

気候変動影響評価研究の進展

中北英一

京都大学 防災研究所
気象・水象災害研究部門

SOUSEI



KAKUSHIN

適應への考え方

- 不確定だからといって適應を遅らせていると将来の適應が不可能あるいは困難になる危険性がある。
- 実践を通しての適應：「はっきりとはわからないけど進める」
 - 専門家はまずこの認識を持つことが大事。
 - 「現在の進行も適應になる」以上の認識が必要。
 - この認識を、他省庁とも共同して、国民に理解してもらうように努める。
 - 温暖化の影響らしきものを国民に発信してゆく
 - 「具体的な実行があつて助かった」を蓄積してゆく。
- 基本計画としての適應
 - 設計値(年確率値)にのみこだわるならまだまだ不確定性は高い。
 - だからこそ、最悪シナリオ(極端シナリオ)をどう計画に組み込んでいくか、という適應が重要。(設計値にという意味ではない)

Innovative Program of Climate Change Projection for the 21st Century

KAKUSHIN

我が国の災害影響評価へのポイント

- 様々なハザード、人と関わった災害がある。
- 現実味のある(たとえば)河川流量を算定するためには、時間・空間的にきめ細かな情報が求められる。
- 気候モデルによる高解像出力が可能となって初めて、我が国の洪水、高潮・高波・波浪、風災害などの災害環境への気候変動による影響評価が可能となった。

KAKUSHIN

内 容

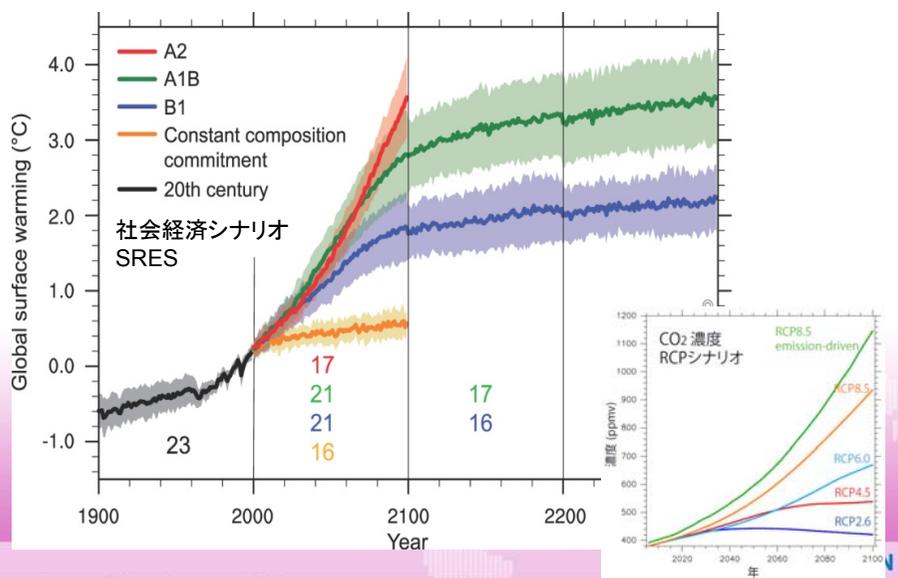
- 気候モデルによる出力とは
- 水災害に関係する気候モデル出力の特徴
- 水災害に関連する諸量の将来変化
- 不確定性について
- 最悪シナリオについて
- 創生プログラムの向けて

