

# IPCC第4次評価報告書 第1作業部会報告書 概要 (公式版)

2007年5月22日Ver.

IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書は、SPM(Summary for Policy-makers:政策決定者向け要約)、TS(Technical Summary:技術的要約)、及び本編(個別章)により構成されています。

本資料は、2007年2月1日に第1作業部会総会で正式採択されたSPMの内容をもとに作成しております。また、併せて、報告書最終ドラフトで引用されている研究論文の図表、その他の情報源からの写真等を参考情報として使用しています。これらは、本資料作成の目的の下で使用許諾を得ていますので、使用に際しては直接引用元にご確認下さい。また、TS、本編の内容は、正式採択が早くても年内の見込みであり、現時点の最終ドラフトから変更が生じる可能性があることにご留意下さい。

資料中では、各情報の出典を明示しています。P.8以降のページでは、第4次評価報告書SPMからの引用を主体としているスライドは背景を赤色■、それ以外の情報源からの参考情報を主体としているスライドは背景を青色■としています(1枚のスライドの中に赤色と青色の情報を組み合わせている場合もありますが、その都度、出典を記載しています)。

# 目次

## はじめに

1. IPCCとは・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
2. 第4次評価報告書(AR4)とは・・・・・・・・5  
 <本資料における「可能性」「信頼性」に  
 関する用語・階級の表示>・・・・・・7

## I 気候変化の人為起源及び自然起源の要因

1. 二酸化炭素・・・・・・・・・・・・・・・・9
2. 放射強制力・・・・・・・・・・・・・・・・11

## II 近年の気候変化の直接観測結果

1. 気候システムの温暖化・・・・・・13
2. 世界平均地上気温、世界平均海洋温度・・・・14
3. 山岳氷河と積雪・・・・・・・・・・・・15
4. 世界平均海面水位・・・・・・・・・・・・16
5. 北極の気温と海氷・・・・・・・・・・・・17
6. グリーンランドと南極の氷床・・・・・・19
7. 永久凍土・・・・・・・・・・・・・・20
8. 降水量・・・・・・・・・・・・・・22
9. 大雨・・・・・・・・・・・・・・23
10. 極端な気温現象・・・・・・・・・・・・24
11. 熱帯低気圧・・・・・・・・・・・・25
12. 気温の日較差・・・・・・・・・・・・27
13. 南極の海氷・・・・・・・・・・・・28
14. 深層循環・・・・・・・・・・・・29
15. 極端な気象現象・・・・・・・・・・・・30

## III 古気候学的観点

1. 過去1300年の気温・・・・・・・・・・・・32
2. 過去12万5千年前の気温・・・・・・・・・・33

## IV 気候変化の理解と原因の特定

1. 人間活動の影響・・・・・・・・・・・・35
2. 水蒸気のフィードバック・・・・・・・・・・37

## V 将来の気候変化の予測

1. 予測モデルの向上・・・・・・・・・・・・39
2. 予測シナリオ・・・・・・・・・・・・40
3. 世界平均地上気温・・・・・・・・・・・・41
4. 炭素循環フィードバック・・・・・・42
5. 海面水位・・・・・・・・・・・・44
6. グリーンランドと南極の氷・・・・・・・・46
7. グリーンランドの氷床・・・・・・・・47
8. 海洋の酸性化・・・・・・・・・・・・48
9. 気温の地域別予測・・・・・・・・・・・・50
10. 積雪、永久凍土・・・・・・・・・・・・51
11. 北極と南極の海氷・・・・・・・・・・・・52
12. 猛暑、熱波、大雨、熱帯低気圧・・・・53
13. 降水量・・・・・・・・・・・・54
14. 深層循環・・・・・・・・・・・・55
15. フィードバックによる一層の排出削減の必要性・・・・56
16. 温暖化の長期継続・・・・・・・・・・・・57

# はじめに

# 1. IPCCとは

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル)

- **設立** 世界気象機関(WMO)及び国連環境計画(UNEP)により1988年に設立された国連の組織
- **任務** 各国の政府から推薦された科学者の参加のもと、地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済的な評価を行い、得られた知見を政策決定者を始め広く一般に利用してもらうこと
- **構成** 最高決議機関である総会、3つの作業部会及びインベントリー・タスクフォースから構成

## IPCCの組織

IPCC  
総会

**第1作業部会(WG I) : 自然科学的根拠**  
気候システム及び気候変化についての評価を行う。

**第2作業部会(WG II) : 影響、適応、脆弱性**  
生態系、社会・経済等の各分野における影響及び適応策についての評価を行う。

**第3作業部会(WG III) : 気候変動の緩和(策)**  
気候変化に対する対策(緩和策)についての評価を行う。

**インベントリー・タスクフォース**  
各国における温室効果ガス排出量・吸収量の目録に関する計画の運営委員会。

## 2.第4次評価報告書(AR4)とは (1)

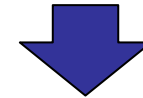
- IPCCは、これまで3回、温暖化の予測・影響・対策等に関する評価報告書を公表。
- 第3次評価報告書(TAR)完成後、2002年4月に第4次評価報告書(AR4)の作成が決定。

AR4の作成には、

- ・3年の歳月
- ・130を超える国の450名を超える代表執筆者
- ・800名を越える執筆協力者
- ・2,500名を越える専門家の査読を経て、本年順次公開される。

### これまでに公開されたIPCC評価報告書

1990年：第1次評価報告書(FAR)



1995年：第2次評価報告書(SAR)



2001年：第3次評価報告書(TAR)



2007年：第4次評価報告書(AR4)

## 2.第4次評価報告書(AR4)とは (2)

- 評価報告書は、WG I、WG II、WG IIIの各ワーキンググループの評価報告書と統合報告書からなる。
- 各ワーキンググループの評価報告書はSPM※1、TS※2といった要約及び個別章から構成される。

※1:Summary for Policy-makers(政策決定者向け要約)

※2:Technical Summary

### 第4次評価報告書作成スケジュール

- 第1作業部会(自然科学的根拠)報告書  
1月29日～2月1日  
第1作業部会総会(フランス・パリ)で審議・採択  
(SPMの承認と本文の受諾)
- 第2作業部会(影響・適応・脆弱性)報告書  
4月2日～4月6日  
第2作業部会総会(ベルギー・ブリュッセル)で審議・採択(SPMの承認と本文の受諾)
- 第3作業部会(気候変動の緩和(策))報告書  
4月30日～5月4日  
第3作業部会総会(タイ・バンコク)で審議・採択  
(SPMの承認と本文の受諾)
- 統合報告書  
11月12日～11月16日  
第27回IPCC総会(スペイン・バレンシア)で審議・採択の予定

## ＜本資料における「可能性」「信頼性」に関する用語・階級の表示＞

本資料では、SPMにおける「可能性」「信頼性」に関する用語・階級にしたがい、以下のマークを表示しています。

**可能性(Likelihood)**：成果または結果の可能性の評価を示すために専門家の判断に基づき用いている用語。

文末に以下の星印の数で区別して表示。

★ ★ ★	ほぼ確実である（発生確率が99%を超える）
★ ★	可能性が極めて高い（発生確率が95%を超える）
★	可能性がかなり高い（発生確率が90%を超える）

※SPM本文中においては、上表の用語に続けて、「可能性が高い」（発生確率が66%を超える）、「どちらかといえば」（50%を超える）、「可能性が低い」（33%未満）、「可能性がかなり低い」（10%未満）、「可能性が極めて低い」（5%未満）の区分が示されているが、本資料では、これらに該当する記載に対しては特にマークを表示していない。

**信頼性(Confidence)**：基本的な科学の信頼性に対する専門家の判断を示す階級。

文末に以下の星印の数で区別して表示。

★ ★	信頼性がかなり高い（10のうち9が正しい）
★	信頼性が高い（10のうち8が正しい）

# I 気候変化の人為起源及び 自然起源の要因



# 1.二酸化炭素(1)

- 大気中の二酸化炭素、メタンの濃度は、氷床コア※1から決定された産業革命前の値をはるかに超えている。
- 二酸化炭素は、最も重要な人為起源の温室効果ガスである。
- 二酸化炭素の増加は、主に化石燃料の使用、土地利用の変化による。

出典:AR4 SPM

※1 南極やグリーンランドの氷床から取り出される氷。過去の大気組成や気温などを知る手がかりとなる。

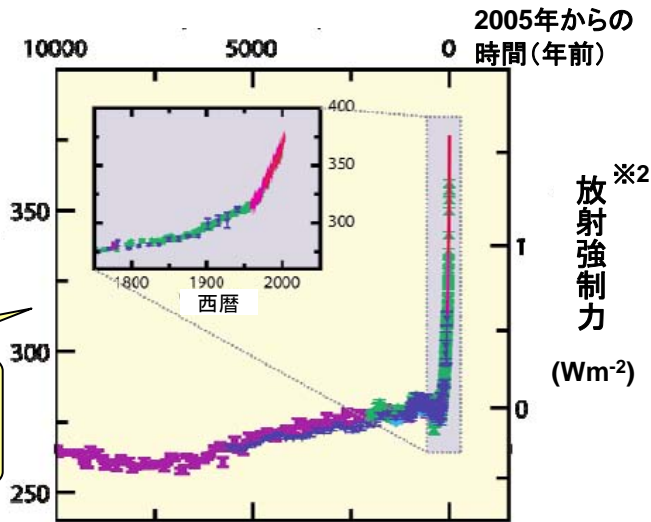
※2 正の放射強制力は地表面を暖め、負の放射強制力は地表面を冷やす。地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力のことで、1平方メートルあたりワット数で表される。

## 氷床コアと現代のデータによる温室効果ガスの変化

### 二酸化炭素

濃度  
(ppm)

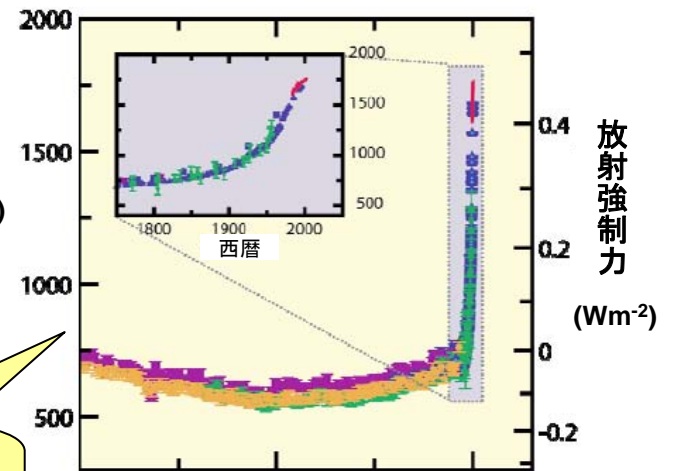
産業革命前280ppmから  
2005年379ppmへ



### メタン

濃度  
(ppb)

産業革命前715ppbから  
2005年1774ppbへ



出典:AR4 SPM 図1

# 1.二酸化炭素(2) 参考

- ・二酸化炭素の増加は、主に化石燃料の使用によるものである。 [解説]

## 二酸化炭素増加の主因である化石燃料の使用



①製油工場からの排ガス (コロラド)



②自動車渋滞 (メキシコ)

出典: ①Copyright University Corporation for Atmospheric Research, Photo by Carlye Calvin  
②Copyright University Corporation for Atmospheric Research

