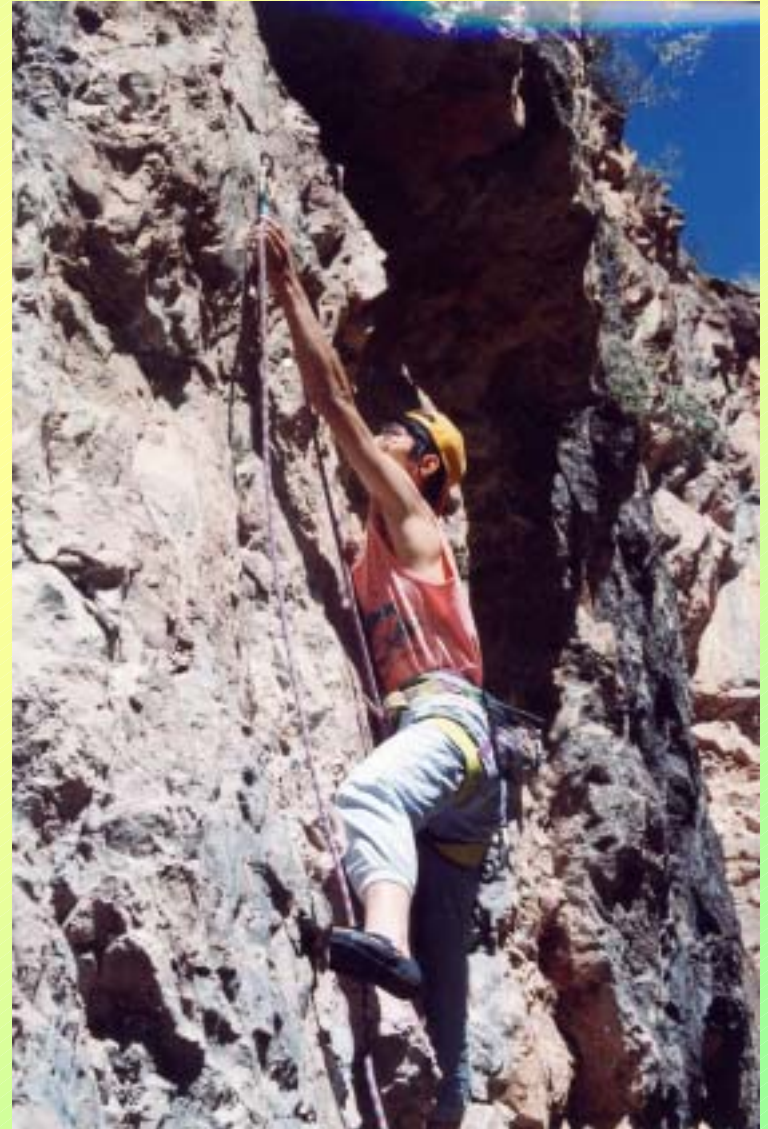


# グローバル水文学 - その現状と将来 -

新領域創成科学研究科  
環境学専攻  
自然環境学講座  
自然環境学形成学分野  
安形康

自己紹介に代えて



# 経歴 1

- 1968年生まれ
- 1991年東大理学部地理学教室卒
  - 卒論「御嶽崩れは王滝川の流をどう変えたか」
- 1993年東大・理・地理学専攻修了
  - 修論「日本島山地河川における年流出特性およびその地域性を規定する要因の総合的検討」
- 2000年博士
  - 博士論文  
「成層火山体の地形発達と湧水湧出プロセスの変化過程」
  - 地形学と水文学の長期的視点(数万年オーダー)における融合

# 経歴1'

- **博士課程時代:**
  - 学術振興会特別研究員
  - 2ヶ月に1度宗谷丘陵へ:流量観測
- **博士課程4年以降:**
  - 週に4.5日は民間企業でSEとして働いていた
  - コンピュータ屋としての腕を磨く

# 経歴2：東大生産技術研究所(生研)

## ポスドク時代

- 2000,2001年度：日本学術振興会  
「未来開拓」プロジェクト研究員
- 2002年度：科学技術振興事業団  
「CREST」プロジェクト研究員
- 任務：
  - 東大生産技術研究所(生研)で勤務
    - 世界水資源水循環モデルの統合と世界水資源データアーカイブの作成・公開
    - GAME-Tデータセット, CD-ROM編集 / 作成
    - CCSR/NIES AGCMの移植・デバグ・検証実験
    - 陸面水文モデル国際プロジェクトGSWP2/ALMAの技術顧問
    - 東南アジア熱帯水田に適用できる陸面水文モデルの開発とその実証実験
    - 東南アジア熱帯における地表面熱水フラックス観測とそのリアルタイムデータ転送装置作成



# グローバル水文学



# グローバル水文学とは

- Global<globe : 「全球」
- 二つの意味でのグローバル
  - 地理的な意味
  - 扱う対象の広さの意味

# 地理的にグローバルな水文学

- 全球の水循環を対象にする
  - 物質の出入りが(事実上)ない  
水文学他分野とくらべて異色
  - 水収支というよりは水の配置・相変化の時空間変動が対象
  - 境界条件は太陽放射のみ
    - ただし現状ではSST(海面水温)や陸面状態なども境界条件として与えることが多い



# 扱う対象がグローバルな水文学

- 全球の水循環を対象にする
  - 大気物理と海洋物理  
(気象学分野ではすでに「学融合」されている)
  - 現時点でのホットなテーマは  
大気(とくに境界層)と陸面, 陸面と海洋の  
「学融合」
    - 陸面過程の難しさ: リモセン困難, 複雑なプロセス,  
人為の影響  
植物生理・土壌物理・流出解析・水資源論・  
人口問題・食糧生産etc.etc 多数分野の  
専門家の協力が必要



# グローバル水文学屋の 自負と悩みと

- 個人でのデータ取得はまず不可能
  - データの信頼性の検証も困難
- 他人の作った不完全なデータに頼るしかない
  - 高度なデータ処理技術が必要なのにしばしば「砂上の楼閣」と揶揄される
- しかし社会的要請は強い
  - 所謂地球温暖化はグローバルな現象
  - 不十分なデータからそれでも何かを見出さねばならない立場 環境問題論ではよくある

# 水はどこにどれくらいあるか

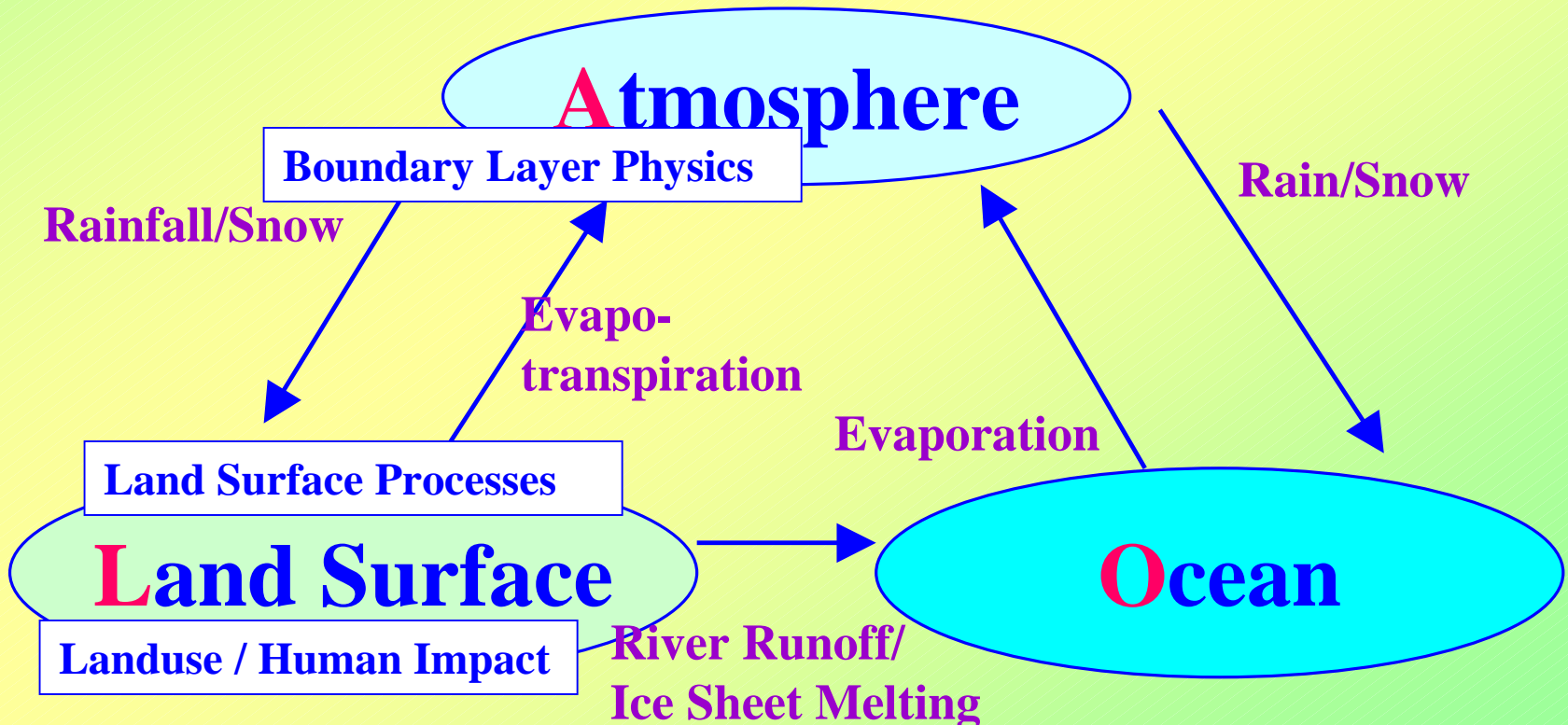
- **全球の水：約14億km<sup>3</sup>**  
**全球にならずと約2600mの厚さになる**  
**独特の単位「km<sup>3</sup>」 1 km<sup>3</sup> = 10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>.**  
**(日本最大の貯水池の容量 = 0.6km<sup>3</sup>)**
- **98%は海水**
- **淡水のほとんどは氷河・氷床**
- **人間が使用可能な水：河川 海洋への  
流出水は「わずか」約40000km<sup>3</sup>/year**

