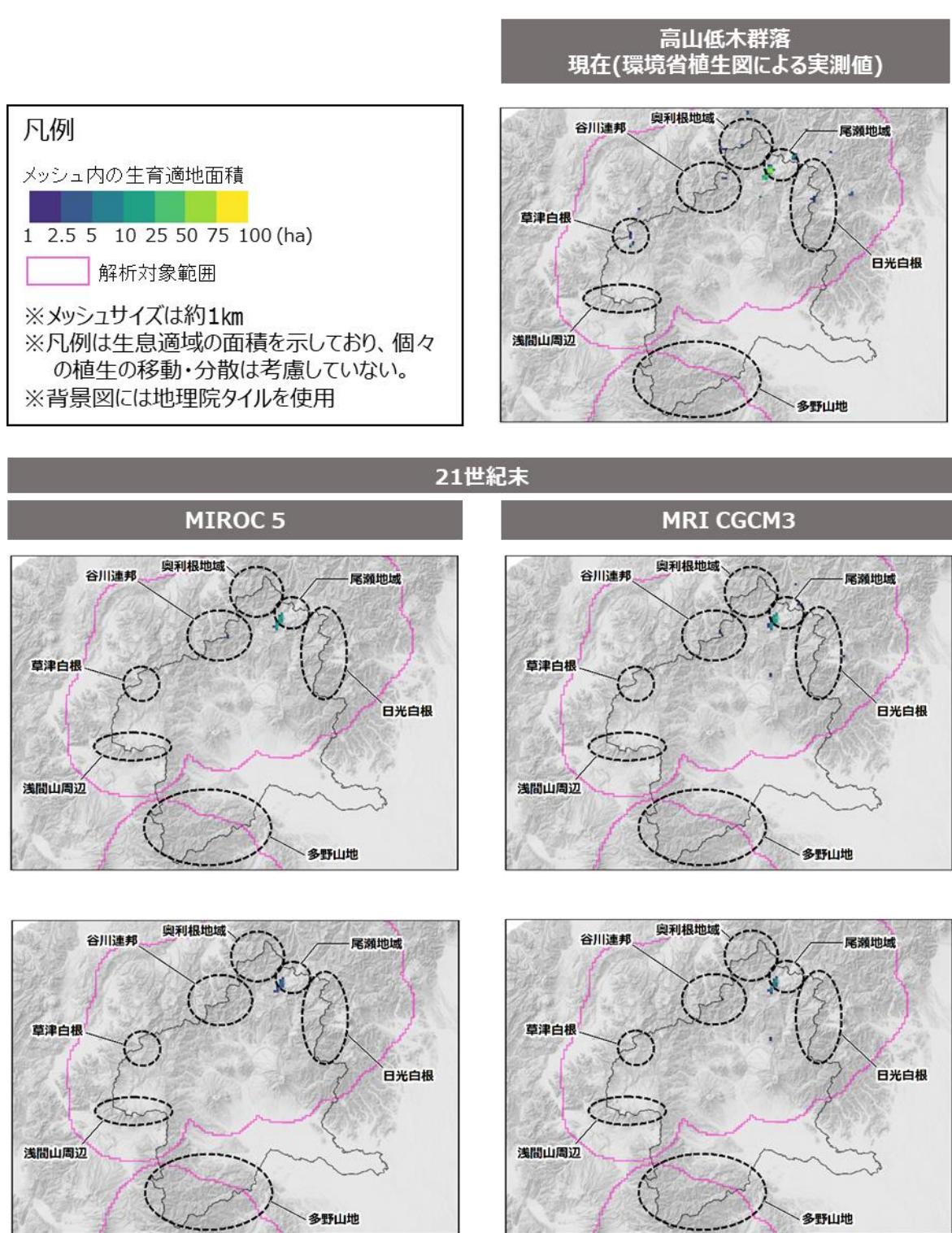


図 6-5 分布適地の予測結果 (高山低木群落・21世紀末)

6.1.5.2 植生分布予測（高山ハイデ群落）

現在は浅間山周辺や草津白根山周辺にまとまった生育地が確認される。将来においては適域の減少が確認され、特に草津白根山では適域の消失が予測されている。一方、浅間山周辺の生育地はRCP8.5の21世紀末においても一定程度残存する可能性がある。

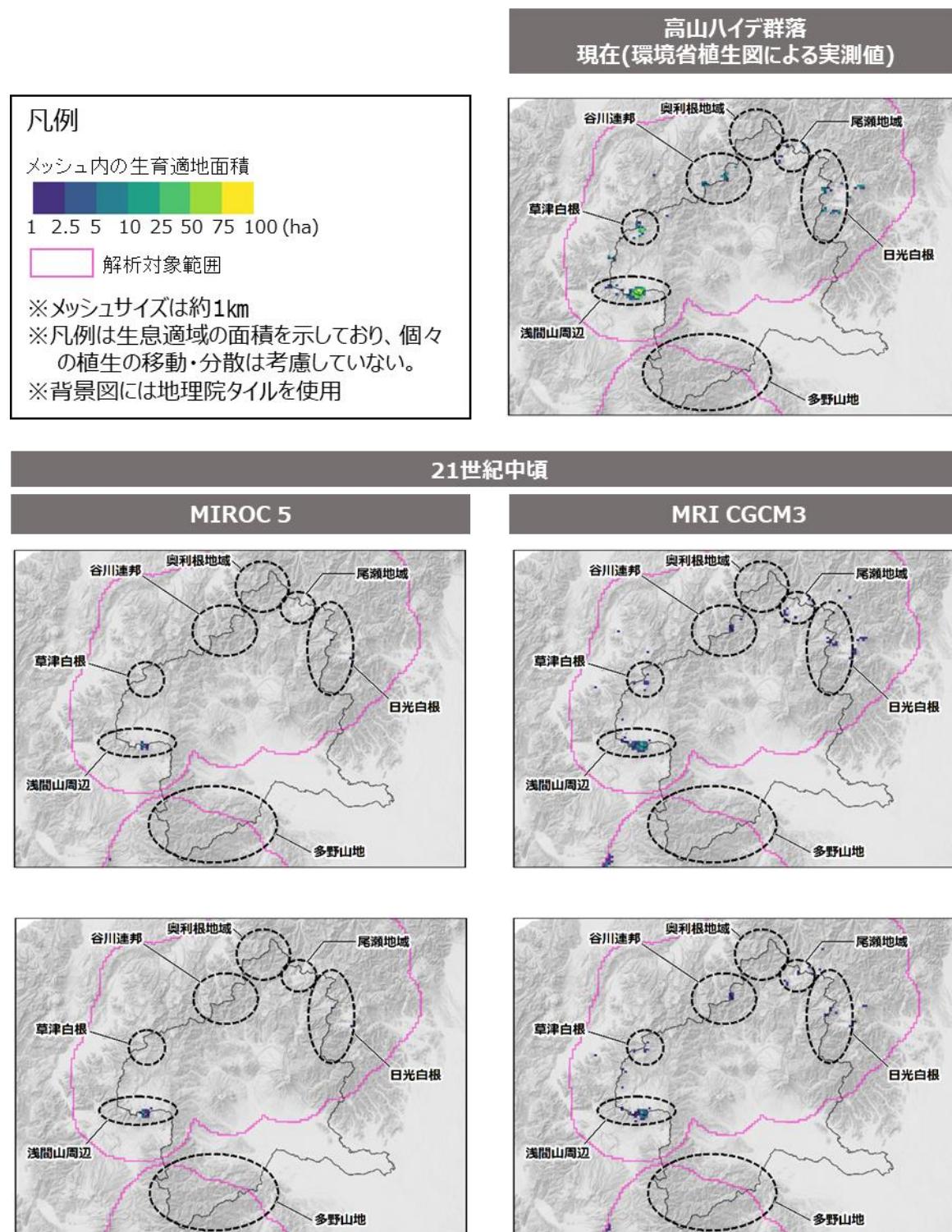


図 6-6 分布適地の予測結果（高山ハイデ群落・21世紀中頃）

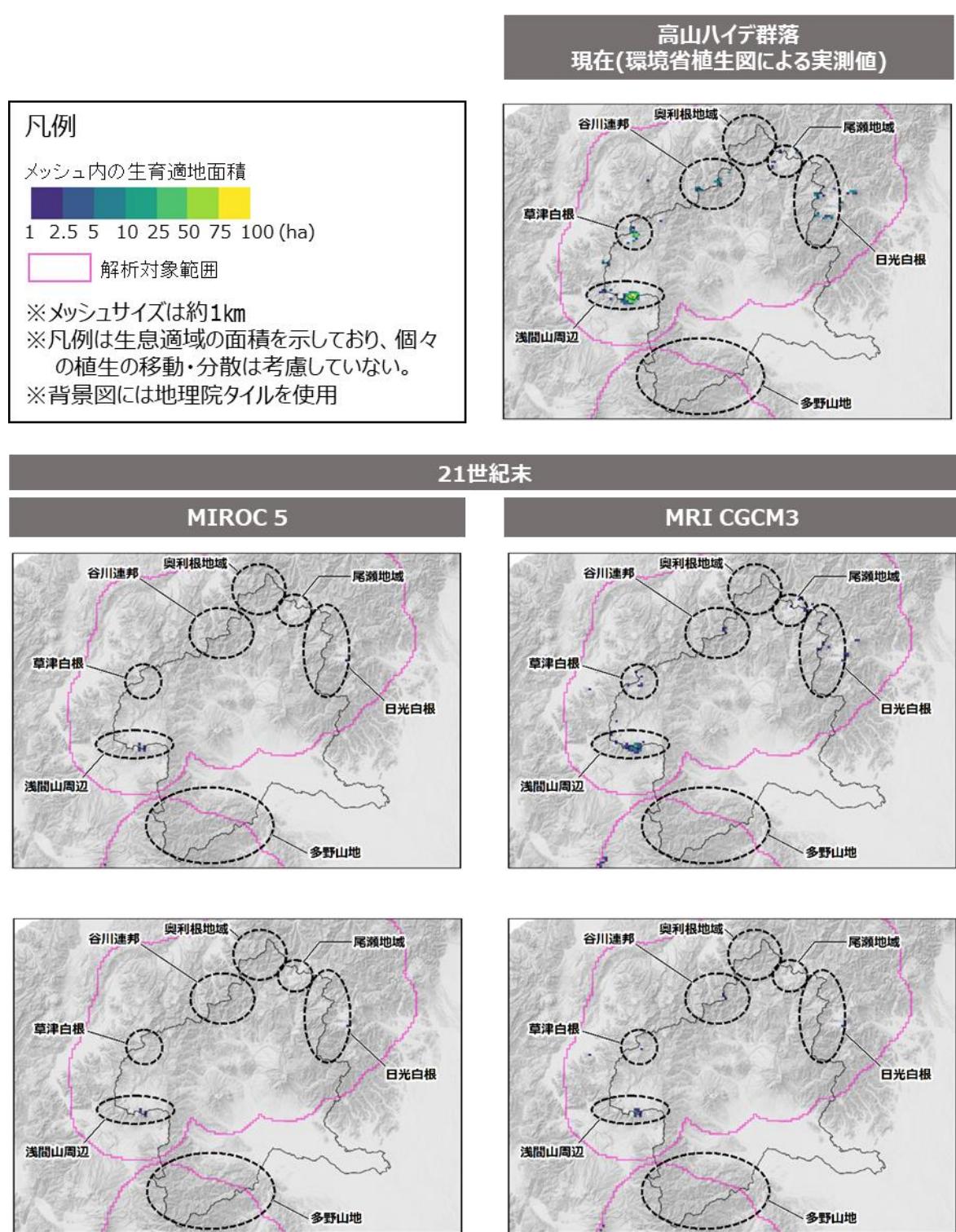


図 6-7 分布適地の予測結果（高山ハイデ群落・21世紀末）

6.1.5.3 植生分布予測（雪田群落）

現在は尾瀬地域西側の至仏山周辺、及び谷川連峰にまとまった生育適地が確認される。谷川連峰の生育適地は、21世紀後半にはRCP2.6においても消失が予測される。一方、至仏山周辺の生育地は適地面積が減少するものの、RCP8.5においても残存する可能性がある。

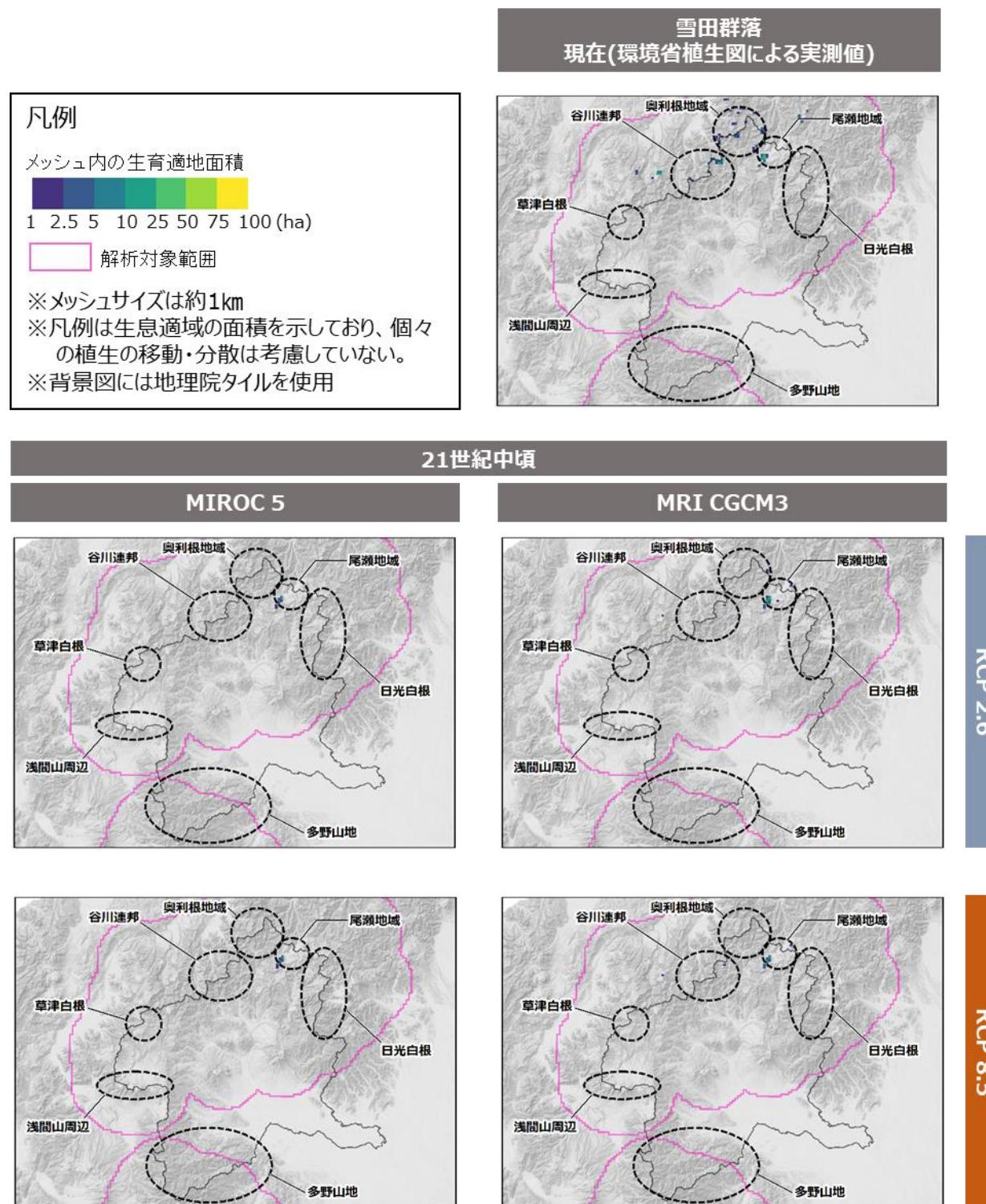


図 6-8 分布適地の予測結果（雪田群落・21世紀中頃）

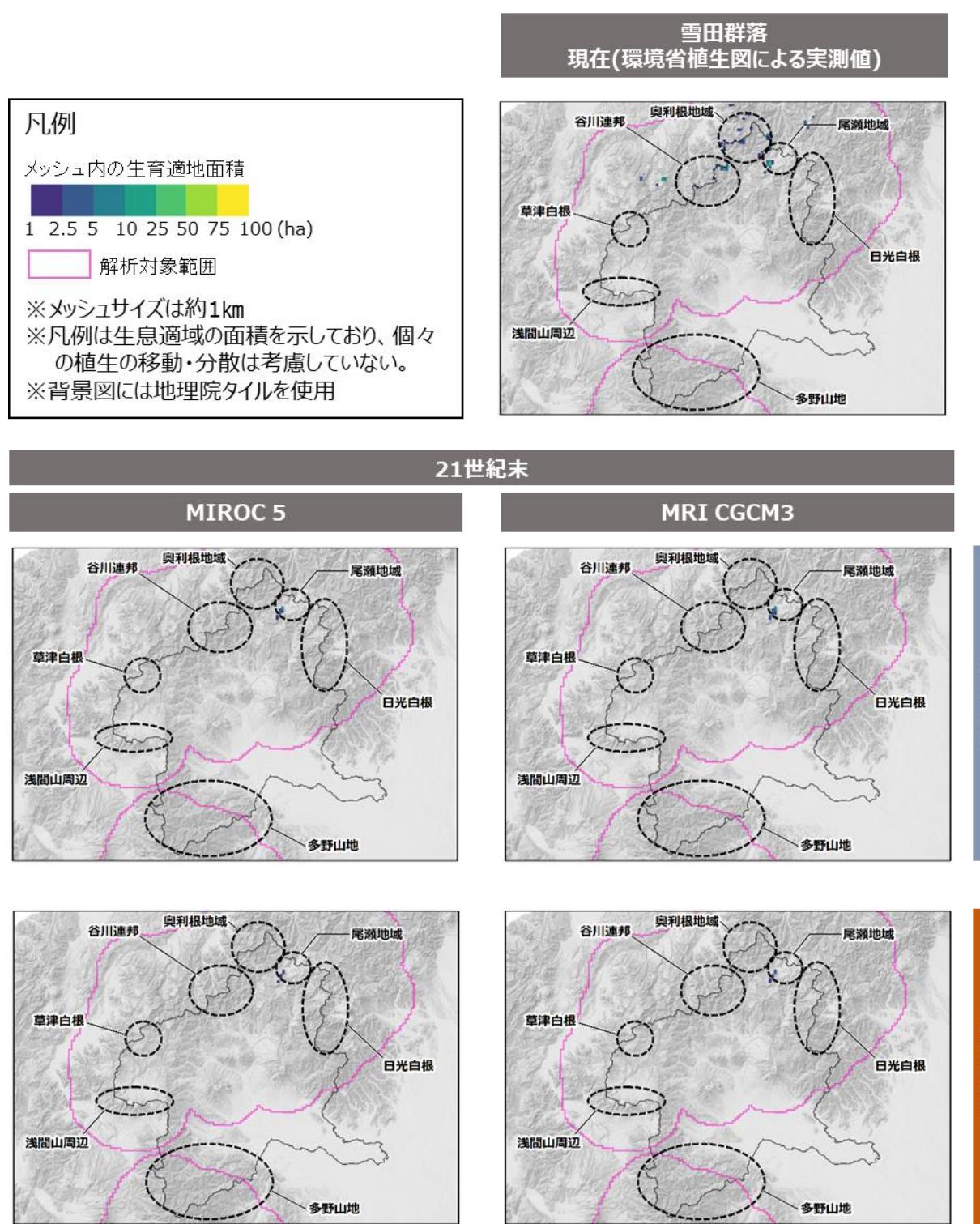


図 6-9 分布適地の予測結果（雪田群落・21世紀末）

6.1.5.4 植生分布予測（亜高山帯針葉樹林）

現在は、浅間山周辺・草津白根山周辺・日光白根山周辺等に多く分布が確認される。RCP2.6では低標高域における適地の縮小・消失が確認されるが、高標高域では一定程度の適地は残存すると予測された。一方、RCP8.5では、日光白根山の一部を除き適地の多くが消失することが予測された。

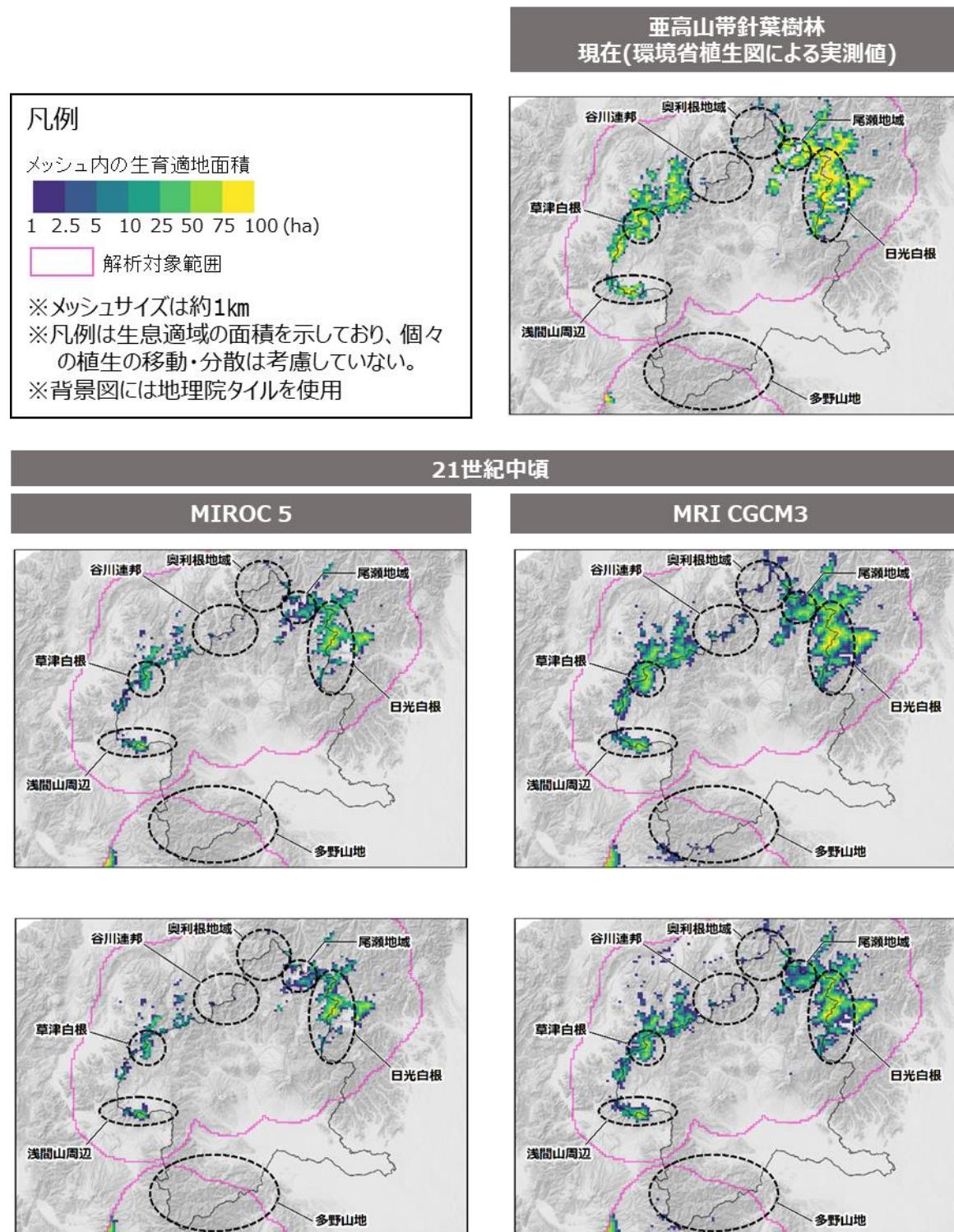


図 6-10 分布適地の予測結果（亜高山帯針葉樹林・21世紀中頃）

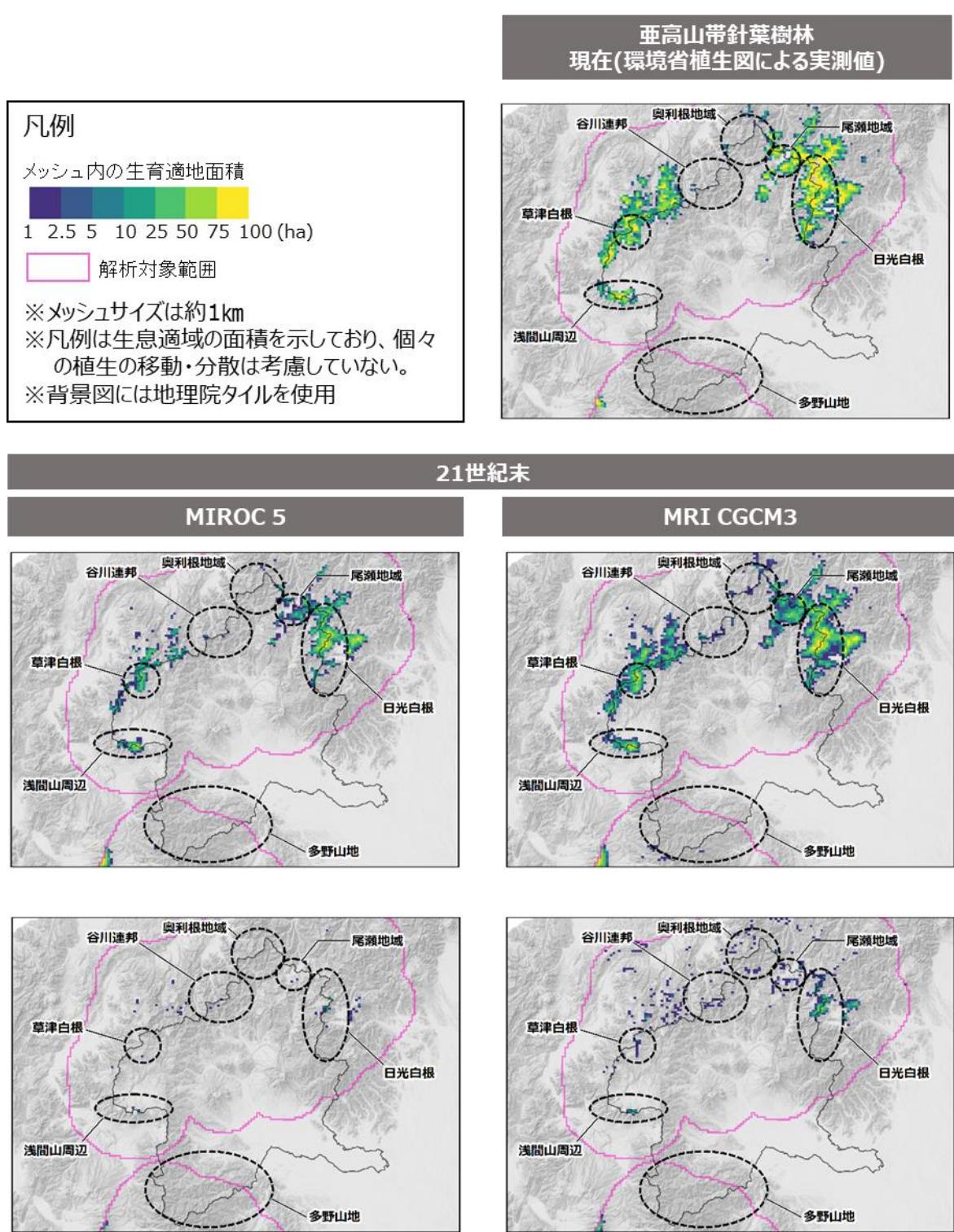


図 6-11 分布適地の予測結果（亞高山帯針葉樹林・21世紀末）

6.1.5.5 植生分布予測（亜高山帯広葉樹林）

現在は、草津白根山・奥利根地域等、主に北部～北西部の県境付近にまとまった生育地が確認される。RCP2.6 では低標高域における適地の縮小・消失が確認されるが、高標高域では一定程度の適地は残存すると予測された。一方、RCP8.5 では、21世紀末の時点では適地面積が全般的に大きく減少すると予測された。

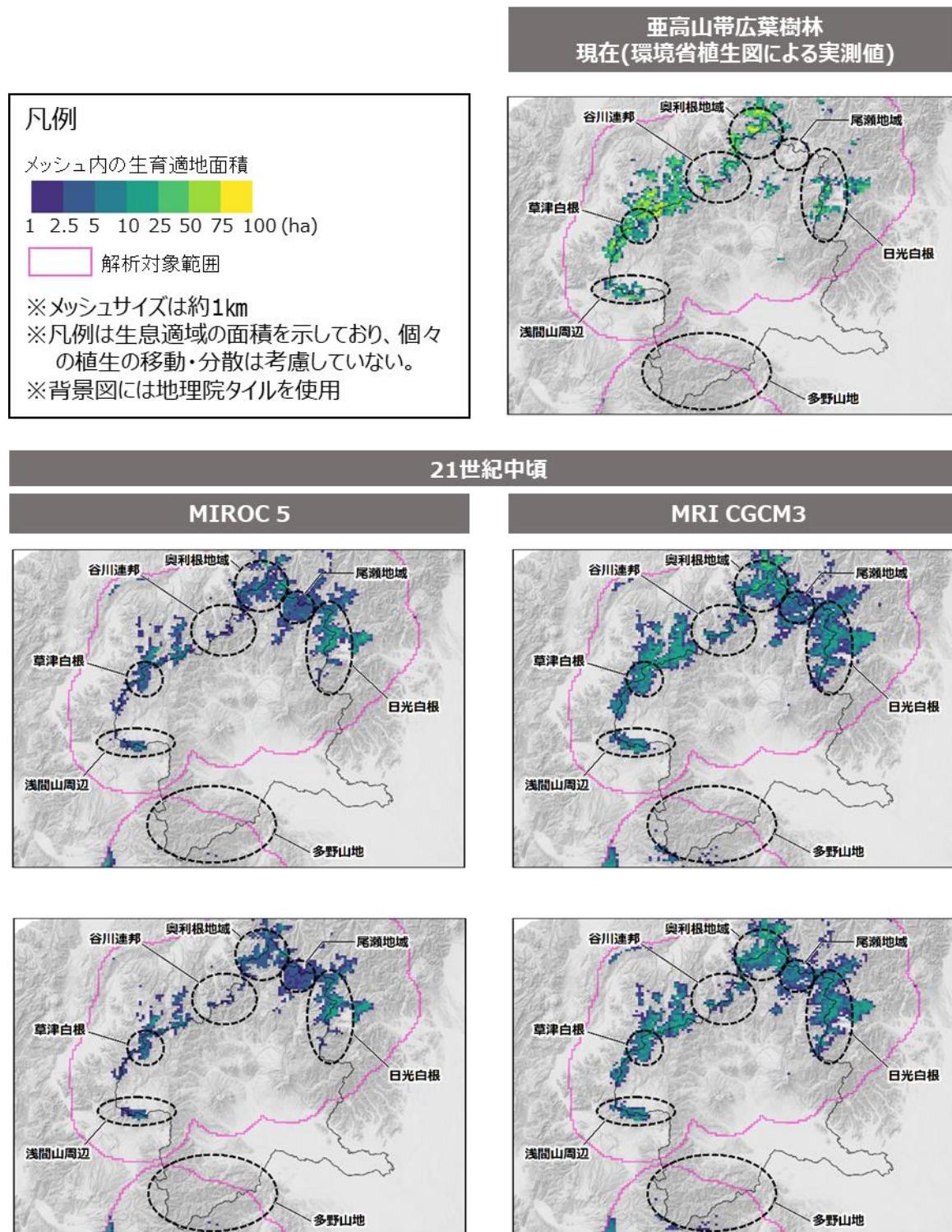
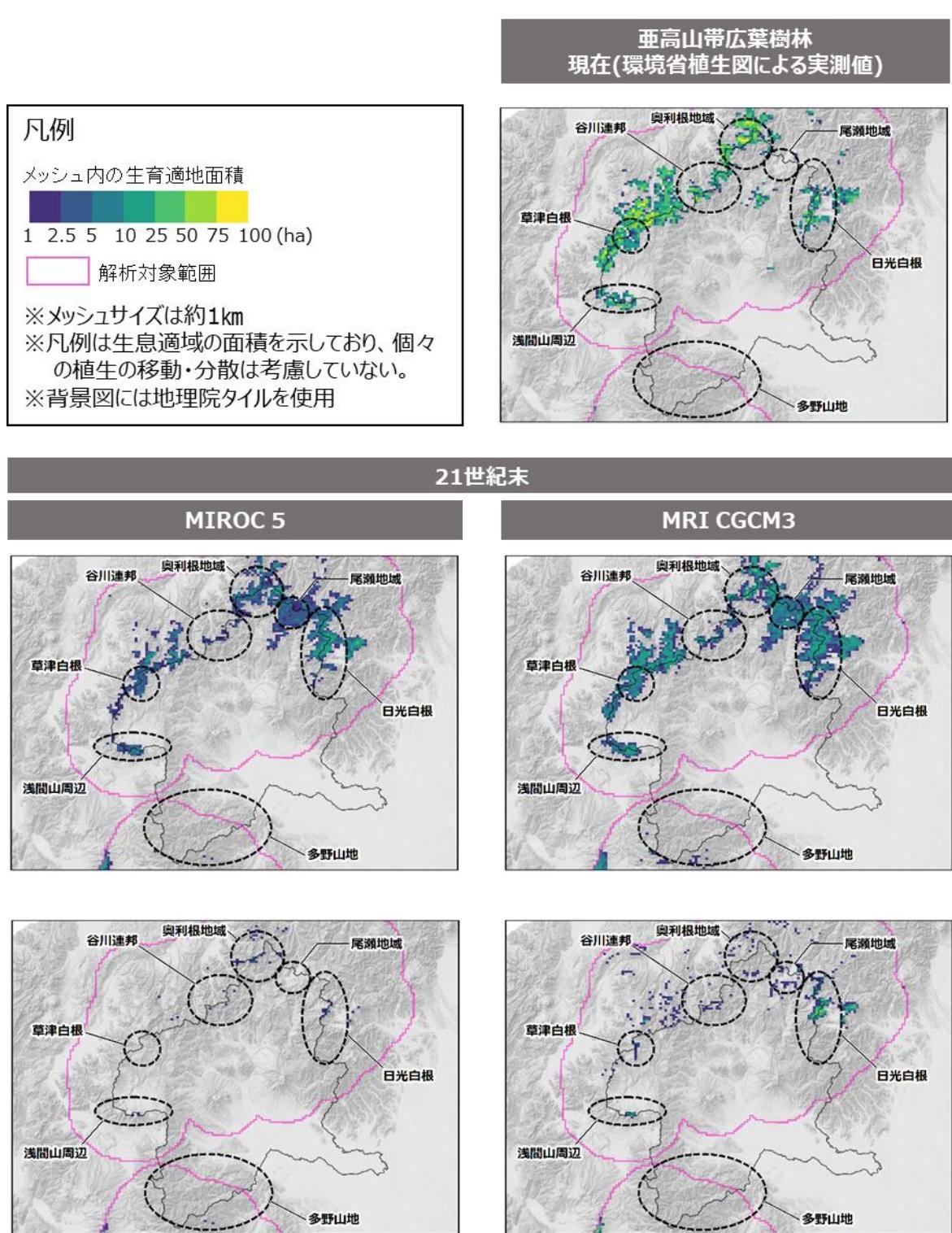