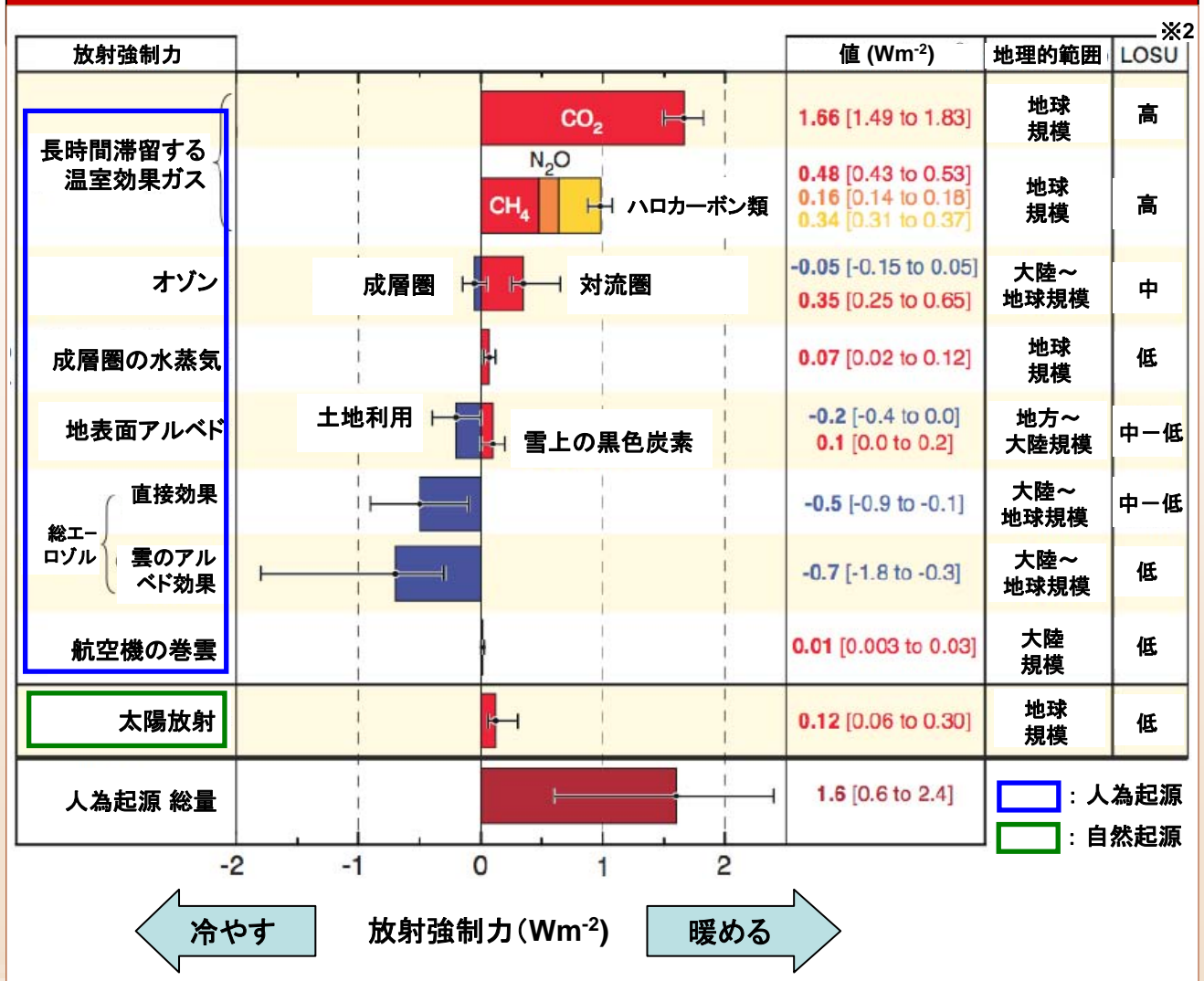
# 2.放射強制力※1

- TAR以降、様々なガスやエアロゾルが気候に及ぼす影響について理解が進展した。
- 1750年以降の人間活動(温室効果ガス、エアロゾル、対流圏オゾン、ハロカーボン類等)が、温暖化の効果をもたらしたことの信頼性はかなり高い。★★

出典: AR4 SPM

※1 正の放射強制力は地表面を暖め、負の放射強制力は地表面を冷やす。地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力のことで、1平方メートルあたりのワット数で表される。

放射強制力の構成要素(1750~2005年)



※2 「Level Of Scientific Understanding」の略で科学的知見レベルのことを示す。

出典: AR4 SPM 図2

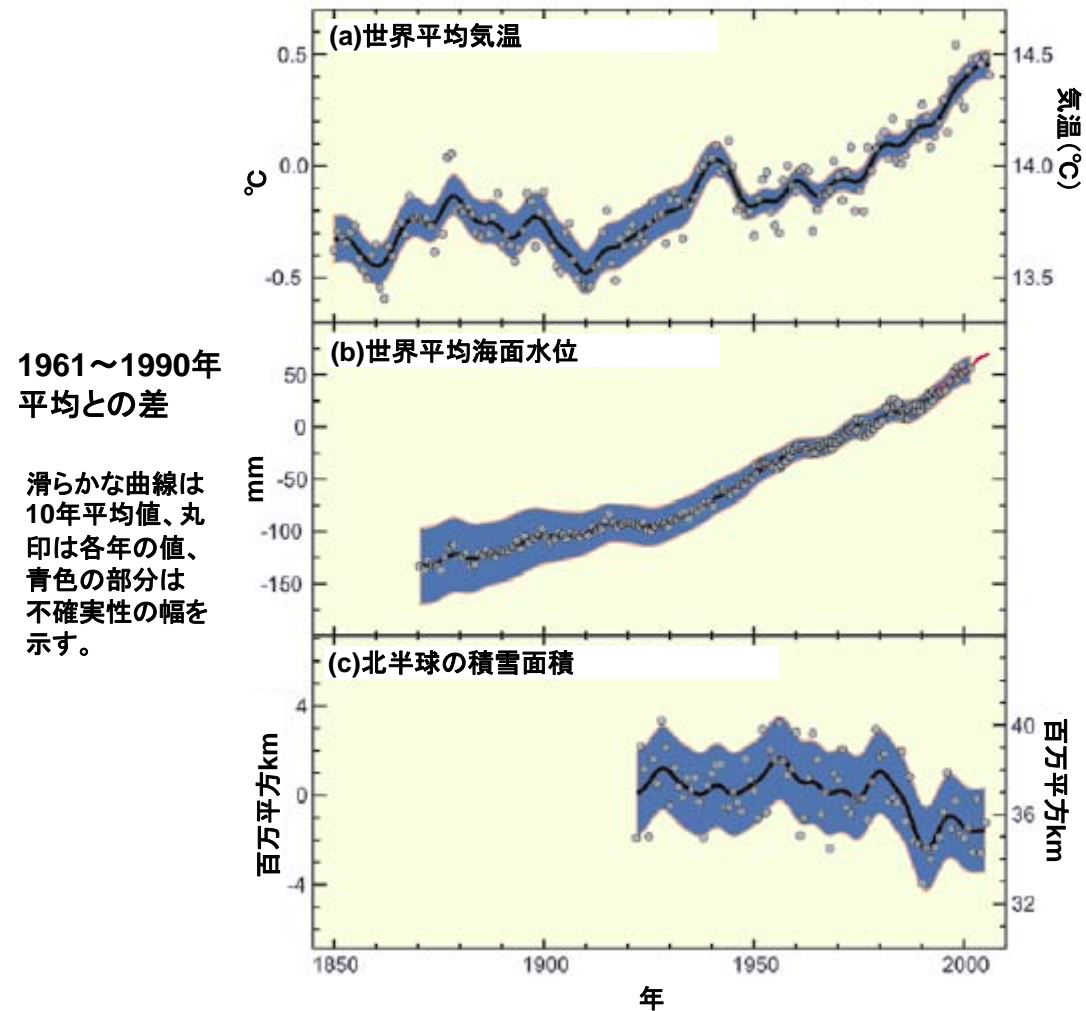
## II 近年の気候変化の 直接観測結果

# 1.気候システムの温暖化〈観測〉

- 気候システムの温暖化には疑う余地がない。
- このことは、大気や海洋の世界平均温度の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均海面水位の上昇が観測されていることから、今や明白である。

出典：AR4 SPM

世界平均地上気温、世界平均海面水位、北半球の積雪面積



出典：AR4 SPM 図3

## 2.世界平均地上気温、世界平均海洋温度〈観測〉

### 世界平均地上気温

- ・ 最近12年間のうち11年間は、1850年から現在までの間で最も暖かった。
- ・ 1906年から2005年までに観測された100年間の気温上昇は $0.74^{\circ}\text{C}$ 。これはTARの $0.6^{\circ}\text{C}$ よりも大きい。
- ・ 最近50年間（1956～2005年）の温度上昇の傾向は、10年間に $0.13^{\circ}\text{C}$ 。これは、過去100年間（1906～2005年）の傾向のほぼ2倍に相当。

### 世界平均海洋温度

- ・ 世界平均海洋温度は、少なくとも水深3,000mまでは上昇しており、気候システムに加わった熱量のうち8割以上を海洋が吸収している。

出典：AR4 SPM

### 3.山岳氷河と積雪〈観測〉

- ・ 山岳氷河と積雪は北半球と南半球の両方で減少している。

出典:AR4 SPM

#### アラスカ:ムーア氷河



出典:

(左側)Field, W.O. 1941. Muir Glacier: From the Online glacier photograph database. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Digital media.

(右側)Molnia, B.F. 2004. Muir Glacier: From the Online glacier photograph database. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Digital media.

## 4.世界平均海面水位〈観測〉

- 1961～2003年における世界平均海面水位の上昇は年間1.8mm。
- 1993～2003年にかけては、年間約3.1mmと、より早い速度で上昇。
- 20世紀中の海面上昇は0.17mと推定される。

19世紀から20世紀にかけての上昇率の値の信頼性は高い。★

今世紀で17cm上昇。

- グリーンランドと南極における氷床の減少は、1993年から2003年にわたって海面上昇に寄与した可能性がかなり高い。★

出典：AR4 SPM



## 5.北極の気温と海氷(1) 〈観測〉

- この100年間で、北極の気温は、世界全体の平均気温のほぼ2倍の速さで上昇している。
- 1978年以降の衛星データによると、北極の平均海氷範囲(面積)は、10年間あたり2.7%の減少。
- 特に夏季においては、10年間あたり7.4%と、より大きな減少傾向にある。

TARの報告と一致する。

出典:AR4 SPM

ホッキョクグマの水泳能力には、限界がある。そのため、狩りの際は海氷が必要となる。

温暖化の影響を受けるホッキョクグマ

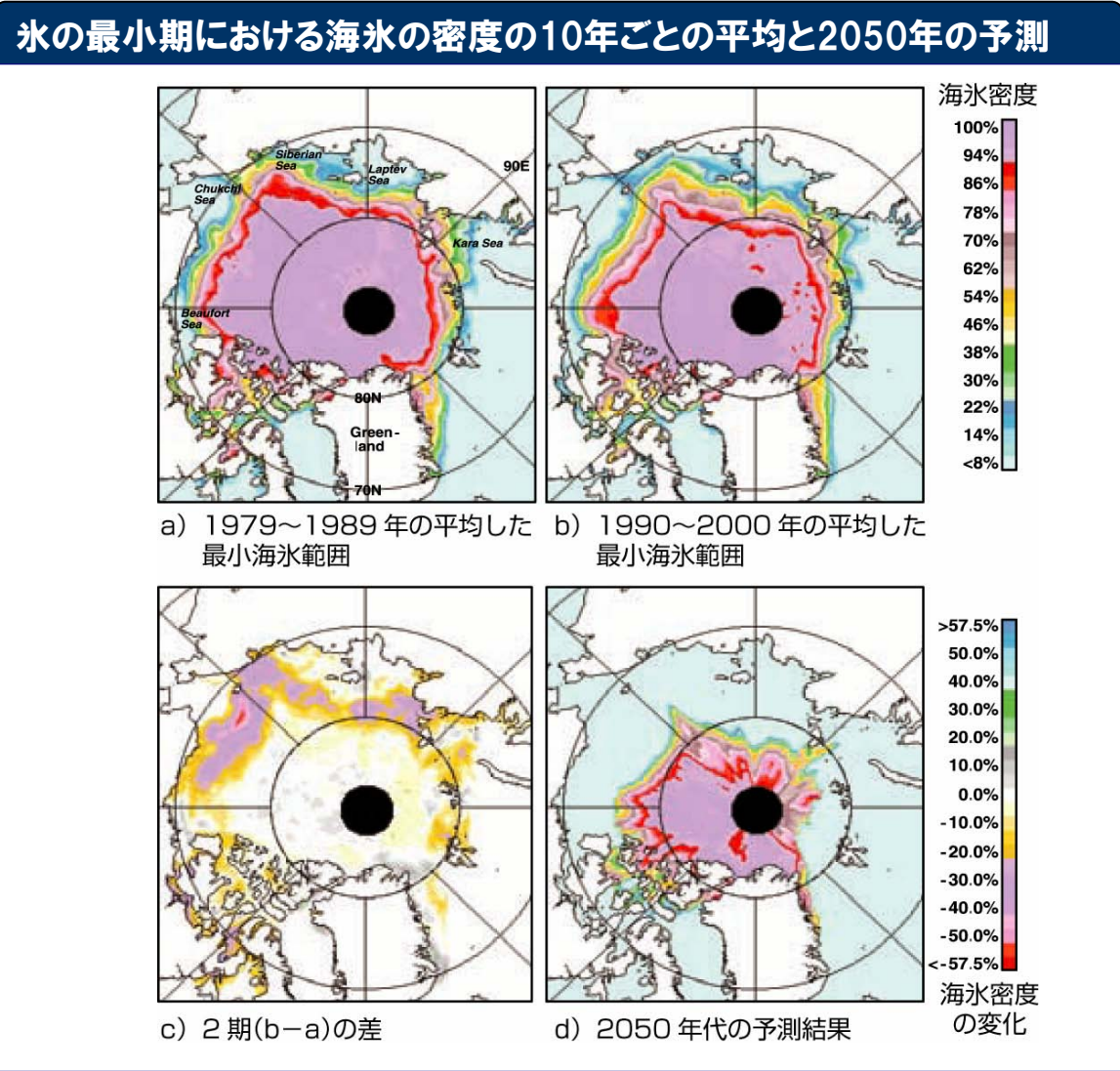


出典:Courtesy of the National Oceanic and Atmospheric Administration Central Library Photo Collection.

