

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

（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

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，影響評価，適応策 に関する大型プログラムが複数
あった / ある. 文科省，環境省

海岸工学分野の関係者の参画は少ないように思える
cf. 河川・水文分野

海岸工学では 一層 不確実な大問題（津波）があつて忙しい？

気候変動の問題を究める

- 予防原則？
- 不確実なことへの対処方法を会得する
気候変動，津波，人口動態 …

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

（最長120分，20時までで終了）

| | |
|---------------------------|------------|
| 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 | |

IPCC-AR5の分析と 海岸工学分野における着眼点

海岸工学講演会・前日シンポジウム
2014-11-11

茨城大学 工学部都市システム工学科
横木裕宗



IPCCとAR5

- Intergovernmental Panel on Climate Change
 - 国連の下部組織(WMOとUNEP)
 - 2008年ノーベル平和賞授与
 - 研究組織ではない. 研究成果の評価をするところ.
- Fifth Assessment Report (AR5)
 - 1990年のFAR (First Assessment Report)から, 約5年おきに出版. SAR, TAR, FAR??→AR4, AR5
 - WG1~3の3部冊
 - 1冊約1000ページ以上
 - 約100ページのTS (Technical Summary)と約20ページのSPM (Summary for Policy Makers)
 - IPCCの総会で承認作業(SPMのみ)
 - WG1: 2013/9/26, WG2: 2014/3/29, WG3: 2014/4/11
 - **統合報告書: 2014/11/1**



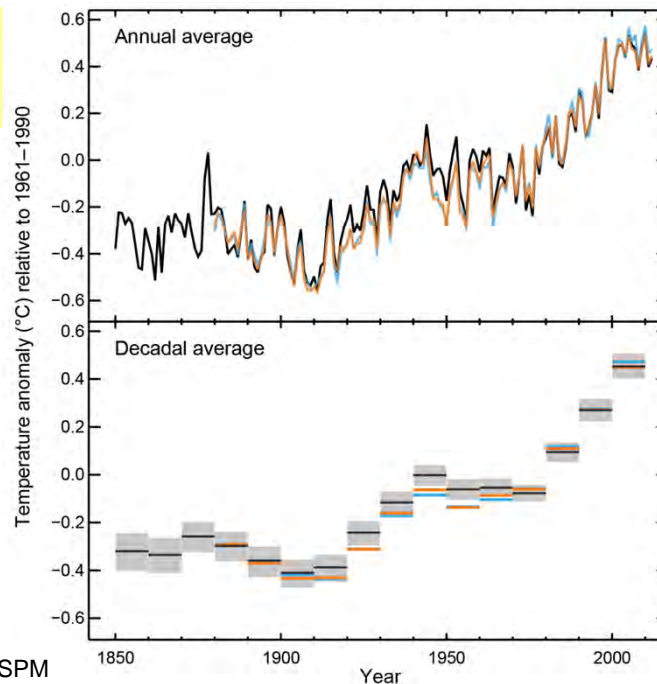
観測された気候変動とその要因

- 全球平均の気温上昇
 - 人為起源のGHG (CO₂)排出
- 海岸域・海洋では
 - 海面上昇, 高潮(異常潮位)
 - 降水量・融雪量増加
 - 海水温上昇
 - 海洋酸性化

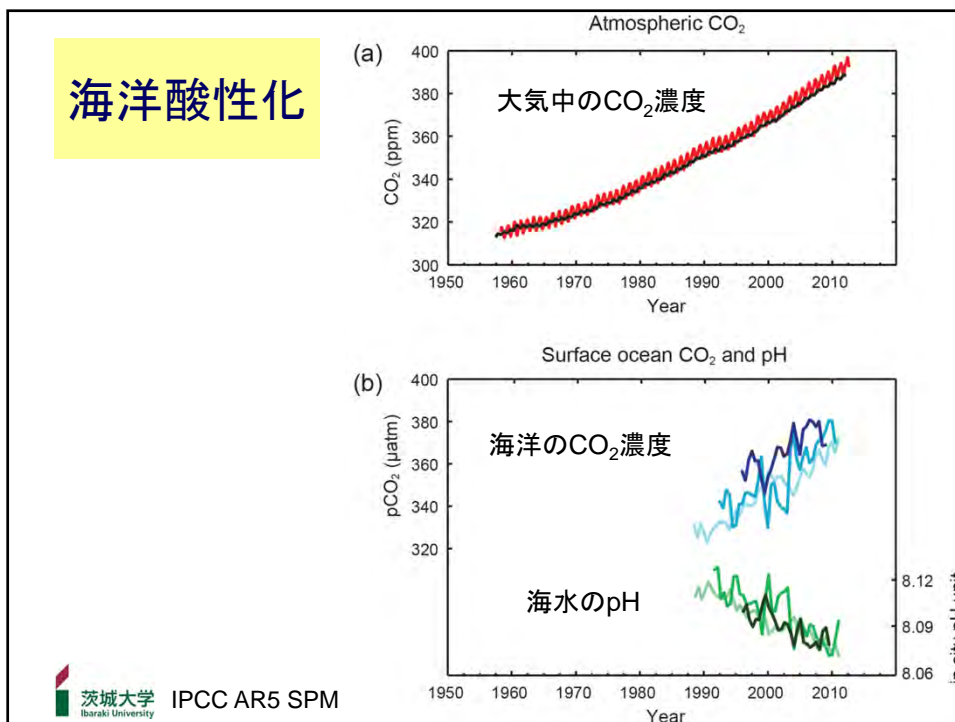
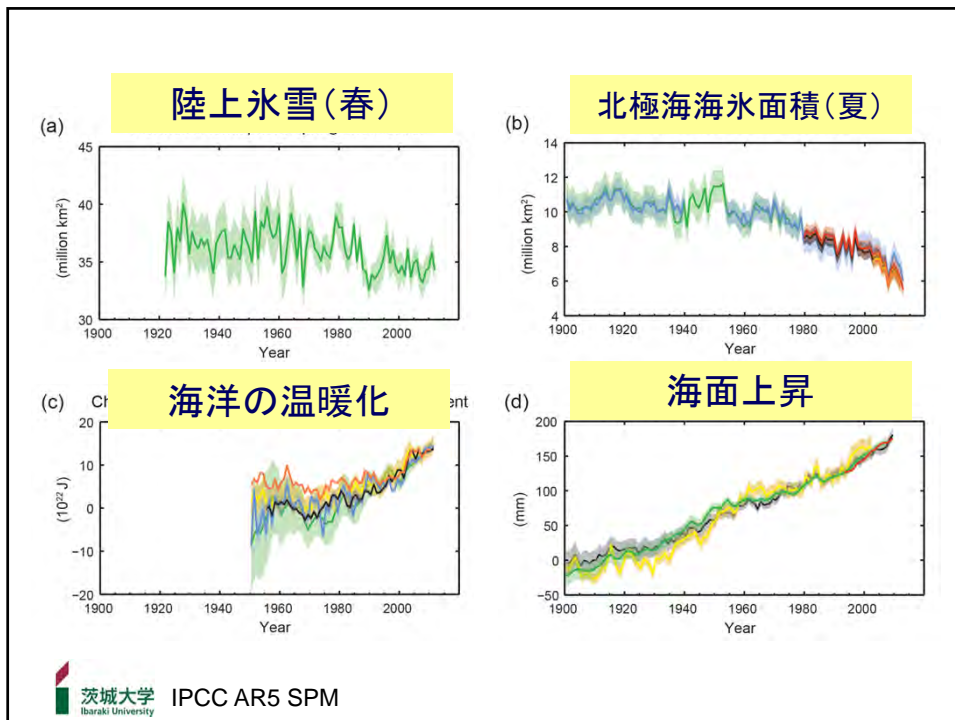


平均気温 の変化

- 気温上昇は加速している
- 数年から10年程度の変動も大きい
- 熱の大部分は海洋に蓄えられている



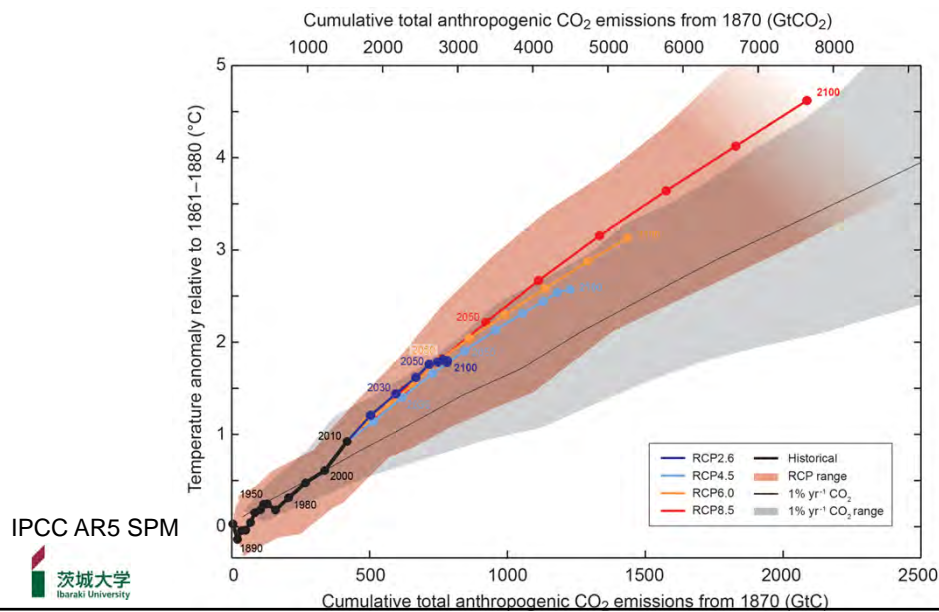
IPCC AR5 SPM



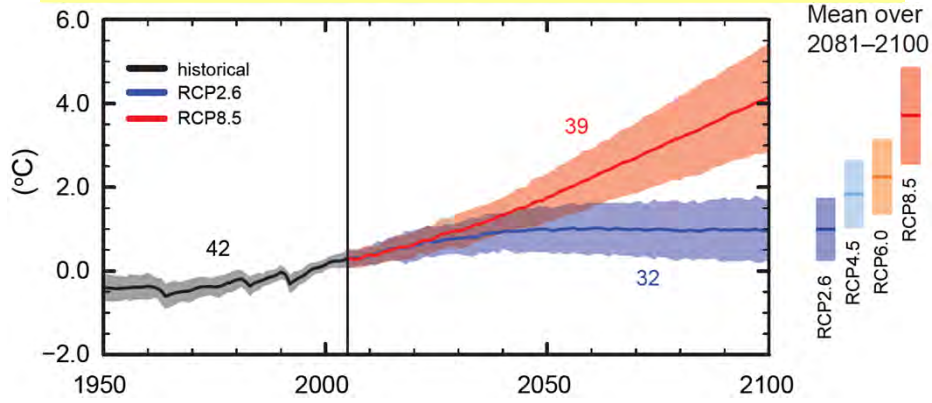
将来の気候変動と影響

- GHGの累積排出量で2100年(以降)の気温上昇が決まる.
 - RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5. 今の続きは6.0と8.5の間.
- 海面上昇, 海水温上昇, 酸性化が進む
- 降水量・パターンも変化する

