

陸面過程モデルSiBUCを用いた 気候変動影響評価例

京都大学防災研究所
水資源環境研究センター
田中賢治

陸面過程モデル

降水、日射、気温などの地上気象要素を入力として、地表面の熱収支・水収支で記述された地温、土壌水分量などの予報方程式を時間積分し、地表面水文諸量を更新する過程で各種フラックス量が診断的に求められます。

エネルギーの収支式

$$\Delta M = Rn - H - \lambda E - G$$

地表面 熱貯留	純放射量	顕熱	潜熱	地中 熱流量
------------	------	----	----	-----------

放射の収支式

$$Rn = (1 - \alpha)S\downarrow + L\downarrow - \varepsilon\sigma T^4$$

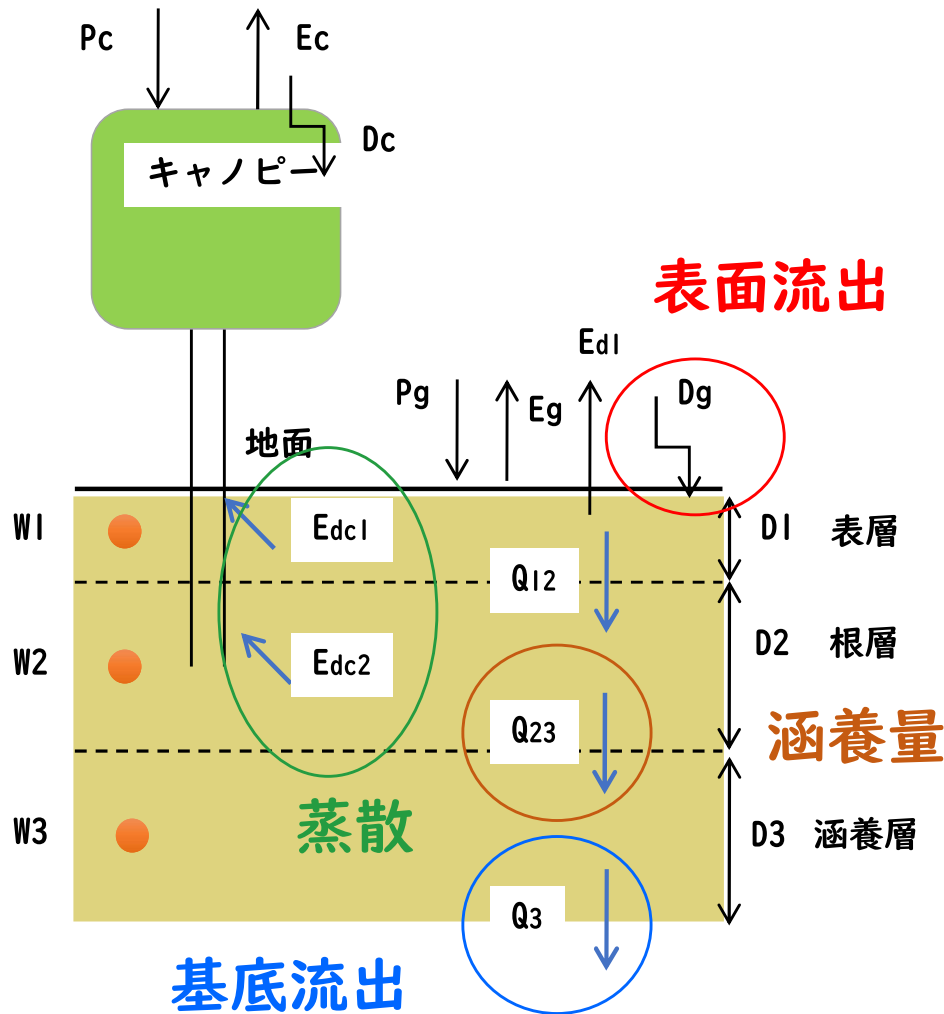
純放射量	正味 短波放射	下向き 長波放射	上向き 長波放射
------	------------	-------------	-------------

水の収支式

$$\Delta S = P - E - R_{off}$$

地表面 貯留量	降水	蒸発	流出
------------	----	----	----

陸面過程モデル（土壌水分、流出）



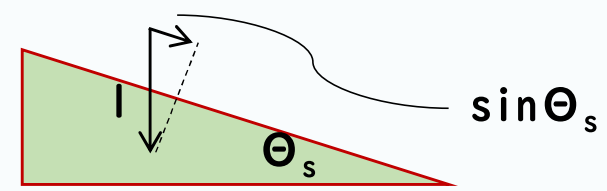
$$\psi_i = \psi_s W_i^{-b} \quad \begin{array}{l} W : \text{土壌水分} \\ \psi : \text{マトリック} \\ \text{ポテンシャル} \end{array}$$

$$K_i = K_s W_i^{2b+3}$$

$$Q_{i,i+1} = K \left[\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right]$$

$$Q_3 = \sin \theta_s K_3 \quad \begin{array}{l} Q : \text{フラックス} \\ K : \text{透水係数} \end{array}$$

1. 土壌水分 \Rightarrow マトリックポテンシャル & 透水係数 を計算
2. ダルシー則で土壌中の水移動を計算
3. 基底流出は、重力排水のみを扱う
斜面勾配がきついほど多くなる



陸面過程モデルの入出力

入力(Input)

地上気象データ(Surface meteorological variables)
Prec(降水), SW_{down}(短波放射), LW_{down}(長波放射),
T_{air}(気温), E_{air}(水蒸気圧), Wind(風速), P_{sfc}(気圧)

地表面パラメータ(Surface parameters)

植生種(落葉広葉樹、常緑針葉樹、草原など)

