

気候変動で水資源はどうなる？

京都大学防災研究所
水資源環境研究センター
田中賢治

地球上の水の状態



地球の中をグルグル回る水

水は太陽エネルギーによって循環する再生可能資源 (renewable resource) です。



水循環解析

水はどこにどれだけ存在するのか？

雪氷、湖、河川、土壌水、地下水

水はどこにいつどれだけ流れるのか？

雨や雪はどこにふるのか？

降った雨(雪)はどうなるのか？

土に浸み込む、蒸発する、川を流れる

前ページの図中の矢印を全て世界中で追跡

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
------------	----	----	----

植生モデル (SiB)

- 予報変数

温度 (キャノピー、地表面、地中)

遮断水 (キャノピー、地面)

土壌水分 (表層、根層、再補給層)

- 時間変化しないパラメータ

形態学的パラメータ

(樹高、葉の大きさなど)

光学的パラメータ

(反射率、透過率など)

生理学的パラメータ

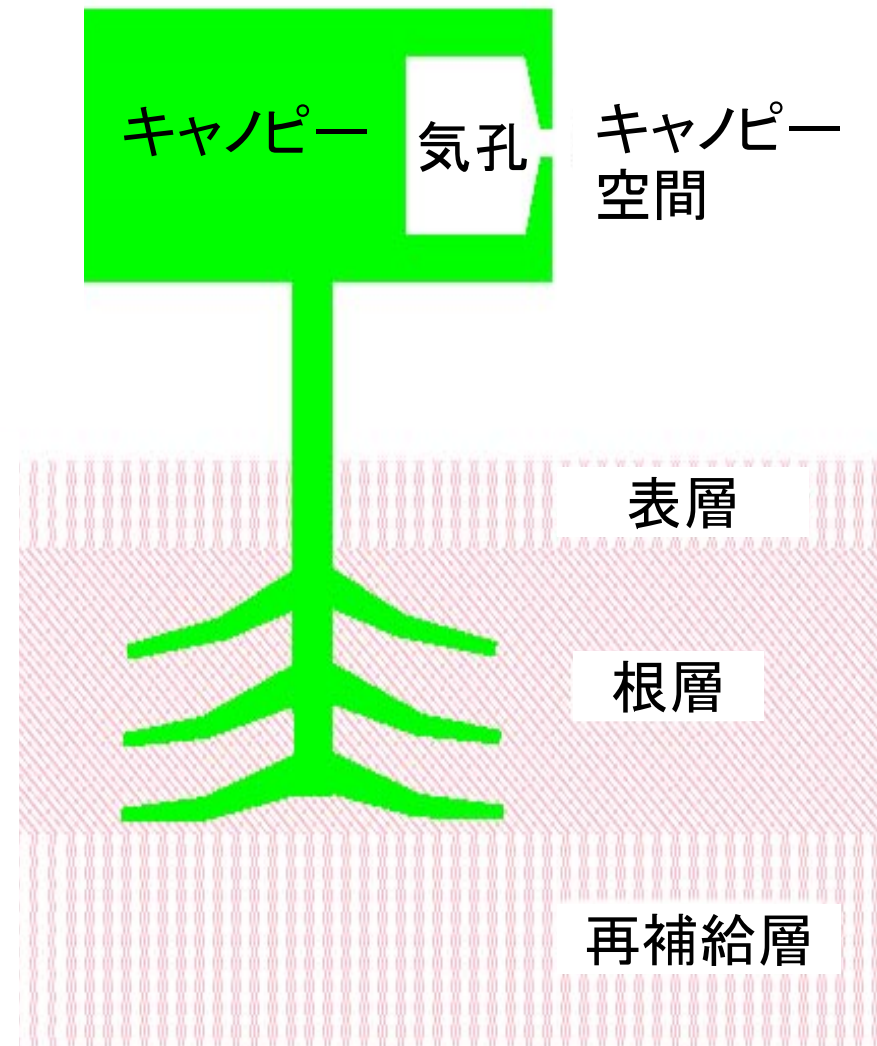
(活動温度、乾燥耐性など)

- 時間変化するパラメータ

葉っぱの量など

- 土壌物性

透水係数、空隙率など

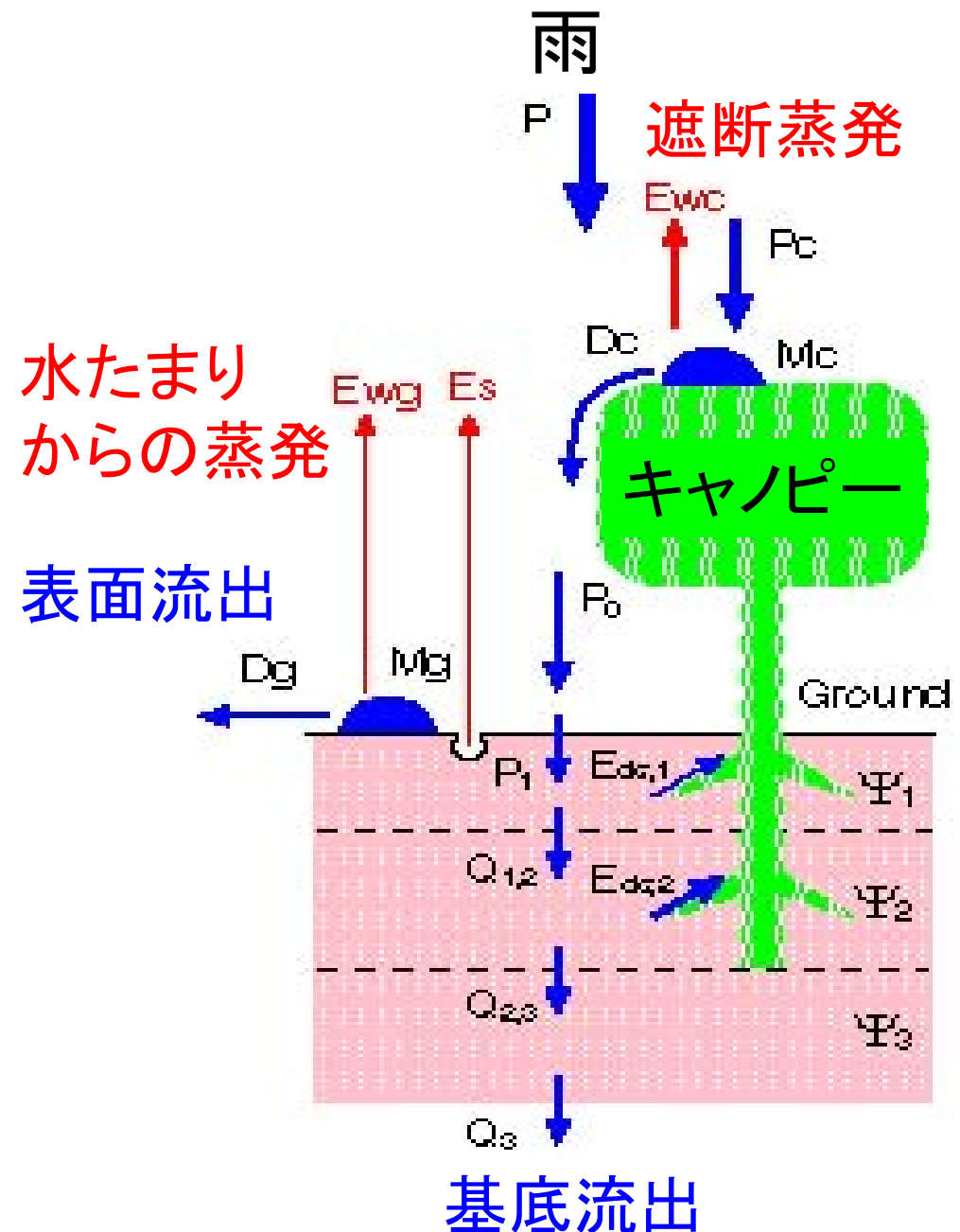


SiBで表現している主な物理過程

- 直達光および散乱光の可視，近赤外，熱赤外波長域における反射，透過，吸収
- 葉による降雨遮断，葉面からの遮断水の蒸発
- 雨水の地中への浸透，排水，貯留
- 光合成有効放射および土壌水分ポテンシャルによる気孔機能（植物の根－茎－葉系を通じた土壌水の大気への輸送）の制御
- 植物と土壌からABL内の参照レベルへの水蒸気，顕熱，運動量の空気力学的輸送

