

平成29年度環境影響評価研修

気候変化が生物多様性・生態系に与える影響 と適応策に関する動向

中静 透

東北大学生命科学研究科・
総合地球環境学研究所プログラムディレクター

- 森林生態系に影響を与える気候要因
- すでにみられる影響と今後予測される影響
- 森林生態系の適応策とその動向



IPCC AR5

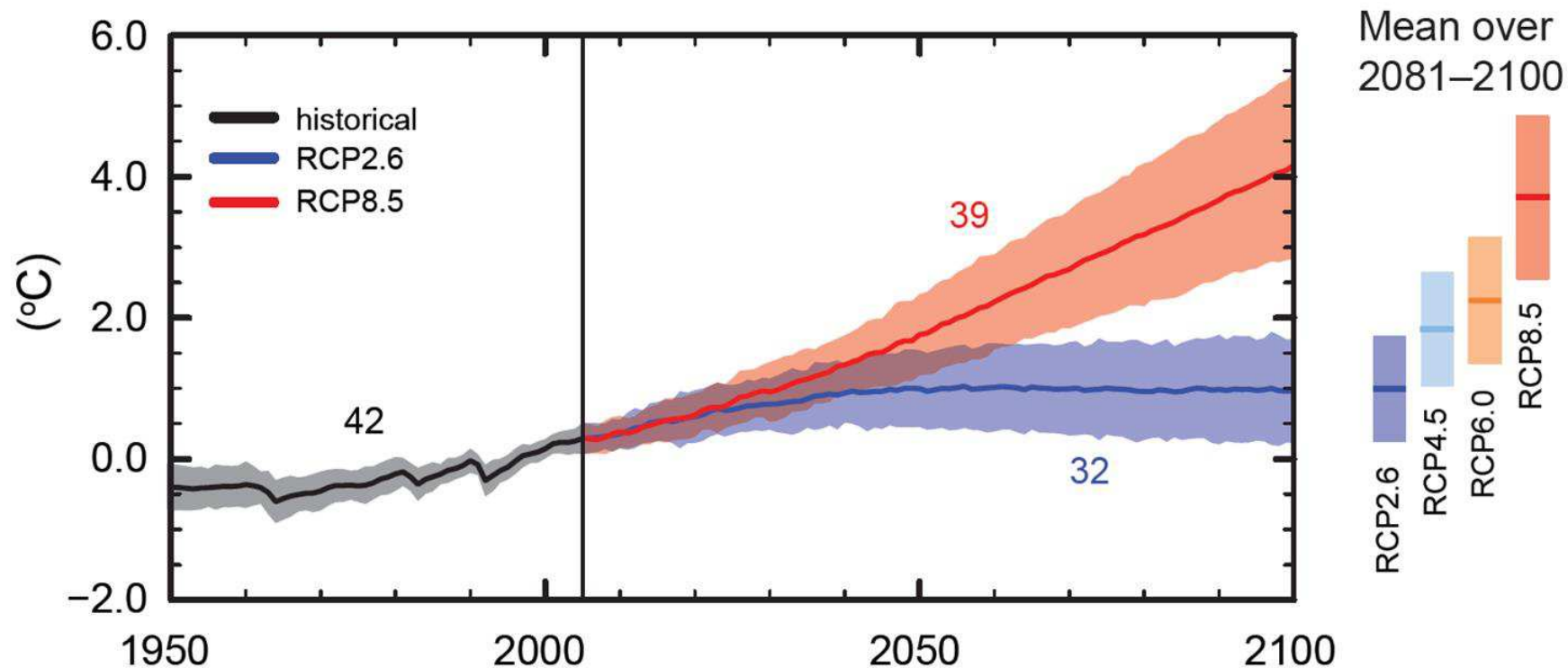
気候システムの**温暖化には疑う余地がなく**、また1950年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものである。大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、海面水位は上昇し、温室効果ガス濃度は増加している

2013年9月 WG1のSPM
「気候変動2013 - 自然科学的根拠」

2014年3月 WG2のSPM
「気候変動2014 - 影響・適応・脆弱性」

2014年4月 WG3のSPM
「気候変動2014 - 気候変動の緩和」

AR5における気候変動シナリオ



RCP: Representative Concentration Pathway 代表的濃度パス。目標温度のためのCO2濃度を設定したシナリオ。放射強制力の大きさで示す。
放射強制力：対流圏の上端におけるエネルギー収支の変化量のこと。正の値の場合は地表の温暖化を、負の値の場合は地表の寒冷化をもたらす。

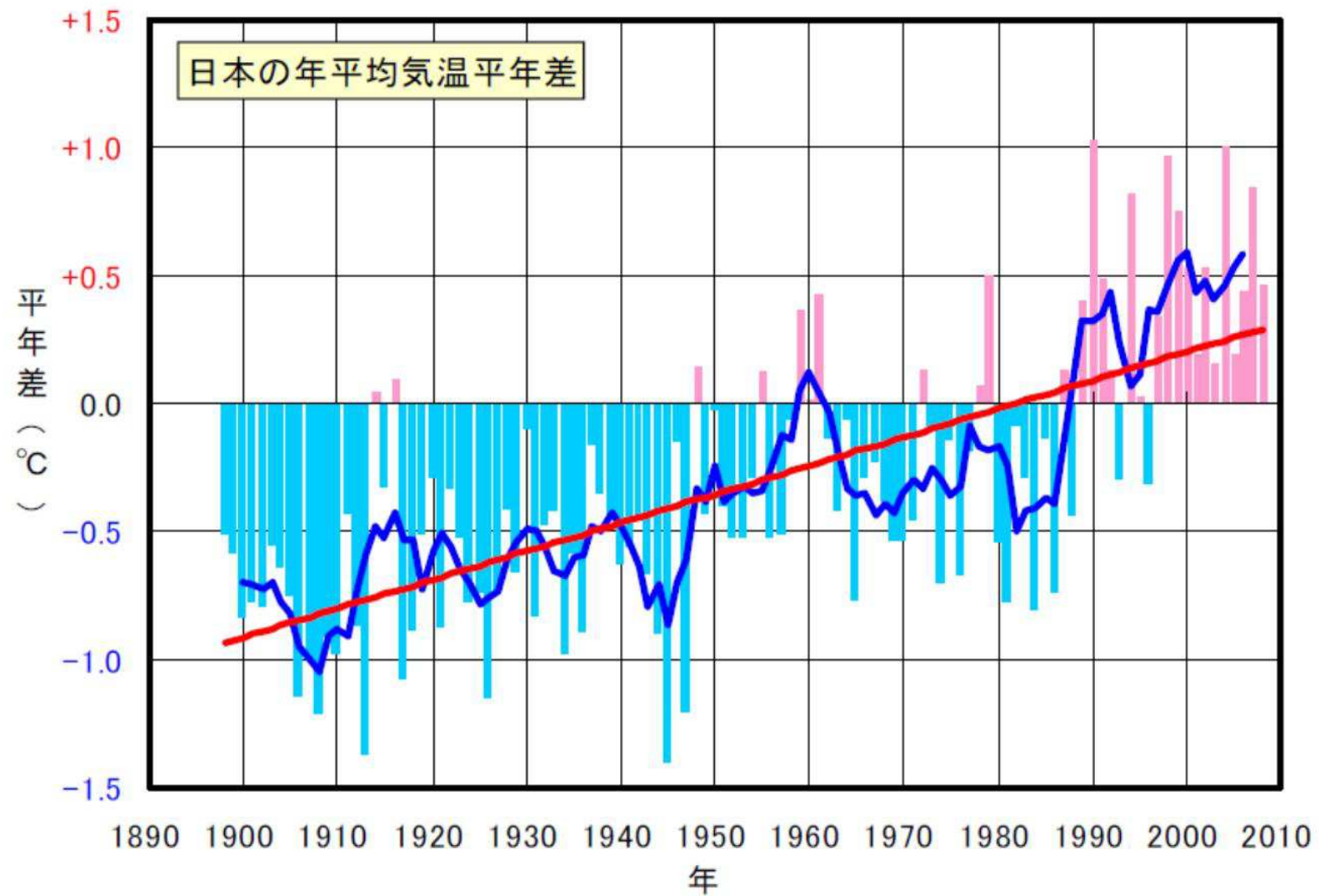


図 3.1.3 日本の年平均気温の変化（1898～2008年）

国内 17 地点（図 3.1.1）での年平均気温の推移を示す。棒グラフは各年の平均気温の平年差（平年値との差）を示している。太線（青）は平年差の 5 年移動平均を示し、直線（赤）は平年差の長期的傾向を直線として表示したものである。平年値は 1971～2000 年の 30 年平均値。

出典：気象庁、2009

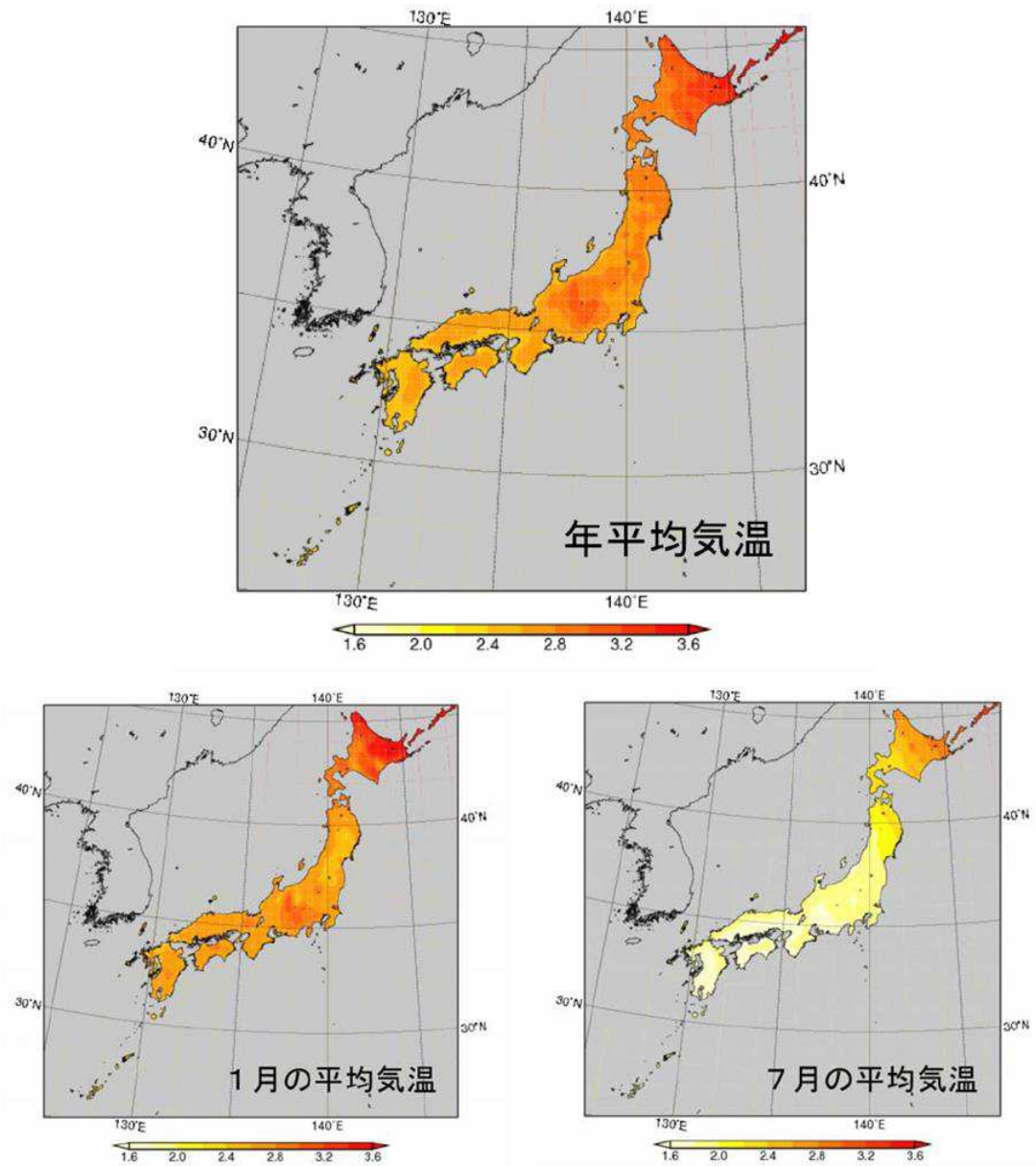


図 3.2.6 日本各地の気温の変化 (単位: °C)

年平均気温 (上)、1月の平均気温 (左下)、7月の平均気温 (右下) の変化予測。2081~2100 年の 20 年平均値と 1981~2000 年の 20 年平均値との差。水平解像度 20km の地域気候モデル (RCM20) による A2 シナリオの結果の予測結果。この計算結果は、単一モデルによるものであり、モデルが異なると計算結果に違いが生じる可能性がある。また、境界条件として与えられた全球気候モデルの特性及び地域気候モデルの計算上の問題から、オホーツク海周辺及び瀬戸内海付近の気温の予測結果は信頼度が低い。

出典: 気象庁、2005b をもとに作成

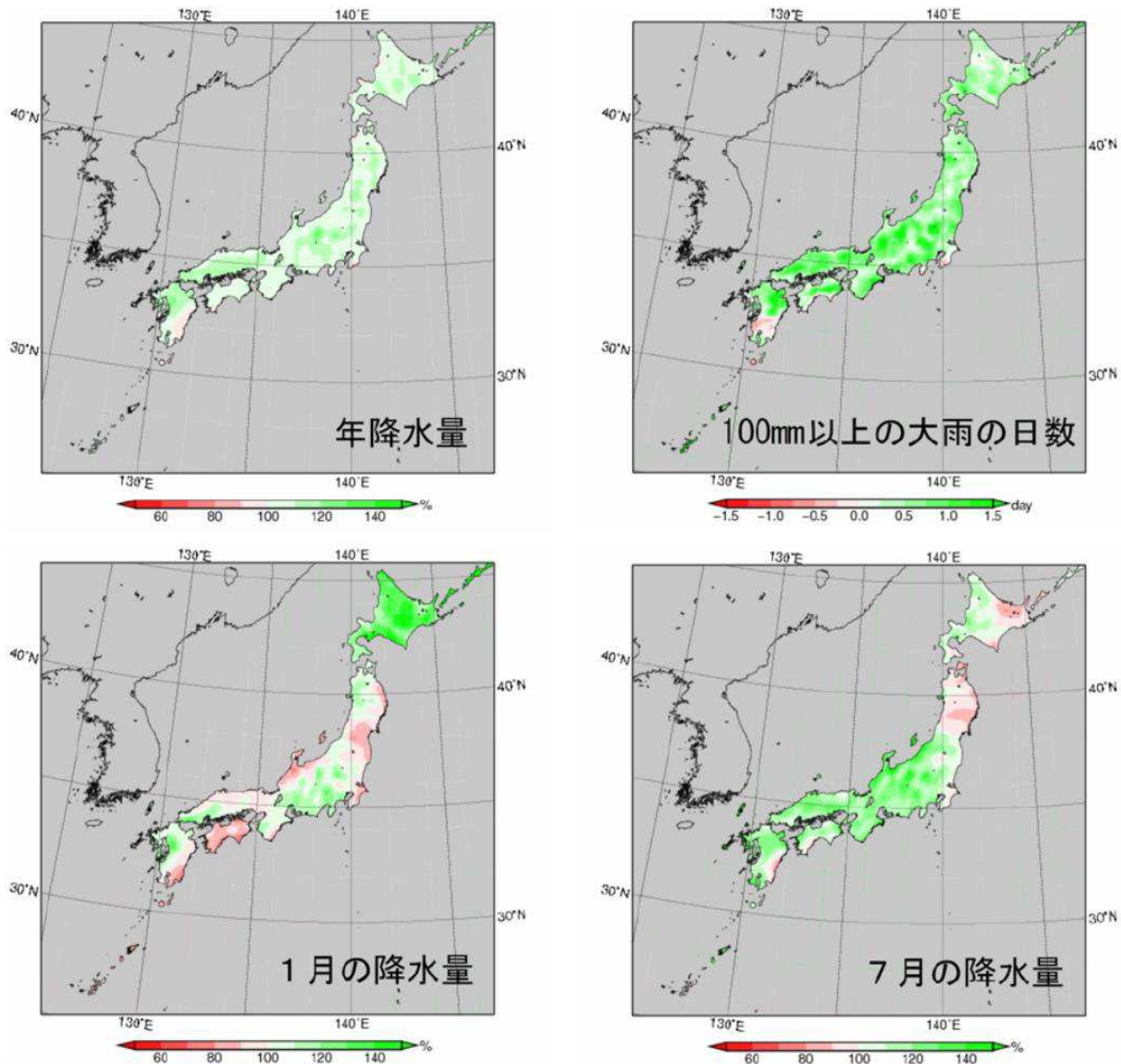


図 3.2.11 日本各地の降水量の変化の予測

年降水量（左上）、1月の降水量（左下）、7月の降水量（右下）、及び100mm以上の大雨の日数（右上）の変化の予測。1981～2000年の20年平均値に対する2081～2100年の20年平均値の比較。降水量は比率（%）で示す。水平解像度20kmの地域気候モデル（RCM20）によるA2シナリオの予測結果。この計算結果は単一モデルによる単一シナリオの結果であり、モデルやシナリオが異なると計算結果に違いが生じる可能性がある。

出典：気象庁、2005b をもとに作成

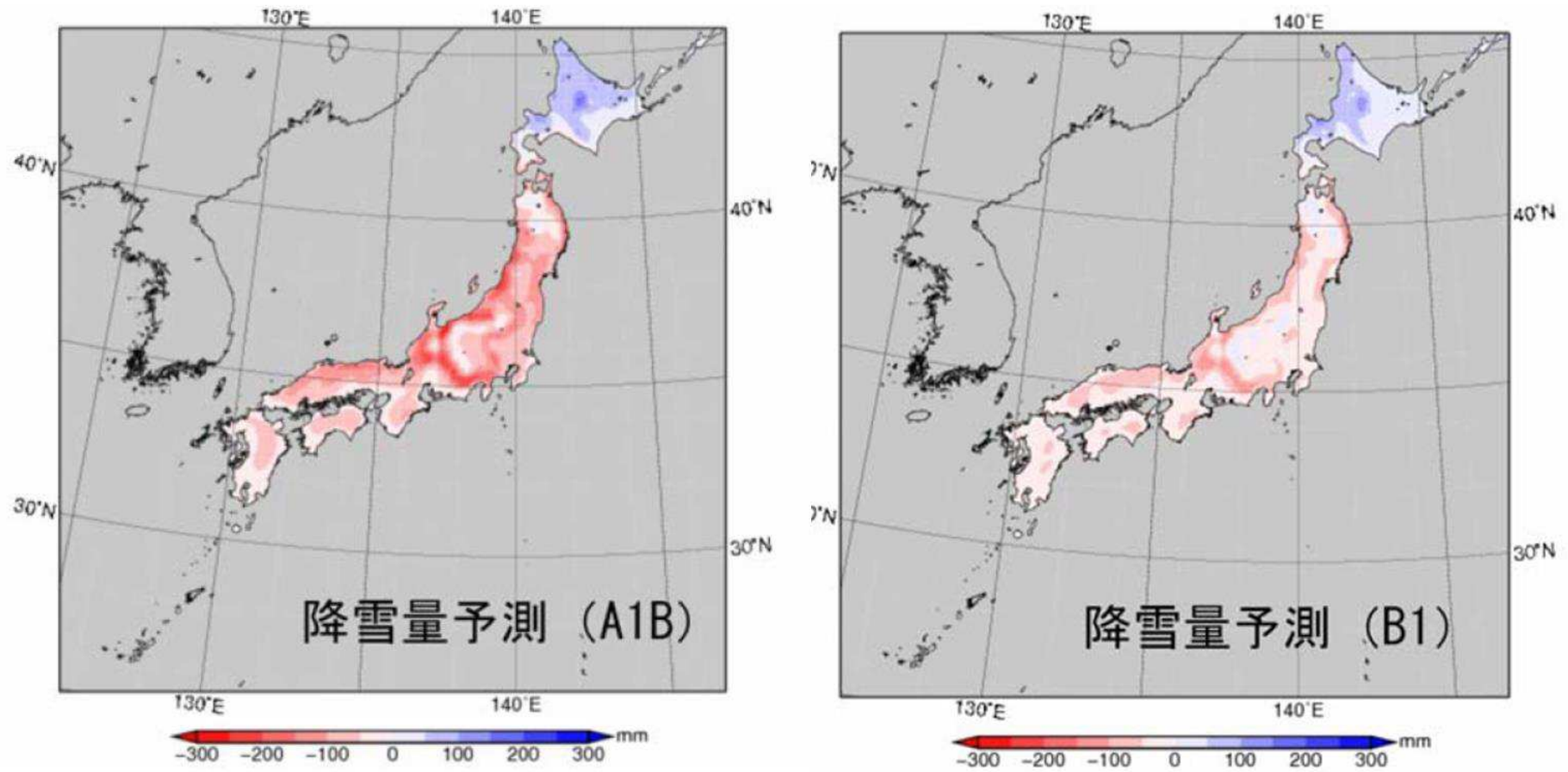


図 3.2.13 日本各地の降雪量の変化

寒候期（12～3月）の総降雪量の、2081～2100年の20年平均値と1981～2000年の20年平均値の差を、降水量に換算した値（mm）で示す。水平解像度20kmの大気海洋結合地域気候モデル（CRCM20）によるA1BシナリオとB1シナリオの予測結果。この計算結果は単一モデルによる二つのシナリオの予測結果であり、モデル・シナリオが異なると計算結果に違いが生じる可能性がある。

出典：気象庁、2008 をもとに作成

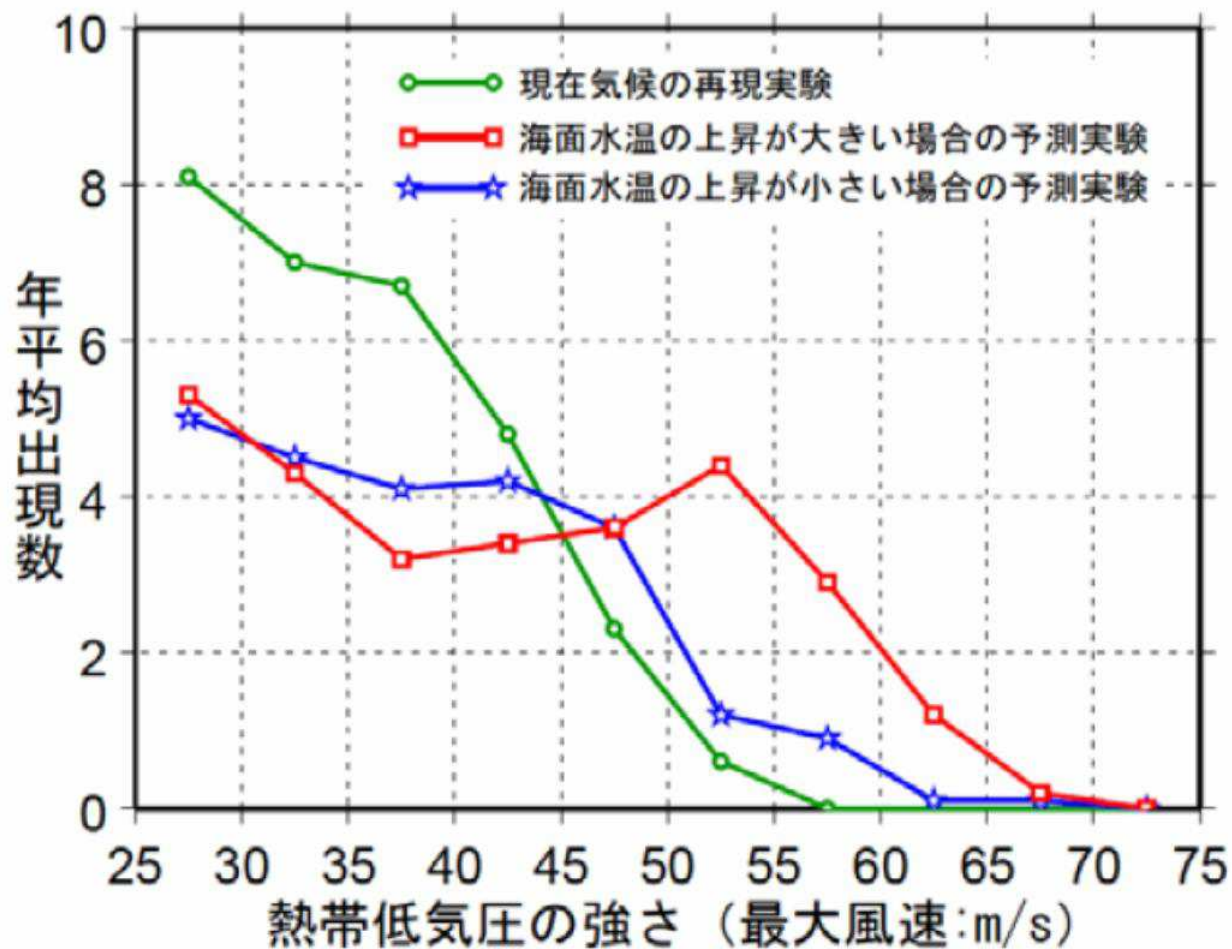


図 3.2.16 温暖化実験による熱帯低気圧の強度別に示した熱帯低気圧の年平均出現数の頻度分布

海面水温観測値による再現実験、温暖化の程度が小さい海面水温予測値（海面水温の上昇が小さい）による実験、及び、温暖化の程度が大きい海面水温予測値（海面水温の上昇が大きい）による実験の結果を示す。

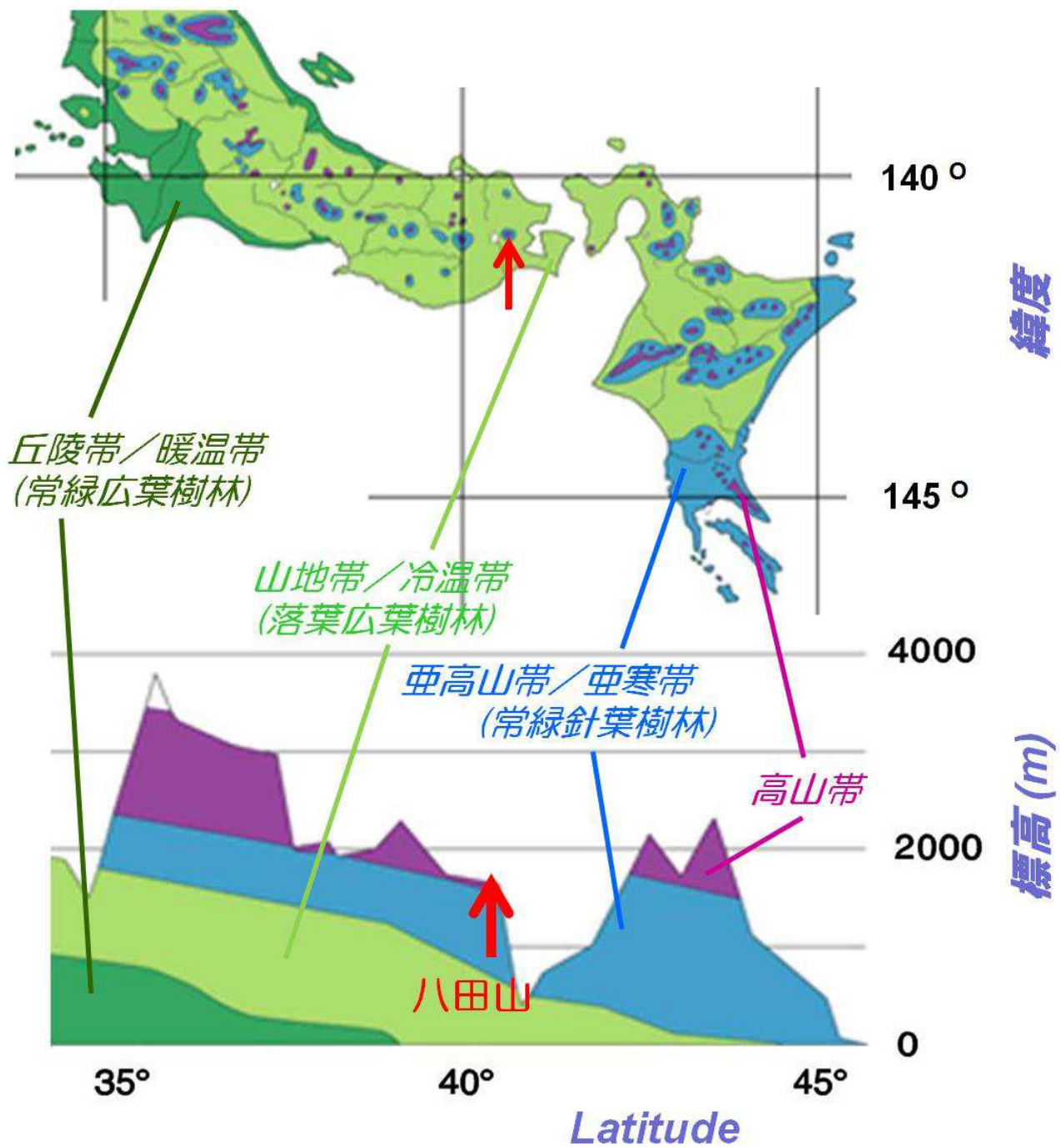
出典：気象研究所他、2007



日本で予想されている影響

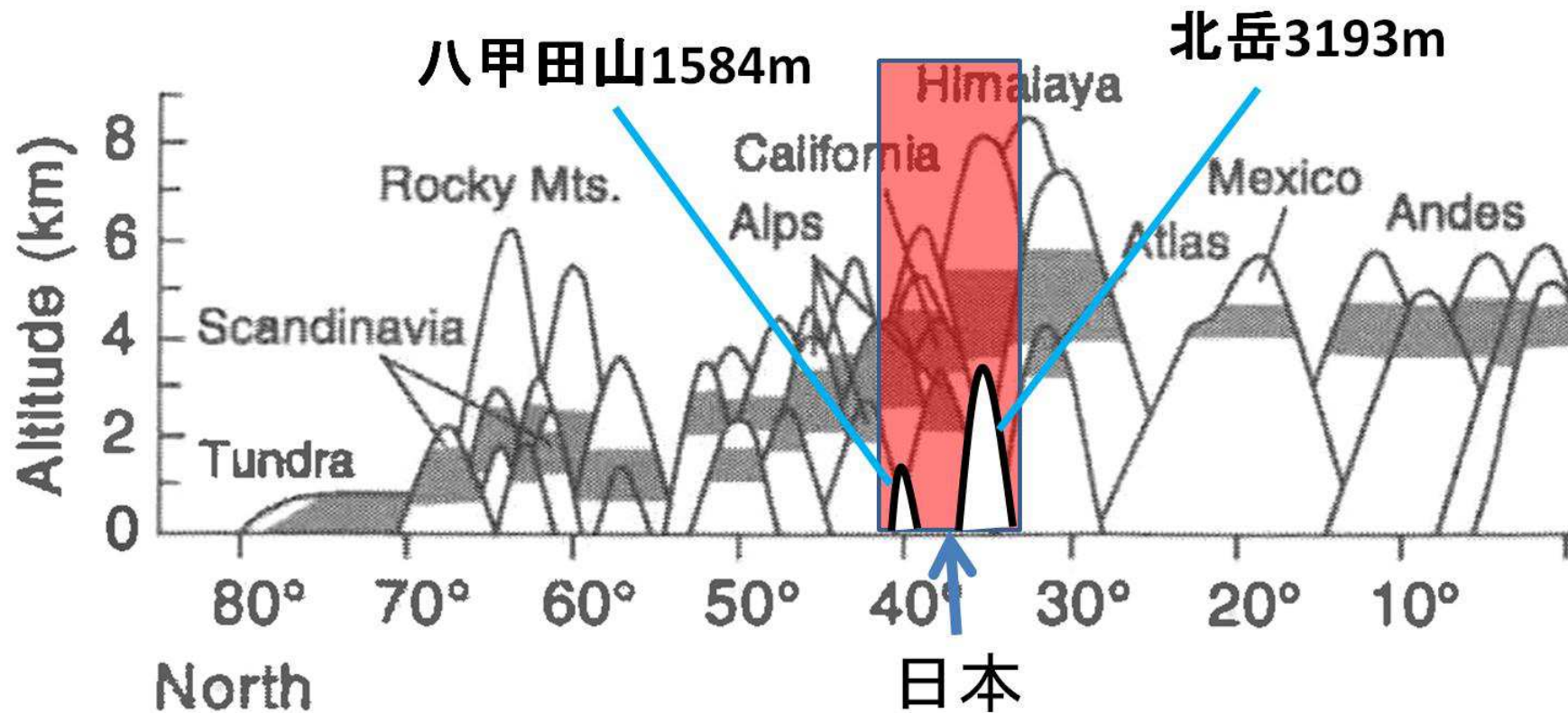
- ・ ブナ林、亜高山帯林などの生育適地がさらに減少
- ・ 北海道の高山植物が急速に衰退
- ・ 東北地方でのタケの分布拡大
- ・ フェノロジーの攪乱が拡大
- ・ 樹木の病気の北への拡大
- ・ 北方の森林土壌からの二酸化炭素放出
- ・ シカなど野生動物の分布拡大（積雪量減少による）
- ・ 湖沼・海での鉛直循環の衰退
- ・ 淡水魚の分布シフトと外来魚の侵入拡大
- ・ オホーツク海における氷減少にともなう食物網の変化
- ・ 魚類の回遊ルートの変化
- ・ 海水の酸性化による石灰化生物の衰退
- ・ サンゴ礁白化の増加

