

海岸工学講演会 前日シンポジウム 2014.09.29 海岸工学委員会幹事会  
武若（筑波大学）・森（京都大学）

IPCC第6次評価報告書を見据えた  
海岸工学分野における気候変動の影響評価と適応策の検討

日時：2014年11月11日（火）18時－  
会場：ウインクあいち [www.winc-aichi.jp](http://www.winc-aichi.jp)

（最長120分，20時まで終了）

趣旨説明	武若・筑波大学
IPCC-AR5の分析と海岸工学分野における着目点	横木・茨城大学
海岸工学に重要な将来変化の予測とその問題点	森・京都大学
港湾・海岸における適応戦略とその問題点	栗山・P A R I
海浜変形予測とその問題点	有働・東北大学
海岸工学分野への提言	三村・茨城大学
総合討論	

海岸工学講演会 前日シンポジウム

IPCC第6次評価報告書を見据えた  
海岸工学分野における気候変動の影響評価と適応策の検討

気候変動予測

GCM (Global/General Climate/Circulation Model)  
膨大な量の解析結果 → 情報爆発  
（恐らく，スパコンの開発が続く限りは終わらない）

影響評価

ユーザが必要に応じて GCM の結果を解釈（翻訳）する  
海岸工学分野でも行われている。継続的に watch する必要。

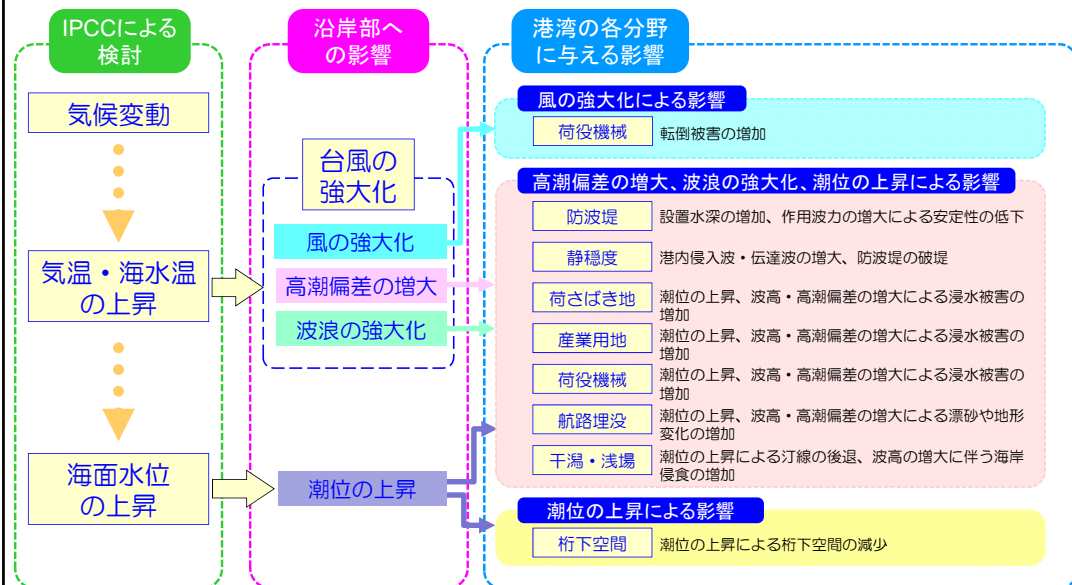
適応策

好ましくない影響評価に備える  
海岸工学分野の対応は？  
（気候変動に限らず）常に気象・海象の変動に対応している

# 港湾・海岸における気候変動に対する 適応戦略とその問題点

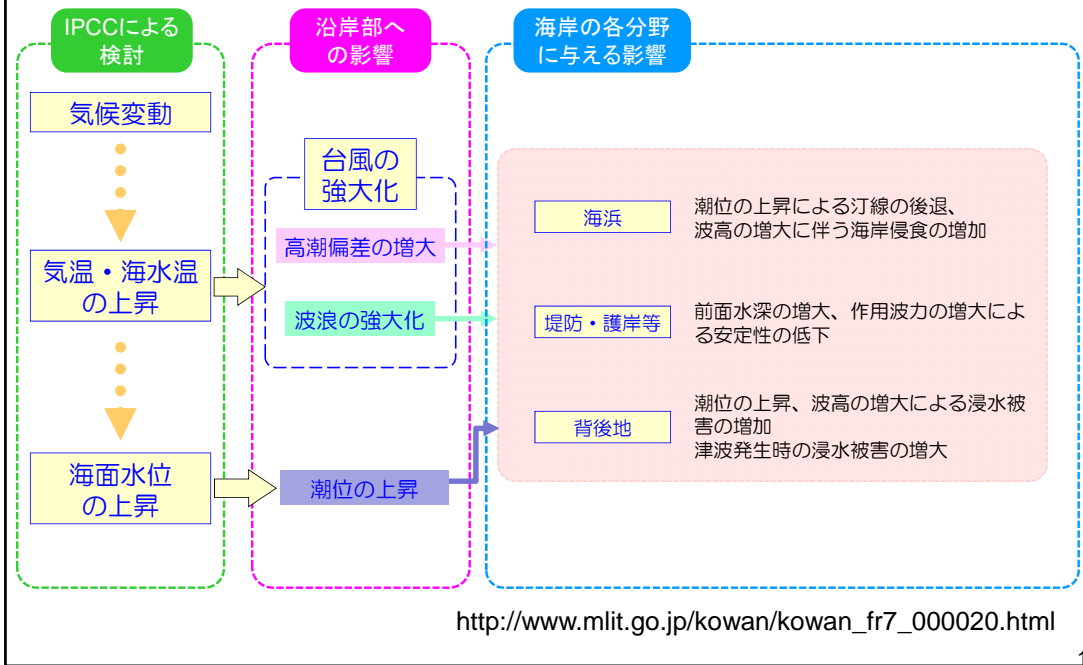
(独)港湾空港技術研究所 栗山善昭

## 気候変動と港湾分野の関連



[http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_fr7\\_000018.html](http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr7_000018.html)

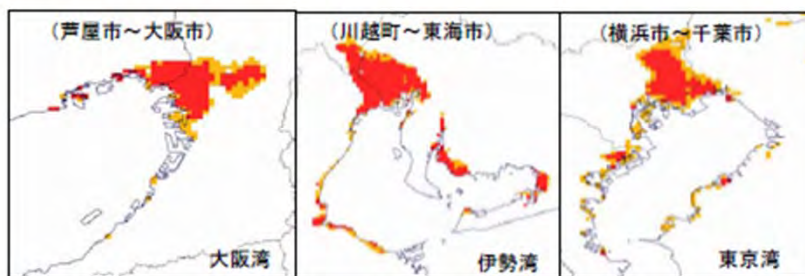
## 気候変動と海岸分野の関連



1

## 背後地への影響（高潮・高波災害の増大）

三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）のゼロメートル地帯が拡大



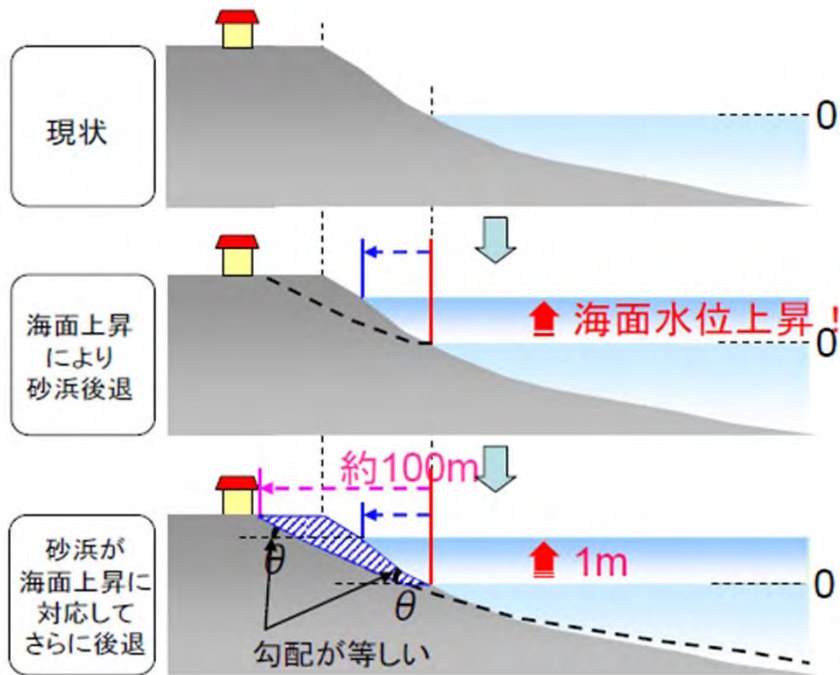
高潮による水害リスクを有するエリアが拡大する

	現状	海面上昇後	倍率
面積(km <sup>2</sup> )	559	861	1.5
人口(万人)	388	576	1.5

※国土数値情報をもとに河川局で作成  
 ※3次メッシュ(1km×1km)の標高情報が潮位を下回るものを図示。面積、人口の集計は3次メッシュデータにより行っている  
 ※河川・湖沼等の水面の面積については含まない  
 ※海面が1m上昇した場合の面積、人口の60%分を増分として計算