# 水の大循環

- **海洋 大気:水面蒸発**
  - SST支配:リモセンにむく
- **大気 陸面:雨・蒸発散**
  - 接地境界層 ~ 陸面相互作用
  - 地表面温度は以前からリモセン
  - 雨についてもリモセン技術が進む
- **陸面:複雑なプロセス**
  - 植生・土壌・接地境界層
  - リモセンは挑戦的なテーマ
  - 地上観測網の充実が急務

# 水の大循環を把握する

- 海洋 大気 陸面 河川 海洋 ...のサイクル
  - 個別研究盛ん、「学融合」の必要性
  - 大気～海洋系は融合が進んでいる。両方知っていて当たり前
    - 成果:エルニーニョやダイポールの「発見」
  - 大気～陸面相互作用:新しいテーマ
  - 人為作用～大気系:これからのテーマ





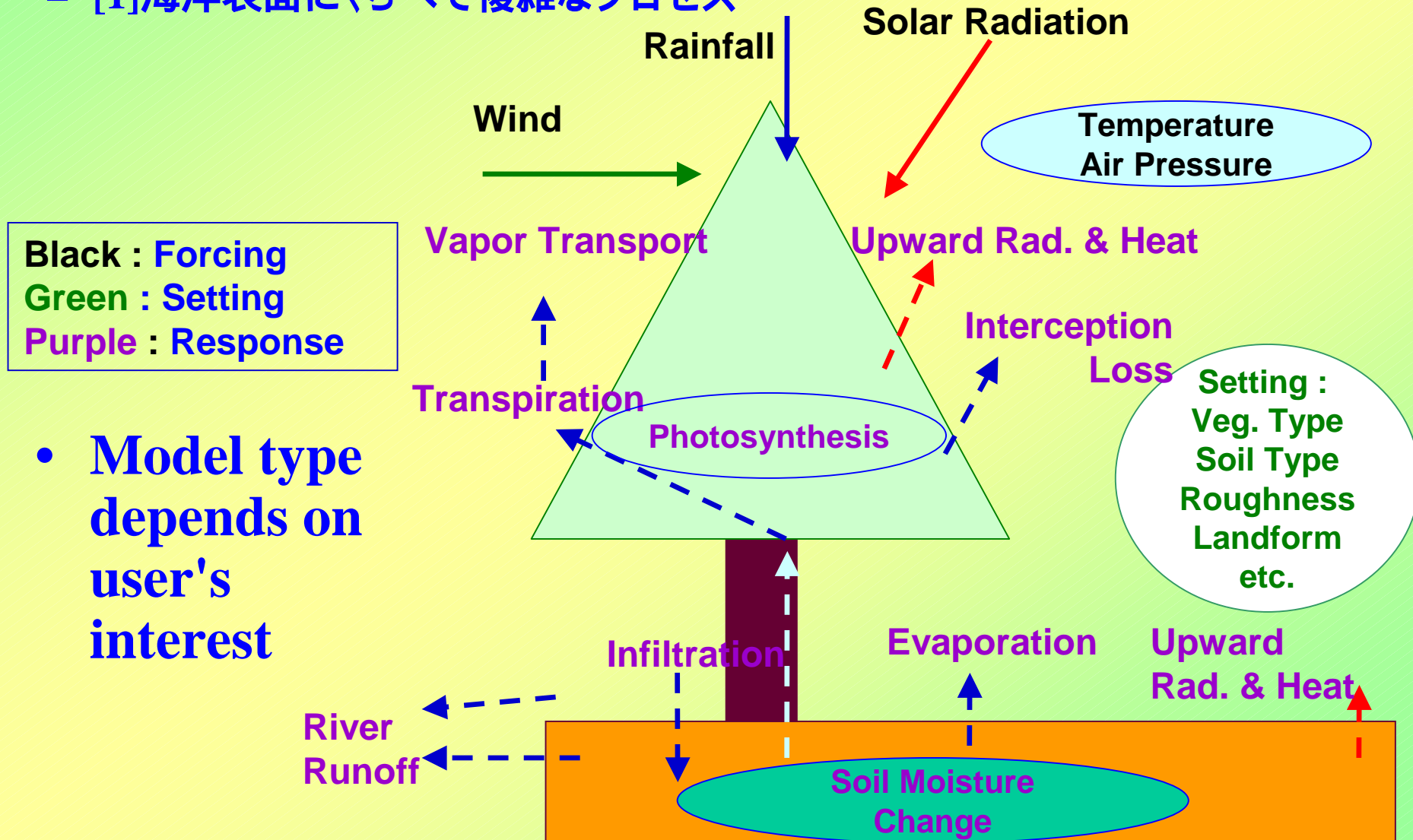
# 気象シミュレーションとその各要素

- 数値シミュレーション: グローバル水文学の重要な武器
- 「**GCM**」: General Circulation Model
  - 全球にわたる流体力学計算
- GCMのコンポーネント
  - 大気: AGCM
  - 海洋: OGCM 大気～海洋結合系: AOGCM
    - ここまではおおよそできている
  - 陸面まで結合すると? 名前はまだない
    - 大気陸面相互作用は, 最近になって研究が盛んになった

# 陸面水文過程の難しさ

- なぜ大気陸面相互作用の解明が遅れたか

- [1] 海洋表面にくらべて複雑なプロセス



# 陸面水文過程モデル

- GCM組み込み用モデルと独立系モデルがある
  - 初期のシンプルなモデル
    - Manabe(1969) : "Bucket" Model
      - 必要最小限のパラメタ
  - 1980年代後半から, 植生・土壌をきちんとモデリングする機運
    - 気象学と植生生理・群落生態の専門家の「学融合」
  - 現在よく使われるモデル
    - SiB2(NASA)
    - BATS(アリゾナ大)
    - VIC(D. Lettenmayer)
    - SECHIBA(Meteo France)
    - MATSIRO(MRI/NIES/地球フロンティア)
- 等

# 陸面水文過程モデル: LSM

- 「オンライン」実験

- GCMとLSMを相互通信させながら同時に動かす
- 大気陸面相互作用を再現できる, はず
- 計算量膨大, 各モデルの不確実性が集積

結果の解釈が困難

- 「オフライン」実験

- GCMを使わず, 固定された気象条件をLSMに与える
- 陸面 大気への作用は無視
- LSM改良や陸面環境の理解のために行われる, 現時点での妥協点



# LSMを動かすのに必要なデータ

- 地表面状態データ  
と  
大気からの入力データ(「フォーシング」)  
  
の二つが必要
- **フォーシング**の内容:  
気温・比湿・風速・気圧・短波放射・長波放射・降水量
- **地表面状態**データの内容:  
土地被覆・植生タイプ・土壌の水文物理特性・LAI・葉の光合成  
パラメタ・粗度・気温に対する植生活動のレスポンスなど  
数十種類
- 雨はともかくとして他はグローバルデータセットは僅少
  - 各種モデルはローカルな地点でそれぞれディープな検証をうけてきた

# LSMの罖

- ある土地条件にチューニングされたLSMは他の土地条件では精度が悪いことが多い
  - 例: アマゾンで鍛えられたモデルが雪が降ってくると破綻
- 「洋物」のLSMがアジアの土地利用を正しく反映しない例
  - 土地利用区分に「水田」がなく、地表面の広大な水体をシミュレートできない

