

気候変動影響下での林業と農山村部での暮らし

国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所
平田泰雅

Climate disruption is approaching a point of no return.

気候の混乱は後戻りできない点に近づいている。

António Guterres
Secretary-General

国連事務総長
アントニオ・グテーレス

International Mother Earth Day, 22 April 2020

[1991-2020年平均からの差(°C)]

日本の気温は どのくらい上がったの？

日本の年平均気温偏差の経年変化

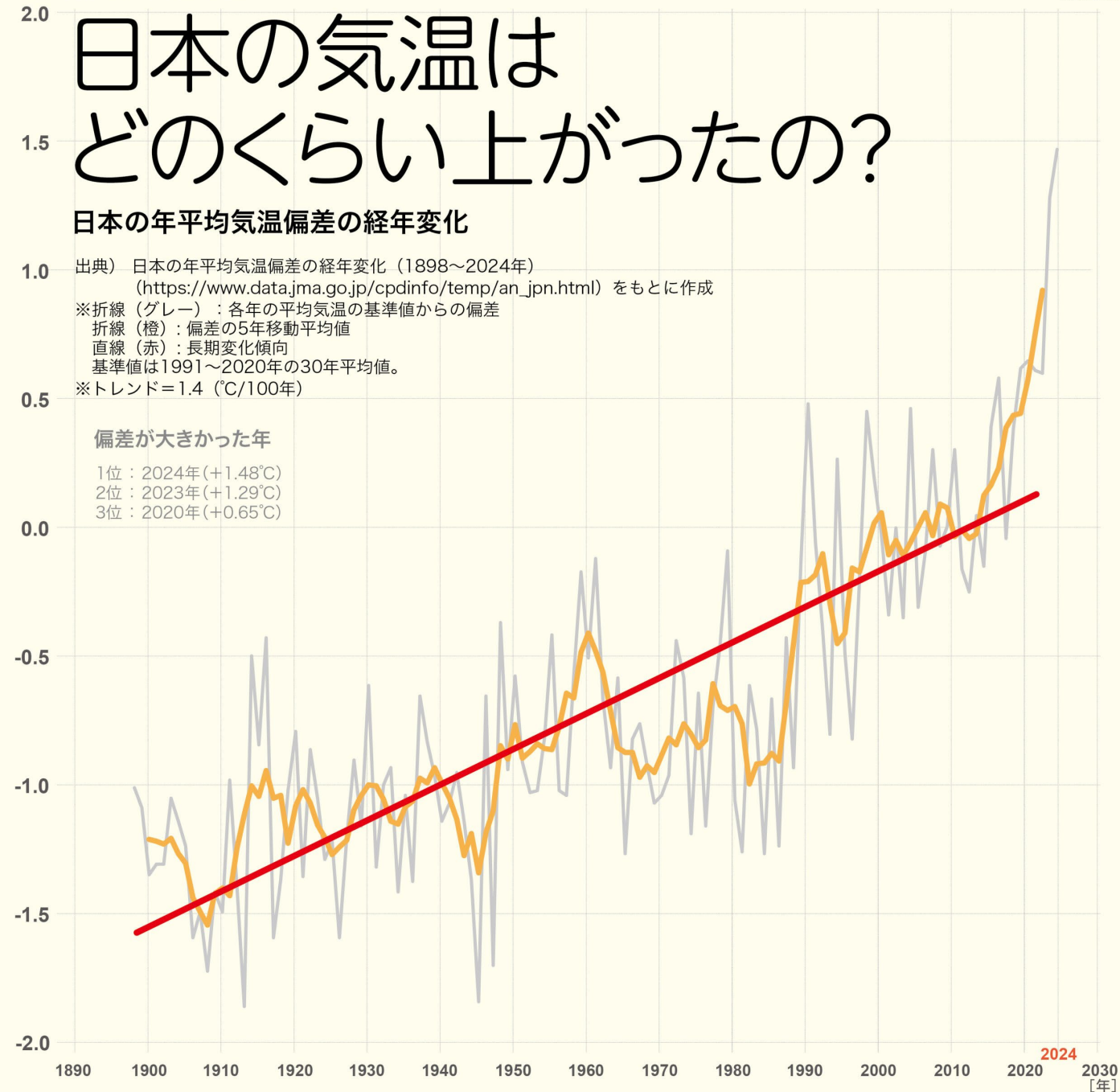
出典) 日本の年平均気温偏差の経年変化 (1898~2024年)
(https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html) をもとに作成

※折線 (グレー) : 各年の平均気温の基準値からの偏差
折線 (橙) : 偏差の5年移動平均値
直線 (赤) : 長期変化傾向
基準値は1991~2020年の30年平均値。

※トレンド=1.4 (°C/100年)

偏差が大きかった年

- 1位 : 2024年 (+1.48°C)
- 2位 : 2023年 (+1.29°C)
- 3位 : 2020年 (+0.65°C)



2024年の日本の年平均気温偏差は +1.48°Cで、統計を開始した1898年以降で最も高い値となった

日本の年平均気温は長期的に上昇しており、特に1990年代以降、高温となる年が頻出している

日本の年平均気温偏差の経年変化(1898~2024年)

全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト
(<http://www.jccca.org/>) より

日本の真夏日の日数は どうなるの？

2100 年末における
真夏日(最高気温30℃以上)の
年間日数予測

出典)環境省・気象庁
日本国内における気候変動予測の
不確実性を考慮した結果について

真夏日の年間日数は将来の温室効果ガス安定化レベルが高くなるほど増加する。

全国を見ると、RCP2.6で平均12.4日、RCP8.5で平均52.8日増加すると予測される。

日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について

全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト
(<http://www.jccca.org/>) より

2025年の水戸の
真夏日: **80**日!

西日本日本海側
(参考都市: 福岡)
約 **124** 日
(現在の日数: 約57日)

東日本日本海側
(参考都市: 新潟)
約 **91** 日
(現在の日数: 約34日)

西日本太平洋側
(参考都市: 大阪)
約 **141** 日
(現在の日数: 約73日)

北日本日本海側
(参考都市: 札幌)
約 **48** 日
(現在の日数: 約8日)

北日本太平洋側
(参考都市: 釧路)
約 **34** 日
(現在の日数: 約0日)

東日本太平洋側
(参考都市: 東京)
約 **103** 日
(現在の日数: 約46日)

沖縄・奄美
(参考都市: 那覇)
約 **183** 日
(現在の日数: 約96日)

2025年の東京の真夏日: **87**日!

1 海面上昇 高潮

(沿岸、島しょ)

2 洪水 豪雨

(大都市)

3 インフラ 機能停止

(電気供給、医療などのサービス)

4

熱中症

(死亡、健康被害)

将来の
主要なリスク
とは？

複数の分野地域におよぶ
主要リスク

出典) IPCC第5次評価報告書 WGII

5

食糧不足

(食糧安全保障)

森林火災

6

水不足

(飲料水、灌漑用水の不足)

7

海洋生態系

損失

(漁業への打撃)

8

陸上生態系

損失

(陸域及び内水の生態系損失)

気候変動は、既存の気候によるリスクを増幅し、自然及び人間システムにとっての新たなリスクを引き起こすと予測される。

そうしたリスクの中には特定の分野や地域に限られるものもあれば、連鎖反応するものもあるだろう。

IPCC AR5 WG II SPM

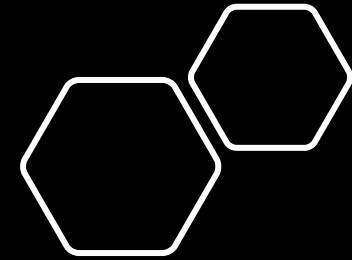
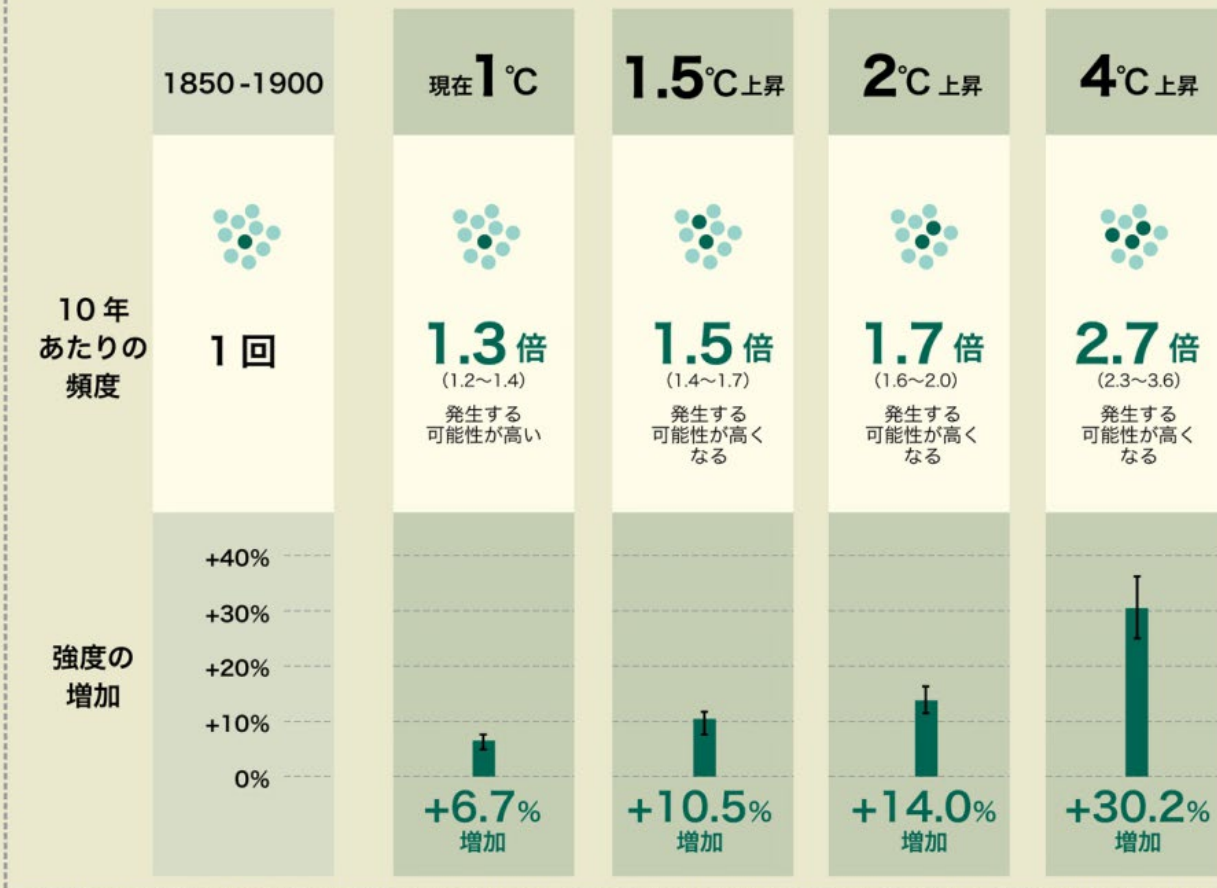
全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト
(<http://www.jccca.org/>) より

大雨は どのくらい増えるの？

陸域における大雨の予測される変化（10年に1回の現象）

人間の影響がない気候で平均して10年に1回発生するような日降水量の頻度と強度の増加

出典：IPCC第6次評価報告書 WG1 Figure SPM.6



林業分野への気候変動の影響

- 気温上昇と降水パターンの変化によって乾燥化
→ 人工林の成長に影響を与えることが懸念
- 台風の巨大化や短時間強雨の頻度の増加
→ 森林が有する土砂災害防止や土壌保全等の機能に限界
→ 山地災害の増加に結びつく可能性



気候変動影響予測・ 適応評価の総合的研究

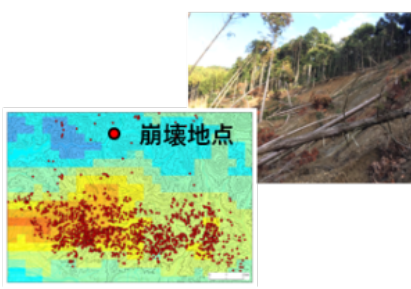


気候変動にレジリエント(強靱)な社会に向けた展望

【サブテーマ2(3)】林業を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価

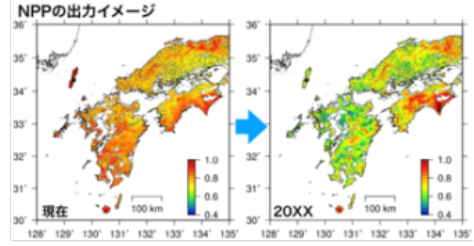
技術シーズの高度化と将来予測

S2: 山地災害リスクの予測



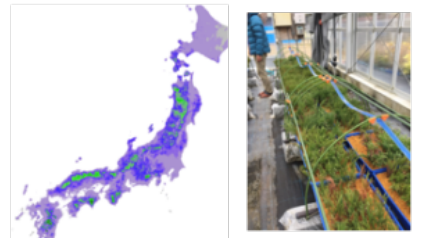
共通シナリオのもとでのモデル地域における高解像度山地災害リスク予測

S1: 人工林への影響予測



共通シナリオのもとでの全国規模の成長量予測

S3: 地域系統ごとの環境適応幅の評価



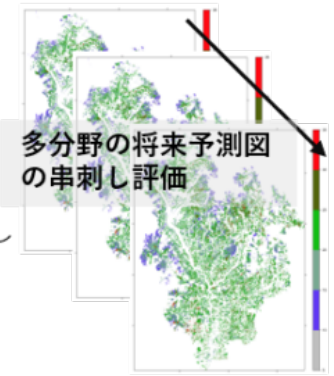
共通シナリオのもとでの各地域系統の適地予測

適応策オプションの構築と評価

S1+S2: 成長量予測と山地災害リスクを考慮した適応策評価モデルの開発

地域内の森林をどう管理するか？

適応策オプション
ゾーニング
施業管理計画の見直し
(e.g. 短伐期化)