GHGの累積排出量と気温上昇量

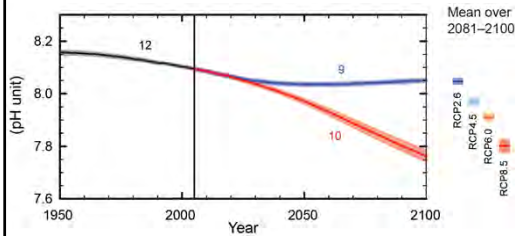


気温上昇の予測

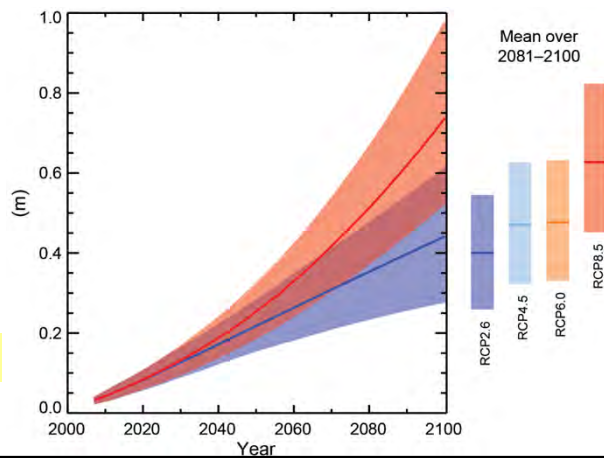


茨城大学 Ibaraki University IPCC AR5 SPM

海水のpHの将来予測

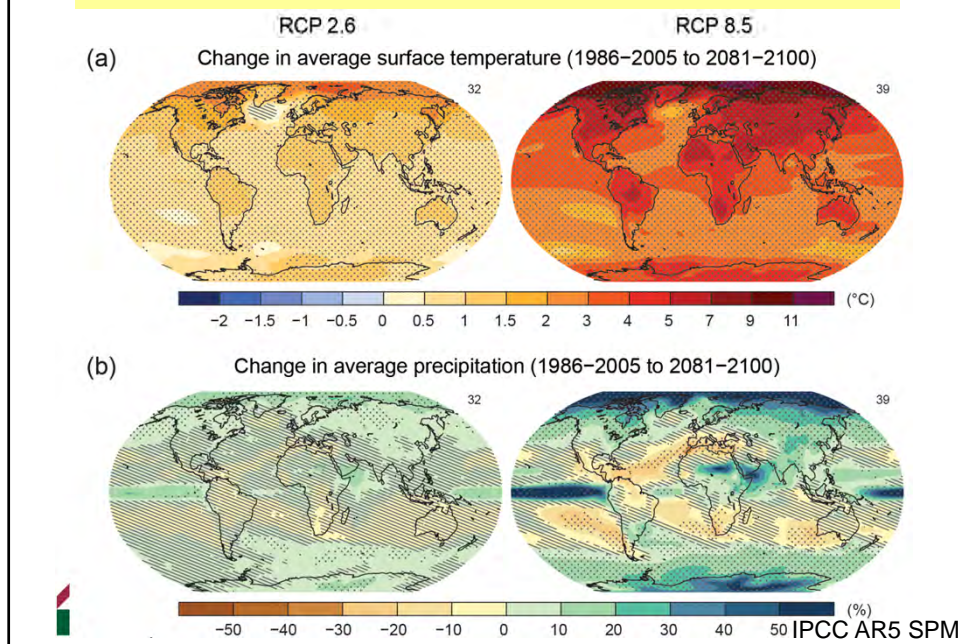


海面上昇の将来予測



茨城大学 Ibaraki University IPCC AR5 SPM

気温・降雨の将来予測: 自然的变化との比較



将来の気候変動と影響

- 気候変動によるリスク:
 - ハザードと(沿岸システムの)脆弱性(暴露, 対応能力)
 - リスクの評価には, 低頻度大規模事象を含めたあらゆる影響を評価する必要がある.
- 沿岸域・低平地
 - 海面上昇, 高潮
- 海洋生態系
 - 海水温上昇, 酸性化
 - 漁業生産
- 都市域(沿岸都市域)
 - 暴風, 集中豪雨, 洪水氾濫, 地滑り, 大気汚染, 渇水, 水不足, 海面上昇, 高潮

将来の気候変動と影響

- 長期にわたる影響
 - CO₂排出が停止した後、数百年間にわたって気温は上昇を続け、高止まりする。
 - 海水温上昇, 海面上昇, 氷床変化などは, 気温が安定化した後も, 数百年から数千年続く。

気候変動リスクへの対策

- 緩和策と適応策は補完的に実施される
 - 早く, 実効的な緩和を行うことで, 効果的な適応を行うことが出来る. その結果, 長期的に見て緩和策のコストが下がる.
- 政策決定のためには
 - 予想されるリスクとベネフィットの解析
 - リスクとその不確実性

緩和・適応によるリスク低減

- 気候変動による重要なリスク(Reasons for concern):
 - 固有で、脅威に曝された系
 - 海面上昇に対する沿岸域
 - 極端気象事象
 - 熱波, 豪雨, 沿岸氾濫
 - 影響の分布
 - 気候変動のリスクは不均一に分布
 - 影響の総量
 - 気温上昇に伴う, 全球での影響の合計
 - 大規模特異事象
 - グリーンランド氷床の融解



適応の過程

- 適応策は気候変動の影響によるリスクを小さくする
 - 現在の(気候変動)災害に対する脆弱性と暴露を低下させる. 開発と防災に寄与する.
 - 国, 地方政府などの階層別に矛盾なく実施される必要がある.
 - 土着の伝統的知識やシステムの活用
- 適応策の策定・実施を妨げるもの
 - 経済的・人的資源不足
 - ガバナンス不足
 - 影響の不確実性
 - リスクの多面的認識
 - 対立的価値の存在
 - リーダーシップ
 - 適応効果をモニターするツールがない
 - 研究, 観測(の財源)不足
- 影響が大きくなると, 適応効果が小さくなる.
 - 早く適応策を実施することで, 将来の選択肢も広がる



適応策

- **適応の技術的**(経済的, 社会的, 政策的)**転換**(変換)(transformation)
 - 追加的な(incremental)適応の繰り返しよりも, 効果的である.
- **適応コストと適応資金**
 - 適応策を促進するのに十分な資金はないようだが, 世界全体でどのくらい**適応コスト**がかかるのか?
- **緩和策も含めた相乗効果**, (悪い)副作用
 - 地域, セクターを越える緩和策・適応策を実施するのがいいに決まっているが, **相乗効果あるいは副作用**はどのようなものか.



まとめ

- **気候変動の影響**, リスク評価において, 海洋・沿岸域は重要で脆弱な分野である.
 - 影響評価や適応策策定・実施に向けて, 海岸工学的研究の重要性は高まる
- **適応策策定・実施に資する研究**
 - 適応効果の測定
 - 他の対策との相乗効果, 他の地域・分野への副作用の明示
 - 適応コストの提示



海岸工学に重要な将来変化の予測と その問題点

京都大学 防災研究所 森 信人



影響評価プログラム

■文科省

- 気候変動適応研究推進プログラム (RECCA)
 - ✓都道府県レベル
- 気候変動リスク情報創生プログラム
 - ✓テーマD 課題対応型の精密な影響評価
 - ✓日本・東アジアスケール

■環境省

- 温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究 (S-8→S-12)

Sousei Program (2012-2017)



Prof. Kimoto

Imminent global climate change
(AORI, UT)

Climate variability and change

Integrated prediction system

A



Dr. Kawamiya

Stabilization target setting
(JAMSTEC)

Long-term projection

Large-scale variations

B



Dr. Takayabu

Risk Information
(MRI)

Probabilistic climate projection

Producing a standard climate scenario

C



Prof. Nakakita

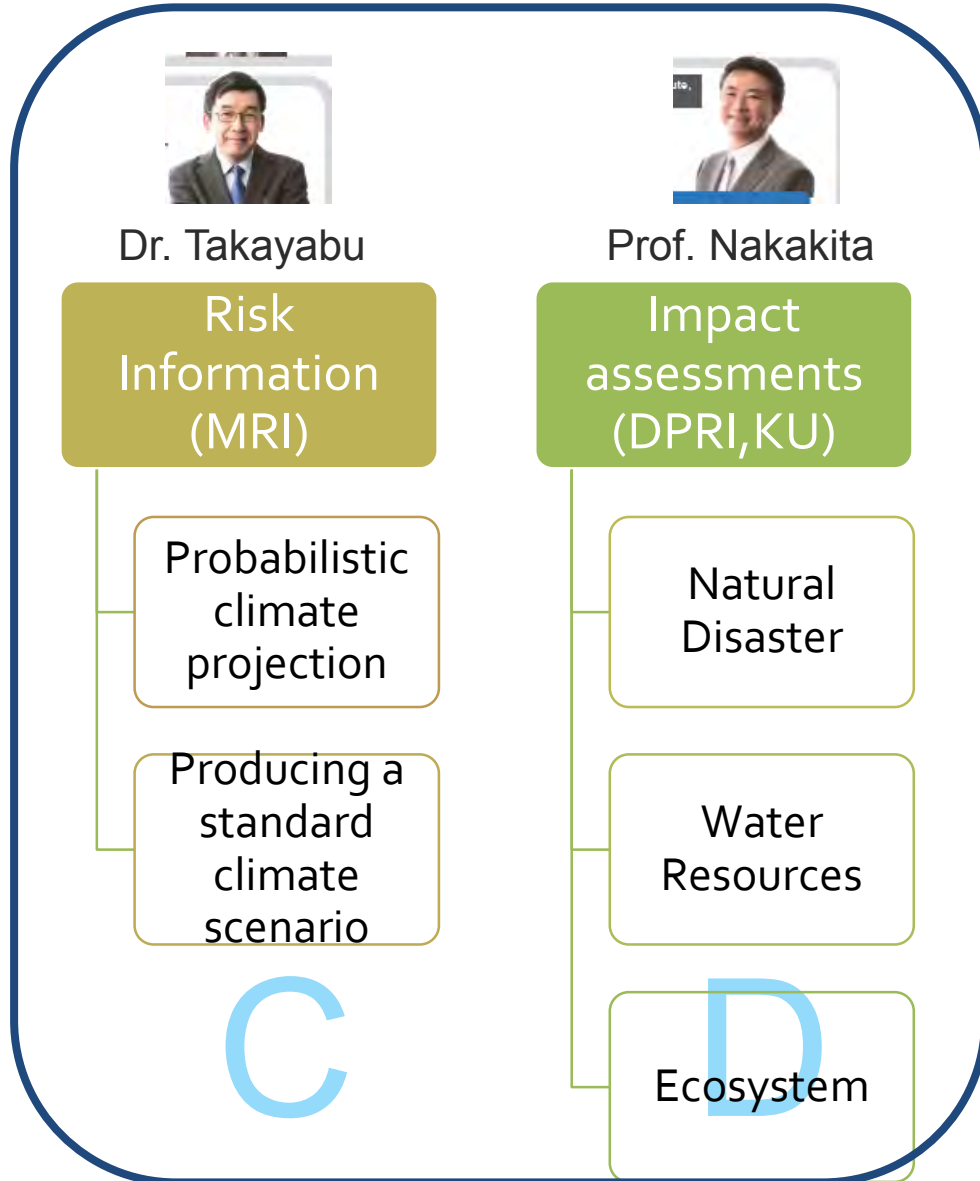
Impact assessments
(DPRI, KU)