SOUSEI

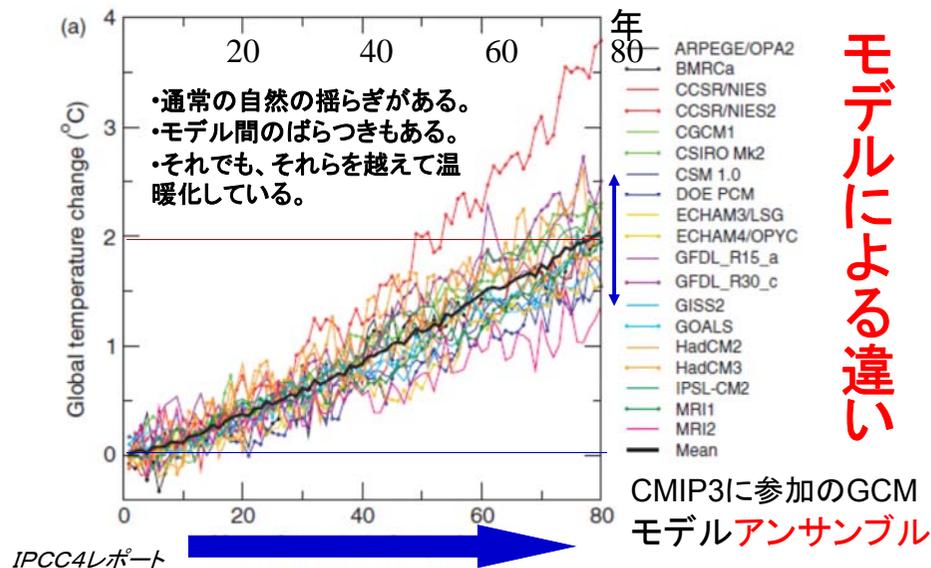


KAKUSHIN

CO2排出シナリオの違い

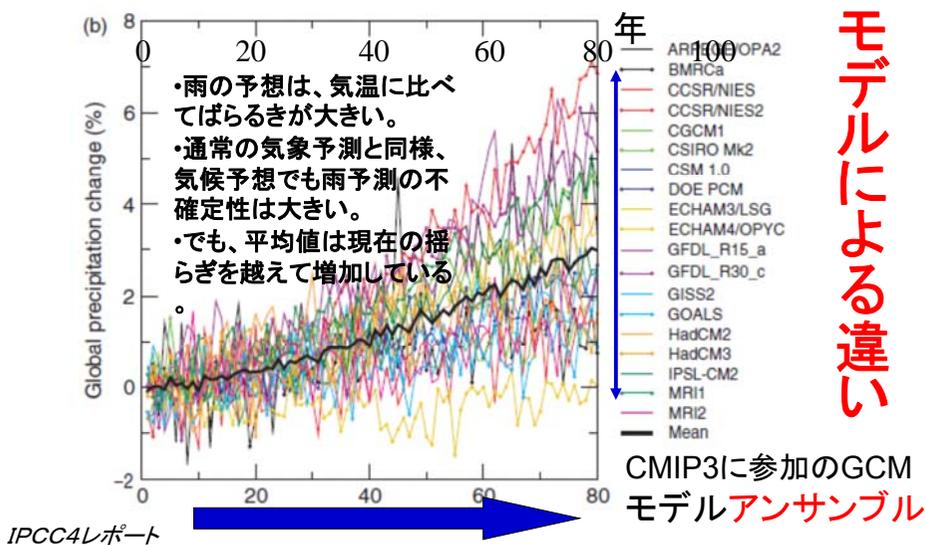


CO₂増加(1%/年)により、どの最新(最良の)気候モデルも、**全球気温の上昇**(平均1.5~2.5°C/100年)を予測



モデルによる違い

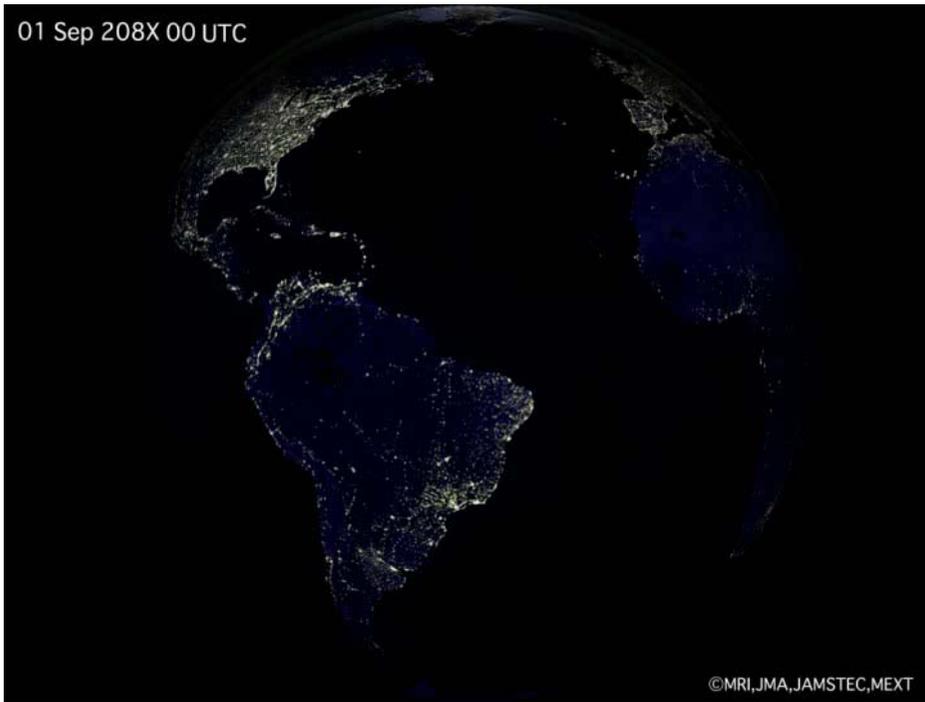
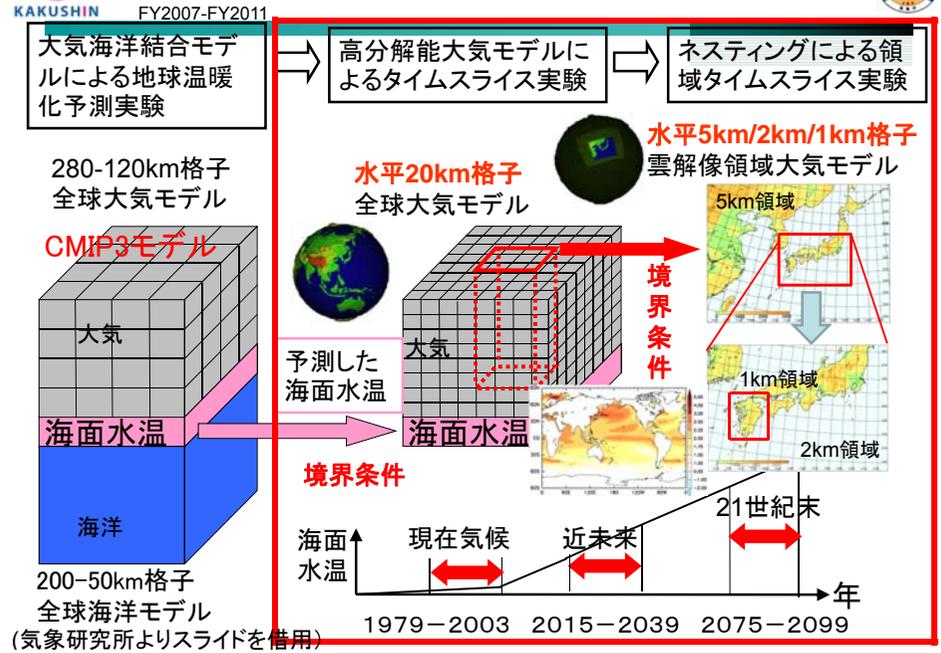
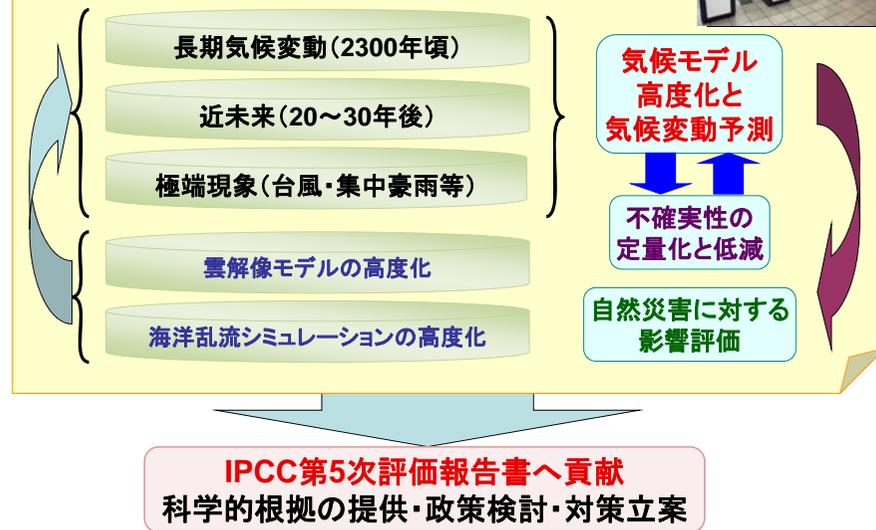
CO₂増加(1%/年)により、どの最新(最良の)気候モデルも、**全球降水量の増加**(平均2~3%/100年)を予測



モデルによる違い

共生、革新から創生プログラムへ

- Kyousei(共生)Program:2002-2006
 - 20kmRCM(領域気候モデル) (日雨量)
- Kakushin(革新)Program:2007-2011
 - 20kmGCM(全球気候モデル、時間雨量)
 - 5,2,1kmRCM (時間雨量、30分雨量、10分雨量)
 - 自然災害への影響評価
- Sousei(創生)Program:2012-2016
 - アンサンブル情報を用いた影響評価(ハザード+社会的)
 - 適応策への哲学、考え方の構築
 - 自然災害, 水資源, 生物生態系・生態サービス

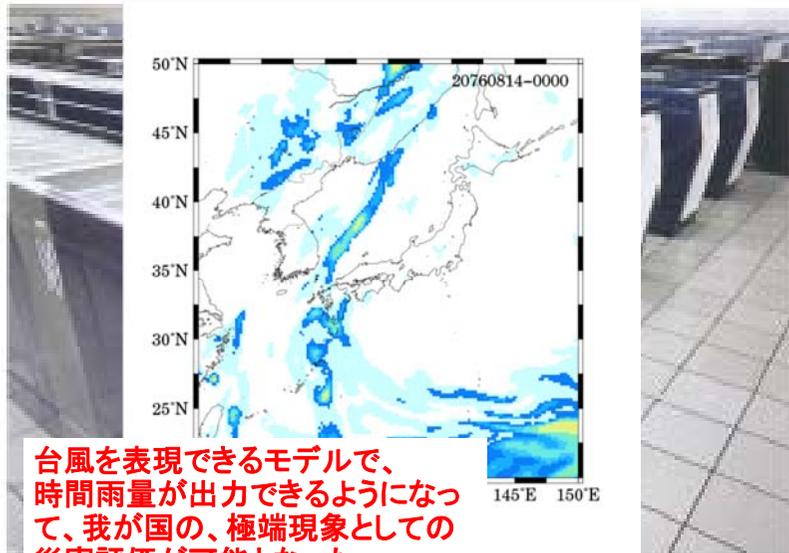


気象予測と気候予測との違い

(気象研究所よりスライドを借用)

- | | |
|---|---|
| <p>■ 天気(気象)予報</p> <ul style="list-style-type: none"> 大気の瞬間値を予測 たとえば、
2013年
3月5日15時の
気温
降水量 | <p>■ 気候予測</p> <ul style="list-style-type: none"> 平均値など統計を予測 たとえば
2071年-2100年の30年平均
の
3月の
月平均気温
月平均降水量
日平均気温の発生頻度
日降水量の発生頻度 |
|---|---|