将来気候下における森林の最適配置、管理指針の提案

S1+S3: 地域に応じた最適な地域系統選択指針の提示

どこに何を植えるべきか？

適応策オプション
地域系統(樹種)転換



将来気候に適した地域系統および適地選択

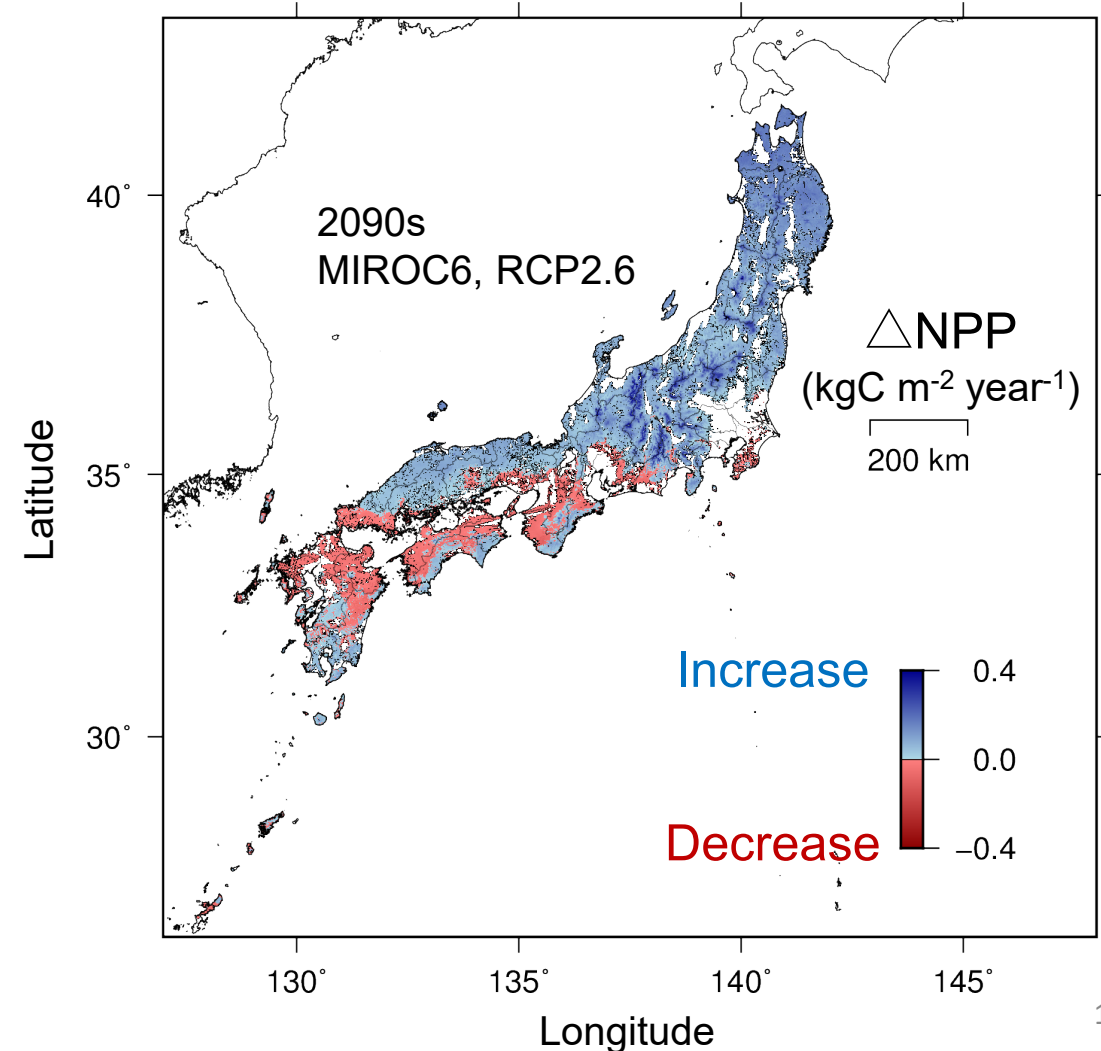
将来気候下における我が国の森林管理技術の創出

1.地域に応じた最適な地域系統選択指針の提示

気候変動のスギの成長への影響評価

スギ人工林の純一次生産量（NPP）の将来変化予測

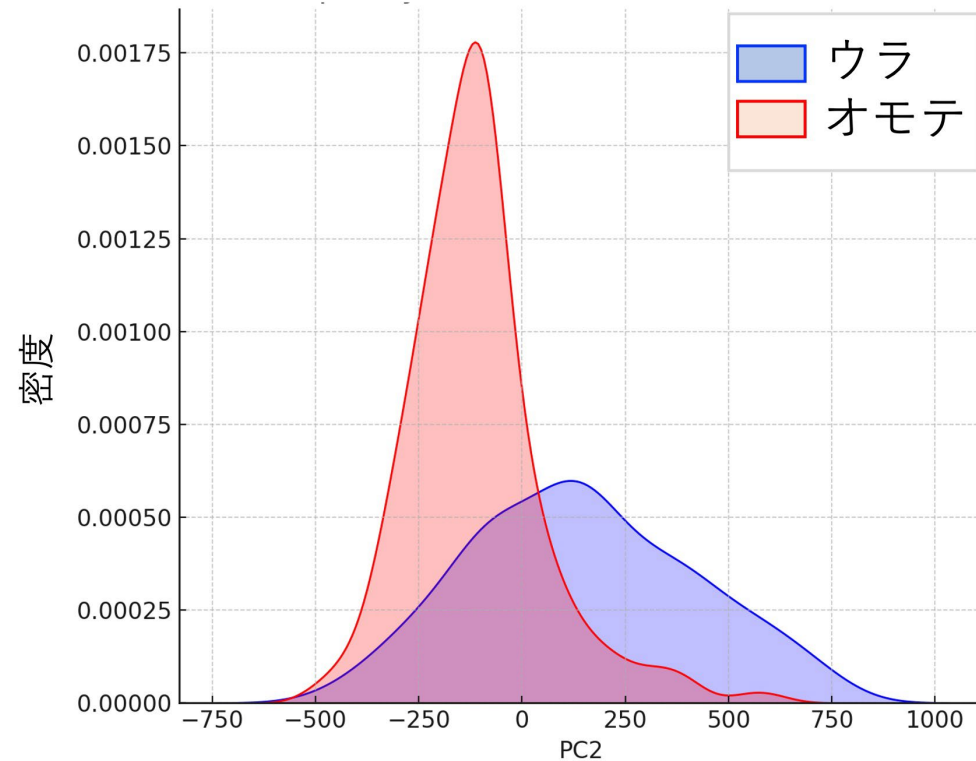
- 植物の光合成、呼吸、器官成長をシミュレートするプロセスベースモデルBiome-BGCに基づいて、スギの純一次生産量（NPP）を推定するモデルを開発
- 2000年代と2090年代（RCP2.6、MIROC5）の80年生スギ人工林のNPPの違いを予測
- RCP2.6シナリオでは、西日本の広い地域でNPPが減少する一方、東日本では概ねNPPが増加すると推定



地域に応じた最適な地域系統選択指針の提示

スギの地域系統の環境適応幅の評価

- 遺伝的変異に基づいて分類したオモテスギとウラスギ各系統が生育する地域についての bio1-19（1970-2000の平均値）を抽出
- 主成分分析を行なって地域系統の分布に重要な環境変数を検討
- オモテスギとウラスギの分布には冬季降水量が最も大きく影響
- Gradient Forestでのモデリングによる結果と合致
- ウラスギが環境軸に対して広い分布

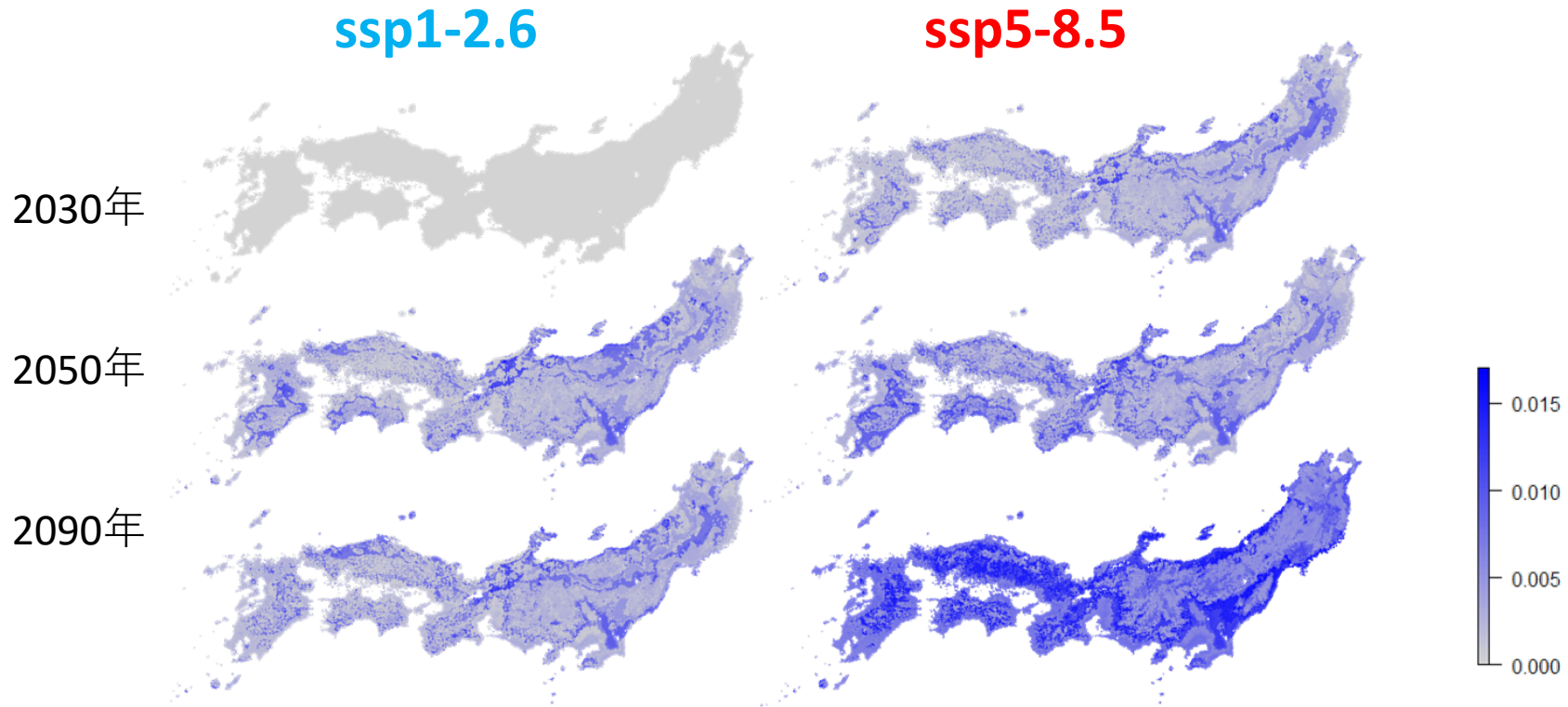


オモテスギとウラスギの環境軸上での分布

分布する地域の環境変数による主成分分析でオモテスギとウラスギを分けるPC2軸上での分布を示す。PC2には冬季（最寒四半期）降水量が最も大きく影響

将来気候下でのスギの適応度低下の予測

スギのgenetic offset: MIROC6

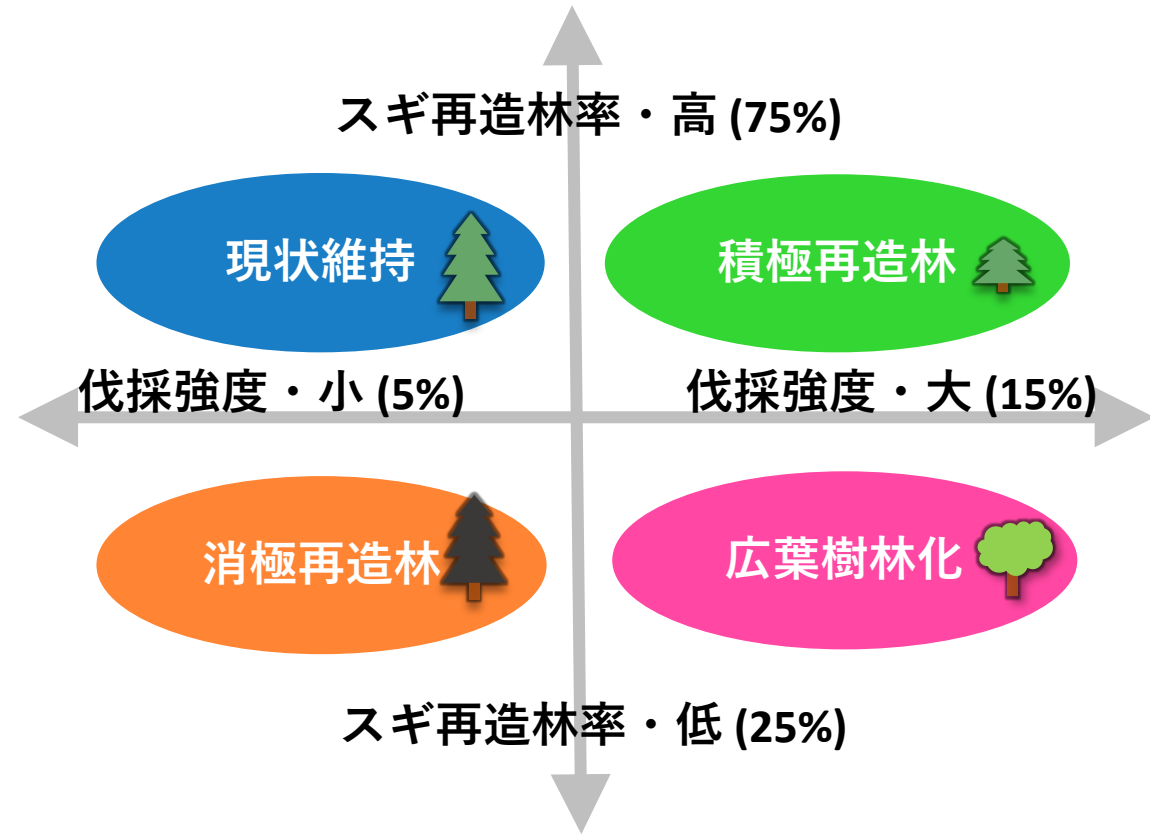


- **ssp1-2.6**では九州の一部内陸域、本州の低地においてgenetic offsetが上昇し、**ssp5-8.5**では、**2050-2090間に関東から西南日本にかけて広くgenetic offsetが高まる** タイミングがあると予測された。
(genetic offset: 将来的気候下における遺伝的不適合性)

地域に応じた最適な地域システム選択指針の提示

林業適応策オプションの将来シナリオによるスギの炭素吸収量の予測

- 林業の適応策オプションの将来シナリオを作成
- 2010年時点のスギ人工林の齢級構造と資源蓄積を再現
- スギの伐採強度と再造林率にもとづき4つの林業シナリオを作成
 - 1) 現状維持
 - 2) 積極的再造林
 - 3) 消極的再造林
 - 4) 広葉樹二次林拡大
- 炭素循環モデルBiome-BGCに入力
- 2050年、2090年の純生態系生産量（森林の炭素吸収量に相当）を推定

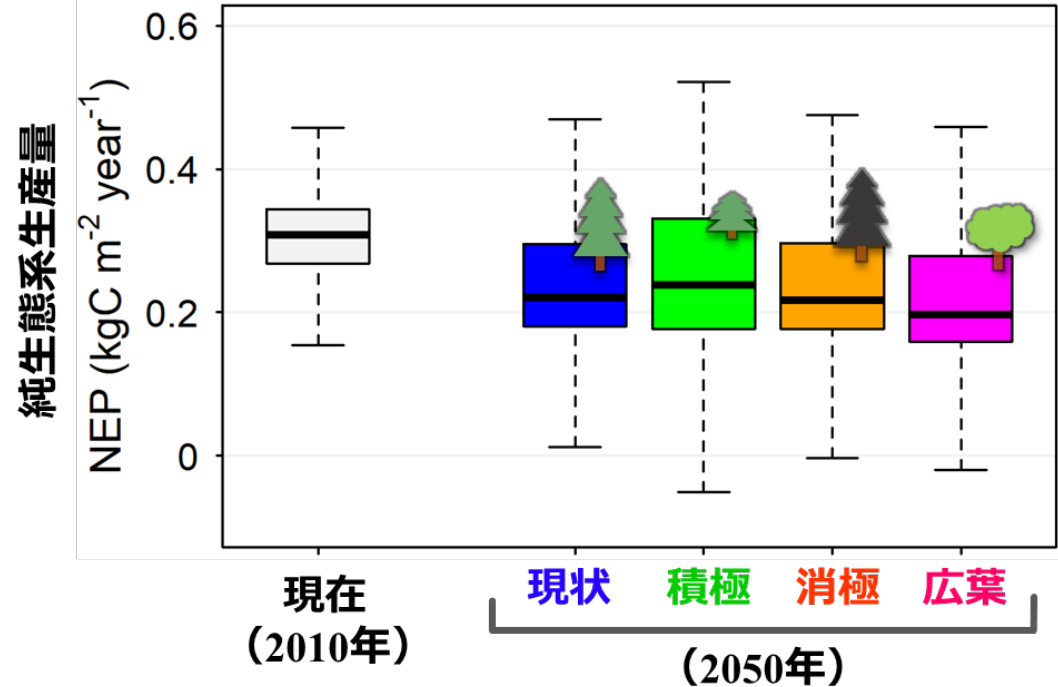


気候シナリオは共通シナリオ第二版のCMIP6の5つの気候モデルを利用
 SSP1-2.6とSSP5-8.5シナリオを評価

地域に応じた最適な地域系統選択指針の提示

林業適応策オプションの将来シナリオによるスギの炭素吸収量の予測

- 林業シナリオでは程度の差はあるが、いずれも2010年に対し2050年、2090年の純生態系生産量が低下
- 主たる要因は広葉樹二次林の拡大とスギ林の高齢化
- 2050年（SSP1-2.6）の純生態系生産量は2010年に対し、シナリオ平均で約2割低下すると推定
- オモテスギ主体の温暖な林業地域では積極的再造林（短伐期化）が、人工林の成長と炭素吸収量を比較的高く保つ唯一の方策
- ウラスギ主体の相対的に冷涼な地域では消極的再造林（長伐期化）も可能性のある選択肢