# 水田LSM

- 東大生研(現韓国延世大)金元植氏
  - 京大防災研田中賢治氏
- がそれぞれ作っている
- SiB2やSiBをベースとし, 地表面に水体を加えて熱水収支を計算する.
  - 金氏はタイ, 田中氏は中国で検証
    - (Kim, Agata et al.2001)

# LSMのOutput

- 河川流出
  - 当該グリッドセルから河道に「入る」水の量
  - その水を河道を通して「流す」(Routing)ことは  
LSMの守備範囲外      Routing Modelを別に使う
- 土壌水分量
- 樹冠にたまる水の量
- 上向き長波放射, 潜熱
  - オンライン実験の場合はGCMに返される



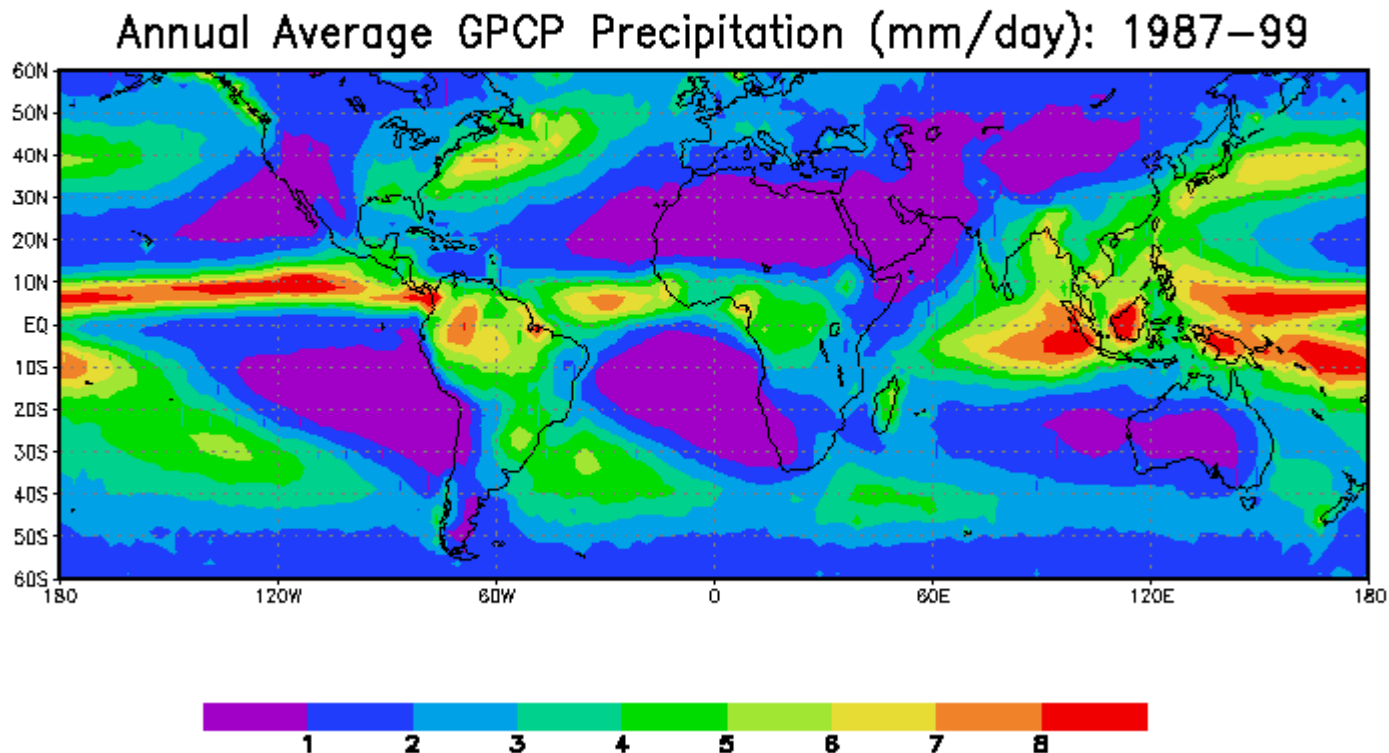
# 世界の雨

- いくつかある「グリッド」(gridded)データ
  - 実測によるもの
    - 例: GPCC: 月, 1度グリッド  
([http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN\\_DOCS/FTP\\_SITE/INT\\_DIS/readmes/gpcc.html](http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/FTP_SITE/INT_DIS/readmes/gpcc.html))
  - 実測 + 衛星によるもの
    - 例: GPCP & GPCP2: 月 / 新しいものは日, 1度グリッド  
(<http://precip.gsfc.nasa.gov/>  
<http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/arad/gpcp/>)
  - 「再解析」によるもの
    - 数値計算で再現する過去の「デジタル天気図」
    - ECMWF (欧州), NCEP (米国) だけが長期間のものをつくっている

# 世界の雨: データ例

- **GPCP: 年降水量気候値**

<http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/arad/gpcp/maps/frontmap.gif>

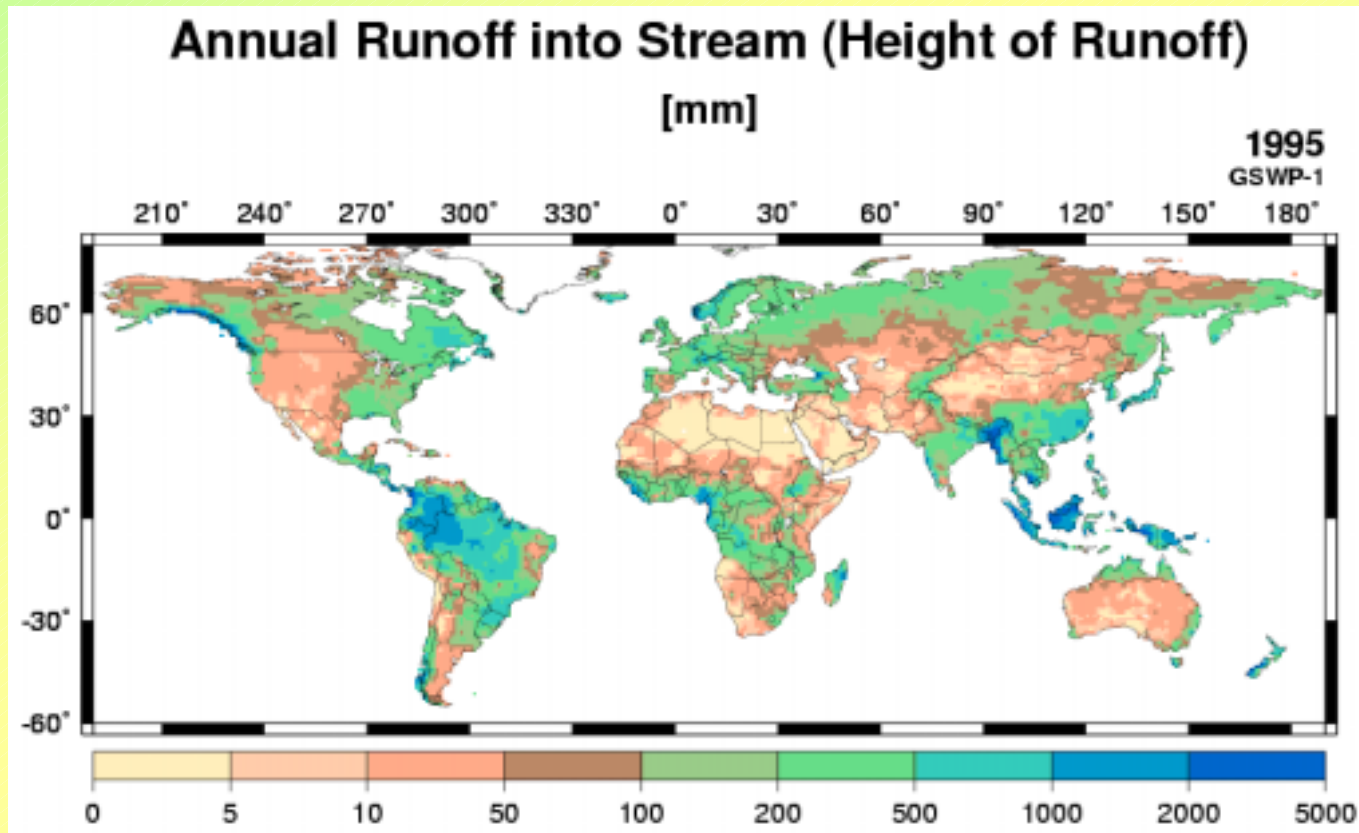


# グローバルLSMをめざして

- 個個バラバラに発展してきたLSMについて、開発者・ユーザが相互理解を深め次世代LSMを作るプロジェクト：**GLASS**
- フォーシングと地表特性についてグローバルなデータセットを作るプロジェクト：**ISLSCP**
  - 1987, 1988年についての6時間毎, 1度グリッドデータ
  - 2003年秋, 1986 ~ 1995年について同様のものが作られる: ISLSCP2
- ISLSCPデータをつかって各種LSMをグローバルに「同じ土俵」で動かし結果を比較するプロジェクト：**GSWP**
  - 河川流量でその精度を検証
  - 2003年からISLSCP2をつかってGSWP2がスタート
- GLASSの技術的基盤：**ALMA**
  - 入出力インタフェースの策定やツールづくりなど  
<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~agata/archive/ALMA/>
  - アジアの拠点: 東大生産研