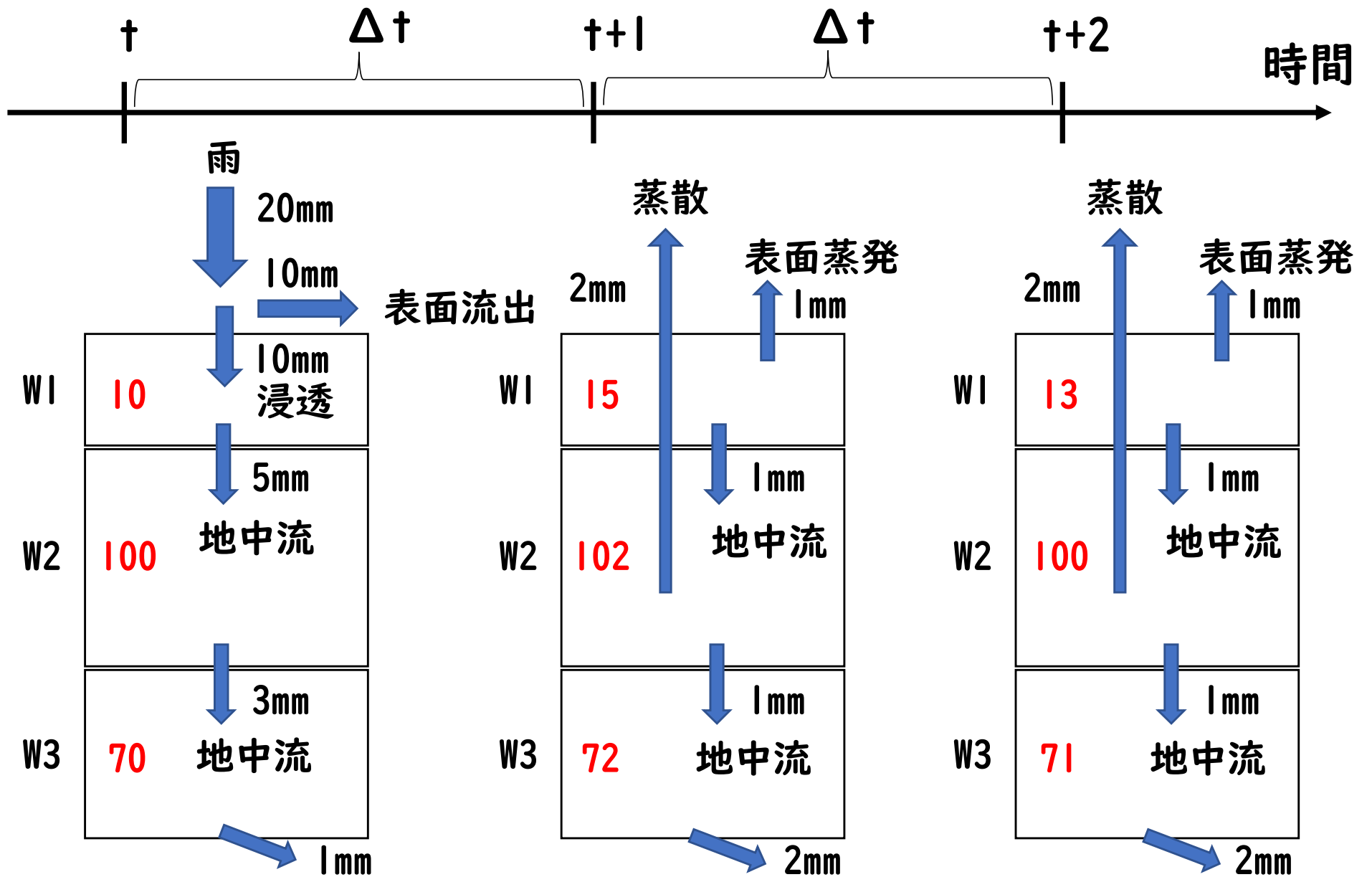
土壌種(sandy clay loam, silt loamなど)、土層厚
葉の量LAI, 反射率, 気孔制御関係の係数など

出力(Output)

熱収支項(Energy Balance) : H(顕熱), λE (潜熱), G(地中熱)

水収支項(Water Balance) : Evap(蒸発散), Q_s(表面流出), Q_{sb}(基底流出)

状態量(Surface State) : T_{soil}(地温), SoilMois(土壌水分), SWE(積雪)



簡単のため、土壌水分量は各層の水分貯留高(mm)で表しています。

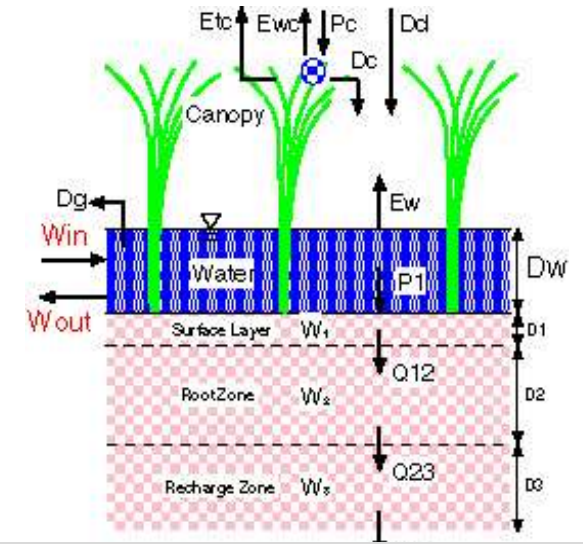
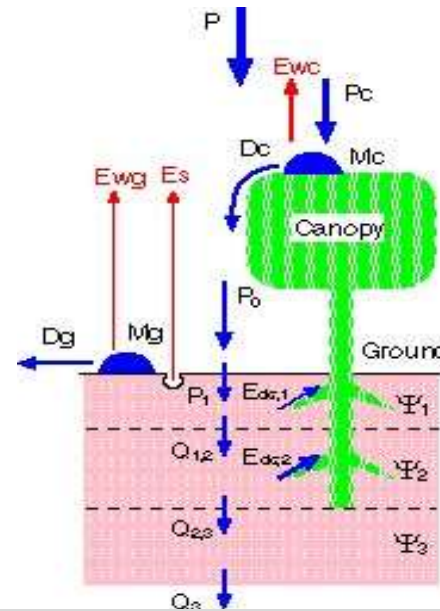
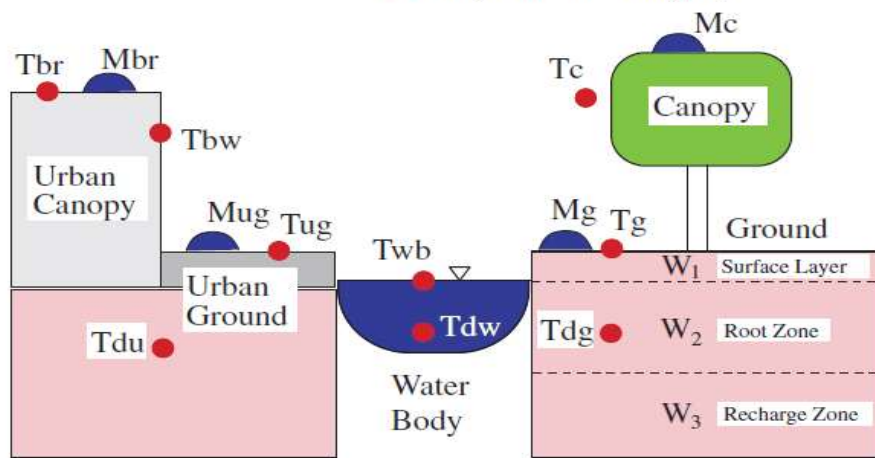
陸面過程モデル(SiBUC)

- **緑地のモデル**
(green area model)
SiBを基本とする(植生を1層にするなど少し簡略化)。
- **都市域のモデル**
(urban canopy model)
都市域の粗度要素としての建物群を同じ幅だけど高さは違う直方体の集合体として表現
放射過程では天空率を
- **水体のモデル**
(water body model)
水温だけの強制復元モデル

