



気候変動と将来の水害展望 ならびにその対策

東北大学 土木工学専攻
風間聰

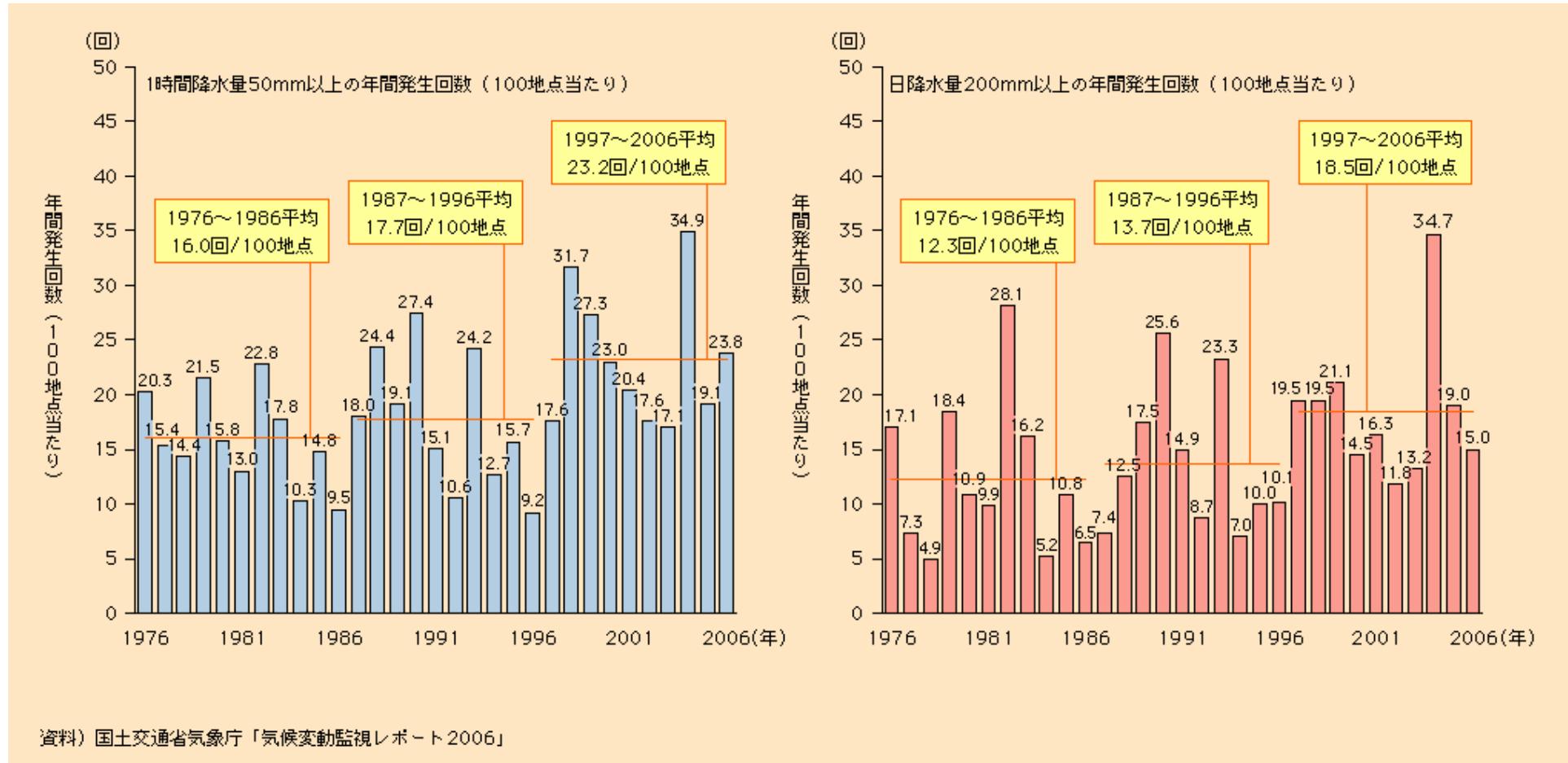
本日の話題

1. 気候変動の展望
2. 被害額の推定
3. 水害はなぜ起こる
4. 適応策の考察
5. 補足: 洪水氾濫モデル

本日の話題

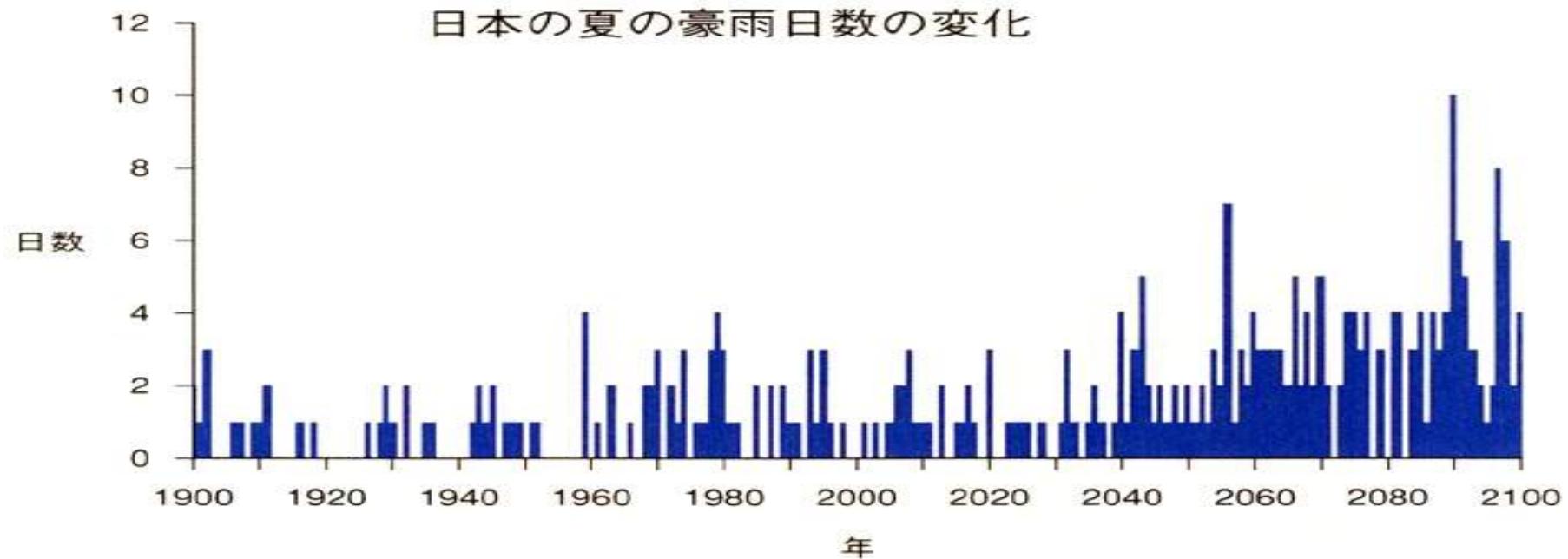
1. 気候変動の展望
 1. 豪雨の変化
 2. RCPシナリオとGCM
 3. 将来被害額の推定

最近の雨の降り方



豪雨は 過去 増えている。 但し見方に注意。

将来の雨の降り方

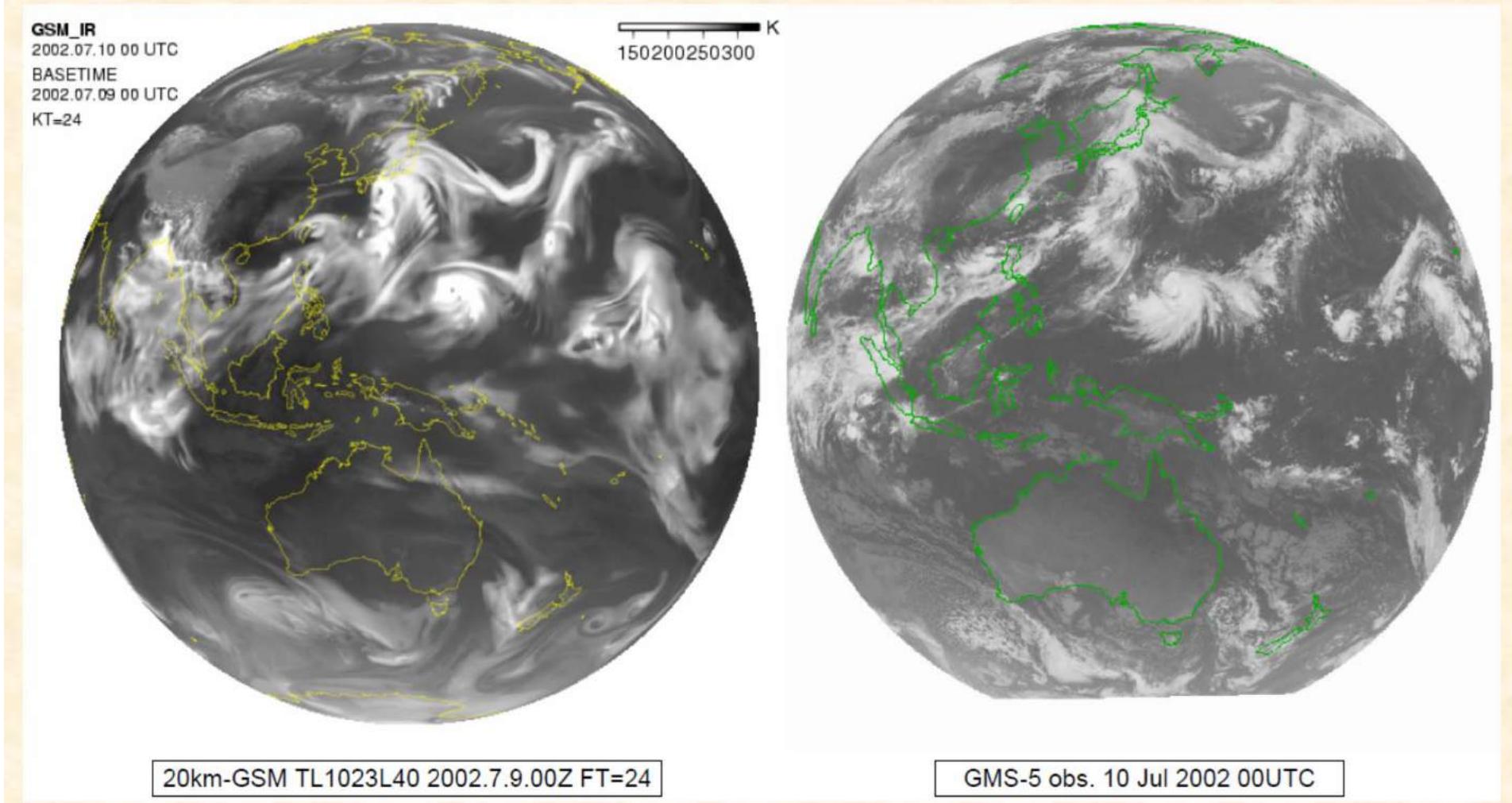


- (注) 1. 東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センター、2004：地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了、2004年9月16日記者発表資料（<http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/jhtml/PressRelease040916.htm>）より。
2. 日本列島を覆う格子（100km × 100km 程度）のうち一つでも日降水量が100mmを超えるれば、豪雨1日と数えた。
3. 都市化が考慮されていないこと、広い面積の平均を基にしていることから、絶対値は観測データと直接比較できない。相対的な変化のみが重要。

どうやって将来の雨を知るのか？

- キーワード
 - GCM
 - 数値計算, シミュレーション
 - シナリオ

最高速コンピュータを使うと. . .

