

地球温暖化の影響に関する 最近の研究動向

国立環境研究所 原澤英夫

1. IPCC AR4 以降の影響研究の動向
2. 地球温暖化の人間や自然システムへの影響
3. まとめ

1 IPCC AR4以降の影響研究の動向

1: IPCC関連

- ・IPCC特別報告書「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書」が公表された（2011年11月）
- ・第5次評価報告書の作成が進んでいる（2013～14年に公表予定）
- ・新しい排出シナリオ(RCP: Representative Concentration Pathway)、社会経済シナリオ(SSP: Shared Socio-economic Pathway)の開発が進んでいる

2: IPCC第4次評価報告書(AR4)以降の影響研究のレビュー(例)

IPCC AR4以降に公表された影響研究のレビュー報告、論文が発表されている

- ・UNEP Scientific Compendium (2010)
- ・Fussler, H-M., AR4以降の気候変動リスクに関する知見(2009)
- ・Good, P. ら, AR4 以降の気候変動の影響・リスクに関する知見 (2010)2010年4月までの文献をレビュー
- ・Sommerkorn, M. and Hamilton, N., 北極気候影響評価報告書(ACIA: Arctic Climate Impact Assessment)の更新情報のとりまとめ

3: 国別の温暖化影響評価、気候変動リスク評価(例)

- ・英国、UK Climate Change Risk Assessment: Government Report、2012 Evidence Report(2012)
- ・豪州、The Garnaut Review: Australia in the Global Response to Climate Change(2011)
- ・PROVIA(Programme of Research on Climate Change Vulnerability, Impacts and Adaptation), Revised Guideline for Assessing Climate Change Vulnerability, Impacts and Adaptation, COP18までに公表予定

4: 国別の適応戦略(例)

- ・英国: Adapting to Climate Change Program(2008)
- ・ドイツ: German Strategy for Adaptation to Climate Change (2008)
- ・韓国: National Adaptation Strategy and Framework Act on Low Carbon, Green Growth(2010)

1: 地球温暖化の影響評価および気候モデルの不確実性評価について確率的な方法が検討されている。

例: 複数の気候モデル、排出シナリオによる影響予測の結果を確率や確率分布で表示。加えて影響モデルの変数の不確実性を考慮した研究も行われている。

2: BaUシナリオに比較して、緩和策シナリオのもとで、潜在的な便益の評価が検討されている。しかし緩和策は影響を排除できないので、適応策は重要である。

例: 緩和策が影響低減に資する点を評価する研究(2°C目標の緩和策により、BaUに比べて悪影響を大幅に低減できる、など)

3: 気候と自然・人間システムの関係の理解には、まだ不確実性がある。

例: CO₂の肥沃化効果、極端現象の健康影響、温暖化とマラリア、海洋酸性化の海洋生物影響など。

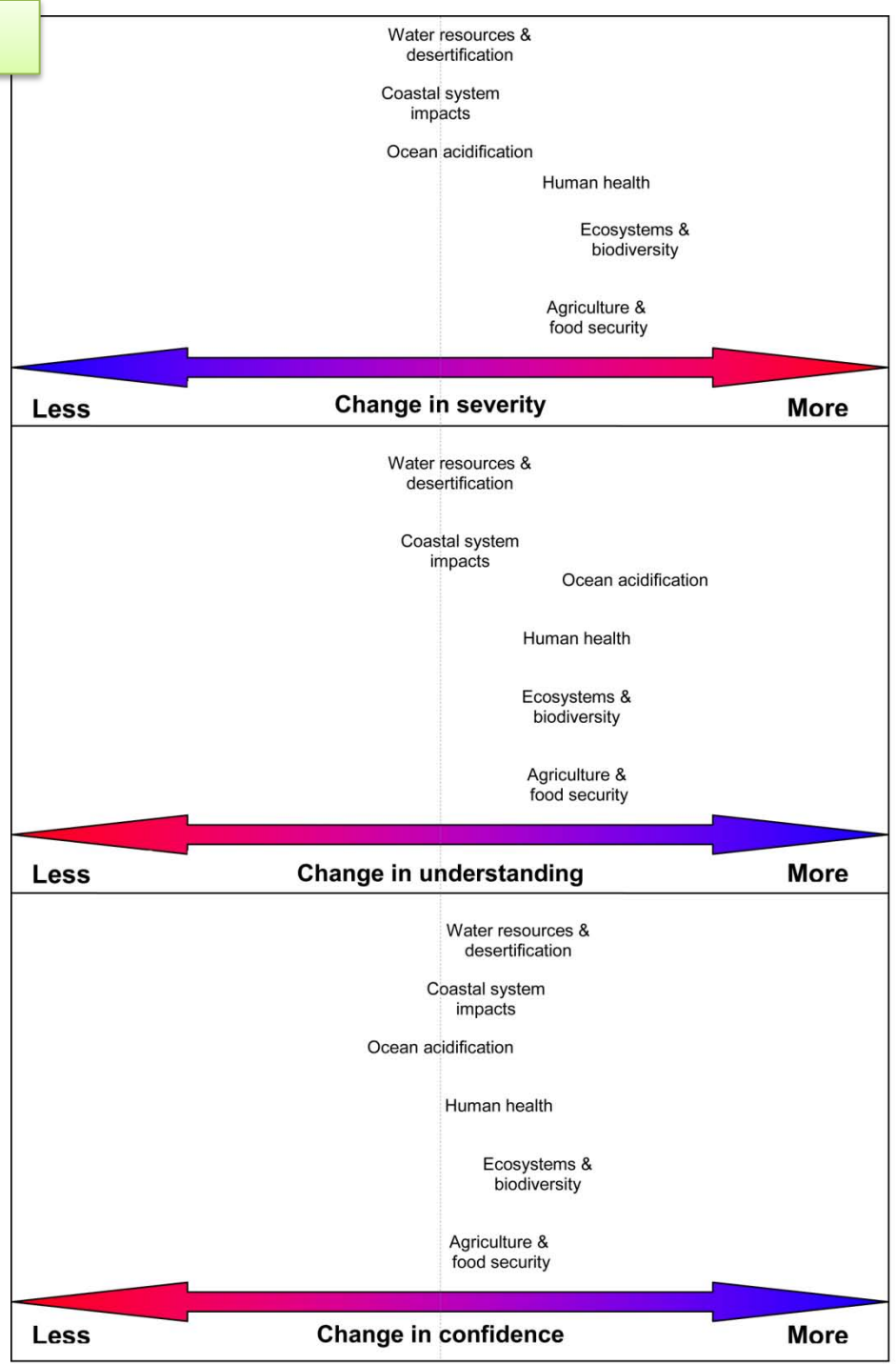
4: 気温が唯一の影響の尺度ではないという認識が高まっている。

IPCC AR4以降の影響研究(分野別)の特徴

影響の深刻さ:
 健康への影響、生態系・多様性への影響、農業・食料安全保障への影響は以前より深刻であることがわかってきた。

影響理解の進展:
 海洋酸性化、健康、生態系・多様性、農業・食料安全保障の分野で影響の理解が進んだ。

信頼性の向上:
 水資源、沿岸システム、健康、生態系・多様性、農業・食料安全保障で影響の信頼性が向上しつつある。



出典: Good et al., 2010から引用

2 地球温暖化の人間や自然システムへの影響

- 1 沿岸システム
- 2 海洋の酸性化
- 3 生態系と生物多様性
- 4 水資源と砂漠化
- 5 農業と食糧安全保障
- 6 人間の健康
- 7 日本への影響

