

# 近年の気候変動の状況と気候変動が農作物 の生育等に及ぼす影響に関する資料集

平成 1 4 年 4 月

農 林 水 産 省

## 目 次

地球温暖化問題を考える .....	1
・ 気候変動に対応するための取り組み	
1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）と活動内容.....	2
2 IPCCの活動の成果 .....	6
3 我が国における温暖化が及ぼす影響 .....	11
・ 温暖化のメカニズムと大気中の温室効果ガス濃度や気候の変動について	
1 地球温暖化のメカニズムと大気中における温室効果ガス濃度の変動 .....	13
2 国内の水稻栽培期間の気候変動予測 .....	15
・ 我が国における異常気象の発生状況と各地域における気候変動	
1 異常気象の発生状況 .....	22
2 地上気温と降水量の変動 .....	28
3 地域（各都道府県）でみる気温変動 .....	42
・ 気候変動（温暖化）が農作物の生育・生理に及ぼす影響	
1 水稻 .....	92
2 麦 .....	117
3 大豆 .....	119
4 野菜 .....	125
5 果樹 .....	132
6 茶 .....	138
・ 気候変動（温暖化）が農作物の生育環境に及ぼす影響	
1 水資源への影響について .....	141
2 土壌への影響について .....	144
3 雑草への影響について .....	146
4 病害への影響について .....	151
5 虫害への影響について .....	164

## 序

地球温暖化が国際的な問題となってから約20年が経過しており、その間に「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の設立、「気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)」の発効及び「気候変動に関する国際連合枠組条約締約国会議(COP)」が開催される等、急激な気候変動を回避するために様々な取り組みが行われている。

特に平成9年京都で開催された第3回締約国会議(COP3)では、温室効果ガスの削減目標を定めた京都議定書が採択され、地球温暖化防止に向けて大きく前進し、平成13年10月から開催された第7回締約国会議(COP7)において、京都議定書の運用ルール等について合意されたところである。

日本国内においても、京都議定書に対応するため、「地球温暖化対策推進法」の改正と新たな「地球温暖化対策推進大綱」の策定に向けて現在作業が進められているとともに、更なる省エネルギー・やりサイクルの強化、環境にやさしい新エネルギーの導入を図るとともに、ライフスタイルの見直しやその支援に取り組みながら、人と自然にやさしい循環型社会の構築を推進していくため、関係省庁において様々な広報及び施策等が実施されている。

農林水産省においても「循環型社会構築・地球温暖化対策推進本部」を設置し(H13設置)、省内各局庁はもとより、関係府省とも連携しながら、循環型社会構築及び地球温暖化対策のための総合的な施策の検討を行っているところである。

一方、近年、乳白米の多発など気候変動が原因と思われる現象が発生していることや、平成13年4月に発表されたIPCC第3次評価報告書によれば、地球規模の気温や大気中の温室効果ガス濃度の上昇は避けられない予測結果となっていることから、どのように「農業」を気候変動と適合させるか、作目毎及び地域毎に検討していくことが、来るべき温暖化に備え重要な課題となりつつある。

こうしたことから、今回、農業に与える気候変動(温暖化)の影響をいかに回避するか検討していく上で必要となる、地球温暖化に関する情報、国内の気候変動、今日まで研究されている温暖化が農作物へ及ぼす影響について、地域の農業関係者に幅広く情報を提供することを目的に取りまとめたところである。

資料が、広く農林水産行政関係者、研究機関及び全国各地の指導者の方々の一助になることを願うとともに、今後の気候変動に対応できる力強い農業が確立されることを期待したい。

平成14年4月

大臣官房技術総括審議官

大森 昭彦

## 地球温暖化問題を考える

地球はこれまでの長い歴史の中で「温暖化」と「寒冷化」を一定の周期で繰り返してきた。現在は温暖化と寒冷化の間に位置する「間氷期」と考えられ、温暖化のピークが既に過ぎゆるやかに寒冷化に向かっているとされてきた。1940 年から 70 年代にかけて地球の表面温度は低下傾向にあったことから、その当時は寒冷化が心配された。

ところが 1970 年代後半から気温が上昇し始め、「二酸化炭素及びその他温室効果ガスの気候変化とその影響における役割のアセスメントに関する国際会議」(1985 年)において「地球温暖化」が国際的な問題として初めて登場した。

1988 年には、世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)の共催により、国連組織として「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」が設立され、以後、科学的及び社会的知見の収集と整理が国際的に行われているところである。

IPCC は科学的データの収集等を基に、第 3 次評価報告書で 20 世紀後半の温暖化は過去 1,000 年間の気候データと比較しても異常で、自然現象によるものではなく、その大部分が人間活動によって排出された温室効果ガスに起因していると報告している(今後の気温変動のシミュレーションでは、IPCC が想定する全てのシナリオにおいて地球の平均気温は上昇するという結果も報告されている)。

現在、地球温暖化を防止するための地球規模での取り組みが、官民を上げて行われている。特に今後の「気候変動枠組条約締約国会議」(COP)に基づき、各国が今後どのような対策を速やかに講ずるか注目される。

「地球温暖化」は「人が生きる時間」の中では非常に緩慢な現象として写り、はっきりと我々が認識することは難しい現象である。また、地球温暖化対策の内容や時間、技術的な面からどの程度温室効果ガスが削減可能で気温上昇を抑制できるか、今後の状況は非常に流動的であるとも考えられる。また、温暖化による影響についても、不確実な点を含みながらその影響を予測している状態である。

現時点において、地球温暖化の全てを確実にかつ科学的に証明することは難しい。また温暖化を引き起こす原因は一体何なのか、温暖化は今後も進むのかまたどの程度進むのか、人類にとって悪影響を与えるものなのか等について様々な意見があることも事実である。

しかし、温暖化が現実のものとなってから対策を検討しても、深刻な影響を速やかに緩和することは難しいことから、様々な議論や予測が行われている今日から準備を進めていく必要がある。このことは気候の影響を直接的に受ける「農業」についても同様の事が言える。

農業に対する温暖化の影響は恐らく地域、作物毎で異なることから、農林水産関係者は、今後地域の気候変動を継続的に把握するとともに、各種情報を収集しながら「気候変動に強い農業」を確立していくことが重要である。

・気候変動に対応するための取り組み

## - 1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）と活動内容

「気候変動に関する政府間パネル」は「Intergovernmental Panel on Climate Change」の頭文字を取り、通称 IPCC と呼ばれる。

IPCC は 1988 年 11 月に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）の共催により、気候変動問題について国際的に議論する場として設立され、

- ・気候変動に関する最新の科学的知見をとりまとめ評価し、
  - ・各国政府に助言等を提供する
- ことを目的とした政府間機構である。

IPCC の大きな特徴として次の 3 つが挙げられる。

### 特 徴

参加者は政府関係者に限らず、世界有数の科学者が参加  
参加した科学者は新しい研究を行うのではなく、発表された研究を広く調査し、  
評価を行う  
科学的知見を基にした政策立案者への助言を目的とし、政策の提言は行わない。

### 【IPCC の組織について】

IPCC は IPCC 総会（IPCC Bureau）の下に 3 つの作業部会（Working Group ～）とインベントリ・タスクフォースがあり、科学的評価や影響評価等が検討されている。



具体的な各作業部会が検討する概要は次のとおり。

#### 第1作業部会 (Working Group)

- ・ 気候システム及び気候変化、気候の予測可能性についての科学的評価
- ・ 全球的規模及び地域規模の気候変化・海面水位の変化の予測

#### 第2作業部会 (Working Group)

- ・ 気候変動が、地域、資源、生態系ならびに人間活動に与える影響
- ・ 気候変動に対応するための技術・手法
- ・ 影響を評価するための方法論の作成

— 第2作業部会はさらに4つのサブグループによって構成

- S G - A : エネルギー・供給、産業、交通、人間活動 (居住、健康、廃棄物等)
- S G - B : 小島、沿岸地域、大洋ならびに海洋生態等
- S G - C : 管理されていない資源、陸上生態、山岳、寒冷地域等陸上の影響
- S G - D : 砂漠化、旱魃、農業、森林、土地利用、健康、水資源管理等

#### 第3作業部会 (Working Group)

- ・ 気候変動の影響、適応ならびに緩和策の経済評価
- ・ 将来の温室効果ガス排出シナリオ作成

#### インベントリ・タスクフォース (Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, TFI)

- ・ 温室効果ガスの発散や移動に関する報告、温室効果ガス排出に関する計算に係る国際的に一致した方法論とソフトウェアの開発および改善

TFIは、1991年から経済協力開発機構(OECD)と国際エネルギー機関(IEA)の共同事業によって進められていた温室効果ガスインベントリ・プログラムをIPCCで受け入れ、監督するために1998年に設立された。

なお、IPCCは1990年8月に第1次評価報告書、1995年12月に第2次評価報告書、2001年4月に第3次評価報告書が発表されており、本報告書は気候変動枠組条約締約国会議(COP会議)に提出されている。

#### 【引用・参考文献等】

IPCC HPより : <http://www.ipcc.ch/about/chart.htm>

環境省地球環境局監修 : IPCC地球温暖化第3次評価報告書・政策決定者向け要約 (2001)

気象庁HPより : <http://www.kishou.go.jp/press/0103/06a/ipcc.html>

(財)省エネルギーセンターHPより : <http://www.eccj.or.jp/summary/environment/01.html>

(財)地球産業文化研究所HPより : <http://www.gispri.or.jp/kankyo/ipcc/ipccinfo.html>

## （参考）気候変動枠組条約について

気候変動に関する国際連合枠組条約( United Nation Framework Convention on Climate Change 通称 UNFCCC )は、I P C C による第 1 次評価報告から 2 年後の 1992 年に採択され、1994 年に発効された。

