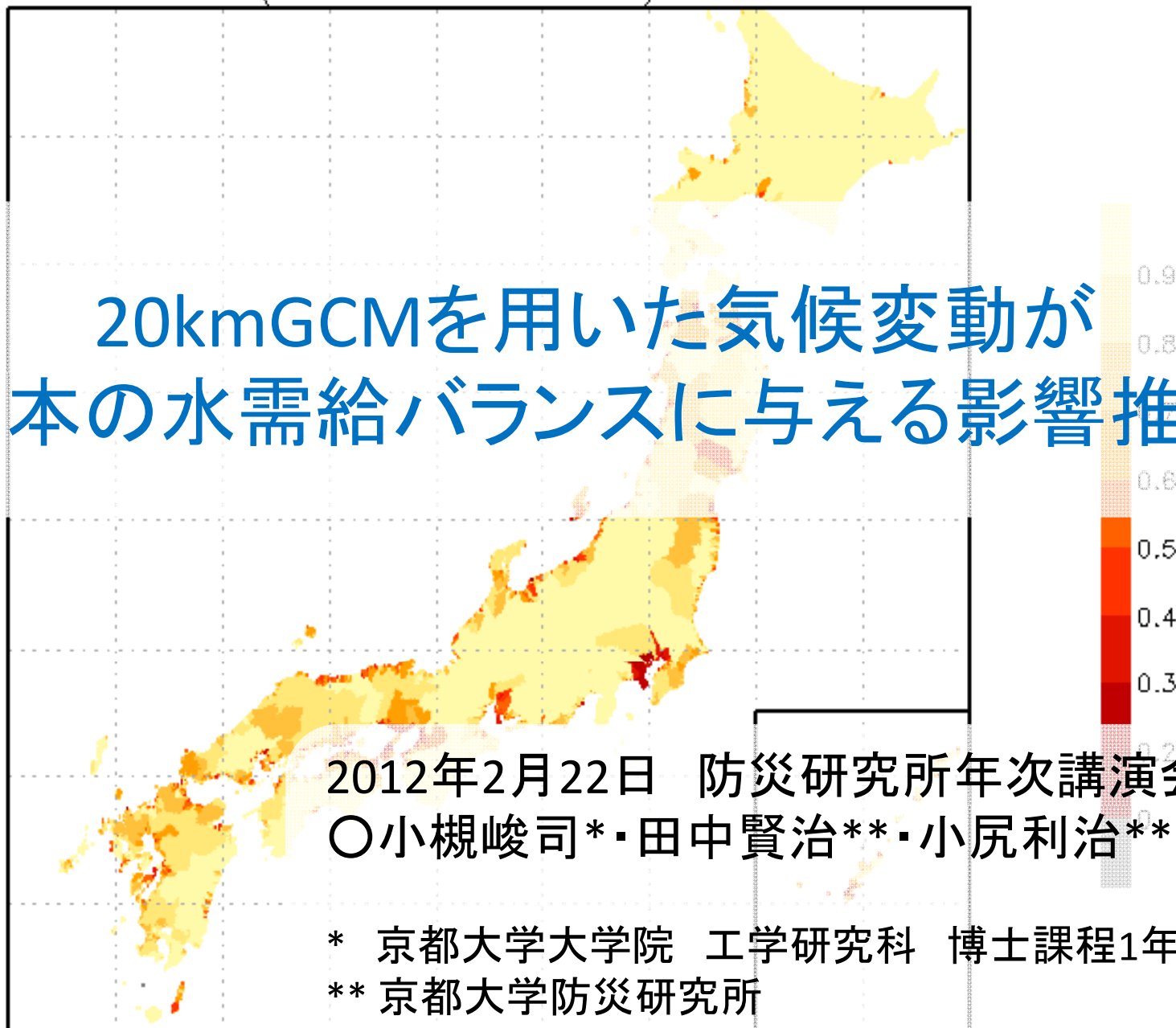


CWD

(water stress)

GDBD

20kmGCMを用いた気候変動が 日本の水需給バランスに与える影響推定



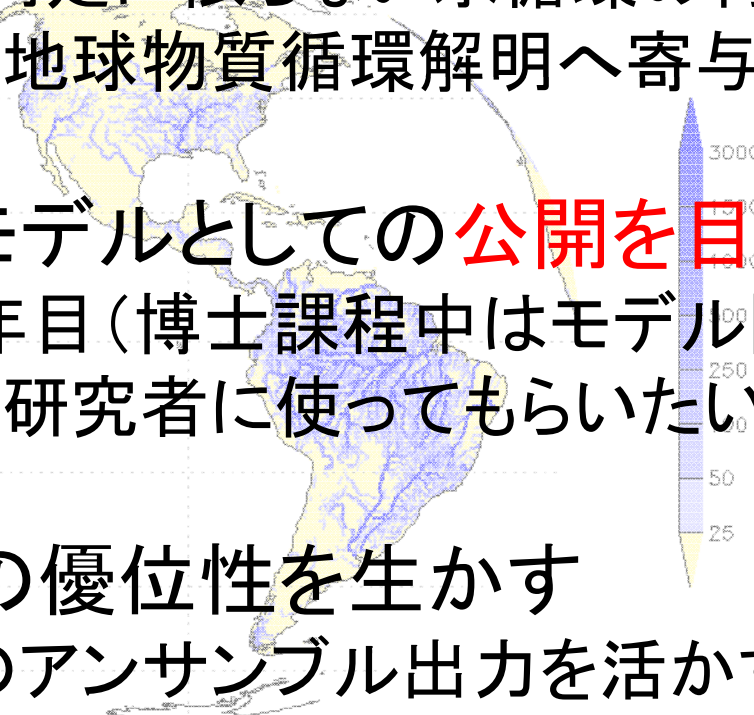
2012年2月22日 防災研究所年次講演会
○小槻峻司*・田中賢治**・小尻利治**

* 京都大学大学院 工学研究科 博士課程1年

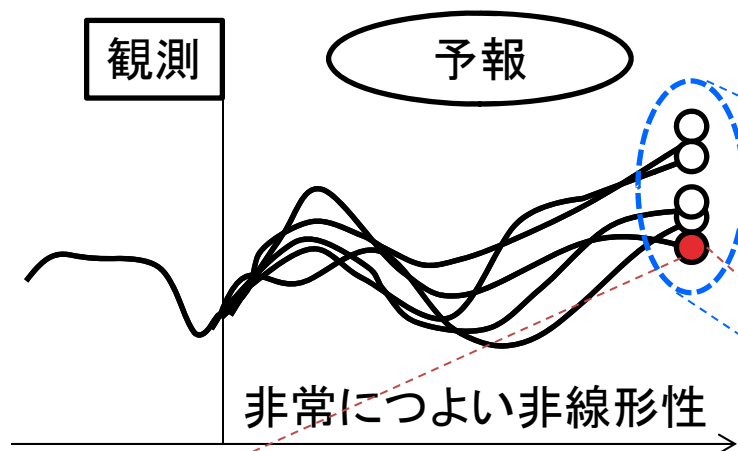
** 京都大学防災研究所

広域スケールの陸域水循環モデル開発

1. 地球水循環を**一般性**を持って記述する
 - パラメーター同定に依らない水循環の再現
 - 究極的には、地球物質循環解明へ寄与したい
2. コミュニティモデルとしての**公開を目指す**
 - 5年計画の1年目(博士課程中はモデル開発に集中)
 - 特に、海外の研究者に使ってほしい
3. 広域モデルの優位性を生かす
 - 気象モデルのアンサンブル出力を活かす
 - 気候変動へ**脆弱な地域の抽出**と適応策の検討