# 5.北極の気温と海氷(2) <観測> 参考

- 1979～1989年の10年間と、1990～2000年の10年間の海氷の密度※をみると、海氷縁部で減少傾向にある。

出典:Comiso, J., 2002: A rapidly declining perennial sea ice cover in the Arctic. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1956-1959.



※ 海氷域内のある領域で、氷に覆われている海面の割合。

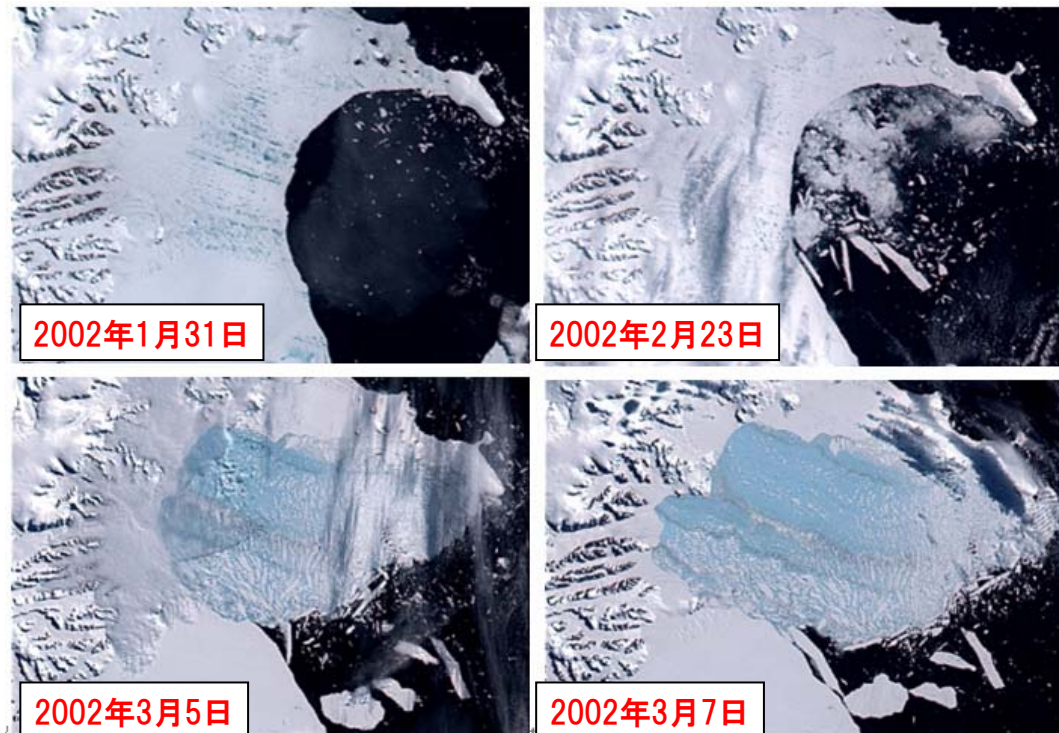
出典:Comiso, J., 2002: A rapidly declining perennial sea ice cover in the Arctic. *Geophysical Research Letter* 29, 1956-1959. Copyright 2002. American Geophysical Union. Reproduced by permission of American Geophysical Union.

## 6. グリーンランドと南極の氷床〈観測〉

- TAR以降に発表された新データによると、グリーンランドと南極における氷床の減少は、1993年から2003年にわたって海面上昇に寄与した可能性がかなり高い。★

出典: AR4 SPM

### 南極のラーセンB棚氷の崩壊（2002年1月～3月）



東京都の約1.5倍 (3,250平方キロメートル) の氷塊が崩れ落ちた。

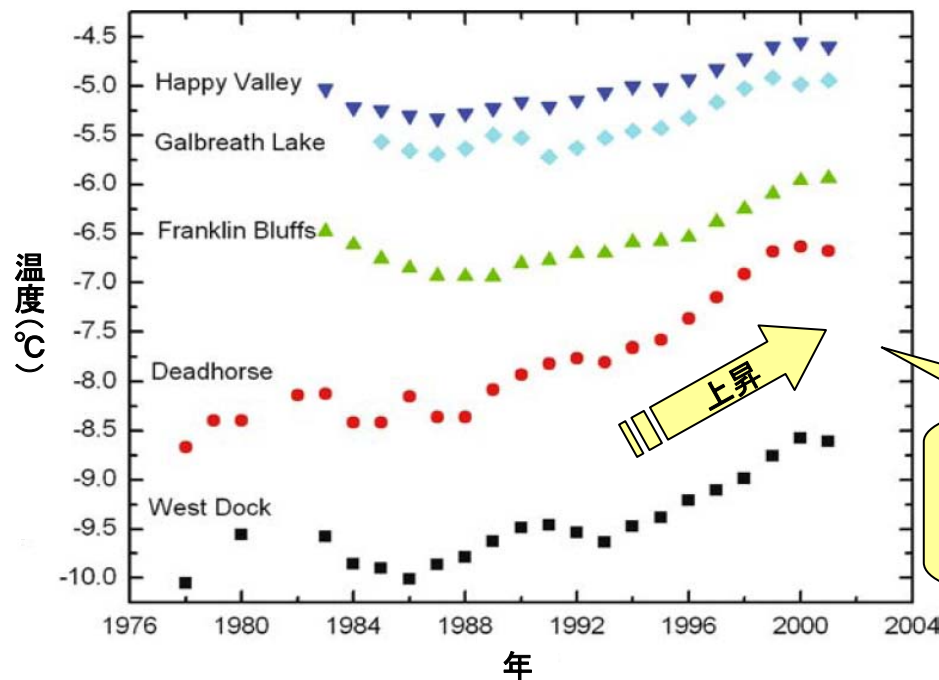
出典: MODIS image courtesy of NASA's Terra satellite, National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder.

## 7. 永久凍土(1) 〈観測〉

- 北極永久凍土層の上部の温度は、1980年代以降3℃上昇している。
- 1900年以來、北半球において季節的に凍結する土地の面積は約7%減少し、春先には15%の減少も見られる。

出典: AR4 SPM

アラスカ・ノースポールにおける永久凍土の温度変化(深さ20mで計測)



過去25年の間に、永久凍土の温度は全ての観測地点で上昇している。

出典: Hinzman et al., 2005: Evidence and Implications of Recent Climate Change in Northern Alaska and Other Arctic Regions. Climatic Change 72(3), 251-298. (Figure 5 from 4.Changes in permafrost, 261p.) With kind permission of Springer Science and Business Media.

## 7. 永久凍土(2) 〈観測〉 参考

- 北シベリアでは、温暖化によって永久凍土が融解し、地中に蓄積されていたメタンが放出されている。
- 放出されたメタンは、地球温暖化をさらに促進するため、正のフィードバック※をもたらしている。

出典: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Walter, K.M. et al., 2006: Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming. *Nature* 443(7), 71-75. ), copyright (2006) <http://www.nature.com/>

※「フィードバック」については、p43を参照。

シベリアでは、永久凍土が融解してできた湖から、メタンが発生している。



メタンの圧力で隆起した泥炭層からメタンが発生している様子。

出典: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Walter, K.M. et al., 2006: Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming. *Nature* 443(7), 71-75. ), copyright (2006) <http://www.nature.com/>

## 8.降水量〈観測〉

- ・ 北米・南米の東部、ヨーロッパ北部、北アジア、中央アジアで、降水量が大幅に増加。
- ・ サヘル地域、地中海沿岸、南アフリカ、南アジアの一部で乾燥化。

出典：AR4 SPM

降水は、空間的・時間的な変動が大きく、評価された他の広い地域では長期的な傾向は認められていない。

### 国内での豪雨被害



新潟県長岡市で、豪雨のため浸水した道路

出典：新潟県長岡地域振興局撮影(2004/7/13)

## 9.大雨〈観測〉

- 多くの陸域で、温暖化や大気中の水蒸気の増加とともに、大雨の頻度が増加している。
- 一方で、1970年代以降、特に熱帯と亜熱帯で、より厳しく長期にわたる干ばつが観測された地域が拡大している。

出典：AR4 SPM

### 国外での豪雨被害



エルベ川の左小支川ミュグリッジ川において救出を待つ人

出典：土木学会「ヨーロッパ水害調査一概要報告書一」  
2003年3月(写真はザクセン州内務省提供)

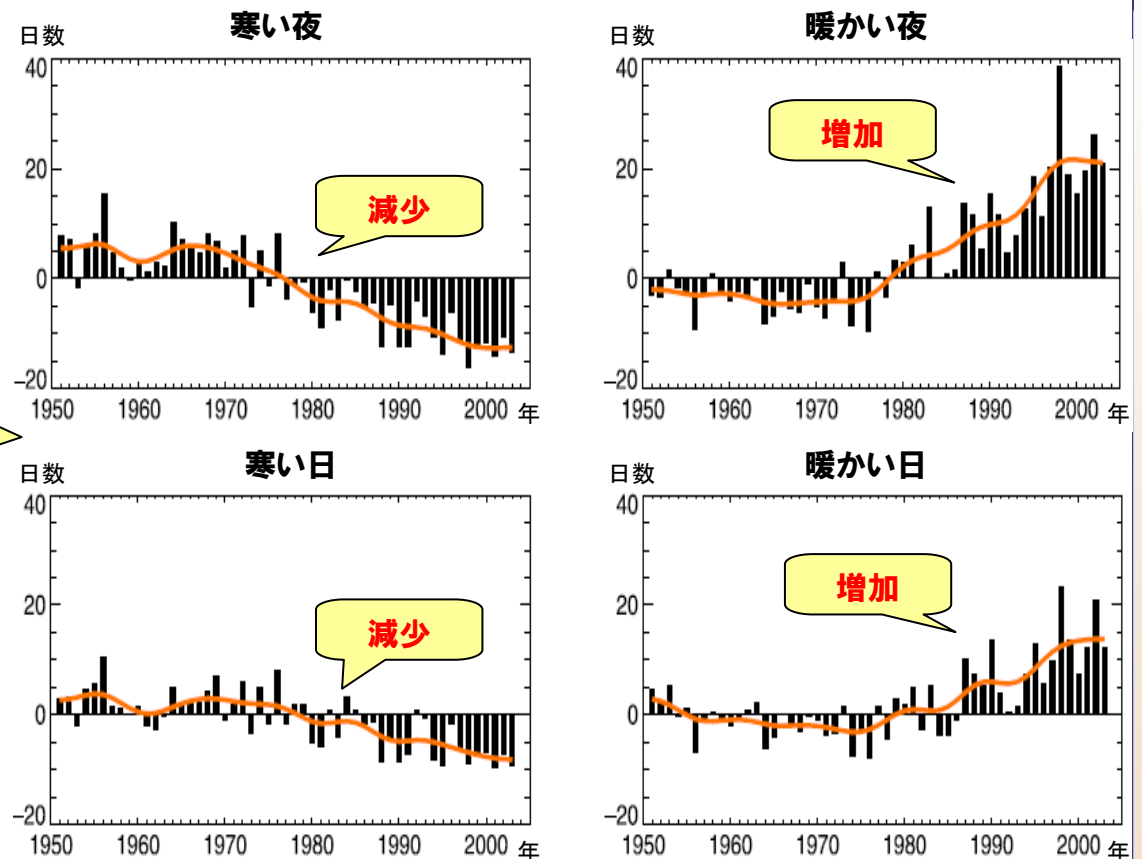
# 10. 極端な気温現象 〈観測〉

- 寒い日、寒い夜、霜のおりる日の頻度が減り、暑い日、暑い夜、熱波の頻度が増えている。

出典: AR4 SPM

暖かい日(夜)、寒い日(夜)の傾向に変化が出始めたのは1970年代中頃である。このことは、同じ時期に世界平均気温にも変化が出始めたという事実と一致する。

1961年から1990年の「暖かい日(夜)」※1、「寒い日(夜)」※2の平均日数を基準としたそれらの各年の日数の比較(赤線はトレンド)



※1 昼間(夜間)最低気温で、全データの統計により決められた閾値気温を記録した年間日数。

※2 昼間(夜間)最高気温で、全データの統計により決められた閾値気温を記録した年間日数。

出典: Alexander, L.V., et al., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research* 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290. Copyright 2006. American Geophysical Union. Reproduced by permission of American Geophysical Union.