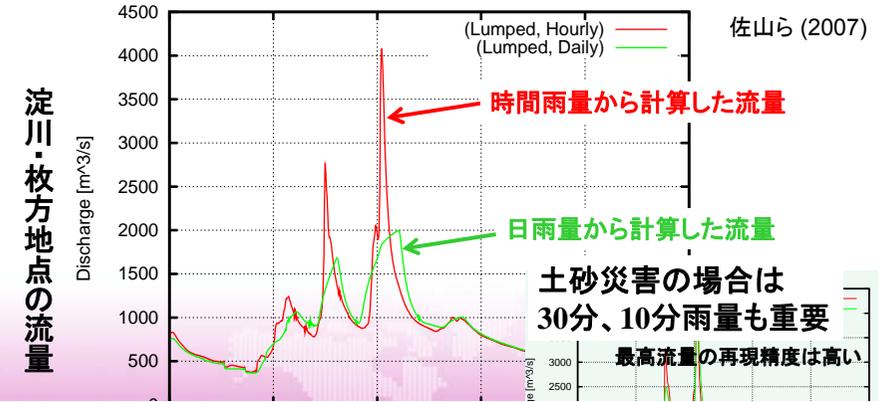
地球シミュレーターが推測する2076年8月後半



台風を表現できるモデルで、時間雨量が出力できるようになって、我が国の、極端現象としての災害評価が可能となった

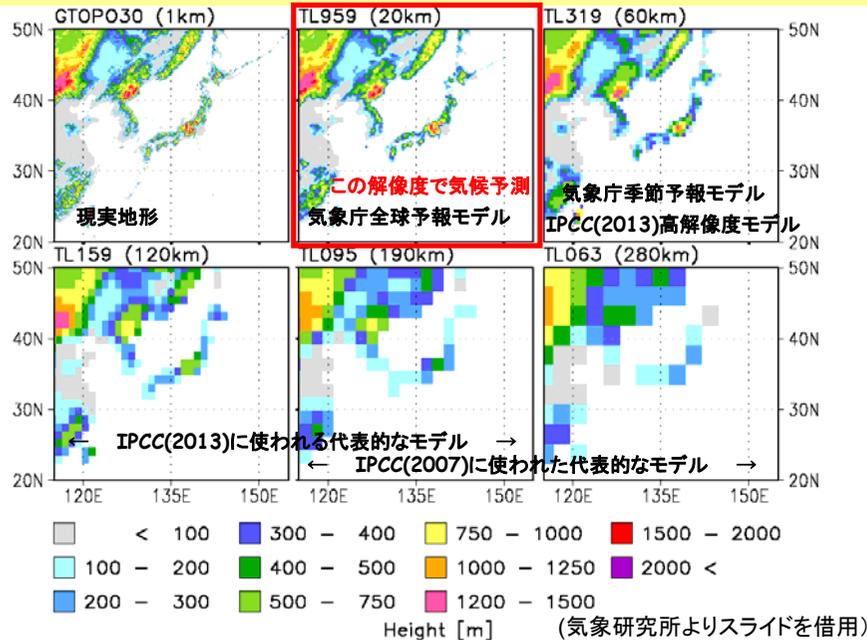
我国の災害評価における時間雨量の重要性

日雨量データの利用だけではピーク流量を半分に算定してしまう。



利根川や淀川といった大河川ですら毎時毎時の雨量情報が気候モデルから出力されるようになって初めて、現実味のある河川流量や水位の算定が可能になりました。

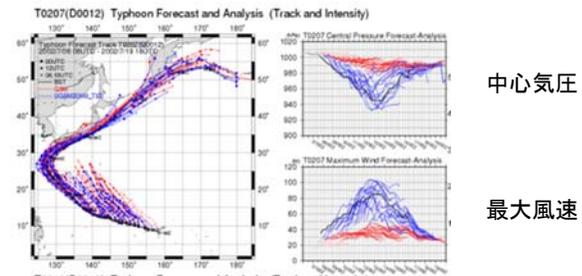
高解像度の重要性



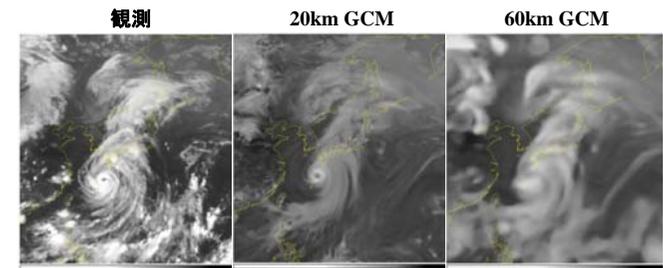
台風予測のモデル分解能依存性

(20kmと60kmモデル) (気象研究所よりスライドを借用) (Murakami et al., 2008)

台風の予測トラック



36時間予測図



内容

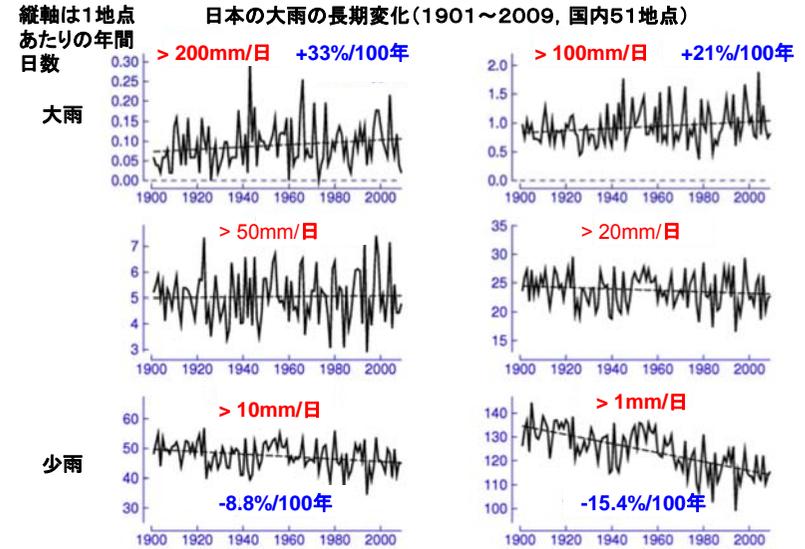
- 気候モデルによる出力とは
- **水災害に関する気候モデル出力の特徴**
- 水災害に関連する諸量の将来変化
- 不確定性について
- 最悪シナリオについて
- 創生プログラムの向けて

SOUSEI



KAKUSHIN

観測のトレンドと傾向は一致

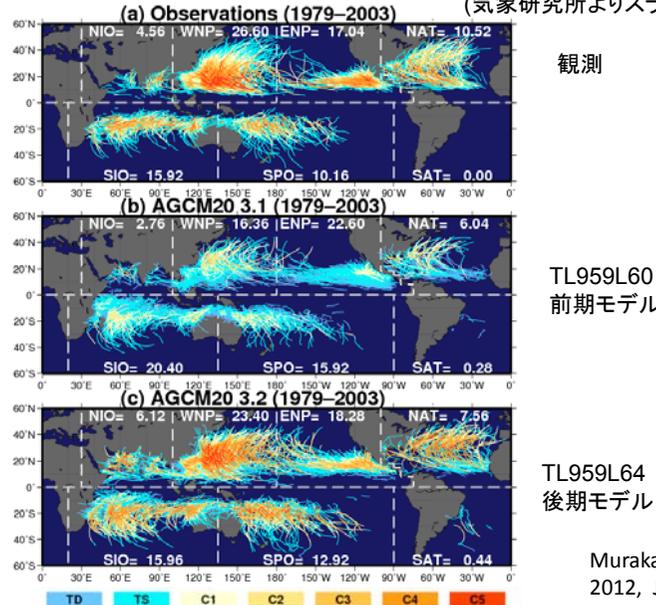


(気象研究所よりスライドを借用)

藤部2011

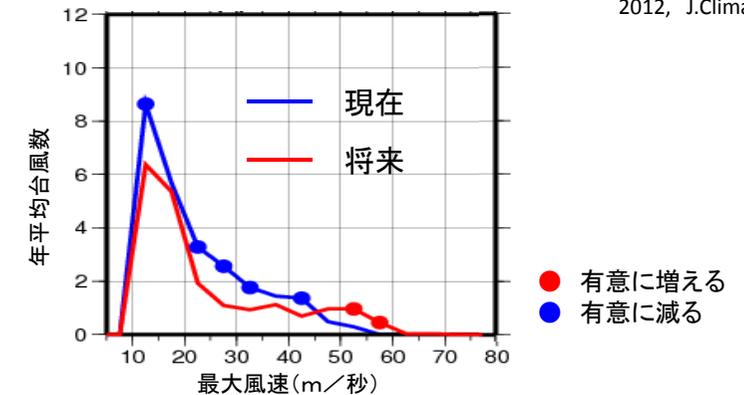
熱帯低気圧の強度別分布図

(気象研究所よりスライドを借用)



