

体系理解科目 地球環境変動論 「温暖化概論」

研究科共通 前期課程

2011年12月6日(火) 8:45～10:15

生態系・社会への影響 農業への影響

地球環境科学研究科連携教員

(総合地球環境学研究所)

渡邊 紹裕

地球温暖化・気候変動

地球温暖化と農業



農業

作物生産

栽培・収穫・加工・流通

作物生育

土壌/栄養, 水, 日射/エネルギー

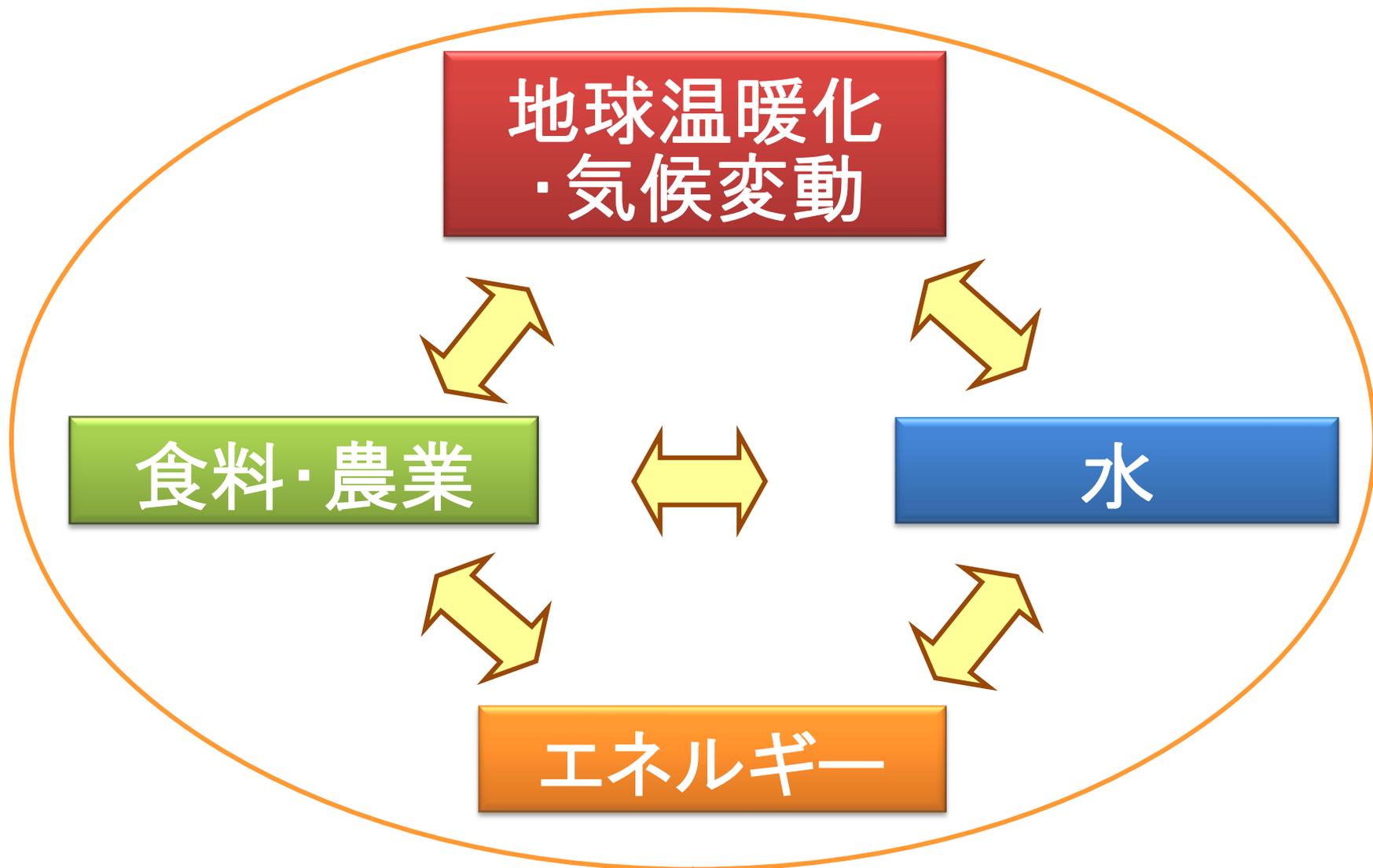
農家

技術・経営・社会

農村

自然・経済・社会・文化

地球温暖化と Nexus《水・食料・エネルギー》



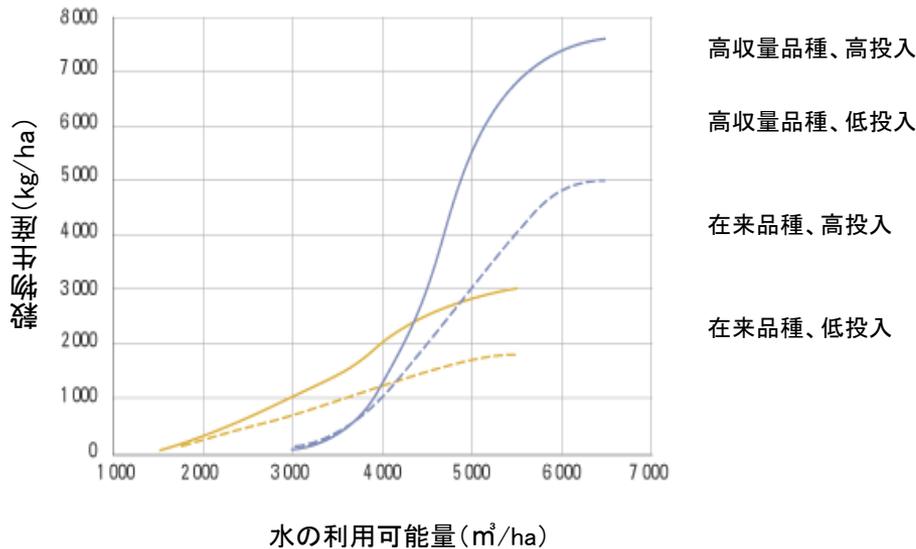
講義の内容

- 食料・農業生産と水
- 地球温暖化と水循環変動
- 地球温暖化と農業～日本農業を中心に
- 温暖化影響評価の例～地球研プロジェクト

食料増産を支えてきた農業用水

- ・人口増加に対応するための食料増産. 灌漑は単収向上へ一定の貢献.
- ・アジアの米増産への灌漑の寄与は大きい. (国際稲研究所, 緑の革命の分析)

水の利用で穀物生産量増加

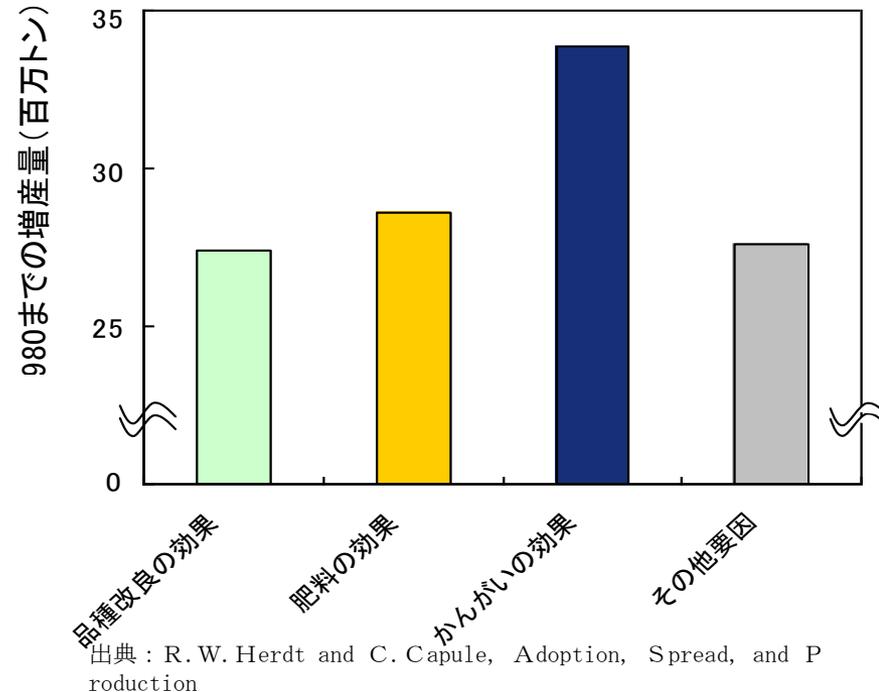


出典: IWMI 「World Water and Climate Atlas」

注) このグラフは、水の利用可能量に対する作物収量の反応を示す。
高収量品種は、降雨依存型品種に比べて、十分な量の水が供給された場合にのみ生産が多い。

コメの増産への諸要因の寄与

アジア各国における1965～80年間の米の増産に寄与した要因



注1. 緑の革命:

1960年後半から緑の革命と呼ばれる農業の技術革新がなされた。緑の革命では、アジア等の各国で、高単収を得ることが可能となるイネの新品種等が作付けされ、かんがいの普及や肥料の増投等の効果とあまって食料が増産された。

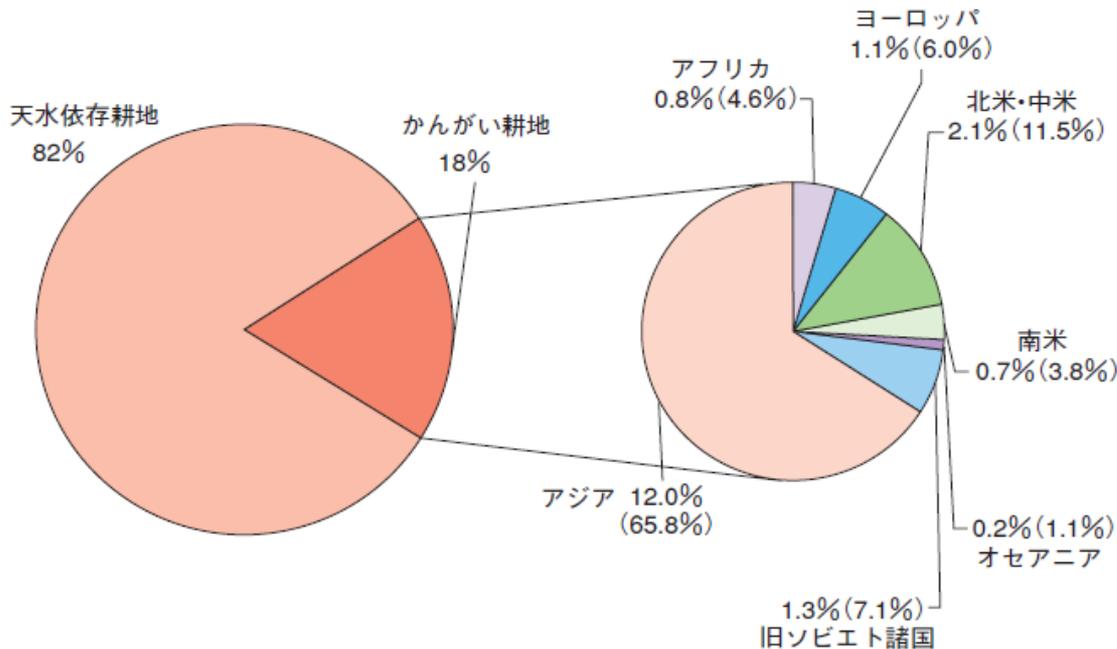
2. ここでいうアジア各国とは、ビルマ、バングラデシュ、中国、インド、インドネシア、フィリピン、スリランカ、タイの8カ国をいう。

世界の灌漑面積 (1999)

	1961年① (千ha)	1999年② (千ha)
世界のかんがい 耕地面積	138,989	274,166

資料：Statistical Databases (国連食糧農業機関)

- 世界農地：約15億2300万ha
- 灌漑農地
 - 18%約2億7000万ha
 - 面積は20世紀後半で倍増
 - 約40%の食料を生産
 - 2/3はアジア（主に水田）



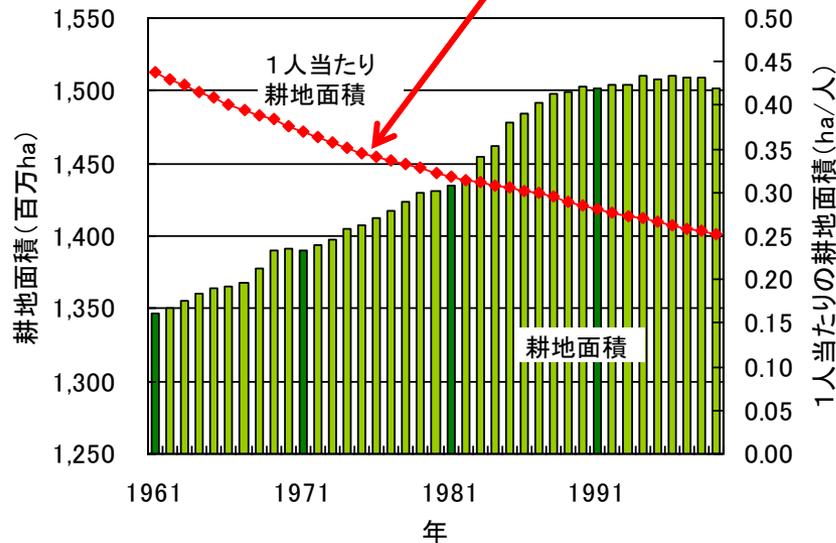
() 内数値は、全かんがい耕地に占める各地域ごとの割合である。

資料：Statistical Databases (国連食糧農業機関)

灌漑面積の変化

- ・世界の耕地面積の増大は、1980年代後半から停滞。1人当たり耕地面積は減少。
- ・灌漑面積は近年も増加。1人当たり灌漑面積は維持(約5a)。穀物生産量の増大を支える。