# 11. 熱帯低気圧※<sup>1</sup> (1) 〈観測〉

- 熱帯海面水温の上昇とともに、1970年頃から北大西洋の強い熱帯低気圧の強度が増している。
- 熱帯低気圧の年間発生数には、明確な傾向がみられない。 出典：AR4 SPM

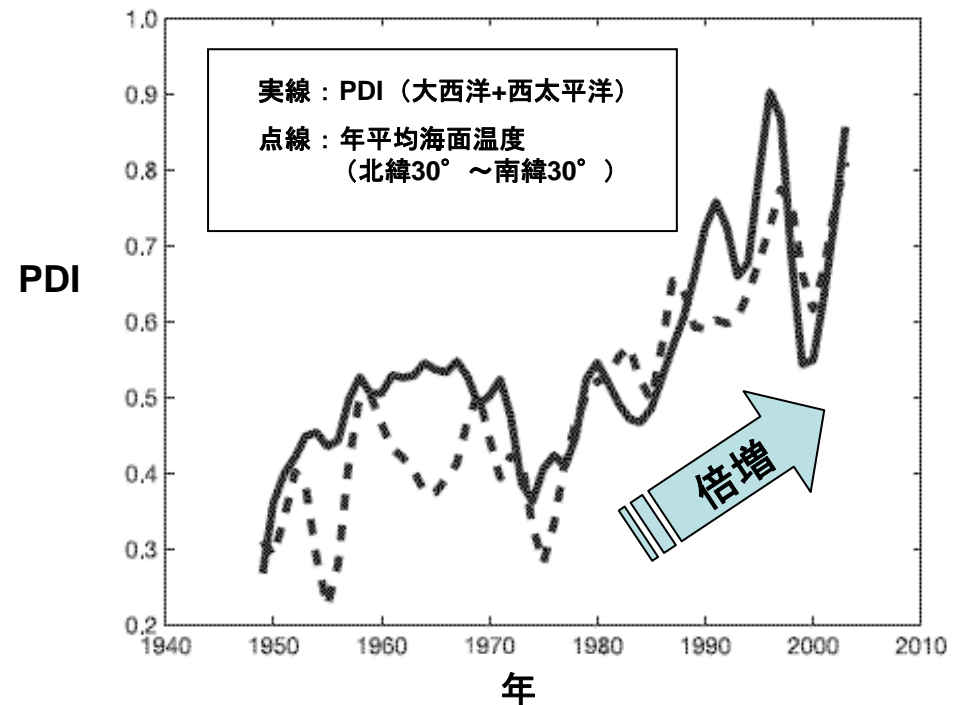
- 大西洋と西太平洋における熱帯低気圧の破壊力は、過去30年で倍増している。
- また、熱帯低気圧の破壊力は、熱帯の海面温度と高い相関関係にある。

出典：Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Emanuel, K. 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436, 686–688.), copyright (2005) <http://www.nature.com/>

※<sup>1</sup> 台風、ハリケーンを含む。

※<sup>2</sup> PDI (Power Dissipation Index)：熱帯低気圧の潜在的破壊力を表す指標の一つ。

大西洋及び西太平洋のPDI※<sup>2</sup>と海面温度



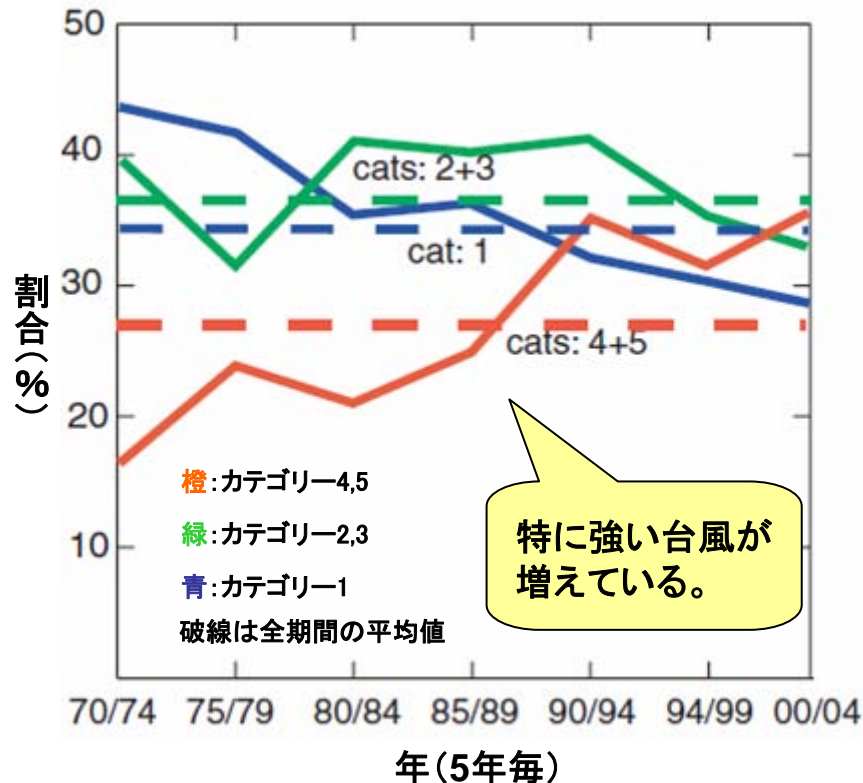
出典：Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Emanuel, K. 2005: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436, 686–688.), copyright (2005) <http://www.nature.com/>

# 11.熱帯低気圧(2) <観測> 参考

- 過去30年で、強い熱帯低気圧の占める割合が増加している。

出典: Webster, P.J., et al., 2005: Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment. *Science*, 309,1844–1846. Reprinted with permission from AAAS.

各カテゴリー※の熱帯低気圧の割合



※ 熱帯低気圧の強度を示す等級。1～5に分けられ、5が最も強度が大きい。

カテゴリー4,5の熱帯低気圧の発生数及び割合

	期間			
	1975–1989		1990–2004	
	数	%	数	%
東太平洋	36	25	49	35
西太平洋	85	25	116	41
北大西洋	16	20	25	25
南西太平洋	10	12	22	28
北インド洋	1	8	7	25
南インド洋	23	18	50	34

出典: Webster, P.J., et al., 2005: Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment. *Science*, 309,1844–1846. Reprinted with permission from AAAS. Readers may view, browse, and/or download material for temporary copying purposes only, provided these use are for noncommercial personal purposes. Except as provided by law, this material may not be further reproduced, distributed, transmitted, modified, adapted, performed, displayed, published, or sold in whole or in part, without written permission from the publisher.

## 12.気温の日較差※ 〈観測〉

- ・ 昼間と夜間の気温は、同様の割合で上昇を続けている。
- ・ 日較差は1979年以降変化していないことが示されている。
- ・ ただし、この傾向は地域によって大きく変動する。

出典：AR4 SPM

※ 日中と夜間の気温差。

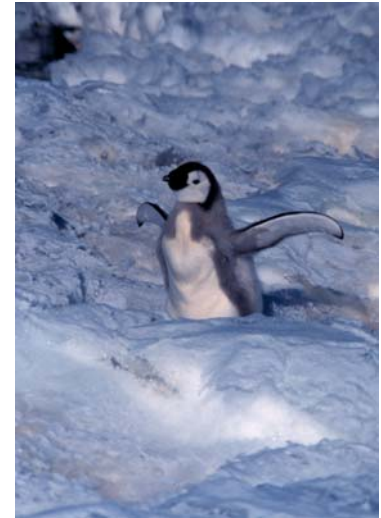
# 13.南極の海氷〈観測〉

- 南極の海氷範囲の変動には統計的に有意な傾向はみられていない。
- なお、南極大陸では、平均気温にも温暖化の傾向はみられていない。

出典:AR4 SPM

出典:Courtesy of the National Oceanic and Atmospheric Administration Central Library Photo Collection.

皇帝ペンギンのヒナ (南極ロス海にて)



- 極域の気温の予測結果でも、北極が大きく温暖化している一方で、南極はそれほど温暖化の傾向を示していない。
- また、深層循環※が温暖化により緩慢になると、南極では南極低層水により、周囲が寒冷化するという予測もある。

〔解説〕

※深層循環 (Meridional Overturn Circulation:MOC):

熱塩循環とも呼ばれている。海水の密度の違いによって起きる海洋循環。海水が南北に移動し、表面近くと深層の間を行き来することによって特徴づけられる。表層の海水と深層の海水とを混合させる動きがある。

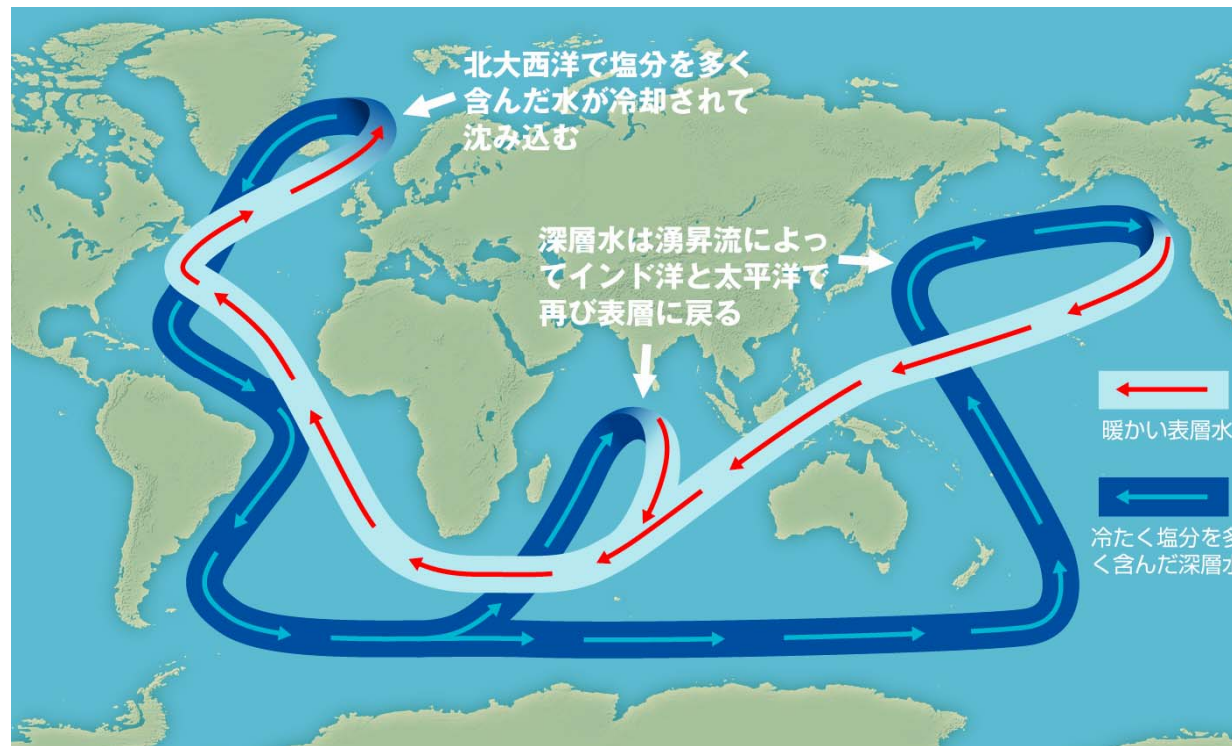
p29を参照。

# 14. 深層循環※ 〈観測〉

- 海洋の深層循環に関しては、明確な傾向があるかどうかを決める十分な根拠がない。

出典：AR4 SPM

## 深層循環の概念図



※深層循環 (Meridional Overturning Circulation: MOC) : 熱塩循環とも呼ばれている。海水の密度の違いによって起きる海洋循環。海水が南北に移動し、表面近くと深層の間を行き来することによって特徴づけられる。表層の海水と深層の海水とを混合させる働きがある。

出典：NASAホームページ <http://science.hq.nasa.gov/oceans/system/climate.html> より作成

# 15. 極端な気象現象 <観測(予測を含む)>

## 極端な気象現象の最近の傾向、予測等

現象及び傾向	20世紀後半(主に1960年以降)に起きた可能性	観測された傾向への人間活動の寄与の可能性	SRESシナリオ※1を用いた21世紀の予測に基づく将来の傾向の可能性
ほとんどの陸域で、寒い日と寒い夜の頻度が減少し、昇温	可能性がかなり高い※2★	可能性が高い※4	ほぼ確実※4★★★
ほとんどの陸域で、暑い日と暑い夜の頻度が増加し、昇温	可能性がかなり高い※3★	可能性が高い(夜)※4	ほぼ確実※4★★★
ほとんどの陸域で、継続的な高温/熱波の頻度が増加	可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性がかなり高い★
ほとんどの地域で、大雨の頻度(または総降水量に対する大雨の降水量の比率)が増加	可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性がかなり高い★
干ばつの影響を受ける地域が増加	多くの地域で1970年以降可能性が高い	どちらかといえば	可能性が高い
強い熱帯低気圧の数が増加	いくつかの地域で1970年以降可能性が高い	どちらかといえば※5	可能性が高い
高潮の発生が増加(津波を含まない)	可能性が高い	どちらかといえば※5 ※6	可能性が高い※7

