

# 超長期の地球温暖化の予測—濃度安定化効果の評価—

## 背景

2005年2月、京都議定書が発効し、今後は、途上国の参加も含めて、長期的な削減交渉が活発化すると予想される。しかし、大気中の温室効果ガス濃度の安定化効果についての予測はほとんどなされていない。

## 目的

国連温暖化防止条約の究極の目標（第2条）は、気候への“危険な人為的干渉”を引き起こさないように、大気中温室効果ガス濃度を安定化させることである。このため、2100年から温室効果ガスの大気中濃度を一定にすると仮定した濃度安定化シナリオについて、超長期の温暖化予測を行い、濃度安定化効果を把握する。

## 主な成果

### 1. 予測に用いた気候モデルと濃度シナリオ

温暖化予測には、米国大気研究センター（NCAR）の大気海洋結合モデルCCSM3をベースとして、世界最高速クラスの地球シミュレータに最適化した計算コード（解像度は大気約150km、海洋約100km）を使用した。IPCC特別報告書（2001）のA1B、B1シナリオ（2000年～2100年）をベースとし、2100年時点において大気中温室効果ガス（CO<sub>2</sub>、メタン、フロン等）濃度を一定とする2種類の安定化シナリオ（CO<sub>2</sub>濃度だけに注目してA1B+名目750ppm、B1+名目550ppm安定化シナリオと呼ぶ）、気候の復元効果を検討するため、濃度を直線的（750ppm→550ppm）に減少させる電中研独自のオーバーシュートシナリオについて検討することにした。IPCC統合報告書（2001）では、濃度を安定化しても気候が安定するには数100年～千年かかると予想されている。この仮説を確かめるため、出来るだけ長期間の予測計算（2450年まで）を行った。

### 2. 予測結果と世界エネルギー政策への示唆

- (1) 一つのシナリオについて3ケースの計算を同時に行うアンサンブル予測手法を新たに採用し、統計値としてアンサンブル平均値を用いることにより、気温上昇などのモデル再現性が格段に向上した（図1）。
- (2) 温暖化による100年後の世界として、気温、降水量、凍土融解等を予測した。濃度を安定化することにより、深層海流の減少に歯止めがかかり、寒冷化等のカタストロフィーは防止できることが分かった。しかし、海水の熱膨張による海面上昇には歯止めがかからず、海面上昇が長期間継続することが分かった。
- (3) A1B+名目750ppm濃度安定化シナリオでは、気温の安定化に長い時間がかかり（図2）、その間に海水の消滅などの“危険な人為的干渉”を引き起こす懸念がある（図3）。濃度750ppmは、温暖化防止の濃度目標としては高すぎる可能性がある。しかし、オーバーシュートシナリオは、気温低下等の気候復元の可能性が高く、全球的な削減が困難な場合や削減が遅れた場合のリスク評価として有効である。
- (4) B1+名目550ppm安定化は、濃度安定化目標の1つである。しかし、気候変化への生態系適応限界等は不明であり、濃度安定化レベルの高低を判断できる適切な指標の検討が必要である。

本研究は文部科学省受託研究「人・自然・地球共生プロジェクト」（H14～H18年度）の成果である。

## 今後の展開

地域スケールの気候変化予測精度向上のため、高解像度大気海洋結合モデルを開発する。

主担当者 環境科学研究所 物理環境領域 研究参事 丸山 康樹（研究サブテーマ担当：吉田 義勝、筒井 純一、仲敷 憲和、西澤 慶一、北端 秀行、金 東勲、津旨 大輔、坪野 考樹）

関連報告書 「平成16年度研究成果報告書」受託報告：V990401（2005年5月）  
「平成15年度研究成果報告書」受託報告：U990304（2004年5月）