純生態系生産量の将来予測

$N = 49440$ （3次メッシュの数）。5つの気候モデルの平均によるSSP1-2.6の結果を示す。純生態系生産量が高いほど、森林の炭素吸収量が高い。右側のバーは4つの林業シナリオの2050年の結果

地域に応じた最適な地域系統選択指針の提示

林業オプション（適応策）と地域系統の選択指針

オモテスギの林業地域

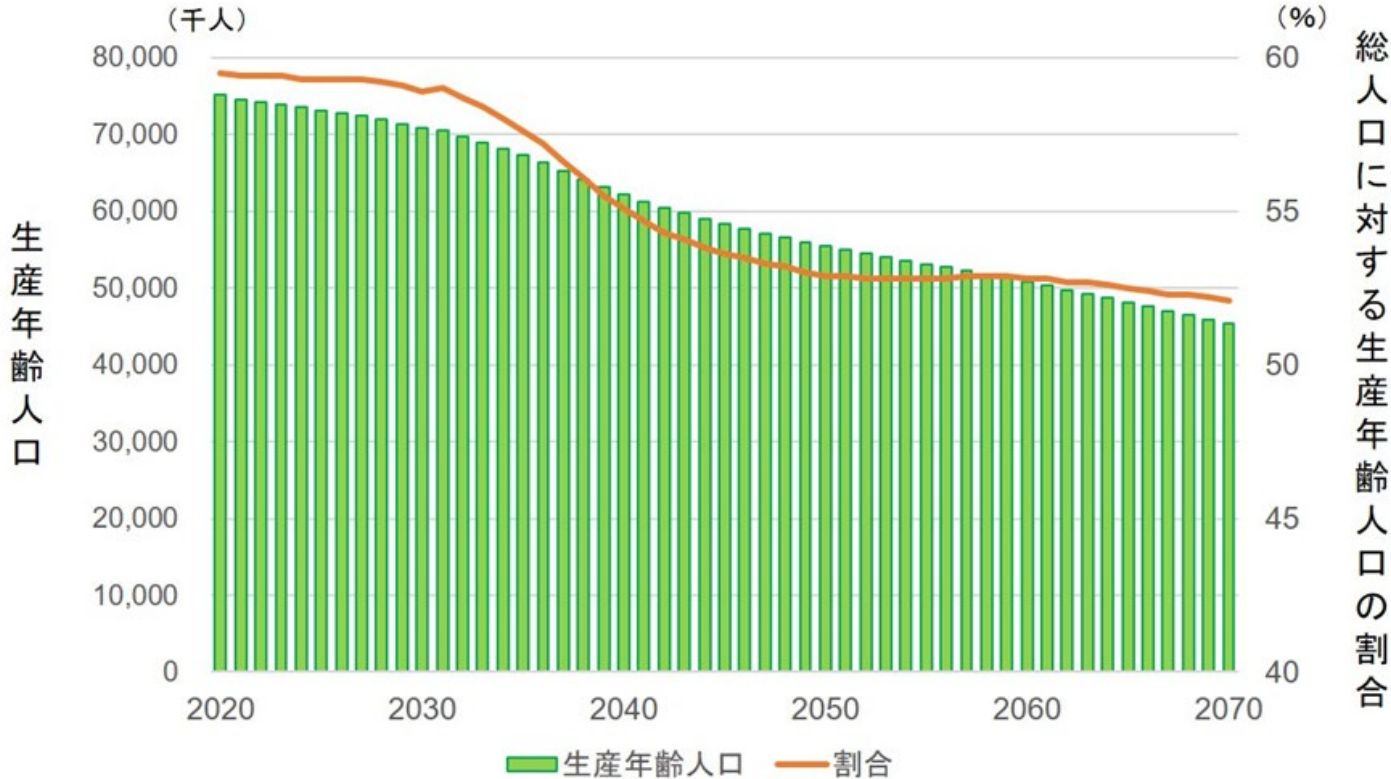
- ① 少子高齢化の進行が著しいと予測される自治体
→ 現状のスギ林の維持または広葉樹林への誘導
- ② 少子高齢化の進行が限定的な自治体
→ 積極的再造林・短伐期化によるスギ林業の継続
より高い再造林率を維持できる自治体
→ 遺伝的オフセットの結果を踏まえ、系統転換や樹種転換も検討

ウラスギの林業地域

- ③ 少子高齢化問題の大きい地域
→ 現状のスギ林の維持
- ④ 少子高齢化問題の限定的地域
→ 長伐期化も含めたスギ林業の継続

地域に応じた最適な地域システム選択指針の提示

林業と人口問題

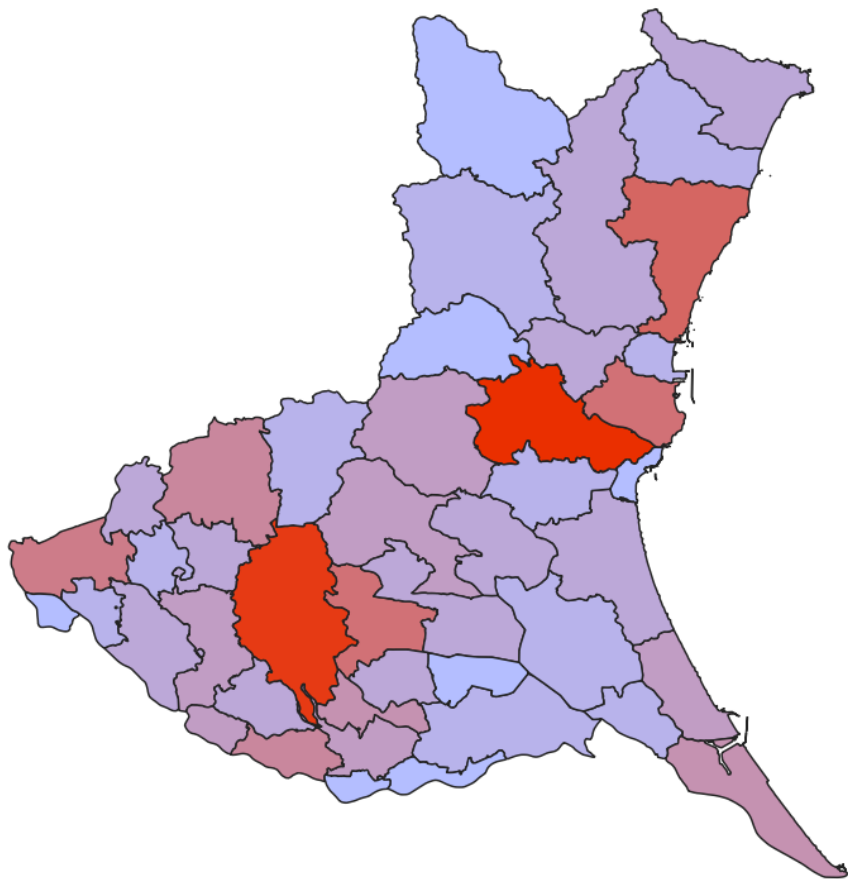


出展：「日本の将来推計人口（令和5年推計）」（国立社会保障・人口問題研究所）
(https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2023/pp_zenkoku2023.asp)

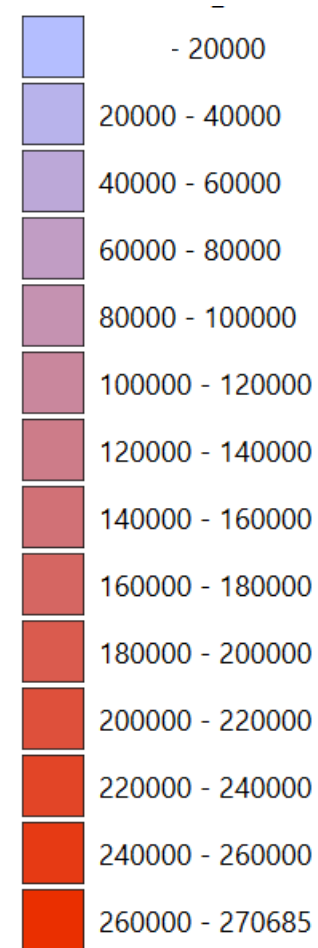
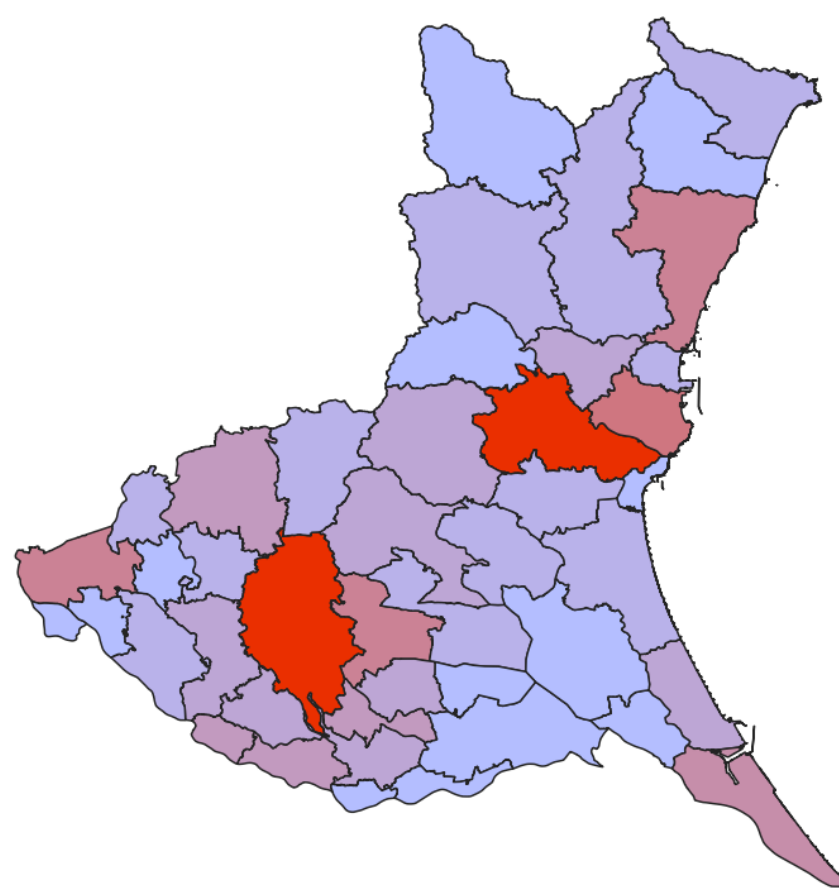
- 森林の育成には数十年かかることから、社会変化を考慮する必要がある
- 特に、人口問題は林業の担い手不足と木材の消費者の減少による消費量の低下を招くことが予想される
- 成長、災害の両面から、今後、林業を継続していく地域の選択が必要
- 人工林を広葉樹林化する場合、広葉樹林への気候変動の影響と適応策についても考慮しておく必要がある