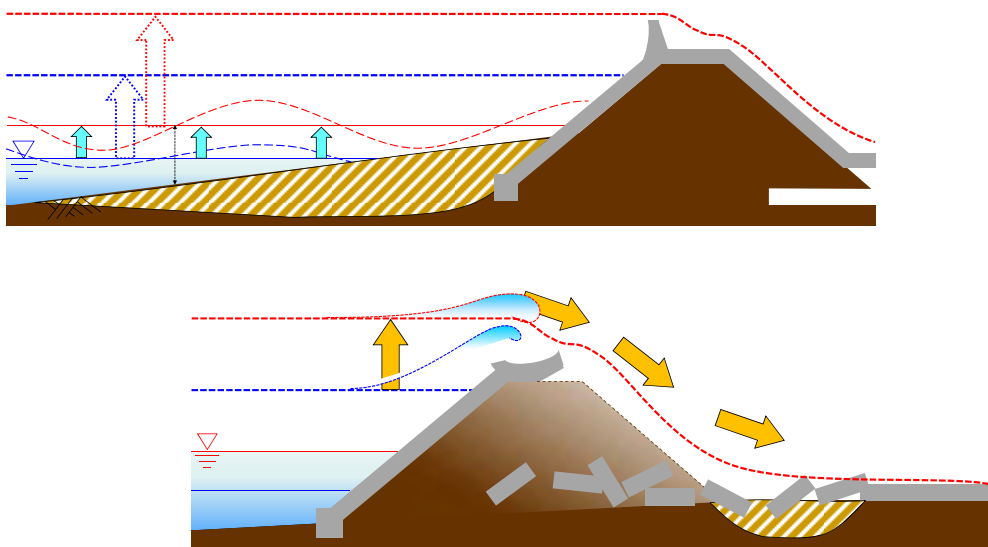
9

## 海浜・干潟・浅場への影響



9

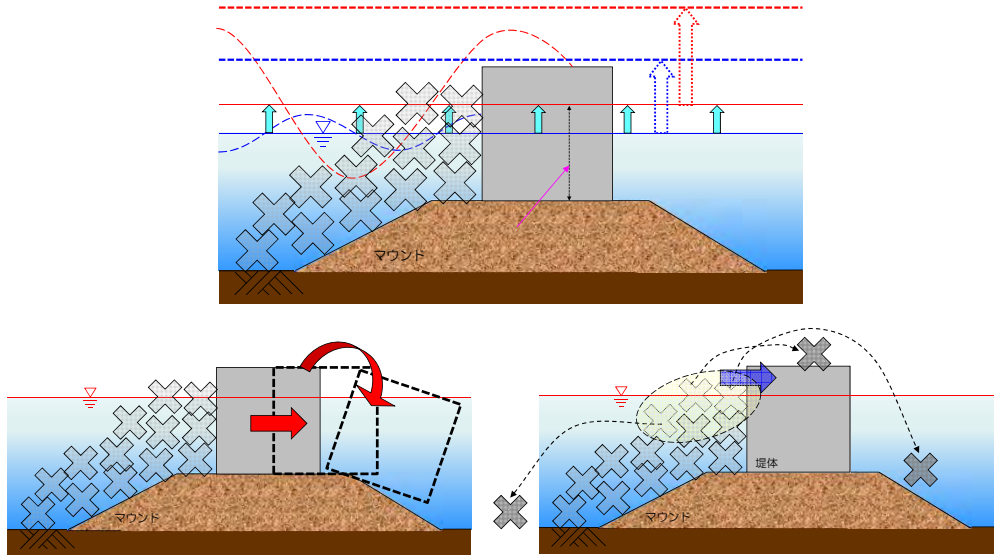
## 海岸堤防・護岸等への影響



3

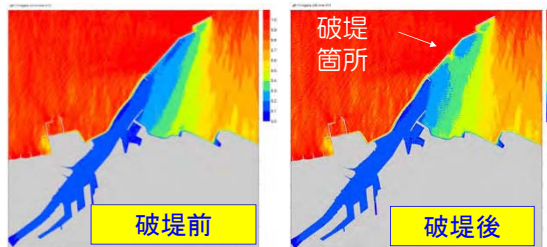
## 防波堤への影響

- 海面水位の上昇に伴う設置水深の増加と波高の増大、台風の強大化による高潮の増大と波高の増大



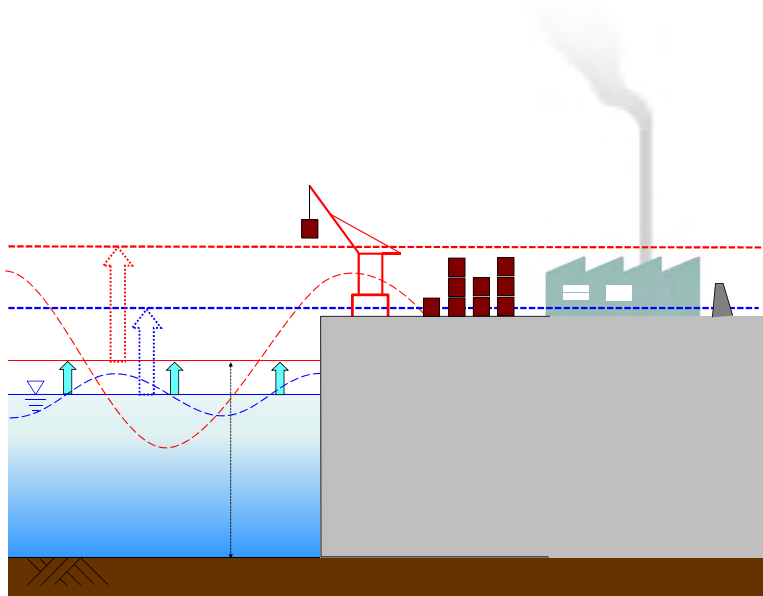
2

## 静穏度への影響



3

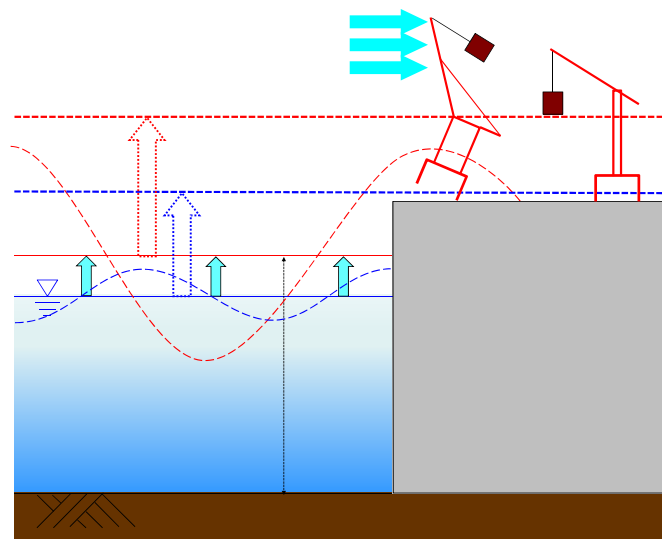
## 岸壁・荷さばき地・産業用地への影響



5

## 荷役機械への影響

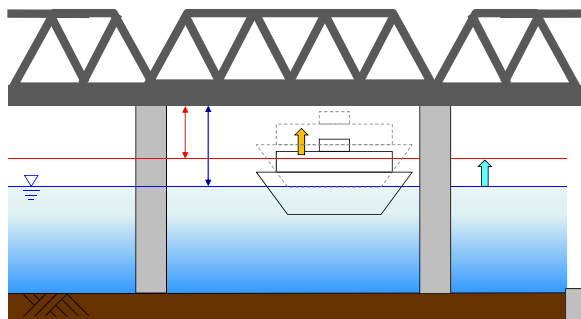
- 海面水位の上昇、台風強大化に伴う高潮や越波による浸水被害が増加する。
- 台風強大化に伴う風速の増大により転倒被害等が増加し、稼働率が低下する。



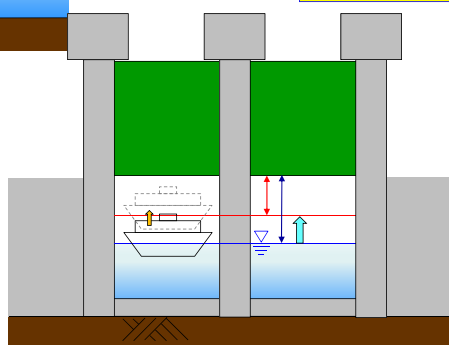
7

## 桁下空間への影響

橋梁の場合

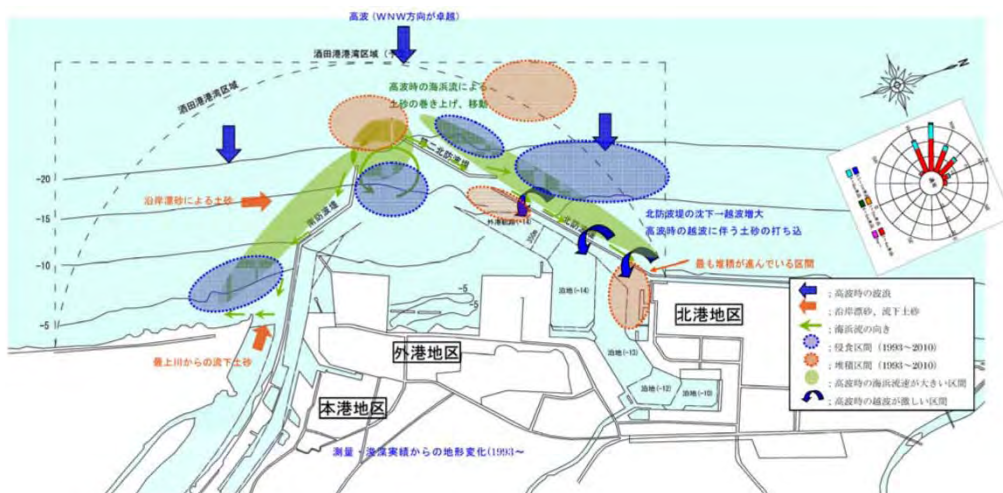


水門の場合



4

## 航路・泊地への影響



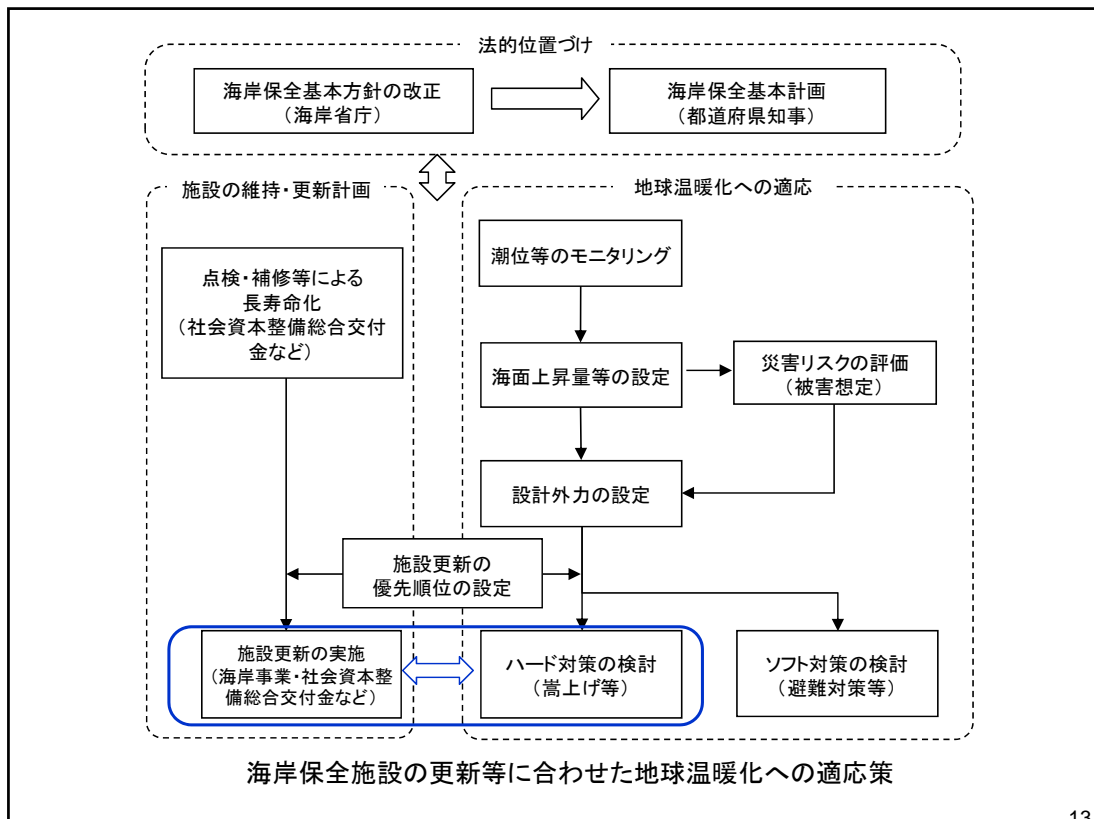
# 方針

施設の更新時に、地球温暖化の影響を(順次)取り込む。

海岸保全施設の更新等に合わせた地球温暖化  
適応策検討マニュアル(案) 平成23年6月

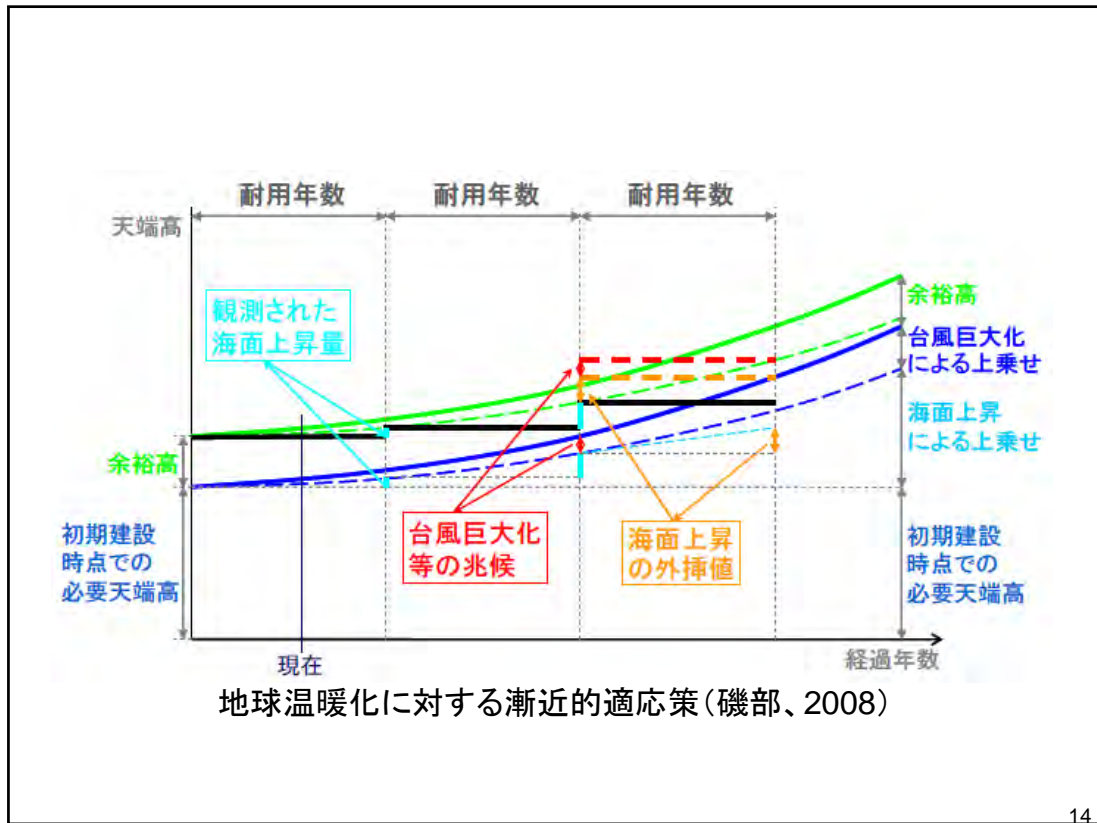
<http://www.mlit.go.jp/common/000188326.pdf>

12



13





## 問題点

1. 地球温暖化の影響を定量的に示すことが困難(現時点では).
2. 予算が厳しい(維持補修だけで精一杯?).  
 海岸事業費: 1,000億円強  
 海岸堤防: 約10,000 km
3. 優先順位の設定