耕地面積と1人当たり耕地面積



灌漑面積と1人当たり灌漑面積



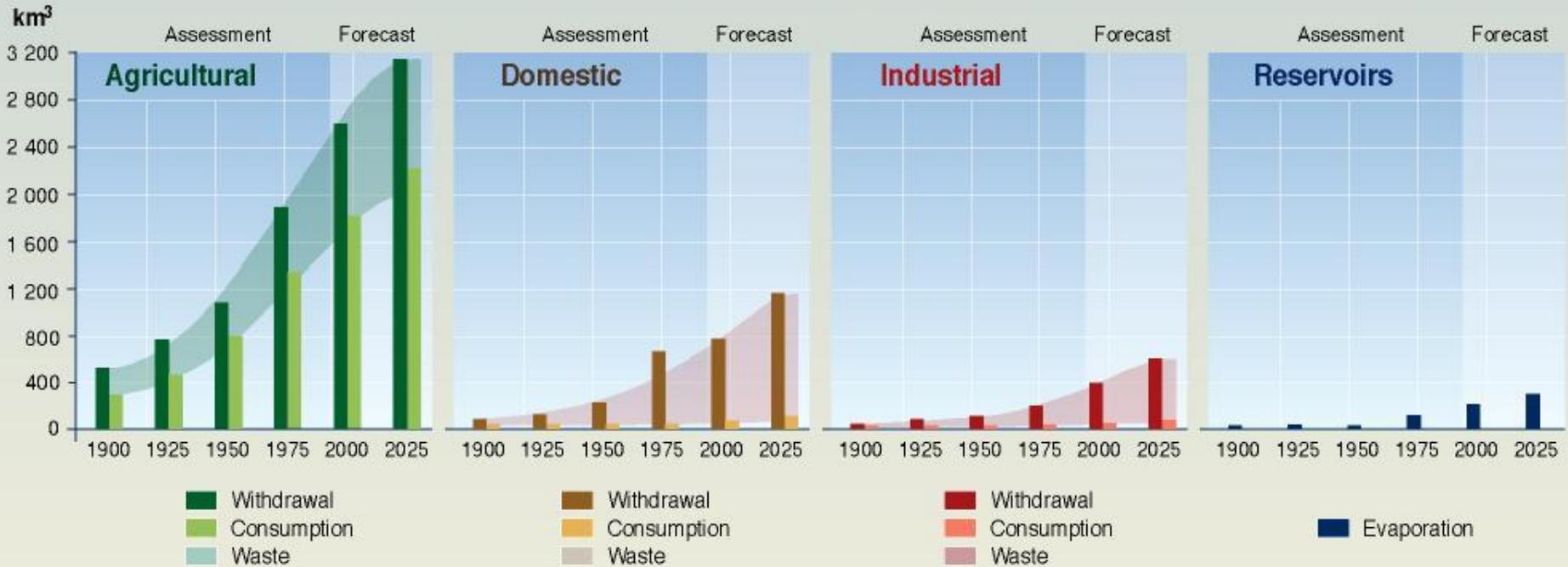
出典：1) Statistical Databases (国連食糧農業機関)
 2) World Population Prospects: The 2000 Revision, 2001年
 (国連経済社会局人口部)

かんがい耕地面積 穀物生産量 1人当たりかんがい耕地面積

世界の水利用の展開

UNEP

Evolution of Global Water Use Withdrawal and Consumption by Sector



Note: Domestic water consumption in developed countries (500-800 litres per person per day) is about six times greater than in developing countries (60-150 litres per person per day).



PHILIPPE FIKACEWICZ
FEBRUARY 2002



地球温暖化と水資源

地球温暖化の淡水資源への影響

■ 温度上昇の直接的影響

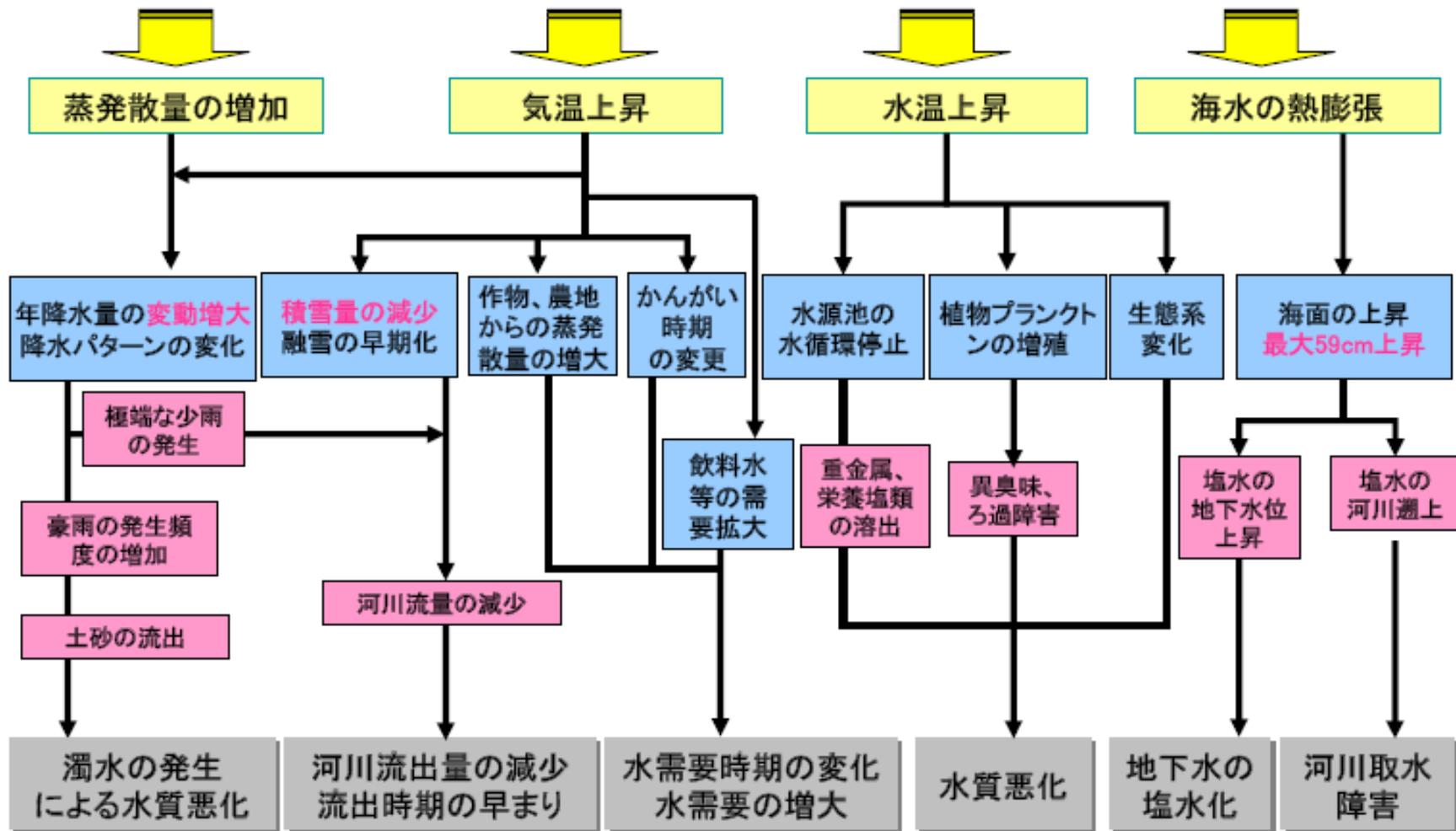
- 氷河・氷床の融解に伴う流量の一時的増加
 - 今世紀末までには減少. 全世界人口の1/6が依存
- 早期融雪促進による河川流況パターンの変化
- 水温上昇による水質変化や生態系への影響

■ 気候変動の間接的影響

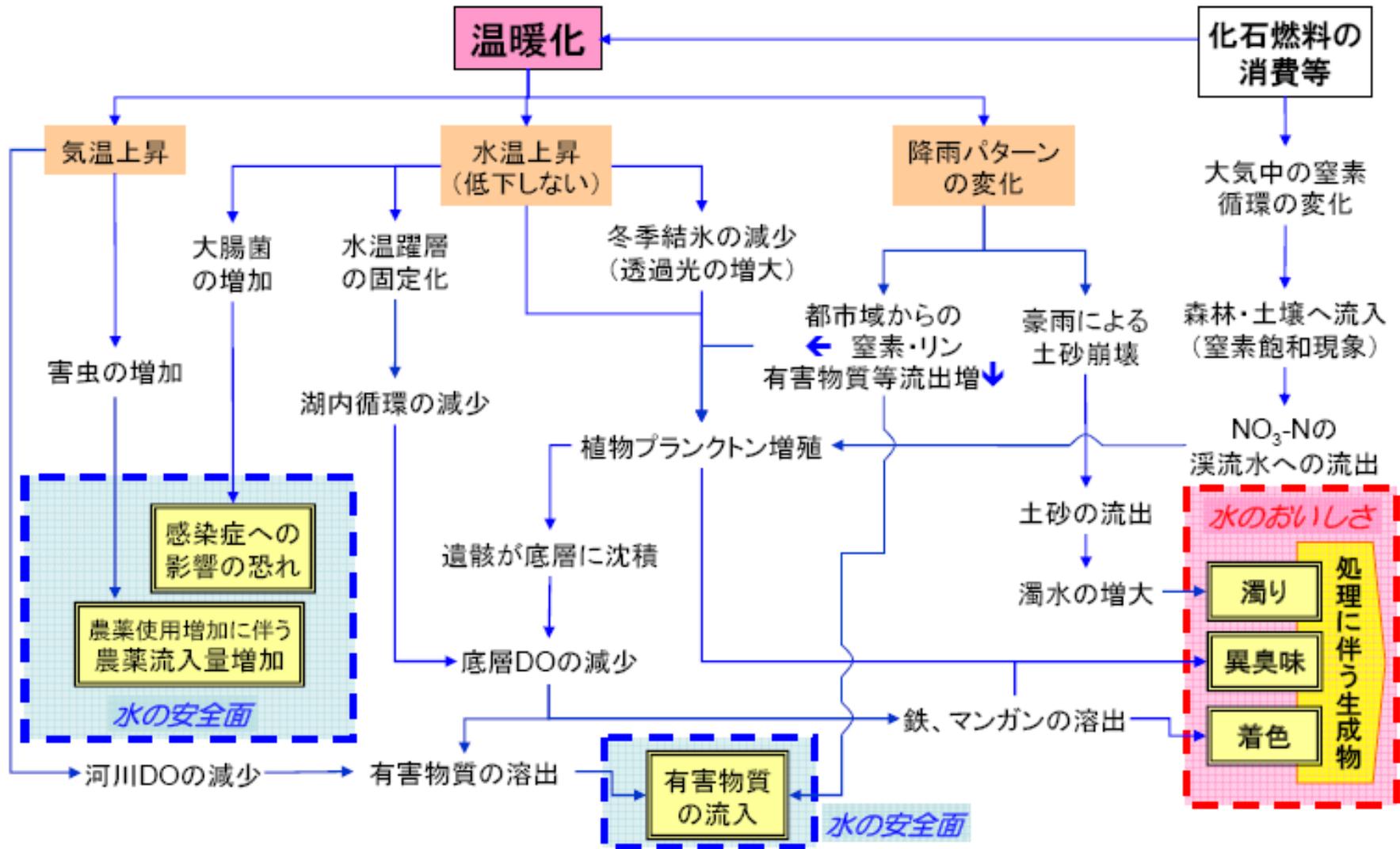
- 極域と湿潤熱帯で10～40%水資源賦存量増加
- 熱帯亜熱帯乾燥域で10～30%減少
- 旱魃の影響を受ける領域は増大
- 激しい降水の頻度は増大→洪水リスク増大

温暖化の水資源への影響

温室効果ガスが大量に排出されて大気中の濃度が高まり熱の吸収が増えた結果、気温が上昇。これに伴い降水量の変動も増加、海面水位も上昇。



温暖化の水質への影響

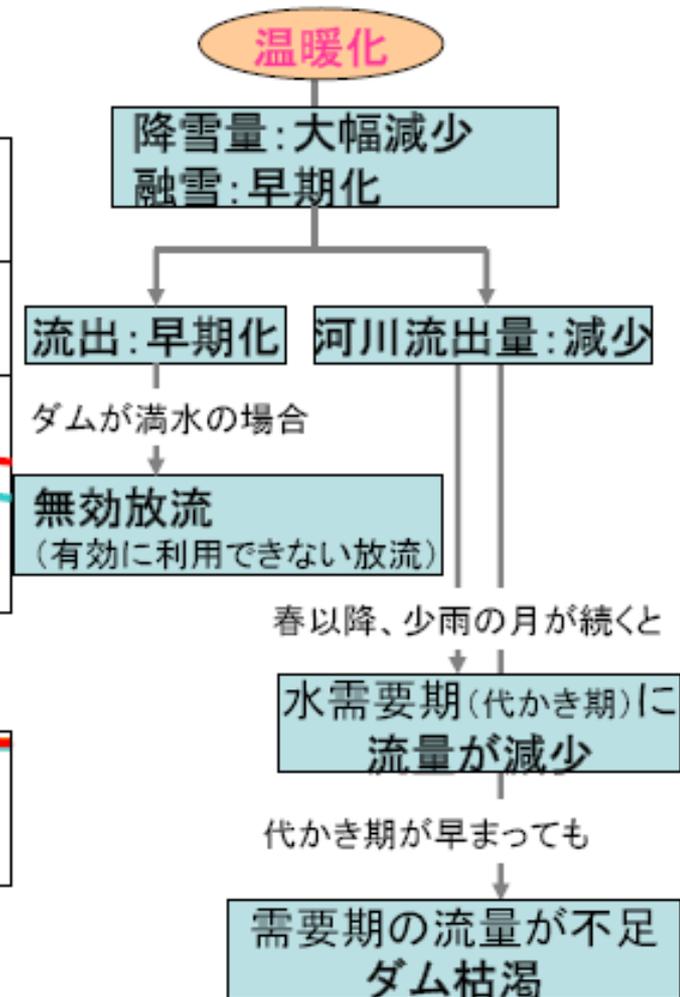
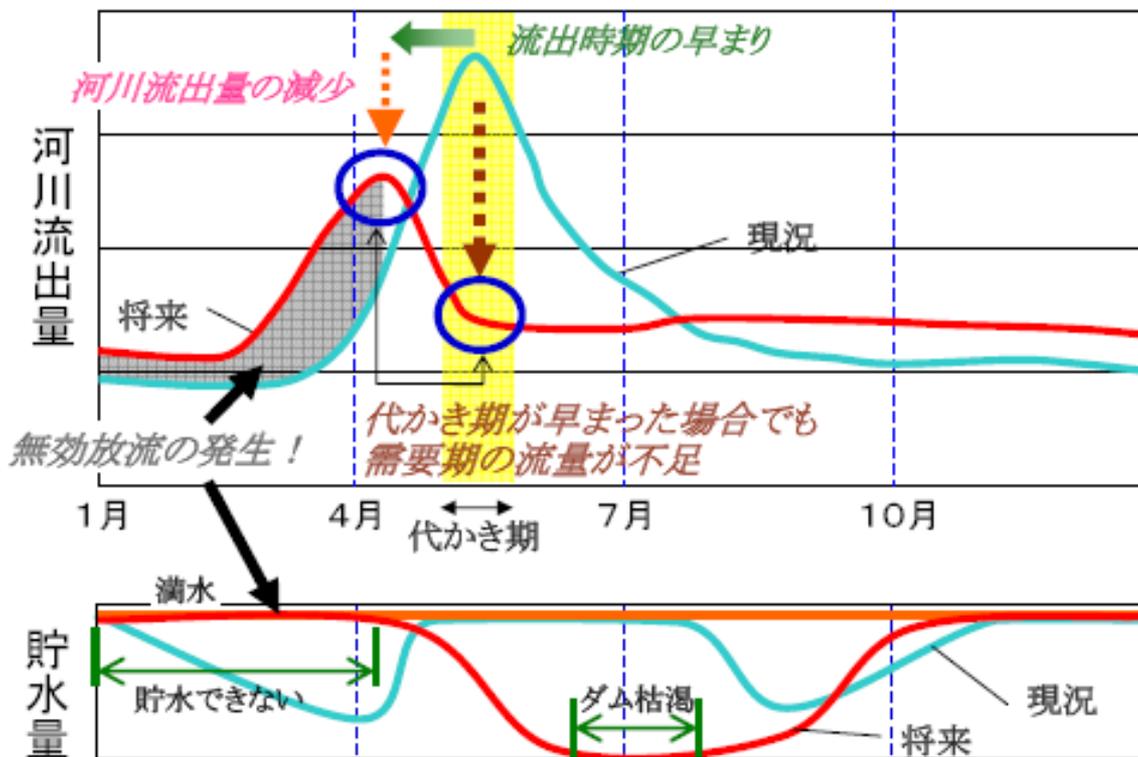