Natural Disaster

Water Resources

Ecosystem

D





D-i-c

i-c: 沿岸災害リスク

外力評価

高潮

波浪

海面上昇

影響評価

砂浜・干
潟

海岸構造
物

氾濫

i-dと連携

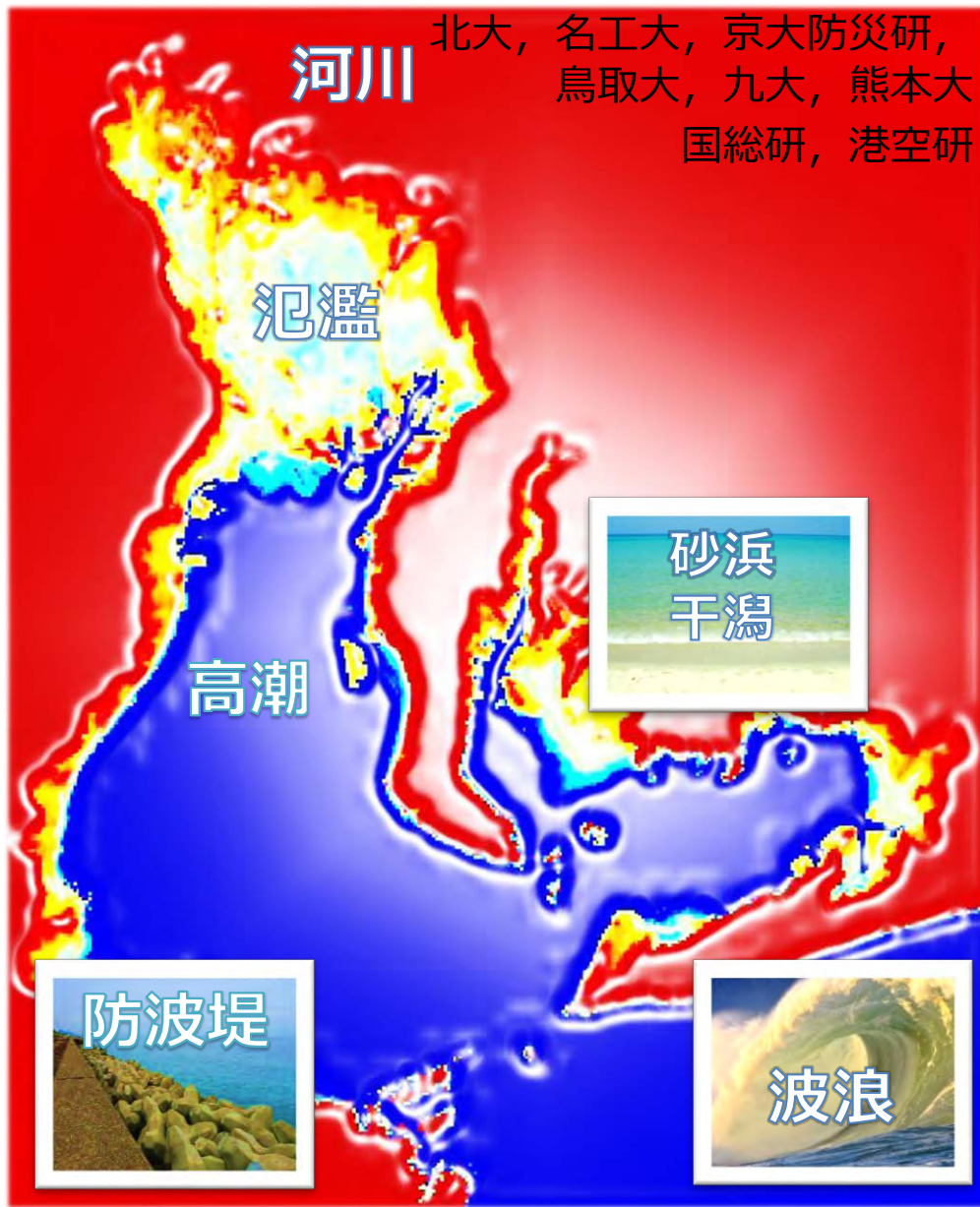
i-bと連携

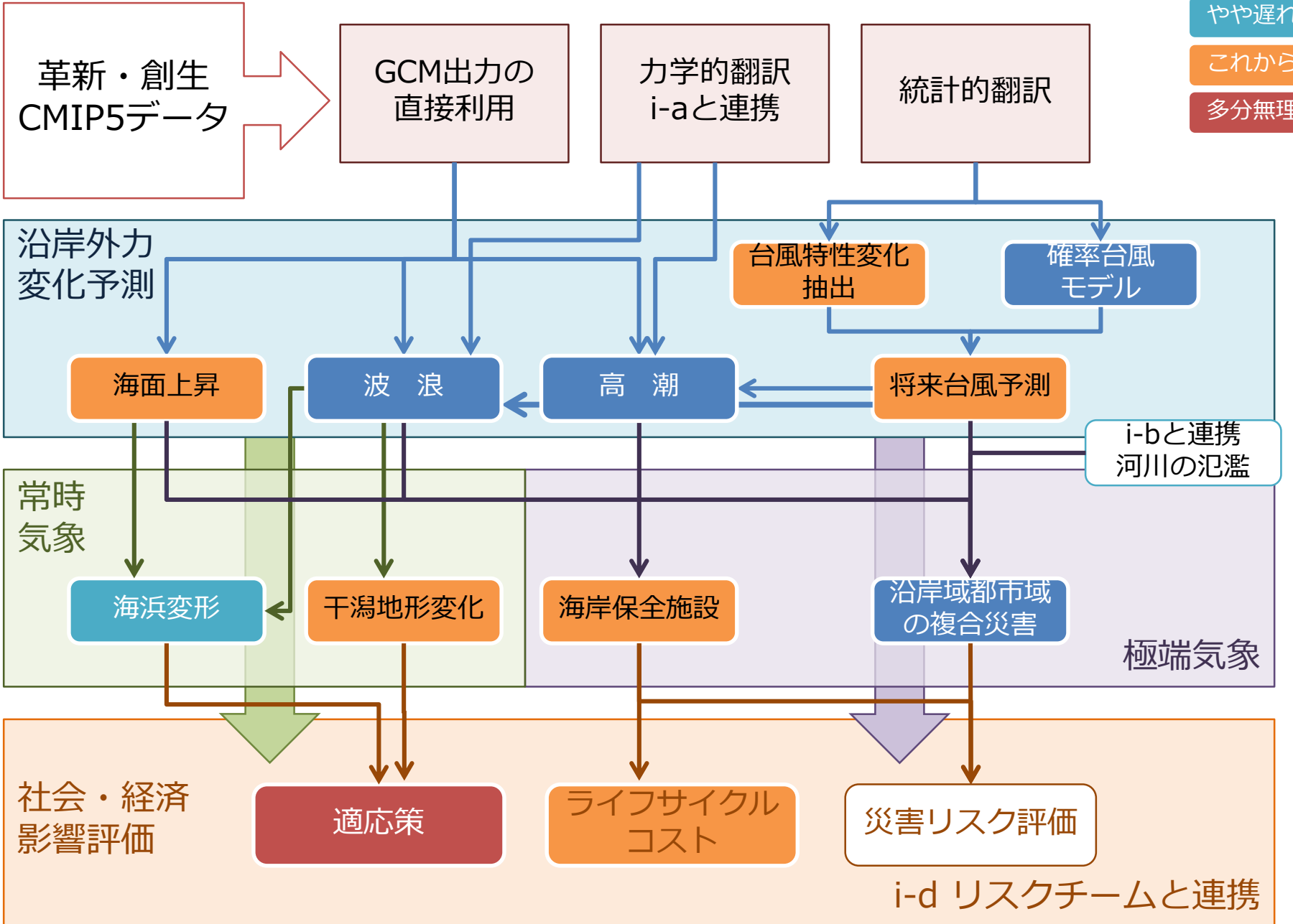
社会影響・適応策

ライフサイク
ルコスト

経済価値

北大, 名工大, 京大防災研,
鳥取大, 九大, 熊本大
国総研, 港空研





CMIP5での将来変化

- Chapter 12 Long-term Climate Change: Projections
 - Extratropical cyclones are fairly well resolved by most CMIP5 GCMs, whereas **tropical cyclones are not**, requiring resolutions finer than used by the large majority of CMIP5 GCMs.
- Chapter 9 Evaluation of Climate Models
 - It was concluded in the AR4 that high-resolution AGCMs generally reproduced the frequency and distribution, but **underestimated intensity of tropical cyclones**.
 - Mizuta et al. (2012) have shown that a newer version of the **MRI-AGCM** with improved parameterizations (at 20 km horizontal resolution) **simulates tropical cyclones as intense** as those observed with improved distribution as well.
 - Vortices that have some characteristics of tropical cyclones can also be detected and tracked in **AOGCMs** in CMIP3 and 5, but **their intensities are generally too weak**.

自然災害影響評価のアプローチ

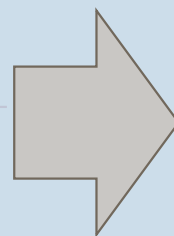
アプローチ

GCM/RCM直接利用

経路アンサンブル

最大クラス台風
(既往最大/擬似温暖化)