TOHOKU  
UNIVERSITY

第61回海岸工学講演会 前日シンポジウム 2014/11/11

# 長期海浜変形予測と その問題点

有働 恵子・東北大学 災害科学国際研究所

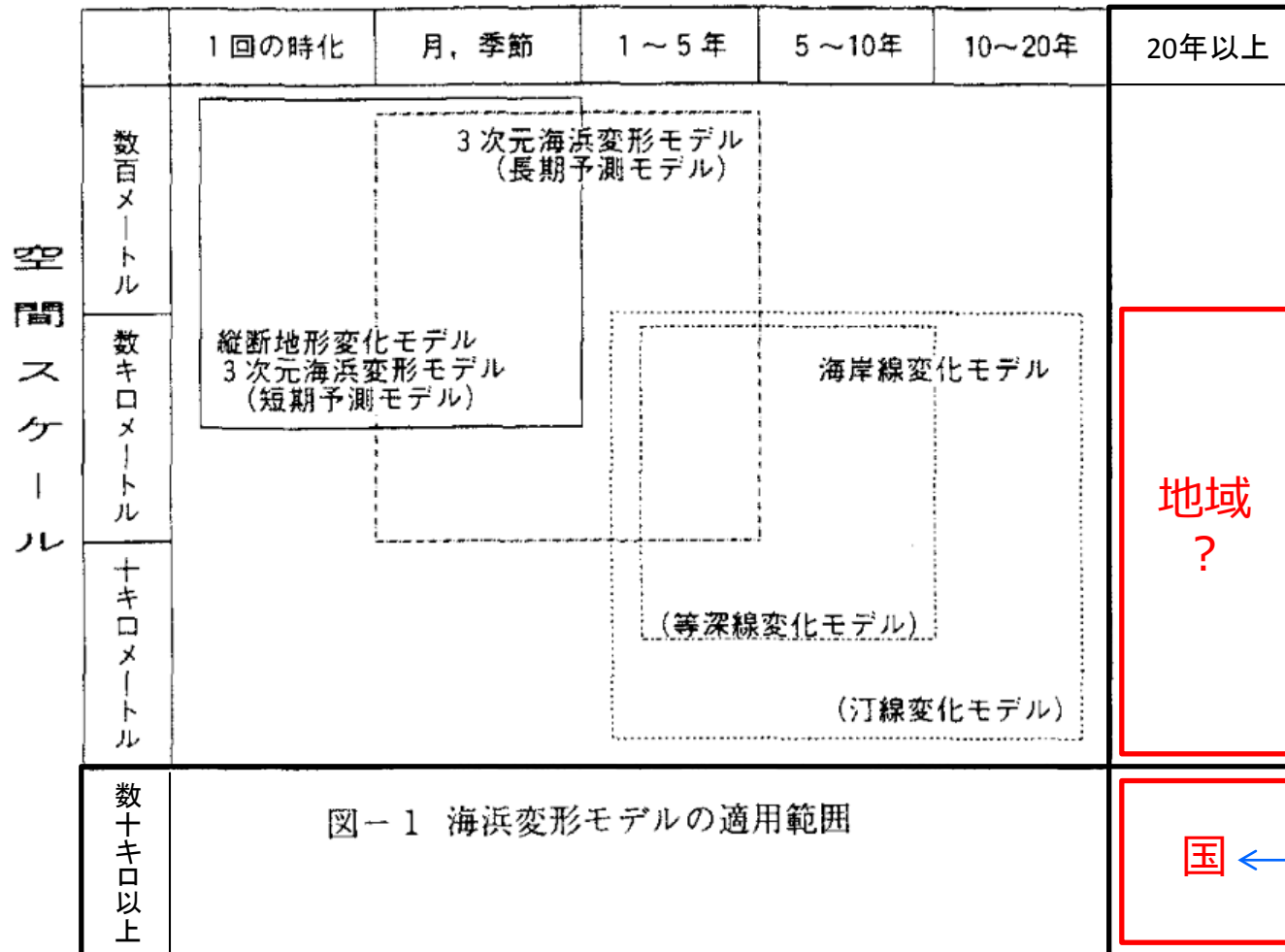
# 何のために長期海浜変形を 予測するのか？

- 気候変動による沿岸域の災害リスクの増大：  
台風巨大化，海面上昇 ←国全体の問題
- 国レベルでの適応策検討の必要性：  
来年夏頃には，適応計画策定予定
- 国レベルでの影響評価↔地域レベルでの影響評価：  
国：海浜消失面積（**環境，利用**）  
地域：海浜変形（**防災，環境，利用**）
- 国レベルでの適応策検討↔地域レベルでの適応策検討：  
国：養浜，（撤退）  
地域：養浜，海岸堤防，ヘッドランド，離岸堤，撤退

# 海浜変形予測の時空間スケール

時間スケール

(清水, 1996)



# 世界の砂浜消失予測

## DIVA (Dynamic Interactive Vulnerability Assessment):

海面上昇および社会経済開発に伴う海岸侵食・浸水, 湿地変化などの生態系・社会経済への影響を評価する世界モデル. 海岸侵食に対する適応策として養浜を考慮可能.

※DINAS-COAST (Dynamic and Interactive Assessment of National, Regional and Global Vulnerability of Coastal Zones to Climate Change and Sea-Level Rise) project (2001-2004) により開発

- 汀線後退量: Bruun則  $R = SW_* / (h_* + B)$

※ $R=100S$ で予測

(日本→20~120; 有働ら, 2013)

(セネガル→110~170, アルゼンチン→100~2100, ベネズエラ→80~122; Nicholls, 1998)

- 経済評価: 便益 = 地価 + 移住 + 観光  
 ※環境 (生態系等) は非考慮

(Vafeidis et al., 2008; Hinkel et al., 2013)

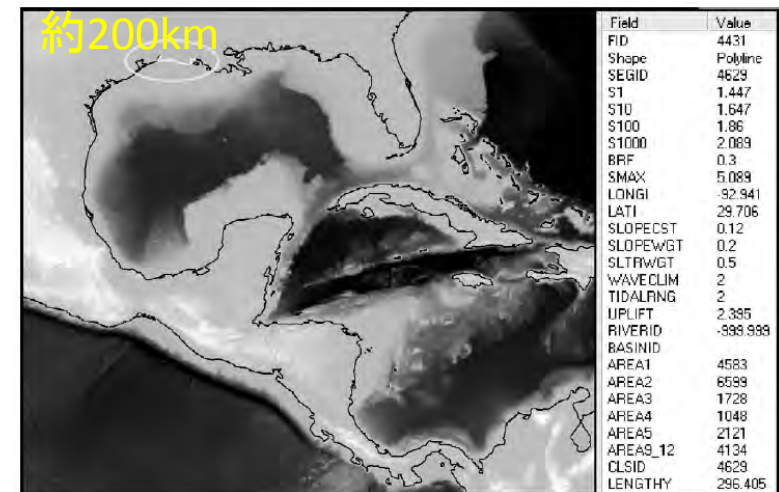


Figure 3. An example of a coastline segment (highlighted), and a view of associated data fields, which are analytically described in the metadata documentation (Vafeidis *et al.*, 2006). The geographic (latitude and longitude) coordinates of the centre point of the segment are 29.706 and -92.941, respectively.

# 世界の砂浜消失の将来予測結果

(Hinkel et al., 2013)

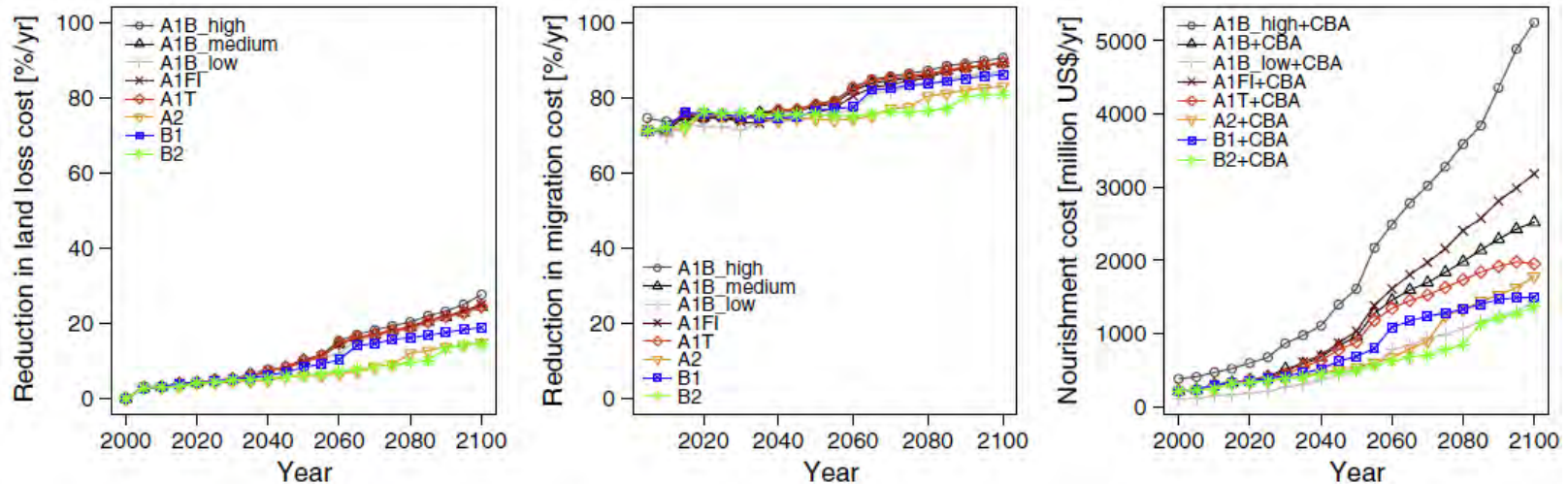
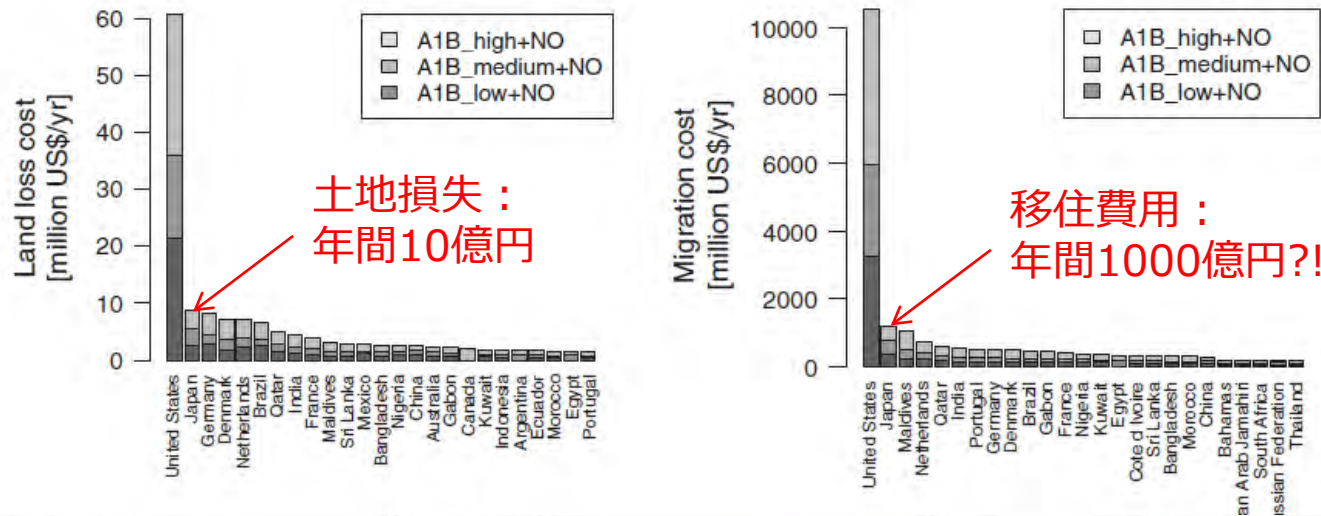
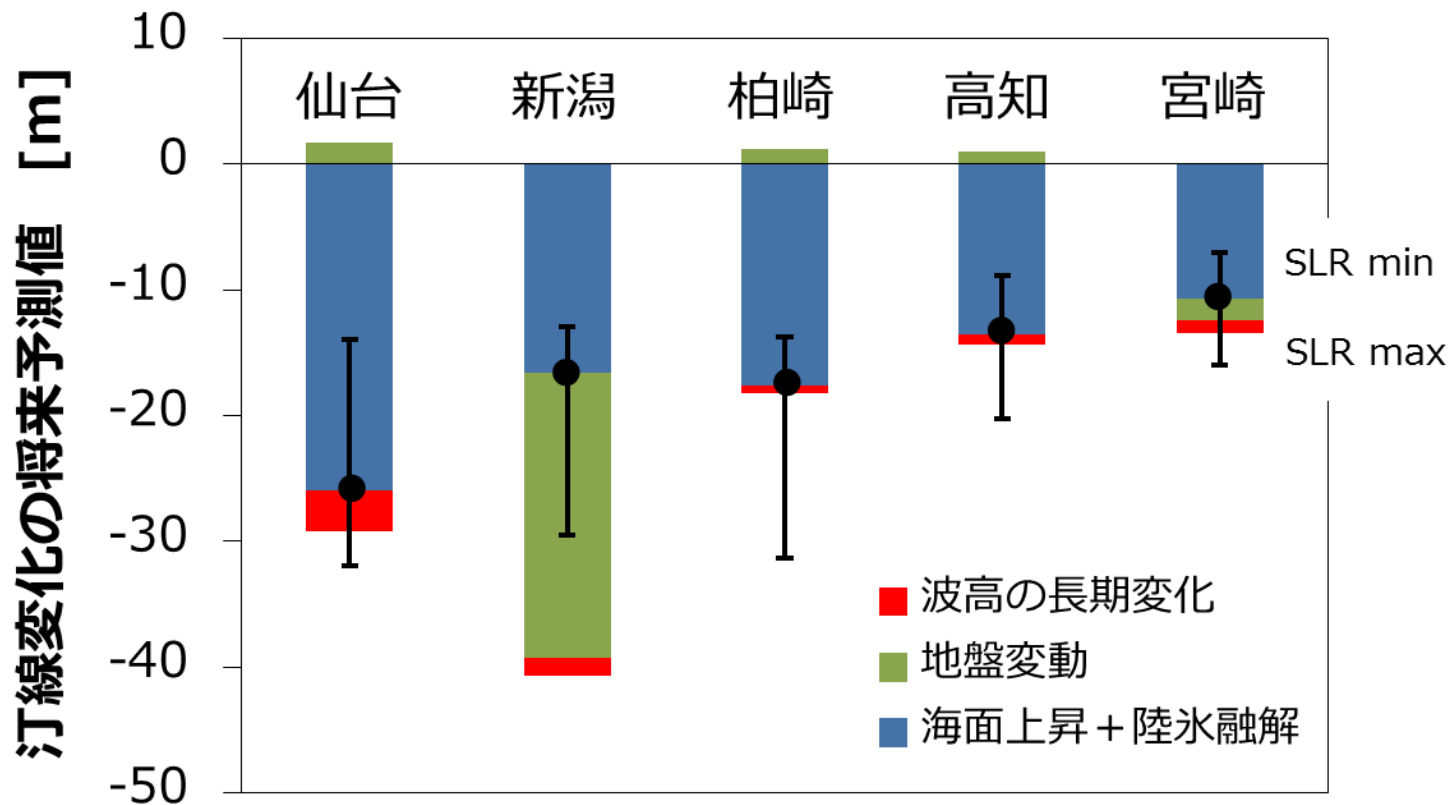


Fig. 6. Reduction in global annual land loss cost (left) and migration cost (middle) through optimal nourishment and associated nourishment cost (right).