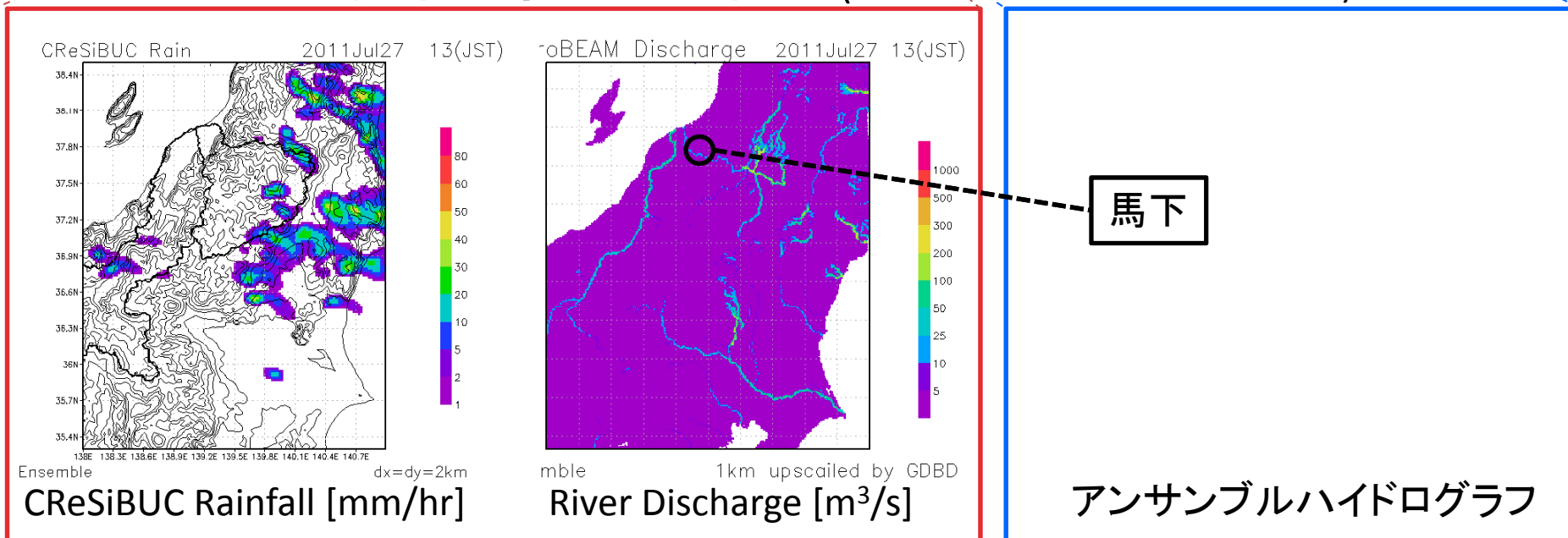


Ensemble River Discharge Analysis



- 非線形性の強い気象モデル
- アンサンブル予報が良く行われる
- 例えば洪水予測等に応用する場合には、総量、強度、分布のアンサンブル情報を生かした解析が必要.

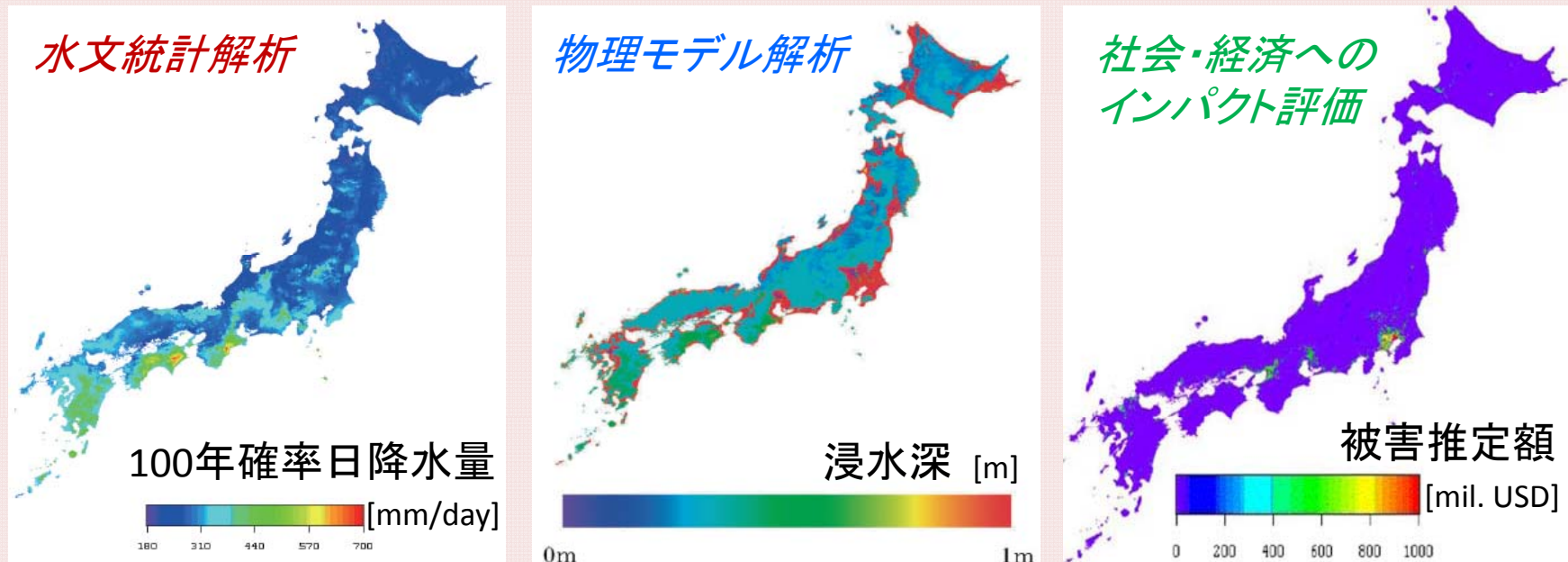
2011年7月新潟-福島豪雨事例解析 (11:45~田中賢治先生が発表)



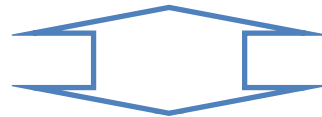
気候変動に脆弱な地域の特定

□ 日本全流域を評価した既往研究

○ 流況・洪水・洪水被害の解析(防災)



Kazama (*Sustain Sci.*, 2009)



× 水需給バランスの変化を評価した研究は無い

問題設定

1. 温暖化・降水パターン変化により

因

- ・ 降雪量や融雪の時期はどう変わるか？
- ・ 日本海側の米作地帯で水供給はできるか？

果

2. 適用策を立てた場合の効用

因

—例えば、耕作の早期化を図った場合.