図 6-12 分布適地の予測結果（亜高山帯広葉樹林・21世紀中頃）



6.1.5.6 植生分布予測（高茎草本・風衝草原）

現在は、群馬県内では谷川連峰の一部にわずかに分布する程度である。RCP2.6 シナリオにおいては、奥利根地域周辺で適地が僅かに増加する傾向も確認されるが、RCP8.5 では殆どの適地は消失することが予測された。

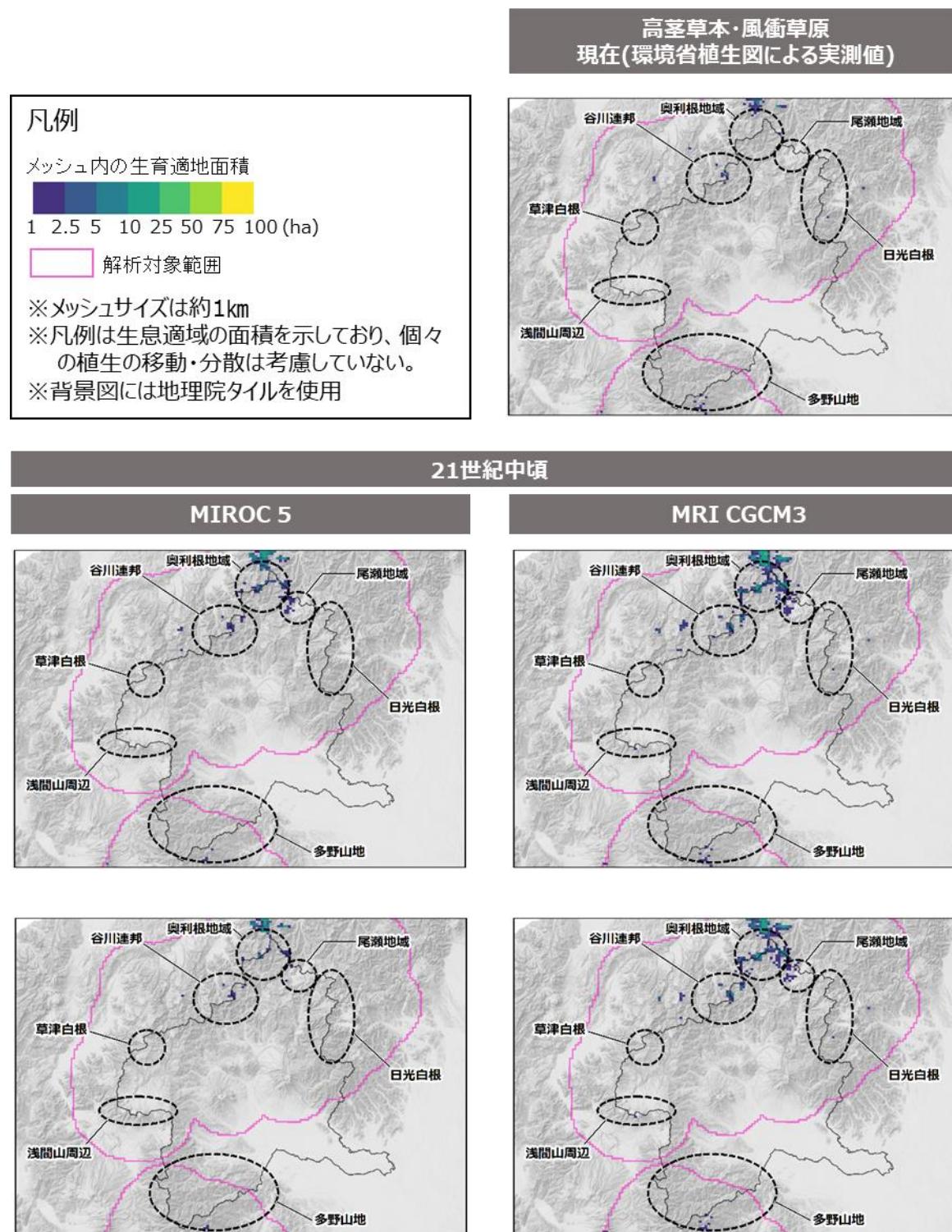


図 6-14 分布適地の予測結果（高茎草本・風衝草原群落・21世紀中頃）

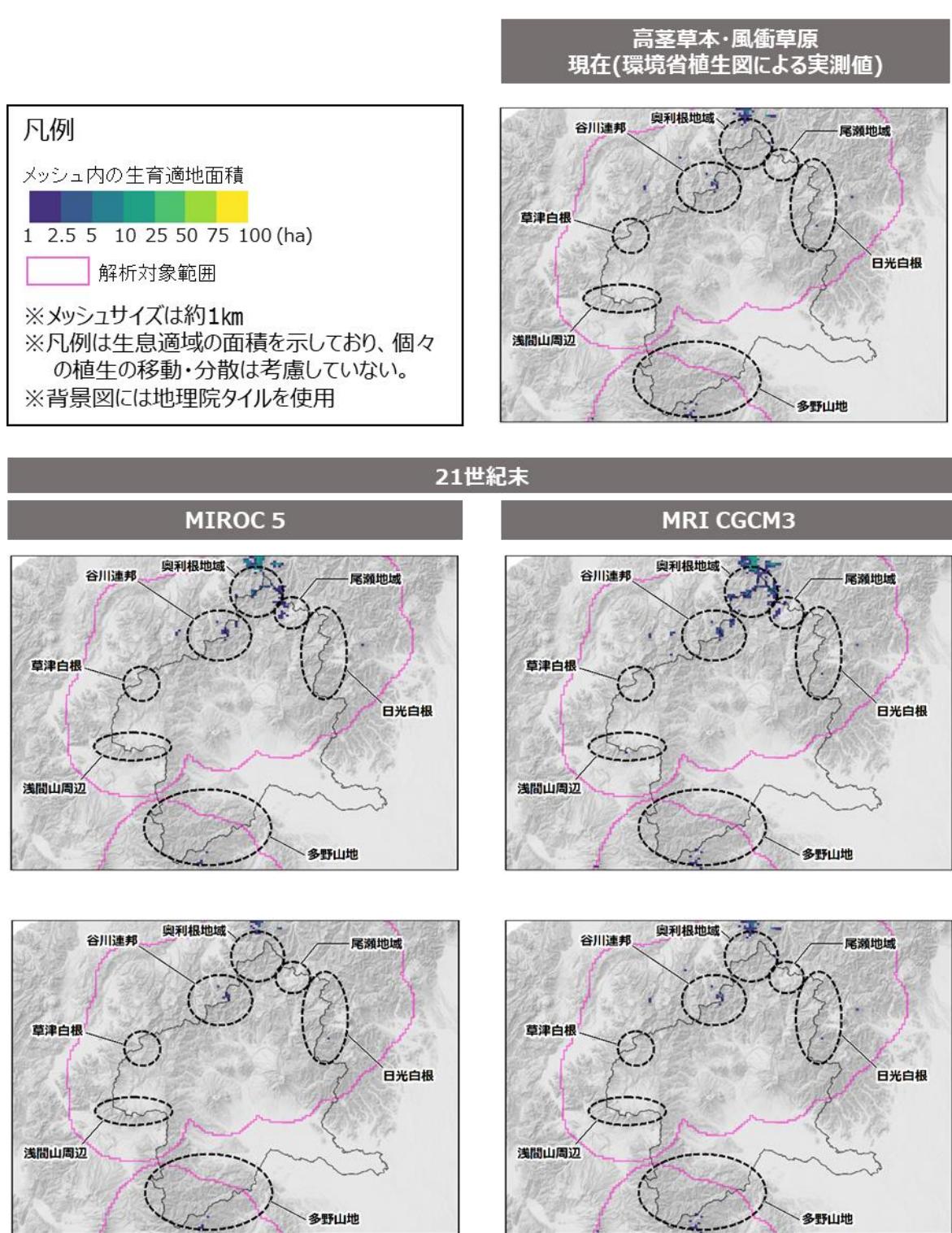


図 6-15 分布適地の予測結果（高茎草本・風衝草原群落・21世紀末）

6.1.5.7 植生分布予測（ササ群落）

現在は浅間山周辺・草津白根山周辺・奥利根地域周辺・日光白根山周辺等の高標高付近に生育が確認されている。RCP2.6 シナリオにおいては適地が一定程度は残存することが予測されたが、RCP8.5 の 21 世紀末においては日光白根山周辺の高標高地域の一部を除き適地がほとんど消失すると予測された。

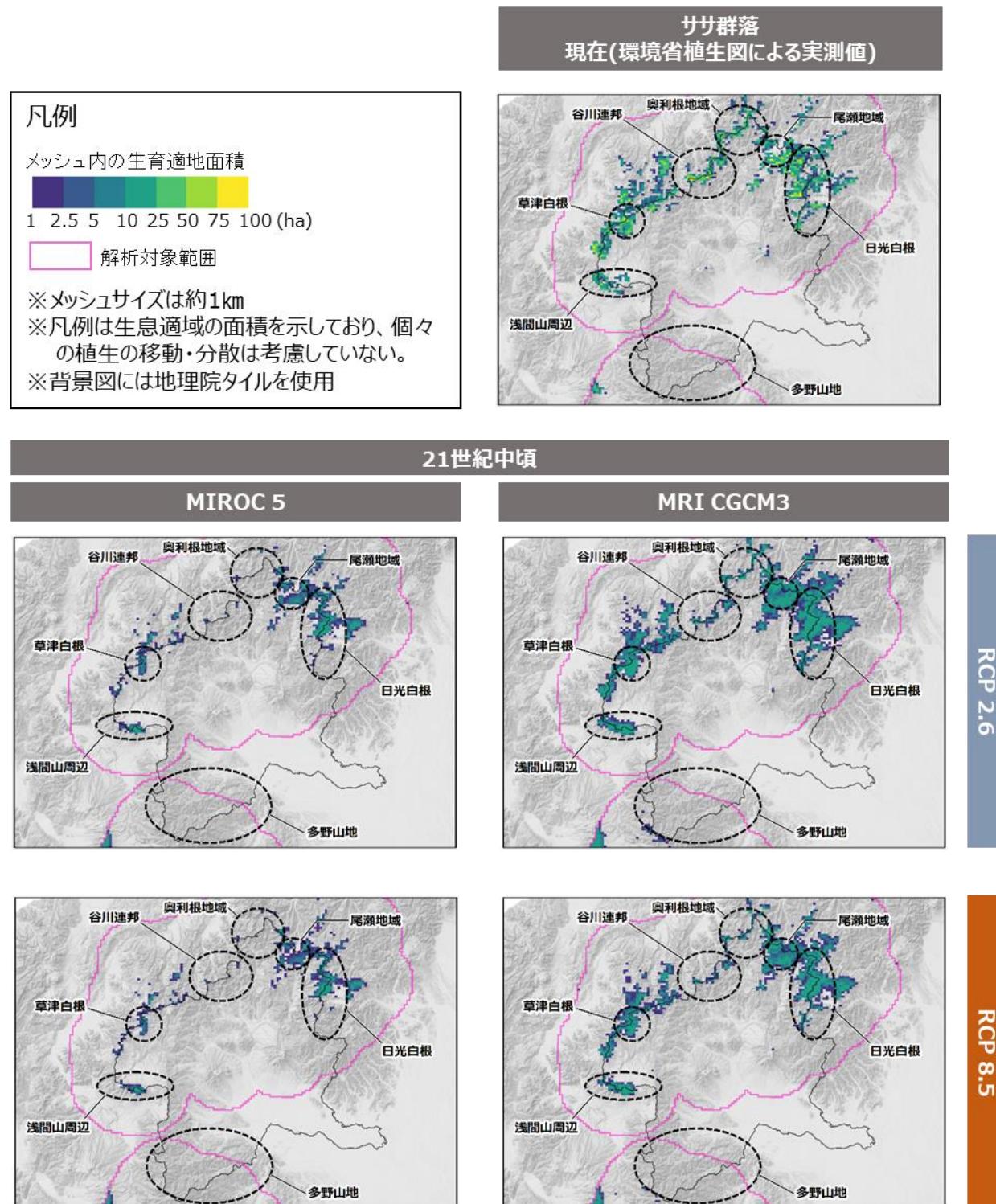


図 6-16 分布適地の予測結果（ササ群落・21世紀中頃）

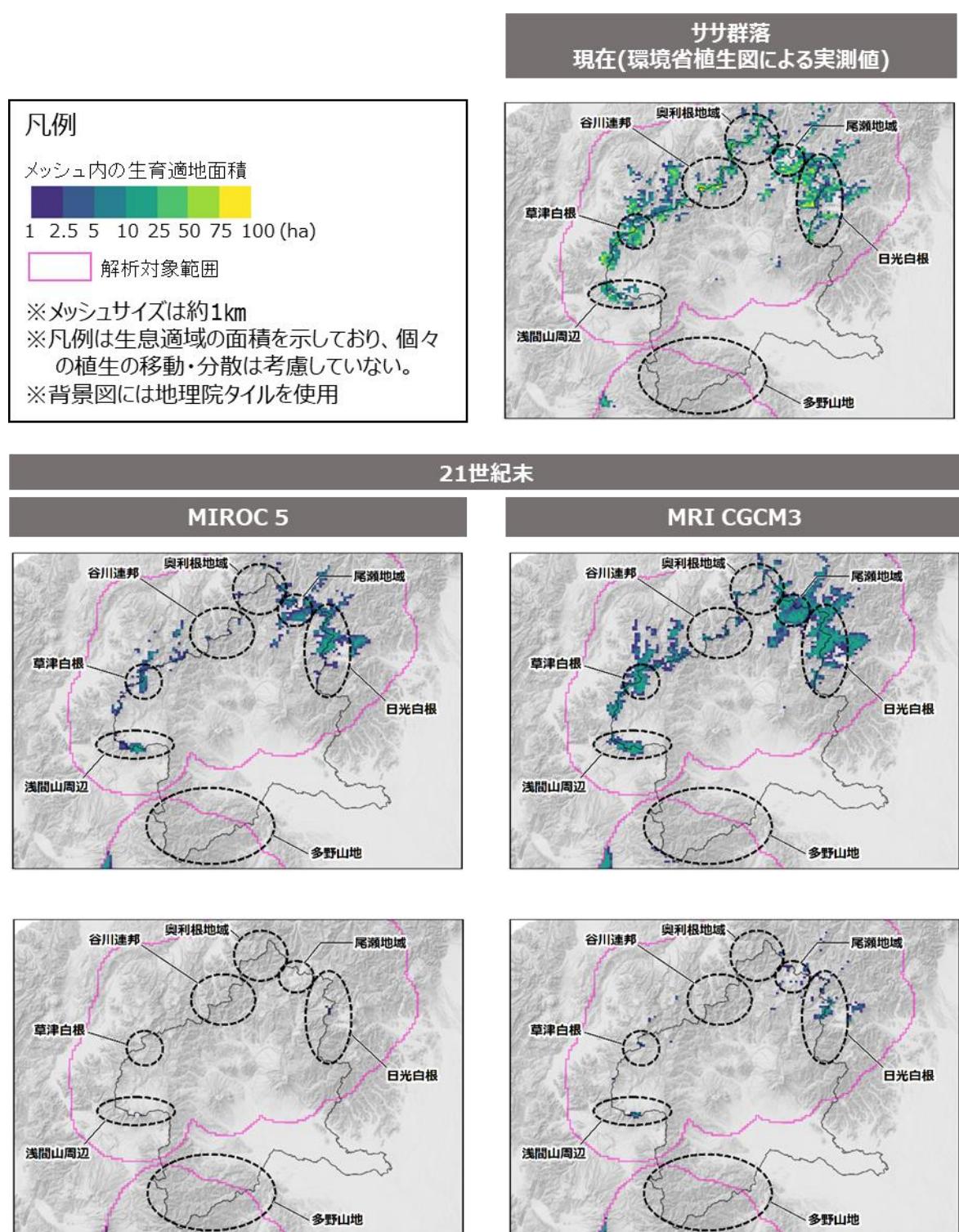


図 6-17 分布適地の予測結果（ササ群落・21世紀末）

6.1.5.8 植生分布予測（岩角地植生）

現在は奥利根地域や谷川連峰周辺にまとまった生育地が確認されている。RCP2.6 シナリオでは、21世紀後半であっても比較的多くの生育適地が残存することが予測された。RCP8.5 シナリオでは、RCP2.6 よりも減少の程度は大きいが、21世紀末であっても一定程度の適地は残存することが予測された。

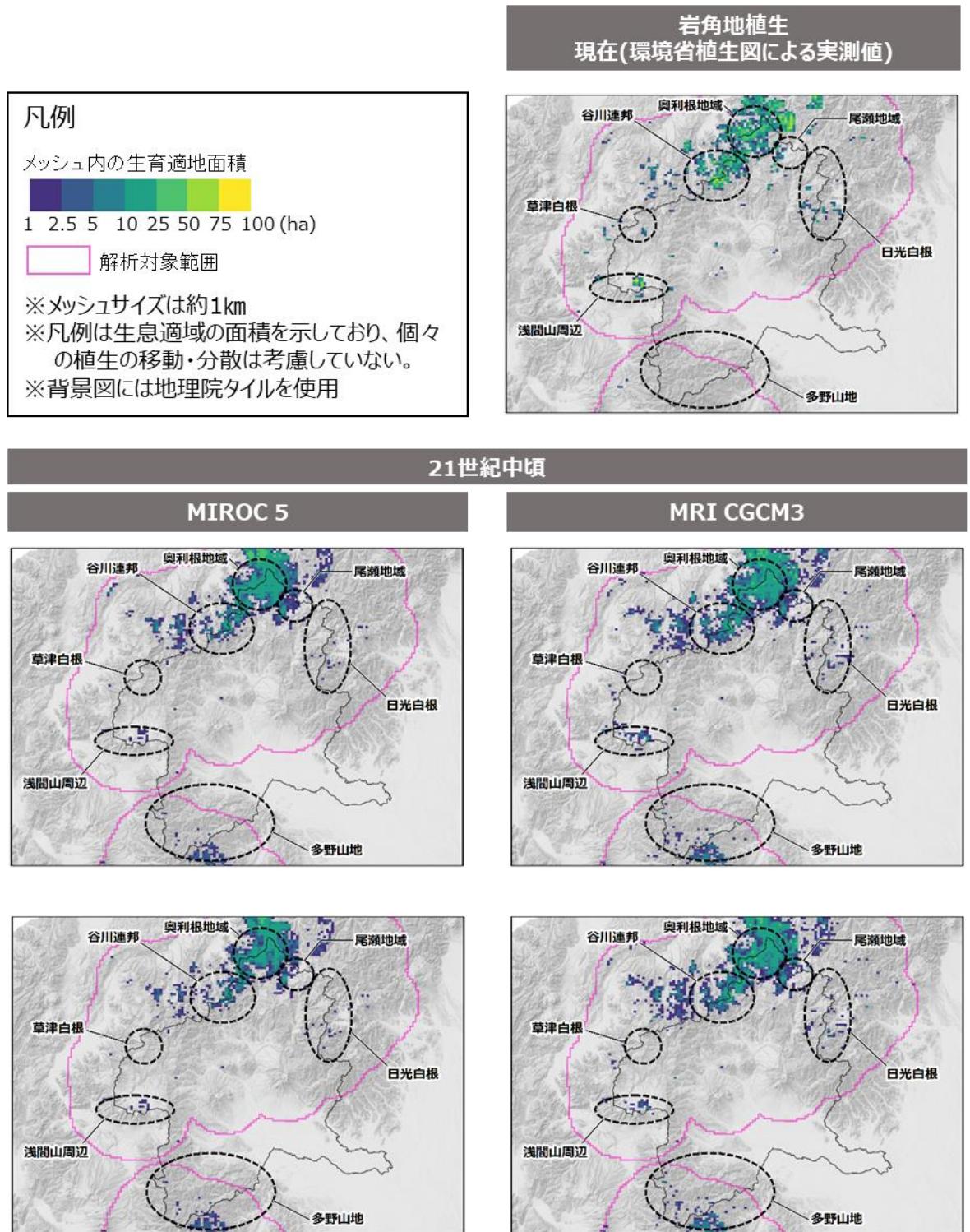


図 6-18 分布適地の予測結果（岩角地植生・21世紀中頃）

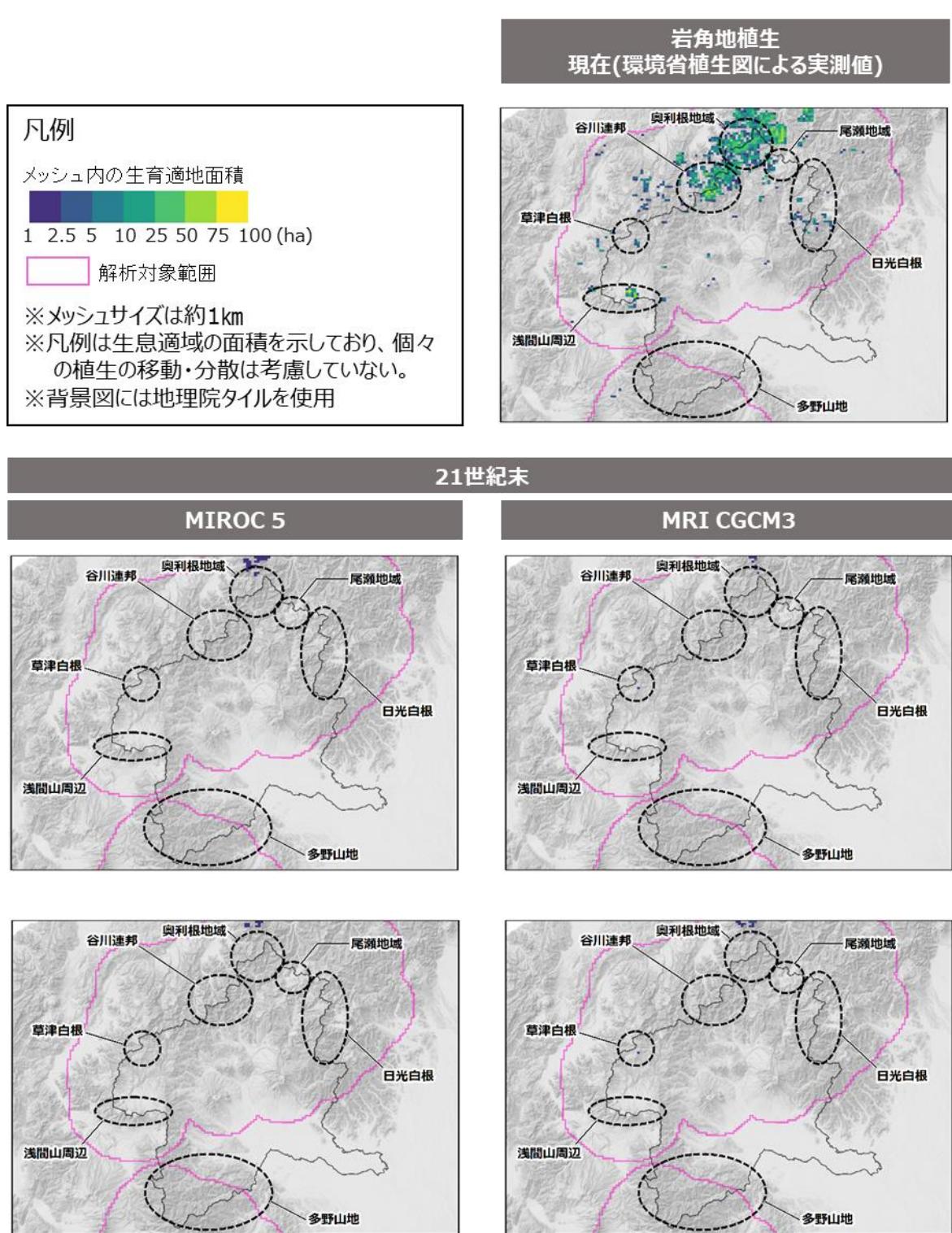


図 6-19 分布適地の予測結果（岩角地植生・21世紀末）

6.1.5.9 植生分布予測（寒荒原植生）

現在は草津白根山周辺にごく一部分分布するのみである。いずれのシナリオにおいても、21世紀中頃には既に適地が消失することが予測された。

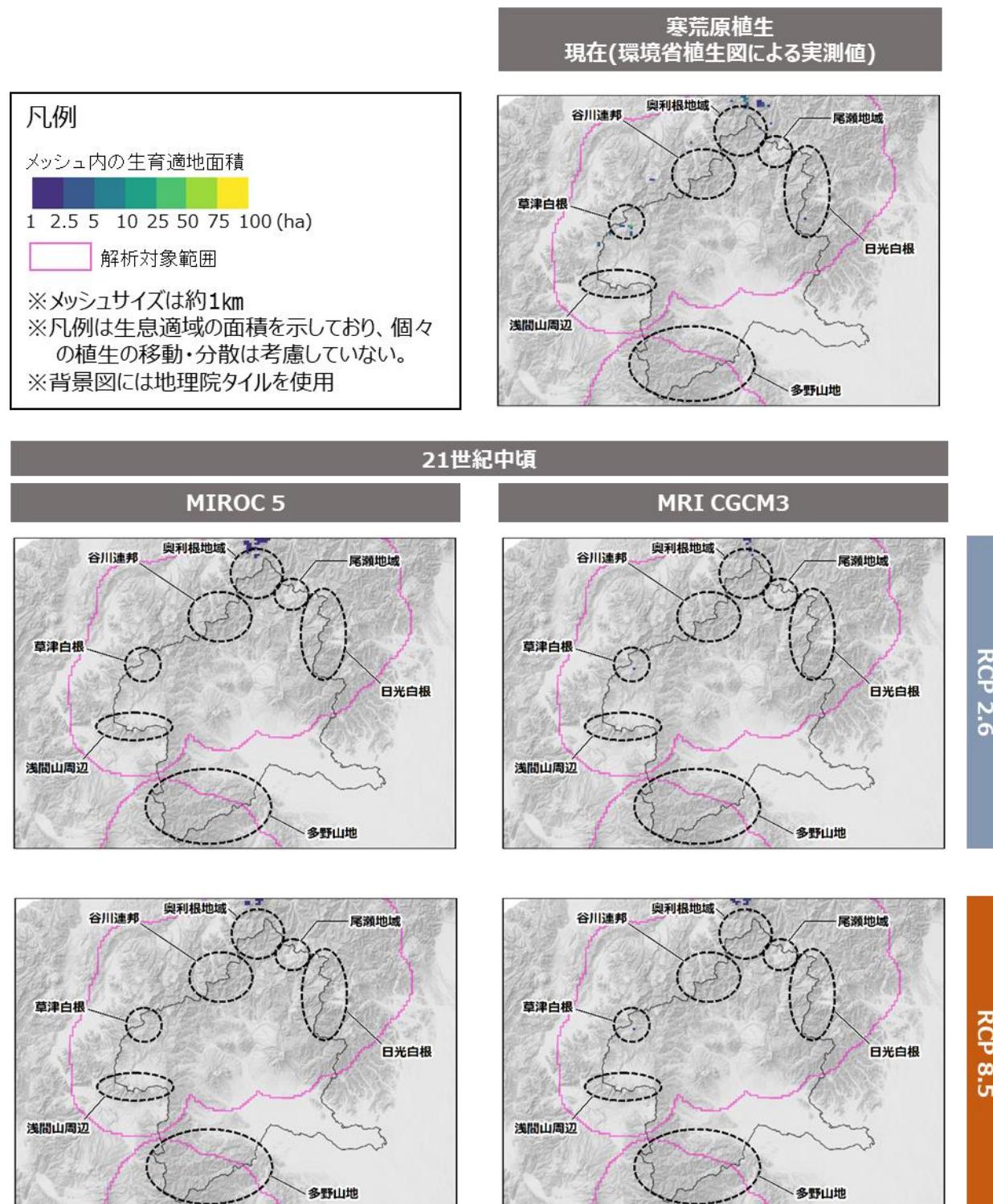


図 6-20 分布適地の予測結果（寒荒原植生・21世紀中頃）

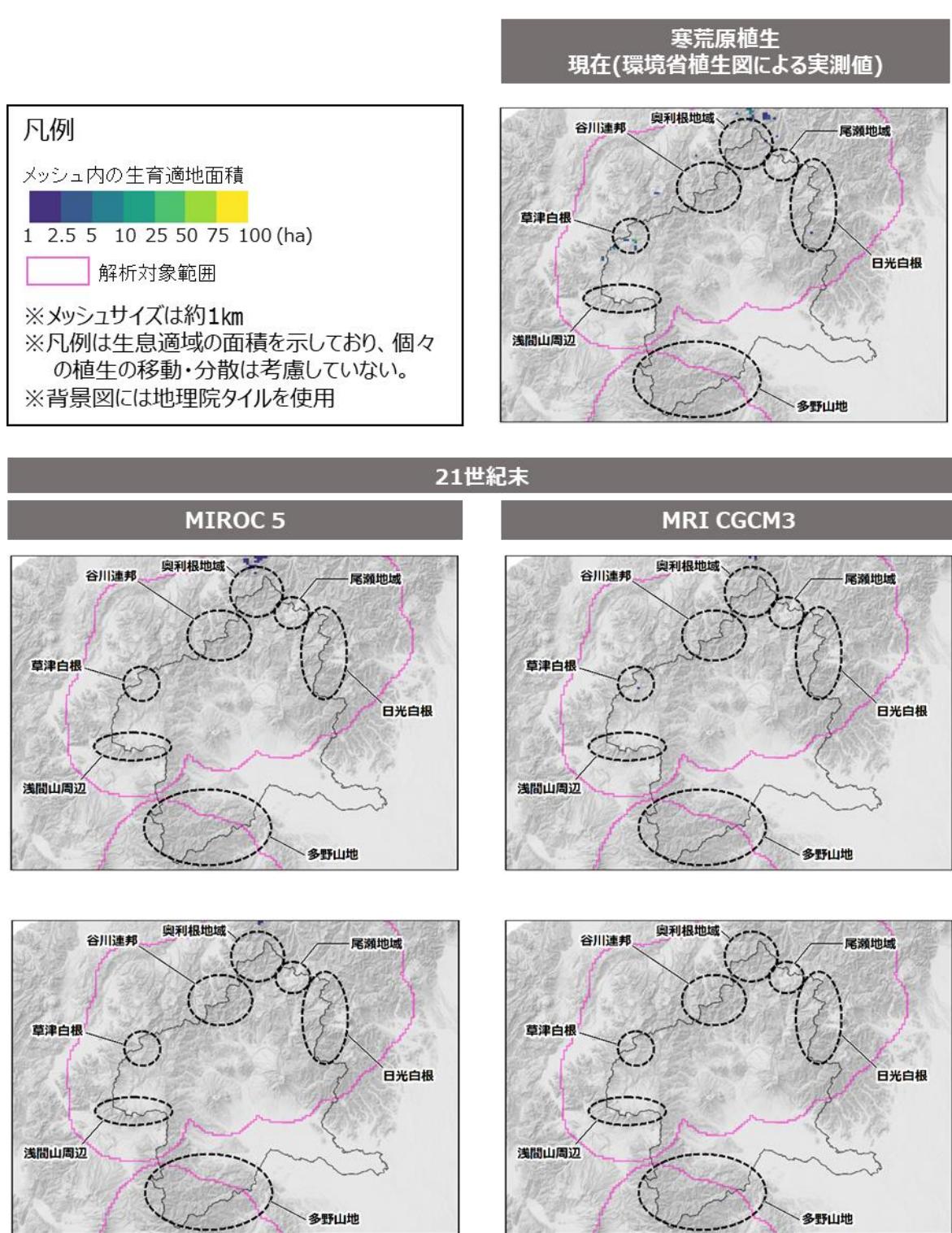


図 6-21 分布適地の予測結果（寒荒原植生・21世紀末）

6.1.5.10 植生分布予測（山地湿原）

現在は尾瀬ヶ原周辺にまとまった生育適地が確認される他、草津白根山地域においても小規模な山地湿原が確認される（芳ヶ平湿地群等）草津白根山周辺（芳ヶ平湿地群）は、21世紀後半はいずれのシナリオにおいても適地の消失が予測された。尾瀬周辺は、RCP2.6では21世紀後半においても適地が一定程度残存するものの、RCP8.5では多くの適地が消失し、中心部にごく一部の適地が残存するのみとなることが予測された。