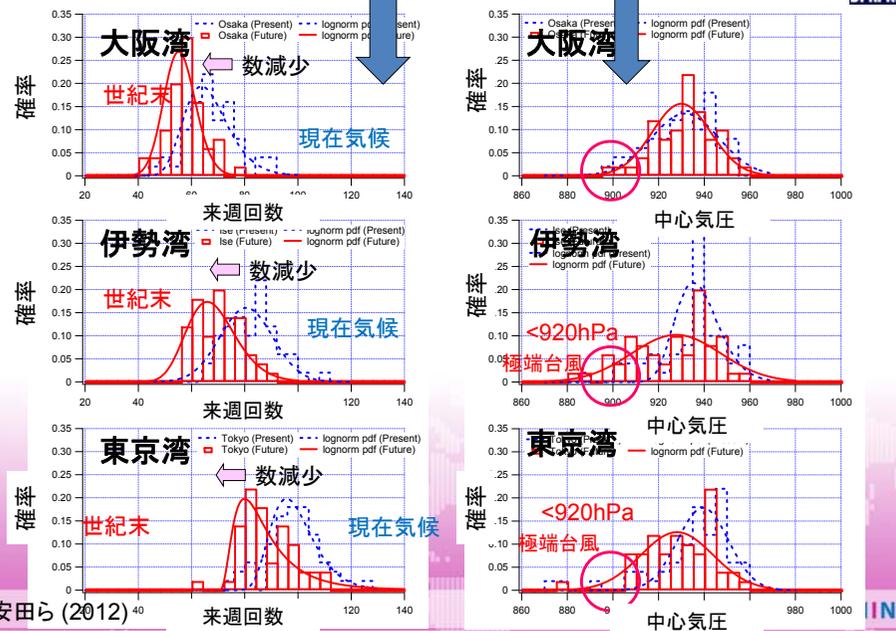
強い台風が増加 (前期モデル)

(気象研究所よりスライドを借用)



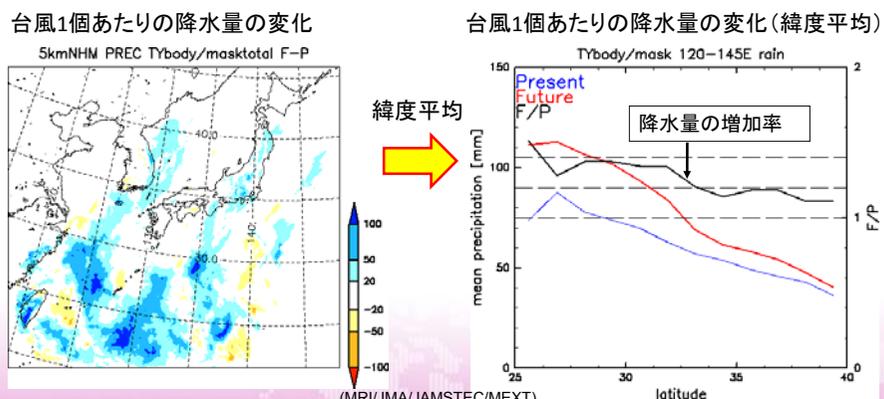
台風の発生数は減るが、いったん発生すると、発達に必要な水蒸気が(気温が高いと)多いため、最大発達可能強度は強くなる

三大湾への台風来襲回数と中心気圧の頻度変化



台風によってもたらされる日本付近の降水の特性と将来予測

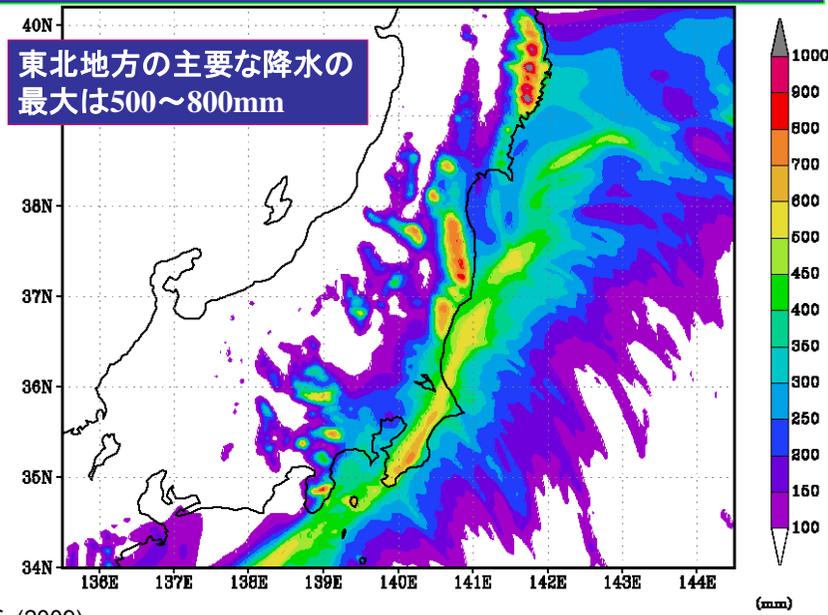
(気象研究所よりスライドを借用)



21世紀末には台風一個あたりの降水量が増加
日本付近での降水量増加は約20~40%
ただしサンプル数が少ない→擬似温暖化実験



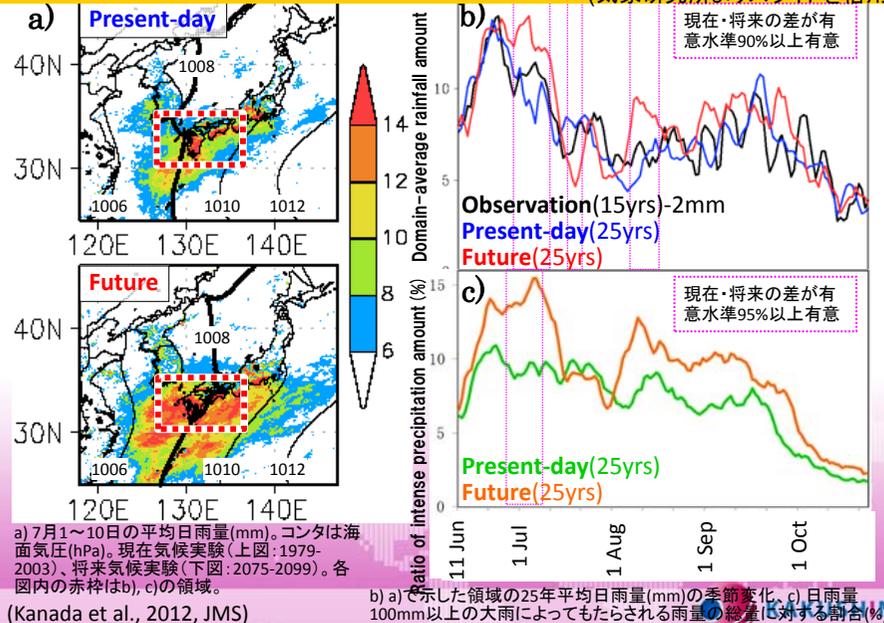
GCM温暖化気候の台風のCReSS実験: 台風SF0508による総降水量(mm)



坪木ら (2009)

西日本周辺域の梅雨の変質

(気象研究所よりスライドを借用)



内容

- 気候モデルによる出力とは
- 水災害に関係する気候モデル出力の特徴
- **水災害に関連する諸量の将来変化**
- 不確定性について
- 最悪シナリオについて
- 創生プログラムの向けて