- 水需給バランスは改善されるか？
- コメの収穫量は維持できるか？

果

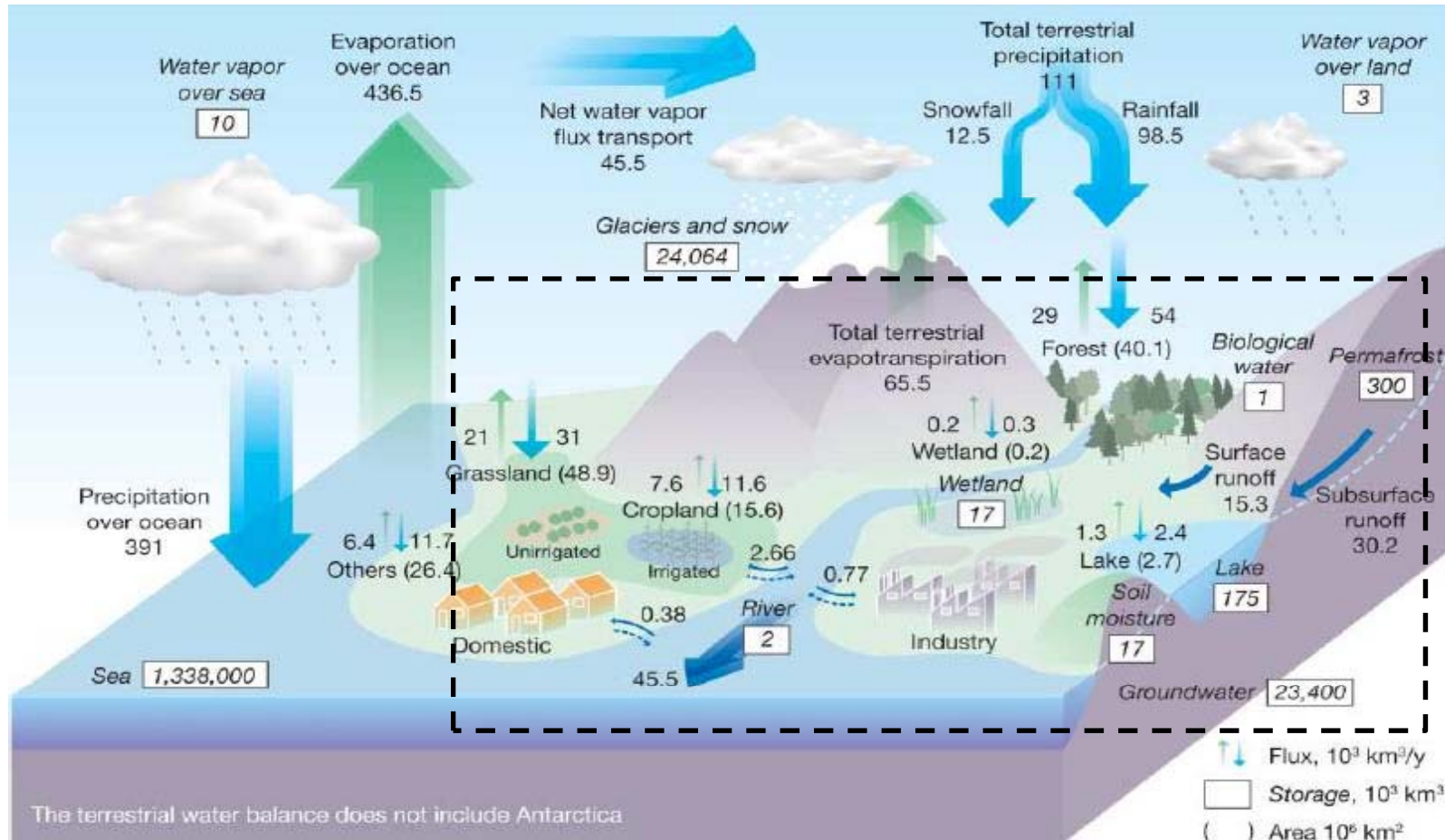
水循環-農業活動の因果関係を
横断的に記述するモデルが必要である

発表内容

1. 日本全域水資源モデルの開発と検証
2. 水需用・供給バランス(水ストレス)算定方法
3. 気候変動の影響推計と適応策の検討
4. 結論と今後の展望

本研究で扱う水循環

気象強制力を入力として, 水循環-農業活動を表現する



Oki and Kanae (*Science*, 2006)

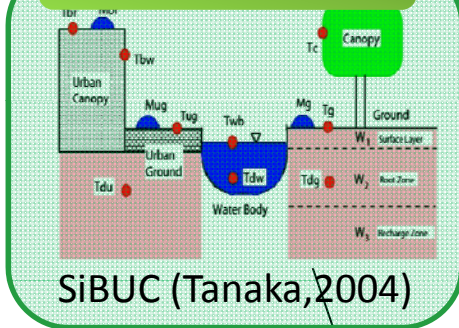
日本全域水資源モデル

Rice Growth



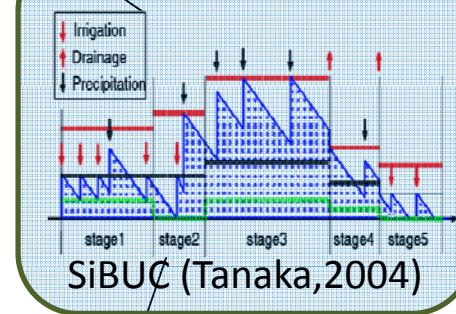
SIMRIW(Horie,1985)

Land Surface



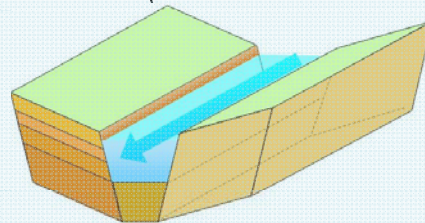
SiBUC (Tanaka,2004)

Irrigation



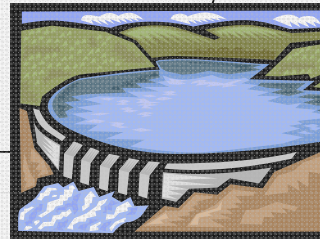
SiBUC (Tanaka,2004)

Stream flow



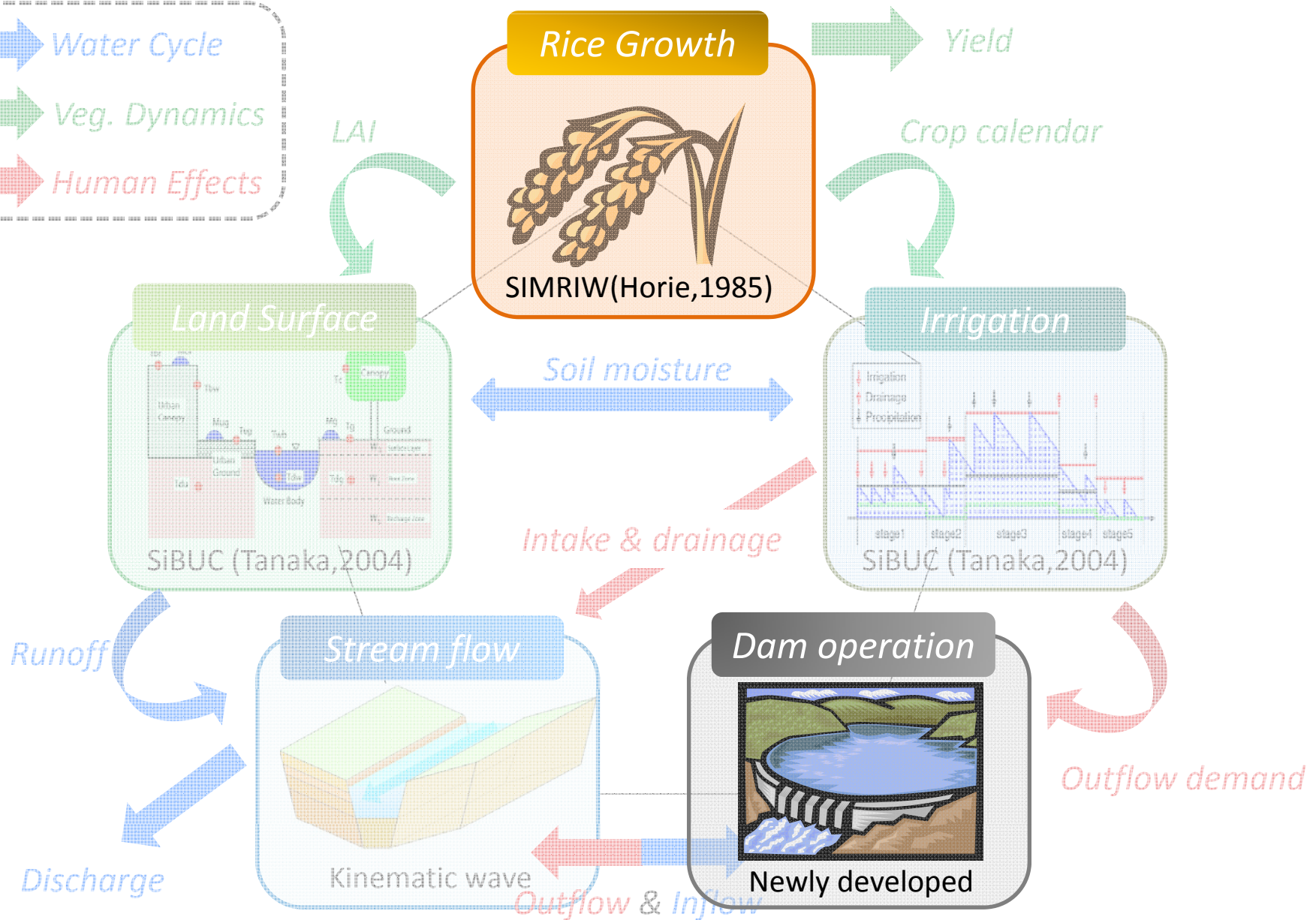
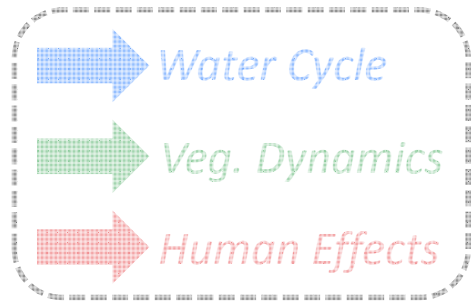
Kinematic wave

