

- ii .水資源に関する気候変動リスク情報の創出
 - a.気候変動に伴う水資源に関する社会・経済的影響及びその不確実性の評価研究

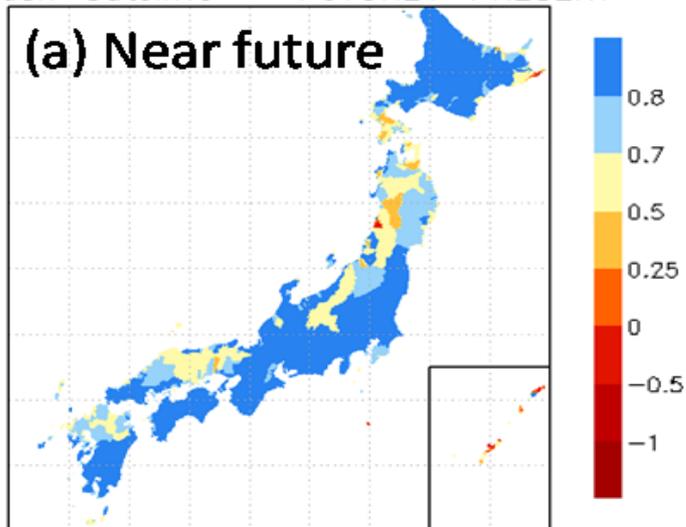
田中賢治
京都大学防災研究所
水資源環境研究センター



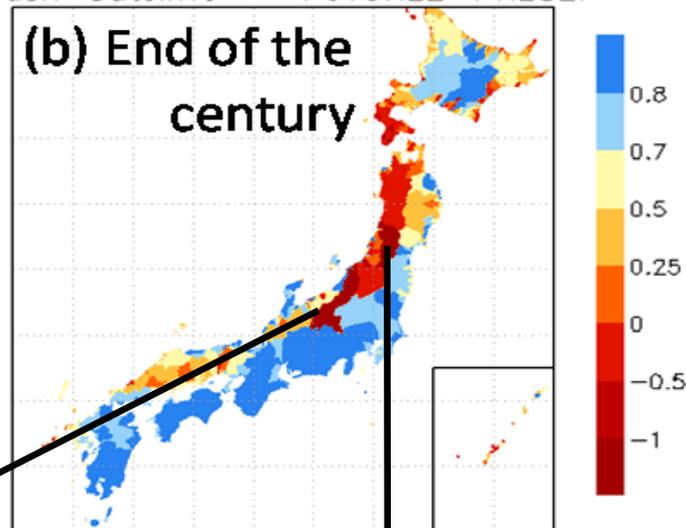
気候変動に伴う日本の河川流況の変化

単一GCM (MRI-AGCM3.2S) による結果

Nash-Sutcliffe FUTURE1-PRESENT

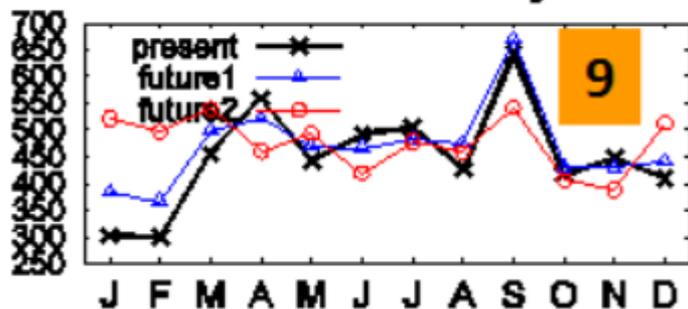


Nash-Sutcliffe FUTURE2-PRESENT

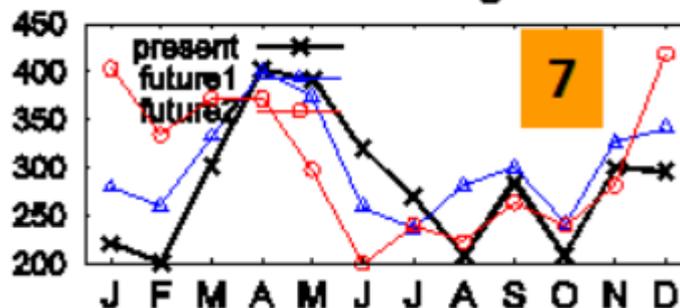


暖色は将来にかけて河川の流況が大きく変化することを意味する。

SHINANO: Odiya

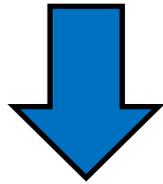


MOGAMI: Sagoshi



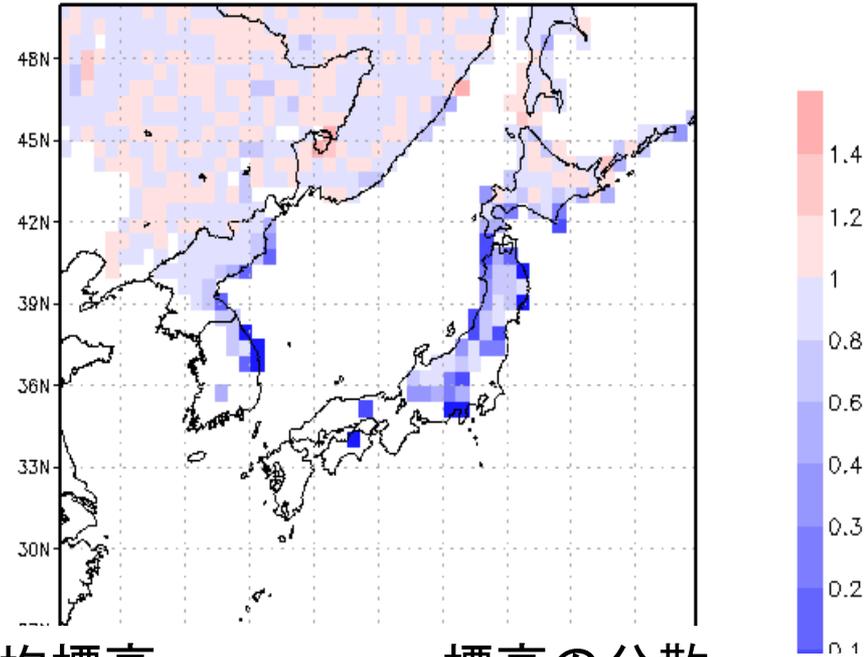
60kmGCMの多数のアンサンブル実験 の有効活用に向けた検討（田中）

GCMの解像度の違いにより、陸面
解析における積雪水量の算定に
どのような差が生じるのか？
その差は60km格子の中のサブグ
リッドスケール(20km)の地形量と
どのような関係にあるのか？

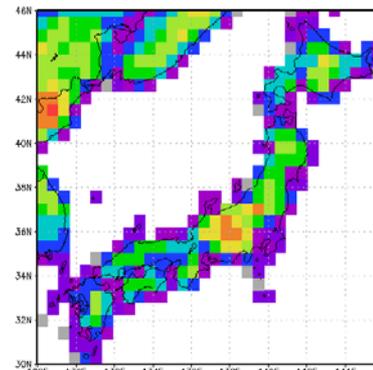


積雪期降水量, 9メッシュ間
標高標準偏差, 降水量重み
付き積雪期平均気温で、あ
る程度説明可能($R^2=0.87$)

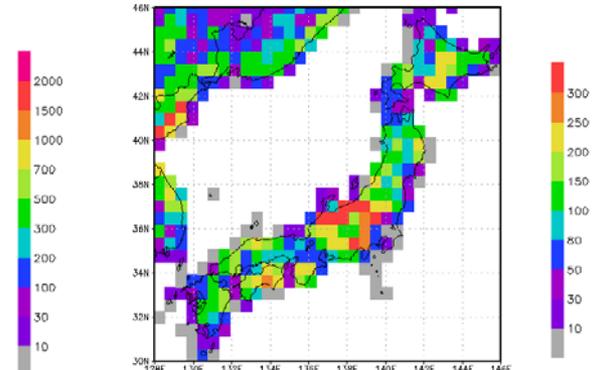
60kmと20kmのSWEの比



average (平均標高)