確率モデル



最大クラス

- インパクト評価
- 不確実性評価
- 社会・経済損失

確率評価

- XXX年確率
- 不確実性評価
- 社会・経済損失

研究の現状



D-i-c

i-c: 沿岸災害リスク：波浪

外力評価

高潮

波浪

海面上昇



影響評価

砂浜・干
潟

海岸構造
物

氾濫

i-dと連携

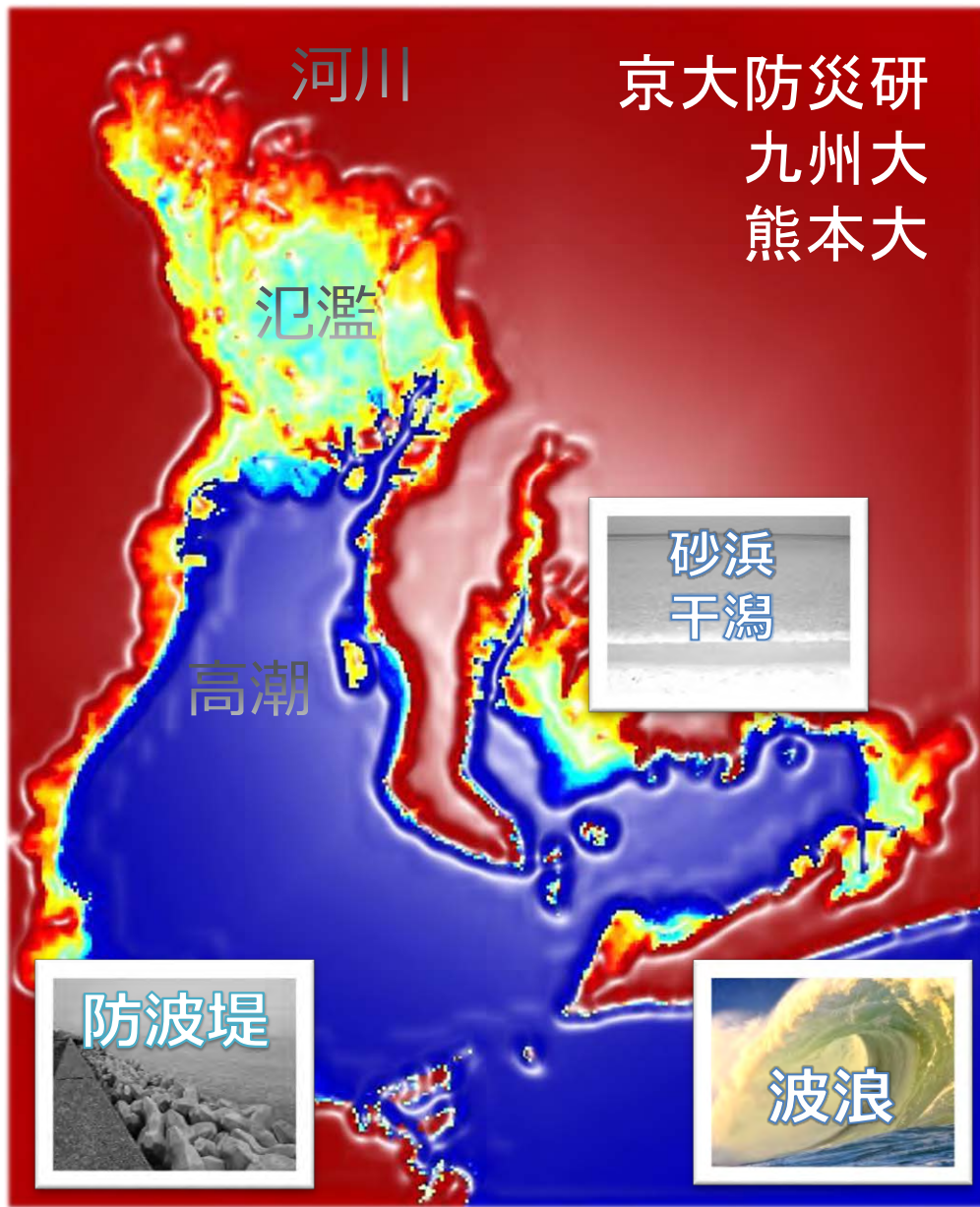
i-bと連携



社会影響・適応策

ライフサイク
ルコスト

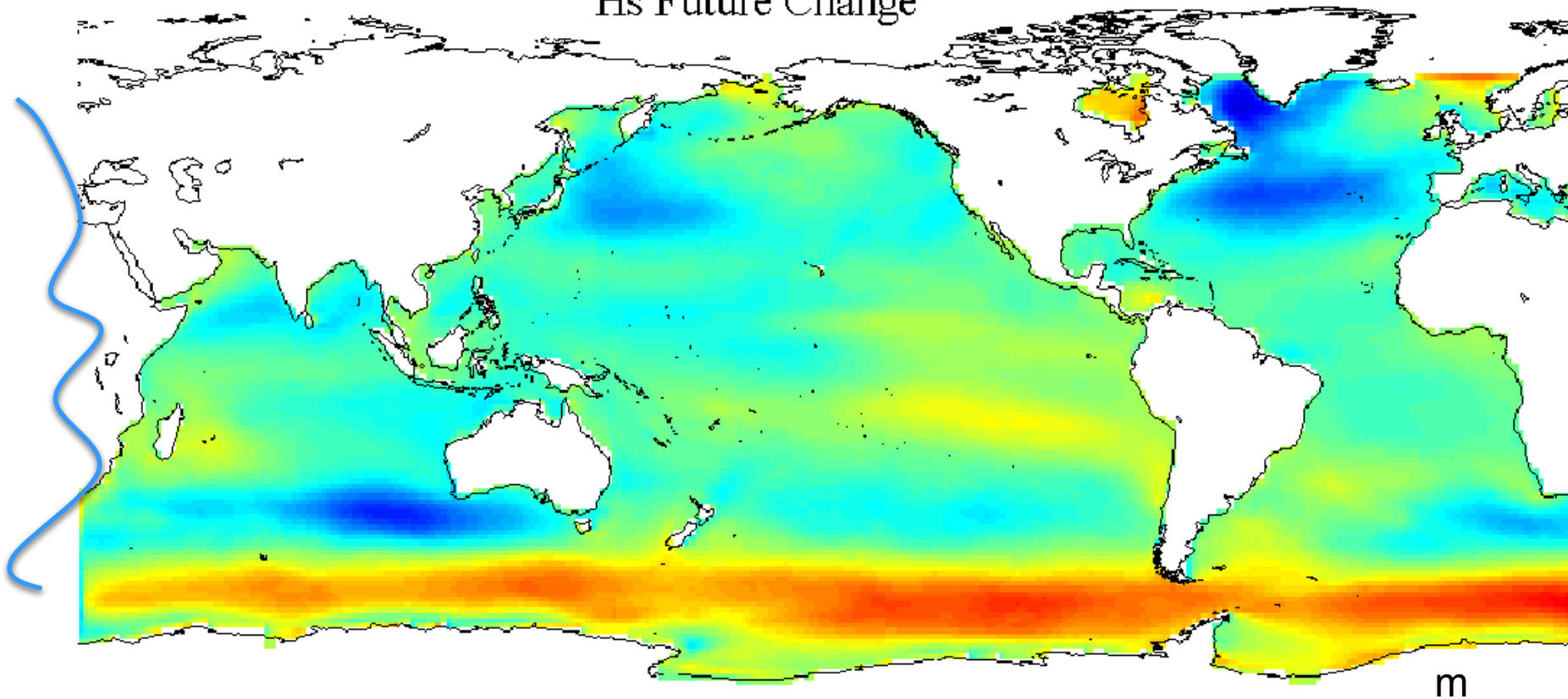
経済価値





Averaged H_s : Future-Present

H_s Future Change

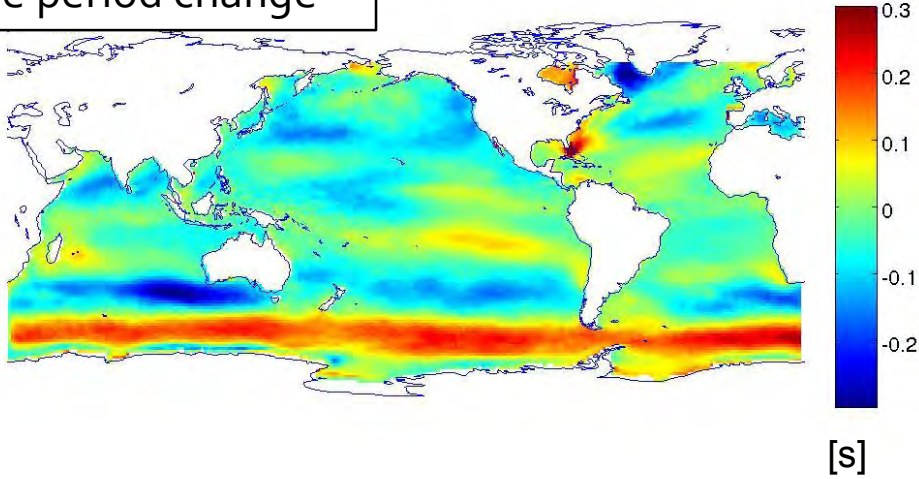


m



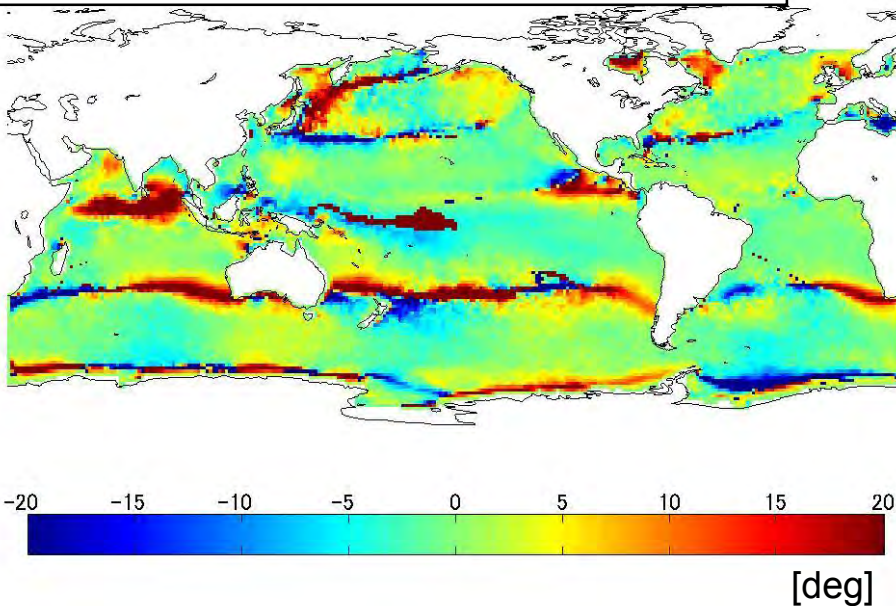
-0.25 -0.2 -0.15 -0.1 -0.05 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25