Dam operation



Newly developed

日本全域水資源モデル



Rice Growth Model

(i)モデル開発 ⇒ (ii)検証 ⇒ (iii)水ストレス算定 ⇒ (iv)気候変動の影響と適応策

Simulation Model for Rice-Weather relations



- 稲の成長・収量を予報する経験プロセスモデル
- 水文陸面過程とオンライン結合

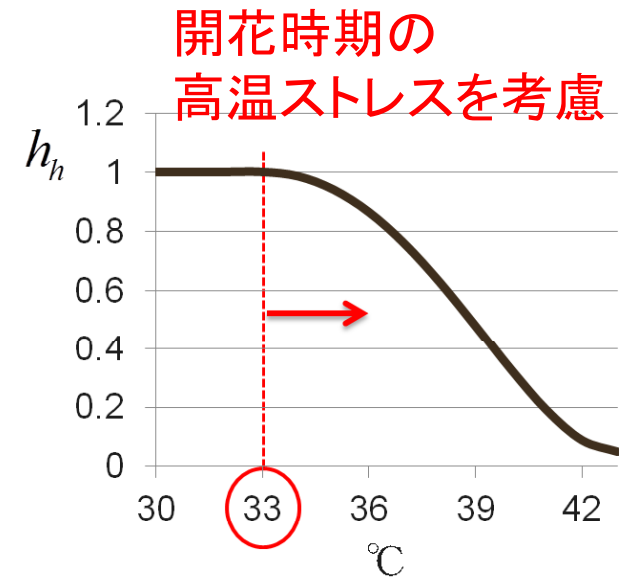
Vegetation Dynamics of SIMRIW

$$Y = \tau \cdot h_h \cdot W$$

Yield Harvest Index Dry weight

$$h_h = h_m(1 - 0.95\gamma_h);$$

$$\gamma_h = \begin{cases} \left[\left(\frac{\bar{T}_{\max} - T_b}{T_o - T_b} \right) \left(\frac{T_c - \bar{T}_{\max}}{T_c - T_o} \right)^{\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}} \right]^{C_{cool}} & \text{for } \bar{T}_{\max} > T_o \\ 0 & \text{for } \bar{T}_{\max} \leq T_o \end{cases}$$



LAI growth



$$\Delta LAI_j = LAI_j \cdot A \cdot 1 - \exp[-K_f(T - T_{cf})] \left\{ 1 - \left(\frac{LAI_j}{LAI_{\max}} \right)^k \right\}$$

Empirical equation

Solar absorption



$$S_s = S_0 [1 - r - (1 - r_0) \exp\{-k(1 - m)LAI\}]$$

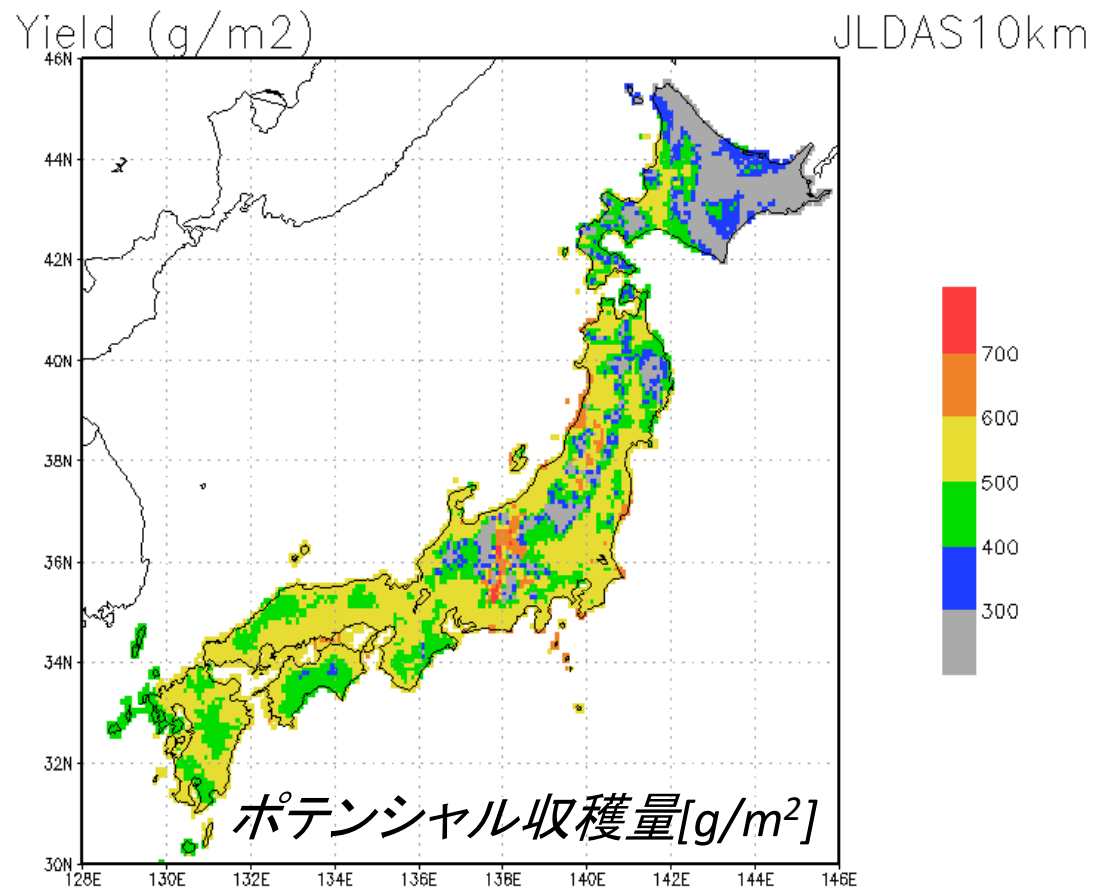
Carbon production



$$\Delta DW_j = S_s C_s, \quad C_s = \begin{cases} C & \text{for } 1 < DVI < 2 \\ \frac{C(1+B)}{1+B \exp \beta}, \quad \beta = \frac{DVI - 2}{t} & \text{for } 2 < DVI < 3 \end{cases}$$

収量の検証(都道府県別)