標高の分散



CMIP5と陸域水循環モデルを用いたヴィクトリア湖の将来気候における貯水量評価 (複数GCMによる検討例)

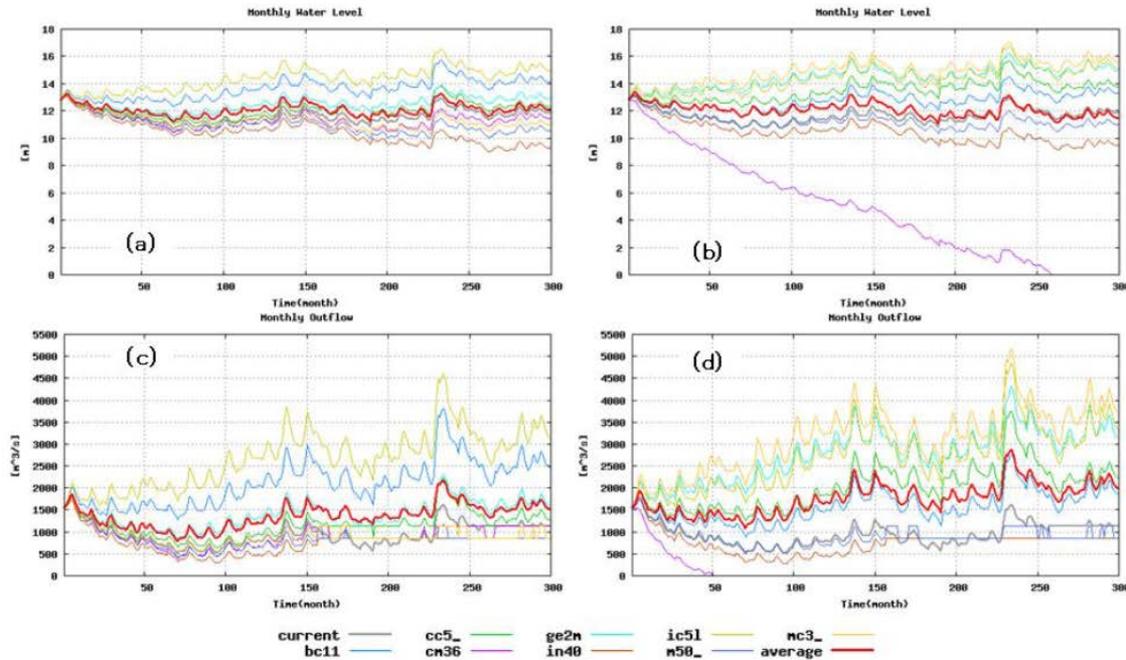


表-1 GCM一覧

略称	CMIP5_ID	開発機関
bc11	bcc-csm1-1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration Centre
cc5	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques
cm36	CSIRO-Mk3.6	CSIRO Atmospheric Research
ge2m	GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
ic51	ISPL-CM5A-LR	Institute Pierre-Simon Laplace
in40	INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics
m50	MIROC5	CCSR/NIES/FRCGC
mc3	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute

表-2 流域水収支一覧

(km ³ /yr)	現在		近未来		21世紀末	
	陸上	湖上	陸上	湖上	陸上	湖上
降水量	237.1	107.5	248.0	112.4	260.6	118.1
蒸発散量	195.5	125.6	198.2	125.3	202.1	129.3
流出量	53.5	-	61.8	-	71.7	-

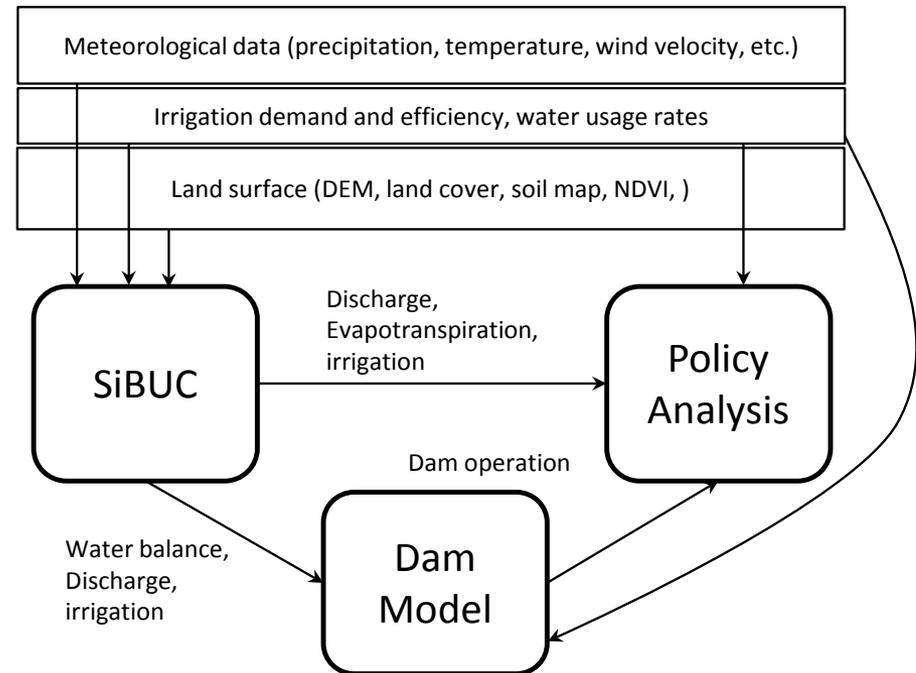
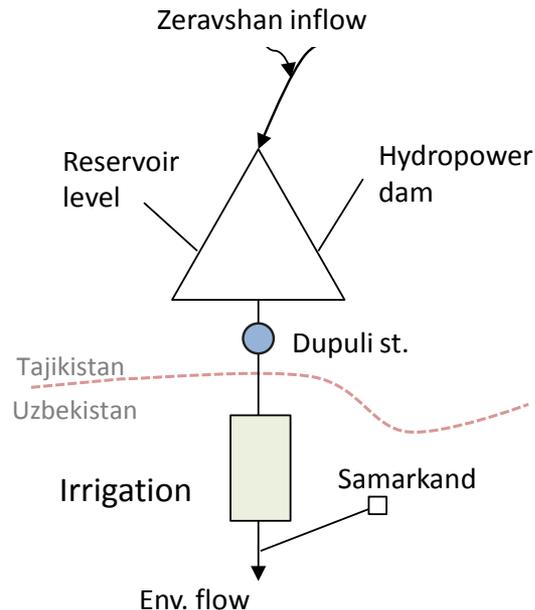
平均を取ればヴィクトリア湖集水域の水資源賦存量は増加し、湖の水位は横ばいのまま放流量は増大。個別の結果では極端に大きな放流量を求めるものや湖が縮小を続けるという結果も見られる。

中央アジアザラフシャン川流域における検討 (国際河川の水資源開発)