茨城県の2020年の市町村別人口と2050年の予測

2020年



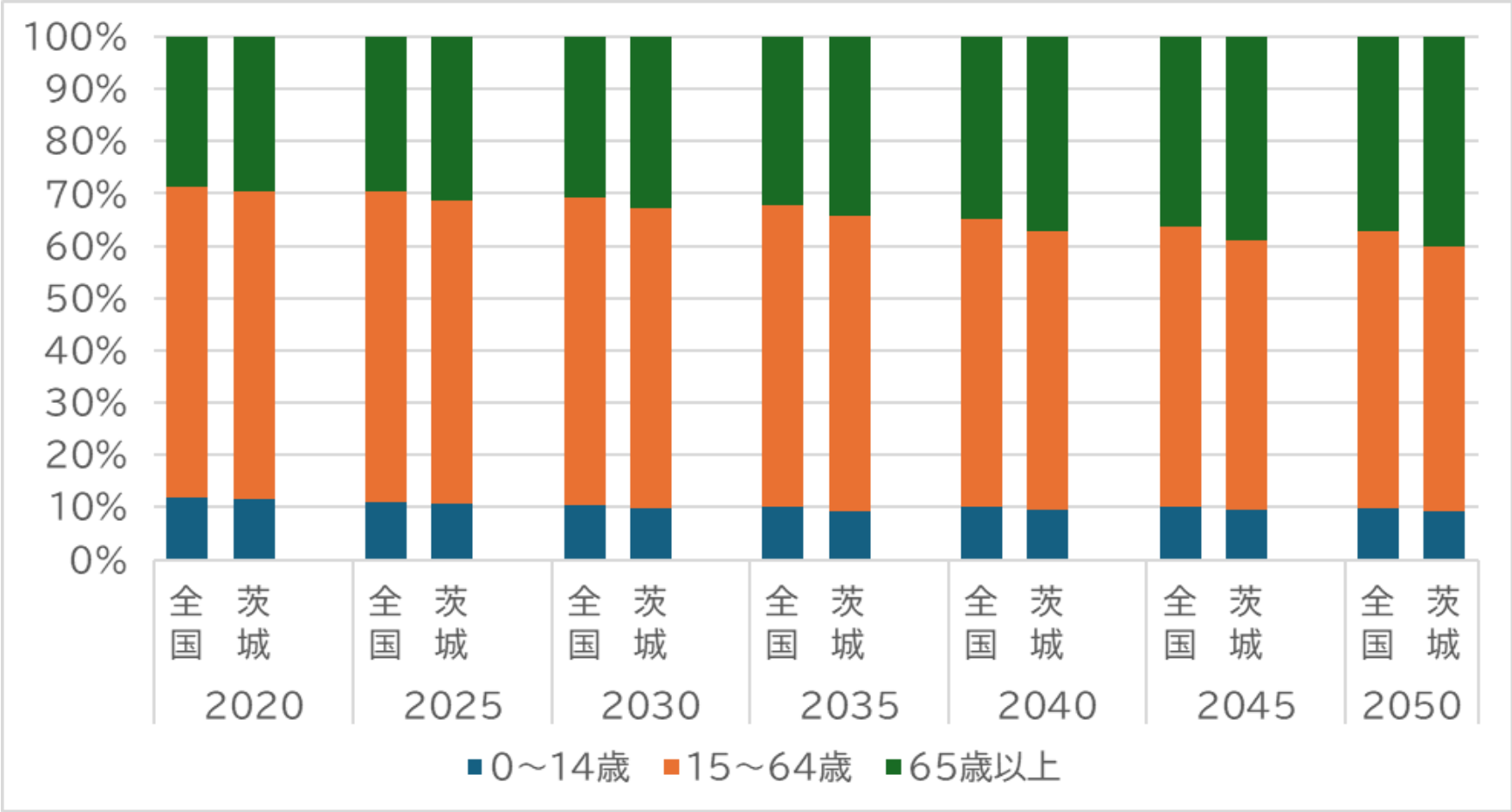
2050年



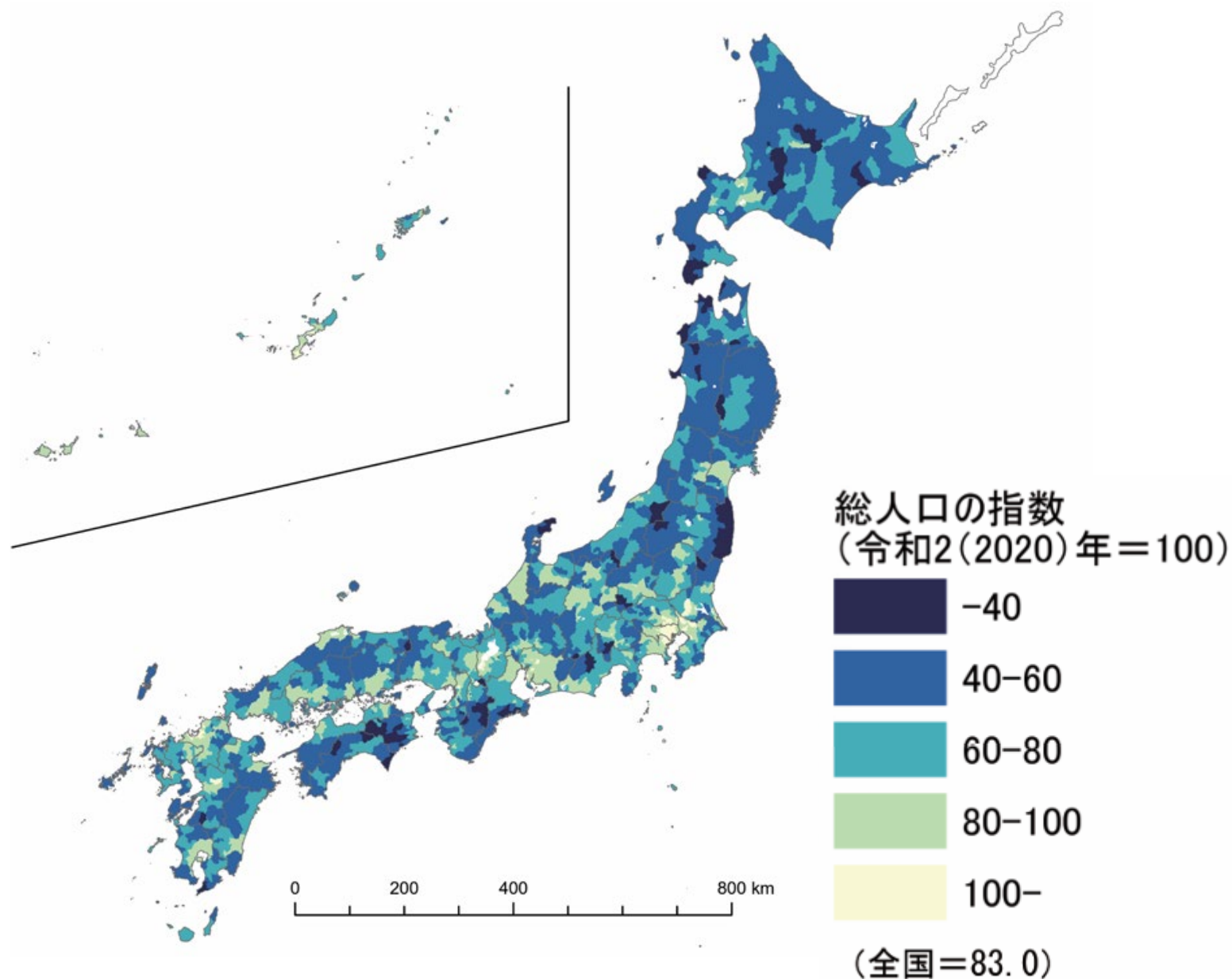
国立社会保障・人口問題研究所

日本の地域別将来推計人口 令和5(2023)年推計

年齢3区分(0~14歳,15~64歳,65歳以上)割合の推移予測



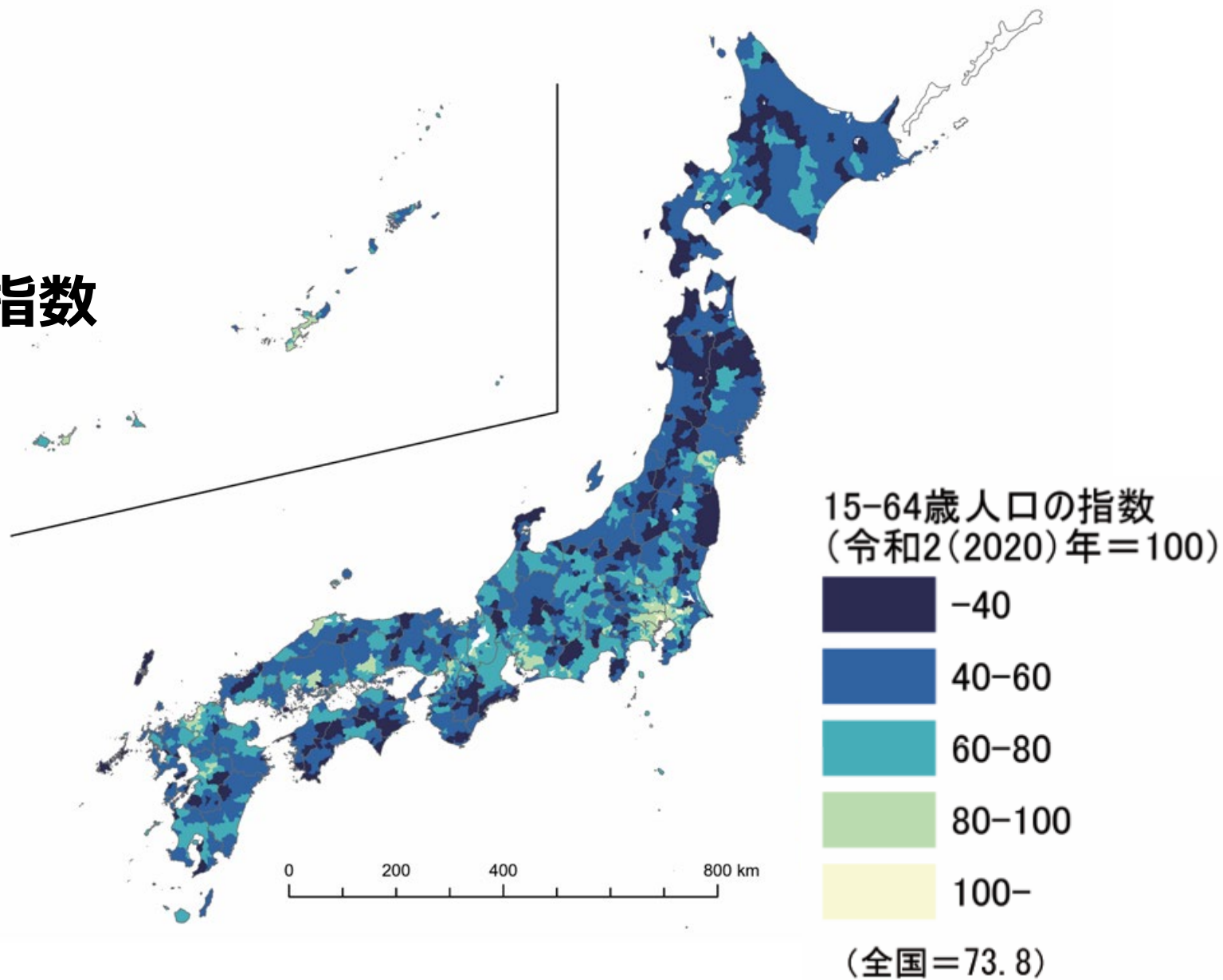
2050年の総人口の指数 (2020年を100とした割合)



国立社会保障・人口問題研究所

日本の地域別将来推計人口 令和5(2023)年推計

2050年の15～64歳人口の指数 (2020年を100とした割合)

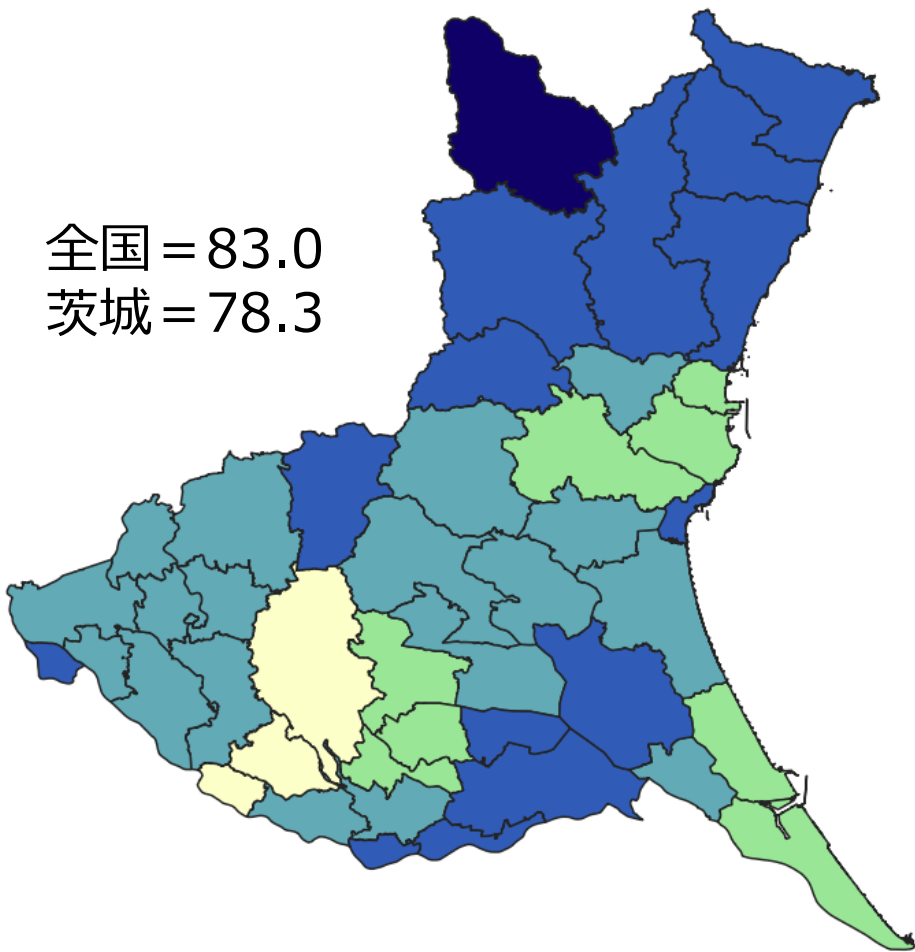


国立社会保障・人口問題研究所

日本の地域別将来推計人口 令和5(2023)年推計

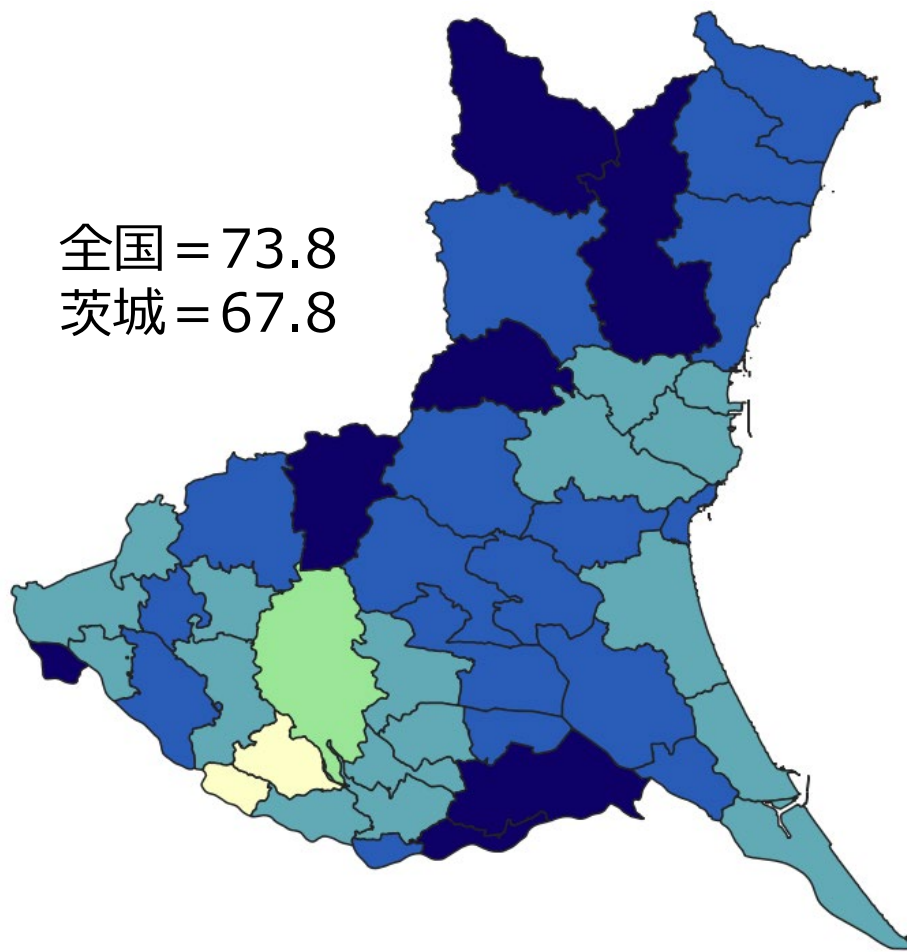
2050年の総人口の指数 (2020年を100とした割合)

全国 = 83.0
茨城 = 78.3

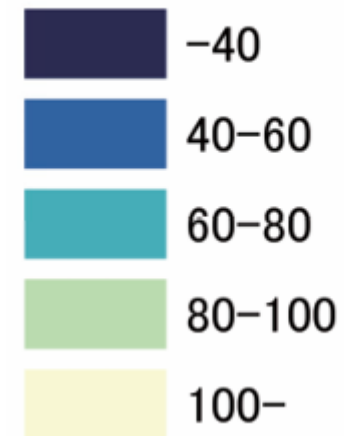


2050年の15～64歳人口の指数 (2020年を100とした割合)

全国 = 73.8
茨城 = 67.8



総人口の指数
(令和2(2020)年=100)



国立社会保障・人口問題研究所

日本の地域別将来推計人口 令和5(2023)年推計

2.成長量予測と山地災害リスクを考慮した適応策評価モデルの開発

災害の種類ごとの防災・減災に活用しうる生態系

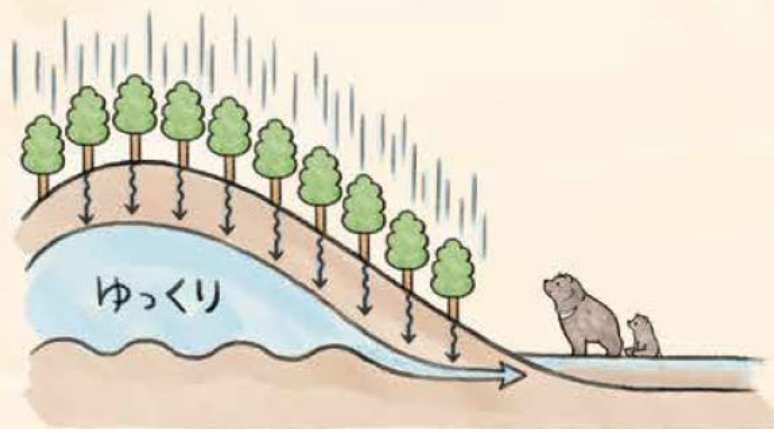
災害の種類	生態系						
	森林	陸水	沿岸			農地	都市緑地
			陸域	移行帯	海域		
暴風	●		●			●	●
豪雨（斜面崩壊・土石流）	●					●	●
豪雪（雪崩）	●						
洪水	●	●				●	●
高潮	●		●	●	●		
津波	●		●	●	●		
地震	—	—	—	—	—	—	—
噴火	—	—	—	—	—	—	—
火災							●

環境省自然環境局「生態系を活用した防災・減災に関する考え方」（2016年）より作成

大雨が降った時の様子を比べてみよう

木々があると...