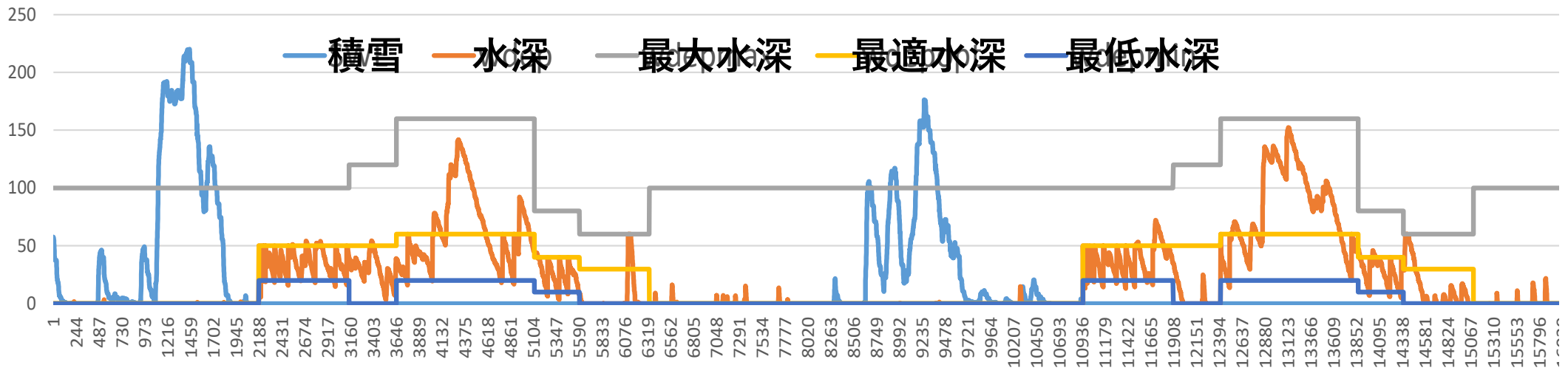
1. Broadleaf-evergreen trees
2. Broadleaf-deciduous trees
3. Broadleaf and needle leaf trees
4. Needle leaf-evergreen trees
5. Needle leaf-deciduous trees
6. Short vegetation/C4 grassland
7. Broadleaf shrubs with bare soil
8. Dwarf trees and shrubs
9. Farmland (non-irrigated)
10. Paddy field (non-irrigated)
11. Paddy field (irrigated)
12. Spring wheat (irrigated)
13. Winter wheat (irrigated)
14. Corn (irrigated)
15. Other crops (irrigated)

陸面過程モデルSiBUC 水田灌漑モデル

Boundary Condition: T_m e_m u_m $F_{L,m(0)}$ $F_{t,d(0)}$ P
 ● Z_m (Reference Height)