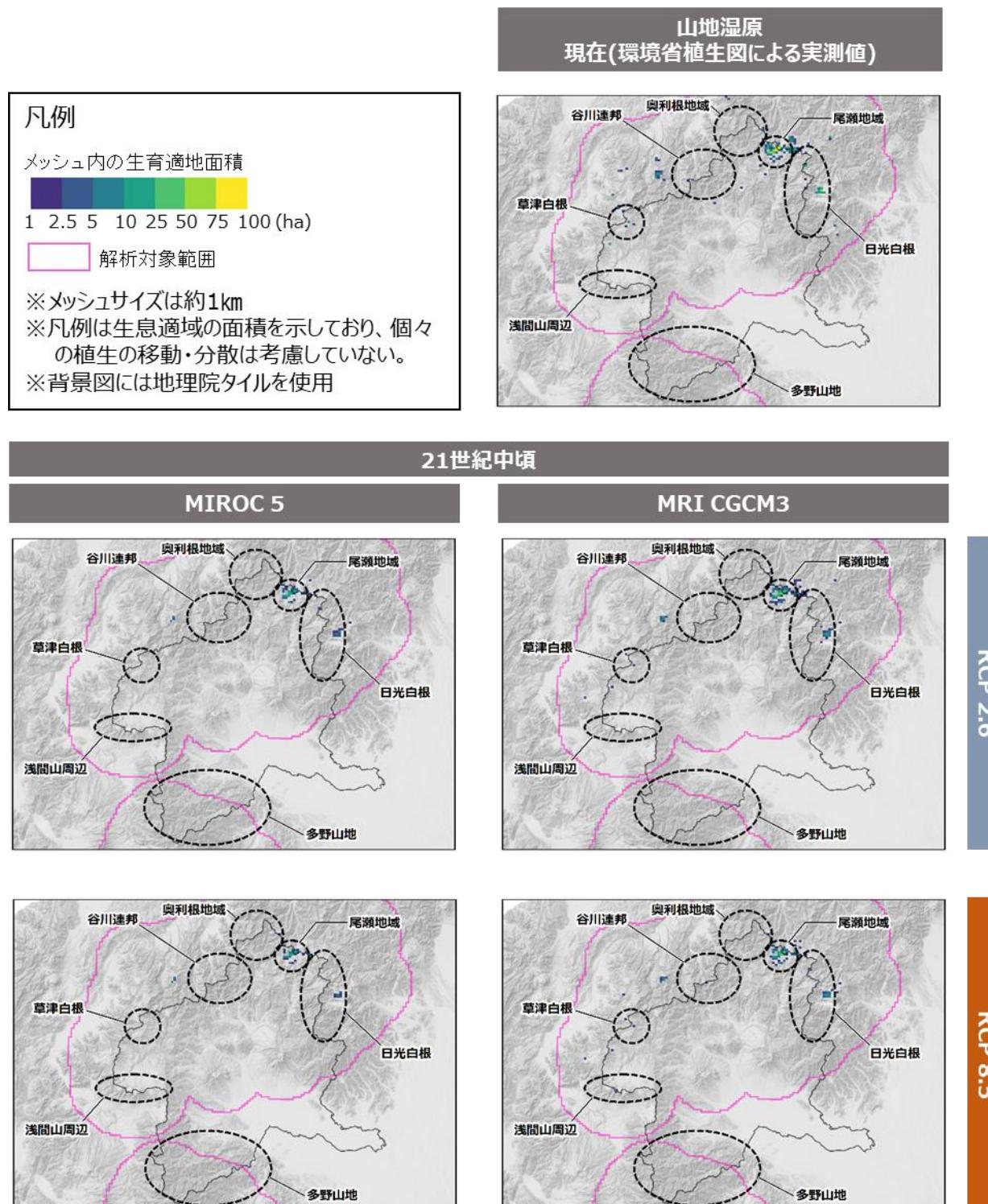


図 6-22 分布適地の予測結果（山地湿原・21世紀中頃）

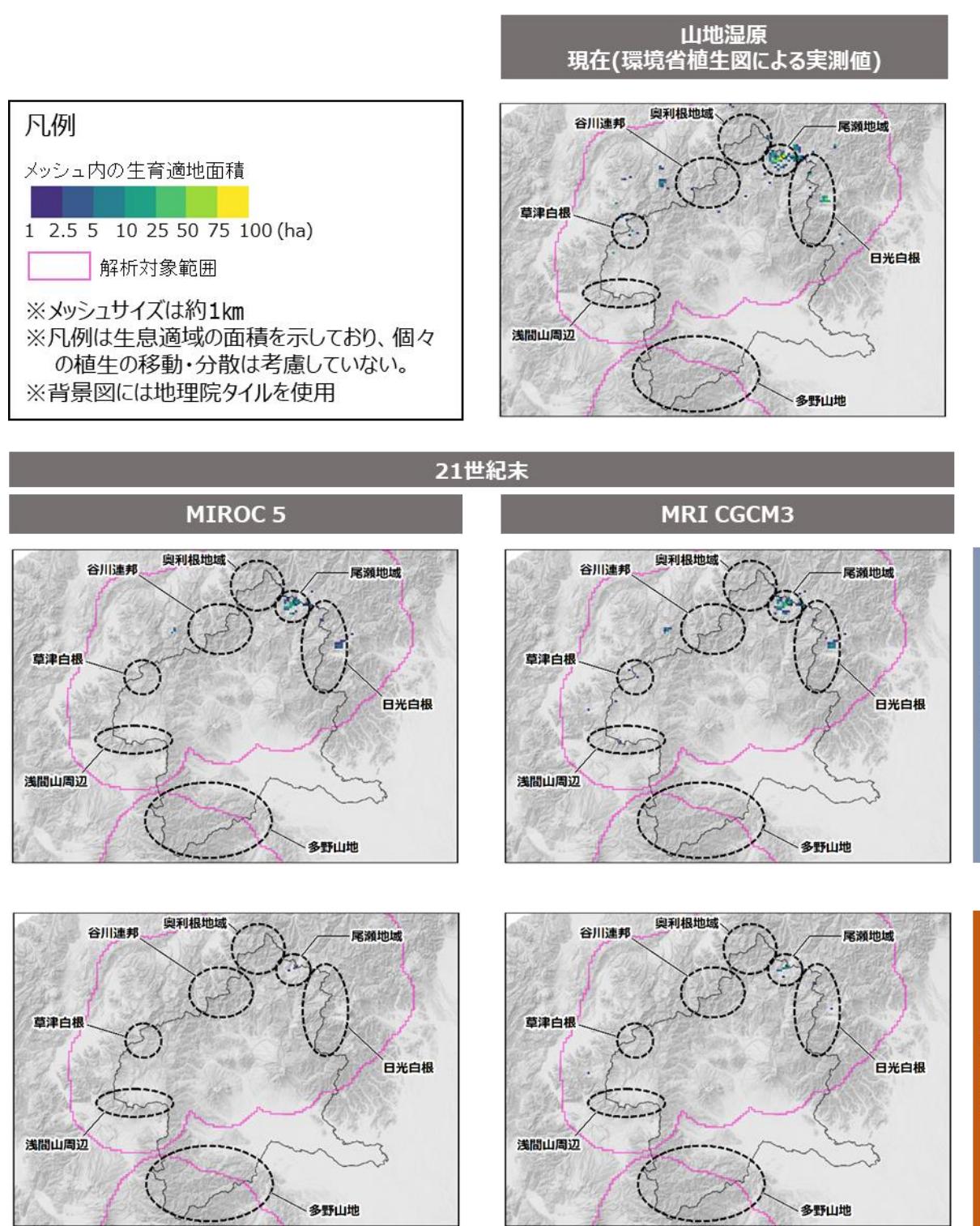


図 6-23 分布適地の予測結果（山地湿原・21世紀末）

6.1.6 活用上の留意点

6.1.6.1 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気温の上昇および冬季の降水量（積雪量の代替として想定）の減少が高山・亜高山帯植生の分布適域の変化に及ぼす影響を対象とした。

6.1.6.2 本調査の将来予測の対象外とした事項

高山・亜高山帯植生の分布には、下記の要素が影響すると考えられるが、本調査において気候変動影響予測を実施するに当たり、下記の影響は考慮していないことに留意が必要である。

- ・種子散布等を考慮した移動速度
- ・シカによる食害等、気候以外の要因による分布への影響

6.1.6.3 その他、成果を活用する上での制限事項

本調査において使用した植生分布推定モデルは、現在の植生の分布と、気候や地形等の条件との対応関係を統計的に把握し、その関係性をもとに気候条件のみを将来予測値とした場合の分布適域の変化を推定するものである。本手法により推定されるものは分布適域であり、種子散布距離や各植生の移動分散プロセスを考慮した実際の分布面積を推定するものではない。分布適地の消失が即ち生息地の消失そのものを意味することではないことに留意が必要である。

より詳細な適応策へ向けては、本調査で構築した統計的（経験的）モデルに加え、対象種の移動分散速度や現存量の推定が可能なメカニスティック（機構的）モデル¹の開発等も望まれる。

6.1.7 適応オプション

本調査で検討した適応オプションは、表 6-3 に示すとおりである。

¹ 環境変化に対する生物の成長などのプロセスを考慮したモデルを構築し、気候変動に対する変化予測を行う手法。モデル構築の際に生活史に係る詳細な定量データが必要である。

表 6-3 適応オプションのまとめ

適応オプション	想定される実施主体			評価結果								備考
				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	
モニタリング調査	●	●	●	一部普及が進んでいる	・継続的な実施体制 ・モニタリング場所へのアクセス性	△	○	△	◎	長期	中	・実施主体の「個人」はNPO等を含む ・実施主体の「事業者」はスキー場リフト運営者等を想定
植物群落の維持・再生	●		●	一部普及が進んでいる	・シカ食害等気候変動以外の要因による植生衰退 ・体制、資金面	△	△	N/A	◎	中期	高	・順応的管理の考え方に基づき実施されることが望ましい
植物群落の再導入・補強	●			普及が進んでいない	・移植等の技術の確立 ・遺伝的搅乱の恐れ	△	△	N/A	△	中期	高	
生育域外保全による植物の保全	●			普及が進んでいない	・域外保全を行う場所の検討 ・栽培手法の確立	△	△	N/A	△	長期	低	・生態系全体を保全することが困難であることに留意が必要である
植物群落の保全的導入	●			普及が進んでいない	・再導入技術 ・遺伝的搅乱の恐れ	△	△	N/A	△	長期	中	・順応的管理の考え方に基づき実施されすることが望ましい
人材育成	●			普及が進んでいない	・資金面 ・既存の活動団体の高齢化	△	◎	N/A	◎	中～長期	高	—
資金調達と普及啓発	●			普及が進んでいない	・普及啓発を行う人材の不足 ・多様なステークホルダーとの連携	△	○	N/A	◎	短～中期	高	・資金調達については、保護地域における入域料の活用等を想定

表 6-4 適応の考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
モニタリング調査	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動の影響の観測・監視や適応策の効果の把握において重要ではあるものの、それ自体が影響の低減に繋がらないことがある、効果は中程度とした。 既存のモニタリング調査の参考事例として、環境省によるモニタリングサイト 1000 の取組や、中部アルプス駒ヶ岳における 10 年間のモニタリング調査^{※1} 等が挙げられる。また、現地調査によるモニタリングの他、センサーカメラ^{※2} や空中写真および衛星画像^{※3} を活用したモニタリング調査への技術開発も進んでいる。
植物群落の維持・再生	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動以外の劣化要因を最小化することを目的として、競合植物の除去等、対象の現状維持のための管理を行うものである。高山帯の競合植物としてはササが挙げられるが、北海道大雪山地域においてはササの刈り取りによる高山植物群落の再生へむけた実験的取り組みが進んでいる。^{※4}
植物群落の再導入・補強	
生育域外保全による植物の保全	<ul style="list-style-type: none"> 最終手段として実施されるべき適応策であり、生態系全体を保全することが困難であることに加え不確実性が高いと考えられるため、効果は低いとした。実施においては、絶滅リスクの定量評価による優先順位の決定等が必要であると考えられる。また、気候変動への適応策として実施された域外保全の事例は国内では確認できない。
植物群落の保全的導入	<ul style="list-style-type: none"> 分布適域の拡大が予測される地域において、移動・分散能力の向上に資する管理や対象種の移植等を行うものである。適切に実施されれば個体群の絶滅の回避につながるが、不確実性が高いため効果は中程度とした。 一方、意図していなかった生態系への新たな悪影響が生じる可能性や、継続的に経費や人手が必要となるなどの新たな管理の負担が発生する可能性があるため、慎重な検討が必要である。^{※4} また、気候変動への適応策として実施された保全導入の事例は国内では確認できない。
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による影響の観測・監視および予測、適応策の検討や実施を行う人材の確保を行うものである。モニタリング等の実施体制の強化が図られれば、長期的には効果は高いと考えられる。 市民等と共同したモニタリングについては、モニタリングサイト 1000 や北海道大雪山の事例^{※5} が挙げられる。
資金調達と普及啓発	<ul style="list-style-type: none"> 国立公園における利用調整地区制度や、入山料、協力金の負担等が考えられる。モニタリング等の自治体における生物多様性保全施策の実施においては資金面の不足を課題とする報告が多く^{※6}、適切に実施されれば効果は高いと考えられる。一方、効率的な資源導入のためには、科学的知見に基づく順応的管理の視点が重要である。 保護地域の管理等における入域料等の活用については一定程度の事例はあるものの、気候変動への適応策として実施された事例は国内では確認できない。

(表中の出典)

※1 下野綾子、牧野純子、室村聰、中村華子、傍島夏生、小熊宏之. (2019). 中央アルプス駒ヶ岳 10 年間の植生変化の動向. 地学雑誌, 128(1), 105-113.80.

※2 小熊宏之、井手玲子、雨谷教弘、浜田崇. (2019). 定点カメラ観測ネットワークによる高山帯の消雪と植生フェノロジーのモニタリング. 地学雑誌, 128(1), 93-104.

※3 金子正美、星野仏方、雨谷教弘. (2014). 空間情報を用いた高山帯の植生変化と環境変動のセンサス.

※4 生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方、環境省自然環境局、2015 年

※5 Kudo, G. (2019). Dynamics of flowering phenology of alpine plant communities in response to temperature and snowmelt time: Analysis of a nine-year phenological record collected by citizen volunteers. Environmental and Experimental Botany, 103843.

※6 山本悠二、谷口守、松中亮治. (2007). 生物多様性保全政策の実施状況と課題—都道府県に対する調査結果から—. 環境システム研究論文集, 35, 73-80.

6.2 気候シナリオに関する情報

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に関する基本情報は、

表 6-5 に示すとおりである。

項目	高山・亜高山植生の分布適域
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5
気候パラメータ	月平均気温、月降水量
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	現在、21世紀中頃、21世紀末
バイアス補正の有無	有（地域）

表 6-5 気候シナリオの基本情報

項目	高山・亜高山植生の分布適域
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5
気候パラメータ	月平均気温、月降水量
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	現在、21世紀中頃、21世紀末
バイアス補正の有無	有（地域）

6.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

本調査においては、気候モデル（2つ）×RCP（2つ）×予測期間（現在気候1つ、将来気候2つ）の予測を行った。

本調査では、月平均気温および月降水量をもとに、「暖かさの指数」「平均気温が0°C以下の月の降水量」「夏季(6-8月)の平均気温」を算出し、影響予測に使用した。

高山・亜高山帯植生の分布を含む、国内の植生の分布規定要因としては暖かさの指数(WI)が重要な要因であることが広く知られている。これは、月平均気温が5°C以上の月において、平均気温から5°Cを引いた値を合計したものである。また、高山・亜高山帯植生の分布の規定においては、積雪量(積雪期間)が重要な役割を果たすことが既往研究により指摘されているが、本調査で使用する農環研データセットには積雪に関する変数が提供されていない。したがって、本調査では既存研究で用いられている手法を参考に、平均気温が0°C以下の月の降水量を積雪量の推定値として採用した。また、年間の水分条件を考慮するため、平均気温0°C以上の月の年降水量も気候指標とした採用した。

6.2.2.1 月平均気温

月平均気温の再現結果および各気候シナリオにおける将来予測結果は、図6-24～図6-27に示すとおりである。

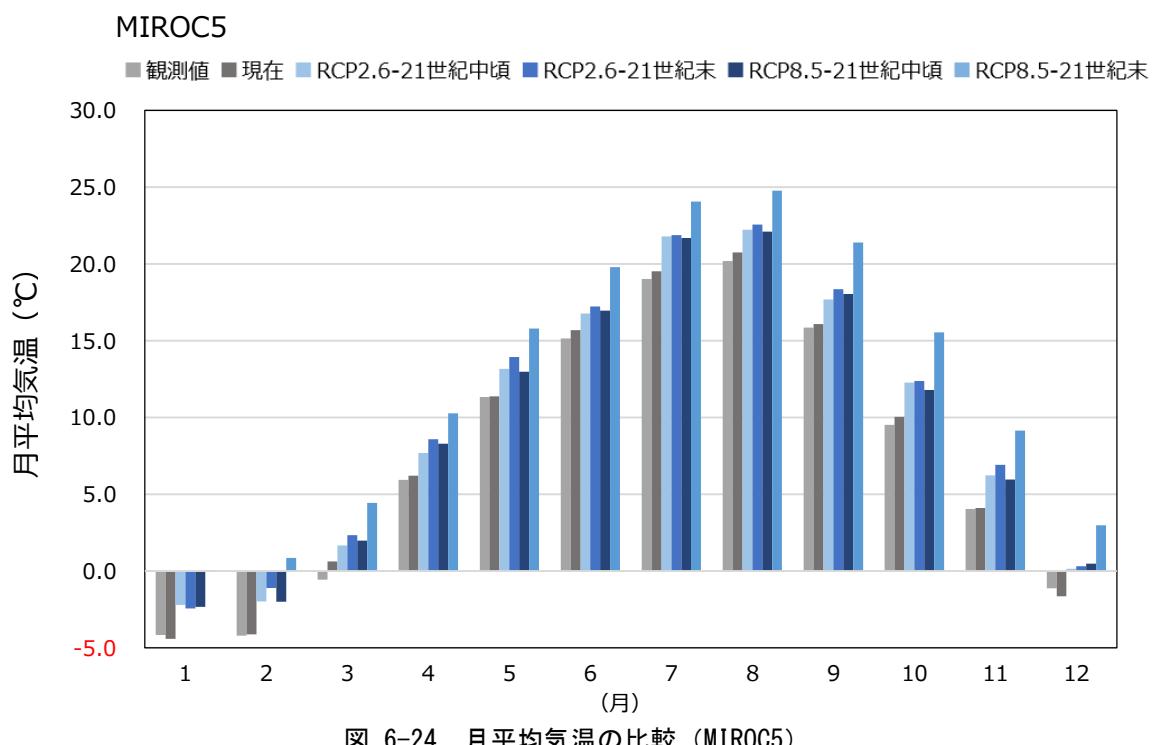


図6-24 月平均気温の比較 (MIROC5)

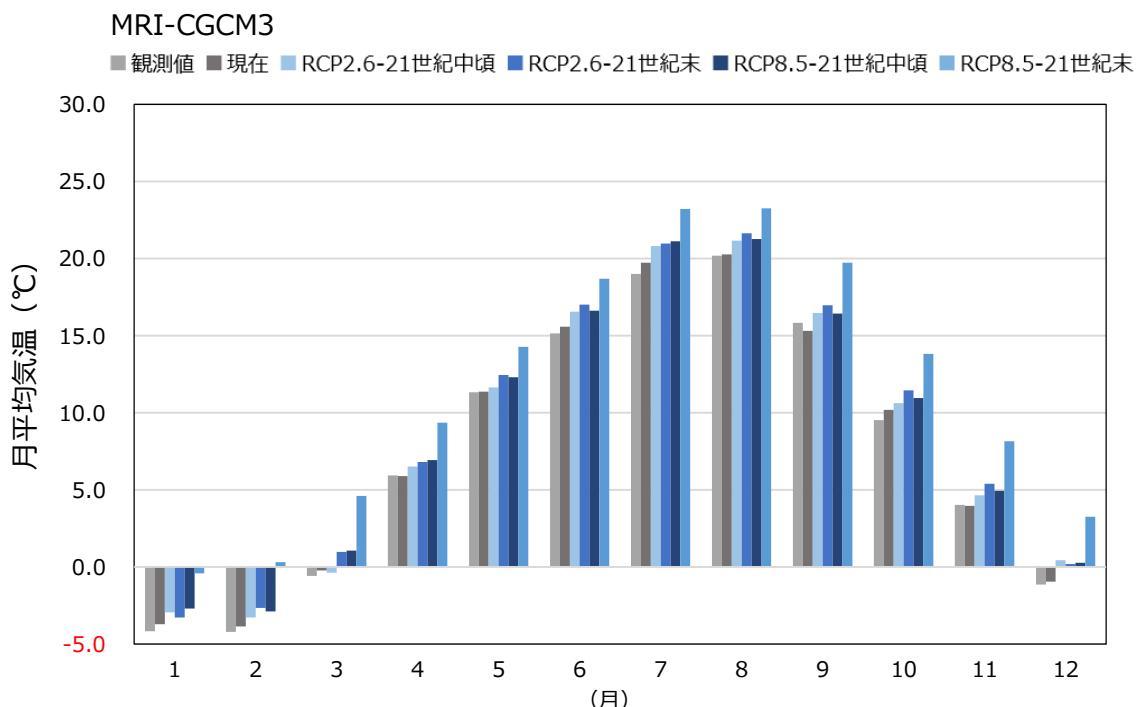


図 6-25 月平均気温の比較 (MRI-CGCM3)

6.2.2.2 暖かさの指数

暖かさの指数の平均値は、21世紀中頃において MIROC5 で約 13.2～15.3、MRI-CGCM3 で約 4.5～7.8 の増加となり、21世紀末には MIROC5 で約 14.3～38.2、MRI-CGCM3 で約 7.5～28.2 の増加となることが確認された。

表 6-6 暖かさの指数

No.	区分	計算ケース	最小値	最大値	平均値	中央値
1	観測値	平年値メッシュデータ	20.5	118.3	68.4	67.8
2	現在	MIROC5	21.6	121.2	69.8	69.1
3		MRI-CGCM3	20.4	119.7	68.5	67.8
4	将来予測	RCP2.6/21世紀中頃/MIROC5	27.7	137.7	81.6	81.4
5		RCP2.6/21世紀中頃/MRI-CGCM3	23.6	125.5	72.9	72.2
6		RCP8.5/21世紀中頃/MIROC5	28.9	141.4	83.7	83.6
7		RCP8.5/21世紀中頃/MRI-CGCM3	24.9	131.0	76.2	75.7
8		RCP2.6/21世紀末/MIROC5	28.3	140.2	82.7	82.5
9		RCP2.6/21世紀末/ MRI-CGCM3	24.9	130.8	75.9	75.3
10		RCP8.5/21世紀末/MIROC5	44.8	173.1	106.6	105.9
11		RCP8.5/21世紀末/ MRI-CGCM3	36.8	162.6	96.6	95.8

6.2.2.3 月降水量（バイアス補正有り）

月降水量の再現結果および各気候シナリオにおける将来予測結果は、図 6-26～図 6-27 に示すとおりである。

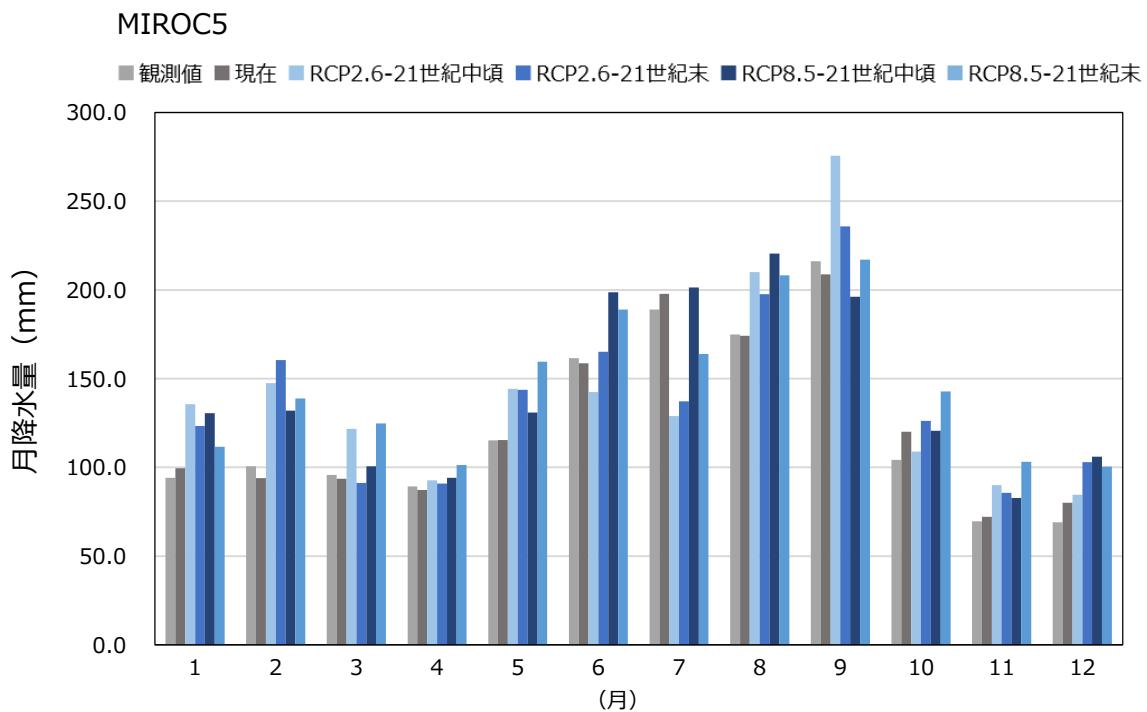


図 6-26 月降水量の比較 (MIROC5)

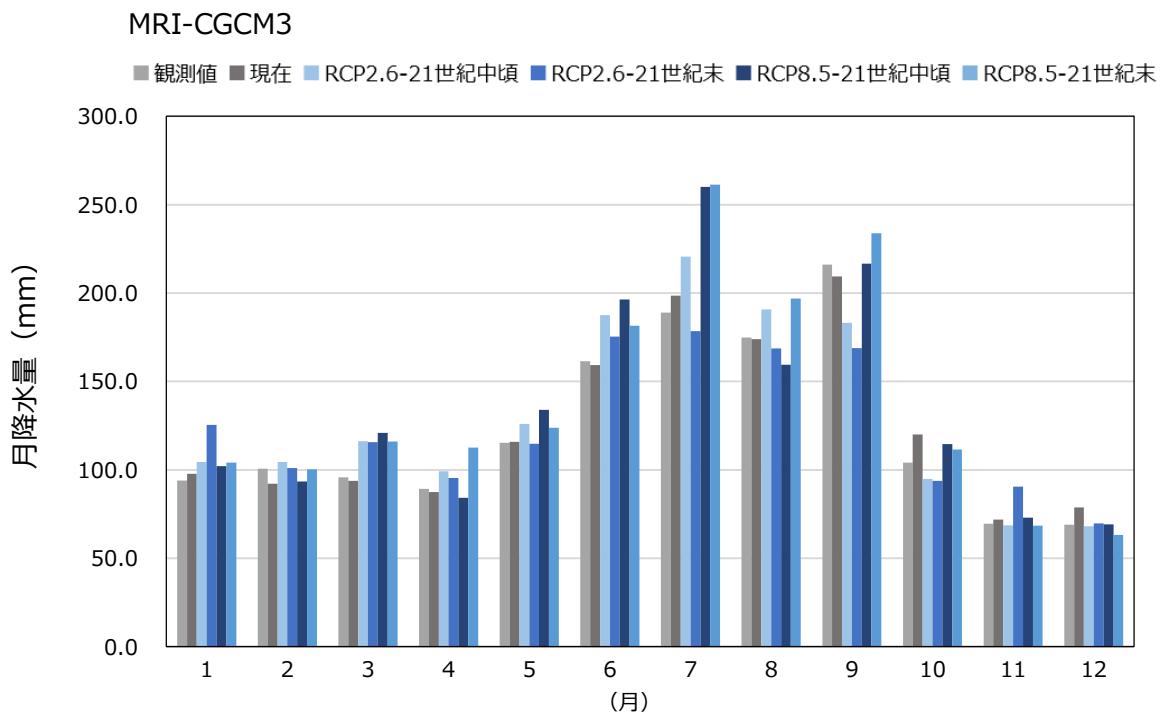


図 6-27 月降水量の比較 (MRI-CGCM3)

6.2.2.4 月平均気温 0°C 以下の月の年降水量

月平均気温 0°C 以下の月の年降水量の平均値は、21 世紀中頃において MIROC5 で約 34~57.3mm の減少、MRI-CGCM3 で約 29.1~52.1mm の減少となり、21 世紀末には MIROC5 で約 55.5~201.2mm、MRI-CGCM3 で約 74.6~206.7mm の減少となることが確認された。

表 6-7 平均 0°C 以下の月の降水量

No.	区分	計算ケース	最小値	最大値	平均値	中央値
1	観測値	平年値メッシュデータ	0.0	1507.0	316.4	219.6
2	現在	MIROC5	0.0	1420.0	302.6	191.0
3		MRI-CGCM3	0.0	1490.8	297.9	205.0
4	将来予測	RCP2.6/21世紀中頃/MIROC5	0.0	1441.8	282.4	188.1
5		RCP2.6/21世紀中頃/MRI-CGCM3	0.0	1455.3	287.3	211.4
6		RCP8.5/21世紀中頃/MIROC5	0.0	1361.0	259.1	188.7
7		RCP8.5/21世紀中頃/MRI-CGCM3	0.0	1372.2	264.3	144.9
8		RCP2.6/21世紀末/MIROC5	0.0	1392.5	260.9	177.6
9		RCP2.6/21世紀末/MRI-CGCM3	0.0	1416.3	241.8	126.9
10		RCP8.5/21世紀末/MIROC5	0.0	1343.0	115.2	0.0
11		RCP8.5/21世紀末/MRI-CGCM3	0.0	1241.3	109.7	0.0

6.2.2.5 月平均気温 0°C 以上の月の年降水量

月平均気温 0°C 以上の月の年降水量は、21 世紀中頃において MIROC5 で約 193.8~286.4mm、MRI-CGCM3 で約 82.7~116.3mm の増加となり、21 世紀末には MIROC5 で約 310.2~487.4mm、MRI-CGCM3 で約 178.4~341.8mm の増加となることが確認された。

表 6-8 平均 0°C 以上の月の降水量

No.	区分	計算ケース	最小値	最大値	平均値	中央値
1	観測値	平年値メッシュデータ	798.5	2648.7	1313.9	1253.0
2	現在	MIROC5	821.6	2744.8	1327.7	1276.9
3		MRI-CGCM3	798.5	2838.0	1332.4	1263.8
4	将来予測	RCP2.6/21世紀中頃/MIROC5	954.1	3330.1	1600.3	1516.8
5		RCP2.6/21世紀中頃/MRI-CGCM3	834.7	3095.1	1396.6	1312.5
6		RCP8.5/21世紀中頃/MIROC5	902.6	3165.4	1507.7	1416.5
7		RCP8.5/21世紀中頃/MRI-CGCM3	853.4	3115.4	1430.2	1349.7
8		RCP2.6/21世紀末/MIROC5	946.6	3248.5	1624.1	1551.3
9		RCP2.6/21世紀末/MRI-CGCM3	952.1	3126.7	1492.3	1417.3
10		RCP8.5/21世紀末/MIROC5	1164.8	3278.8	1801.3	1721.9
11		RCP8.5/21世紀末/MRI-CGCM3	1068.3	3092.9	1655.7	1580.3

6.2.3 気候シナリオに関する留意事項

6.2.3.1 月平均気温

調査範囲内の全メッシュにおける予測値と平年値メッシュデータによる観測値の月別の比較から、調査地域における月平均気温の経月変化は概ね再現されていることが確認された。

6.2.3.2 月降水量

調査範囲内の全メッシュにおける予測値（バイアス補正なし）と平年値メッシュデータによる観測値の月別の比較から、夏季の過大推定傾向、冬季の過小推定傾向が確認されたことから、月降水量に関するバイアス補正を行った。バイアス補正の詳細は、6.2.4に示すとおりである。バイアス補正実施後のデータについては、月降水量の経月変化は概ね再現されていることが確認された。

6.2.4 バイアス補正に関する情報

6.2.4.1 バイアス補正の実施の目的

観測値として収集した、調査範囲内の4地点におけるアメダス観測データ及び平年値メッシュデータ（国土数値情報）との比較から、調査地域内においては月降水量の予測値にバイアスが確認されたため、月降水量のバイアス補正を検討した。

表 6-9 バイアス補正を行う指標

項目	内容
データセット	NIES 統計 DS データ
気候指標	月降水量
対象範囲	群馬県及びその周辺の山岳地域（図 6-28 参照）
空間解像度	1km 格子
時間解像度	月別
対象時期	現況（1981年～2000年）
バイアス補正に用いる観測データ	【データ名】国土数値情報 平年値メッシュデータ（気候）
	【入手方法】国土交通省 HP から DL
	【概要】降水量、気温、最深積雪、日照時間、全天日射量の5種類の気象要素について、1981年～2010年の30年間の観測値から1kmメッシュ（3次メッシュ）ごとの平年値を推定・算出したものである。
	【期間】1981年～2010年
	【気候指標】月降水量
	【空間解像度】1km 格子
	【時間解像度】月別

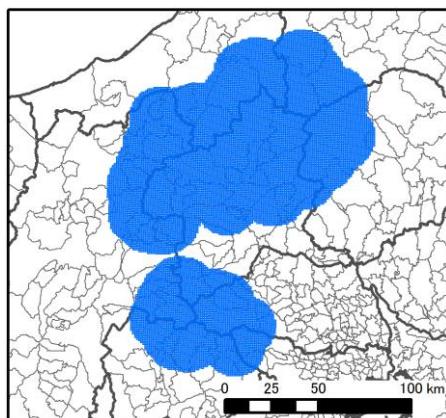


図 6-28 バイアス補正を行う対象範囲

6.2.4.2 気候シナリオの再現性（バイアスの状況の確認）

(1) 月降水量

現況の気候シナリオと、観測データの比較から、冬季における降水量の過小推定傾向、夏季における過大推定傾向が確認された。また、この傾向は MRI-CGCM3 よりも MIROC5 において増大する傾向も確認された。