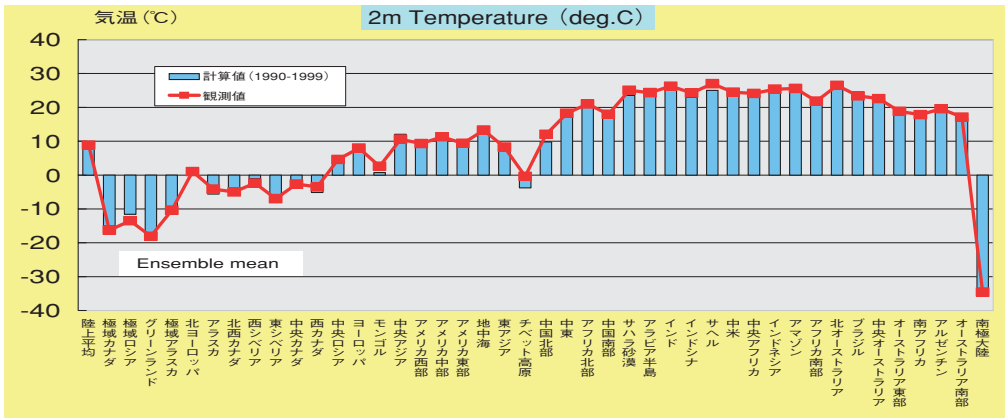


図1 温暖化予測モデルの再現性の検討（赤線が観測値、青棒が計算値）

計算は3つのアンサンブル計算結果の10年間平均値、観測値は20世紀末の気候値

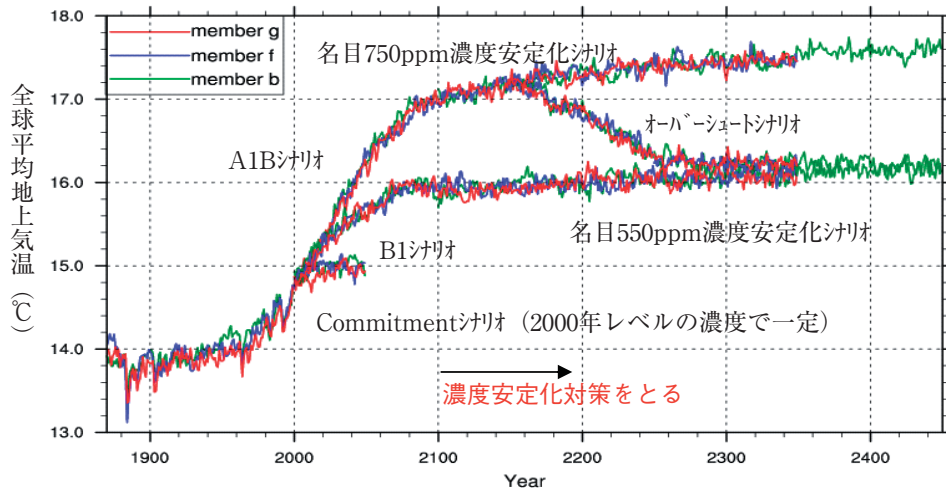


図2 全球レベルの気温上昇予測結果（全シナリオ）

A1Bシナリオは「世界経済の格差縮小社会」、B1シナリオは「環境の持続可能性を重視した社会」を意味し、アジアにおける2100年の一次エネルギーの約50%がA1Bでは再生可能エネルギー、B1では原子力発電によって供給されると想定。21世紀末の気温、降水量（各10年間平均）は、A1Bでは約2.5℃、約6%の増加、B1では約1.5℃、約3.9%の増加と予測された。A1Bでは、2100年における濃度安定化後も長期間にわたって気温が上昇を続ける。