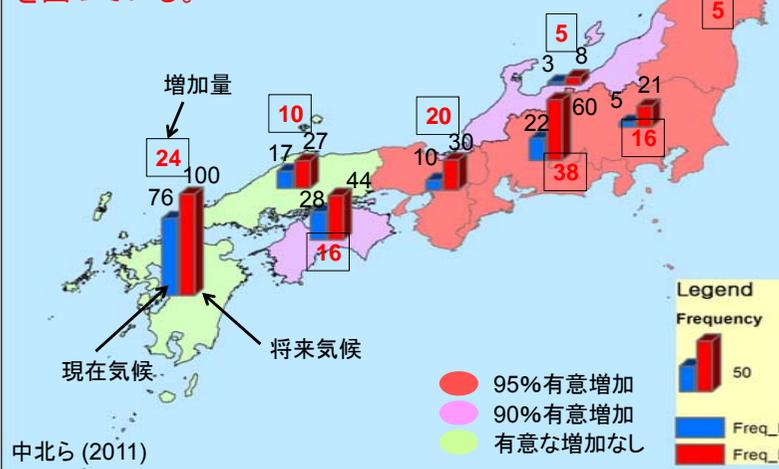
SOUSEI

Program of Climate Change Projection for the 21st Century

KAKUSHIN

RCM5を用いた梅雨集中豪雨の発生回数(25年)

現在、AGCM60によるアンサンブル結果を用いて、推定結果の有意性向上を図っている。



* 実効降水量の将来変化

全球モデル(60km)アンサンブル計算 不確実性を評価

表層崩壊発生のポテンシャル

$R_{1.5}$

ほとんどの地域で10~20%増える

深層崩壊発生のポテンシャル

R_{72}

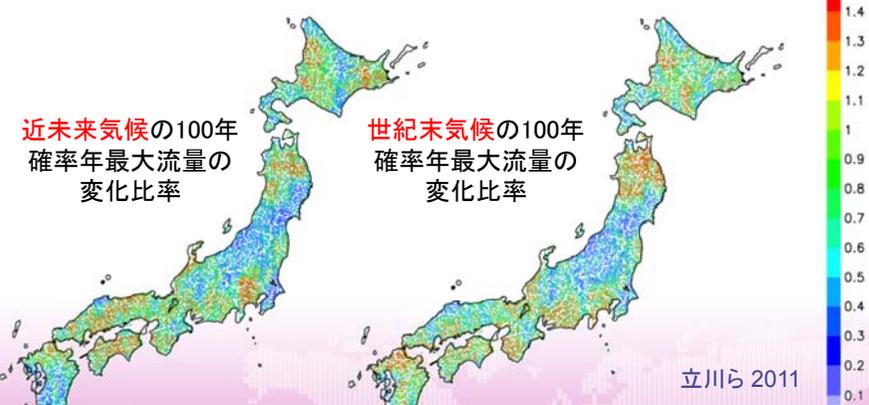
東海以西と東北で10~20%増える

◆.....95%の信頼度で有意な変化, *.....それに満たない変化

革新

Oku and Nakakita (2013)

再現期間100年に対応する年最大流量の変化比率(台風到来が大きな影響)



- 東南北部と北陸東部以外、ほとんどの地域で最大流量は増加。30-40%増も。
- もともと大雨の少ない東北では、クリティカルになる危険性が高い。
- ただし、九州~近畿以外では、台風到来頻度が元々相対的に少なく、GCMによる25年間の計算では、たまたまという影響が大きいと考えられる。洪水危険度は東日本も要注意。

再現期間10年に対応する渇水流量の 変化比率(台風が来ない事が大きな影響)

渇水流量: 1年で約10番目に少ない、河川の一日の流量

近未来気候の10
年確率渇水流量
の変化比率

21世紀末気候の10
年確率渇水流量の
変化比率



立川ら 2011

- 北日本と中部山地以外では、渇水時の流量減少。渇水が深刻に。
- 西日本では、洪水危険も増すし、渇水危険度も増す。
- ただし、九州～近畿以外では、台風到来頻度が元々相対的に少なく、GCMによる25年間の計算では、たまたまという影響が大きいと考えられる。

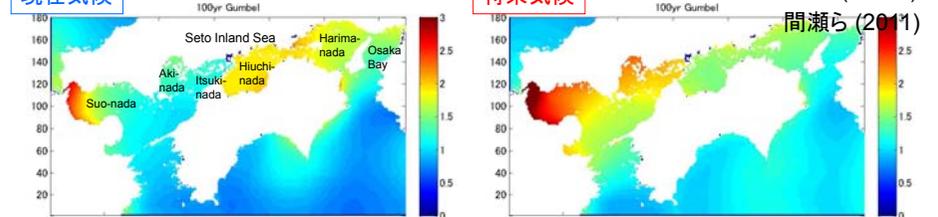
気候変動予測実験出力を直接用いた高潮リスクの評価

GCMデータを駆動力として高潮シミュレーションを実施。台風ごとの最大高潮偏差を極大値資料とし、Gumbel分布を用いて極値統計解析を行った。再現期間は100年。

現在気候

将来気候

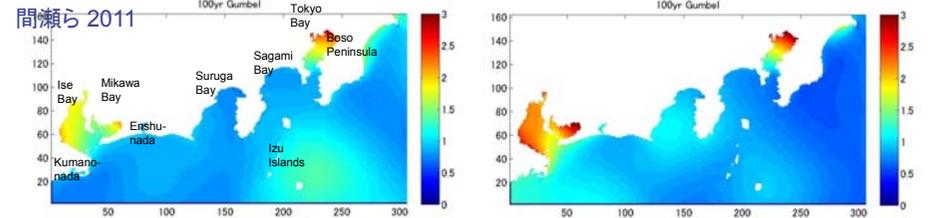
(unit: m)



周防灘西部における高潮偏差の再現確率値が最大で、2.4~2.7m。燧灘および播磨灘においても大きい。

周防灘で、現在気候に比べて大きく増大し、3.0~3.7m。燧灘や播磨灘では小さく、安芸灘および斎灘では大きくなった。

間瀬ら 2011

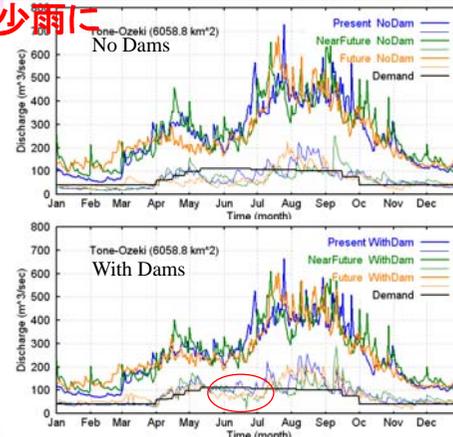
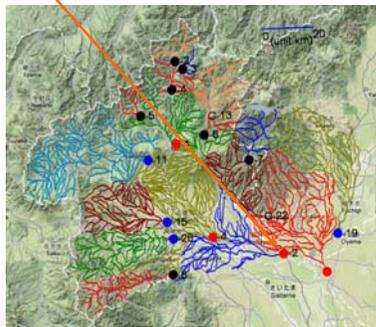


東京湾で最も大きく2.3~3.0m。次いで、伊勢湾西部および三河湾で大きく、それぞれ1.8~2.1m, 1.5~2.1m。

東京湾では2.3~3.4mに増大したのに対し、伊勢湾では2.2~2.6m、三河湾では2.5~3.2mと際だって増大した。

利根川ダム群は今世紀末の少雨に 対応できるか?