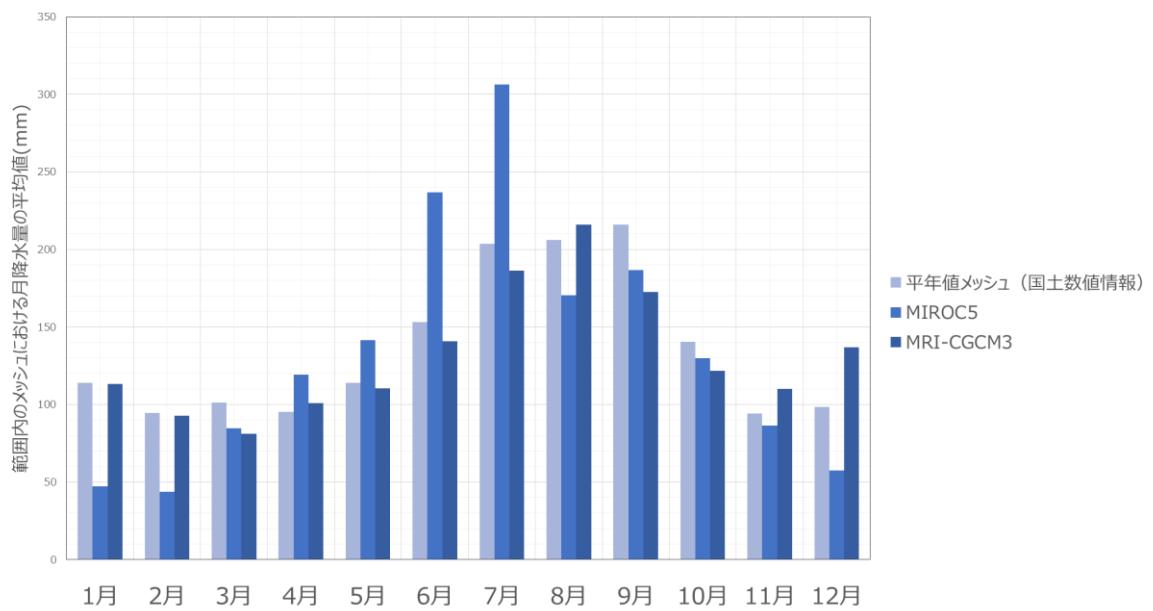


図 6-29 月降水量の再現性の確認（平年値メッシュデータとの比較）

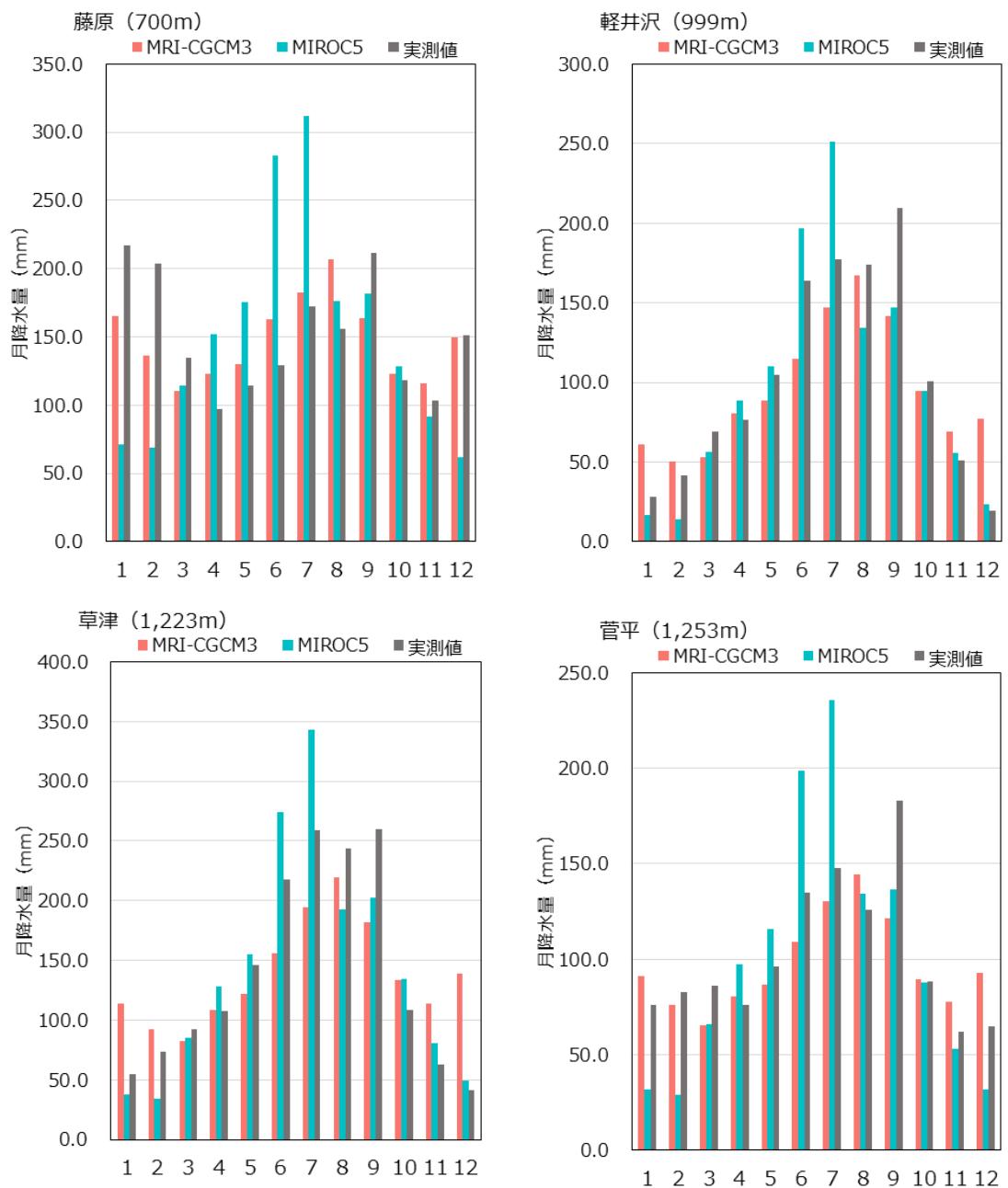


図 6-30 月降水量の再現性の確認（アメダス観測値との比較）

6.2.4.3 補正方法

本調査では、空間解像度 1km メッシュでの面的な気候予測情報が必要となる。したがって、アメダスの観測データをもとに 1km メッシュで整備されている平年値メッシュデータをベースラインとして、その月降水量と現況予測値の比をメッシュごとに計算し、それらを現況再現結果および将来予測結果に乘じる手法によるバイアス補正を検討した。

表 6-10 バイアス補正方法

	内容
気候指標	月降水量
方法	観測値（平年値メッシュデータ）と現況予測値の月降水量の比によるバイアス補正
概要	平年値メッシュデータによる月降水量の平均値をベースラインとして、NIES 統計 DS データによる月降水量予測値と平年値メッシュデータの月降水量の比をメッシュごとに計算し、それらを NIES 統計 DS データの現況再現結果および将来予測結果に乘じることでバイアス補正を行う。
参考文献	無し

6.2.4.4バイアス補正結果

バイアス補正を行った結果を図 6-31～図 6-32 に示す。解析範囲内のメッシュにおける月降水量の平均値の比較（図 6-31）、および解析範囲周辺のアメダス 4 地点における月降水量の観測データとの比較（図 6-32）において、バイアス補正前に見られた夏季および冬季の予測値と観測値との差が小さくなっていることが確認された。

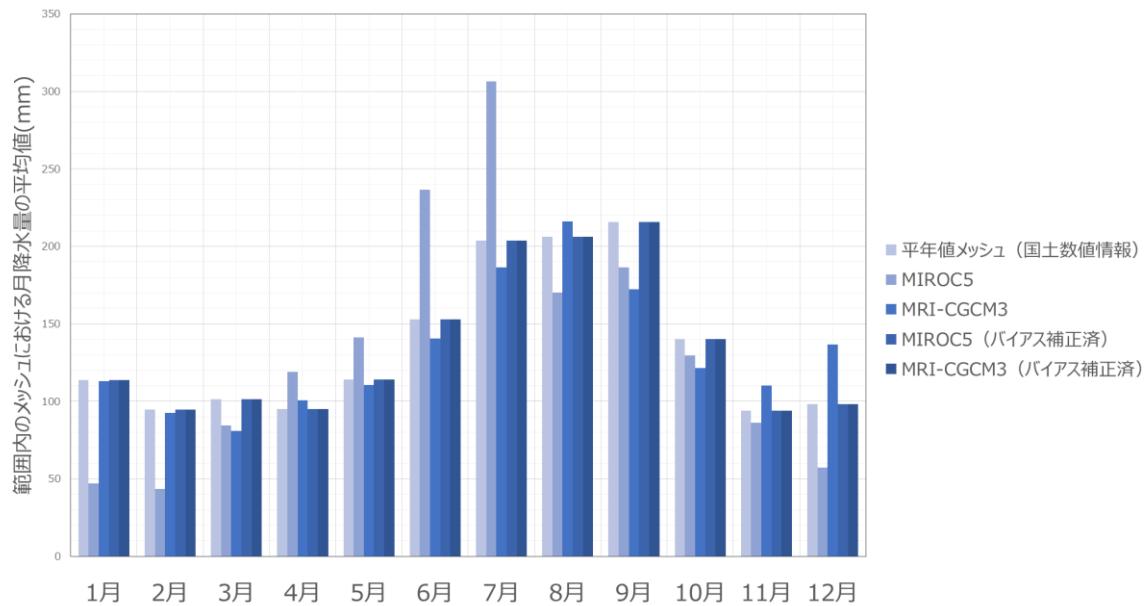


図 6-31 バイアス補正後の月降水量の確認（平年値メッシュデータとの比較）

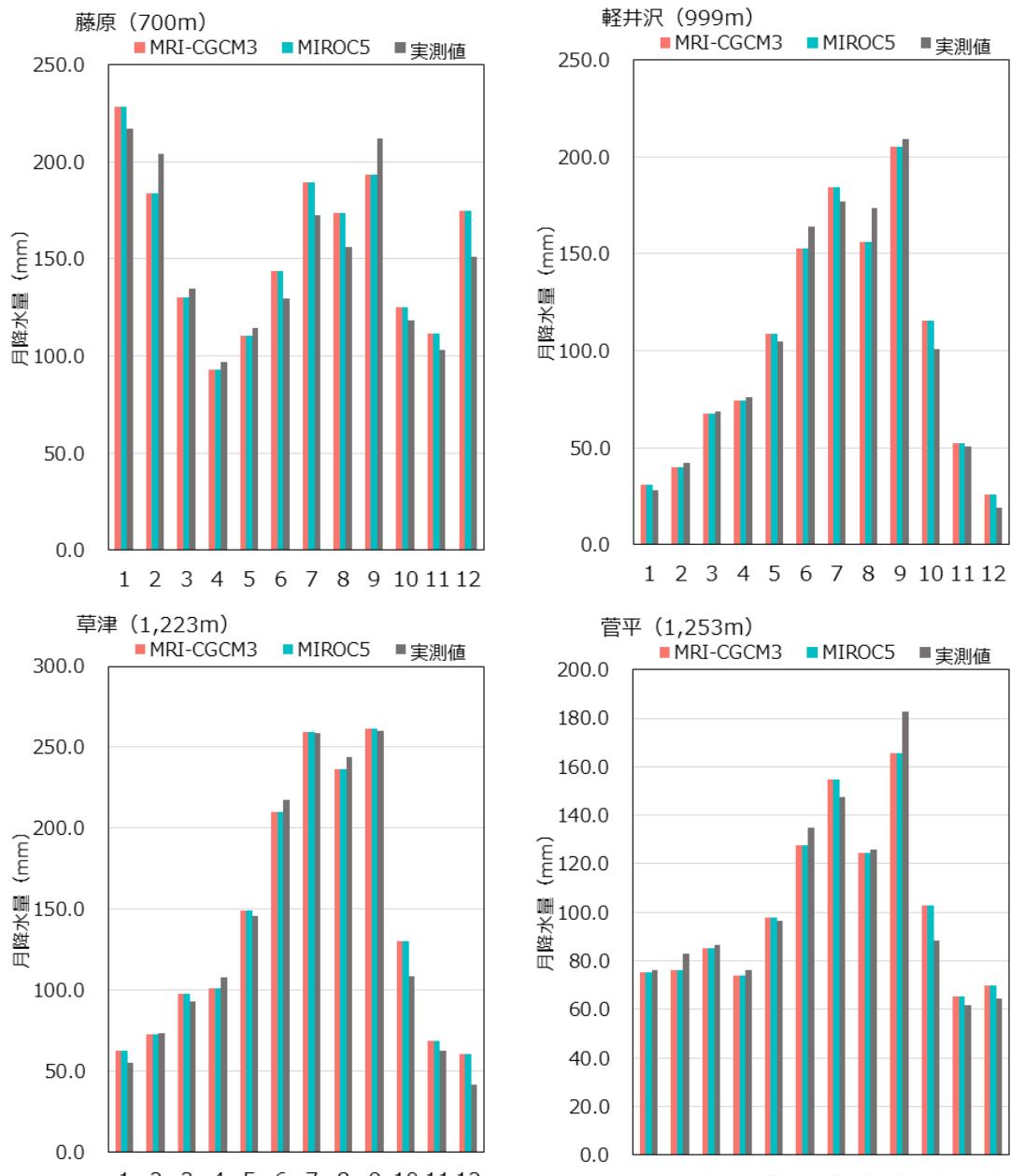


図 6-32 バイアス補正後の月降水量の確認（アメダス観測値との比較）

6.2.5 気候シナリオ選択の理由

本調査では、地形的な複雑性の高い高山・亜高山帯の植生分布を予測するため、可能な限り詳細な気候シナリオが必要となる。したがって、用いる気候シナリオとして、「NIES 統計 DS データ(空間解像度 1km メッシュ)」を用いることとした。

6.3 気候変動影響に関する調査手法

6.3.1 手順

本調査における気候変動影響に関する調査手順を図 6-33 に示す。

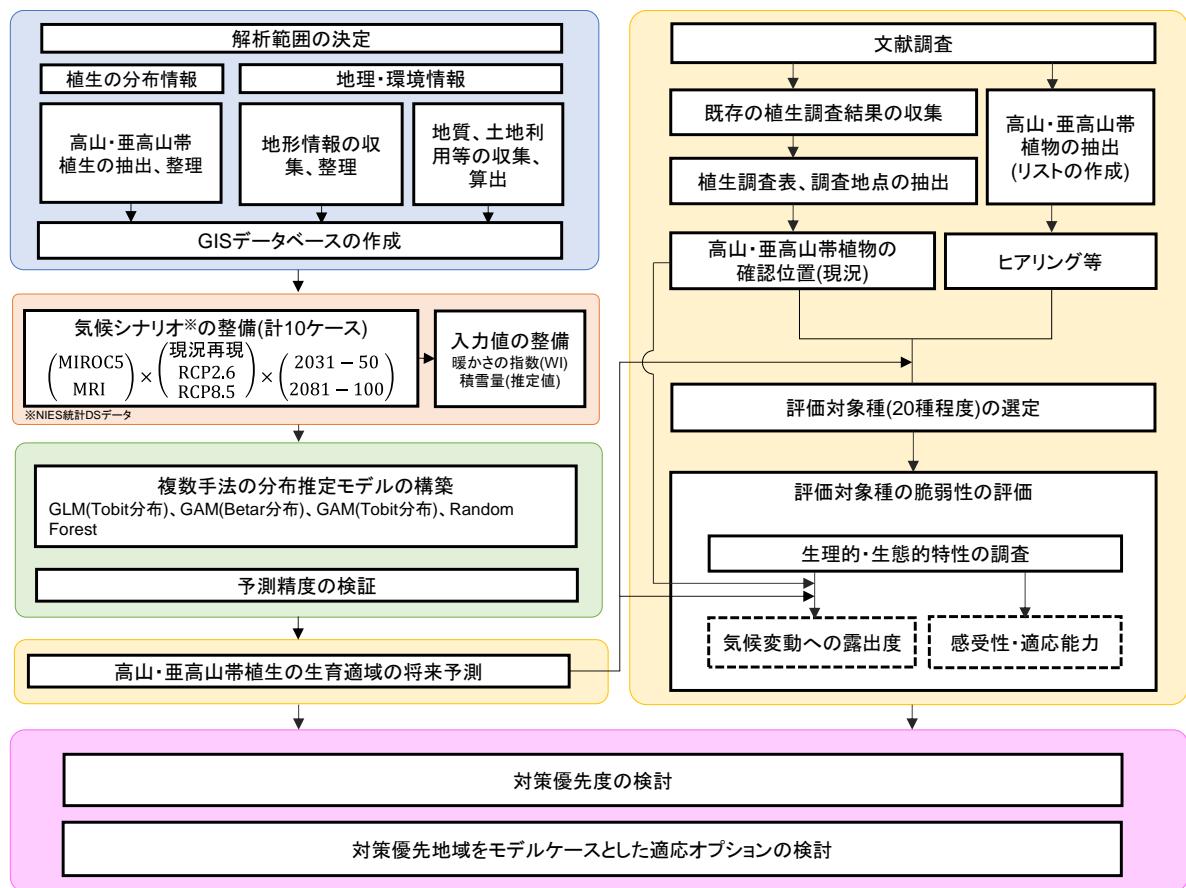


図 6-33 気候変動影響の調査手順

6.3.2 使用したデータ・文献

本調査で使用したデータおよび文献のリストは、表 6-11 および表 6-12 に示すとおりである。

表 6-11 使用したデータのリスト

No.	資料名等	使用用途	データ概要
1	第6・7回自然環境保全基礎調査 全国植生調査データベース（環境省）	分布推定モデルの構築	2万5千分の1植生図作成業務における植生調査データを整理したもの
2	第6・7回自然環境保全基礎調査 植生図（環境省）	分布推定モデルの構築	最新の空中写真の使用及び現地調査の実施により、現況を反映した植生図を作成した植生図
3	全国標準土地利用メッシュデータ（国立環境研究所）	分布推定モデルの構築	植生調査データの集約と標準化を行い、全国スケールで利用可能な土地利用データとして整理したもの
4	基盤地図情報 数値標高モデル 10m（国土地理院）	分布推定モデルの構築	写真測量で計測した標高値から0.2秒（約5m）メッシュの中心点の標高値を内挿処理により作成されたデジタル標高データ
5	20万分の1シームレス地質図（産業総合研究所）	分布推定モデルの構築	全国統一凡例による20万分の1地質図データ
6	国土数値情報 平年値メッシュデータ（国土交通省）	分布推定モデルの構築	降水量、気温、最深積雪、日照時間、全天日射量の5種類の気象要素について、過去30年間の観測値から1kmメッシュ（3次メッシュ）ごとの平年値を推定・算出したもの

表 6-12(1) 使用した文献のリスト

No.	文献名等	概要
1	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXVIII (群馬県) 西榛名地域生物多様性モニタリング調査 I	本調査は 2008-2010 年の「西榛名地域貴重植物種モニタリング調査」を発展的に継承したもの。1 年目。
2	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXIV (群馬県) 西榛名地域生物多様性モニタリング調査 II	本調査は 2008-2010 年の「西榛名地域貴重植物種モニタリング調査」を発展的に継承したもの。2 年目。
3	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXX (群馬県) 西榛名地域生物多様性モニタリング調査 III	本調査は 2008-2010 年の「西榛名地域貴重植物種モニタリング調査」を発展的に継承したもの。3 年目。
4	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXVI (群馬県) 西榛名地域貴重植物種モニタリング調査 III	2005-2006 年度の調査研究成果を基に、貴重植物種 30 種の分布・生育・繁殖状況及び立地環境の経時変化を、中間的な時間の中で継続してモニタリング調査を行ったもの。
5	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXVII (群馬県) 西榛名地域貴重植物種モニタリング調査 IV	西榛名山における植生調査結果
6	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXVIII (群馬県) 日光白根山・錫ヶ岳周辺 (第 1 年)	日光白根山・錫ヶ岳周辺の自然の現状を 2 カ年かけて総合的に把握するために行われた植生調査の結果
7	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXIV (群馬県) 日光白根山・錫ヶ岳周辺 (第 2 年)	日光白根山・錫ヶ岳における植生調査結果
8	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXX (群馬県) 日光白根山・錫ヶ岳周辺 (補完調査)	日光白根山・錫ヶ岳における植生調査結果
9	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXVI (群馬県) 製糲丸山周辺 (第 2 年)	県自然環境保全地域やその周辺部の自然の現状を 3 カ年かけて総合的に把握する。
10	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXVII (群馬県) 製糲丸山周辺 (第 3 年)	製糲丸山周辺における植生調査結果
11	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXX (群馬県) 茂林寺沼湿原周辺	茂林寺沼とその湿原の現状を把握し、今後の保全への提言にまとめる。
12	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXX (群馬県) 北沢周辺	北沢県自然環境保全地域を中心とした北沢流域の自然の現状を総合的に把握する
13	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXIV (群馬県) 藤原地域武尊山麓	群馬県みなかみ町藤原上ノ原における植生調査結果
14	尾瀬の自然保護 オゼソウ群集とホソバヒナウスユキソウ群集の再検討	オゼソウ群集とホソバヒナウスユキソウ群集に関する調査結果
15	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 XXIV 南下田代および八木沢湿原の植生	南下田代および八木沢湿原における植生調査結果
16	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 X I アヤメ平と横田代の植生と植物相	アヤメ平と横田代の植生と植物相の調査結果
17	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 X II 小沼周辺の植生	小沼周辺における植生調査結果
18	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 X IV 荷鞍山と白尾山周辺の植生	荷鞍山と白尾山周辺における植生調査結果
19	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 X VI 背中あぶり田代、山の鼻田代、広窪田代および上田代の植生	背中あぶり田代、山の鼻田代、広窪田代および上田代の植生調査結果
20	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 V 柳平の植生	柳平における植生調査結果
21	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 VI ススケ峰・大白沢山及び瞳ガ原の植生	ススケ峰・大白沢山及び瞳ガ原における植生調査結果

表 6-12(2) 使用した文献のリスト

No.	文献名等	概要
22	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 VII 岩塔盆地の植生	岩塔盆地における植生調査結果
23	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 XIV 大清水平と小淵沢田代	大清水平と小淵沢田代における植生調査
24	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 XVII 泉水田代、西中田代の植生	泉水田代、西中田代における植生調査結果
25	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 XVIII 中田代の植生-1	中田代における植生調査結果
26	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 X VIII 北下田代の植生	北下田代における植生調査結果
27	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 X IX 西中田代～北下田代および赤田代の植生	西中田代～北下田代および赤田代における植生調査結果
28	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 X III 治右衛門池と小沼周辺地域	治右衛門池と小沼周辺地域における植生調査結果
29	第二次奥利根地域学術調査報告書	奥利根地域における植物相・植生調査結果
30	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XVI (群馬県) 植生. 覚満淵と小沼周辺	覚満淵と小沼周辺における植生調査結果
31	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XVI (群馬県) 赤谷川	赤谷川上流域における植生調査結果
32	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XVII (群馬県) 植生. 荒船山周辺	荒船山周辺における植生調査結果
33	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XVII (群馬県) 植生. 黒檜山西面・駒ヶ岳南面	黒檜山西面・駒ヶ岳南面における植生調査結果
34	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XVII (群馬県) 草津白根山周辺	草津白根山周辺における植生調査結果
35	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XVIII (群馬県) 植生. 赤城山 (黒檜山)	赤城山 (黒檜山) における植生調査結果
36	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XVIII (群馬県) 草津白根山周辺	草津白根山周辺における植生調査結果
37	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XIX (群馬県) 植生. 赤城山 (小黒檜山)	赤城山 (小黒檜山) における植生調査結果
38	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XIX (群馬県) 草津白根山周辺	草津白根山周辺における植生調査結果
39	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XX (群馬県) 植生. カマガ沢および諏訪山周辺	カマガ沢および諏訪山周辺における植生調査結果
40	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XX (群馬県) 植生. 植生 (赤城山 (鈴木ヶ岳))	赤城山 (鈴木ヶ岳) における植生調査結果
41	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XX (群馬県) 草津白根山周辺	草津白根山周辺における植生調査結果
42	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXI (群馬県) 植生. 赤城山 (荒山周辺地域)	赤城山 (荒山周辺地域) における植生調査結果
43	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXII (群馬県) 卷磯山	卷磯山における植生調査結果
44	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXII (群馬県) 植生. 赤城山 (沼尾川右岸地域)	赤城山 (沼尾川右岸地域) における植生調査結果

表 6-12(3) 使用した文献のリスト

No.	文献名等	概要
45	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXIII (群馬県) ススケ峰東面の湿原植生	ススケ峰東面の湿原植生における植生調査結果
46	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXV (群馬県) 尾瀬周辺山地 (植物) 与作岳の植生と植物相	与作岳の植生と植物相の調査結果
47	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXVI (群馬県) 尾瀬周辺山地 (植物) 斧尻与作沢源頭部地域	斧尻与作沢源頭部地域の植物相の調査結果
48	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXVII (群馬県) 尾瀬周辺山地 (植物) セン沢流域の植生	セン沢流域の植生調査結果
49	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXVIII (群馬県) 尾瀬周辺山地 (植物) 伝之丞沢の植生と植物相	伝之丞沢における植生と植物相調査結果
50	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXIX (群馬県) 草地草原地域. 榛名山	榛名山における植生調査結果
51	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXIX (群馬県) 草地草原地域. 武尊山周辺	武尊山周辺における植生調査結果
52	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXIX (群馬県) 草地草原地域. 浅間隠山	浅間隠山における植生調査結果
53	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXX (群馬県) 草地・草原地域 (鹿沢地区・高峰地区)	鹿沢地区・高峰地区における植生調査結果
54	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXI (群馬県) 植生. 草津・草原地域 (地蔵岳)	草原地域 (地蔵岳) における植生調査結果
55	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXI (群馬県) 湯ノ丸高原 (植物)	湯ノ丸高原 (植物) における植生調査結果
56	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXI (群馬県) 鍋割山南面	鍋割山南面における植生調査結果
57	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXII (群馬県) 皇海山	皇海山における植生調査結果
58	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXXV (群馬県) 植物. 裂縫丸山周辺 (第1年)	裂縫丸山周辺 (第1年) における植生調査結果
59	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXIV (群馬県) 3植物. 武尊山周辺補完調査	武尊山周辺における植生調査結果
60	良好な自然環境を有する地域学術調査報告書 XXIV (群馬県) 植物. 相馬山・黒岩自然環境保全地域	相馬山・黒岩自然環境保全地域における植生調査結果
61	尾瀬の自然保護 尾瀬の植生と植物相 XXIV 南下田代および八木沢湿原の植生	南下田代および八木沢湿原の植生

表 6-12(4) 使用した文献のリスト

No.	文献名等	概要
62	生物多様性分野における気候変動適応策検討業務報告書	北海道大雪山周辺における、分布推定モデルを用いた気候変動影響評価および適応策の検討
63	生物多様性分野における気候変動適応策検討業務報告書	北海道大雪山周辺における、分布推定モデルを用いた気候変動影響評価および適応策の検討
64	エコシステムマネジメント－包括的な生態系の保全と管理－	気候変動下の生態系管理についての解説
65	生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方（環境省自然環境局）	生物多様性分野における適応策の考え方に関する解説
66	中央アルプス駒ヶ岳 10 年間の植生変化の動向	市民も交えた高山帯における長期のモニタリング調査に関する報告

6.3.3 有識者ヒアリング

有識者ヒアリングの結果は表に示すとおりである。

表 6-13(1) 有識者ヒアリング 結果

NO.	1
ヒアリング対象者	国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 山野 博哉 センター長
日付	2018年06月12日
場所	パシフィックコンサルタンツ株式会社 会議室（東京都千代田区）
概要	<ul style="list-style-type: none"> ● モデル構築の際の過去の植物種確認データ（在データ）の有効性について <ul style="list-style-type: none"> ・ データ量を確保するため、ひとまず全て「在」として用いることが適當。（サンゴ場合は 1930 年代のデータから「在」とした事例がある） ・ データ量が十分に確保できるのであれば、10 年前程度を区切りとしてはどうか。 ● モデル構築の際の留意点について <ul style="list-style-type: none"> ・ モデルにより予測した植生面積を説明変数として用いて、別の分布推定モデルにより個別の種の分布を推定するといった、分布推定モデルによる結果を、更に推定モデルに用いる手法は避けたほうがよい。 ● 亜高山帯植生を対象とする際の留意点について <ul style="list-style-type: none"> ・ 亜高山帯植生は、高山帯とはまた違った反応を示す可能性がある。対象とする種や群落の生理・生態的なレビューに基づき、モデルの説明変数を丁寧に検討する必要がある。

表 6-13(2) 有識者ヒアリング 結果

NO.	2
ヒアリング対象者	国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 生物多様性評価・予測研究室 石濱 史子 主任研究員
日付	2018年10月18日
場所	国立環境研究所
概要	<ul style="list-style-type: none"> ● モデル構築の際の留意点について <ul style="list-style-type: none"> ・ メッシュ内の面積を目的変数とする今回のデータの性質上、使用する確率分布は上限値を持つベータ分布や、正規分布仮定ではあるものの打ち切りを仮定している Tobit モデルを用いるのが適当であると考えられる。 ・ モデルが安定するためには、目的変数となるメッシュ数が十分である必要がある。最低でも、各植生で面積が 0 より大きいメッシュが 30～50 程度は必要である。 ・ 群馬県においては、高山・亜高山帯であっても植生の分布に土地利用等の人為的な影響が寄与している可能性があるため、説明変数に人為的な土地利用を含めることを検討してはどうか。 ● ササ群落の予測について <ul style="list-style-type: none"> ・ ササは高山植生と競合する植生であるため重要ではあるが、モデルによる分布予測は難しい。大雪山の事例では、土壌の発達の程度を考慮するために地質の崩壊しやすさや形成年代を用いたが、良好な結果は得られていない。 ● モデルによる予測結果の解釈の際の留意点について <ul style="list-style-type: none"> ・ 気候変動による高山植生の衰退の要因は、高温により生理的に適応できずに衰退する場合と、競合種の侵入により衰退する場合が考えられる。後者については、適域が拡大したとしても、実際には地下茎の伸長などを通して既存の群落の周辺から拡大すると考えられる。モデルによる予測はあくまでポテンシャルであり、実際の侵入とはタイムラグがあることに留意が必要である。

表 6-13(3) 有識者ヒアリング 結果

NO.	3
ヒアリング対象者	群馬県自然環境調査研究会 吉井 広始 幹事 群馬県自然環境調査研究会 片野 光一 副会長
日付	2019年02月20日
場所	群馬県庁
概要	<ul style="list-style-type: none"> ● 高山・亜高山帯植物の分布情報の収集・抽出手法について <ul style="list-style-type: none"> ・ 文献調査による高山植物の抽出方法に関しては、提示の手法でよい。 ・ 一方で、県内の高山・亜高山帯植物は今年度収集分の文献では不足しているため、後ほど提供する文献を適宜収集対象に加えて補足できるとよい。 ・ 今年度抽出した 198 種の中には、個体数が少ない、分類が困難など、気候変動影響の評価対象としては不適切な種が散見される。今後モニタリング等の適応策を検討する際には、モニタリング対象種を絞り込むプロセスが必要である。 ● 群馬県内の高山・亜高山帯生態系の現況について <ul style="list-style-type: none"> ・ 群馬県内の植生は、既に気候変動以外の影響を強く受けているため、気候変動に着目した影響のみを把握することは難しい可能性がある。 ・ シカの影響は群馬県内の各地で発生しており、尾瀬至仏山、日光白根山から両毛地域で被害拡大中である。日光白根山の地表の植生は、“芝刈り状態”である。ツツジもディアライン以下は壊滅状態で、この状態が拡大しつつある。上野原地区も壊滅的である。 ・ 群馬県内におけるシカの生息状況は未調査である。袈裟丸山では、獣期以外にもメスを捕獲しているが、個体数の減少は感じられない。谷川連峰にシカがどこまで到達しているか不明である。嬬恋にはまだシカは到達していない。上州武尊山の高標高地にシカが到達している。 ・ 盗掘の影響も県内各地で問題が顕在化している。 ・ 平ヶ岳のハイマツ帯の範囲が 20 年位前から縮小している。 ・ 芳ヶ平に良好な湿地が存在する。一般的に温暖化が進むと湿地は縮小するとされているが、群馬県は縄文温暖期の湿地が多いので、温暖化でむしろ適域が拡大する可能性もある。湿地の分布は気温の上昇よりも降水量や雪の降り方の変化に伴う影響が大きい。

	<ul style="list-style-type: none"> ● 高山・亜高山帯における適応策の可能性について <ul style="list-style-type: none"> ・ ササ刈の影響や効果を長期的にモニタリングしたデータはない。適応策としてササを刈ったとしても、若いササが侵入し蒸散速度が加速することで、かえって土壌の乾燥化につながる恐れもある。適応策の検討の際は、慎重な判断が必要である。 ・ まずはモニタリング対象となる対象種リストを作成することが重要である。その際は、アクセス性や発見のしやすさなどの調査の持続性で絞り込むことや、気候変動のみの影響を検知できるように、他の要因による影響が少ない種を対象とすることが考えられる。また、植物の区系界に着目し、周北極要素、ベーリング要素、オホーツク要素などの北方系植物を対象とすることが考えられる。
--	--

表 6-13(4) 有識者ヒアリング 結果

NO.	4
ヒアリング対象者	国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 生物多様性評価・予測研究室 石濱 史子 主任研究員
日付	2019年03月12日
場所	国立環境研究所
概要	<ul style="list-style-type: none"> ● モデル構築の際の留意点について <ul style="list-style-type: none"> ・ 将来予測を行う際は、外挿をなるべく避けるため、将来において取り得る気候のレンジが現状の解析範囲の中に含まれているとよい。 ● モデルの評価や精度改善の方策について <ul style="list-style-type: none"> ・ モデルの精度検証やモデルに用いた説明変数の重要度の算出方法は、提示の手法でよい。 ・ より解像度の高い情報(「高解像度土地利用土地被覆データ(JAXA)」等)を用いることで、亜高山帯性広葉樹林などの予測が改善する可能性はある。 ● 高山・亜高山帯における適応策の可能性について <ul style="list-style-type: none"> ・ 生物多様性分野の適応策の一つの方向は、気候変動以外の要因を最小化するということがある。今回の調査で、気候が温暖化した状況下でも残存する場所を特定できれば、そこを確実に残すために保全の優先順位を上げるといった、保全施策の優先順位の検討材料を提供することは可能であると考えられる。

表 6-13(5) 有識者ヒアリング 結果

NO.	5
ヒアリング対象者	国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター 山野 博哉 センター長
日付	2020年02月07日
場所	国立環境研究所
概要	<ul style="list-style-type: none"> ● 高山・亜高山帯における適応策の可能性について <ul style="list-style-type: none"> ・ スキー場のリフト運営者などは、気象情報に関する精緻なモニタリングデータを保有している場合もある。このようなデータが収集できれば、より精度の高いバイアス補正等が可能となる。モニタリングデータの収集には、このような事業者と連携していくこともひとつのオプションとして挙げられる。 ・ 積雪条件の把握には、衛星画像の活用も有効である。現在進めている研究の中で、高解像度の衛星（DOVE衛星）を活用したモニタリングを検討中である。 ・ 高山・亜高山帯地域は主に県境に広がっているため、県単独では取りうる適応策が、その範囲が限られてしまう可能性もある。国立公園に指定されている箇所であれば、国立公園の範囲では一体的に施策を検討できる可能性もあるため、担当の自然保護官等との連携が重要である。

6.3.4 観測および実証実験

本調査においては、観測および実証実験は行っていない。

6.3.5 気候変動影響予測手法の検討

影響予測の対象は高山・亜高山帯に分布する植生とした。気候変動による高山・亜高山帯植生の分布の変化を把握するため、影響予測手法としては分布推定モデルを用いることとした。分布推定モデルは、対象とする種や景観の分布と、その分布を規定する気候条件や地形的条件とを統計的な関係をモデリングし、対象の分布適地を推定するものである。

まず、広域的に整備されている植生図や地形データ、気候シナリオによる現在の気候情報等を用いて植生レベルでの分布推定モデルを構築した。構築したモデルの精度を検証した後、気候条件のみ気候モデルによる将来予測地とすることで将来の分布適地を予測した。