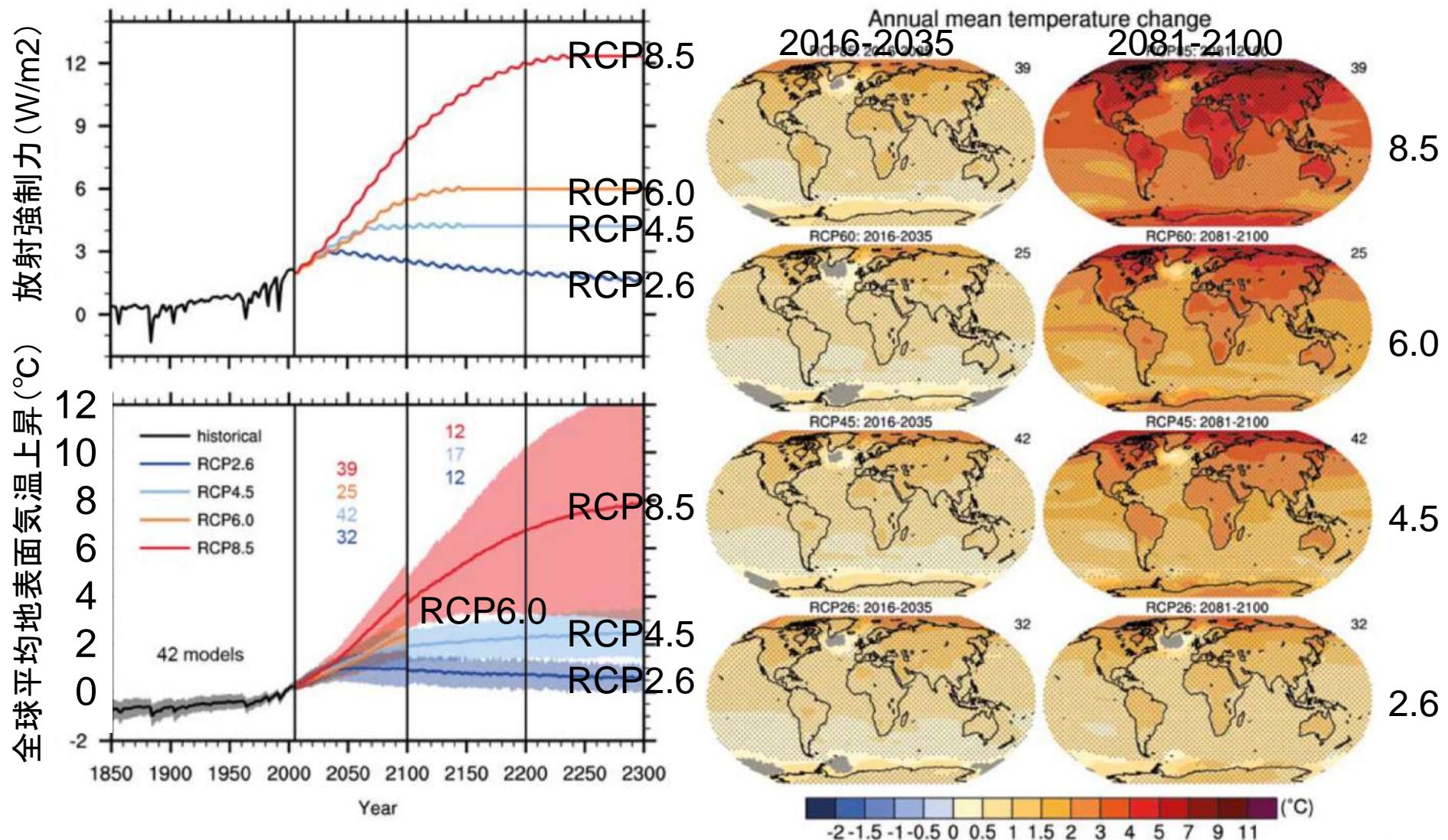


左 シミュレーション 右 ひまわり画像

21世紀の気温上昇量の予測 Temperature increase

IPCC-AR5-WG1より

大気海洋大循環モデルによる地表面気温の変化予測



1986～2005年を基準とした、2081～2100年における世界平均地上気温の変化は、RCP2.6シナリオでは0.3～1.7°C、RCP4.5シナリオでは1.1～2.6°C、RCP6.0シナリオでは1.4～3.1°C、RCP8.5シナリオでは2.6～4.8°Cの範囲に入る可能性が高い。

出典:AR5-WG1 SPM

2. 被害額の推定

2. 被害額の推定

1. 洪水, 斜面災害, 高潮, 侵食の将来
2. 日本全域推定

キーワード: **再現期間**

Q1 再現期間とは？

1/100の雨とか100年の雨とは,
100年に1回位生じる強い雨

この期間を再現期間
確率を再現確率

超過確率なので1/200や1/1000も含むことに注意



水災害被害額の将来推定 洪水

入力: GCM+気候シナリオ

対象: 現在, 近未来, 将来未来

解像度: 1km

モデル: 2次元不等流モデル

土地利用による流れの摩擦を表現

被害額推定: 治水経済マニュアル(国交省)

解析手法: 確率洪水流量と確率降雨の関係式

浸水深と期間を計算

土地利用に応じた被害係数

治水レベル1/50とした場合の被害額

一般資産被害額のみ

過去30年の平均を現在被害額に補正



水災害被害額の推定 洪水

入力: GCM+気候シナリオの組み合わせ

GCM: 4種類 機関によって異なる

MIROC (東大, 国立環境研究所, JAMSTEC)

MRI (気象研)

HadGEM (イギリスハドレーセンター)

GFD (アメリカ、地球物理流体力学研究所(GFDL))

シナリオ Representative Concentration Pathways

放射強制力の変化をシナリオ化

: RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

RCP2.6: 2100年までにピークを迎えその後減少する低位安定化シナリオ

RCP8.5: 2100年以降も放射強制力の上昇が続く

高位参照シナリオ

RCP4.5: 中位安定化シナリオ

洪水のシミュレーション

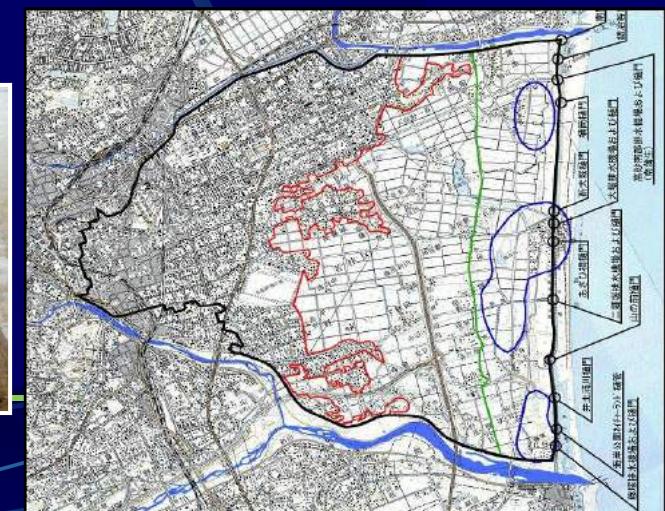
氾濫シミュレーション

土地利用区分	粗度係数
田・畠地・森林	0.060
幹線交通用地	0.047
その他の用地	0.050
建物用地	0.050
河川地・湖沼 海浜・海水域	0.020

水深

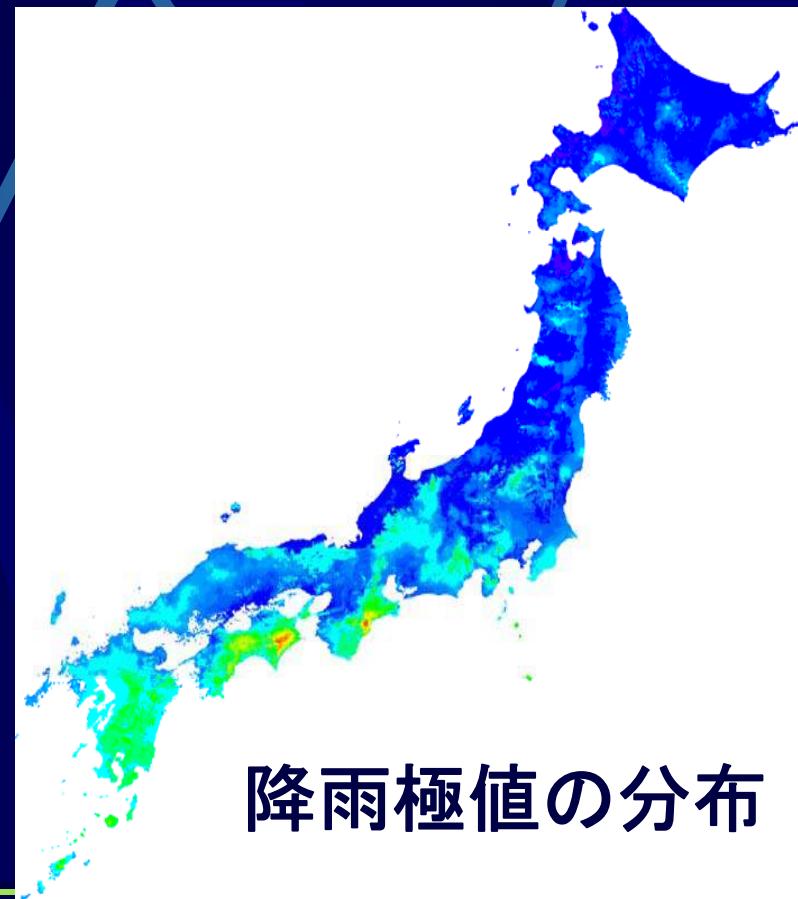
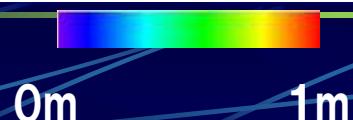
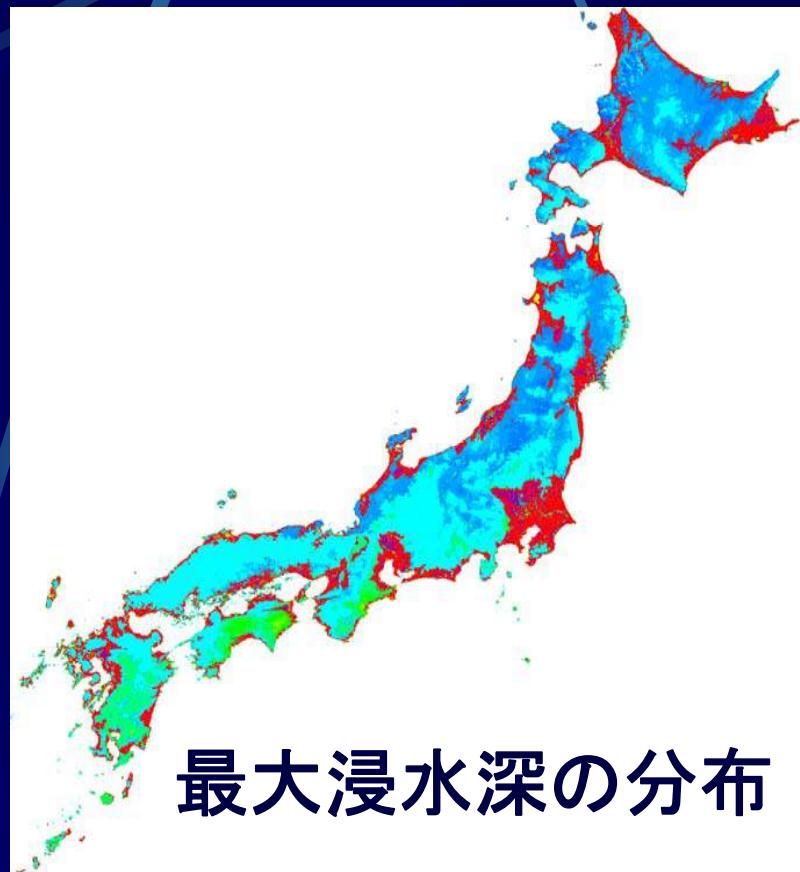
WD 0.0m, 0.5m, 1.0m

WD 1.5m, 2.0m, 2.5m

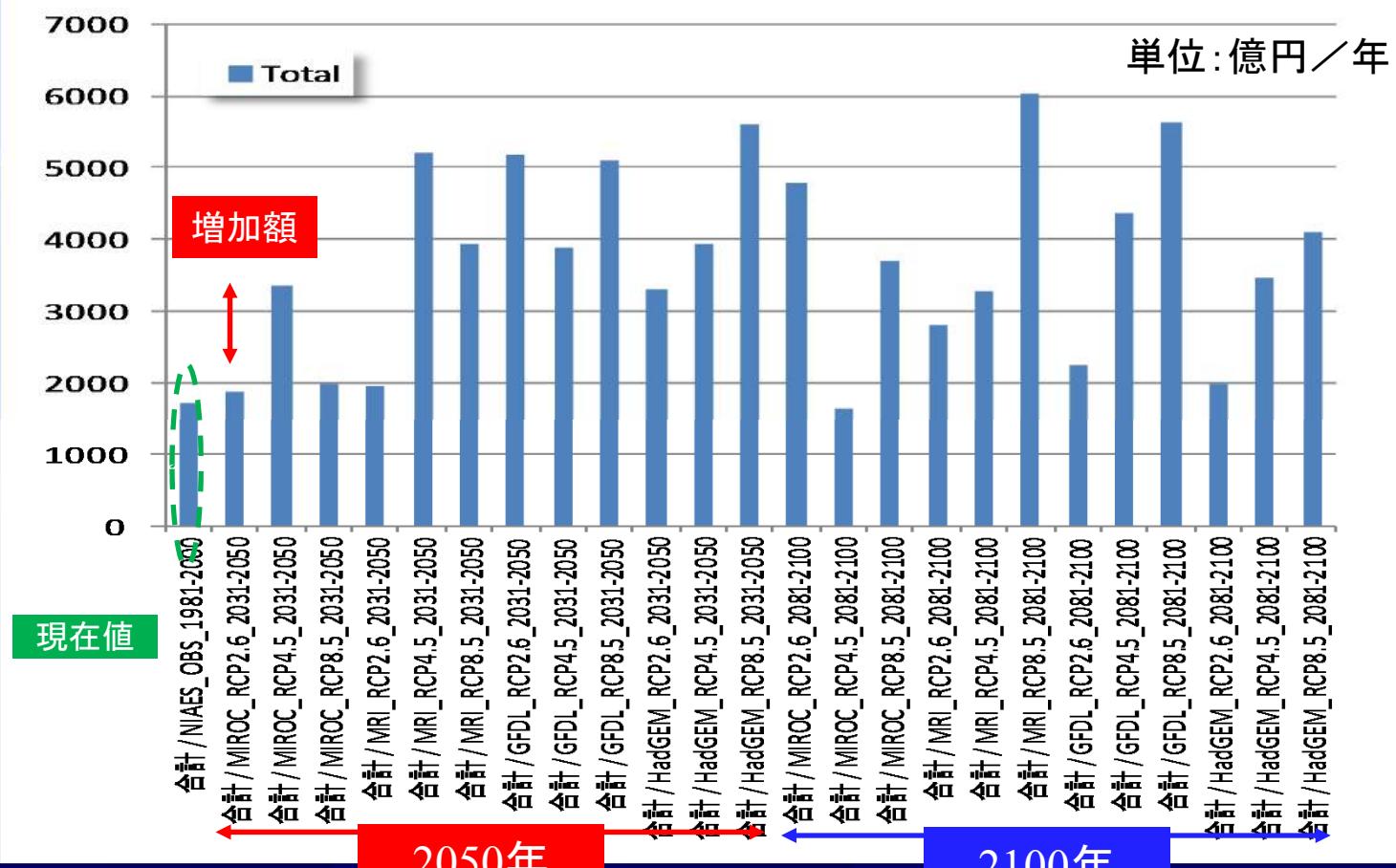


洪水の適応策

日本全域解析結果(再現期間100年)