(注)「地球温暖化と日本 第3次報告-自然・人への環境予測-」原沢英夫、西岡秀三編をもとに水資源部が加筆修正

河川流量変化イメージ

- 代かき期など水の需要期に流量が減少
- 従来の水利用パターンとはミスマッチが発生

温暖化後の河川流出量の状況(想定)





地球温暖化と農業 ～日本農業を中心に～

京都新聞

2005年8月16日

異常高温

遅植ええ 品種転換

米どころ適応に躍起

気候変動に国内農業が対応を迫られつつある。猛暑や異常高温が例年のように起きるなか、米どころでは田植え時期をずらしたり、作付け品種を転換したりするなど地道な工夫が始まっている。温暖化が進めば果樹の栽培分布が大きく変化する可能性も指摘され、新しい雑草や害虫の定着も懸念されている。(社会報道部 日比野敏昭)

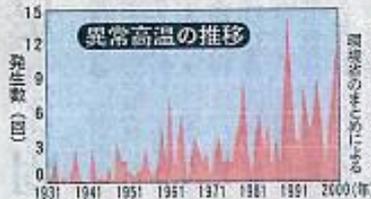
暑さ避け品質維持



猛暑を避けて遅植えした稲穂はまだ頭を垂れていない
—右(滋賀県能登川町)

と危機感を強め、JAなどを通じて「遅植え」を奨励。現在、県内の全作付けの50%が五月中旬に田植えを行うようになっていいる。

グリーン 近江農協は遅植えだけでなく、早生品種のササニシキから遅植えに適し、暑さにも強いヒノヒカリへの品種転換も助めている。自身もコメ農家の富江さんは「コメの生産者は温暖化の影響を実感し、適応の努力を始めている。こうした取り組みを都会の消費者にも知ってもらいたい」と話す。



果樹を育てる

果樹分布に影響

温暖化は農作物の生育にどのような影響を与えるのか。日本国内では北海道でコシヒカリが栽培できる可能性があり、また温州ミカンが東北沿岸部で栽培できるようになることも考えられる。一方で、リンゴの着色が悪くなる、ブドウの果肉が硬くなることなどは人口増で耕作地が減少、とも予想される。

北日本でコメが豊作に?
リンゴの品質が悪化?
ブドウも収量減?
東北でもミカン?
外来の雑草が定着?

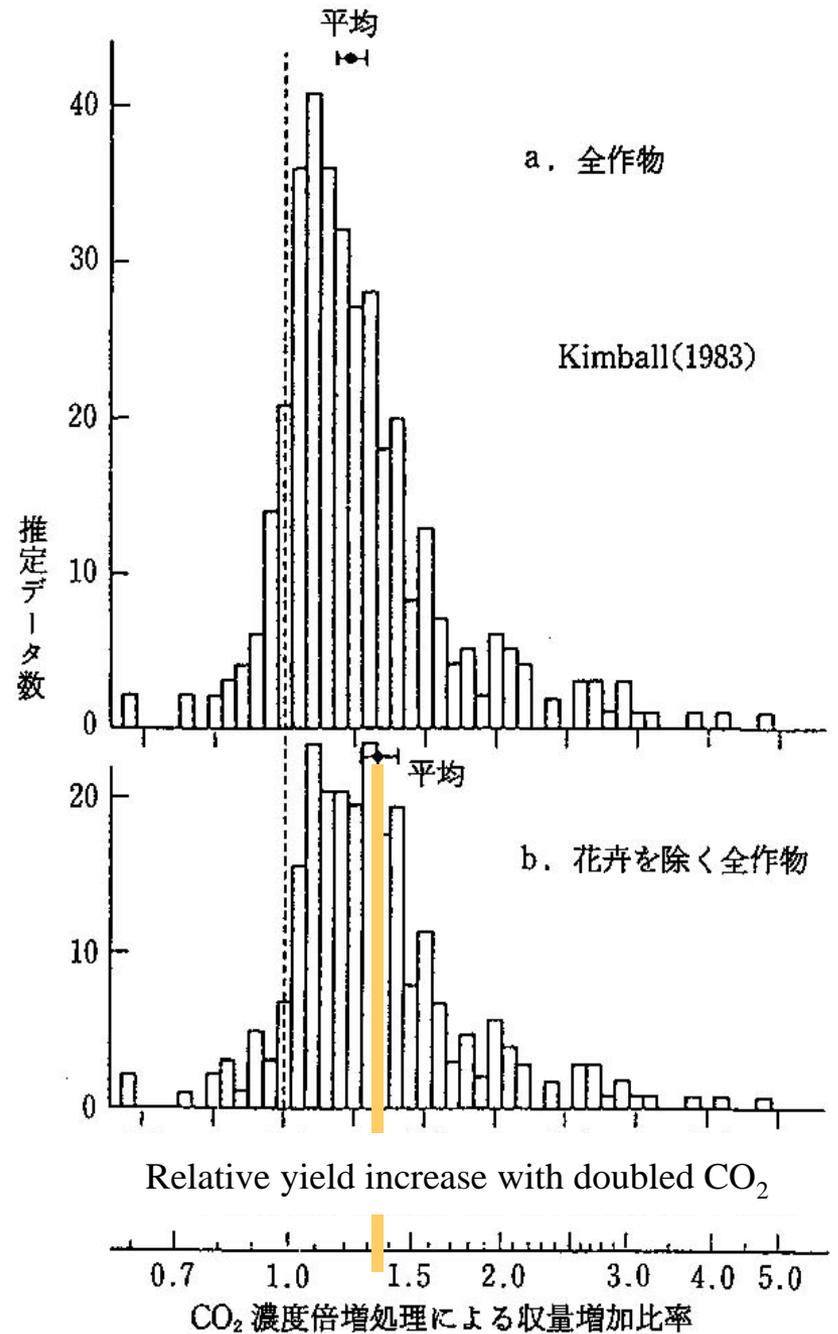
温暖化で農作物に変化が...

中国やインドでは雨が增えるため、乾燥を好む小麦の栽培には適さなくなるといふ。

北日本でコメが豊作に?
リンゴの品質が悪化?
ブドウも収量減?
東北でもミカン?
外来の雑草が定着?
温暖化で農作物に変化が...

CO₂濃度倍増による 作物収量の変化

Kimball[1983]
(中川・堀江[1997]から)

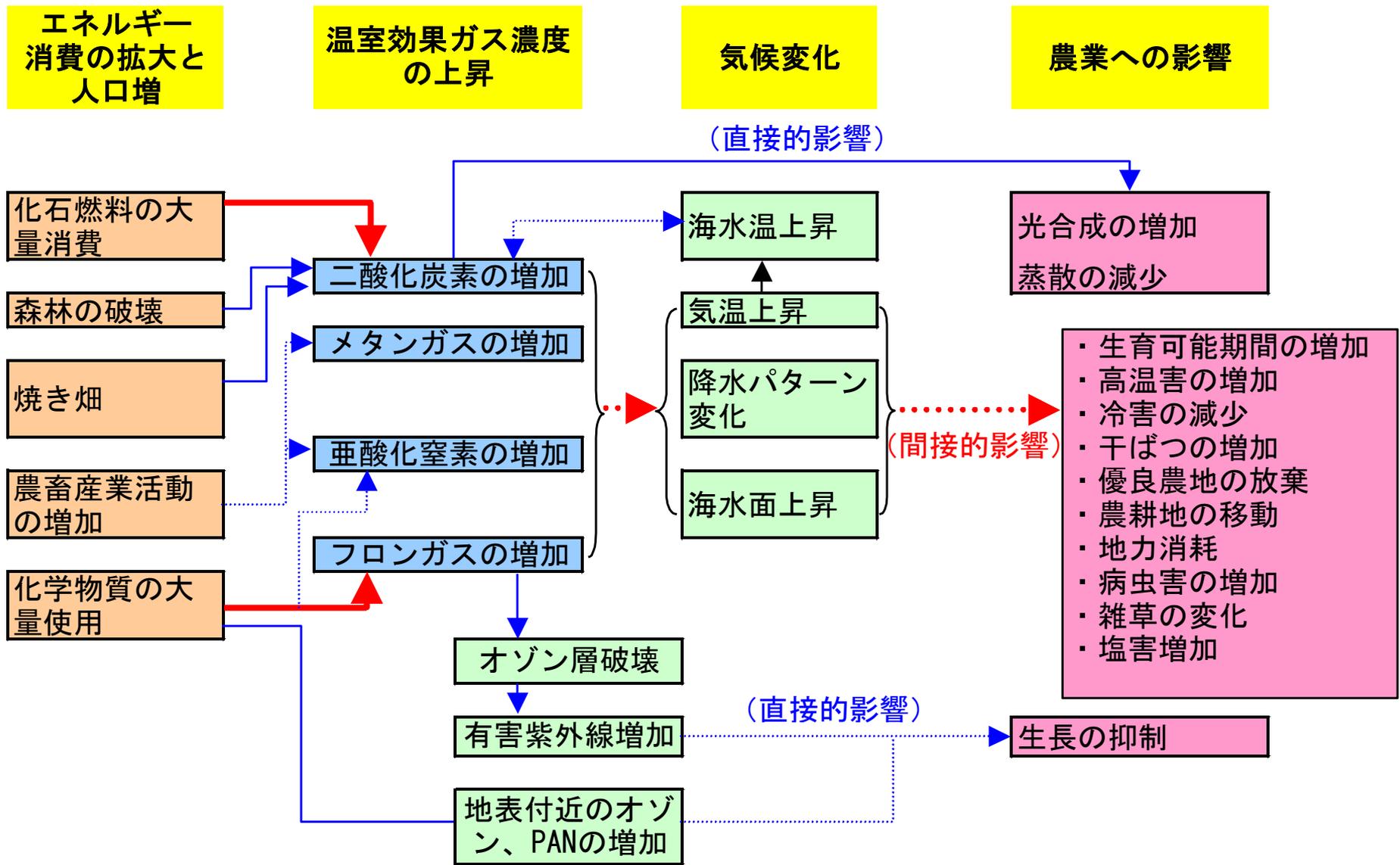


「温暖化」(高CO₂濃度と温度)と作物生育

- ・ 現在の2倍程度の高CO₂濃度環境が作物の物質生産に悪影響を与えることはない(まずなさそう).
- ・ 土壌管理・施肥が十分でないと, 高CO₂濃度による生産増の効果は小さくなる.
- ・ 高CO₂濃度による全乾物重の増加割合に比べて収量(経済収量)の増加割合は小さい.
- ・ 高CO₂濃度環境は蒸散と光合成のバランスを変化させる. 水利用効率は40~80%も高くなる.
- ・ 常温~常温+5°Cの範囲でCO₂濃度倍増による乾物重の増加と温度の関係は見られない.
- ・ イネやトウモロコシ, コムギは, 開花時の高温(35°C以上)によって, 不稔現象(高温不稔)が生じる.