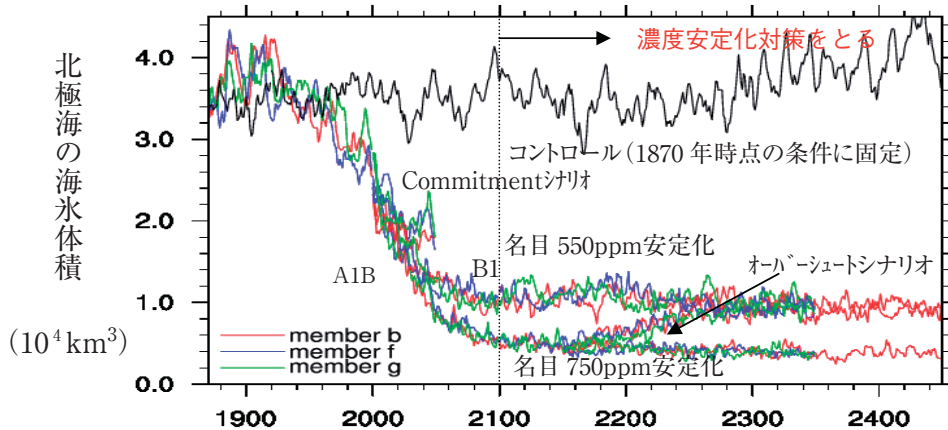


図3 北極海の海水体積の減少

21世紀末において、海水体積は約80%（A1B）、約65%（B1）減少する。名目750ppm安定化では、2100年以降も海水体積は僅かに減少を続け、消滅する可能性がある。

## 地球温暖化防止の長期目標の検討—濃度レベルと“危険な影響”—

### 背景

国連温暖化防止枠組み条約の究極の目標は、気候系への危険な人為的干渉(ここでは、“危険な影響”と呼ぶ)を避け、生態系、食糧生産への影響が少なく、経済発展と両立するように、大気中のCO<sub>2</sub>等の温室効果ガスがある濃度レベルで安定化(一定)させることである。EU等では、ポスト京都議定書に向け、産業革命以降の全球平均気温上昇を2°Cに抑えることを主張している。しかし、適切なCO<sub>2</sub>濃度安定化レベルに関しては、科学的知見は十分とは言えない状況にある。

### 目的

地球温暖化防止の長期目標の議論に科学的に貢献するため、世界最高速クラスの地球シミュレータによる超長期温暖化予測を行う。その結果を詳細に解析し、CO<sub>2</sub>濃度安定化レベルと“危険な影響”の関係を明らかにする。

### 主な成果

#### 1. 予測に用いた排出シナリオと超長期温暖化予測

IPCC特別報告書SRESの中排出世界A1Bシナリオ(再生可能エネルギーを大幅導入)、低排出世界B1シナリオ(原子力を大幅導入)をベースとして、2100年以降のCO<sub>2</sub>など温室効果ガス濃度を一定とした濃度安定化シナリオ(それぞれ約750ppm、550ppm安定化と呼ぶ)、電中研提案のovershootシナリオ(図1)について、2450年までの超長期の温暖化予測計算を実施した。仮に、2100年以降においてゼロエミッション世界(例えば経産省報告)を実現できれば、overshootシナリオのように、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が低下する可能性がある。予測には、共同研究機関である米国大気研究センター(NCAR)の大気海洋結合モデル(CCSM3;空間解像度は大気160km、海洋110km)を使用した。

#### 2. “危険な影響”

- (1) A1Bシナリオでは、21世紀において北半球の高緯度地域における凍土が急激に融解する。東シベリアとアラスカでは、20世紀末にすでに凍土が融け始めており、観測と良く一致する(図2)。
- (2) 海洋の熱塩循環(図3のように大規模な上昇・下降流)は、太陽放射エネルギーを高緯度地域に運ぶ働きをしている。しかし、温暖化による水温上昇や海水減少の影響で海水の密度が軽くなるため、循環が弱くなる可能性がある。予測結果では、熱塩循環の一部であるグリーンランド周辺の鉛直断面循環MOCは、A1B、B1とも流量が減少するが、濃度安定化により減少に歯止めがかかる(図4)。また、MOC減少による北大西洋の気温低下をCO<sub>2</sub>濃度増加による全球的な気温上昇が打ち消すため、氷河期のような寒冷化は生じないことがわかった。
- (3) 北極海の海水面積は季節変化をしているが、温暖化により急激に減少し、A1Bシナリオでは21世紀末の9月では無氷状態になる(図5)。海水の熱膨張による海面の上昇は濃度安定化によっても歯止めがかからず、長期間継続する可能性がある。また、Overshootシナリオの復元効果も少ない(図6)。海面上昇には熱膨張の他に、グリーンランドや南極の氷床融解の影響が大きい。その精度良い予測は今後の大きな課題である。