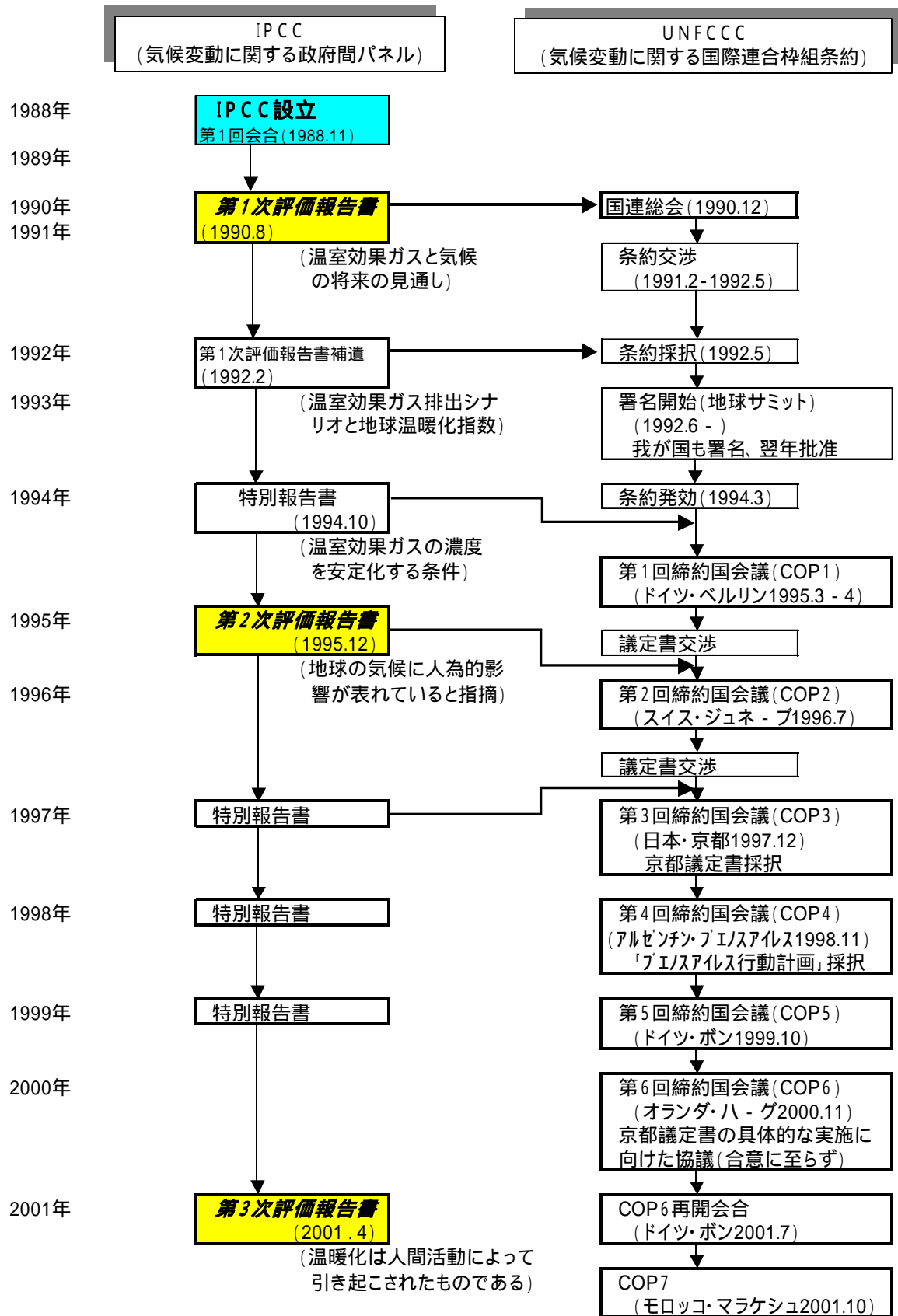
本条約は、大気中の温室効果ガスの濃度の安定化を究極的な目的とし、地球温暖化がもたらすさまざまな悪影響を防止するための国際的な枠組みを定めた条約である。温室効果ガスの排出・吸収の目録、温暖化対策の国別計画の策定等を締約国の義務とし、さらに先進締約国については、温室効果ガスの排出量を 2000 年に 1990 年レベルに戻すことを目的として政策措置をとることなどの追加的な義務を課している。

本条約の締約国会議は 1995 年に第 1 回が開催され(第 1 回締約国会議(COP1:ベルリン))、1997 年の第 3 回締約国会議(COP3:京都)では「京都議定書」が採択された。2001 年 10 月に第 7 回締約国会議が開催され、京都議定書の運用ル・ル等について合意された。(COPとはConference of Partiesの略)

I P C C と U N F C C C の関係は図 1.2 を参照。



## IPCCとUNFCCC (気候変動に関する国際連合枠組条約) との関係



( 図 .1.2 IPCCとUNFCCCの関係 )

## - 2 IPCCの活動の成果

IPCCは1990年から2001年までに第1次から第3次評価報告書を作成・発表している。またそれ以外にも、気候変動枠組条約締結国会議等からの要請に応じ、IPCC自体の決議を経て作成される特別報告書を作成・発表している。これら報告書は、気候変動枠組条約締結国会議において提出され、地球温暖化防止に対する科学的根拠を与える役割を果たしている。

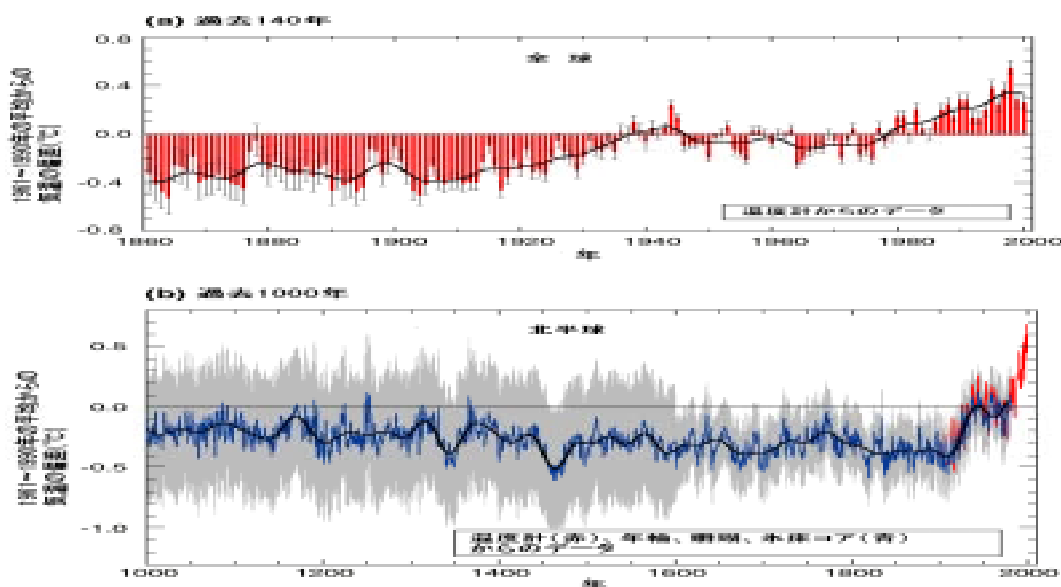
IPCCの報告書は、温暖化に関する全球規模の気候変動に関する貴重な情報であり、各方面から注目される。特に将来予想される具体的な気温上昇、海面水位の上昇及び温暖化の影響に関する部分は新聞等でも報道されているところである。

ここでは、IPCC第3次評価報告書について概要を紹介する。

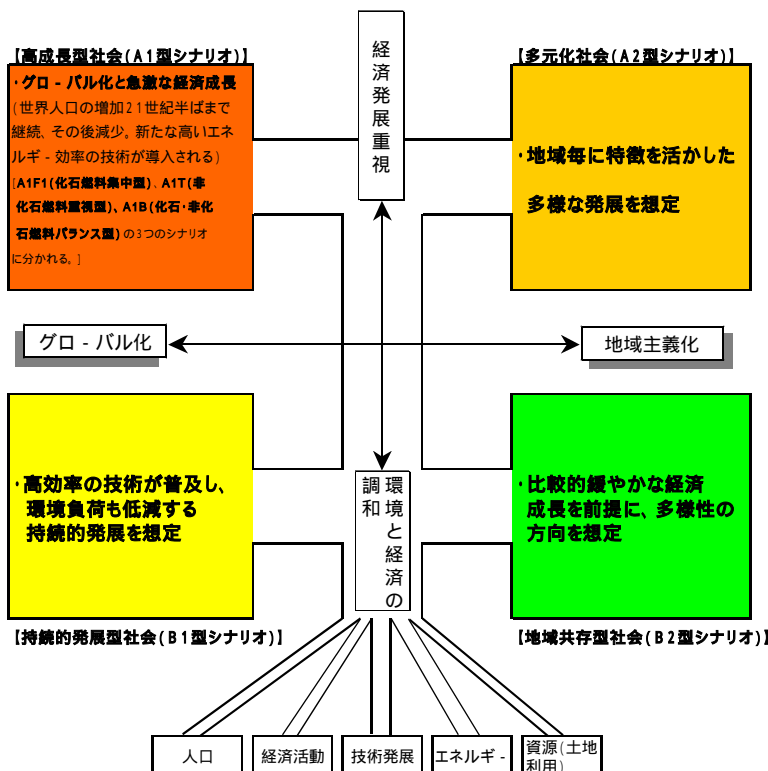
(表 2.1 IPCC第3次評価報告書で示されている観測成果と予測 文献)

これまでの観測成果と今後予測される現象(第3次評価報告書より)

(観測成果)
<ul style="list-style-type: none"> <li>地球の平均地上気温は、20世紀に約0.6℃上昇した</li> <li>20世紀における気温の上昇は、過去1000年のどの世紀よりも大きかった可能性が高い</li> <li>気温は高さ8kmまでの大気において、過去40年間上昇してきた(10年当たり0.1℃)</li> <li>1960年代以降、積雪面積の約10%が減少した可能性がかなり高い</li> <li>20世紀に、地球の平均海面水位は0.1～0.2m上昇</li> </ul>
(予測される現象)
<ul style="list-style-type: none"> <li>地球の平均気温と平均海面水位は、IPCC SRESシナリオに基づく予測結果の全てで上昇</li> <li>気温 1990年～2100年の間で1.4～5.8℃上昇(SRESシナリオによる全ての予測の範囲の幅)</li> <li>気温の上昇は、特に北半球の高緯度で寒候期に顕著である可能性がかなり高い。</li> <li>海面水位 1990年～2100年の間で0.09～0.88m上昇(SRESシナリオによる全ての予測の範囲の幅)</li> </ul>