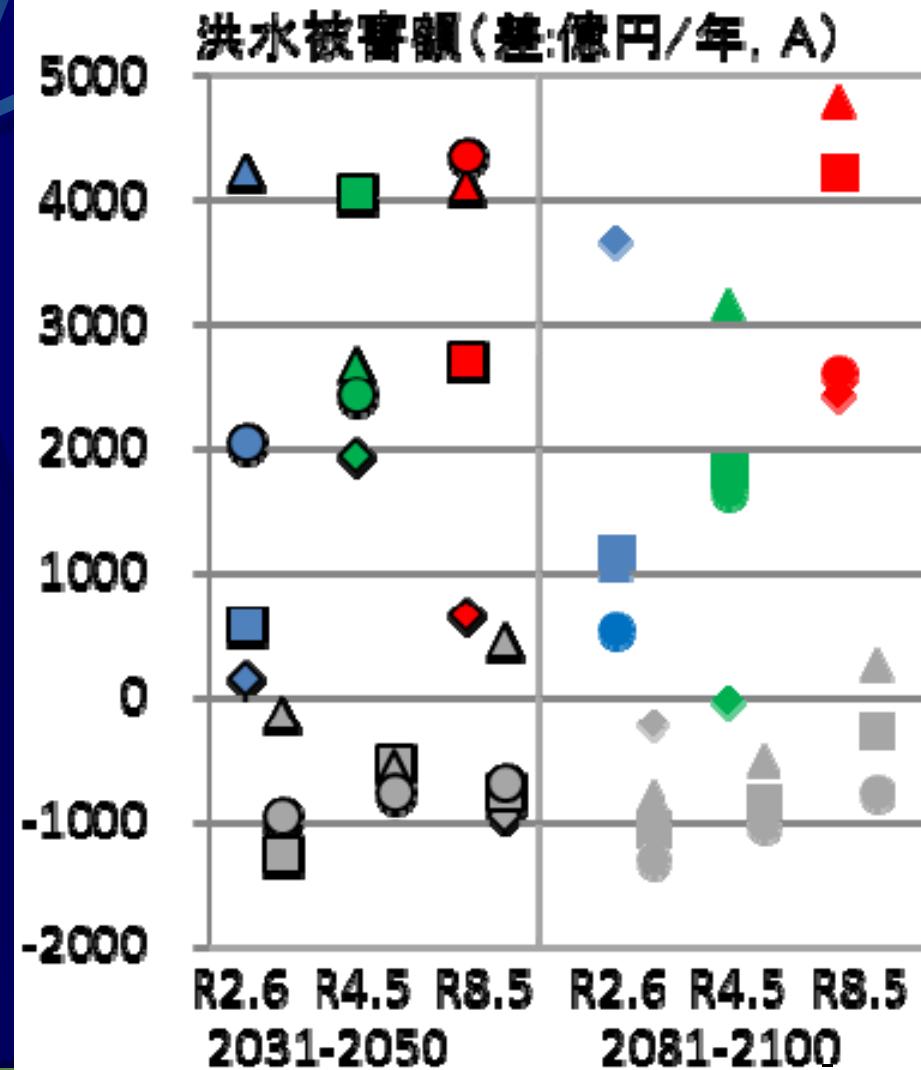
水災害被害額の推定 洪水



影響関数を用いたマルチGCM推定

水災害被害額の推定 洪水

MIROC MRI HadGEM GFD



治水レベル
50年洪水
(現状)

MIROC
MRI
HadGEM
GFD

治水レベル
70年洪水
(適応後)



水災害被害額の推定 斜面災害

入力: GCMシナリオ

対象: 現在, 近未来, 将来未来

解像度: 1km

モデル: ロジスティック関数確率モデル

地質, 起伏量, 土壌特性に応じた地下水勾配

被害額推定: 治水経済マニュアル(国交省)

解析手法: 確率降雨による地下水計算

斜面崩壊実績から求めた確率モデル

土地利用に応じた資産価値

資産価値 × 確率

一般資産被害額のみ

発生確率モデル

多重ロジスティック回帰分析を利用
(甚大な被害をもたらした災害事例をモデル化)
□降雨評価 → 平成14年7月 新潟県柄尾市

発生確率

モデル式
$$P = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_h hydY_h + \beta_r reliefY_r)]}$$

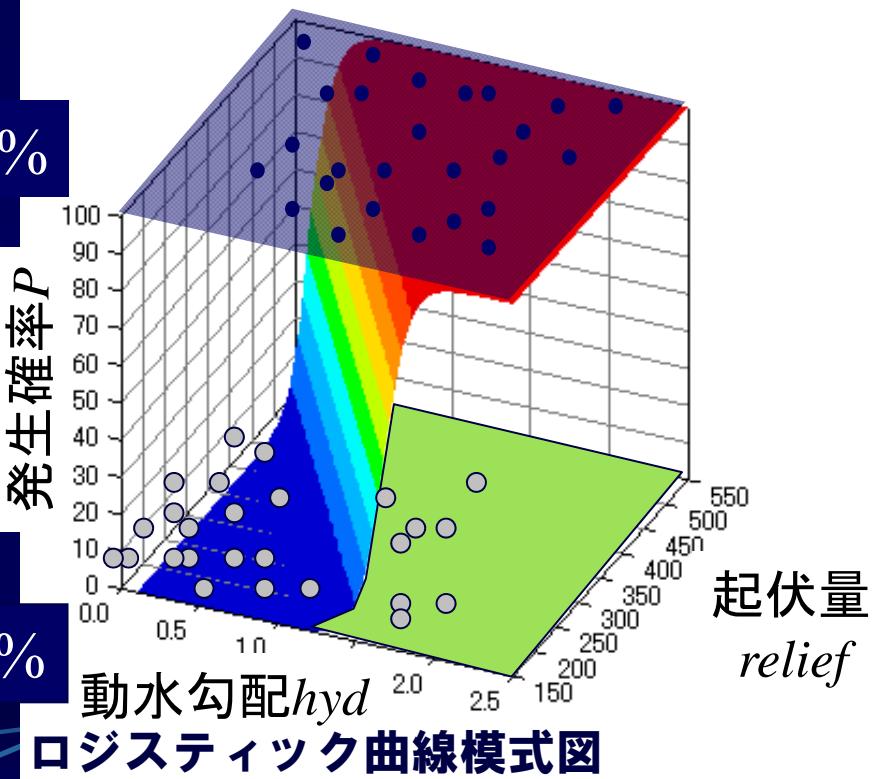
ここで P : 崩壊発生確率 β_0 : 切片 β_h : 動水勾配の係数 β_r : 起伏量の係数
 $hydY_h$: 動水勾配値 $reliefY_r$: 起伏量