Water Resources at
Tone-Ozeki (6058.8 km²)



- ダム群から離れた下流の地点である利根大堰(流域面積6058.8km²)に対する計算結果からは、ダム群の操作影響が少なくなることがわかる。
- 利根大堰地点では、ダム群操作にもかかわらず年最小流量が必要な水利用量に対して満足できない時期が現れる。そのため、新たな操作ルールの開発が必要とされる。

Water Demand

- Living water: 37.43 m³/s
- Industrial water: 2.08 m³/s
- Agricultural water:
 - Apr~May 39.51 ~ 60.99 m³/s
 - May~Sep 111.62~186.71 m³/s

Kimら, 2010

Climate Change Projection for the 21st Century

内容

- 気候モデルによる出力とは
- 水災害に関する気候モデル出力の特徴
- 水災害に関連する諸量の将来変化
- 不確定性について
- 最悪シナリオについて
- 創生プログラムの向けて

SOUSEI



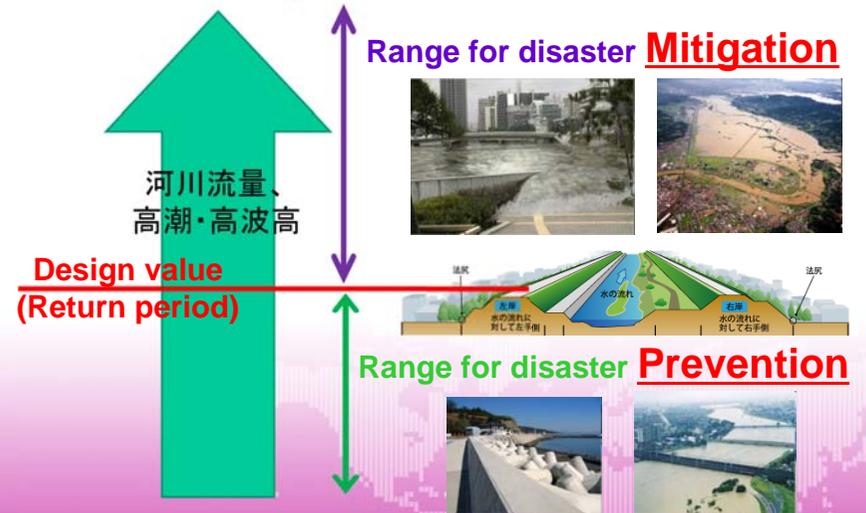
Program of Climate Change Projection for the 21st Century



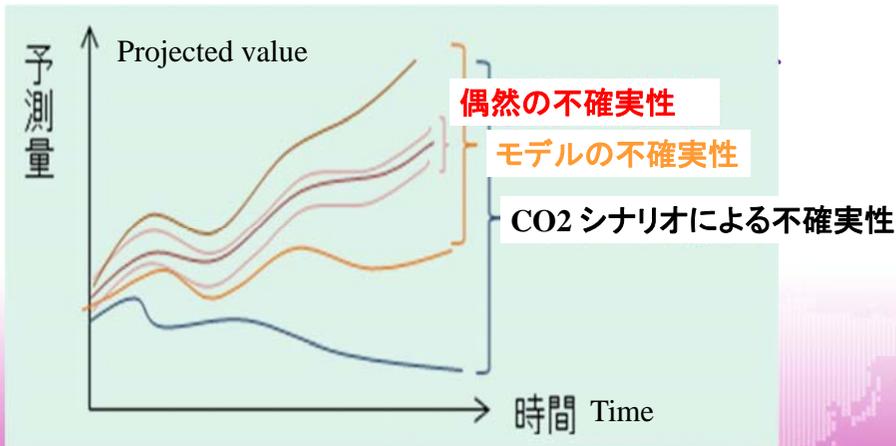
不確定性がまだまだある(1)

- 以上の気候変動影響評価としての計算結果は概算値である。特に、まれな(極端な)ハザードほど不確定性は高い。(もちろん、概算値とその精度が出るだけでも、飛躍的な進歩である)
- なぜなら、気候モデルによる世紀末までの出力の中には特定の河川や湾に対する最悪の台風がたまたま含まれない場合も想定されるから。

Design value (確率値)



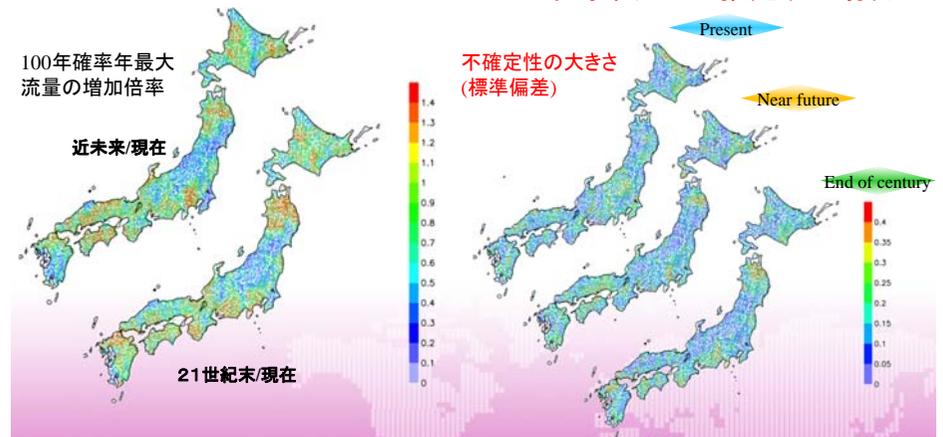
GCM予測に潜む不確実性



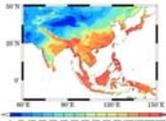
年最大河川流量の増大推測の不確実性

100年確率値の不確実性(Jackknife 法による)

25年時系列から推定する場合

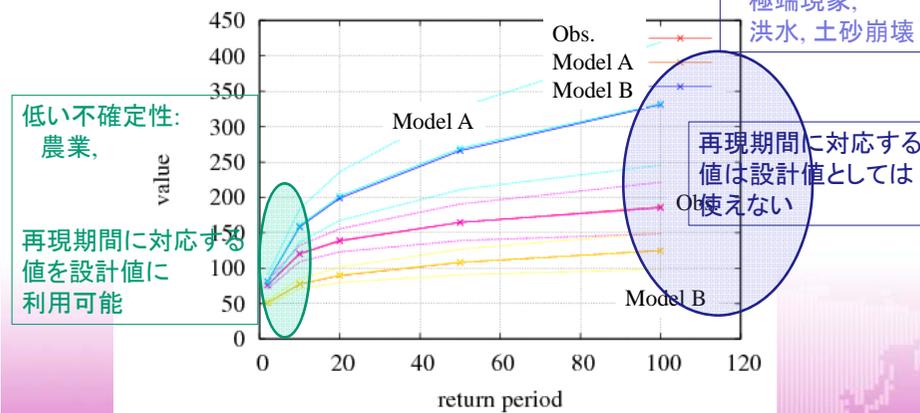


増大倍率が高いほど不確定性が大きい



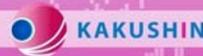
再現期間に対応する推定値の不確実性

年最大値



25年の時系列から算定

Konoshima and Nakakita (2010)



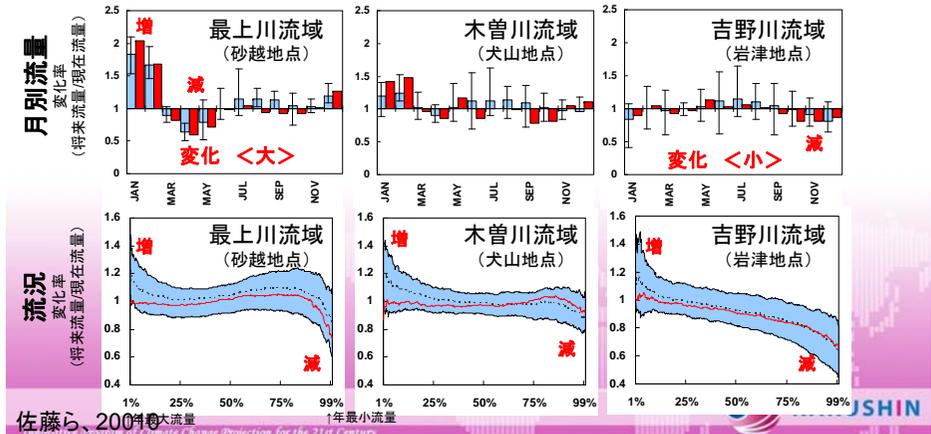
河川流域の将来流況変化 (マルチモデルによる評価)

Present	Future
1981-2000	2081-2100

赤色: AGCM20 (MRI-AGCM3.1S)

水色: CMIP3 (AOGCM-8model)

Model	MRI-AGCM20	INGV-SXG	MIROC3.2 (hires)	CSIRO-Mk3.0	CSIRO-Mk3.5	ECHAM5 MPI-OM	CNRM-CM3	UKMO HadCM3	CGCM3.1 (T47)
Horizontal Resolution	20km	125km	125km	208km	208km	208km	313km	274km	417km



佐藤ら、2004年

内容

- 気候モデルによる出力とは
- 水災害に関係する気候モデル出力の特徴
- 水災害に関連する諸量の将来変化
- 不確実性について
- **最悪シナリオについて**
- 創生プログラムの向けて