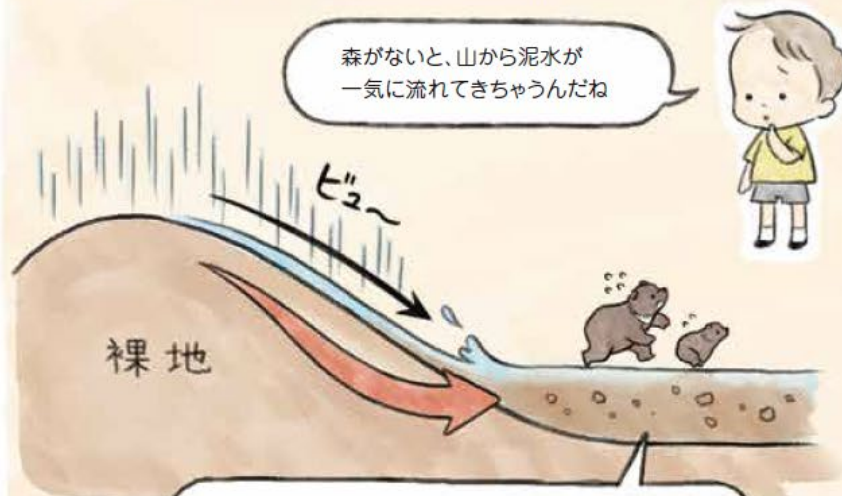
森があると、地表に達した雨水の多くは、土の中にしみこみ地中を流れる。これは地表の流れよりもずっと遅いので、川が増水するまでに時間がかかる。



雨水が一気に流れ出るのを遅らせる働きがあるよ

木々がないと...