#### 3. 温暖化防止の長期目標への示唆

今回の予測結果から判断すると、A1Bシナリオと750ppm濃度安定化は“危険な影響”を引き起こす可能性がある。B1シナリオと550ppm濃度安定化は長期目標の一つの候補と考えられるが、適切な濃度安定化レベルに関しては、生態系、食糧生産等への影響について、詳細な科学的検討が必要である。

本研究は文部科学省受託研究「人・自然・地球共生プロジェクト」(H14～H18年度)の成果(\*)である。

### 今後の展開

温暖化による気候変化と生態系の相互フィードバック等を予測検討できる地球システムモデルを開発する。

主担当者 環境科学研究所 物理環境領域 重点課題責任者 丸山康樹(サブテーマ担当:吉田義勝、筒井純一、仲敷憲和、西澤慶一、北端秀行、金 東勲、朴 惠善、津旨大輔)

関連報告書(\*) 「平成17年度研究成果報告書」受託報告:V×××(2006年5月)  
「平成16年度研究成果報告書」受託報告:V990401(2005年5月)



## C. エネルギーと環境の調和

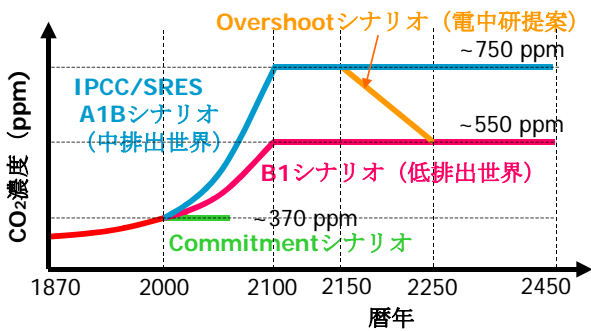


図1: 温暖化予測に採用した排出シナリオ。精度向上のため、1つのシナリオに対して初期値の異なる3種類(メンバーb、f、g)について計算するアンサンブル予測手法を採用。