6.3.6 影響予測モデルに関する情報

6.3.6.1 解析対象範囲の設定

本調査で検討した分布推定モデルの解析対象範囲は、図 6-34 に示すとおりである。

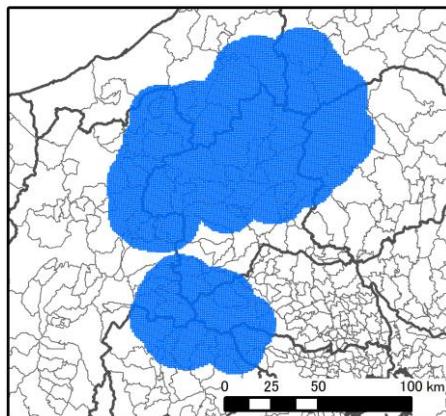


図 6-34 植生分布推定モデルの解析対象範囲

6.3.6.2 植生分布予測モデルの構築

構築したモデルの概要を図 6-35 に示す。分布推定モデル構築の際は、推定に用いたモデリング手法により推定結果にばらつきが生じ、将来予測における不確実性の大きな原因となっていることが指摘されている。したがって、本調査ではモデリング手法間の推定結果のばらつきを考慮するために、複数のモデリング手法を用いるアンサンブルアプローチを採用した。使用した分布推定モデルは、専門家ヒアリングを踏まえて GLM (Poisson 分布)、GLM (Tobit 分布)、GAM (Betar 分布)、GAM (Tobit 分布)、Random Forest の 5 手法を検討した。プレ解析の結果から、GAM (Betar 分布) については良好な精度が得られなかつたため、最終的な解析にあたっては GAM (Betar 分布) を除く 4 手法を採用した。

これらの解析には R ver 3.4.3 (R development Core Team 2017) を用いた。

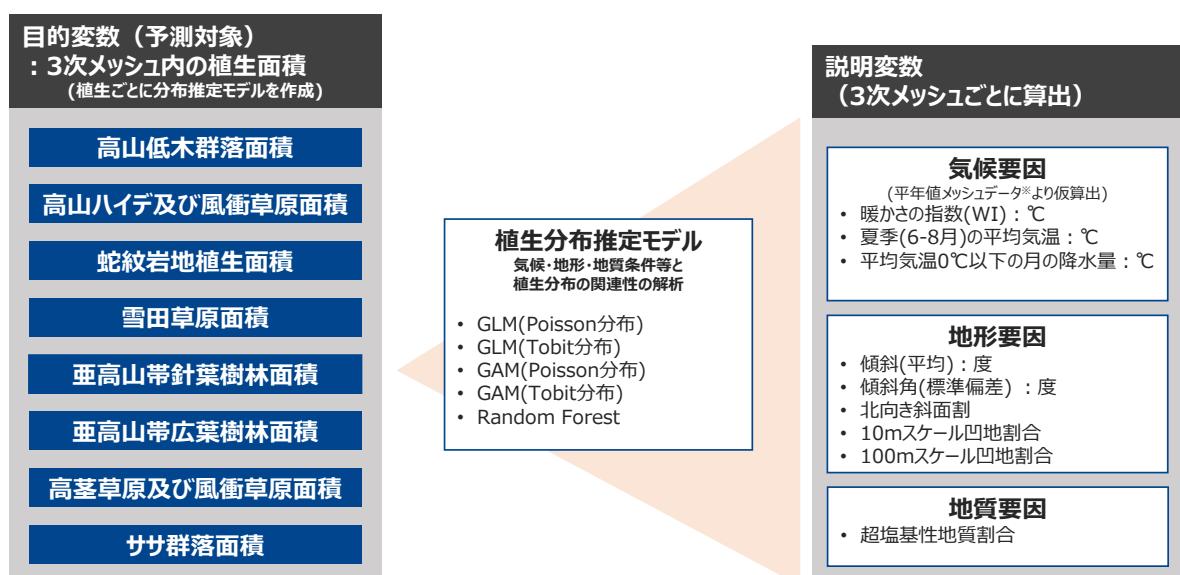


図 6-35 構築した分布推定モデルの模式図

6.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

6.3.7.1 基盤環境データ

高山・亜高山帯植生の現状把握と予測のために、植生・地形・気象・土地利用等の情報の収集を行った。分布推定の対象とする高山・亜高山帯植生については、第6・7回自然環境保全基礎調査植生図の凡例を基に表6-14のとおり10カテゴリに区分した。これらは地理情報システム上で3次メッシュ（約1km×1km）のメッシュデータとして統合した。収集したデータの詳細は表6-15に示す。

表6-14(1) 環境省植生図の凡例と対象とした高山・亜高山帯植生の分類の対応

環境省植生図凡例		全国標準土地利用メッシュデータ凡例	再分類結果
植生区分	植生大区分		
高山帯自然植生域	高山低木群落	高山低木群落	高山低木群落
		コケモモーハイマツ群集	高山低木群落
	高山ハイデ及び風衝草原	高山ハイデ及び風衝草原	高山ハイデ及び風衝草原
		コメバツガザクラーミネズオウ群集	高山ハイデ及び風衝草原
		コマクサーイワツメクサクラス	高山ハイデ及び風衝草原
		蛇紋岩地植生（I）	蛇紋岩地植生
	雪田草原	雪田草原	雪田草原
		イワイチョウエショウジヨウスグ群集	雪田草原
コケモモートウヒクラス域自然植生	亜高山帯針葉樹林	オオシラビソ群集	常緑針葉樹林（自然林）
		シラビソーオオシラビソ群集	常緑針葉樹林（自然林）
		コメツガ群落	常緑針葉樹林（自然林）
		カラマツ群落	落葉針葉樹林（自然林）
		マイヅルソウーコメツガ群集	落葉針葉樹林（自然林）
		イラモミ群落	落葉針葉樹林（自然林）
	亜高山帯広葉樹林	ミドリユキザサダケカンバ群団	落葉広葉樹林（自然林）
		ミヤマハンノキ群落	高山植生
		ササダケカンバ群落	落葉広葉樹林（自然林）
		オオバユキザサーヤハズハンノキ群集	落葉広葉樹林（自然林）
		ナナカマドーミネカエデ群落	落葉広葉樹林（自然林）
		高茎草原及び風衝草原	高茎草原及び風衝草原
	高茎草原及び風衝草原	シナノキンバイーミヤマキンボウゲ群団	その他の自然草原
		ササ群落	ササ群落
		チシマザサ群落（II）	ササ群落
コケモモートウヒクラス域代償植生	亜高山帯二次林	ダケカンバ群落（II I）	落葉広葉樹林（二次林）
		ササ群落（II II）	ササ
	二次草原	チシマザサ群落（II I）	ササ
		ヒグノガリヤス群落	二次草原（高）
	伐採跡地群落	伐採跡地群落（II II）	二次草原（低）

表 6-14(2) 環境省植生図の凡例と対象とした高山・亜高山帯植生の分類の対応

環境省植生図凡例			全国標準土地利用メッシュデータ凡例	再分類結果
植生区分	植生大区分	統一凡例		
ブナクラス域自然植生	岩角地針葉樹林	アカマツ群落 (IV)	常緑針葉樹林 (自然林)	岩角地植生
		ヒメコマツ群落	常緑針葉樹林 (自然林)	岩角地植生
		岩角地・風衝地低木群落	自然低木群落	岩角地植生
		ウラジロヨウラクーミヤマナラ群団	落葉広葉樹林 (自然林)	岩角地植生
		ミヤマナラ群落	落葉広葉樹林 (自然林)	岩角地植生
河辺・湿原・塩沼地・砂丘植生等	湿原・河川・池沼植生	ツルコケモモーミズゴケクラス	湿地草原	山地湿原
		スマガヤオーダー	湿地草原	山地湿原
河辺・湿原・塩沼地・砂丘植生等	岩角地・石灰岩地・蛇紋岩地植生	岩壁植生	崖	寒荒原植生
		岩角地植生	(対応なし)	寒荒原植生
	火山荒原植生・硫気孔原植生	硫気孔原植生	火山荒原・硫気孔原	寒荒原植生
その他	市街地等	多年性雪渓	(対応なし)	寒荒原植生

表 6-15 基盤環境情報として収集・整理したデータ一覧

区分	収集した情報		単位	データの加工元
高山・亜高山帯植生の分布情報	高山低木群落面積	ha	環境省 第6・7回自然環境保全基礎調査植生図	
	高山ハイデ及び風衝草原面積	ha		
	蛇紋岩地植生面積	ha		
	雪田草原面積	ha		
	亜高山帯針葉樹林面積	ha		
	亜高山帯広葉樹林面積	ha		
	高茎草原及び風衝草原面積	ha		
	ササ群落面積	ha		
	その他の植生(2次林等)	ha		
基盤情報	地形	標高(平均)	m	国土地理院基盤地図情報 10m メッシュ標高モデル(DEM)
		傾斜(平均)	度	
		傾斜角(標準偏差)	度	
		10m スケール凹地割合(曲率)	-	
		100m スケール凹地割合(曲率)	-	
		1000m スケール凹地割合(曲率)	-	
		北向き斜面割合(8方位)	-	
		北向き斜面割合(4方位)	-	
	地質	超塩基性地質割合	-	産業総合研究所 25万分の1シームレス地質図
	気候	寒さの指数	-	国土交通省 国土数値情報 年平均値メッシュ
		暖かさの指数	-	
		年平均降水量	mm	
		年平均気温	°C	
		夏季(6-8月)の平均気温	°C	
		最寒月の月最低気温	°C	
		夏季(6-8月)の降水量	mm	
		冬期(12-3月)の降水量	mm	
		平均気温 0°C以下の月の降水量	mm	
		平均気温 0°C以上の月の降水量	mm	
		年最深積雪深	cm	
土地利用	農地面積	ha	全国標準土地利用メッシュ ²	
	住宅地等面積	ha		

² 小川みふゆ, 竹中明夫, 角谷拓, 石濱史子, 山野博哉, 赤坂宗光 (2013) 植生図情報を用いた全国スケールでの土地利用図の作成. 保全生態学研究 18:69-76.

6.3.7.2 説明変数の検討

基盤環境情報として収集した 22 の変数から、多重共線性を避けるために互いに相関の強い変数が見られた場合はどちらかを除外し、表 6-16 に示す 9 の変数をモデル構築に用いた。なお、土地利用に関する 2 変数(農地面積、住宅地等面積)は、予備解析の時点でいずれの植生においても有意な変数として選択されなかつたため、変数から除外した。

表 6-16 分布推定モデルに使用した説明変数の一覧

区分	変数	単位
気候	暖かさの指数 (現在)	-
	平均気温 0°C 以上の月の年降水量 (現在)	°C
	平均気温 0°C 以下の月の降水量 (現在)	mm
地形	傾斜(平均)	度
	傾斜角(標準偏差)	度
	10m スケール凹地割合(曲率)	-
	100m スケール凹地割合(曲率)	-
	北向き斜面割合(4 方位)	-
地質	超塩基性地質割合	-

6.3.7.3 植生分布予測モデルによる将来の分布予測

構築したモデルについて、気候条件 (暖かさの指数、平均気温 0°C 以上の月の年降水量、平均気温 0°C 以下の月の降水量) を気候シナリオに将来予測値として、それぞれのシナリオ下における分布適地を予測した。

6.3.7.4 対策優先地域のモデルケースの設定・モニタリング対象候補種の抽出

(1) 保護地域ごとの植生分布適地の整理

分布推定モデルにより予測した将来の気候シナリオ下における高山・亜高山帯植生の分布適域の予測結果を、既存の保護地域（県および国指定自然環境保全地域）ごとに整理することで、保護地域ごとの植生の変化を把握した。その上で、将来における植生ごとの分布適域の残存の程度等をもとに、適応策を検討する上で優先的に対応するべき地域を「対策優先地域」のモデルケースとして抽出した。

対象とする保護地域は、図 6-36 に示すとおりである。群馬県内の自然環境保全地域のうち、高山・亜高山帯を特色とする 7 地域を集計の対象とした。



図 6-36 対象とした自然環境保全地域

(2) モニタリング対象候補種の抽出

文献調査の結果から、「対策優先地域」のモデルケースとして選定した保護地域において、確認されている高山・亜高山帯植物を抽出した。抽出した高山・亜高山帯植物の中から、発見のしやすさや識別の容易さ、気候への感度等の視点から、モニタリングにより気候変動影響を観測・監視する上で調査対象となりうる高山・亜高山帯植物種を選定した。

6.3.8 影響予測における留意事項（制限事項）

本調査において使用した植生分布推定モデルは、現在の植生の分布と、気候や地形等の条件との対応関係を統計的に把握し、その関係性をもとに気候条件のみを将来予測値とした場合の分布適域の変化を推定するものである。したがって、本手法により推定されるものは分布適域であり、種子散布距離や各植生の移動分散プロセスを考慮した実際の移動速度を推定するものではない。また、対象地域ではシカによる食害等の気候変動以外の要因による植生の変化が確認されているが、それらの要因は本手法においては考慮していない。

より詳細な適応策へ向けては、本調査で構築した統計的（経験的）モデルに加え、対象種の移動分散速度や現存量の推定が可能なメカニスティック（機構的）モデル³の開発等も望まれる。

³ 環境変化に対する生物の成長などのプロセスを考慮したモデルを構築し、気候変動に対する変化予測を行う手法。モデル構築の際に生活史に係る詳細な定量データが必要である。

6.4 調査結果

6.4.1 文献調査結果

群馬県の既存の保護地域における、高山・亜高山帯植物の分布情報を文献調査により収集した。文献調査の結果、調査対象地域で生育が確認されている 59 科 238 種の高山・亜高山植物とその分布情報を収集した。収集した高山・亜高山帯植物種の、高山・亜高山帯の既存の保護地域別の確認結果は表 6-17 に示すとおりである。

表 6-17 地域別の高山・亜高山帯植物の収集結果

地域名	全種数	高山・亜高山帯植物種数
巻機山東面	42科132種	40科112種
袈裟丸山	45科142種	20科34種
皇海山	18科32種	12科19種
至仏山・笠ヶ岳西面	69科239種	45科143種
朝日岳・白毛門山東面	16科22種	16科21種
平ヶ岳・白沢山西面	44科125種	39科101種
利根川源流	42科107種	37科80種
合計	88科456種	59科238種

6.4.2 有識者ヒアリングの結果

専門家ヒアリングにおいて明らかになった知見等を以下に示す。

＜分布推定モデルに関する事項＞

- モデル構築の際の過去の植物種確認データ（在データ）の有効性について
 - ・ データ量を確保するため、ひとまず全て「在」として用いることが適當。（サンゴ場合は 1930 年代のデータから「在」とした事例がある）（ヒアリング 1）
 - ・ データ量が十分に確保できるのであれば、10 年前程度を区切りとしてはどうか。（ヒアリング 1）
- モデル構築の際の留意点について
 - ・ モデルにより予測した植生面積を説明変数として用いて、別の分布推定モデルにより個別の種の分布を推定するといった、分布推定モデルによる結果を、更に推定モデルに用いる手法は避けたほうがよい。（ヒアリング 1）
 - ・ メッシュ内の面積を目的変数とする今回のデータの性質上、使用する確率分布は上限値を持つベータ分布や、正規分布仮定ではあるものの打ち切りを仮定している Tobit モデルを用いるのが適當であると考えられる。（ヒアリング 2）
 - ・ モデルが安定するためには、目的変数となるメッシュ数が十分である必要がある。

最低でも、各植生で面積が 0 より大きいメッシュが 30～50 程度は必要である。

(ヒアリング 2)

- 将来予測を行う際は、外挿をなるべく避けるため、将来において取り得る気候のレンジが現状の解析範囲の中に含まれているとよい。(ヒアリング 4)
- 群馬県においては、高山・亜高山帯であっても植生の分布に土地利用等の人為的な影響が寄与している可能性があるため、説明変数に人為的な土地利用を含めることを検討してはどうか。(ヒアリング 2)
- ササ群落の予測について
 - ササは高山植生と競合する植生であるため重要ではあるが、モデルによる分布予測は難しい。大雪山の事例では、土壤の発達の程度を考慮するために地質の崩壊しやすさや形成年代を用いたが、良好な結果は得られていない。(ヒアリング 2)
 - ササは風衝地に多いが、本種の分布範囲の予測は難しいだろう。群馬県は積雪と風の影響が特に強い。丹後山や水上山、谷川に生育するササは、ほぼ風衝に生育する。しかし風衝地を再現するデータが不足している。(ヒアリング 3)
- 亜高山帯植生を対象とする際の留意点について
 - 亜高山帯植生は、高山帯とはまた違った反応を示す可能性がある。対象とする種や群落の生理・生態的なレビューに基づき、モデルの説明変数を丁寧に検討する必要がある。(ヒアリング 1)
- モデルの評価や精度改善の方策について
 - モデルの精度検証やモデルに用いた説明変数の重要度の算出方法は、提示の手法でよい。(ヒアリング 3)
 - より解像度の高い情報(「高解像度土地利用土地被覆データ (JAXA)」等)を用いることで、亜高山帶性広葉樹林などの予測が改善する可能性はある。(ヒアリング 4)
- モデルによる予測結果の解釈の際の留意点について
 - 気候変動による高山植生の衰退の要因は、高温により生理的に適応できずに衰退する場合と、競合種の侵入により衰退する場合が考えられる。後者については、適域が拡大したとしても、実際には地下茎の伸長などを通して既存の群落の周辺から拡大すると考えられる。モデルによる予測はあくまでポテンシャルであり、実際の侵入とはタイムラグがあることに留意が必要である。(ヒアリング 2)

<高山・亜高山帯植物の分布情報の整理に関する事項>

- 高山・亜高山帯植物の分布情報の収集・抽出手法について
 - 文献調査による高山植物の抽出方法に関しては、提示の手法でよい。(ヒアリング 3)
 - 一方で、県内の高山・亜高山帯植物は今年度収集分の文献では不足しているため、

後ほど提供する文献を適宜収集対象に加えて補足できるとよい。(ヒアリング 3)

- 平成 30 年度に抽出した 198 種の中には、個体数が少ない、分類が困難など、気候変動影響の評価対象としては不適切な種が散見される。今後モニタリング等の適応策を検討する際には、モニタリング対象種を絞り込むプロセスが必要である。(ヒアリング 3)

<群馬県内の高山・亜高山生態系の現況について>

- 群馬県内の植生は、既に気候変動以外の影響を強く受けているため、気候変動に着目した影響のみを把握することは難しい可能性がある。(ヒアリング 3)
- シカの影響は群馬県内の各地で発生しており、尾瀬至仏山、日光白根山から両毛地域で被害拡大中である。日光白根山の地表の植生は、“芝刈り状態”である。ツツジもディアライン以下は壊滅状態で、この状態が拡大しつつある。上野原地区も壊滅的である。(ヒアリング 3)
- 群馬県内におけるシカの生息状況は未調査である。袈裟丸山では、獵期以外にもメスを捕獲しているが、個体数の減少は感じられない。谷川連峰にシカがどこまで到達しているか不明である。嬬恋にはまだシカは到達していない。上州武尊山の高標高地にシカが到達している。(ヒアリング 3)
- 盗掘の影響も県内各地で問題が顕在化している。(ヒアリング 3)
- 平ヶ岳のハイマツ帯の範囲が 20 年位前から縮小している。(ヒアリング 3)
- 芳ヶ平に良好な湿地が存在する。一般的に温暖化が進むと湿地は縮小するとされているが、群馬県は縄文温暖期の湿地が多いので、温暖化でむしろ適域が拡大する可能性もある。湿地の分布は気温の上昇よりも降水量や雪の降り方の変化に伴う影響が大きい。(ヒアリング 3)

<適応策の検討に関する事項>

- 高山・亜高山帯における適応策の可能性について
 - 生物多様性分野の適応策の一つの方向は、気候変動以外の要因を最小化するということがある。今回の調査で、気候が温暖化した状況下でも残存する場所を特定できれば、そこを確実に残すために保全の優先順位を上げるといった、保全施策の優先順位の検討材料を提供することは可能であると考えられる。(ヒアリング 4)
 - ササ刈りの影響や効果を長期的にモニタリングしたデータはない。適応策としてササを刈ったとしても、若いササが侵入し蒸散速度が加速することで、かえって土壤の乾燥化につながる恐れもある。適応策の検討の際は、慎重な判断が必要である。(ヒアリング 3)
 - まずはモニタリング対象となる対象種リストを作成することが重要である。その際は、アクセス性や発見のしやすさなどの調査の持続性で絞り込むことや、気候変動のみの影響を検知できるように、他の要因による影響が少ない種を対象とすることが考えられる。また、植物の区系界に着目し、周北極要素、ベーリング要素、オホーツク要素などの北方系植物を対象とすることが考えられる。(ヒアリング 3)

6.4.3 観測や実証実験の結果

本調査においては、観測および実証実験は行っていない。

6.4.4 気候変動影響予測結果

6.4.4.1 植生分布予測結果

対象とした10の植生に関する、将来の分布適地の空間分布は次項に示すとおりである。予測対象とした植生の多くにおいて、気候変動の進行に伴う生育適域面積の減少が予測された。一方、将来においても一定程度の適域面積が残存する地域が確認されているため、これらの地域は、レフュージア(逃避地)として保全上重要な地域であると考えられる。

解析範囲全体における、植生ごとの分布適域の合計面積の変化は図6-37に示すとおりである。現在の分布適地と比較して、気候変動の深刻化にともない適地が減少する傾向が明らかとなった。

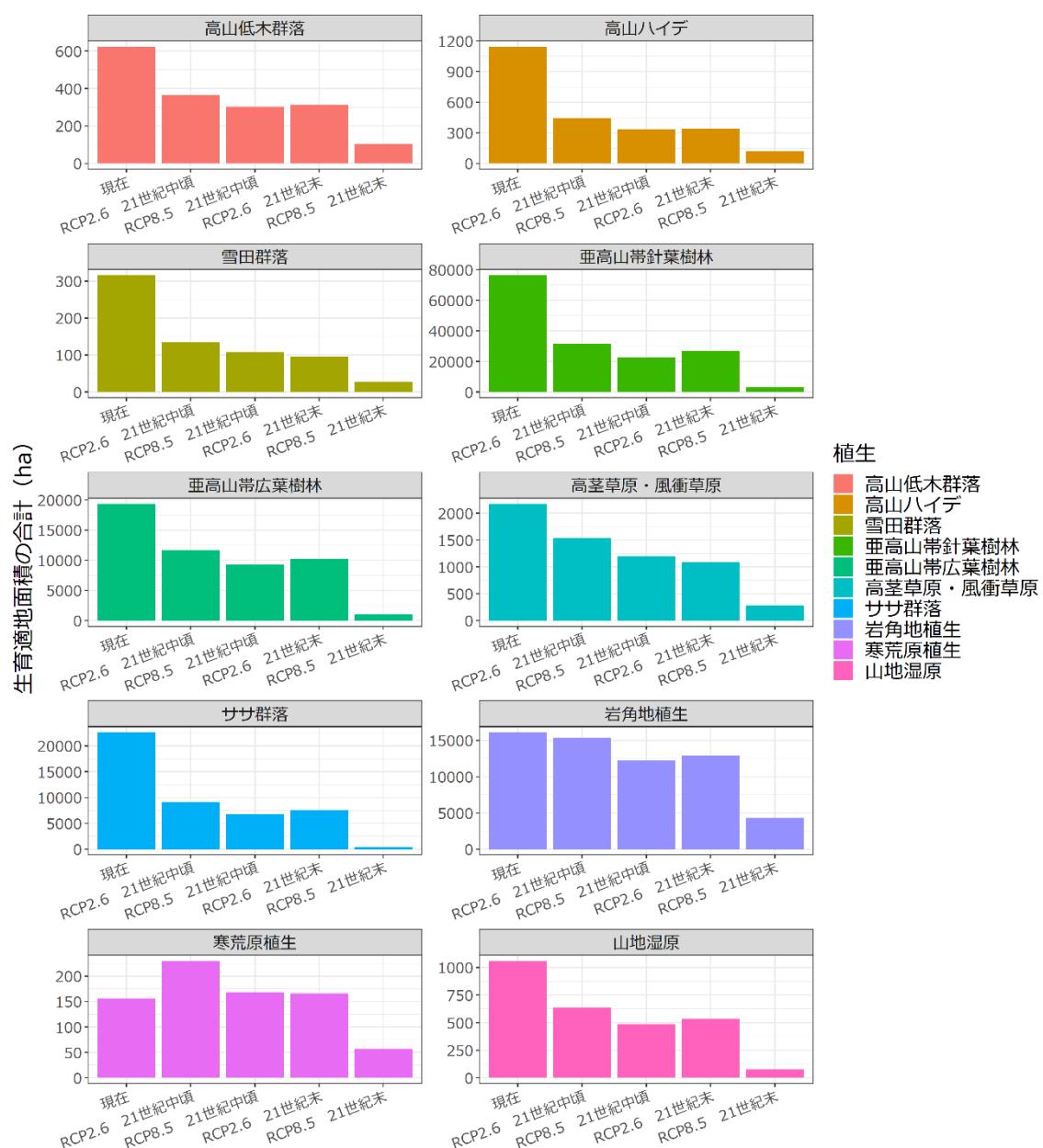


図 6-37 分布推定モデルによる植生ごとの分布適域の将来予測結果

(1) 植生分布予測（高山低木群落）

現在は尾瀬地域西側の至仏山周辺にまとまった生育地が確認される。将来においては適域の減少が確認されるが、至仏山の生育地は RCP8.5 の 21 世紀末においても一定程度残存する可能性がある。

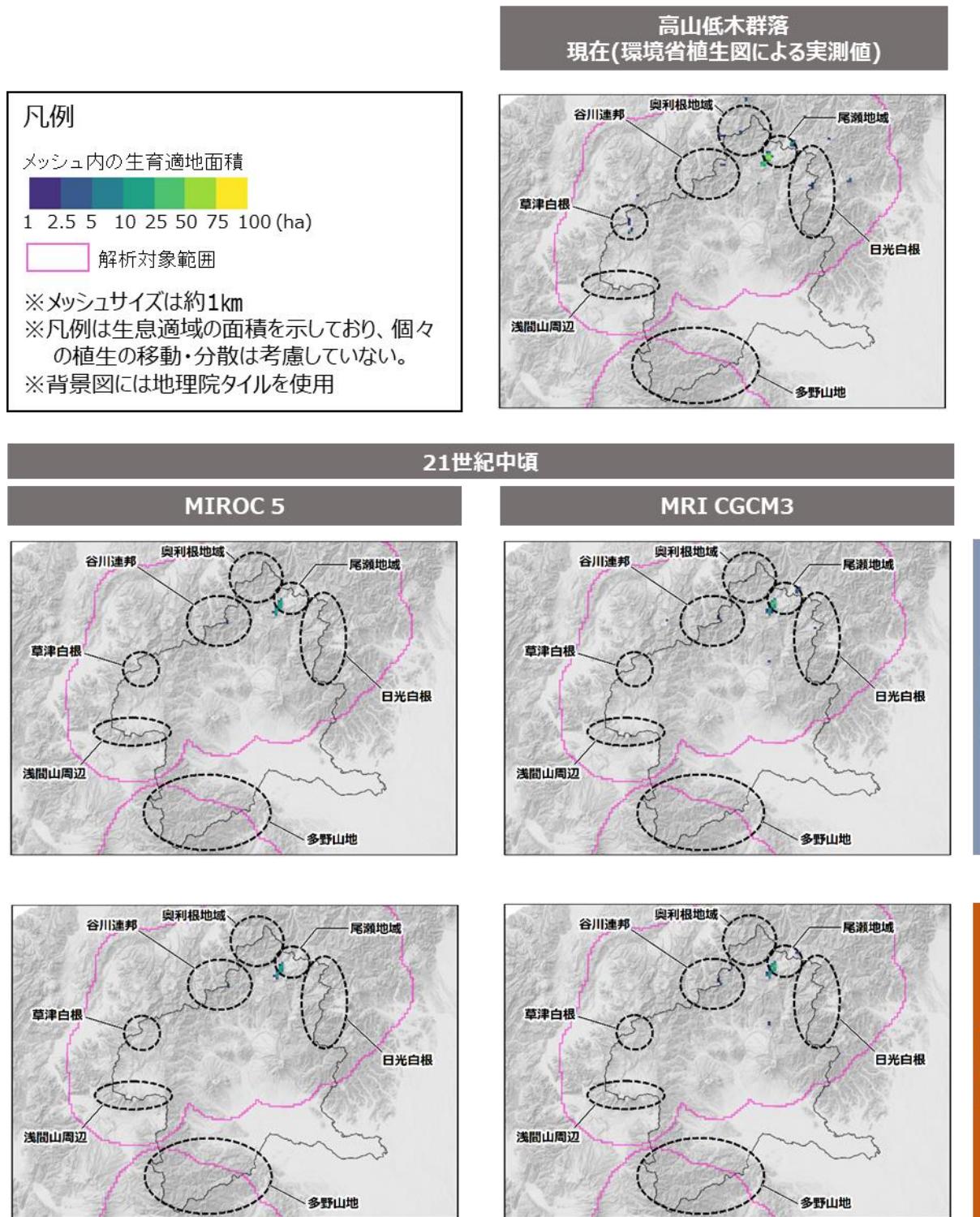


図 6-38 分布適地の予測結果（高山低木群落・21世紀中頃）

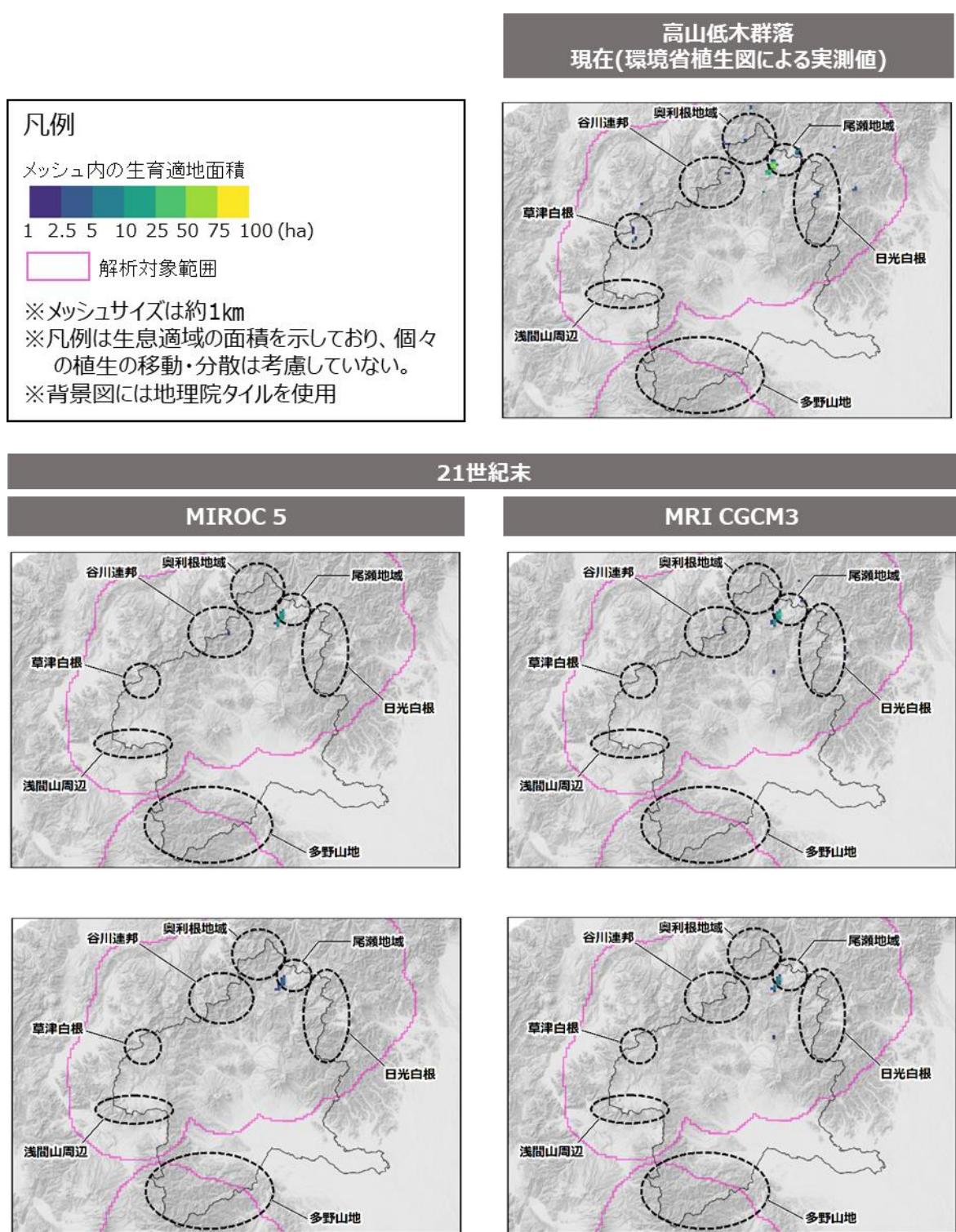


図 6-39 分布適地の予測結果 (高山低木群落・21世紀末)

(2) 植生分布予測（高山ハイデ群落）

現在は浅間山周辺や草津白根山周辺にまとまった生育地が確認される。将来においては適域の減少が確認され、特に草津白根山では適域の消失が予測されている。一方、浅間山周辺の生育地はRCP8.5の21世紀末においても一定程度残存する可能性がある。