Wave period change



averaged Wdir: Future - Present

Wave direction change



Uncertainty
of Future
Climate
Projection

- U₁₀, SLP, SST
- Global circulation

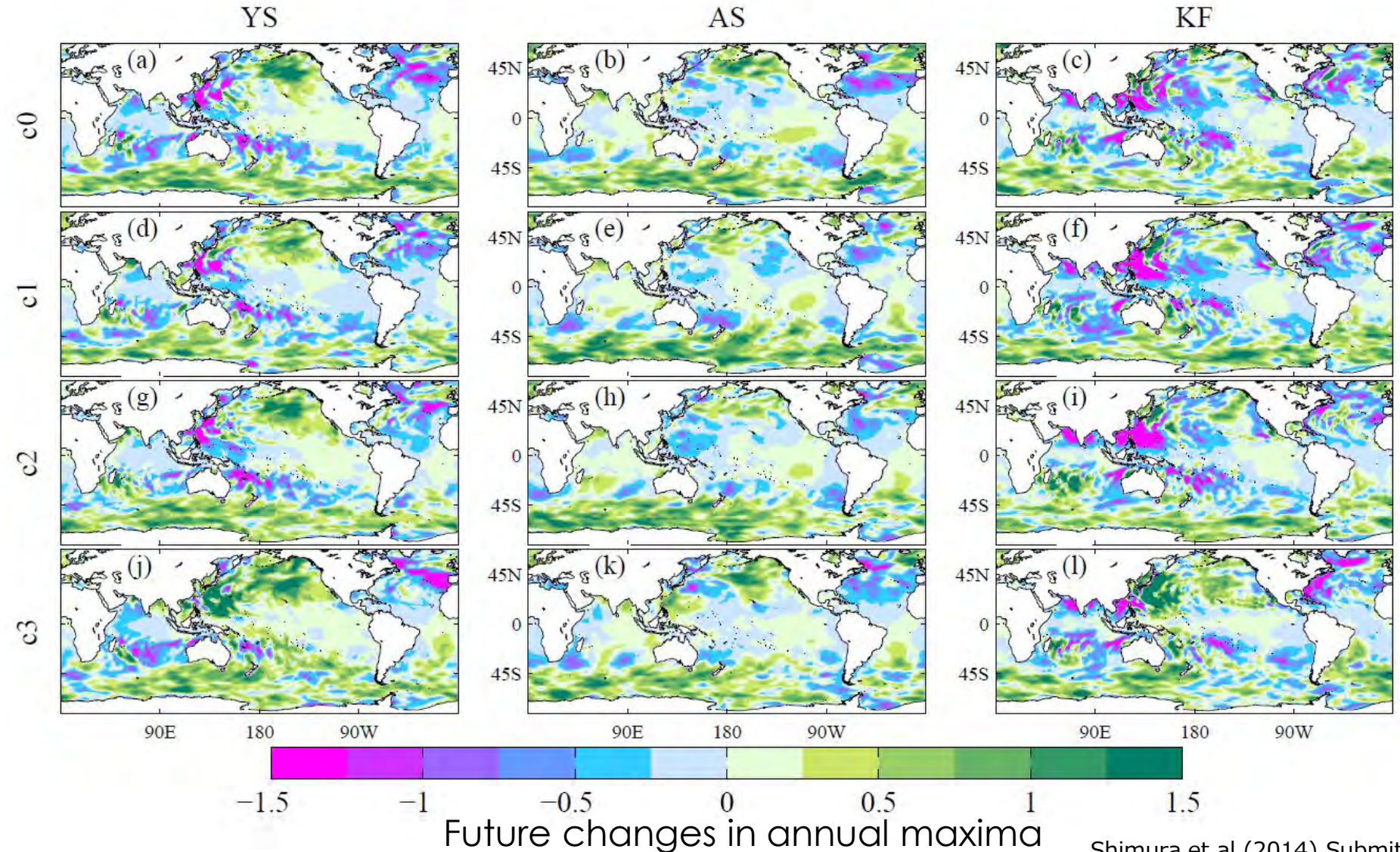
Future
Wave
Climate
Change

- Annual wave height
- Extreme wave
- Period and direction

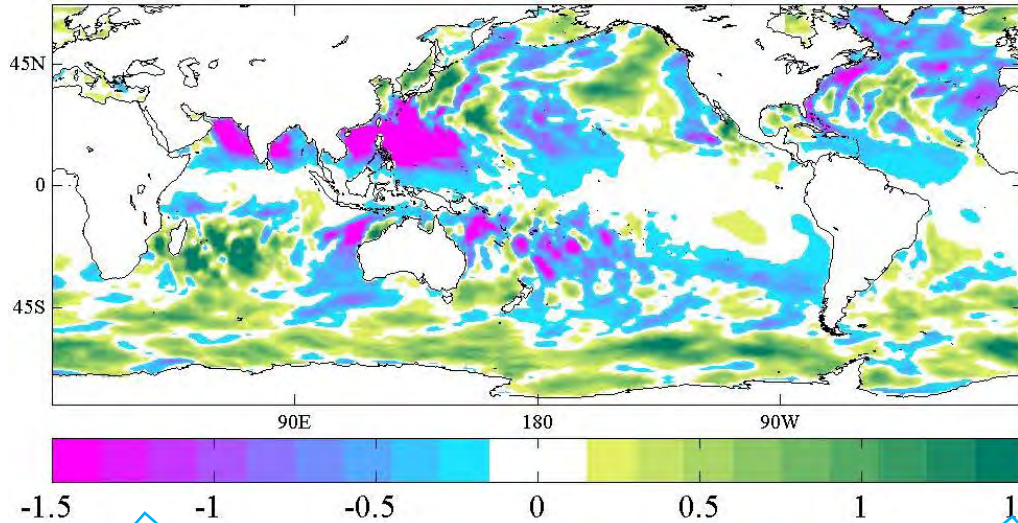
Coastal
Climate
Change

- Breakwater
- Sea level rise
- Coastal morphology

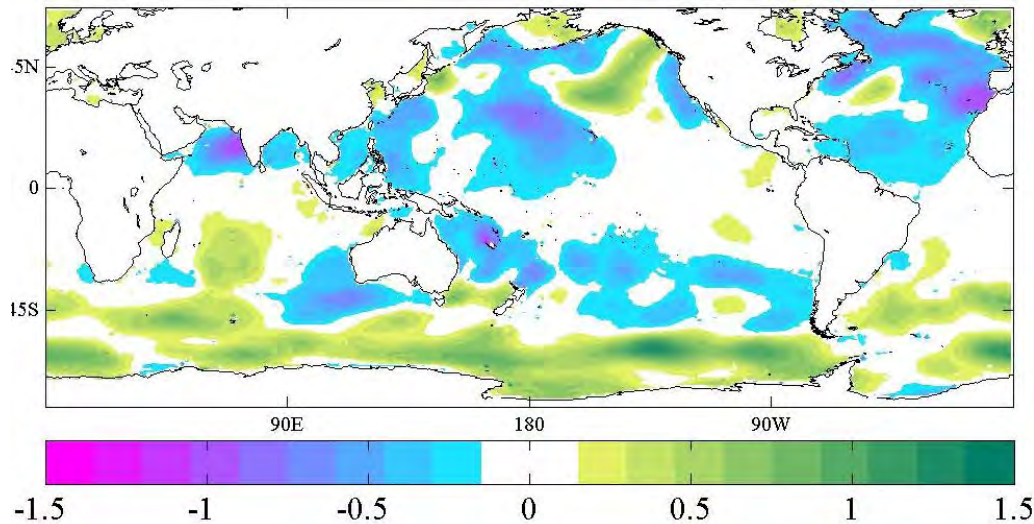
アンサンブル実験による波浪将来変化 年最大：MRI-AGCM3.2H



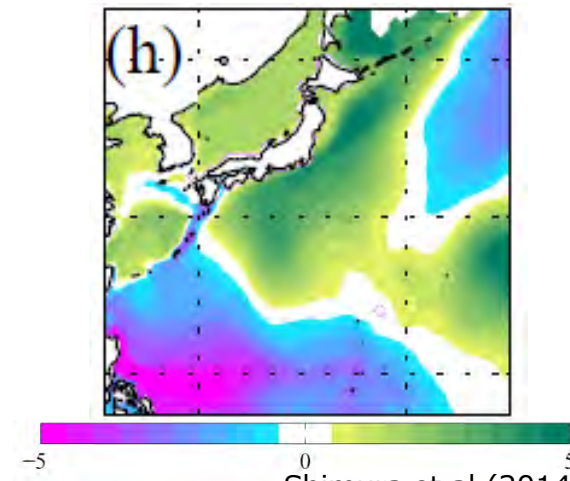
アンサンブル実験による波浪将来変化 年最大波高：台風・非台風イベント



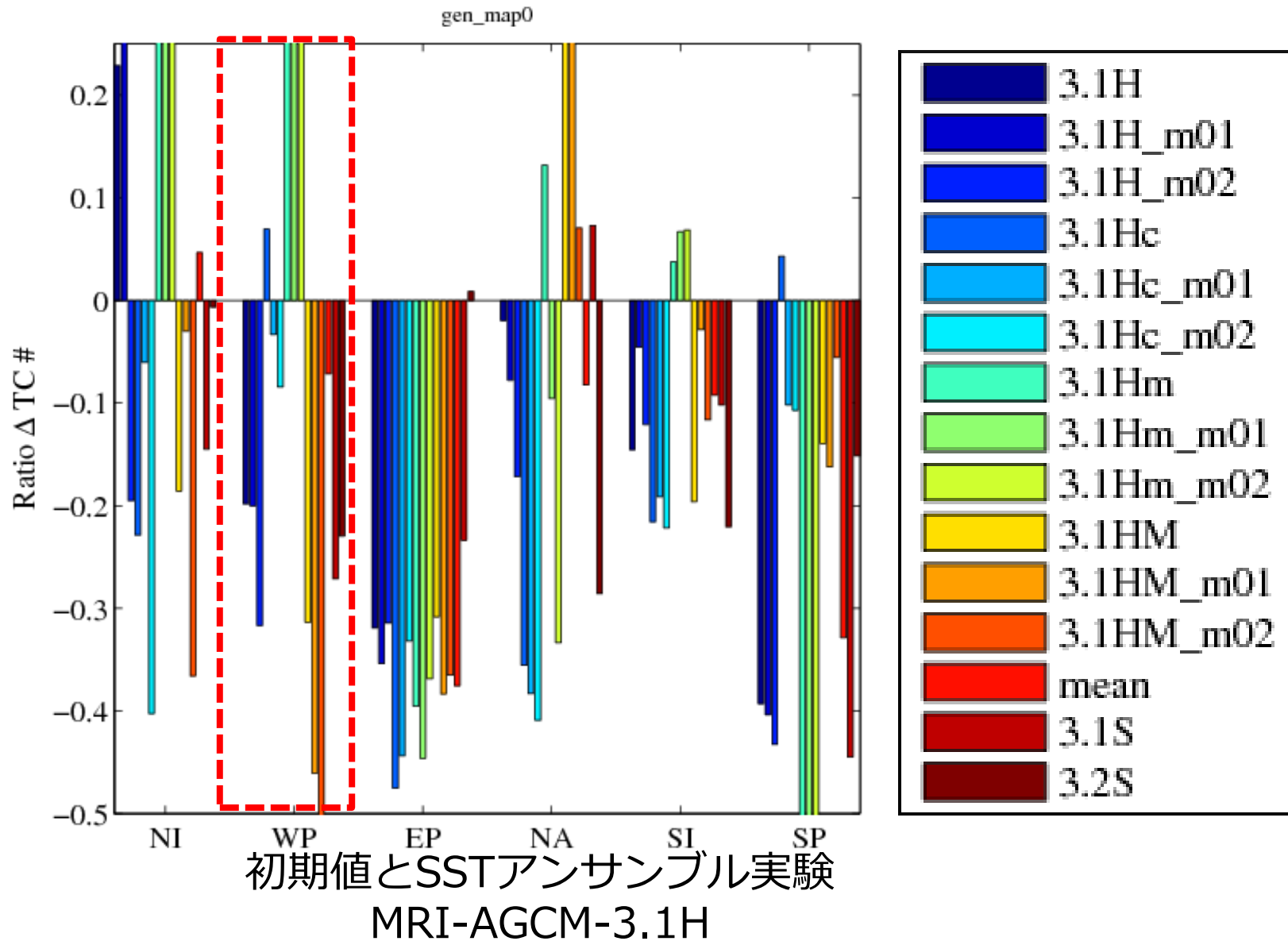