1 沿岸システム

- 新たな研究から、IPCC AR4の結論である「東南アジアが気候変動シナリオ下で非常に脆弱な地域である」ことが確認された。しかし研究の方法論の違いもあり、IPCC AR4で示されたリスク※¹について、その大きさが変化しているかどうかを言うことはできない。

※¹ IPCC AR4 WG2報告書SPM: 2080年代までに、さらに何百万人もの人々が海面上昇による洪水に毎年見舞われると予測される。

- 海面上昇による全球的な経済被害は、2100年に0.71m(4°C上昇に相当)の場合で約400,000百万米ドル/年、0.49m(2°C上昇)で、330,000百万米ドル/年と推計される。
- 気候変動が欧州の沿岸の観光・行楽に及ぼす影響について最近いくつかの研究報告があるが、影響※²がプラスかマイナスかについて一致していない。

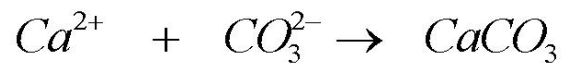
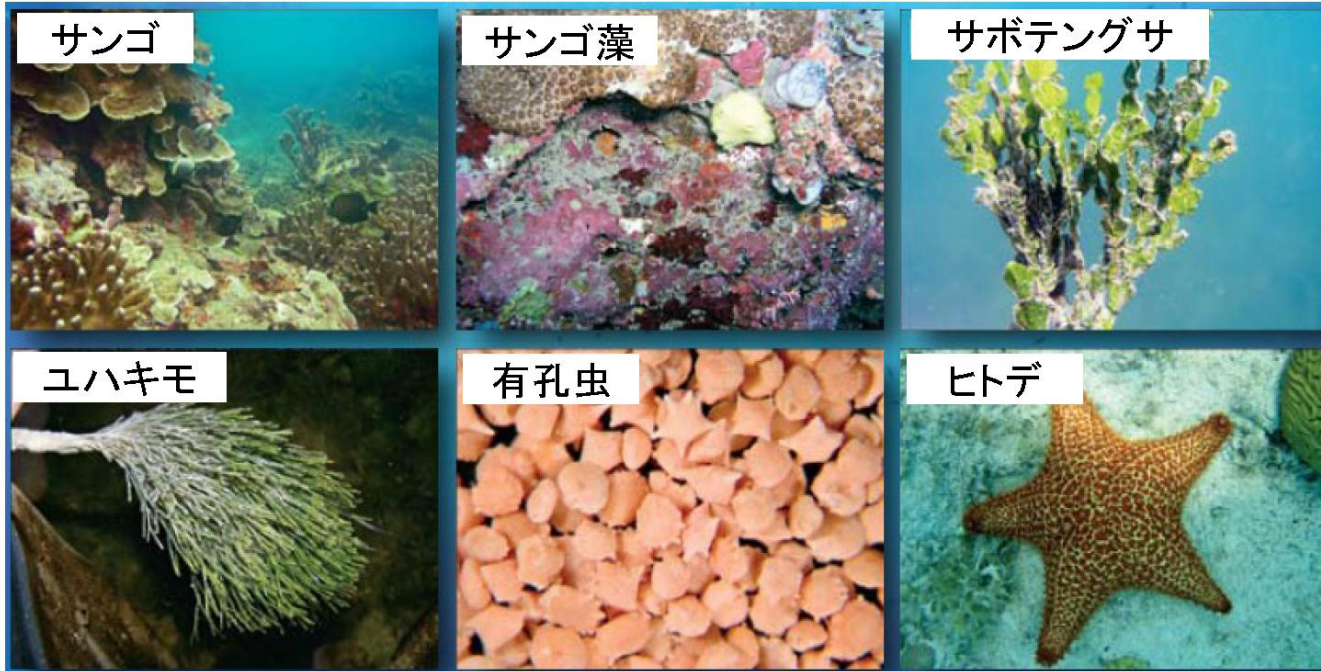
※² 例えば、海面上昇による砂浜減少による－の影響、一方気温上昇による海水浴客の増加によるプラスの影響。

2 海洋の酸性化

- IPCC AR4の海洋表面のpHが工業化前に比べておおよそ0.1低下していること、2100年までにさらに0.3~0.4酸性化/低下するという知見を支持する最近の研究、証拠が増加している。
- 2°C目標に全球気温上昇を制限する緩和策をとることにより、pHの低下を0.16に抑えることができるが、それでも海洋表面のpHの顕著な減少であることに変わりはない。
- IPCC AR4以降の研究から、いくつかの石灰化生物種はCO₂増加へ抵抗性を示すが、他の種はネガティブな反応を示すことがわかってきた。
- IPCC AR4が示した、海洋酸性化が炭酸カルシウムを必要とする海洋生物へ悪影響を及ぼすことは、研究間の知見が一致しないこともあり、中程度の確信度※である。

※ IPCCAR4の確信度： 中程度の確信度は、「10のうち約5が正しい」。

石灰化生物 (Marine Calcifier)