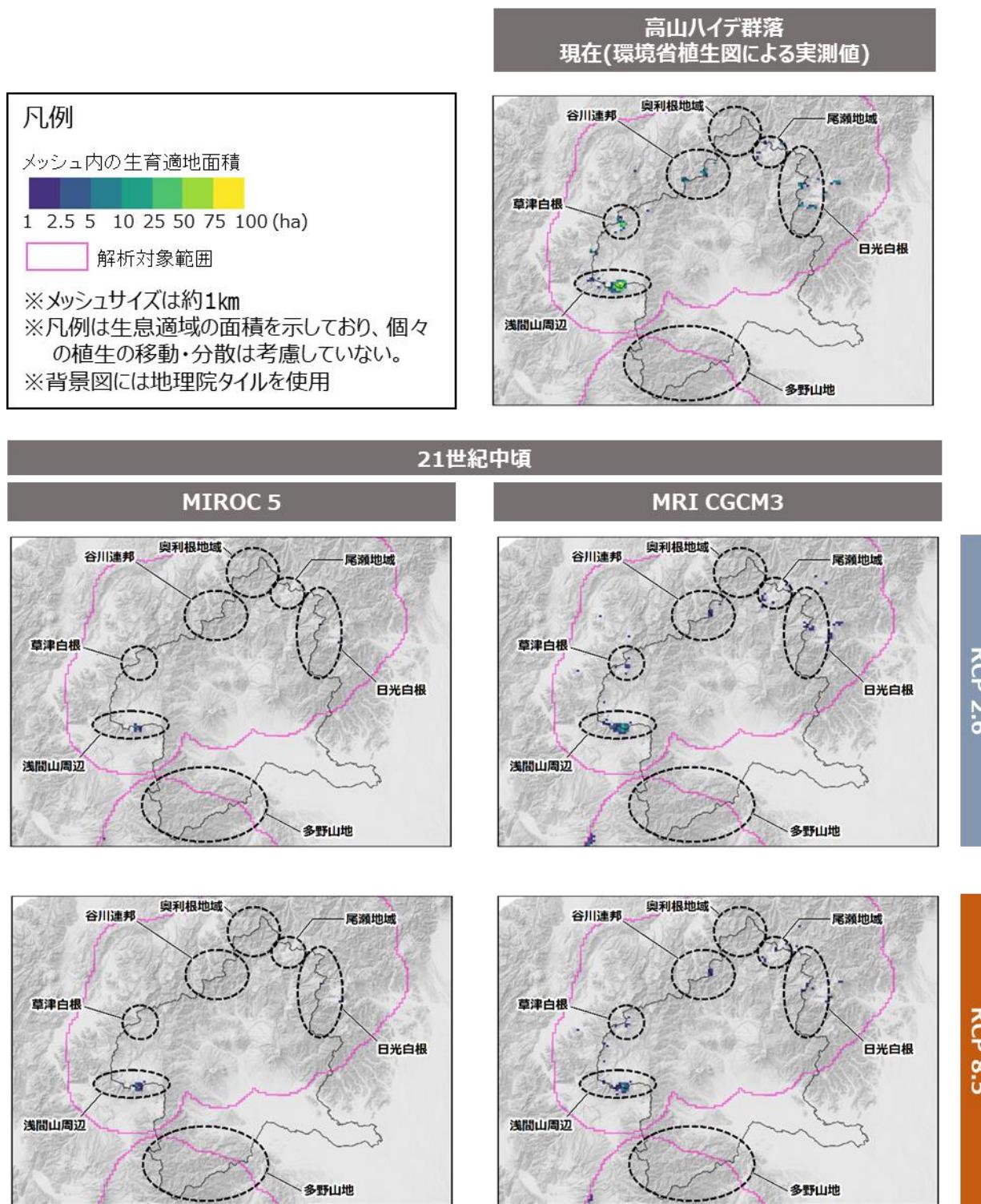


図 6-40 分布適地の予測結果（高山ハイデ群落・21世紀中頃）

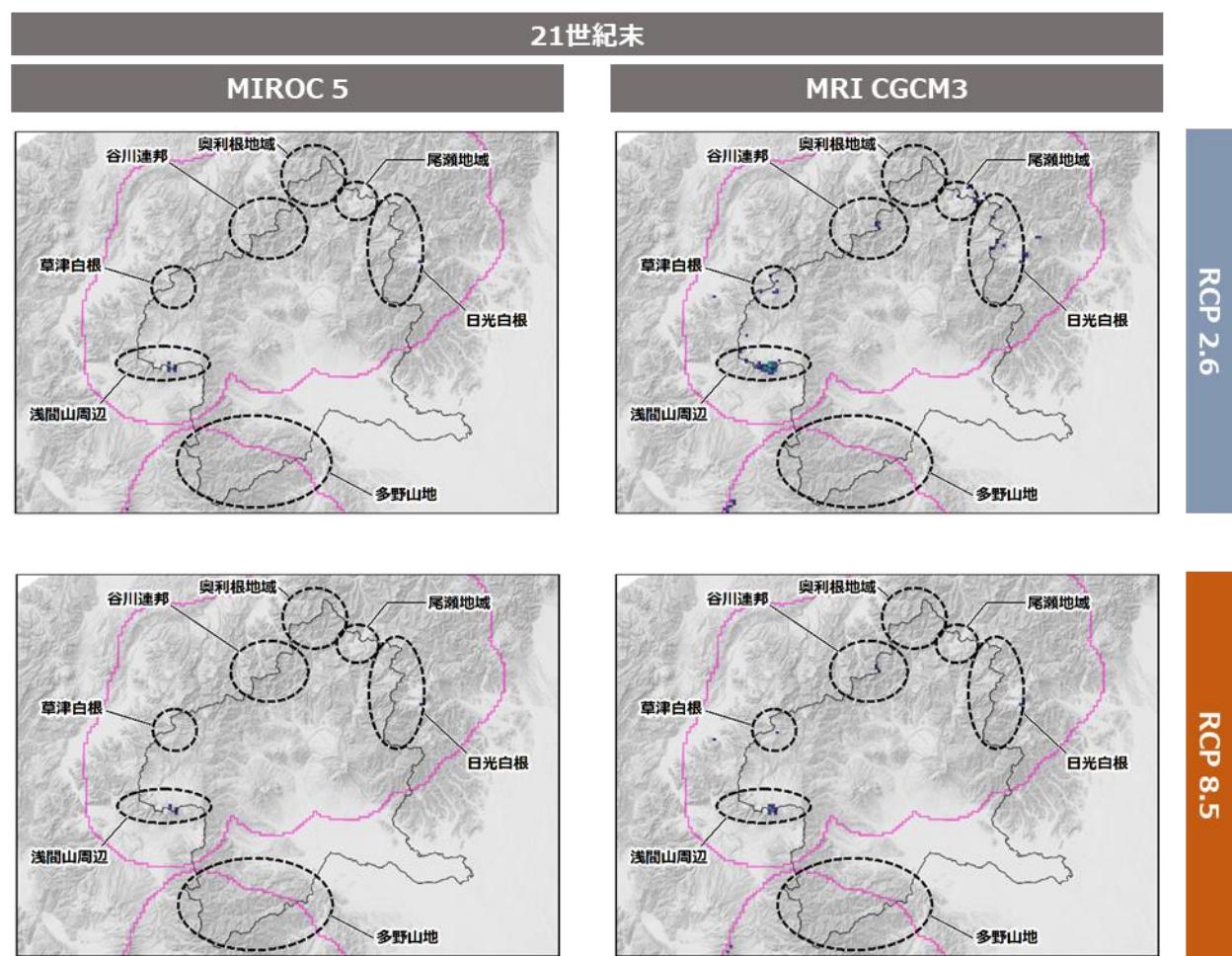
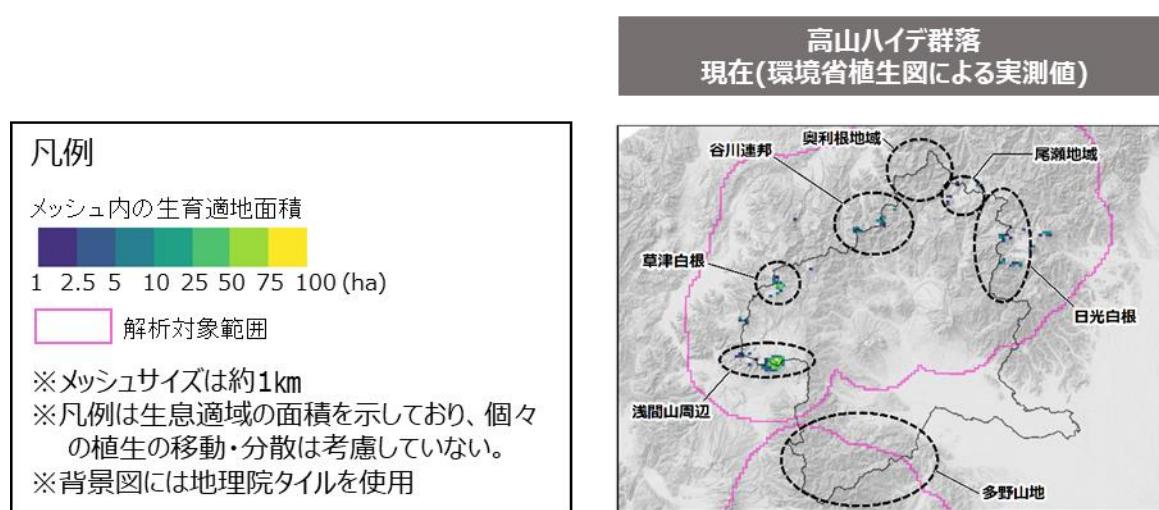


図 6-41 分布適地の予測結果 (高山ハイデ群落・21世紀末)

(3) 植生分布予測（雪田群落）

現在は尾瀬地域西側の至仏山周辺、及び谷川連峰にまとまった生育適地が確認される。谷川連峰の生育適地は、21世紀後半にはRCP2.6においても消失が予測される。一方、至仏山周辺の生育地は適地面積が減少するものの、RCP8.5においても残存する可能性がある。

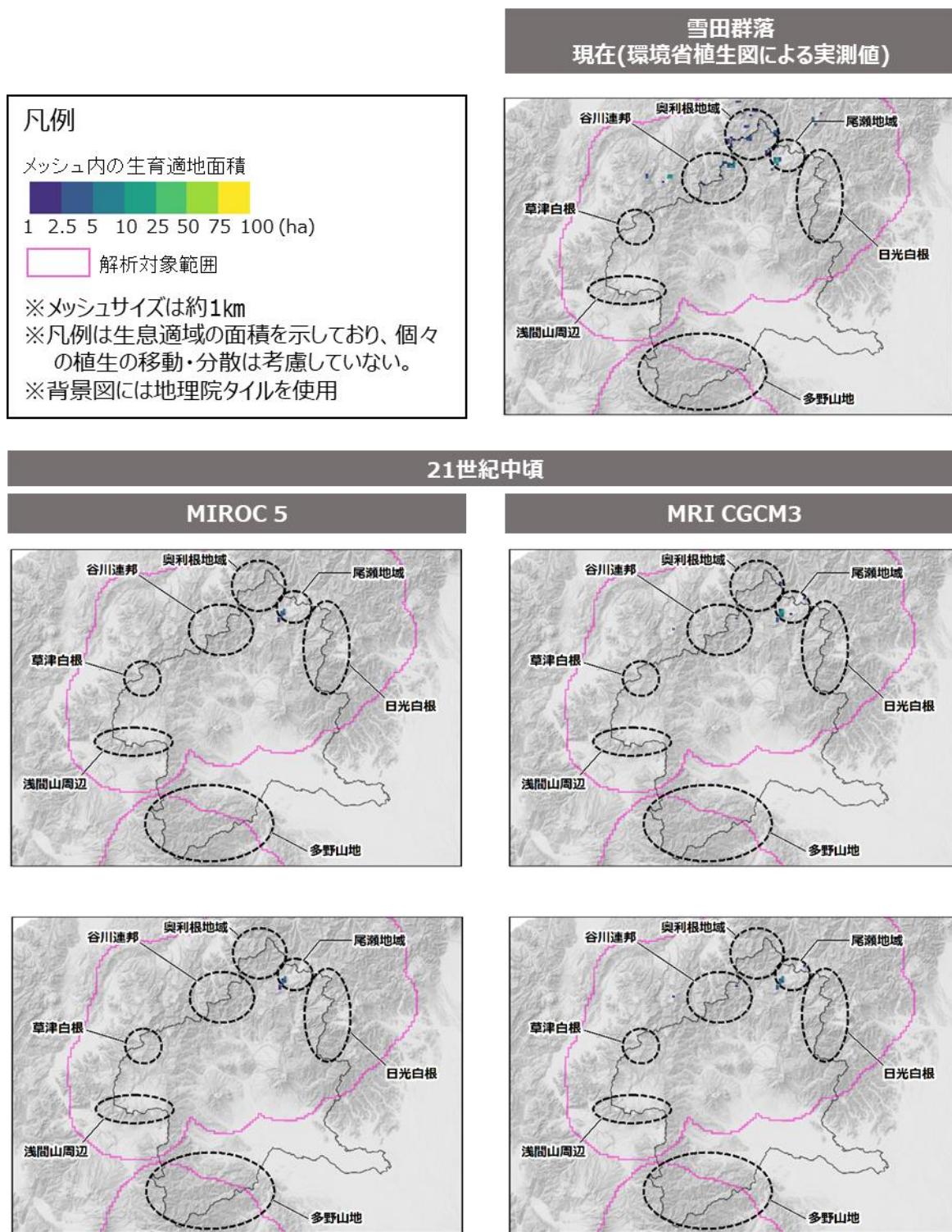


図 6-42 分布適地の予測結果（雪田群落・21世紀中頃）

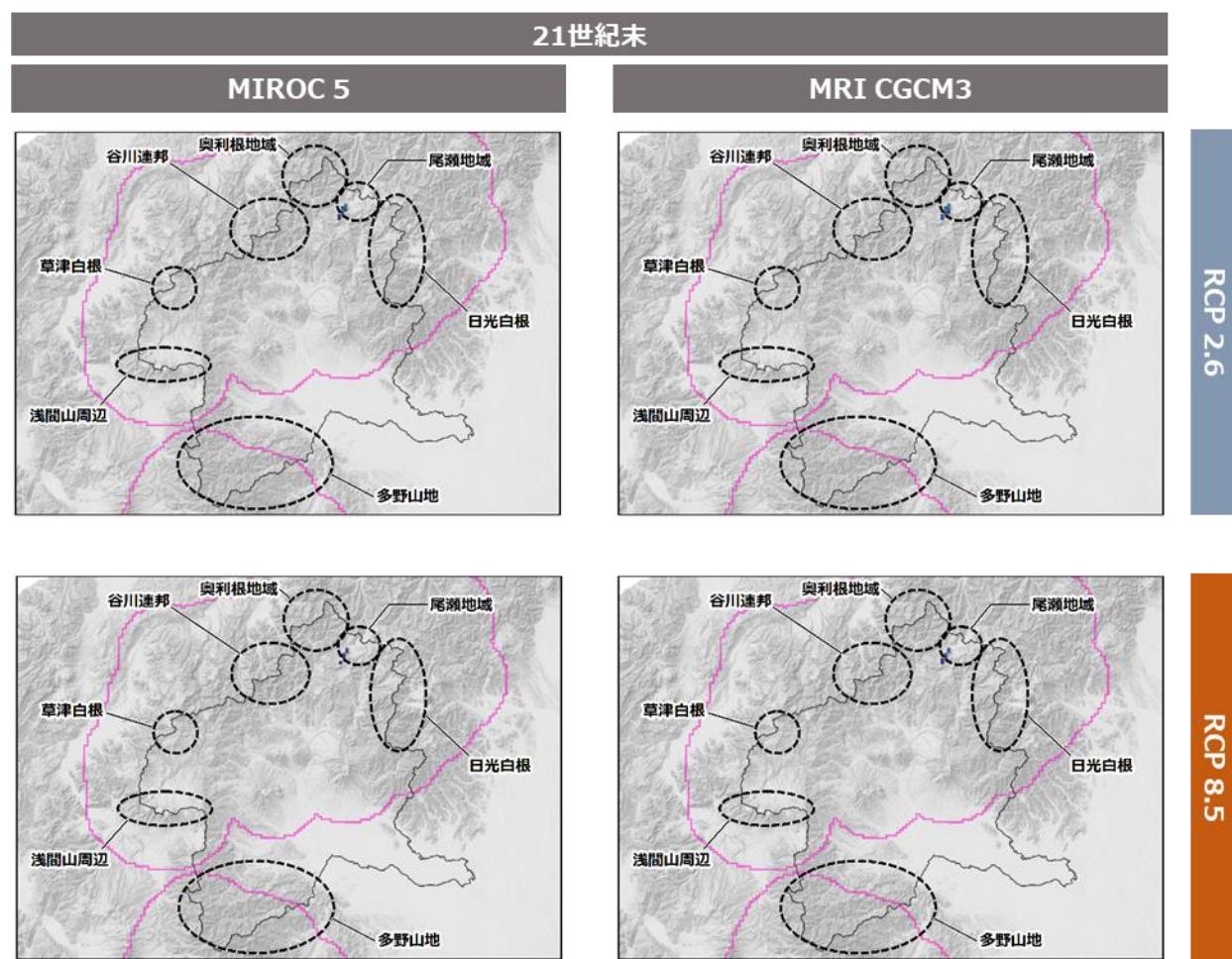
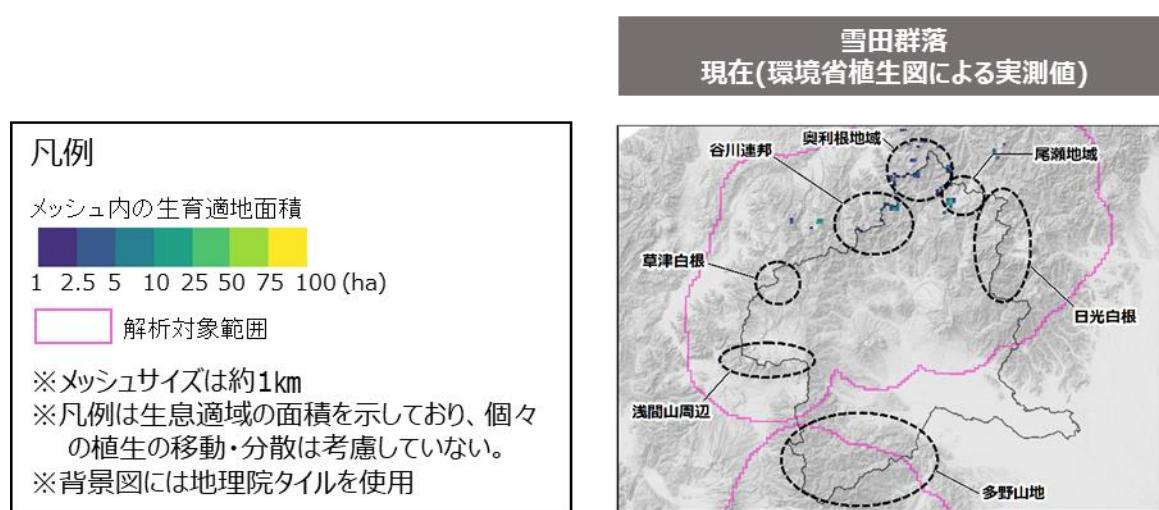
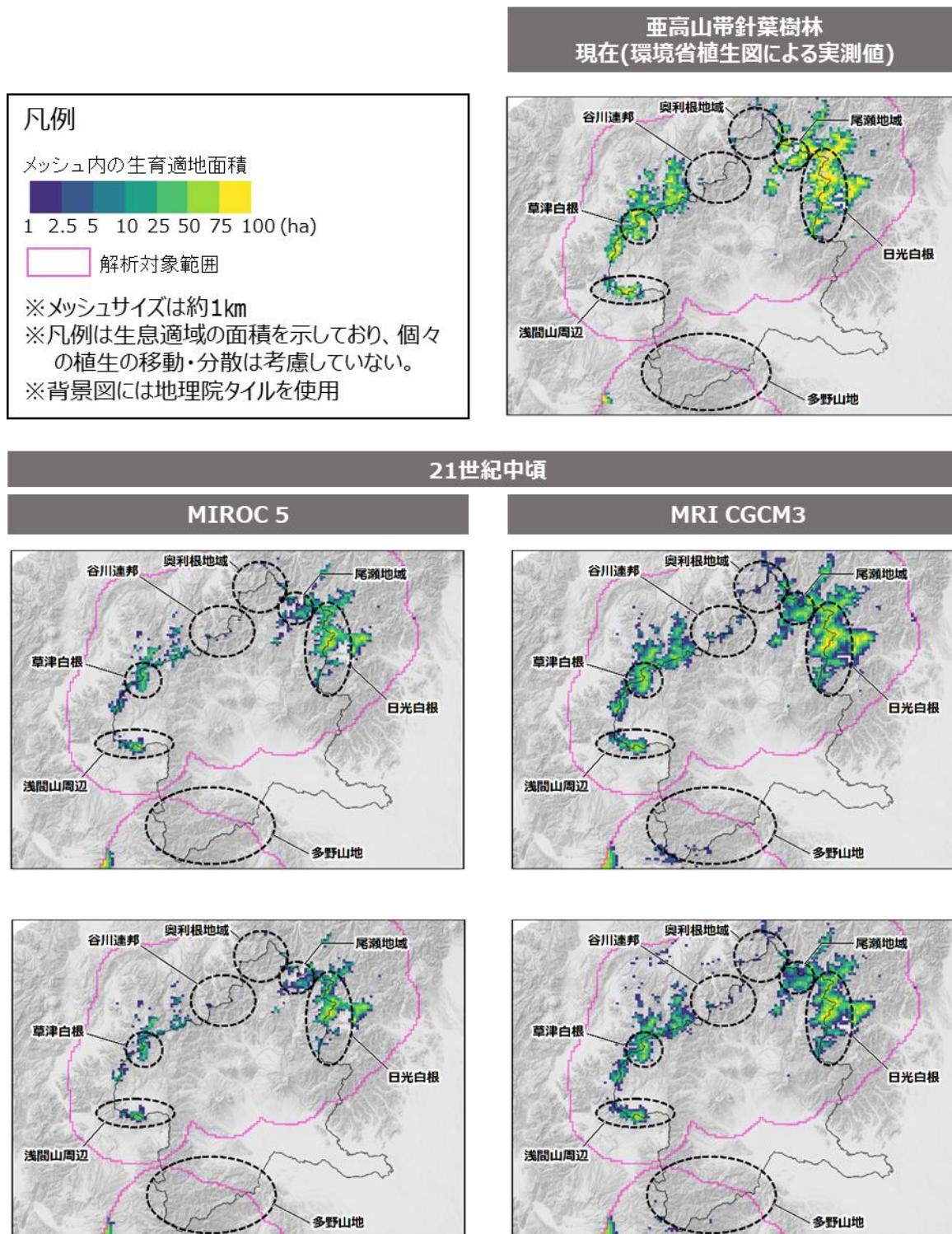


図 6-43 分布適地の予測結果（雪田群落・21世紀末）

(4) 植生分布予測（亜高山帯針葉樹林）

現在は、浅間山周辺・草津白根山周辺・日光白根山周辺等に多く分布が確認される。RCP2.6では低標高域における適地の縮小・消失が確認されるが、高標高域では一定程度の適地は残存すると予測された。一方、RCP8.5では、日光白根山の一部を除き適地の多くが消失することが予測された。



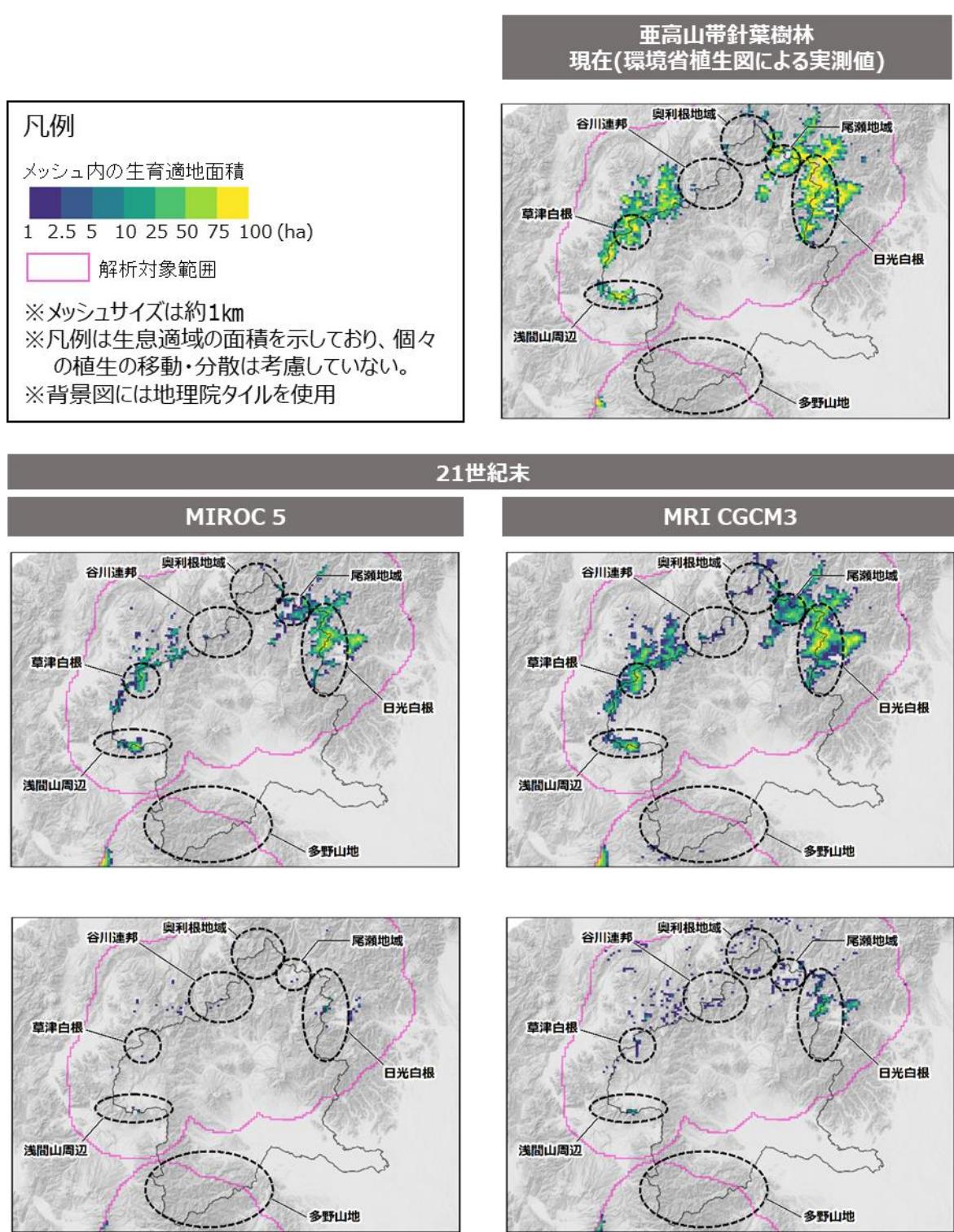


図 6-45 分布適地の予測結果（亞高山帯針葉樹林・21世紀末）

(5) 植生分布予測（亜高山帯広葉樹林）

現在は、草津白根山・奥利根地域等、主に北部～北西部の県境付近にまとまった生育地が確認される。RCP2.6 では低標高域における適地の縮小・消失が確認されるが、高標高域では一定程度の適地は残存すると予測された。一方、RCP8.5 では、21世紀末の時点では適地面積が全域的に大きく減少すると予測された。

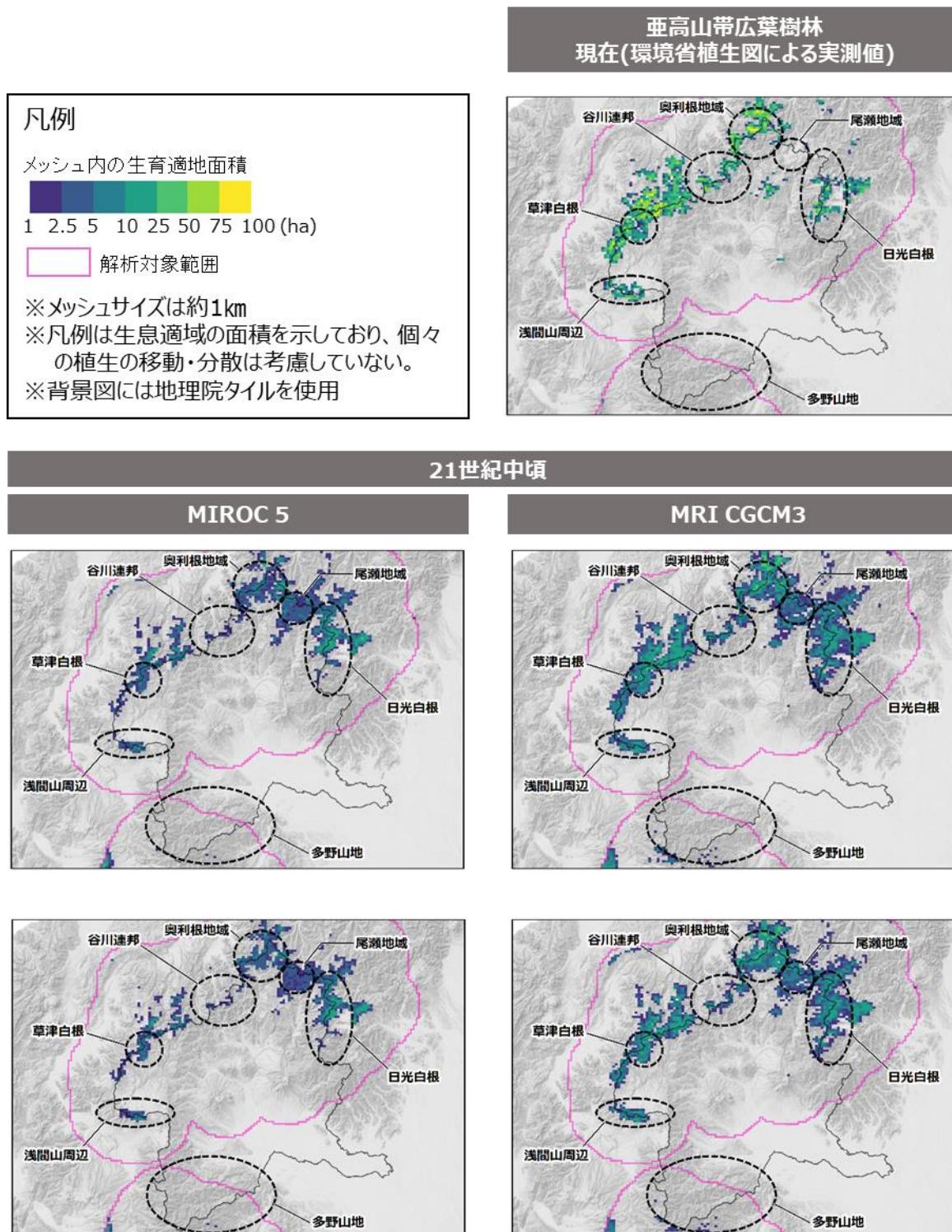


図 6-46 分布適地の予測結果（亜高山帯広葉樹林・21世紀中頃）

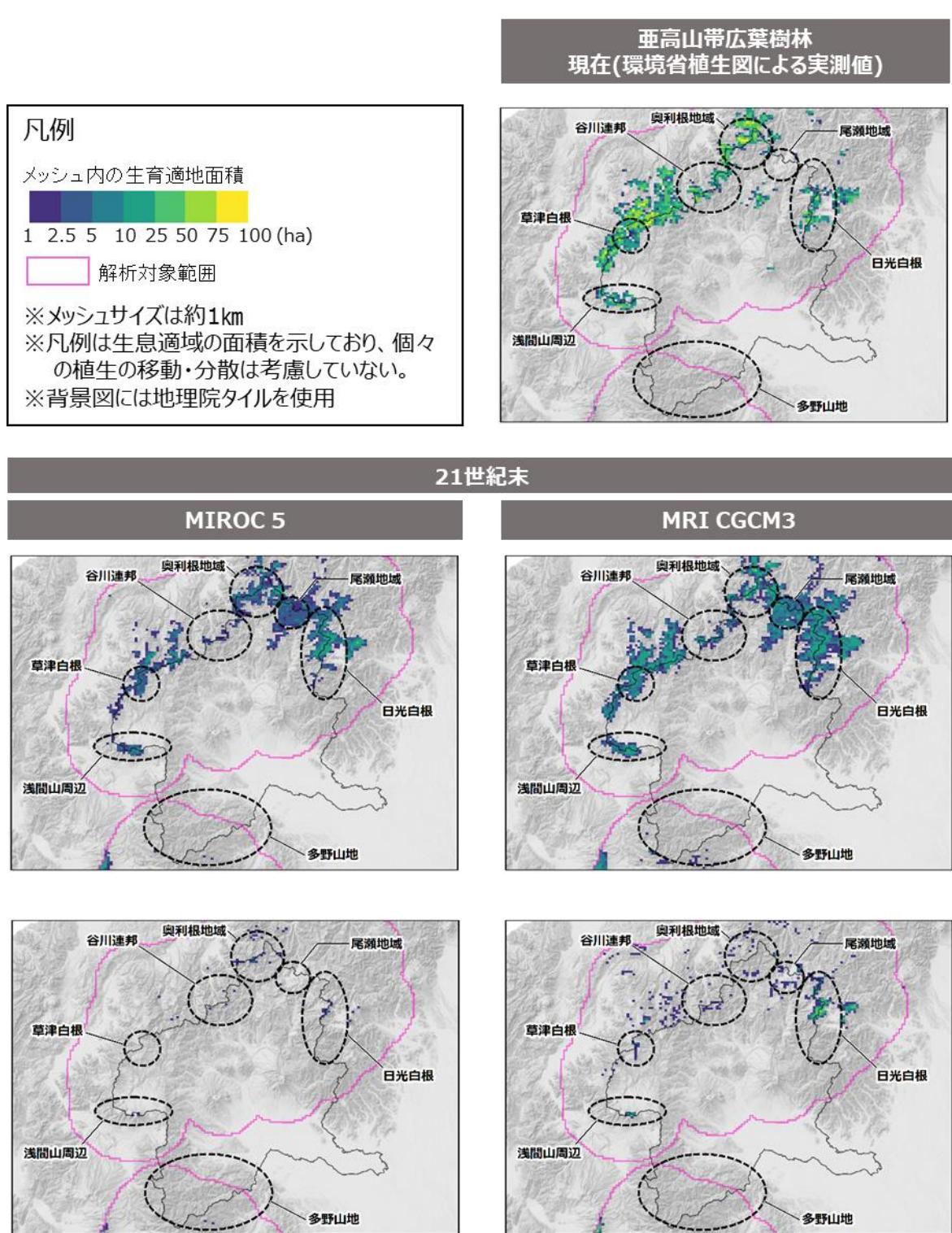


図 6-47 分布適地の予測結果（亞高山帯広葉樹林・21世紀末）

(6) 植生分布予測（高茎草本・風衝草原）

現在は、群馬県内では谷川連峰の一部にわずかに分布する程度である。RCP2.6 シナリオにおいては、奥利根地域周辺で適地が僅かに増加する傾向も確認されるが、RCP8.5 では殆どの適地は消失することが予測された。