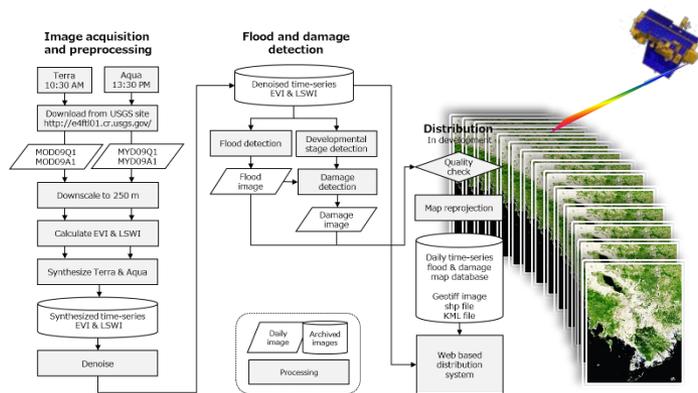
Khujanazarov Temur AGU2014



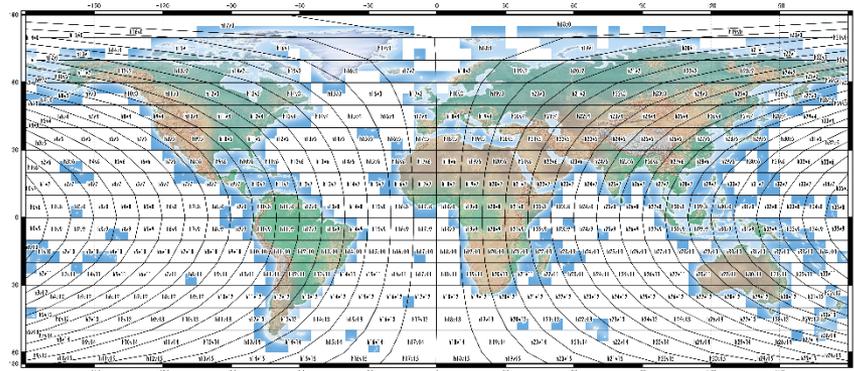
Methodology



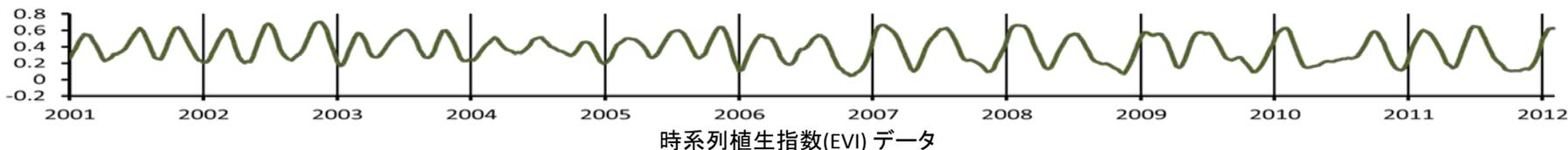
MODIS全球陸面時系列データプロダクト(長野、小寺)



プロダクト生成スキーム



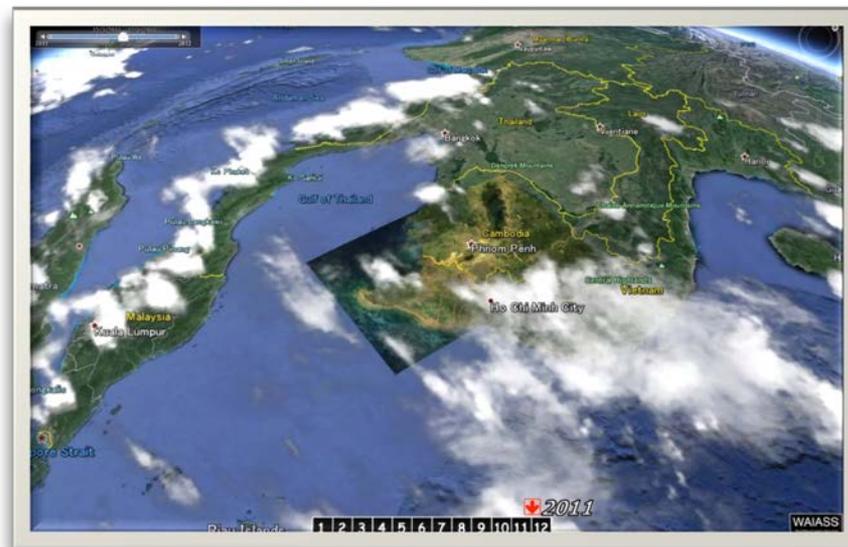
プロダクトタイトル



時系列植生指数(EVI) データ

- データ： 植生指数 EVI
地表面水指数 LSWI
トゥルーカラー合成画像
- 処理： 雲ノイズ除去、疑似高解像化
- 解像度： 250m, 8日間隔
- 期間： 2000年～現在
- 衛星： Terra/MODIS + Aqua/MODIS
(観測頻度 = 2 回/日/地点)
- ファイル： HDF-EOS, MODIS-TILE形式

ノイズ処理済データが利用可能になったことで、
植生や洪水の時系列解析が誰でもすぐに簡単に。



時系列トゥルーカラー画像

貯水池からの冷水放流による河川水温上昇緩和効果の検討 (角・竹門)