# GSWPのプロダクト: LSMからの 年河川流出高

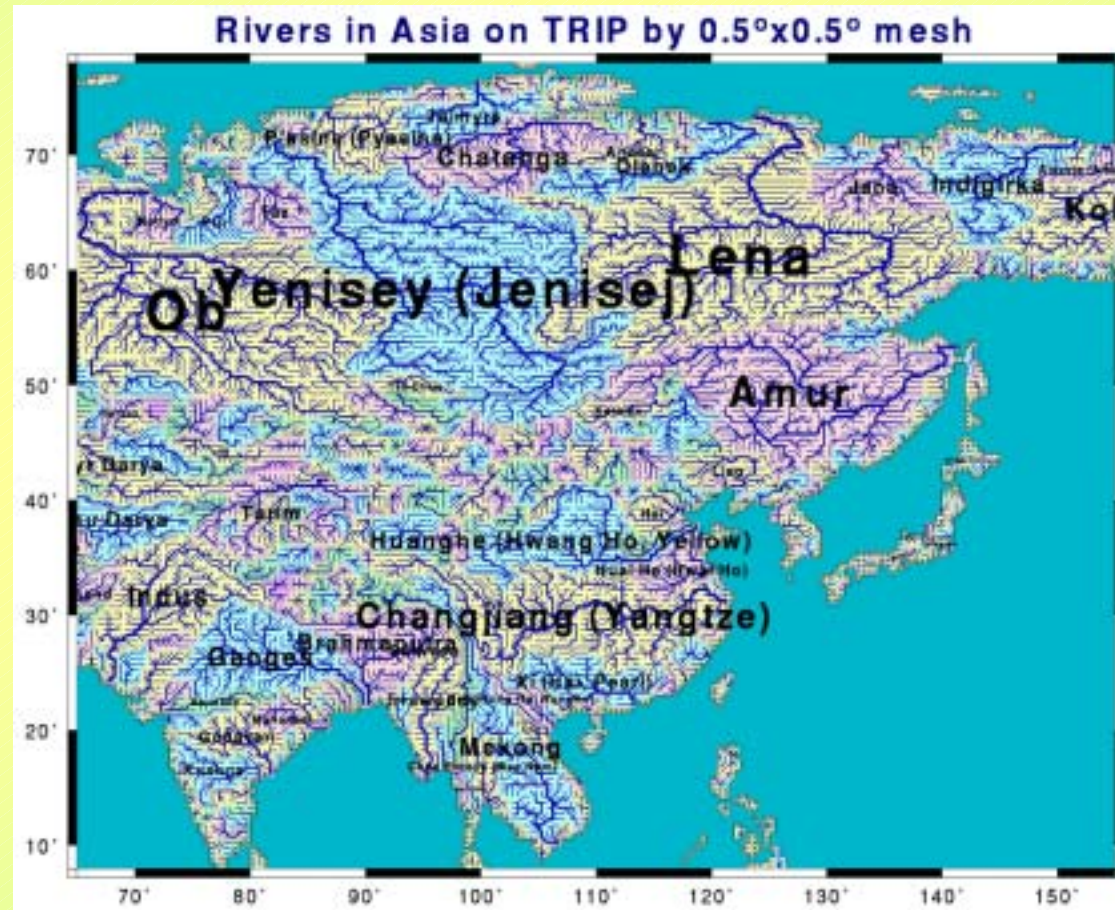
- 1987・1988年平均 .





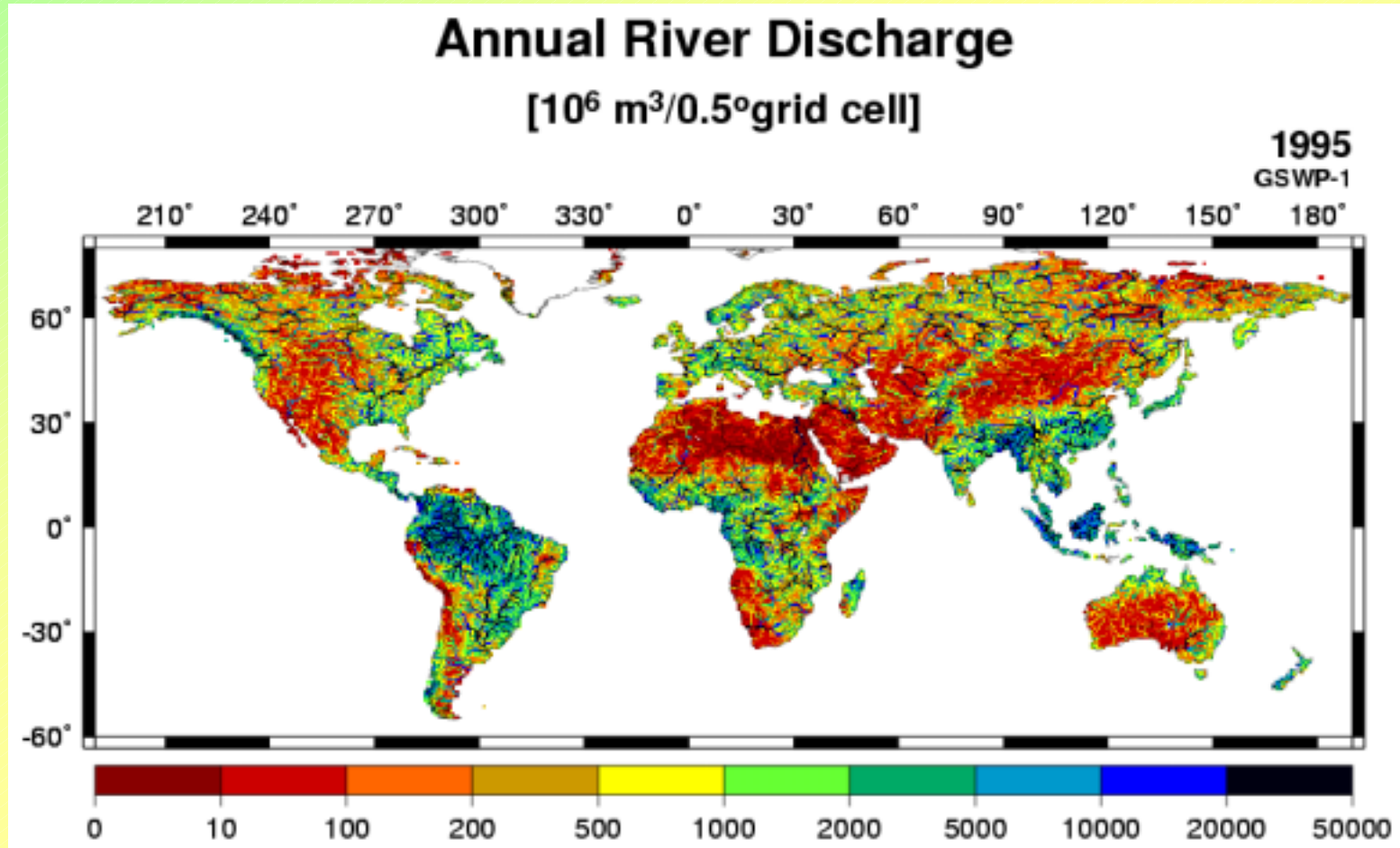
# LSMからの河道流出を Routingする

- デジタル河道網のグローバルデータセット：現時点では0.5度が主流
- 国産：「TRIP」(東大生研)
- これを利用して流出計算





# 結果：年河川流量 0.5度グリッド版



任意地点での水資源量がわかるのがメリット

# 年河川流量の検証 (Oki et al, 1998)

- 実測河川流量データセンター：「GRDC」のデータと比較
- 極端に合わない川がたまにある  
雨量計密度が非常に小さい川
- 全体としてはまあOK。
  - ただし高緯度側で系統的に流出量が小さい
    - ISLSCP降水量データセットの不備か？
- 自然系の水循環シミュレーション技術は  
ほぼめどがつつつつある

# 世界水資源アセスメント



# 水資源的立場から見ると

- 水がどれだけ必要で、どれだけ使えるかというバランスを知るのが重要
- 人間の使う水の量をグローバルグリッドで推定する必要
- Vorosmarty et al, 2000. *Science*
  - 0.5度グリッドでのアセスメント
  - ただし流量データは不十分だった  
生研チームがチャレンジ