日本の森林帯



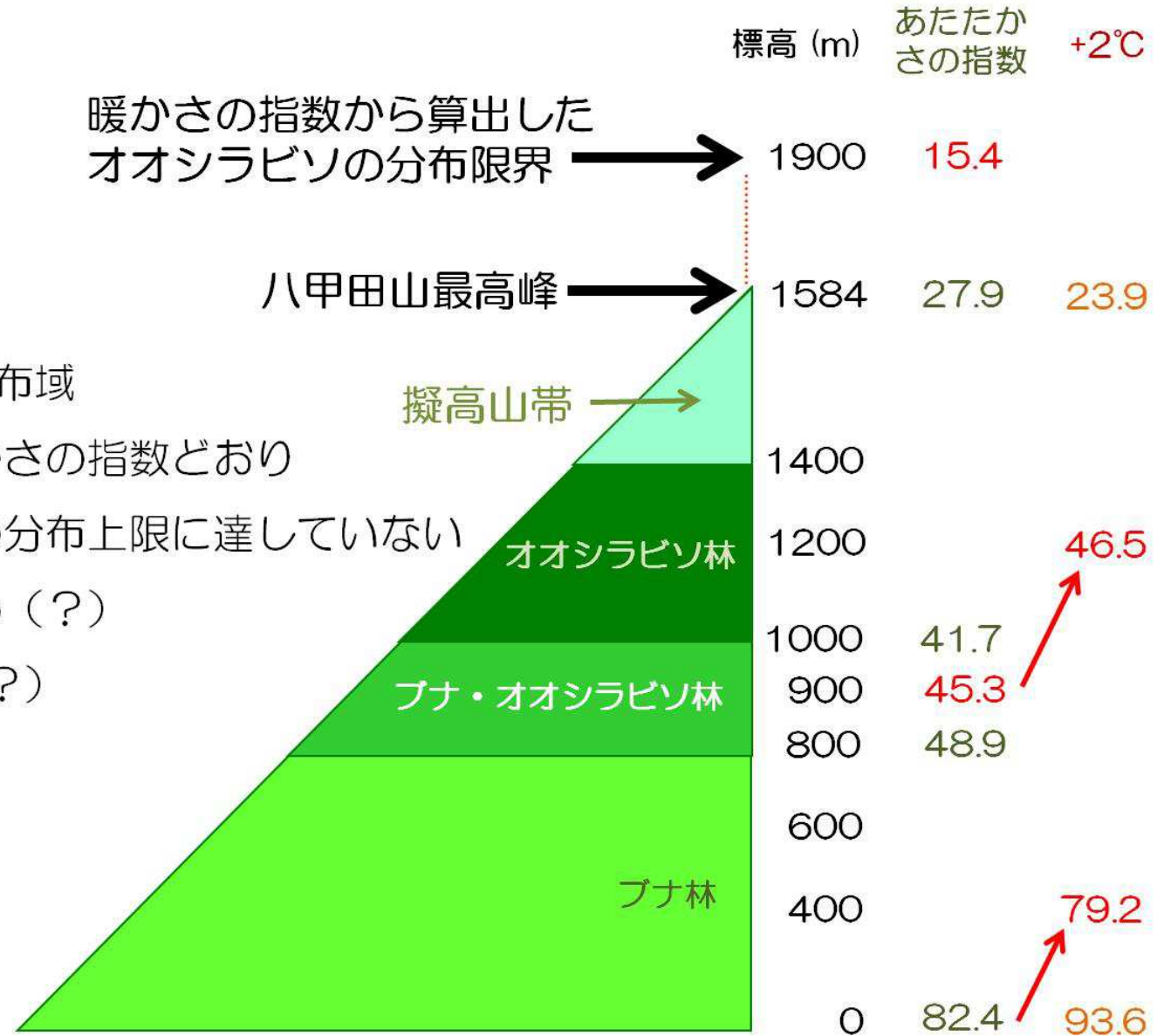
日本の高山とは

日本の山は世界の山と比べると標高が低い
→本来、高山帯は存在しないはず
=高山植物の生息適地は存在しないはず



(Koner, Alpine Plant Life)

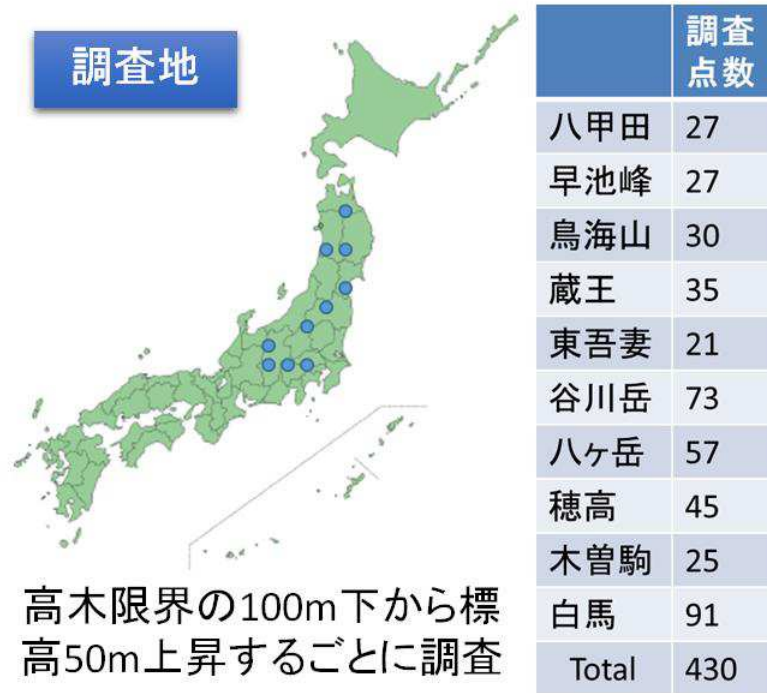
八甲田山における森林の垂直分布



- 海拔0mからブナの分布域
- ブナの分布上限は暖かさの指数どおり
- オオシラビソは温度の分布上限に達していない
- 擬高山帯は多雪のため (?)
- +2°Cで400m上昇 (?)

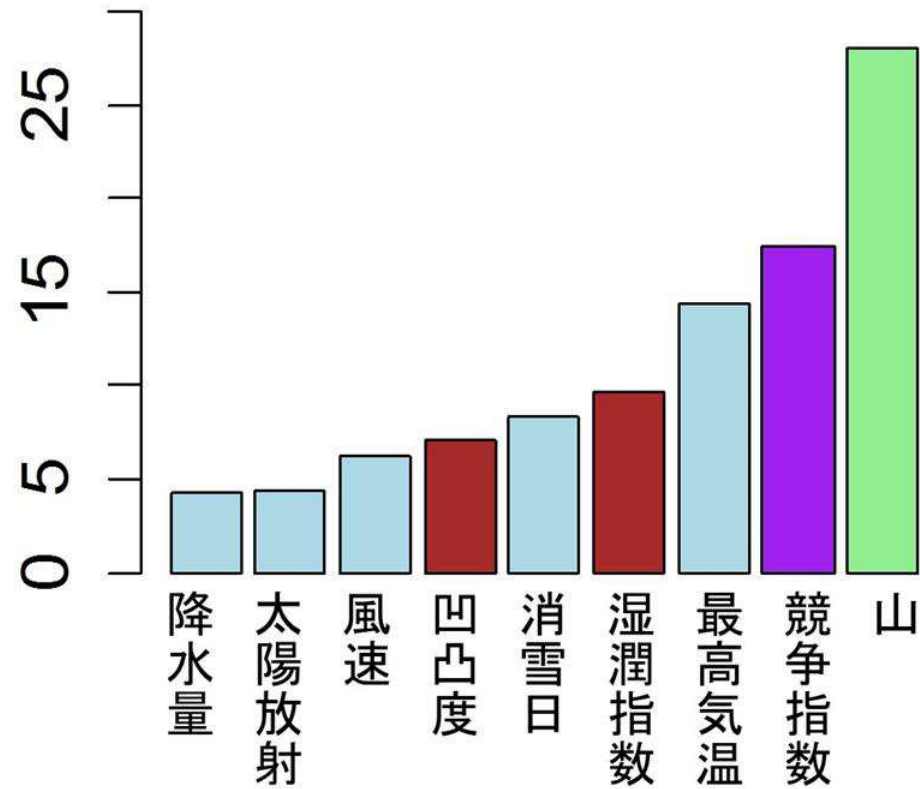
高山植物への影響

絶滅リスクの高い植物・山系
→レフュージアの特定、保全策などの適応策へ



日本の代表的な高山植物60種の存在データに対するGLMM モデル選択結果

各環境要因の重要度



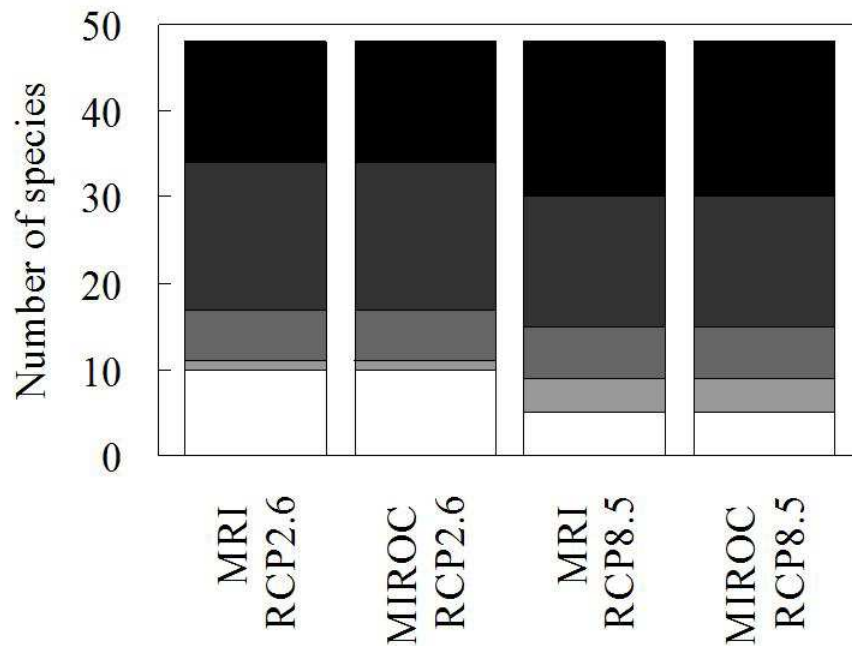
機械学習 (Random Forest) による

野村 (2013)

	標高		
	低 1500m~	2000m~	高 2500m~
少	・東吾妻		・木曾駒 ・八ヶ岳
積雪	・早池峰 ・蔵王 ・谷川岳		・穂高
多	・八甲田	・鳥海山	・白馬岳

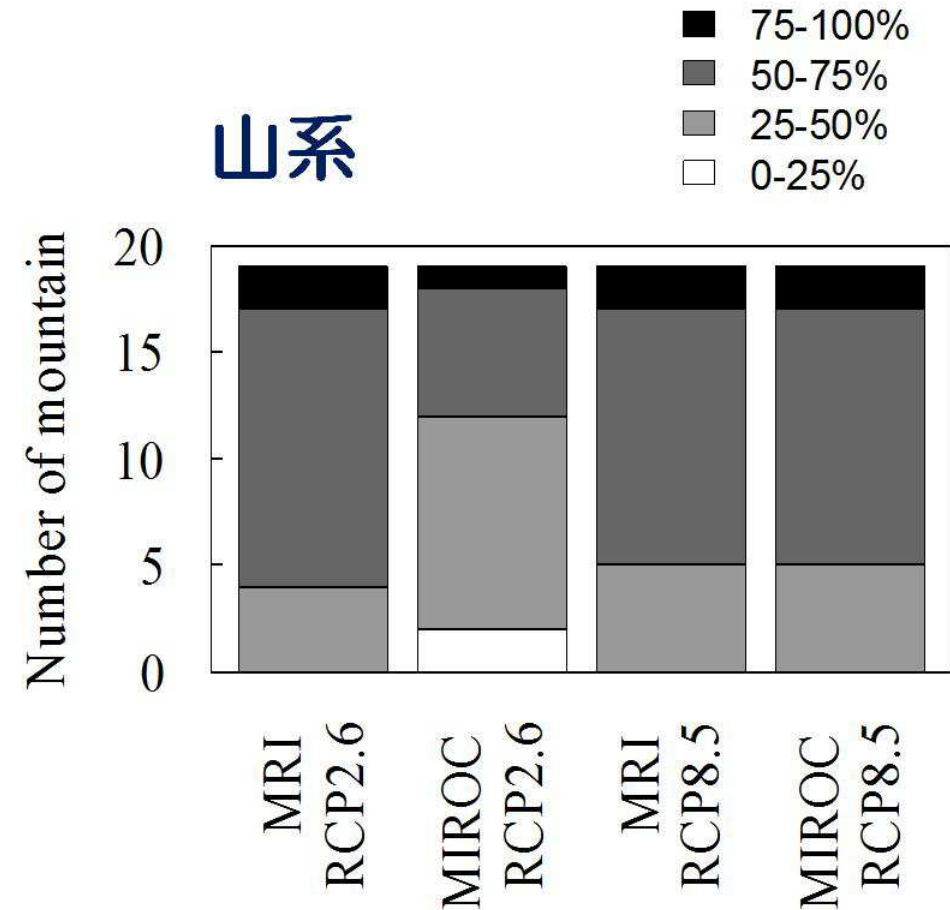
種と山の脆弱性

植物種



- 生活型
草本植物、矮性低木が脆弱
- 生息環境
矮性低木植生、草原、岩礫地が脆弱

山系

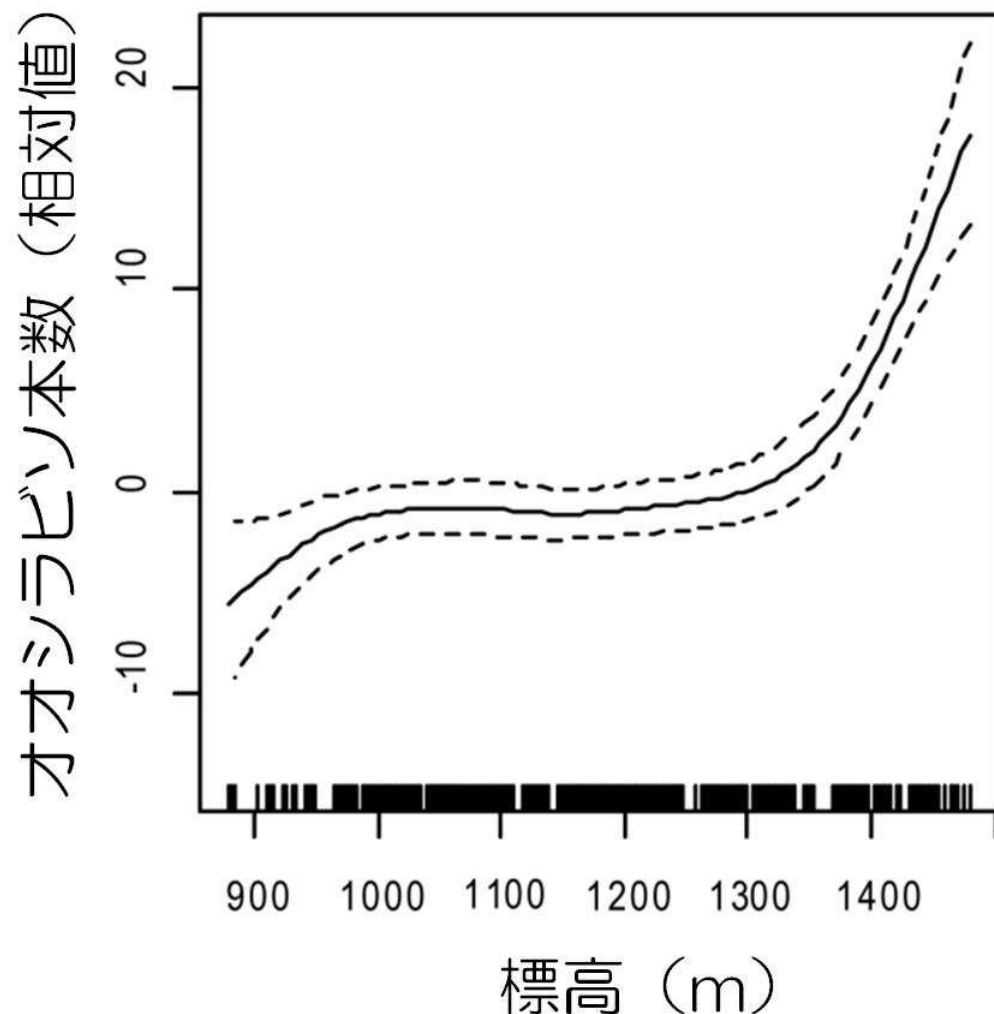


- 雪の多い山が脆弱
- 高山域の狭い山が脆弱



Subalpine evergreen coniferous (*Abies mariesii*) forest

オオシラビソの本数変化と標高



- 過去と現在の空中写真を用いて、30年間のオオシラビソの本数を比較
- 分布の下限では本数が減少する一方、高標高域では増加
- 分布が高標高へシフトしている可能性が高い

過去と現在の空中写真を利用して
高木限界の上昇速度を測定する



2010年
高木限界

1981年
高木限界

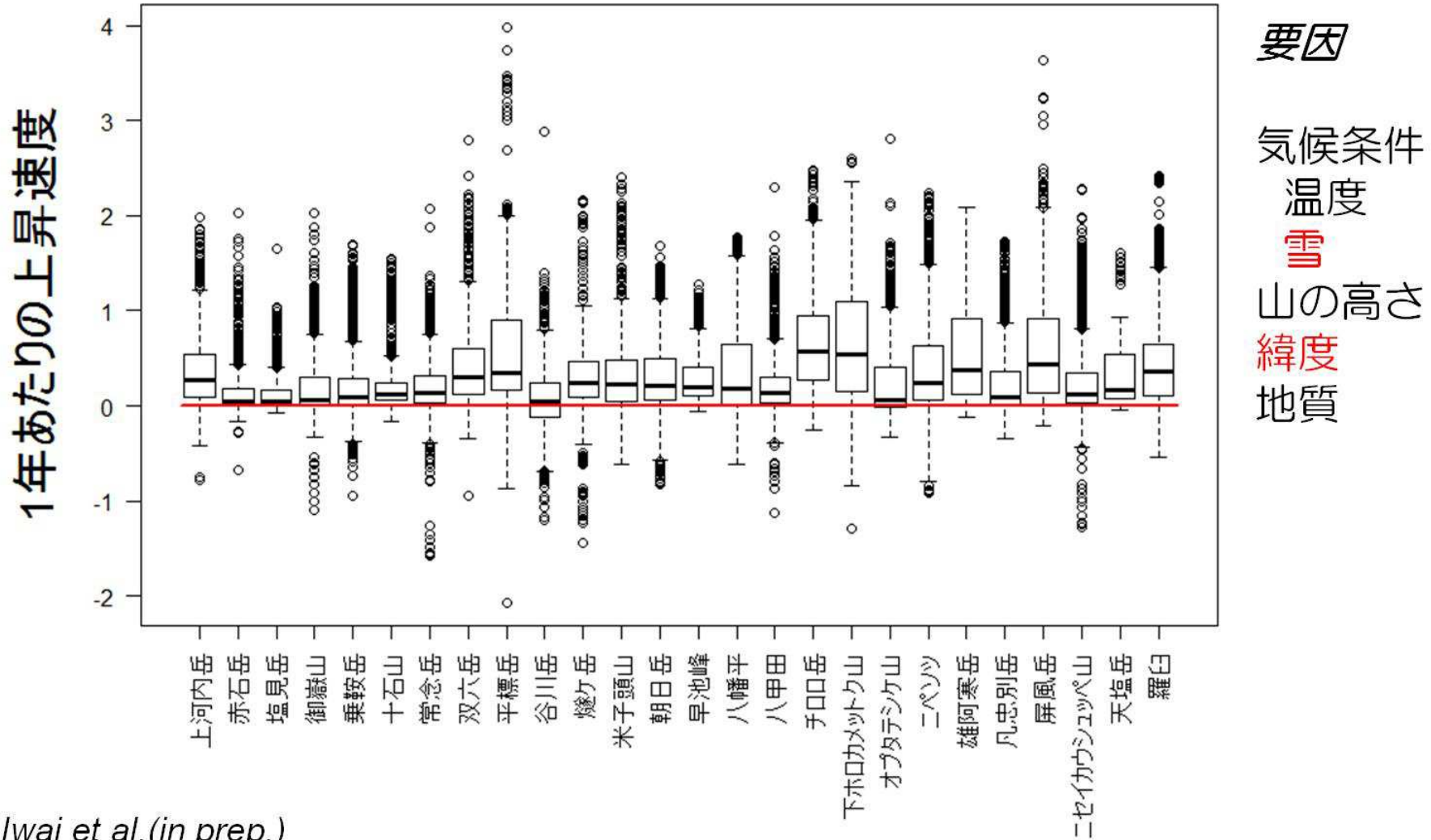
平行線

高木限界の移動
1981-2010

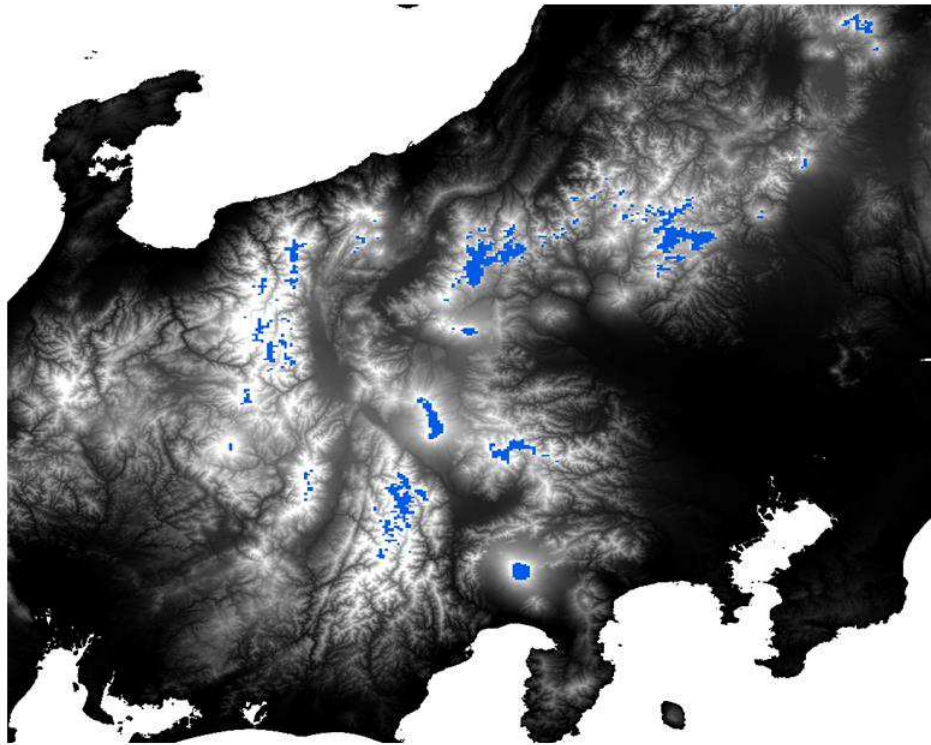
高木限界の移動

本州から北海道まで26座の山で測定

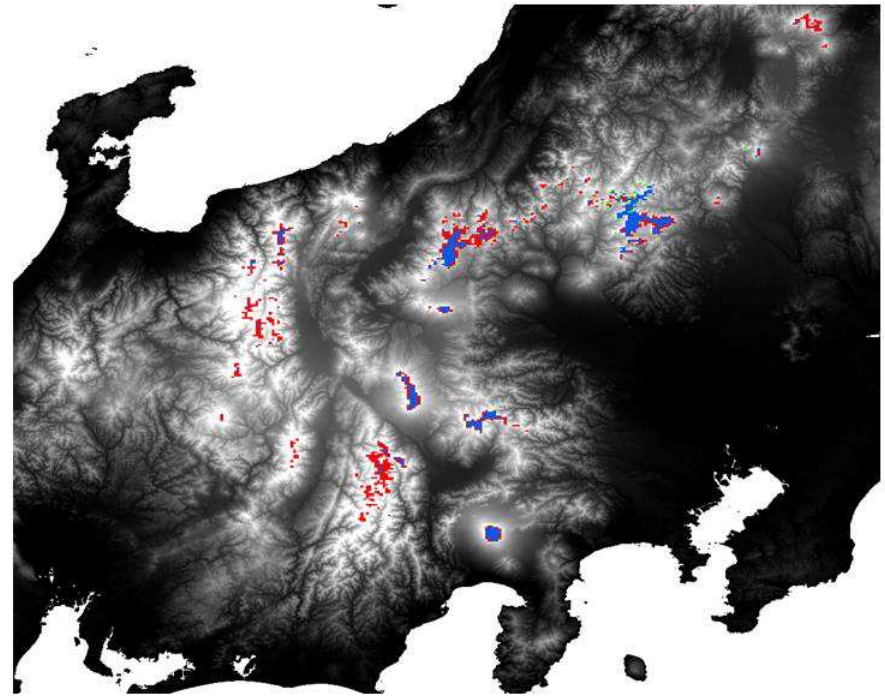
平均: 0.33 m/year << 1.7m m/year (気温の上昇速度)



過去（30年前）の分布条件から予測した現在の高山帯



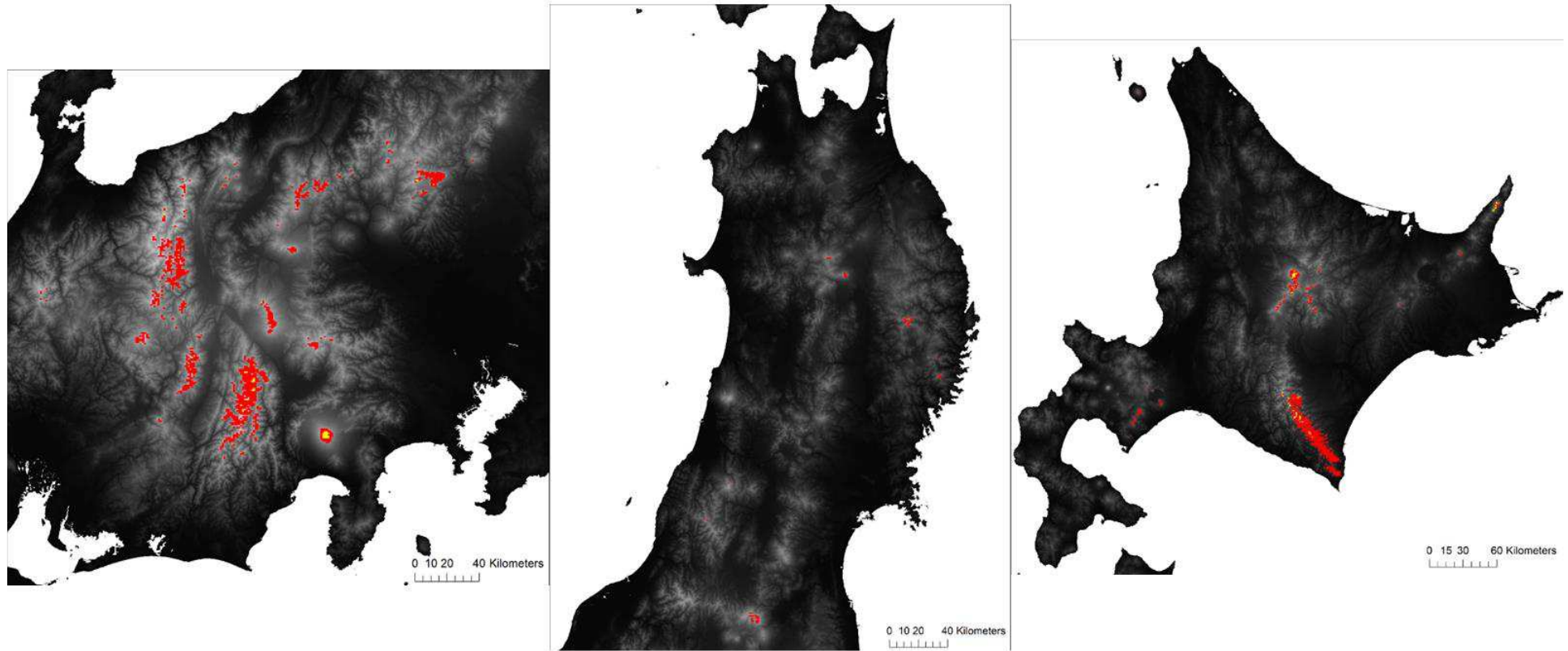
青：過去（30年前）における高山帯



赤：現在は消えていると推定された高山帯

図2.4

過去—MRI RCP8.5

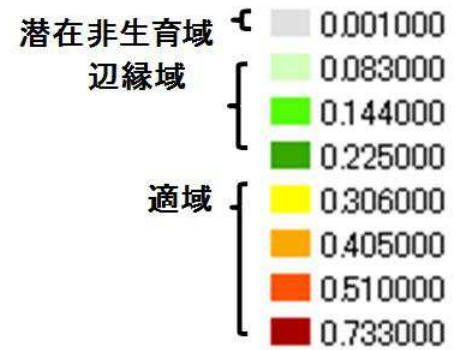


Iwai et al. (in prep.)