Non-TC extreme wave heights



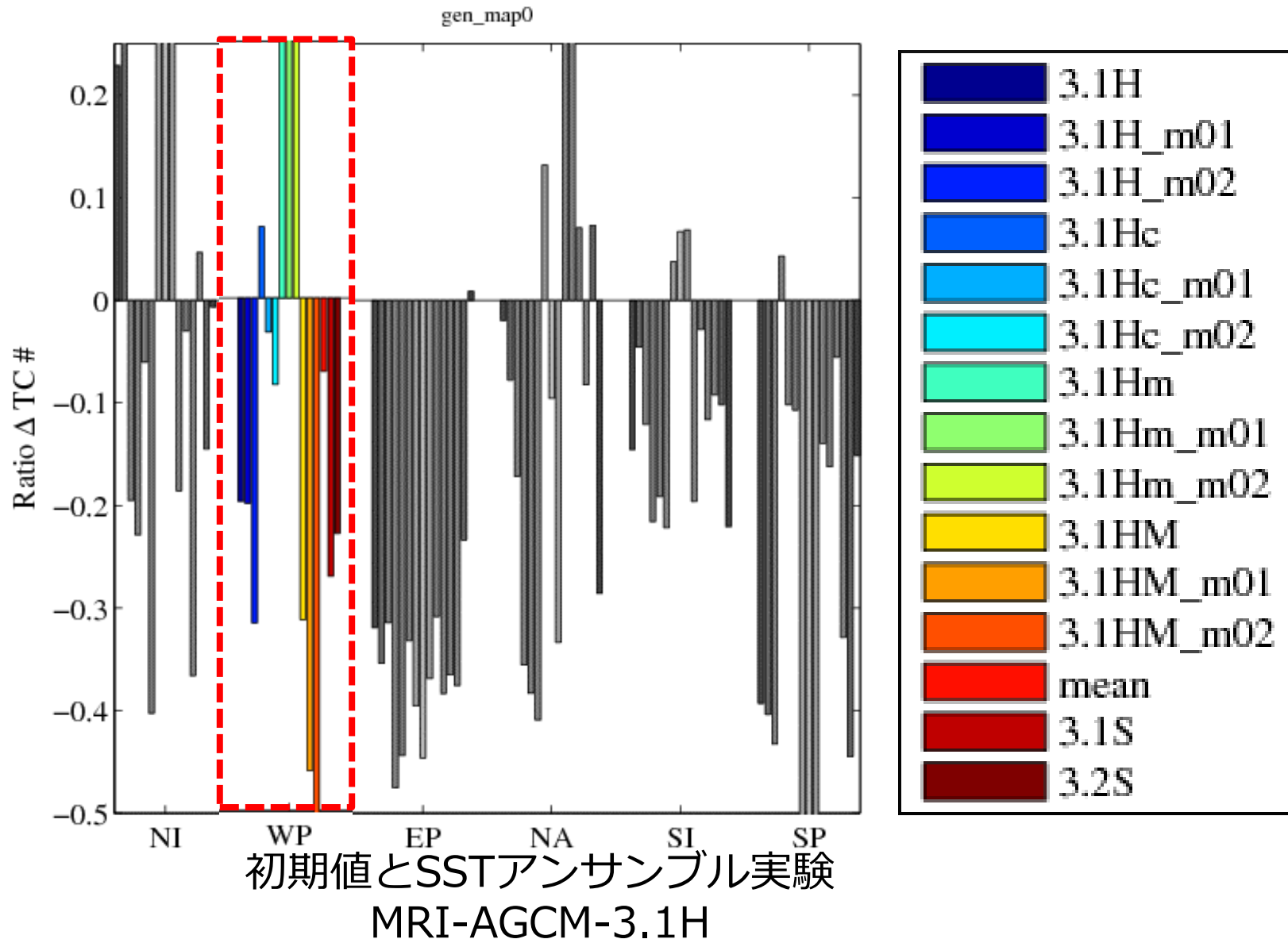
TC extreme wave heights in WNP



台風発生個数：将来変化

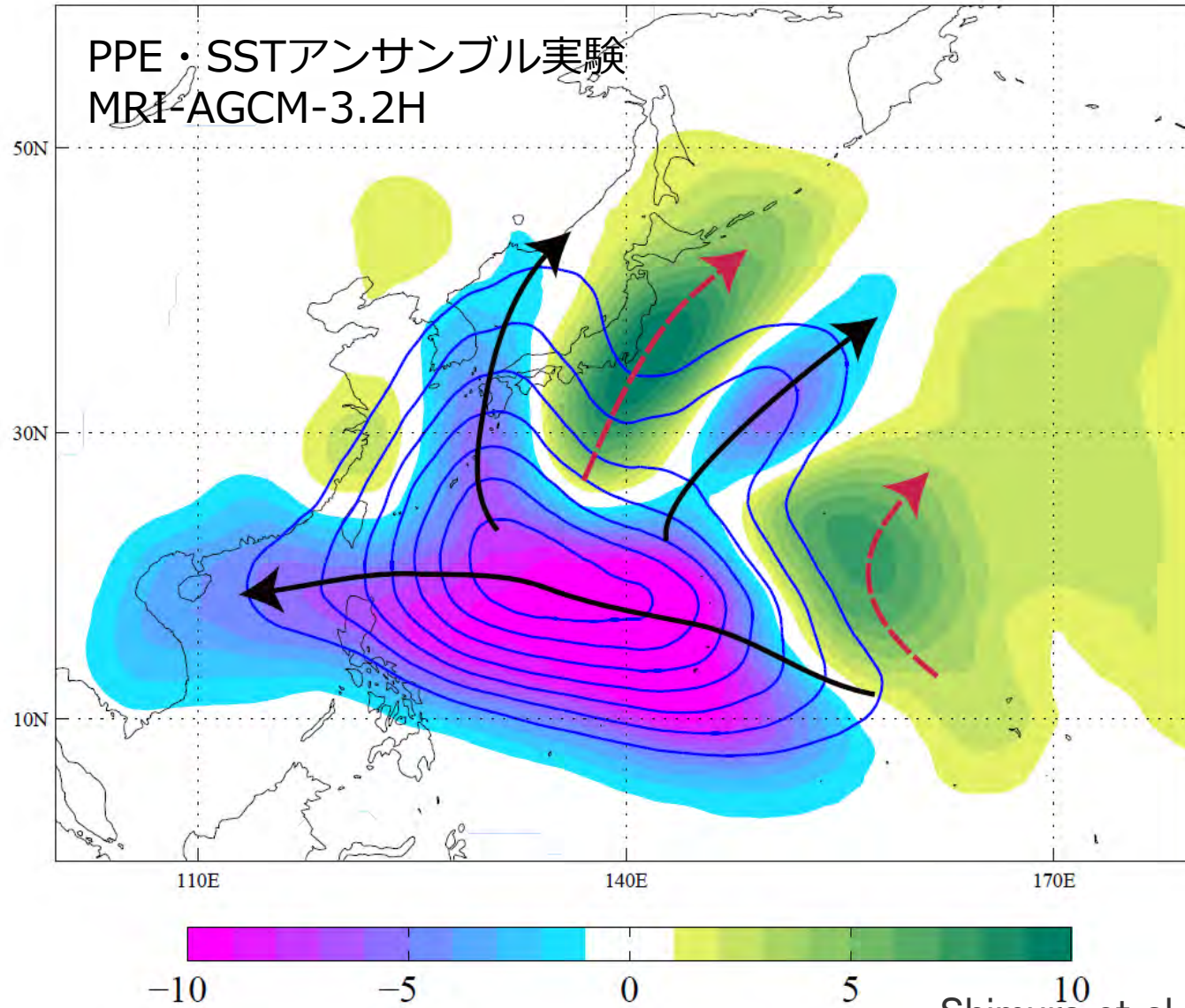


台風発生個数：将来変化



台風個数の将来変化

2000年-2100年





D-i-c

i-c: 沿岸災害リスク：高潮

外力評価

高潮

波浪

海面上昇



影響評価

砂浜・干
潟

海岸構造
物

氾濫

i-dと連携

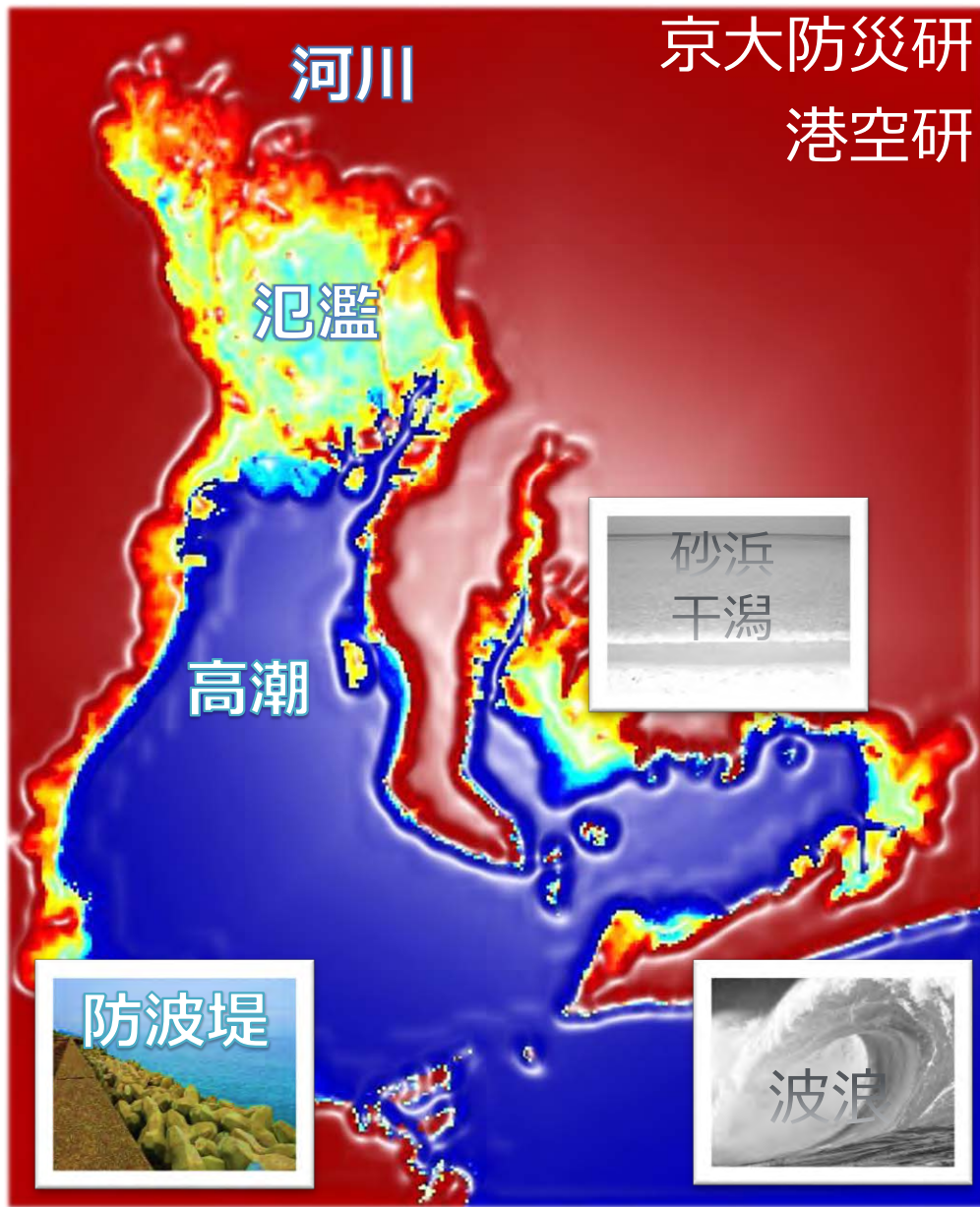
i-bと連携



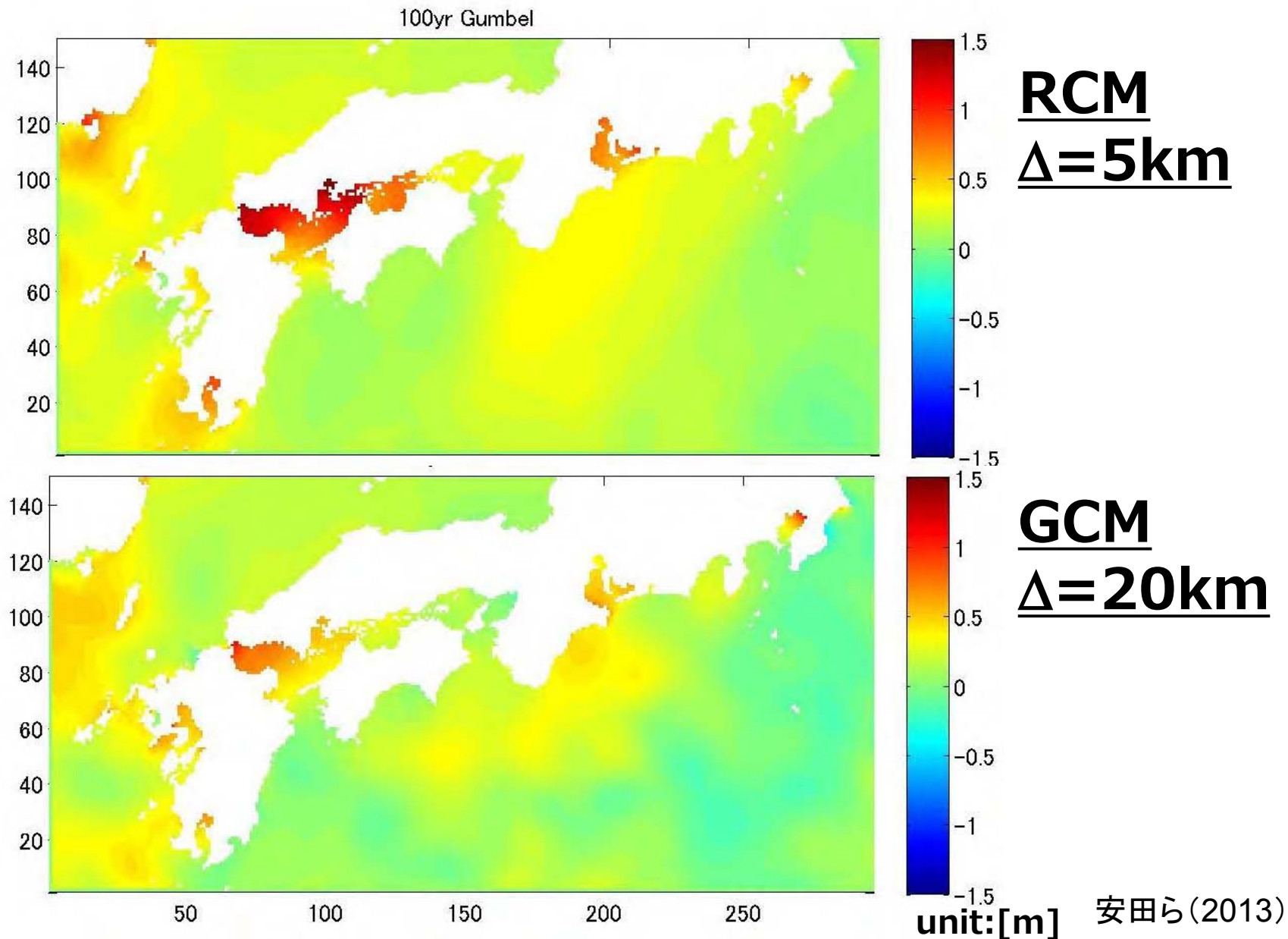
社会影響・適応策

ライフサイク
ルコスト

経済価値



GCMを直接用いた高潮偏差の将来変化



擬似温暖化・経路アンサンブル

擬似温暖化

海水温等を変化させたダウン
スケーリング実験

経路アンサンブル

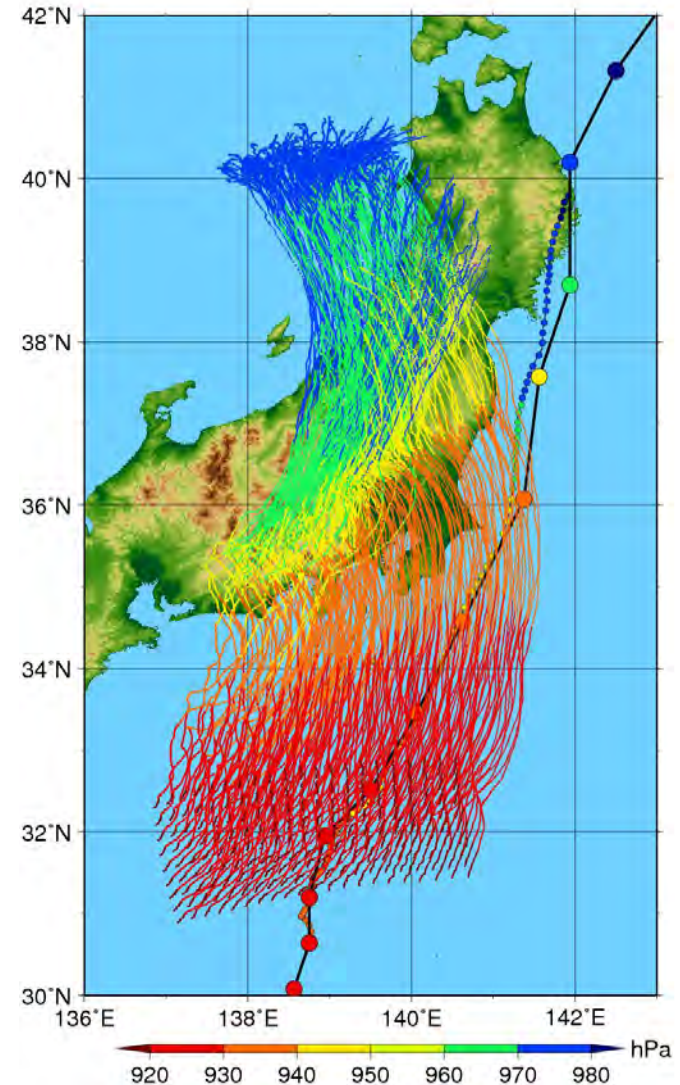
台風の初期値擾動することにより、
経路の違いによる台風
特性の変化を評価

メリット

海水温等との単純な応答を見
ることが出来る
経路がずれた場合の影響評価
が可能
力学的整合性