(中川・堀江[1997]など)

地球環境の変化と農業の関係の概念図



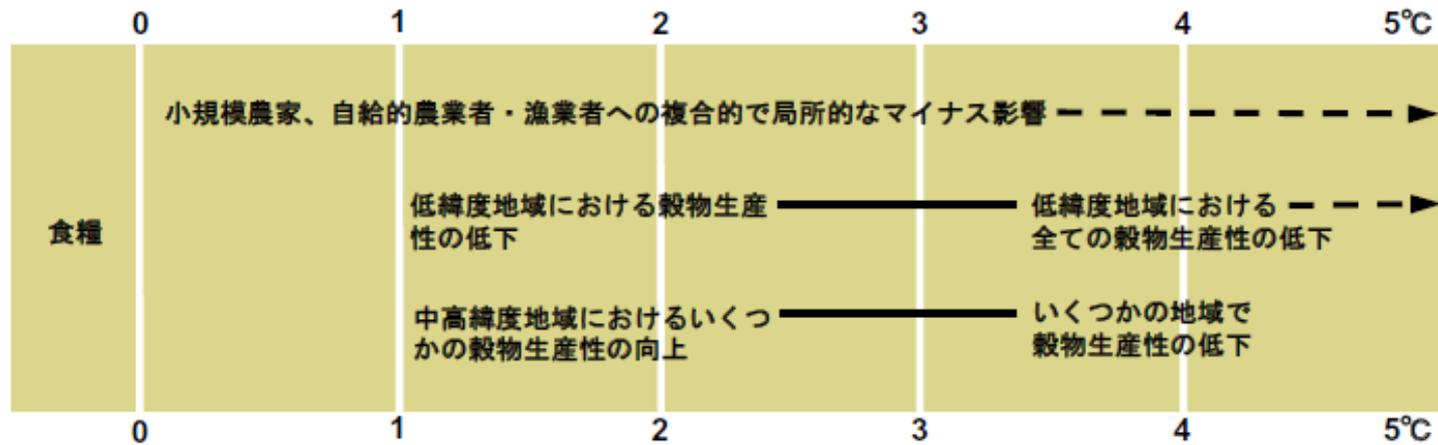
地球環境変化と農業の関係 (堀江[1990])

実線は因果関係の明白なもの、点線は可能性の高いもの、そして赤線は特に影響の大きいものを示す。

1. 気温上昇の程度と食糧への影響規模

- 世界平均気温の上昇程度に応じて生じると予測される食糧への影響は下図のとおり。

気温上昇の程度と食糧への影響規模



1980-1999年に対する世界年平均気温の変化(°C)

- 「—」は関連する影響を示し、「- ▶」は気温上昇に伴って影響が継続することを示す。
- 各記述の左端は、影響が開始するおおよその位置を示す。
- 全ての記述の信頼度は高い。

出典: AR4 SPM 表1より一部抜粋・加工して作成

地球温暖化の日本の農業への影響

- 平均気温の上昇
 - 栽培適地の移動
 - 積雪の減少による河川流量の減少
 - 高温障害による農畜産物の生産量減少・品質低下
 - 病虫害の増大
- 降水形態の変化
 - ダム貯水池や溜池の水温上昇
 - 連続干天・厳しい渇水の頻度の増大
 - 集中豪雨の程度・頻度の増大
- 平均海水面の上昇
 - 河口からの塩水遡上の拡大
 - 地下水への塩水浸入

地球温暖化の日本の農業への影響

これまでに確認された高温障害等の被害発生状況

水 稲

○ 白未熟粒の発生形態



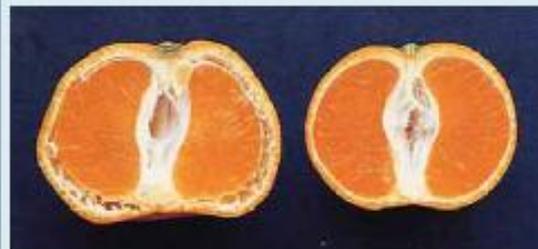
・水稲の登熟期(出穂・開花から収穫までの期間)の日平均気温が27℃を上回ると玄米の全部又は一部が乳白化したり、粒が細くなる「白未熟粒」が多発。

・特に、登熟期の平均気温が上昇傾向にある九州地方等で深刻化。

果 樹



高温によるみかんの「日焼け果」



高温によるみかんの「浮皮症」

〔成熟が進んでからの高温・多雨により、果皮と果肉が分離(品質・貯蔵性の低下)〕

着色不良



ぶどうの着色障害

〔高温によるアントシアニンの合成抑制〕

正 常



地球温暖化の日本の農村への影響

- 農村の水循環系の変化
- 土壌生態系の変化
- 植生への影響
- 野生動物・昆虫の生息分布の変化, 「獣害」
- 沼地・湿原の減少

- 里山など周辺での変化～『山火事』？
- 農家健康への影響（戸外労働環境）～熱中症発症の増加など

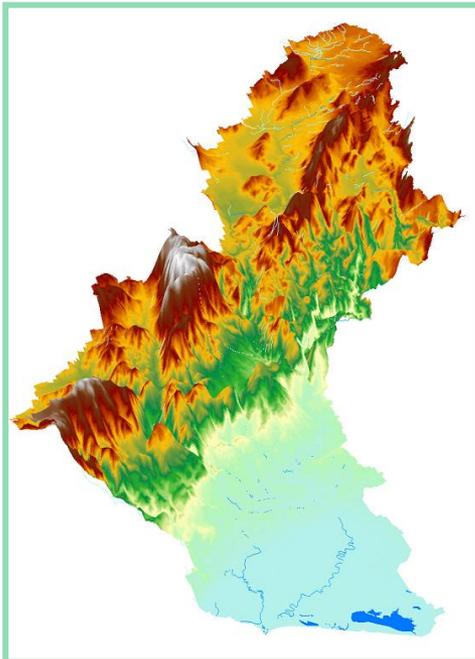
温暖化影響評価の例 ～地球研プロジェクト

乾燥地域の農業生産システムに
及ぼす地球温暖化の影響
ICCAP



調査研究主対象地域

トルコ・セイハン川流域



- ・ 地中海東岸地域
 - 地球温暖化への影響大
- ・ トルコ
 - 「ヨーロッパ」における食料生産の役割
 - 小麦生産の長い歴史
- ・ セイハン川流域
 - 流域面積 約25,000km²（淀川流域 8,420km²）
 - 流域単位で考えるのに適当な規模
 - 非国際河川
 - 異なる農業タイプの展開：天水農業・灌漑農業・遊牧