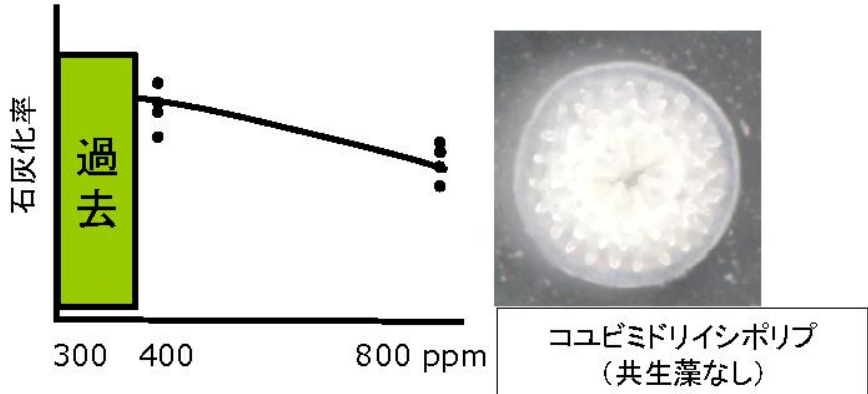
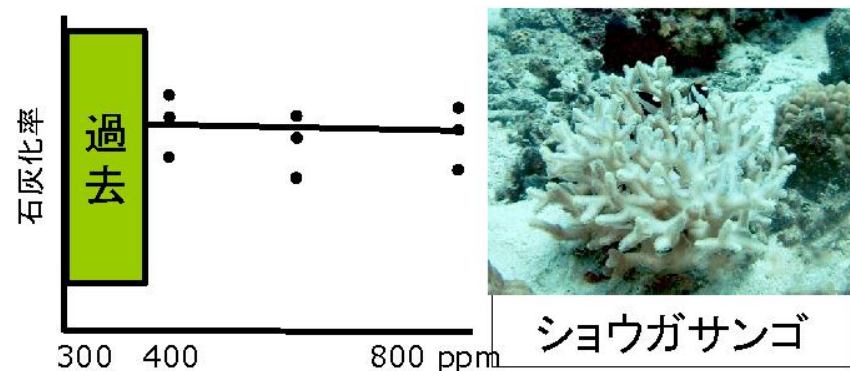
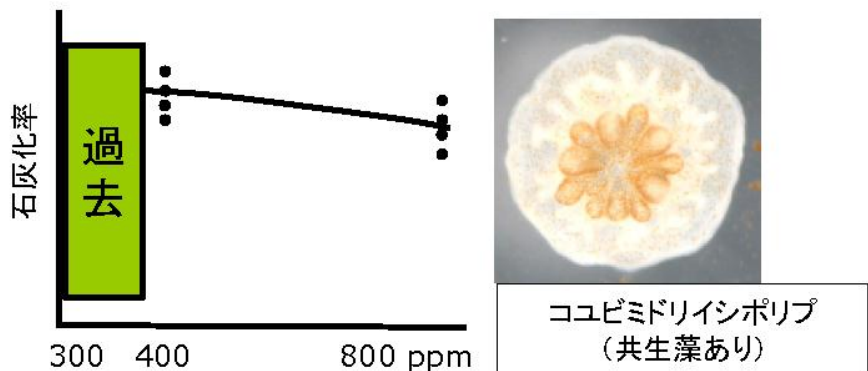
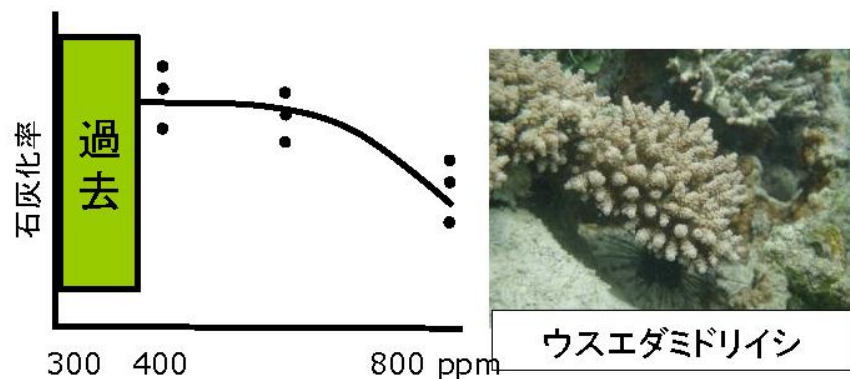
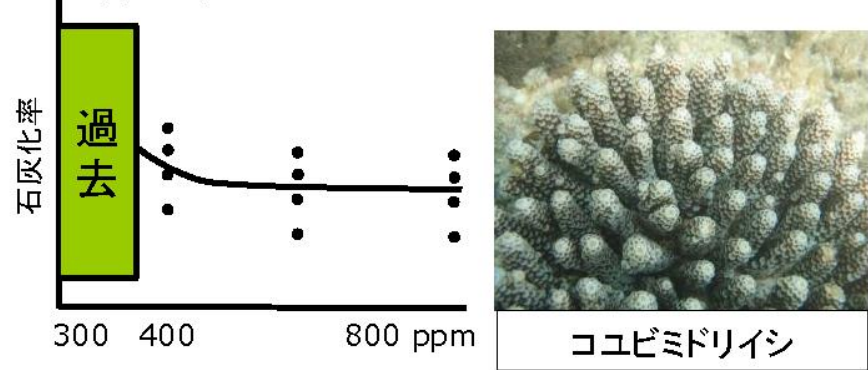
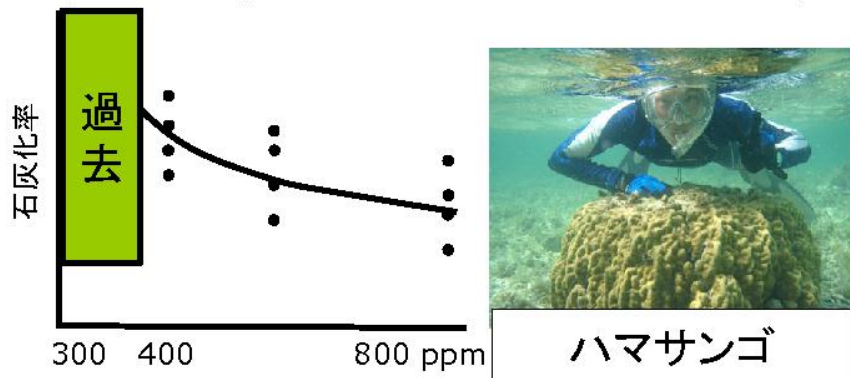


飽和度

$$\Omega_{phase} = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]}{K_{sp,phase}^*}$$