デメリット

限られた想定内のアンサンブル
大幅な経路変化は望めない



確率台風モデル

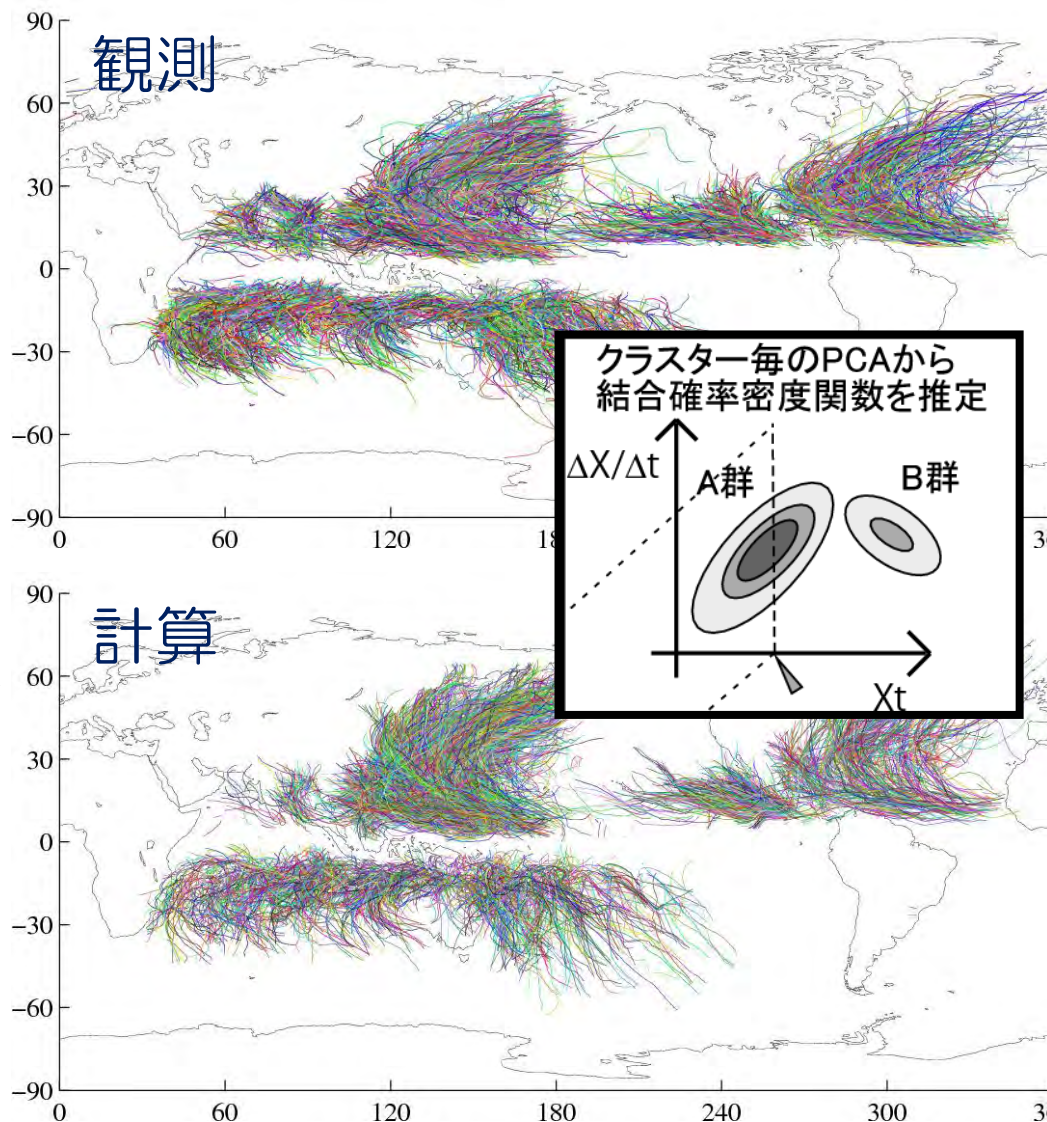
台風のマクロ特性
(中心気圧)を確率的
モデル化し、モン
テカルロシミュ
レーション

メリット

イベント数無限

デメリット

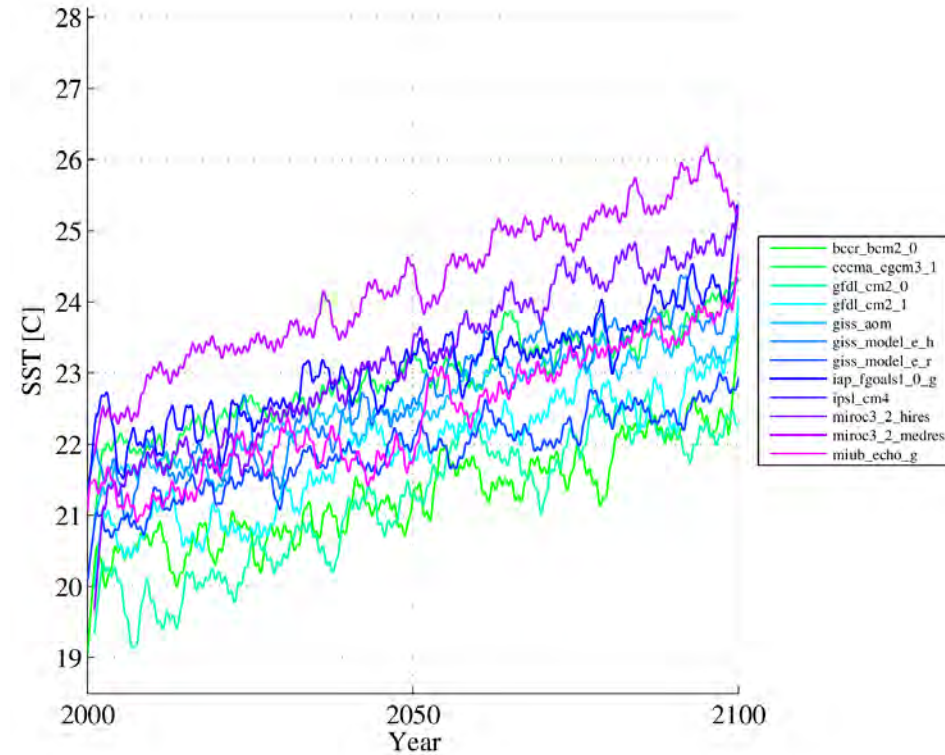
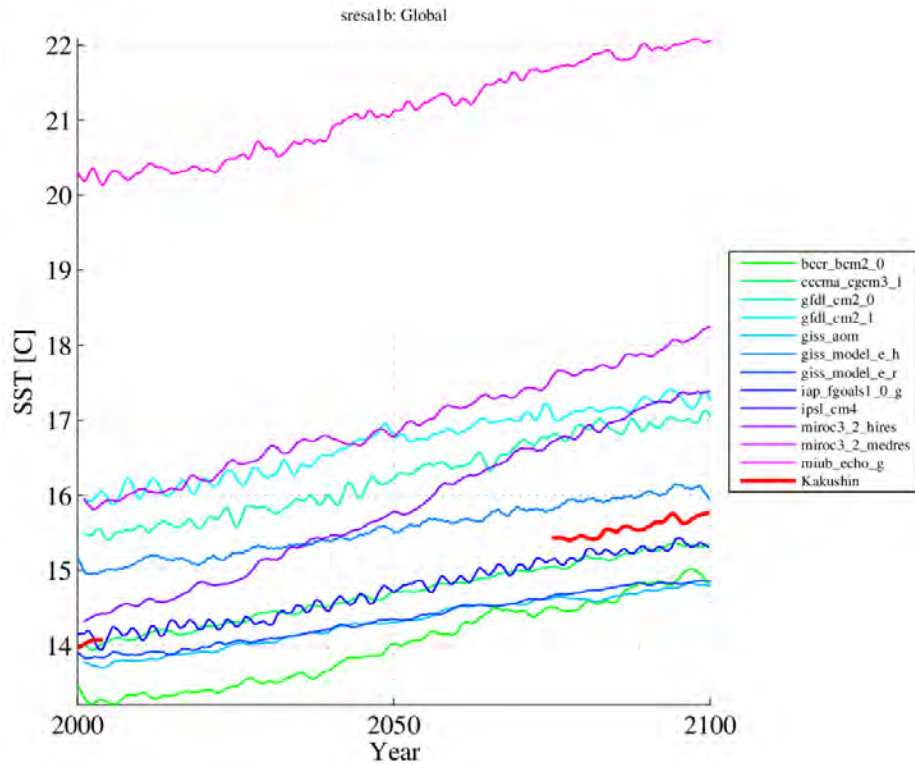
パラメトリックな台
風モデルを用いるた
め、力学的特性は無
視



創生D沿岸災害Gにおける 高潮評価のアプローチ

- GCM/RCM直接利用
 - 物理的・気候学的整合性
 - × サンプル数の欠如（最大クラス，確率評価）
- PV-Inversion等による経路アンサンブル・擬似温暖化実験
 - ある程度の経路依存性評価が可能
 - × 限られたパラメータ空間上の検討
（最大クラス，確率評価）
- 高潮にとってのTCのパラメータサーベイ
 - 最大クラス評価が可能
 - × 物理的・気候学的整合性，生起確率，計算時間
- 確率台風モデル+物理モデル/統計モデル
 - サンプル数の確保
 - × 物理的・気候学的整合性，計算時間

擬似温暖化実験 将来気候条件の設定の難しさ



月平均SST: 全球[K]

月平均SST: 日本周辺[K]