# 世界の影響評価・適応策 (IPCC AR5 WGII, 2014)

- アフリカ：海岸侵食についての記述はほとんどない。あっても適応策の必要性を述べるものではない。
- 欧米：海岸侵食への適応策の必要性が述べられているが、定量的な情報は少ない。（引用文献中にはある）
- アジア：海岸侵食への適応策の必要性が述べられているが、定量的な情報は少ない。（引用文献中にはある）
- 豪地域：海岸侵食への適応策の必要性が述べられているが、定量的な情報は少ない。適応策オプション表に「海岸侵食」記載あり。
- 中南米：海岸侵食への適応策の必要性が述べられているが、定量的な情報は少ない。気候変動の海岸侵食への影響について図あり。
- 小島嶼国：記述の多くが国土消失・海岸侵食に関するものだが、定量的な情報はほぼ過去に関する情報。

# Bruun則を用いた場合の 将来の砂浜消失要因（日本）



(吉田ら, 2012)



# Bruun則における入力データ

- 0.1~1.0m      JMA-GPV      Wiegel(1965)の図      海岸情報データ
- 海面上昇量, 波浪条件, 砂浜の底質粒径, 海底勾配, 砂浜延長  
から77沿岸区分別に消失面積を求める

- 海面上昇量 → 19ケース  
0.1 m, 0.2 m, ..., 1.0 m  
3モデル RCP2.6, 4.5, 8.5
- 砂粒径 → 3ケース  
(全国一律の場合のみ)  
0.2 mm, 0.3 mm, 0.6 mm

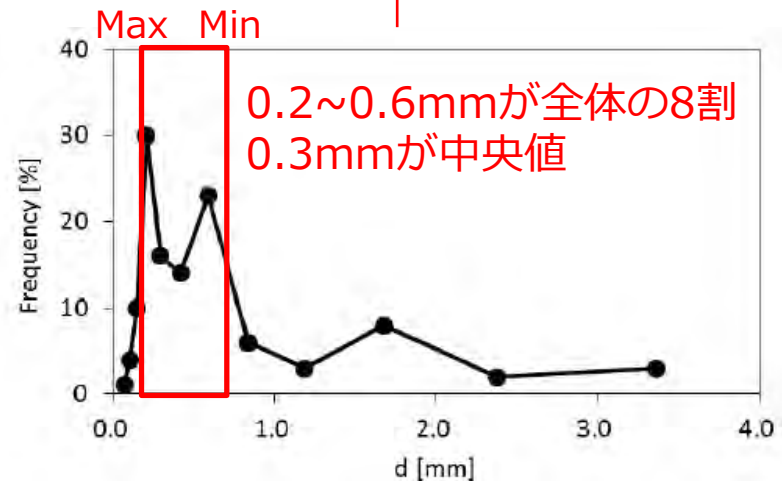
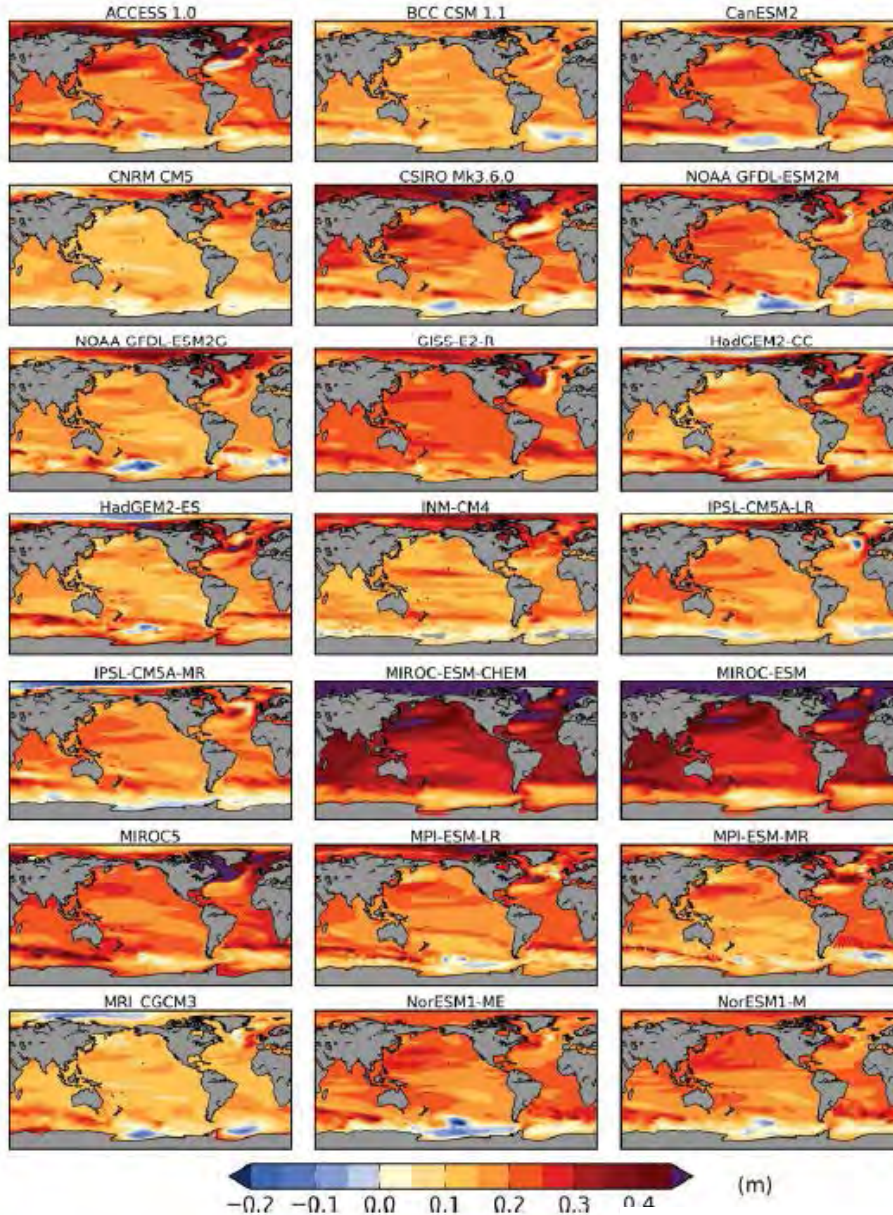


図-3 全国の砂浜の底質粒径のヒストグラム。

(有働・武田, 2014)

# 将来の20年平均 海面水位変化



- モデルによって、予測結果はかなり異なる
- 21モデルのうち、MIROC5, HadGEM2-ES, MRI-CGCM3
- データ処理は自分で行う必要あり

(IPCC AR5 WGI, 2013; Fig. 13.24)

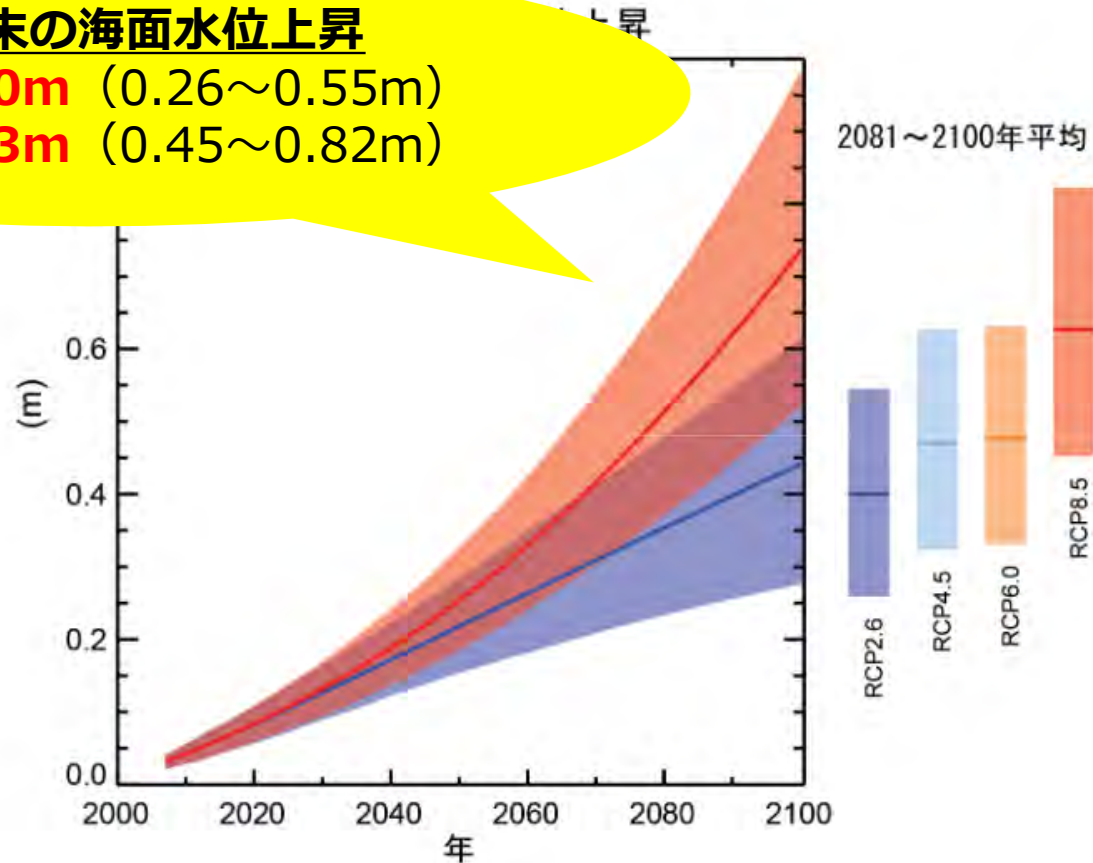
Figure 13.24: Projected relative sea level change (in m) from the combined global steric plus dynamic topography and glacier contributions for the RCP4.5 scenario over the period from 1986–2005 to 2081–2100 for each individual climate model used in the production of Figure 13.16a.