セイハン川流域

天水畑作地帯



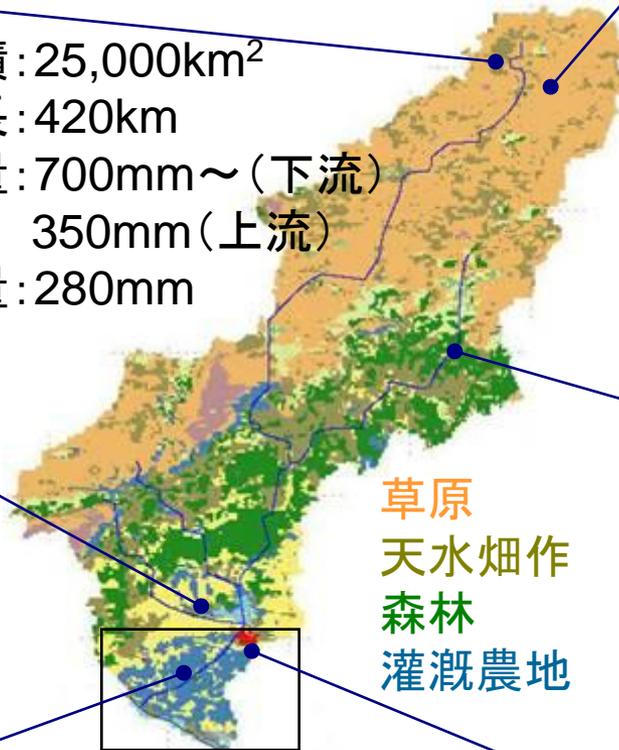
大規模貯水池



灌漑農地



流域面積: 25,000km²
主河道長: 420km
年降水量: 700mm~(下流)
350mm(上流)
年流出量: 280mm



草原
天水畑作
森林
灌漑農地

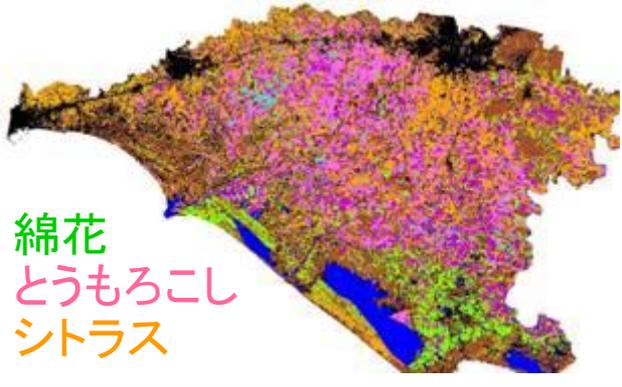
山岳地帯



森林地帯



アダナ市街地



綿花
とうもろこし
シトラス

農地



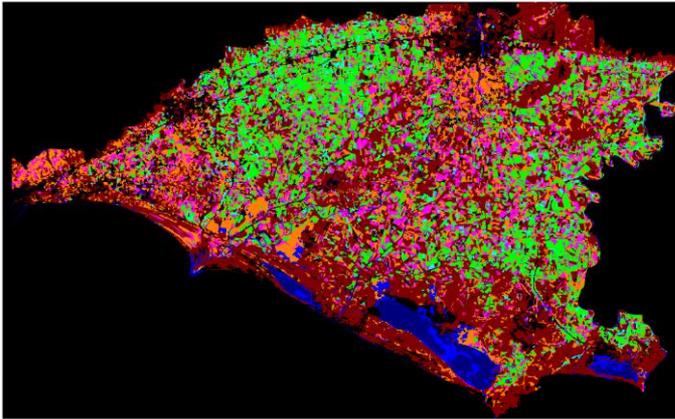
上流天水コムギ畑 rain-fed wheat



下流灌漑トウモロコシ畑 irrigated maize

セイハン川下流の土地利用

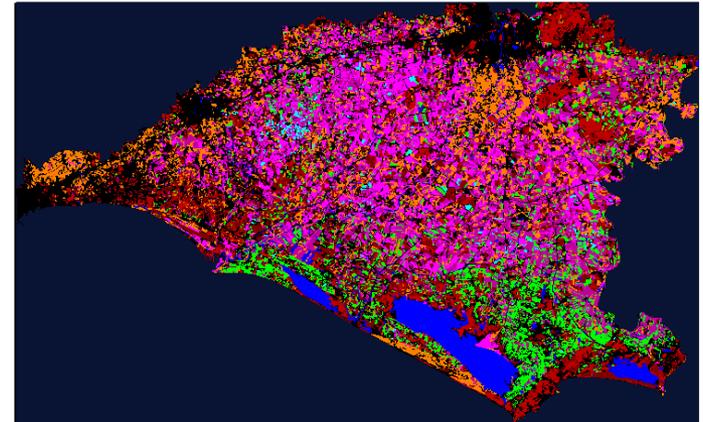
綿花



1985

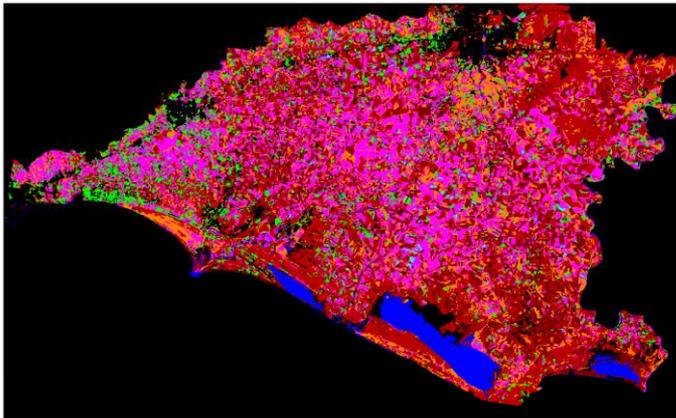
トウモロコシ

柑橘



2003

綿花

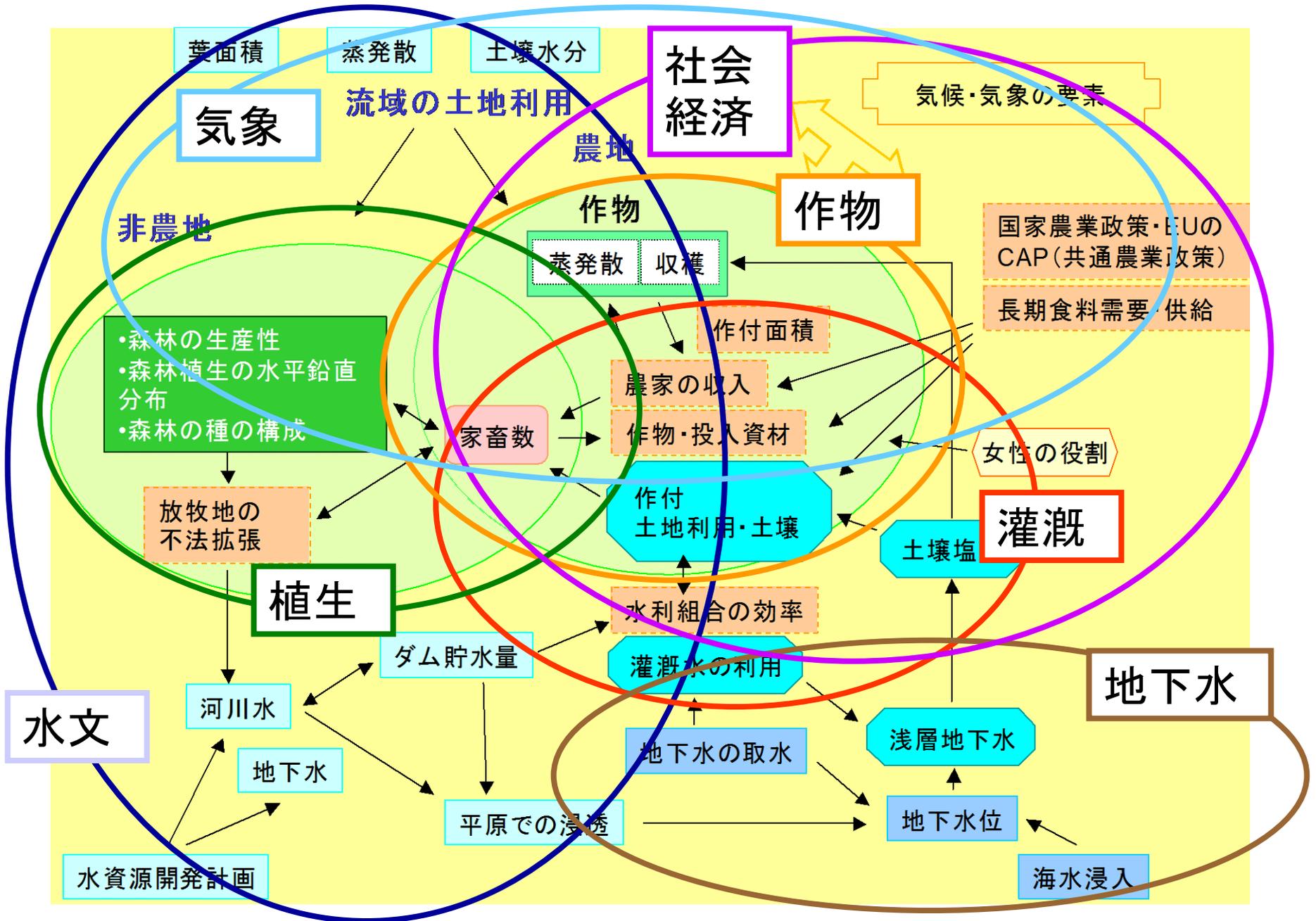


1993



Berberolgu, 2006

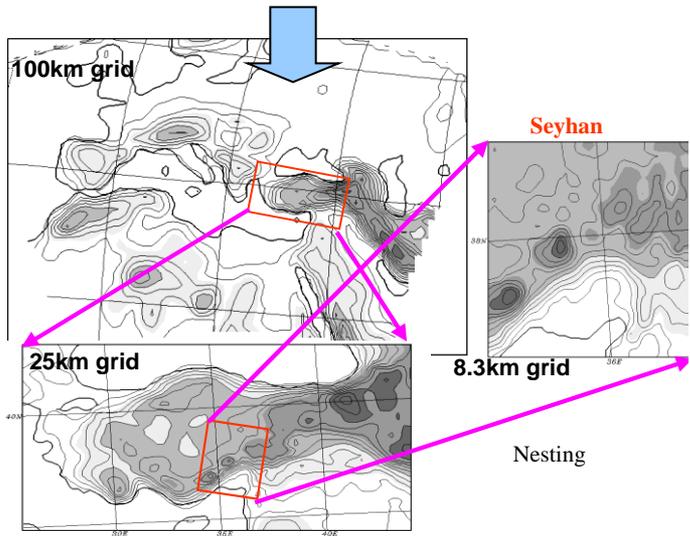
温暖化影響評価



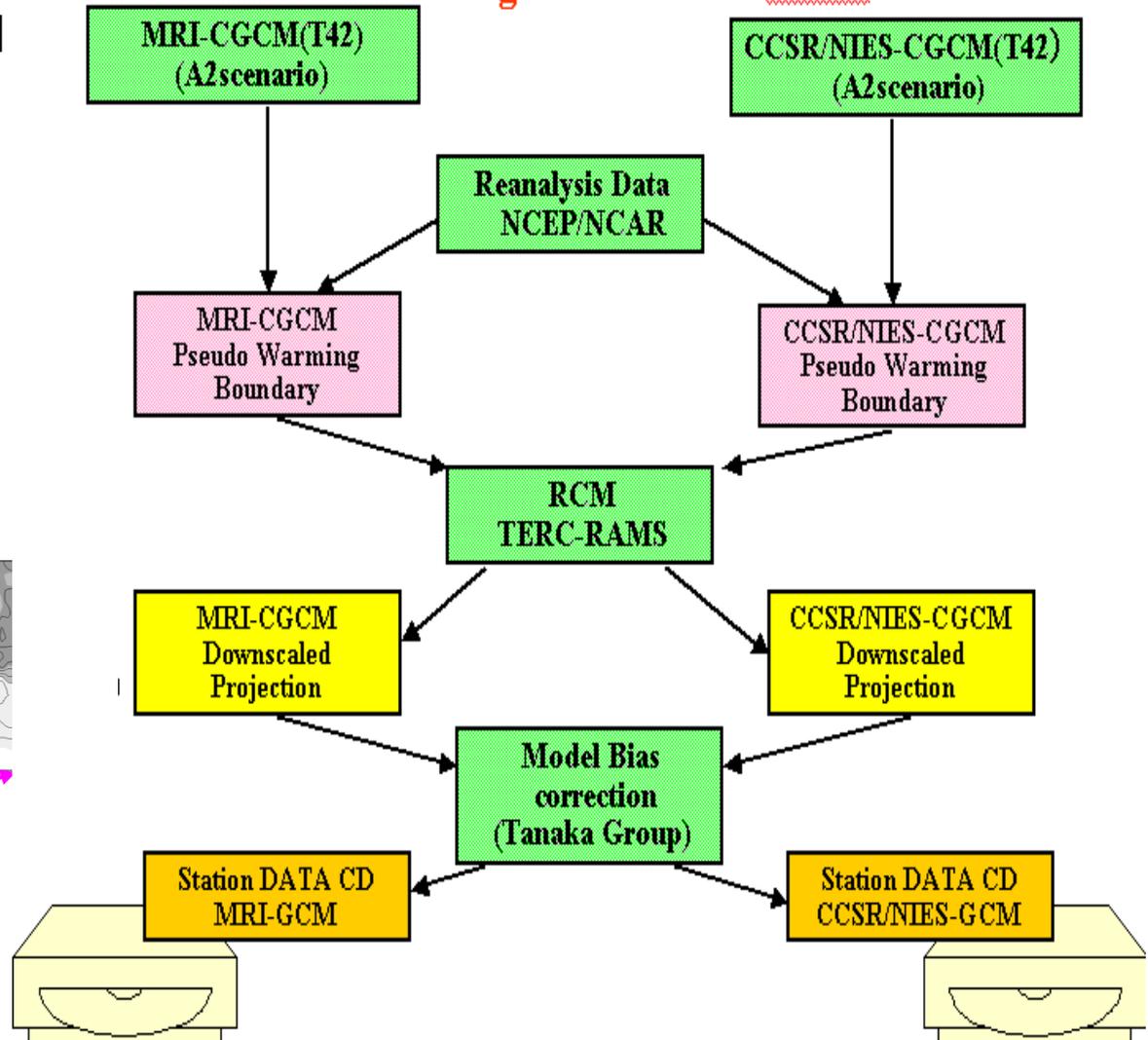
地域気候変化シナリオの設定

- Downscale to 8.3km grid
- For the 2070s
- Pseudo Warming Experiment

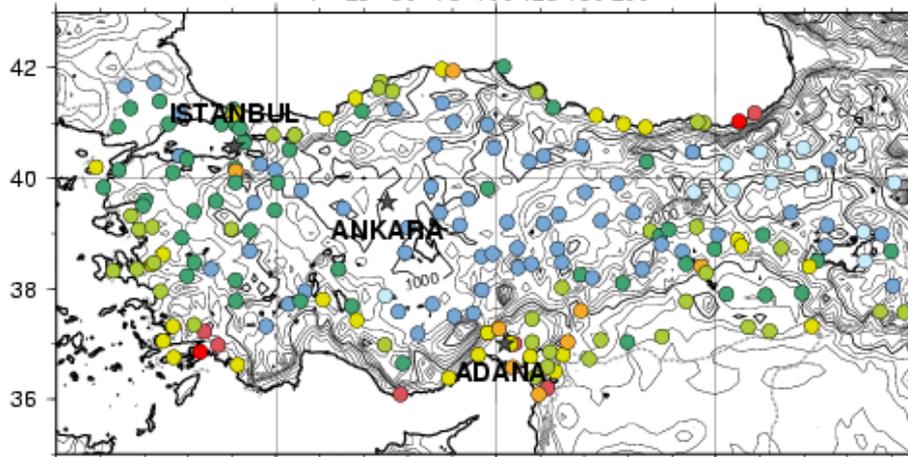
GCMs 250km grid



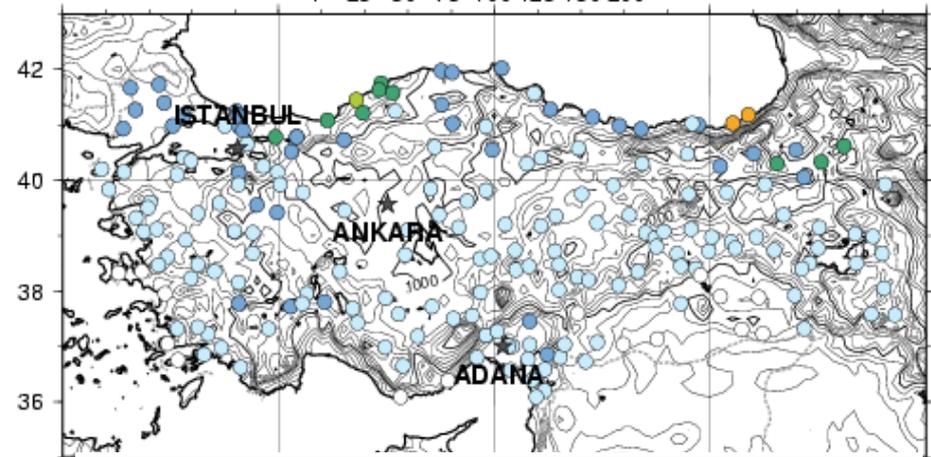
Downscaling from different GCMs



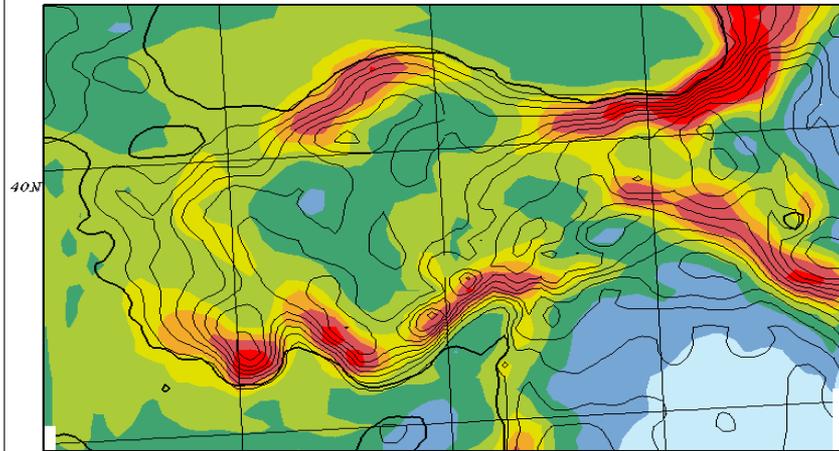
Monthly Precipitation::1994-2002_01



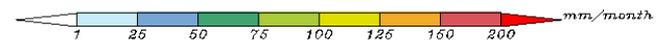
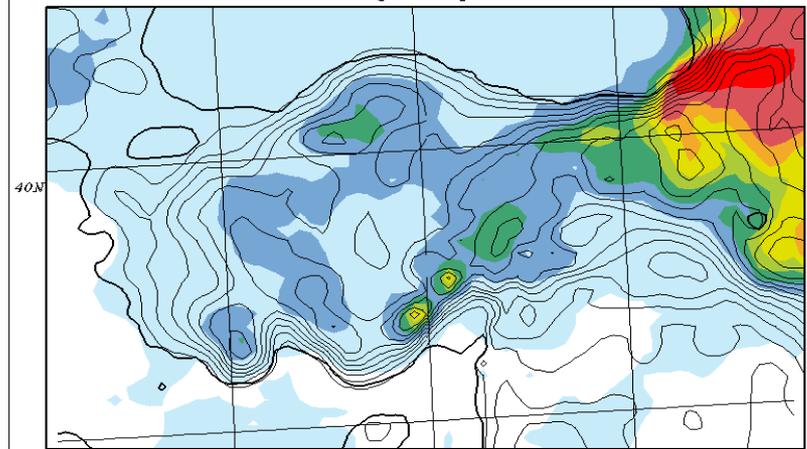
Monthly Precipitation::1994-2002_07



Jan 1994-2003 RCM-NCEP-CTL
Monthly Precipitation



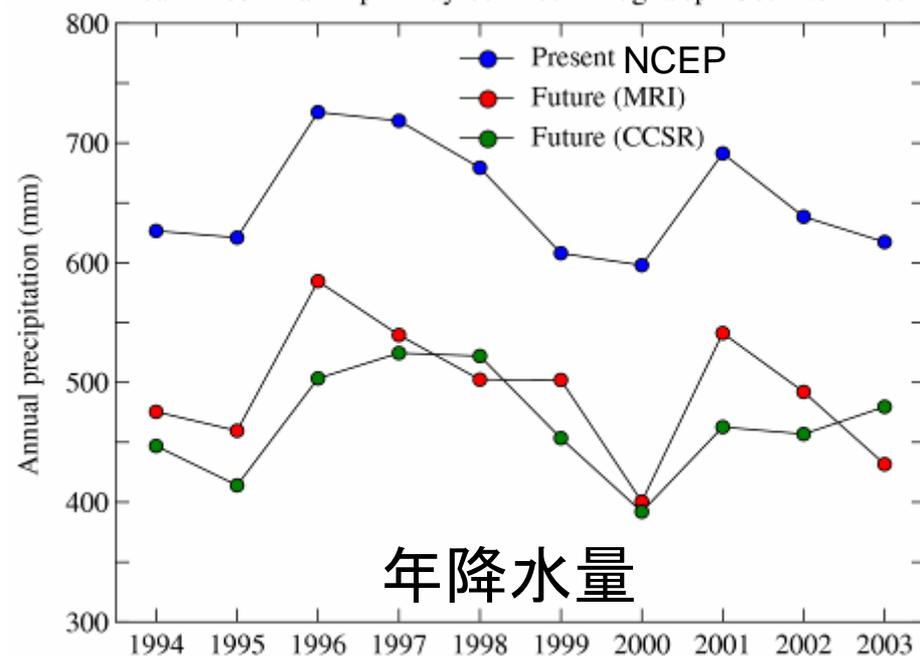
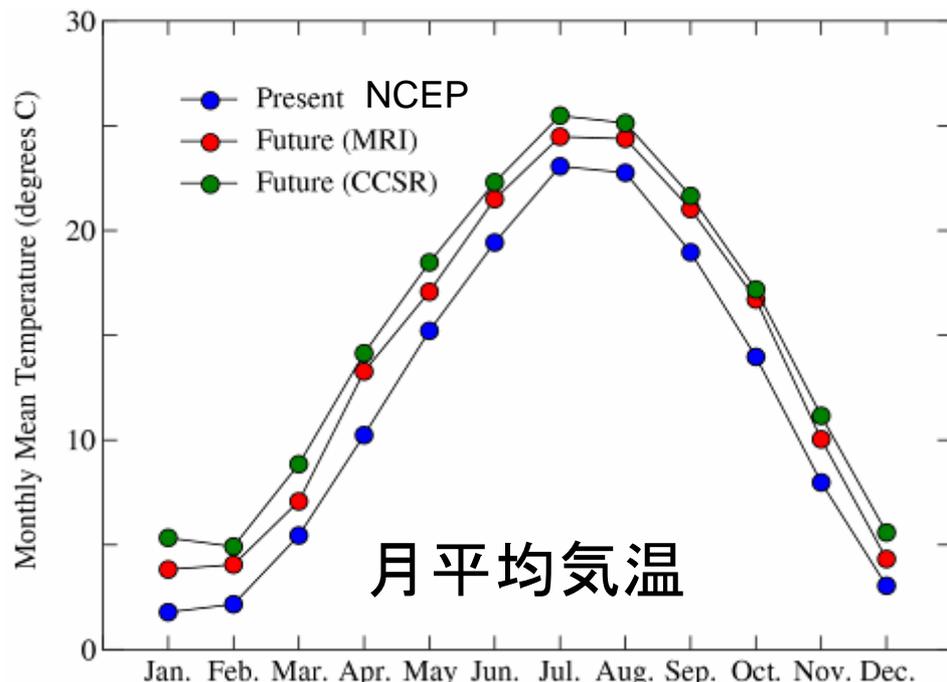
Jul 1994-2003 RCM-NCEP-CTL
Monthly Precipitation



Ten year mean monthly observed (Top) and hindcast (Bottom) precipitation in January (left) and July (right), during 1994-2003, but nine years during 1994-2002 for observation.