# 0.5度グリッド水需要量推定

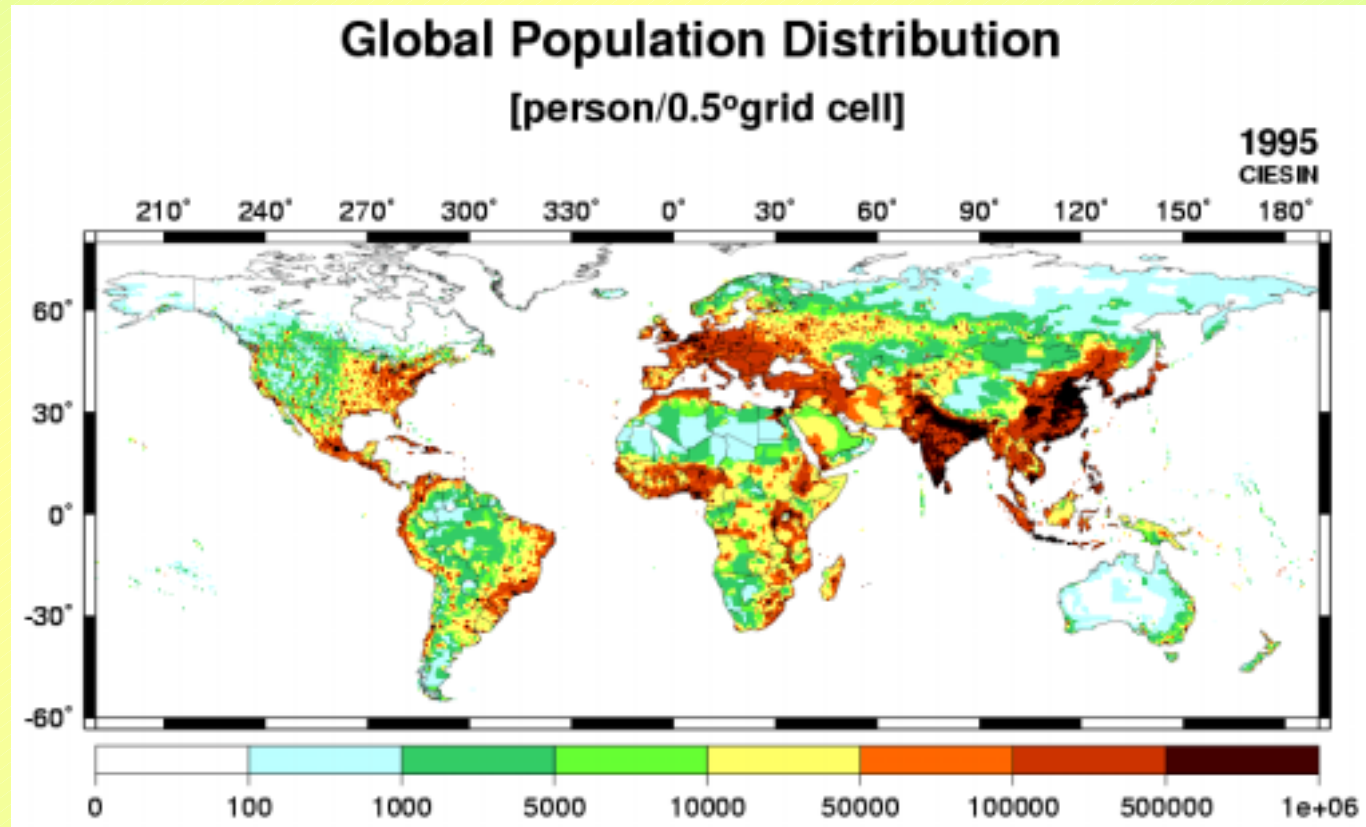
- 人間の使う水：農業・工業・生活・都市
  - それぞれを「セクタ」という
- 国別の各セクタ水使用量データはWRI(世界資源研究所)が出している．農業についてはFAOが圧倒的なデータ量
- 国別データをどうやって0.5度グリッドに展開するか？



# 0.5度グリッド水需要量推定[1]

(猿橋崇央, 修士論文 / Oki, Agata et al. , 2001)

- 人口についてはCIESINが2.5分版を出している



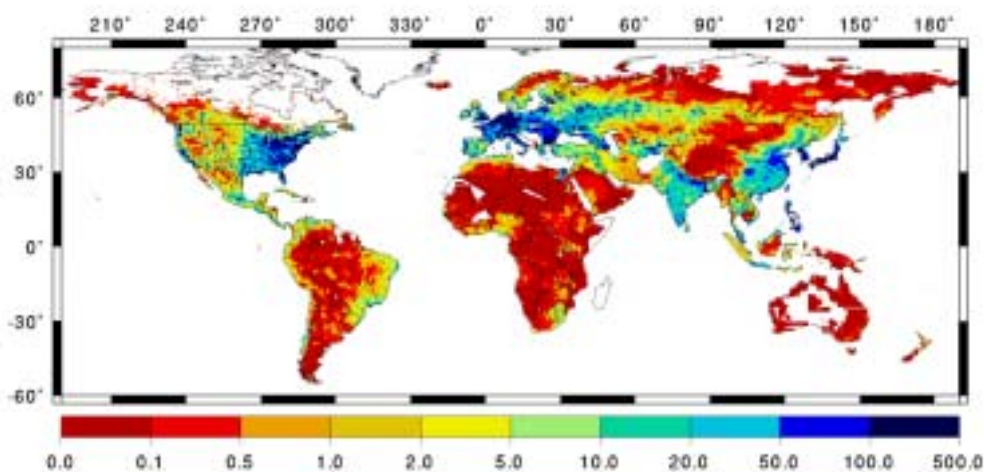
# 0.5度グリッド水需要量推定[2]

(猿橋崇央, 修士論文)

- 工業用水・都市生活用水については人口比例させて0.5度グリッドに配分

Annual Industrial Water Withdrawal  
[10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year/0.5°grid]

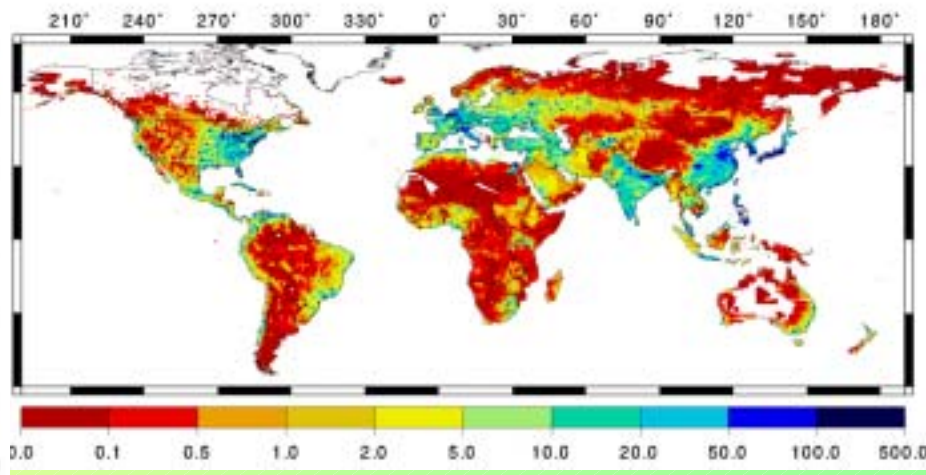
1995



工業

Annual Domestic Water Withdrawal  
[10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year/0.5°grid]