※1 予測シナリオについての説明は、p40参照。

※2 寒い日と寒い夜の頻度の減少

※3 暑い日と暑い夜の頻度の増加

※4 各年の最高気温を記録した日・夜の昇温

※5 人間活動の寄与の規模は評価されていない。これらの現象への寄与は公式な寄与に関する研究よりも専門家の判断に基づいている。

※6 高潮の変化は平均海面水位の変化によく追従する。人間活動が平均海面水位の上昇に寄与している可能性はかなり高い。★

※7 全てのシナリオにおける2100年の世界平均海面水位は参照された期間より高い。地域気象システムの変化が海面水位の極端な現象に与える影響はまだ評価されていない。

# III 古氣候的觀點

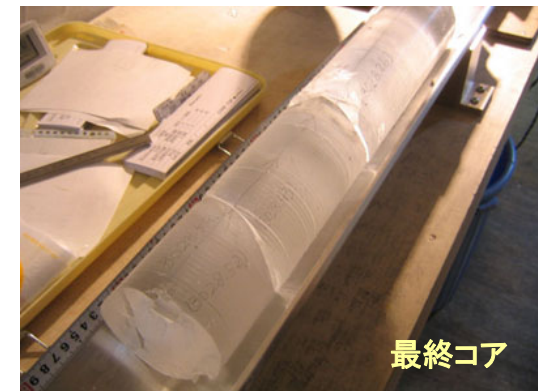
# 1.過去1300年の気温

- 20世紀後半の北半球の平均気温は、過去500年におけるどの50年間よりも暖かった可能性がかなり高く★、過去1300年の中で最も暖かった可能性が高い。

出典:AR4 SPM

古い氷を取り出し、中に閉じこめられている昔の空気を分析して大気組成を調べる。また水素や酸素の同位体を分析し、当時の気温の状況を推測する。

## 南極ドームふじ基地における氷床コア採取



出典:文部科学省ホームページ

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/18/01/06022402/001/001.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/18/01/06022402/001/001.htm)



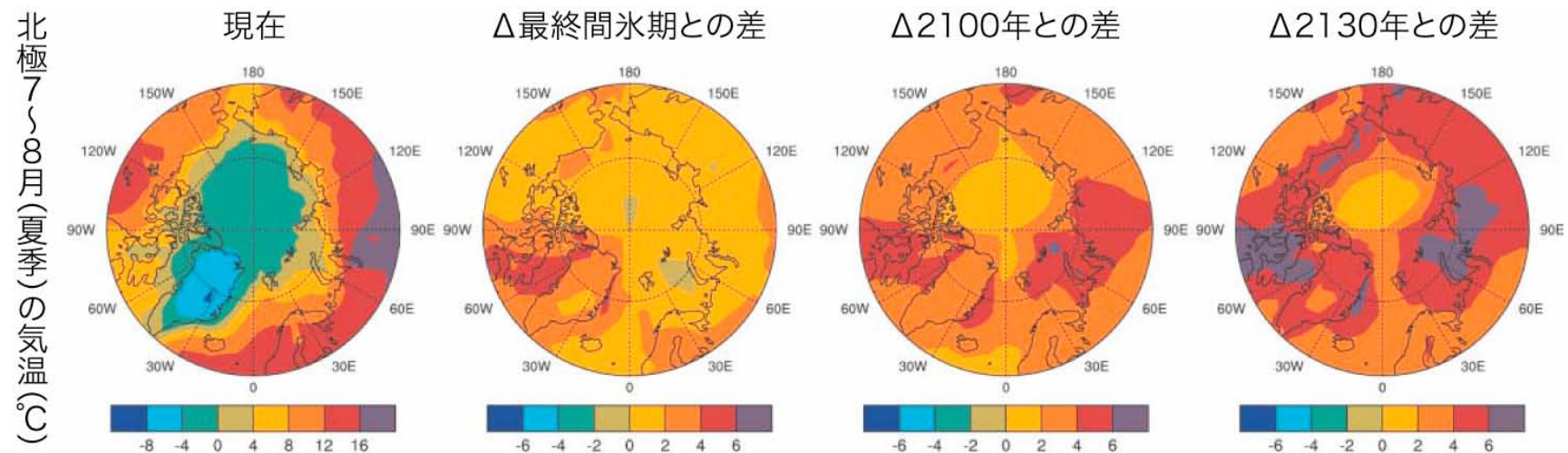
## 2.過去12万5千年前の気温

- 氷床コアデータによると、およそ12万5千年前（最終間氷期）の極地の気温は、地球の自然的現象※により、現在より3～5℃暖かった。
- そのころ、主に極地の氷が後退したために、世界平均海面水位は20世紀より4～6m高かった可能性が高い。

出典：AR4 SPM

最終間氷期と、2100年の気温を比較すると、グリーンランド周辺では、明らかに最終間氷期と同様かそれ以上に暖かくなっている。これは、グリーンランドの大部分の氷床を融かすのに十分な暖かさである。

### 最終間氷期（13万年前）、2100年、2130年と、現在の北極（夏季）気温の比較



出典：Overpeck, J.T. et al., 2006: Paleoclimatic evidence for future ice sheet instability and rapid sea level rise. *Science*, 311(5768), 1747-1750. Reprinted with permission from AAAS. Readers may view, browse, and/or download material for temporary copying purposes only, provided these use are for noncommercial personal purposes. Except as provided by law, this material may not be further reproduced, distributed, transmitted, modified, adapted, performed, displayed, published, or sold in whole or in part, without written permission from the publisher.

# IV 気候変化の理解と 原因の特定

# 1.人間活動の影響(1)

- 20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇は、人為起源の温室効果ガスの増加による可能性がかなり高い。★

TARの「可能性が高い」より、さらに踏み込んだ表現となった。

- 人間活動の影響は、海洋の昇温、大陸規模の平均気温、極端な気温といった他の側面にも及んでいる。

出典:AR4 SPM

# 1.人間活動の影響(2)

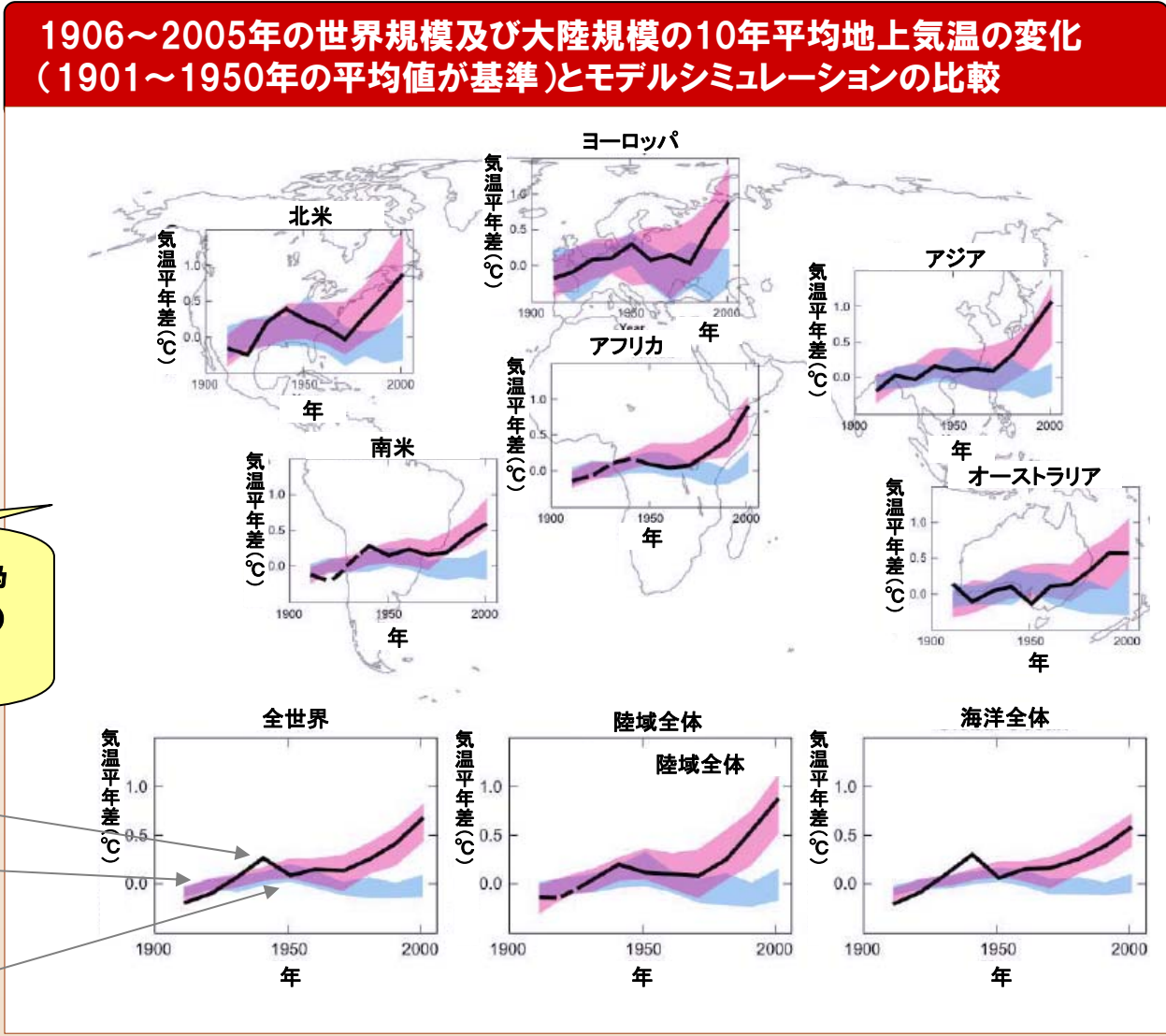
- 過去50年にわたって、南極大陸を除く各大陸において、平均すると、人為起源の顕著な温暖化が起こった可能性が高い。 出典: AR4 SPM

自然の影響だけでなく人為影響を含むほうが、実際の観測結果と合致する。

黒: 観測結果  
(破線は観測面積が全体の50%未満)

赤帯: 自然と人為の強制力\*によるシミュレーション

青帯: 自然の強制力のみによるシミュレーション



\* 正の放射強制力は地表面を暖め、負の放射強制力は地表面を冷やす。地球に出入りするエネルギーのバランスを変化させる影響力のことで、1平方メートルあたりワット数で表される。

出典: AR4 SPM 図4

## 2.水蒸気のフィードバック※1

- 大気中の水蒸気の変化は気候感度※2における最大のフィードバックであり、その機構はTAR時点に比べてより解明されている。
- 雲によるフィードバック機構は、いまだに不確実性の最大要素である。

出典:AR4 SPM

※1 フィードバックとはある事象の影響が、次々に関連する他の事象に伝播し、その結果が最初の事象に影響を与えること。

正のフィードバックは最初の事象を増幅させ、負のフィードバックは低減させる。

※2 大気二酸化炭素濃度が倍増したときの気候の変化のこと。

# V 将来の気候変化の予測

# 1. 予測モデルの向上

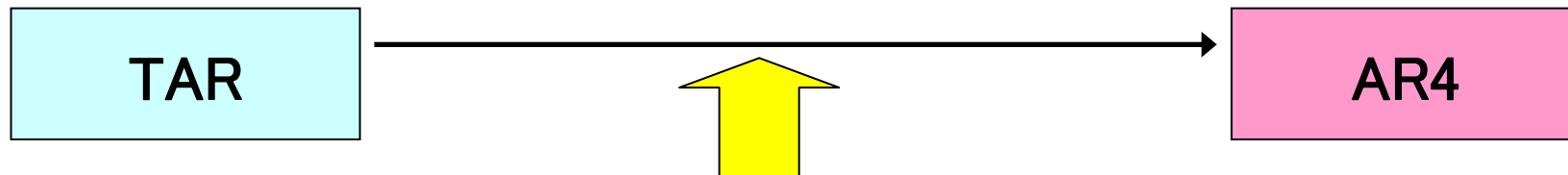
- ・ TARと比較して、気候変動予測モデルは進歩している。

## ＜ 主な改善点 ＞

- ① 多くのモデルシミュレーションが入手可能となった。
- ② 観測結果より得られた追加的な情報をモデルに取り入れた。

出典：AR4 SPM

### TARと比較した、気候変動予測モデルの改善点



- ・ 主要な変動パターンや極端な高温・低温を含む、モデルによる現在の気候の再現性向上
- ・ モデルの解像度向上、計算方法や各種プロセスのモデル化の改良、および更なるプロセスの追加
- ・ 観測結果を初期条件とした短期間～長期間のテスト予測など、モデルの包括的な解析テストの実施
- ・ 国際的な協調の促進による、モデルの精査の強化及び動作テストの普及