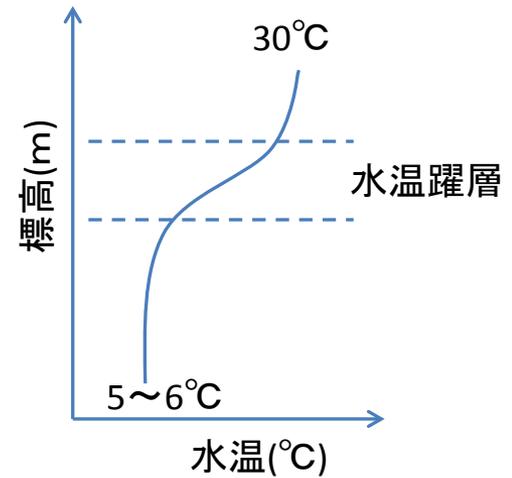
① 発電所・貯水池からの冷水放流

- ・ 貯水池の成層化
- ・ 水力発電のために管路を通ると水温が低下する

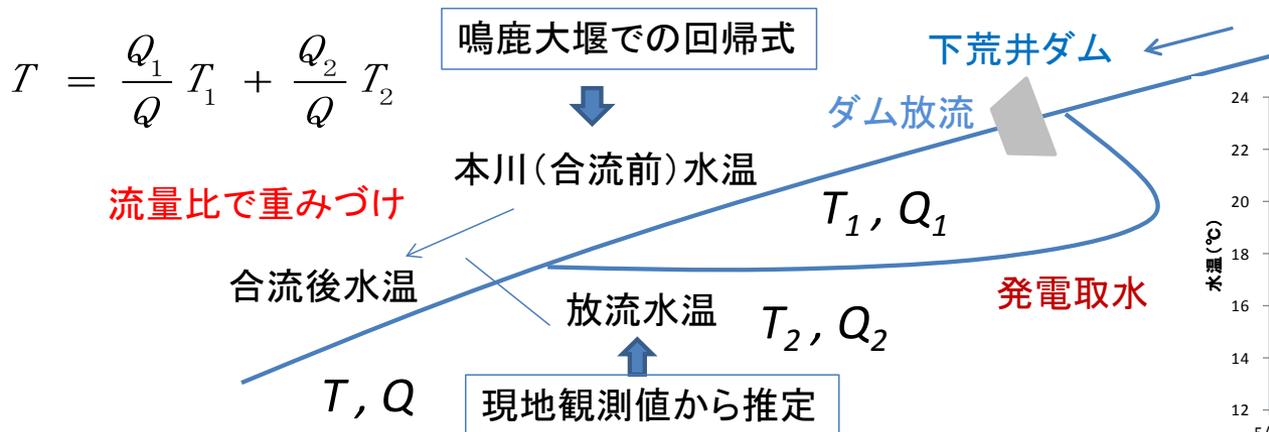
② 河川地形の効果

- ・ 淵の下層の低水温の水塊
- ・ 湧水の流入

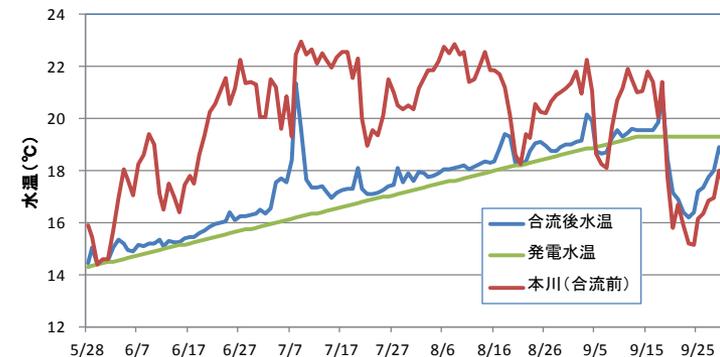
夏季の貯水池温度成層



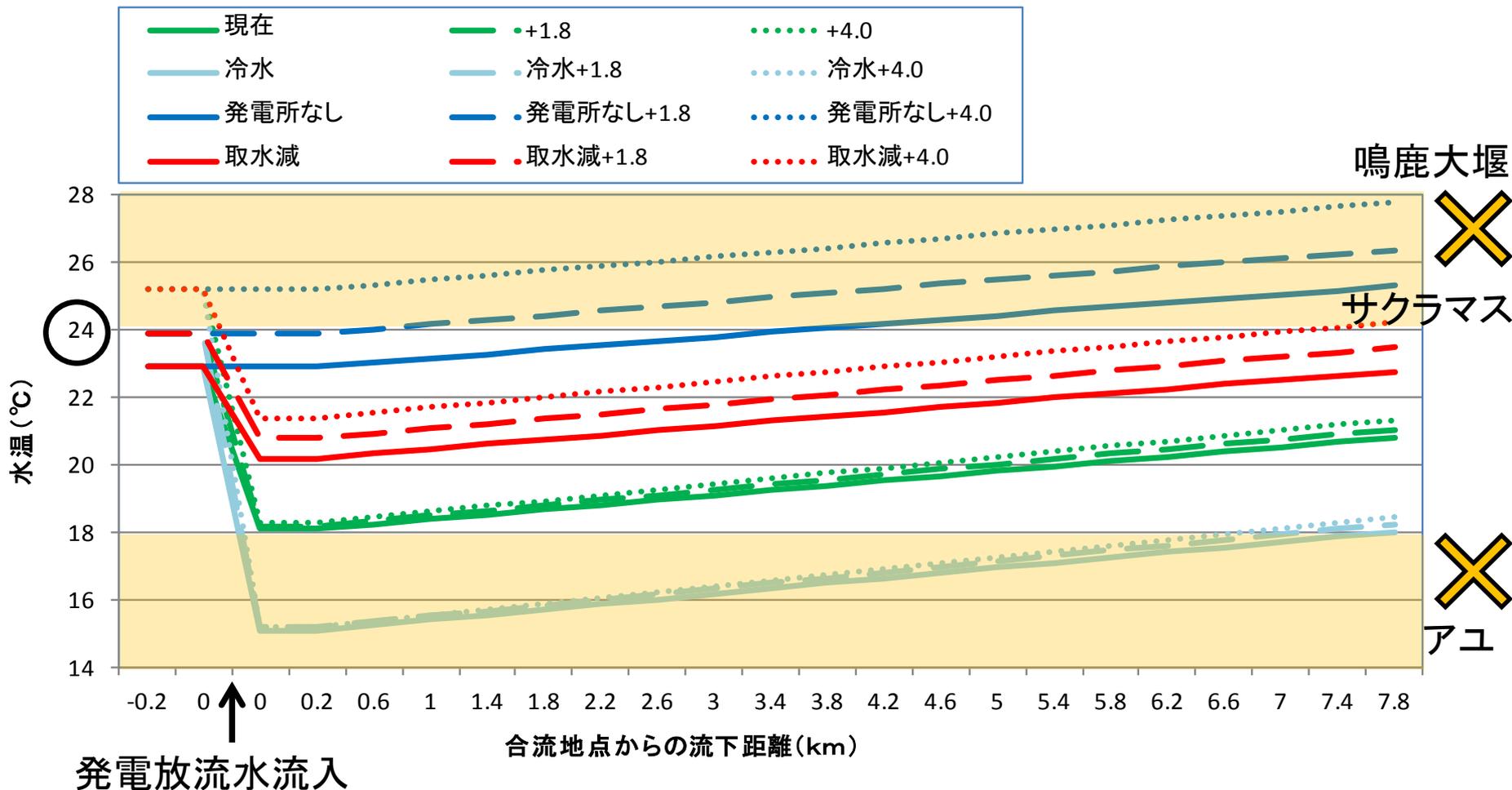
市荒川発電所合流後の水温の入力条件



発電放流水による水温変化



水温影響予測結果(1次元モデル)



- 発電放流水がある場合は、気温が上昇することの影響は小さい
- 取水量が減少した場合は気温上昇の影響が現れてくる

温暖化に伴う積雪減少が観光に及ぼす影響

(大西、佐尾)

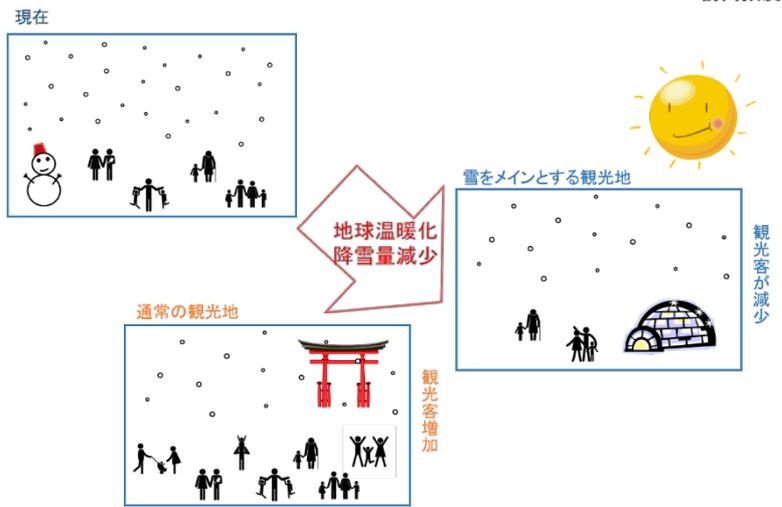
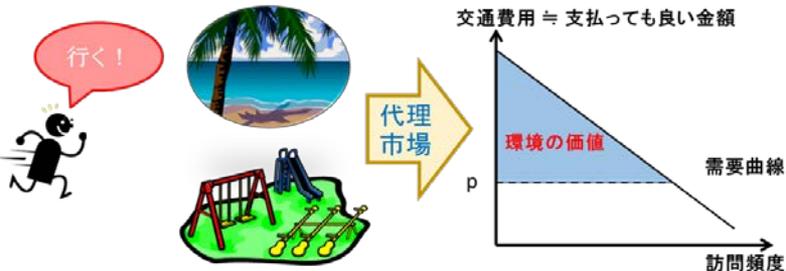
気候変動に伴う日光社寺を対象とした観光客の変化