都道府県別の収量統計と検証
経年変化がよく再現されている



NORTH JAPAN

EAST JAPAN

MIDDLE JAPAN

— 黒線: 統計
— 赤線: 解析 WEST JAPAN

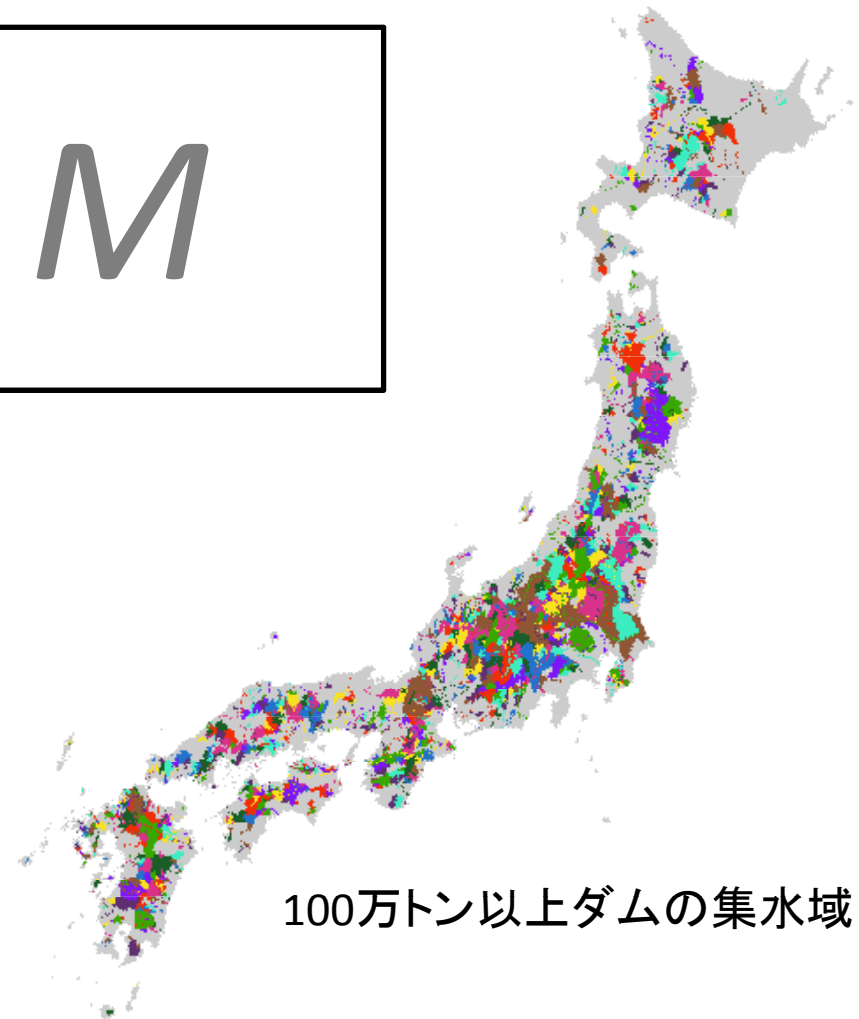
Dam Operation Modeling

(i)モデル開発 ⇒ (ii)検証 ⇒ (iii)水ストレス算定 ⇒ (iv)気候変動の影響と適応策



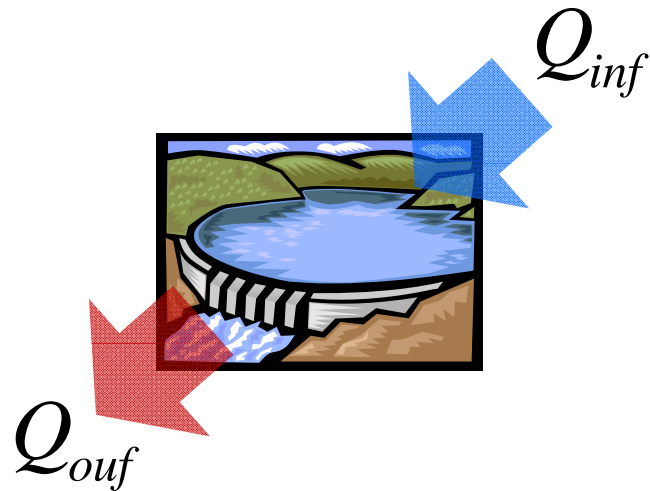
- 貯水量100万トンの1231基を結合
 - 治水ダム
 - 利水ダム
 - 多目的ダム(治水と利水)

- 河川流下過程とオンライン結合



100万トン以上ダムの集水域

Basic Operation



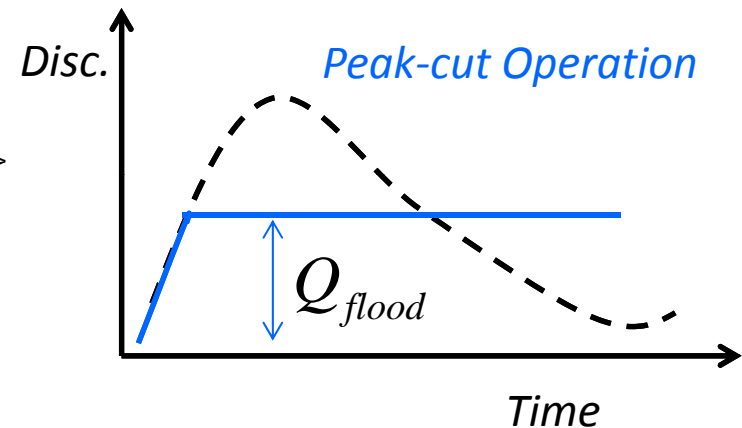
Q_{flood}

Q_{low}

洪水流量, 維持流量は流況曲線から設定

1. 治水操作

$$Q_{base} = \begin{cases} Q_{flood} \\ Q_{norm} \end{cases} \text{ when } \begin{cases} Q_{inf} > Q_{flood} \\ \text{else} \end{cases}$$



2. 利水操作

$$Q_{ouf} = \max \{ Q_{base}, Q_{req} \}$$

下流要求量を満たす放流
需要量は灌漑モジュールと統計から算出

河川流量検証

(i)モデル開発 ⇒ (ii)検証 ⇒ (iii)水ストレス算定 ⇒ (iv)気候変動の影響と適応策



- 国内20の1級河川で検証
 - 1994-2003年 (SDP, AMeDAS)
- 降雪量補足を風速で補正

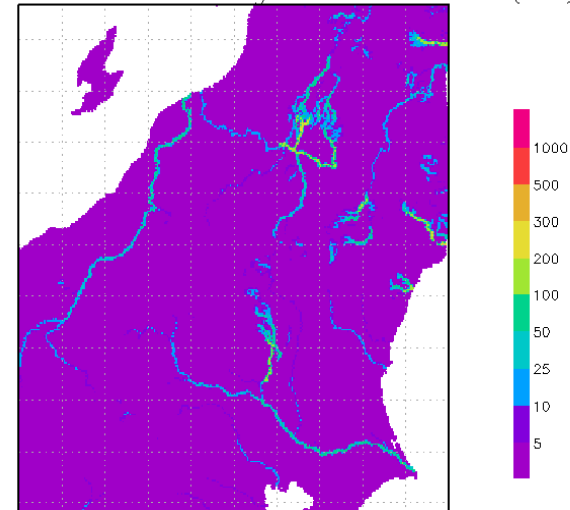
$$Rs = \exp(4.606 - 0.157 \cdot Ws)$$

補足率

風速

Yang et al. (1998)

HydroBEAM Discharge 2011Jul27 13(JST)



1km解像度で解析

Ensete by GDBD

河川流量検証

水収支

$$Budget = \sum (Q_{sim} - Q_{obs}) / \sum Q_{obs}$$

Nashの
モデル効率係数

$$Nash = 1 - \frac{\sum (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

精度の悪い流域は
今後レーダーアメダス
を使用して検証の予定

No.	River	Station	Budget[%]	Nash	No.	River	Station	Budget[%]	Nash
1	Teshio	Maruyama	-8.7	0.436	11	Tone	Kurihashi	+12.7	0.873
2	Ishikari	Ishikari	+13.5	0.117	12	Naka	Noguchi	-8.7	0.842
3	Tokachi	Moiwa	-2.0	0.855	13	Fuji	Kitamatsuno	+59.1	0.619
4	Mogami	Sagoshi	-10.0	0.849	14	Tenryu	Kashima	+0.4	0.873
5	Omono	Tsubakigawa	-11.2	0.847	15	Kiso	Inuyama	+0.3	0.911
6	Kitakami	Tome	-14.6	0.812	16	Katsura	Katsura	+9.0	0.734
7	Yoneshiro	Futatsui	-13.3	0.868	17	Kizu	Yawata	-22.3	0.782
8	Abukuma	Tateyama	-13.7	0.843	18	Gono	Kawahira	-20.2	0.660
9	Shinano	Ojiya	-18.2	0.726	19	Yoshino	Ikeda	+10.6	0.871
10	Agano	Maoroshi	-14.2	0.783	20	Chikugo	Senoshita	-14.9	0.940

河川流量検証

降雪量補正により
融雪期の解析精度が向上

$$Rs = \exp(4.606 - 0.157 \cdot Ws)$$

補足率 風速

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

- 黒線: 観測流量[m³/s]
- 青線: 降雪補正あり解析[m³/s]
- 赤線: 補正なし解析[m³/s]

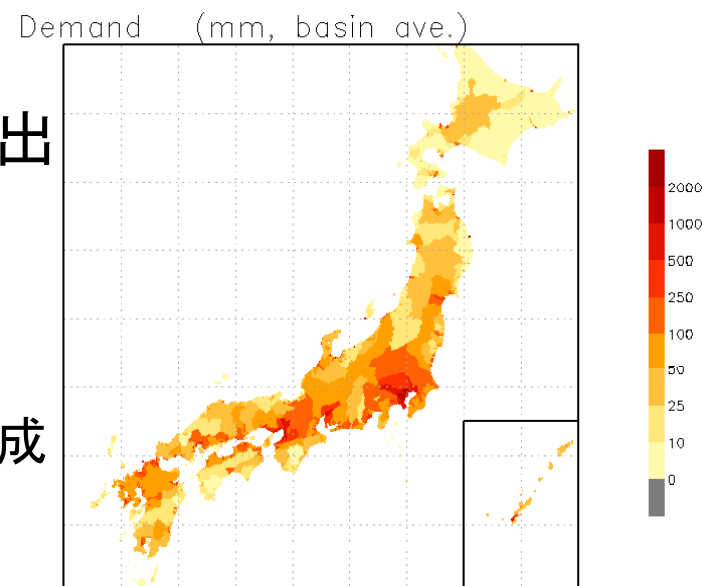
※要旨裏面に20河川の解析結果を掲載

水ストレス解析

(i)モデル開発 ⇒ (ii)検証 ⇒ (iii)水ストレス算定 ⇒ (iv)気候変動の影響と適応策



- 水ストレスを各流域(16,000河川)で算出
- 工業・生活・農業水需要を考慮
 - 農業用水: 灌漑モジュール(SiBUC)により解析
 - 工業, 生活用水:
国土数値情報, 日本の水資源(H23)から作成