地域気候変化シナリオ

- トルコでは2070年代では、気温はどの季節でも2～3.5度上昇する。GCMにより差がある。
- セイハン川流域の降水量は夏を除いて25%程度減少する。GCMによる差は小さい。



主要作物コムギ生育への影響

- 開発した作物モデルによるとコムギの収量は増加すると予想される。
 - 気温上昇とCO₂濃度増大による増収
 - 降水量減少による減収
 - 高温障害が生じる可能性
 - 低温障害が生じる可能性も
- EU加盟・価格上昇の影響

MRI CO₂ 370ppm



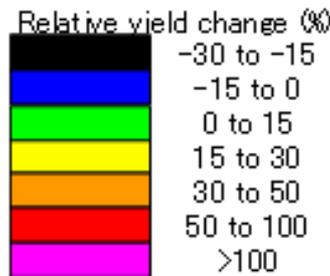
CCSR CO₂ 370ppm



MRI CO₂ 690ppm

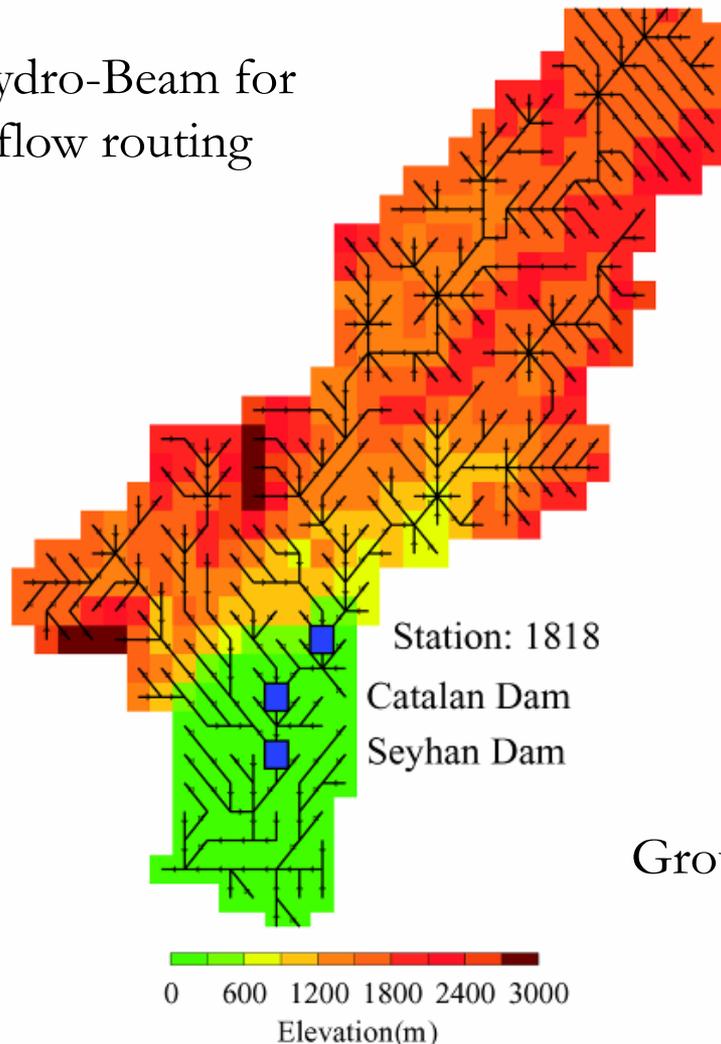


CCSR CO₂ 690ppm

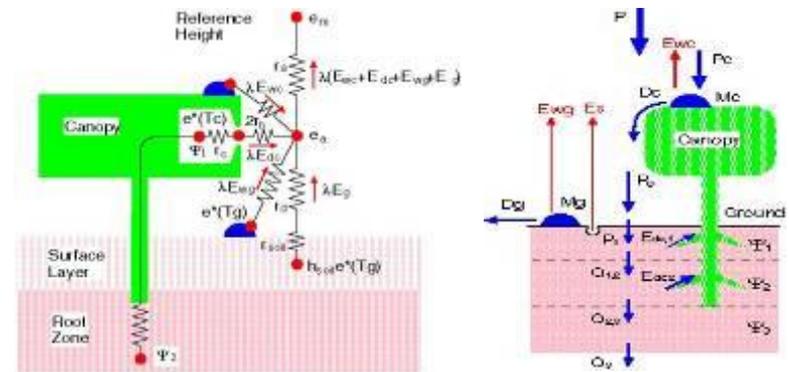
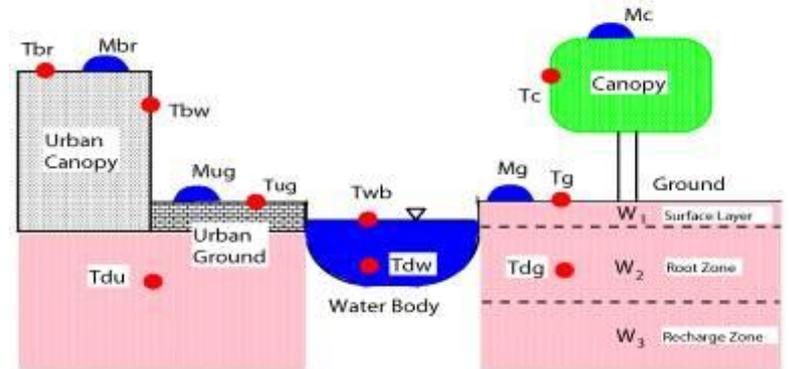


流域水文モデルと 下流デルタ地下水流動モデル

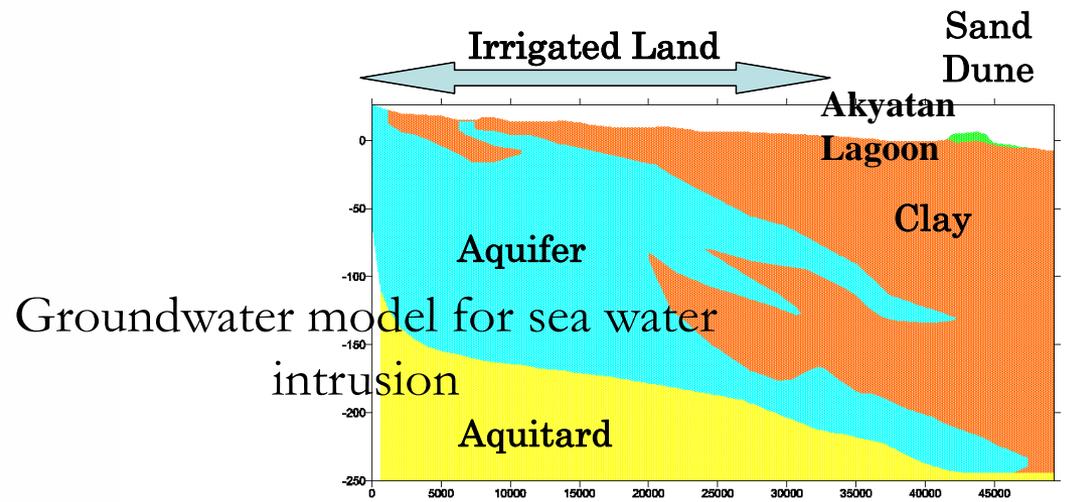
Hydro-Beam for
flow routing



Boundary Condition : $T_m, E, F, U, F(t), P, \alpha(t)$
● Z_m (Reference Height)