旅行費用法 (TCM : Travel Cost Method) とは

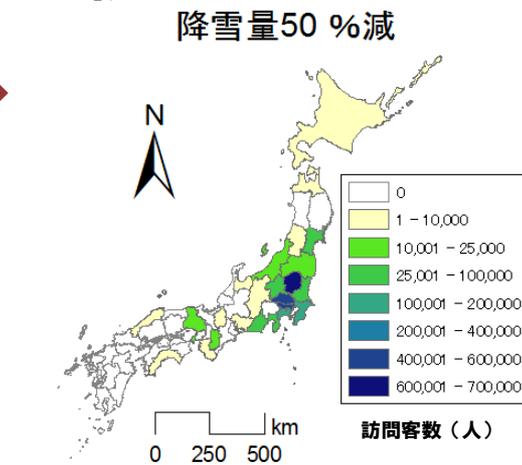
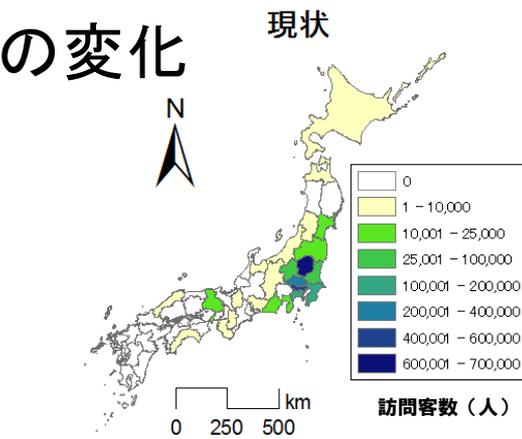
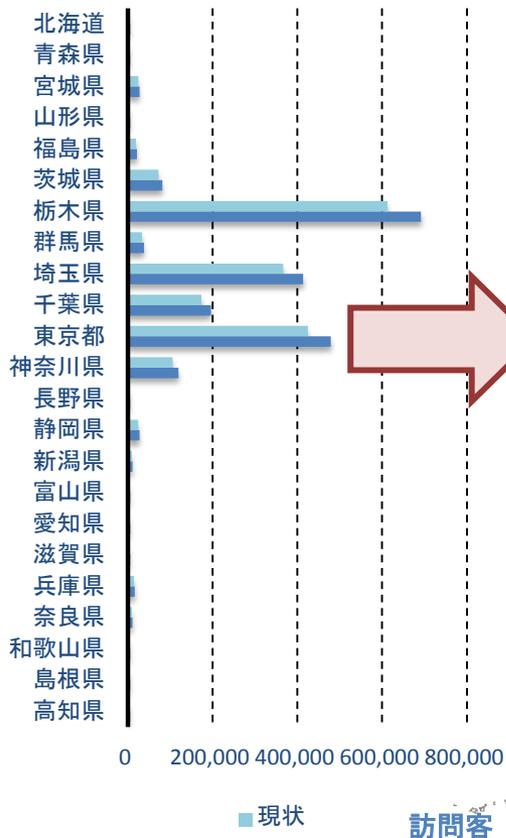
消費者は財の恩恵を増加させたいとき、

「何に対して努力(行動)を行うのか？」

■ 環境財の場合



訪問客数の将来予測



まとめ

- 複数GCM出力の利用
解像度の違い(60km,20km)による積雪水量の差
CMIP5データ(ヴィクトリア湖、中央アジアなど)
- MODIS全球陸面時系列データプロダクトが完成
(植生指数 EVI、地表面水指数 LSWI)
- 貯水池からの冷水放流による河川水温上昇緩和効果
(サクラマスやアユの生息可能環境の維持)
- 温暖化に伴う積雪減少が観光に及ぼす影響
(プラス、マイナス双方の効果)

今年度の成果リスト

論文発表: 15件(査読付き: 9件)

口頭発表: 47件(国内学会: 25件、国際会議: 22件)

広報活動: 5件

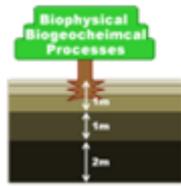
課題対応型の精密な影響評価
水資源に関する気候変動リスク情報の創出
水資源・水循環の
人為的変化を含めた評価研究

東京大学生産技術研究所 沖 大幹
東京大学大学院工学系研究科 渡部 哲史
農研機構 農村工学研究所 増本 隆夫
東京工業大学大学院理工学研究科 鼎 信次郎
Special Thanks to 佐藤雄亮 博士

人間活動を考慮した陸面過程モデル

HiGW-MAT

[Pokhrel et al. 2011]



陸面過程モデル

MATSIRO

[Takata 2003]

水資源管理基盤	on 河川	on 灌漑地
河川灌漑	河川から水を奪う。 流量は減少 ↓	地表面に水を供給。 流出増加 ↑
地下水灌漑	流量増加 ↑	←
貯水池操作	変動を緩和。 低水量を増加させる ↑	None



Crop growth & irrigation module



Human water withdrawal module



Reservoir operation module



Environmental flow requirement module

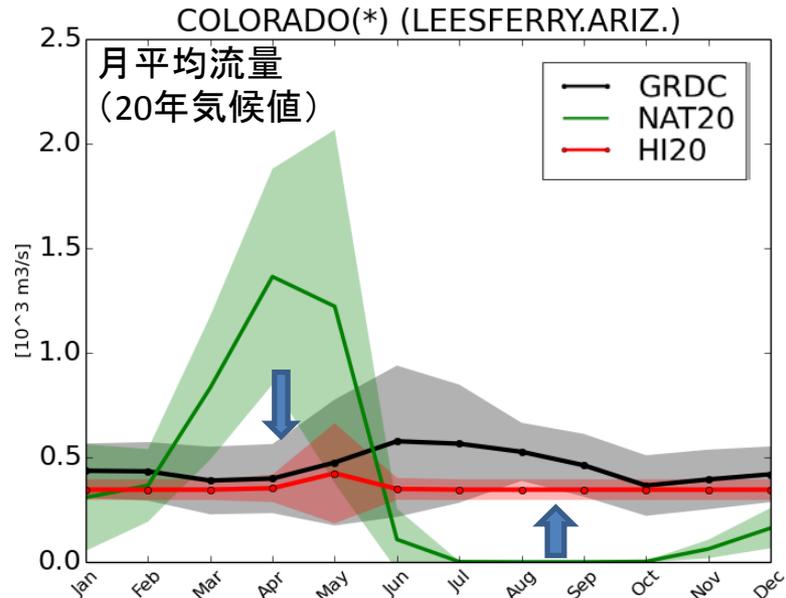


Ground water

[Hanasaki 2008, 2010]

地表面水循環に対する人為的な水資源管理行為

Ex)

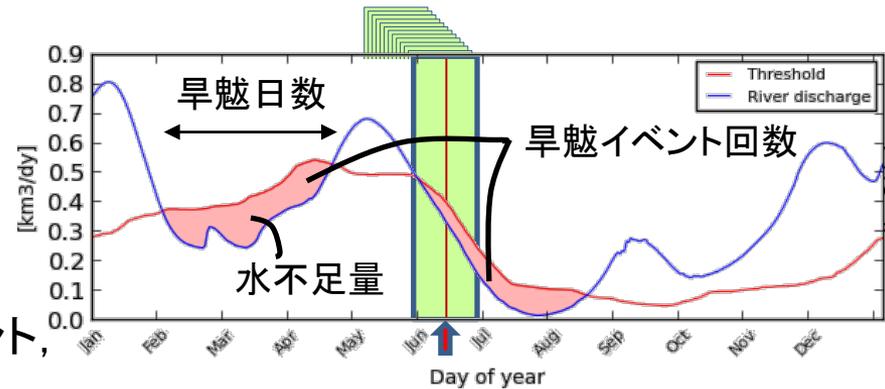


Hydrological Drought

旱魃の定義:

・日流量が定めた閾値以下となった場合。

- ・1週間以上継続した場合にイベントをカウント, その間の旱魃日を有効旱魃日数とする。
 - ・1週間以上続く旱魃には含まれた短い(4日以下)中断は無視
- [Inter-event time method; Fleig 2006]