# 将来の世界平均海面水位変化の予測

## 21世紀末の海面水位上昇

RCP2.6 : **0.40m** (0.26~0.55m)

RCP8.5 : **0.63m** (0.45~0.82m)

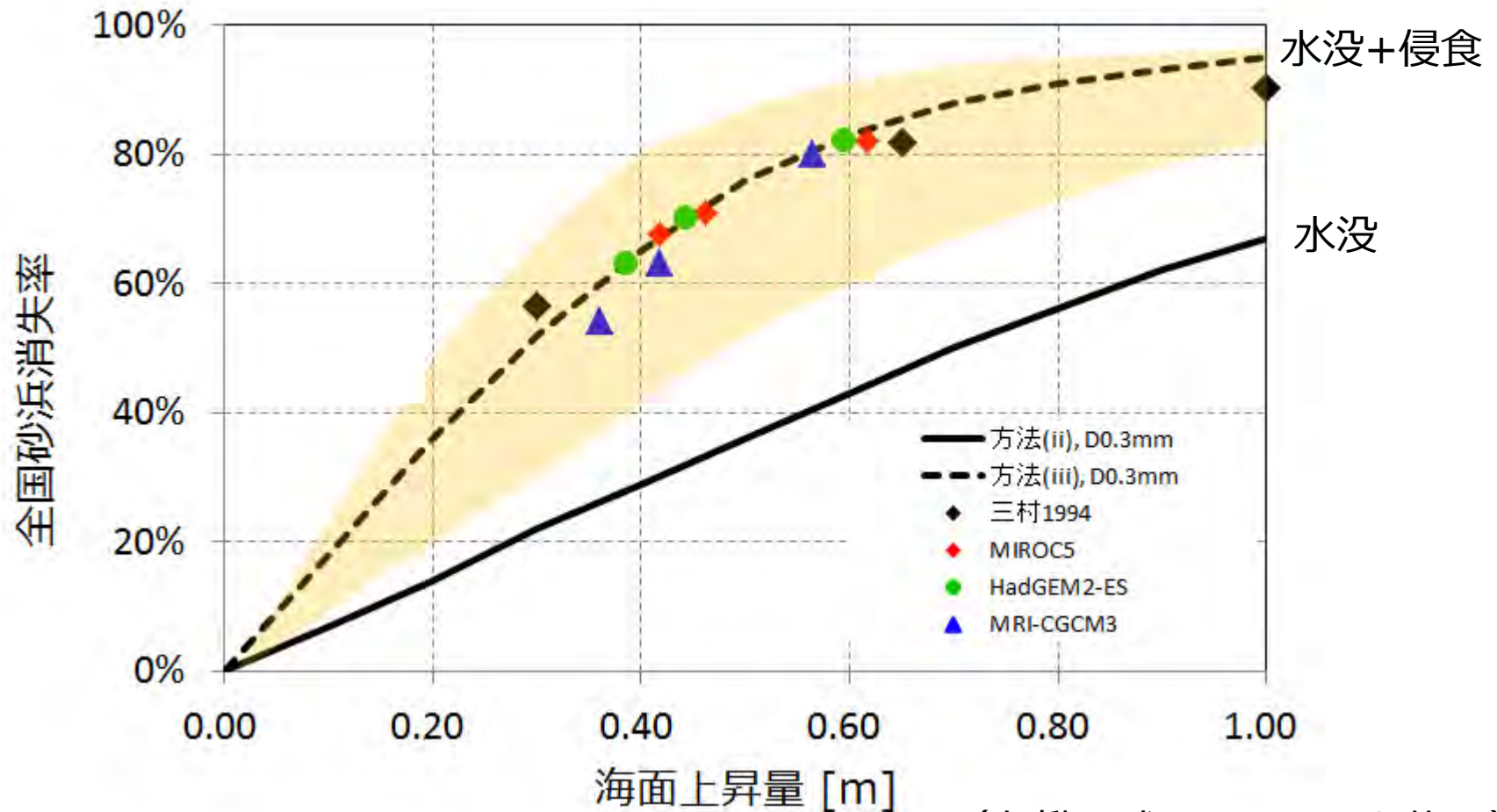


(IPCC AR5 WGI, 2013; Fig. SPM. 9)

[http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc\\_ar5\\_wg1\\_spm\\_jpn.pdf](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf)



# 海面上昇に対する砂浜消失被害関数



(有働・武田, 2014 を修正)

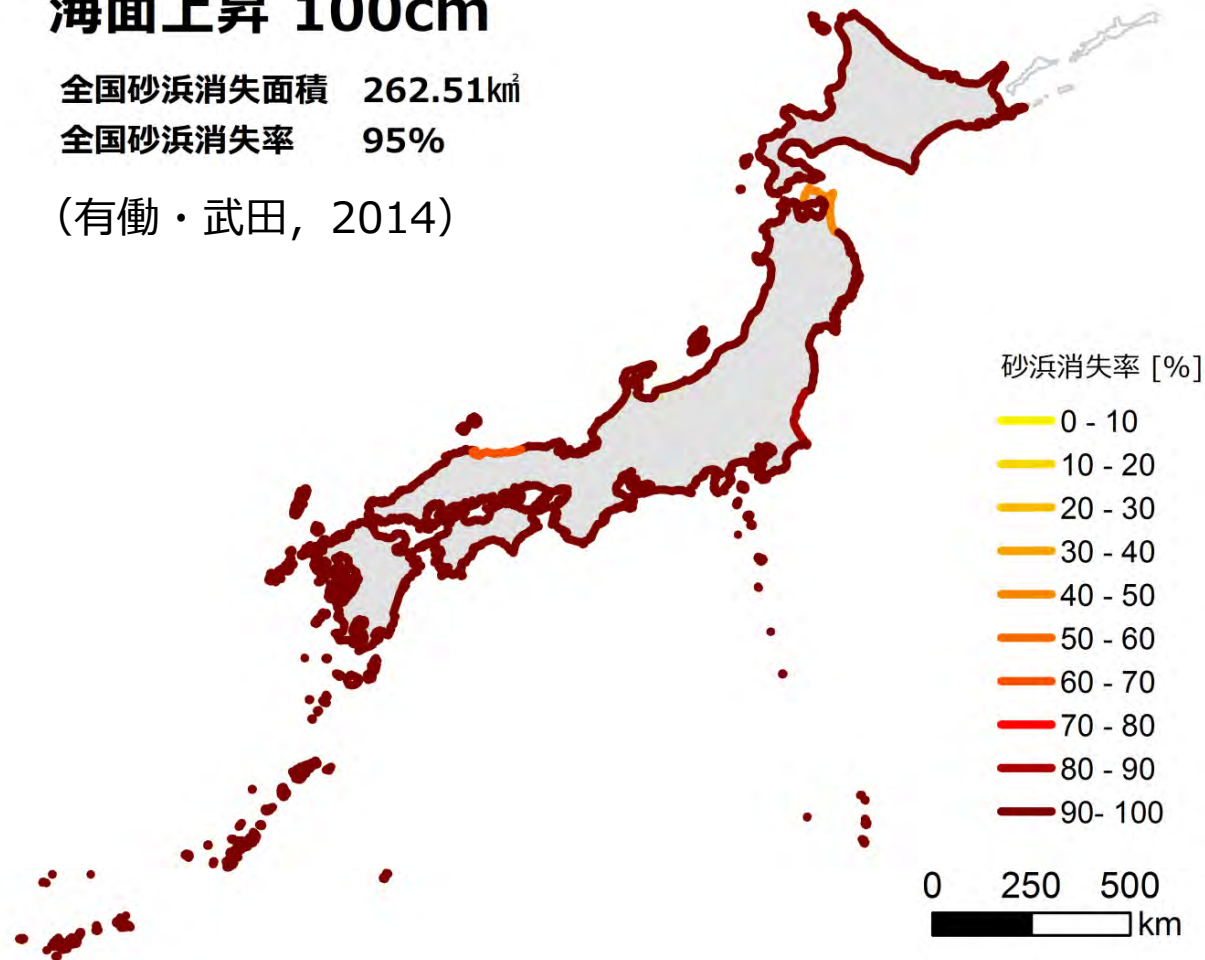
# 全国の砂浜消失率の将来予測結果 (D=0.3mm)

海面上昇 100cm

全国砂浜消失面積 262.51km<sup>2</sup>

全国砂浜消失率 95%

(有働・武田, 2014)



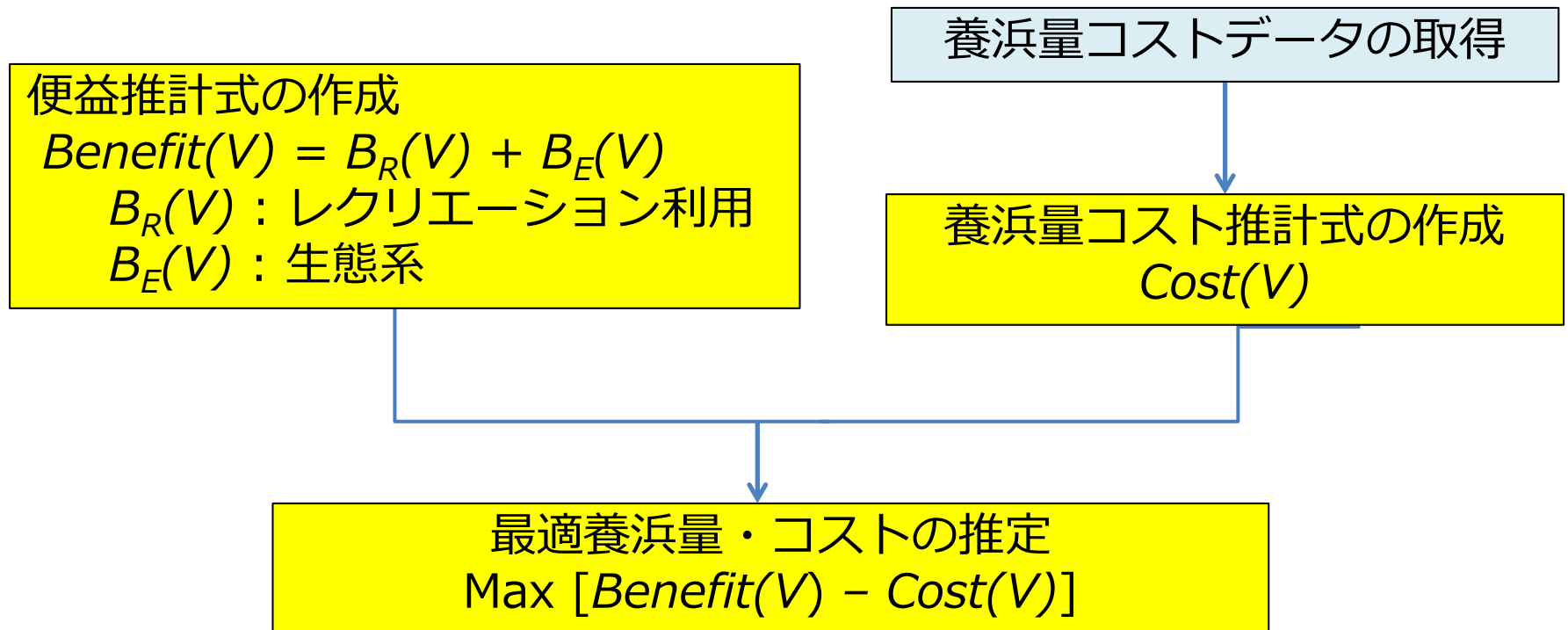
# 全国の砂浜に対する適応策の考え方

重点的に保全すべき砂浜の特定が必要

- 広域を対象とした砂浜価値の評価手法がない
  - 必要なデータの入手が困難
  - 生態系保全の経済価値の計測方法がない (Barbier et al., 2011) .
- 現状の費用便益分析では最適事業ができない (国土交通省, 2004; Nicholls, R. J. et al., 2011) .
  - B/Cを最大にする手法ではない.

将来の海面上昇に対して、砂浜の価値に応じた  
最適養浜量の推計手法を構築

# 最適養浜量の推定方法



# 全国の最適養浜量の推定結果

RCP2.6の場合の砂浜消失率:

適応策なし: **65 %**

適応策あり: **51 %**

(最適養浜量: 450万m<sup>3</sup>/年, 46億円/年)

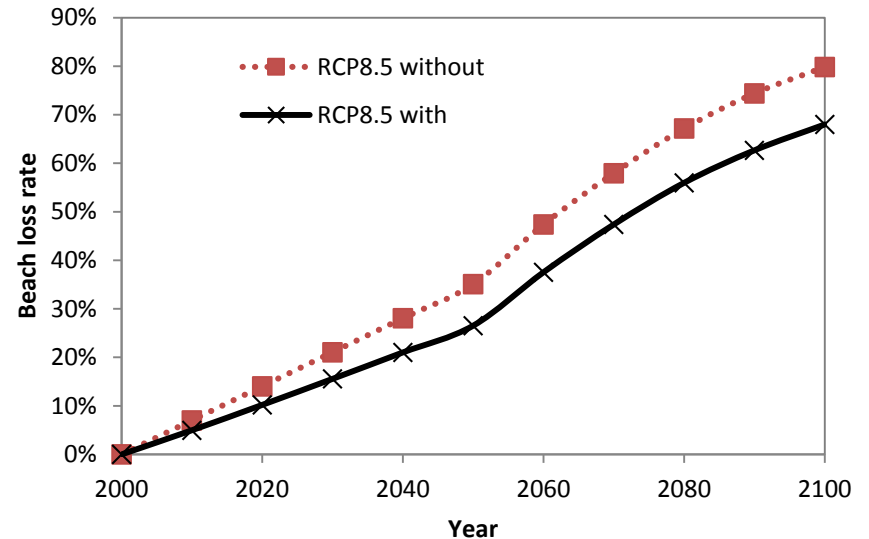
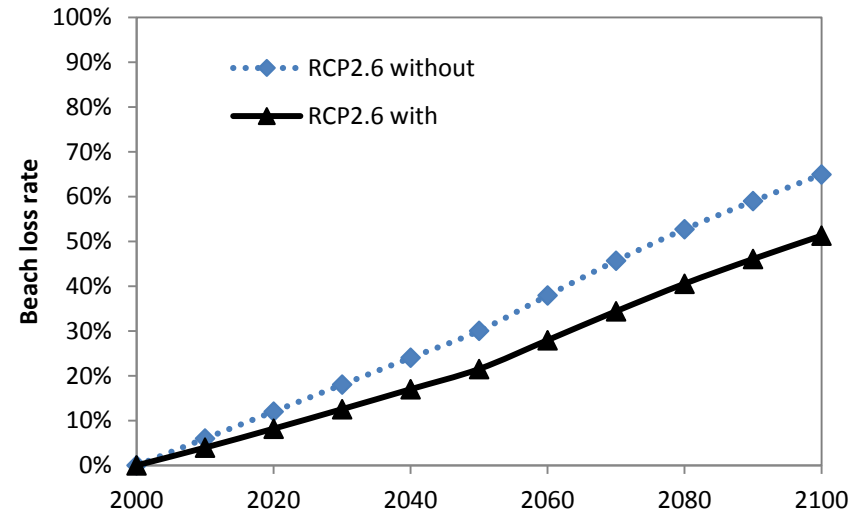
RCP8.5の場合の砂浜消失率:

適応策なし: **80 %**

適応策あり: **68 %**

(最適養浜量: 450万m<sup>3</sup>/年, 46億円/年)

(吉田ら, 2014)





# 海浜変形予測の課題①

- 海浜に関する様々な**データベースの構築**（粒径，地殻変動，他）  
→時空間的に変化がある底質粒径のデータベースは困難？
- 様々な要因を考慮すればするほど（複雑になればなるほど）不確実性が増大する（波浪，沿岸漂砂，河川からの土砂供給，他）  
→特に流砂系の土砂動態と海浜変形の関係についての理解要
- 気候変動による海面上昇等の予測の現状についての理解  
→海面上昇等の予測結果の正しい解釈
- <国レベル> 有働・武田(2014)（中央値）と三村ら(1994)の結果には差がないものの，粒径による不確実性は大きい。  
→モデル自体の不確実性をはじめとする様々な不確実性  
→地殻変動を考慮する必要あり．波浪の考慮は？

## 海浜変形予測の課題②

- <地域レベル> 様々な条件（海水位，波浪，河川からの土砂供給）に対して，高精度で長期海浜変形が再現・予測できるようにすることに尽きる。
  - 地域レベルでもBruunモデルと同等のモデルを使用する例も（Callaghan et al., 2008; Brooks and Spencer, 2013）
  - 数十年予測の現実的な高度モデルは，等深線変化モデル？（Uda et al., 2010）
  - 「様々な条件」の不確実性幅は？
- 不確実性が不明な「計算できること」を実際に行う適応策の根拠となる「予測」にどこまでとり入れるのか？（国・地域レベルともに）
- 干潟消失については，海面上昇量のみで検討（Udo et al., 2013 ; 有明海・八代海と東京湾の一部のみでSLR0.4mに対し数10km<sup>2</sup>消失）． →海面上昇速度と同速度で地盤が上昇すれば変化なし．

# 適応策の課題

- 研究されている海浜/されていない海浜（重要/非重要？）
  - 地域レベルって？ ←**経済評価による重要地域の特定**
  - 国レベルの適応策との整合は？（経済評価の結果が異なる）
- 津波など他のハザードへの対応も総合的に考える必要あり
- 海浜の環境（生態系）価値（1次的，2次的）は？
  - 積み上げるほど価値は高くなるが，知見は少ない。
- 2050年，2100年，全国（世界）の沿岸域にどれだけの人口・資産が集積しているか？人々の価値観は？
  - 海浜変形予測のニーズはどのようなものか？
  - 海浜変形予測のニーズがどの程度あるか？  
（日本では，「撤退」を選択することになる地域が多い？）

海岸工学講演会前日シンポ

# 海岸工学分野の課題 —気候変動の影響予測と適応

平成26年11月11日

茨城大学長 三村信男

1

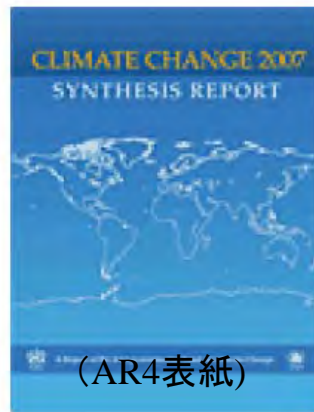


## 講演の内容

1. IPCC第5次報告書の内容
2. 適応策の役割と限界
3. 研究プロジェクトの配置

2

# 1. IPCC第5次報告書 (2014年)



統合報告書

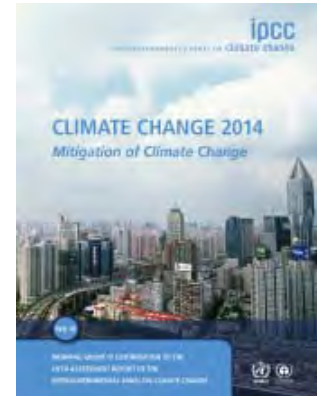
(AR4表紙)



WGI報告書  
(科学的基礎)



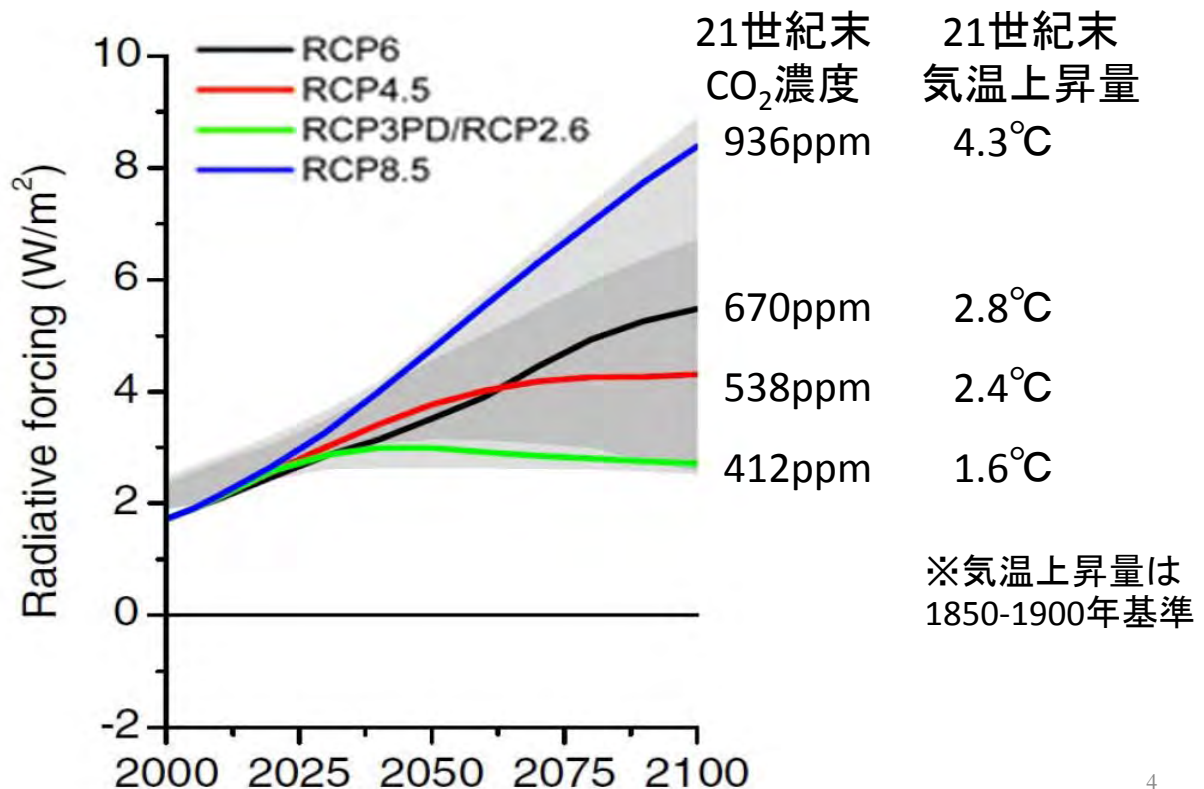
WGII報告書  
(影響・適応・脆弱性)



WGIII報告書  
(緩和)