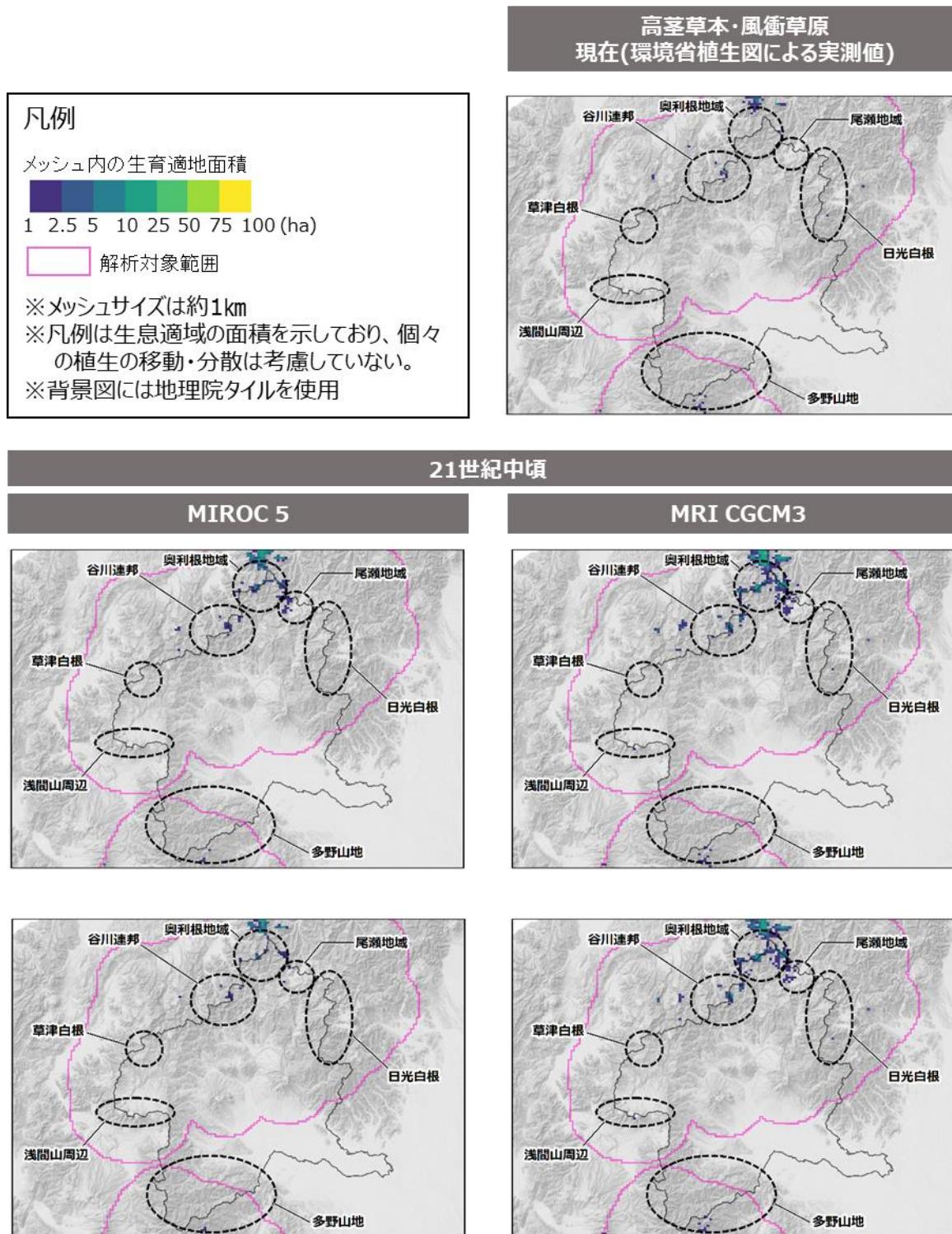


図 6-48 分布適地の予測結果（高茎草本・風衝草原群落・21世紀中頃）

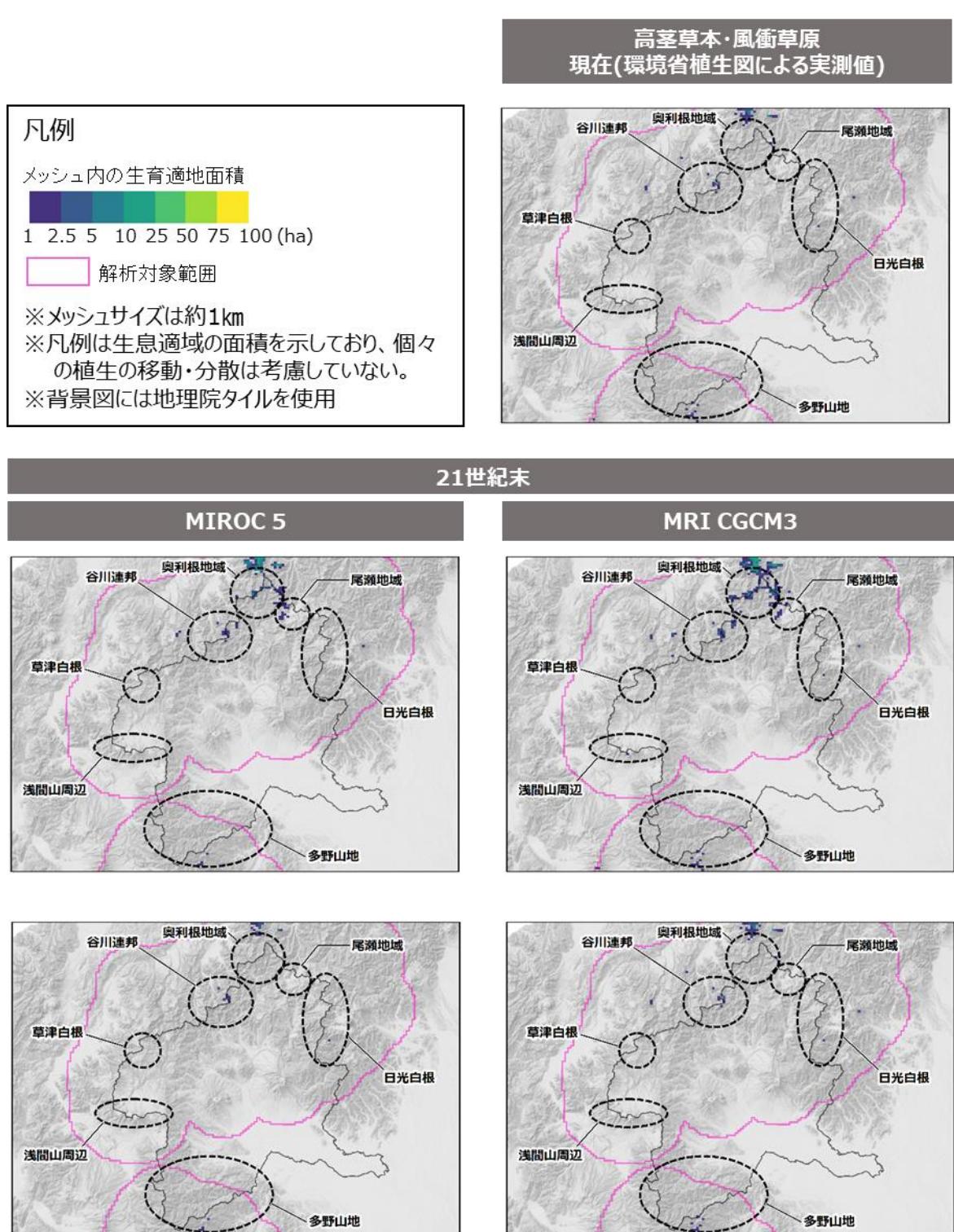


図 6-49 分布適地の予測結果（高茎草本・風衝草原群落・21世紀末）

(7) 植生分布予測（ササ群落）

現在は浅間山周辺・草津白根山周辺・奥利根地域周辺・日光白根山周辺等の高標高付近に生育が確認されている。RCP2.6 シナリオにおいては適地が一定程度は残存することが予測されたが、RCP8.5 の 21 世紀末においては日光白根地域の高標高地域の一部を除き適地がほとんど消失すると予測された。

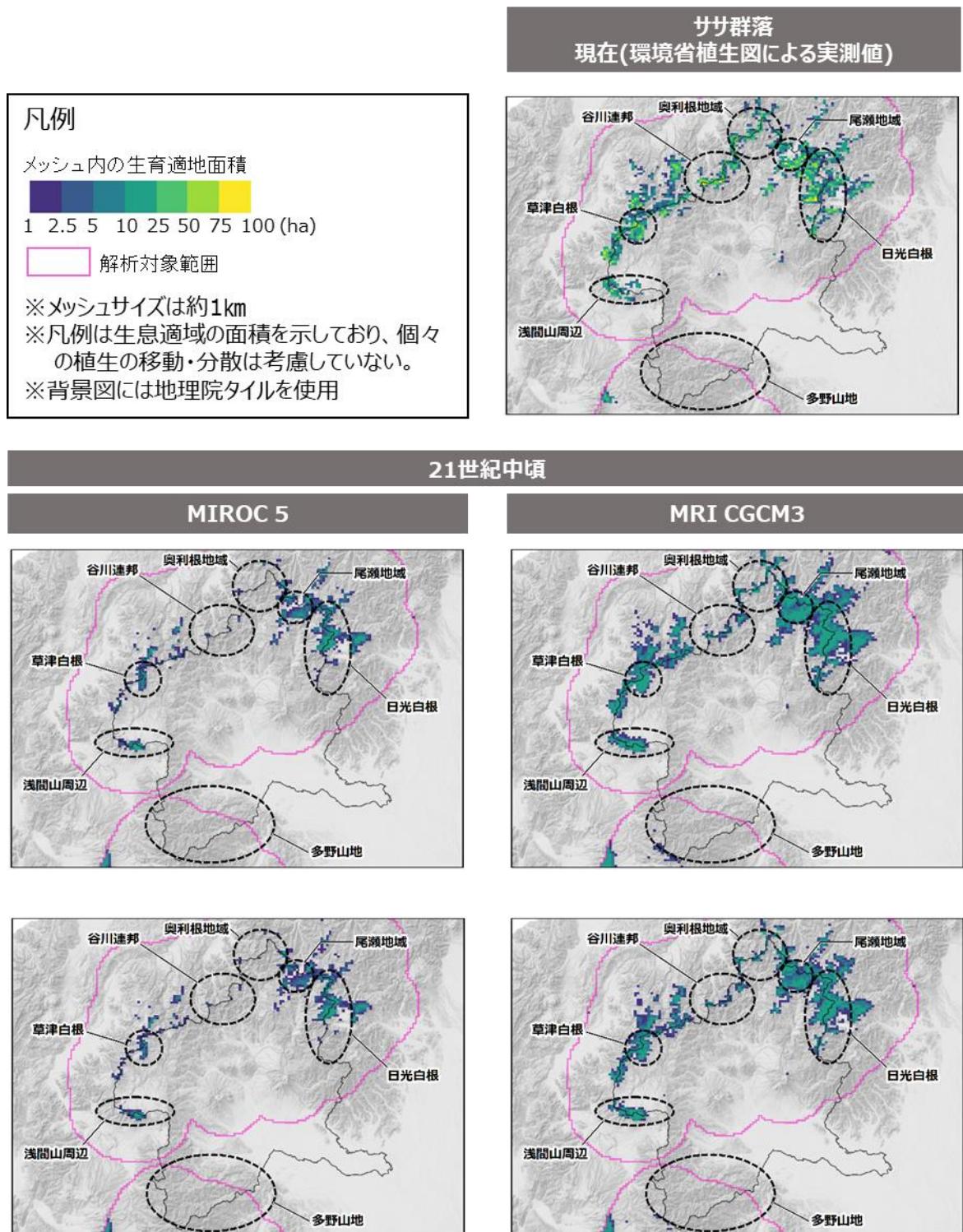


図 6-50 分布適地の予測結果（ササ群落・21世紀中頃）

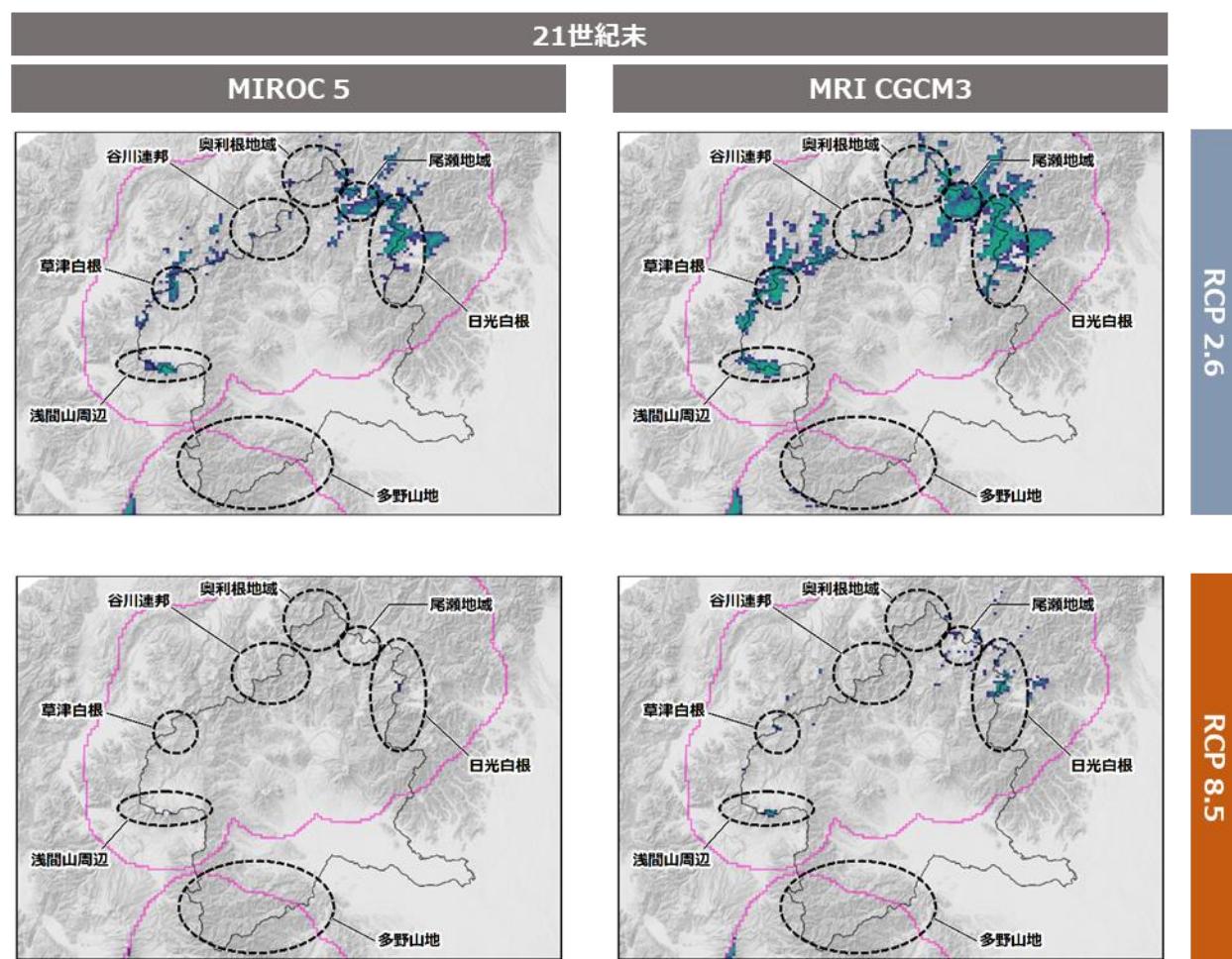
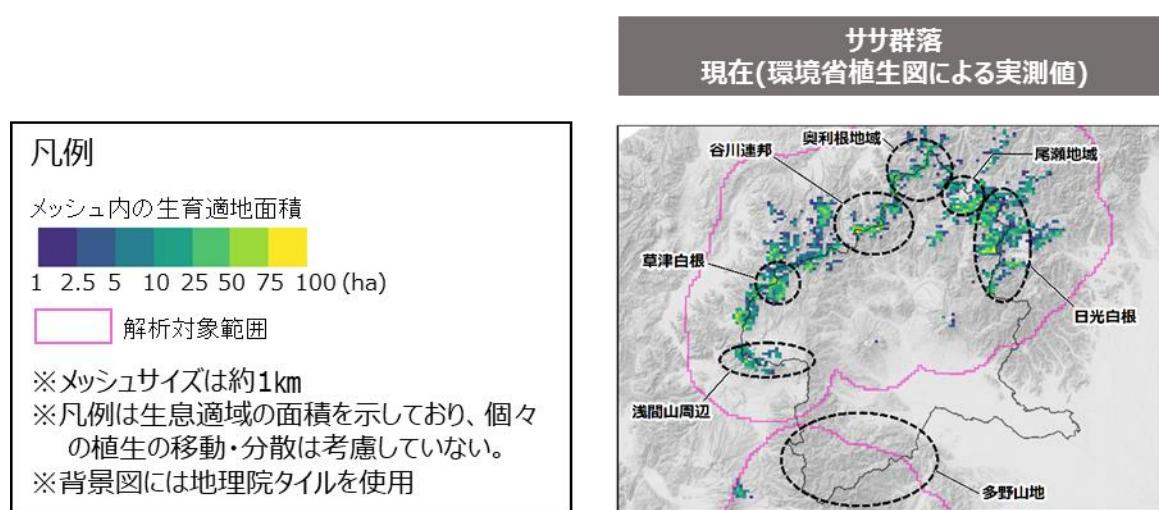


図 6-51 分布適地の予測結果（ササ群落・21世紀末）

(8) 植生分布予測（岩角地植生）

現在は奥利根地域や谷川連峰周辺にまとまった生育地が確認されている。RCP2.6 シナリオでは、21世紀後半であっても比較的多くの生育適地が残存することが予測された。RCP8.5 シナリオでは、RCP2.6 よりも減少の程度は大きいが、21世紀末であっても一定程度の適地は残存することが予測された。

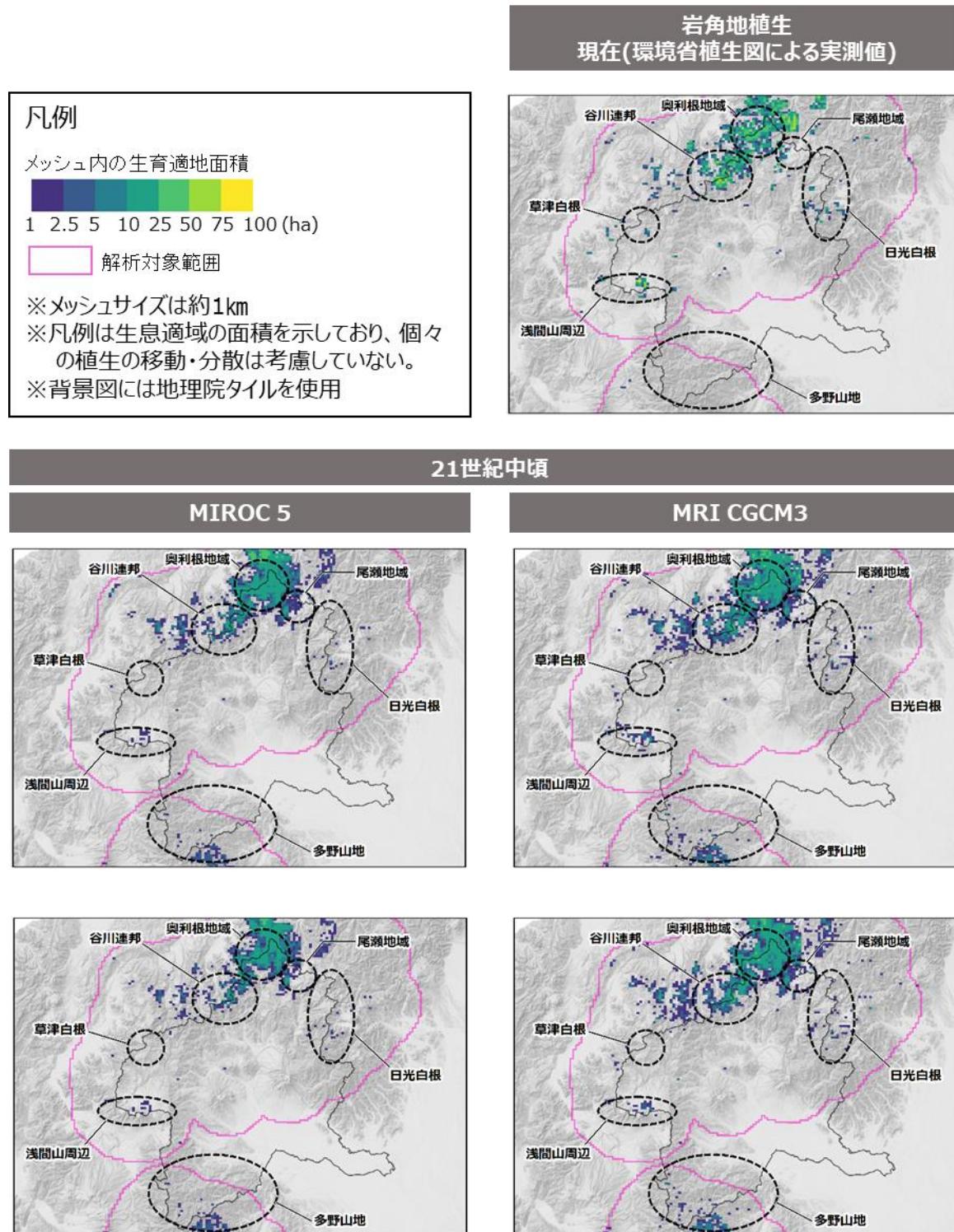


図 6-52 分布適地の予測結果（岩角地植生・21世紀中頃）

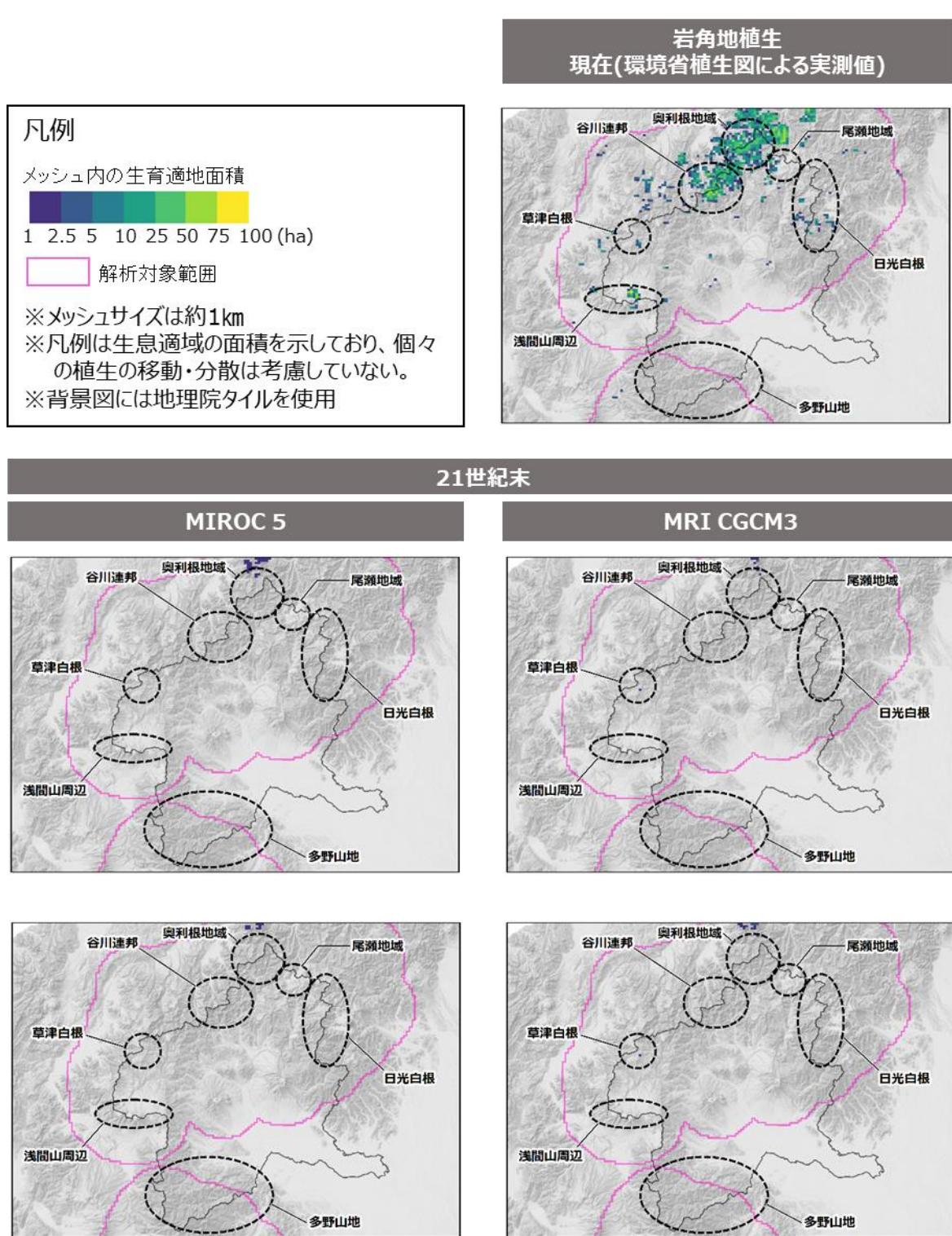
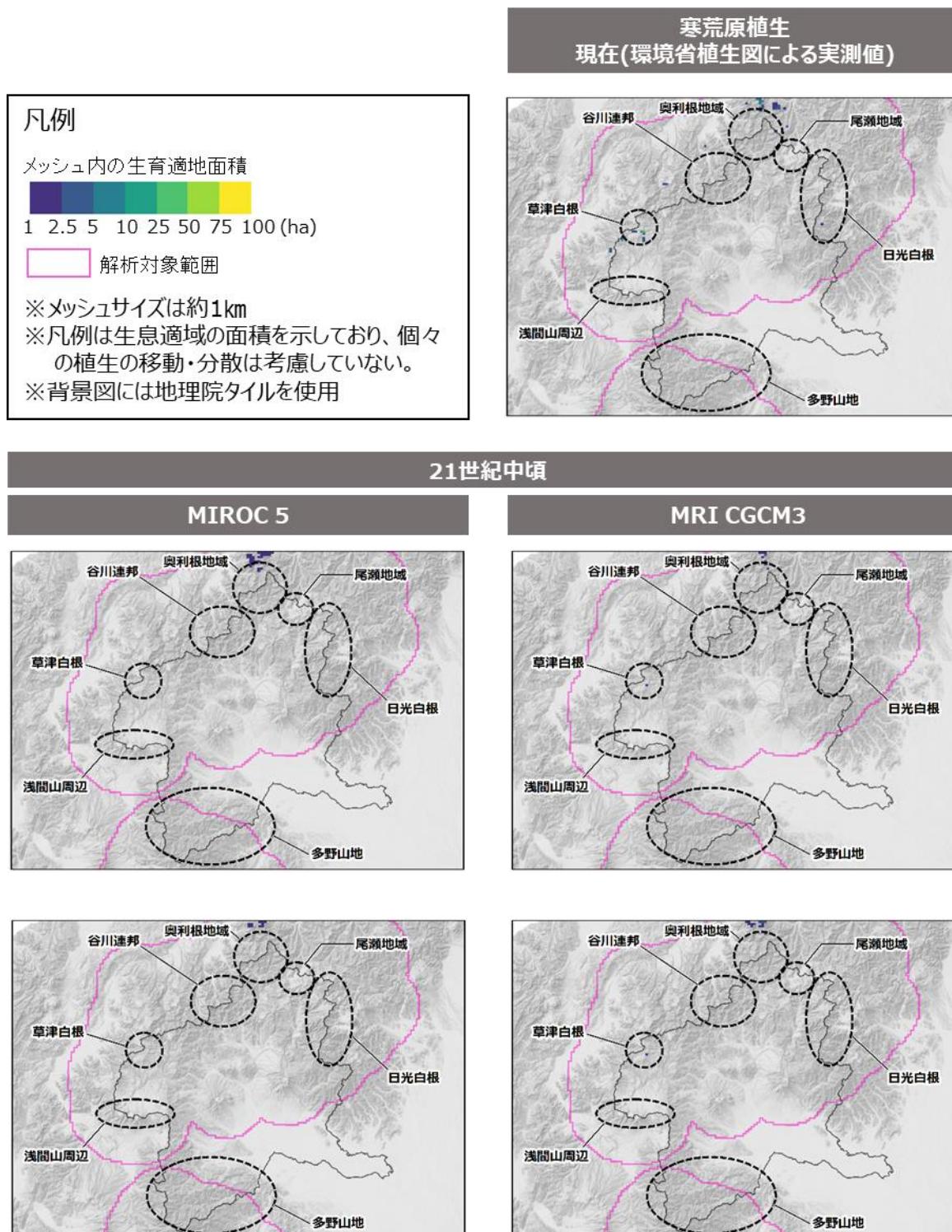


図 6-53 分布適地の予測結果（岩角地植生・21世紀末）

(9) 植生分布予測（寒荒原植生）

現在は草津白根山周辺にごく一部分分布するのみである。いずれのシナリオにおいても、21世紀中頃には既に適地が消失することが予測された。



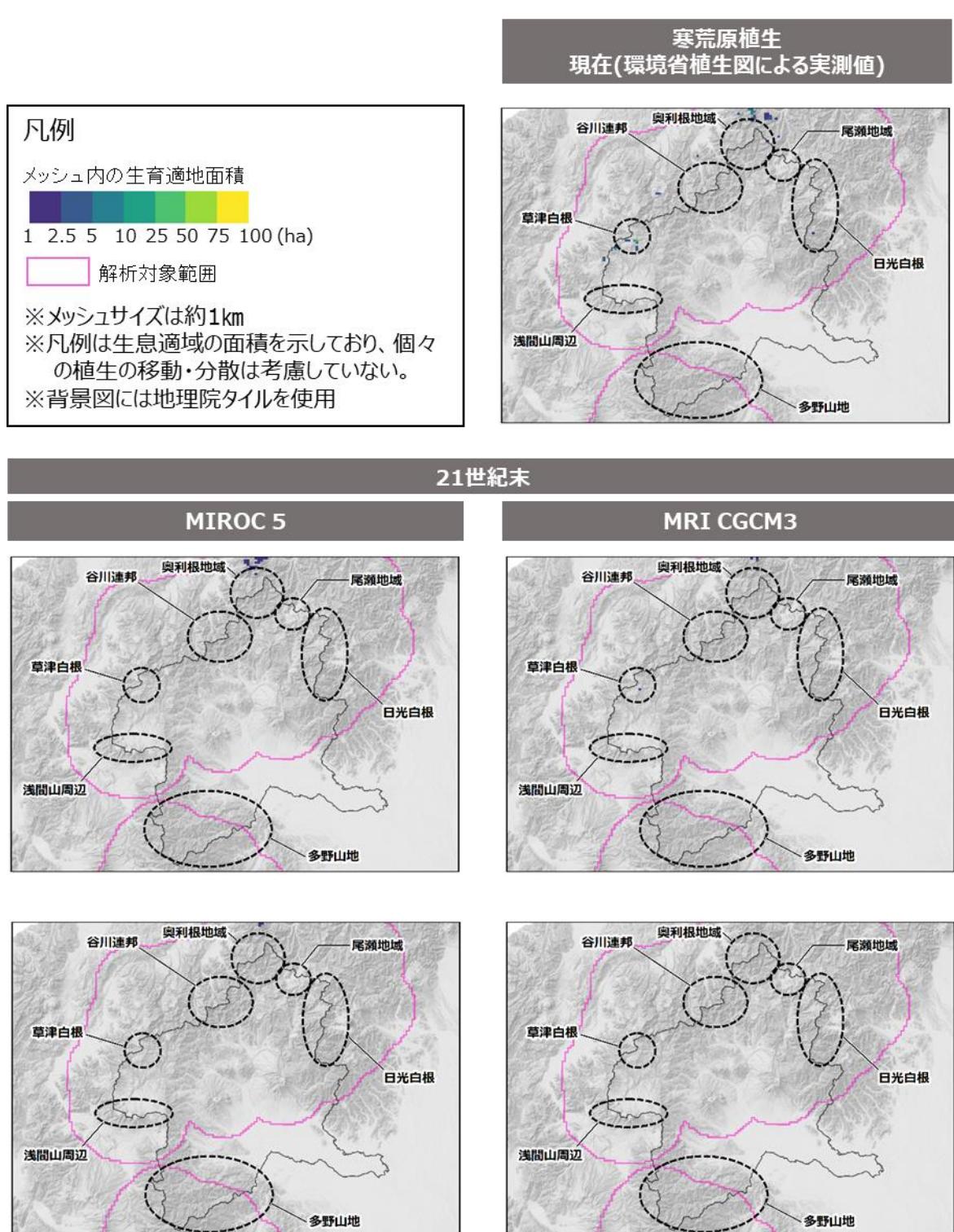


図 6-55 分布適地の予測結果（寒荒原植生・21世紀末）

(10) 植生分布予測（山地湿原）

現在は尾瀬ヶ原周辺にまとまった生育適地が確認される他、草津白根山周辺地域においても小規模な山地湿原が確認される（芳ヶ平湿地群等）草津白根山周辺（芳ヶ平湿地群）は、21世紀後半はいずれのシナリオにおいても適地の消失が予測された。尾瀬周辺は、RCP 2.6 では21世紀後半においても適地が一定程度残存するものの、RCP8.5 では多くの適地が消失し、中心部にごく一部の適地が残存するのみとなることが予測された。