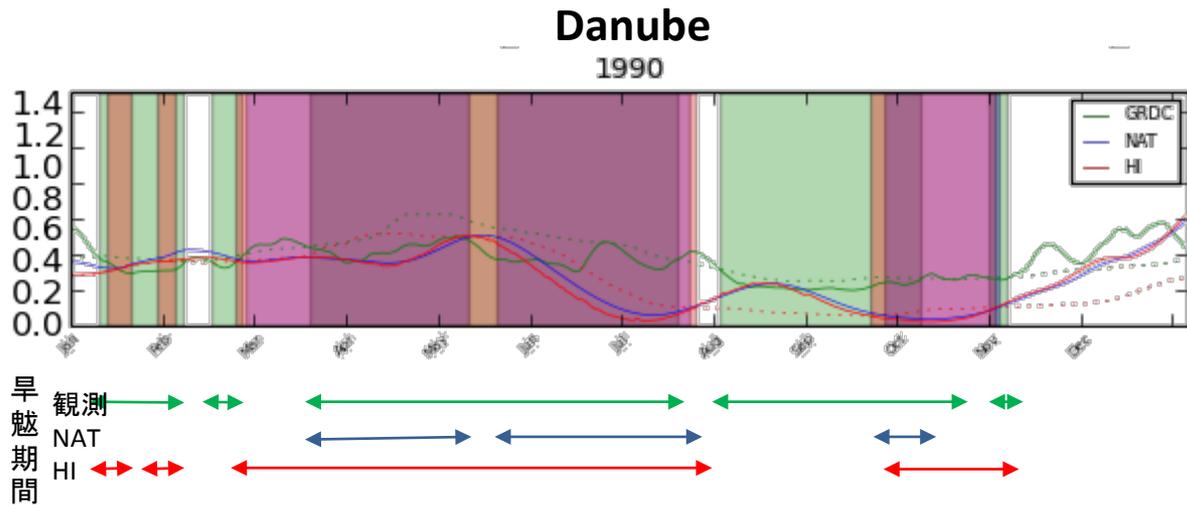
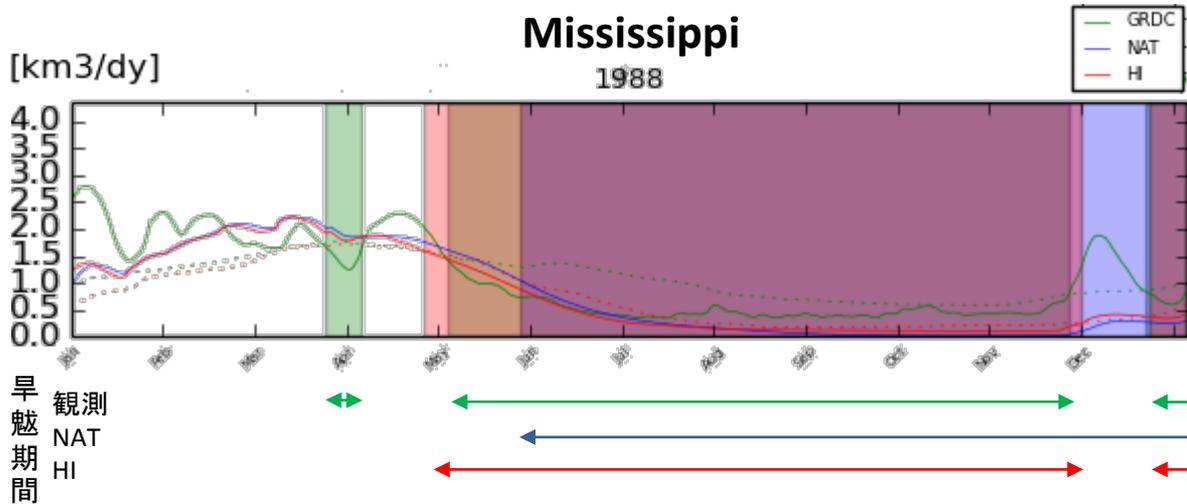


Variable threshold level method [Stahl et al., 2001]

- ・ Moving windowを用いて各Gridの365日全ての日について閾値を設定
 - window幅: 31日 (n: 31dy × 20yr = 620)
 - 閾値 : Q_{20} (下位20%)
- ・ 現在気候における“その頃の時期”の気候値的な低流量が閾値になる

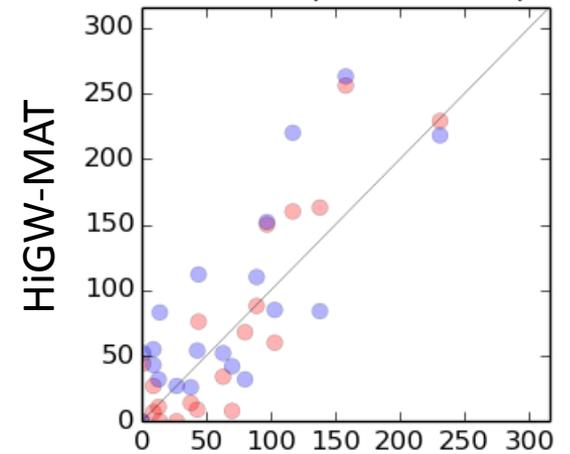
※実験1: 全ての解析に共通して現在気候時HIの閾値を使用
実験2: NATとHIにそれぞれの閾値を適用

旱魃再現性検証



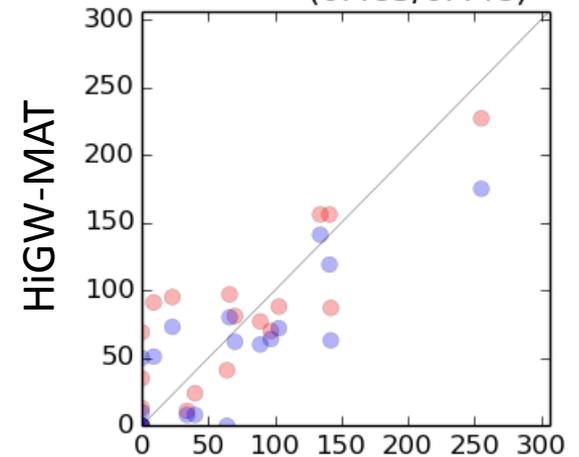
旱魃日数

(0.888/0.780)



GRDC

(0.485/0.448)



GRDC

➡ 記録が残るような大きな旱魃年(イベント)は補足できている
 広域のモデルとしてはAcceptableな再現性である

3rd: 将来推計Ⅱ 高解像度長期連続シミュレーションによる温暖化実験

- 成果 -

- ・旱魃トレンドの領域単位解析
- ・マルチGCM&マルチシナリオを用いて不確実性を定量化
- ・温暖化に伴う旱魃変化の時間方向の地域特性に関する考察

【計算設定】

- 120年の長期計算 : 1980-2099
- 空間解像度 : $0.5^\circ \times 0.5^\circ$
- 温暖化シナリオ : RCP8.5
- フォーシング : ISI-MIP フォーシング [Hempel 2013]

[実験の仮定]

- 土地利用(灌漑地, 貯水池)分布は将来についても2000年のデータを使用
- 地下水は必要に応じて無尽蔵に汲み上げ可能

Historical 1980-1999
Future 2000-2099

5 GCM

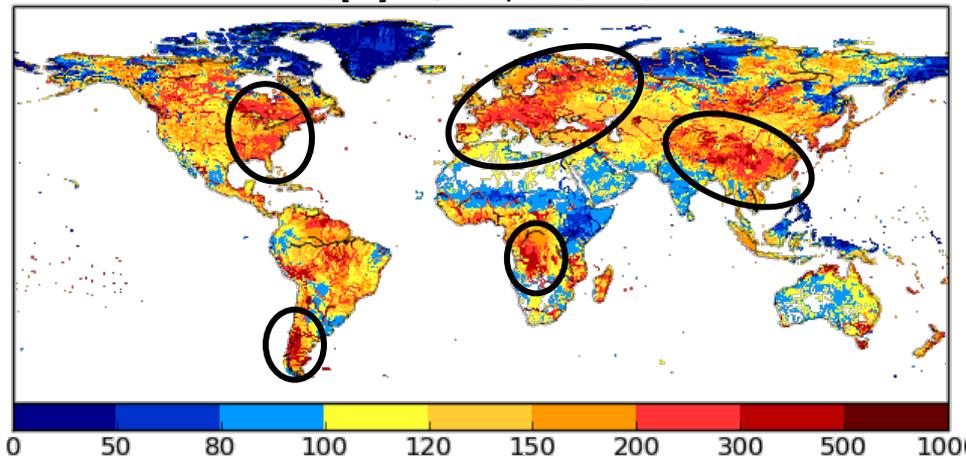
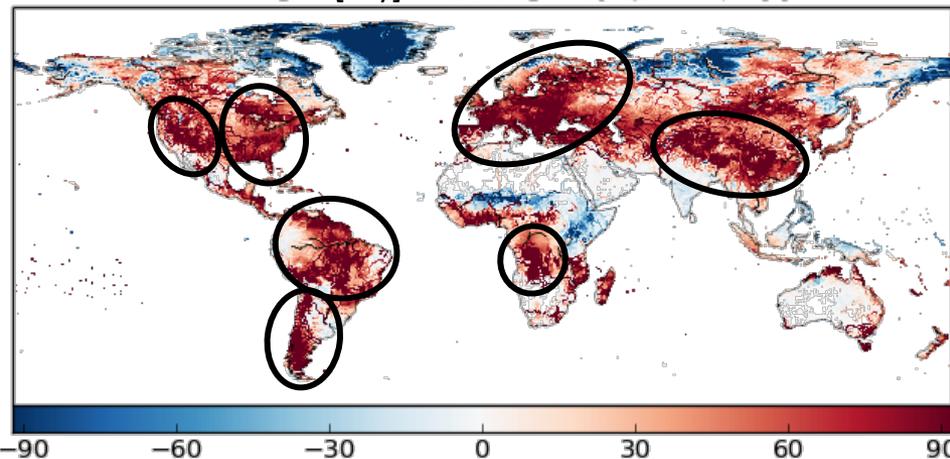
	Nation	Institute
HadGEM2-ES	UK	Met Office Hadley Centre
IPSL-CM5A-LR	France	Institut Pierre-Simon Laplace
GFDL-ESM2M	United States	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
MIROC-ESM-CHE	Japan	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies
NorESM1-M	Norway	Norwegian Climate Centre