#### 主な不確実性

- ・ 各モデルによって、フィードバックの気候システムに与える影響度が大きく異なる
- ・ 海洋による熱吸収において重要な南極海でモデルの誤差が大きい
- ・ 計算機能力の不足により、解像度やモデルの複雑さなどが制限されている
- ・ モデルの信頼性の指標となるモデル性能の評価軸が未確立である

## 2. 予測シナリオ

### ○ A1 「高成長型社会シナリオ」

- ・ 世界中がさらに経済成長し、教育、技術等に大きな革新が生じる。

**A1FI** : 化石エネルギー源を重視

**A1T** : 非化石エネルギー源を重視  
(新エネルギーの大幅な技術革新)

**A1B** : 各エネルギー源のバランスを重視

### ○ A2 「多元化社会シナリオ」

- ・ 世界経済や政治がブロック化され、貿易や人・技術の移動が制限。
- ・ 経済成長は低く、環境への関心も相対的に低い。

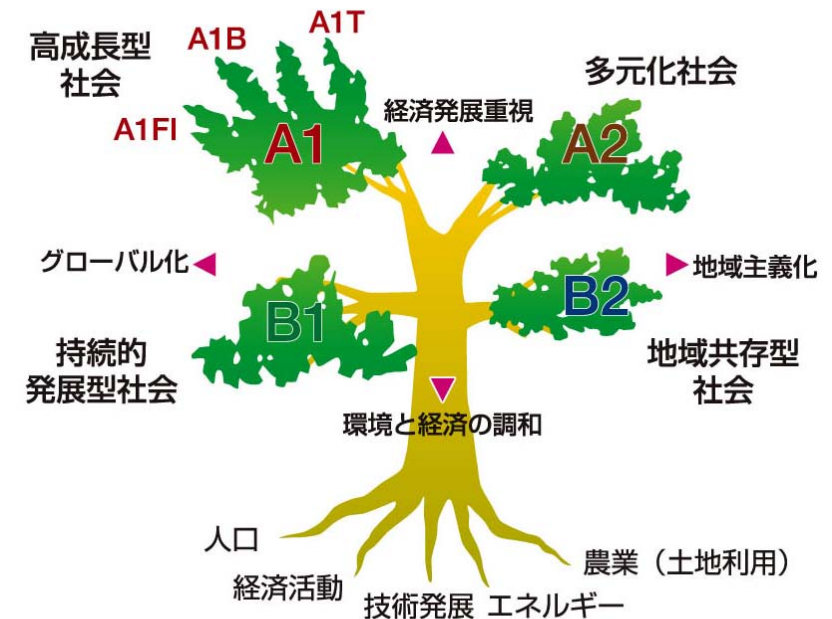
### ○ B1 「持続的発展型社会シナリオ」

- ・ 環境の保全と、経済の発展を地球規模で両立する。

### ○ B2 「地域共存型社会シナリオ」

- ・ 地域的な問題解決や世界の公平性を重視し、経済成長はやや低い。
- ・ 環境問題等は、各地域で解決が図られる。

#### ◆ 排出シナリオの概念図



出所) IPCC第三次評価報告書

出典:環境省「地球温暖化パネル」

※これらのシナリオは、追加的な温暖化対策は含んでいない。



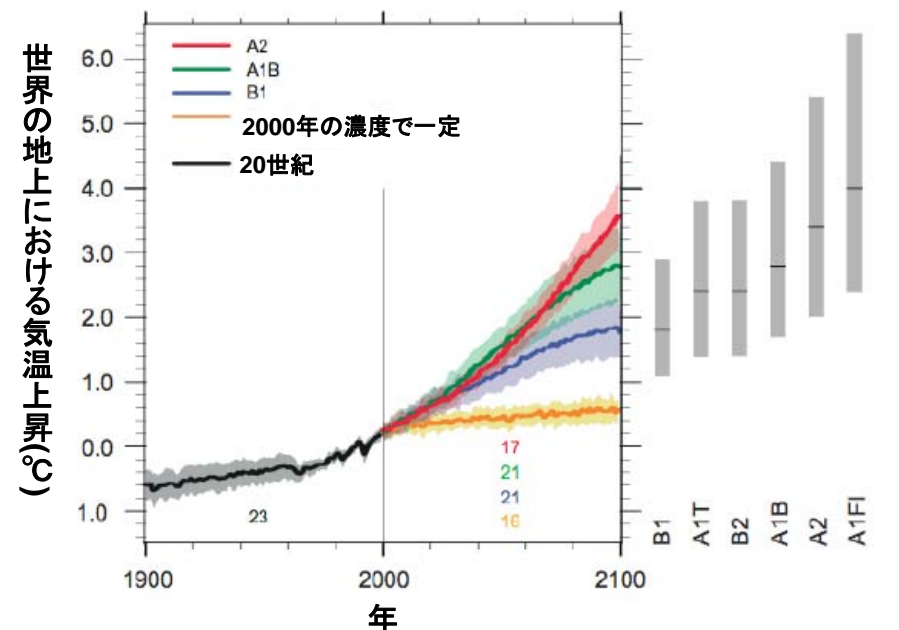
# 3.世界平均地上気温〈予測〉

- 予測シナリオ※1の範囲では、今後20年間に、10年あたり約0.2℃の割合で気温が上昇することが予測される。
- 予測シナリオ別に21世紀末の世界平均地上気温を予測した、各研究結果を基に、気温上昇の最良の予測値と可能性の高い予測幅を定めている。
- 環境の保全と経済の発展を地球規模で両立する社会においては、最良の予測値は1.8℃（可能性の高い予測幅は1.1～2.9℃）、化石エネルギーを重視しつつ高い経済成長を実現する社会では4.0℃(同2.4～6.4℃)と予測される。

B1	: 1.8℃	(1.1～2.9℃)	出典:AR4 SPM
A1T	: 2.4℃	(1.4～3.8℃)	
B2	: 2.4℃	(1.4～3.8℃)	
A1B	: 2.8℃	(1.7～4.4℃)	
A2	: 3.4℃	(2.0～5.4℃)	
A1FI	: 4.0℃	(2.4～6.4℃)	

※1 予測シナリオについての説明は、p40参照。  
 ※2 予測結果の( )内は、モデル平均の-40%～60%。

世界平均地上気温の温暖化予測結果  
 ～1980-1999年平均との比較～



出典:AR4 SPM 図5

2003年、ヨーロッパでは平均3.8℃上昇、熱波により52,452人が亡くなった。

最良の予測値については、TARでは提示されていないため、比較は適さない。

可能性の高い予測幅については、炭素循環フィードバックを見込んだ多くのモデルが入手可能になったため、上限はTARより拡大している。

## 4.炭素循環フィードバック（1）〈予測〉

- 炭素循環のフィードバックを考慮すると、気温の予測幅の不確実性はTARより大きくなる。
- 温暖化により大気中の二酸化炭素の陸地と海洋への取り込みが減少するため、人為起源の排出の、大気中への残留分が増加する傾向がある。
- 例えば、A2シナリオ※の場合、炭素循環フィードバックによって、世界平均気温は1℃以上高くなる。

出典：AR4 SPM

※ 予測シナリオについての説明は、p40を参照。

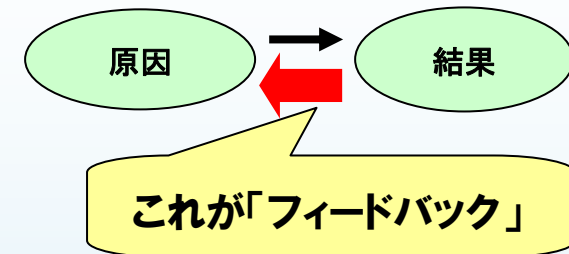
## 4.炭素循環フィードバック(2) <予測>

### フィードバックとは？

- ある事象の影響が、次々に関連する他の事象に伝播し、その結果が最初の事象に影響を与えること。
- 正のフィードバックは最初の事象を増幅させ、負のフィードバックは低減させる。

〔解説〕

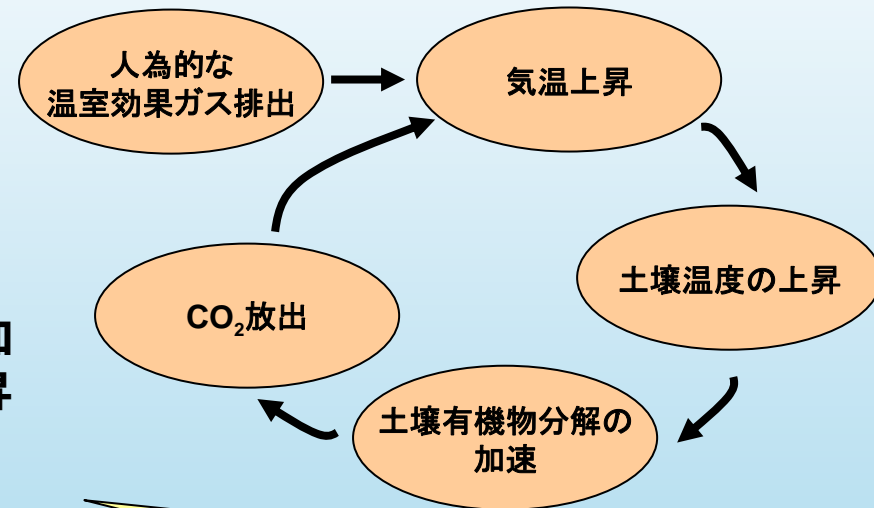
新発見



### 炭素循環フィードバックの例

- 土壌 人為的な温室効果ガス排出の増加  
⇒ 気温上昇 ⇒ 土壌温度の上昇  
⇒ 土壌有機物分解の加速  
⇒ CO<sub>2</sub>放出 ⇒ 温暖化が加速
- 海洋 人為的な温室効果ガス排出の増加  
⇒ 気温上昇 ⇒ 海洋表面の水温上昇  
⇒ 海洋のCO<sub>2</sub>取り込み量の低下  
⇒ 大気中に残存するCO<sub>2</sub>の増加  
⇒ 温暖化が加速

〔解説〕



地球温暖化は、正のフィードバック・メカニズムであることが、AR4で新しくわかった。

### その他のフィードバックの例

- 水蒸気も正のフィードバックに寄与。
- 永久凍土からのメタンの放出も寄与。

〔解説〕

## 5.海面水位(1) 〈予測〉

- 21世紀末までに、環境の保全と経済の発展を地球規模で両立する社会においては0.18～0.38mの、化石エネルギー源を重視しつつ高い経済成長を実現する社会では0.26～0.59mの海面上昇が予測される。
- 予測シナリオ別※の予測幅は以下のとおりである。

B1 : 0.18～0.38m  
 A1T : 0.20～0.45m  
 B2 : 0.20～0.43m  
 A1B : 0.21～0.48m  
 A2 : 0.23～0.51m  
 A1FI : 0.26～0.59m

出典:AR4 SPM

各シナリオ別の予測範囲の中央値はTARのモデル平均値とほぼ等しく、予測幅は不確実性の改善により、TARのときよりも狭まった。

※ 予測シナリオについての説明は、p40を参照。

各予測シナリオによる2090-2099年の世界平均海面水位の上昇  
 ～1980-1999年平均との比較～

海面水位の上昇量 [m]	
Case	将来における急速でダイナミックな 氷の流れは考慮していない
B1 シナリオ	0.18 - 0.38
A1T シナリオ	0.20 - 0.45
B2 シナリオ	0.20 - 0.43
A1B シナリオ	0.21 - 0.48
A2 シナリオ	0.23 - 0.51
A1FI シナリオ	0.26 - 0.59

ただし、この予測結果は、  
 ①ダイナミックな氷の融け出しを除いた予測である。  
 ②正の炭素循環フィードバックを組み込んでいない。

出典:AR4 SPM 表3より作成

## 5.海面水位(2) 〈予測〉参考

### 〈海面上昇予測結果（補足情報）〉

- ・海面上昇の予測結果には、以下のプロセスは含まれていない。
  - ・炭素循環フィードバック
  - ・氷床流動プロセス※
- ・これらプロセスを考慮すると、海面上昇がさらに増大する可能性がある。

出典：AR4 SPM

※ 温暖化により氷床の表面が融解して湖などが形成され、その水が氷河内の割れ目を沈降して地表と氷床の隙間に流出し、その結果水が潤滑油の働きをして上にある氷が滑って動く現象のこと。

### 赤道付近における海面上昇の影響



( 浸水前 )



( 浸水後 )

ツバル・フナフチ島における浸水被害 (2002年5月 撮影)