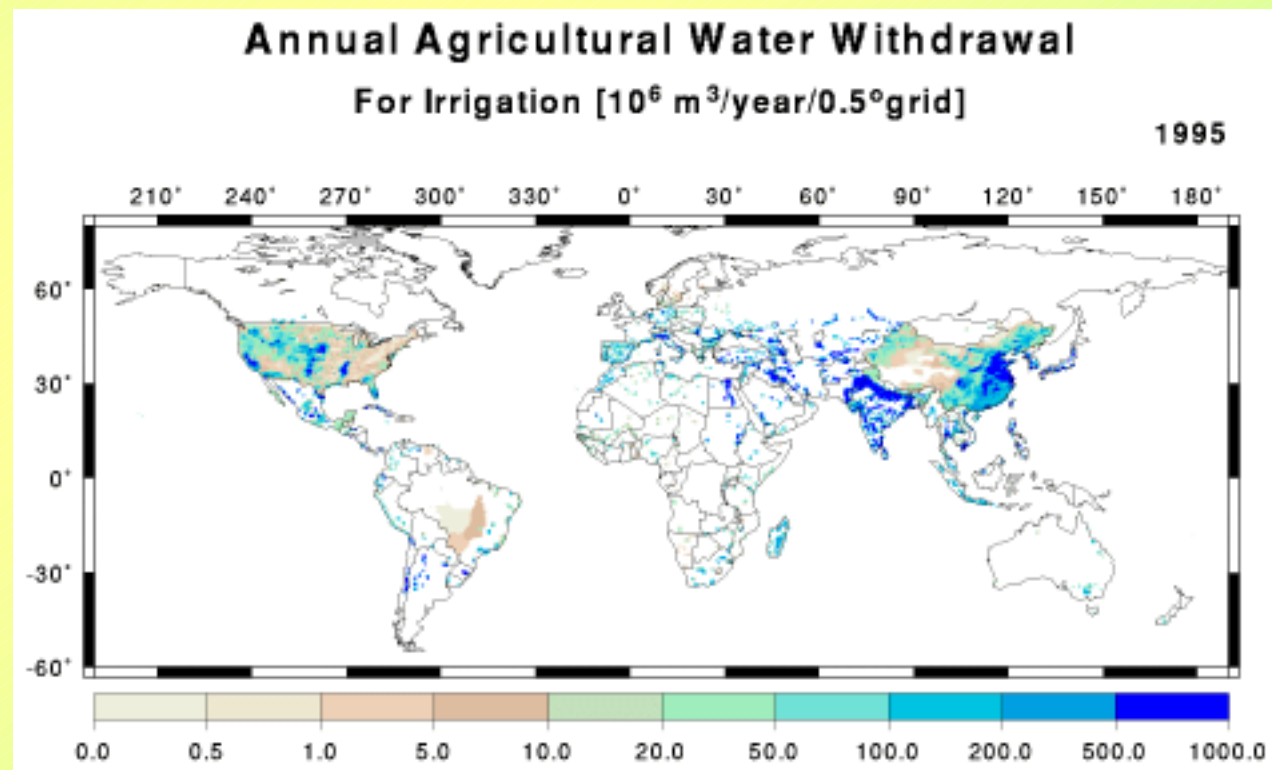
1995



都市・生活

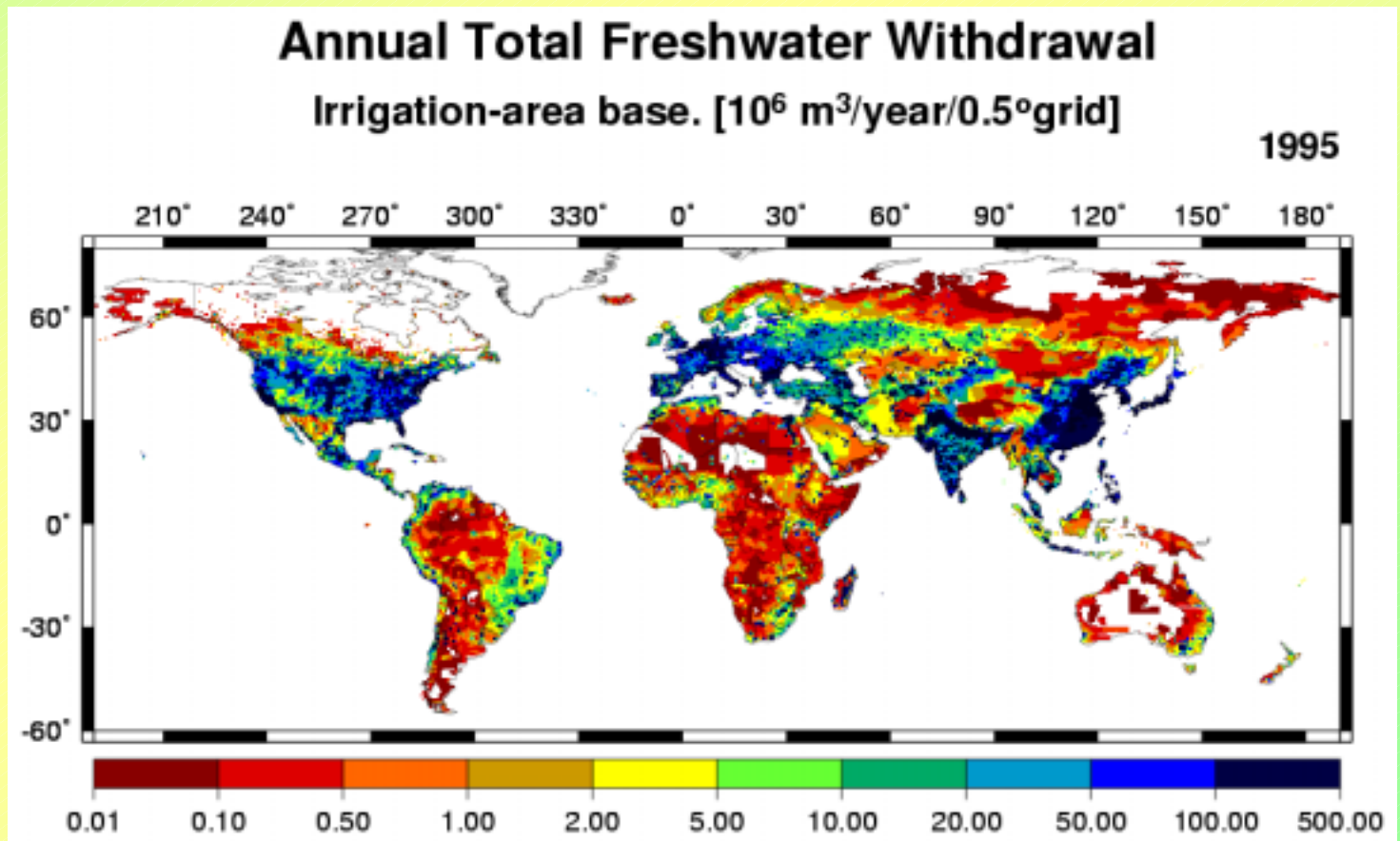
# 0.5度グリッド水需要量推定[3]

- 農業については、ドイツ・Kassel大が0.5度灌漑面積データセットを出している  
灌漑面積に比例させて配分



# 0.5度グリッド水需要量推定[4]

- 各セクタ水需要推定量を全部足す  
総水需要量



# 水の需給バランスの指標

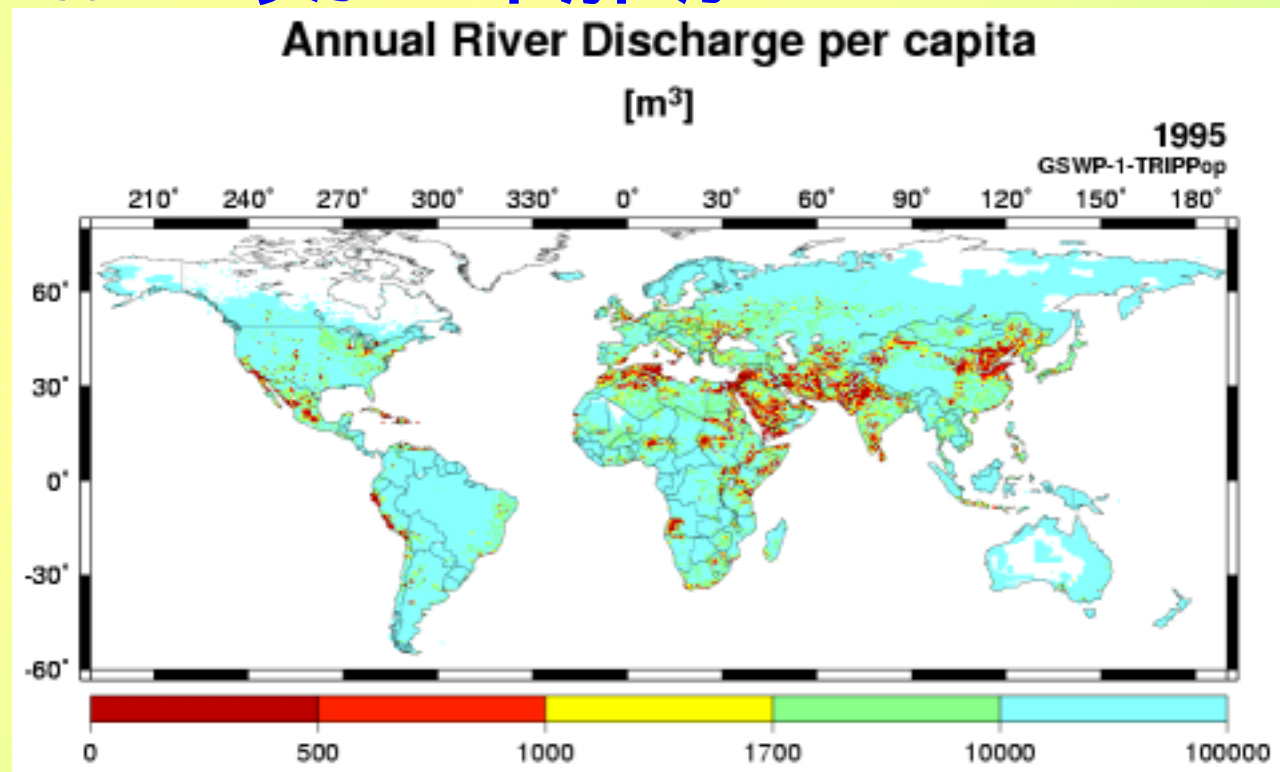
- 総水需要量 $W$  , 使用可能水資源量 $Q$  , 人口 $C$ として
- 一人当たり水資源量 $Q/C$
- 供給に対する需要の比  $W/Q(=Rws)$