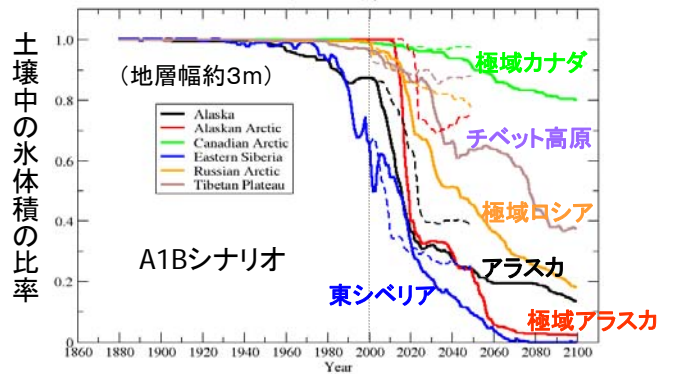


図2 高緯度地域の凍土融解(A1Bシナリオ) 東シベリアとアラスカでは、2000年以前から土壤中の水が融解する。

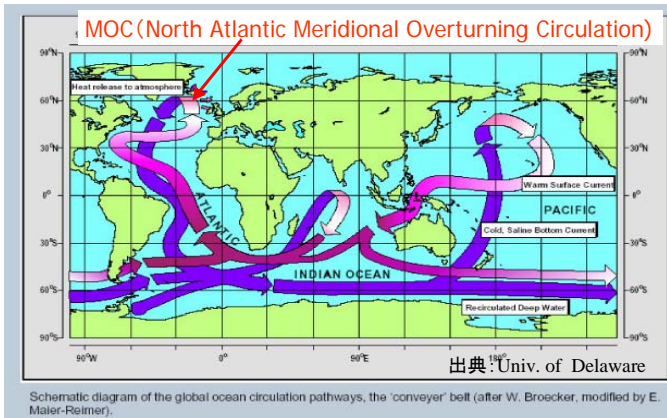


図3 熱塩循環と北大西洋の鉛直断面循環(MOC)の模式図

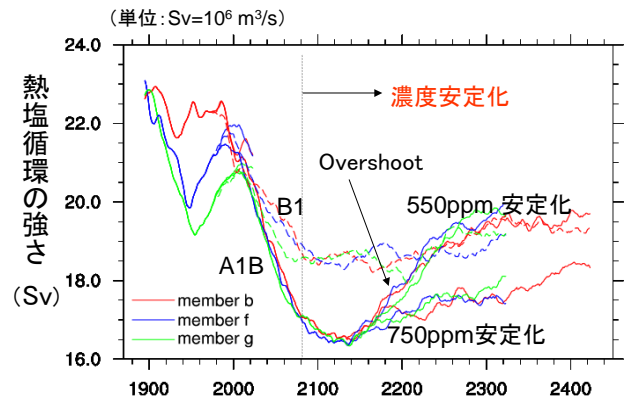


図4 MOCの流量変化 21世紀末ではA1Bで約24%、B1で約16%減少するが、濃度安定化の効果でMOCの減少に歯止めがかかる。

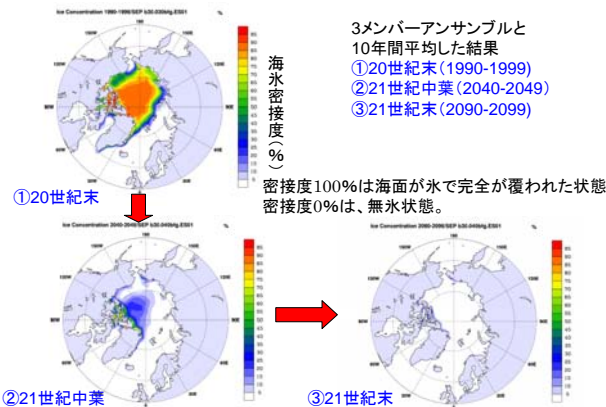


図5 北極海の海水面積(密接度)の変化(9月) A1Bでは、21世紀末において、夏場の9月に無氷状態になる。

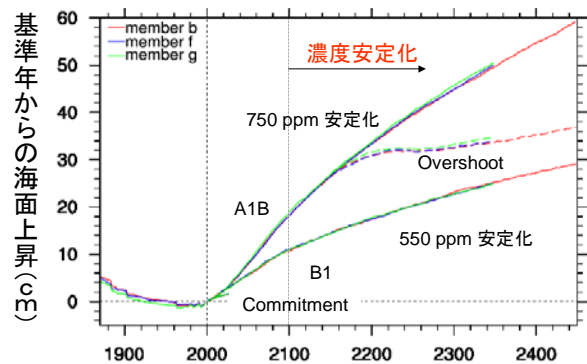


図6 熱膨張による海面上昇 2100年で、A1Bでは約18cm、B1では約11cm上昇する。長期間にわたって海面上昇が続く可能性がある。

# 地球温暖化影響の科学的評価—降水量増加と旱魃—

## 背景

地球温暖化による気温上昇については良く知られている。しかし、降水量(雨、雪)の変化については、洪水と旱魃の頻度がともに増加するなど、一見すると矛盾する予測結果が報告されている。IPCC の第 3 次評価報告書 TAR(2001)の時点では、気候モデルの信頼性と計算機性能が共に不十分であったため、降水量の変化特性は良くわかっていない。

## 目的

地球温暖化による降水量の変化について、世界最高速クラスの地球シミュレータによる予測結果を詳細に解析し、観測結果等と比較することにより、降水量変化の特性を把握する。