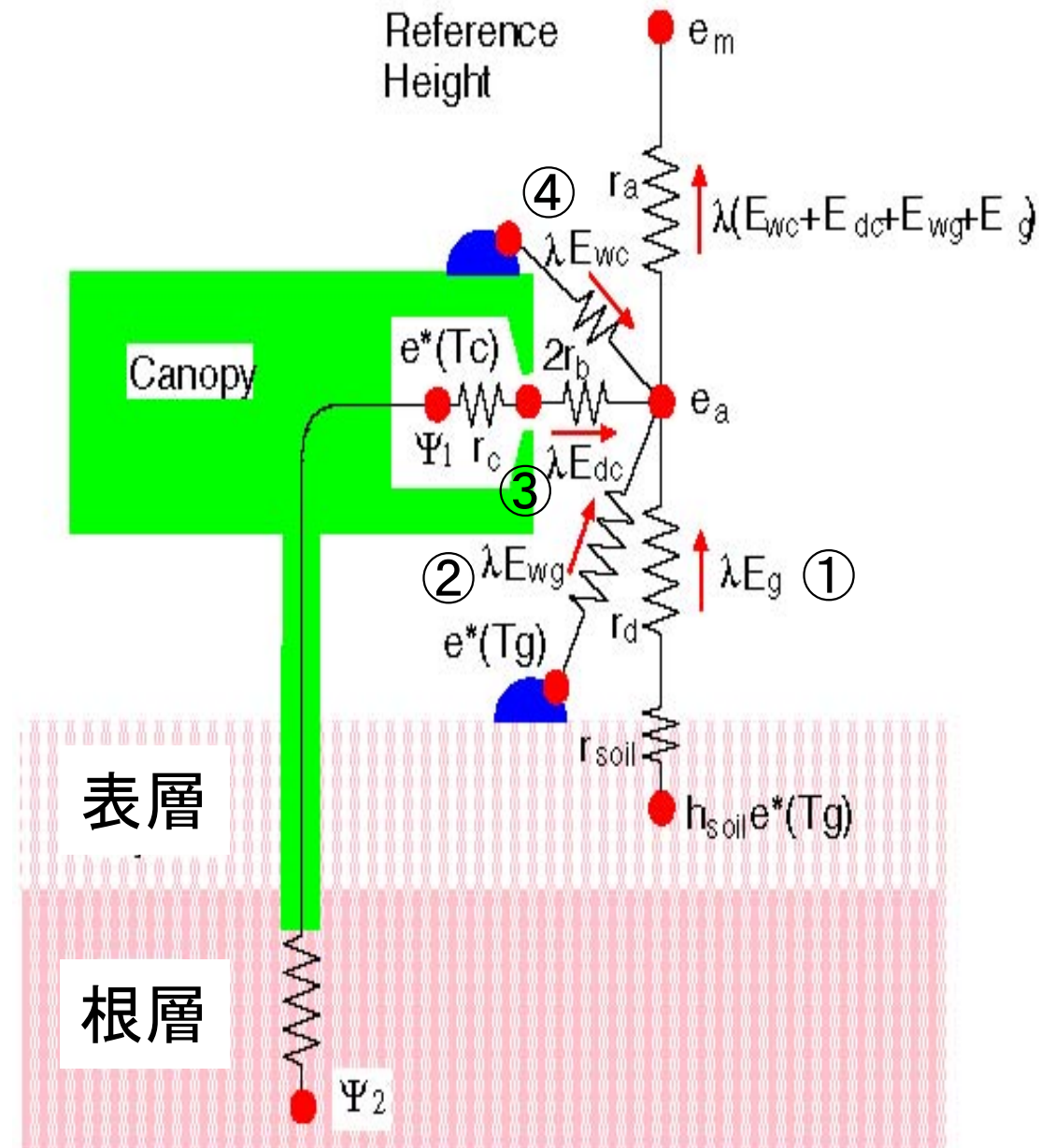
降水遮断過程

- キャンピー貯水量の最大値を超えると排水が発生する(この水は遮断蒸発となる)。
- 地面に到達した雨の強度により、また土壌水分の量により、浸透超過流出または飽和超過流出が発生する。
- 窪地貯留の効果も表せる。
- 雪が降れば積もる。



潜熱・顕熱フラックス

- フラックスはポテンシャル差に比例し、抵抗に反比例する。
潜熱: 水蒸気圧差
顕熱: 温度差
- 抵抗は環境条件で変化する。
土壌の乾燥、高温・低温、風の強弱など
- ①地中からの蒸発、②地表面貯留水の蒸発、③葉からの蒸散、④遮断水の蒸発の各成分が計算される。

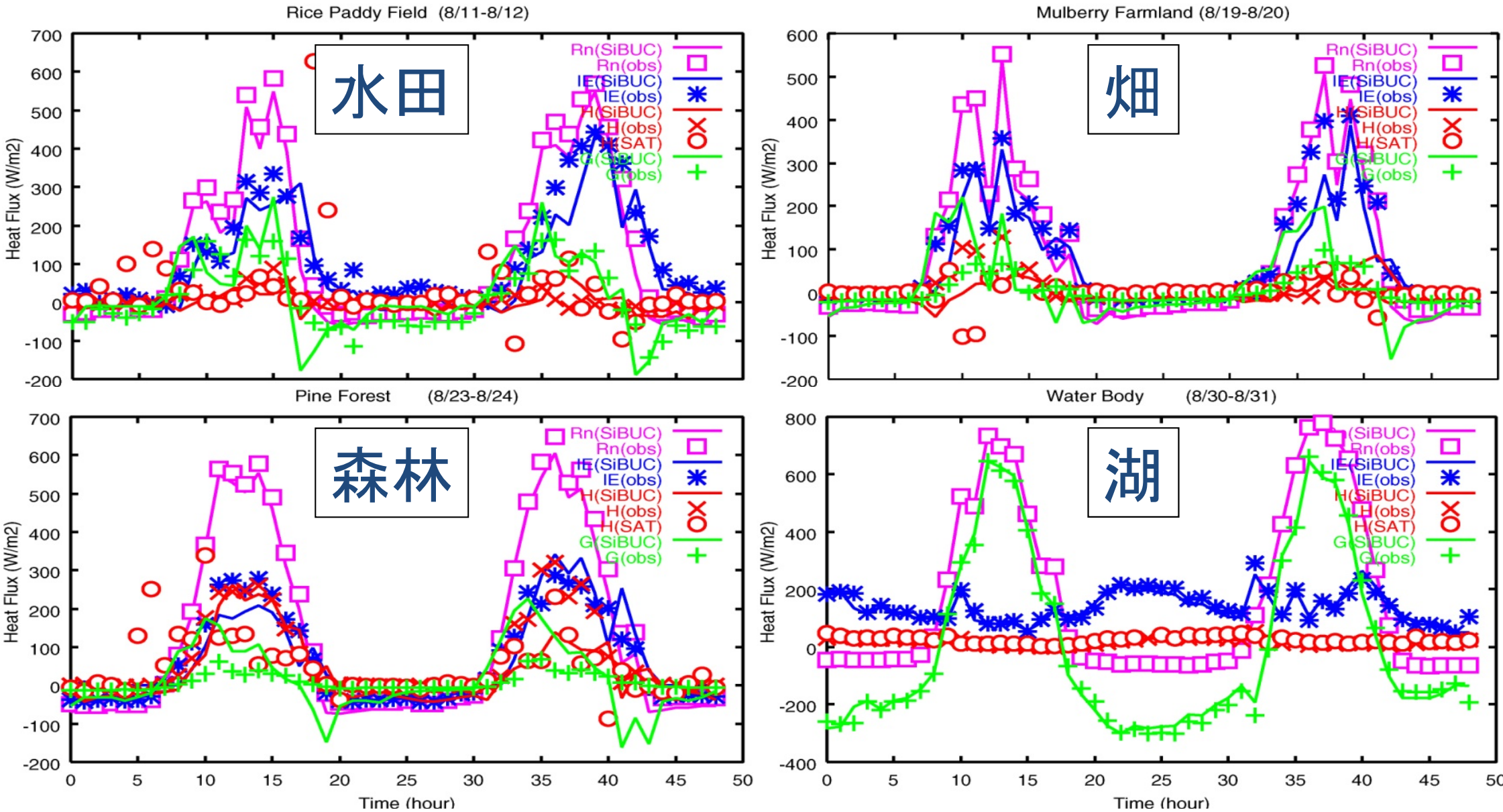


中国淮河流域での現地観測(1997年)



各土地利用での熱収支

太陽から受け取ったエネルギーの使い方が違う



自然の水循環＋人間活動(水利用、水管理)

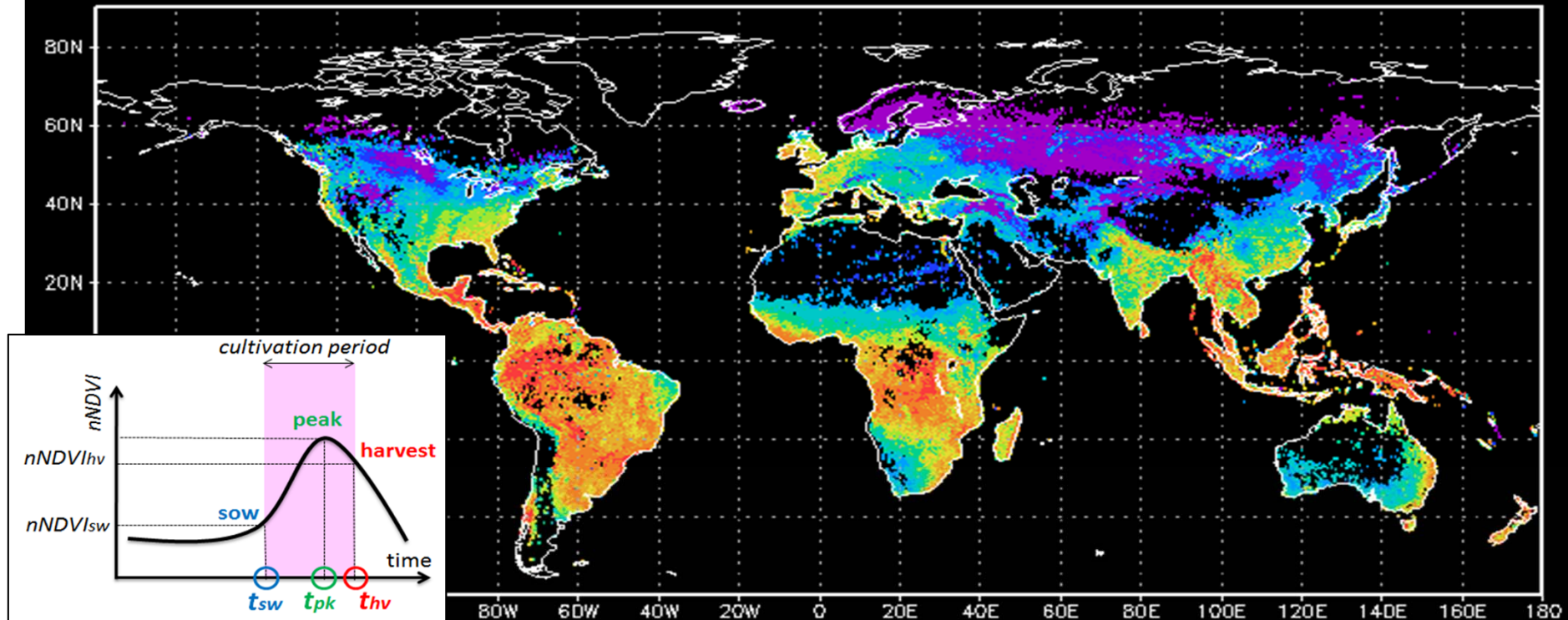


農作物はいつどこで作られているのか？

北半球と南半球で季節が違う、日本の中でも時期が違う
同じ県内でも標高(気温)で変わる

人工衛星で観測された植物の活性度

NDVI-Crop (bised, doy=1) SPOT VEGETATION (04-06)



植物の活性度が上がる時期をとらえて、耕作時期を推定



入力気象データ

(雨、気温、風、日射等)