森がないと、雨水は地表を一気に流れるため、一度に大量の水が出たり、土や石を削って泥水として大量の水が川に流れ出てしまう。

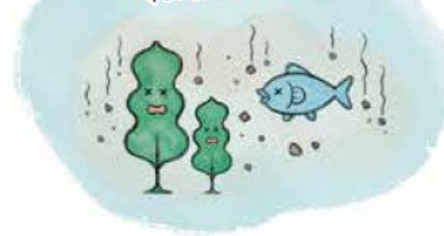


川には、大雨のたびに大量の土砂が流れこみ、海岸近くの海水が泥でにごり、海底が泥で埋まってしまう

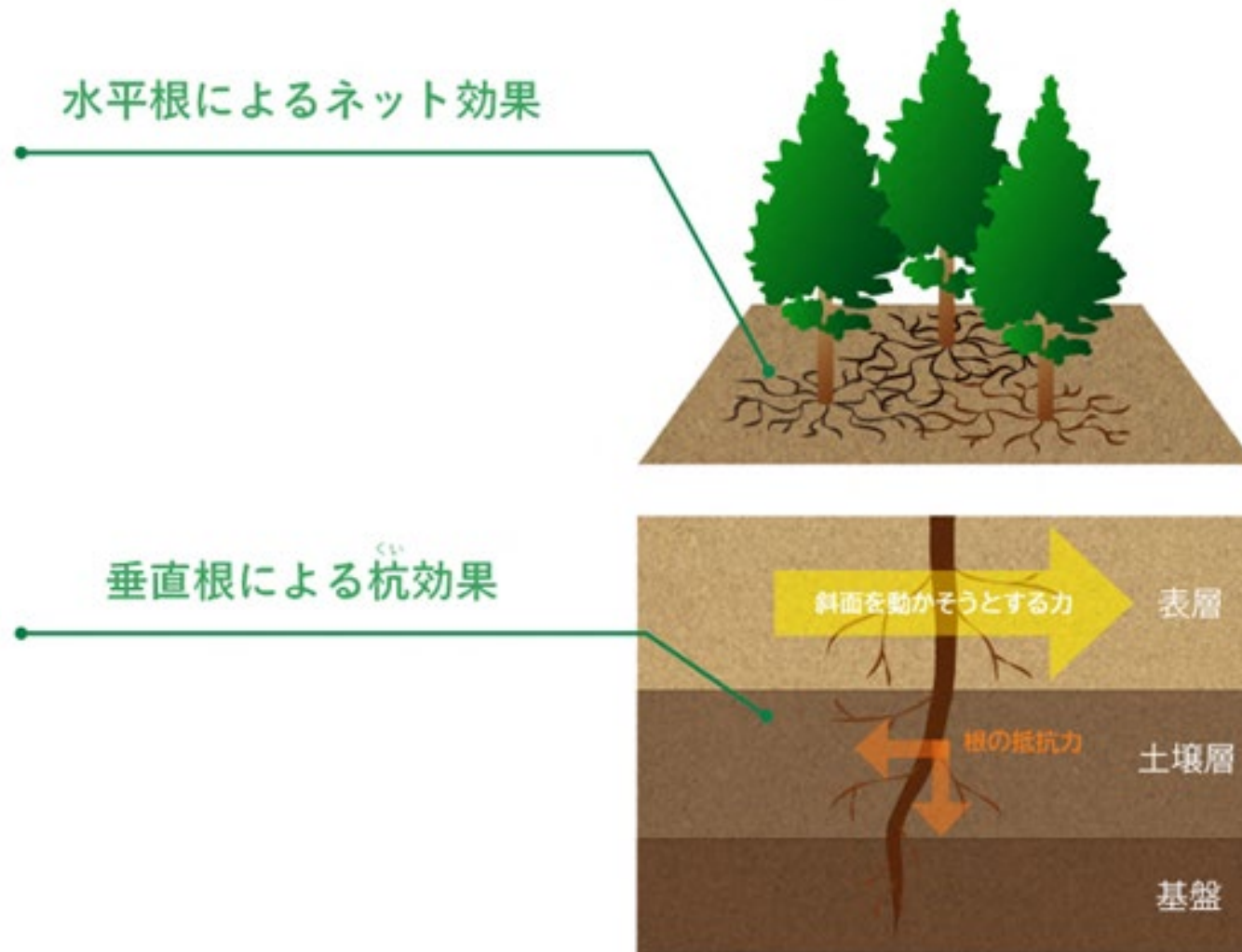
森は海の恋人



海ではコンブや魚などがすめなくなるよ

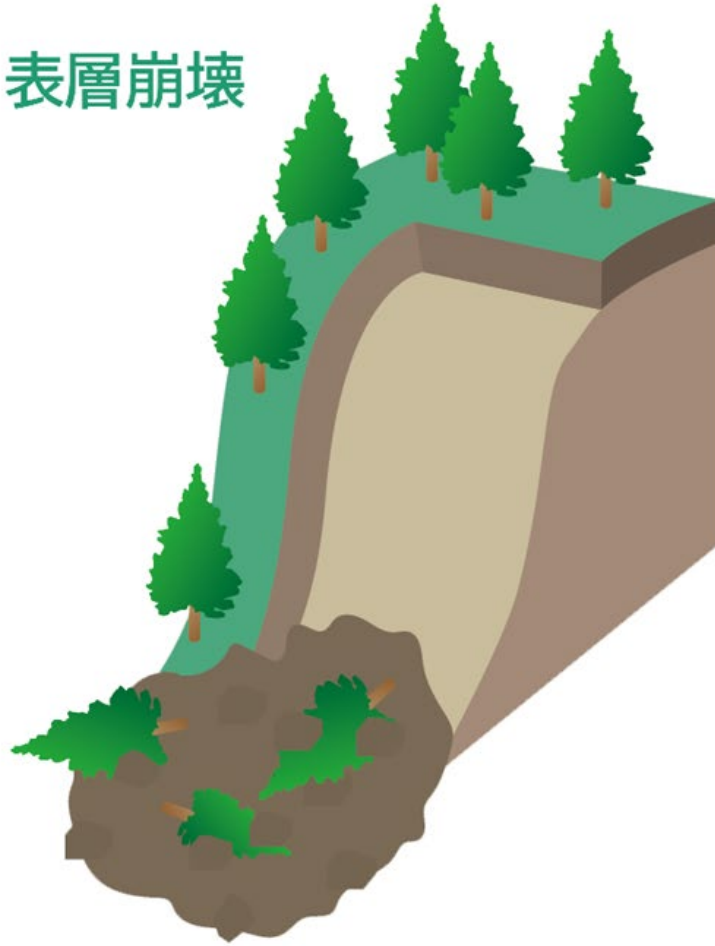


表層崩壊を防止する根系の効果



斜面崩壊の種類

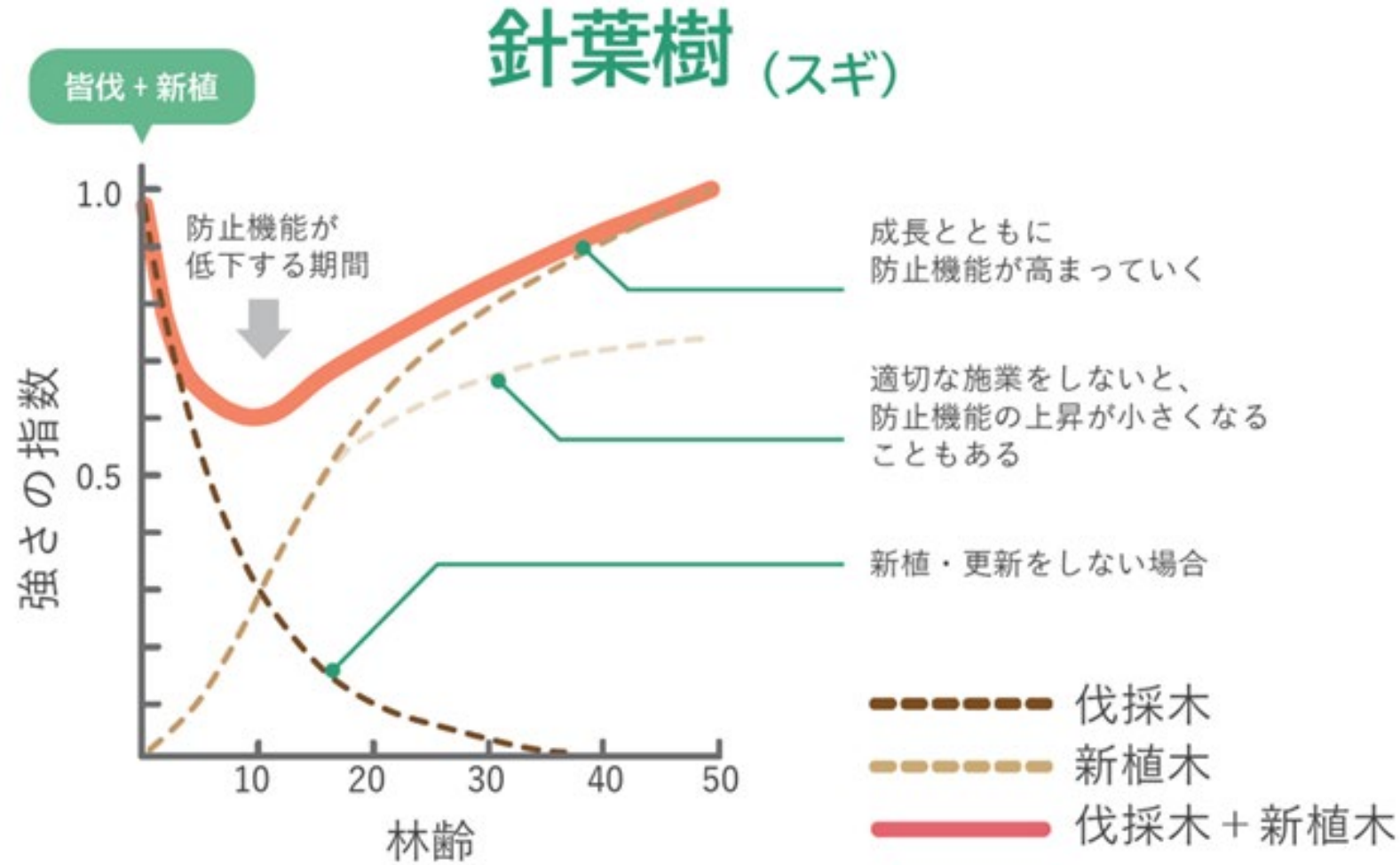
表層崩壊



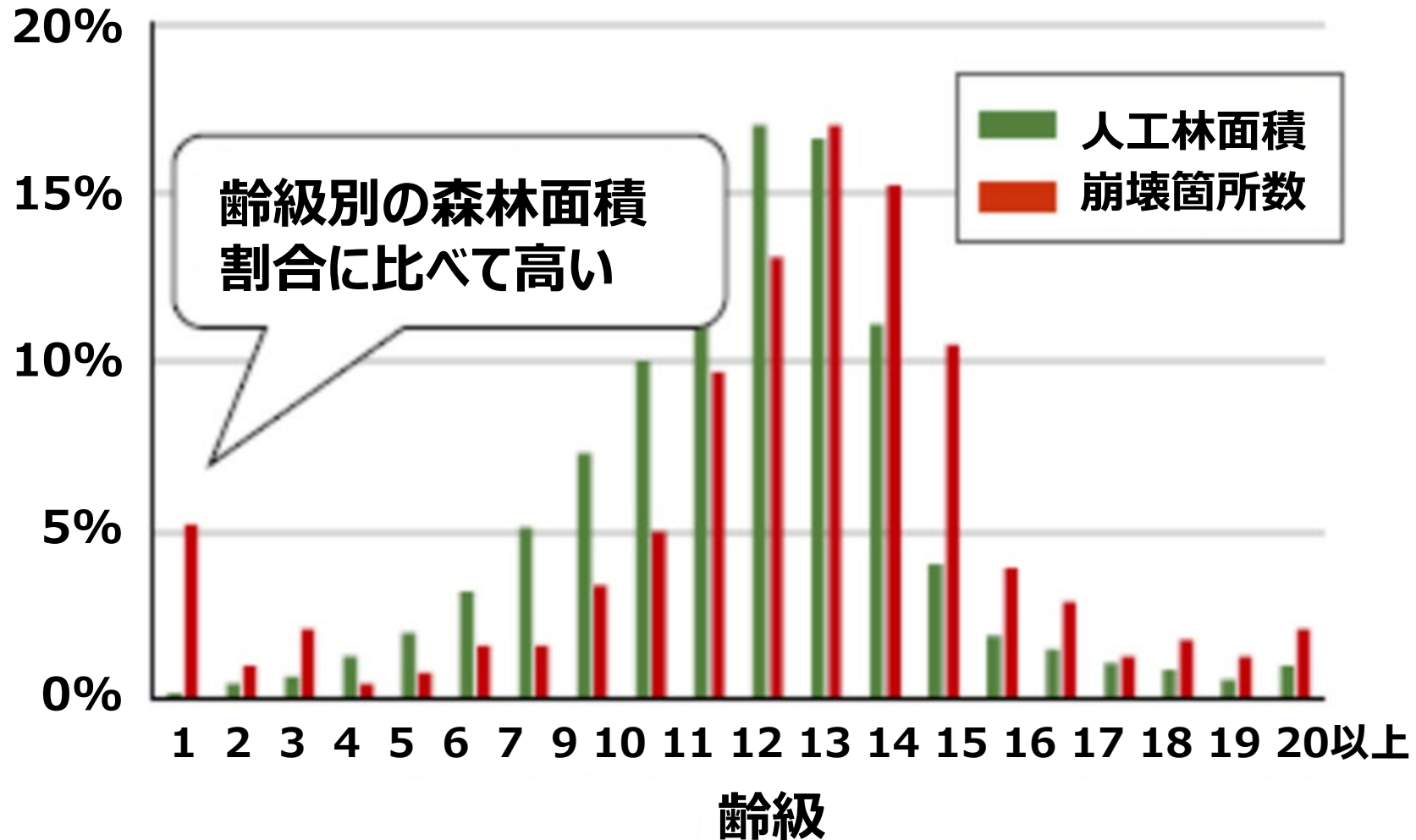
深層崩壊



林齢と森林の崩壊防止機能との関係



齡級別人工林面積・崩壊箇所数分布

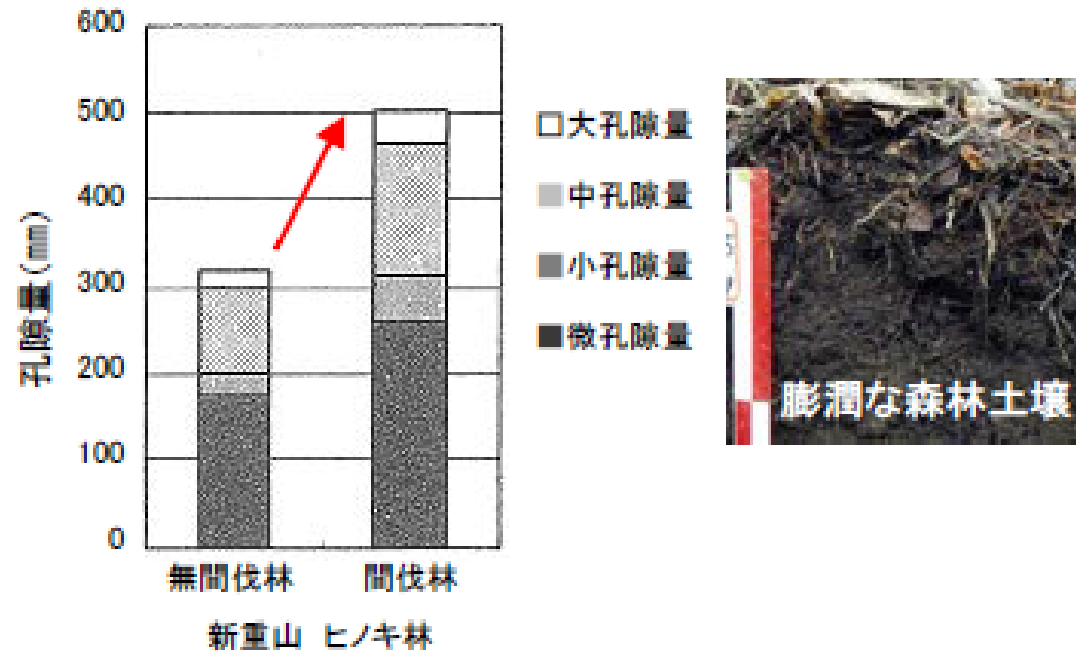


森林整備の防災・減災効果

森林施業の実施による浸透能の向上効果

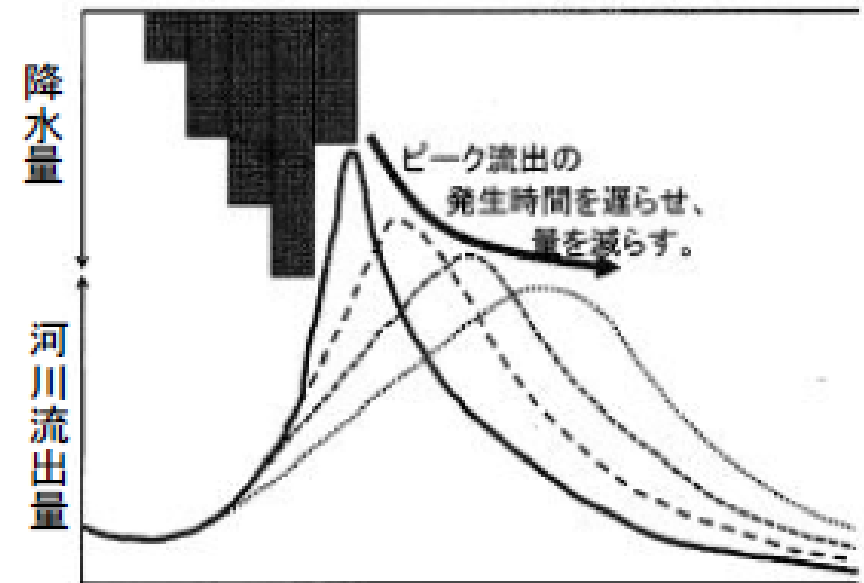
間伐の実施で土壌の孔隙量が増え保水容量が増加。

間伐により保水容量の増加



※服部ら「間伐林と無間伐林の保水容量の比較」(2001)

森林土壌の発達によりピーク流出量は減少

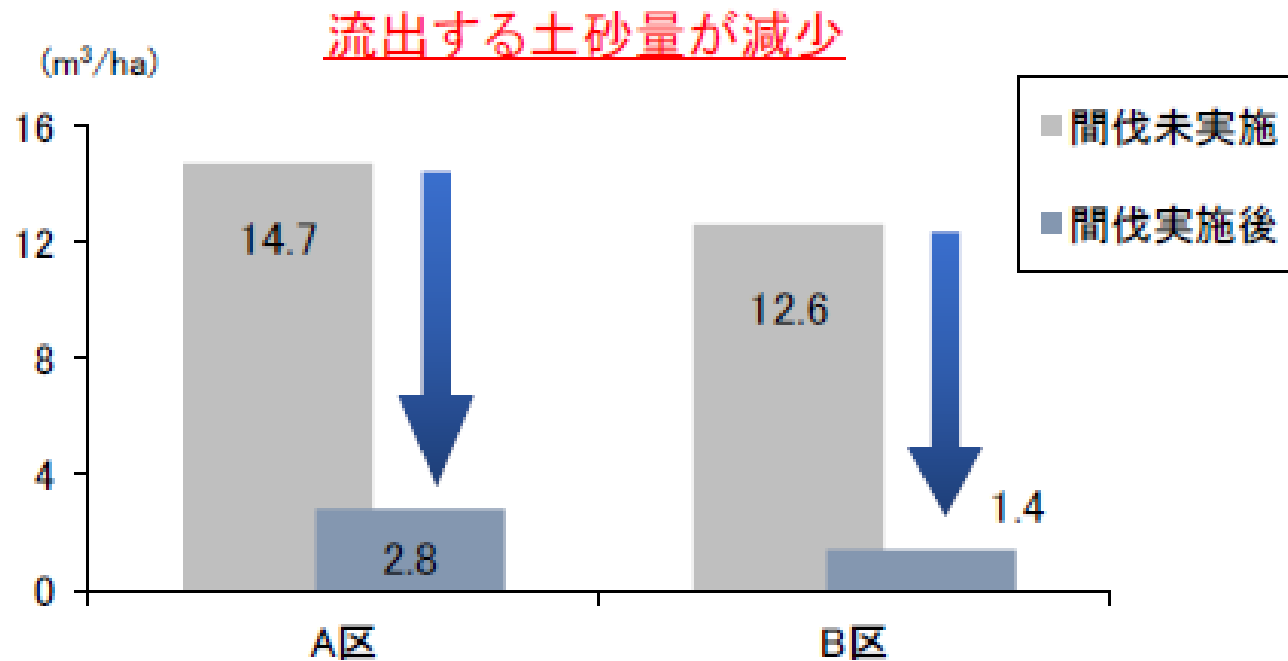


※玉井幸治「森林の持つ『洪水災害の軽減機能』について」山林第1635号(2020)

森林整備の防災・減災効果

森林施業による土砂流出抑制効果等

森林整備により下層植生を繁茂させ、降雨に伴う土壌流出を抑制。



※恩田裕一編(2008)人工林荒廃と水・土砂流出の実態
※土砂量:2006年6月~11月の6ヶ月間、総雨量:1,048mm

人工林への影響予測モデルの高度化

共通シナリオを用いた影響予測

地域モデルの開発

3つの地域を対象に、スギの樹高成長を高解像度で予測するモデルを開発した

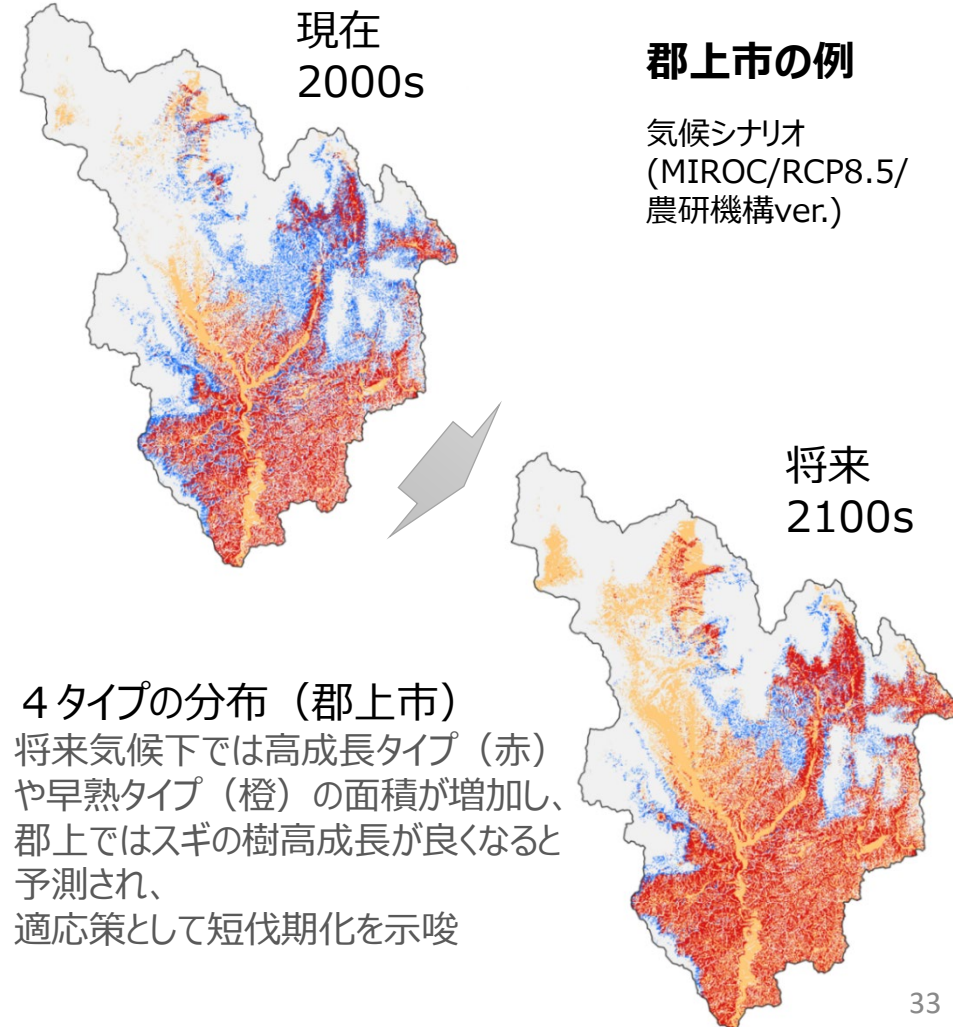


現在気候下における40年生時と80年生時の樹高にもとづき、各グリッドの樹高成長パターンを4タイプに区分

		40年生時の樹高	
		中央値以上	中央値未満
80年生時の樹高	中央値以上	高成長タイプ	晩熟タイプ
	中央値未満	早熟タイプ	普通タイプ

影響予測

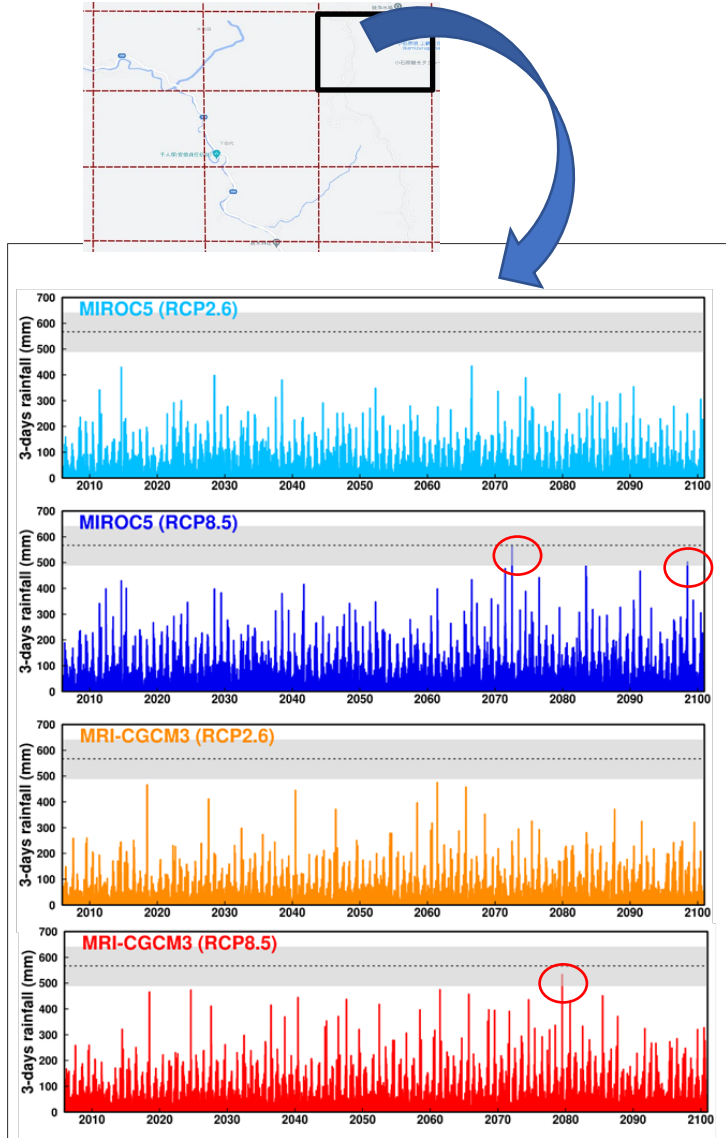
共通シナリオ第1版を用いてスギ林の樹高成長への影響予測を行った



4タイプの分布（郡上市）
将来気候下では高成長タイプ（赤）や早熟タイプ（橙）の面積が増加し、郡上ではスギの樹高成長が良くなると予測され、適応策として短伐期化を示唆