湿原周辺がオオシラビソのレフュージアとなり得るか



温暖化後のオオシラビソの潜在生育域予測



温度上昇

1°C

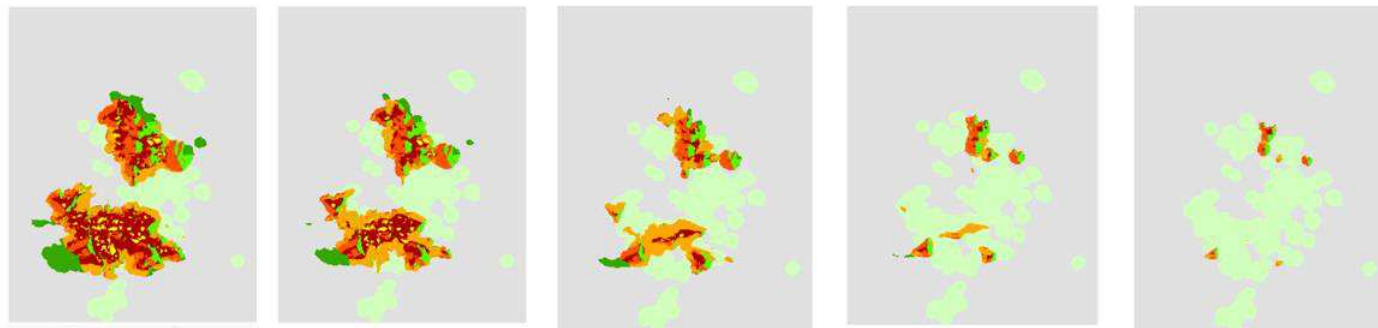
1.5°C

2°C

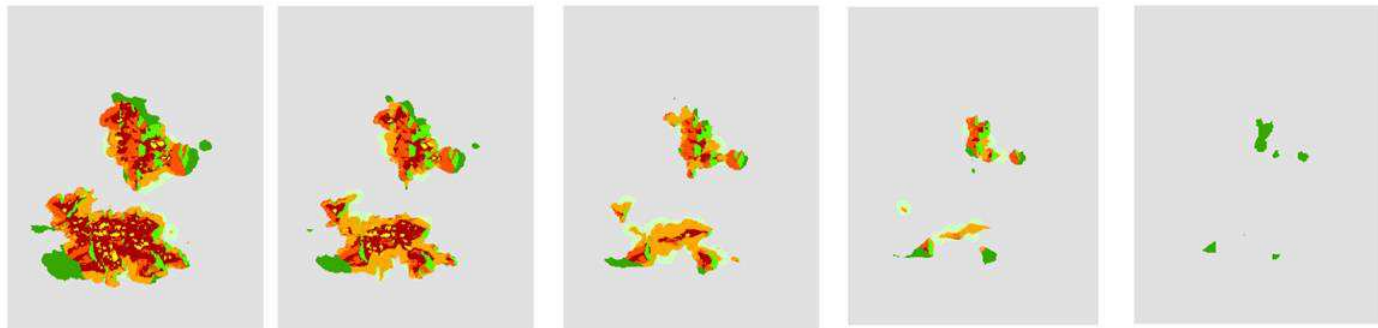
2.5°C

3°C

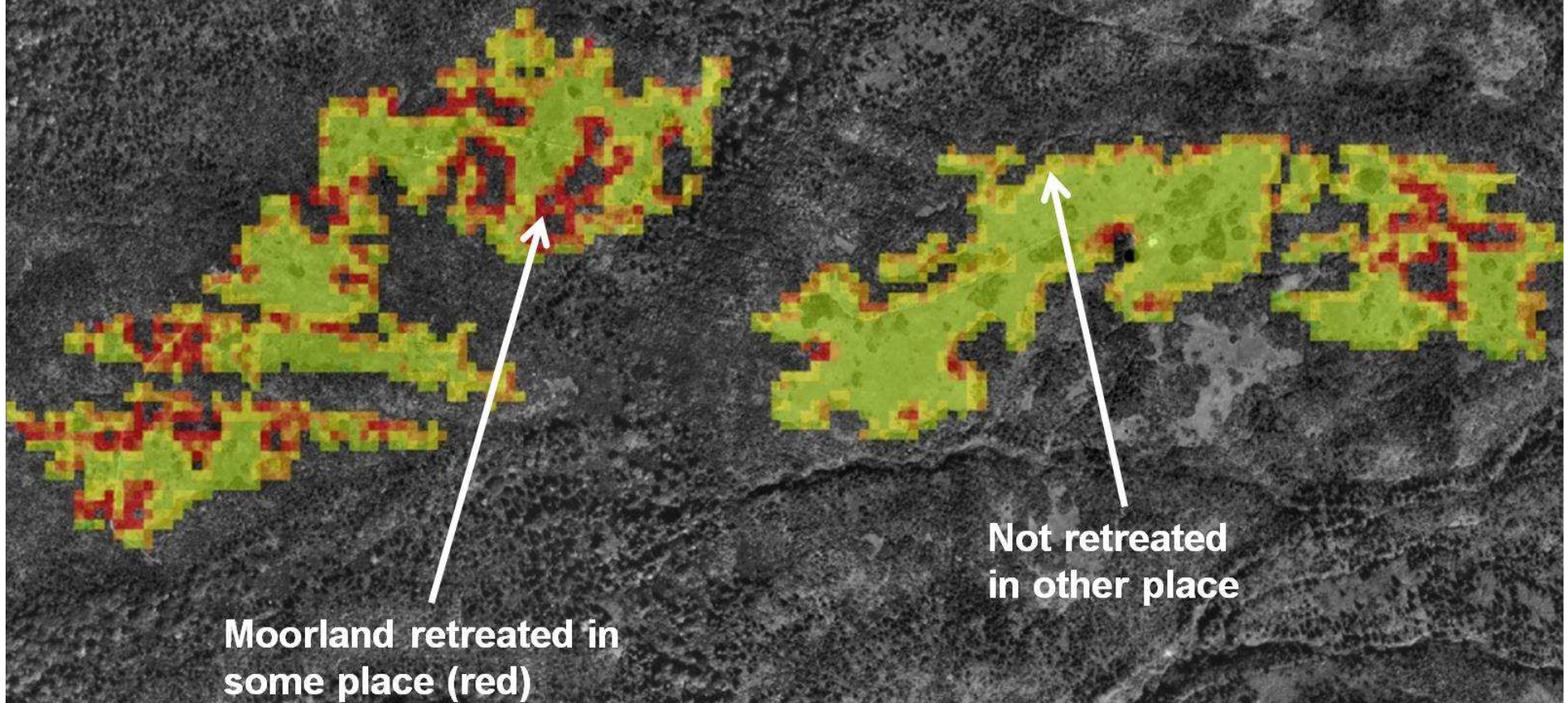
湿原が現在と変わらない場合



湿原が衰退する場合



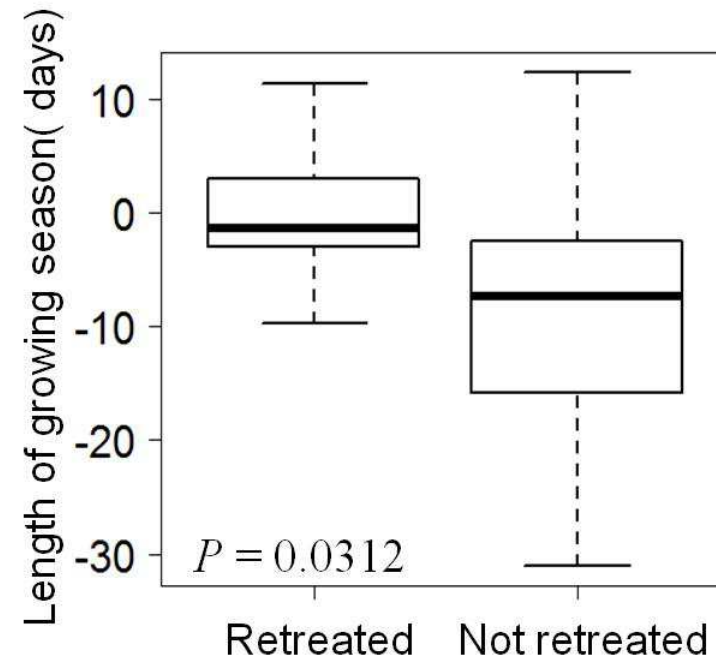
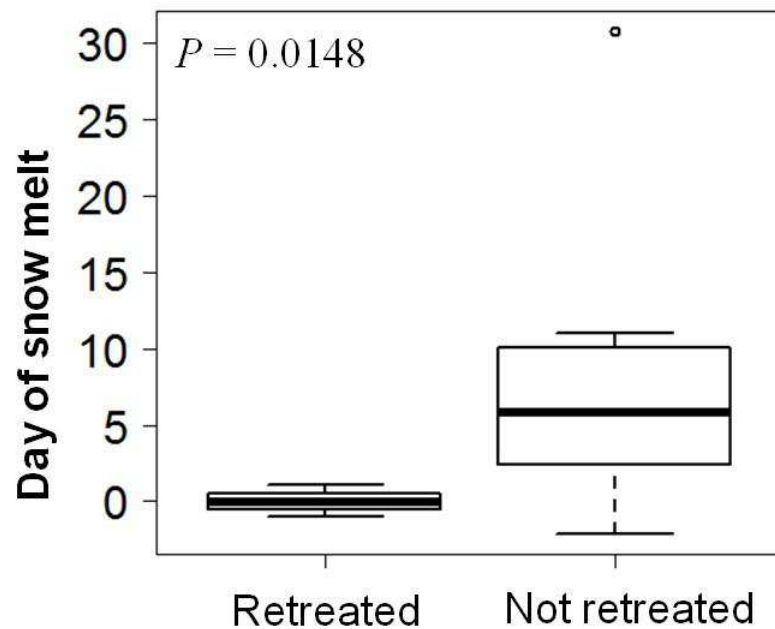
Moorlands have shrunk by about 24 % in area during 1967-2003





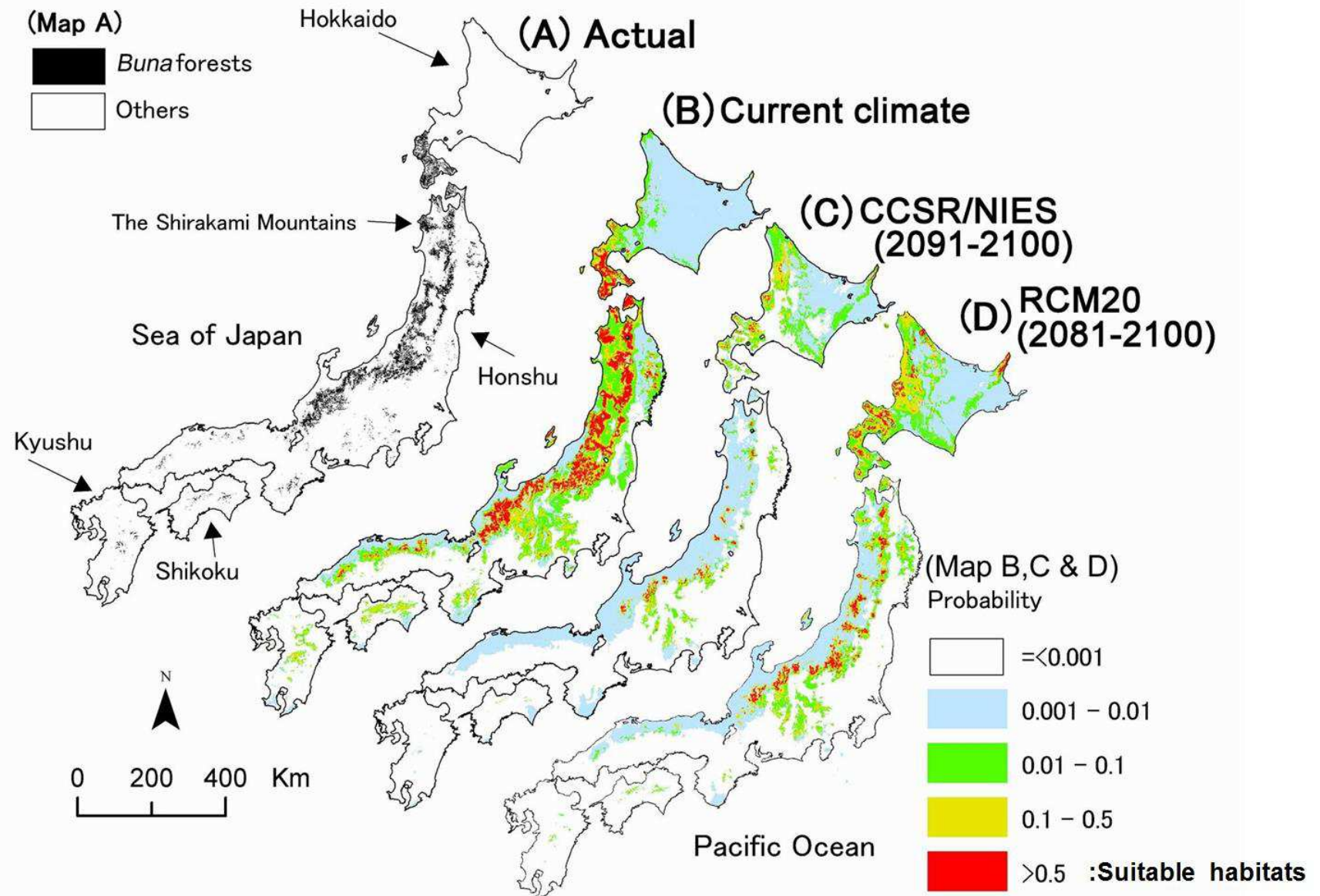
Remaining snow around moorland on July 6, 2006

The day of snow melt affect the change in border between moor and shrub vegetation types



The day of snow melt was detected by temperature sensor, which was buried at the soil surface, 3 m distance to the edge of moor.





(A) 実際のブナの分布、(B) 現在の気候条件から推定される分布域 (C) CCSR/NIES シナリオによって推定される 2091-2100の分布 (D) RCM20 シナリオによる 2081-2100の分布。

(温暖化影響総合予測プロジェクトチーム, 2008)

3. 自然生態系 ③ブナ林

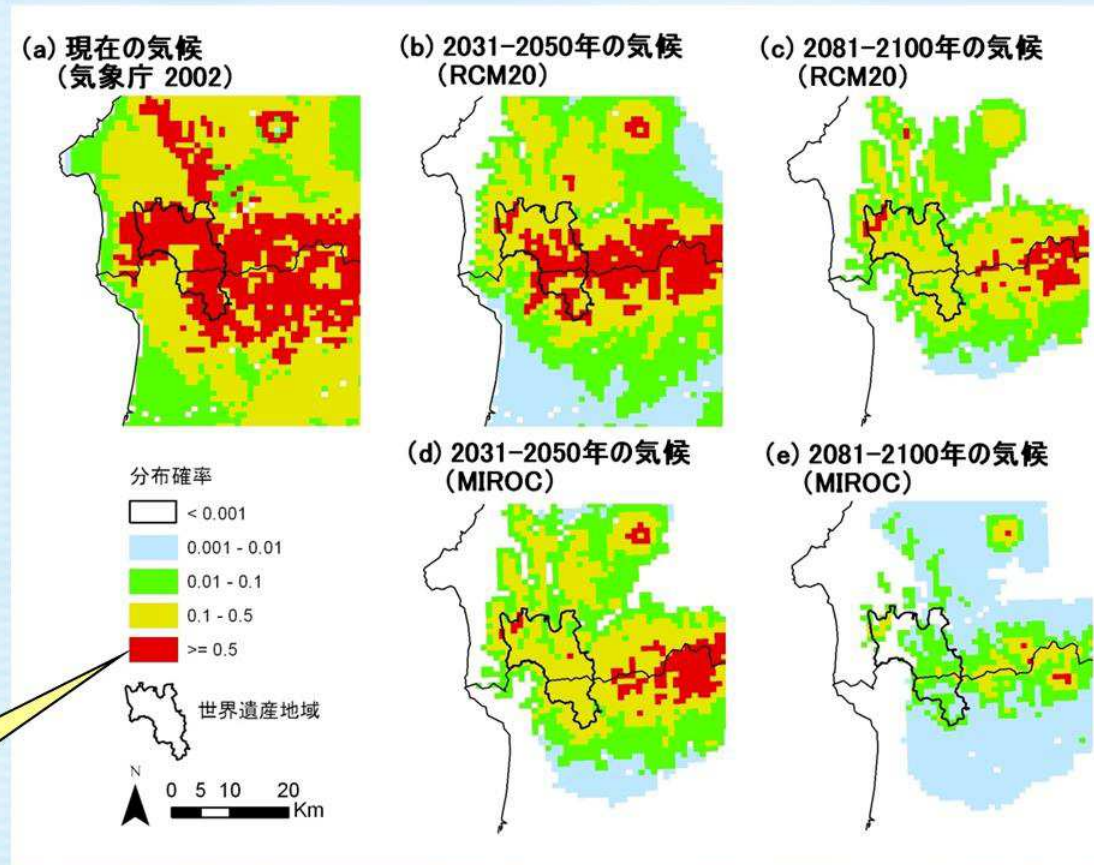
ブナ林の分布に適した地域の減少

— 将来予測される影響 —

ブナ林の分布に適した地域が、将来減少すると予測される。

白神山地世界遺産地域でも、ブナ林の分布に適した地域は大きく減少し、ミズナラ、クリ、コナラなどの落葉広葉樹に交替していくと予想される。

確率の高い分布に適する場所(赤色)が、将来、減ってしまう。



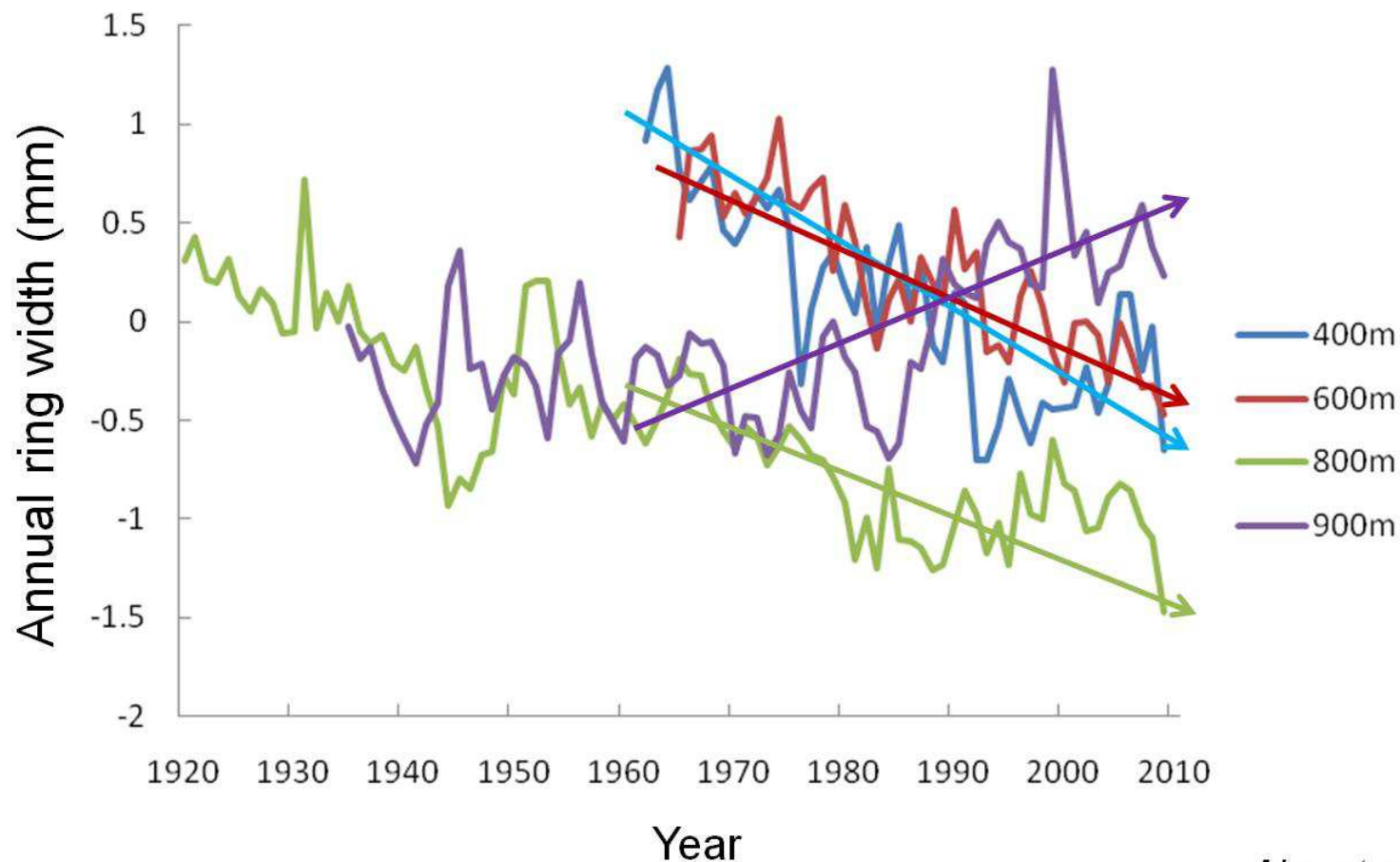
温暖化に伴う白神山地のブナ林分布確率の変化予測

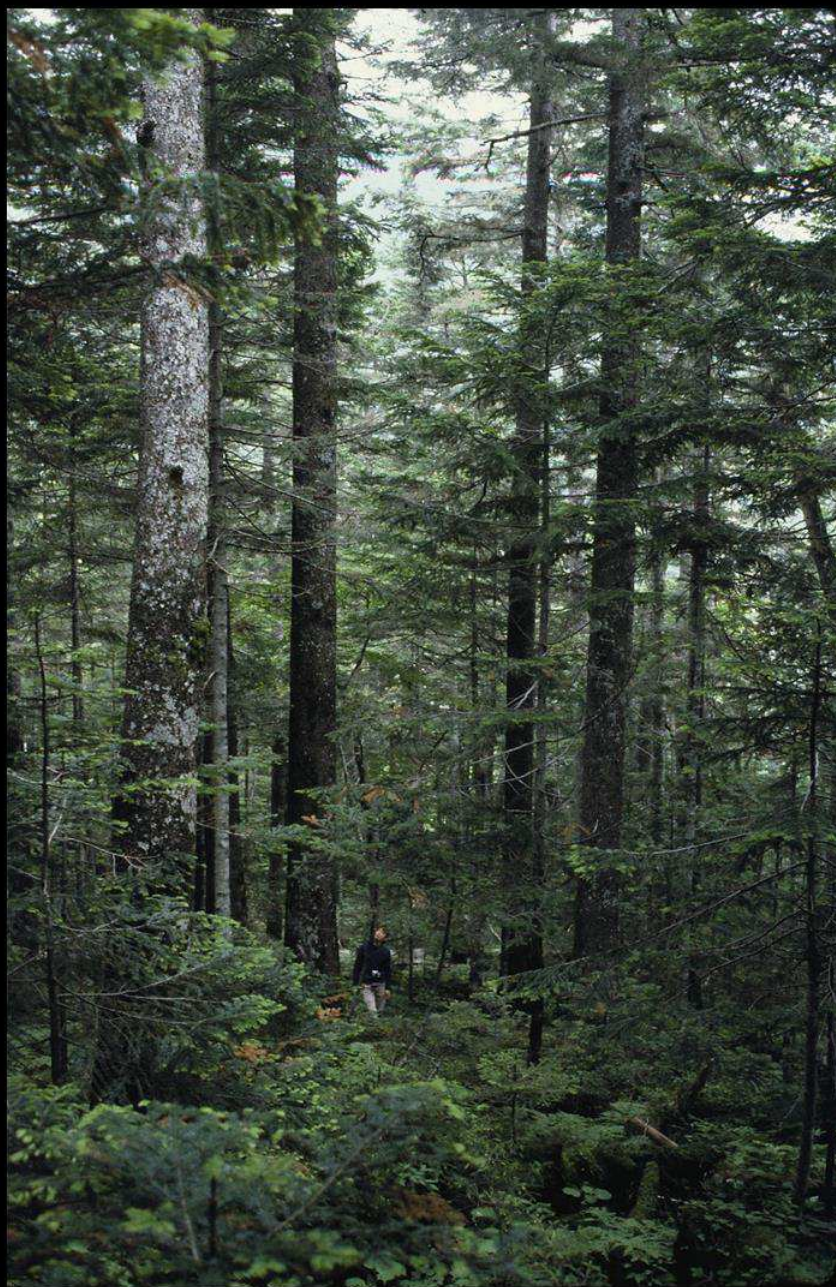
※(b)(c)のRCM20、(d)(e)のMIROCは、異なる気候変化シナリオ。

(温暖化影響総合予測プロジェクトチーム, 2008)

ブナの直径成長速度と標高（八甲田山）

各標高の調査地から林冠に達した健康な個体を10個体選び、成長錐コアで年輪幅を測定。最近30年で、800m以下では成長速度が減少しているが、分布上限付近（900m）では増加している（阿部ほか，未発表）。





北沢峠(南アルプス)(1982年8月)

大規模風倒

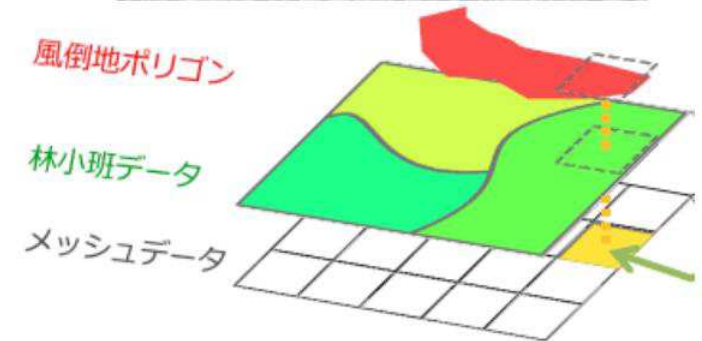
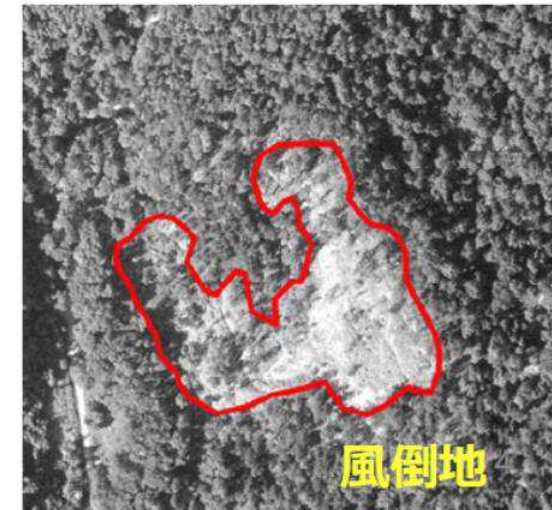


今回の台風では70年生等の高齢級の林分も被害を受けている
残存立木にもモメ等の被害が発生していることが心配される

熊本県小国町
樹種 スギ
林齢 45～77年生

台風による森林被害

- 台風の大型化で影響が拡大すると予測
- ↓
- 過去の台風を再現（竹見G）
 - その台風での森林被害記録を利用（中静G）
- ↓
- 擬似温暖化実験による台風の風速を代入した場合の被害リスクの計算
 - 適応策（？）