水田グリッド



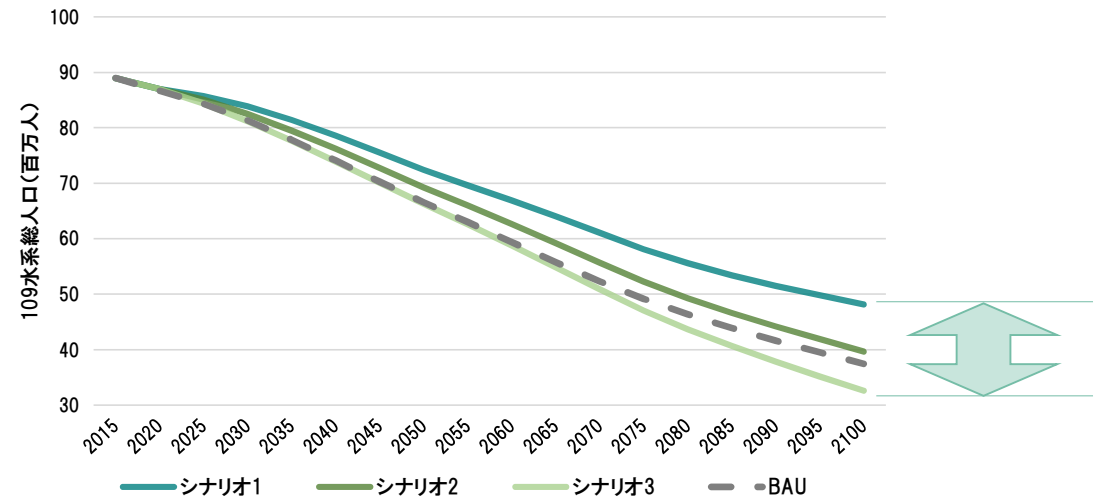
異なる人口シナリオでの土地利用推計 大西（横浜市大）

109流域別人口推計（BAU）

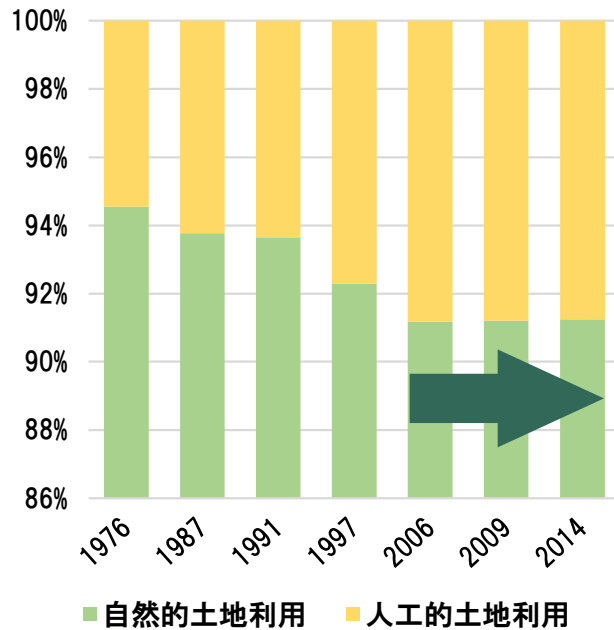
シナリオ別人口推計

1. 出生率**高位**仮定 + 死亡率**低位**仮定
2. 出生率中位仮定 + 死亡率中位仮定
3. 出生率**低位**仮定 + 死亡率**高位**仮定

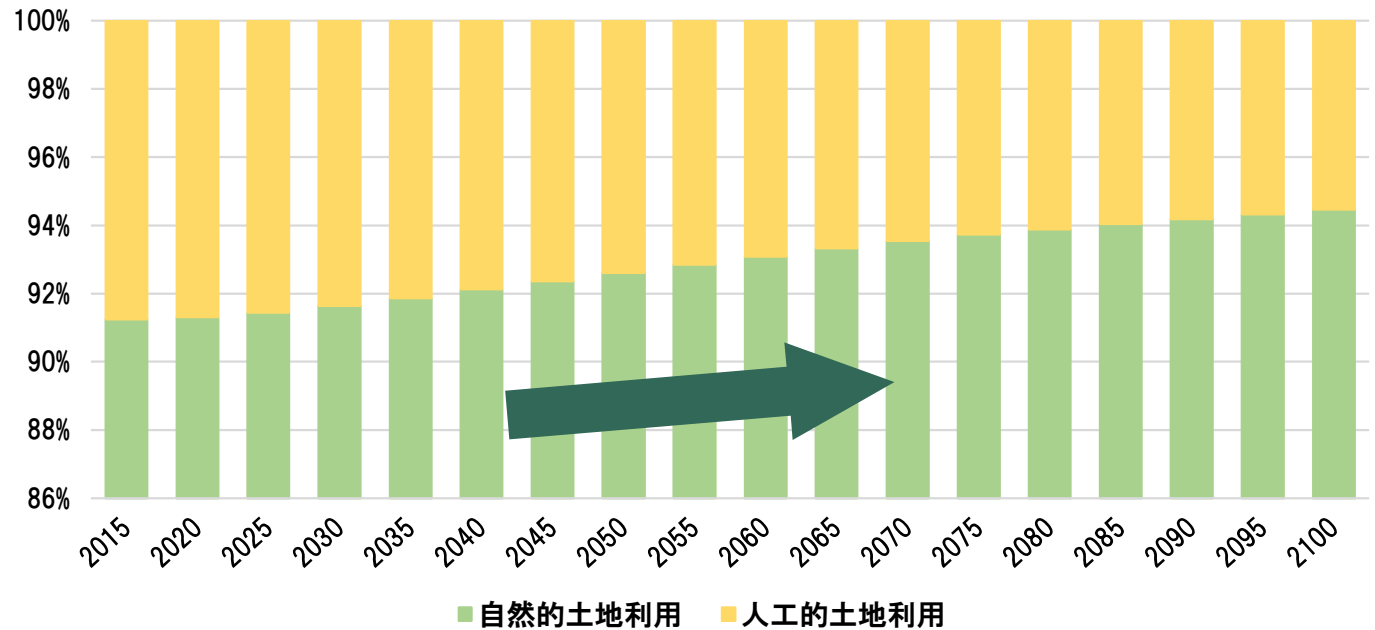
109水系総人口のシナリオ別推移



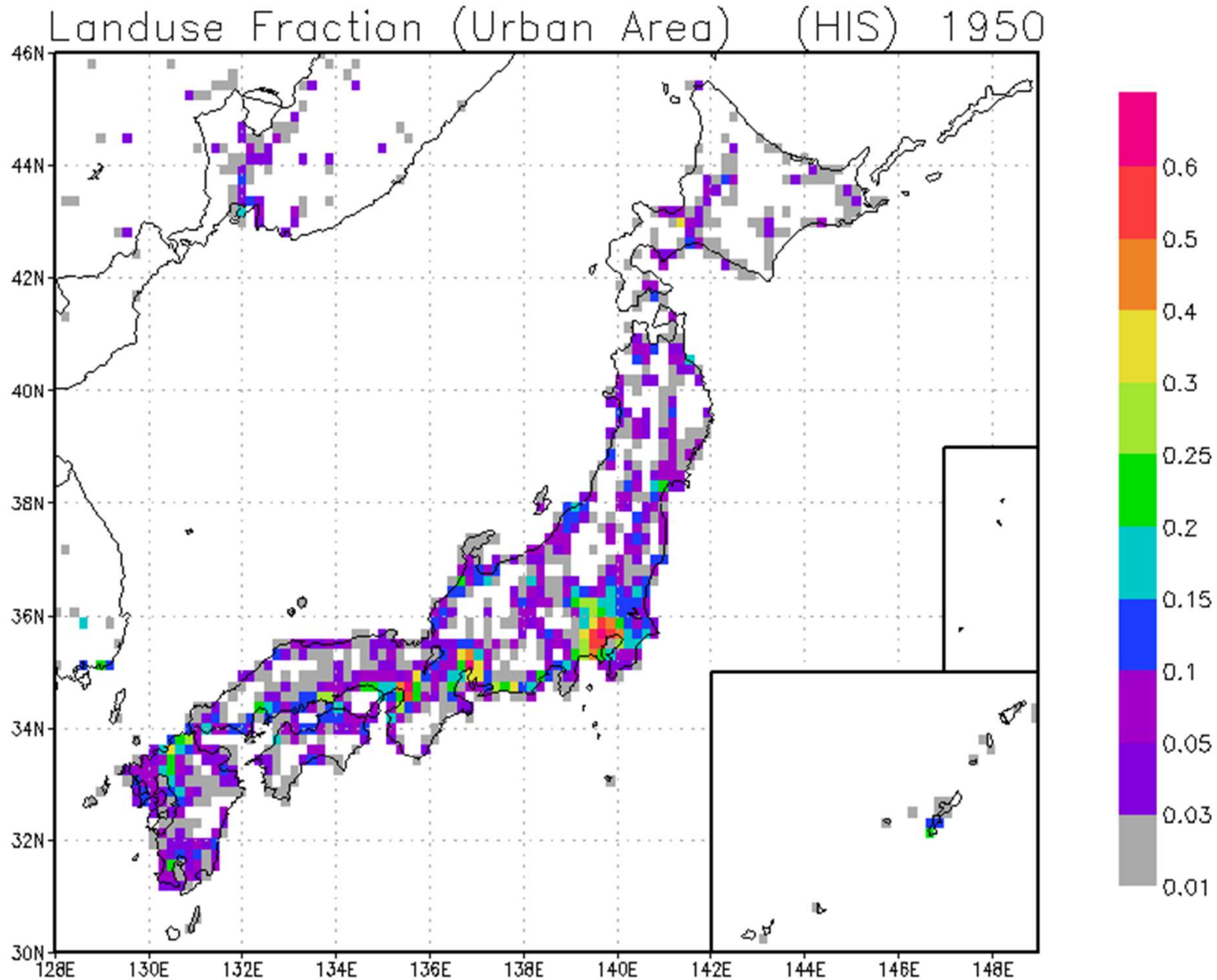
土地利用変化



土地利用推計結果(BAU)



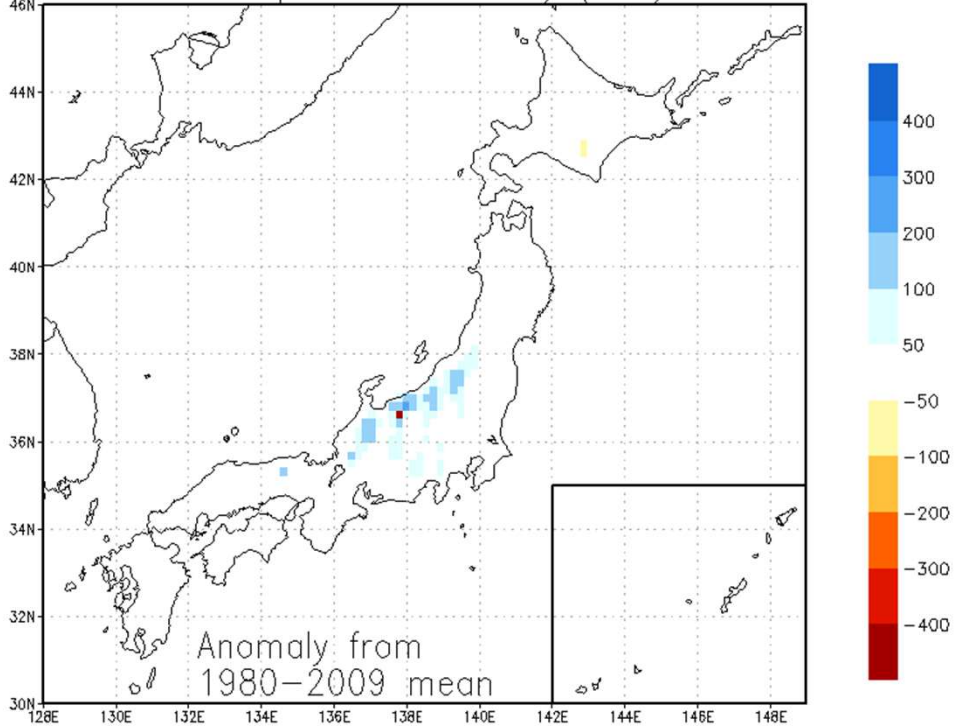
都市面積率の経年変化と将来予測(BAU)