SSTだけ将来を与えると大気条件とマッチングしない

→人工的に強い将来変化となる

気候学的整合性を維持しつつどのように極端気象をダウンスケーリングするか



D-i-c

i-c: 沿岸災害リスク：海浜・干潟・構造物

外力評価

高潮

高波

海面上昇

影響評価

砂浜・干
潟

海岸構造
物

氾濫

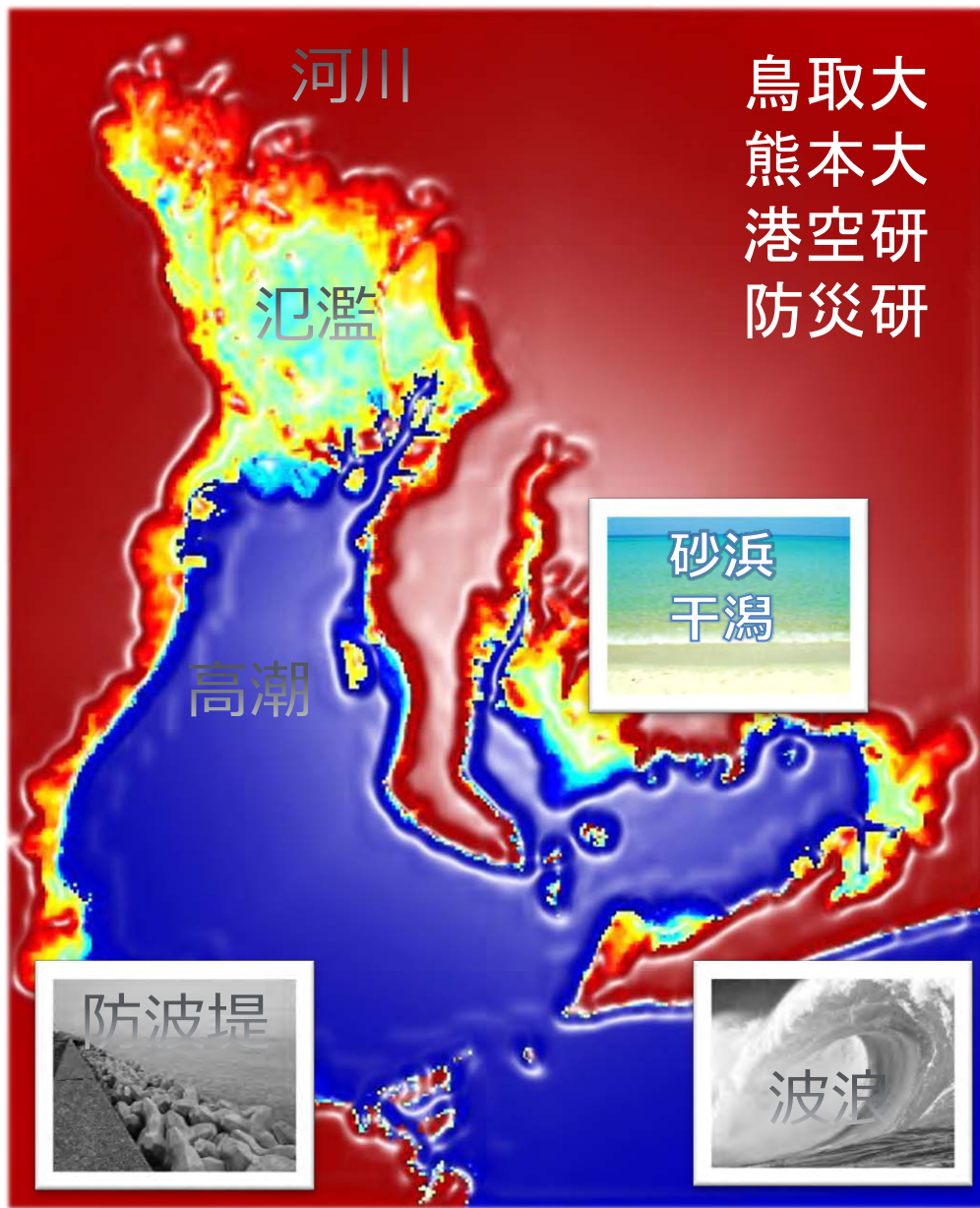
i-dと連携

i-bと連携

社会影響・適応策

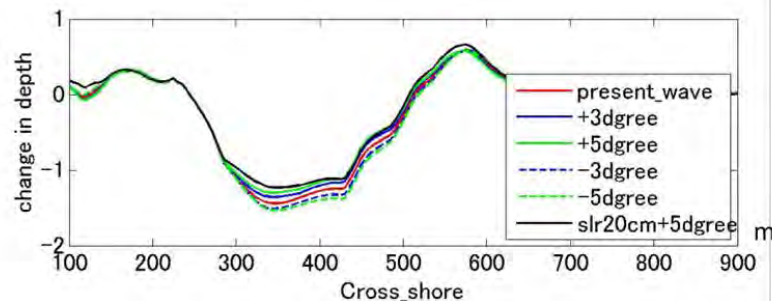
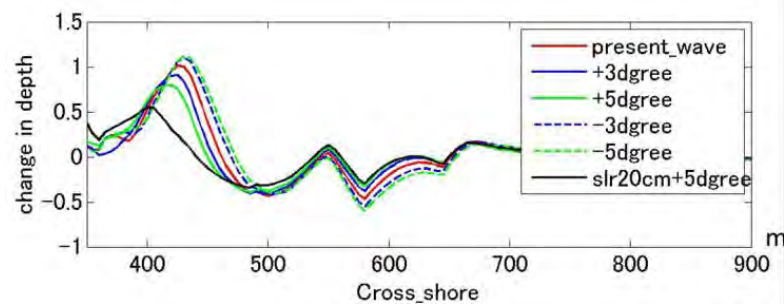
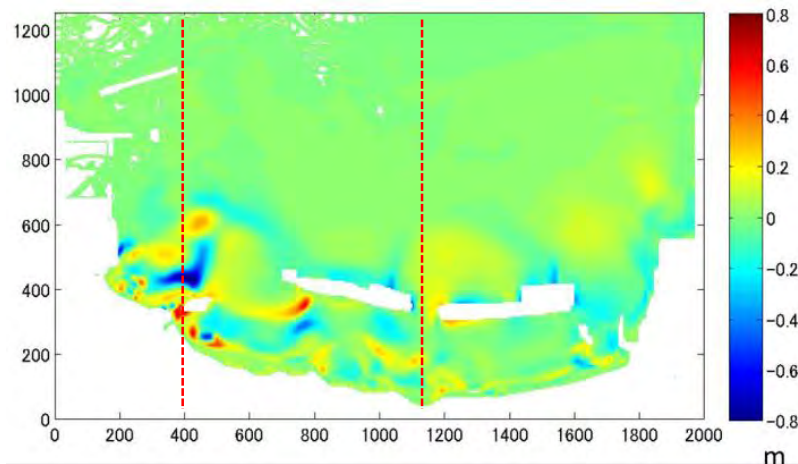
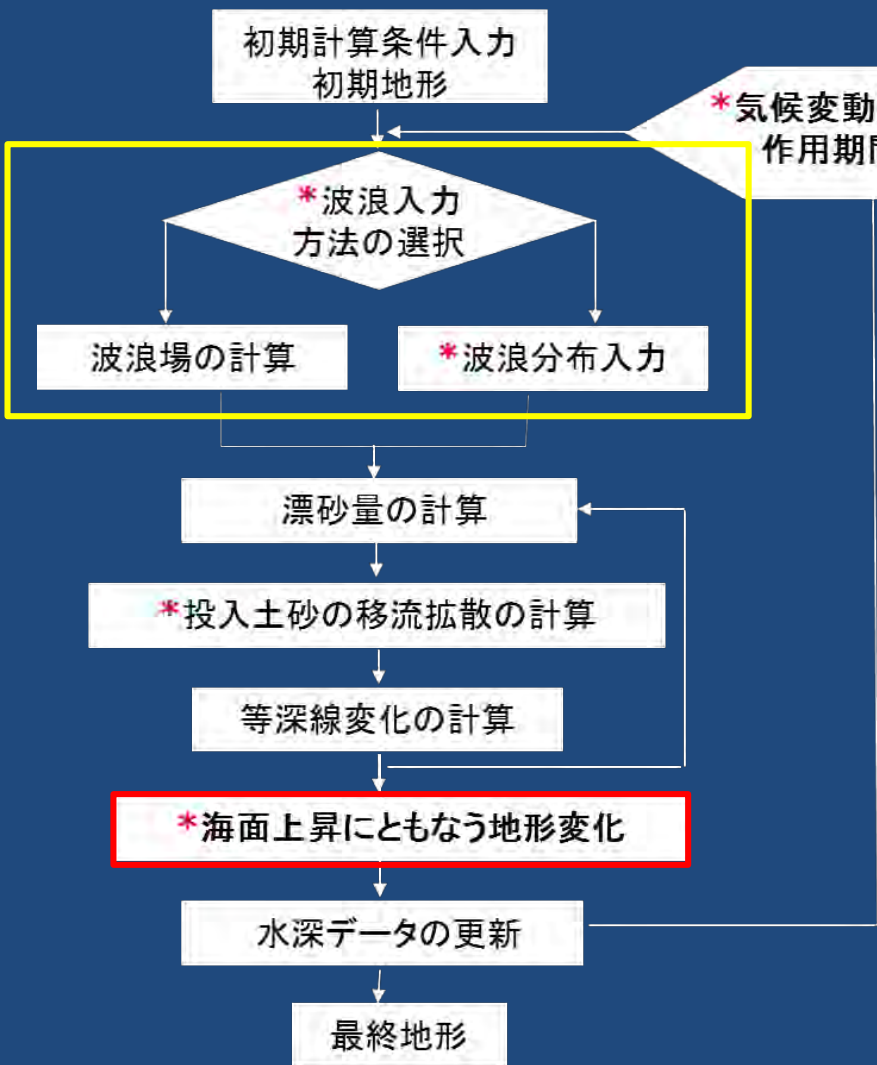
ライフサイク
ルコスト

経済価値



海浜変形の影響評価：SLR+波向変化

鳥取浦富海岸の例



海岸工学に重要な気候変動予測とその問題点 まとめ (1/3)

■ 海岸工学関連の自然現象とアプリケーション

- 外力 海面上昇, 波浪, 高潮, 海浜流, 熱環境
- 極端現象 防波堤, 越波
- 平均的現象 海浜変形, 干潟, 海浜流

■ 外力の将来変化

- 海面上昇
 - ✓ 領域スケールでは, 全球平均と異なる値, トレンドを示すので注意
- 波浪
 - ✓ 平均波高と極端波高ではトレンドが異なる
 - ✓ 最大波高は台風の将来変化の影響を大きく受ける
 - ✓ 場所によっては平均波向の将来変化も大きい
- 高潮
 - ✓ 台風次第 (中心気圧, 個数, 経路)
 - ✓ 長期間の確率評価は難しい

■ 極端事象について現時点でわかっていること

● 台風

- ✓ 発生数の減少 (!!!)
- ✓ 強大化 (!!)
- ✓ 経路変化 (!)
- ✓ 西日本での影響は大きい

● 冬季季節風

- ✓ PDO, WP等の大規模循環に注目

■ 評価法の現状

- 目的に応じて様々な手法が提案・実行されている。

- ✓ GCM/RCM, DS, 擬似温暖化実験, 経路アンサンブル, 確率モデル

→ 予測の不確実性は大きい。単一アプローチでは×

→ 極端現象の量的予測は難しい。シナリオベースも有り

海岸工学に重要な気候変動予測とその問題点 まとめ (3/3)

■課題

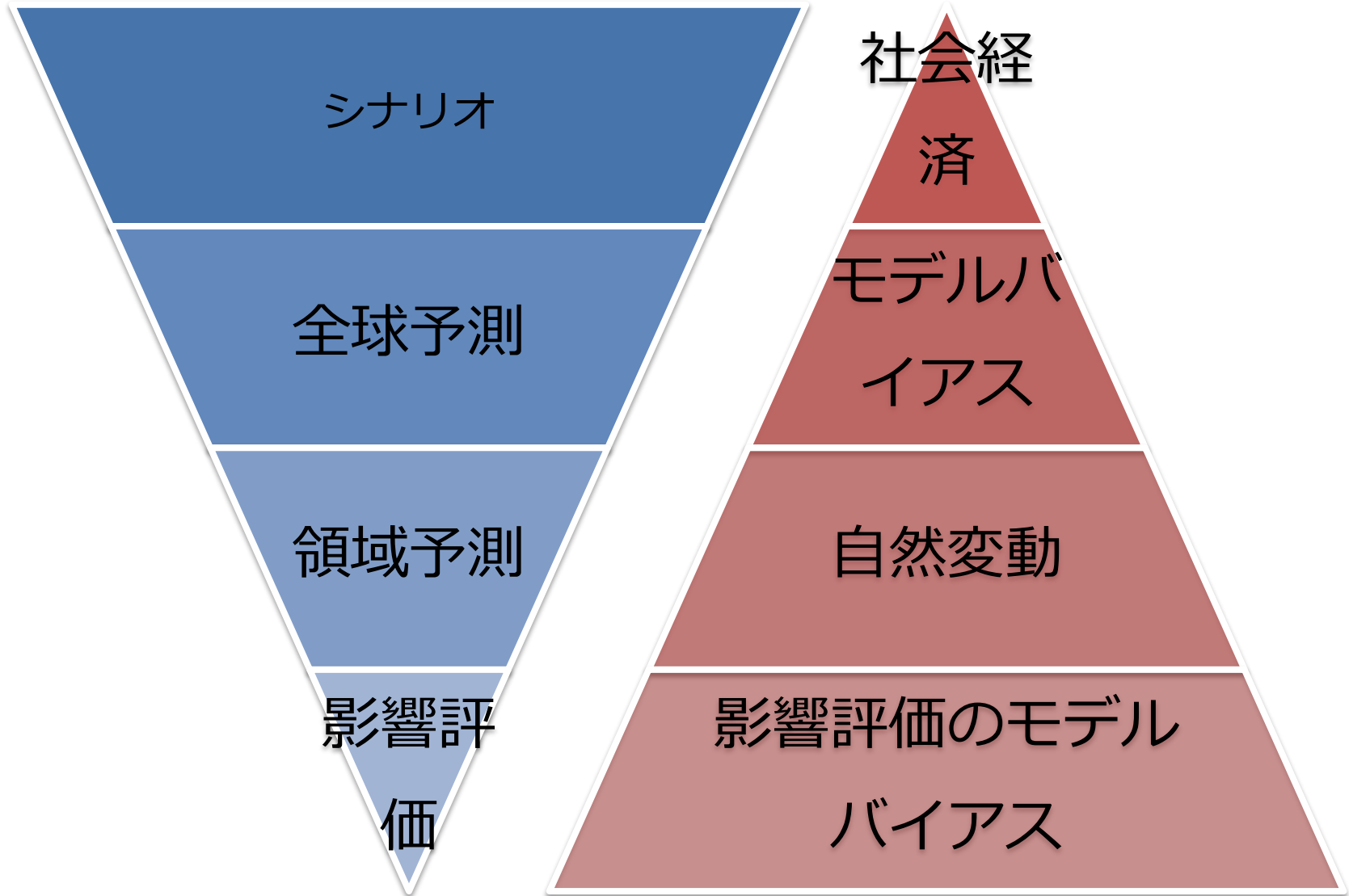
- 海岸工学における短期・長期の考え方
- 過去の再現と将来予測をコンシステントにできるか
- 不確実性の把握（モデル，自然変動）
- 最大クラス評価のための将来気候条件とは？
 - ✓ 海岸工学からボトムアップで考える必要あり
- 評価モデルの精度⇔計算コスト（アンサンブル）
 - ✓ 気候問題に特化した影響評価モデルの必要性

■その他

- 異なるセクターの評価の比較（経済，社会影響）
- 気候変動予測モデラーと影響評価研究者間の連携（変数，期間）
- 工学技術者および政策決定者へどのように情報を提供するのか
- IPCC第6次評価報告書→2017年頃に成果が必要

予測の流れ

不確実性（積算値）



創生D沿岸災害グループ参画者一覧

| | | | |
|------|--------------|--------|-------------|
| 森 信人 | 京都大学防災研究所 | 准教授 | 波浪影響評価 |
| 間瀬 肇 | 京都大学防災研究所 | 教授 | 海岸構造物影響評価 |
| 安田誠宏 | 京都大学防災研究所 | 助教 | 高潮影響評価 |
| 澁谷容子 | 京都大学防災研究所 | 特任助教 | 高潮影響評価・海浜変形 |
| 橋本典明 | 九州大学工学研究院 | 教授 | 波浪影響評価 |
| 横木裕宗 | 茨城大学工学部 | 教授 | 海面上昇影響評価 |
| 黒岩正光 | 鳥取大学大学院工学研究科 | 准教授 | 海浜変形評価 |
| 諏訪義雄 | 国土技術政策総合研究所 | 海岸研究室長 | 海岸施設影響評価 |
| 野口賢二 | 国土技術政策総合研究所 | 主任研究官 | 海岸施設影響評価 |
| 中條壮大 | 熊本大学大学院工学研究科 | 助教 | 確率台風モデル開発 |
| 河合弘泰 | 港湾空港技術研究所 | 領域長 | 高潮影響評価 |
| 北野利一 | 名古屋工業大学 | 准教授 | 極大波浪の検討 |
| 渡部靖憲 | 北海道大学 | 准教授 | 波浪影響評価 |
| 信岡尚道 | 茨城大学工学部 | 准教授 | 高潮影響評価 |
| 栗山善昭 | 港湾空港技術研究所 | 特別研究官 | 沿岸海浜変形評価 |