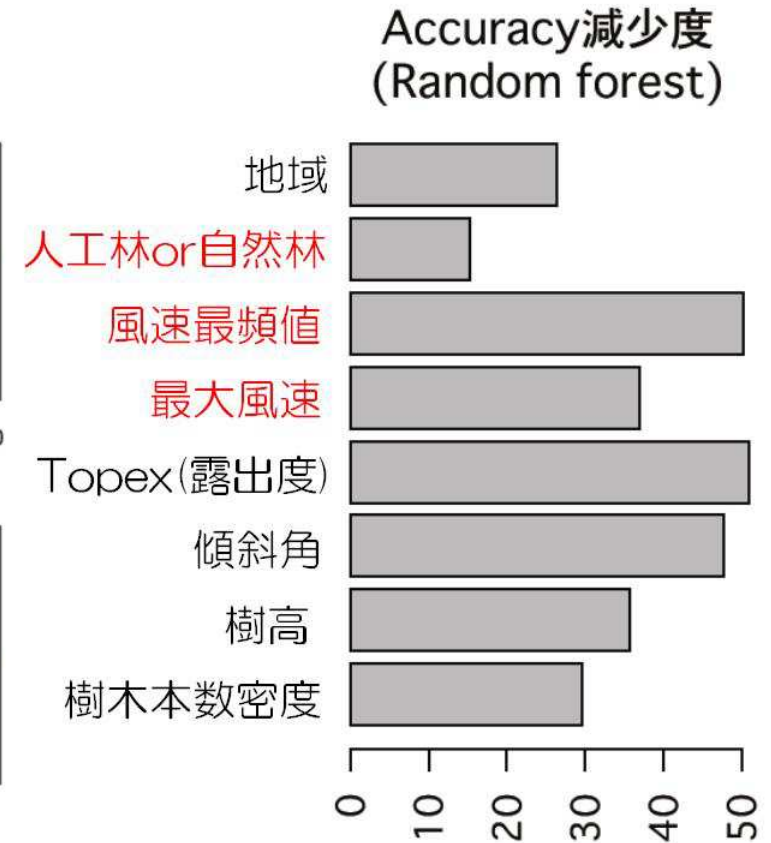
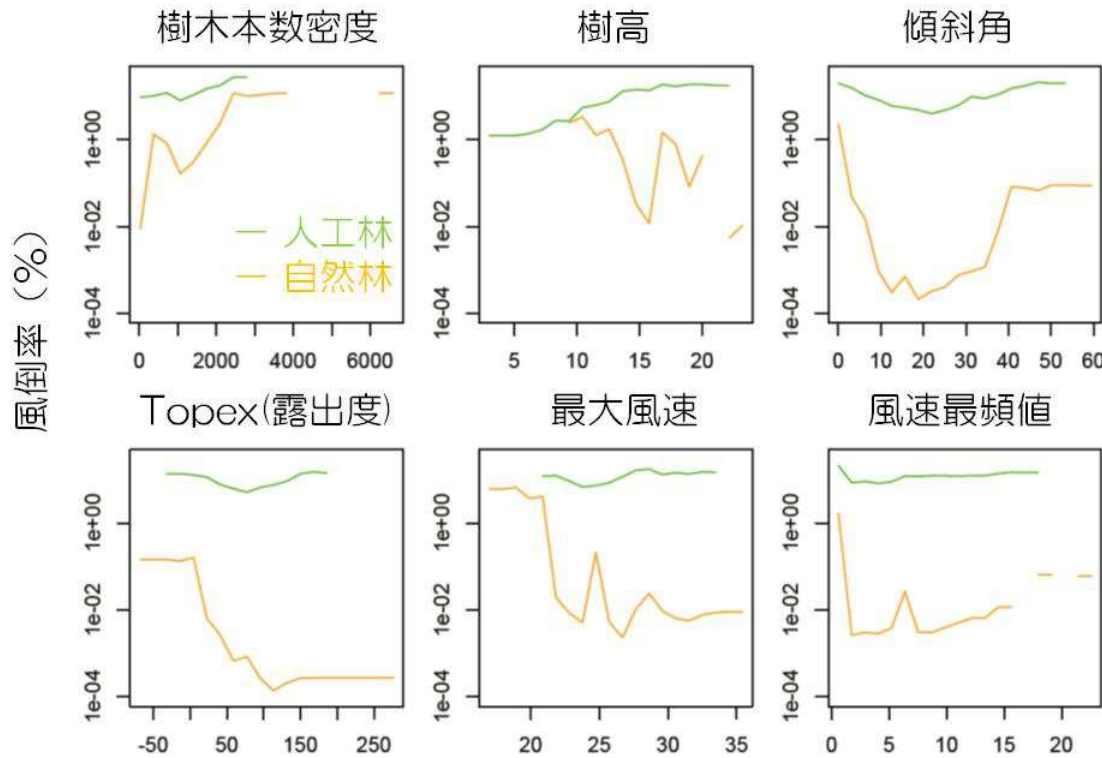
北海道における2004年18号台風被害

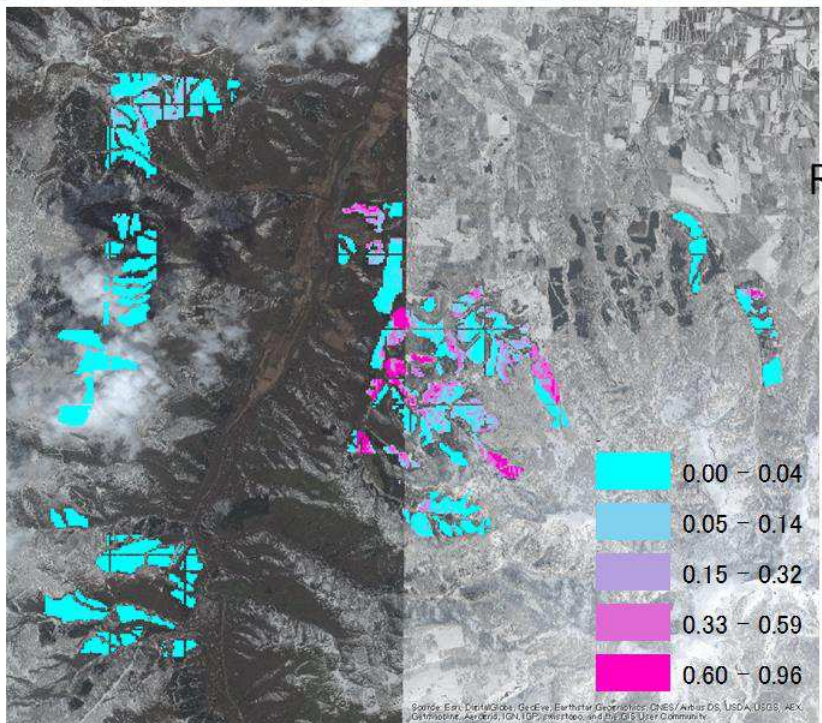
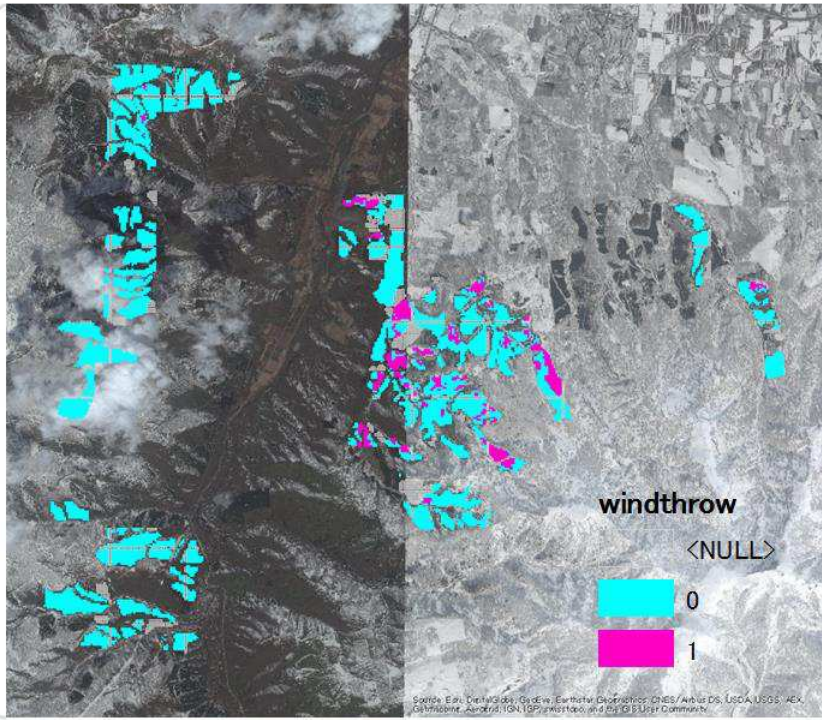
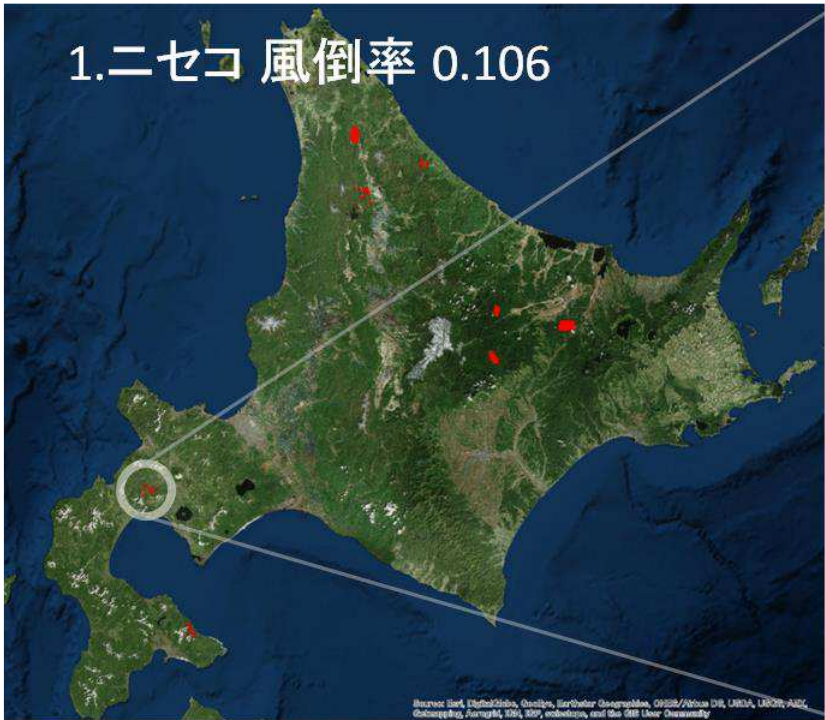
- ・北海道の人工林（4地点）、自然林（4地点）の風倒データを整備（森本G）
- ・解析に用いたパラメーター
 - 応答変数：風倒の有無
 - 気象要因：最大風速、強風持続時間、風速最頻値（竹見G）
 - 生物要因/管理要因：林齢、樹高、本数密度、人工林or天然林、広葉樹密度
 - 地形要因：傾斜角、Topex（露出度）、標高

風倒を起こしやすい条件とは

各説明変数の効果 (random forest)

各説明変数の重要度

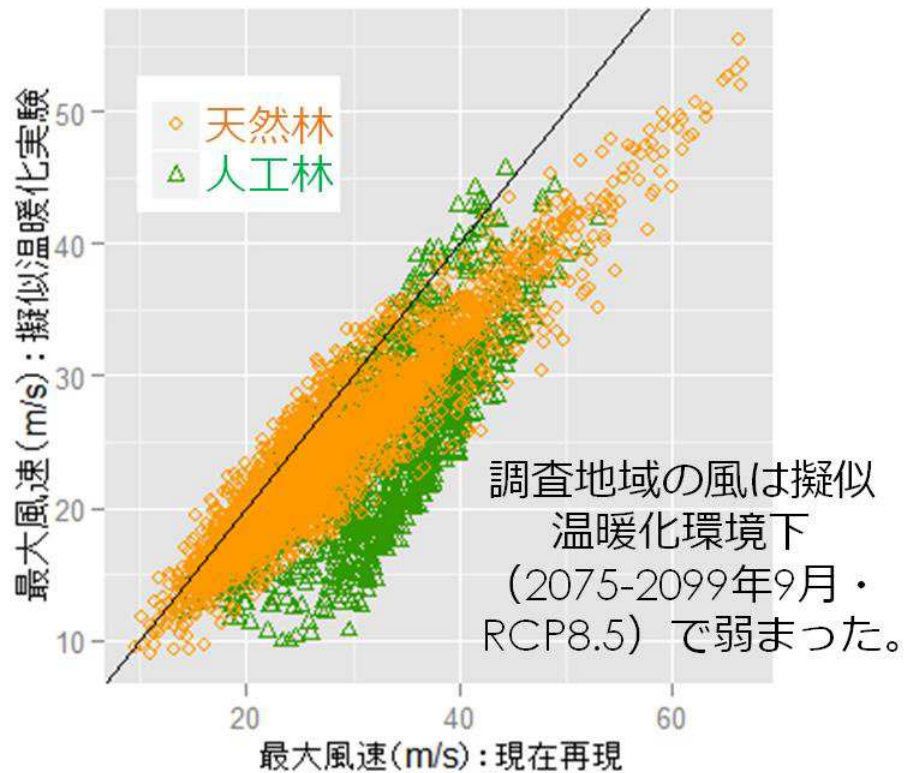
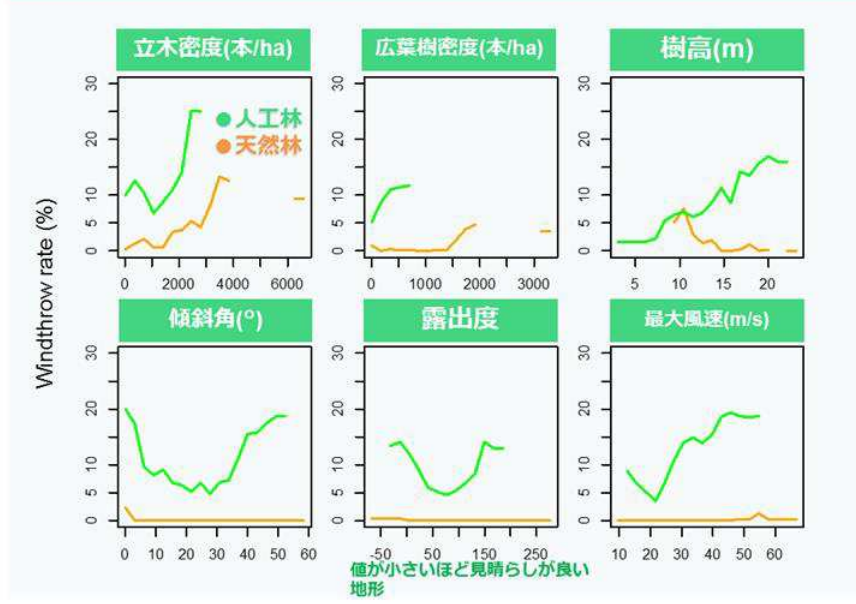




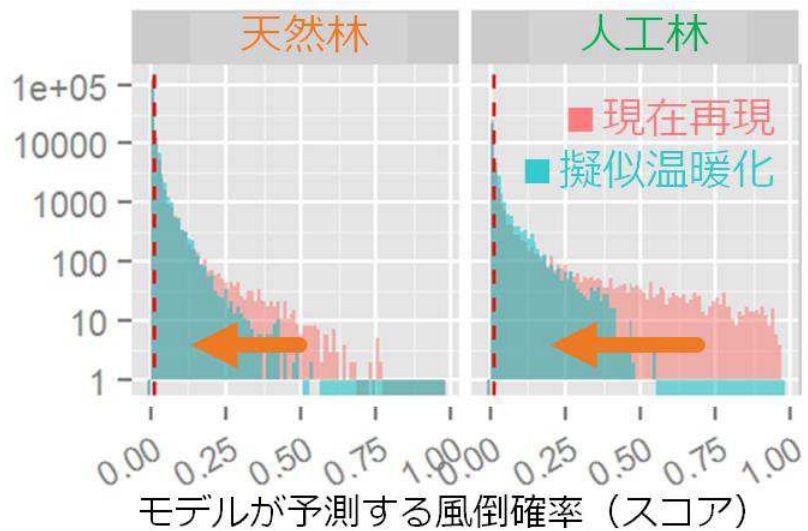
Takano et al. (2016)

2004年18号台風による北海道の森林風倒:機械学習(random forest)による解析と影響予測

風倒確率と説明変数の関係



風倒確率のヒストグラム



1. 現在再現よりも21世紀末擬似温暖化の方が風倒リスクの高い領域が減る
2. 複数の地域、複数の森林タイプ、経路や強さが異なる複数の台風、複数の温暖化シナリオを考慮した風倒研究を蓄積していく必要



筑波山のブナ林衰退。冬の高温と降水量の減少が原因といわれている

(温暖化影響総合予測プロジェクトチーム, 2008)

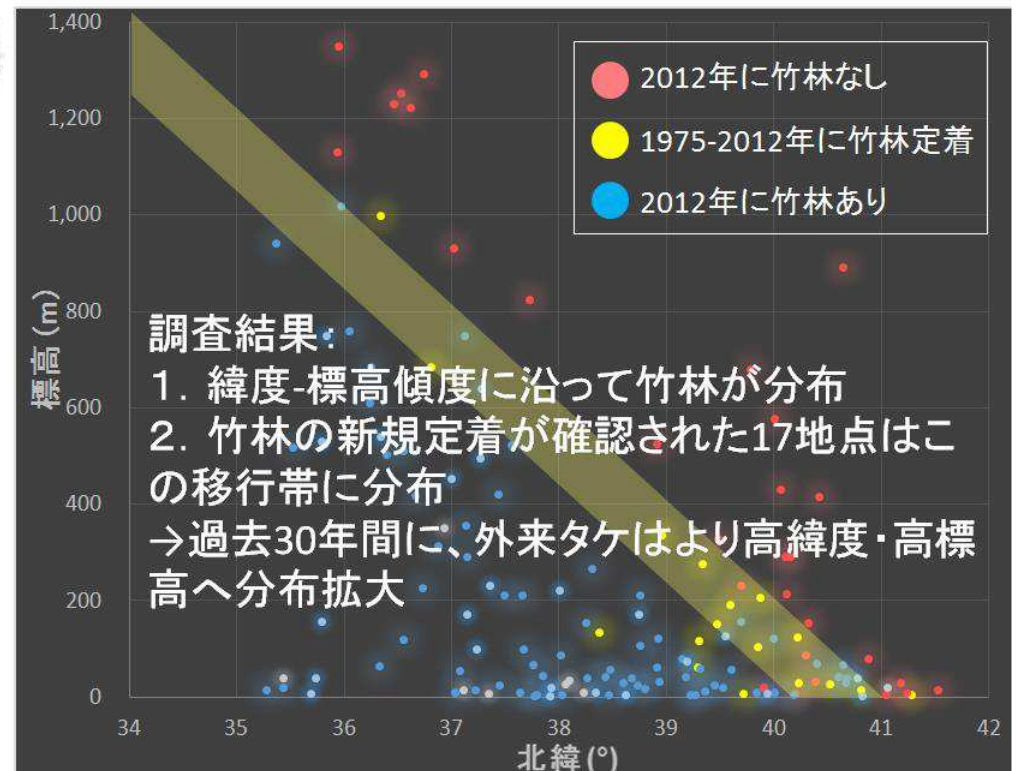
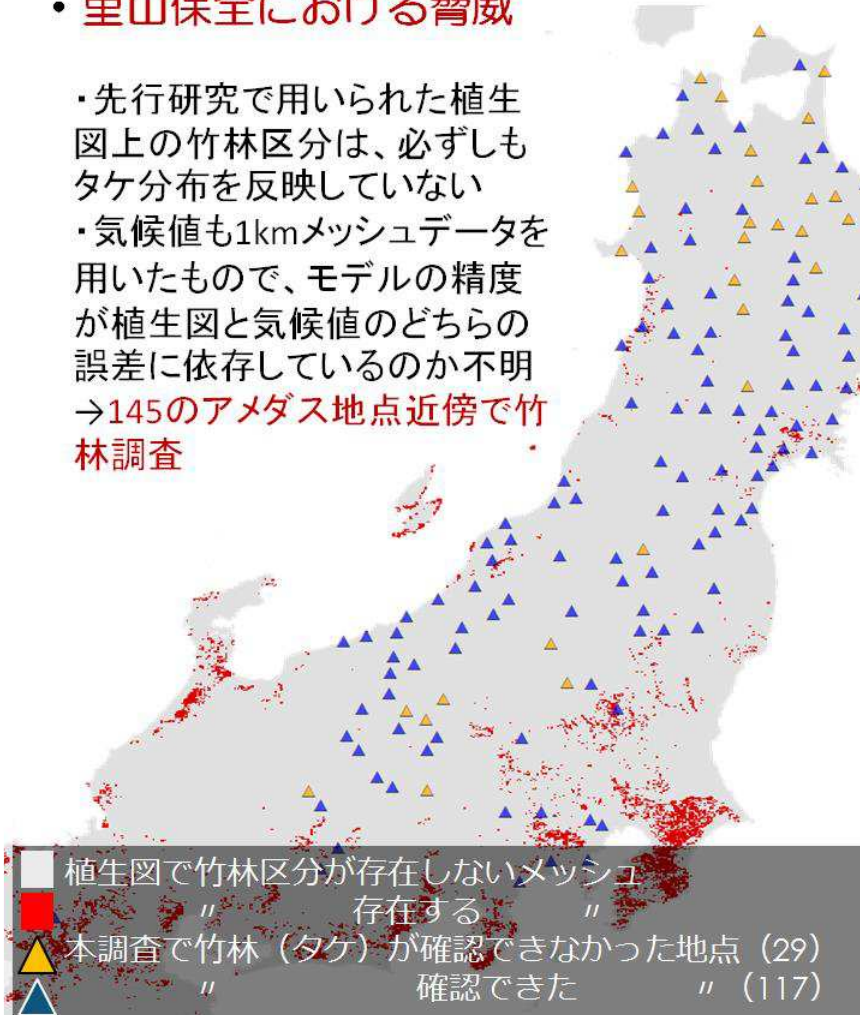
外来タケ林の分布拡大 *Takano et al. (2017)*

- ・モウソウチクは16世紀、マダケは古代に大陸から渡来した**外来種**
- ・1970年代以降、管理放棄により
 周辺生態系に**侵略的に拡大**
- ・森林生態系/**種多様性の劣化**、農林業被害、土砂災害/**水源かん養機能への影響が懸念**
- ・**里山保全における脅威**

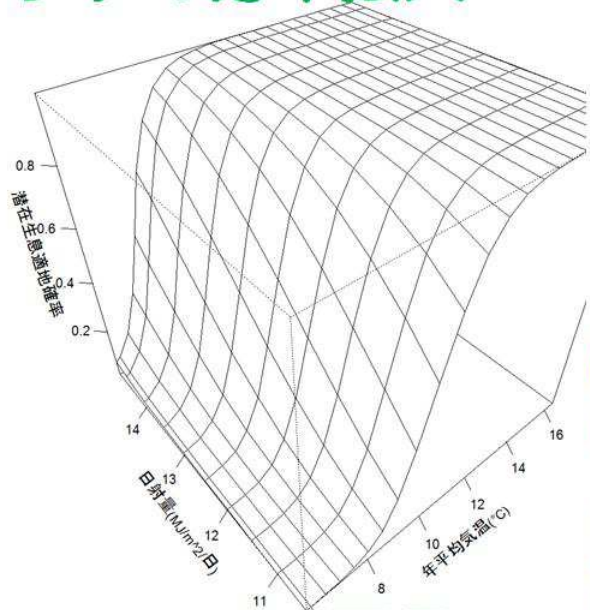
・先行研究で用いられた植生図上の竹林区分は、必ずしもタケ分布を反映していない

・気候値も1kmメッシュデータを用いたもので、モデルの精度が植生図と気候値のどちらの誤差に依存しているのか不明

→145のアダス地点近傍で竹林調査



タケの分布拡大

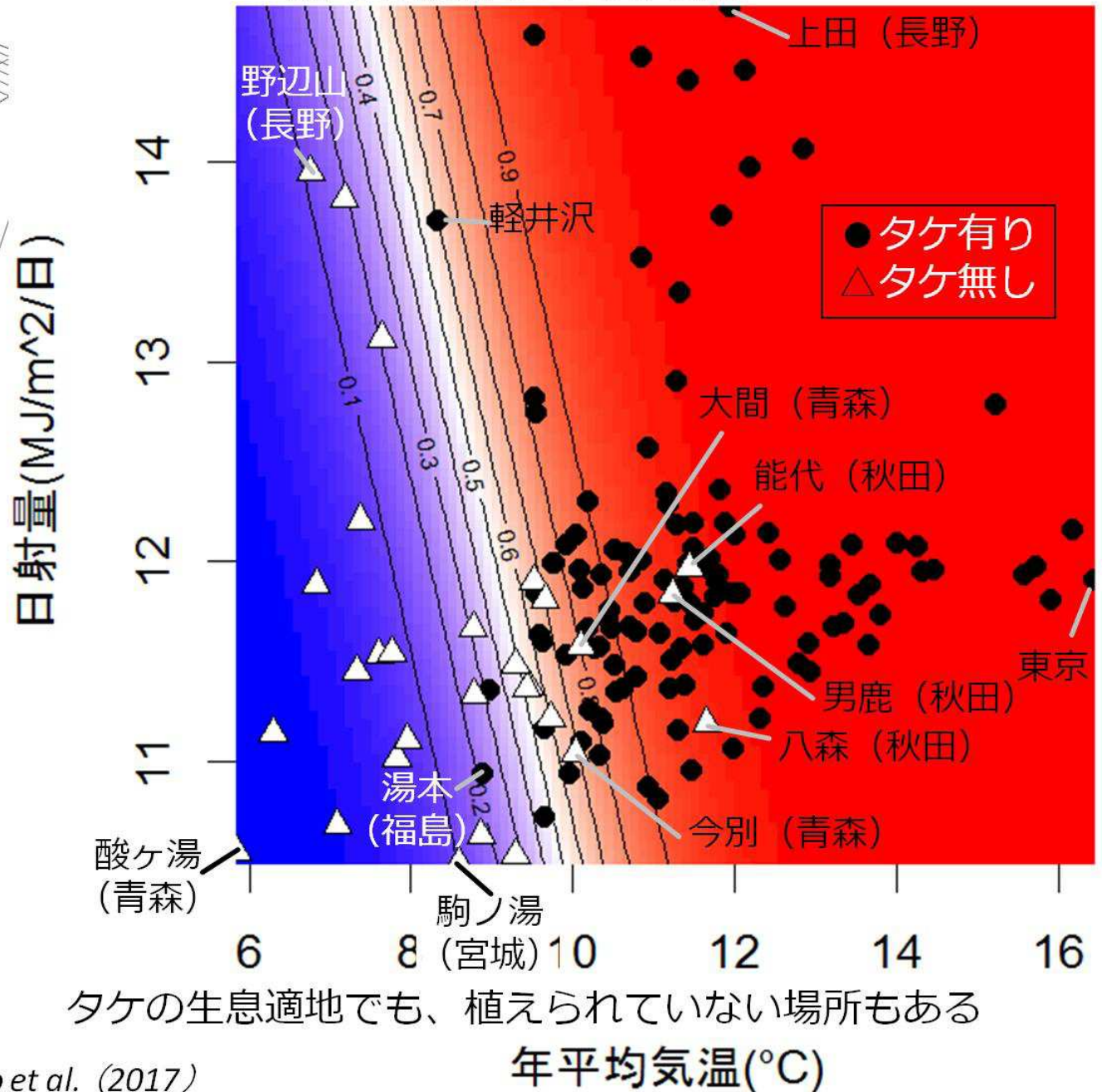


一つ抜き
交差検証の
正答率=0.92
(Threshold=0.73)



Takano et al. (2017)

ロジスティック回帰(タケ有無~平均気温+日射量)の回帰曲面と実際のタケの有る無し

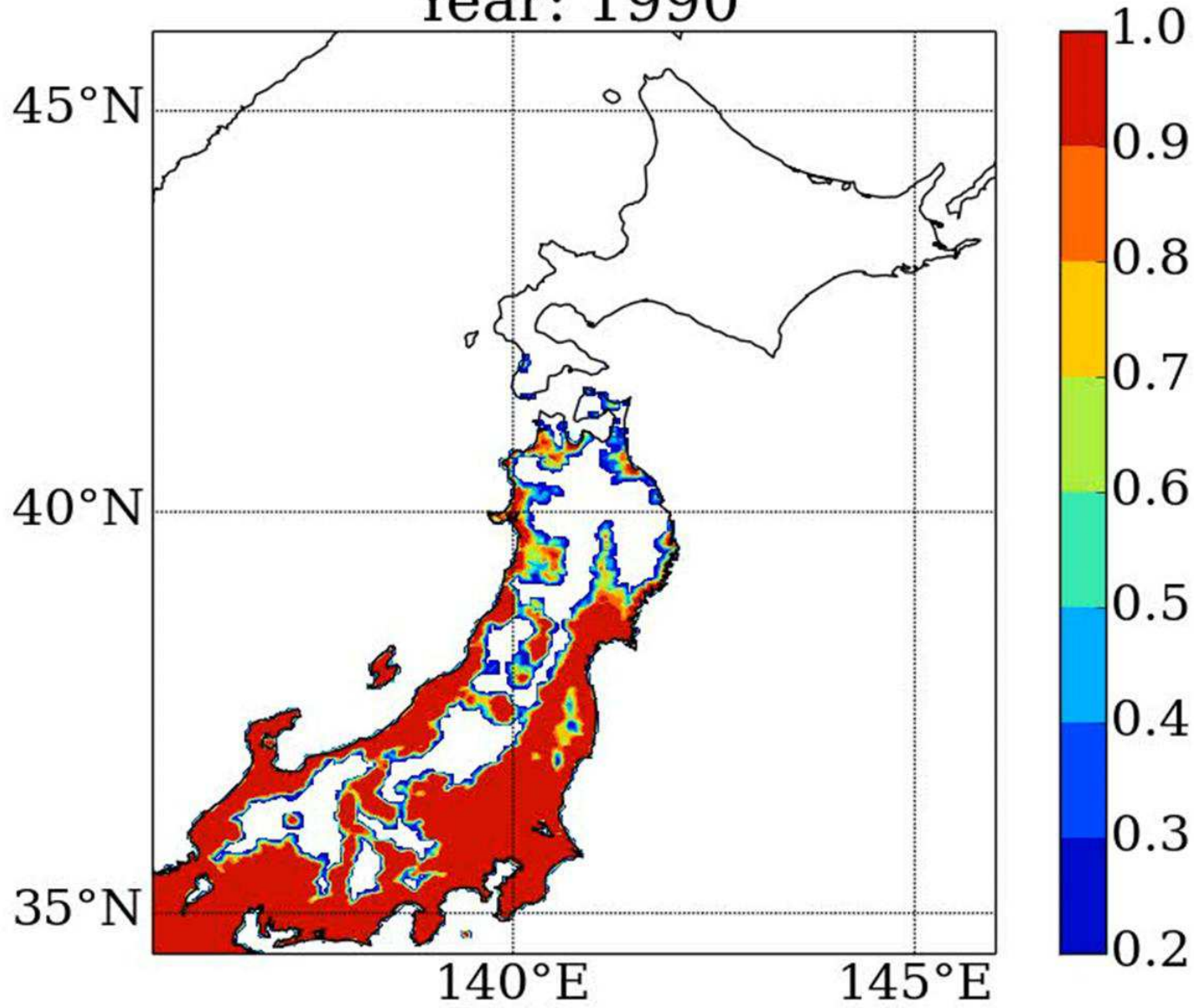


タケの生息適地でも、植えられていない場所もある

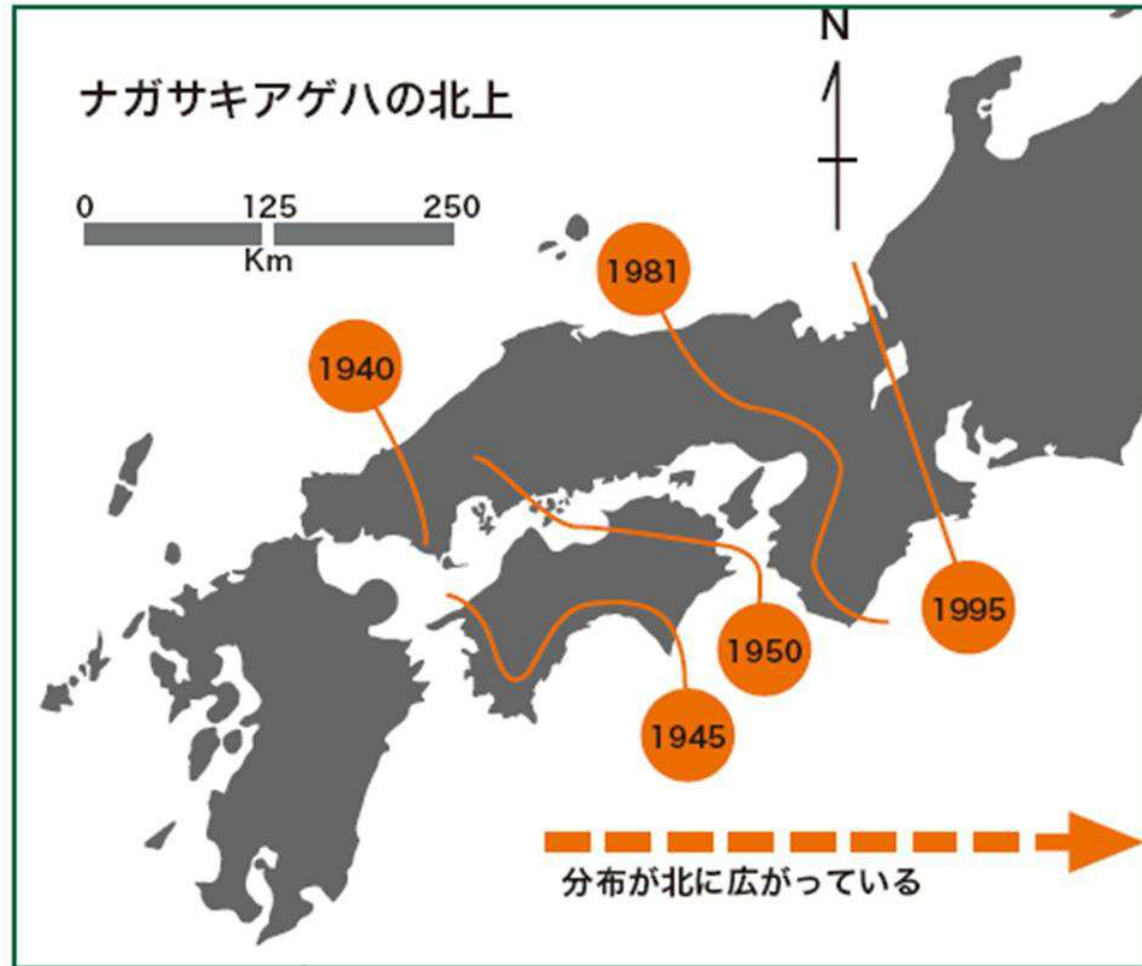
年平均気温(°C)