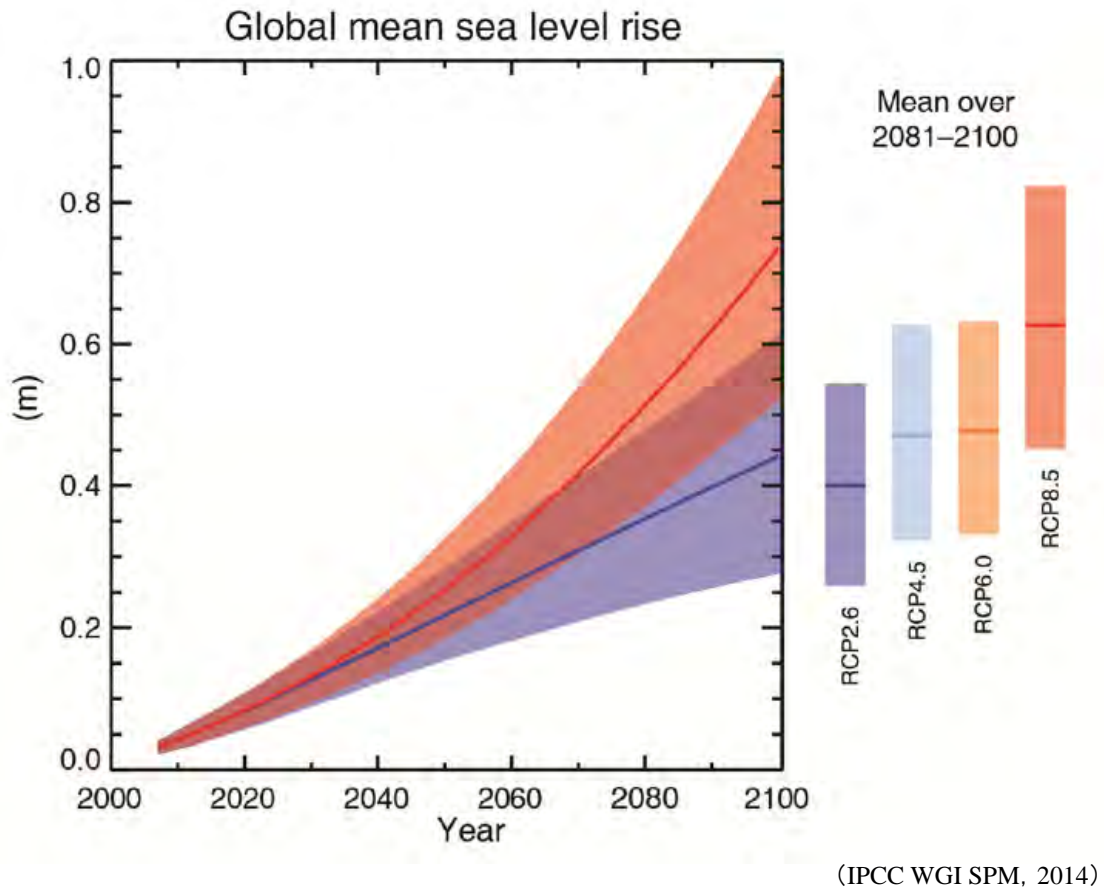
3

## IPCC AR5で用いた濃度シナリオ (代表的濃度経路: RCP)

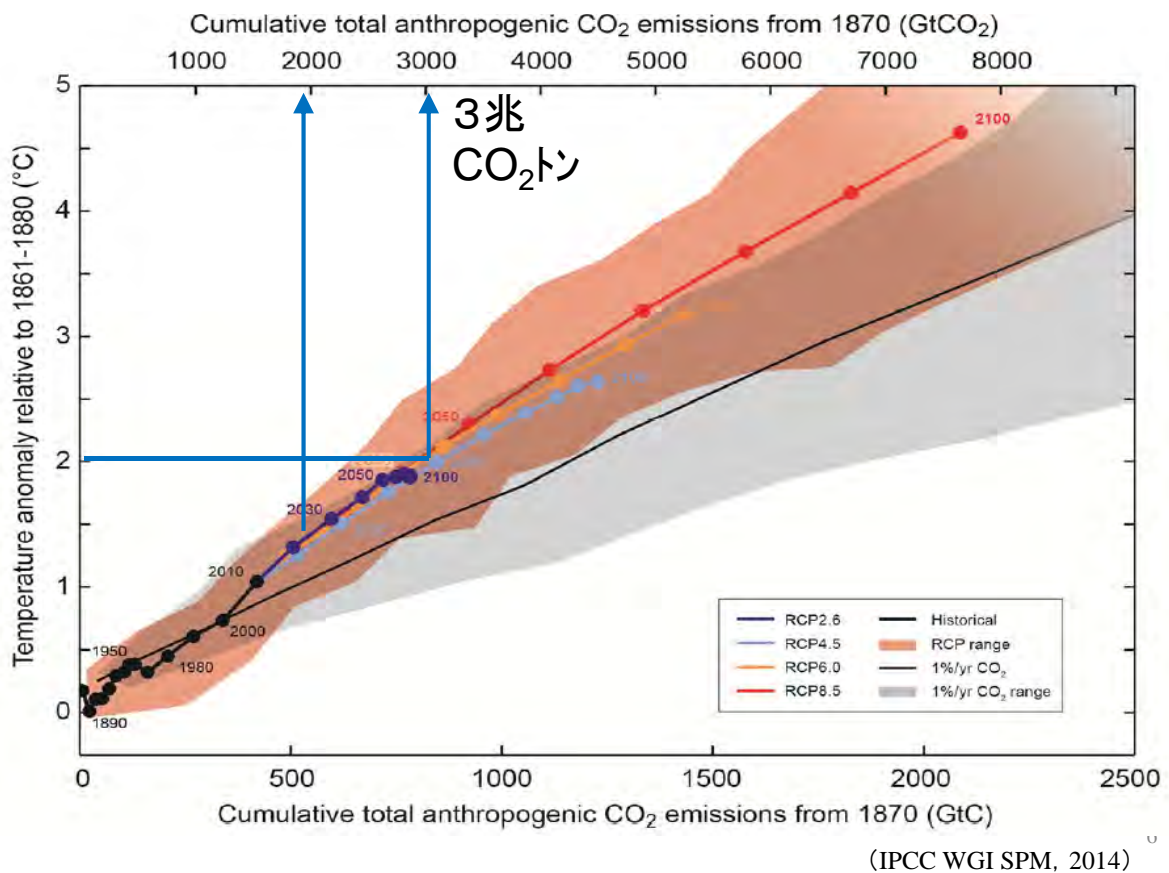


4

# 海面上昇の予測



# 累積CO<sub>2</sub>排出量と気温上昇



# CLIMATE CHANGE 2014:

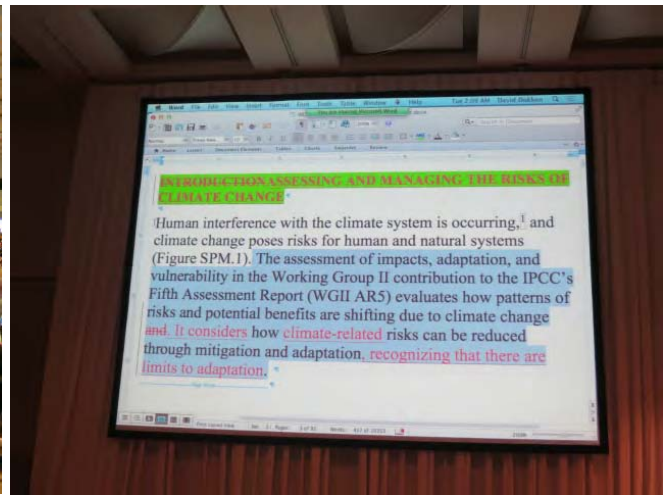
## IMPACTS, ADAPTATION, AND VULNERABILITY



### IPCC第38回総会及びWGII第10回会合

- 日時: 2014年3月25～29日
- 場所: パシフィコ横浜(横浜市)
- 参加: 約110カ国、国際機関、NGOなどから約400名
- WGII CLA 約50名



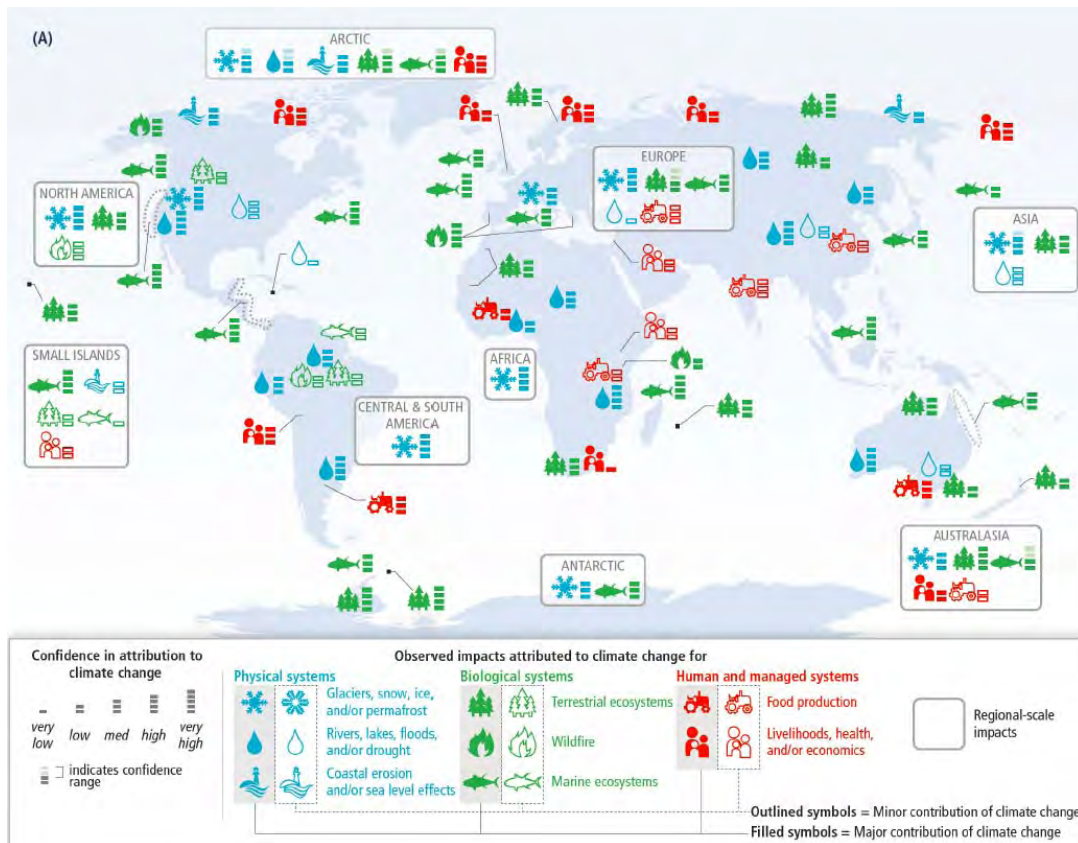


## Section A 観測された影響、脆弱性と適応

- 気候変動の影響は広く顕著に観測されている
  - 降水と雪氷の融解による水資源の量と質の変化
  - 陸上・淡水・海洋の生物種の生息域や季節性などが変化
  - 穀物生産は負の影響が通常現れる  
穀物市場は極端現象の影響に敏感
  - 気候変動の健康影響は相対的に小さい
- 人々と地域、生態系の脆弱性と影響(暴露)には差がある
  - 社会や生態系は気象極端現象に脆弱
  - 気候変動は他のストレスの影響を強める
  - 暴力的紛争は気候変動への脆弱性を高める
- 気候変動への適応は起こり始めている
  - 適応は計画に含まれつつある。実施はまだ少ない



# 世界で観測された影響(1)



11  
(IPCC WGII SPM, 2014)

## Section B 将来のリスクと機会 分野ごとのリスクと適応可能性(1)

分野	リスク
淡水資源	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>渇水と洪水に直面する人口増加</b> ex 20世紀後半に100年に1度の洪水に曝されている人口はRCP8.5ではRCP2.6の3倍</li> <li>・乾燥地域は干ばつの頻発、高緯度地方では水資源増加</li> <li>・水質悪化による飲料水への影響</li> </ul>
陸上・淡水生態系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生物種の絶滅リスク増大。RCPによる</li> <li>・<b>中・高RCPでは地域レベルの非可逆的変化のリスク</b> ex 北極域システム、アマゾンの森林</li> <li>・森林の枯死の危険性</li> </ul>
沿岸システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海面上昇による水没、氾濫、侵食</li> <li>・影響人口は、人口増加、経済開発、都市化により増加</li> </ul>
海洋システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海洋生物・生態系への影響による漁業などへの影響波及</li> <li>・海洋酸性化によるサンゴ礁や海洋生態系への影響</li> </ul>
食料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・20世紀末比2°C以上の上昇は主要穀物収量に負の影響</li> <li>・<b>20世紀末比~4°C以上の上昇は世界的、地域的な食料安全保障の問題に結びつく</b></li> </ul>

## 分野ごとのリスクと適応可能性(2)

都市域	・気候変動のリスクは都市域に集中 ・他の問題とともに、インフラやサービス不足の地域で厳しい
地方域	・主要な影響分野は水供給・利用、食料、農業収入
鍵となる経済セクター	・他の要因(人口、高齢化、技術など)に比べて気候変動の影響は相対的に小。気象災害による損害は大 ・気候変動による世界経済への影響推定は難しい ex <u>~2°Cの気温上昇で0.2~2%の世界GDPの減少</u>
健康	・21世紀中盤までは既存の健康関連問題の深刻化 ・21世紀を通じては様々な健康影響
人間の安全保障	・ <u>人口の移動の可能性が高まる</u> ・ <u>気候変動にとって暴力的紛争が生じる可能性</u> ・海面上昇による領土への影響、インフラ施設への影響
生計・貧困	・経済成長の鈍化が貧困克服を遅らせる ・貧困や社会的格差(不平等)の影響 ・ <u>保険や社会保障、災害対策などが重要</u>

13

## 5つの懸念理由

### 5つの懸念理由

- (1) 固有の脅かされたシステム
- (2) 気象極端現象
- (3) 影響の分布
- (4) 世界の影響総量
- (5) 大規模極端現象(グリーンランド氷床の融解)

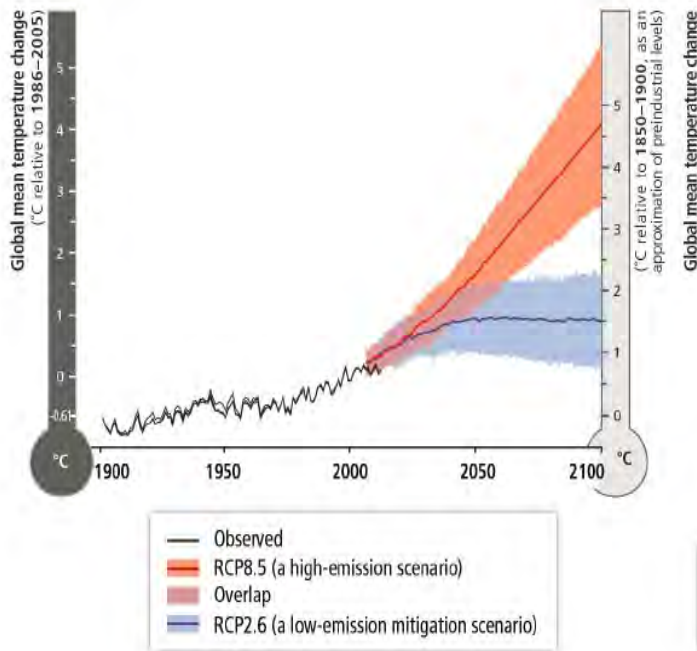
### リスクの評価基準

- Undetectable(白) 影響が検出できないか、気候変動に帰すことができない
- Moderate(黄色) medium conf. の影響が検出可能
- High(赤) 広い範囲に及ぶ厳しい影響の出現
- Very high(紫) 全てのKVで非常に高いリスク