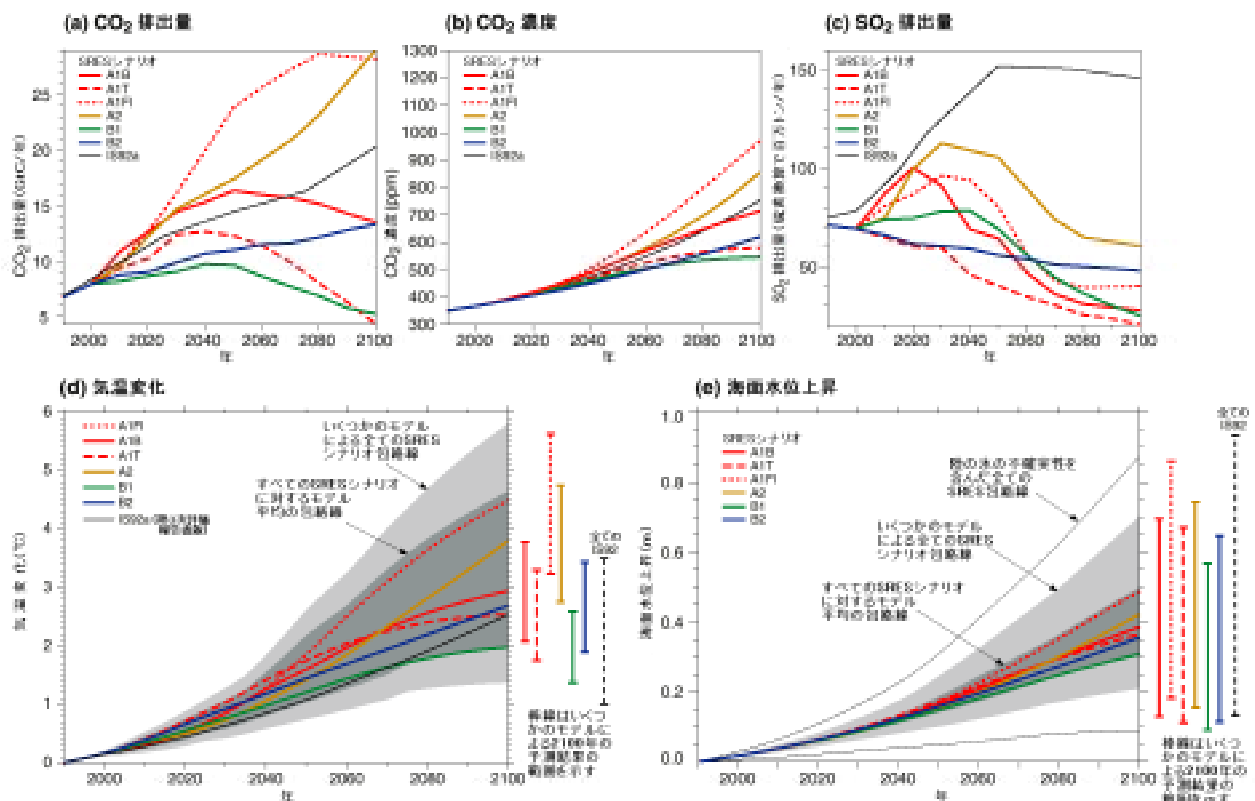
(図 2.1: 世界の年平均気温(地上)の平年差の経年変化 文献)



IPCCによる報告書では、これまでの観測データを継続的に収集し、科学的根拠を示すとともに、想定される温室効果ガス排出シナリオの下で、どのように温室効果ガス濃度や気温等が変動するか検討を行っている。

シナリオはSRESと呼ばれ、大きく4つのシナリオに大別される。温室効果ガス濃度や気候変動は、これらのシナリオからシミュレーションされた結果を反映させている。

(図 2.2 IPCC SRESの概念文献)



(図 2.3 SRESに基づく温室効果ガス及び気温、海面水位の上昇結果 文献)

このSRESに沿ってシミュレーションした結果を紹介する。各シナリオによって、温室効果ガス濃度、気温等の上昇の傾向に差が見られること、及び図中の Temperature change、Sea level rise については、どのシナリオにおいても上昇することが確認できる。

— [ SRES ( Special Report on Emission Scenario ) について ] —

将来の気候を予測するために、今後人間活動からどのくらいの温室効果ガスが排出されるかを見通す必要がある。その見通しを「排出シナリオ」と呼ぶ。これまでは1985年を基準年としていた排出シナリオ（IS92）は、世界情勢の変化（経済発展の変化等）に対応しきれなくなったことから、世界の研究機関が参加して新しいシナリオを作成し、2000年3月にIPCC排出シナリオに関する特別報告書SRES（Special Report on Emission Scenario）として発表した。このことからよくSRESシナリオと呼ばれる。

次に温室効果ガス排出シナリオに基づきシミュレーションされた気候変動が、地球上の各地域においてどのような影響を及ぼすか、また適応力、脆弱性はどうかといった内容について検討がなされている。ここでは日本が関係するアジア地域の場合を紹介する。

（表 2.2 適応力、脆弱性等に関する内容 文献）

地域の適応力、脆弱性、及び主要な懸念(アジア地域部分抜粋)

アジアの開発途上国では、人間システムの適応力は低く、脆弱性は高い；アジアの先進国はより適応が可能で脆弱性は低い。
・ 温帯及び熱帯アジアでは、洪水、干ばつ、森林火災、熱帯低気圧のような異常現象が増加している。
・ 熱や水ストレス、海面水位の上昇、洪水、干魃、熱帯低気圧による農業生産性と水産養殖の減少は、乾燥、熱帯、温帯アジアの多くの国における食料安全保障を低下させる。北部地域では農業は拡大し、生産性が高まる。
・ 乾燥、半乾燥アジアでは流量や水利用可能性が減少するが、北部アジアでは増加する。
・ アジアの一部地域では、生物媒介性伝染病や熱ストレスへの曝露が増大する可能性があり、人間の健康が脅威を受ける。
・ 海面水位の上昇と熱帯低気圧の強度の増大により、温帯及び熱帯アジアの低地沿岸域に住む数千万の人々が移住を余儀なくされる；降雨強度の増大は温帯及び熱帯アジアの洪水のリスクを増大させる。
・ アジアの一部地域では、気候変化によりエネルギー - 需要が増大し、観光名所が減少し、輸送への影響がある。
・ アジアでは、気候変動により土地利用や土地被覆の変化、及び人口増加により生物多様性への脅威が増大する。海面水位の上昇により、マングロ - プや珊瑚礁といった生態系の安全性に対するリスクが生じる。
・ アジアの永久凍土地帯の南限が極方向へ移動することにより、熱カルストや熱浸食の変化を引き起こし、社会のインフラや産業に悪影響がでる。

I P C C 第 3 作業部会が取りまとめている温暖化緩和対策については次のとおり。

#### 気候変化問題の特徴

世界的規模で歴史的な時間に渡り、自然の多様性や環境、経済、政治、制度、社会、技術が世界的規模で複雑に絡み合っている。

気候変化への対応策を進展させることは、不確実性やリスクのもとで政策決定を行うという特徴を有する。

#### 気候変化の緩和対策について

目標とする社会経済状況や、技術力、温室効果ガス濃度安定化で望まれる水準等により左右される。

温室効果ガスの低排出化には幅広い政策選択肢に依存し、また様々な主要施策の変更を必要とするものである。

気候変化緩和政策は、より広範囲な社会目的に合致するものなら、持続可能な開発を促進する可能性があり、また気候変化以外の分野でも便益を生じる可能性がある。

(例えば、健康問題の減少、自然環境保護と育成、税金の削減、技術革新や普及の誘起等)

#### 温室効果ガス排出を制限または削減し吸収を増大させる選択肢

エネルギー・転換技術、ゼロエミッション技術、産業部門の副産物ガス等の排出削減、炭素の除去・貯蔵等が考えられる。

温室効果ガス排出削減の可能性(2010年～2050年までの期間)として、いくつかの結論を示すと

温室効果ガス削減の潜在性の半分以上を占めるのは、ビル、運輸、製造部門におけるエネルギー・効率化に資するための技術や実践である。

少なくとも2020年までは比較的安価で豊富な化石燃料がエネルギーの供給と転換において優勢を続ける

低炭素エネルギー供給システムは重要な貢献をすることが可能(バイオマスエネルギーの利用、風力、水力、原子力発電の利用と稼働年数延長等)

農業部門では、腸内細菌の発酵、水田、窒素肥料の利用等から発生するメタンと窒素酸化物の排出削減は可能。

等が挙げられる。

また、森林や農用地、及びその他の陸上生態系システムは、大きな炭素緩和の潜在能力を提供する。これは必ずしも恒久的なものではないが、温室効果ガス排出削減手段の更なる開発や実施を行う時間の猶予を与える可能性がある。

#### 気候変動緩和対策の効果の発現に向けて

温室効果ガスの低排出に向けての経路は一つではない。各国、各地域が自ら決定していかなければならないものである。大半のモデルでは、既知の広範囲な技術選択によって、次の100年間かそれ以上に渡り、温室効果ガス濃度を550ppmvであるとか450ppmv以下に保つという水準は達成できることが示されているが、実施には社会経済的、制度体制的变化が求められる。

様々な温室効果ガス緩和の選択を可能とし成功させるためには、多くの技術的、経済的、

政治的、文化的、社会的、行動上の障壁、そして組織上の障壁を克服する必要がある。

その国のおかれている様々な条件、更に時の経過等により、緩和機会の可能性や障壁のタイプは変化する。しかしどの国においても、あらゆる組み合わせの障壁を除くことにより、緩和機会を見いだす可能性がある。

また各国及び部門間での協調行動は、緩和コストを削減し、競争上の懸念や国際的な貿易規則と矛盾する可能性等への対処を助ける可能性がある。例えば排出取引、共同実施、クリーンな開発メカニズム等。

途上国での研究を含め、気候変化への対応に対する政策立案に十分な情報を利用可能とするためには将来の評価を強化し、不確実性を出来る限り削減するために、更なる研究が必要である。(技術革新や地域別・国別等の潜在能力の探求、全ての国における気候変化緩和に関する対策と障壁に関する分析等)

#### 【参考・引用文献等】

環境省地球環境局監修：IPCC 地球温暖化第 3 次評価報告書・政策決定者向け要約・ (2001)

環境省：STOP THE ONDANKA 2001 (パンフレット)

気象庁 HP より (気候変動に関する政府間パネル (IPCC)

第三次評価報告書 第一作業部会報告ついて) : <http://www.kishou.go.jp/press/0103/06a/spm.html>

(財)地球産業文化研究所 HP より : <http://www.gispri.or.jp/kankyo/ipcc/ipccinfo.html>

### - 3 我が国における温暖化が及ぼす影響

我が国における気候変化や温暖化の影響については、2001 年 4 月に環境省地球温暖化検討委員会のもとに、「温暖化影響評価ワ・キンググル・プ」より報告書「地球温暖化の日本への影響 2001」がとりまとめられている。