モウソウチクとマダケの潜在生息適地である確率の時間変化

Year: 1990



全般12 温暖化による種の分布域の変化、フェノロジーの変化-① ナガサキアゲハの分布北上



出典:

北原正彦・入来正嗣・清水剛, 2001, 日本におけるナガサキアゲハ (*Papiliomamnon Linnaeus*) の分布の拡大と気候温暖化の関係, 蝶と蛾, 52(4): 253-264. をもとに作図。

注: 本資料は、議論のたたき台とするため、現時点の作業結果をもとに内容や表現の妥当性にこだわらず作成したもので、今後の検討により大幅な変更がありうる。



マツ枯れ

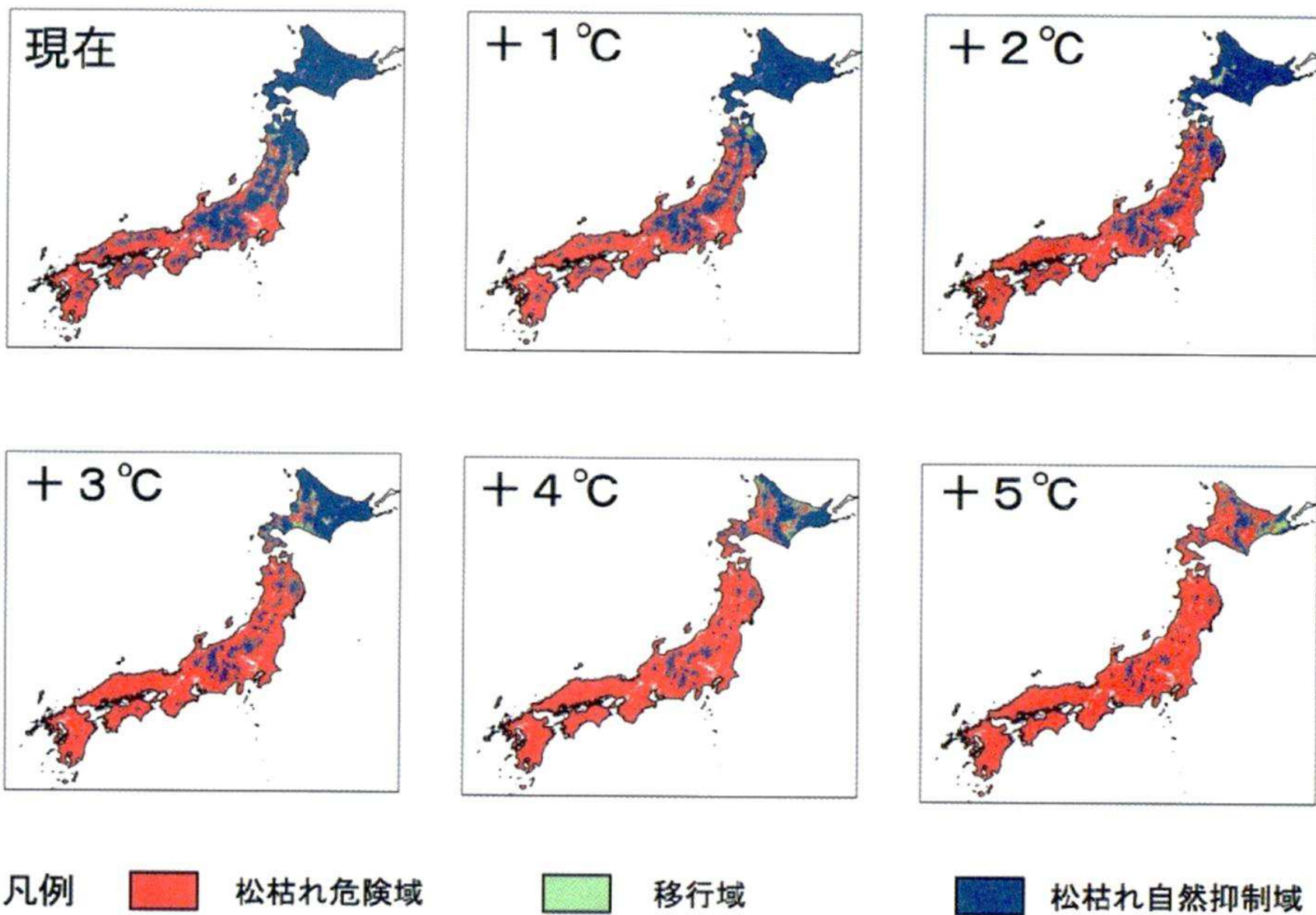
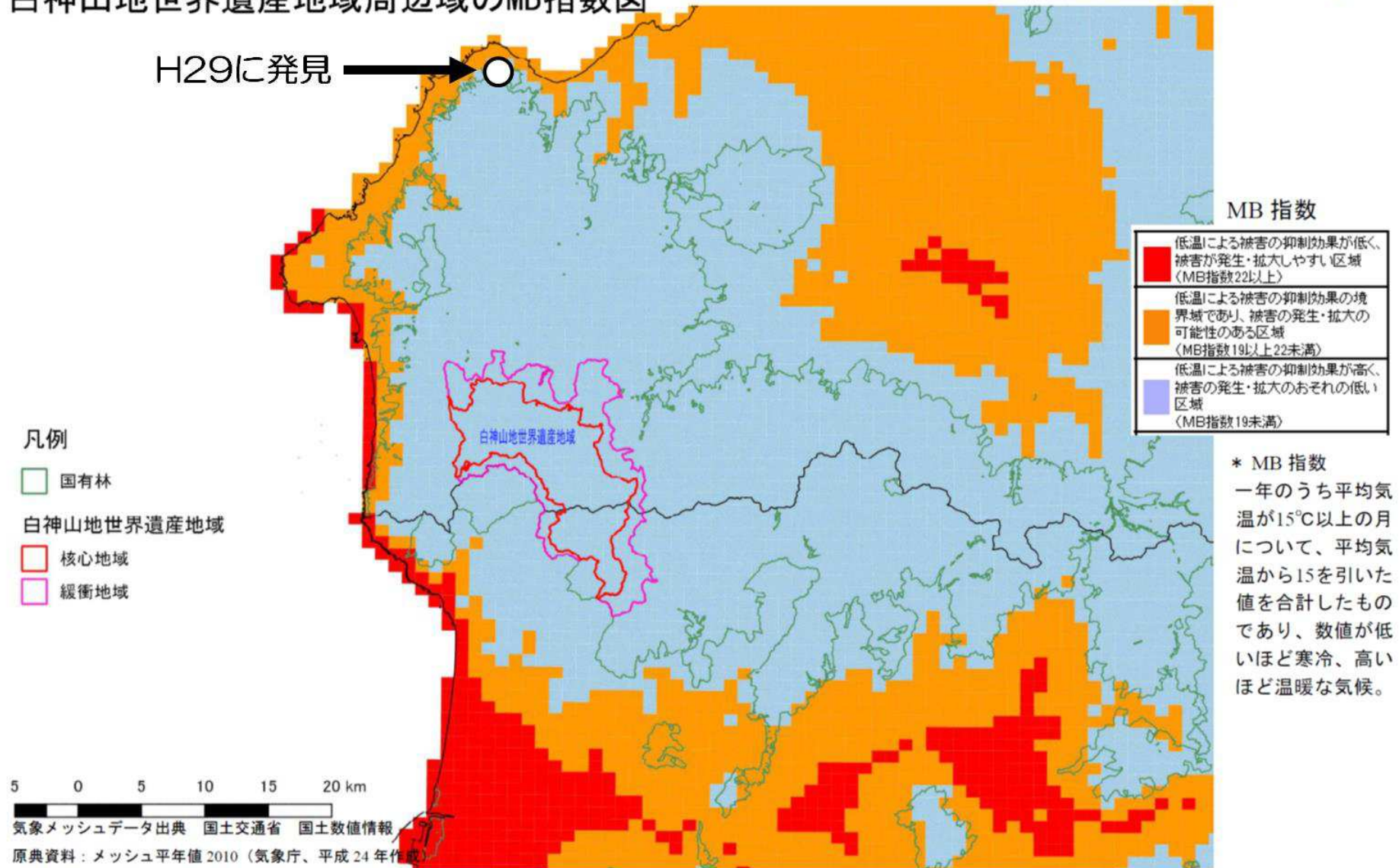


図 I - II - 6 現在と温暖化時 (+1~+5°C) におけるマツ枯れ危険域の予測

白神山地世界遺産地域周辺域のMB指数図

【別添資料4-1-1】

H29に発見



凡例

- 国有林
- 白神山地世界遺産地域
 - 核心地域
 - 緩衝地域

MB 指数	
	低温による被害の抑制効果が低く、被害が発生・拡大しやすい区域 (MB指数22以上)
	低温による被害の抑制効果の境界域であり、被害の発生・拡大の可能性のある区域 (MB指数19以上22未満)
	低温による被害の抑制効果が高く、被害の発生・拡大のおそれの低い区域 (MB指数19未満)

* MB 指数
 一年のうち平均気温が15℃以上の月について、平均気温から15を引いた値を合計したものであり、数値が低いほど寒冷、高いほど温暖な気候。

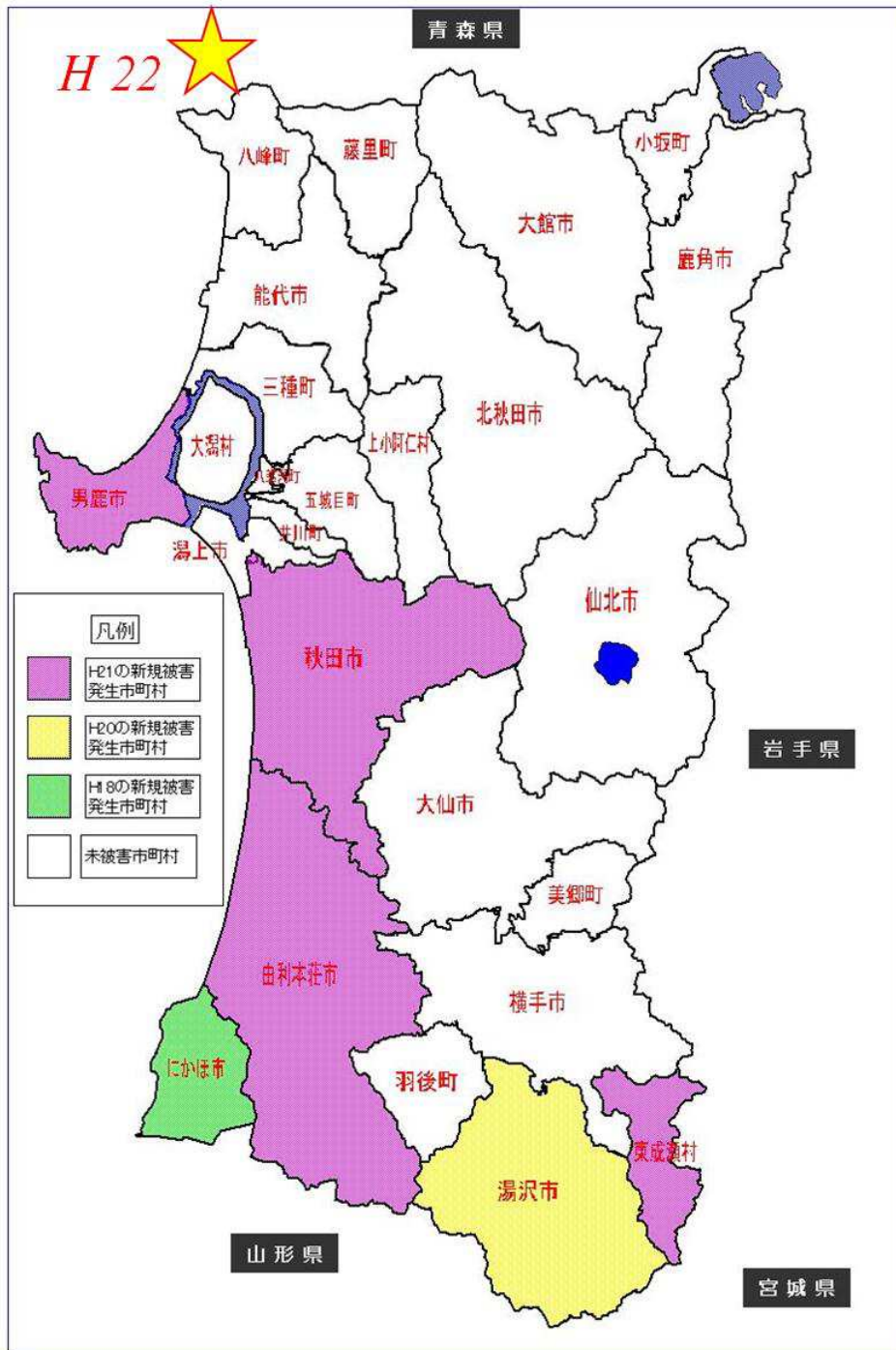
5 0 5 10 15 20 km

気象メッシュデータ出典 国土交通省 国土数値情報
 原典資料：メッシュ平年値2010（気象庁、平成24年作成）
 （全国の観測地点における1981～2010年の平年値を使って、1kmメッシュ毎に平年値を推定したもの）



なら枯れの様子(山形県ホームページより)

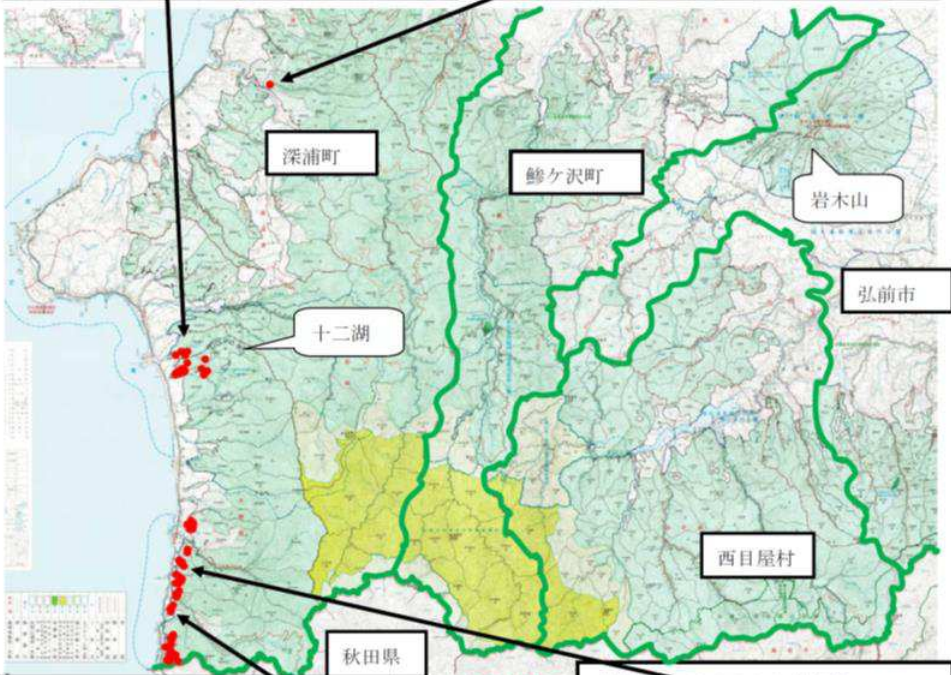




ナラ枯れの被害 最北限

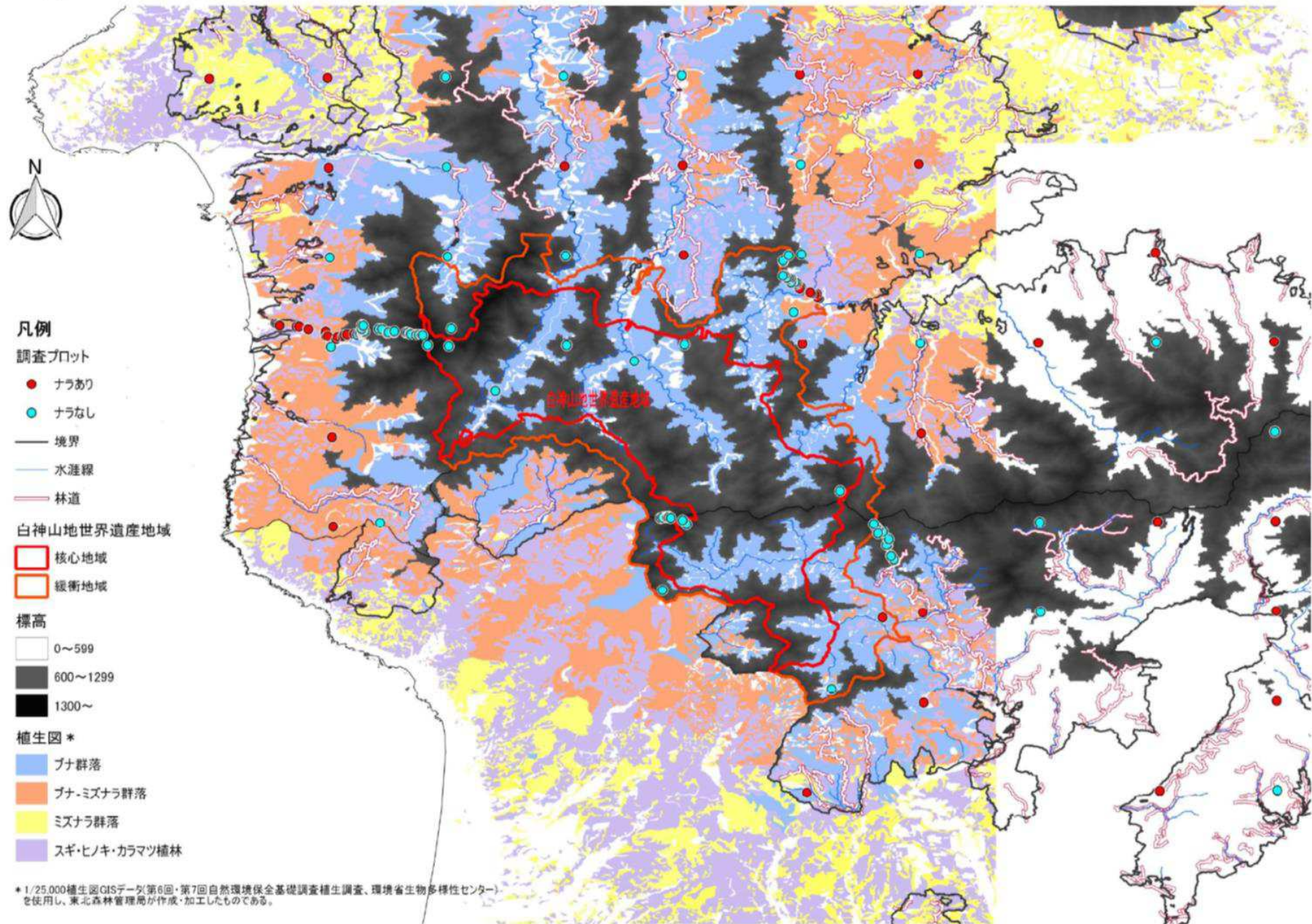
- 現在の気候条件ではカシノナガキクイムシの温度条件から青森南部が北限
- 温暖化によって分布が北上する可能性が高い

平成29年に青森県内国有林で確認されたナラ枯れ被害の位置図と遠望写真（H29.9.12現在）



ナラ枯れ病の北上

白神山地世界遺産地域周辺域の植生図



* 1/25,000植生図GISデータ(第6回・第7回自然環境保全基礎調査植生調査、環境省生物多様性センター)を使用し、東北森林管理局が作成・加工したものである。



シカが高山植物を
食べる

シカの個体群増加
積雪量の減少



シカが高標高域
へ分布を移動

(温暖化影響総合予測プロジェクトチーム, 2008)

林床植生の変化



July, 1991



July, 1996



May, 2001

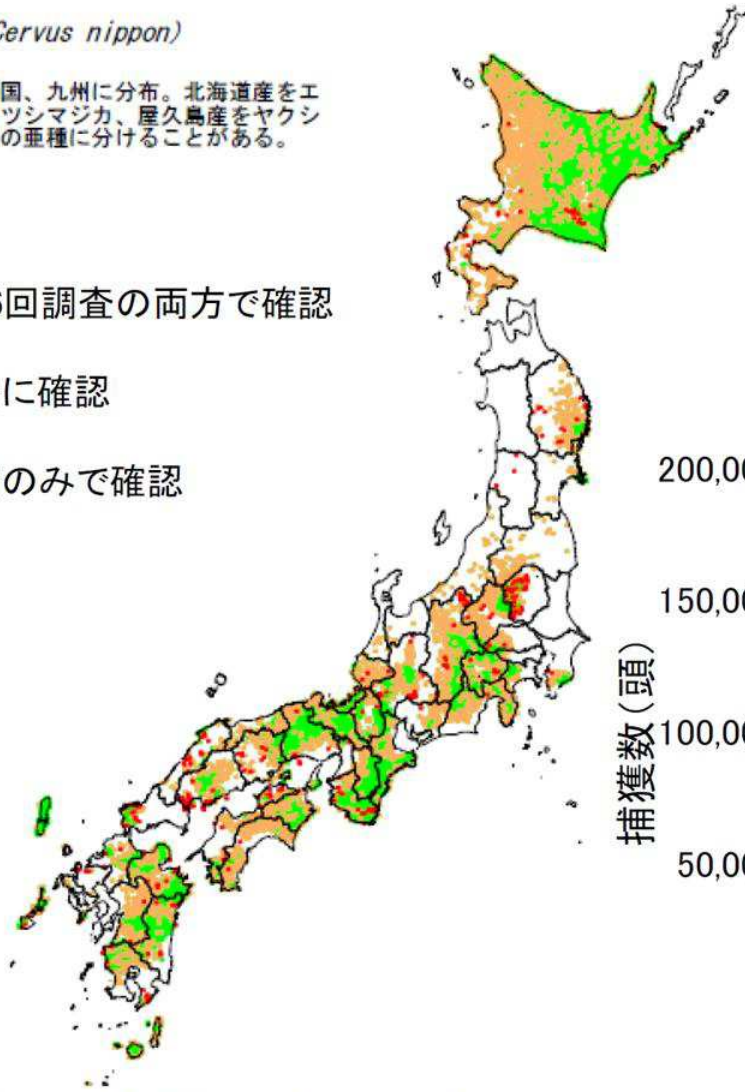


ニホンジカの分布

ニホンジカ (*Cervus nippon*)

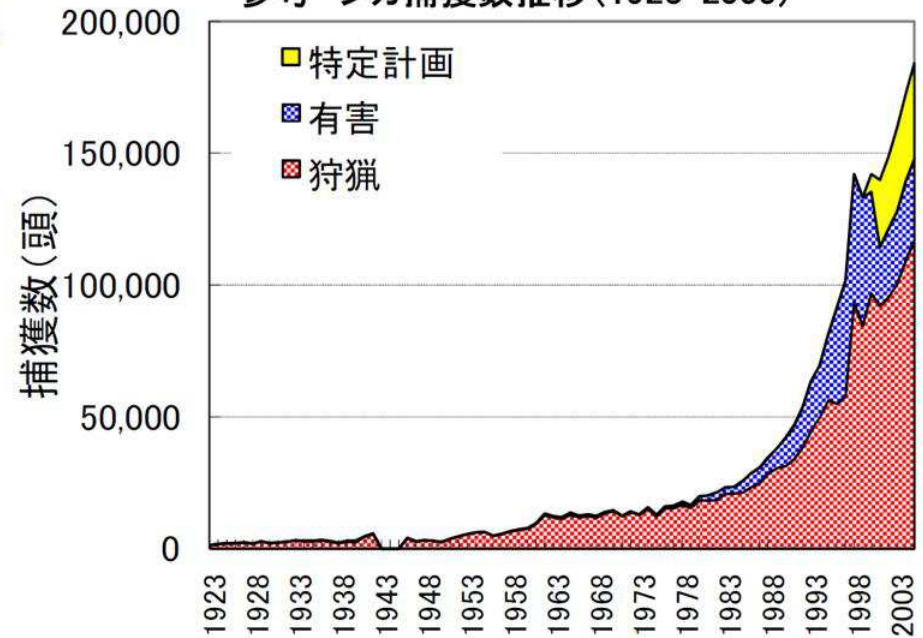
北海道、本州、四国、九州に分布。北海道産をエゾシカ、対馬産をツシマジカ、屋久島産をヤクシカなど、いくつかの亜種に分けることがある。

- 第2回・第6回調査の両方で確認
- 第6回調査に確認
- 第2回調査のみで確認



1978年と2003年のニホンジカの分布を比較した。

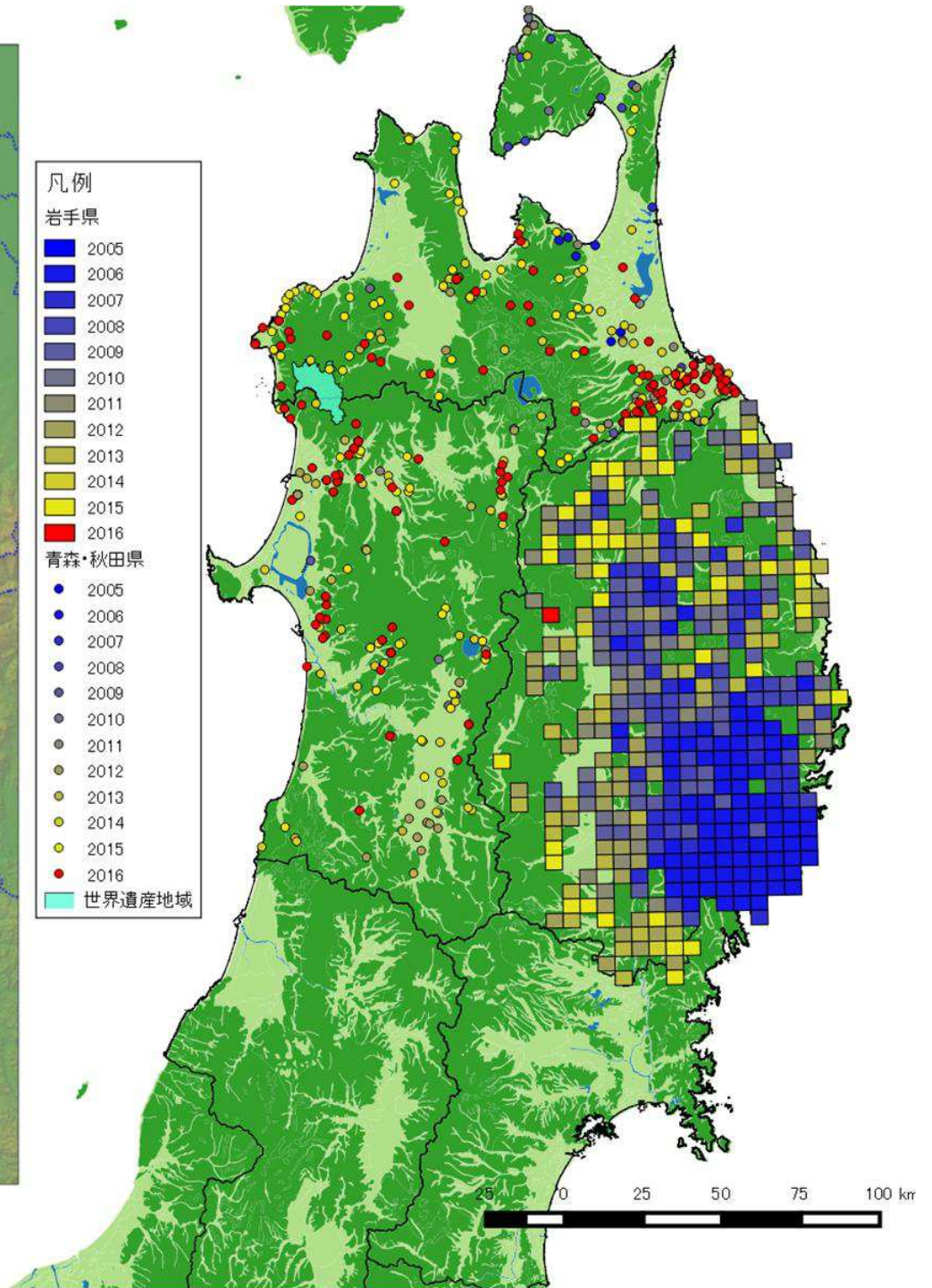
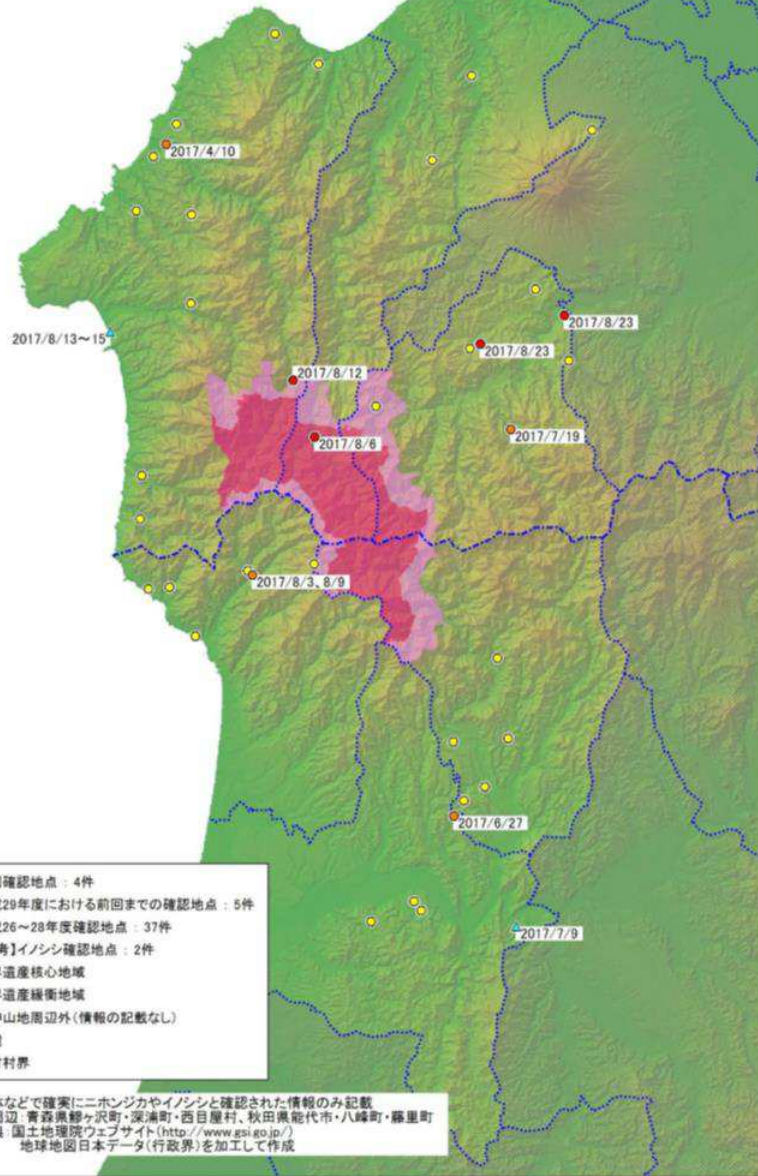
参考 シカ捕獲数推移(1923-2005)