- 元来海水は炭酸カルシウムにとって3-5倍も過飽和なため、炭酸カルシウムは海洋生物の骨格や殻を作るのに最適な物質だった

新しい知見：造礁サンゴにおいては、応答曲線に種依存性がある



産業革命前 現在 → 近未来

産業革命前 現在 → 近未来

出典：野尻幸宏、2011:海洋酸性化—地球温暖化と同時に進行するCO₂問題、国立環境研公開シンポジウム2011、講演発表スライド。

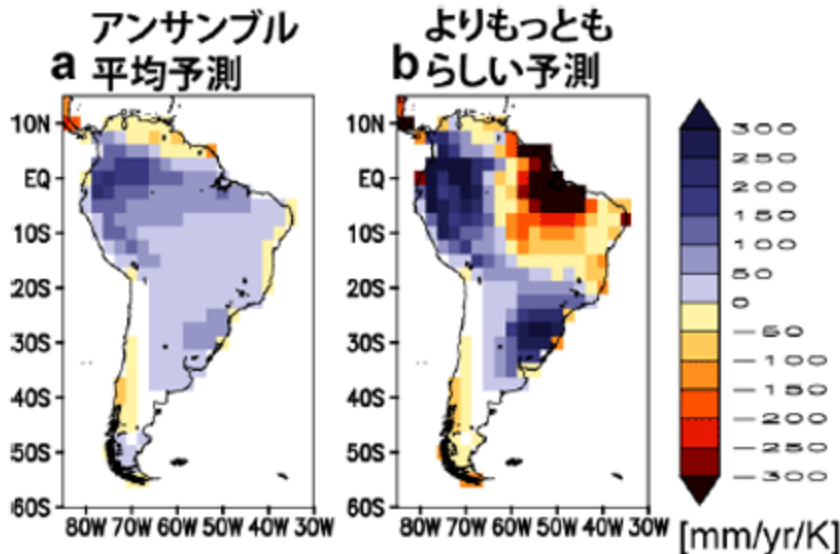
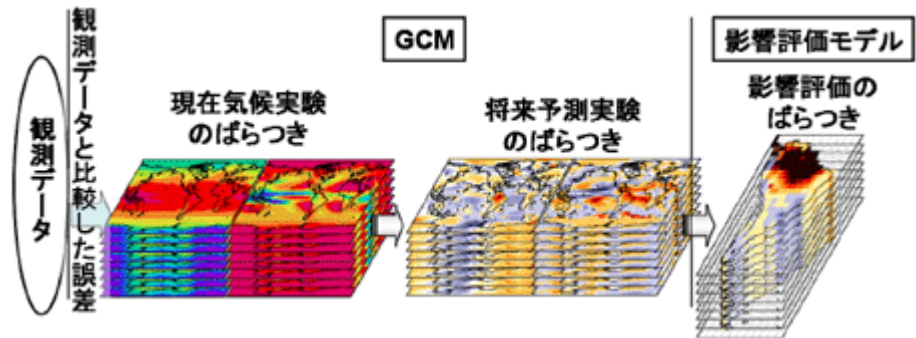
3 生態系と生物多様性

- 熱帯生態系は、IPCC AR4で確認された最も脆弱な生態系のリスト(極域、山岳、サンゴ礁、地中海生態系)に加えられるべきである。
- サンゴ礁の3分の1の種は、すでに消滅の危機に遭遇している。現在の大気のCO₂濃度でも、白化現象は、毎年発生する。
- IPCC AR4の結論である「全球平均気温が工業化前に比べて2~3°Cの気温上昇を超えると植物・動物種の20~30%の消滅リスクが増加する」について、AR4以降、支持する研究が増加している。
- 気候変動下で、アマゾン乾燥化のモデルによる予測の信頼性が向上している。

南米大陸における水資源将来予測の信頼性の評価方法を開発 ～地球温暖化に伴うアマゾン川流域の乾燥化を示唆～

南米大陸の水資源量の将来予測には、複数の大気海洋結合モデル間で大きな不確実性があり、変化の正負が一致していない。高度な統計解析手法を用いて、南米における水資源量変化の予測の信頼性に関する大気海洋結合モデルの現在気候再現性指標を特定した。その結果、単純にモデル間の平均がもっともらしいと考えた場合に比べて、アマゾン川流域は乾燥化する可能性が高いことを示した。

図 現在気候の誤差から将来予測実験のばらつき、影響評価のばらつきへと不確実性が伝播する過程を示す模式図。



図(a)年平均流出量変化のアンサンブル平均予測(mm/yr/K)。(b)第1モードと第2モードに関するGCMの現在気候実験の誤差が0である場合の「よりもっともらしい年平均流出量変化予測」(mm/yr/K)。

4 水資源と砂漠化

- 新たな研究は、IPCC AR4に示された水資源への気候変動リスク※の大きな変更はない。

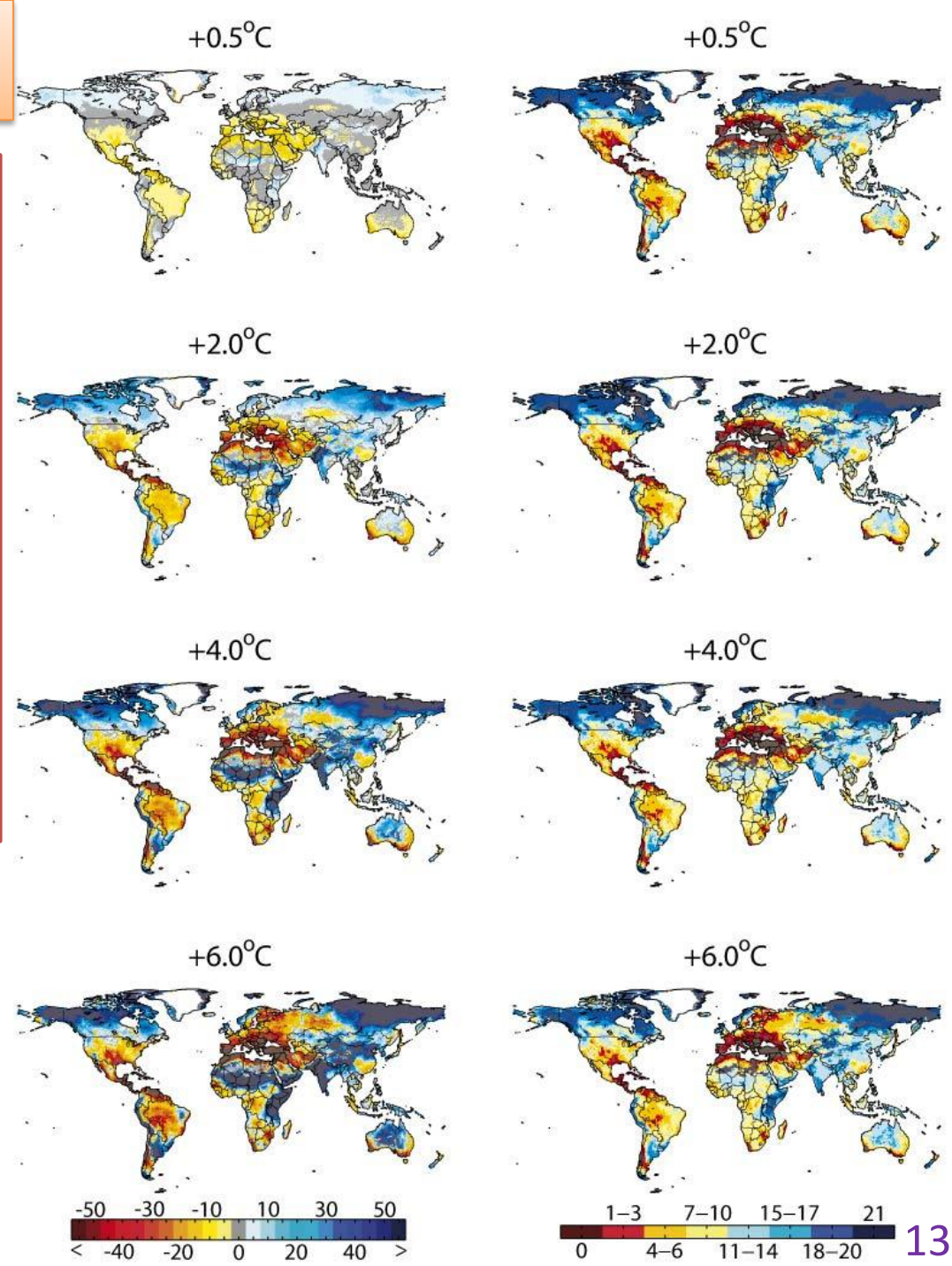
※IPCC AR4: 2°Cの気温上昇で、6.7～15.38億人が水不足の影響を受ける。新たな研究では、5.7～19.6億人と推定している。