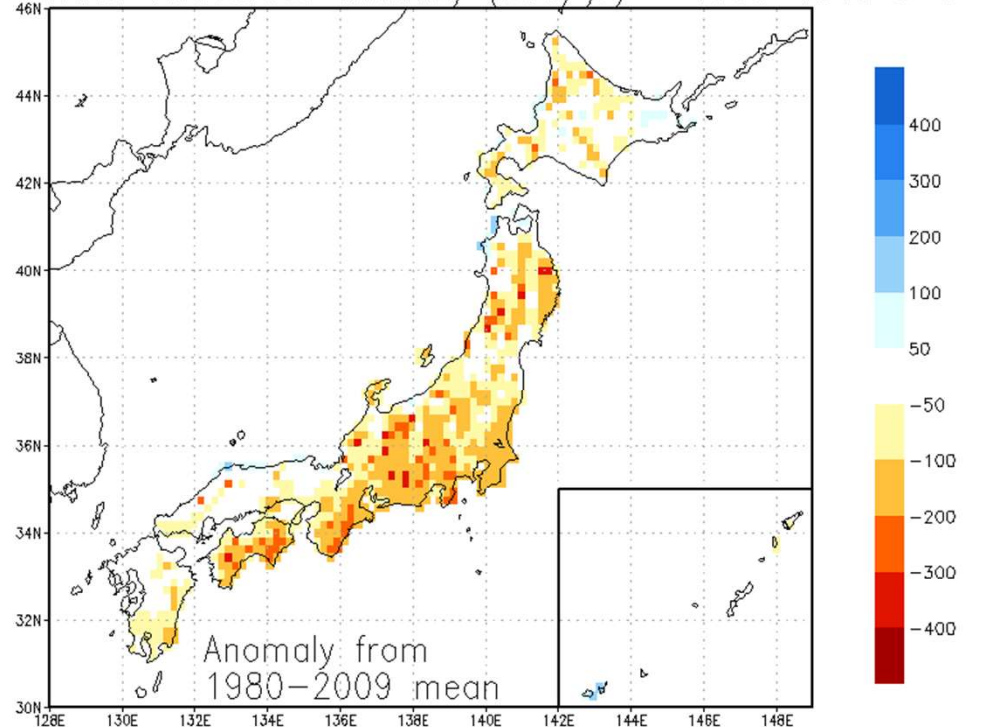
(注) 1975年以前は1976年と同じ

気候値の連続的な変化(土地利用シナリオ 3)

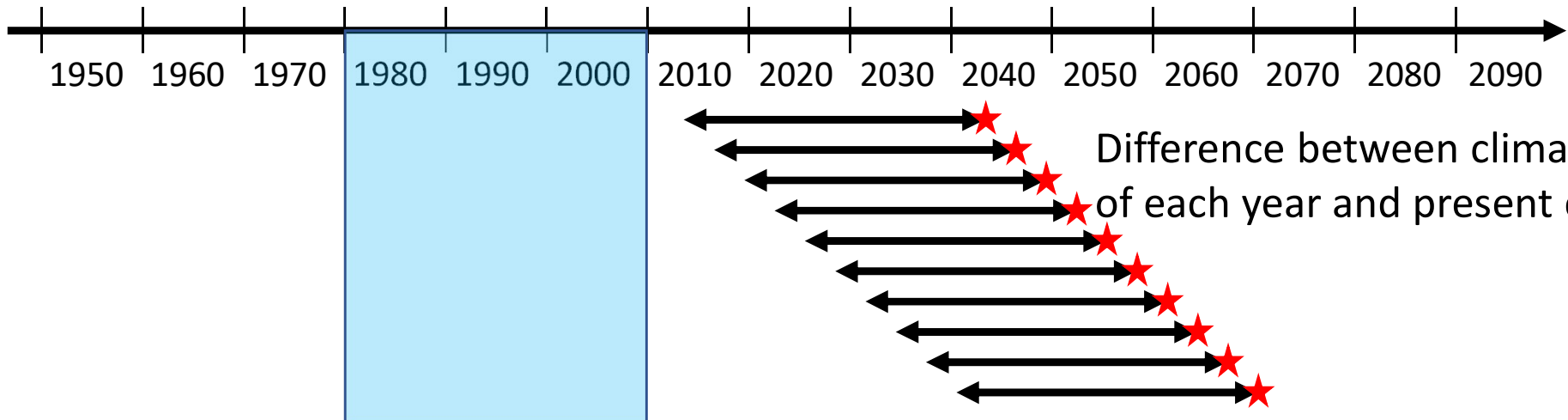
Snow Water Equivalent anomaly (mm) 1950-1979 S-3



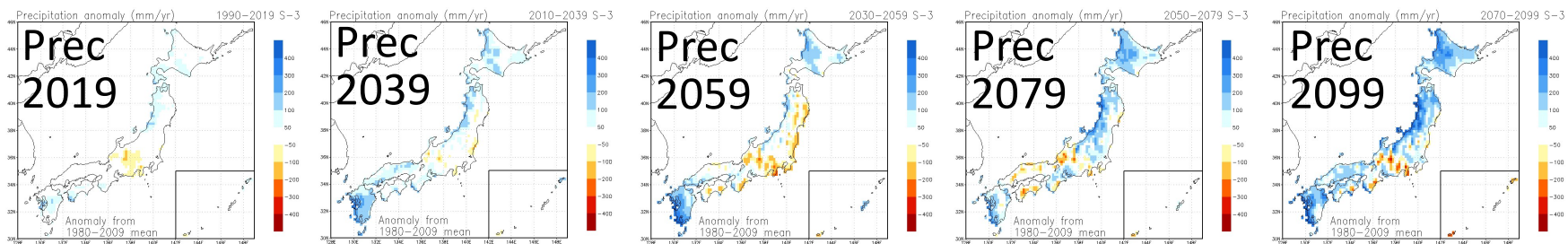
Water Resources anomaly (mm/yr) 1950-1979 S-3