温暖化による年平均有効旱魃日数の変化 (5GCMのEmsenble Mean)

HIにおける 1980-1999と2080-2099の比較 (RCP8.5)

差 [day] (将来 - 現在)

比 [%] (変化/現在)



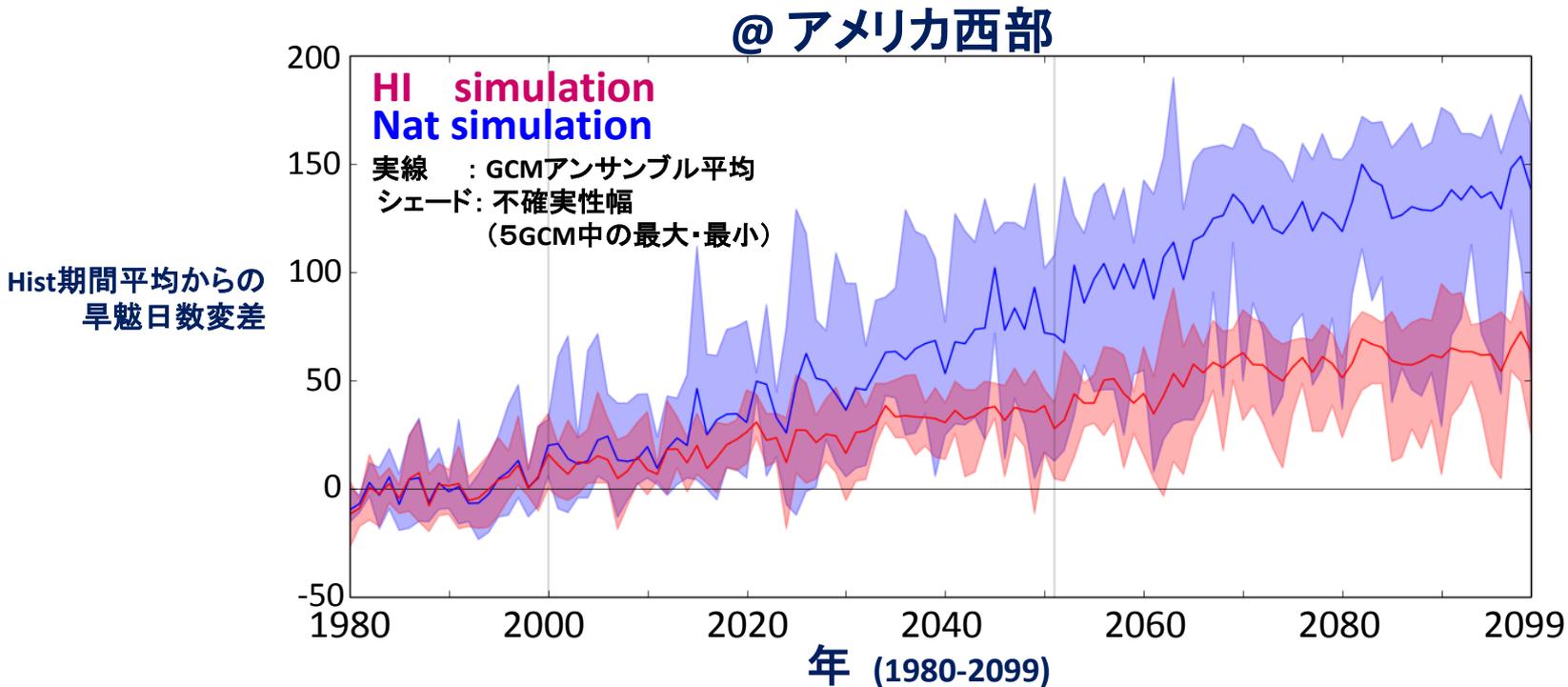
- ・全球陸域のHIでは70%で旱魃増加, 24%で減少 (NATでの82%で増加, 16%で減少)
- ・減少する地域もあるが変化の絶対値は増加の方が大きい
- ・北米, 南米, アフリカ中央部, ヨーロッパ~アジアの広域にかけて90日以上増加

北米西部を除いて2倍以上に増加

北米, ヨーロッパ, 東アジアと人口集中域に該当

⇒ 旱魃に関する温暖化脆弱地域

旱魃日数の領域中央値の時系列変化



(HIとNATの比較)