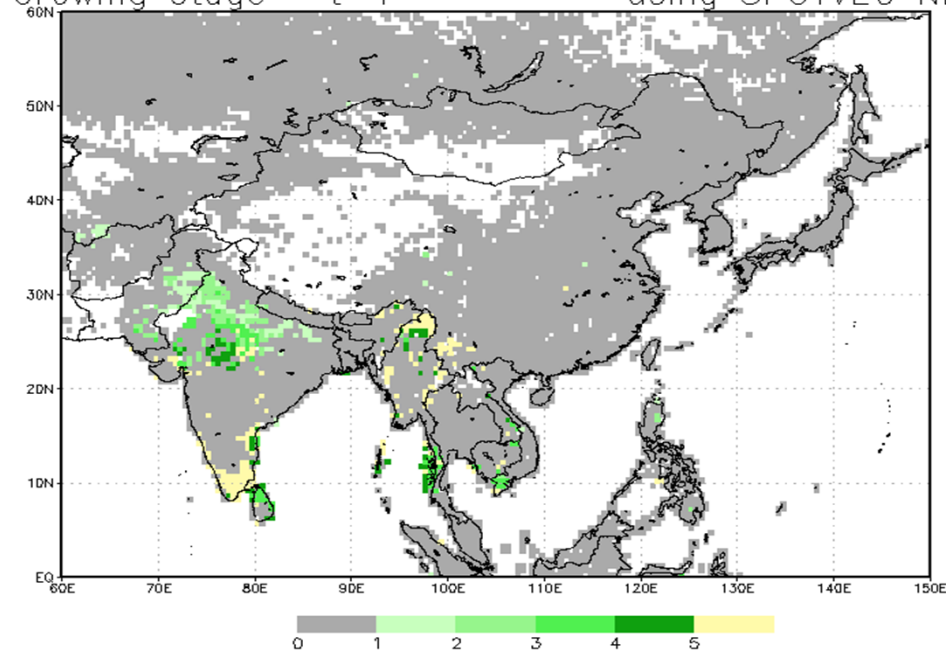
地表面パラメータ

(植物、土壌、地形等)

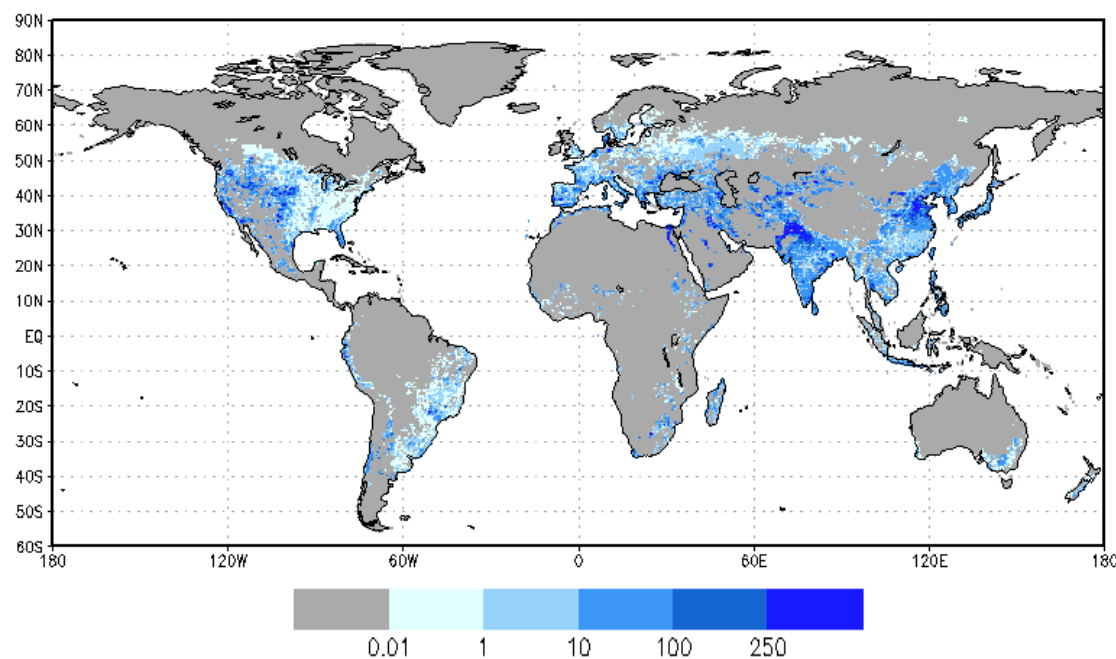
を準備すれば、世界中
で水循環解析が可能

作物の生育段階

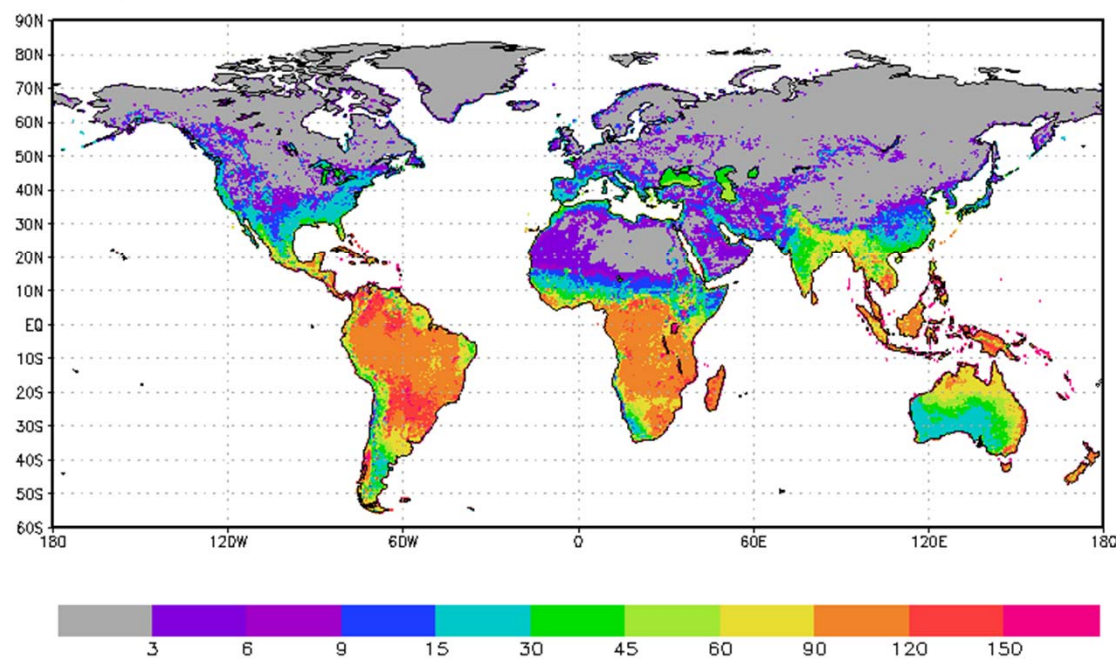
Growing stage t=1 using SPOTVEG NDVI



灌漑必要水量(年総量)

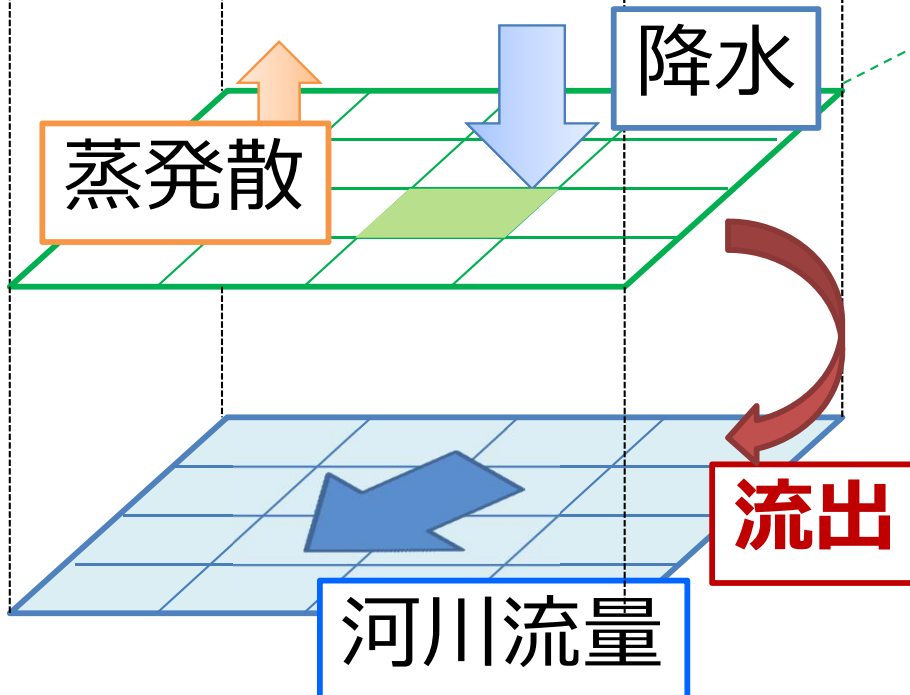
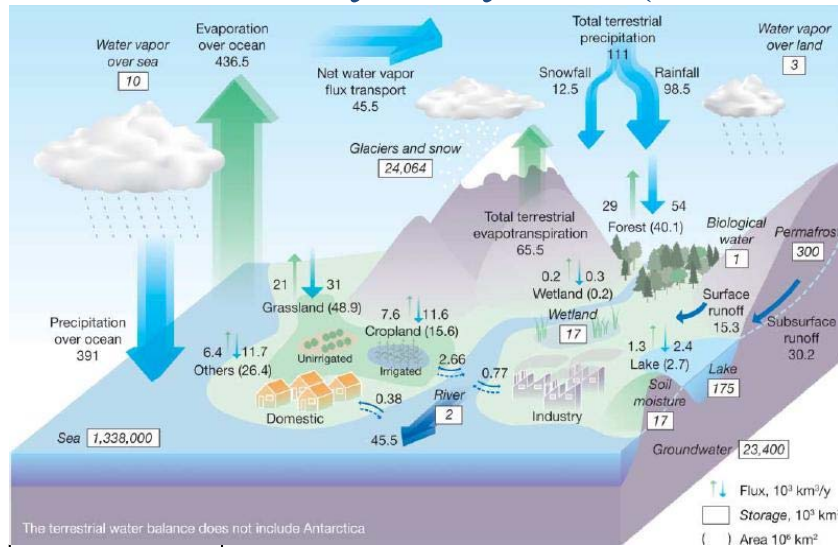