などがある



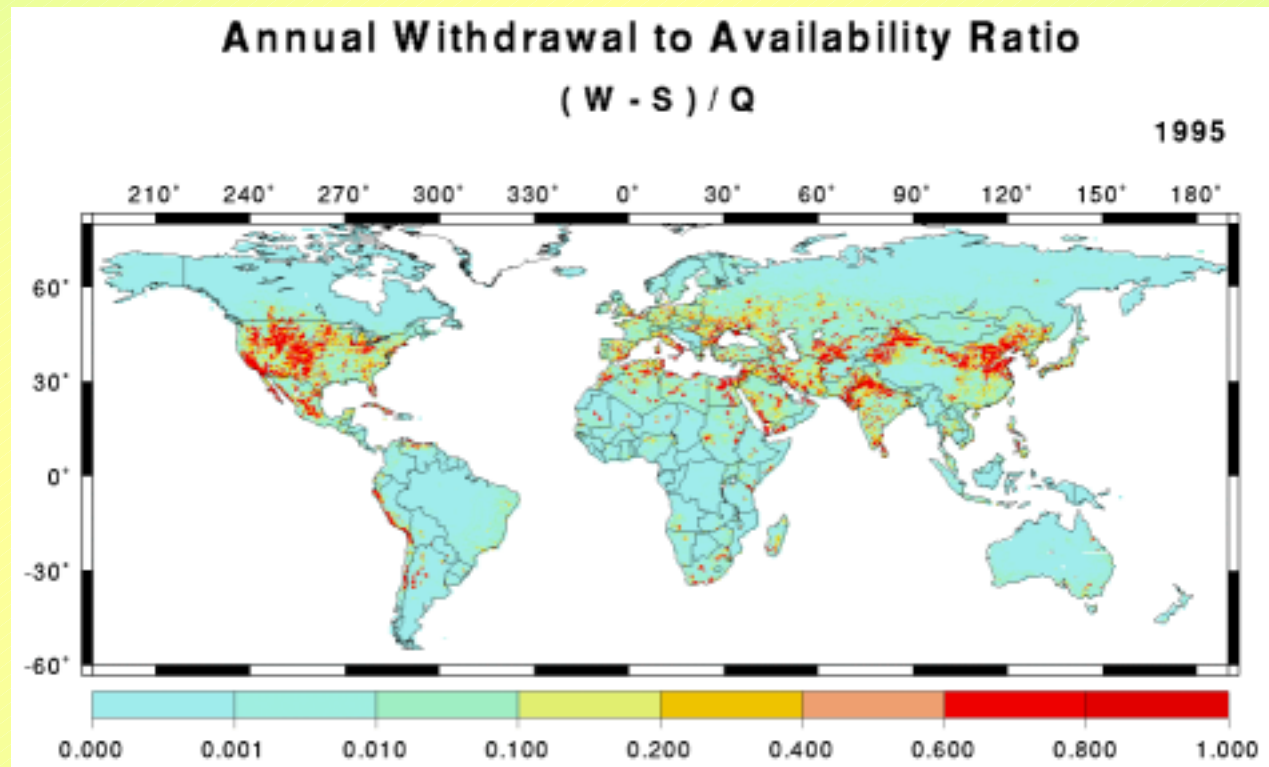
# 一人あたり水資源量

- 国ベースでみたとき,  $1700\text{m}^3/\text{人}/\text{年}$ 以下の地域では経済発展が遅れる (Falkenmark, 1988)
- グリッドベースではどうか? 未解明



# 供給に対する需要の比

- 国ベースでみて0.4以上は危険
  - ただし、経済発展をし河川インフラが充実しているため高い値でもOKという国もある。 要再考。



# グローバルグリッド推定

- 需要供給比でみて、
  - ・「安心」な地域
  - ・「危ない」地域
  - ・その中間の地域にそれぞれどれくらい人口がいるかという分布
- 国ベースよりもグリッドベースのほうが「極端に安心」と「極端に危険」というクラスに属する人口が多い
  - 国ベースだと(たとえば中国)極端な危険・安全が「混ざって」しまう

# 将来予測

- ターゲット:2050年
- 気象:温暖化(×2CO<sub>2</sub>)GCMシミュレーション
- 人口:国連中位予測
- GDP:世界銀行・国連  
(水使用原単位に効くとする)
- 灌漑面積:人口に比例(20世紀実績)

# 将来予測結果

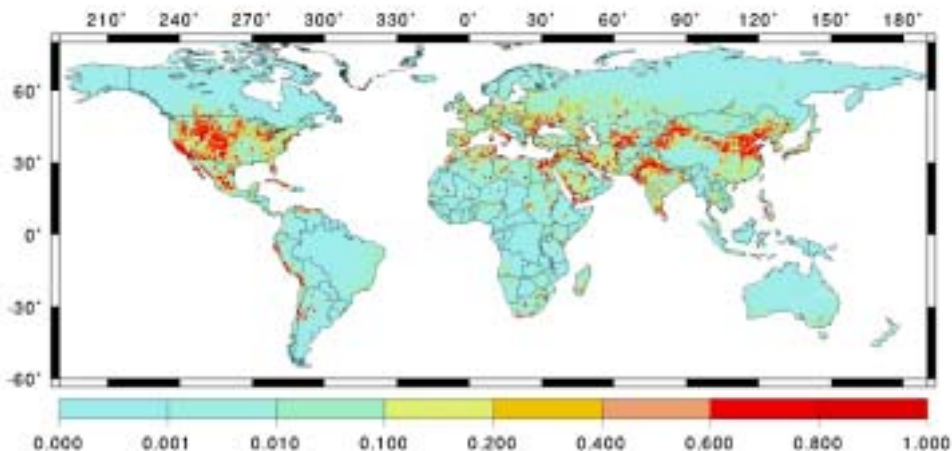
- 危ないところはより危なくなる...