山地災害リスクの予測モデルの高度化

危険な降雨（左下図：各グラフのグレーの領域）が発生すると予測された年や降雨の数（左下図：赤丸）は各気候モデルで異なる

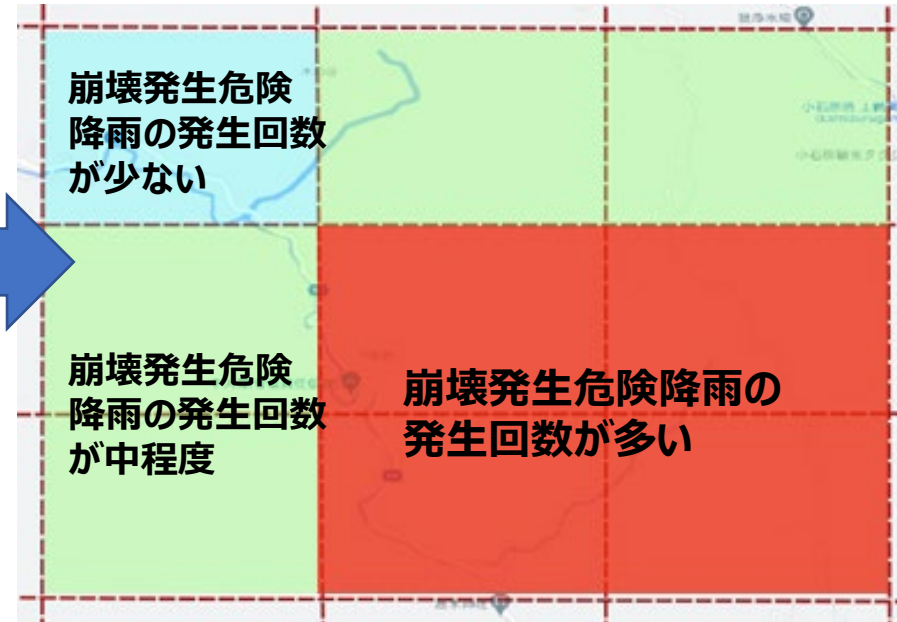
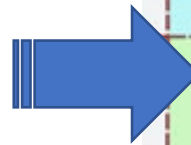


任意のグリッドにおける共通シナリオごとの降雨予測データ（2006年～2100年）を用いた3日間雨量の変化



開発した手法でシナリオ間の比較が可能

対象地全域で解析を進め、高リスク地域の空間分布を整理し、マップ化



崩壊発生危険
降雨の発生回数
が少ない

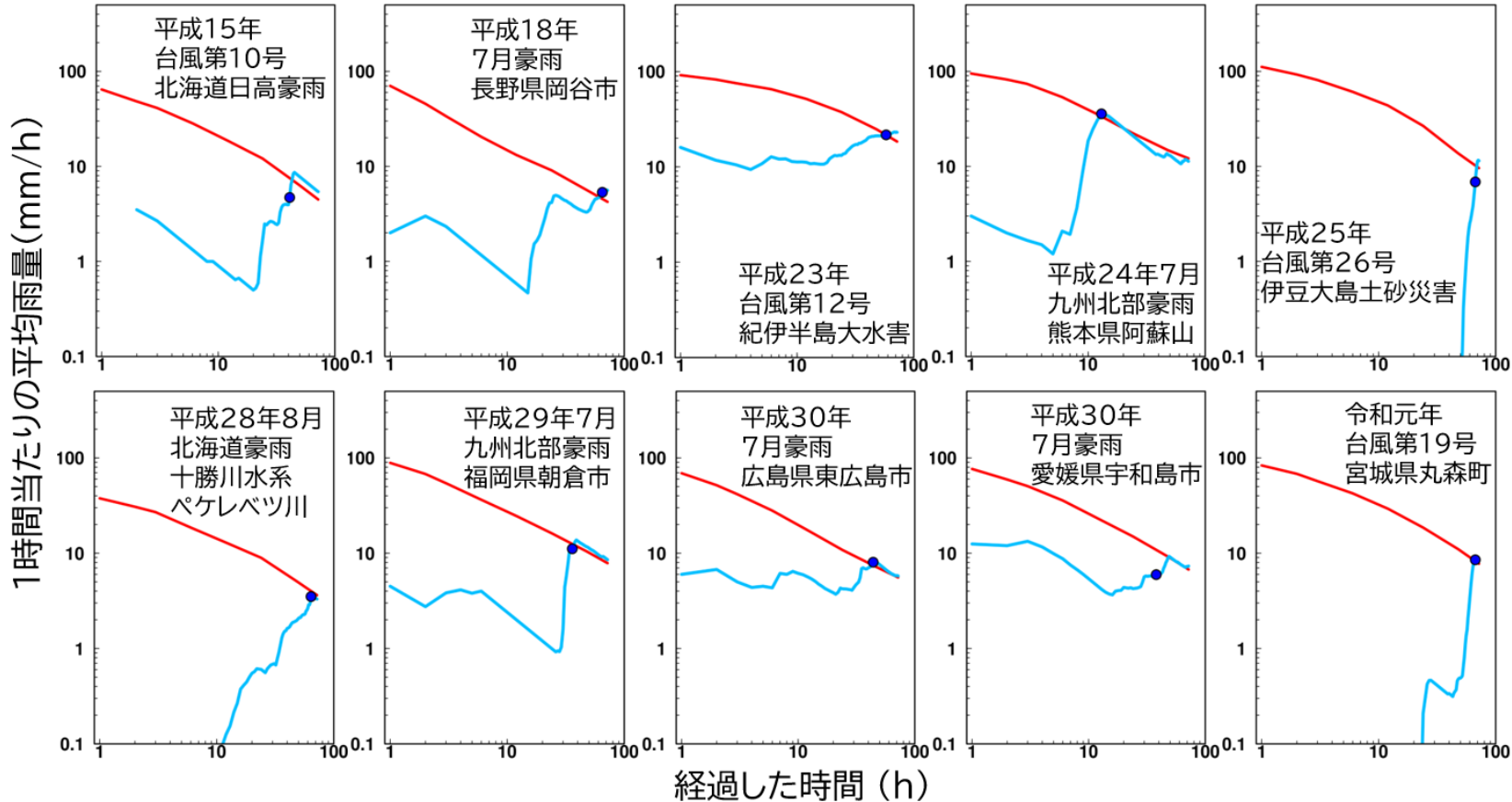
崩壊発生危険
降雨の発生回数
が中程度

崩壊発生危険降雨の
発生回数が多い

グリッドごとの解析（予測）結果を評価しマップ化

誘因となった降雨パターンが異なる10事例の山地災害を解析

赤線:100年に一度の雨の強さ, 水色線:1時間当たりの平均雨量の変化, 青点:斜面災害の発生タイミング



- 72時間（3日間）以内に，1時間当たりの平均雨量が100年に一度の強さに達した場合に災害が発生する危険性が高いことを明らかにした

→ **3日間雨量が100年に一度の強さに達する場合は，災害発生リスクが高い**

成長量予測と山地災害リスクを考慮した適応策評価モデルの開発

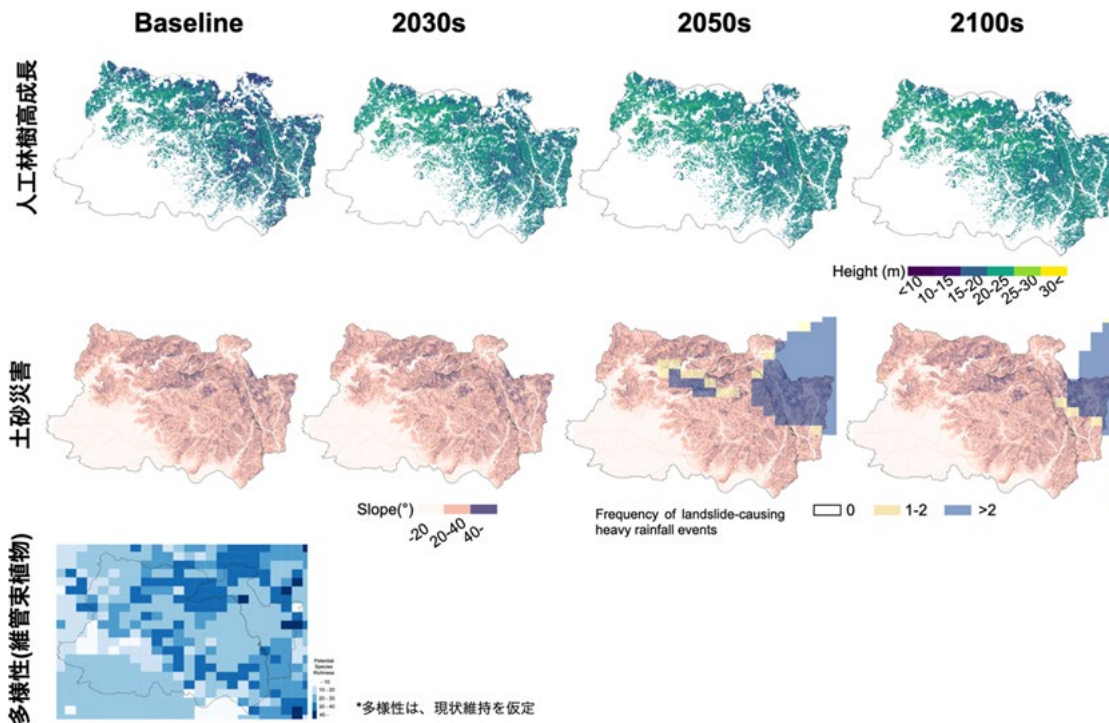
林業適応策オプションの将来シナリオによるスギの炭素吸収量の予測

スギ人工林の樹高予測モデル

航空機LiDARから得られる樹高情報と樹齢や環境要因との関係をRandom Forestで構築

土砂災害リスク予測モデル

3日間積算雨量の100年確率雨量を閾値として土砂災害が発生する危険性の高い将来降雨を判定する経験的モデル



- 地域内の樹高成長を規定する要因
→ 林齢・気候条件<地形条件
- スギ成長量は空間的な差異が大
- 土砂災害を引き起こす危険性のある危険降雨
→ 2030年代：発生しない
→ 2050年代：北東部で発生
→ 2100年代：領域が縮小

成長量予測と山地災害リスクを考慮した適応策評価モデルの開発

シナリオ分析

- 炭素蓄積、土砂災害リスク、生物多様性に寄与する面積を評価基準
- 3つの要素間のシナジーやトレードオフを既往研究に基づいて設定
- 初期値を変えながら繰り返し計算

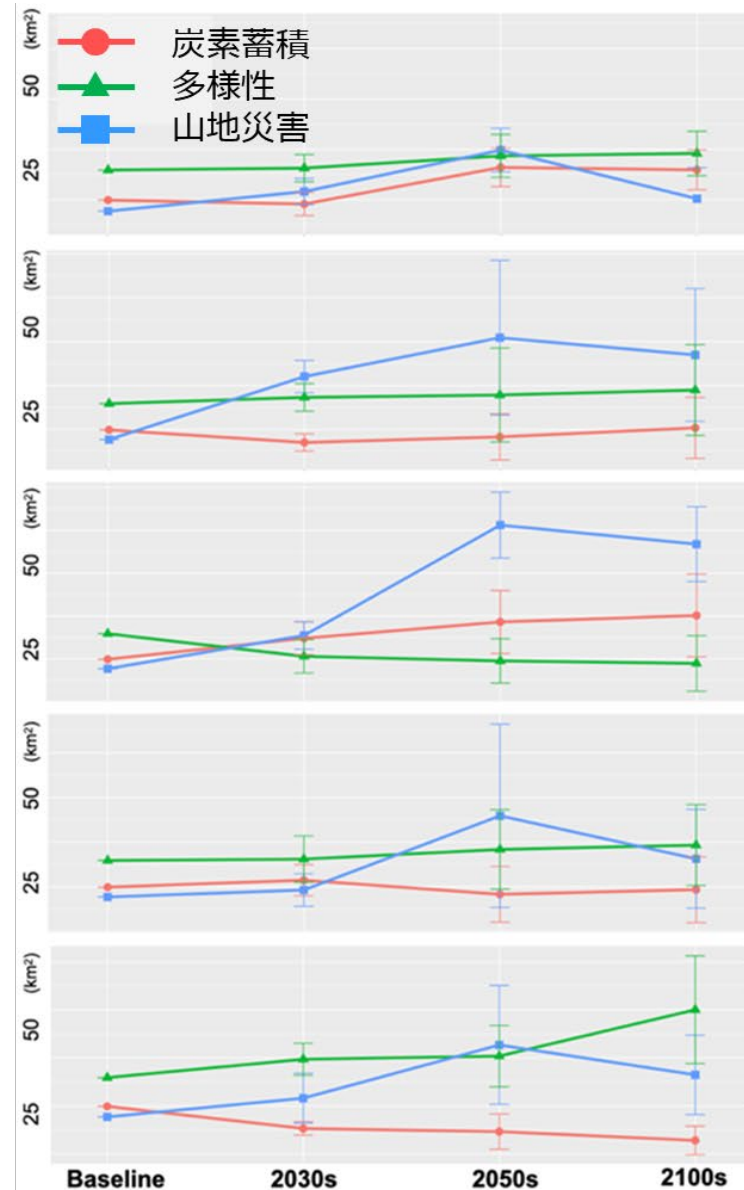
BAU
標準伐期（50年）

気候シナリオのみ
気候シナリオ
+ 標準伐期（50年）

炭素蓄積重視
気候シナリオ
+ 短伐期（30-40年）
+ 人工林の拡大

山地災害リスク重視
気候シナリオ
+ 長伐期
+ 高リスク域樹種転換

生物多様性重視
気候シナリオ
+ 標準伐期
+ 人工林→広葉樹



成長量予測と山地災害リスクを考慮した適応策評価モデルの開発

適応策効果

- 炭素蓄積を最優先した場合
 - 炭素蓄積は増加
 - 土砂災害リスクが最大
30%程度上昇
- 生物多様性を優先した場合
 - 炭素蓄積11%程度減少
 - 生物多様性20%程度上昇
 - 土砂災害リスク10%程度低減
- 適応策の効果は最大でも30%
- 効果に対し要素間のシナジーやトレードオフが働く
- 開発した森林域の気候変動適応策効果評価モデルは、地域スケールにおける意思決定をサポートするツール

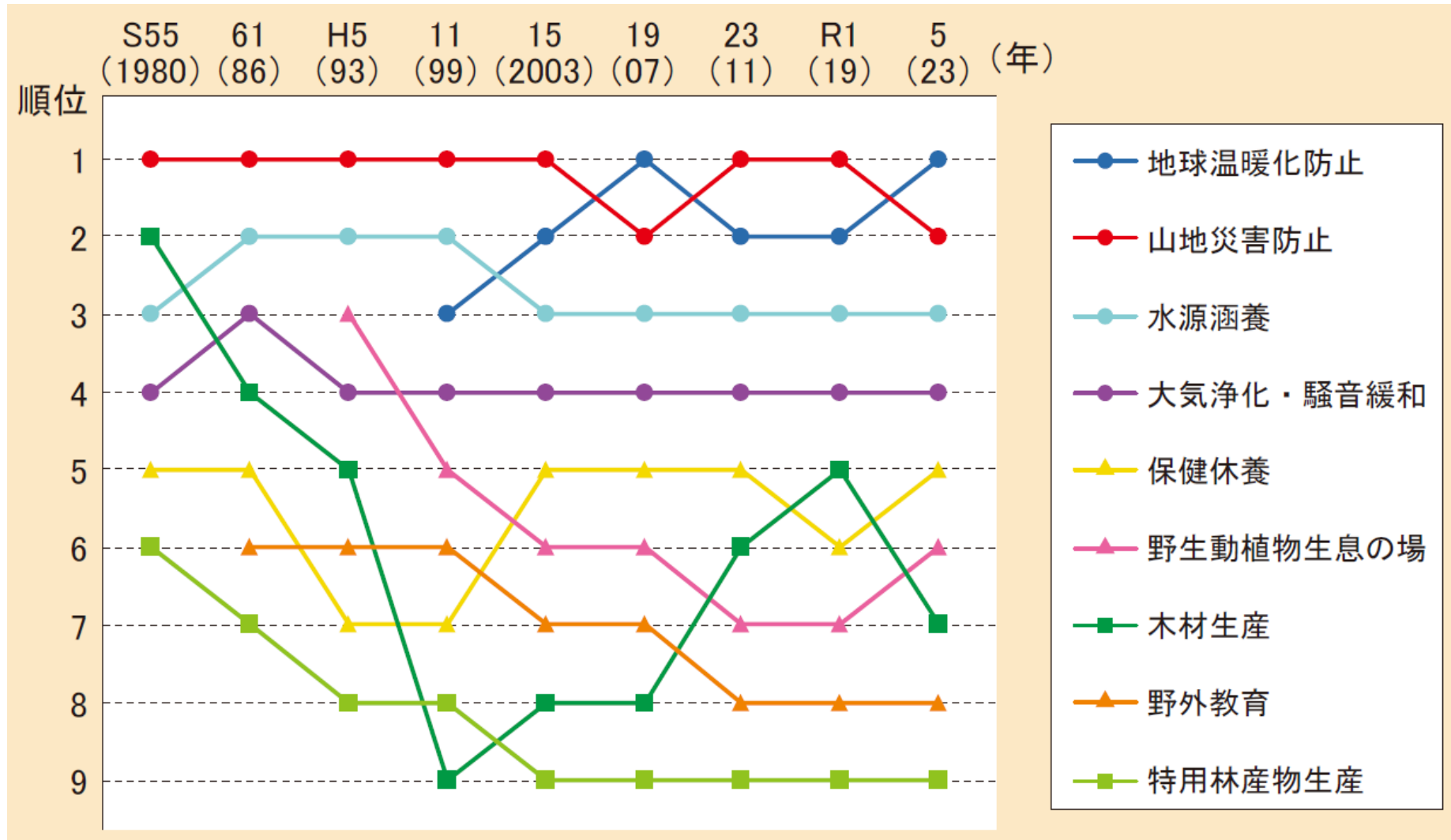
「気候シナリオのみ」の場合との比較

		2030s	2050s	2100s
炭素蓄積重視 気候シナリオ + 短伐期 (30-40年) + 人工林の拡大	炭素蓄積	14%	23%	27%
	山地災害	7%	31%	22%
	多様性	-8%	-18%	-21%
山地災害リスク重視 気候シナリオ + 長伐期 + 高リスク域樹種転換	炭素蓄積	4%	-3%	1%
	山地災害	-9%	-12%	-21%
	多様性	2%	3%	2%
生物多様性重視 気候シナリオ + 標準伐期 + 人工林→広葉樹	炭素蓄積	-2%	-7%	-11%
	山地災害	-7%	-8%	-10%
	多様性	4%	12%	23%