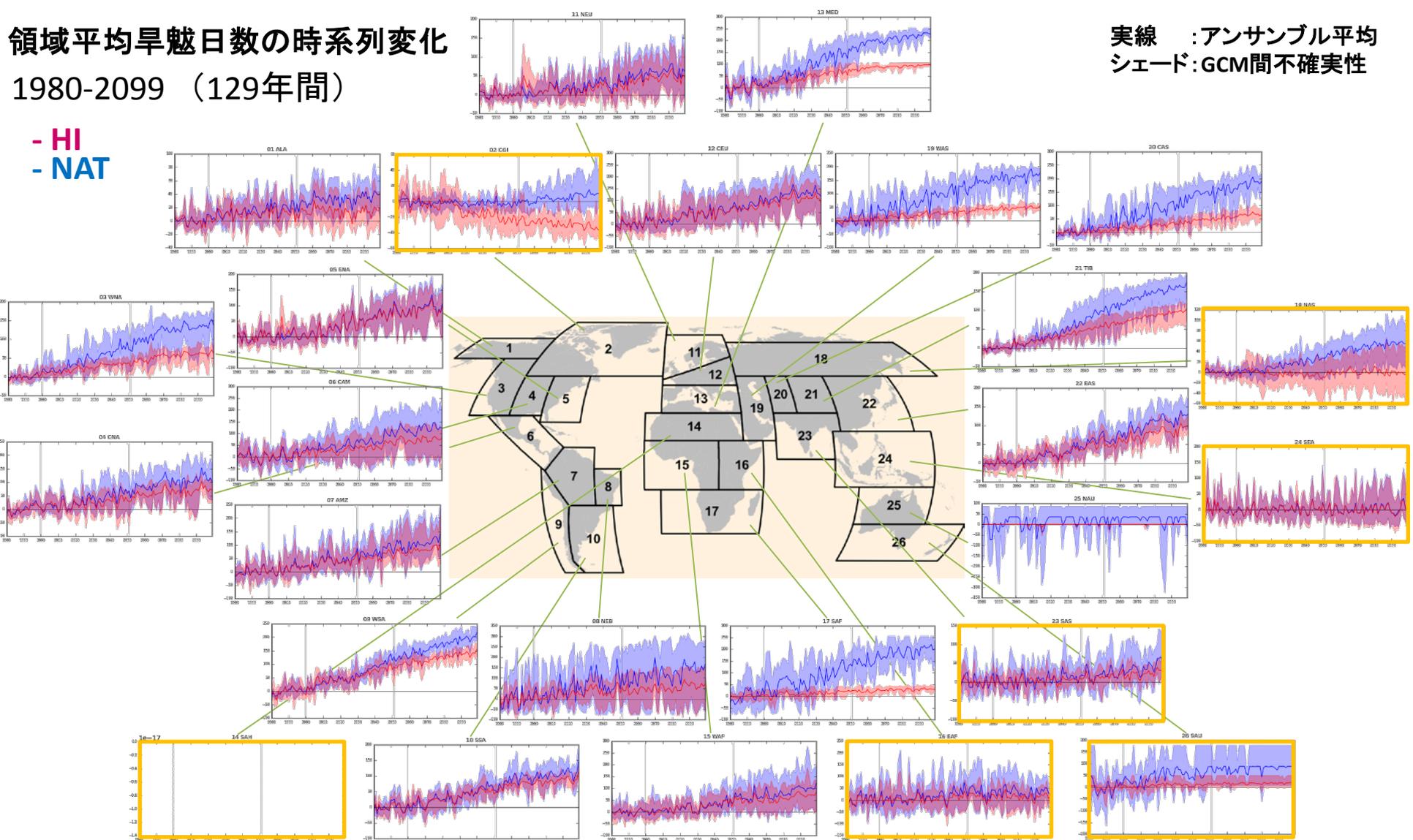
人為的な水資源管理が介在する事で

- ⇒
- 年々変動が縮小し, 安定化 → GCMの違いによる不確実性も低減
 - 増加率の緩和 → 人間活動を考慮しないと変化を過大評価

領域平均旱魃日数の時系列変化 1980-2099 (129年間)

実線 : アンサンブル平均
シェード: GCM間不確実性

- HI
- NAT

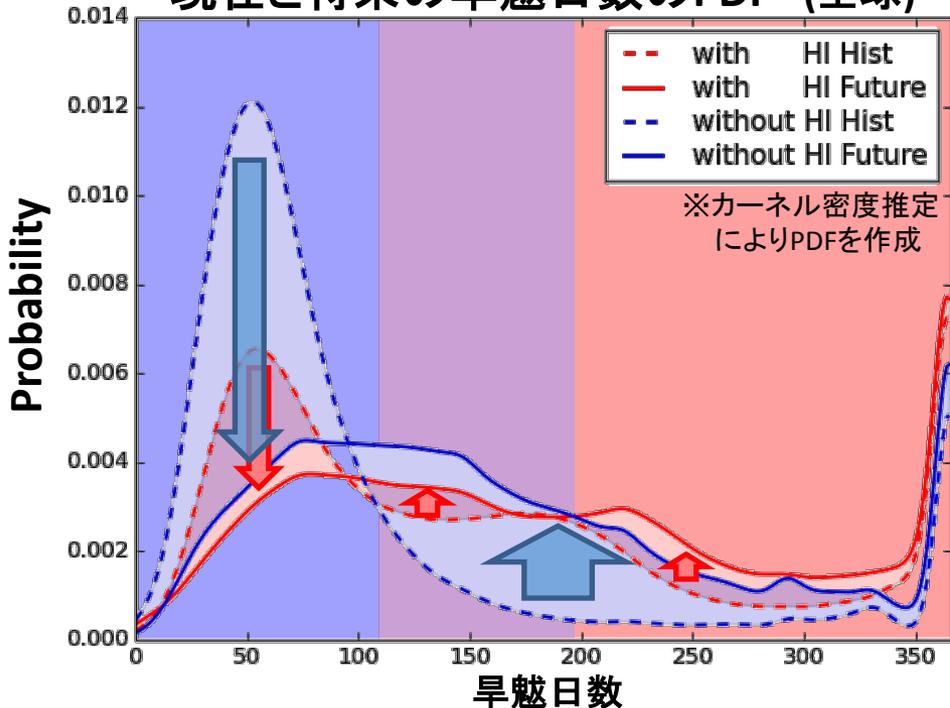


- 多くの領域で旱魃日数は線形に増加 (14,16,18,23,24,26は例外。2は減少)
- 系統的に人間活動考慮の方が短期的な変動と長期的な変化が小さい

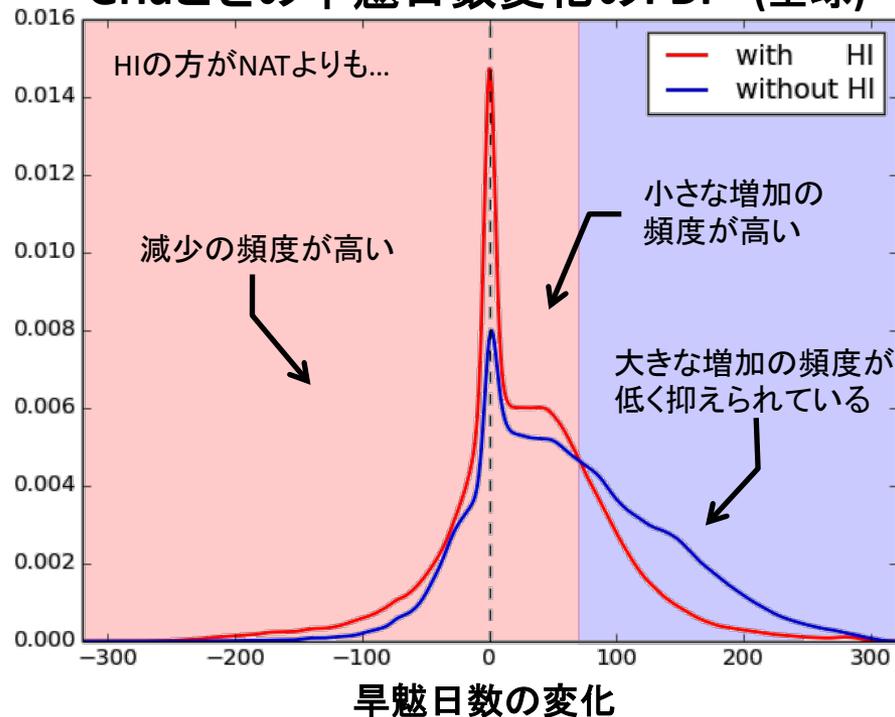
➡ 水資源管理基盤を用いることで変化に対応している

頻度分布に見るHIの有用性

現在と将来の早魃日数のPDF (全球)



Gridごとの早魃日数変化のPDF (全球)



[HIの分布とNATの分布]

- Hist期間では100日あたり, Future期間では200日あたりを境に頻度の上下関係が逆転

[HIでの変化とNATでの変化]

- HIの方が早魃日数100~250日程度の範囲で増加量が小さく抑えられる (左図)
- HIの方が大きな増加の頻度が低く抑えられる (右図)

➡ 人間活動が入った世界は完全自然状態より変化が緩やかであり, 実質的に適応し易い

結論

1. 温暖化により世界の旱魃はどのように変化するのか？

- ・全球陸域のHIでは70%で旱魃増加，24で減少
- ・北米，チリ，ヨーロッパ～中央アジア（中緯度帯）にかけては90日を超える旱魃日拡大の可能性
- ・増加が予測される地域の信頼度（GCM間の合意度）は高い

2. 我々の社会はどのような/どれほどの対応能力を持っているのか？

- ・温暖化影響の10%～同程度もしくはそれ以上の効果
- ・地下水供給（と灌漑）が面的，貯水池は局所的な緩和効果を示す
 - ・アジア域では緩和傾向が広がる
- ・北米とヨーロッパでは取水が悪影響
- ・人間活動が短期的な変動と長期的な変化を緩和

3. 対応準備をするために我々に残された時間はどれほどなのか？

- ・不確実性はあるものの，26地域中13の地域で2050年代までにこれまでの経験範囲を超えて，異なるフェーズに入る
- ・迅速な対応策の立案と行動が必要