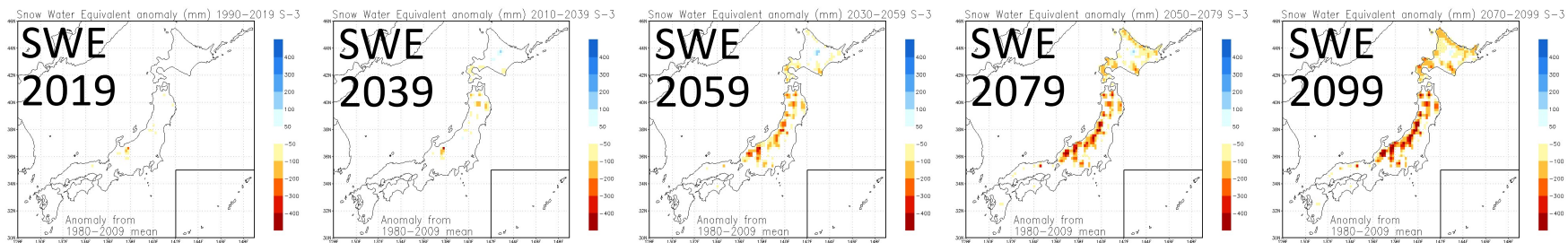
Present climate = 1980~2009 mean



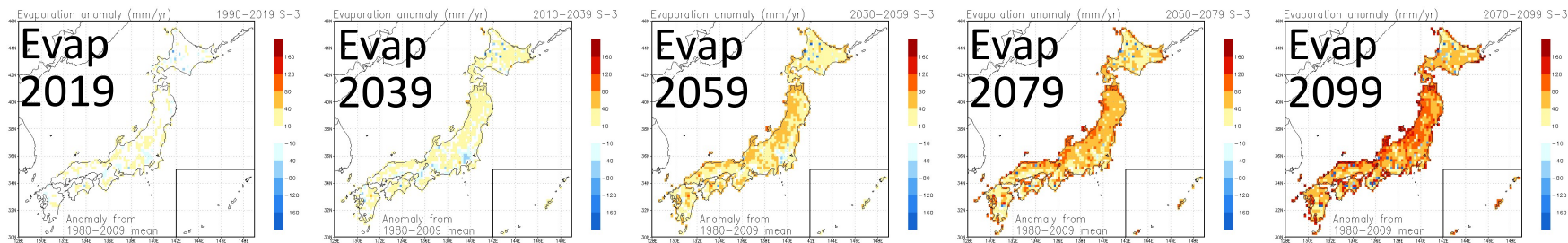
Precipitation 降水量



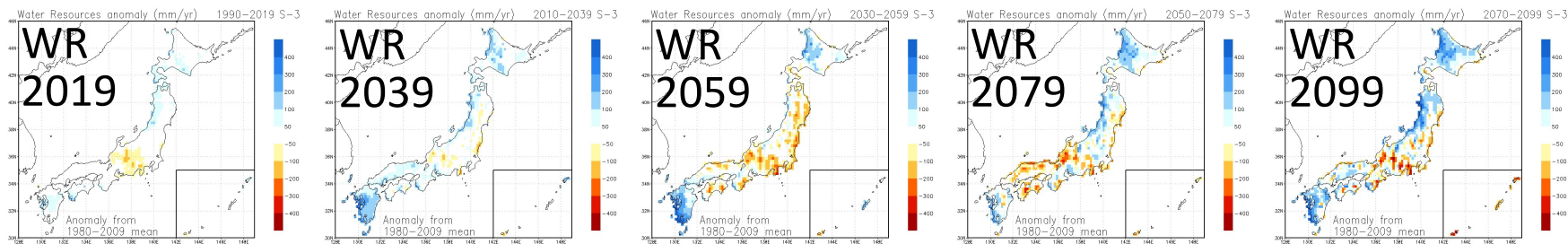
Snow Water Equivalent 積雪量



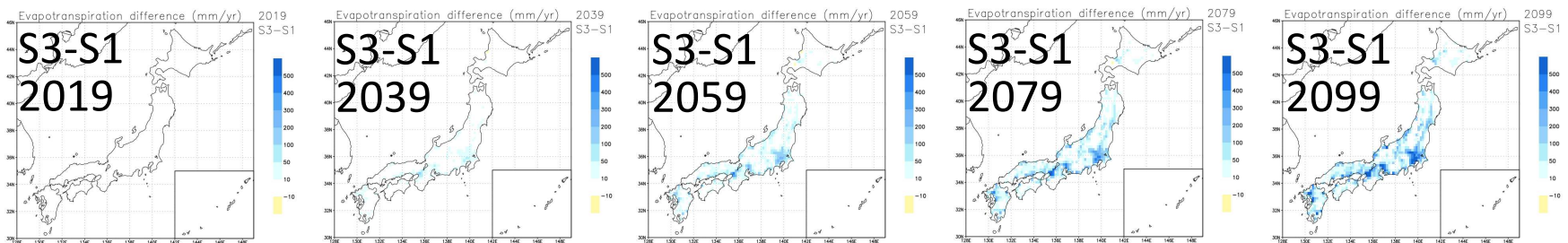
Evaporation 蒸発散量



Water Resources 水資源量



Diff Evap S3-S1 蒸発散量差



2019

2039

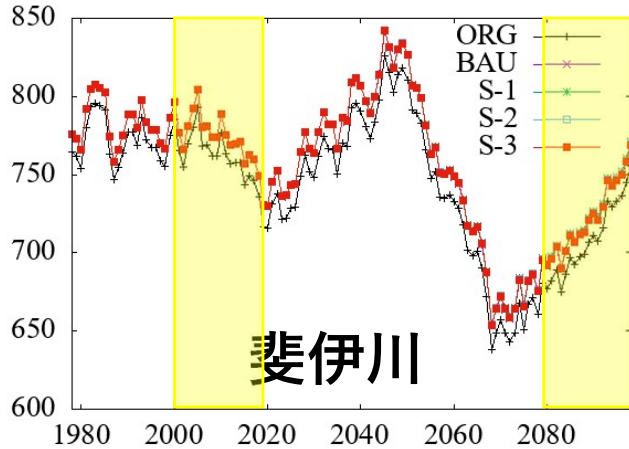
2059

2079

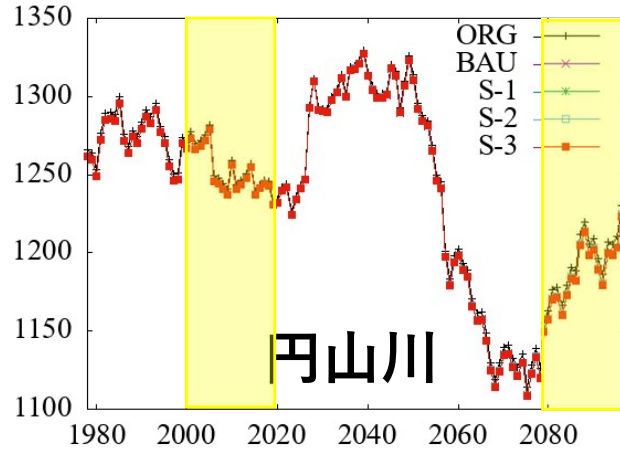
2099

水資源量気候値の長期変化 (紆余曲折型の流域の例)

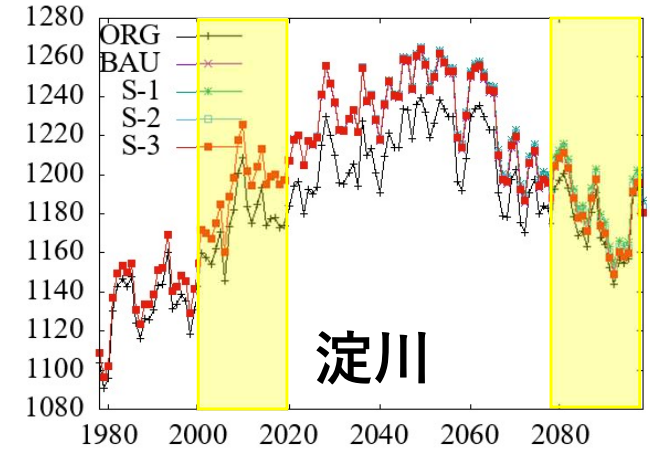
Water Resources (Hii River)