正の効果

負の効果

森林に期待する働きの変遷



総理府「森林・林業に関する世論調査」(昭和55(1980)年)、「みどりと木に関する世論調査」(昭和61(1986)年)、「森林とみどりに関する世論調査」(平成5(1993)年)、「森林と生活に関する世論調査」(平成11(1999)年)、内閣府「森林と生活に関する世論調査」(平成15(2003)年、平成19(2007)年、平成23(2011)年、令和元(2019)年、令和5(2023)年)に基づいて林野庁企画課作成

林業を継続するための課題

- 生産年齢人口の減少が特に農山村部で顕著
- 人口減少に伴い、市町村道の橋の管理が困難
- 長期の乾燥 → 火災リスクと樹木の衰弱による病害虫発生リスクの増大
- 火災が発生した場合、水害リスクの増大

市町村道の橋の管理が難しくなっている理由

橋の多くが市町村管理

- 日本の道路橋約70万橋のうち、約70%（約50万橋）が市町村道の橋。

高度経済成長期に大量建設 → 一斉に老朽化

- 1950～70年代に建設された橋が多く、今後10年ほどで半数近くが築50年以上になると予測されている。

修繕が必要でも対応できていない橋が多数

- 修理が必要と判定された橋のうち、1万橋以上が長期間修繕されていないという報告もある。

自治体の技術者不足

- 町の約30%、村の約60%は橋を管理する土木技術者がいない。
- 全国でも約25%の自治体に技術職員がいない。

財政不足

- 小規模自治体では修繕費を確保できず、修理が遅れる。
- 将来は「すべての橋を維持するのは不可能」と指摘する自治体もある。

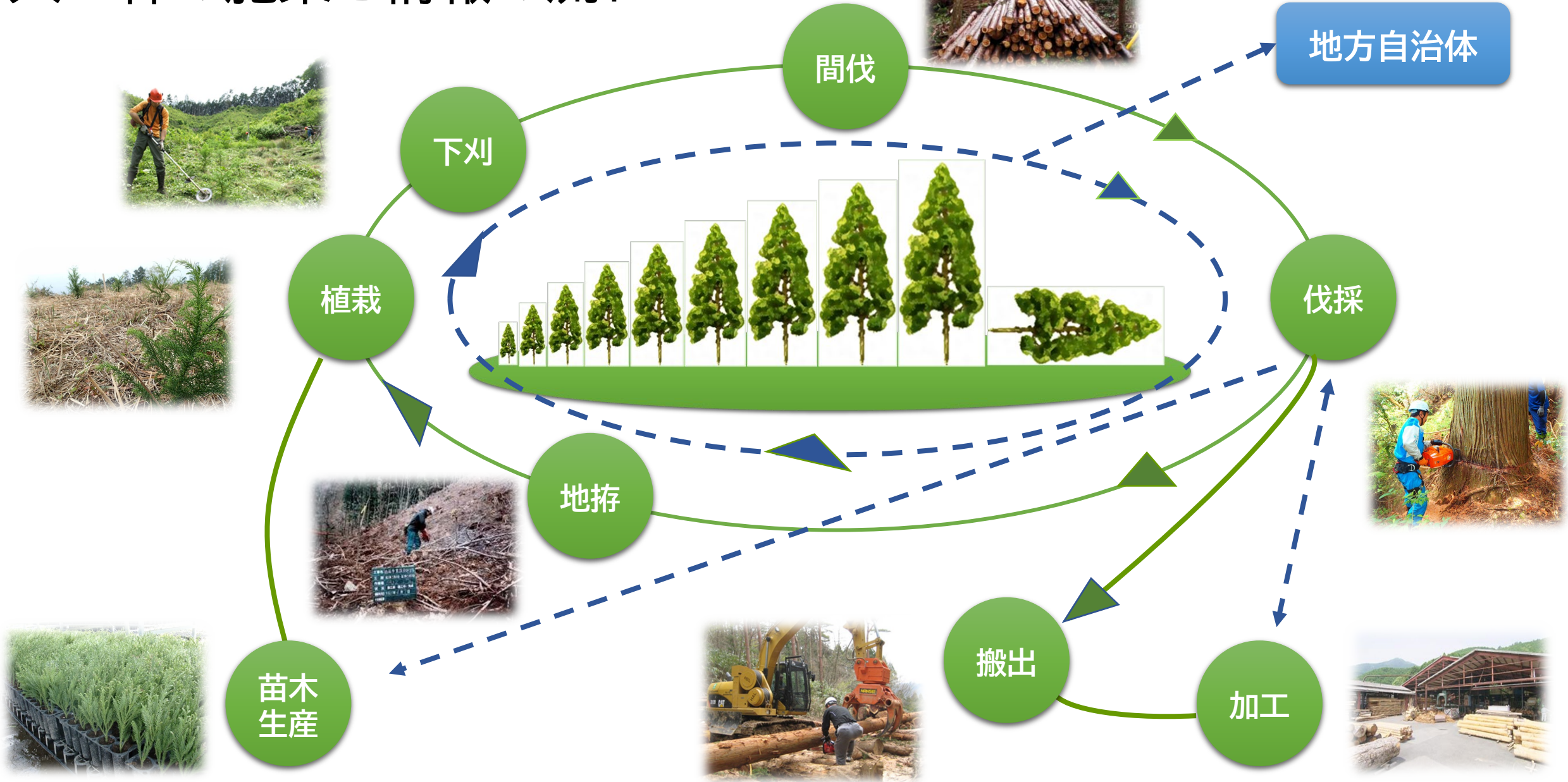
人口減少による税収減

- 住民が減る → 税収減 → インフラ維持費を確保できない。

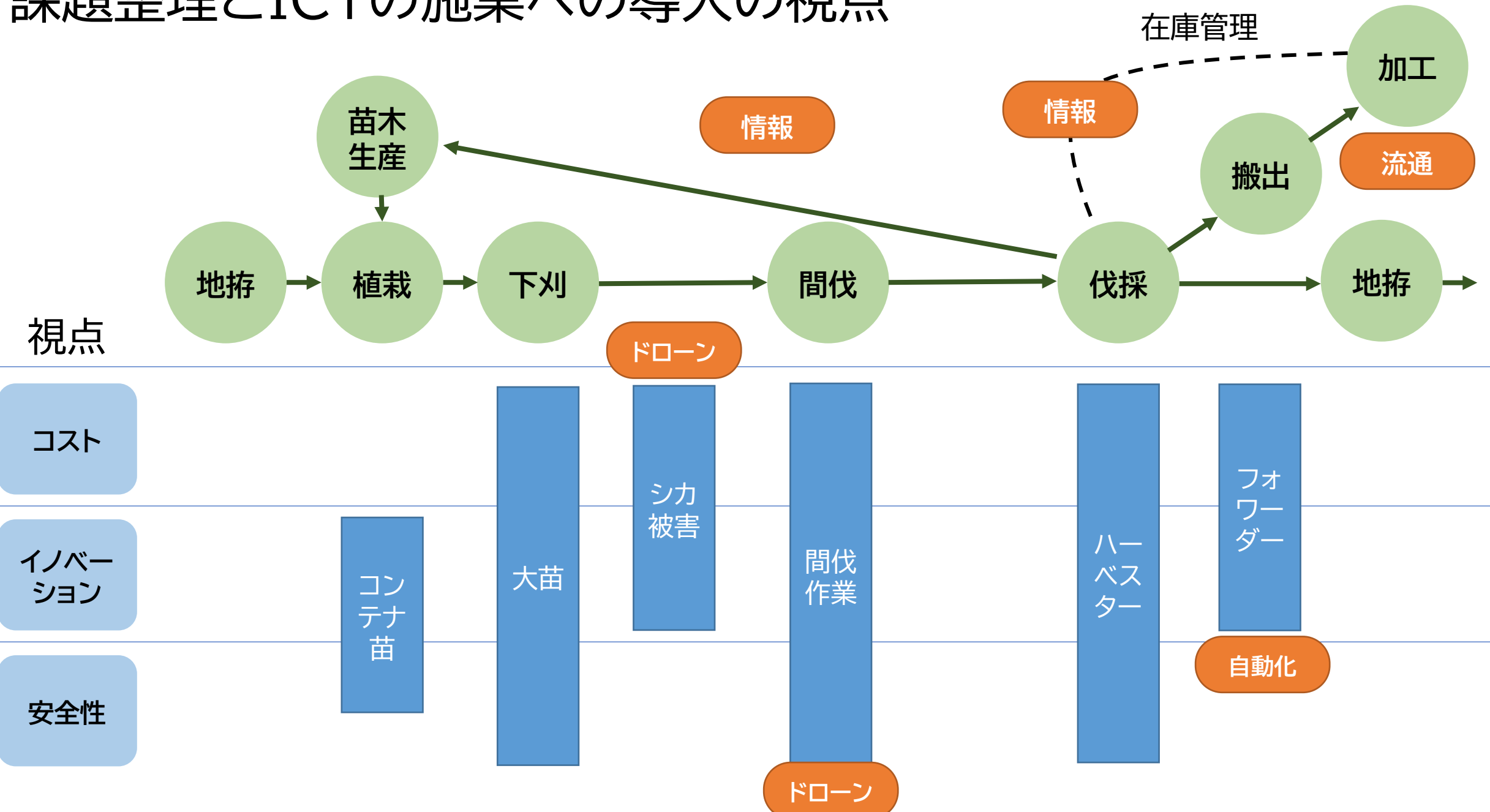
災害の増加

- 豪雨・洪水などで橋が流失する事例もあり、修復費が自治体の負担になる。

人工林の施業と情報の流れ



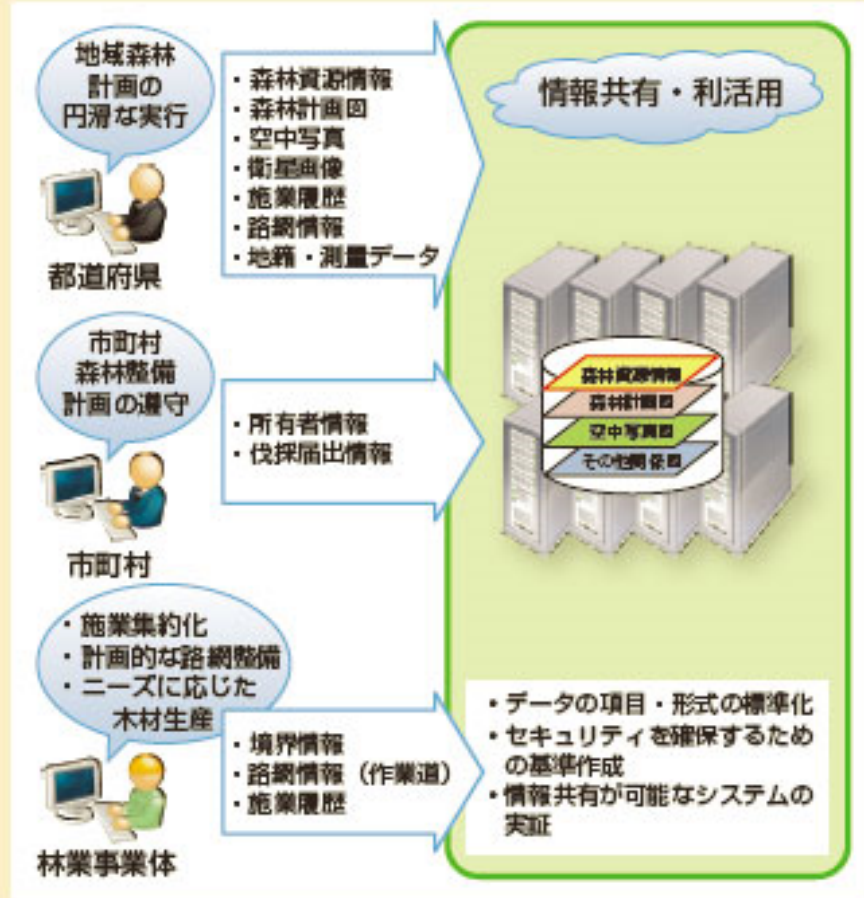
課題整理とICTの施業への導入の視点



森林クラウド

いばらきデジタルまっぷ

資料 I-11 森林クラウドのイメージ (森林情報高度活用技術開発事業の概要)



資料：林野庁計画課作成。

The screenshot shows the Ibaraki Digital Map web application interface. The main map displays forest planning data for a specific area in Ibaraki Prefecture, including plan numbers (e.g., 038, 039, 040) and various forest types.

森林計画図 (茨城県) (Forest Planning Map (Ibaraki Prefecture))

現在地: 高萩市大能 付近 (Current location: Takahagi City, Onoda area)

透過性: 一般地図 (Transparency: General map)

入力例: 茨城県水戸市笠原町978番地6 (Search example: 978-6, Kasahara-cho, Mito City, Ibaraki Prefecture)

詳細情報 (Detailed Information):

選択された「茨城県_小班」 (Selected "Ibaraki Prefecture - Small Class")

選択地点の詳細情報が表示されます。 (Detailed information of the selected point is displayed.)

計画区	八溝多賀
市町村	高萩市
林班	038
面積	2.98
林種	人工林
中樹種	スギ
林齢	89
齢級	18
所有形態	個人

住所一覧から検索 (Search from address list)

目標物・施設一覧から検索 (Search from target/facility list)

林業の成長産業化に導く変革



流通革命

地域格差の解消

システム効率化



情報通信
革命

地域格差の解消

システム効率化



エネルギー
革命

地域での自給自足

地域での需要拡大



森を守る 国土を守る
～森林経営管理制度がスタート

資料提供: 林野庁

ご清聴ありがとうございました

森林は災害から街を守り 地球温暖化の防止にも役立っている