Evap 蒸発散量(月積算値) GCM20km

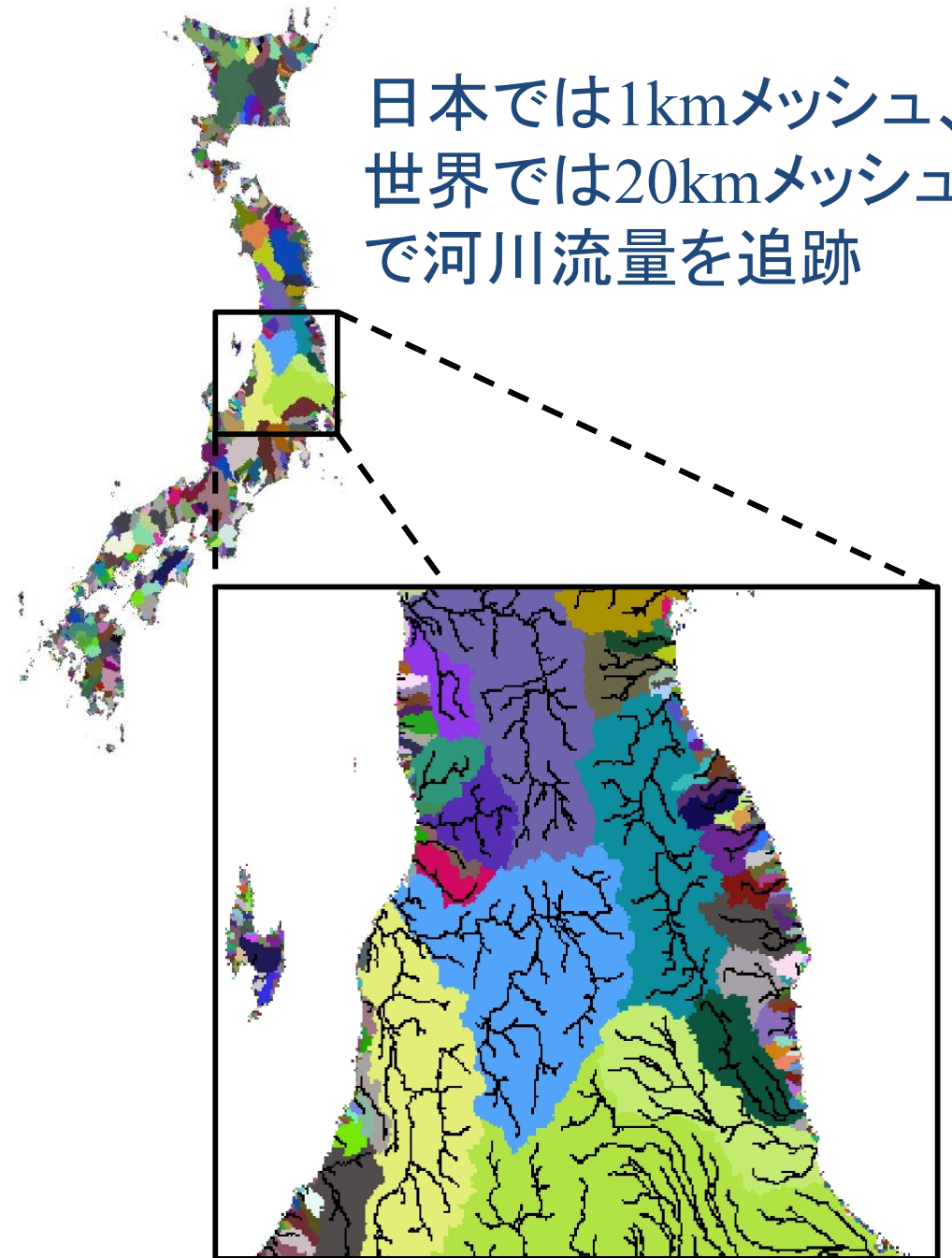


陸面過程と河道流下

Water cycle system (Oki, 2006)



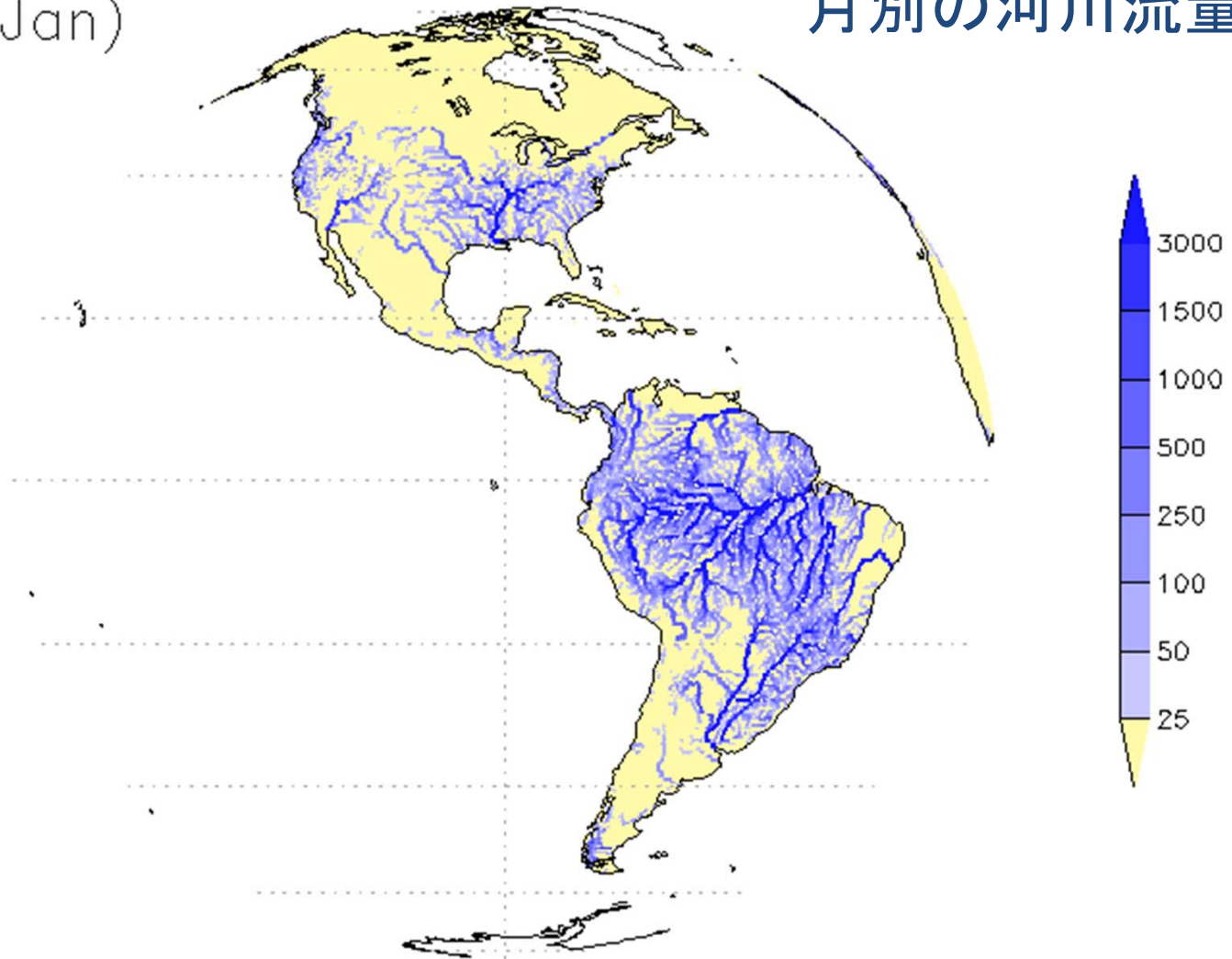
日本では1kmメッシュ、
世界では20kmメッシュ
で河川流量を追跡



世界の水資源はどうなるの？

(Jan)

月別の河川流量 (m^3/s)



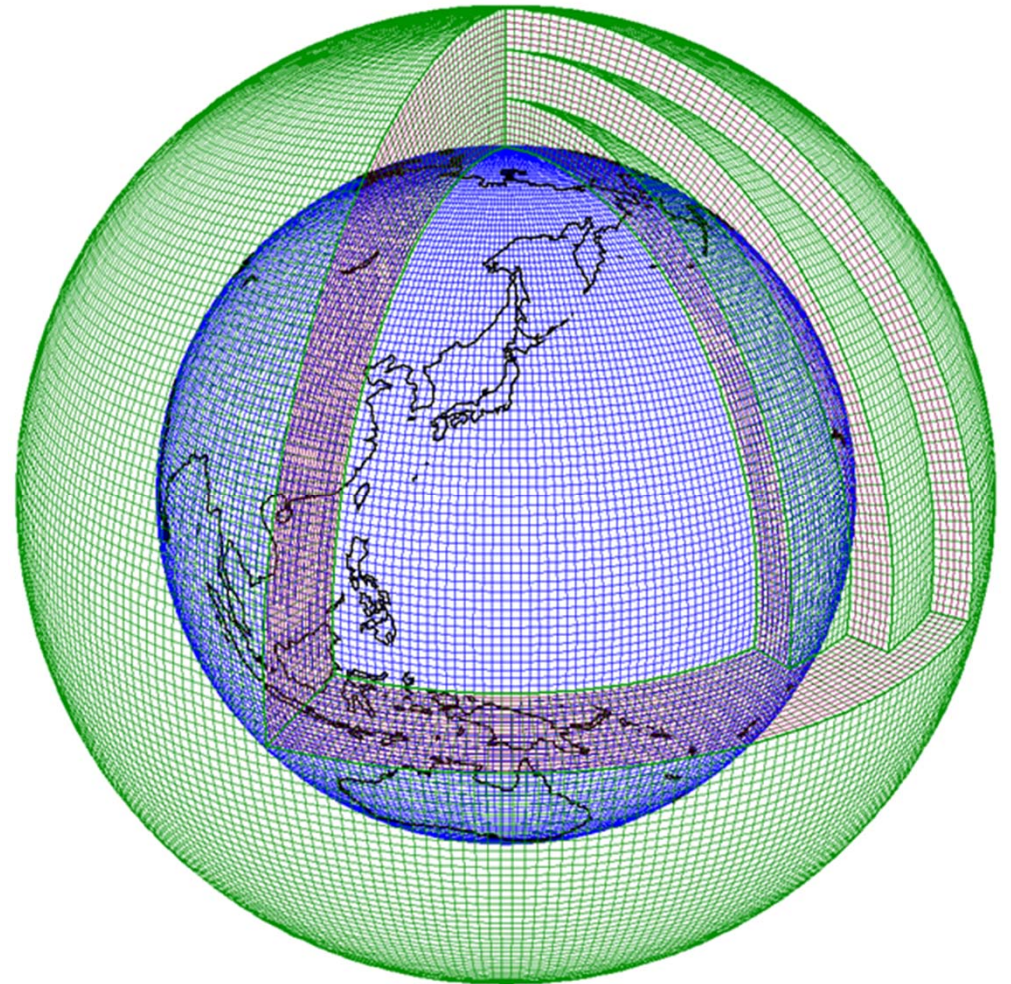
全球気候モデル

(Global Climate Model, GCM)