地質毎にモデル化
□崩積土
□第三系堆積岩
□新第三系堆積岩
□花崗岩

崩壊発生 → 100%

0-100の関係を
ロジスティック
曲線で連結

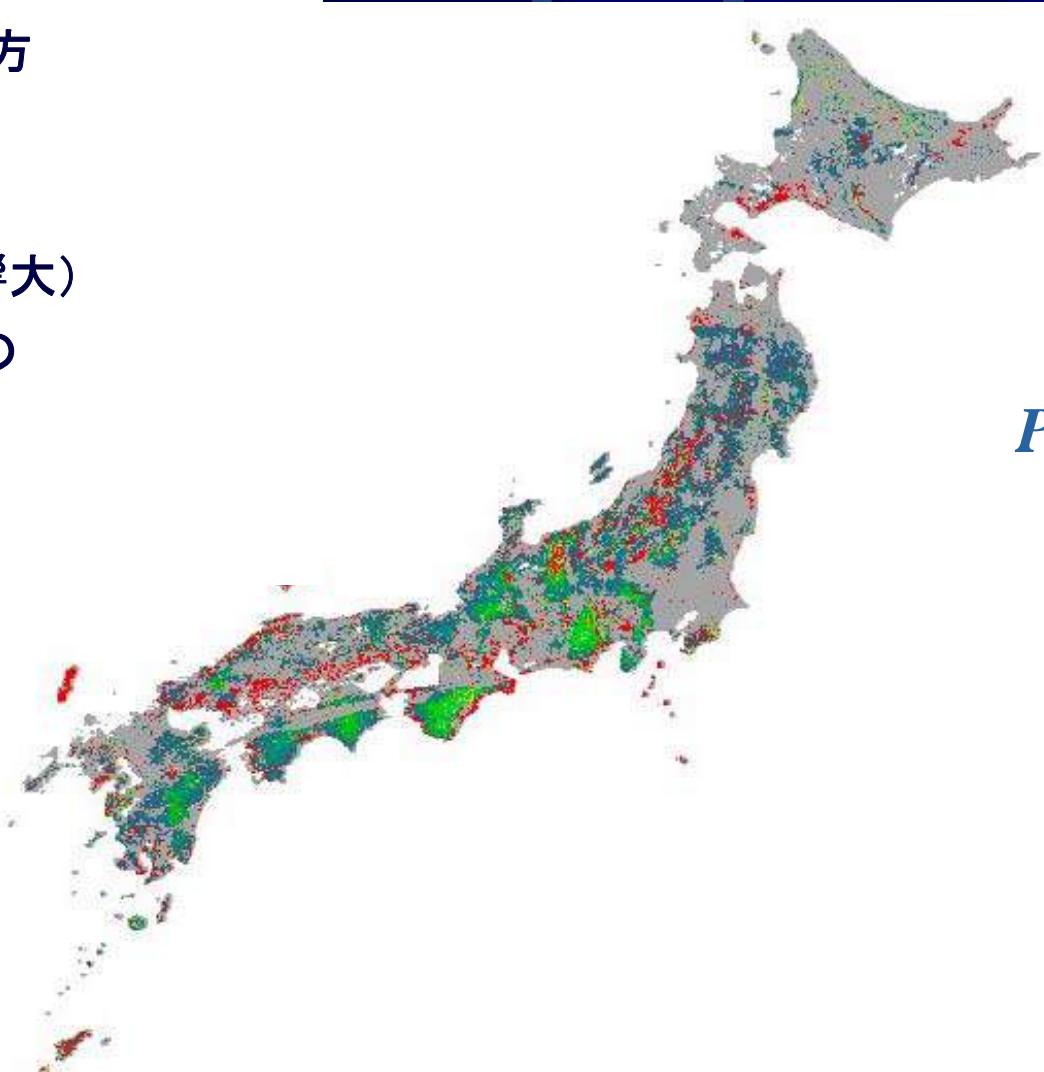
崩壊非発生 → 0%



斜面災害リスクの拡大

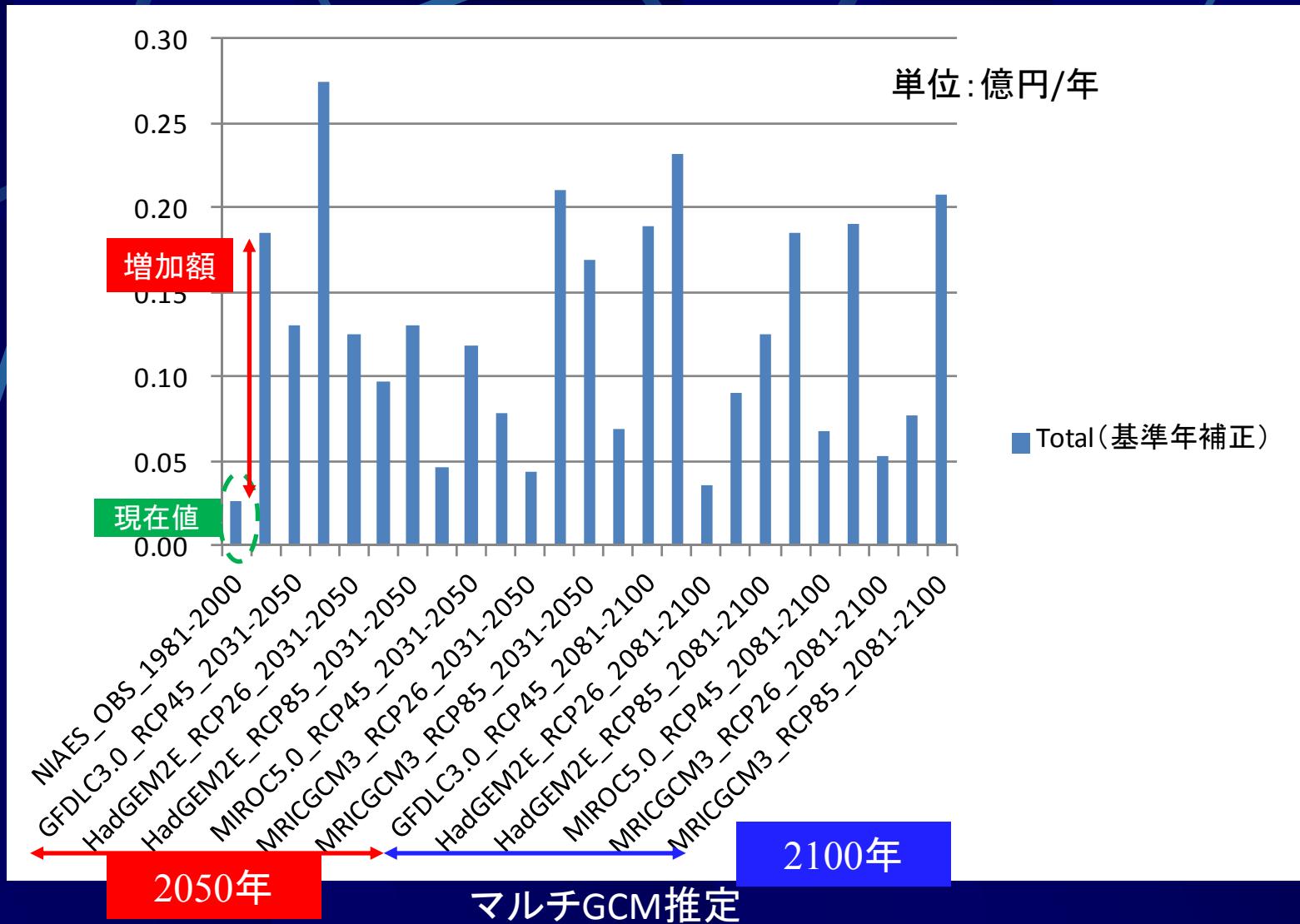
●発生確率が高い傾向を示す地域

- ・太平洋沿岸南海地方
(降雨の影響大)
- ・山地山頂部
(降雨・起伏量の影響大)
- ・海岸に近接し山地の
存在する地域
(降雨・地質・土壤
起伏量の影響有り)

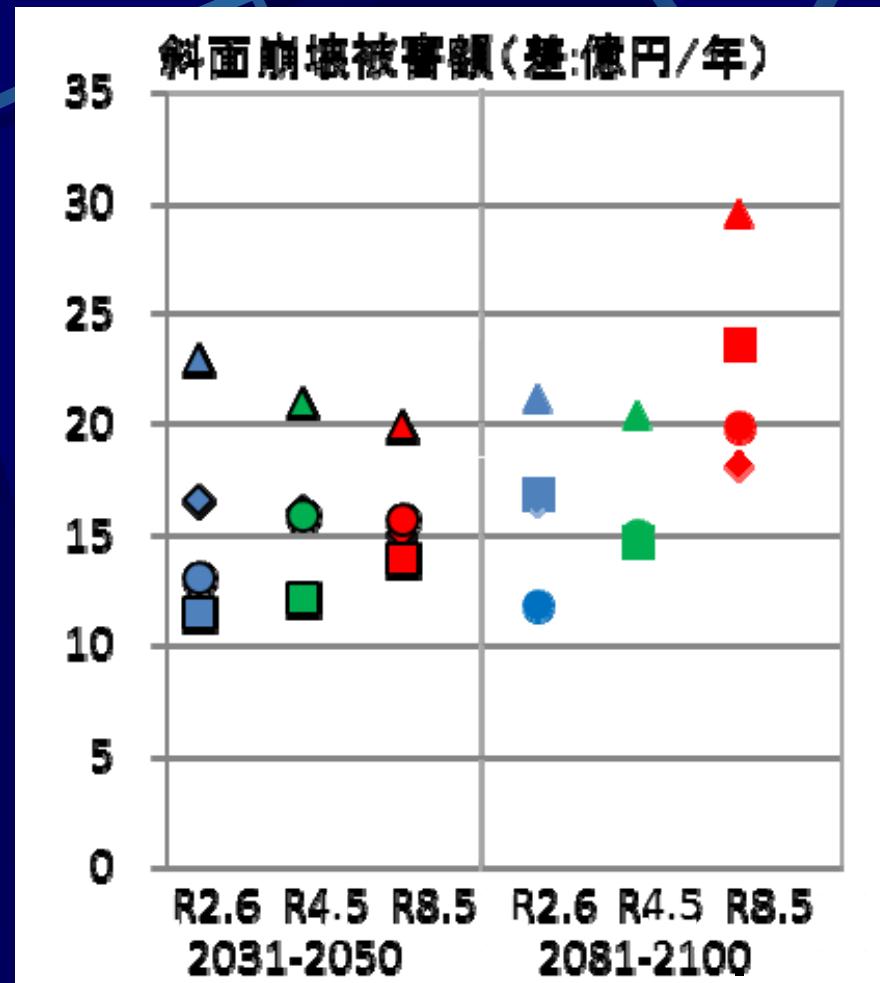


再現期間30年による斜面災害の発生確率

水災害被害額の推定 斜面災害



水災害被害額の推定 斜面災害





水災害被害額の推定 高潮

入力: GCMシナリオによる海面上昇

対象: 現在, 近未来, 将来未来

解像度: 1km

モデル: 越流モデル, 遷上計算

土地利用による流れの摩擦を表現

被害額推定: 治水経済マニュアル(国交省)

解析手法: 台風の数, 強度の変化は考慮しない

海面上昇に従った高潮氾濫

土地利用に応じた被害係数

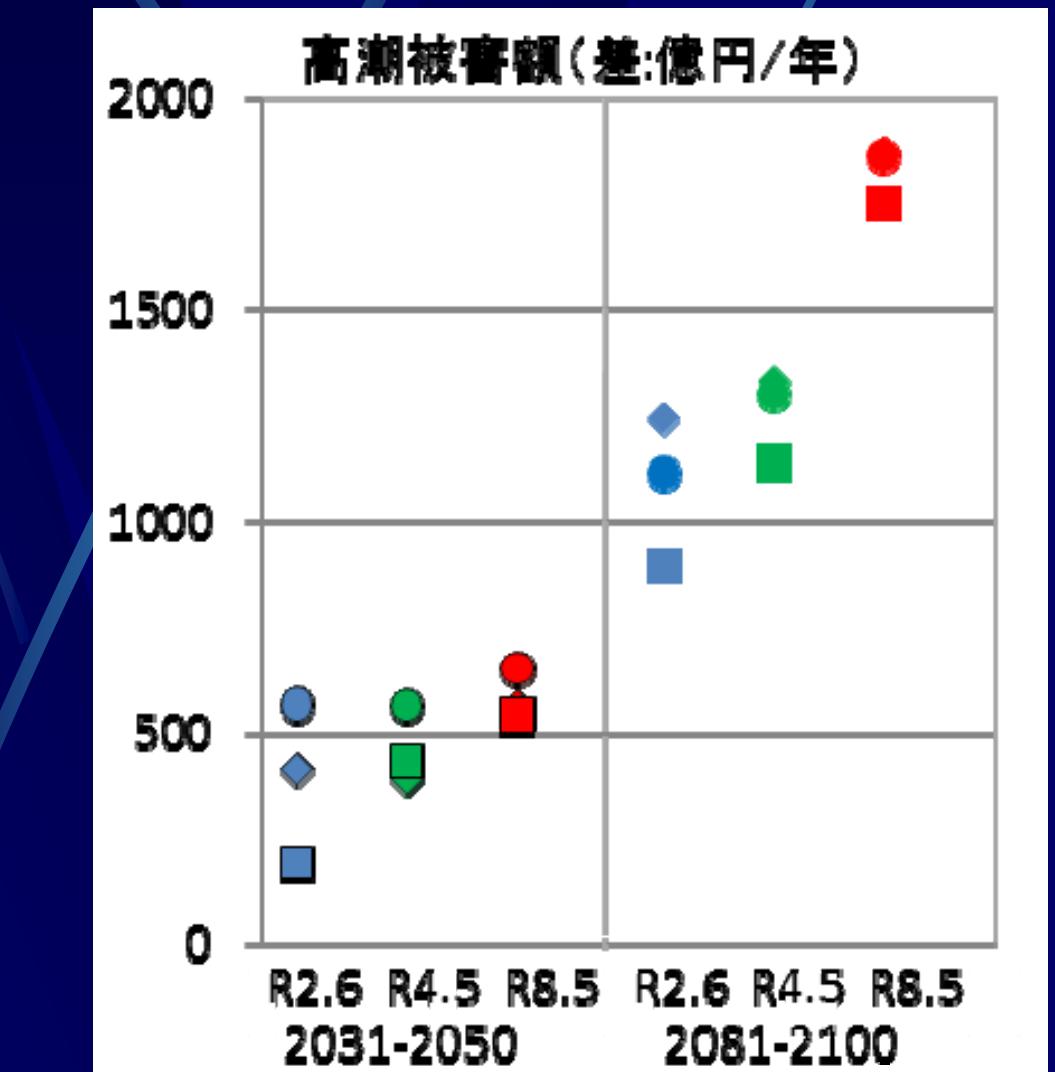
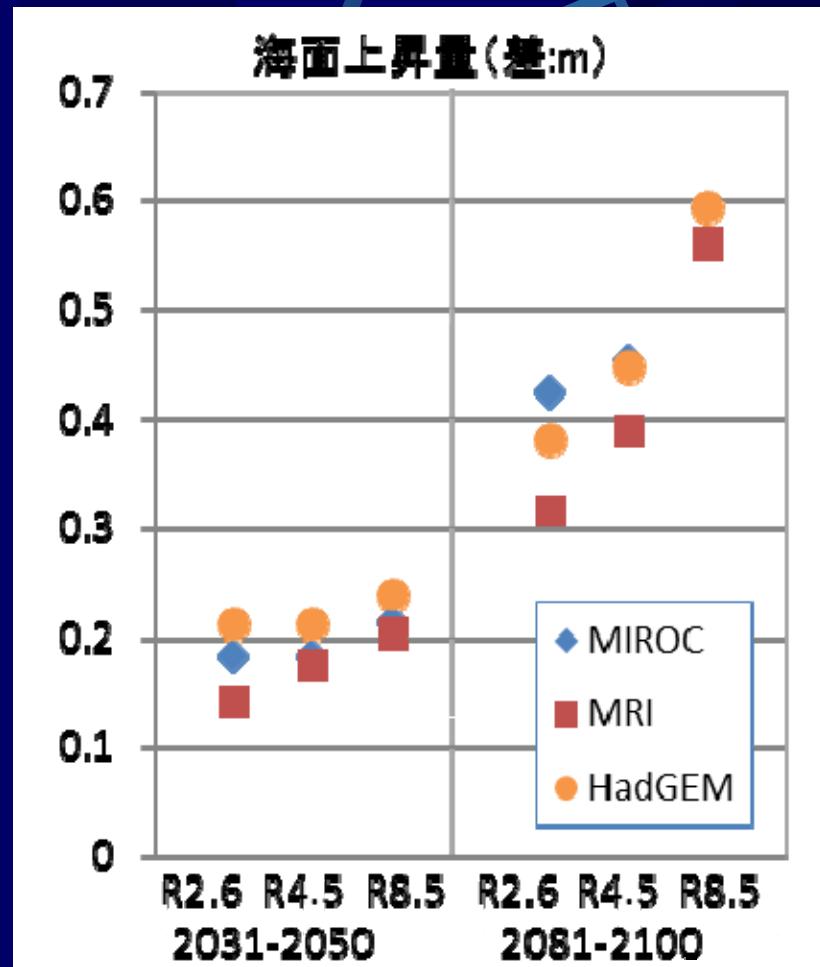
実際の海岸堤防を考慮

津波の被害は考慮しない

一般資産被害額のみ

過去の20年の平均被害額を現在値に補正

水災害被害額の推定 高潮





水災害被害額の推定 砂浜侵食(昨日の発表, 有働ら)