日平均水需要量[流域平均, mm/m²]

Water Stress Index

Water withdrawal to total runoff

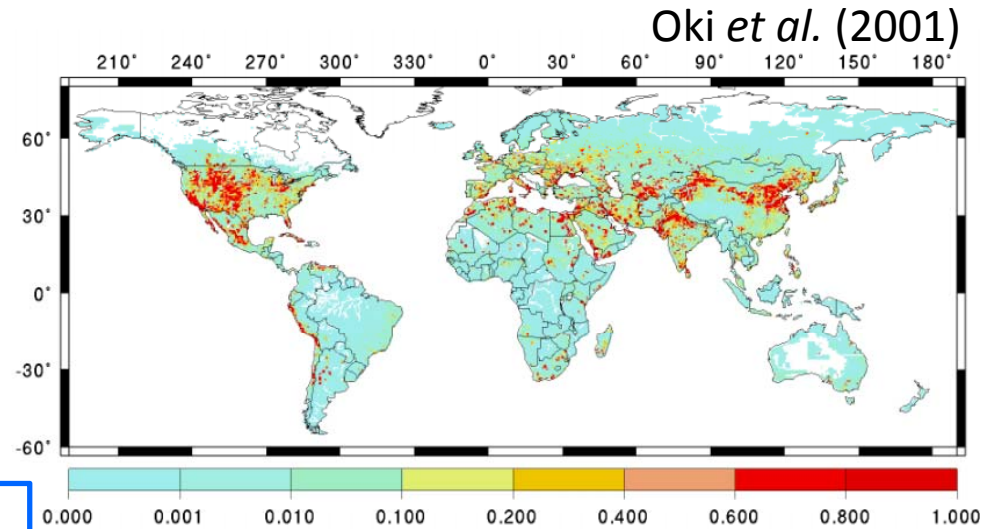
$$WWR = \sum W_i / \sum Q_i$$

Raskin, 1997

W: daily water withdrawal [MCM]

Q: daily discharge [MCM]

⇒水資源量に対するストレス



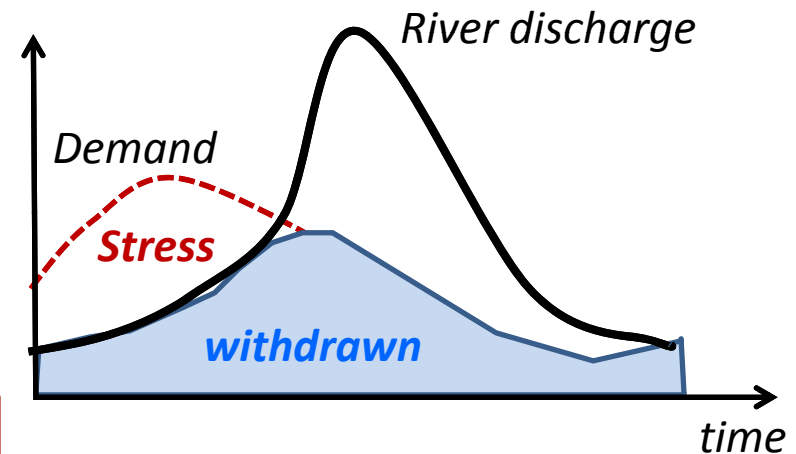
Cumulative withdrawal to demand ratio

$$CWD = \sum (W_i / D_i)$$

Hanasaki (HESS, 2008)

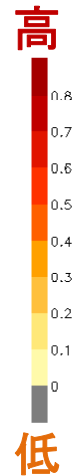
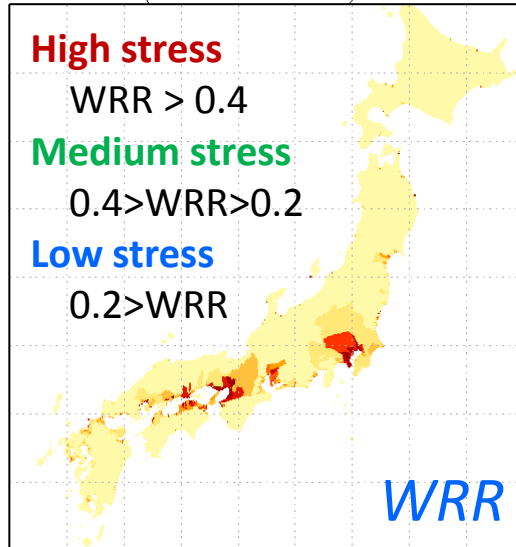
D: daily demand [MCM]

⇒流量季節性を含めた水ストレス

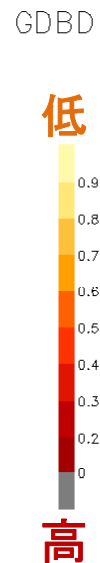
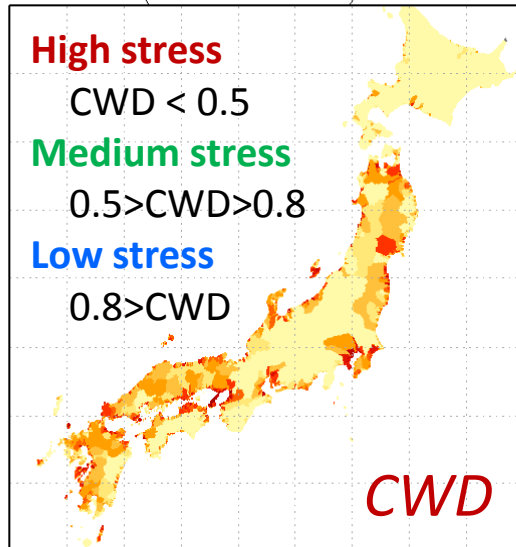


Water Stress Index

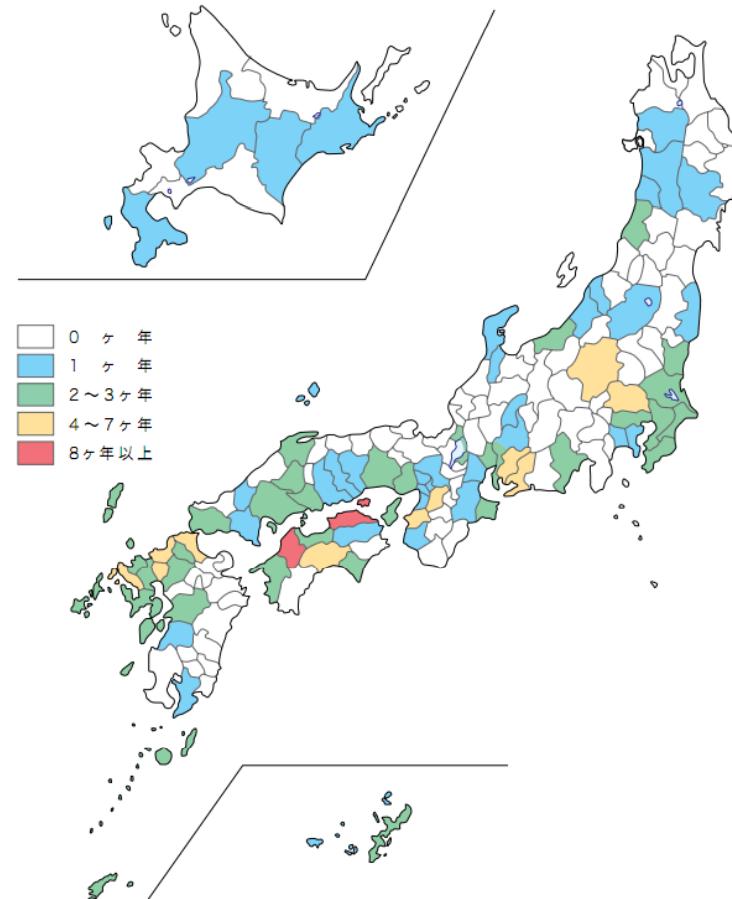
WRR (water stress)



CWD (water stress)



最近20年間の渇水発生回数
(国土交通省, H23日本の水資源)