報告書の全体概要等については以下のとおり。

#### 【 地球温暖化の日本への影響 2001 】

全体概要	<ol style="list-style-type: none"><li>1．気候（過去の気候変化の解析及び気候変化の予測）</li><li>2．陸上生態系への影響</li><li>3．農林水産業への影響</li><li>4．水文・水資源と水環境への影響</li><li>5．海洋環境への影響</li><li>6．社会基盤施設と社会経済への影響</li><li>7．健康への影響</li><li>8．気候変動の経済影響評価</li><li>9．温暖化影響の検出と監視</li><li>10．適応、脆弱性評価</li></ol>
気象と気候変動	<p>都市化の影響を除いて、<u>過去 100 年あたり約 1.0 上昇し、都市部では 2 倍以上の上昇が観測されている</u>。今後 100 年間の全球年平均地上気温の昇温量は + 3.6 であるが、日本付近では全球平均よりやや大きく、<u>南日本では + 4 、北日本で + 5 と予測される（二酸化炭素 1 %/年（複利）増加又は IS92a シナリオ 第 2 次評価報告書）</u>。ただし<u>モデル間のばらつきは 2</u>。</p>
温暖化がもたらす農林水産業等への影響	<p>土壌</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・一部地域では地下水の上昇、塩類化の進行。土壌微生物増加による土壌有機物の無機化。</li></ul> <p>水稻栽培等への影響</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・水稻では、比較的高緯度地域では生産量の増加、低緯度地域では高温による生育障害のおそれ。収量維持には北海道、東北地域で栽培を早める一方、これ以外の地域では栽培期間を遅らせる必要が生じる。また高温耐性品種の開発も対策として有効。</li><li>・コムギ、オオムギ等は高温条件では、例えば冬コムギの場合は登熟が気温変動の激しい時期に重なり、低温に遭遇する危険性の増大。ダイズでは生育の抑制、ト</li></ul>

ウモロコシでは不稔障害が生じるおそれ。

#### 害虫への影響

- ・越冬可能性地域の北限の拡大が予想されるが、薬剤防除の影響が大きいことから、気温上昇を反映しない場合もある。

#### 雑草への影響

- ・近年の研究では、積算温度 1,578 日で C3 植物から C4 植物へ優占種が移ることが明らかとなっており、温暖化により 2 気温が上昇すると、C4 種へ交代する時期は全国的に 3 週間程早まる。

#### 林業への影響

- ・仮に降水量が一定で気温のみ上昇すれば水分条件が悪化するため、生産力は低下することとなり、平均伐採期齢の延長と、それに合わせた森林計画の策定、苗木生産計画の変更などの見直しが必要となる。

#### 水産業等への影響

- ・海水温の上昇により、これまで日本近海には出現しなかった魚介類に悪影響を与える植物プランクトン等が発生のおそれ。また動物性プランクトン種組成の変化も予想され、動物性プランクトンを餌とする漁業対象魚種の個体数が減少し、沿岸海域の漁場価値が低下する可能性がある。
- ・わが国の河口、干潟については、40cm の海面上昇により、沖だし 120m の干潟が消失する可能性があり、渡り鳥等の生態が大きく影響を受ける。

#### 日本とアジア途上国に対する示唆

- ・気候変動に伴う損害の社会・経済的評価の必要性。
- ・損害費用の評価における信頼性の問題及び倫理的な問題への考慮の必要性。
- ・アジア地域は気候変動に対する脆弱性が高く、対応能力の点にも問題があることを踏まえた対応が必要。
- ・温室効果ガス削減政策の導入の意志決定により有用な、より確かな情報になるような方向への研究の必要と、途上国に対する有用な情報の提供、アジア地域の国々との協力体制の構築。

#### 【参考・引用文献等】

環境省地球環境局プレスリリース：「地球温暖化の日本への影響 2001」報告書について

環境省地球温暖化問題検討委員会温暖化影響評価ワ・キングゲル・ブ：「地球温暖化の日本への影響 2001」



- ・ 温暖化のメカニズムと大気中の温室効果ガス濃度や気候の変動について

## - 1 温暖化のメカニズムと大気中の温室効果ガス（CO<sub>2</sub>）濃度の経年変化

大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は 1950 年から 2000 年の 40 年間に 316ppmv から 369ppmv と約 17% 増加した。IPCC 第 3 次報告書(2001)によると、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は今後 50 年間に 500～580ppmv、100 年後には温室効果ガス排出シナリオに大きく依存し、550～980ppmv になると予想される。

ハワイ、マウナロア火山山頂（標高 3397m）では、1958 年から大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の観測を行っている（図 .1.1）。大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は、1959 年では 315.98 ppmv であったが、2000 年には 369.40 ppmv と、この 40 年間に約 16.9%（年 1.34 ppmv）増加している。近年の増加率は大きくなる傾向にあり、1997 年から 98 年の 1 年間に 2.87 ppmv ほど増加しており、これは観測が始まって以来最大の増加率である。

図 .1.2 は大気中の CO<sub>2</sub> 濃度上昇による温暖化のメカニズムを示している。地球に到達した太陽の熱エネルギーは地表面を暖め、暖められた地表面はその温度に応じた強さの熱エネルギーを大気に放出する。大気に放出された熱エネルギーは、大気中の水蒸気や二酸化炭素および他のガスを暖め、これらの暖められたガス等が熱エネルギーを四方八方に放射すると、その一部は再び地表面に到達し、地表面をより暖めることになる。このプロセスは「温室効果」と呼ばれ、大気中の温室効果ガスが多いほど地表面の温度は上昇し、気温もまた上昇する。

2001 年に発表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 3 次評価報告書では、いくつかのシナリオ（SRES シナリオ）によって大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の変化を推定しており、50 年後には 500～580ppm、100 年後には 550～980ppm になると予想している（図 .1.3）。最も増加率の大きいシナリオでは、経済の高成長と世界人口の急激な増加が今世紀中頃にはピークに達し、かつ資源を化石燃料に頼るというもので、最も増加率の小さいシナリオでは、サービスと情報分野へ経済構造が迅速に変化し、低資源消費やクリ・ンエネルギー・利用技術が導入されることを想定している。

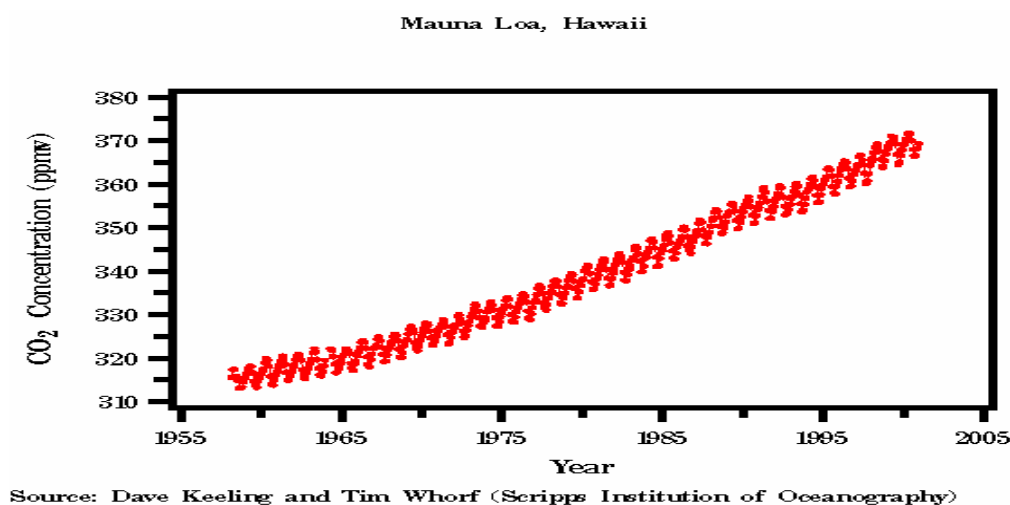


図 .1.1 CO<sub>2</sub> の経年変化（from Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy）



図 1.2 温室効果の概念 (from USA Today)

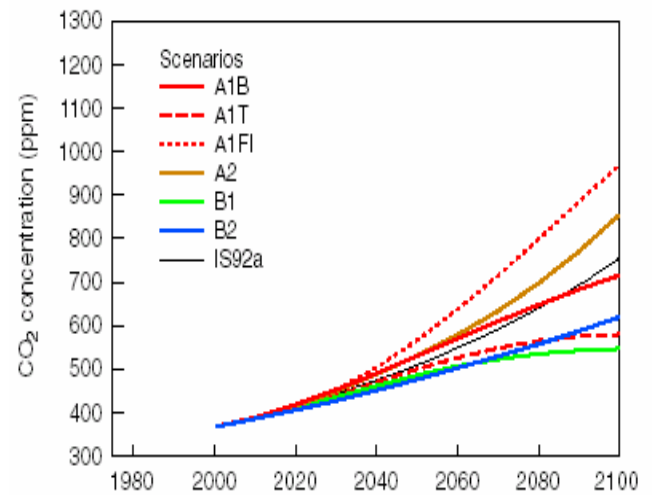


図 1.3 6つのSRESシナリオおよびIS92aシナリオを用いて現在の推定方法で計算したCO<sub>2</sub>の大気中の濃度変化。(from Climate Change 2001)

#### 【参考・引用文献】

第 -1-2 に合わせて記載

## - 2 国内の水稲栽培期間の気候変動予測

温室効果ガスの排出シナリオを中庸レベルとして、4種の気候モデルを用いて、日本（沖縄を除く）における5～9月の将来の気候を推定した結果、2030年代の気温は1.9～2.6℃上昇し、高緯度地域ほど上昇した。降水量は低緯度地域ほど増加し、日射量はほぼ現在と同じかわずかに減少した。

人口増加とエネルギー消費などに関して、中庸な将来予測を想定した温室効果ガス排出シナリオに基づき、世界の4種の大気大循環モデル（表 2.1）を用いて100年間の気候変化の予測が行われた。この4種の予測結果に空間的なダウンスケール処理（10kmメッシュ化）を施し、水田が分布する地域について、2000年代・2090年代（各10年間）の気温、降水量、日射量の変化を地方別に推定した（局地気候変化シナリオ）。各要素の代表期間は、5月・9月である。基準年は、約過去20年間の平均で現在の気候を示す（表 2.2）。

表 2.1 代表的な気候変動シナリオ（大気循環モデル）

気候変動シナリオ	開発元
CSIRO-Mk2	（豪）オーストラリア連邦科学産業研究機構
ECHAM4	（独）ドイツ連邦機構研究センタ
CCSR	（日）東京大学気候システム研究センタ
CGCM1	（加）カナダ気候モデリング解析センタ