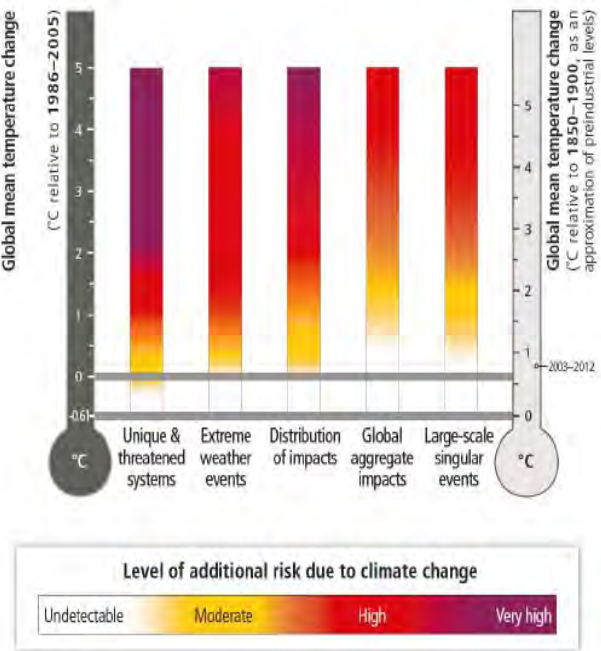
14

# 気候変動のリスク

## 全球平均気温



## 5つの懸念理由 気候変動による追加的リスク



(IPCC WGII SPM, 2014)<sup>15</sup>

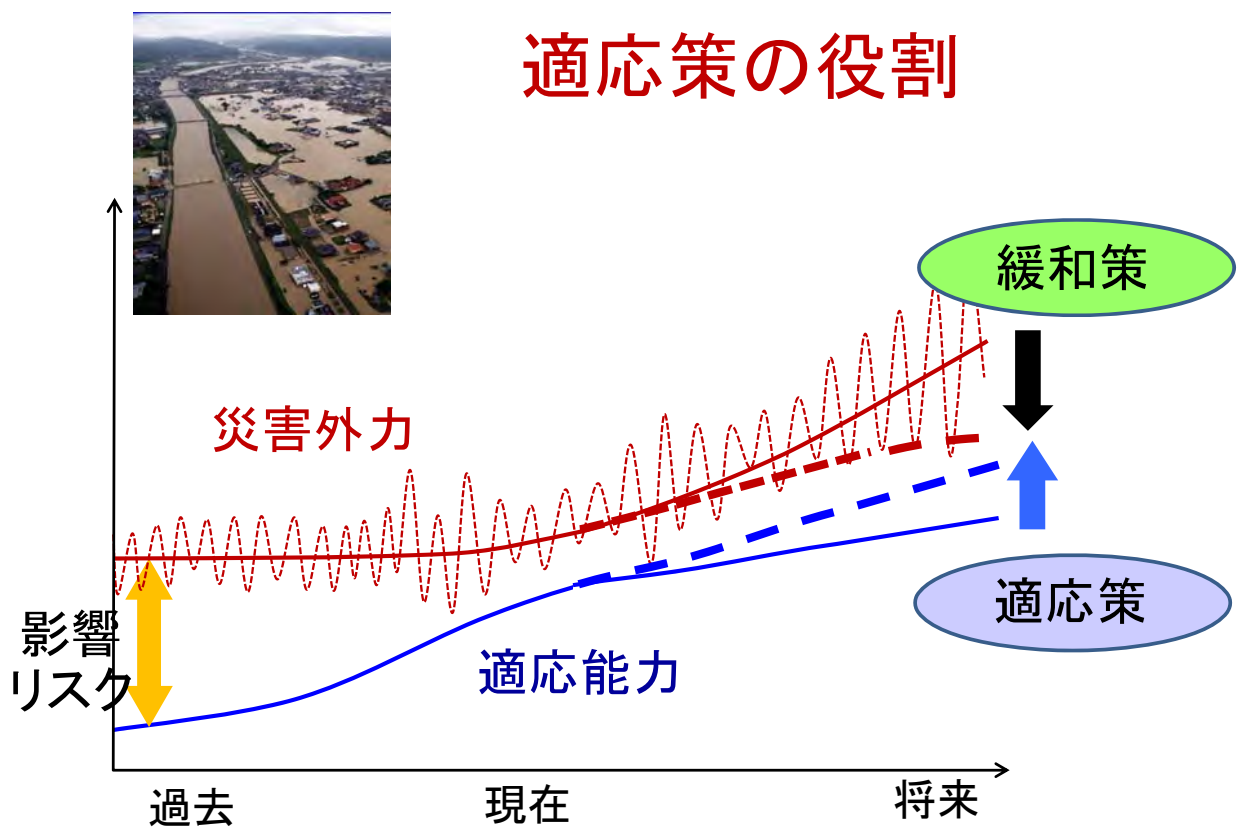
## Section B 将来のリスクと機会

- CO<sub>2</sub>の高い排出を継続すれば気候変動のリスクは非常に大きくなる。
- その結果、厳しく元に戻らない影響が世界に広く生じる可能性が高まる。

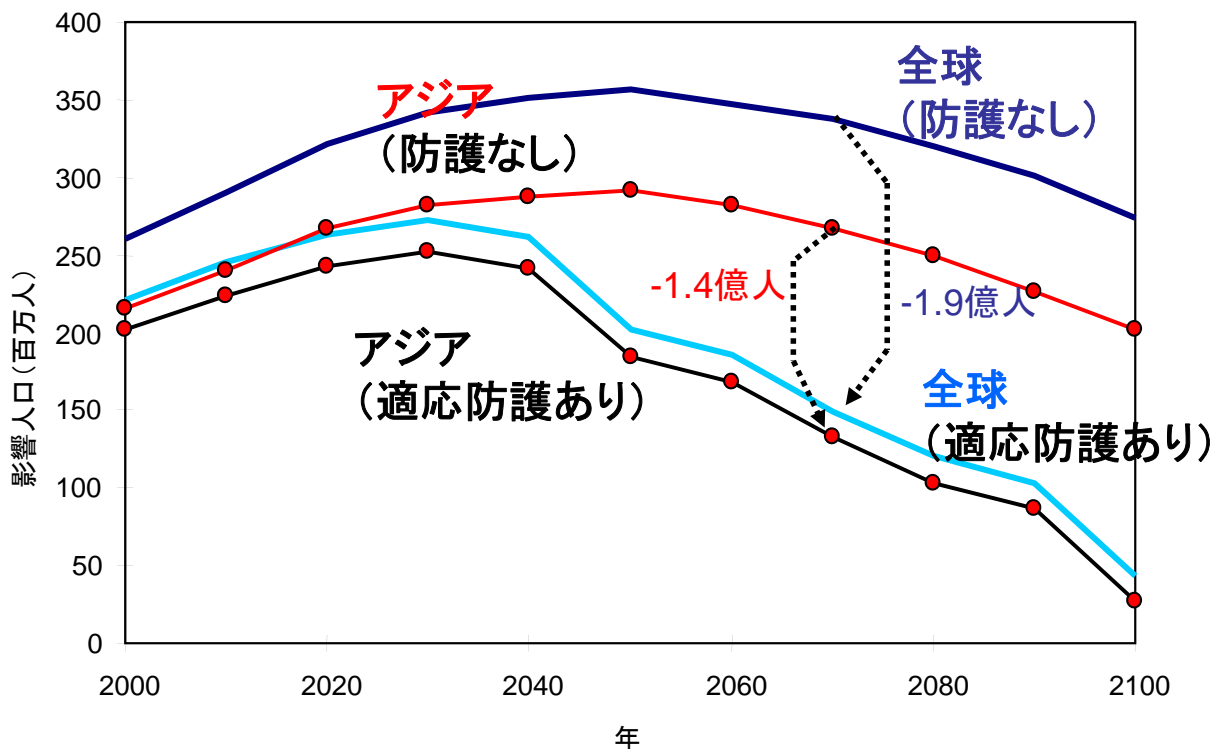
## 2. 適応の効果と限界

- 気候変動が大きければ、適応の限界を越える可能性がある
- 適応策で対処できるように緩和策を進めることが重要

17

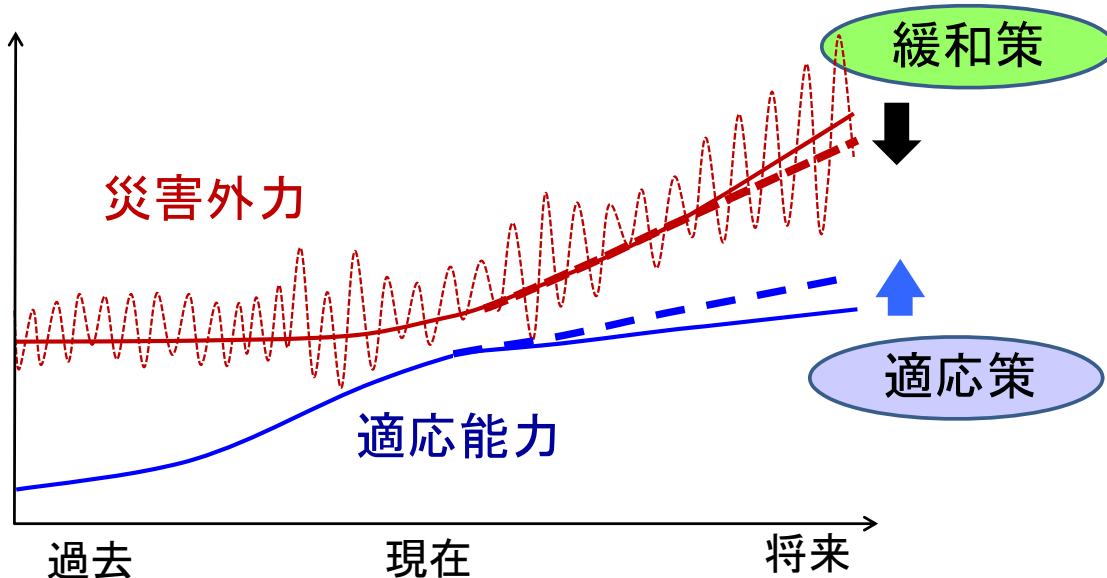


# 全球とアジアの影響人口の比較(A1B)



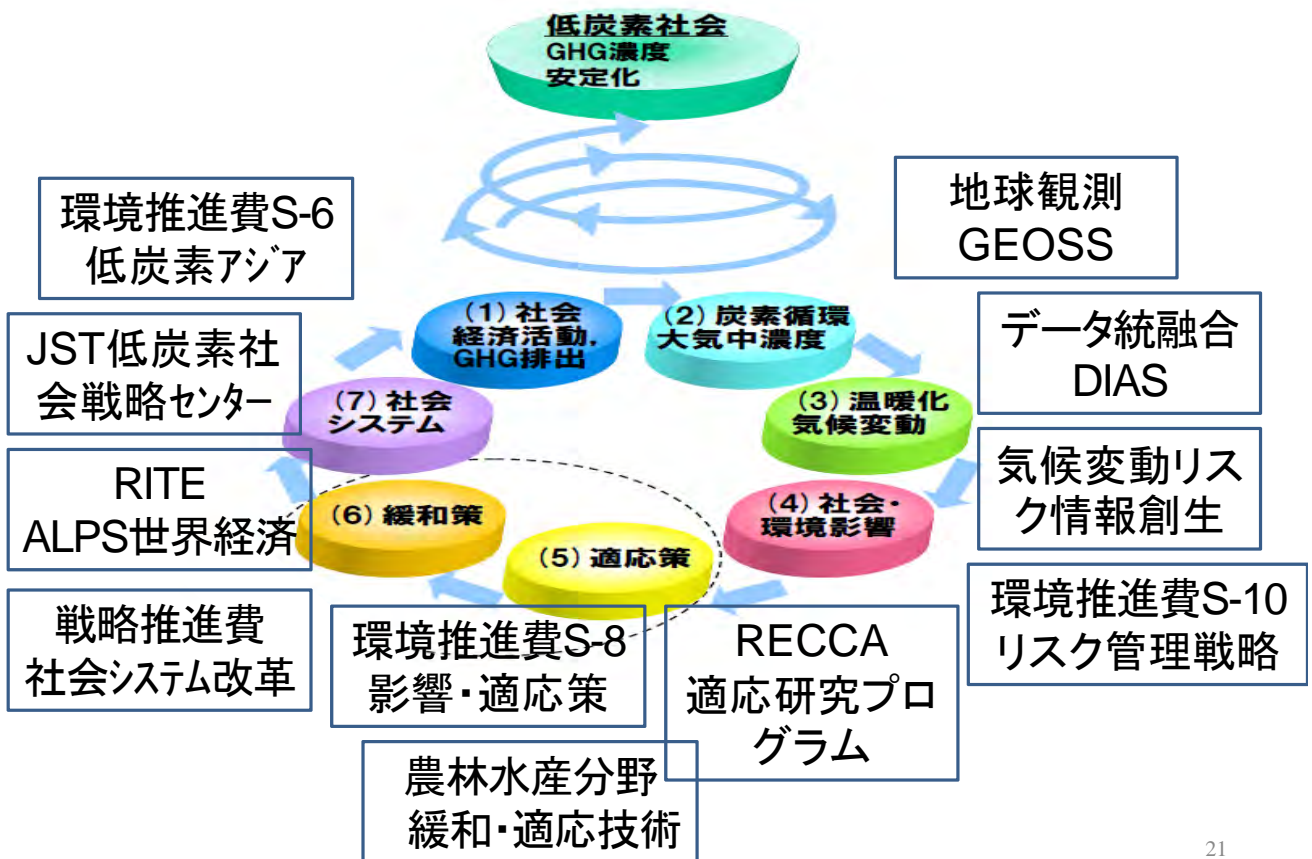
19

## 適応策の限界



緩和策と適応策は気候変動リスクを管理し、減少させる上で、相補的な役割を果たす

### 3. 研究プロジェクトの配置



### サステナビリティ学の展開: Future Earth

- 世界が参加する新しい10年研究計画
- 地球環境変動のリスクと機会への対応
- 地球持続性への変革
- 科学者と政策決定者、住民、企業などとの協働

Dynamic Planet



Transformations towards sustainability



Global Development



# 政府適応計画の策定

## 適応計画策定に向けたステップ

第114回中央環境審議会地球環境部会にて気候変動影響評価等小委員会を設置(平成25年7月2日)



- ・ 極端現象を見るためのより詳細な日本の気候変動の予測
- ・ 気候変動が日本にあたる影響の評価
- ・ それらの結果を踏まえたリスク情報の分析 等

気候変動の影響及びリスク評価と今後の課題を整理し、意見具申として取りまとめ(平成27年1月頃)



- ・ 政府全体で、短期的(～10年)、中期的(10～30年)、長期的(30年～100年)に適応策を重点的に講ずべき分野・課題を抽出
- ・ 各省における検討

不確実性、  
遷移状態下での  
政策決定

**政府全体の総合的、計画的な取組として、適応計画を策定(平成27年夏目途)**

国レベルと  
地域レベル

※定期的な見直し(5年程度を目処)

23

## まとめ

1. 気候変動は、他の災害や社会変化と重なって、大きなリスクになりうる。
2. 気候変動影響を抑制するためには、適応できる範囲に温暖化を抑える緩和策が重要。
3. 海面上昇やスーパー台風など、沿岸域は気候変動影響の焦点の地域。リスク予測、対策技術、経済評価などやるべきことは多い。
4. IPCCやFuture Earthなど、海岸工学コミュニティはさらに積極的に国際貢献できる。

24