入力: GCMシナリオ

対象: 現在, 近未来, 将来未来

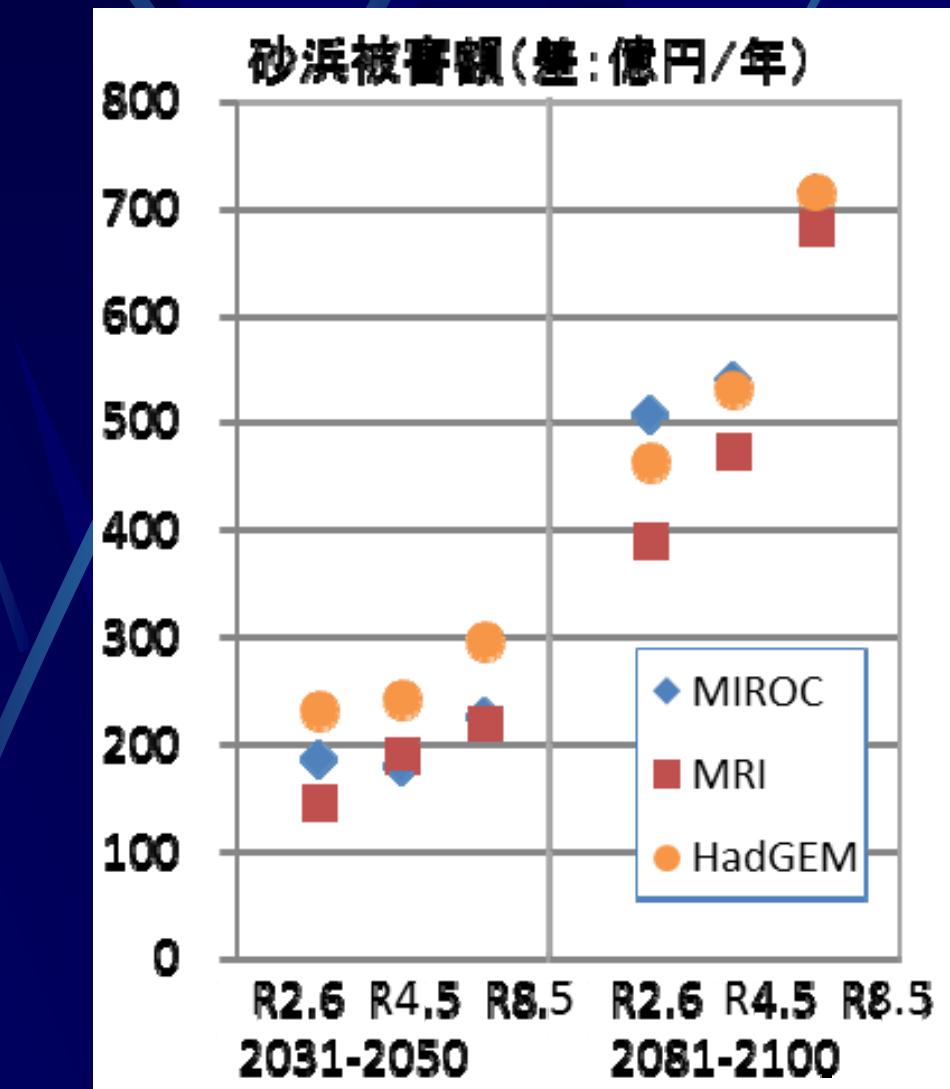
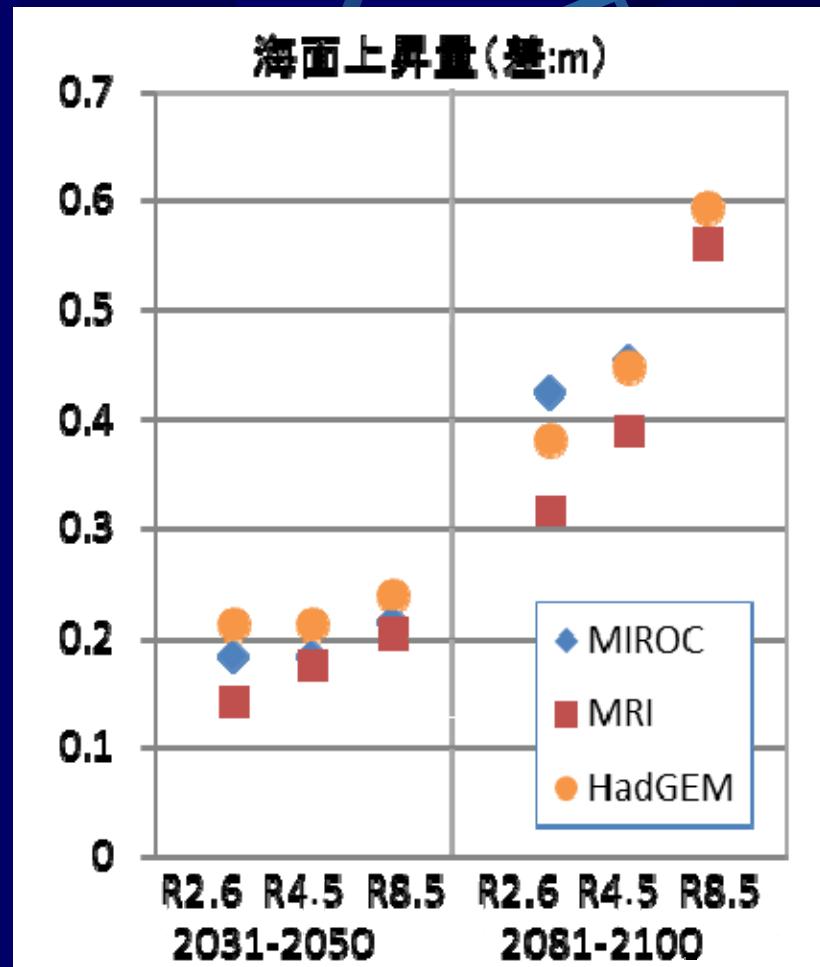
解像度: 1km

モデル: ブルン則 砂浜の平衡勾配

被害額推定: 旅行費用法による原単位を利用
(名城大 大野ら)

解析手法: 海面上昇のみを考慮
砂浜と干潟に分けて推算

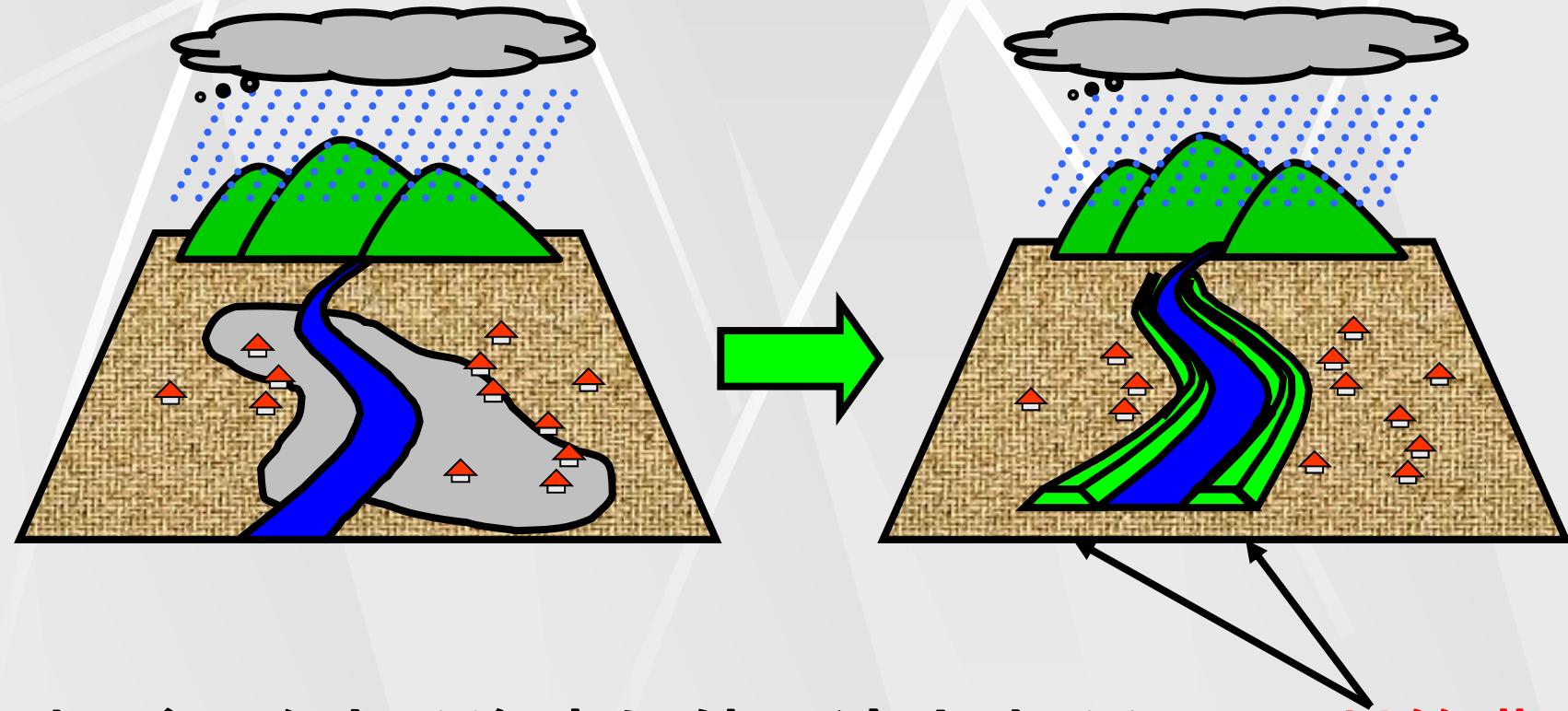
水災害被害額の推定 砂浜侵食



まとめ

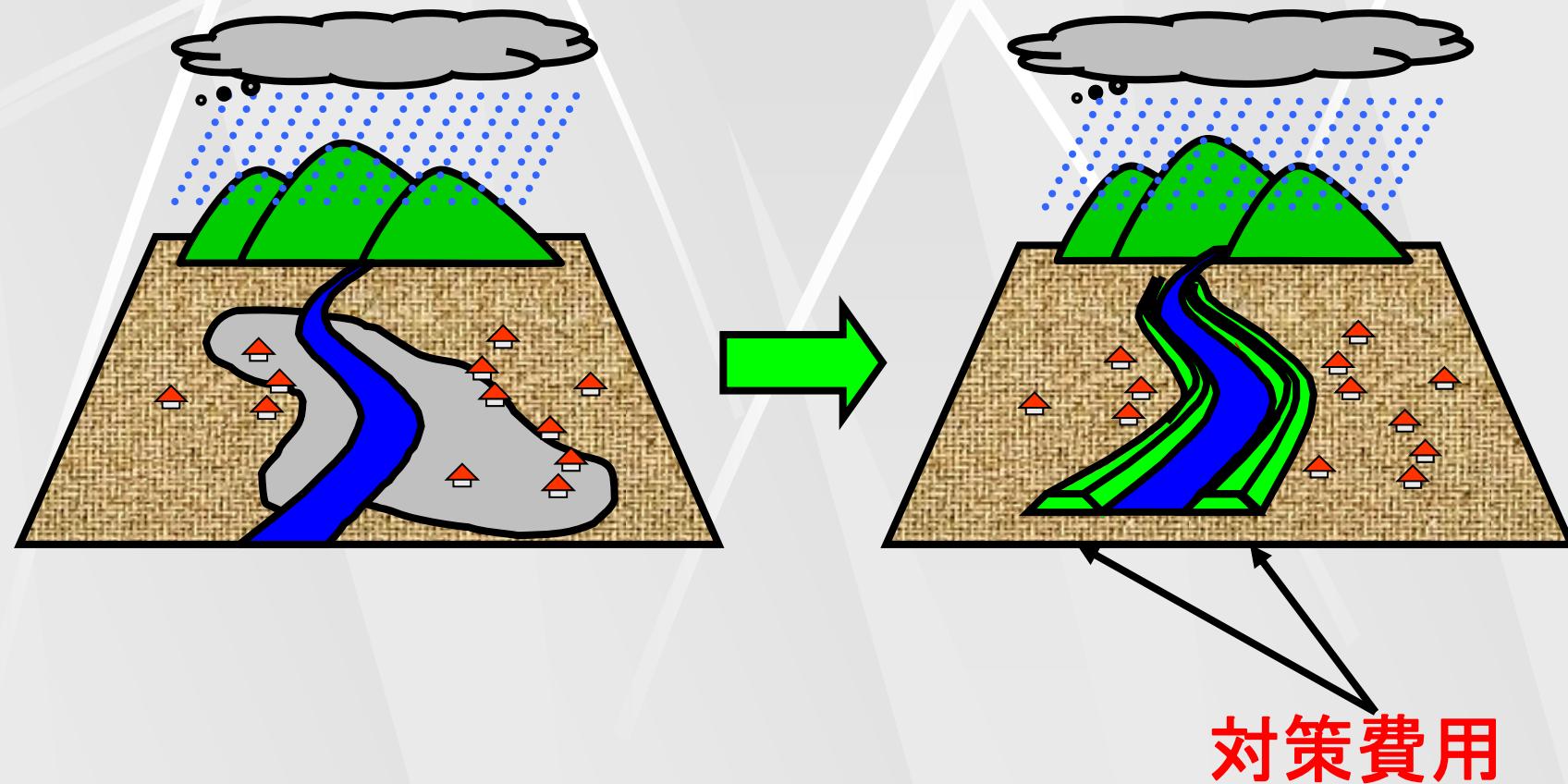
- 現在の治水レベル(防御レベル)では100年後に年4000億円程度増加する
- 治水レベルをさらに20年に1回の洪水を防御できるようにすれば現在と同等の被害額となる。(50年に1回の洪水を防御できる堤防であれば70年に1回まで強化する)
- GCMやシナリオによるばらつきが大きい。
 - 損をする場合がある？