- 新たな研究は、地中海地域及び南アメリカ中央部において2°Cの気温上昇で年平均流量が約25%減少すること、4°Cの気温上昇で約40%減少することを示した。
- 新たな研究は、緩和策により水資源に及ぼす影響を低減することができるが、しかし影響を排除することはできないことを示した。
- 新たな研究は、IPCC AR4の予測である、極端な干ばつ被害を被る土地の範囲は現在の1%から今世紀末には30%に増大するという見解と一致している。

21のIPCC AR4気候モデルの気候シナリオ オの全球流量、水資源への影響

図左： 現在と比較した年平均流量の
変化率のアンサンブル平均： 全球水
資源モデル(Mac-PDM.09)を用いて、
21の気候モデルから0.5、2.0、4.0、
6.0°Cのパターンを入力として計算。
図右： 全球平均気温の上昇の年平均
平均流量の増加を示す気候モデルの数を
示す。

地中海および南米中部では2°C上昇
の時、年平均流量が約25%減少、
4°Cの時約40%減少。



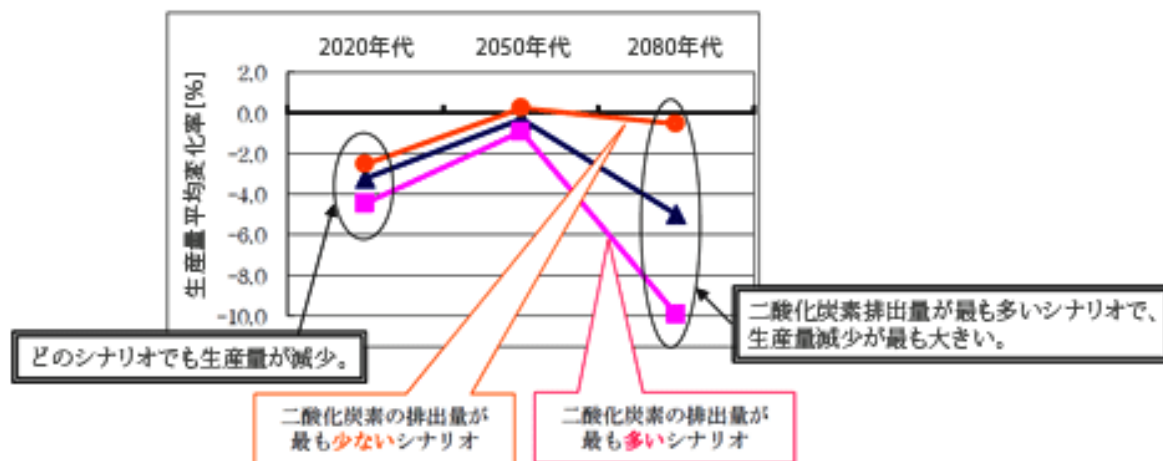
出典： Gosling, et al. (2010)、Good, et al.(2010)

5 農業と食糧安全保障

- 最近の確率的な影響評価研究は、総じて気候変動による穀物生産性の低下を示しており、IPCCAR4が提示したものより、楽観的なものではない。これは、気温上昇による害虫・雑草、オゾンの増大による収量減少で相殺されるためである。
- 新たな研究は、穀物収量に与えるCO₂の肥沃化効果（大気中のCO₂増加により植物の成長が促進される効果）がIPCC AR4により提示されたものよりも、楽観的ではないことを示している。
- 全球平均気温を2°Cに制限する目的の緩和策は、BaUに比べて、栄養不良人口を30～50%減少できる。また、穀物生産量の損失は、70～100%削減できる。

気候変化がアジアの水稻生産量に及ぼす影響の予測

1990年代に比べ、2020年代に高い確率で生産量が減少。一方、2080年代は、温室効果ガスを多く排出するシナリオにおいて、生産量が大幅減少



SRESシナリオ	1990年代－2020年代			1990年代－2050年代			1990年代－2080年代		
	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1
生産量平均変化率	-3.3	-4.5	-2.5	-0.3	-0.9	-0.2	-5.0	-9.9	-0.5
標準偏差	3.2	3.2	3.1	3.9	3.7	3.3	7.2	8.4	4.8
生産量減少確率	83.3	100.0	76.5	44.4	57.1	52.9	72.2	85.7	47.1

出典： Masutomi et al., 2009、国立環境研記者発表資料(2009年6月5日)

6 人間の健康

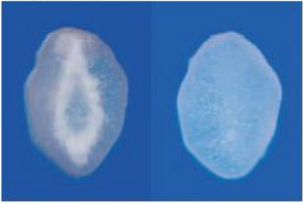
- 新たな研究は、 2°C の上昇では、現在に比べて2100年に熱波など熱ストレスによる死亡が400万人増え、寒さによる死亡が約600万人減ることを示した。ただし全球レベルで死亡を総計しているので、重要な地域の変動は反映されていない。
- 熱ストレスによる死亡については、以前の評価は、見積りが低かった可能性がある。気候変動による気温変動性(極端な値や確率分布)や死亡置換(mortality displacement)を適切に考慮していなかった。
- 新たな研究は、 4°C の気温上昇では、夏の熱ストレスによる死亡の年間値は、ボストン、ブダペスト、ダラス、リスボン、ロンドンやシドニーを含む都市では現在の3倍以上となる。
- 気候変動がマラリアへ与える影響は、以前予測されていたより大きい。しかし、マラリアの発生は気温以外にも種々の要因によって影響されることに留意する必要がある。
- 適応がないと、マラリアによる全世界の死亡は、2000年の100万人から2050年には110万人になる(2100年で 4°C)。 2°C に抑えると、マラリアによる健康リスクを2%低下でき、適応が考慮されれば影響は約50%に低下する。