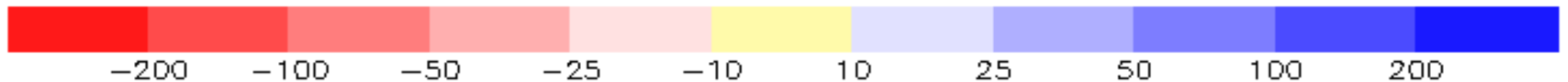
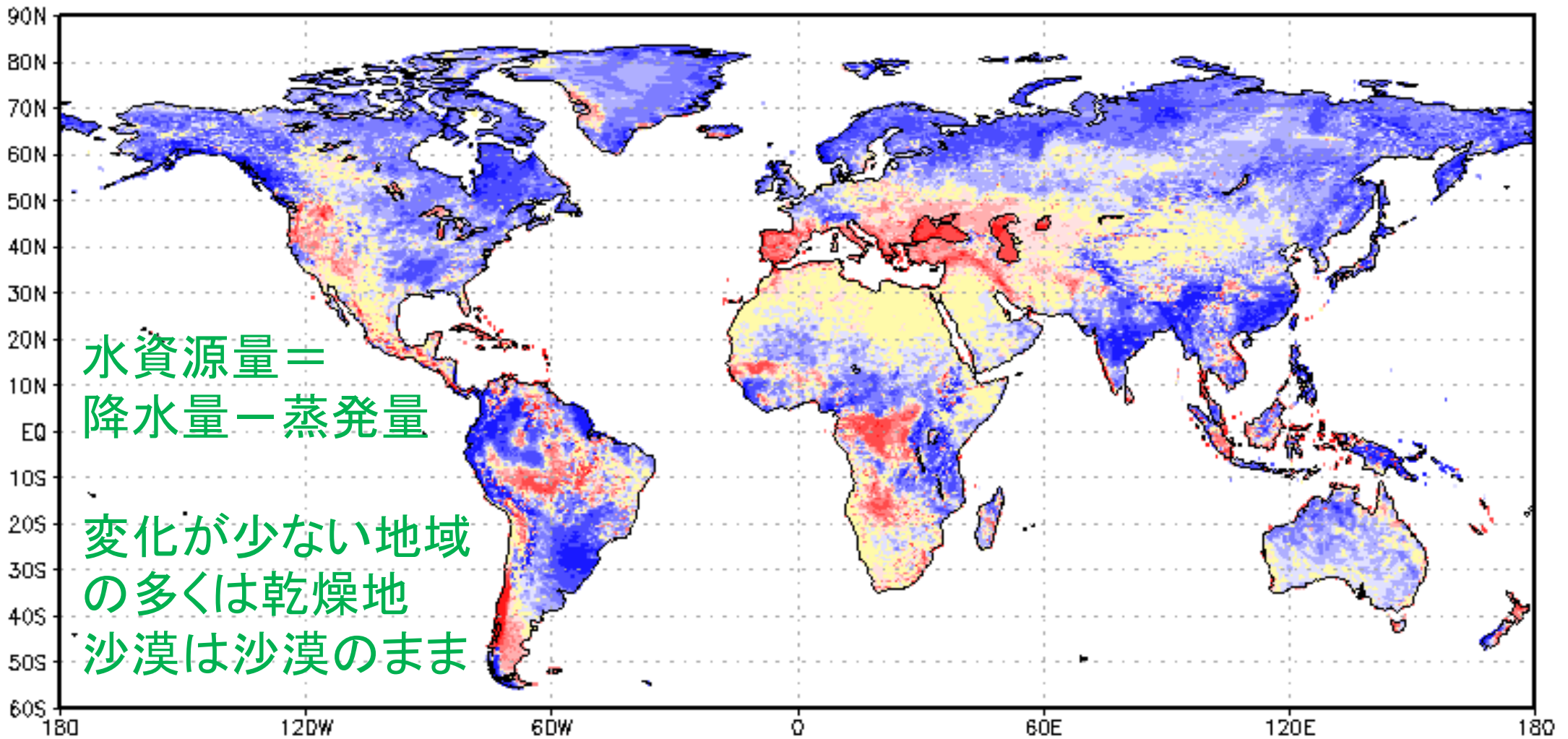
将来の気候は過去や現在
に比べてどうなる？

大気・海洋・陸地・雪氷などの
変化を考慮して、流体力学・
力学・化学・物理学・生物学
などの方程式を用いて地球の
気候を再現し、気候の変化を
表現するモデル。

コンピュータの中で
地球を表現する



水資源量の将来変化(将来ー現在)



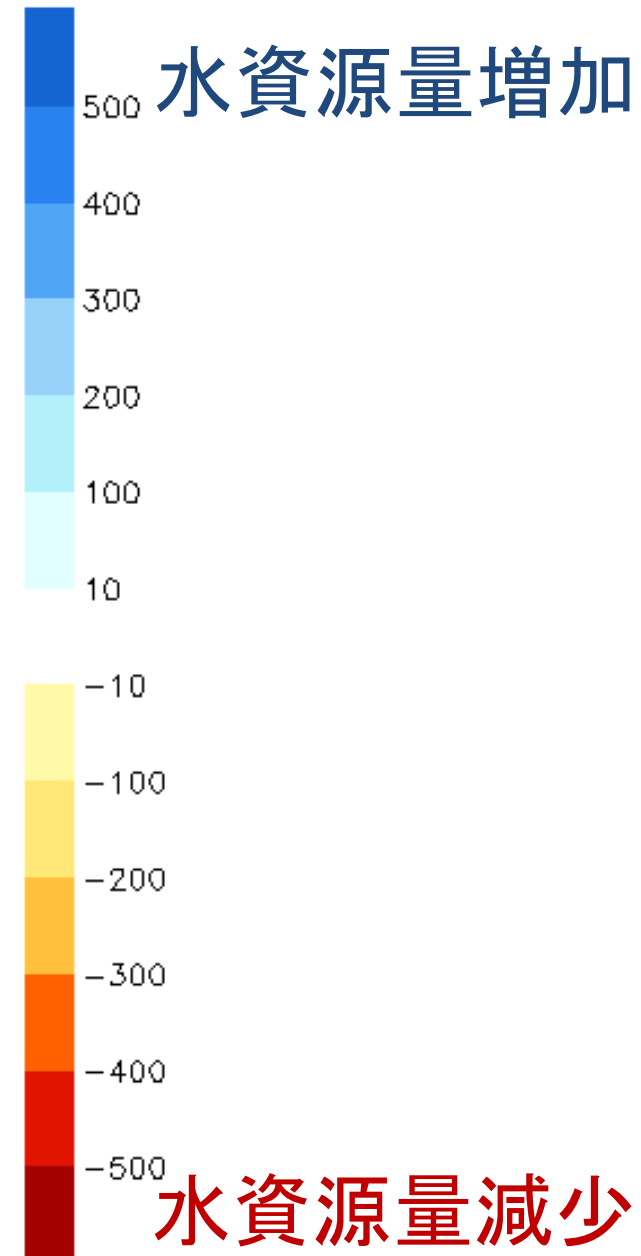
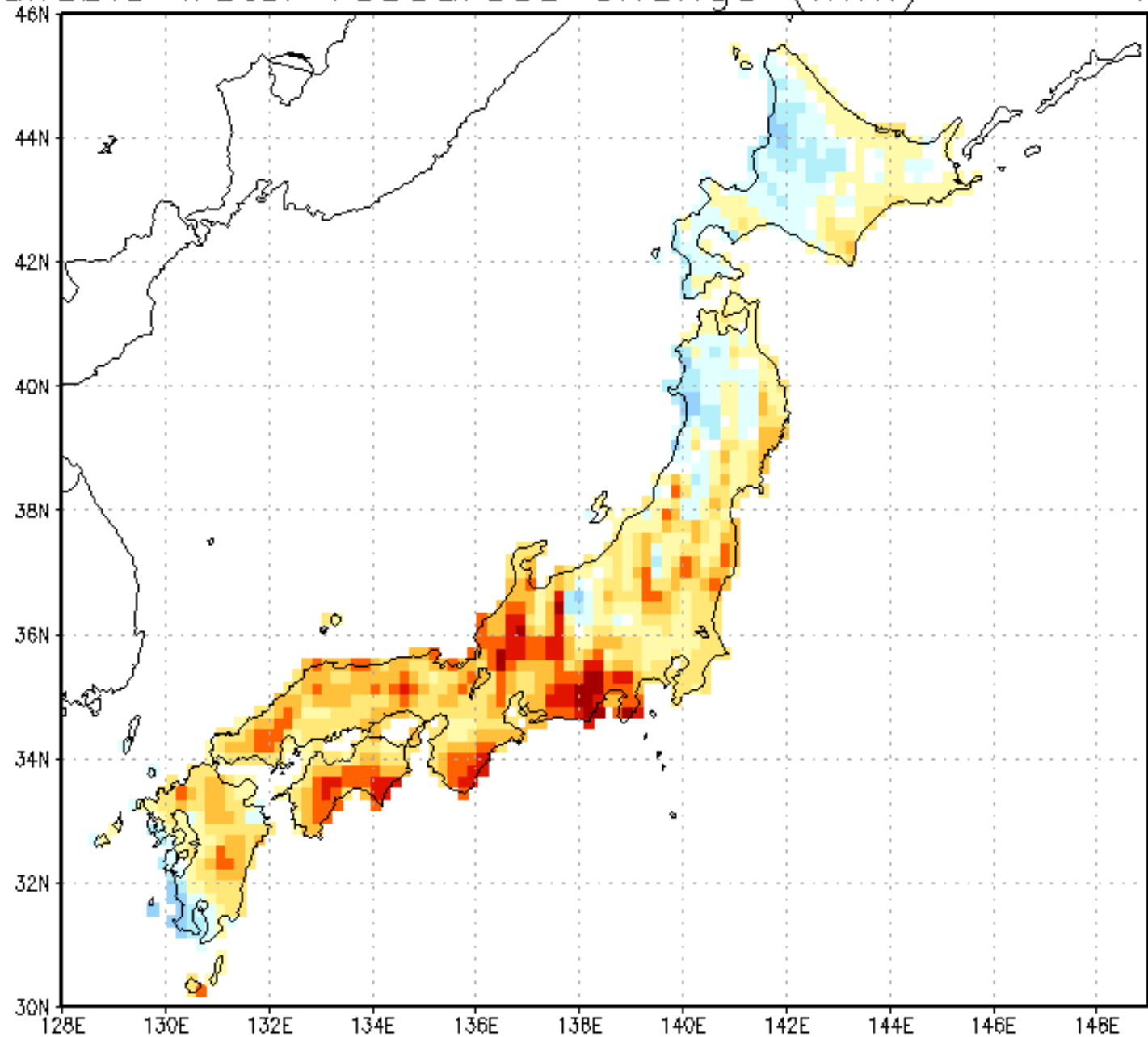
水資源量減少