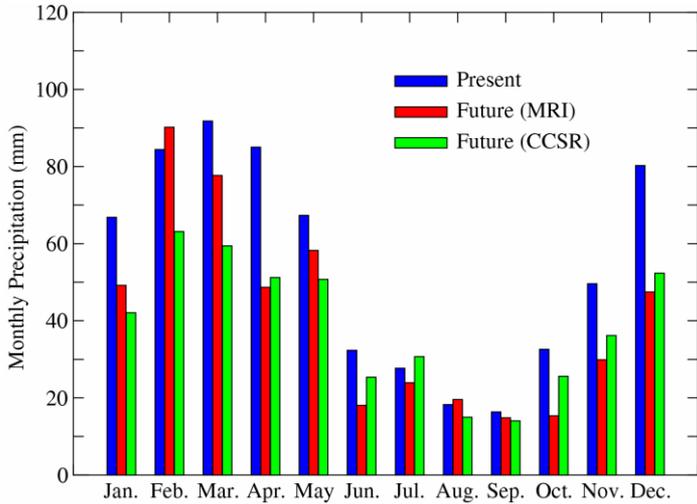


SiBUC for Surface Dynamics

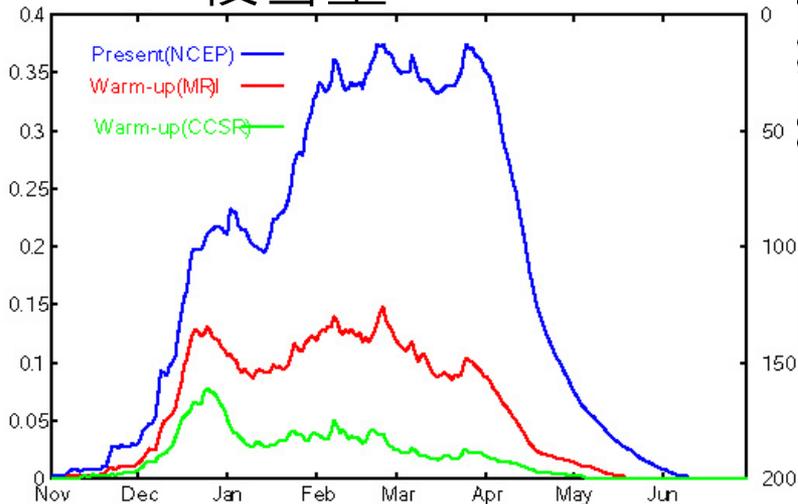


流域水文・水資源への影響

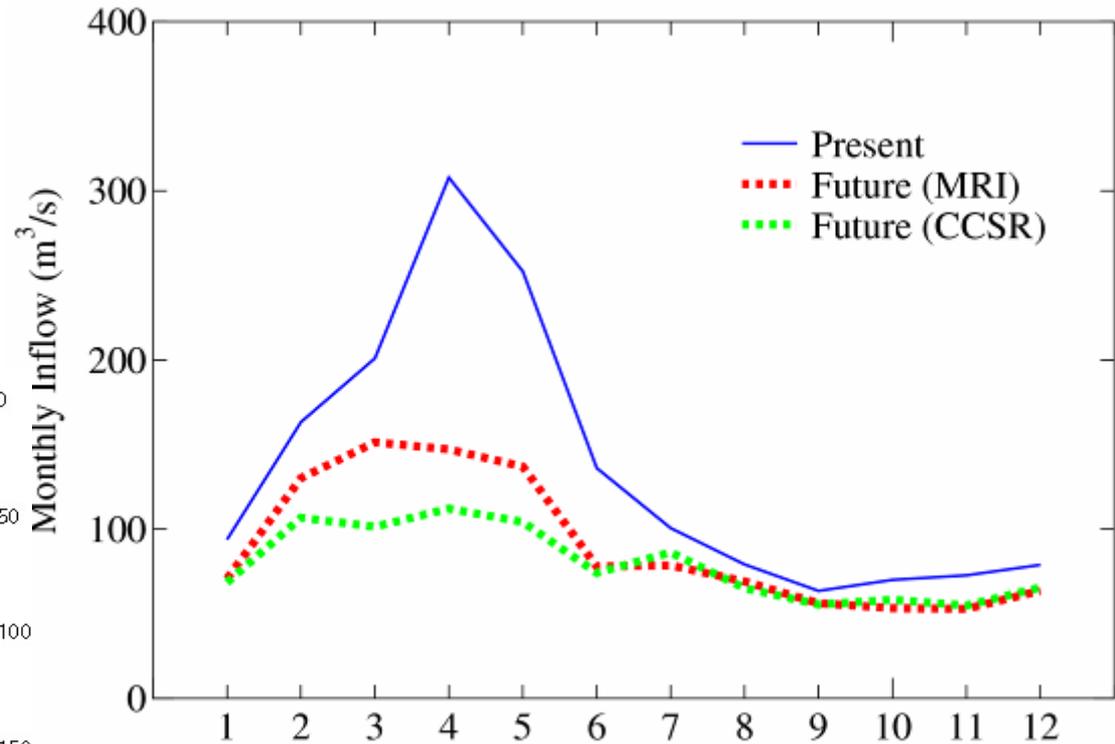
降水量



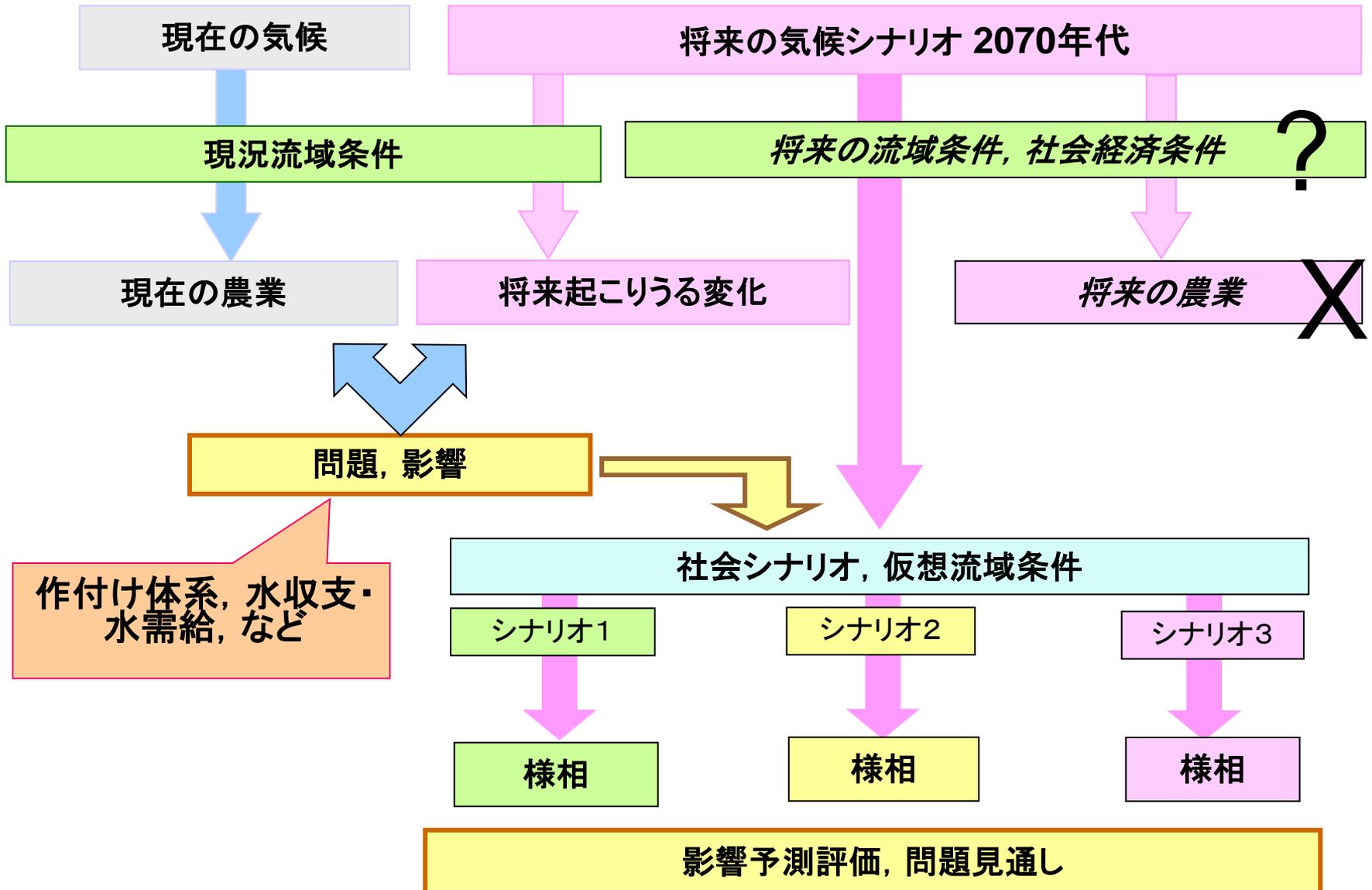
積雪量



セイHANDAMへの流入量の減少

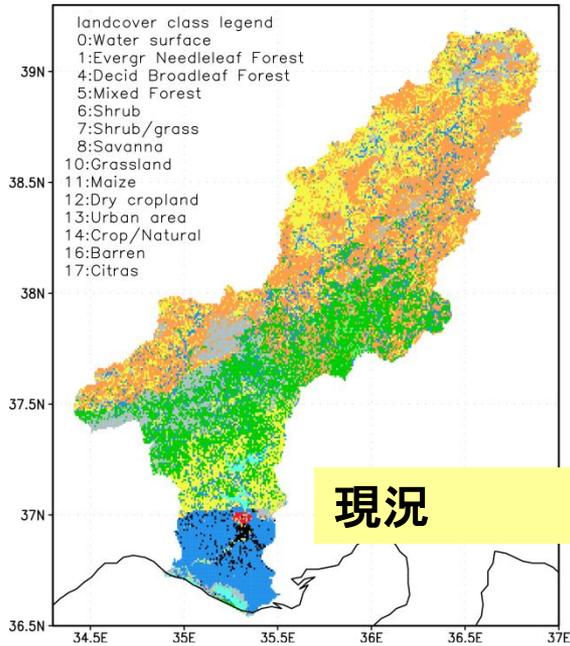


影響評価へのアプローチ



社会シナリオ・仮想流域条件

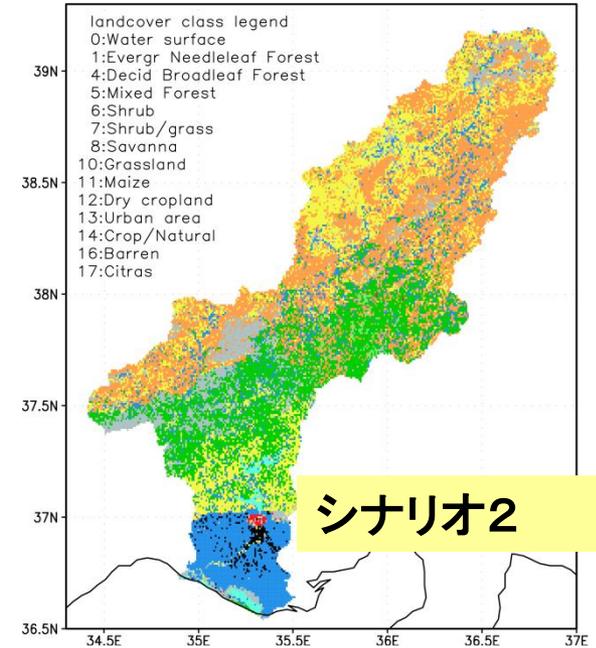
- 現況 Present
- 将来 Future
 - 現況に同じ
- シナリオ1 - 受動的対応, 低投資
 - 天水コムギの減少
- シナリオ2 - 積極的対応, 高投資
 - 中・下流部の灌漑拡大
 - 新貯水池建設
 - 灌漑効率改善
- シナリオ3 - 地下水利用拡大想定
 - 中・下流部の灌漑拡大
 - 下流デルタ地下水利用増大



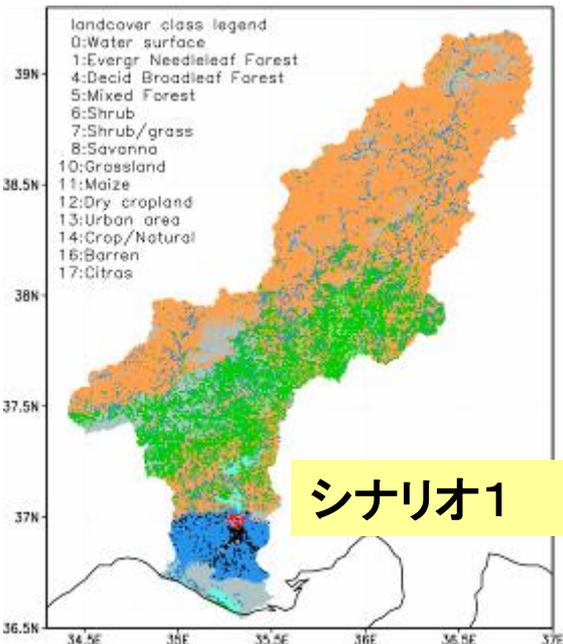
現況

社会シナリオ ごとの流域土 地利用

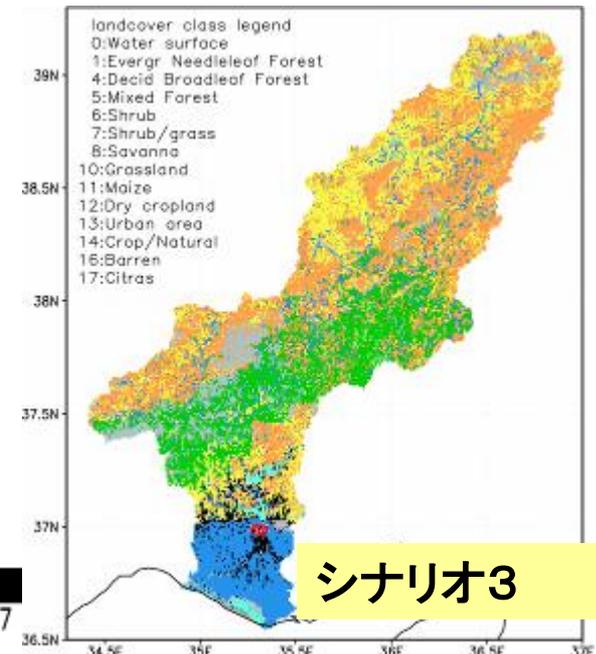
- 0: Water surface
- 1: Evergreen Coniferous Forest
- 4: Deciduous Broadleaf Forest
- 5: Mixed Forest
- 6: Shrub
- 7: Shrub/grass
- 8: Savanna
- 10: Grassland
- 11: Maize
- 12: Dry cropland
- 13: Urban area
- 14: Crop/Natural
- 16: Barren
- 17: Citrus



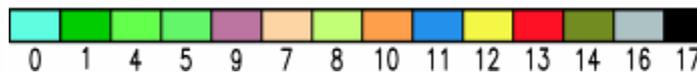
シナリオ2



シナリオ1

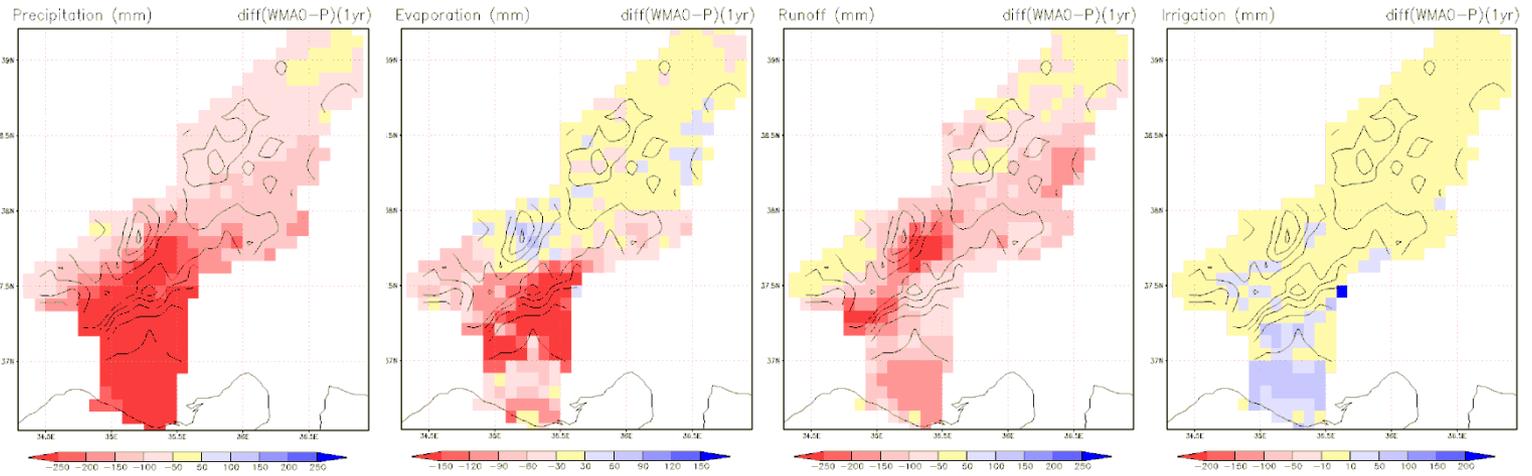


シナリオ3

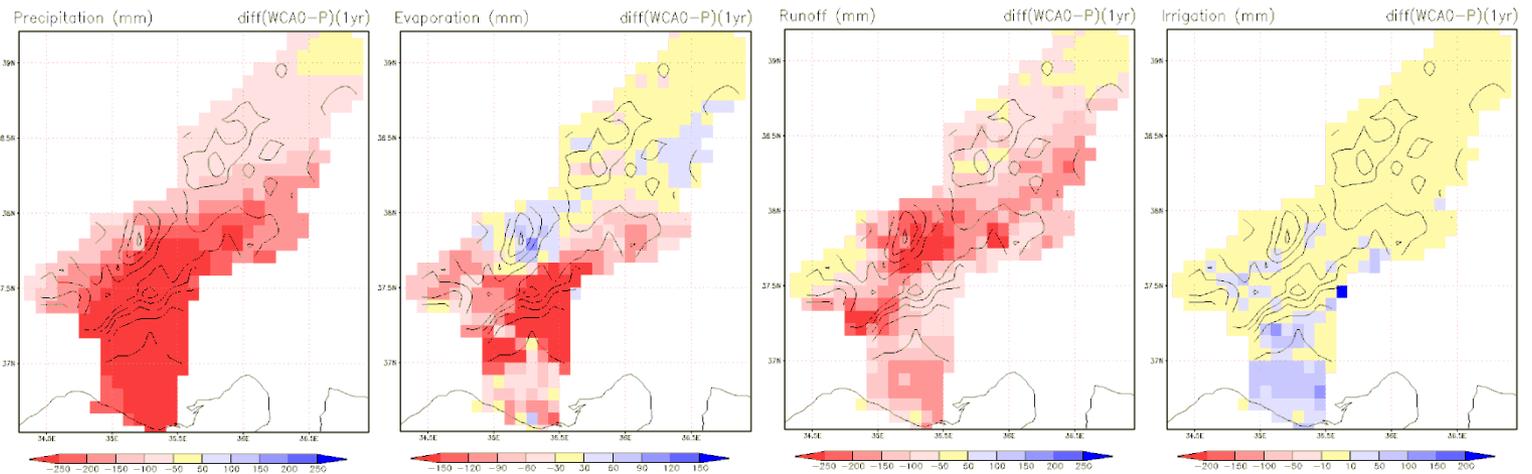


年間の水収支

MRI



CCSR



降水量

蒸発散量

流出量

灌漑用水量

下流デルタの灌漑農業の変化見通し

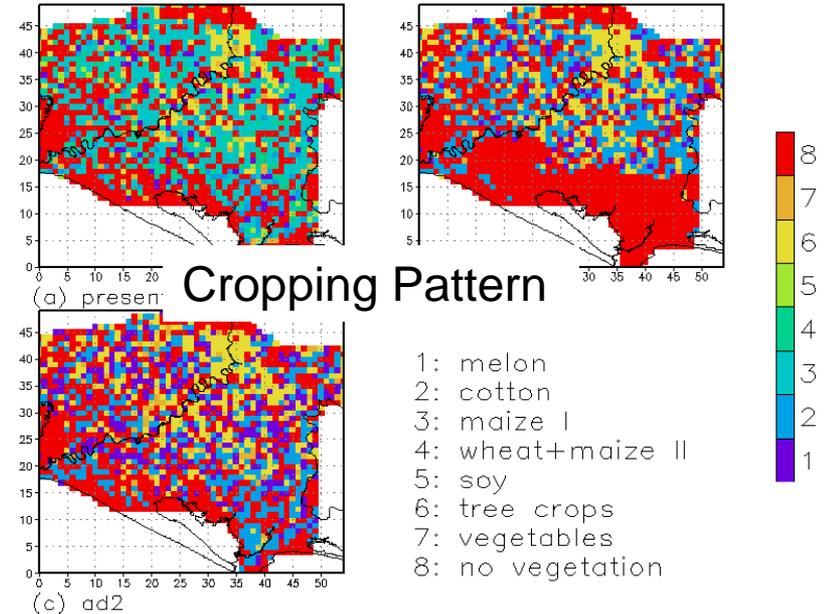
Social Scenarios or Assumed Condition of the Basin