SOUSEI



不確実性がまだまだある(2)

- ・ そこで、最悪シナリオも影響評価の対象としておきたい。
- ・ たとえば、できるだけ気象学的に根拠のある形で台風のコースをずらして大雨や河川流量を算定するとどうなるだろうか？



適応に向けて

最悪シナリオ

サバイバビリティ・クリティカル(生存の淵、土俵際)から、しなやかにより戻せる足(社会システム)が、より重要となる

減災の対象となる範囲
= 大規模災害の場合もふくむ

世紀末のデザイン値

気候変動による影響評価では
= 同じ頻度に対応するデザイン値は上昇する。
= でも、どこまで上昇するかにはあいまいさがある。

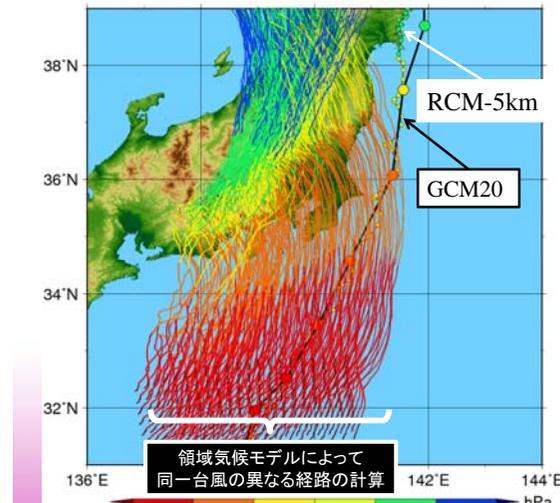
将来気候下での推測デザイン値には不確実性がある

現気候下でのデザイン値

河川の流量
高潮の水位

防災の対象となる範囲
= 堤防から水は溢れさせない。
防波堤から水は越えさせない。

極端台風の進路を操作して最悪シナリオを

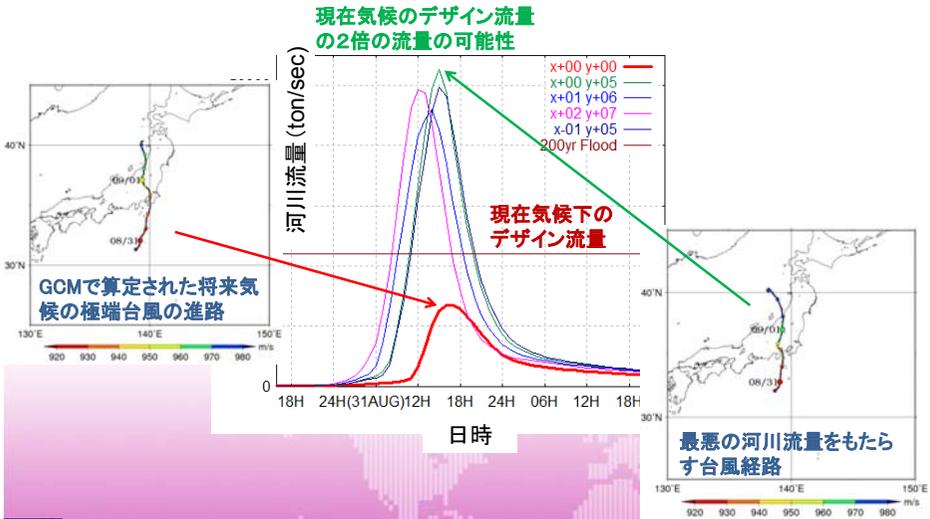


台風の渦を保存させて中心位置を移動させる。
(コマを移動させる)

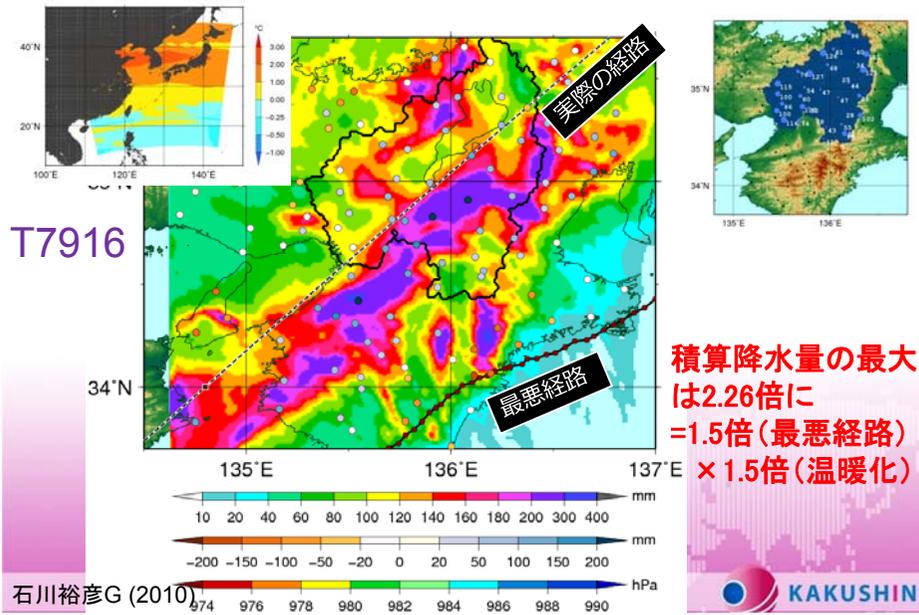
領域気候モデルで移動後の数値シミュレーションを実施。
(コマを再び放して勝手に移動させる)

影響評価
・ 陸: 強風・河川流量・浸水
・ 海: 波浪・高潮

GCMで算定された将来気候極端台風を 進路変更させたときの最悪河川流量

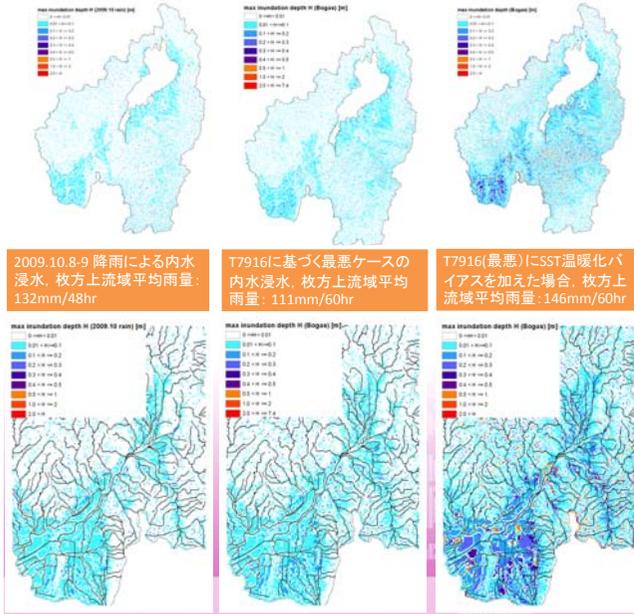


海面水温上昇を仮定した「最悪経路」積算降水量



積算降水量の最大は2.26倍に
= 1.5倍(最悪経路) × 1.5倍(温暖化)

浸水深計算結果 (T7916ベース)



結果的に低平地では、最悪経路(現在)で大きくて10~20cm程度の浸水深、

最悪経路(将来:温暖化)で20cm~1mの浸水深が計算された。

今回は破堤・溢水はない。

小林ら(2011)



適応策に向けて

- できるだけ気象学的に根拠のある形で台風のコースをずらして大雨や河川流量を算定すると現在の治水目標値の2倍の流量が算定される場合があります。
- 将来の適応のためにこの算定値は考慮に入れるべきでしょうか？
- たとえどれくらいの頻度で到来するかは推定できなくとも、また災害を完全に防ぐことができないものであっても、少なくとも「生起してしまった場合にどうすべきか？」という被害軽減策を考えておく必要があると思っています。