表 2.2 局地気候変化シナリオ（日本）による気候要素の変動の予測

方	要素	基準年	2000年	2030年	2060年	2090年
北海道	気温（℃）	16.3	1.0	2.6	3.7	5.3
	降水量（mm）	631.2	1.08	1.09	1.04	1.19
	日射量（MJ/day）	15.6	0.98	0.99	0.99	0.99
東北	気温（℃）	19.1	1.1	2.2	3.3	4.8
	降水量（mm）	734.8	1.05	1.20	1.21	1.25
	日射量（MJ/day）	15.8	0.99	0.97	0.96	0.98
関東	気温（℃）	21.9	1.2	2.0	3.2	4.5
	降水量（mm）	836.3	1.02	1.24	1.24	1.29
	日射量（MJ/day）	15.3	1.00	0.95	0.93	0.96
中部／北陸	気温（℃）	21.0	1.1	2.1	3.2	4.5
	降水量（mm）	1078.4	1.05	1.25	1.27	1.29
	日射量（MJ/day）	16.2	0.99	0.95	0.94	0.96
近畿	気温（℃）	22.3	1.1	1.9	3.1	4.4
	降水量（mm）	1182.9	1.05	1.25	1.27	1.30
	日射量（MJ/day）	16.4	0.99	0.95	0.93	0.95
中国／四国	気温（℃）	22.1	1.0	1.9	3.1	4.3
	降水量（mm）	1225.1	1.06	1.22	1.30	1.29
	日射量（MJ/day）	16.6	0.99	0.96	0.94	0.96
九州	気温（℃）	22.9	0.9	1.9	3.1	4.2
	降水量（mm）	1453.7	1.07	1.19	1.39	1.30
	日射量（MJ/day）	16.6	0.99	0.96	0.94	0.96

基準年は 1980 年代に相当

基準年の気温：5 月～9 月の平均気温

基準年の降水量：5 月～9 月の積算降水量

基準年の日射量：5 月～9 月の日積算日射量

2000 年～2090 年代の値は、気温については基準年との差（プラスは上昇）、降水量と日射量については基準年に対する比

#### （参考）局地気候変化シナリオ

農業環境技術研究所が作成した局地気候変化シナリオ（日本）は、IS92a と呼ばれる温室効果ガス排出シナリオを基にした全球気候モデルの予測結果を、地形や気候地の分布の特徴を基にした客観的手法によりスケールダウンさせたものである。

全国的に気温は年代とともに上昇し、2030 年代には九州で 1.9、北海道で 2.6 上昇し、2060 年代には全国的に 3～3.7 上昇すると予測された。また気温の上昇の程度は、高緯度地域ほど大きい傾向にある。

積算降水量は各年代とも増加するが、北海道以外の増加割合が大きく、特に中国四国、九州地方で、2060 年代には基準年と比較し 30% 程度増加することが予測される。また降水量の増加にともない、日射量は全国的に減少すると予測される。

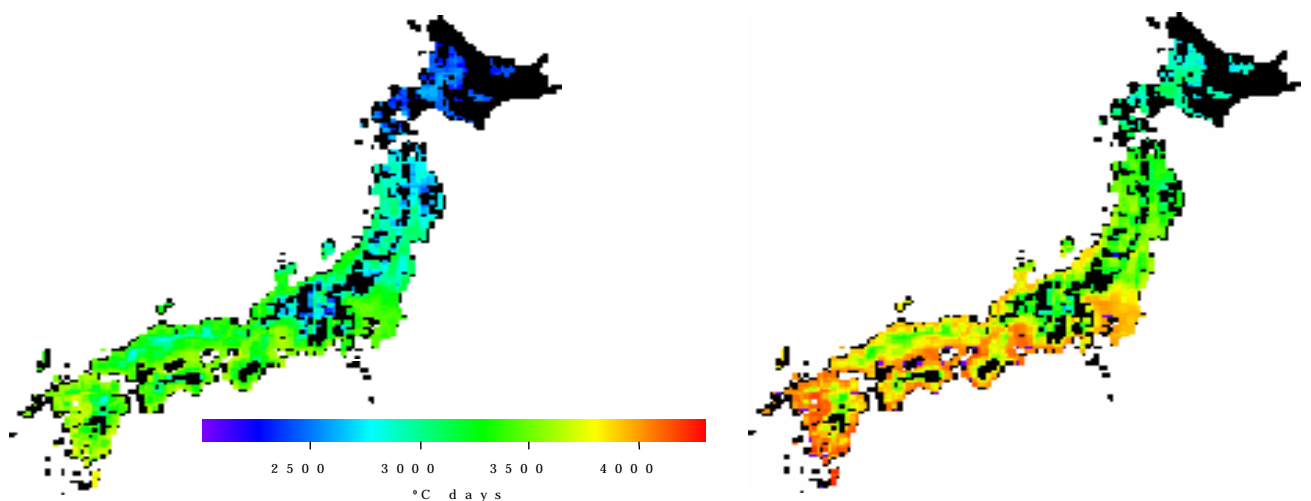


図 2.1 積算気温の変化（左：現在、右：2060 年代）

図 2.1 は、現在と 2060 年代の 5～9 月における積算気温の分布を示している。これによると、2060 年代には、西日本の各地で 4000 に達する地域が現れ、現在の中国四国地方の現況がほぼ東北地方に移動すると考えられる。

#### 【参考文献】

第 -1-2 に合わせて記載

## 解説：気候変化予測の方法とその現状

気候変動の予測に用いられる全球気候モデル（GCM）は、大気大循環モデル、海洋大循環モデルに陸面の水収支・熱収支モデルを結合して作られる。

現在 GCM を用いた CO<sub>2</sub> 漸増実験や温室効果気体の排出シナリオに基づく実験は、世界の約 20 近くの機関で行われているが、モデルの特性による問題点も多く、未だ発展途上の段階にある。したがって GCM 予測値の利用にあたっては、十分な注意が必要である。

GCM の問題点をカバーする手法として、1) GCM の予測結果をさらに地域レベルに分割し地域気候モデル（RCM）による実験と 2) 現行の気候システムから得られる統計的な関係を GCM の結果に適用して再計算する統計的ダウンスケ・リング手法がある。

### 1. 温暖化予測手法

温室効果気体の増加にともなう温暖化（気候変化）予測は、大気・海洋・陸面結合モデルあるいは全球気候モデル（GCM）とよばれるモデルを用いて、高速のコンピュータにより計算される。GCM は、大気大循環モデル、海洋大循環モデルに陸面の水収支・熱収支モデルを結合して作られる（このほかに、独立した海水モデルを結合させることもある）。（図 1 参照）

大気大循環モデルは、全地球を、その鉛直方向には 20 層程度の厚さを持つ格子（グリッド）で囲み、各グリッドの温度・湿度・風向風速・気圧などを求め、その時間変化を計算する。そのグリッド間隔は、緯度・経度ともに 2.5～5.0° 程度、日本付近の中緯度で 200～500km になり、地球上の地形はごくおおざっぱにしか表現できない。（図 2 参照）

GCM で現状の気候システムを正しく再現し、温暖化予測を行うためには、精度の良い海洋モデルが必要である。特に、エルニーニョ現象など熱帯海洋の変動を正しく再現させることは不可欠である。しかしながら、例えば海底 5000m まで鉛直 21 層を持つ気象庁気象研究所（MRI）の海洋モデルの場合、温度や深層循環等の現象を正しく再現するために、モデル時間で 1000 年以上駆動させる必要がある（図 3）など、実験に多大な時間と計算機資源を必要とする。

大気モデルと海洋モデルは、海洋表面での水、熱および風応力のフラックス交換を通じて結合されるが、現在の多くの GCM では、そのまま結合させたのではすぐに気候ドリフトと呼ばれるモデルの暴走現象（例えば海面水温（SST）の異常な上昇）が起きて、現状を再現できなくなる。このために、人為的にフラックス交換の値を調整するフラックス調整というものを行う（図 3）。このフラックス調整値を用いて、主に SST の値が現状に合うようになってから、大気中の CO<sub>2</sub> の濃度を一定にして 100 年以上計算する基準実験（コントロールラン）と、温室効果気体の排出シナリオに応じてそれらの大気中の濃度を变化させた温暖化実験が行われる

GCM を用いた CO<sub>2</sub> 漸増実験や温室効果気体の排出シナリオに基づく実験は、世界で 20 近くの機関で行われており、日本では MRI と東京大学気候システム研究センター / 国立環境研究所（CCSR/NIES）で行われている。

現状では、多くの GCM がフラックス調整を行って現在気候をようやく再現できる程度であり、世界中の GCM 結果を比較した研究においても、降水量や陸上気温の再現もいまだ不十分であると結論づけている。

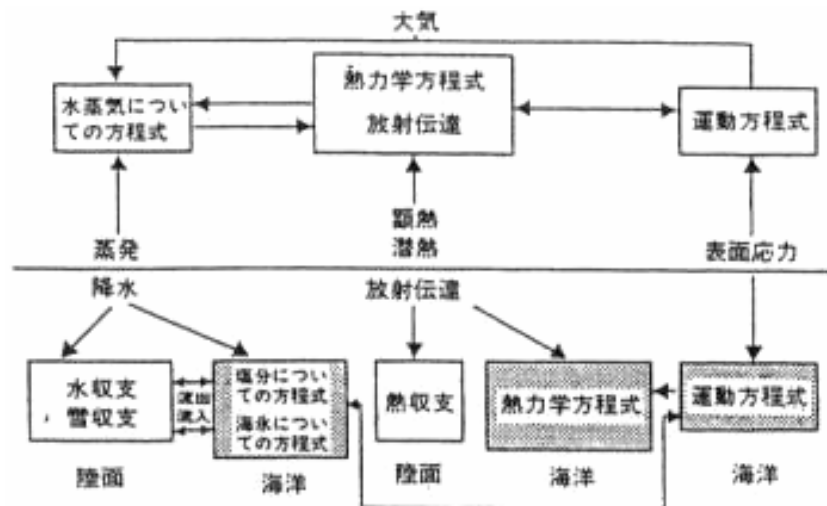


図1 一般的な GCM の構造 (真鍋,1999)

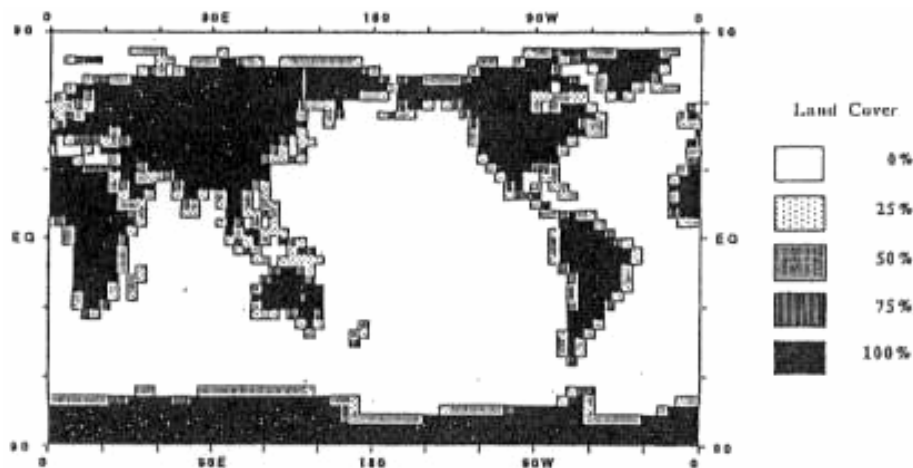


図2 MRI 大気モデルのグリッド配置と各グリッド内の陸地面積の割合 (Tokioka et al.1996)