7 日本への影響

現在生じている影響(例)

農作物の被害が生じている

●農作物の被害



白未熟粒(左)と正常粒(右)の断面



トマトの花落ち



うんしゅうみかんの浮皮(左)健全果(右)



着色不良のぶどう

高山植物の消失域の増加

●お花畑の消失:北海道大雪山系五色ヶ原にて



1990年7月

ハクサンイチゲの大群落

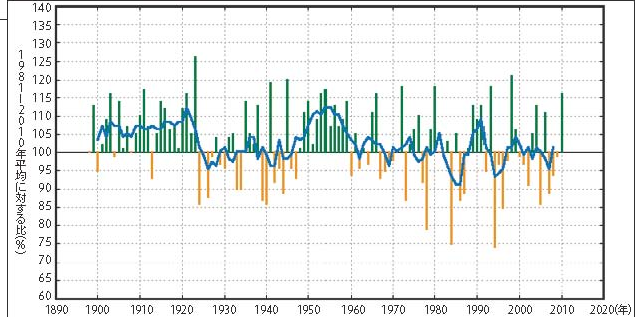


2007年7月

イネ科草原に変化し、お花畑は消失した。
(写真提供:北海道大学工藤岳准教授)

渇水・洪水のリスクが拡大

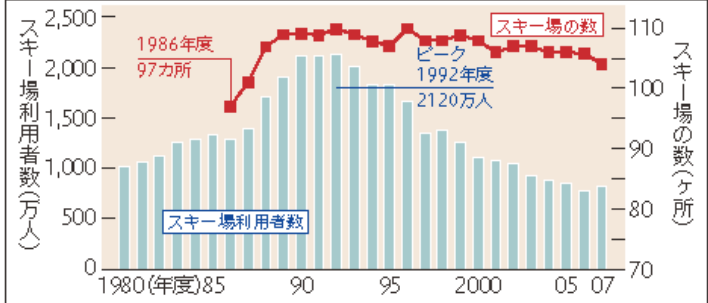
●日本の年平均降水量比(1898~2010年)



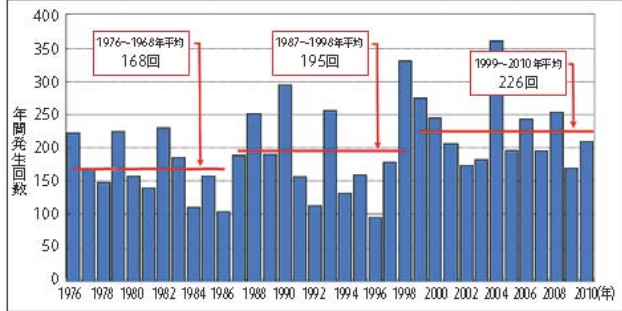
棒グラフは国内51地点での年降水量比を平均した値、青の太線はその5年移動平均。基準値は1981~2010年の30年平均値。

スキー産業への影響

●長野県のスキー場と利用者数の推移



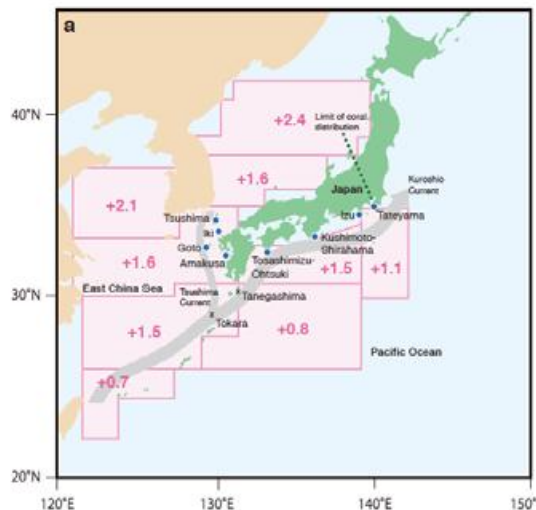
●1時間降水量50mm以上の年間発生回数(1000地点あたり)



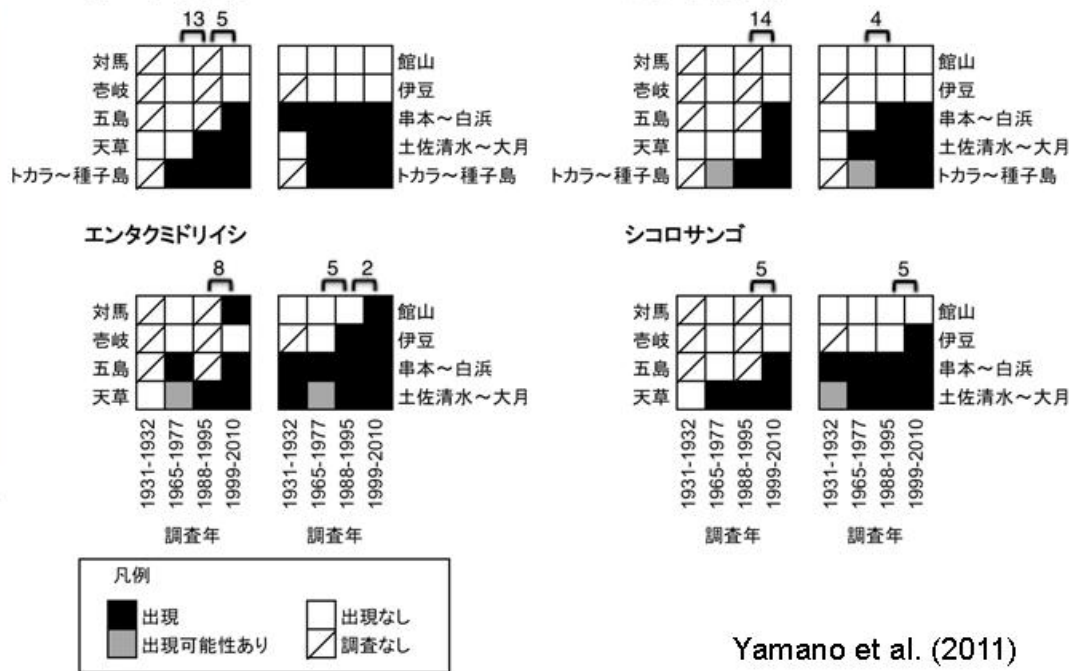
大雨が増加している

海水温上昇に伴いサンゴ分布が北への急速に拡大

近年の水温上昇に対応して日本の温帯域でサンゴ分布が北へと拡大している証拠を示し、その拡大速度が14km/年に達していることを明らかにした。科学的にサンゴ北上を全国規模で検出したことは世界初。国立環境研究所地球環境研究センターは、本研究の結果に基づき、平成23年度より日本周辺のサンゴ分布変化の影響モニタリングを開始した。