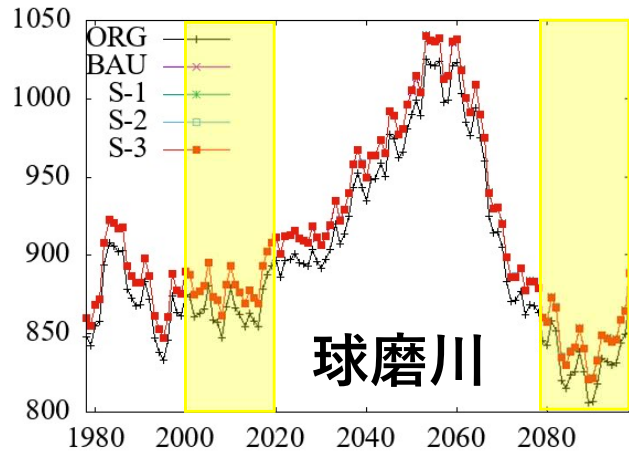
Water Resources (Maruyama River)



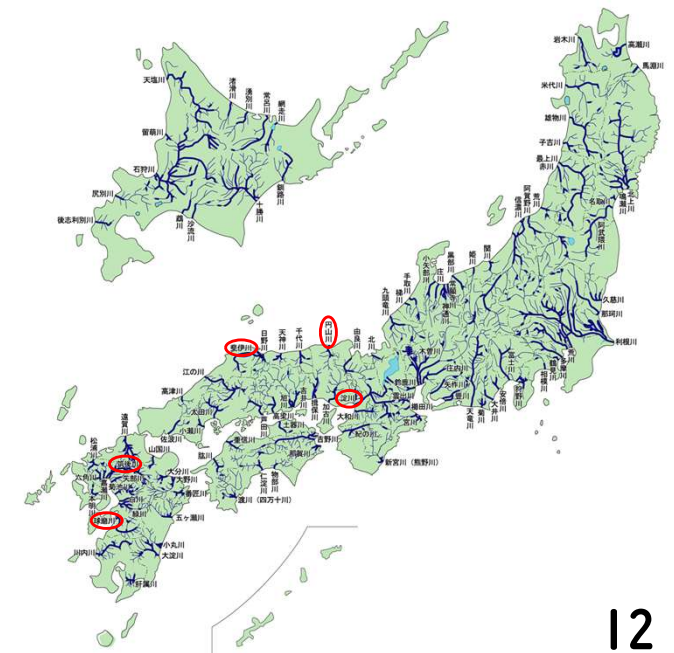
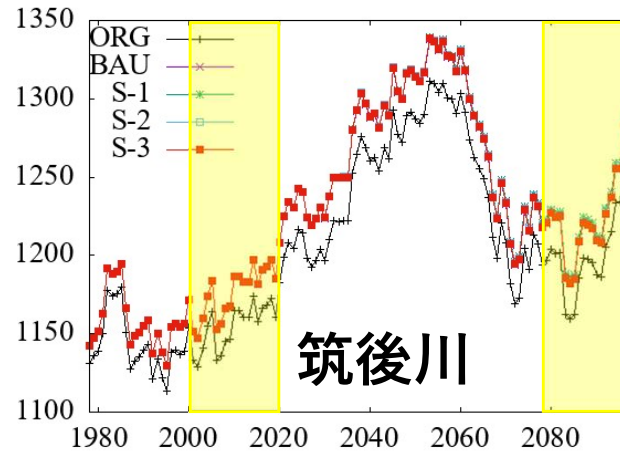
Water Resources (Yodo River)



Water Resources (Kuma River)



Water Resources (Chikugo River)

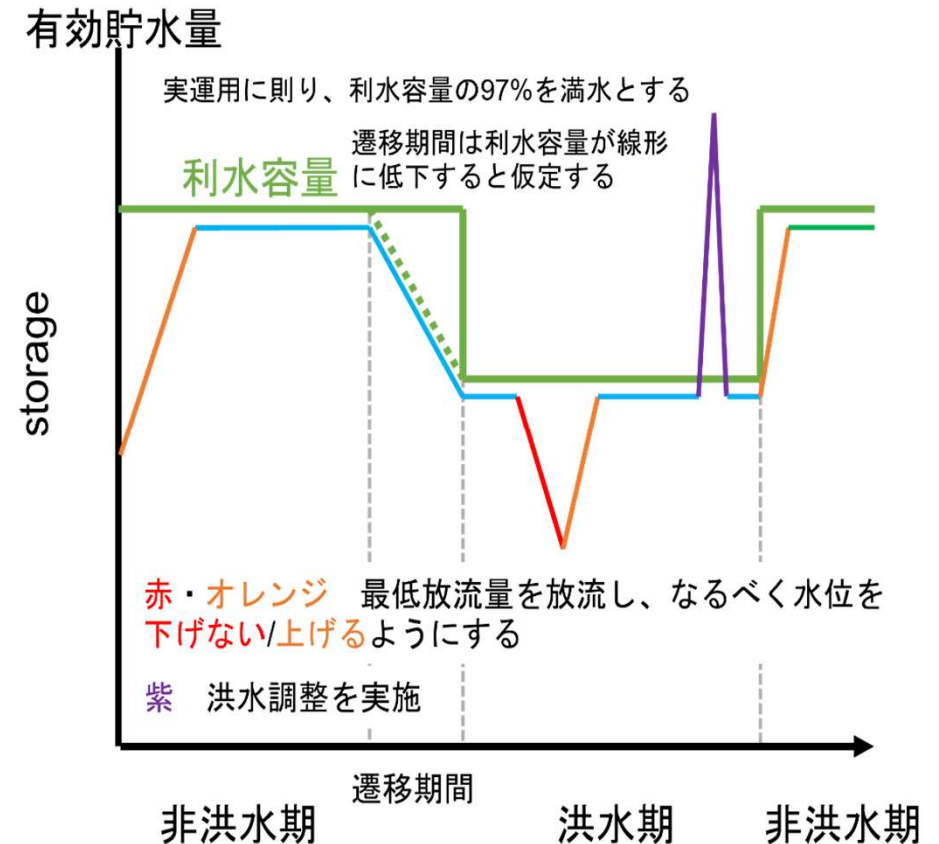
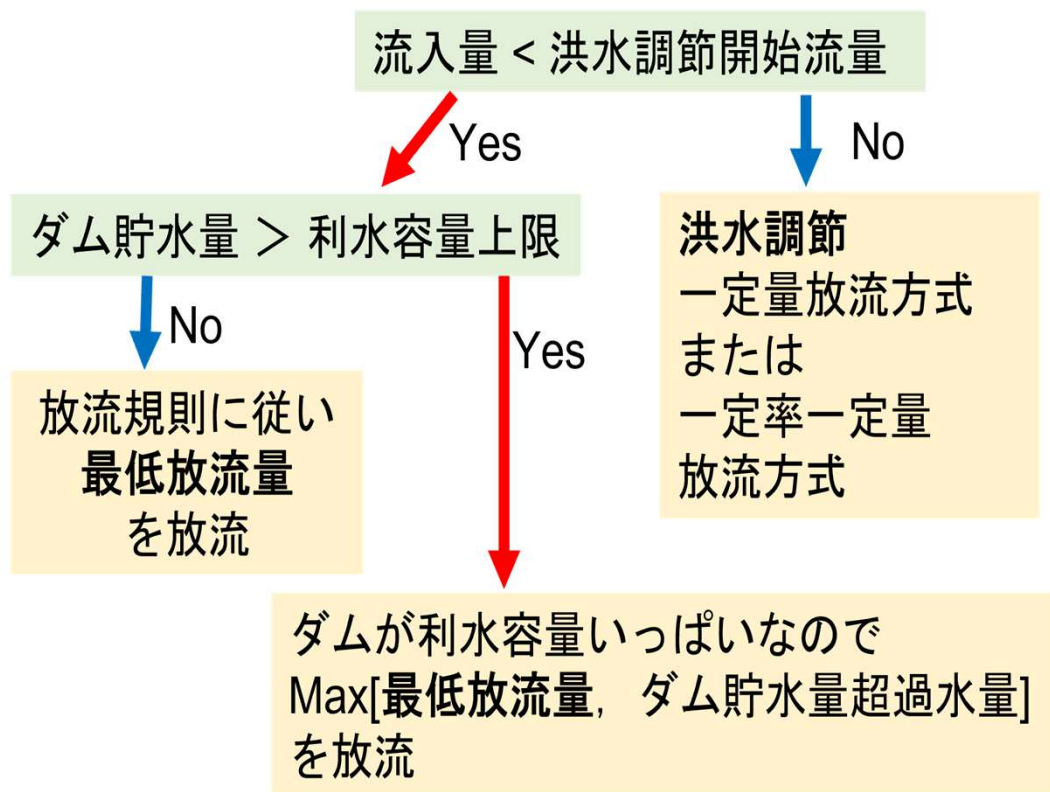