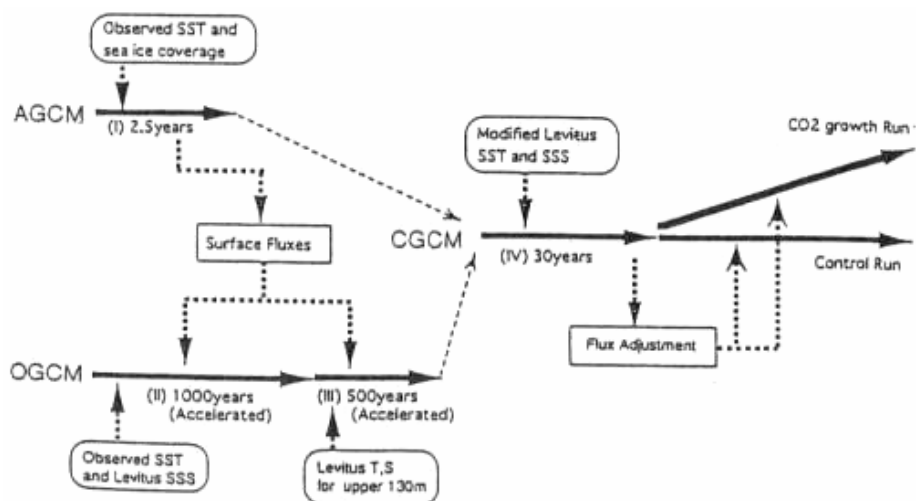


図3 MRI-GCM を用いた温暖化実験の手順 (Tokioka et al.1996)



## 2. GCMによる日本の気候変動予測

全球気候モデル(GCM)による温暖化(気候変化)予測には、いまだに数多くの問題点が残されているが、温暖化対策を進めるという観点から、既に気象庁刊行の CD-ROM として結果が公表されている気象研究所(MRI) の前バージョンの GCM (MRI-CGCM1) による温暖化予測結果を示す。これは温室効果気体が  $\text{CO}_2$  に換算して年率 1%複利で増加するという、やや単純化された古い排出シナリオに基づくものである。

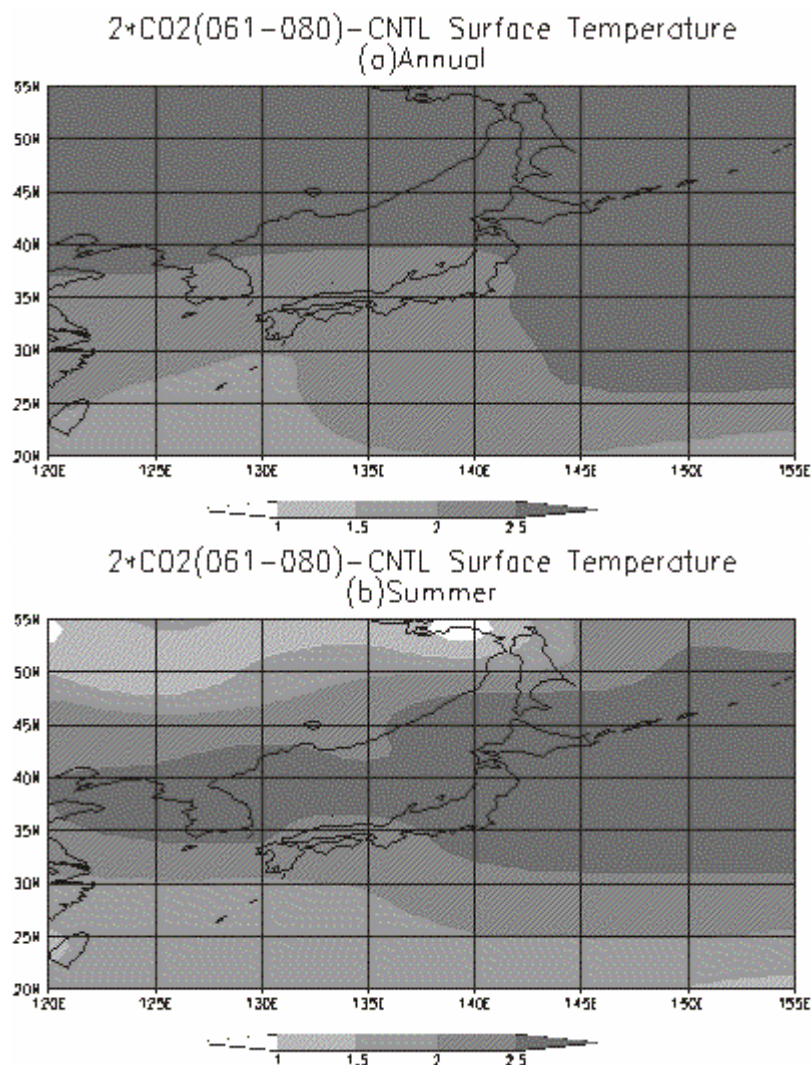


図4 MRI-CGCM1 による、 $\text{CO}_2$  が年率 1%複利での増加するシナリオにおいて、 $\text{CO}_2$  が 2 倍となる 2050 年前後の 20 年間平均の地上気温の上昇( )。(a)年平均気温および(b)夏季(6～8 月)平均気温

日本周辺において、 $\text{CO}_2$  が約 2 倍になる実験開始後 61～80 年(シナリオでは 2046～2065 年に相当)の地上気温( $\text{CO}_2$  漸増実験と基準実験との差)を、年平均と夏季(6～8 月)平均について示す(図 4)。年平均気温で見ると、温暖化の程度は北ほど大きい傾向にあり、北日本では 2.5 以上、東日本および西日本で 2～2.5、南西諸島で 2 以下の昇温となる(図 4 a)。世界的にも、北半球高緯度の大陸上で特に冬季に温暖化の程度が最も大きくなることは、多くの GCM で共通した結果である。いっぽう夏季気温については、日本付近だけを見ると年平均と同じく、北日本の方が温暖化の程度が大きい。また年平均気温に比べて関東～東北の東日本で昇温の度合いがやや大きいのが特徴である(図 4 b)。

しかしながら、MRI-CGCM1 は緯度 4°、経度 5°の空間解像度であるため、日本列島上に位置するグリッドは多く見積もっても 7 点しかない。したがって日本付近において、これ以上の細かい地域性



を論ずるのは難しい。

### 3．地域気候モデル(RCM)による気候変動予測

地球温暖化の影響の正しい評価を行うためには、空間的には10km以下、時間的には日スケール以下の時空間的に高解像度な気候変化予測シナリオが必要であるが、現在の全球気候モデル(GCM)の空間解像度は、計算機の能力や資源の関係もあって100km以上であり、正しい影響評価のためには不十分である。より高解像度のGCMによる気候変化予測の計画はあるものの、実用化にはまだ相当の時間を要する。

このため、解像度の粗いGCMの予測結果を何らかの方法で地域レベルに翻訳する(ダウンスケーリング)必要がある。その手法として

- 1) 対象地域を限定し、より現実に近い複雑な物理過程と地形を組み込んだ高解像度モデルをGCMの結果を境界条件として駆動させる地域気候モデル(RCM)実験
- 2) 現在の気候システムから得られる統計的な関係をGCMの結果に適用して再計算させる統計的ダウンスケール手法

がある。

RCMを用いた研究は、日本でも気象庁気象研究所(MRI)、国立環境研究所(NIES)および電力中央研究所(CRIEPI)の3機関で行われている。ここでは、RCMによる精度向上について論ずる。

図5aは、緯度4°、経度5°のグリッド間隔を持つMRI-GCMによる、1月の月降水量分布である。これと、主に衛星データを用いて緯度経度2.5°で編集した観測による結果(図5c)と比較すると、GCMでは日本の脊梁山脈はほとんど表現できないことから、日本海側における冬の降水はほとんど再現されていない。これに対して緯度経度0.5°の解像度を持つRCMによる実験結果では、日本海側における地域的な分布がおおむね再現されている(図5b)。また、関東甲信の内陸部と瀬戸内では降水は少なく、これも観測結果と一致している。

このようにRCMを用いた気候の再現は、GCMに比べて地域的な信頼性が高いため、現状ではRCMを用いた温暖化予測に期待が高まる。しかしながら、RCMによる実験はGCMの出力を境界条件とするため、元のGCMにおいて大規模場の再現性が悪ければ、それ以上の正確さを持つことができない。

したがって超高解像度のGCMによる、信頼性の高い温暖化予測結果が提出されるまでは、RCMによるネスティング(結合)と統計的ダウンスケーリング手法を併用していくのが現実的と考えられる。