4種が北上
北上速度は最大14km/年
(他の生物より2桁大きい)



Yamano et al. (2011)



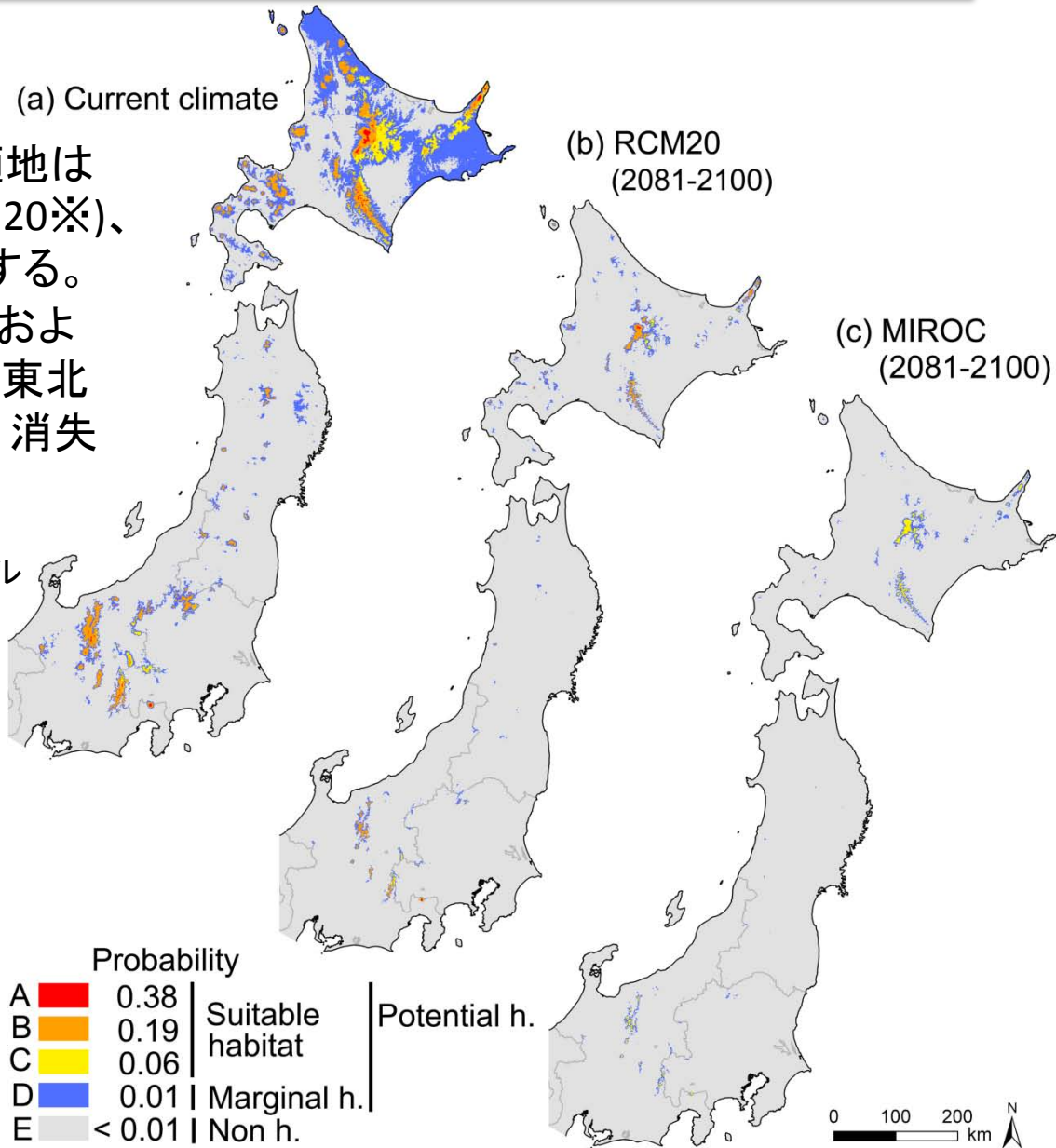
スギノキミドリイシ@五島



エンタクミドリイシ@館山

出典: Yamano, H., et al., 2011、国立環境研記者発表資料(2011年1月21日)

地球温暖化のハイマツ(Pinus pumila)への影響予測

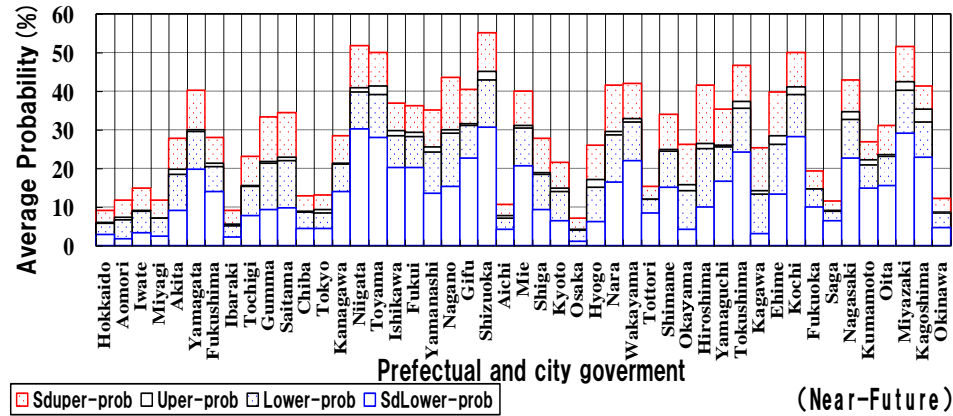


現在の気候下でハイマツ適地は2081～2100年に25% (RCM20※)、14.7% (MIROC※)まで減少する。ハイマツ適地は、本州中部および北海道の高山で残るが、東北地方や北海道南西部では、消失すると予測される。