水資源量増加

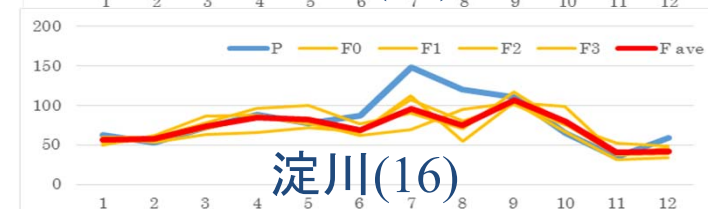
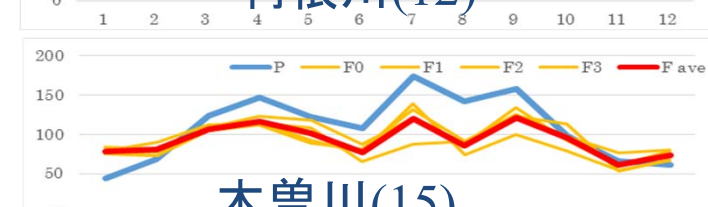
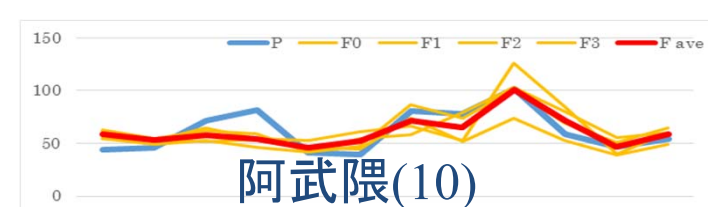
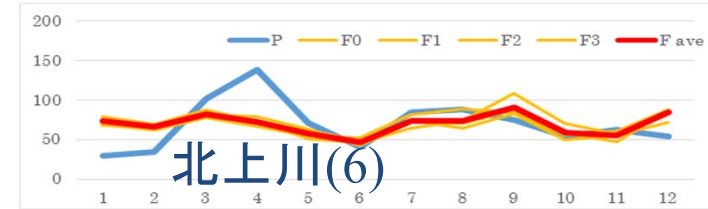
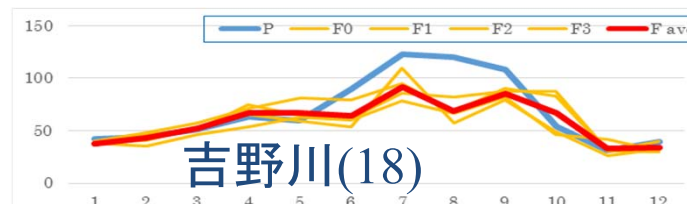
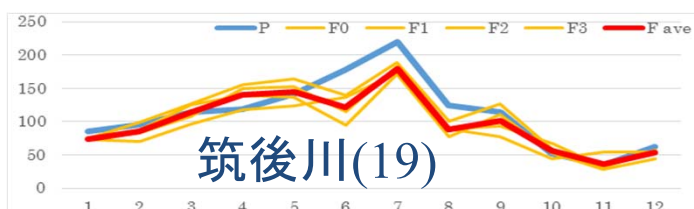
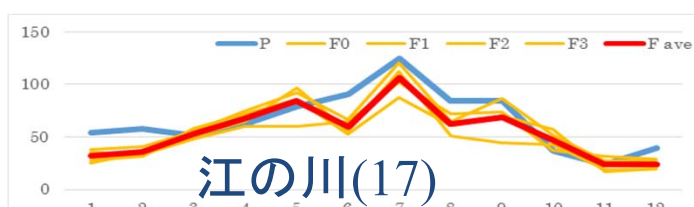
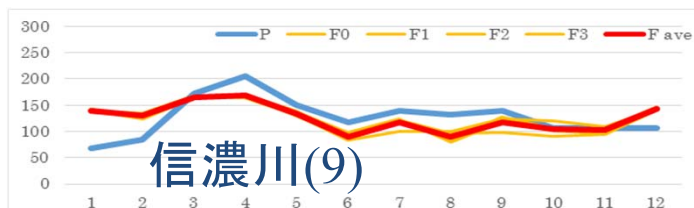
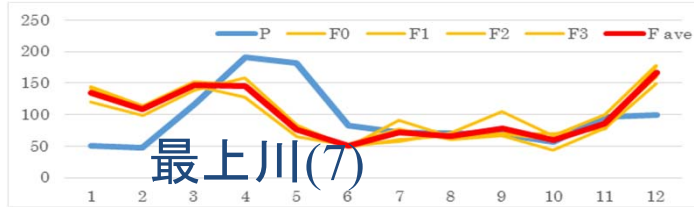
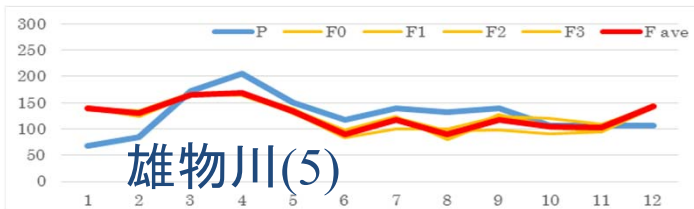
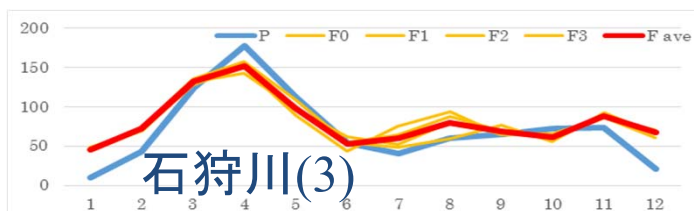
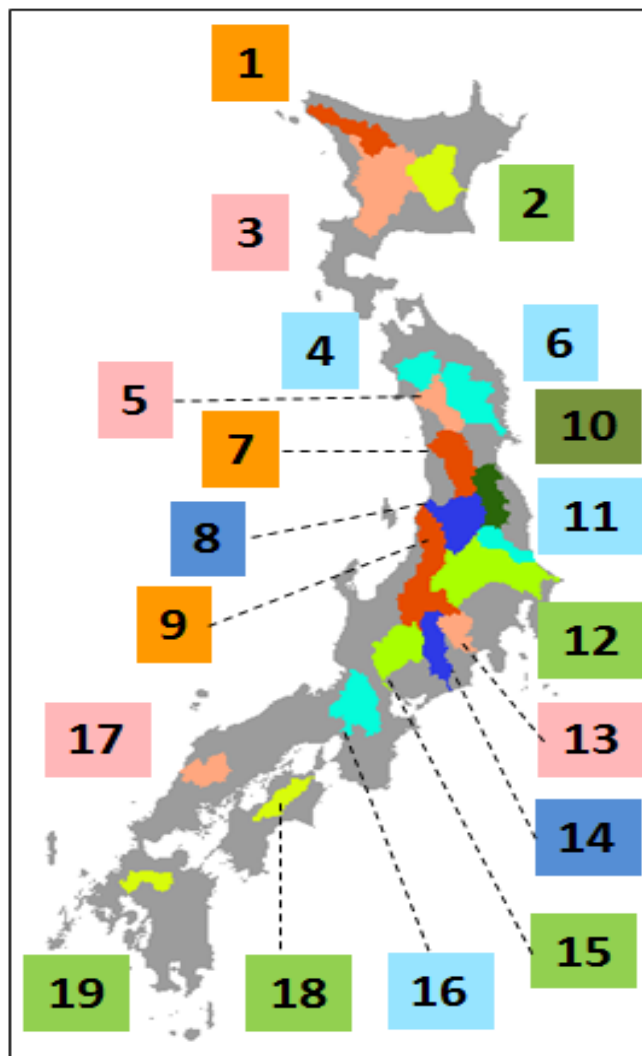
水資源量の将来変化(将来ー現在)

available water resources change (mm)