温暖化への対策費用の算出のための 仮定を行う基礎となる考え方



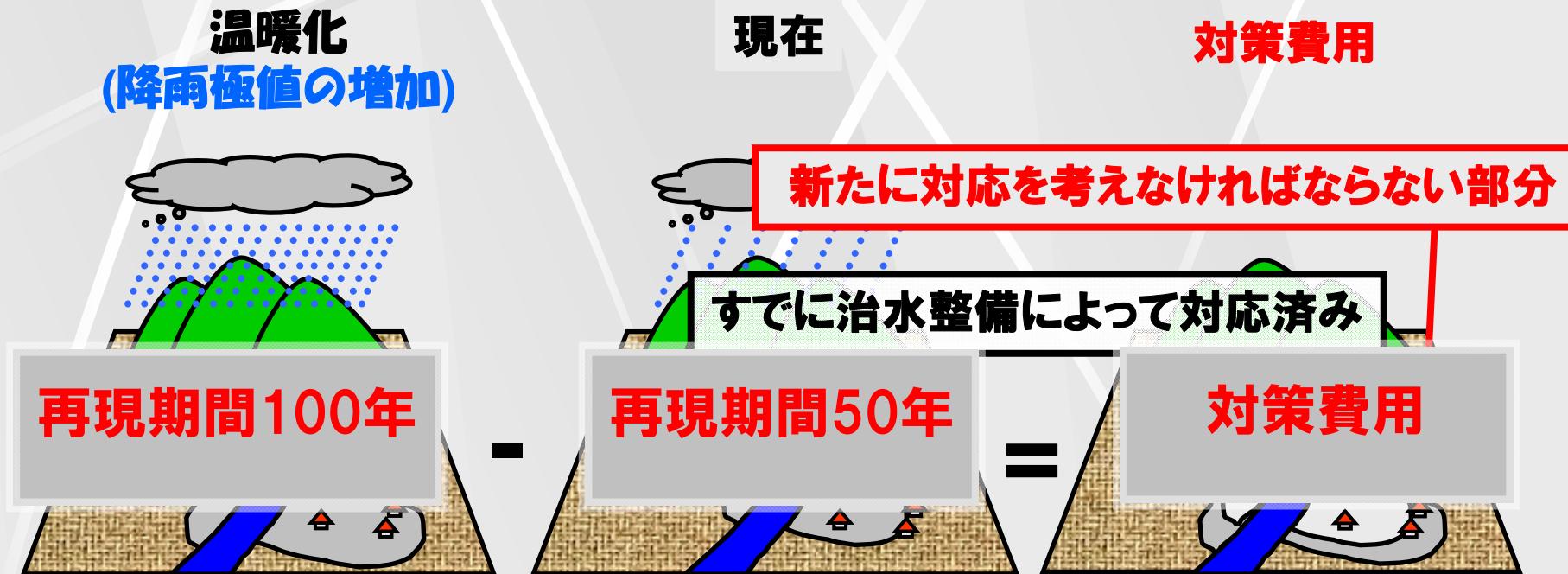
これが現在ある資産価値に適応するための**対策費用**
であったと考える

温暖化への対策費用の算出のための 仮定を行う基礎となる考え方



便益ともいいう。便益と費用の比(B/C)が重要

降雨極値の増加に伴う対策費用の算出

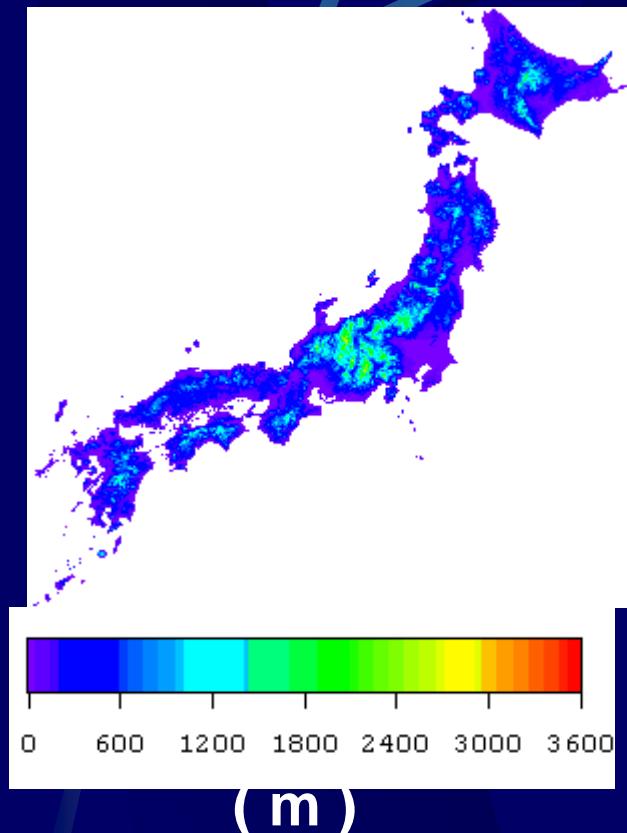


治水整備によって、本来守られている分から、降雨極値の増加によって、新たに対応が必要となる増加分の定量化

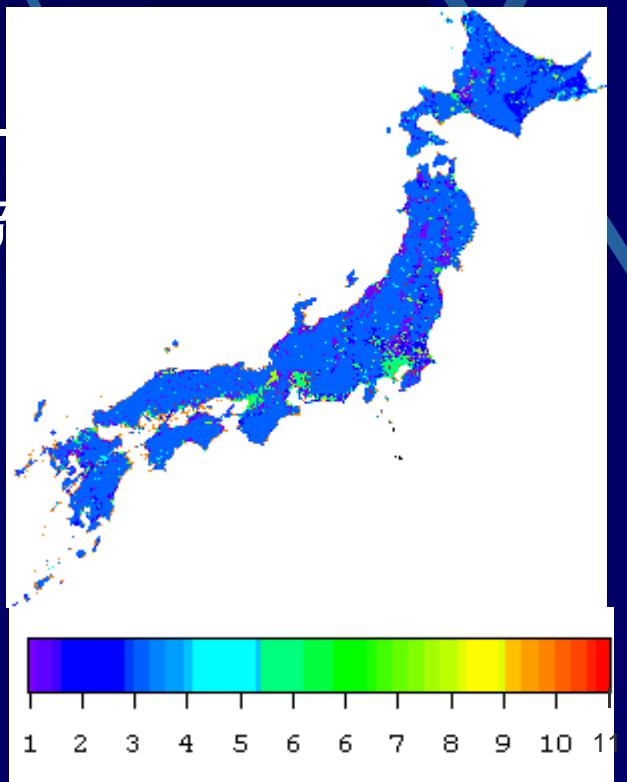
* 1級河川では30年から150年位の治水レベル、2級河川では10年から50年の治水レベル。この平均と思われる50年を採択。

洪水の適応策

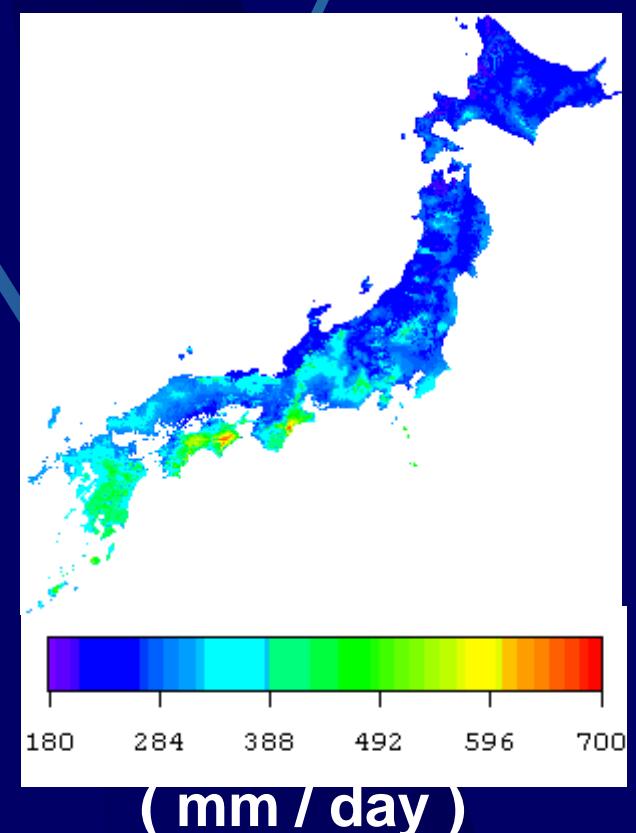
1) 標高データ



2) 土地利用データ



3) 確率降雨データ

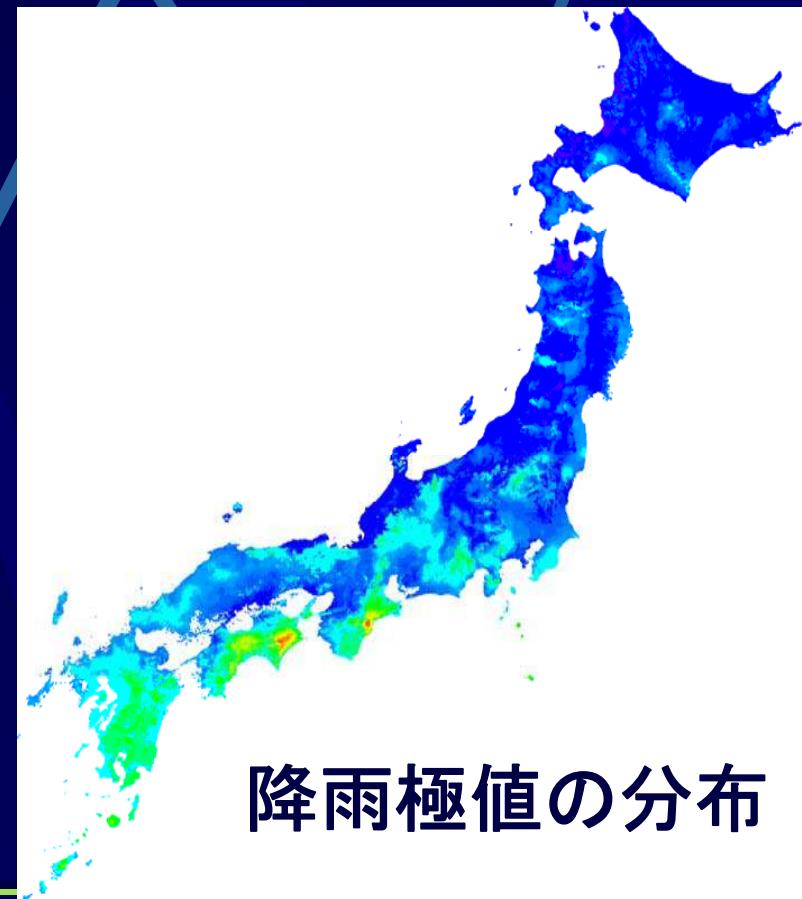
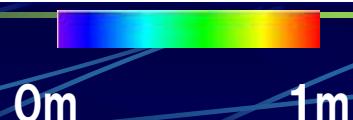
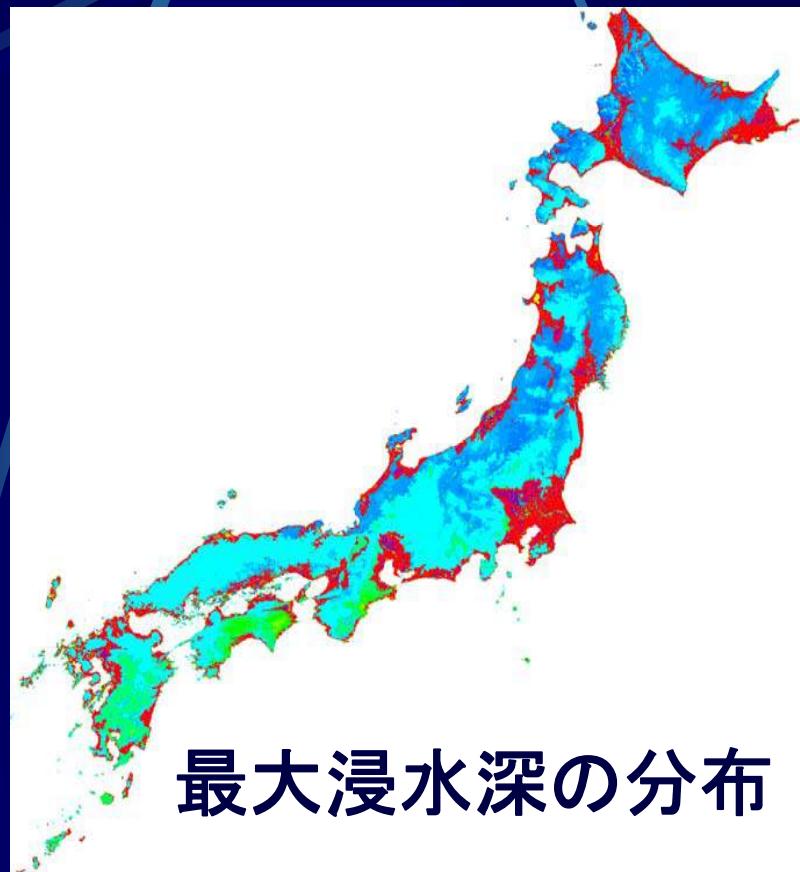


1) 田 2) 畦地 3) 森林 4) 荒地 5) 建物用地

土地利用番号 : 6) 幹線交通用地 7) その他の用地 8) 河川地及び湖沼
9) 海浜 10) 海水域 11) ゴルフ場

洪水の適応策

日本全域解析結果(再現期間100年)



再現期間ごとの年平均被害額(期待値)

再現期間ごとの年平均被害額（単位：億円）

再現期間 (単位:年)	年平均超過確率	被害額	区間平均 被害額	区間確率	年平均被害 期待額	年平均被害 期待額の累計
5	0.20	387,033				
10	0.10	548,238	467,636	0.100	46,764	46,764
30	0.03	769,600	658,919	0.067	43,928	90,691
50	0.02	908,923	839,262	0.013	11,190	101,882
100	0.01	1,124,994	1,016,959	0.010	10,170	112,051