出典: 環境省, 「自然環境保全基礎調査 哺乳類分布調査」の第2回(1978)と第6回(2003)の分布変化を比較

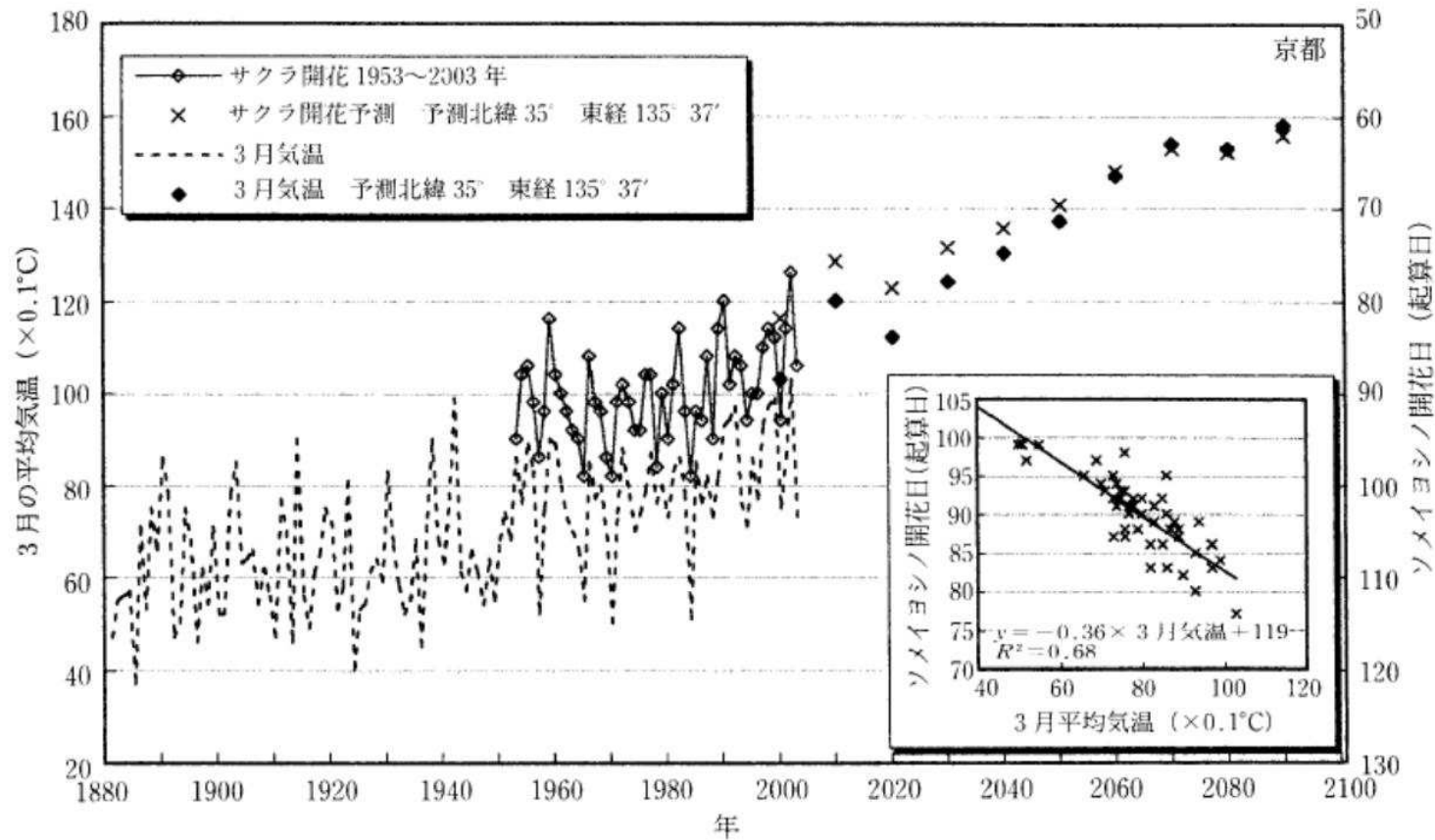
出典: 環境省, 鳥獣関係統計

白神山地周辺におけるニホンジカ等確認地点(平成29年9月8日現在)



サクラの開花時期の変化

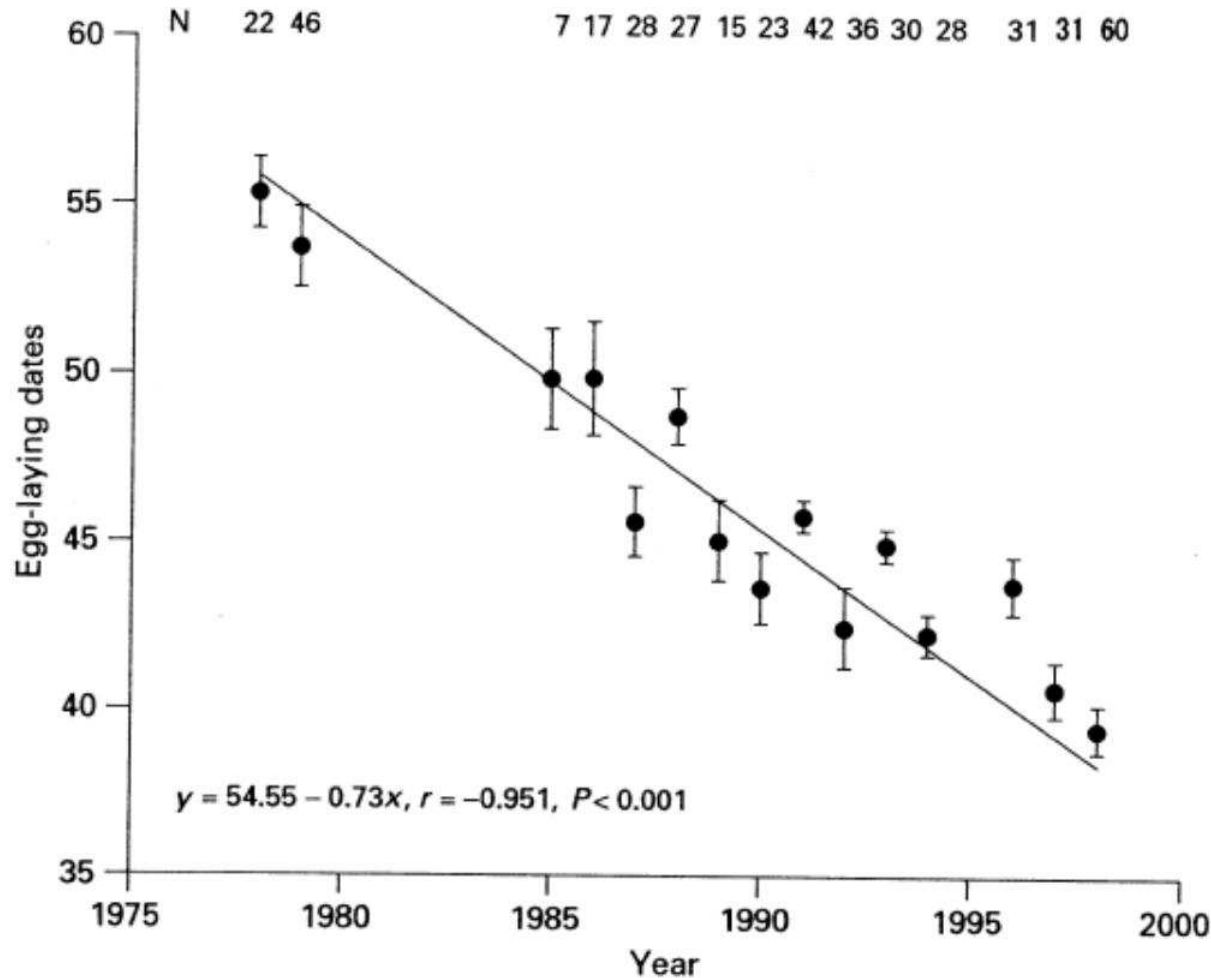
1970年代以降の温暖化につれて開花日が4月初めから3月中旬へと早まっている傾向(増田, 2003)がみられる。また、3月の平均気温が1℃上昇すると開花日が3.6日早まると推定(増田, 2003)されている。



出典: 増田啓子. 2003. 生物季節への影響. 遺伝別冊17号 101-108

注: 本資料は、議論のたたき台とするため、現時点の作業結果をもとに内容や表現の妥当性にこだわらず作成したもので、今後の検討により大幅な変更がありうる。

コムクドリの産卵時期の変化




新潟市におけるコムクドリ繁殖生態の調査(1978~1998年)の結果、産卵時期の早期化(0.73日/年)が指摘されている。

新潟市におけるコムクドリの平均初卵日の経年変化。平均初卵日とは毎年各繁殖例の産卵開始日に基づく平均。4月1日を1とした日数で示してある。

出典: Koike and Higuchi (2002) Long-term trends in the egg-laying date and clutch size of Red-cheeked Starlings *Sturnia philippensis*. IBIS, Vol. 144 (1), p150-152.

注: 本資料は、議論のたたき台とするため、現時点の作業結果をもとに内容や表現の妥当性にこだわらず作成したもので、今後の検討により大幅な変更がありうる。



温暖化が生態系に与える影響の特徴

- 影響の予測に関する不確実性がとくに高い
- 新しい種の組み合わせによる生態系
- 付加逆な変化、レジームシフト
- 過去に経験したことのないスピードとレンジで予想が困難
- 温暖化による直接的な影響が、他の人為的影響によって増幅されるケースが多い
- 生態系が変化しても生態系サービスの変化がおこらないこともありうる



生態系の適応策に関する基本的考え方

(環境省自然局とりまとめ(2015年3月案))

- 三つの視点
 - 気候変動が生物多様性に与える悪影響を低減するための自然生態系分野の適応
 - 他分野の適応策が行われることによる生物多様性への影響の回避
 - 気候変動に適応する際の戦略の一部として生態系の活用
- 順応性の高い健全な生態系の保全と再生が基本
- 温暖化による影響を促進させる人為的要因を排除する。
- 生物多様性の損失、生態系サービスの低下が顕著な場合には、現在の生態系・種を維持するための管理、気候変動への順応を促す管理、生息域外保全等の実施について検討することが必要
- 生態系サービスの優先順位を考える必要
- 順応的対策が重要



具体的適応策

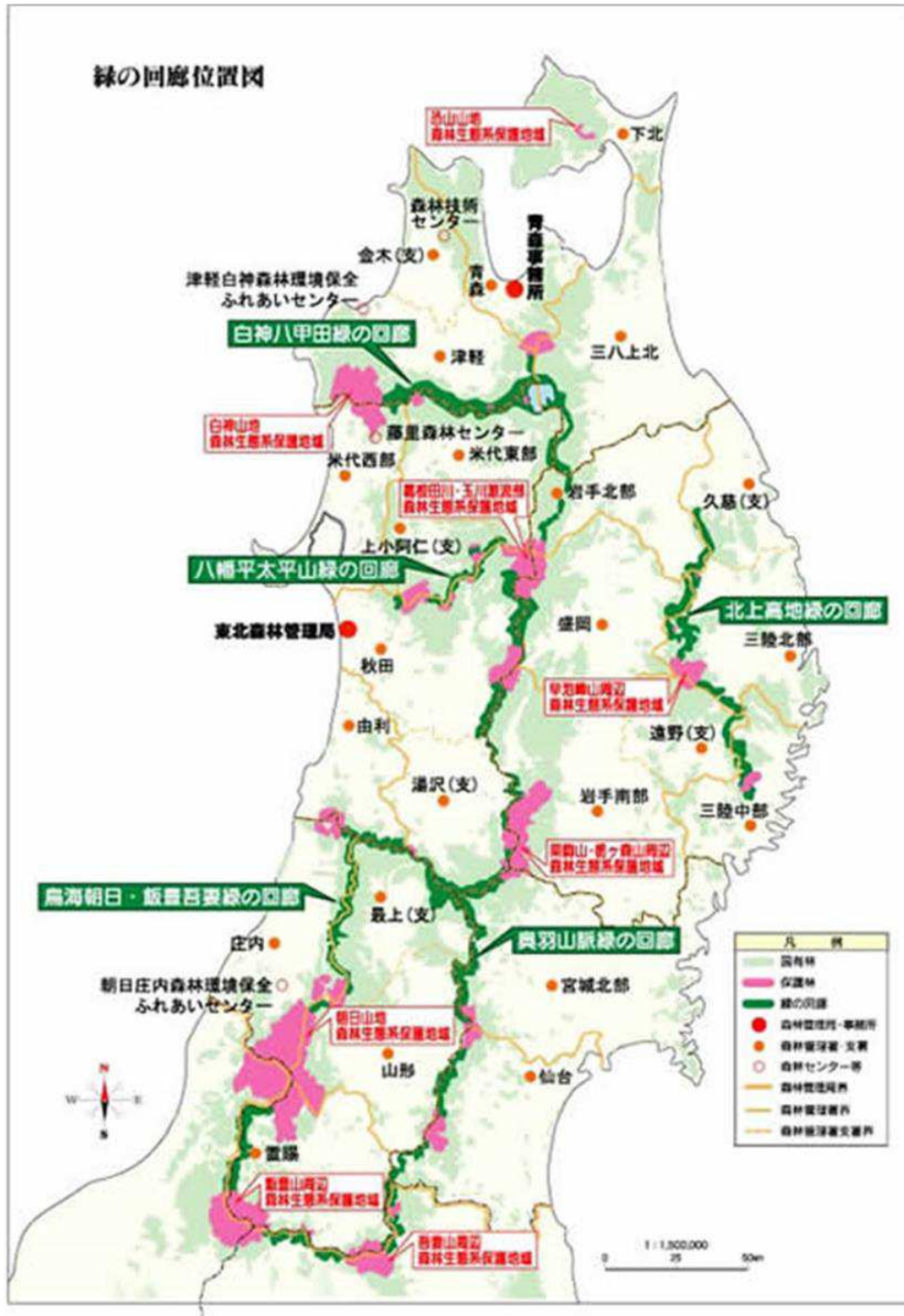
- 気候変動に順応性の高い健全な生態系の保全・再生
 - 開発、環境汚染、過剰利用、外来種等の気候変動以外のストレスの低減
 - 保護地域の見直しと適切な管理、野生動物の個体群管理、外来種の防除と水際対策、希少種の保護増殖など
 - 自然再生などによる生態系ネットワークの形成
 - 過去に損なわれた生態系、人口減少等で維持管理が困難となる地域での自然環境再生
- 変化の促進（または抑制）を図る取組と生息域外保全
 - 人為による個体の移植/移殖、保全的導入、草刈りや除伐などによる生息環境や景観の管理、
 - 生息域外での保全
- 他分野の適応策による生物多様性への影響の最小化
 - 戦略的環境アセスメントにおける気候変動の考慮
 - 生物多様性と生態系のサービスの価値を意思決定プロセスで考慮
 - 順応的管理
- 生態系を活用した適応策
 - EcoDRR、グリーンインフラ
- モニタリング、研究・技術開発



森林管理における適応策

- 対策技術の開発
 - 病気に対する対策
 - 品種改良
 - 気候変動を見越した樹種選択
- 気候変動にレジリエントな森林づくり
 - 単一樹種（品種）の大面積造林を避ける
 - 補残帯を充実する
 - 森林タイプ、樹種、品種の多様化を促進する
 - 保護林をネットワーク化する

緑の回廊位置図



適応策としての 緑の回廊

Protected areas should be located to connect forests to cover wider range of altitudes, latitudes, and potential refugia



REDD

Reduced Emission by Deforestation and Degradation

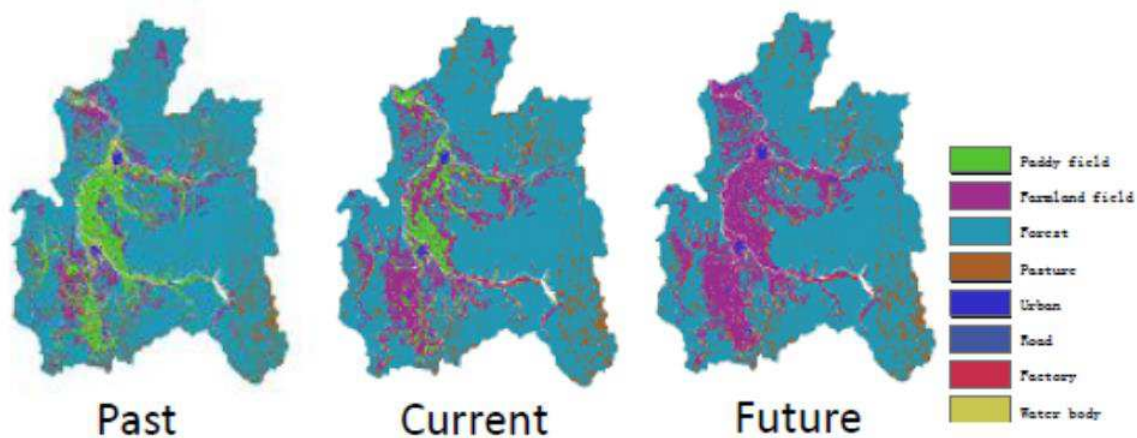
- 森林の減少や劣化による二酸化炭素放出量は、温室効果ガスの排出量の1 / 5を占め、植林による吸収量を上回る
- 森林の減少や劣化を防ぐことは、有効な温暖化緩和策であるだけでなく、森林のもつ他の生態系サービスや生物多様性の保全にもつながる
- ネットワーク化などにより、温暖化の適応策としての森林施業になりうる



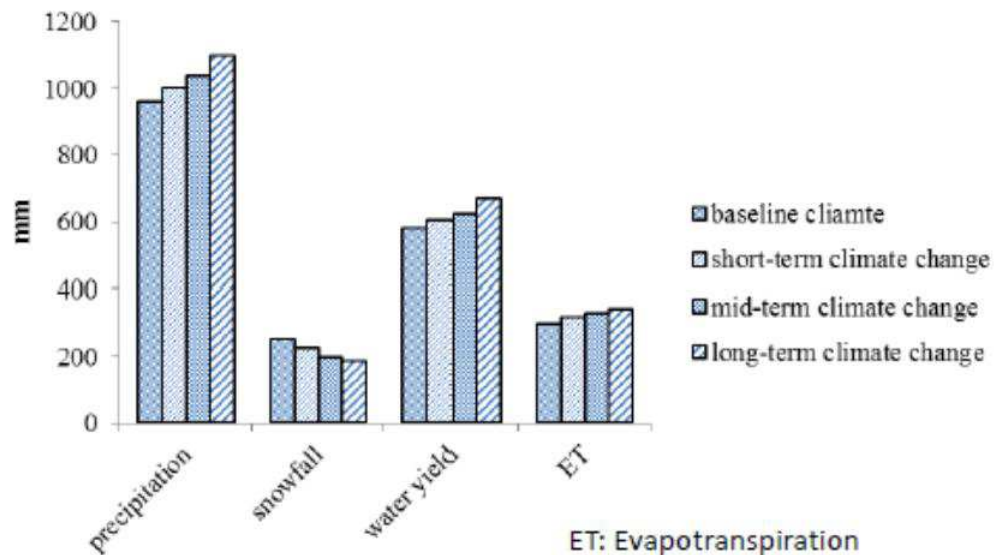
REDD plus

- 温暖化の適応策としての森林施業
- 生態系の自然な移動・変化を助ける方向でのインセンティブ
 - 天然林のネットワークを確保する
 - 他の森林・土地利用から天然林への誘導

土地利用変化 CLUE model

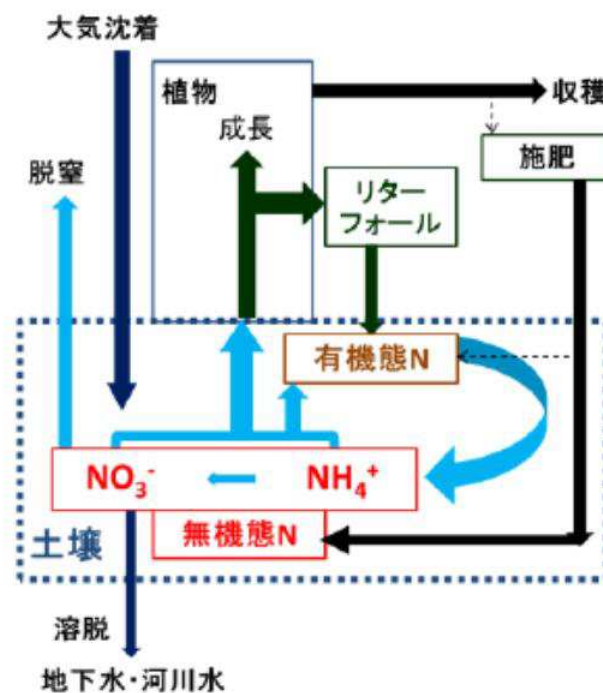


気候変化 IPCC 4th (NIES:MIROC3_2-HI models (SRB1))



対象地: 北海道北部・天塩川流域生態系 (2,908 km²)

陸域生態系の養分循環へのインパクト



- ✓ 栄養塩溶脱
- ✓ 生物生産
- ✓ 水質調整



適応策のために必要なもの

- ・ 解像度の高いデータとモデル
- ・ 脆弱性と回復力の評価（生物・生態系）
- ・ 緩和・適応両面からの評価手法
- ・ 不可逆性に対する科学的・社会的コンセンサス
- ・ リスクの評価とコミュニケーション
- ・ 社会経済的メカニズム

気候変動適応情報プラットフォーム



A-PLAT
気候変動適応情報プラットフォーム

ABOUT

リンク集

海外情報

ツール

English

Google カスタム検索



適応

Good Practice
適応計画策定までの道のり

New

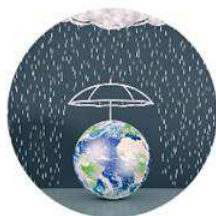


国内外の適応ニュース

イベント情報

動画

地方公共団体会員ページ



気候変動適応とは？

知っていましたか？排出を削減する「緩和」とともに気候変動の影響に社会を「適応」させていくこと。



政府の取組

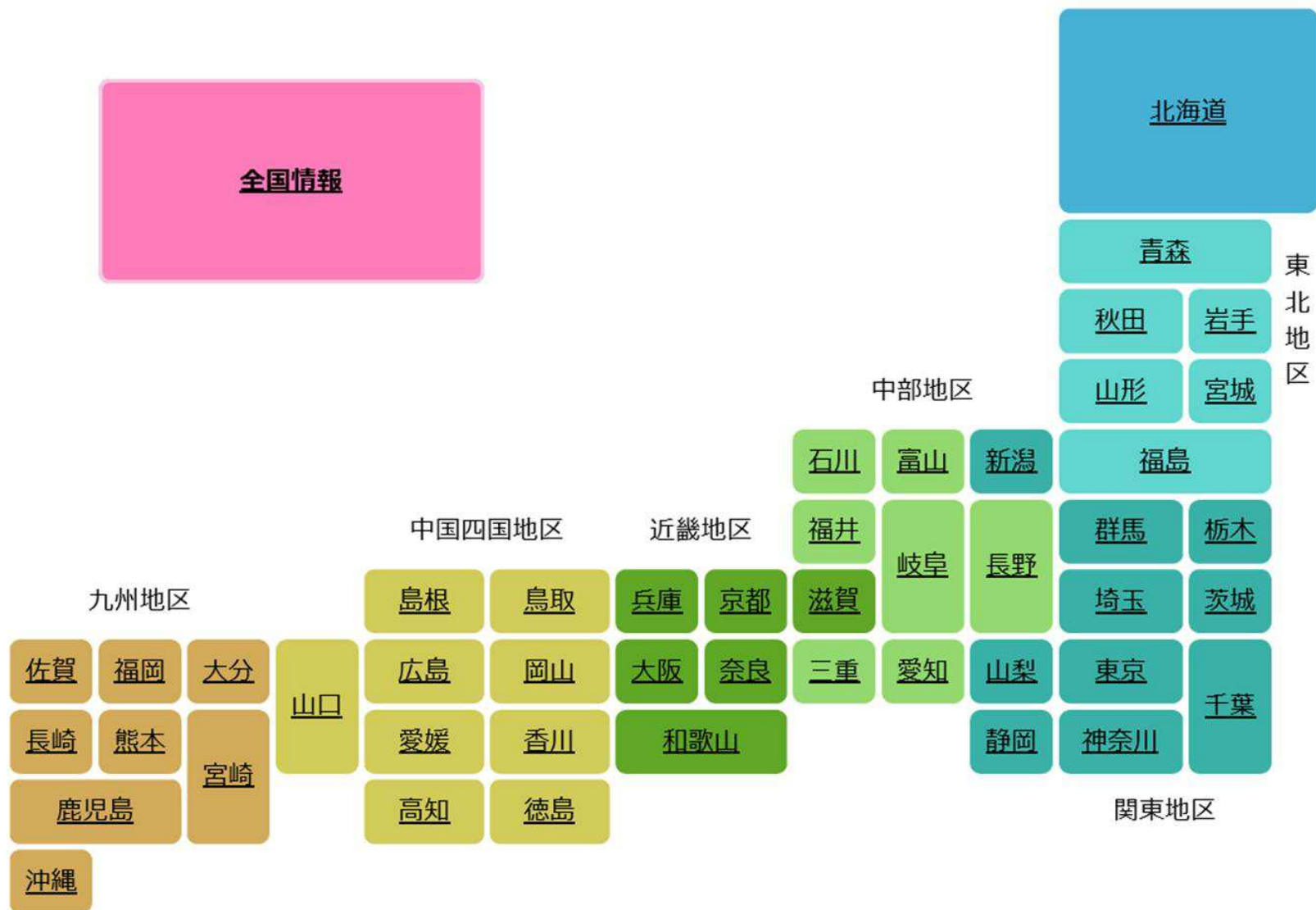
政府の適応計画が平成27年に閣議決定されました。日本の適応への様々な取組が始まっています。



全国・都道府県情報

今後どのように気候が変化し、影響を受けていくのでしょうか。予測結果をご覧ください。

気候変動適応情報プラットフォーム



気候変動適応情報プラットフォーム

マップ **グラフ** 適応に関する計画と情報

表示項目 **説明**

- 分野
- 気候・影響指標
- 気候モデル
- 排出シナリオ
- 対象期間
- 透過度 %

格子間隔 = 1 km

地図情報表示 **説明**

- 参照情報
- 透過度 %
 表示 非表示
- 背景地図
- 都道府県抽出 はい いいえ

備考

ブナ潜在生育域面積の将来変化予測

●影響評価手法

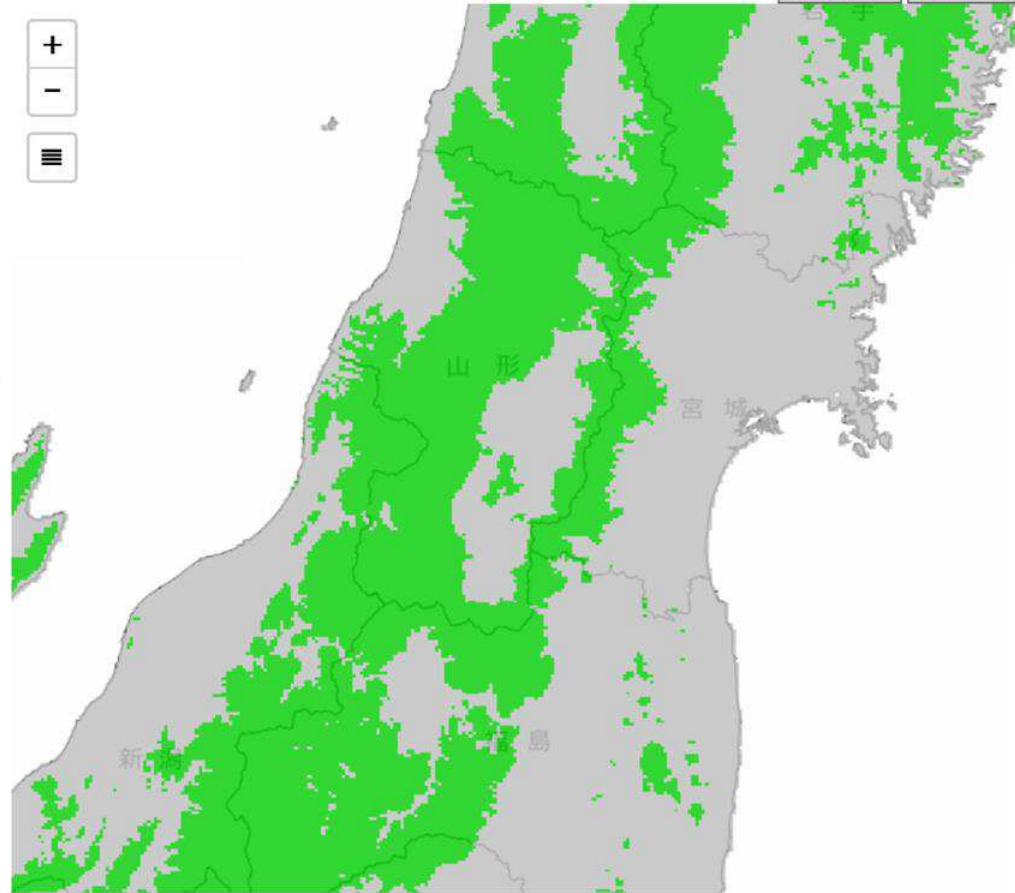
気候要因を含む環境要因から統計的に予測するモデル（分布予測モデル）を用いて潜在生育域を評価。

※利用する気候パラメータ：暖かさの指数、最寒月最低気温、夏期降水量、冬期水量

●留意点

- 対象種の移動や生育、競合種との種間関係等は考慮していない。

画面分割: 位置を同期



Leaflet | 地理院タイル

150%



地域適応コンソーシアム事業

地域適応コンソーシアム事業は、全国事業と6地域における地域事業により構成されます。それぞれの事業の概要は、以下のとおりです。

(1) 全国事業.