F0-P



日本の主要河川の流量の将来変化



ここまでの結果は長期平均値（気候値）
の将来変化（現在と将来の差）です。

厳しい渇水状況はどうなるでしょうか？

福岡市の水源

福岡市が取水している
8つのダムの有効貯水
容量の合計は約4,982
万トン

昭和53-54年福岡市渇水
時間指定断水287日間
給水制限延べ4054時間
年降水量1138mm

平成6年渇水
時間指定断水295日間
給水制限延べ2452時間
年降水量891mm

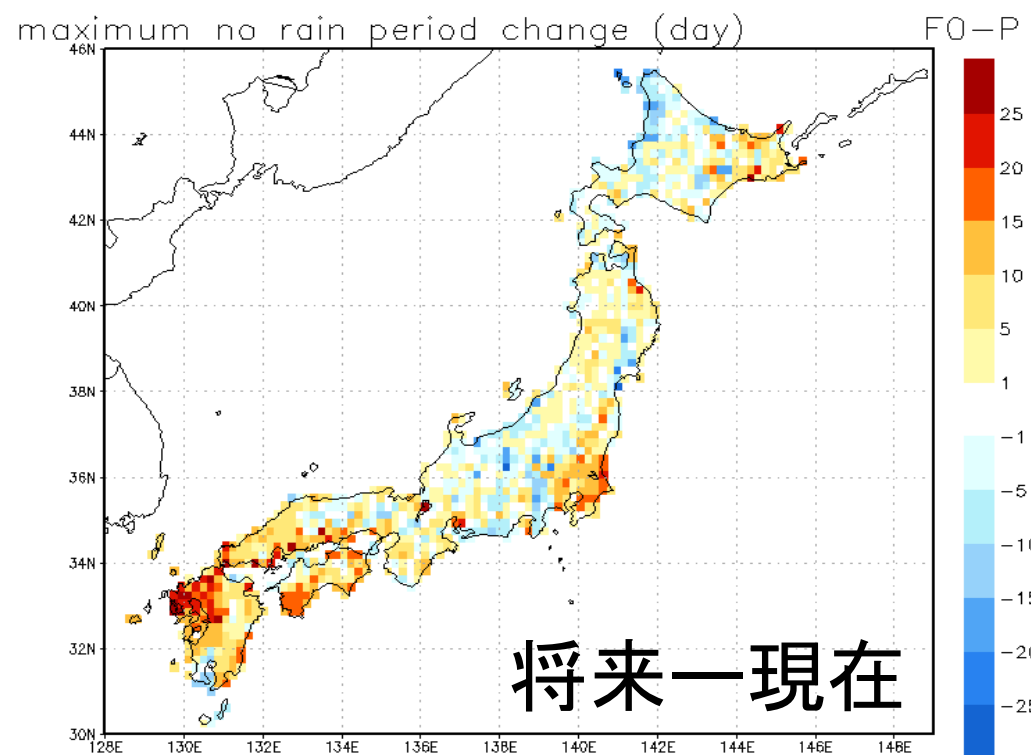
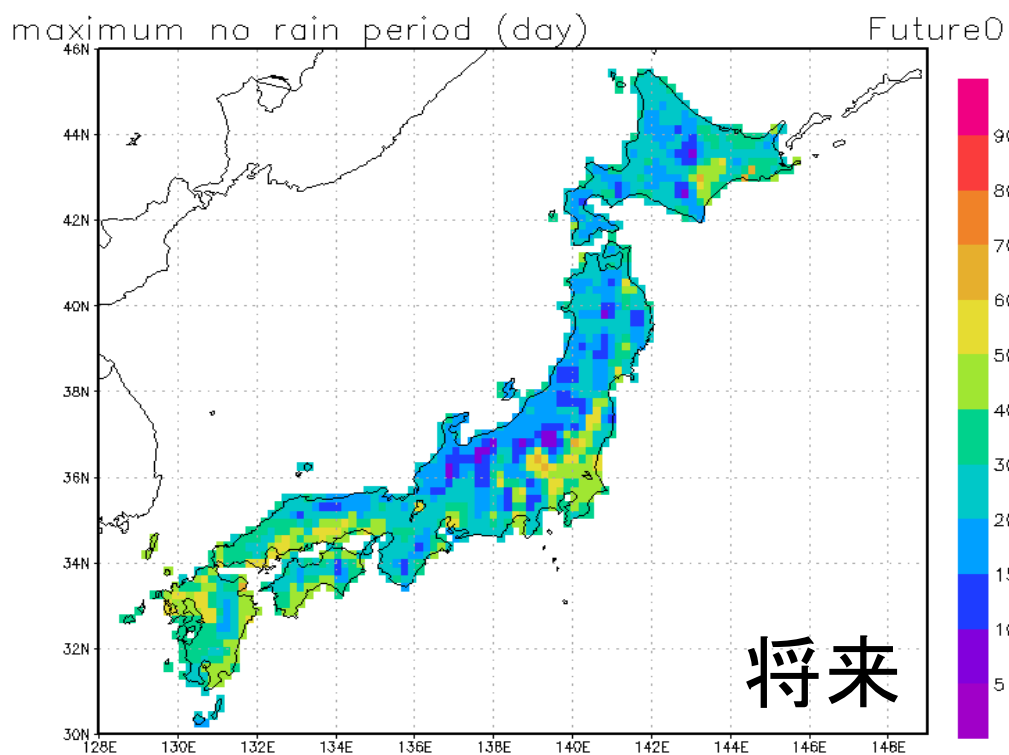
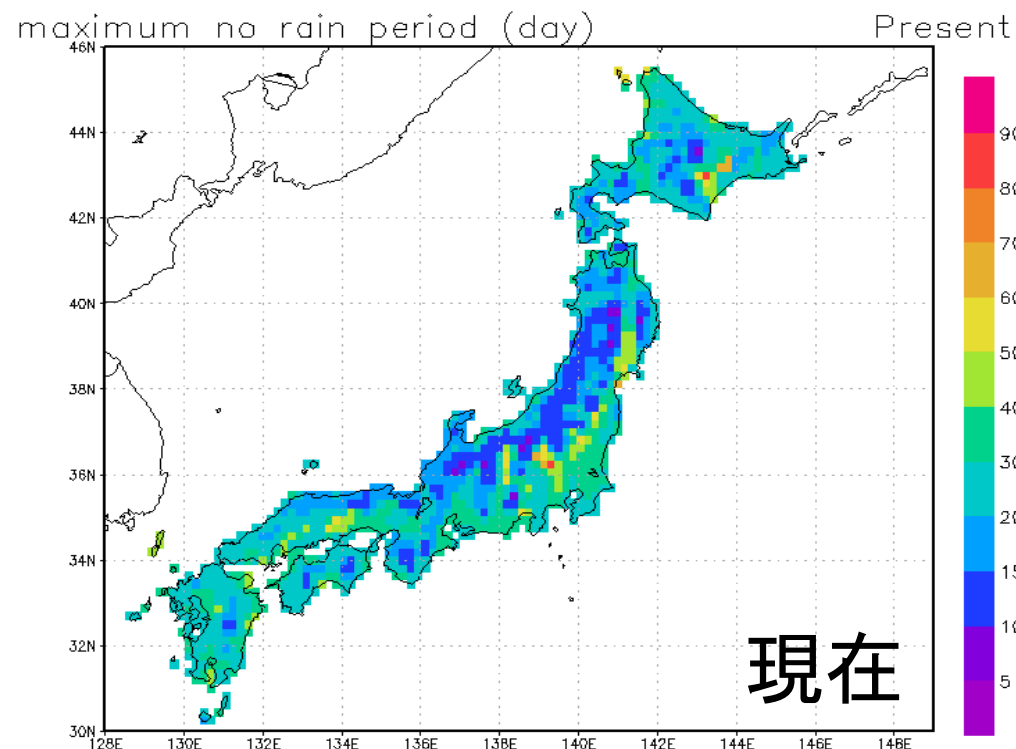
平成17年
給水制限なし
年降水量1020mm



水源の多系統化で福岡市は渇水に強くなった 福岡市水道局HPより

25年最大 連続無降水期間

無降水日：
日降水量1mm未満



連続無降雨日数でもある程度渇水の状態を表現できるが、
温暖化した将来気候において、蒸発散量が増えるため、
降水量だけを指標にすると渇水の状態を見誤る可能性がある。

新しい水資源状況評価指標（検討中の内容）

有効水資源量

$$EWR = Q_s + Q_{sb} - \text{Evap}$$

Q_s : 表面流出、 Q_{sb} : 基底流出、 Evap : 蒸発散量

連続有効水資源量不足期間

$$Q_s + Q_{sb} < \text{Evap}$$



流域平均でこうなると、
ダムからの補給が必要

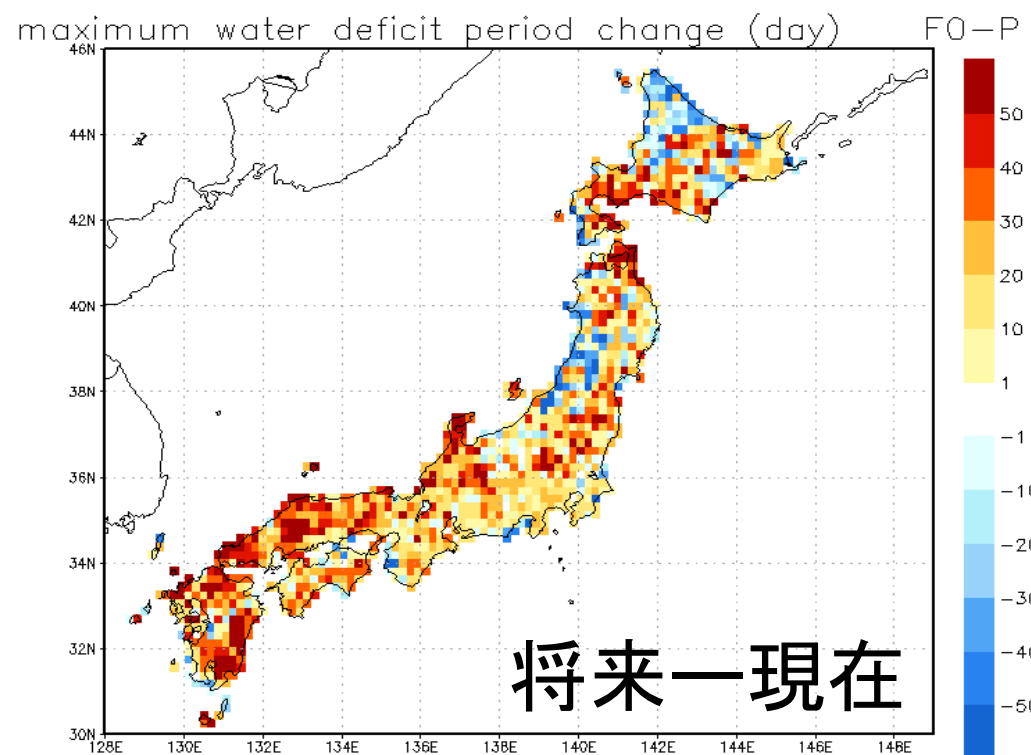
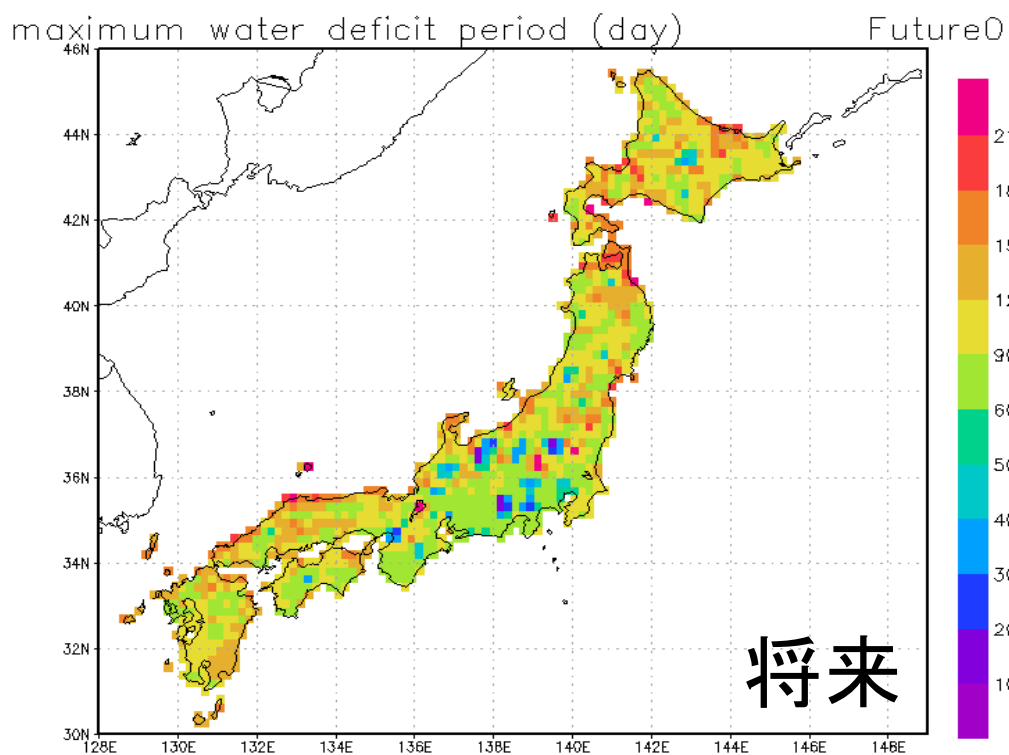
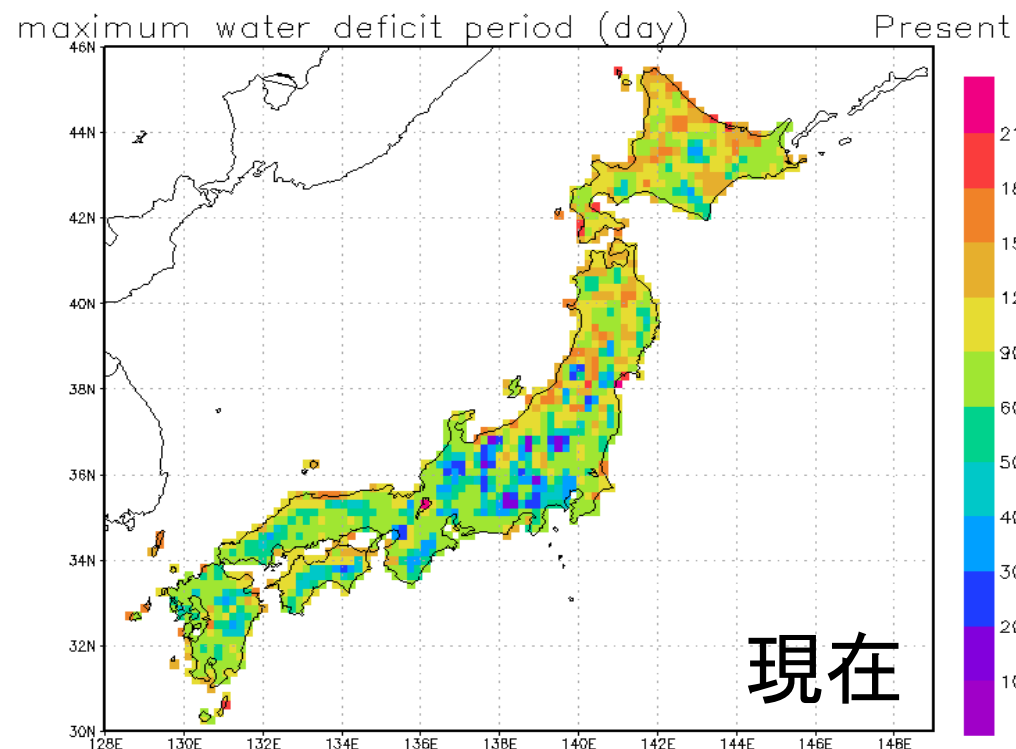
有効水資源量積算値