Photo credit: Masaaki Nakajima

Photo credit: Masaaki Nakajima

### 北極氷床の融解



グリーンランドを覆う大規模な北極氷床から融けだした水の流れ。

北極の海氷は、地球温暖化によって過去半世紀で大幅に減少しており、その範囲は過去30年間で約10%減少している。

出典：ROGER BRAITHWAITE/Still Pictures

## 6. グリーンランドと南極の氷床〈予測〉

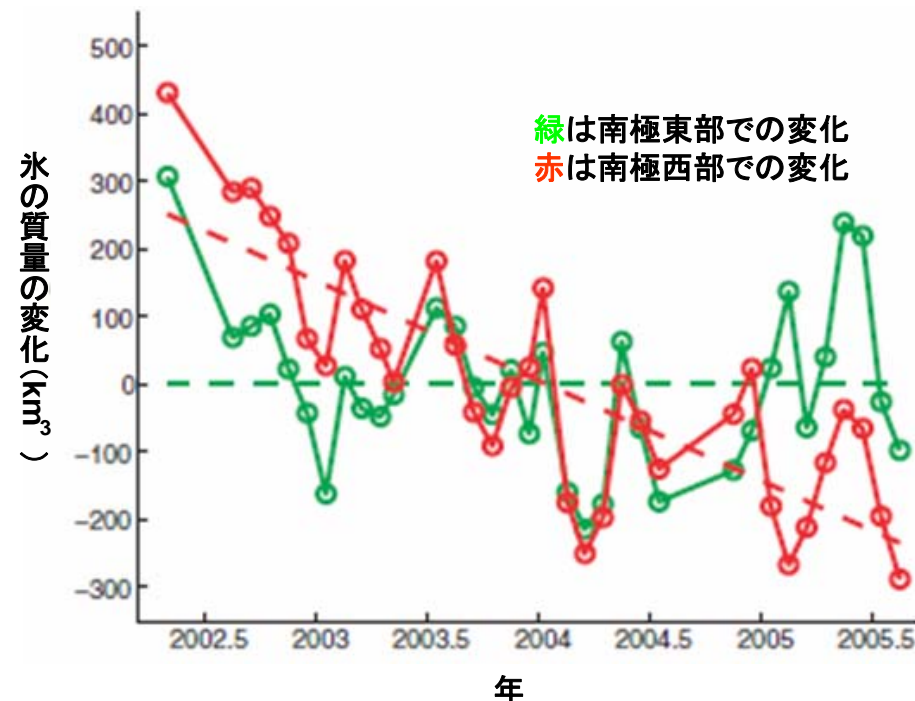
- 氷床表面の負の質量収支※が数千年続くとすると、グリーンランドの氷床がほぼ完全に消失し、7mの海面上昇を引き起こすと予測されている。

※ ある期間の氷河の増加量と減少量の差し引きのこと。

- 南極の氷床は、寒冷であるため広範囲に表面が溶けることはなく、むしろ降雪の増加により、質量の増加が予測される。
- しかし、力学的な氷の流出が氷床の質量収支を左右しているとすれば、氷床の質量の減少が生じるかもしれない。

出典：AR4 SPM

2002年から2005年までの南極の氷質量の変化



特に南極西部で氷が減少しており、全体で年間約152立方キロメートルが消失した。これは0.4mmの海面上昇に寄与したと考えられる。

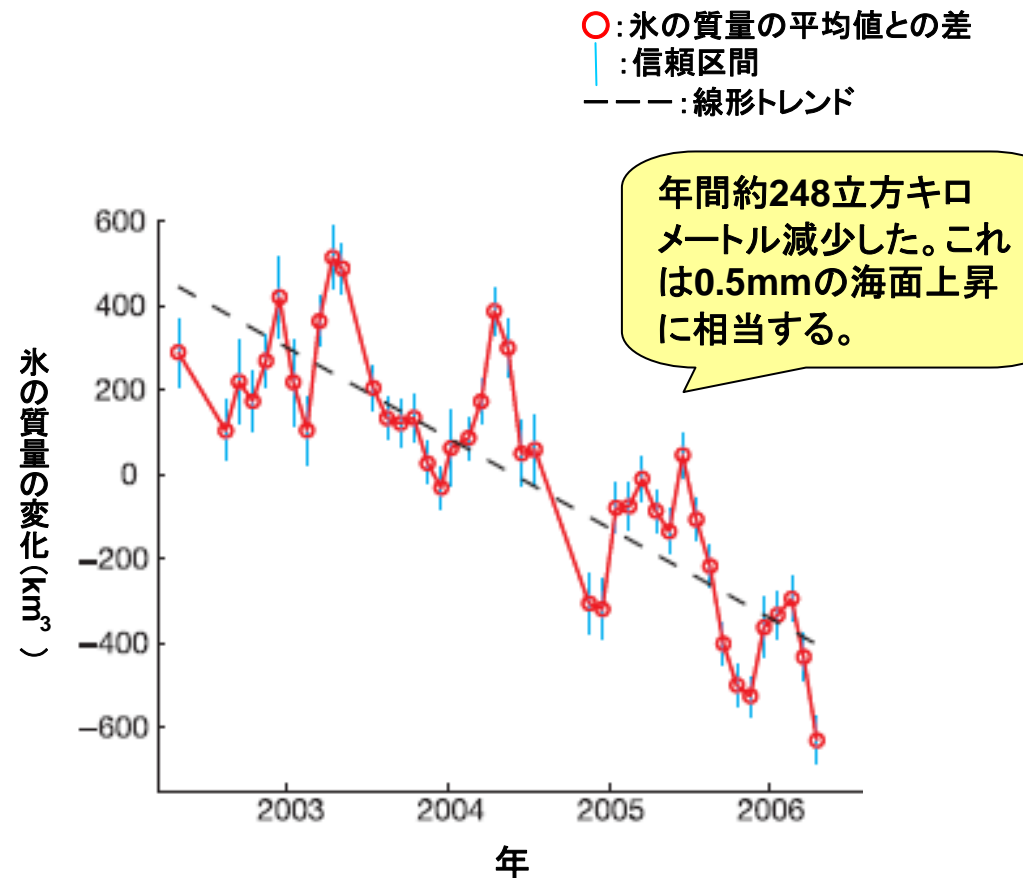
出典：Vekucigba, I. and Wahr, J., 2006. Measurements of Time-Variable Gravity Show Mass Loss in Antarctica, Science 311, 1754-1756. Reprinted with permission from AAAS. Readers may view, browse, and/or download material for temporary copying purposes only, provided these use are for noncommercial personal purposes. Except as provided by law, this material may not be further reproduced, distributed, transmitted, modified, adapted, performed, displayed, published, or sold in whole or in part, without written permission from the publisher.

# 7. グリーンランドの氷床〈観測〉参考

- 最近の研究によって、グリーンランド氷床の気候変化への反応が従来考えられていたより早いことが明らかとなった。
- 重力データによれば、グリーンランドの氷床は、この4年間で明らかに質量が減少している。
- グリーンランドの氷質量の減少は1年で248立方キロメートルであり、これは0.5mmの海面上昇に相当する。

出典: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Isabella, V. and John, W., 2006: Acceleration of Greenland ice mass loss in spring 2004. *Nature* 443, 329–331.), copyright (2006) <http://www.nature.com/>

グリーンランド氷床の融解 (2002年4月～2006年4月)



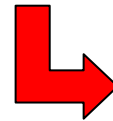
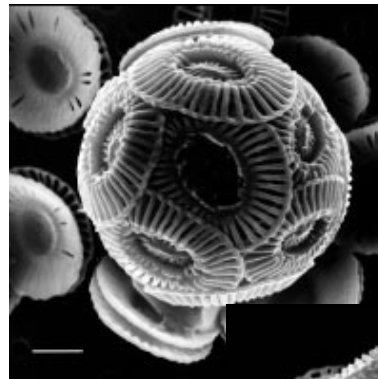
出典: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Isabella, V. and John, W., 2006: Acceleration of Greenland ice mass loss in spring 2004. *Nature* 443, 329–331.), copyright (2006) <http://www.nature.com/>

# 8. 海洋の酸性化 (1) <観測・予測>

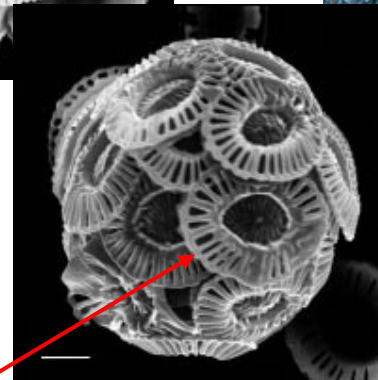
- 大気中の二酸化炭素の増加は海洋の酸性化を引き起こす。
- 産業革命以来、海洋のpHは既に約0.1低下した。
- 21世紀末までに、世界平均の海洋表層pHは、さらに0.14から0.35低下すると予測される。

出典: AR4 SPM

## 酸性化の影響を受ける可能性のある円石藻類(植物プランクトン)とサンゴ礁



CO<sub>2</sub>濃度を  
上げると...



形が崩れ、円形がギザギザになっている



Courtesy of the National Oceanic and Atmospheric Administration Central Library Photo Collection

円石藻類 (Emiliania huxleyi)を対象に、二酸化炭素を高濃度にした場合の実験結果

円石藻類写真の出典: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Nature (Riebesell, U. et al. 2000. Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* 407, 364-367. ), copyright (2000) <http://www.nature.com/>



## 8. 海洋の酸性化 (2) 参考

- 海洋の酸性化は、サンゴの成長を止めたり、特定のプランクトンにダメージを与える可能性がある。
- こうした変化は、海洋生態系を崩し、プランクトンをエサとするヒゲクジラ類に影響が及ぶ可能性がある。

出典：STERN REVIEW: The Economics of Climate Change, 72pp

出典：

①Courtesy of the National Oceanic and Atmospheric Administration Central Library Photo Collection.

②(財)日本鯨類研究所提供

### プランクトンをエサとするザトウクジラと捕鯨調査船



①ザトウクジラ  
(ヒゲクジラ類)