利用可能水資源量の極小（極大）が世紀末より手前に現れるためタイムスライス実験では正しく評価できない。

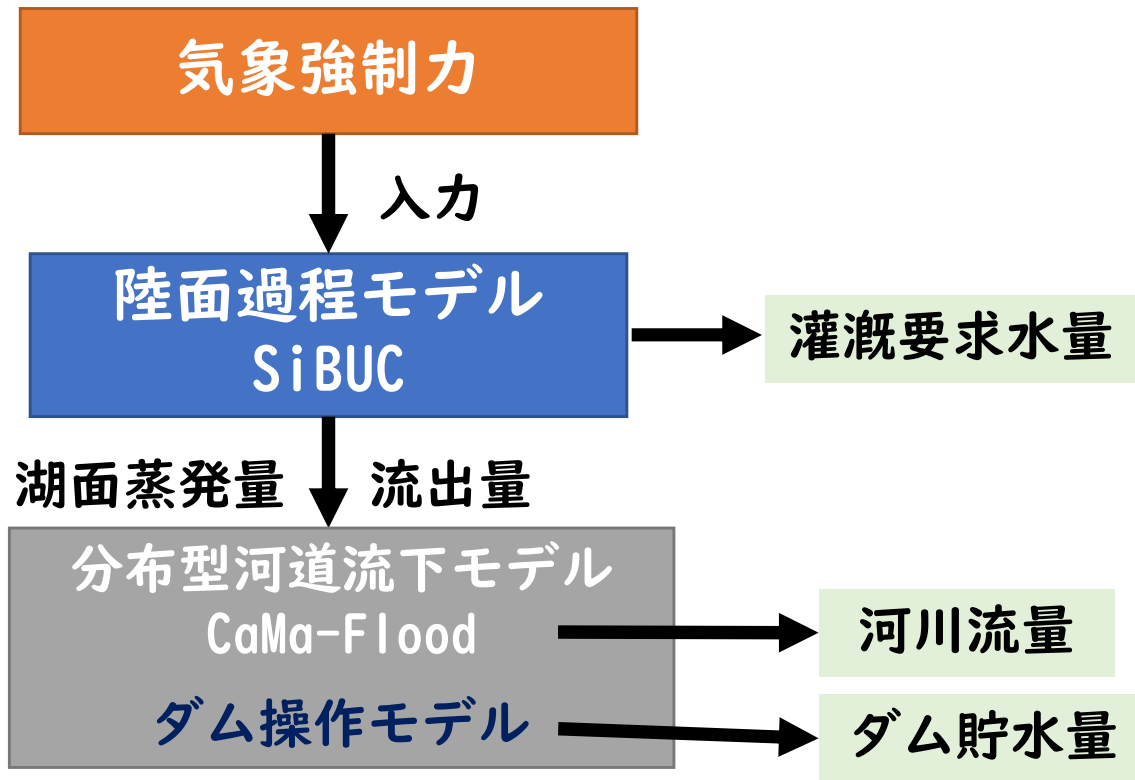
ダム操作モデルの構築

ダム管理者が発行する「ダム定期報告書」を基に、実際の操作規則にのっとったダム操作モデルを構築。

淀川流域のダムはこのようなアルゴリズムでモデリングできる



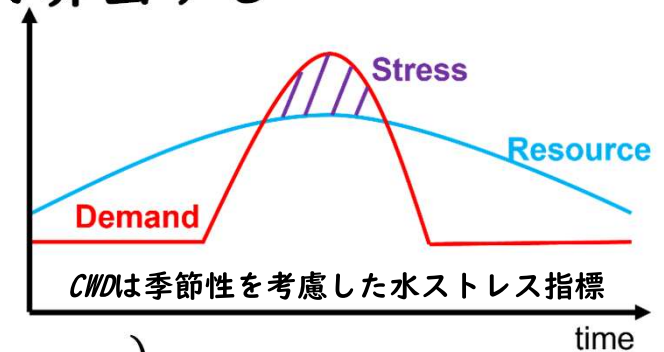
水資源施設を考慮した水需給バランス評価



- 水需要量
 - 農業用水：灌漑要求水量+維持用水
 - 工業用水：地表水の使用量統計値
 - 生活用水：人口×1人当たりの水使用量 (307L/day)

- 水供給量
 - 河川流量－河川維持流量

を日単位で算出する



CWDは季節性を考慮した水ストレス指標

水ストレス指標 *CWD* (Cumulative Withdrawal to Demand ratio)

$$CWD = \frac{\sum_{Year} \sum_{doy=1}^{365} \min(demand_{Year,doy}, resource_{Year,doy})}{\sum_{Year} \sum_{doy=1}^{365} demand_{Year,doy}}$$

*CWD*は小さいほど水資源量が逼迫していることを示す

※生活用水・工業用水の水需要は現在の統計値で常に一定とする。農業用水は気温の上昇に伴い蒸発量が増加し、需要量が増加することを反映する。