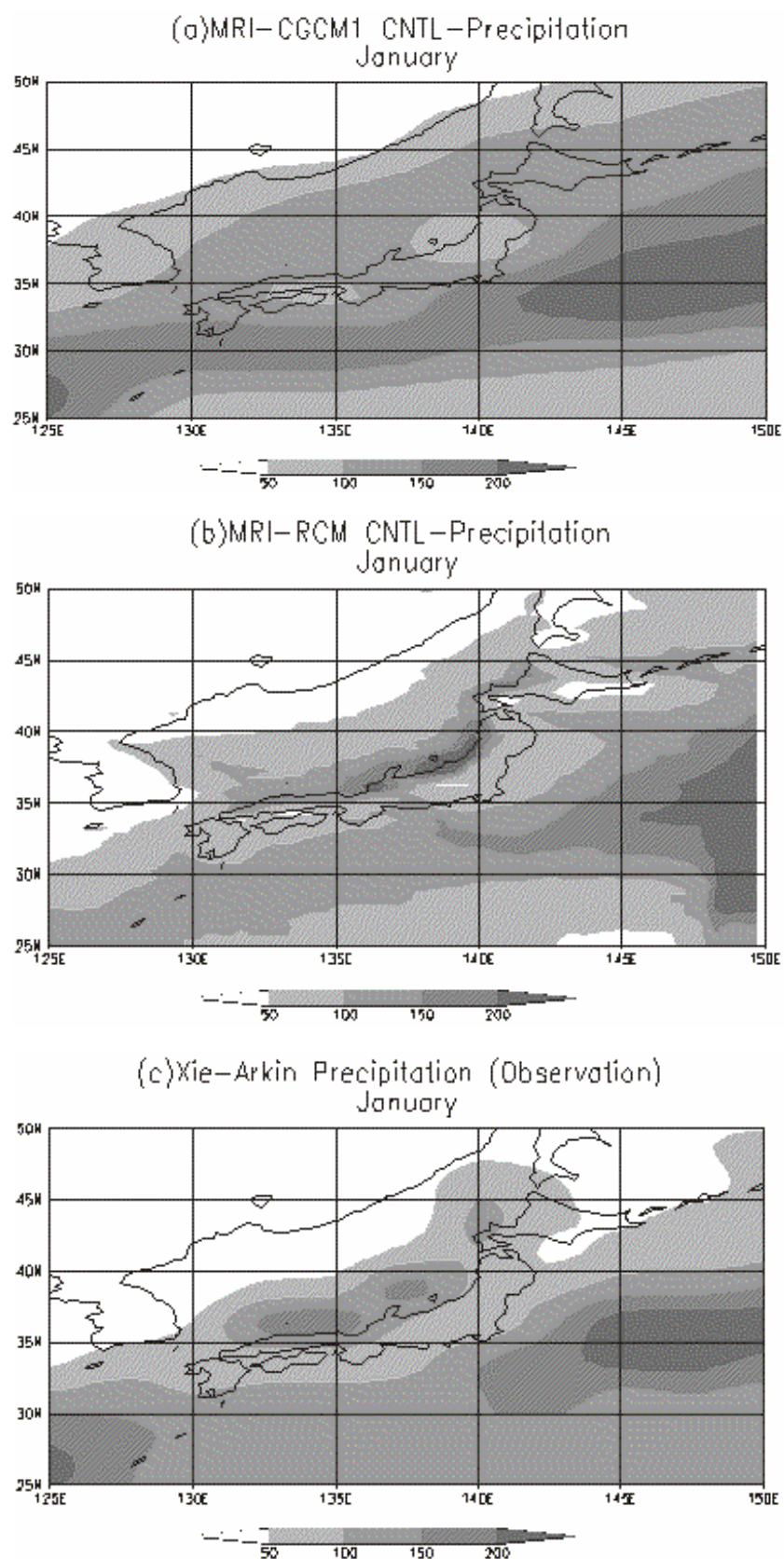


図5 日本付近における1月の月降水量分布(mm)

(a)MRI-GCM を用いた 20 年の基準実験の平均値。(b)(a)と同じ期間の境界条件を用いて駆動した RCM による 20 年平均値。(c)観測による 1979～1998 年の 20 年平均値。

- ・我が国における異常気象の発生状況と各地域における気候変動

## - 1 異常気象の発生状況

異常気象とは？

「異常気象」は、一般には過去に経験した気候状態から大きく外れた気象を意味し、台風や低気圧に伴う大雨や強風などの数日程度の激しい現象から、干ばつや日照不足など数か月程度の現象が含まれる。気候学的には地球の気候状態は変動するのがむしろ自然であり、「異常」「正常」を何によって定義するかは、その目的に応じて決まってくる。国際連合の組織であるWMO（世界気象機関）では平年値を30年間の観測値の平均と定義している。

これは30年が人間が社会的に活動する期間に相当するという考えが基本となっている。30年間の平均が人間の感じる平均状態、つまり「正常」の状態に相当するという考え方である。

こうした考え方に基づいて、気象庁では「それぞれの地点で過去30年間に観測されなかったような値を観測した場合」を「異常気象」と定義している。

具体的には、月平均気温については、月平均気温の平年値からの差が平年の期間の標準偏差の2倍以上となった場合としている。月降水量については、月降水量が平年期間の間に観測されたどの値より多いもしくは少ない場合としている。

地球温暖化のように100年以上にわたる長期間の気候変動を取り扱う時には、最近の30年間ではなく、さらに過去の期間を基準としてその後観測された現象を調査することも必要となる。

異常気象の発生状況について

表 1.1 日本の気温、相対湿度の異常値を調査した34地点

地 域	地 点	平成11年9月に気象庁から「近年における世界の異常気象と気候変動」が出版されている。この中から、特に日本の異常気象の傾向、特に営農と関係深い気温、降水量について紹介する。  これらが調査された地点は表 1.1 及び 2 のとおりである。
北日本	旭川 網走 札幌 根室 寿都 山形 石巻	
東日本	伏木 敦賀 長野 前橋 熊谷 水戸 横浜 高山 岐阜 津 浜松	
西日本	彦根 神戸 和歌山 境 浜田 下関 松山 多度津 高知 徳島 福岡 佐賀 熊本 宮崎	
南西諸島	名瀬 石垣島	

表 1.1.2 日本の降水量の異常値を調査した51地点

地 域	地 点
北日本	旭川 網走 札幌 帯広 根室 寿都 秋田 宮古 山形 石巻 福島
東日本	伏木 福井 敦賀 長野 松本 飯田 甲府 前橋 宇都宮 熊谷 水戸 東京 横浜 高山 名古屋 岐阜 津 浜松
西日本	彦根 京都 神戸 大阪 和歌山 境 浜田 呉 下関 松山 多度津 高知 徳島 佐賀 大分 長崎 熊本 宮崎 鹿児島
南西諸島	名瀬 那覇 石垣島

## 異常高温・異常低温について

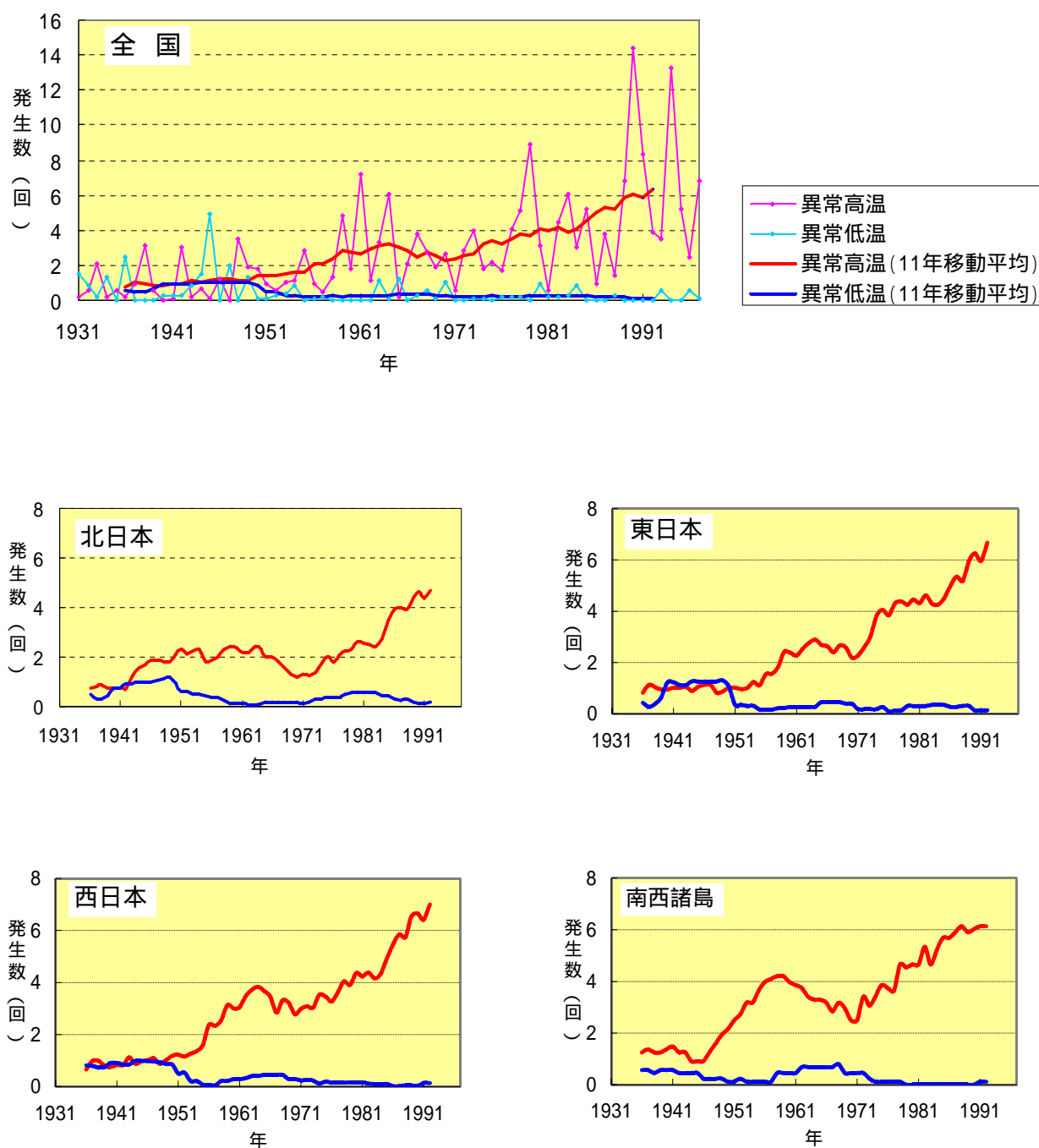


図 .1.1 日本の異常高温・異常低温の発生数の経年変化

赤：異常高温 青：異常低温 細線：年々の値（全国のみ） 太線：11年移動平均値 平年値 1901～30年

図 .1.1に全国、北日本、東日本、西日本、南西諸島の異常高温と異常低温の発生数の経年変化を示す。トレンドを見るために 11 年移動平均を示したが、全国については各年の値も示した。発生数は、各年の異常値の合計をデータ総数で割って30倍した値で、1 地点当たり30年間に何回現れるかを表した。

異常値の発生数は平年値の期間等によっても変化するため、グラフの見方として、発生数の絶対値ではなく、異常高温と異常低温それぞれのトレンドや相対的な大小関係の変動に注目した。

全国および各地域ともほぼ同じ特徴で、異常高温の増加傾向が見られる。これは平均気温の昇温傾向と一致している。

異常低温は全国的に1950年代から減少し、1980年代後半以降はほとんど発生していない。一方、異常高温は1950年代から増加し、1980年代後半にも増加している。年々の値では1979、1990、1994年の異常高温発生数が多い。

北日本は異常高温が1940年代後半から増加していて、他の地域より早く異常高温の増加が起こっているが、全体の異常高温の増加は他の地域より緩やかである。東日本は異常高温が1960年頃から増加している。西日本は異常高温が1960年頃と1980年後半に階段状に増加している。南西諸島も異常高温が1950年代と1970年代後半以降に増加している。

異常高温の増加については都市化の影響も考えられるが、都市化の影響が少ないと見られる南西諸島でも異常高温の増加が明確に見られることから、異常高温の増加には都市化による影響は少ないと考えられる。