適応に向けて

最悪シナリオ

サバイバビリティ・クリティカル(生存の淵、土俵際)から、しなやかにより戻せる足(社会システム)が、より重要となる

減災の対象となる範囲

= 大規模災害の場合もふくむ

世紀末のデザイン値

不確実性が下がれば。。。。

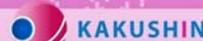
気候変動による影響評価では
= 同じ頻度に対応するデザイン値は上昇する。
= でも、どこまで上昇するかにはあいまいさがある。

現気候下でのデザイン値

河川の流量高潮の水位

防災の対象となる範囲

= 堤防から水は溢れさせない。
防波堤から水は越えさせない。



気候変動影響評価・適応策を考えるにあたって

- 革新プロジェクトで初めて我が国の災害への影響評価が可能になった
- 気候変化が語れる空間分解能と計算分解能等は同じではない:
 - 20km以下の細かさで予想されるからといって、100年先の影響の神戸と大阪で違いは議論できない。
- 安全度評価(デザイン値の将来推定)には不確実性がある:
 - 現在の防災計画は、200年確率など、再現確率をデザイン値にしている。しかし、100年先の状態について正確に「生起確率を評価することはできない危険性がある」。(気候モデルの不確実性やアンサンブル計算数の少なさによる)
- 最悪シナリオ、サバイバル・クリティカルの重要性:
 - 気候変動適応策には増大するデザイン値の確率評価(安全度評価)だけでなく、最悪シナリオベースの評価も極めて大切である。スーパー台風が物理的根拠を持った計算上生起することが見込まれるならば、生起確率が不明であっても最悪シナリオの一つとして採用し、適応策を考える哲学を構築する、そんな考え方の転換が必要がある。サバイバビリティ・クリティカル(生存の淵、土俵際)から、しなやかにより戻せる足(社会システム)が、より重要となる。



内容

- 気候モデルによる出力とは
- 水災害に係る気候モデル出力の特徴
- 水災害に関連する諸量の将来変化
- 不確定性について
- 最悪シナリオについて
- **創生プログラムの向けて**

SOUSEI



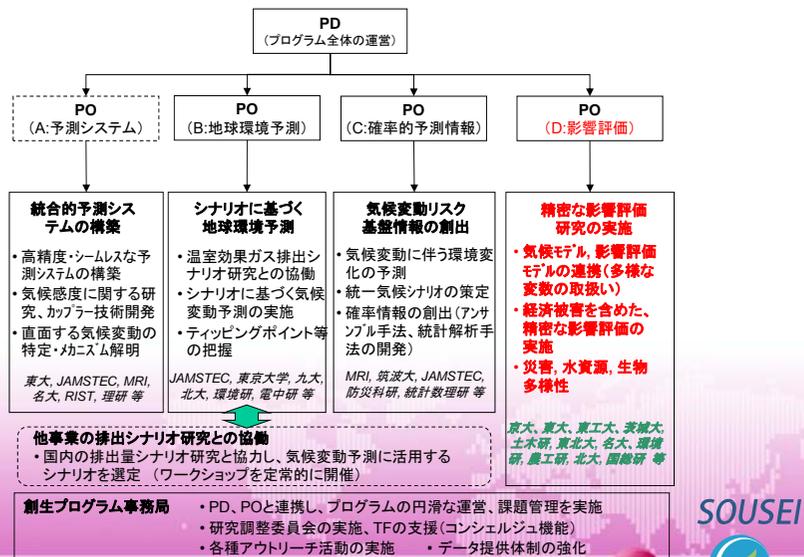
共生、革新から創生プログラムへ

- Kyousei(共生)Program:2002-2006
 - 20kmRCM(領域気候モデル) (日雨量)
- Kakushin(革新)Program:2007-2011
 - 20kmGCM(全球気候モデル、時間雨量)
 - 5,2,1kmRCM (時間雨量、30分雨量、10分雨量)
 - 自然災害への影響評価
- Sousei(創生)Program:2012-2016
 - アンサンブル情報を用いた影響評価(ハザード+社会経済的)
 - 適応策への哲学、考え方の構築
 - 自然災害, 水資源, 生物生態系・生態サービス

SOUSEI



【創生プログラムの運営体制・研究機関】



SOUSEI

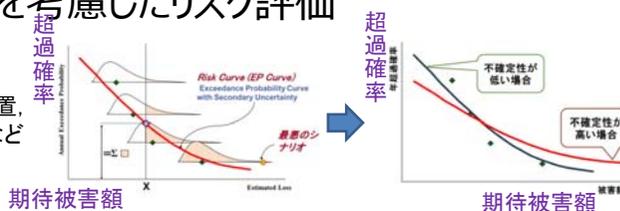


Innovative Program of Climate Change Projection for the 21st Century

適応策の費用便益評価方法の構築

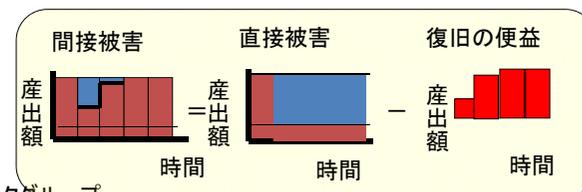
□ 不確定性を考慮したリスク評価

不確定性:
台風の発生位置,
破堤シナリオなど



□ 被害の整合的評価

$$\begin{aligned} \text{総被害額} &= \text{直接被害額} - \text{復旧の純便益} \\ &= \text{間接被害額} + \text{復旧費用} \end{aligned}$$



創生京大リスクグループ

SOUSEI



Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University



Sousei (創生) Program (2012-2016)

適応策創出の哲学・考え方の構築

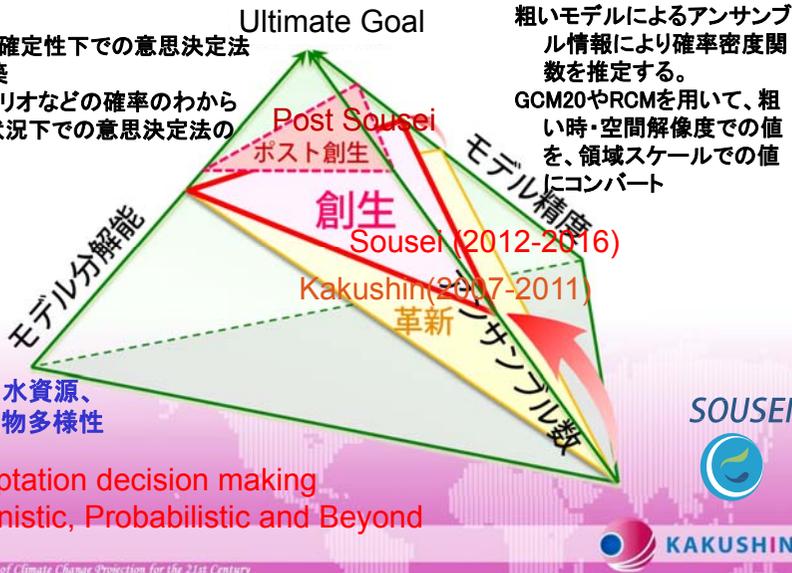
大きな不確実性下での意思決定法の構築
最悪シナリオなどの確率のわからない状況下での意思決定法の構築

より精度の高い確率の推定

粗いモデルによるアンサンブル情報により確率密度関数を推定する。
GCM20やRCMを用いて、粗い時・空間解像度での値を、領域スケールでの値にコンバート

対象:
自然災害、水資源、生態系・生物多様性

For adaptation decision making
Deterministic, Probabilistic and Beyond



適応への考え方

- 不確定だからといって適応を遅らせていると将来の適応が不可能あるいは困難になる危険性がある。
- 実践を通しての適応:「はっきりとはわからないけど進める」
 - 専門家はまずこの認識を持つことが大事。
 - 「現在の進行も適応になる」以上の認識が必要。
 - この認識を、他省庁とも共同して、国民に理解してもらうように努める。
 - 温暖化の影響らしきものを国民に発信してゆく
 - 「具体的な実行があつて助かった」を蓄積してゆく。
- 基本計画としての適応
 - 設計値(年確率値)にのみこだわるならまだまだ不確実性は高い。
 - だからこそ、最悪シナリオ(極端シナリオ)をどう計画に組み込んでいくか、という適応が重要。(設計値にという意味ではない)