- 事業の共通方針の作成.

(気候変動影響予測を行う気候シナリオの整備等).

- 農林水産業・国立公園の生態系サービス等の気候変動影響の全国的調査.

- 全国運営委員会の開催・運営.

(2) 地域事業.

- 地域における気候変動影響に関する調査.

(気候変動影響に関する情報収集・気候変動影響予測計算等).


- 地域での普及啓発事業.
- 地域協議会の開催・運営.



北海道・東北地域

(北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県)

気温上昇や気象災害によるリンゴへの影響調査	農業
海水温の上昇等によるホタテガイ及びワカメ等の内湾養殖業への影響調査	水産業
海水温の上昇等によるシロザケ等の漁獲量への影響調査	水産業
気候の変化や極端な気象現象による観光業への影響調査	産業・ 経済活動



自然資本を活かした社会資本整備・ 国土計画

グリーンインフラ

- 社会資本整備や土地利用などのハード・ソフト両面において自然環境が有する多様な機能を活用し、持続可能で魅力ある国土づくりや地域づくるをするもの

EcoDRR（生態系を基礎とした防災・減災）

- 生態系のもつ機能を利用し、その持続的管理を通じて防災・減災を行うもの

EbA（生態系を基礎とした気候変動適応策）

- 生態系のもつ機能を利用した気候変動に対する適応策

防災・減災の考え方

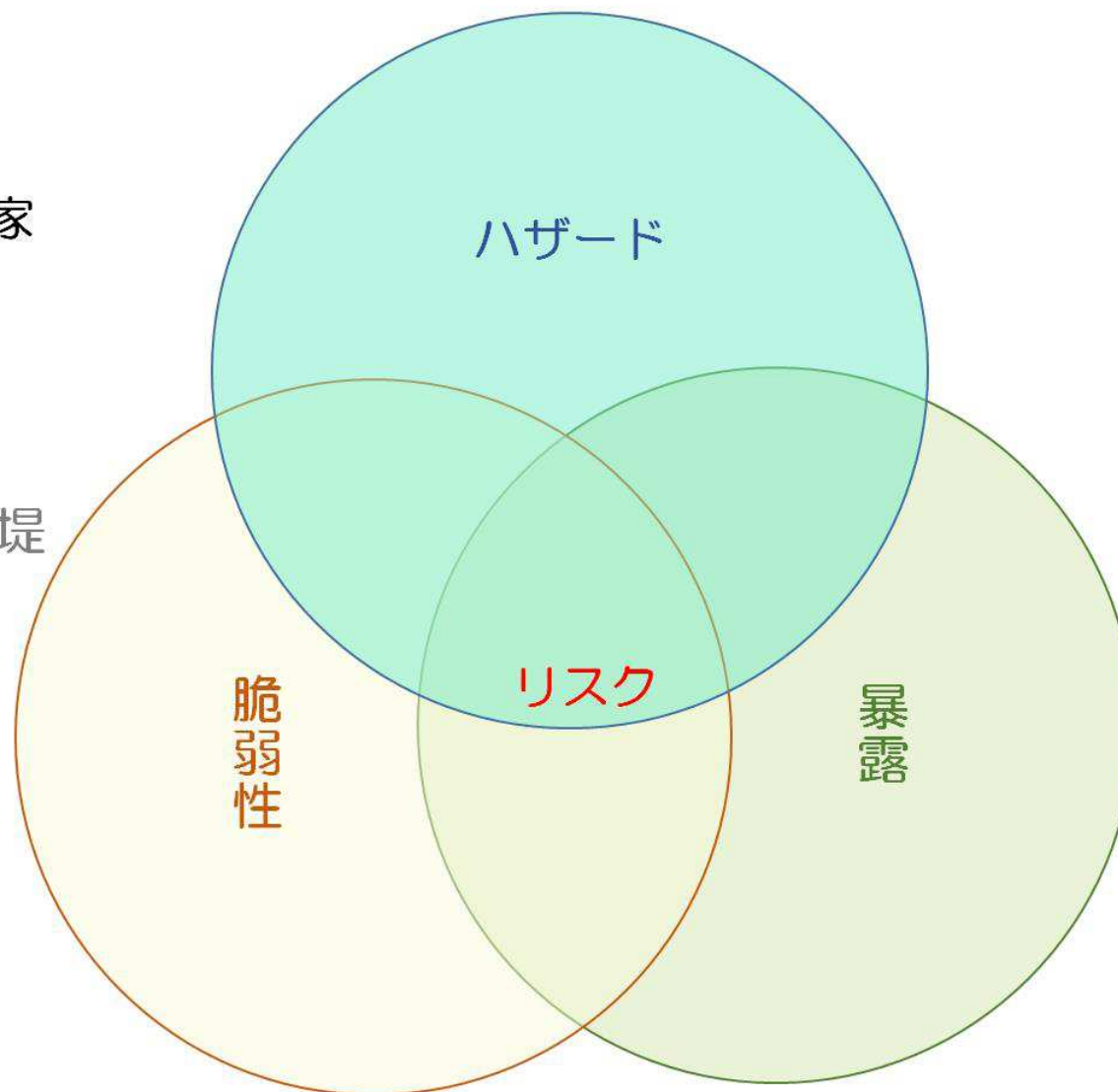
ハザード：高さ5mの津波

暴露：海岸（高さ2m）に家

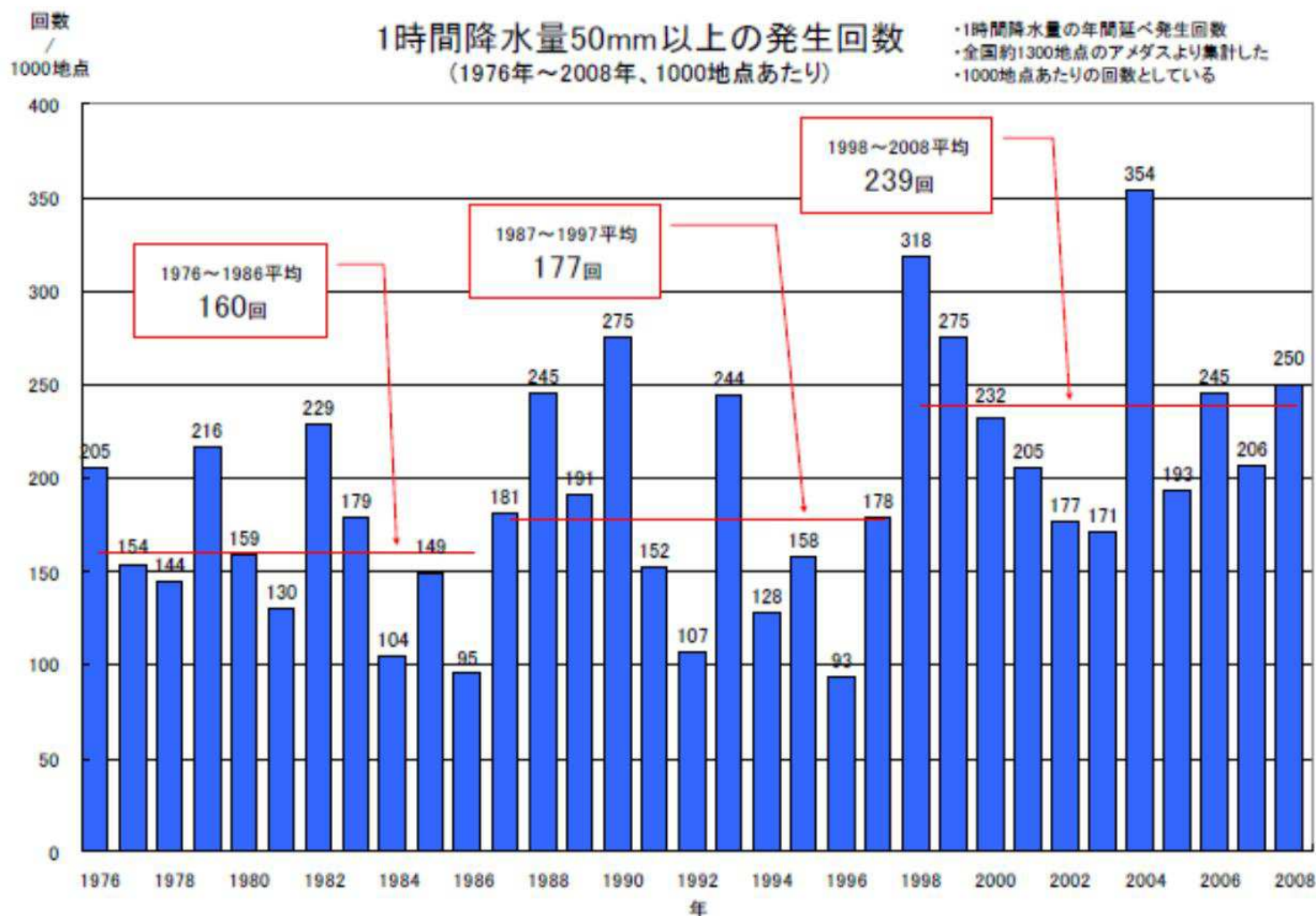
➡ 高台に移転

脆弱性：高さ3mの防潮堤

➡ 高さ7mの防潮堤
海岸林整備



気候変化：極端減少の増加



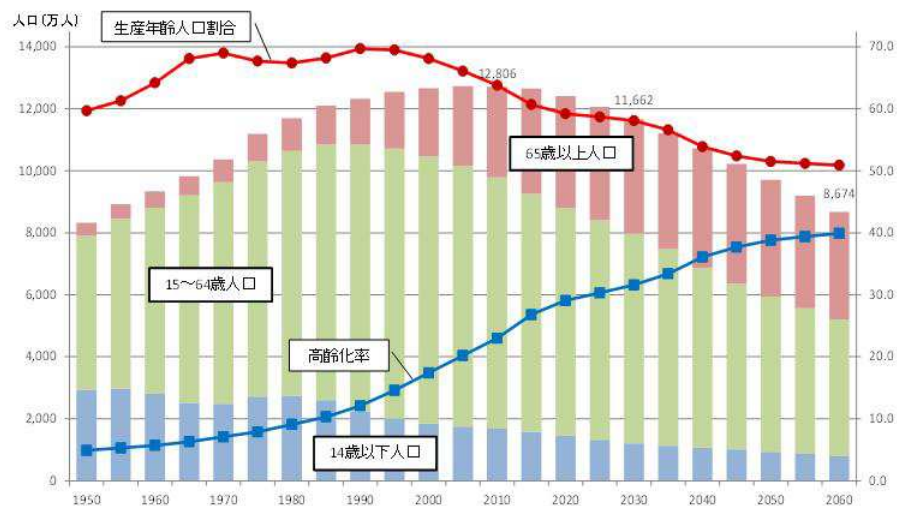
アメダス地点で1時間降水量が50mm以上となった
年間の回数（1000地点あたりの回数に換算）

出典：気象庁、2009

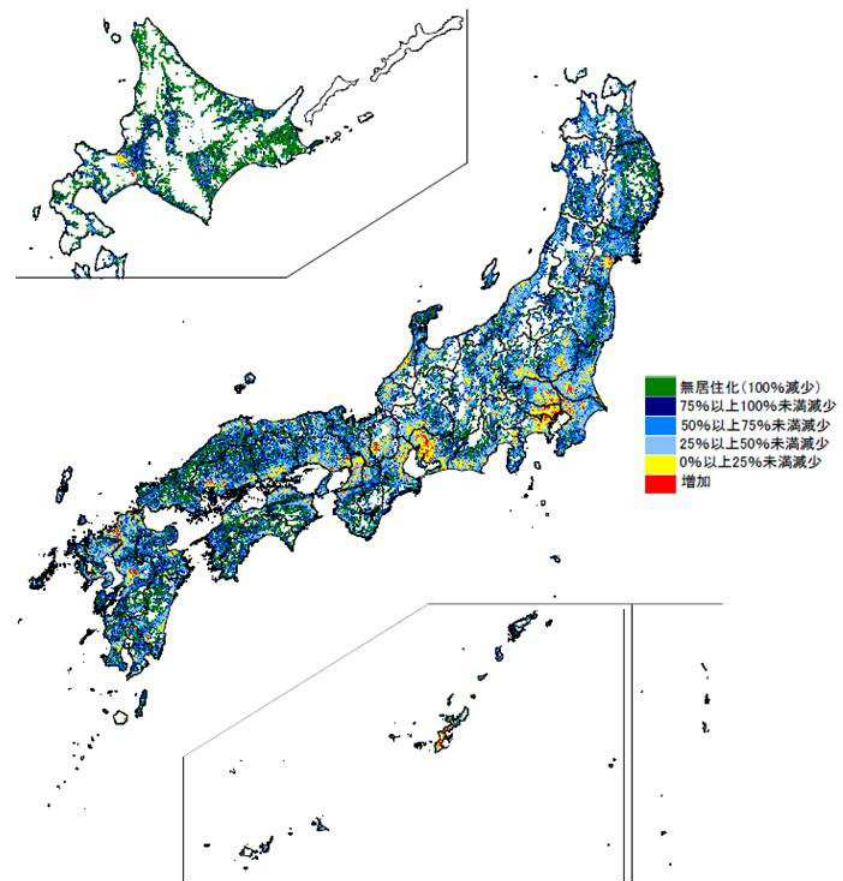
社会状況の変化予測

2050年の人口増減状況

日本の人口推移

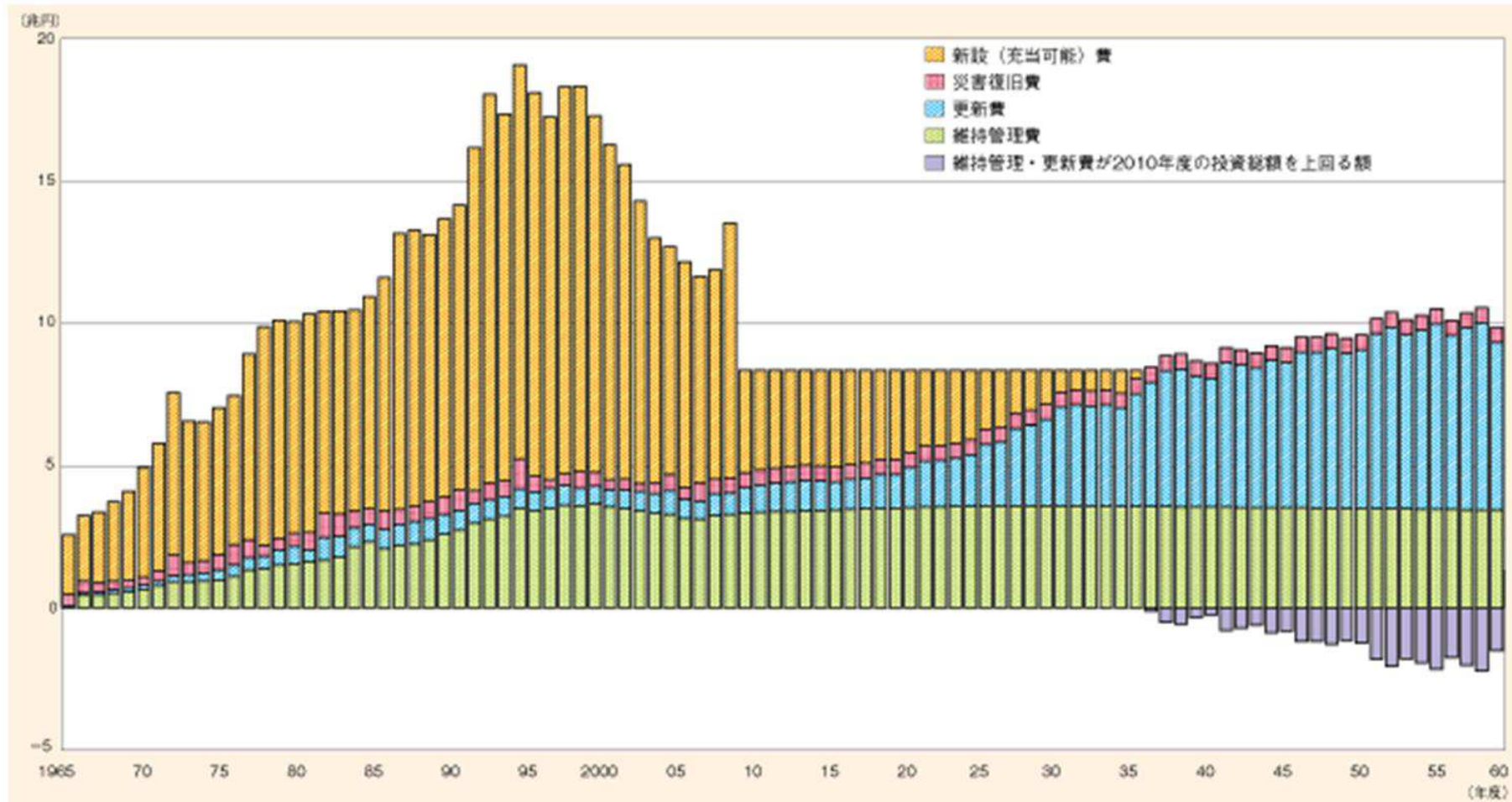


国立社会保障・人口問題研究所, 2012



国土交通省, 2014

従来どおりの維持管理・更新をした場合の インフラ整備と維持に必要な費用の推計



Eco-DRR, EbAの利点

- 平時の生態系サービスが利用できる
 - 沿岸生態系：解散資源の涵養
 - 森林：遮熱効果、ヒートアイランド抑制
- 温暖化緩和策にもなる
 - GHGの吸収
- 他の分野の温暖化対策にもなる
- ハードによる防災に比べてコストが低い
 - メンテナンスフリー（自己回復）
- レジリエンスの高い防災方法である
 - 回復力
 - 対応できる災害の範囲

図1 生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)と生態系を基盤とした方策(EbA)



Eco-DRRとEbAの目標と相乗便益の可能性

Figure : Nehren, 2014 modified from PEDRR, 2011

Sudmeier (2015) BIOCITY 61, 12-21

生態系ごとの経済評価額

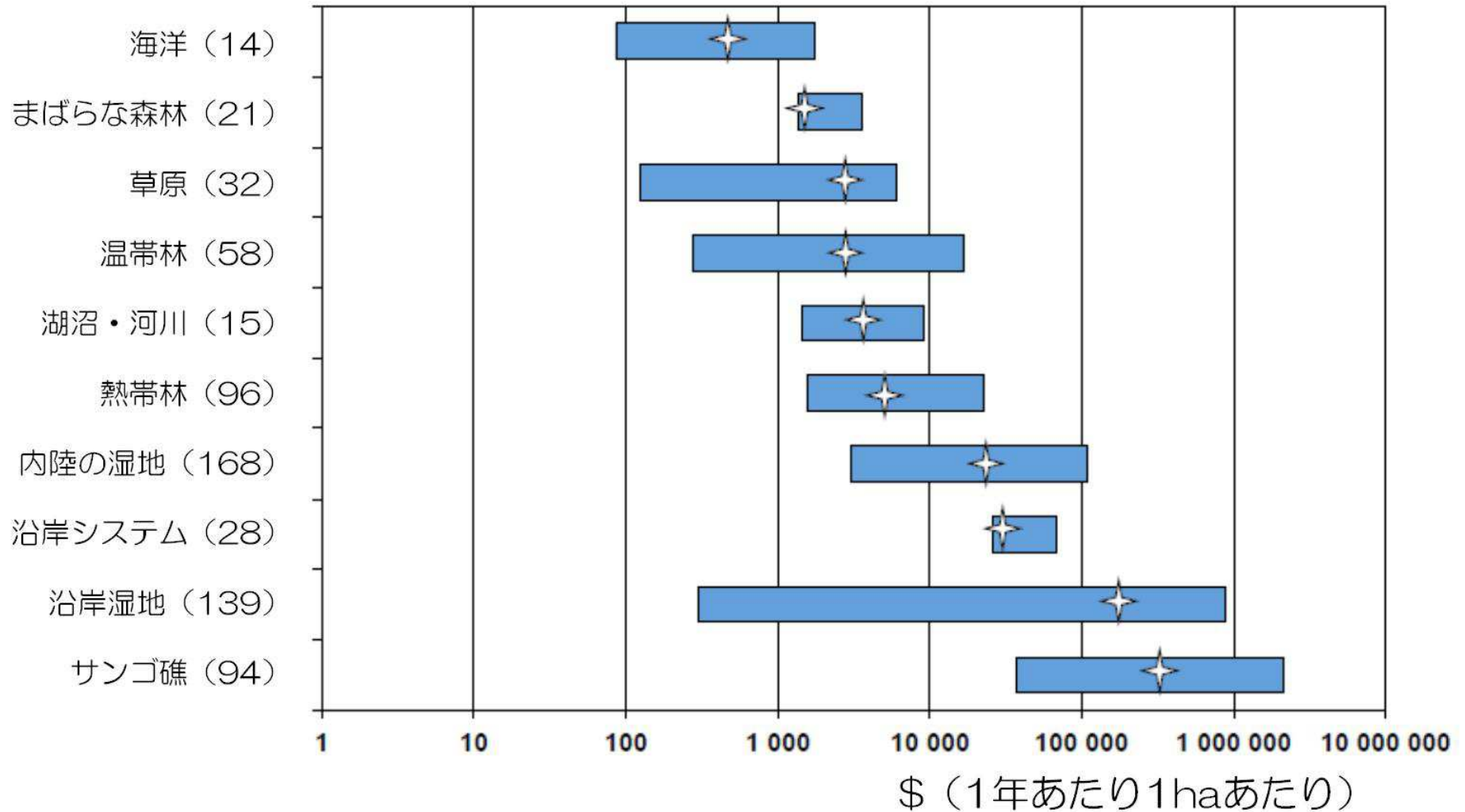
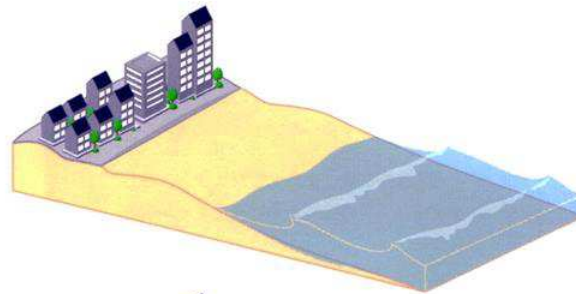


図2 自然インフラ、管理された再配置、ハイブリッド型を含む護岸の事例

最低限の防御

多くのコミュニティは、海岸線に沿って発展してきたが、コミュニティと海の間には、小さな縞状の浜が存在し、最低限の自然の防御になっている。



自然型

暴風および沿岸洪水に対する保護の役目を果たす生息環境には、塩性湿地、サンゴ礁、マングローブ、カキ棚、砂丘、海草、防波島が含まれる。右図に見られるように、いくつかの生息環境の組み合わせは、より強度のある保護のために用いられる。コミュニティは、カキ棚、塩性湿地の先に防波島を復元するか、造ることができる。一時的なインフラ（可動式防潮堤など）を設置することで、生息環境の保護が可能となる。



管理された再配置

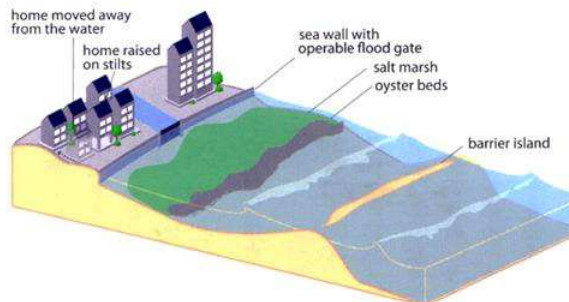
自然インフラは、インフラ建造物を保護するために利用されることもある。それは、インフラ建造物の耐用年数がより長くなり、さらなる暴風保護の便益を供給できるようにするためである。管理された再配置によりコミュニティは、防潮堤を内陸側にセットバックし、結果として自然インフラが海の端と護岸の間に形成できるようになった。



ハイブリッド型

ハイブリッド型のアプローチでは、可動式防潮堤や洪水ゲート（右図参照）などの特定のインフラ建造物が、塩性湿地やカキ棚などの復元あるいは造られた自然インフラと一緒に設置される。

他のオプションとして挙げられるのは、住居を水辺から離れた場所に移動させること、および（あるいは）住居を高床式にすることである。自然インフラは、小規模から中規模の暴風雨に対して、重要な保護便益を供給してくれる。大規模な暴風雨が見込まれる場合は、インフラ建造物が追加保護として利用される。



災害に強い森林づくりの対象森林と整備目標

重要な保全対象がある流域の森林を対象とし、その中でも特に以下の区分に該当する森林で「災害に強い森林づくり」を行います。

崩壊防止型

急傾斜地のほか、0次谷、棚地形等の、壊れやすく崩壊発生源となるおそれがある箇所の森林が該当します。



崩壊を発生させないため、崩壊防止機能を発揮できる森林づくりを行います。

望ましい樹種
ミズナラ
アカマツ
など



崩壊土砂抑止型

崩壊等の発生しやすい斜面の下部及び比較的緩傾斜の山麓部等の森林が該当します。



崩壊土砂や落石を受け止め、エネルギーを軽減し、土砂災害を拡大させないため、災害緩衝機能を発揮できる森林づくりを行います。

望ましい樹種
ケヤキ
ブナ
など



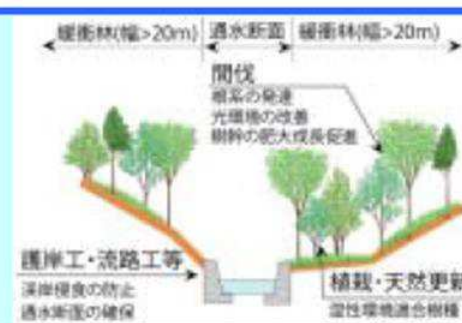
溪畔林型

溪流沿いの森林が該当します。



流木とならずに土石流を受け止め、エネルギーを軽減し、土砂災害を拡大させないため、災害緩衝機能を発揮できる森林づくりを行います。

望ましい樹種
カツラ スギ など



人工構造物と生態系利用のハイブリッド技術

Percentage implementation of adaptation options









Reduce upland logging	Increase drainage	Replant stream buffer	Reinforce rivers	Replant mangroves	Build sea walls	Monitoring & enforcement	Reduce coral extraction
100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	100%



Percentage implementation of adaptation options

Reduce upland logging	Increase drainage	Replant stream buffer	Reinforce rivers	Replant mangroves	Build sea walls	Monitoring & enforcement	Reduce coral extraction
0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	0%



Percentage implementation of adaptation actions				
Adaptation option	Ecosystem-based actions	Emphasis on ecosystem-based actions	Emphasis on engineering actions	Engineering actions
Replant mangroves 	100%	75%	25%	0%
Replant stream buffer 	100%	75%	25%	0%
Monitoring & enforcement 	100%	40%	20%	0%
Reduce upland logging 	100%	50%	20%	0%
Reduce coral extraction 	100%	50%	20%	0%
Build sea walls 	0%	25%	75%	100%
Reinforce rivers 	0%	25%	75%	100%
Increase drainage 	0%	25%	75%	100%

Adaptation options

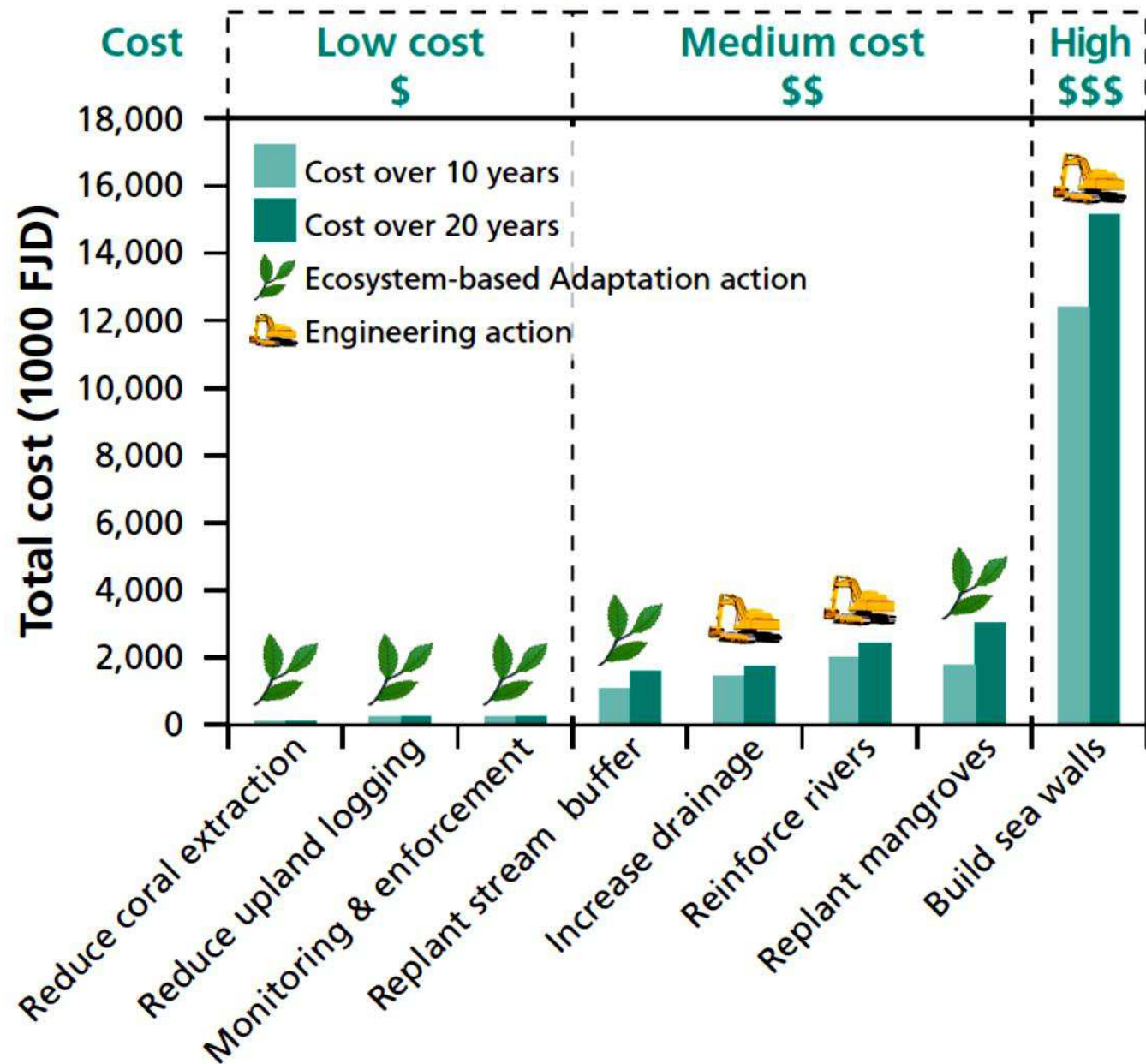


Figure 6. Total cost to implement adaptation options for all identified sites throughout Lami Town.