Future Climate Scenario

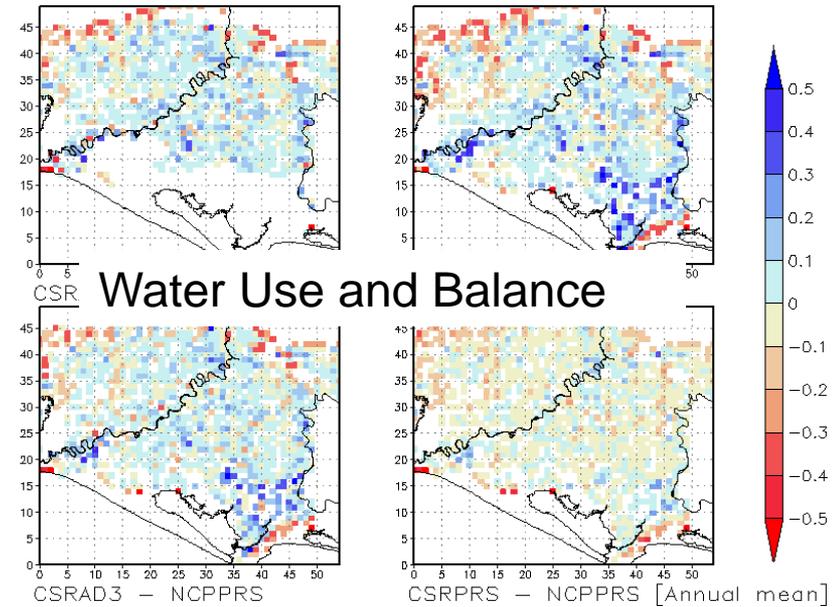
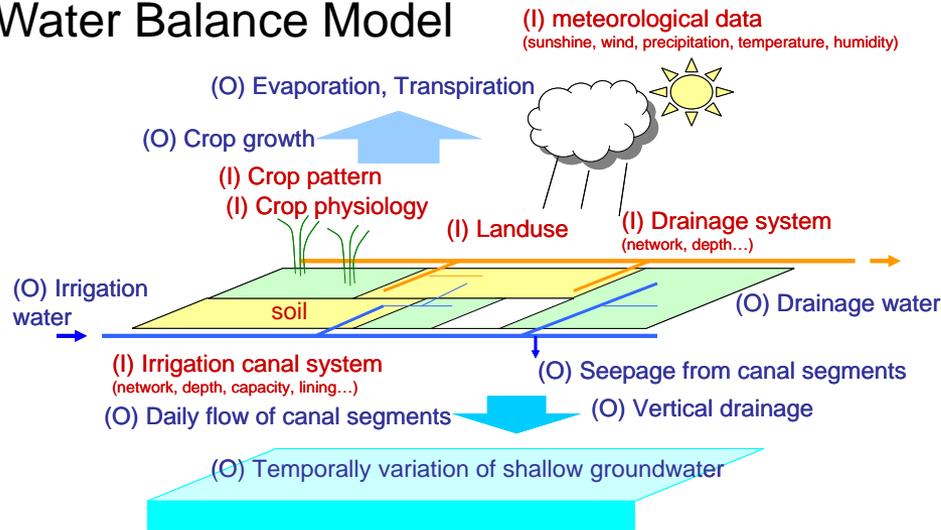
Future Available Water Resources for LSIP

Future Cropping Pattern (Cropped area) in LSIP

Future Water Balance of LSIP



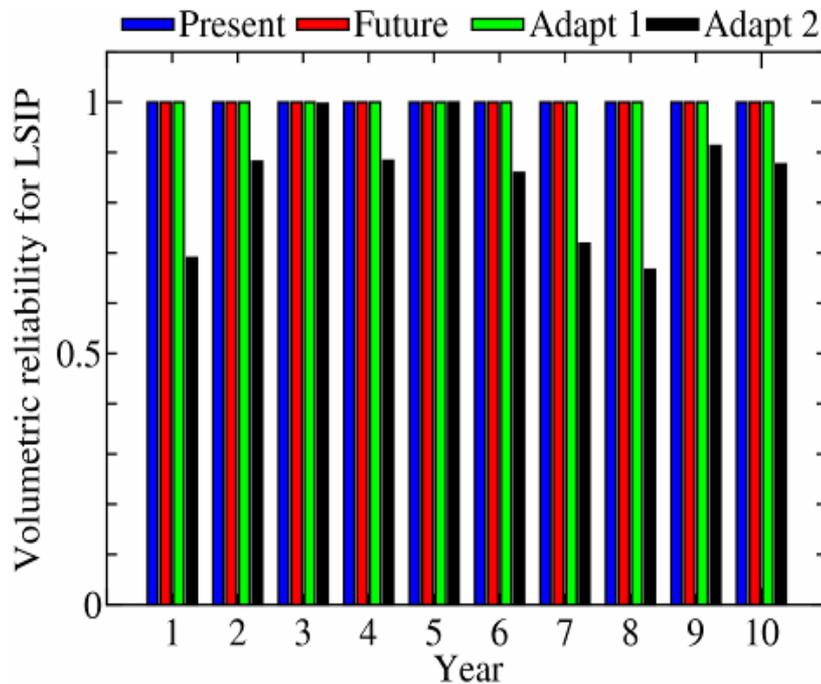
Water Balance Model



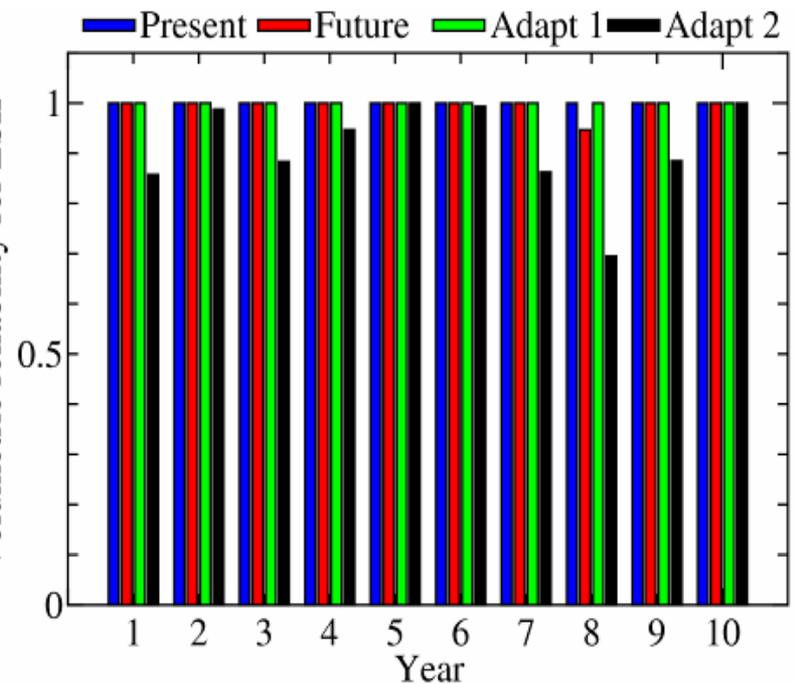
貯水池補給の〈信頼度〉の変化

〈信頼度〉 = 用水供給 / 用水需要

- ・ 上流での用水利用拡大に伴う下流デルタの灌漑の用水不足可能性(シナリオ2)



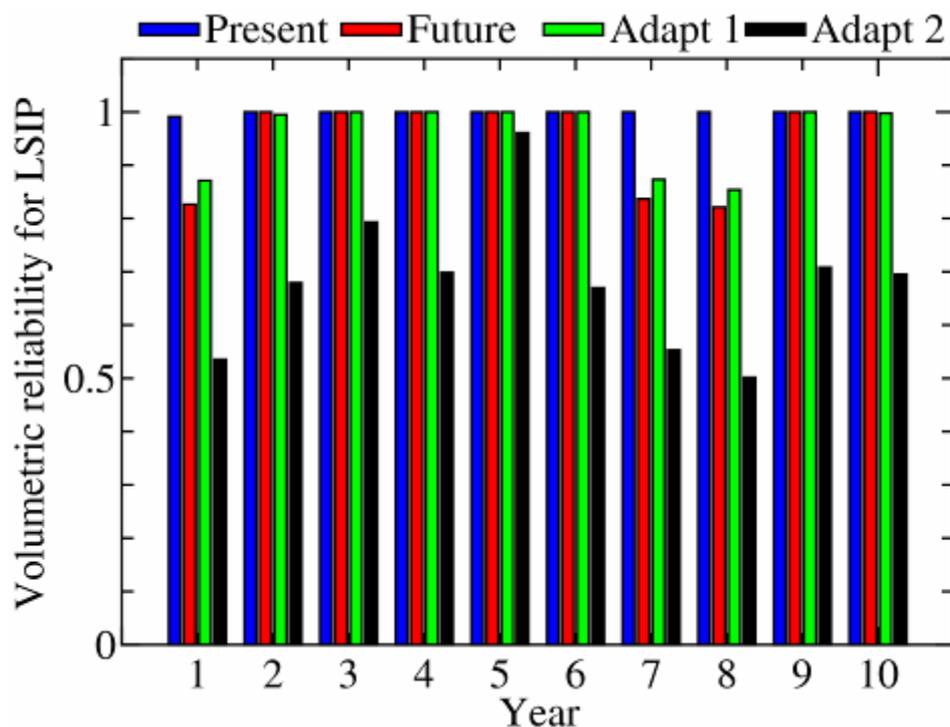
MRI



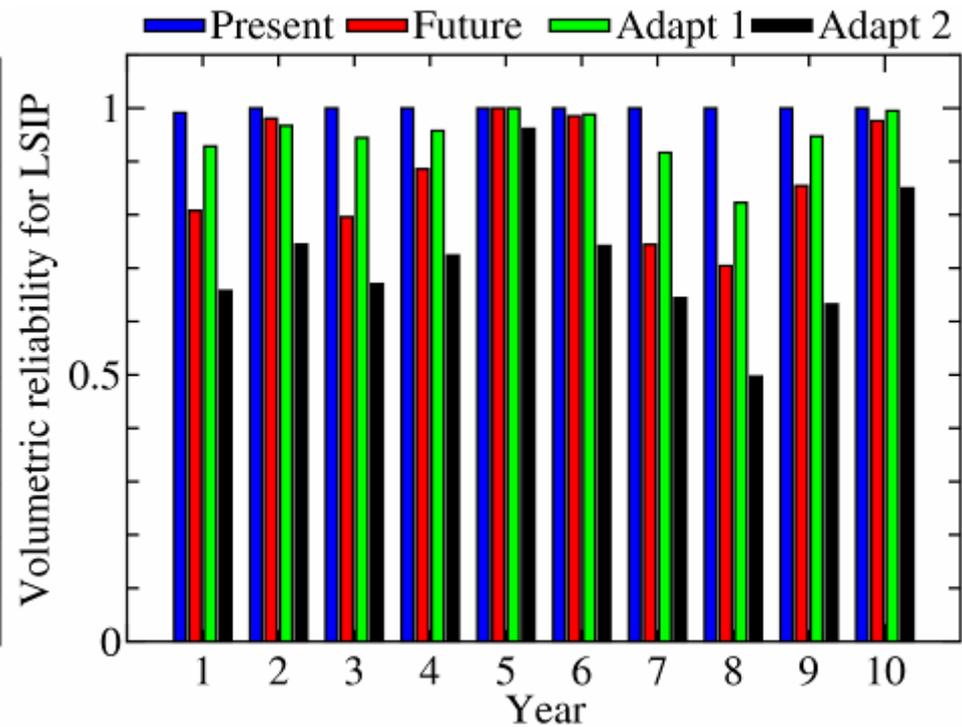
CCSR

貯水池補給の<信頼度> 変化 「環境用水」配慮ケース

- Reliability = Supply / Demand Water



MRI



CCSR

下流デルタの灌漑農業の変化

- 現行の作付体系なら用水需要にほぼ対応できる.
- 上流で灌漑が拡大し, 下流で野菜・果樹栽培が拡大すれば, 用水不足が起こる.
- 用水不足に対して地下水揚水を増加させると, 地下水位低下や塩水浸入が進む可能性が生じる.

課題

- 気候変化・流域変化シナリオによる影響評価
- 気候変動の農業への影響の進行過程のモニタリング
- 「望ましい」農業・土地水管理
- 水質や物質循環と水環境の形成機構の考察
- 他の地域での適用・検討
- 不確定な変化・変動
- 「順応的」適用
- 地域の農業システムと水管理組織の機能