CWDによる評価が適している

気候変動の影響評価と適応策

(i)モデル開発 ⇒ (ii)検証 ⇒ (iii)水ストレス算定 ⇒ (iv)気候変動の影響と適応策



□ MRI-AGCM20を使って気候変動の影響推計

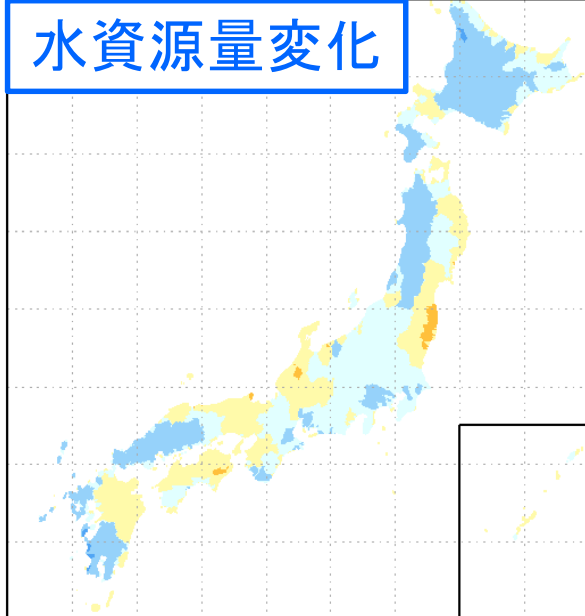
- 流域毎に気象強制力7要素の気候値をBias補正(田中ら, 2008)
- Present(1979-2003), Future(2075-2099), 適応策(2075-2099)の3実験