治水経済調査マニュアルの年平均被害軽減期待額算定手法

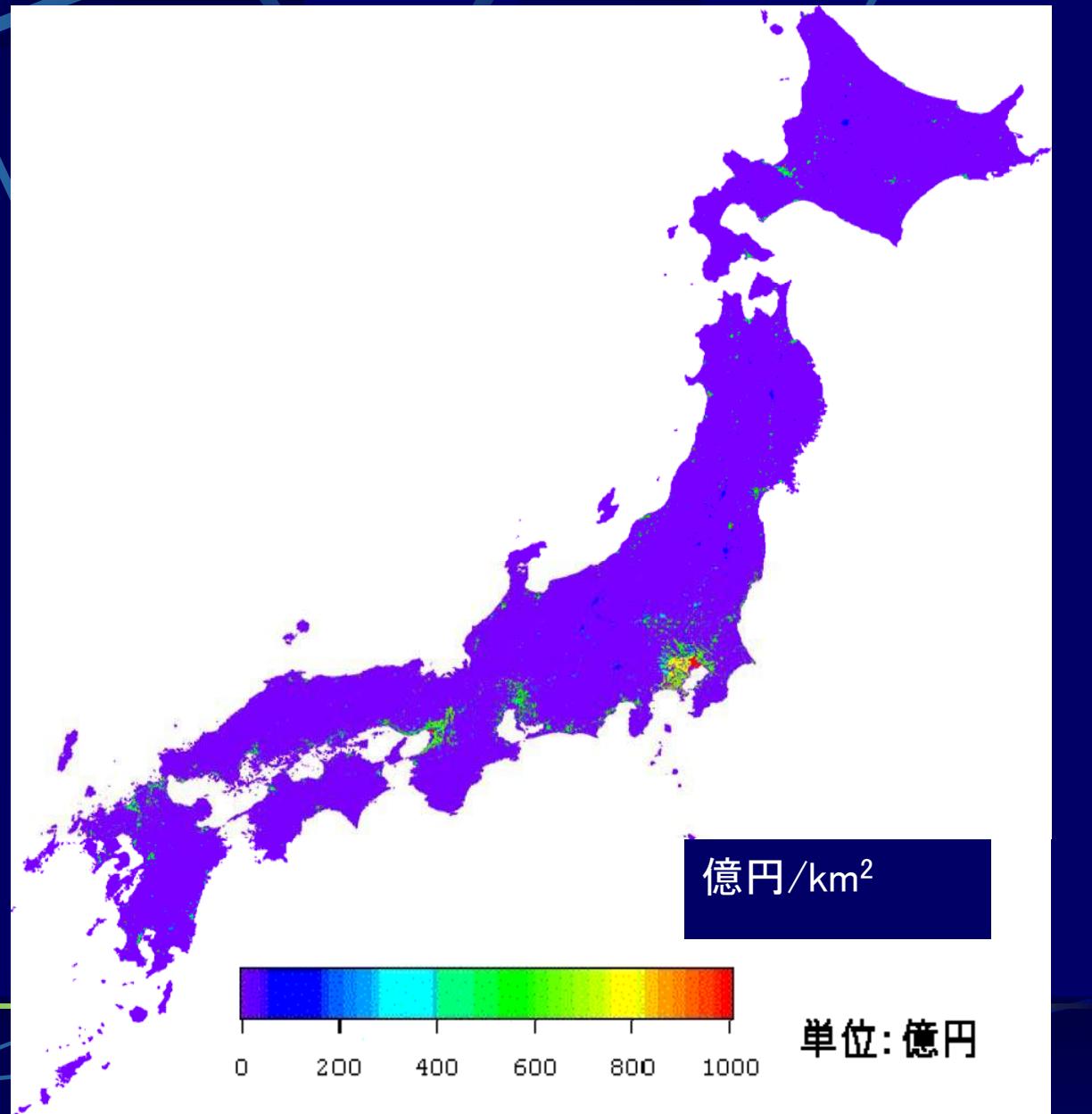
50年の治水対策が備わっているとすると…

100年降雨の年期待被害額は1兆円。 河川局予算の1年分。

年平均被害額(期待値)の分布

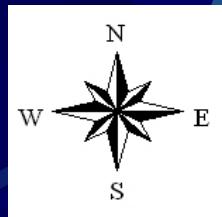
3大都市圏、都市域と地方との差が大きい。

低平地に大きな被害
→ 都市が多い
→ 働地 被害小



被害額推定の検証

Name (daily rainfall, RTN period)



138°

139°

Maki (109mm, 15)

Teradomari (194mm, 175)

Niitsu (101mm, 10)

Ave. Return period: 113 yrs

Oguni (127mm, 20)

Tokamachi (88mm, 2)

Tsunami (121mm, 25)

Tochio (421mm, 530)

Koide (136mm, 25)

38°

37°

elevation [m]

- 0 - 200
- 200 - 500
- 500 - 800
- 800 - 1300
- 1300 - 2600

平成16年新潟豪雨の災害実績と降雨極値の増加に 伴う算出被害額との比較（単位:億円）

実績被害額（出典:平成16年度水害統計） 1/113年		2,395
再現期間	概ね再現できている	
被害額	15,283	13,346
		1,937

本日の話題

3. 水害はなぜ起こる？ 洪水の場合

1. 川の構造
2. 洪水の確率
3. 亡くなる理由

洪水被害はなぜ起こる

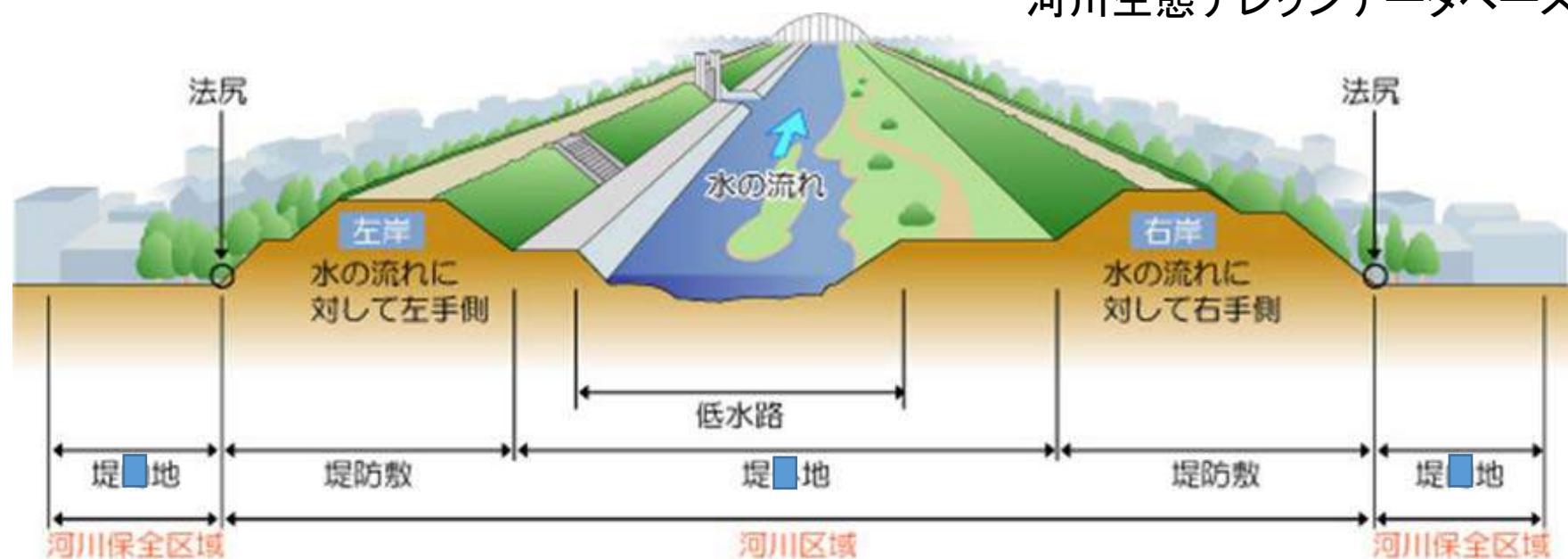
- 川の構造
- 洪水の確率
- 亡くなる理由



洪水被害はなぜ起こる: 川の構造

Question! ■の漢字一文字は何？

河川生態ナレッジデータベースより



大きな川の断面図 堤防に囲まれた水路

小さな川はこうなっていない コンクリート3面張り: 掘込河川



洪水被害はなぜ起こる: 川の構造



<http://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/2-f/saigai.htm>



https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/kiroku/suigai2004/tohoku.html



<http://bylines.news.yahoo.co.jp/masanoatsuko/20151230-00052968/>

パイピング
Piping

洪水氾濫は、1. 溢れる、2. 堤防が壊れる、3. 漏れる 4. 流れない

洪水被害はなぜ起こる: 川の構造



内水氾濫という...

Question! 内水(ないすい)って?

洪水氾濫は、1. 溢れる、2. 堤防が壊れる、3. 漏れる 4. 流れない

洪水の確率

- ・業界では1/5とか1/100とかいう. . . 何？
- ・1級河川（宮城県内は阿武隈川, 名取川, 鳴瀬川,
もうひとつは何？）国が管理する川
 - ・1/15～1/50程度 利根川の目標1/200
- ・2級河川 七北田川とか砂押川とか 県が管理
 - ・1/3～1/15程度 （将来的には1/30）
- ・準用河川 綱木川とか斎勝川とか
1/3～1/5程度



洪水の確率



HEST
Hydro-Environmental System Lab.
Tohoku University

- 溢れて当たり前
- 大きい堤防のほうが被害が大きい
- 年期待被害額(年平均被害額)は小さい堤防のほうが大きい
- 霞堤(かすみてい)が近頃人気

福島市荒川

Question! 日本は年間どれ位の水害被害？

Question! 一人亡くなるいくら？



http://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/mb2_jigyo/river/dobokuisan/dobokuisan.html

亡くなる理由



- 犠牲者はなぜ出る？
- 受動的犠牲者と能動的犠牲者
 - 家にいて亡くなる人と川を見にいって亡くなる人
 - 車はなお危ない
 - 足元がみえない
- 情報が大事