## 主な成果

### 1. 解析に用いたデータの概要

IPCC 特別報告書 SRES の中排出世界 A1B シナリオ(再生可能エネルギーを大幅導入)、低排出世界 B1 シナリオ(原子力を大幅導入)についての超長期温暖化予測結果のうち、2100 年までのデータを解析した。予測には、共同研究機関である米国大気研究センター(NCAR)が開発した大気海洋結合モデル(CCSM3:空間解像度は大気 160km)を用いた。比較する観測データとしては、気象庁との共同研究によって得られた過去 25 年(1979 年～2004 年)の気象データセット(再解析データ JRA-25 と呼ぶ)を用いた。再解析データの空間解像度は約 120km である。

### 2. 降水量変化の特徴

- (1) 気候変化のトレンドを含まない比較的短期間(1991 年～1994 年)を対象に、降水日数の空間分布と経線方向積分値について、モデル結果と再解析データとを比較した。その結果、50mm/day 以上の強い降水がある日に限ると、モデルは再解析データに比べて過小評価となり、本モデルの測精度は不十分である。しかしながら、全降水日数(10mm/day 以上の日数の 1 年間合計)は再解析データと良く一致することがわかった(図 1)。
- (2) 今回の温暖化予測では、1つのシナリオに対して、初期値を変えた 3 ケース(メンバー b、f、g と呼ぶ)の予測を行うアンサンブル予測手法を採用した。予測結果では、中央オーストラリア等の乾燥地域等における降水量変化は、メンバー間で異なる性質があることがわかった。そのため、アンサンブル平均(3 メンバーの平均)を採用することにより、統計的な意味で、温暖化による降水量変化を精度良く予測することが可能になった(図 2)。
- (3) A1B、B1 シナリオとも、各地域の 21 世紀末の降水量は全般的に増加する(図 3)。一方、地中海性気候区分に属する地域では、降水量が減少し、しかも連続する無降水日数(日照り日数)も増加する(図 4)。これは、地中海性気候区分の地域において、温暖化により降水量が減少し、旱魃も増加することを示唆している。
- (4) 降水量増加地域においても、温暖化で地面が高温になるため、蒸発散量も増加し、流出率が減少する可能性がある(図 5)。予測結果を解析すると、A1B、B1 シナリオとも各地域の 21 世紀末の流出率は、ほとんどの地域で減少する(図 6)。これは、“焼石に水”状態を示唆しており、降水量が増加するものの水不足が懸念される。

本研究は文部科学省受託研究「人・自然・地球共生プロジェクト」(H14～H18 年度)の成果(\*)である。

## 今後の展開

今後予測される不可避的な気候変化による影響や損害を予見的に軽減するための適応策の検討を進める。

主担当者 環境科学研究所 物理環境領域 重点課題責任者 丸山康樹(サブテーマ担当:吉田義勝、筒井純一、仲敷憲和、西澤慶一、北端秀行、金 東勲、朴 惠善、津旨大輔)

関連報告書(\*) 平成 17 年度受託報告「大気海洋結合モデルの高解像度化」(2006 年 5 月)  
平成 16 年度「大気海洋結合モデルの高解像度化」(2005 年 5 月)