□計算設定

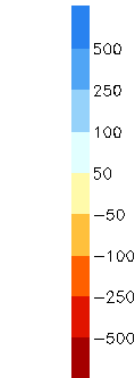
- 生活用水, 工業用水は変化しないと仮定

気候変動の影響推定

Resources (mm) diff FUTURE2-PRESENT

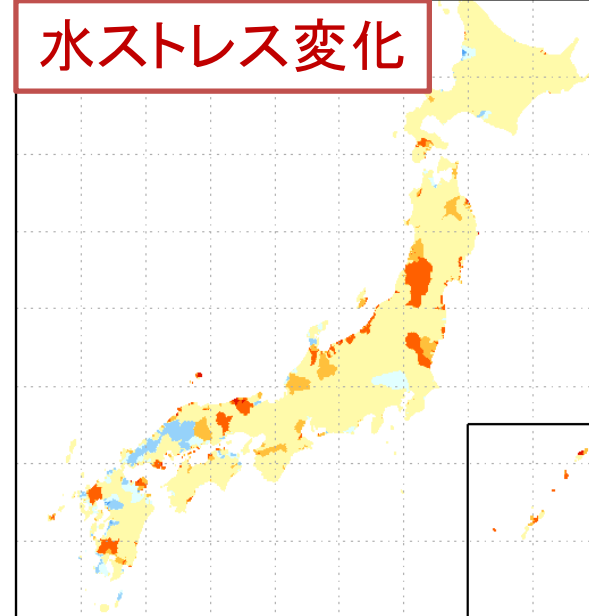


将来増加



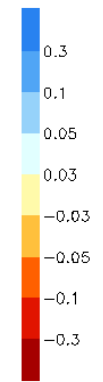
将来減少

Stress (CWD) diff FUTURE2-PRESENT



水ストレス変化

将来減少



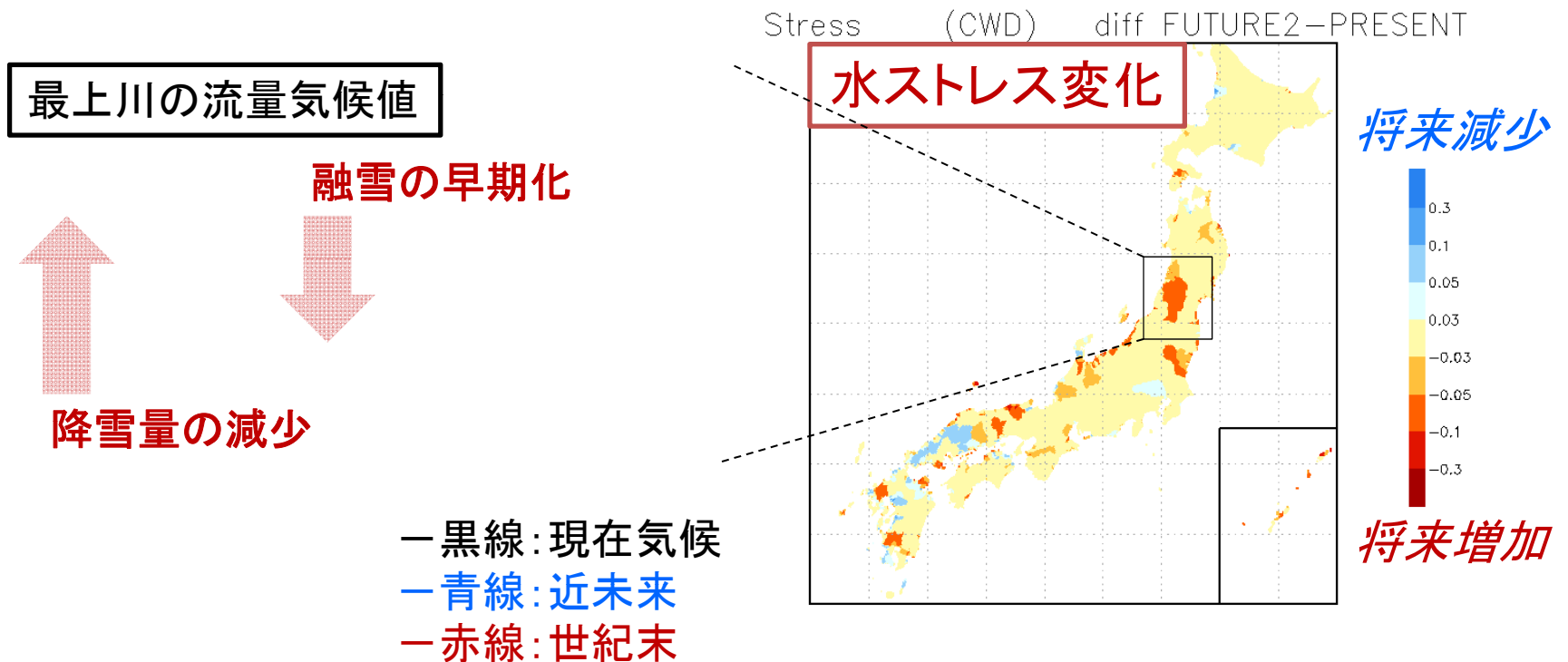
将来増加

水循環速度の加速化や、降雪量の変化により
東北地方では水資源量の増加にも関わらず水ストレスが増加する



水資源量の変化と水ストレスの変化は必ずしも一致しない

気候変動の影響推定

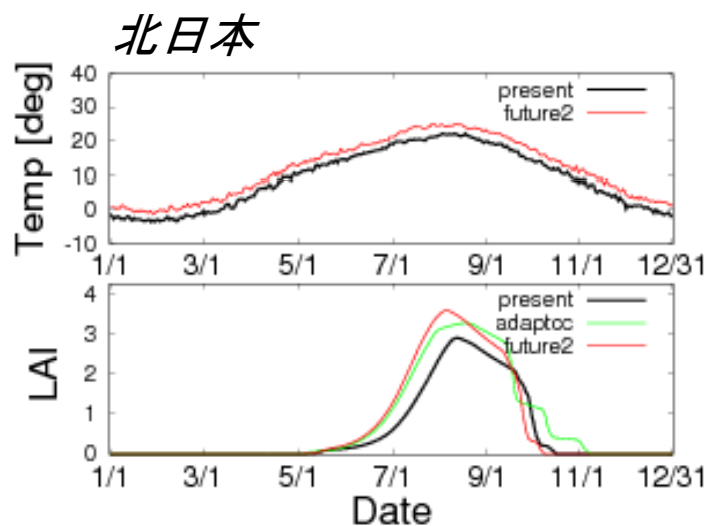


水循環速度の加速化や、降雪量の変化により
東北地方では水資源量の増加にも関わらず水ストレスが増加する



水資源量の変化と水ストレスの変化は必ずしも一致しない

適応策:収穫量が最大になる時期に田植え

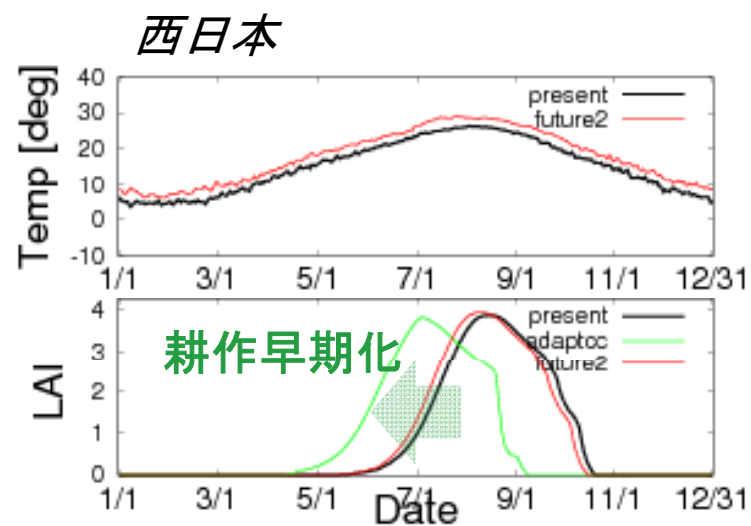


↑
温暖化の影響を享受

—黒: 現在気候
—緑: 適応策
—赤: 世紀末

北日本

- ・ 温暖化により低温を回避



↑
早期化で増収の見込み

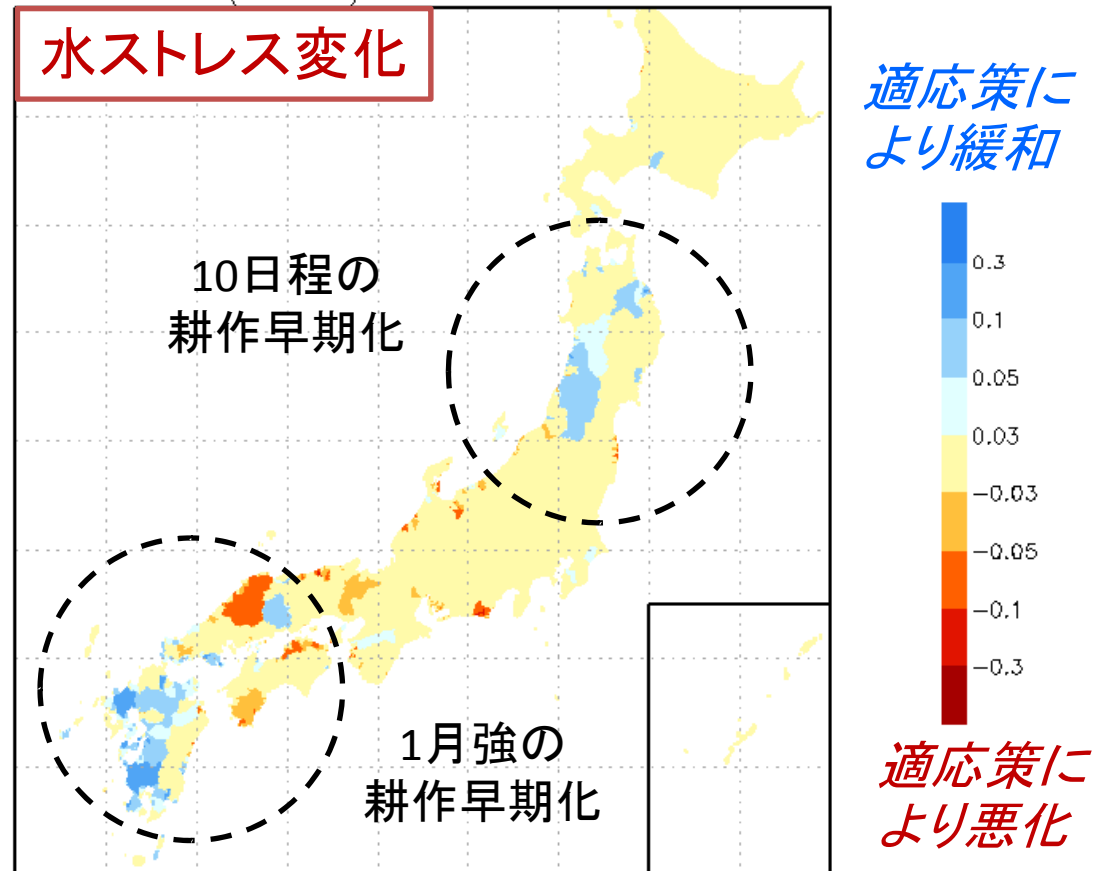
西日本

- ・ 早期化による増収の見込

気候変動の影響評価と適応策

適応策を取った場合の水ストレス変化 (農業水需要量の発生時期のみが変化する)

Stress (CWD) diff ADAPTCC-FUTURE2



結論

水循環-農業活動の因果関係を
横断的に記述するモデルを開発した

1. 日本全域水資源モデルの開発

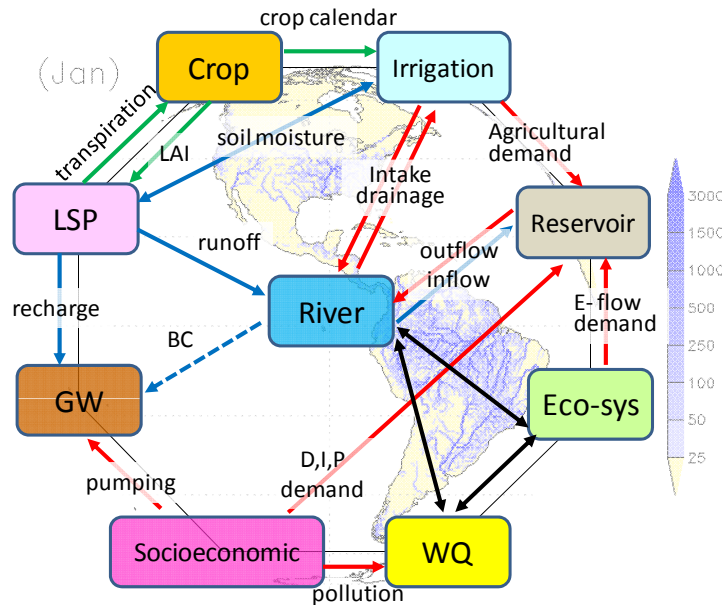
- 水循環-農業活動の包括的解析
- 収量や河川流量を検証

2. 気候変動の影響推計

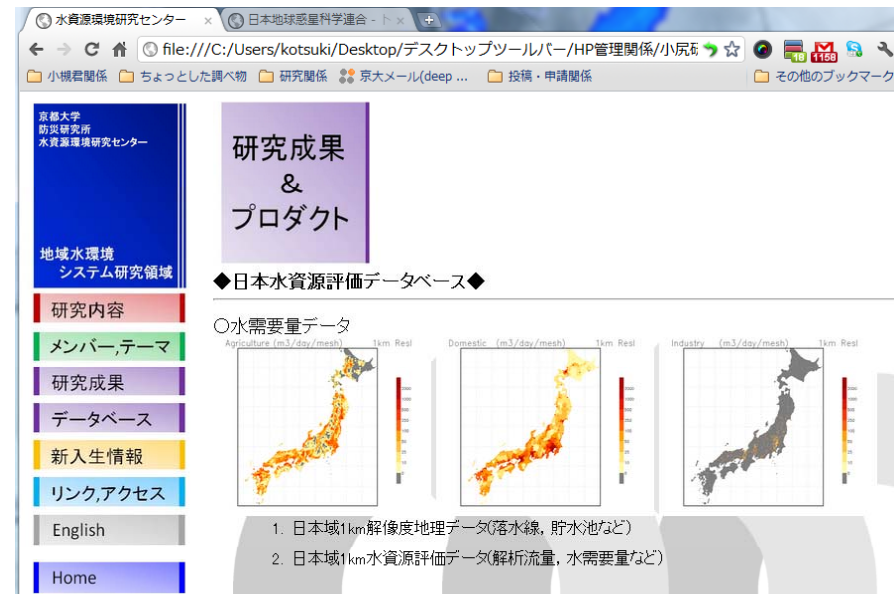
- 流況・水ストレス・収量の変化を解析
- 適応策の影響・効果を可視化

今後の予定

1. 全球陸域水循環モデルの高度化
2. 日本域データベースを構築
 - 地理・水需要データを公開予定(5-6月を目標)



1. 全球統合水資源モデルを開発中



2. Webページを構築中