※ RCM: 気象庁気候モデル、
MIROC: 環境研・東大気候モデル

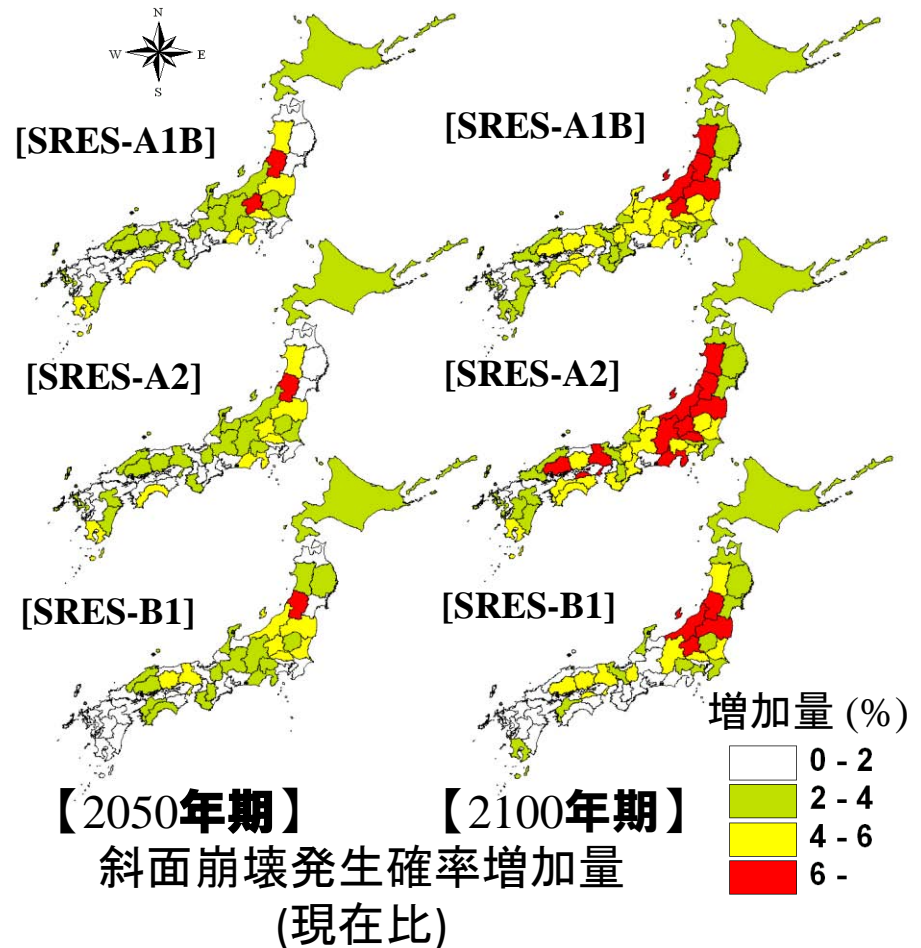
全国の土砂災害リスクの推定とリスクマップ ～気候変動シナリオに応じた斜面崩壊リスクの検討～

斜面崩壊発生確率を、温暖化政策支援モデルに実装し、IPCC・SRES排出シナリオ毎に2050年、2100年期の都道府県単位の斜面崩壊確率とGHG濃度安定化ケースについて推計した。



2050年期における都道府県別の発生確率

○ 関東北部、東北南部、東北日本海側～北陸を中心に斜面崩壊発生確率の上昇が見込まれる。



3 まとめ

- 1) IPCC AR4以降の温暖化研究の進展から、以下の点が指摘しうる。
 - 温暖化は進んでおり、その影響は分野によっては、AR4で見積もられたよりも深刻であることがわかってきた。
 - ・農業・食料： 穀物生産量とCO₂肥沃化効果、害虫・雑草、オゾンの影響など
 - ・健康影響： 熱波による死亡やマラリアへの影響など
 - 2°Cの気温上昇でも深刻な影響が表れる。その被害人口や被害額の見積もりも行われている。
 - ・生態系や生物多様性への影響、海面上昇による経済被害など
 - 影響・リスクの視点から2°Cに気温上昇を抑える緩和策の評価が行われている。また、影響、適応策、緩和策を考慮した研究も増加している。
 - 温暖化の影響評価や予測の不確実性を低下する検討が続けられている。
 - ・排出シナリオ、気候モデル、影響モデルの不確実性を確率的に評価する方法が開発され、適用されている。
- 2) 日本における影響については、以下の点が指摘しうる。
 - すでに温暖化の影響がいろいろな分野で生じており、被害がでている。
 - 影響研究の進展により、日本全体の影響、地域の影響が予測・評価できるようになってきた。緩和策、適応策の検討時のリスク情報となる。
- 3) 温暖化影響を最小限に抑えるためには、2°Cを目標として緩和策を確実に実施し、それでも避けることができない影響は、適応策により低減することを原則として、温暖化対策を進めることが重要である。

1. IPCC AR4以降の影響研究レビュー

- Committee on Climate Change, 2008: Building a low-carbon economy – the UK’s contribution to tackling climate change: The first report of the CCC, HMSO, Norwich, 32pp.
- Fussel, H.-M., 2009: An updated assessment of the risks from climate change based on research published since the IPCC Fourth Assessment Report , Climatic Change, 97, 469-482.
- Good P., et. al., 2010: An updated review of developments in climate science research since the IPCC Fourth Assessment Report, 177pp.
- Keenan, T.D. and Cleugh, H.A., 2011: A Report to the 2011 Garnaut Review , 99pp.
- Sommerkorn, M. and Hamilton, N., 2008: Arctic Climate Impact Science an update since ACIA, 123pp.
- UNEP, 2009: Climate Change Science Compendium, 68pp.

2. 個別の影響研究

- Gosling S.N. et al., 2010: Global hydrology modelling and uncertainty: Running multiple ensembles with a campus grid. Philosophical Transactions of the Royal Society A 368: 1-17, 2010.
- Horikawa M. et al., 2009: Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine (*Pinus pumila*), Landscape Ecology , 24, 115-128.
- Masutomi Y., et al., 2009: Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in General Circulation Models. Agriculture, Ecosystems, and Environment, 131, 281-291.
- Shiogama H., et al., 2011: Observational constraints indicate risk of drying in the Amazon basin, Nature Communications, doi: 10.1038/ncomms1252 .
- Yamano H., et al., 2011: Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures, Geophysical Research Letters, doi:10.1029 / 2010GL046474.
- 川越清樹他, 2010: 温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価, 地球環境研究論文集,18,29-36.

3. 国別の温暖化影響評価

- UK Defra, 2012: UK Climate Change Risk Assessment: Government Report.
- UK Defra, 2012: UK Climate Change Risk Assessment 2012 Evidence Report.
- The Garnaut Review 2011: Australia in the Global Response to Climate Change.