# C. エネルギーと環境の調和

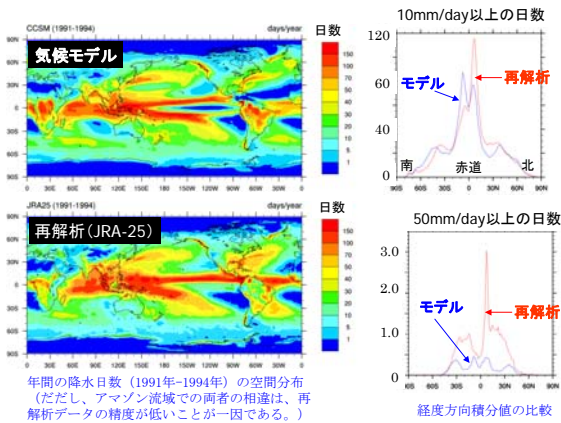


図1 気候モデルと再解析データの降水日数の比較

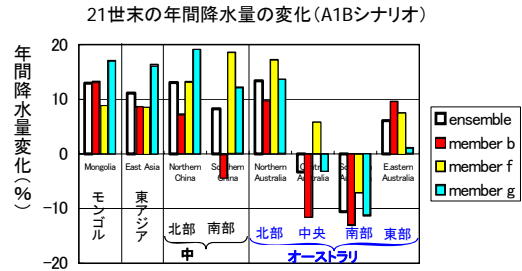


図2 アンサンブル予測手法による降水量変化  
アンサンブル平均値の採用により予測精度向上(豪州中央等)

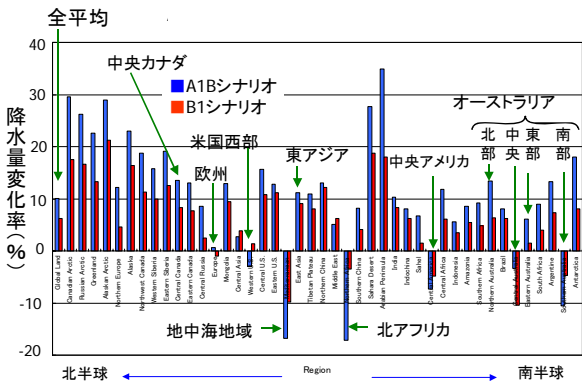


図3 世界各地の21世紀末の降水量変化(アンサンブル平均値)  
大部分の地域で増加するが、地中海性気候の地域では減少する。

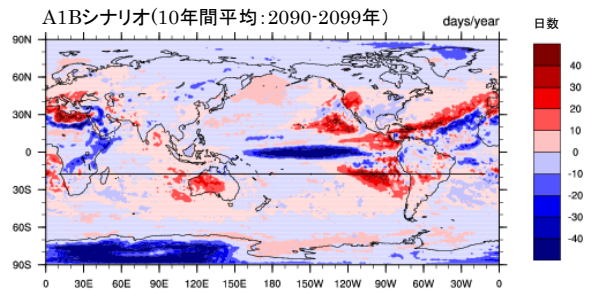


図4 連続する無降水日数(1年間)の21世紀末の変化  
図中、赤の部分では、雨の降らない日数(日照り)が増加。

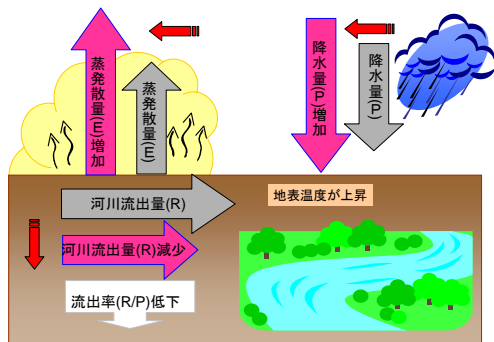


図5 温暖化による流出率(R/P)の減少の模式図  
地表温度上昇のため、降水量(P)よりも蒸発散量(E)が増加

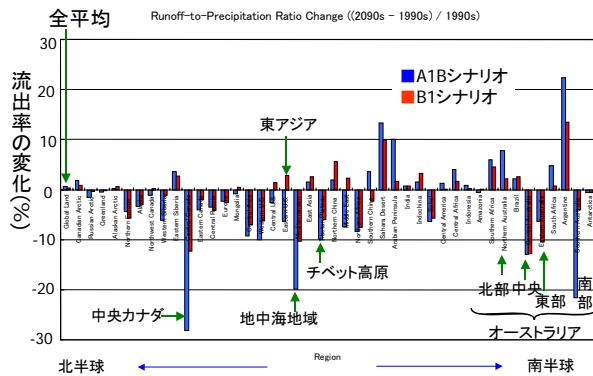


図6 21世紀末の世界各地の流出率(R/P)予測結果  
中央カナダ、地中海地域、豪州等で減少が著しい。