Question! 夜の避難勧告

逃げる？ 家に居る？
どっち？？？



H26年東北豪雨
迫川, 熊川ともに運転手が亡くなる



本日の話題

4. 適応策の考察

1. 適応の限界
2. 防御, 緩和, 撤退に分類(Klein, 1999)
3. 洪水の適応オプション

水害の対策

- 将来の洪水に対する対策

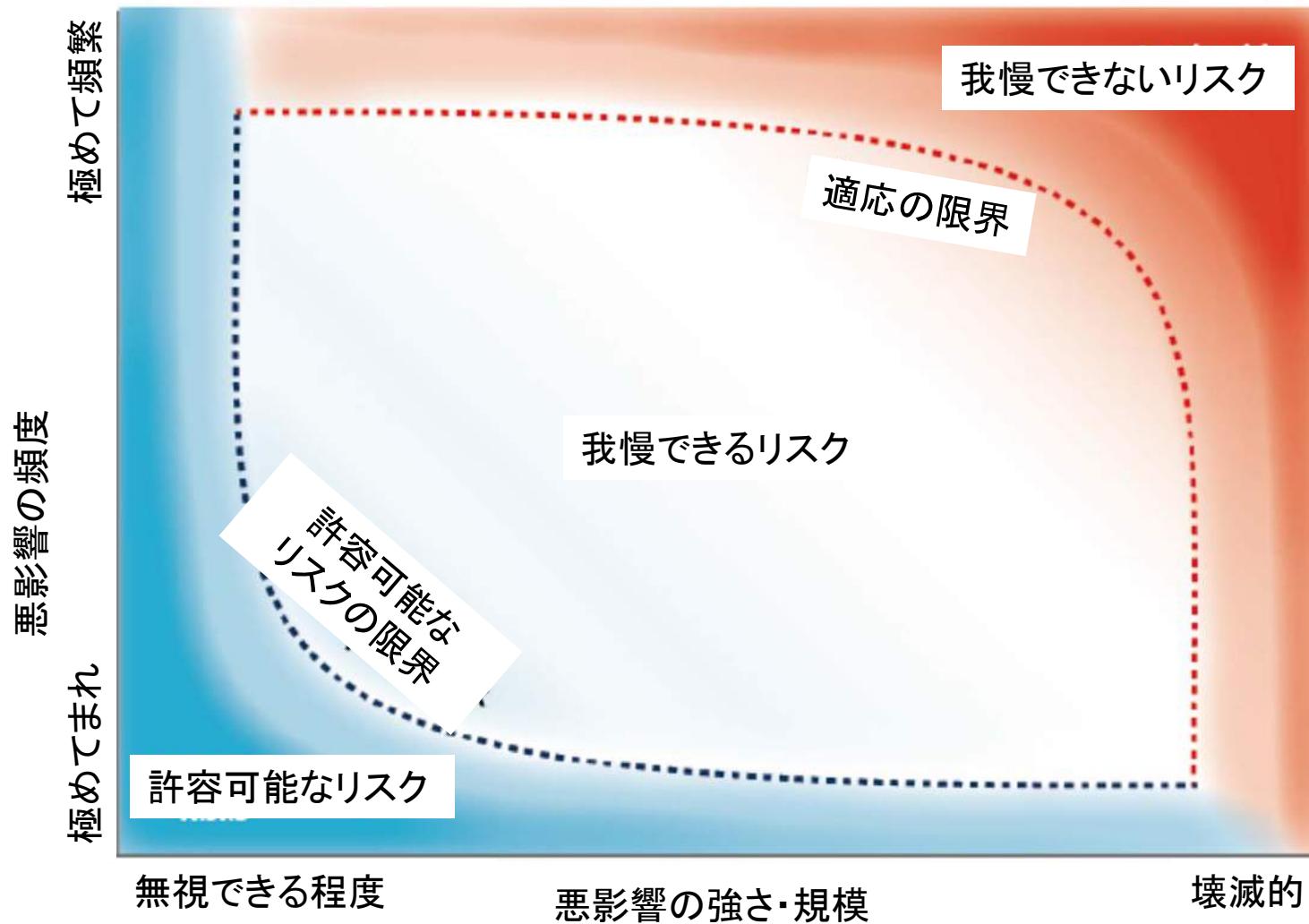
→ 変化に順じて対策する

→ 「適応策」という言葉が使われる

水害だけでなく、農業や健康についても使う

適応の「限界」の概念

IPCC-AR5-
WG2-新知見

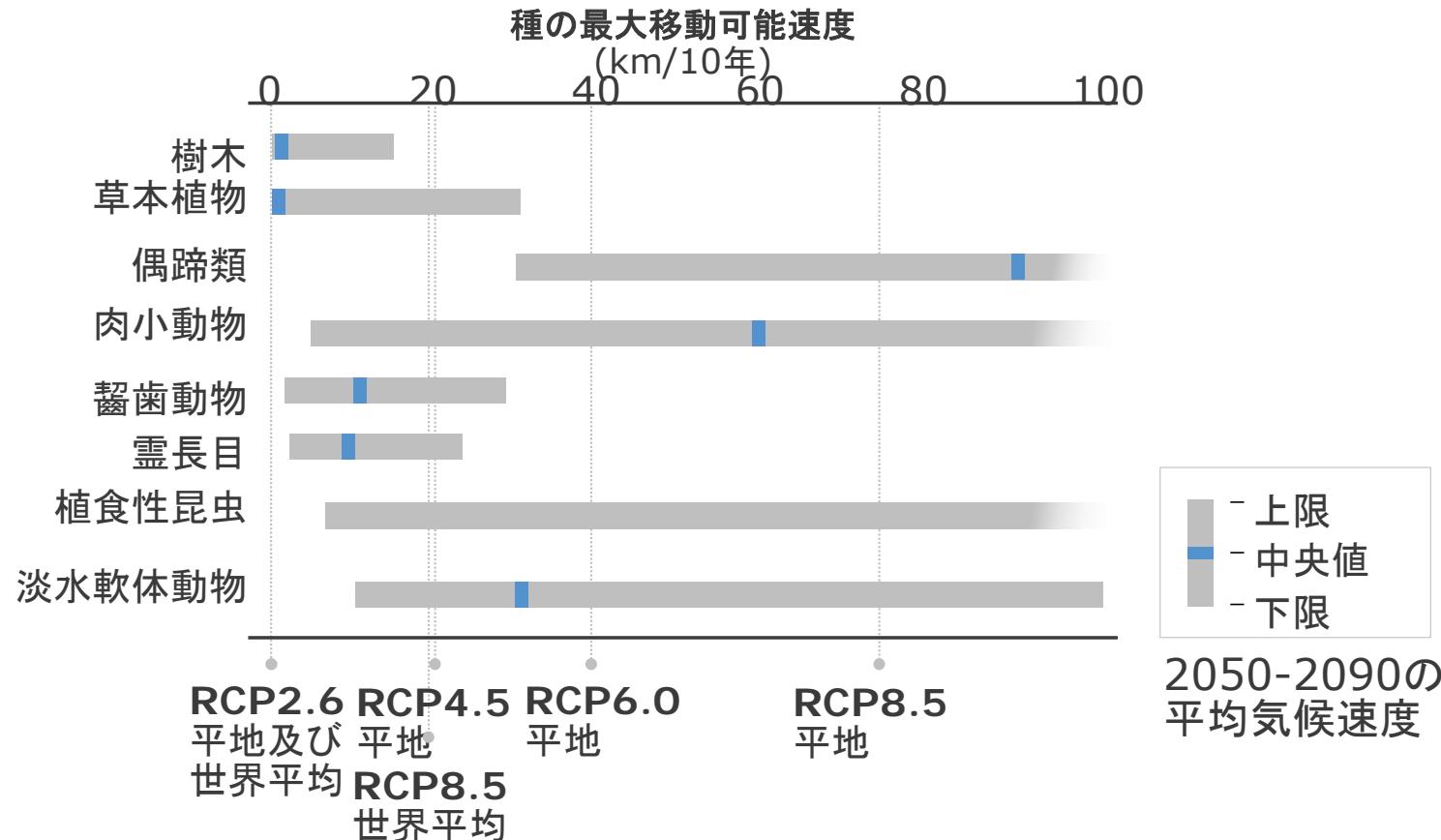


- ・適応はリスクを「我慢できる」範囲に抑えておくことを目的としてとられる努力である
- ・適応の「機会」および「制約」は、主体がリスクをその範囲にとどめておく能力に影響する。

適応の限界: 動植物の例

IPCC-AR5-
WG2-新知見

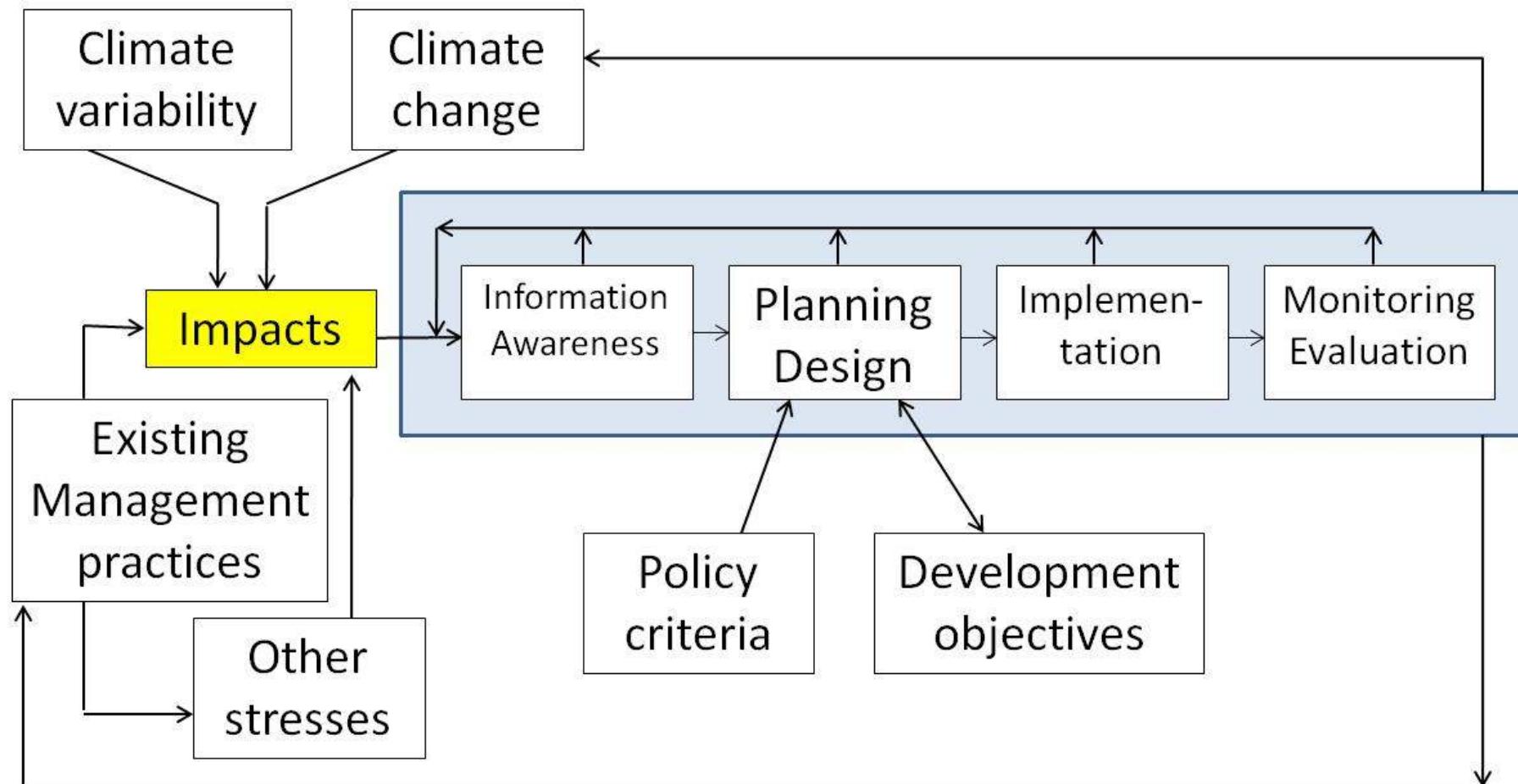
- ・21世紀に予測される気候変化速度と種の最大移動可能速度のどちらが大きいか。
- ・最大移動可能速度は適応の限界の一種と考えることができる。



陸域・淡水域の生物種の大部分は、21世紀中及びそれ以降に予測される気候変化の下で絶滅リスクの増加に面する。これは、生息地の改変、乱獲、汚染、侵入種といったその他ストレス因子と気候変化が相互作用する場合には、特にいえることである。(高い確信度)

全てのRCPシナリオ下で絶滅リスクは増加し、そのリスクは気候変化の大きさ・速度とともに増加する。多くの種が、中～高程度の気候変化速度(すなわちRCP4.5、6.0、8.5)の下では、21世紀中に、生育に適した気候を追って移動することが出来ないであろう。低程度の気候変化速度(すなわちRCP2.6)の場合、この問題は軽減される。

適応策(対策)過程



Klein et al., 1999

29

適応?

What do you do?



訪問先の情報が必要

影響研究は情報を提供してくれる



日本夏

南半球

When will you do?



適応

REVIEW

▶ IPCC第三次報告書の分類 (Third AR)

- システム
 - 自然システム ⇔ 人間システム
 - 自然システムは自律的適応
- 適応意図Intention
 - **自律的** ⇔ **計画的**
 - 公共機関は自律的に適応しない
 - 公共事業は計画的適応
- 実行時期
 - **事後** ⇔ **事前**



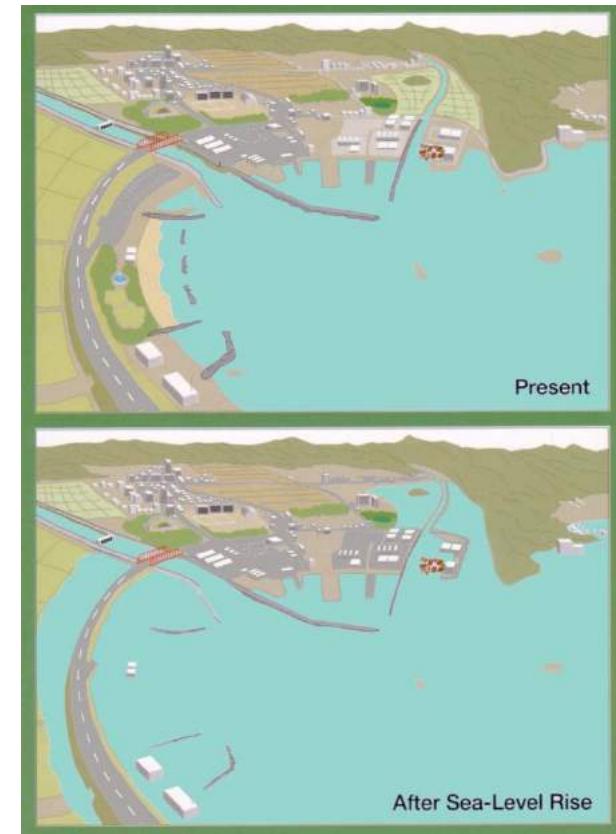
政府や民間は計画的かつ事前の適応を好むが、実際は
そうなっていない。

適応政策

- ▶ 3つの適応策
 - 防御, 受容, 撤退. (Klein, 1999)
- ▶ 受容量の増加は持続的な開発につながる(Kubota, 2006)
- ▶ 頑健な構造物は気候変動に対して脆弱性を減少させる.



L: protection
R: Toleration
MOE



適応オプション(国土交通省)

- ・ ハードウェア:

ダムの設置, 既存ダムの有効活用, 遊水地, 放水路, 河道掘削, 引堤, 堤防嵩上げ, 河道内樹木伐採, 決壊しない堤防, 決壊しづらい堤防, 高規格堤防, 排水機場, 雨水貯留施設, 雨水浸透施設, 遊水機能の保全, 部分的に低い堤防の存置, 霞堤, 輪中, 二線堤樹林帯, 宅地嵩上げ, 水田保全, 森林保全

- ・ ソフトウェア:

土地利用規制, 予測情報の提供, 法律の整備
水害保険, 早期警戒システム, ハザードマップの配布,

適応オプション(国土交通省)

- ・ 既往の洪水対策と変わらない
- ・ 複数を組み合わせることが多い
 - 総合治水
- ・ 渴水, 環境, 文化なども勘案
- ・ 経済効率だけでオプションは決められない
 - 地域性, 政治性, 歴史性

本日のまとめ

1. 気候変動の展望
2. 被害額の推定
3. 水害はなぜ起こる
4. 適応策の考察
5. 補足: 洪水氾濫モデル