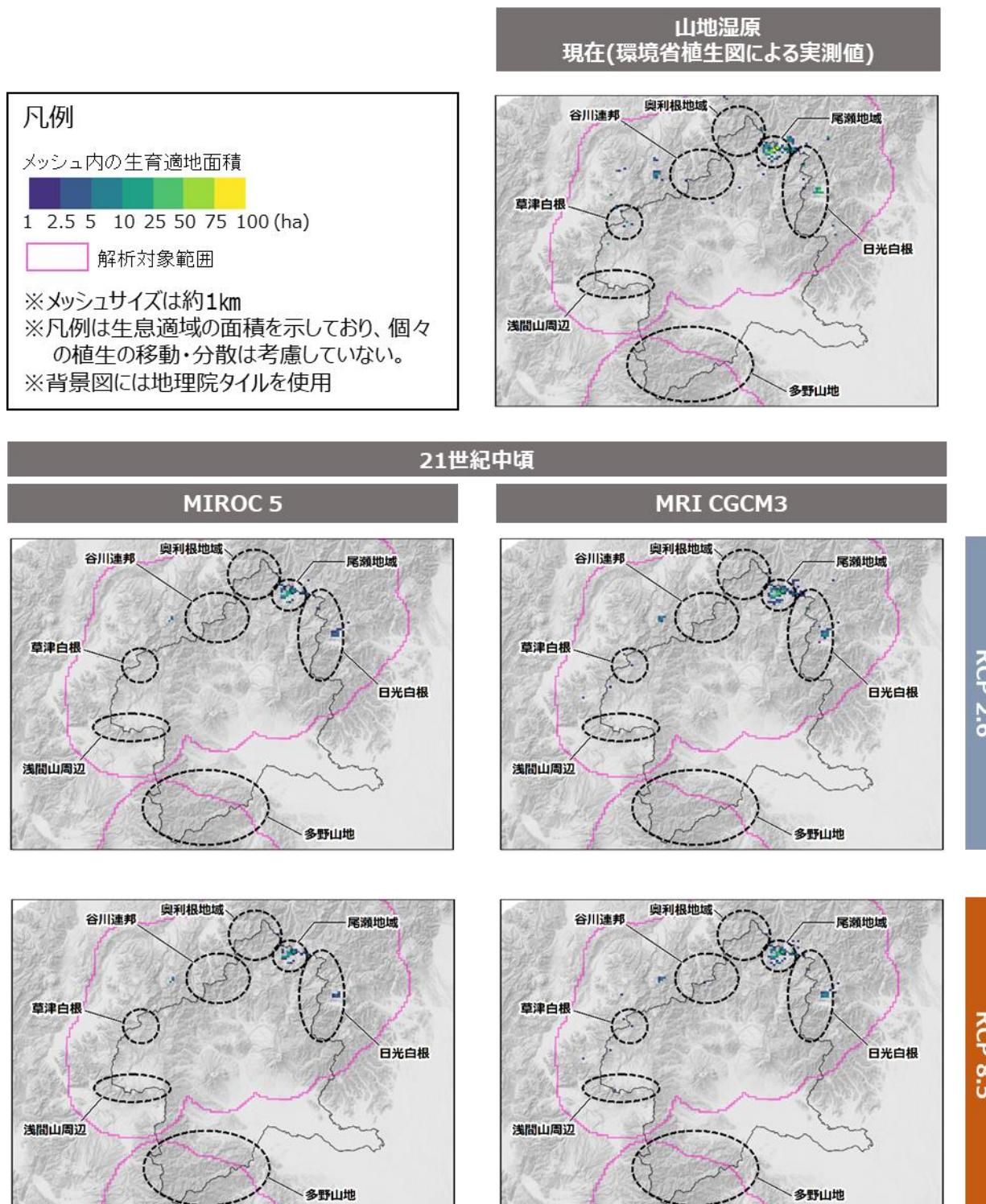


図 6-56 分布適地の予測結果（山地湿原・21世紀中頃）

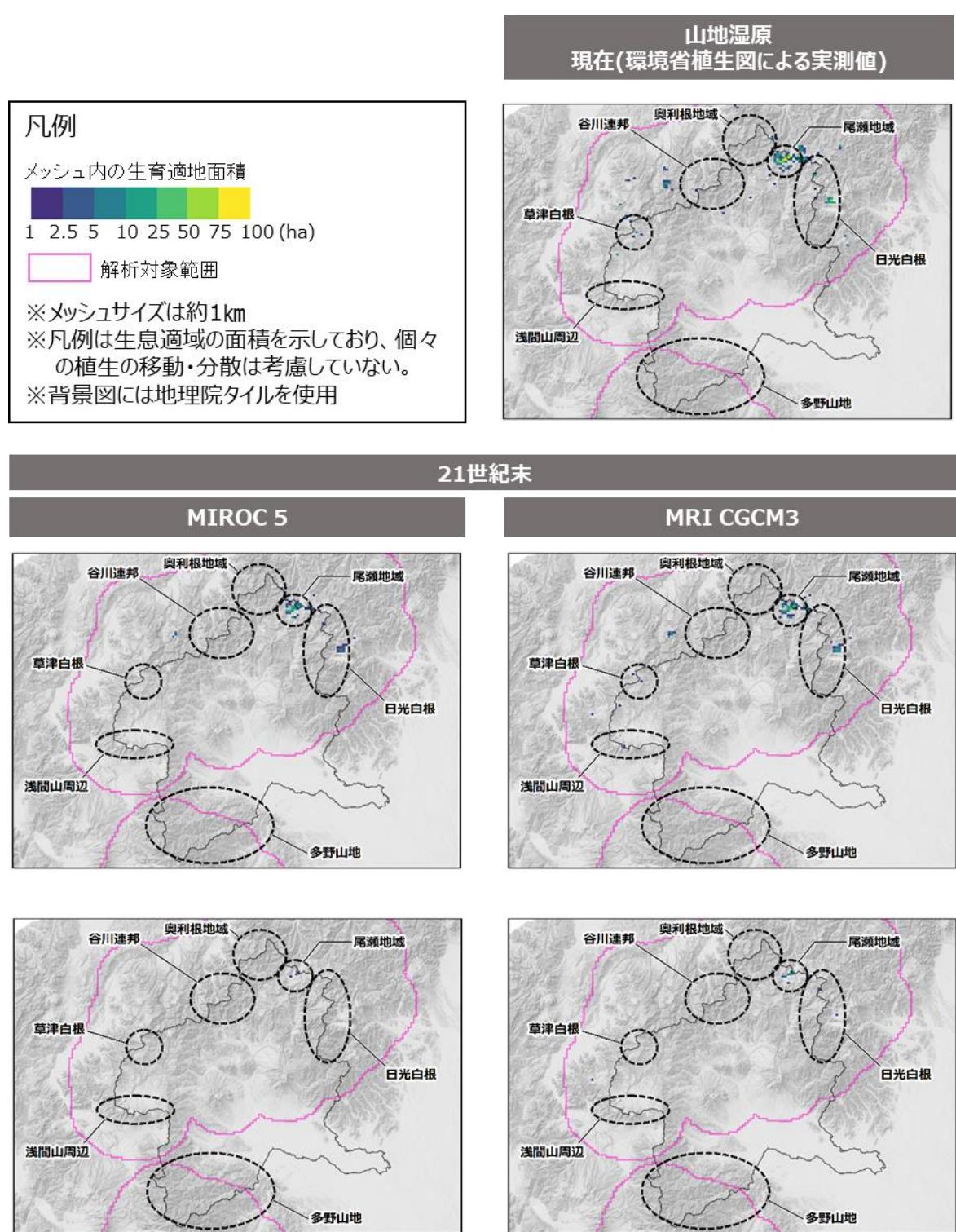


図 6-57 分布適地の予測結果（山地湿原・21世紀末）

6.4.5 結果を活用するまでの留意点・制限事項

本調査において使用した植生分布推定モデルは、現在の植生の分布と、気候や地形等の条件との対応関係を統計的に把握し、その関係性をもとに気候条件のみを将来予測とした場合の分布適域の変化を推定するものである。本手法により推定されるものは分布適域であり、種子散布距離や各植生の移動分散プロセスを考慮した実際の分布面積を推定するものではない。分布適地の消失が即ち生息地の消失そのものを意味することではないことに留意が必要である。

6.5 適応オプション

6.5.1 手順

植生分布予測の結果を踏まえて、本地域で取りうる適応オプションの検討を行った。検討の手順は図 6-58 に示すとおりである。

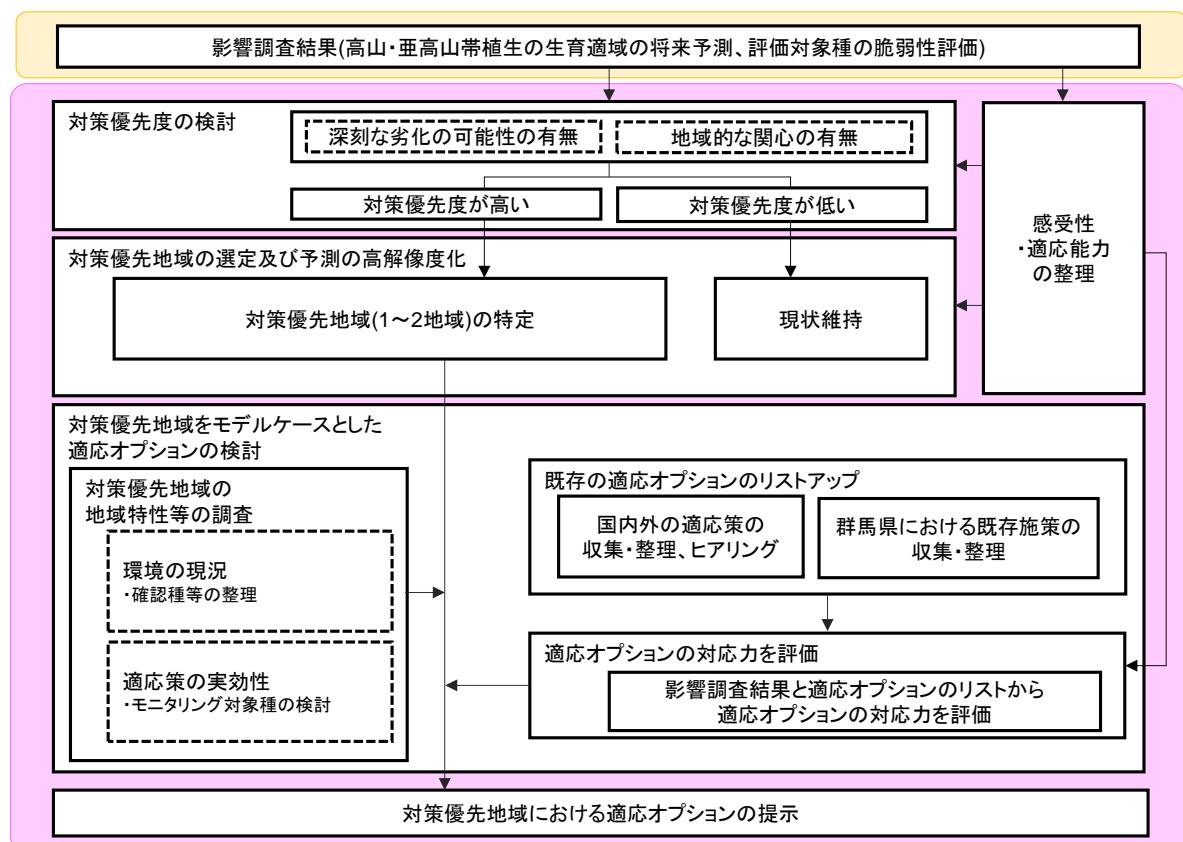


図 6-58 適応オプションの検討手順

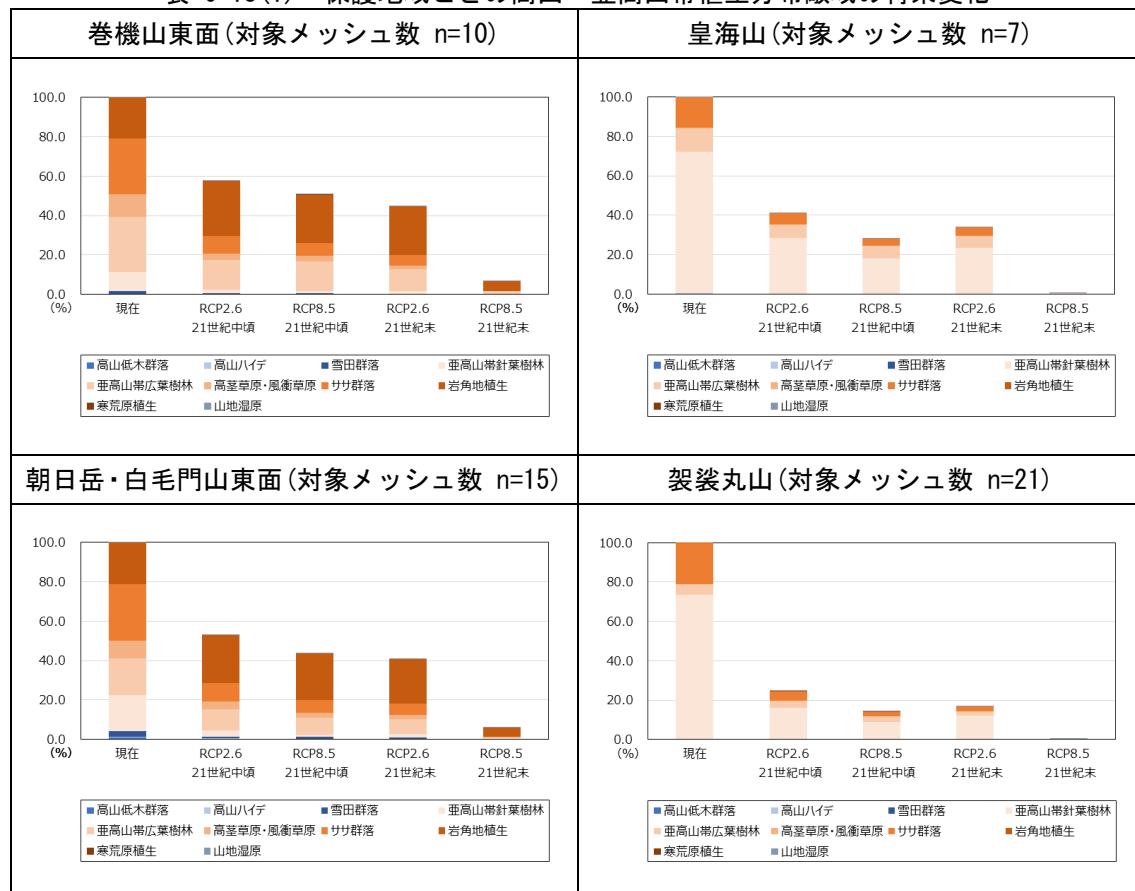
6.5.1.1 対策優先地域のモデルケースの設定・モニタリング対象種の抽出

(1) 対策優先地域のモデルケース検討結果

対象とした保護地域ごとに、高山・亜高山帯植生の減少の程度を集計した結果を表6-18に示す。なお、この結果は分布適地の予測であり、各植生の実際の分布面積について予測したものではないことに留意が必要である。

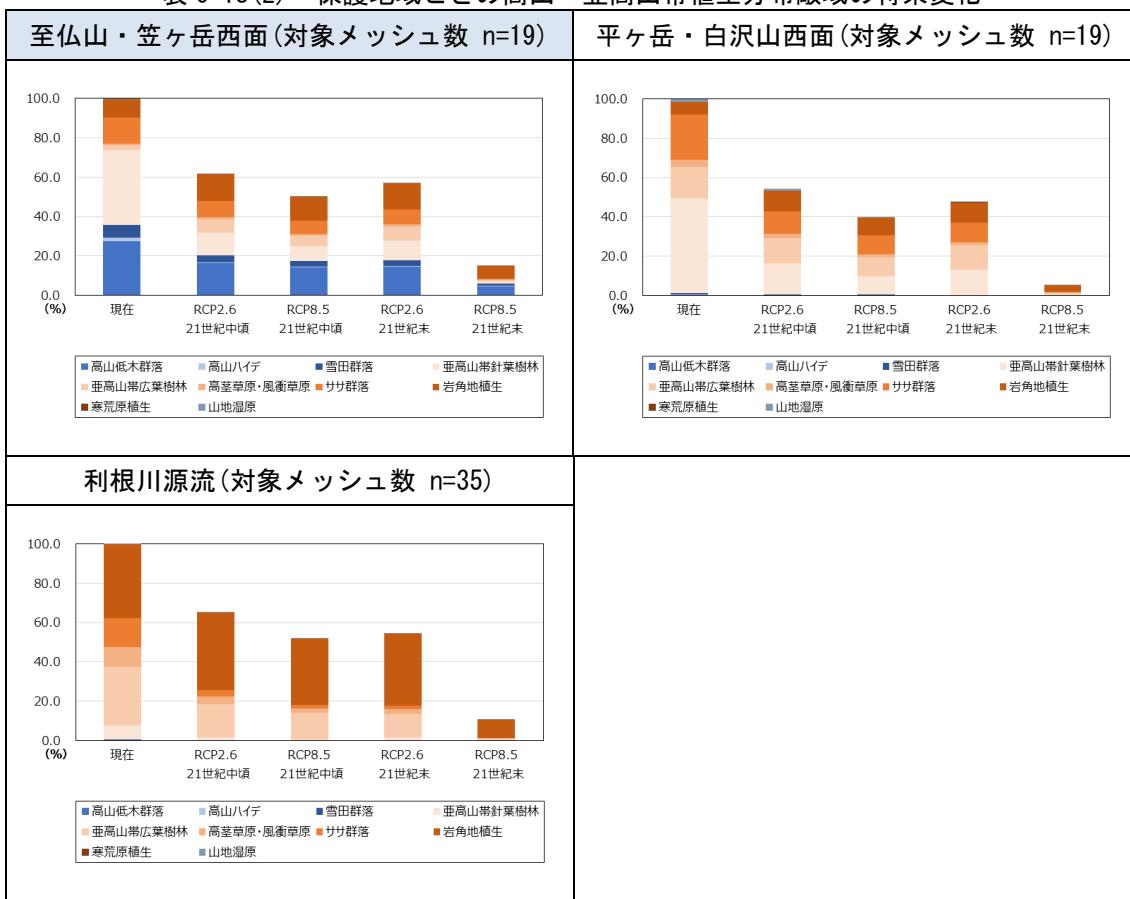
高山・亜高山帯の適応策の検討においては、気候変動下においても生息適地として残存することが予測される地域について、気候変動以外の要因を最小化しながら保全を行っていくという視点が重要である。したがって、本調査においては、気候変動下においても一定程度の高山・亜高山帯植生の分布適地面積が残存することが予測された「至仏山・笠ヶ岳西面」を対策優先地域のモデルケースとして設定した。

表 6-18(1) 保護地域ごとの高山・亜高山帯植生分布敵域の将来変化



※各グラフは、現在の分布適地を100%とした際の各気候シナリオ下における相対値を示す。

表 6-18(2) 保護地域ごとの高山・亜高山帯植生分布敵域の将来変化



※各グラフは、現在の分布適地を 100%とした際の各気候シナリオ下における相対値を示す。

(2) 「至仏山・笠ヶ岳西面」におけるモニタリング対象候補種の抽出結果

文献調査結果から、「至仏山・笠ヶ岳西面」においてこれまでに生育が確認されている種のうち、気候変動影響の観測・監視のためのモニタリング対象として適していると考えられる種を「モニタリング対象候補種」として抽出した。抽出の際は、表 6-19 に示すとおり、分類・発見のしやすさ、気候への感度、北方要素等を考慮した。

モニタリング対象候補種の抽出結果は、表 6-20 に示すとおりである。

表 6-19 モニタリング対象候補種の抽出の視点

抽出の視点	概要
分類のしやすさ	モニタリングを行う際、識別が容易である。
発見しやすさ	モニタリングを行う際、発見が容易であり、個体数の減少等を検知しやすい。
気候への感度 ⁴	気候要素以外による影響が小さく、気候変動による影響の検知がしやすい。
北方要素	周北極要素、オホーツク要素、ベーリング要素等、北方系の植物である。

表 6-20 「至仏山・笠ヶ岳西面」におけるモニタリング対象候補種

科名	種名	抽出の視点				備考
		分類のしやすさ	発見しやすさ	気候への感度	北方要素	
マツ科	オオシラビソ	●	●	●	●	
	ハイマツ	●	●	●	●	
サトイモ科	ミズバショウ	●	●		●	高層湿原
サクライソウ科	オゼソウ	●	●	●	●	蛇紋岩地
クサスギカズラ科	マイヅルソウ	●	●	●	●	
カヤツリグサ科	ワタスゲ	●	●		●	高層湿原
キンポウゲ科	ハクサンイチゲ	●	●	●	●	
	リュウキンカ	●	●		●	高層湿原
	ミツバオウレン	●		●	●	
バラ科	チングルマ	●	●	●	●	
カバノキ科	ダケカンバ	●	●	●	●	
スミレ科	ジョウエツキバナノコマノツメ		●	●	●	キバナノコマノツメの品種
モウセンゴケ科	モウセンゴケ	●			●	高層湿原
ナデシコ科	タカネナデシコ	●	●	●	●	
ツツジ科	ヒメシャクナゲ	●	●	●	●	
	コケモモ	●	●	●	●	
リンドウ科	エゾリンドウ	●	●	●	●	
ハマウツボ科	ヨツバシオガマ	●	●	●	●	
ミツガシワ科	イワイチョウ	●	●	●	●	
セリ科	シラネニンジン		●	●	●	

⁴ 例えは湿生植物は、局所的な水分条件等の気候以外の要素による影響も大きいと考えられるため、ここでは「気候への感度」は低いと扱う。

6.5.2 概要

適応オプションの一覧とその概要・評価は表 6-21 に示すとおりである。

表 6-21 適応オプションのまとめ

適応オプション	想定される実施主体			評価結果							備考	
				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	
モニタリング調査	●	●	●	一部普及が進んでいる	・継続的な実施体制 ・モニタリング場所へのアクセス性	△	○	△	◎	長期	中	・実施主体の「個人」はNPO等を含む ・実施主体の「事業者」はスキー場リフト運営者等を想定
植物群落の維持・再生	●		●	一部普及が進んでいる	・シカ食害等気候変動以外の要因による植生衰退 ・体制、資金面	△	△	N/A	◎	中期	高	・順応的管理の考え方に基づき実施されることが望ましい
植物群落の再導入・補強	●			普及が進んでいない	・移植等の技術の確立 ・遺伝的搅乱の恐れ	△	△	N/A	△	中期	高	—
生育域外保全による植物の保全	●			普及が進んでいない	・域外保全を行う場所の検討 ・栽培手法の確立	△	△	N/A	△	長期	低	・生態系全体を保全することが困難であることに留意が必要である
植物群落の保全的導入	●			普及が進んでいない	・再導入技術 ・遺伝的搅乱の恐れ	△	△	N/A	△	長期	中	順応的管理の考え方に基づき実施されることが望ましい
人材育成	●			普及が進んでいない	・資金面 ・既存の活動団体の高齢化	△	◎	N/A	◎	中～長期	高	—
資金調達と普及啓発	●			普及が進んでいない	・普及啓発を行う人材の不足 ・多様なステークホルダーとの連携	△	○	N/A	◎	短～中期	高	・資金調達については、保護地域における入域料の活用等を想定

表 6-22 適応の考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
モニタリング調査	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動の影響の観測・監視や適応策の効果の把握において重要ではあるものの、それ自体が影響の低減に繋がらないことがある、効果は中程度とした。 既存のモニタリング調査の参考事例として、環境省によるモニタリングサイト 1000 の取組や、中部アルプス駒ヶ岳における 10 年間のモニタリング調査^{※1} 等が挙げられる。また、現地調査によるモニタリングの他、センサーカメラ^{※2} や空中写真および衛星画像^{※3} を活用したモニタリング調査への技術開発も進んでいる。
植物群落の維持・再生	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動以外の劣化要因を最小化することを目的として、競合植物の除去等、対象の現状維持のための管理を行うものである。高山帯の競合植物としてはササが挙げられるが、北海道大雪山地域においてはササの刈り取りによる高山植物群落の再生へむけた実験的取り組みが進んでいる。^{※4}
植物群落の再導入・補強	
生育域外保全による植物の保全	<ul style="list-style-type: none"> 最終手段として実施されるべき適応策であり、生態系全体を保全することが困難であることに加え不確実性が高いと考えられるため、効果は低いとした。実施においては、絶滅リスクの定量評価による優先順位の決定等が必要であると考えられる。また、気候変動への適応策として実施された域外保全の事例は国内では確認できない。
植物群落の保全的導入	<ul style="list-style-type: none"> 分布適域の拡大が予測される地域において、移動・分散能力の向上に資する管理や対象種の移植等を行うものである。適切に実施されれば個体群の絶滅の回避につながるが、不確実性が高いため効果は中程度とした。 一方、意図していなかった生態系への新たな悪影響が生じる可能性や、継続的に経費や人手が必要となるなどの新たな管理の負担が発生する可能性があるため、慎重な検討が必要である。^{※4} また、気候変動への適応策として実施された保全導入の事例は国内では確認できない。
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動による影響の観測・監視および予測、適応策の検討や実施を行う人材の確保を行うものである。モニタリング等の実施体制の強化が図られれば、長期的には効果は高いと考えられる。 市民等と共同したモニタリングについては、モニタリングサイト 1000 や北海道大雪山の事例^{※5} が挙げられる。
資金調達と普及啓発	<ul style="list-style-type: none"> 国立公園における利用調整地区制度や、入山料、協力金の負担等が考えられる。モニタリング等の自治体における生物多様性保全施策の実施においては資金面の不足を課題とする報告が多く^{※6}、適切に実施されれば効果は高いと考えられる。一方、効率的な資源導入のためには、科学的知見に基づく順応的管理の視点が重要である。 保護地域の管理等における入域料等の活用については一定程度の事例はあるものの、気候変動への適応策として実施された事例は国内では確認できない。

(表中の出典)

※1 下野綾子、牧野純子、室村聰、中村華子、傍島夏生、小熊宏之. (2019). 中央アルプス駒ヶ岳 10 年間の植生変化の動向. 地学雑誌, 128(1), 105-113.80.

※2 小熊宏之、井手玲子、雨谷教弘、浜田崇. (2019). 定点カメラ観測ネットワークによる高山帯の消雪と植生フェノロジーのモニタリング. 地学雑誌, 128(1), 93-104.

※3 金子正美、星野伝方、雨谷教弘. (2014). 空間情報を用いた高山帯の植生変化と環境変動のセンサス.

※4 生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方、環境省自然環境局、2015 年

※5 Kudo, G. (2019). Dynamics of flowering phenology of alpine plant communities in response to temperature and snowmelt time: Analysis of a nine-year phenological record collected by citizen volunteers. Environmental and Experimental Botany, 103843.

※6 山本悠二、谷口守、松中亮治. (2007). 生物多様性保全政策の実施状況と課題—都道府県に対する調査結果から—. 環境システム研究論文集, 35, 73-80.

6.5.3 適応オプションの検討結果

6.5.3.1 モニタリング調査

実施を想定する地域

モニタリング調査は、実施を想定する場所の特性ごとに、期待される目的が異なると考えられる。調査を行う場所の特性と、モニタリング調査の目的と対応関係は下表に示すとおりである。

実施を想定する場所	期待される目的
既存の分布域のうち、将来においても存続が期待できる地域 (優先的に保全を強化すべき場所)	・植物群落の維持・再生 ^{※1} の実施に関する判断、実施した場合の効果の検証
既存の分布域のうち、既存の分布域が縮小・消失が懸念される地域（脆弱な場所）	・気候変動影響の観測・監視 ・植物群落の再導入・補強 ^{※2} の実施に関する判断、実施した場合の効果の検証
既存の分布域ではないが、分布域の拡大が期待される地域（脆弱な場所に対する代替）	・気候変動影響の観測・監視 ・保全的導入の推進 ^{※3} の実施に関する判断、実施した場合の効果の検証

※1 詳細は「6.5.3.2 植物群落の維持・再生」を参照。

※2 詳細は「6.5.3.3 植物群落の再導入・補強」を参照。

※3 詳細は「6.5.3.5 植物群落の保全的導入」を参照。

気候変動影響

- 暖かさの指数の上昇・冬季降水量減少に伴う生育適地の劣化・縮小

技術・特徴・期待される効果等

- モニタリング調査は、それ自体が気候変動影響の低減には繋がらないものの、気候変動影響の観測・監視や適応策の効果の把握において重要である。また、自然生態系分野の適応策の実施にあたっては不確実性が伴うため、科学的知見に基づき適応策の結果を評価し、それをもとに計画の見直しに反映する順応的管理の考え方方が重要であるが、モニタリング調査により得られたデータは順応的管理においても検討の基盤となる科学的知見として重要である。
- モニタリング調査において把握する項目としては、下記の項目が候補として考えられる。
 - 植物群落の変化の有無や程度
 - 植物群落の生育条件となる微地形、土壤、気象条件等の変化の有無や程度
 - 植物群落の分布に影響を及ぼす物理的要因の把握

その他情報

- 既存のモニタリング調査の参考事例として、環境省によるモニタリングサイト 1000 の取組や、中部アルプス駒ヶ岳における 10 年間のモニタリング調査等が挙げられる。また、現地調査によるモニタリングの他、センサーカメラや空中写真および衛星画像を活用したモニタリング調査への技術開発も進んでいる。
- また、植物群落に影響を及ぼす気象条件等については、例えばスキー場のリフトを運営する事業者や、道路等のインフラの管理者において詳細なデータが取得されている場合もある。気象条件のモニタリングの際は、このような主体と連携し、データの共有を進めることも重要である。

参考文献

- 下野綾子, 牧野純子, 室村聰, 中村華子, 傍島夏生, 小熊宏之. (2019). 中央アルプス駒ヶ岳 10 年間の植生変化の動向. 地学雑誌, 128(1), 105-113.80.
- 小熊宏之, 井手玲子, 雨谷教弘, 浜田崇. (2019). 定点カメラ観測ネットワークによる高山帯の消雪と植生フェノロジーのモニタリング. 地学雑誌, 128(1), 93-104.
- 金子正美, 星野仏方, 雨谷教弘. (2014). 空間情報を用いた高山帯の植生変化と環境変動のセンサス.

6.5.3.2 植物群落の維持・再生

実施を想定する地域
<ul style="list-style-type: none">対策の優先順位が高い地域既存の分布域での存続が期待できる地域（優先的に保全を強化すべき場所）
気候変動影響
<ul style="list-style-type: none">暖かさの指数の上昇・冬季降水量減少に伴う生育適地の劣化・縮小
技術・特徴・期待される効果等
<ul style="list-style-type: none">気候変動以外の劣化要因を最小化することを目的として、競合植物の除去等、移動分散経路の確保、対象の現状維持のための管理を行うものである。具体的には、現状維持に資する植生管理、土壤侵食抑制等が挙げられる。
その他情報
<ul style="list-style-type: none">高山帯の競合植物としてはササが挙げられるが、北海道大雪山地域においてはササの刈り取りによる高山植物群落の再生へむけた実験的取り組みが進んでいる。
参考文献
<ul style="list-style-type: none">生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方、環境省自然環境局、2015年

6.5.3.3 植物群落の再導入・補強

実施を想定する地域
<ul style="list-style-type: none">対策の優先順位が高い地域既存の分布域が縮小・消失が懸念される地域（脆弱な場所）
気候変動影響
<ul style="list-style-type: none">暖かさの指数の上昇・冬季降水量減少に伴う生育適地の劣化・縮小
技術・特徴・期待される効果等
<ul style="list-style-type: none">気候変動以外の劣化要因を最小化することを目的として、競合植物の除去等、対象の現状維持のための管理を行うものである。具体的には、現状維持に資する植生管理、土壤侵食抑制、種の保存のための現在の生息地への個体の再導入・補強等が挙げられる。
その他情報
<ul style="list-style-type: none">再導入を行う際は、地域の既存集団に対して遺伝的搅乱等に注意する必要がある。
参考文献
<ul style="list-style-type: none">生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方、環境省自然環境局、2015年

6.5.3.4 生息域外保全による植物の保全

実施を想定する地域
<ul style="list-style-type: none">対策の優先順位が高い地域既存の分布域が縮小・消失が懸念される地域（脆弱な場所）
気候変動影響
<ul style="list-style-type: none">暖かさの指数の上昇・冬季降水量減少に伴う生育適地の劣化・縮小
技術・特徴・期待される効果等
<ul style="list-style-type: none">生育適地が失われる等既知の生育地内での保全が困難な種を対象とした植物園等生育域外での保全を行うものである。
その他情報
<ul style="list-style-type: none">最終手段として実施されるべき適応策であり、生態系全体を保全することが困難であることに加え不確実性が高いと考えられるため、効果は低いとした。実施においては、絶滅リスクの定量評価による優先順位の決定等が必要であると考えられる。また、気候変動への適応策として実施された域外保全の事例は国内では確認できない。
参考文献
<ul style="list-style-type: none">生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方、環境省自然環境局、2015年

6.5.3.5 植物群落の保全的導入

実施を想定する地域
<ul style="list-style-type: none">対策の優先順位が高い地域既存の分布域が縮小・消失が懸念される地域（脆弱な場所）
気候変動影響
<ul style="list-style-type: none">暖かさの指数の上昇・冬季降水量減少に伴う生育適地の劣化・縮小
技術・特徴・期待される効果等
<ul style="list-style-type: none">気候変動下において分布適域の拡大が予測される地域において、移動・分散能力の向上に資する管理や対象種の既存の生育地からの移植等を行うものである。適切に実施されれば個体群の絶滅の回避につながるが、不確実性が高いことに留意が必要である。
その他情報
<ul style="list-style-type: none">一方、意図していなかった生態系への新たな悪影響が生じる可能性や、継続的に経費や人手が必要となるなどの新たな管理の負担が発生する可能性があるため、慎重な検討が必要である。また、現時点において気候変動への適応策として実施された保全導入の事例は国内では確認できない。
参考文献
<ul style="list-style-type: none">生物多様性分野における気候変動への適応についての基本的考え方、環境省自然環境局、2015年大澤 隆文(2015,) 気候変動下における自然保護区での生態系への影響と適応策：とくに海外における知見と実践例を中心に、日本生態学会誌, 65巻, 1号, p. 17-31

6.5.3.6 人材育成

実施を想定する地域
・ 共通
気候変動影響
・ 暖かさの指数の上昇・冬季降水量減少に伴う生育適地の劣化・縮小
技術・特徴・期待される効果等
・ 適応策検討・植生保全活動の推進に向けた人材確保 ・ 気候変動による影響の観測・監視および予測、適応策の検討や実施を行う人材の確保を行うものである。モニタリング等の実施体制の強化が図られれば、長期的には効果は高いと考えられる。
その他情報
・ 市民等と共同したモニタリングについては、モニタリングサイト 1000 や北海道大雪山の事例が挙げられる。
参考文献
・ Kudo, G. (2019). Dynamics of flowering phenology of alpine plant communities in response to temperature and snowmelt time: Analysis of a nine-year phenological record collected by citizen volunteers. <i>Environmental and Experimental Botany</i> , 103843.

6.5.3.7 資金調達と普及啓発

実施を想定する地域
・ 共通
気候変動影響
・ 暖かさの指数の上昇・冬季降水量減少に伴う生育適地の劣化・縮小
技術・特徴・期待される効果等
・ 保全活動推進に向けた協力金の負担要請と活動に関する理解促進 ・ 国立公園における利用調整地区制度や、入山料、協力金の負担等が考えられる。
その他情報
・ モニタリング等の自治体における生物多様性保全施策の実施においては資金面の不足を課題とする報告が多く、適切に実施されれば効果は高いと考えられる。一方、効率的な資源導入のためには、科学的知見に基づく順応的管理の視点が重要である。 ・ 保護地域の管理等における入域料等の活用については一定程度の事例はあるものの、気候変動への適応策として実施された事例は国内では確認できない。
参考文献
・ (特になし)