$$\sum(Q_s + Q_{sb} - \text{Evap})$$

(注) $Q_s + Q_{sb}$: 上中流域、 Evap : 下流域
で流域平均を取ることで、より
現実的な評価になる

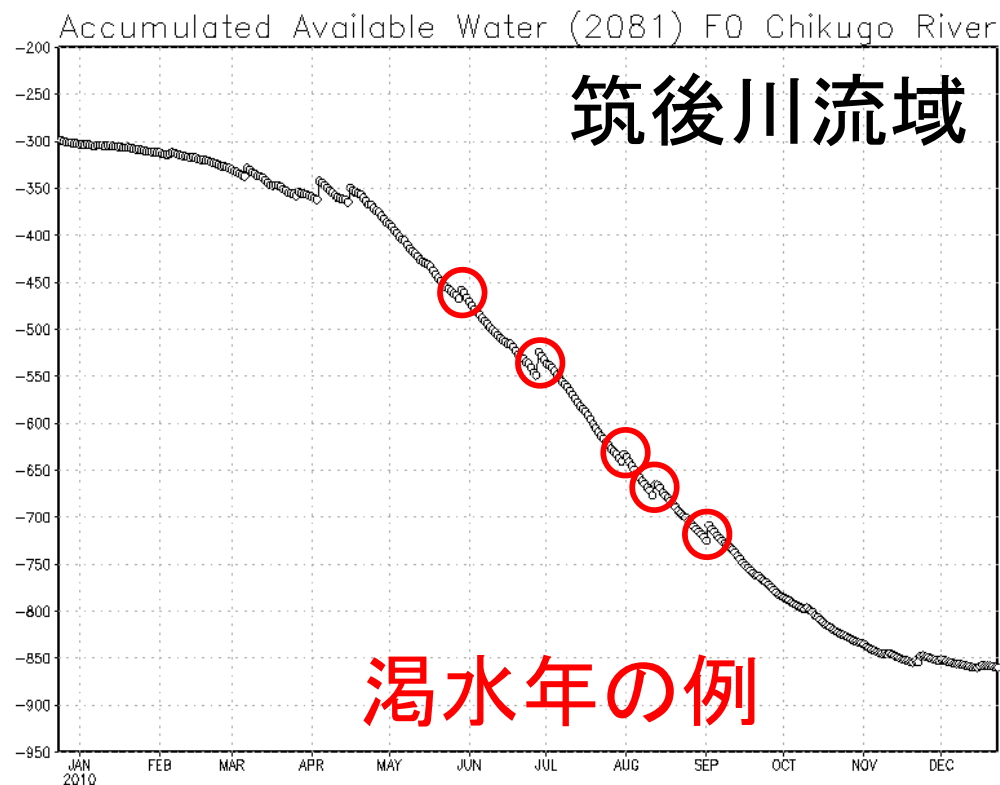
25年最大 連続有効水資源量不足期間

有効水資源量不足日：
流出量 < 蒸発散量

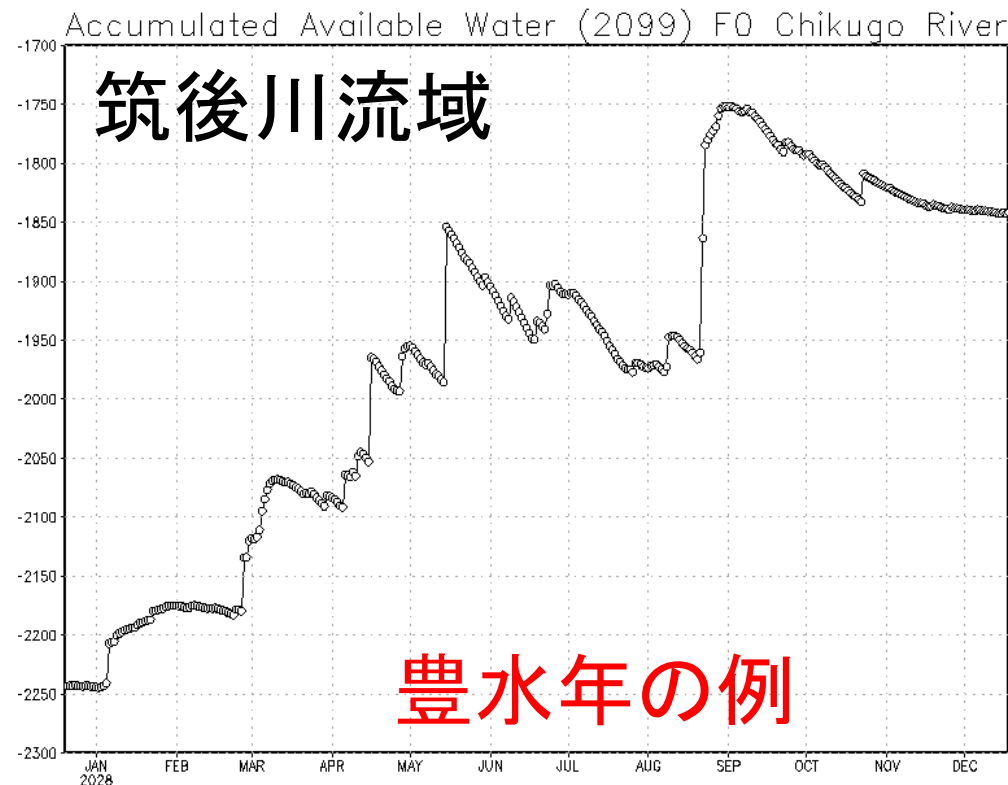


有効水資源量積算値

$$\Sigma(Q_s + Q_{sb} - Evap)$$



まとまった雨がほとんど降らず
1年の大半で流出量<蒸発散量
となっている。
有効水資源量不足日では少量の
雨でリセットされるが、積算値で
見ると深刻な渇水状況を表現可能。



まとまった雨が何度もあり、積算
値として蒸発散量よりも流出量が
上回る。このように余裕のある年
に貯水して渇水年に対応できるよ
うにすべき

まとめ

- **水循環解析**

水はどこにどれだけ存在するのか？

水はどこにいつどれだけ流れるのか？

入力気象データ（雨、気温、風、日射等）と地表面パラメータ（植物、土壌、地形等）を準備すれば、世界中で水循環解析が可能

- **世界の水資源の将来予測**

地球温暖化で降水量が増加する地域が多いが、蒸発量も増加する（土壌が乾燥しやすくなる）。

乾燥地では利用可能水資源量（降水量と蒸発量の差）の変化が少ない。

現在水資源があまり豊かではない地域（米国西部や地中海沿岸域）で利用可能水資源量が減少することは世界の食糧危機につながる。

- **日本の水資源の将来予測**

現在雪が多い地域で河川流況が大きく変わることで、それにより田植え時期に水が不足することが予測されています。

日本の多くの地域で現在よりも厳しい渇水状況が予測されています。

豊水年の水を渇水年に備えて貯留する施設の整備が必要。