## 異常多雨・異常少雨

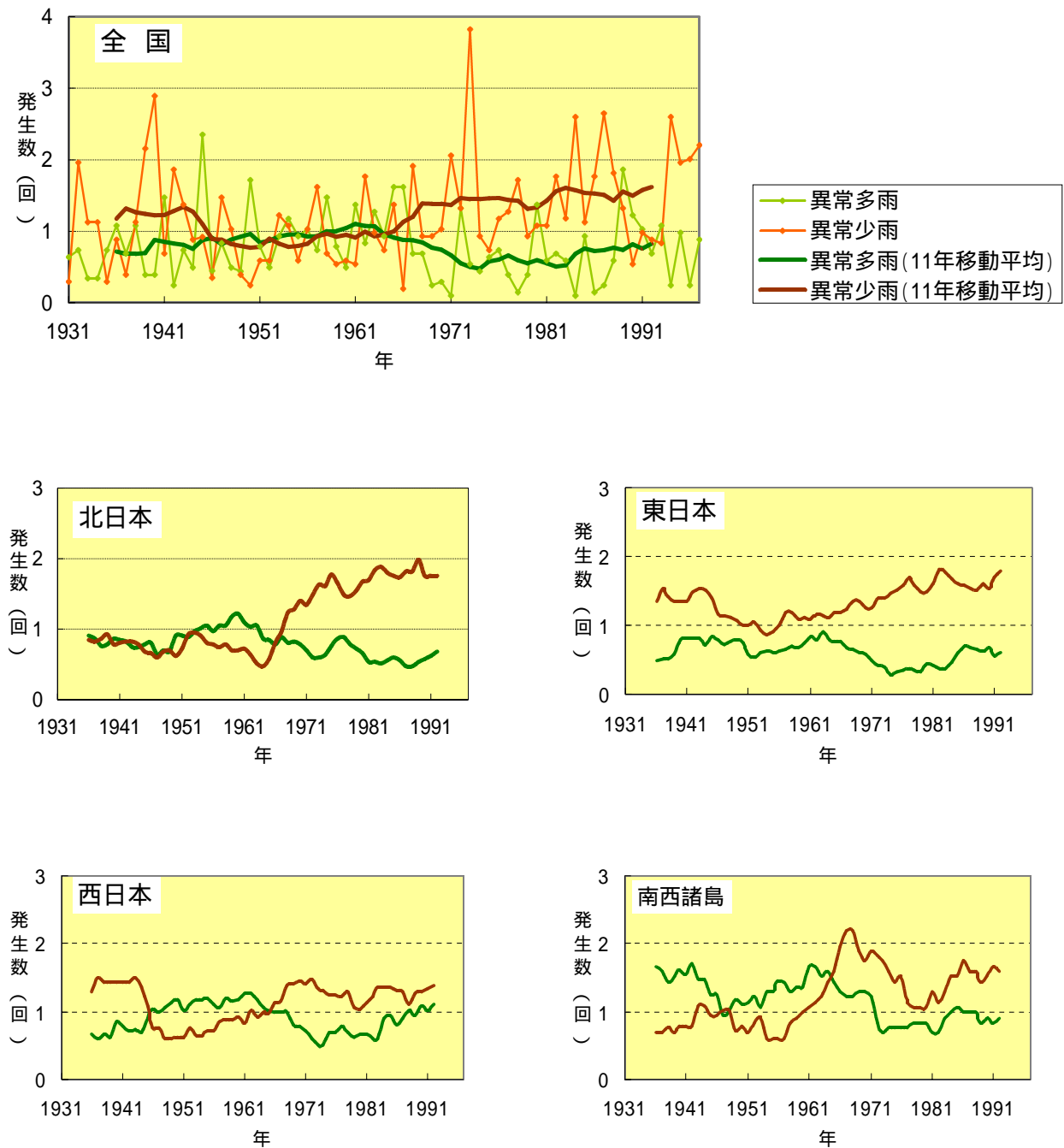


図 .1.2 日本の異常多雨・異常少雨の発生数の経年変化

緑：異常多雨 茶：異常少雨 細線：年々の値（全国のみ） 太線：11年移動平均値 平年値 1901～30年

図 .1.2に各地域の異常多雨と異常少雨の発生数の11年移動平均を示した。全国については年々の値も示した。発生数は月平均気温と同じ算出方法である。グラフの見方についても同様に、発生数の絶対値ではなく、異常多雨と異常少雨それぞれのトレンドや相対的な大小関係の変動に注目した。



全国では1970年頃に異常少雨が増えて異常多雨が減少し、その状態が続いている。年々の値では 1973 年の異常少雨が目立つ。北日本は 1960 年代に異常多雨が増加したが、1970 年頃に異常少雨が増加した。東日本と西日本は 1970 年代以降のほかに、1940 年頃も異常少雨の多い時期があり、長期的に異常少雨が増加傾向にあるとは言えない。南西諸島は 1960 年代以前と以降で異常少雨と異常多雨が逆転している。

【参考・引用文献等】

気象庁：近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し～（各論）P.8～P12

## - 2 地上気温と降水量の変動

日本国内では約 150 地点の気象台、測候所等で気温、降水量等の観測を行っている。これらの地点の中から、都市化などによる環境の変化が比較的少なく、かつ観測データの均質性が長期間継続している 15 地点を選び（表 .2.1）、地上気温と降水量の経年変化の調査を行った。ここで平年値は 1961 ～ 1990 年の平均を用い、地上気温は平年値との差を、降水量は平年値との比を平均して解析した。

表 .2.1 日本の気温、降水量の経年変化を調査した15地点

地 域	地点名
北日本	網走 根室 山形 石巻
東日本	水戸 伏木 飯田 浜松
西日本	彦根 境 浜田 多度津 宮崎
南西諸島	名瀬 石垣島

### 1 . 平均気温の経年変化

全国及び地域別の年平均気温の経年変化（1898 ～ 1997 年）を図 .2.1に、季節別（春：3 ～ 5 月、夏：6 ～ 8 月、秋：9 ～ 11 月、冬：前年 12 月～当該年 2 月）の平均気温の経年変化を図 .2.2に示した。

解析の結果、北日本の夏と南西諸島の冬を除いて、日本の気温は有意な上昇傾向を示している（解析結果の詳細は文献を参照）。

#### 1 ) 年間平均気温

全国平均では、1940年代半ばまでは平年に比べ約 0.5 低く経過したが、1940年代後半から昇温し、1960年前後を中心とした高温、その後の1970年前後及び1980年代前半の比較的低温な期間を経て、1980年代後半からは高温が続いている。特に1990年代に入ってから顕著な高温となった年が多く、5年移動平均値を見ても、+0.5 前後の値で推移している。1898～1997年の過去100年間のトレンドは $0.91 \pm 0.26$  /100 年の上昇となっている（線形回帰から求めた 95 %の信頼限界を±を付記した数値で示している）。

地域別に見ても、北日本、東日本、西日本及び南西諸島の全 4 地域で同程度の上昇傾向となっており、1950 年前後を境として気温が急上昇するという同様な変化傾向が見られるが、1970 年前後の低温については南西諸島で、1980年代前半の低温については南西諸島を除く地域でやや顕著に現れている。また、1980年代後半からの高温は、北日本と東

日本で顕著である。

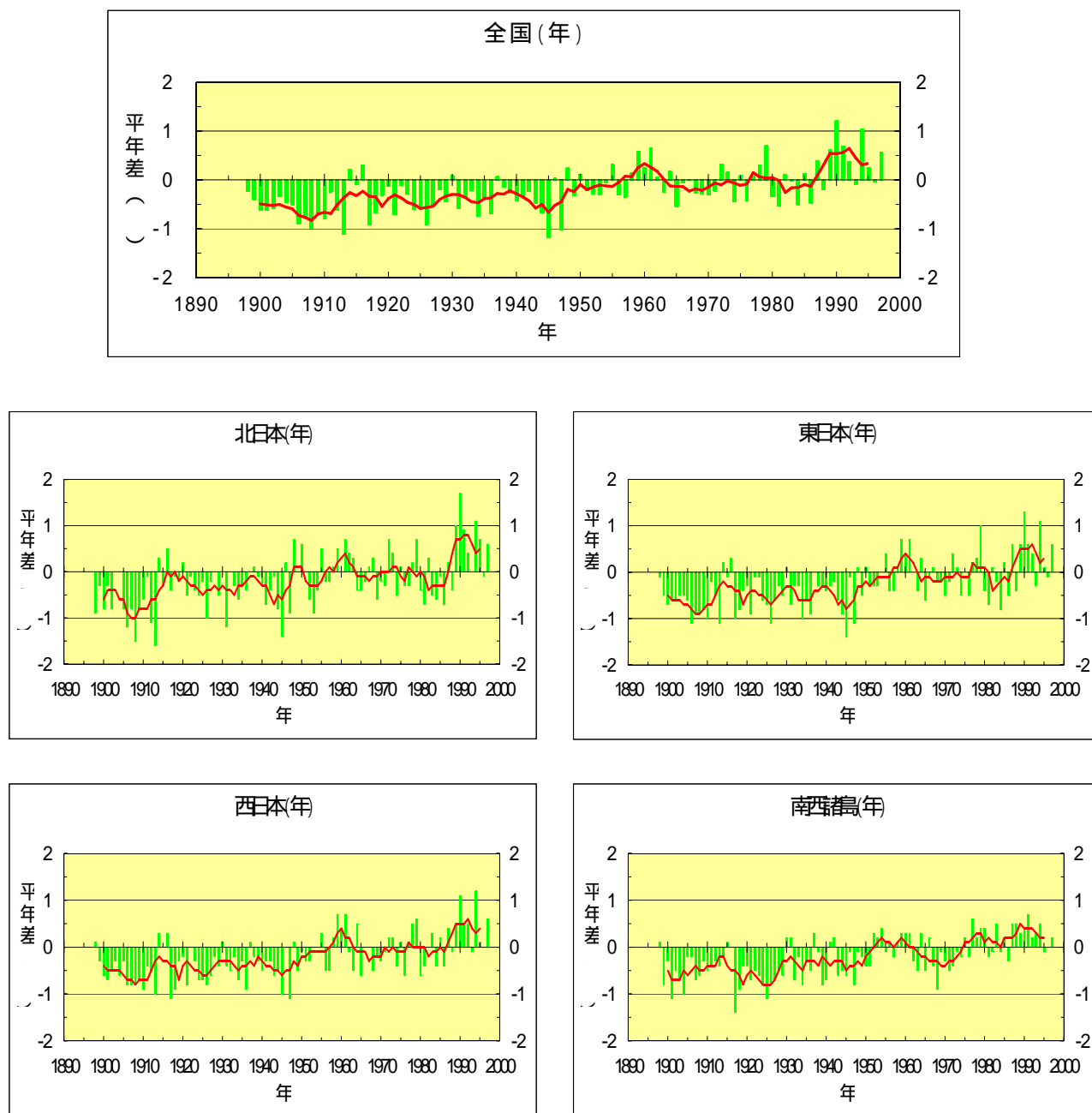


図 2.1 日本の年平均気温の平年差の経年変化