GREEN

決定版! グリーンインフラ

編 グリーンインフラ研究会
三菱UFJリサーチ&コンサルティング
日経コンストラクション

INFRA

新ビジネスで市場拡大へ!



社会問題を丸ごと解決する新時代のインフラ
第一線の識者50人が国内外の最新事例を解説

日経BP社

定価：本体3,200円+税
グリーンインフラ研究会、
三菱UFJリサーチ&コンサルティング、
日経コンストラクション（編）
A5判、392ページ
ISBN：978-4-8222-3522-2
商品番号：259720
発行日：2017年1月24日

生態系を活用した防災・減災の特徴

機能	人工物 インフラ	生態系 インフラ
単一機能の確実な発揮 (目的とする機能とその水準の確実性)	◎	△
多機能性 (多くの生態系サービスの同時発揮)	△	◎
不確実性への順応的な対処 (計画時に予測できない事態への対処の容易さ)	×	○
環境負荷の回避 (材料供給地や周囲の生態系への負荷の少なさ)	×	◎
短期的雇用創出・地域への経済効果	◎	△
長期的な雇用創出・地域への経済効果	△	○



EcoDRR, EbAの課題

- 防災・減災効果の科学的評価
 - リスク評価（暴露、脆弱性）
 - 効果の定量的把握
- コスト計算
 - 防災・減災の費用対効果
 - 平時の生態系サービスの経済評価
- 地域の意思決定のありかた
 - DRRオプションとしての認識
 - 制度へのくみこみ

グリーンレジリエンス

- 多面的な機能やサービスを供給する自然や生態系を自然資本として利用する
- 防災・減災効果だけでなく、豊かで健康な生活や魅力ある地域を作る（地方創生）
- 新しい利用方法やビジネスを開拓できる可能性がある
- 持続可能な社会への道である

グリーンレジリエンス年表

2011年3月	東日本大震災
2011年5月	東北大学・海とたんぼからのグリーン復興プロジェクト
2013年3月	内閣官房・ナショナル・レジリエンス懇談会
2013年4月	環境省・グリーン復興プロジェクト
2013年12月	国土強靱化基本法・国土強靱化政策大綱
2014年6月	国土強靱化基本計画 国土強靱化アクションプラン2014
2014年7月	(一社) レジリエンスジャパン推進協議会設立
2014年9月	日本学術会議提言「復興・国土強靱化における生態系 インフラストラクチャー活用のすすめ」
2015年3月	ジャパン・レジリエンス・アワード（強靱化大賞）
2015年8月	国交省・国土利用計画、国土形成計画（グリーンインフラ）
2015年11月	「気候変動の影響への適応計画」閣議決定
2015年12月	グリーンレジリエンスWG
2016年6月	国土強靱化アクションプラン2016 (グリーンインフラ、グリーンレジリエンス（仮称）)
2017年1月	「決定版！グリーンインフラ」刊行
2017年3月	グリーンレジリエンス大賞 環境省審議会「気候変動適応策を推進するための科学的知見と気候リス ク情報に関する取組の方針（中間取りまとめ）」

グリーンレジリエンスアワード



ジャパン・レジリエンス・アワード(強靱化大賞)2017

2017

グリーンレジリエンス大賞新設記念 グリーンレジリエンスシンポジウム

開催日時 2017年3月15日(水) 開催場所 有楽町朝日ホール(11階 スクエア)
13:00~15:00(12:30受付開始) 〒100-0006 東京都千代田区有楽町2-5-1 有楽町マリオン11階

主催者挨拶 >>> 中静 透氏 (東北大学大学院生命科学研究所 教授/総合地球環境学研究所 特任教授/ (一社)レジリエンスジャパン推進協議会 理事) **定員参加無料 230名様**
13:00-13:05(5分) **表彰説明** >>> 13:05-13:10(5分)

事例発表 >>> グリーンレジリエンス大賞 上位入賞団体 6団体による事例発表
13:10-14:15(5分)

審査員による講評 >>> 中静 透氏 (東北大学大学院生命科学研究所 教授/総合地球環境学研究所 特任教授/ (一社)レジリエンスジャパン推進協議会 理事) 島谷 幸宏氏 (九州大学大学院工学研究院 教授)

トークセッション >>> コーディネーター <<<パネリスト>> 中静 透氏 (東北大学大学院生命科学研究所 教授/総合地球環境学研究所 特任教授/ (一社)レジリエンスジャパン推進協議会 理事) 島谷 幸宏氏 (九州大学大学院工学研究院 教授)
14:15-15:00(45分) グリーンレジリエンス大賞 上位入賞団体 2団体を予定

ジャパン・レジリエンス・アワード(強靱化大賞)2017

開催日時 2017年3月15日(水) 開催場所 有楽町朝日ホール(12階)
16時00分~18時30分(15時30分受付開始) 〒100-0006 東京都千代田区有楽町2-5-1 有楽町マリオン12階

定員参加無料 500名様

ジャパン・レジリエンス・アワード(強靱化大賞)2017 表彰式

主催者挨拶
三浦 惺 (一般社団法人 レジリエンスジャパン推進協議会 会長/日本電信電話株式会社 取締役会長)
<全エントリーから選定・授与> <部門毎に選定・表彰>
グランプリ 金賞 最優秀レジリエンス賞
特別顧問賞 優秀賞 優良賞
二階俊博(国土強靱化提唱者)賞 **グリーンレジリエンス大賞**
古屋圭司(初代国土強靱化担当大臣)賞 **グランプリ** 大賞 金賞
特別賞 佐々木則夫賞 会長賞 **最優秀賞 優秀賞 優良賞**

<グランプリ表彰プレゼンター> (予定)
松本 純氏 (国土強靱化担当大臣)
山本 公一氏 (環境大臣)

スペシャルトーク「レジリエンス認証」

MCIにタレント 眞鍋かをり氏をスペシャルゲストに迎えて

<パネリスト> 細坪 信二氏 (特定非営利活動法人事業継続推進機構 理事・事務局長/国土強靱化貢献団体認証(レジリエンス認証) 認証審査委員会 委員)
レジリエンス認証 取得企業 株式会社ローソン、医療法人社団友愛会

お問い合わせ先

レジリエンス・アワード2017事務局(一般社団法人レジリエンスジャパン推進協議会内)
Mail: jp-award@resilience-jp.org 電話: 03-6260-6989 FAX: 03-6260-6992
住所: 〒104-0061 東京都中央区銀座7-13-12 サクセス銀座7ビル 10階 URL: http://www.resilience-jp.org

■大賞 (1件)

- 浜松市 「浜松版グリーンレジリエンス」

■金賞 (1件)

- 福津市・上西郷川日本一の郷川をめざす会・九州大学・福岡南小学校

「上西郷川における民-官-学の協働による地域に根ざした里川づくりの実践」

■最優秀賞 (4件)

- 鹿児島県土木部河川課・熊本大学大学院先端科学研究部流域環境デザイン研究室・九州大学工学研究院流域システム工学研究室 「西之谷ダム」

- 特定非営利活動法人田んぼ

「津波に被災した田んぼの生物文化多様性を活用した復興」

- 石積み学校

「農地石積みの技術継承と修復」

- 麻機遊水地保全活用推進協議会ベーター部会 「ベーター麻機活動」



グリーンレジリエンスの可能性

- 地域の意思決定の重要なオプションである
 - 意思決定のプロセスが人的資源を育てる
 - 防災・減災に関するリテラシー
- 地域の財産（自然資本）としての価値をもつ
 - 多面的な機能と価値
 - 地域の生態系サービスと産業、文化への貢献
- 地域の持続可能性への貢献
 - 災害に対するレジリエンス
 - 地域コミュニティのレジリエンス

気候変化が生物多様性・生態系に与える影響 と適応策に関する動向

まとめ

- 気温だけでなくさまざまな気候条件が影響する。
- すでに明確になっている生態系や生物多様性の変化があり、それをアセスメントに盛り込む必要性が出てくる可能性がある。
- 場合によっては、気候変動適応策や防災・減災の手段の一つとして生態系が利用できる。
- 今後の気候変化や社会状況を考えると、グリーンインフラの重要性が大きくなる。

気候変動に伴う生態系影響と適応

東北大学生命科学研究科教授 中静 透

はじめに

2014年に発表された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次評価報告書 (AR5) では、AR4に引き続き「気候システムの温暖化には疑う余地はない」という、確信度の高い記述がなされている¹⁾。実際に、1880年から2012年の間に世界の平均気温は0.85℃上昇しており、今世紀末までにさらに、可能な限りの緩和策をしても0.3～1.7℃、緩和策をしない場合には2.6～4.8℃の上昇が予測されている。日本でも、最近100年間に平均気温が1.15℃上昇していると報告されている²⁾。この温度変化は南北方向では約200km、標高でいえば約200mに相当する温度差である。温度だけでなく、降水量や積雪、さらには集中豪雨や台風などの極端現象についても、さまざまな変化がすでに観測され、予測もされている。

こうした、すでに生じている気候条件の変化に対して、生態系の変化も世界各地で報告されている。IPCC AR5 第2作業部会 (WG2) の報告でも、「すべての大陸と海洋で気候変動による自然及び人間システムへの影響が引き起こされている」と述べられており、主要なリソースの中に、海洋・沿岸、陸域・陸水などの生態系や生物多様性、およびそれらからもたらされる生態系サービス³⁾の低下が挙げられている。確かに気候変動の影響は、生物や生態系の反応に敏感に現れると考えられるが、一方で生物の反応は複雑であり、必ずしも確実に気候変動の影響と特定されるケースは多くない。また、日本では気候変動の影響に関する研究自体が豊富とはいえず、予測の確度も低い。

この小論では、日本の生態系のうち、特に森林を中心とした陸域生態系に

的を絞り、気候変動の影響と適応策について述べる。気候変動が生態系に与える影響とそのメカニズムを概観し、その特徴について整理する。また、それを考慮した適応策の方向性について論じてみたい。

生態系影響とそのメカニズム

すでにさまざまな影響が報告・予測されているが、それらを大別すると、1) 分布の移動と種の絶滅、2) 生物季節の変化、3) 生物間相互作用の変化、4) 生態系の機能およびサービスの変化の四つに区分できるであろう。具体的な例は、この本の他の章に詳しいので、ここではその概要を包括的に述べる。

1) 分布の移動と種の絶滅

気候変動が生態系や生物多様性に与える影響として最もよく知られているのは、生物の分布変化であろう。この場合、飛翔能力のある昆虫や鳥類は移動能力が大きく、温暖化によって分布を北に拡大しているものが知られている。昆虫は越冬の温度条件が分布を決めている場合も多く、最低気温の上昇に伴ってその分布域が北上して

いるといわれる。鳥類でも、気温の上昇によって越冬地がより北方へ移動したことが知られているほか、越冬地での温暖化が個体数増加を招いているという推定もある。

移動速度が遅いと考えられている植物についても、散布された種子の定着によって新しい生息域を獲得すると同時に、個体の死亡によって旧来の生息地を失うことで移動が起こる。茨城県筑波山では常緑樹のアカガシが標高の高い地域に分布を

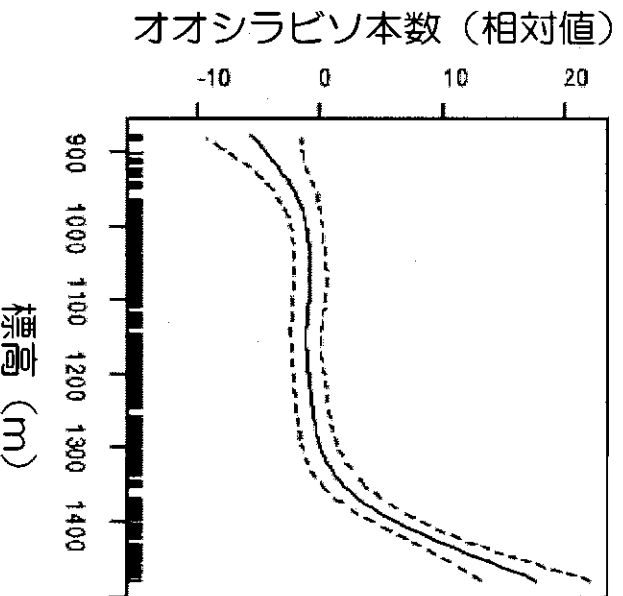


図 1

八甲田山におけるオオシラビソの本数変化と標高。過去と現在の空中写真を用いてオオシラビソの本数を標高別に計測したものの。Shimazaki et al. 2011 を一部改変。

げる一方で、頂上でもほとんど分布の下限に近いブナでは枯死する個体が目立っている³⁾。同様に、青森県の八甲田山では、亜高山の針葉樹であるオオシラビソが分布下限で個体数を減らし、上限付近で増加させていることが分かっている(図1)⁴⁾。こうした植物の分布環境を統計的に解析し、温暖化予測シナリオに応じて将来の分布適域(分布する環境として適している地域)を推定する手法も進んできた。それによれば、温暖化によって、ブナ林や亜高山帯林の分布適域は大きく減少する一方で常緑樹の分布可能地域が拡大すると予測されている⁵⁾。

分布域の変化が最も深刻な事態に至ると、種が絶滅することになる。高山植物については非常に深刻な状況が予測されている。もともと、日本の高山植物は氷期に広い分布域を持っていた植物が、温暖化に伴い、山頂部分にわずかに残った遺存種が多い。わずかな個体群が特殊な環境の場所に生き残ったもので、シベリアなどの個体群と比べると遺伝的な多様性も低い。また、日本の高山はまれに見る多雪環境や強風という条件で樹木が育たないため、山頂の標高は高くないものの高山植生が形成されている場合が多い⁶⁾。実際に、ヨーロッパや北アメリカと比べると、日本の高山帯は同緯度でも標高の低い場所に残っており⁶⁾、より脆弱であることが予想される。今後の気候変



写真 1

山地湿原と積雪。山地湿原では、消雪とともに湿原の植物が生育を開始していくため、消雪の時期が変化することによって、植生が大きく変化する。積雪期間が短縮し、乾燥が進むと樹木が湿原に侵入していく

動で、積雪量あるいは積雪期間が減少することが予想されており、これまで低標高にもかかわらず残ろうじて残ってきた高山植物や植生にとっては相当数の種の絶滅を含む厳しい状況が懸念されている。

同様に、高層湿原や山地湿原なども近年縮小傾向にある⁷⁾。高山植物と同様、気温とともに積雪が重要な役割を果たしていると考えられるため、その影響予測には積雪に関する予測を考慮する必要がある。この生態系にも貴重な生物が多数含まれているので、保全を考える上で重要性は高い(写真1)。

一方、シカの分布拡大も気候変動の影響で説明されることがある。これまであまり見ることのなかった多雪地や高山帯にもシカの分布が広がっている⁸⁾。さまざまな地域で高山植物に対するシカの食害が問題となっているほか、原生林でも皮剥ぎや林床植物の食害が問題になっている。しかし、江戸時代にはほぼ日本全体にシカが生息していたことが分かっており、現在の分布拡大現象は再進出と呼ぶべき問題である。基本的には最近数十年間で急速に個体数が増えていることが大きな原因となっているが、この動きを気候変動が加速させている可能性がある。

2) 生物季節の変化

気候条件が変化することによって、開花や繁殖などの生物季節が変化する現象もすでにいくつかの種で報告されている。開花や開葉、紅葉などに温暖化の影響が報告されている。また、動物でも、鳥の産卵時期が変化している例などが報告されている。開花は積算温度などで制御されている場合が多いが、中には冬季の低温を経験しないと開花しない種もあり、こうした気象刺激が変化することによって、生物季節が乱される場合がある。また、温度ではなく、日長のように気候変動の影響を受けない要因によって生物季節が制御されている場合もあるし、よくメカニズムが分かっている生物も多い。さらには、植物の生理が日長で決まっているのに対して、その植物を資源とする昆虫は気温で制御されている場合などがあり、開花しても送粉昆虫がいなかったり、植物を食べる害虫がこれまでとは異なった時期に発生したりといった影響が生じている⁹⁾。気候変動によって変化する刺激と変化しない刺激の組み合わせにより、こうした生物季節の変化がこれまで共生してきた生物間にも齟齬(そご)をきたす可能性がある。

3) 生物間相互作用の変化

分布の変化や生物季節の変化は、その種だけでなく、その種が相互作用を持っている他の種にも影響を及ぼす。ある植物の花粉を運ぶ昆虫や種子を運ぶ鳥類が、温暖化によって先に生息域を移動させてしまうのに対して、植物の移動が遅れるようなケースがあれば、植物の繁殖に影響が出る。また、前述のような共生、寄生する生物間相互作用のズレが生態系レベルでの影響につながるケースもあるだろう。

樹木の病気を媒介する昆虫が温暖化の影響を受けることにより、病気が北方へ分布を拡大する例もある。松枯れの場合はマツノザイセンチュウを運ぶマツノマダラカミキリの、ナラ枯れの場合も病菌を媒介するカシノナガキクイムシの生活史によって、病気の分布北限が決まっているといわれている。これらの病気を媒介する昆虫の分布北限よりも北あるいは高標高域にもマツ類やナラ類が生育しており、現時点ではこれらの病気から逃れることができているが、温暖化が進めばその限りではなくなる。その他にも、害虫の分布範囲が温度条件の制約を受けている場合は多いと考えられており、温暖化によるさまざまな影響が懸念されている⁹⁾。

このように、気候変動は生物間相互作用の変化を引き起こし、現在の食物網や共生関係とは異なった生物間ネットワークの形成につながる可能性がある。どのようなネットワークになるのか予測は難しい。また、現在の生態系は長い時間を経て比較的安定なものになってきているが、形成されてから時間を経ていない新しい生態系はより不安定である可能性が高いだろう。

4) 生態系の機能およびサービスの変化

気候変動の影響は、単に生物や生態系そのものの変化だけでなく、それを通じてその機能や生態系サービスにも及ぶ。北方の森林では、地下部に貯蔵された有機物量が相対的に大きい。現在は、低温条件がこうした有機物の分解を妨げているが、温暖化によって分解が進むことにより、森林が二酸化炭素の放出源になる可能性も指摘されている¹⁰⁾。そのことにより、さらに温暖化が促進される可能性も懸念されている。炭素だけでなく、温暖化によって土壌栄養塩の無機化速度なども変化するため、森林や流域全体での栄養塩収支も変化すると予想されており、河川の水質などへの影響もあるだろう。

害虫や病気の分布範囲が変化することは、農作物や人工林でも起こり得ることであり、利用できる生態系資源としてもマイナスの影響を受ける可能性がある。森林での病気の拡大は、森林が持つ土壌保全や洪水制御などの生態系サービスの劣化にもつながる。また、送粉昆虫が分布をシフトさせれば、作物や果実に必要な送粉サービスが受けられなくなる可能性がある。

温暖化による森林組成の変化がスムーズに起こればよいのだが、何らかの理由で一時的に森林が荒廃することは十分考えられる。例えば、ブナ林と亜高山帯林の境界付近では、亜高山帯林が衰退して温度的にはブナ林の適域になったとしても、ササ類などの林床植生が繁茂してブナ林の更新を妨げ、スムーズな樹種交代が起こらない可能性もある。そのような場合には、森林がすぐに成立しない場合もあるだろう。また、台風の巨大化などによる森林被害の増加も懸念される。樹木は一般に長い寿命を持つので、仮に気候条件が変化してもすぐに森林が変化することはないかもしれないが、巨大化した台風によって森林が攪乱を受け、それがきっかけとなって種の交代が急速に進む可能性も考えた方がいいだろう。この予測の確信度は高くはないが、こうした森林の荒廃によって生態系サービスの劣化が起こるリスクがある。

竹林の分布拡大も温暖化の影響を受ける。最近数十年間で、西日本を中心にモウソウチクやマダケの利用が衰退し、管理が行われなかったために竹林が拡大を続け¹⁰⁾、森林の衰退や土壌侵食などで問題視されている。これまで、こうしたタケ類は東北地方に北限があり、東日本では西日本ほどの拡大速度は見られなかったが、今後の温暖化で拡大する可能性があり、さまざまな影響を及ぼすことが懸念されている。

逆に、生物種の分布移動が起こっても生態系の機能やサービスには大きな変化をもたらさない可能性もある。森林の構成種が変化しても、現存量や生産速度に大きな変化がなければ、土壌保全や洪水防止などの生態系機能には大きな変化は起こらないという場合もあるだろう。

温暖化が与える影響の特徴

気候変動が起こっても生物の順化や適応（進化）に十分な時間があれば、生態系への影響は少ない。地球の歴史の中で気候変動は何度も起こってきた

が、生物はそれらに対して適応し、生物間相互作用の中で生態系を形作ってきた。しかし、現在起こっている気候変動はそのスピードが非常に速く、これまでの生物の進化スピードでは対応できない可能性がある。気候変動以外にも他の人間活動によって、生物や生態系が改変されてきているため、変化に対して反応する力も劣化しているだろう。

気候変動が生態系や生物多様性に与える影響には、いくつかの特徴がある。まず、影響の予測に関する不確実性が高いという点である。気候変動予測そのものにも不確実性があるが、生物・生態系に関してはそれが特に大きい。生物の反応は、単一の気象条件だけでなく、複数の気象刺激によって影響を受けるため、例えば、温度条件の変化だけでは確実な予測が難しい場合がある。また、生物の分布を決める要因の中には、数年に一度の低温というような極端な気象条件が重要なものが少なくない。

また、食物網や共生関係など複雑な生物間相互作用のために、ある生物の変化がカスケード的に他の生物に及び、予測の不確実性が大きくなる。ある場合には、温暖化によって、これまでの送粉や種子散布などの共生パートナ-

複数安定状態の転換点 シカの採食が引き起こす森林衰退

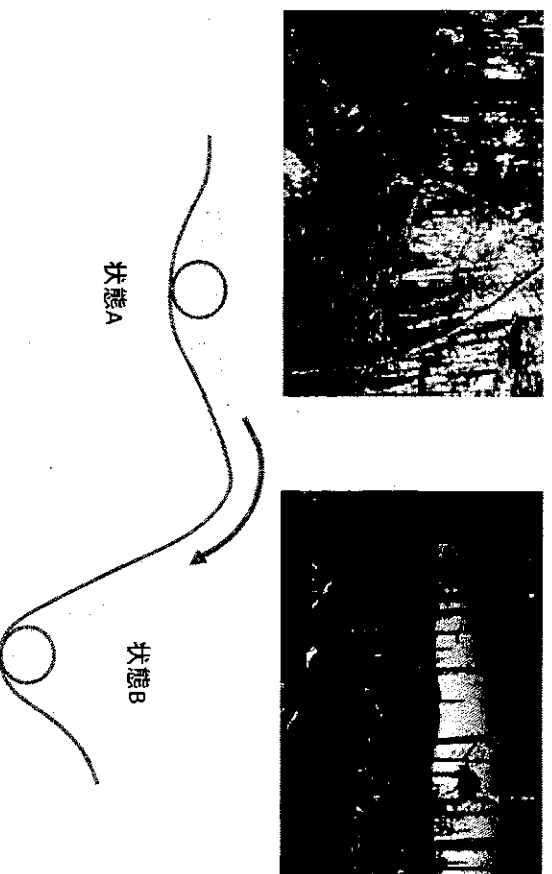


図2 レジームシフトの例。状態Aで安定していた生態系が、条件の変化によって別の状態Bで安定する。森林として数千年間続いてきた植生が、シカの食害や台風被害などによって、ササ草原として安定してしまう例。

を失い、新しいパートナーと共生せざるを得ないというケースも出てくるだろう。天敵と餌生物の組み合わせも、これまでとは異なったものになる可能性がある。温暖化の結果として、そうしたこれまでにない生物組成の生態系が生まれる可能性もある。また、侵略的侵入種の分布が北上して被害を広げる、というようなケースもあるだろう。

生態系の変化は常に連続的な形で起こるとは限らない。レジームシフトと呼ばれる、ある閾値（ティッピングポイント）を超えた場合に不可逆な変化となったり、元に戻りにくくなったりする変化がある（図2）。北方林の炭素収支は、ある温度条件を超えると土壤中の二酸化炭素が放出側に変化し、森林全体としても吸収から放出へ加速度的にシフトする現象が懸念されている。湖沼の生物群集についても、栄養塩や温度の条件がティッピングポイントを超えると、その条件が戻ったとしても、すぐに元には戻らないケースが報告されている¹¹⁾。

種の絶滅は不可逆な現象であり、一度絶滅した種を復活させることはできない。群集を構成するキーストーン種が絶滅するような場合には、生態系全体がまったく別のものに変化してしまう可能性も否定できない。

気候変動の影響は、他の人間活動の影響によって増幅されることが少なくない。自然の状態であれば、それぞれの生物の持つ生活史に従って分布をシフトさせることが可能であるが、多くの場合、こうしたルートを人間の土地利用が阻んでいる。また、河川など淡水生態系では人工構造物によって分断化が進んでいるし、外来生物も分布を拡大しているため、温暖化によるサイナスの影響がより大きくなっている。こうした複合効果の影響を考慮する必要がある。

どんな適応策が可能か？

自然生態系や生物多様性に目を向けた場合、温暖化の適応策として有効性の高い方法は少なく、その多くが消極的な対策とならざるを得ない。その基本的な考え方として最も重要な点は、先に述べたように、温暖化以外の要因を取り除き、温暖化の影響を最小化することである。例えば、分布移動の障害となるような土地利用を避けたり、分布移動を促進するような自然再生を計画したりという対策が重要である。注意したいのは、温暖

化適応策として行われる構造物の建設や造成などが、生態系の劣化を招いたり、生態系の適応を遅らせたりする場合もあることである。また、できるだけ生物の自然な分布変化を促し、自然状態ではあり得ない移動や生態系の再生を行う場合には、慎重であるべきだろう。安易な生物の移動は、新しい地域での別な問題を引き起こす可能性がある。もともとの分布域周辺にシフュージア（退避地）となり得る場所が存在するのであれば、そうした環境を利用できるよう、情報も整備しておく必要がある。基本的には、現在の保護地域を拡充し、生態系ネットワークを形成することがレジリエンス（抵抗力）を高めることになる。

高山植物などは、もし予測通りの気候変動が起これば、かなりの数の種が絶滅の危機に陥る。この時、種の絶滅を避けるための手順をあらかじめ、想定しておくことも重要である。可能な限り現地保全を目指すのは当然としても、現地外保全や最終手段としての種子、DNAでの保存に至るまでの段階的な手順を十分考えておく必要がある。

レジームシフトに関しては、どのようなケースで起こり得るのか、あるいはテイクアップポイントを見極められるかという点について、まだ十分な情報がない。可能性を持つ現象の洗い出しを急ぐとともに、メカニズムと可能な対策の解明を急ぐ必要があるだろう。

最近では、温暖化の緩和策と適応策を統合化する動きもある。特に森林生態系の保全は、炭素蓄積を保つとともに生態系や生物多様性の適応策にもつながる可能性があり、統合化につながる有効な手法開発の可能性がある。途上国向けに考えられている REDD+（森林の減少・劣化による二酸化炭素排出量を削減する活動）なども、類似の奨励策を国内向けに設計することも可能であると考ええる。

また、生態系を保全することが他の気候変動影響に対する適応策になり得る可能性もある。例えば、海岸の干潟や湿地の保全と構造物をうまく組み合わせることで、高波などの防災策となり得る。森林生態系を保全・拡充することが CO₂ の吸収と同時に生活空間における温度そのものを下げる効果がある。こうした生態系を利用した適応 (Ecosystem-based adaptation) など、適応策として積極的に考えるべきであろう¹²⁾。

おわりに

生態系に対する気候変動の影響予測は、他の分野より遅れている傾向がある。それは、生態系や生物多様性の持つ不確実性が大きく、有効なモデルの開発が難しいという点が効いているが、一方では、生態系に対する気候変動の具体的な影響を評価し、適応策を練るためには、現在の気候モデルの解像度が粗すぎるという点も見逃せない。最近の気候変動の予測モデルは、適応策を意識して次第に解像度は高くなってきているので、開発された解像度の高いモデルを利用した影響予測と空間情報化を急ぐ必要があるだろう。いずれにしても、気候変動はすでに始まっており、できるだけ確信度の高い予測を基に、無駄のできるだけ少ない適応策を考えていくべきである。

〔引用文献〕

- 1) IPCC AR5 WG2
- 2) 文部科学省・気象庁・環境省(2013) 「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート。日本の気候変動とその影響(2012年度版)」
- 3) 中尾勝洋ら(2009) 日本における常緑カシ類2種の個体および優占林の分布を規定する気候条件。森林立地学会誌 森林立地 51, 27～37.
- 4) Shimazaki et al. (2011) Environmental dependence of population dynamics and height growth of a subalpine conifer across its vertical distribution: an approach using high-resolution aerial photographs. *Global Change Biology* 17, 3431-3438.
- 5) 増沢武弘(2009) 「高山植物学」. 共立出版.
- 6) Körner, C. (2003) "Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems", Springer.
- 7) 安田正次ら(2007) オルソ化航空写真の年代間比較による山地温原の植生変化の検出. 地理学評論, 80, 842-856.
- 8) 奥村忠誠ら(2009) ニホンジカ (*Cervus nippon*) の分布拡大に影響を与える要因. 環境学会誌, 22(6) 379-390.
- 9) 桐谷圭治・湯川淳一(編)(2010) 地球温暖化と昆虫. 全国農村教育協会.
- 10) 梁矢 貴ら(2010) 自然環境情報GISと国土数値情報を用いた日本全域の竹林分布と環境要因の推定. 景観生態学 15, 41-54.
- 11) Leadley, P. et al. (2010) Biodiversity Scenarios: Projections of 21st Century Change in Biodiversity, and Associated Ecosystem Services: a Technical Report for the Global Biodiversity Outlook 3. CBD Technical Series 50.
- 12) IUCN (2009) "Ecosystem-based Adaptation: A natural response to climate change".