2050年

Annual Withdrawal to Availability Ratio

$$(W - S) / Q$$

1995

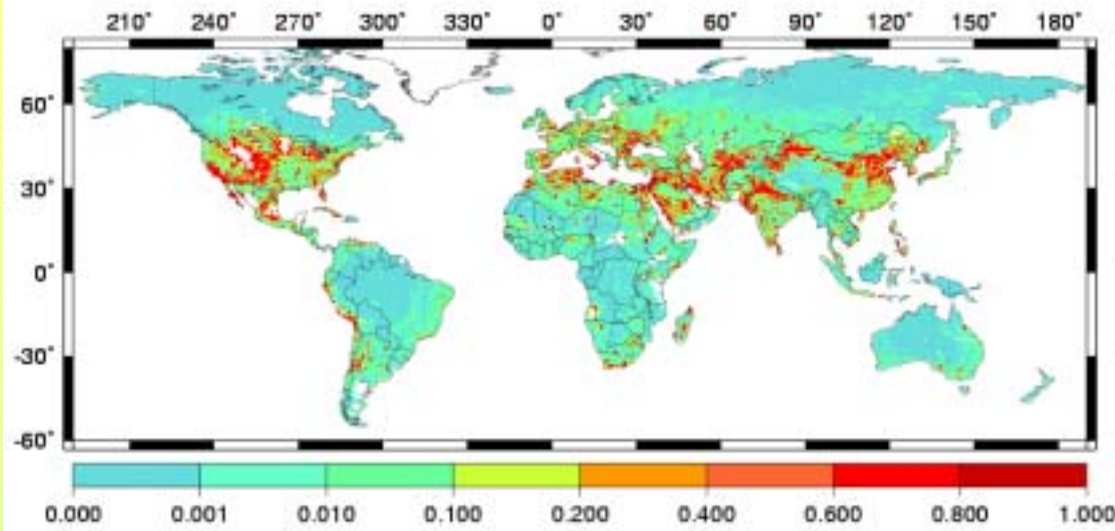


1995年

Annual Withdrawal to Availability Ratio

$$(W - S) / Q$$

2050





# 農業用水推定法の確立



# 農業用水推定の新次元 (安形・談, 2002, 2003)

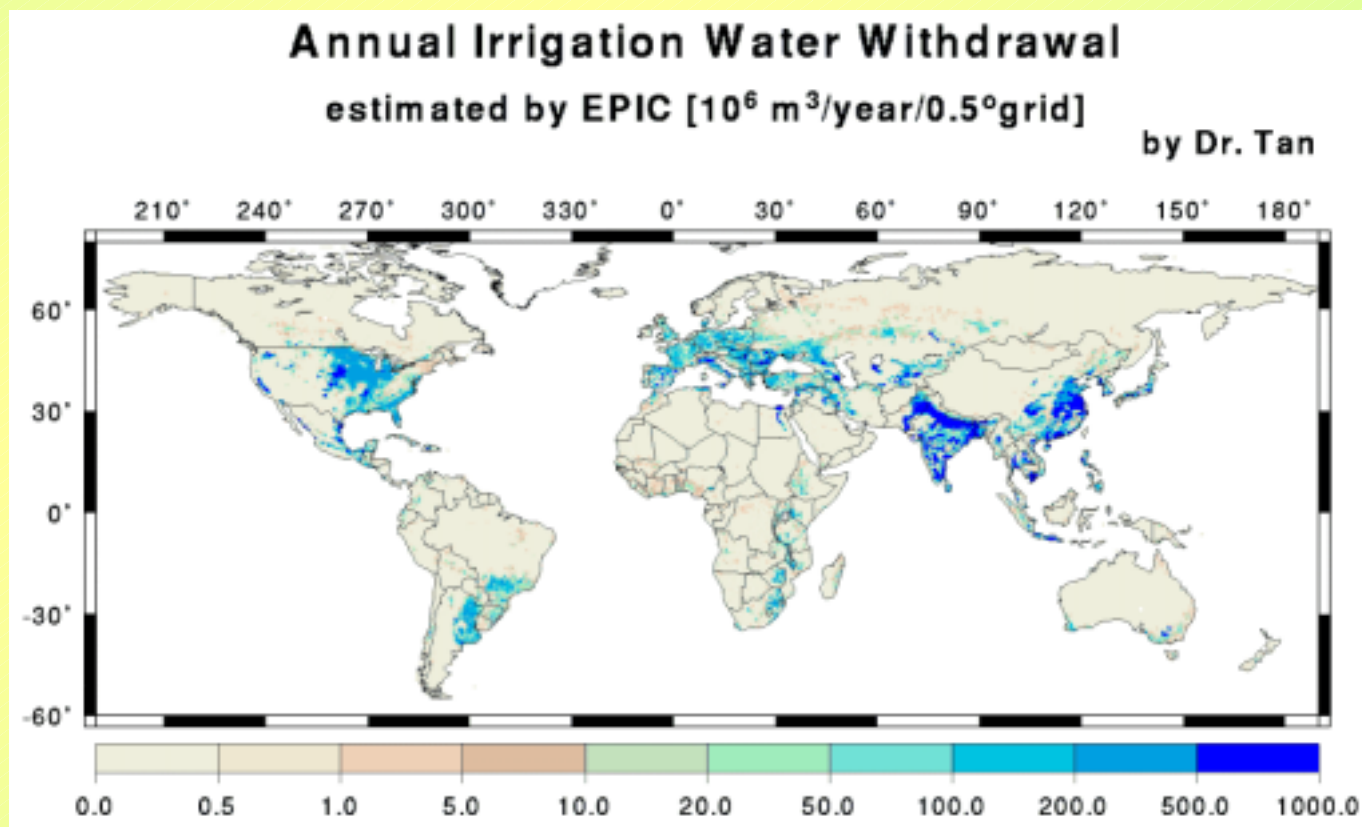
- 農業用水: 人類の水利用の70%程度
- 季節変化が激しい
  - 必要なときに必要な水が必要なところにある必要
  - 年平均のアセスメントでは不十分
- 食料安全保障の問題上将来予測が重要
- 既存研究では国別統計や過去のトレンドに頼る。  
また土地利用変化が内成的に計算できない
  - 将来予測に不安

# 農業用水推定新手法 (安形・談, 2002, 2003)

- 気象・土壌・経済データから, 最適土地利用 (穀物4種を対象)を "Smart Farmer"モデルで推定
- 気象データを与えて農業プロセスモデル **EPIC**を走らせ, 灌漑用水推定
  - 計算はDaily
- このようなプロセスベースの推定手法確立は世界的に例がない

# 現段階での成果

- 1987年を対象にした月別灌漑用水量推定  
(0.1度グリッド)



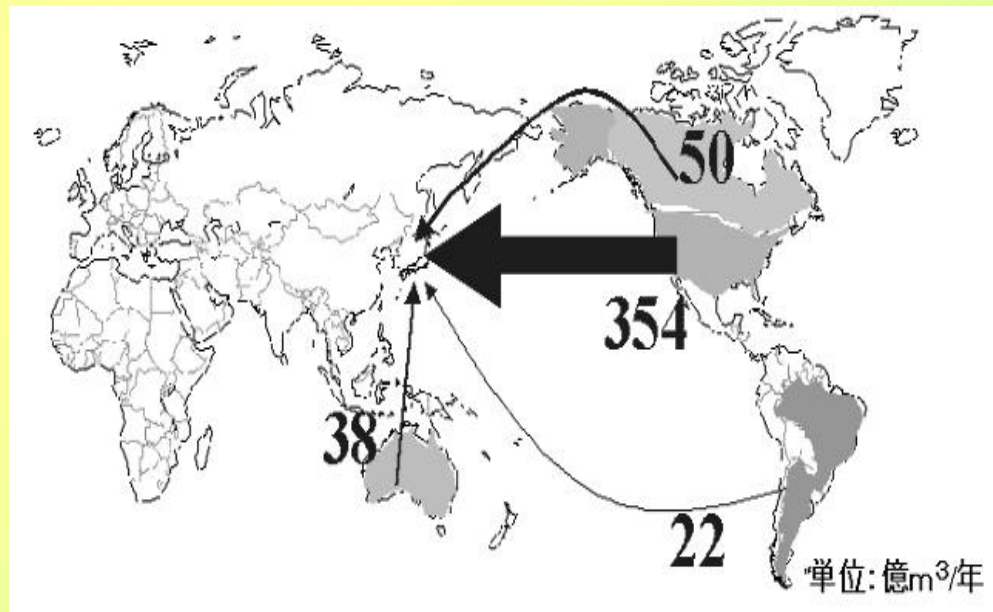
年値



# 食料についてのもう一つの話題:

## Virtual Water

- Virtual Water:他国の水資源を使ってつくられた品物を輸入することは間接的にその国の水資源を輸入していることになる。
- 国際食料安全保障上重要な概念



三宅・沖・虫明, 2002.

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/Doc/MiyakeMizuFinal.doc>



# まとめ：今後の課題

- 観測技術・モデリング手法の発展および分野間のコラボレーションにより、大気～海洋～陸面結合系水循環モデルは、自然系に関してはめどが立ちつつある。
  - 「学融合」の成果
- 人間の影響を陽に組み込み将来予測につなげる努力は始まったばかり
  - これからの「学融合」
- Virtual Waterなどを通じた国際水食料安全保障の枠組みについてはまだ手付かず 挑戦的なテーマ

# 番外編：最近凝っていること



# 水と「擬似科学」

- 擬似科学 (pseudoscience): 一見科学的に見える言説で、その実は近代科学的な検証プロセスを経ていないもの
- 反証不可能な議論を持ち出す例も多い
- 健康関連の宣伝に蔓延している
- 水に関しても然り



# 水の「擬似科学」の例

- 「クラスターの小さい水」
  - 仮説としてクラスターが考えられた例があるが、存在は確認されていない。
  - あったとしてもその測定方法はいまだにない
  - 極端な例:「単分子化水」 本当に単分子化されていたら融点・沸点・誘電率などが合理的に変わるはず、そういったデータをしめさない宣伝ばかり
- 「水の磁化」
  - 水は反磁性体であり、磁場の影響を脱した後にその影響がなおも残るといふ研究報告は得られていない

# 水の「擬似科学」の例

- 「浸透力の高い水」
  - 水本来の浸透力(溶存物質濃度が影響するが)にあわせて生体の細胞は動いている、それが変わったら危険ではないか
- 「波動」
  - エネルギー保存則が成り立たない。
- しかし、なぜこういった例を信じる人がたくさんいるのだろうか？ 社会心理学的には興味深い話題



# 科学リテラシを身につけよう

- 科学的真実とはどのようにして作られるか？
- 仮説段階 先駆者の検討 発表(査読つき論文)
- 第三者の追試 成功例の積み重ね  
なんとなく定説
- この気の長いプロセスを一気に飛ばすのが疑似科学

# 科学者の役割

- 科学的真実を後世に残すこと
- 人類の知の世界を広げ、深めること
- 何が科学的真実であるかひろく社会にわかりやすく説明すること
  - 何が「現段階でわからないか」を広めることも重要

# Thank You! 皆さん 切磋琢磨しましょう