②南極の捕鯨調査船

THE INSTITUTE OF CETACEAN RESEARCH

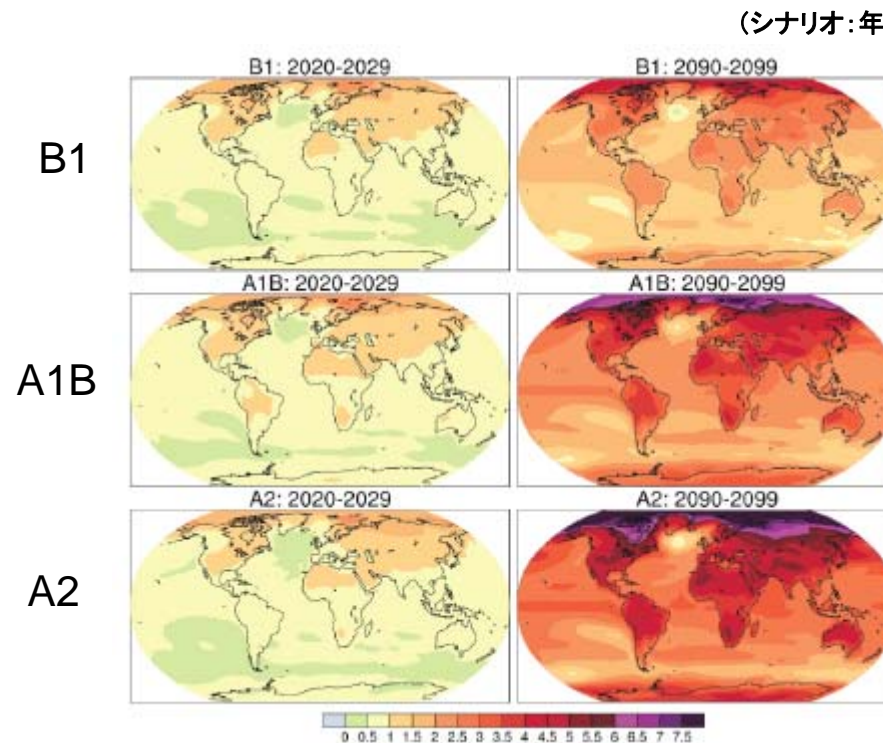
# 9.気温の地域別予測 〈予測〉

- 温暖化は、陸域及び多くの北半球の高緯度地域の陸地で最大となり、南極海と北大西洋で最小と予測された。

出典：AR4 SPM

シナリオが違っても共通の傾向となっている。

21世紀前半(2020-2029年)及び後半(2090-2099年)の地上気温予測結果  
～1980-1999年平均との比較～



世界平均地上気温の上昇値

出典：AR4 SPM 図6

# 10.積雪、永久凍土 <予測>

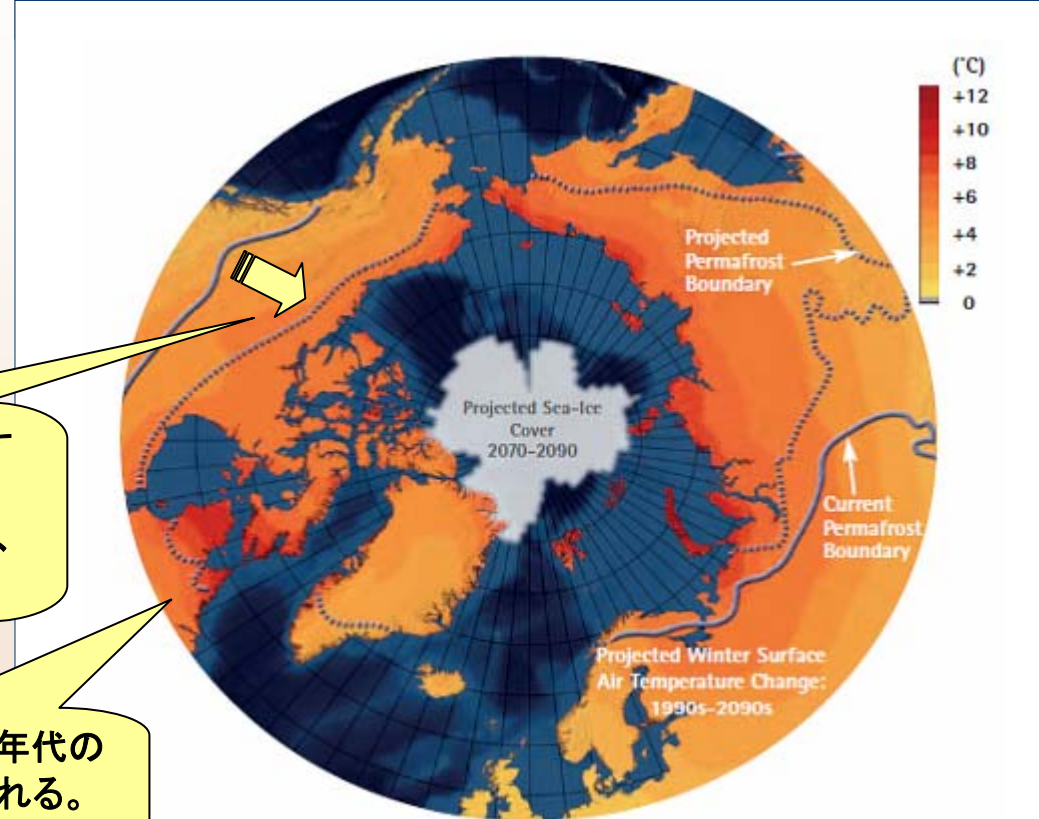
- 雪に覆われている地域が減少すると予測されている。
- ほとんどの永久凍土で、融解が進むと予測されている。

出典:AR4 SPM

永久凍土の限界は北上すると予測される。  
(太線が現在の限界線で、破線が予測の限界線。)

気温も1990年～2090年代の間で上昇すると予測される。  
(赤いほど上昇幅が大きい。)

将来100年間で、気温と永久凍土限界の変化予測



SRES B2排出シナリオを元に、5つの気候変動モデルを使って予測されたもの。

出典: Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). 2004. Impacts of a warming Arctic. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 139pp.

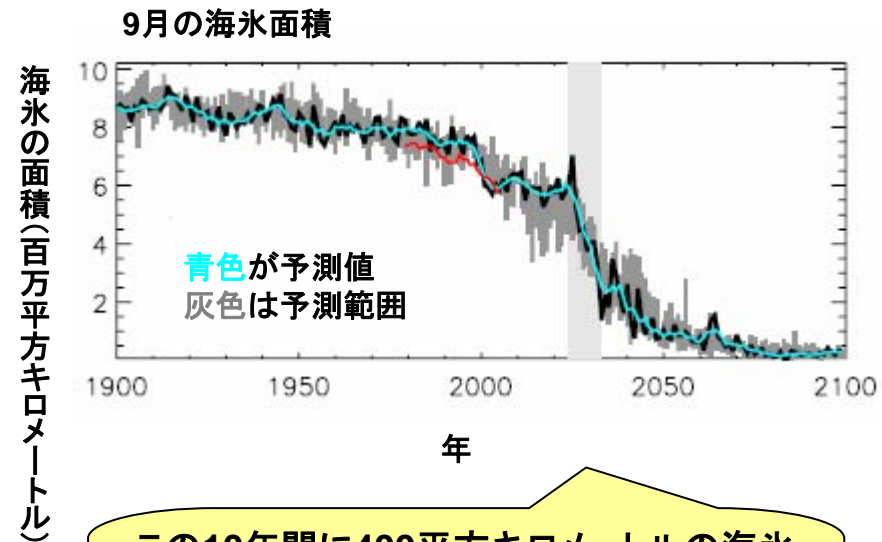
# 11.北極と南極の海氷〈予測〉

- 全てのシナリオにおいて、北極と南極双方の海氷が縮小すると予測されている。
- 北極の晩夏の海氷は、21世紀後半までにほとんど消失するとの予測もある。

出典: AR4 SPM

Holland et al. (2006)によると、2024年からの10年間で、北極の海氷が600万平方キロメートルから、200万平方キロメートルへと急激に縮小する恐れがある。その結果、2040年には海氷がほとんど消失する可能性がある。

Holland et al. (2006) による北極の海氷面積の予測



この10年間に400平方キロメートルの海氷が消失すると予測。2040年には、海氷がほぼ消失する可能性がある。

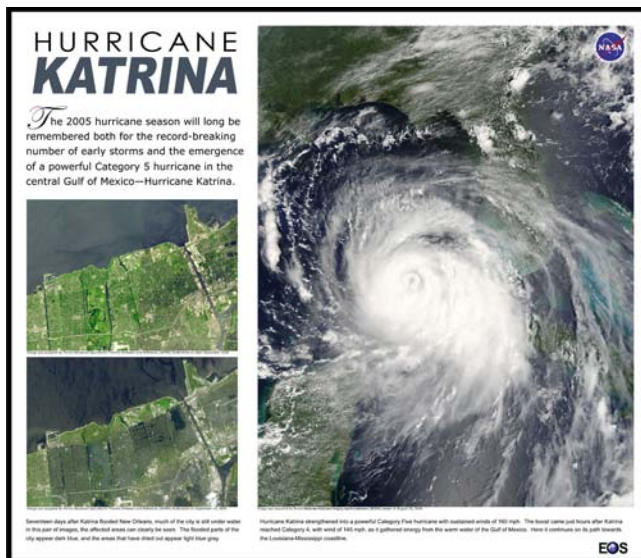
出典: Holland et al. 2006: Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice, *Geophysical Research Letters* 33, L23503, doi:10.1029/2006GL028024. Copyright 2006. American Geophysical Union. Reproduced by permission of American Geophysical Union.

# 12. 猛暑、熱波、大雨、熱帯低気圧※〈予測〉

- ・ 猛暑、熱波、大雨などの極端な気象は、今後ますます頻度が増加する可能性がかなり高い。★
- ・ 様々なモデルの予測結果によると、個々の台風は大型化し、最大風速と降水量は増加する可能性が高い。

出典：AR4 SPM

## 国内外での台風の発生



①2005年 アメリカのハリケーン「カトリーナ」(衛星画像による映像)  
最低気圧902hPa、最大風速78m/sを記録した大型のハリケーン。  
ルイジアナ州を中心に1,700名を超える死亡者、100万人を超える  
避難民を出す大惨事となった。



②2005年の台風17号による高波  
台風17号の太平洋北上により、高波を受ける  
鳥羽市国崎町の灯台。

(2005/07/13 撮影)

※ 台風、ハリケーンを含む。

出典：①NASAホームページ <http://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>

②鳥羽フォトギャラリー (鳥羽市ホームページより)

# 13.降水量 〈予測〉

- 高緯度の地域では、かなり高い可能性で年間平均降水量の増加が見込まれる。★

東アフリカ、中央アジア、赤道近くの太平洋においても、同様に増加が見込まれる。

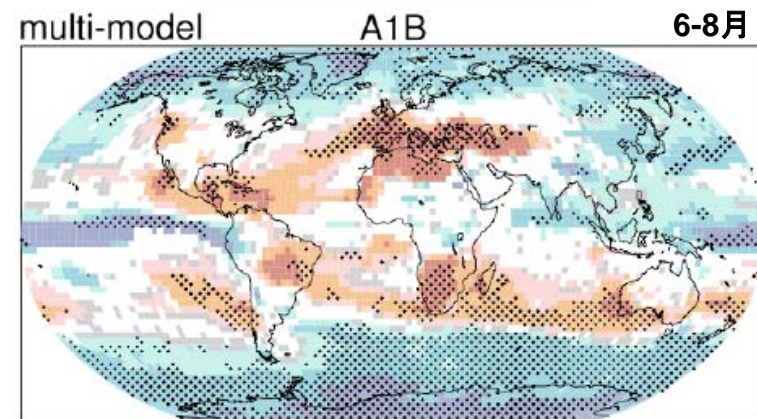
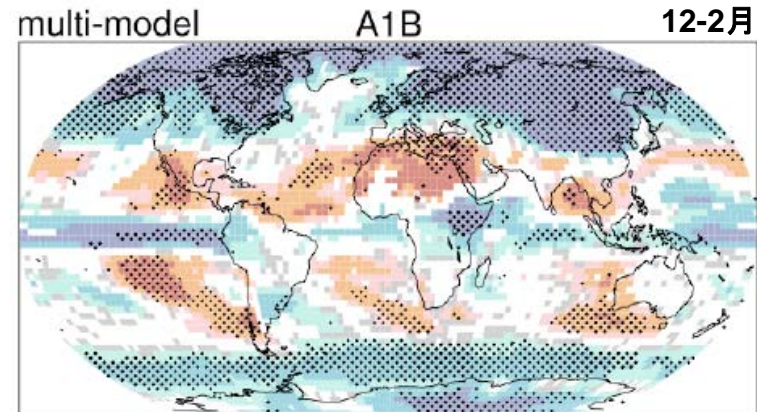
- 多くの亜熱帯の地域では、年間平均降水量が減少(最大で現在より20%減)する可能性が高い。

最大の減少が予測されているのは、地中海やカリブ海、各大陸の亜熱帯気候地域の西海岸。

出典: AR4 SPM

※ 予測シナリオについての説明は、p40を参照。

2090-2099年の降水量の変化割合  
～1980-1999年平均との比較～ 【A1Bシナリオ※】



(茶は減少) (青は増加)

出典: AR4 SPM 図7

# 14. 深層循環※1 〈予測〉

- 現在のモデル予測によると、大西洋の深層循環は、2100年までに25%(0~50%)の減衰が予測され※2、21世紀には鈍化する可能性がかなり高い。★
- 21世紀に深層循環が大きく変化する可能性はかなり低い、長期的な変化を予測することは難しい。

出典: AR4 SPM

※1 深層循環 (Meridional Overturn Circulation: MOC):

熱塩循環とも呼ばれている。海水の密度の違いによって起きる海洋循環。海水が南北に移動し、表面近くと深層の間を行き来することによって特徴づけられる。表層の海水と深層の海水とを混合させる働きがある。

※2 A1Bシナリオによる予測。

## 15.フィードバックによる一層の排出削減の必要性〈予測〉

- ・大気中の二酸化炭素濃度を450ppmで安定化させるための21世紀中の二酸化炭素の合計排出量は、

炭素循環フィードバックを考慮しない場合は、約6,700億(6,300～7,100億)炭素トンであるのに対し、

炭素循環フィードバックを考慮した場合は、約4,900億(3,750～6,000億)炭素トンにまで削減する必要があることが予測される。

約1,800億炭素トンの追加削減が必要。

出典:AR4 SPM

- ・温室効果ガスの濃度安定化には、人為排出量と自然吸収量をバランスさせる必要。(化石燃料起源の人為排出量の57%削減)。
- ・正のフィードバックのせいで自然吸収量は減っていく。今なら、安定化=57%削減。でも温暖化が進むと、57%削減でも足りなくなる。
- ・2050年世界全体50%削減では、もはや450ppm安定化に間に合わない？
- ・これまで450ppmを想定していた削減パスは、550ppmに近づく。

〔解説〕



## 16.温暖化の長期継続〈予測〉

- エネルギー源のバランスを重視しつつ、高い経済成長を実現する社会を想定したA1Bシナリオの下では、海水面は、2100年に、0.21～0.48m上昇し、その後も、熱膨張だけで2300年までに0.3～0.8m上昇※しうる。
- 熱が深海まで届くのに時間がかかるため、熱膨張は速度を落としながらも、数世紀にわたって続きうる。

出典：AR4 SPM

排出ガスを2100年に安定化させたとしても、熱膨張だけで、海面上昇はその後数世紀も続いてしまう。

※ 1980～1999年と比較した値。