



STOP

THE 温暖化

緩和と適応へのアプローチ 2015

# 第1章 地球温暖化——世界が直面する異変

地球温暖化が進んでいることはもはや疑う余地がありません。そして、気候変動に関する政府間パネル (IPCC)\* の最新の報告書によれば、私たち人間の活動が温暖化の要因である可能性が「極めて高い」ことが指摘されています。温暖化によって私たちは、かつて経験したことのないような気候の変化に直面しています。極端な高温や強い台風などの異常気象が各地で発生し、私たち人間の生命や財産に甚大な被害をもたらしたり、生物を絶滅の危険にさらしたりしているのです。

## 世界で多発する「異常気象」

近年、世界中で極端な気象現象が観測されています。強い台風やハリケーン、集中豪雨、干ばつや熱波などの異常気象による災害が各地で発生し、多数の死者を出したり、農作物に甚大な被害をもたらしたりといったことが毎年のように報告されています。

2013年11月にフィリピンに上陸した台風第30号(ハイエン)によって6200人以上が死亡したと伝えられていま

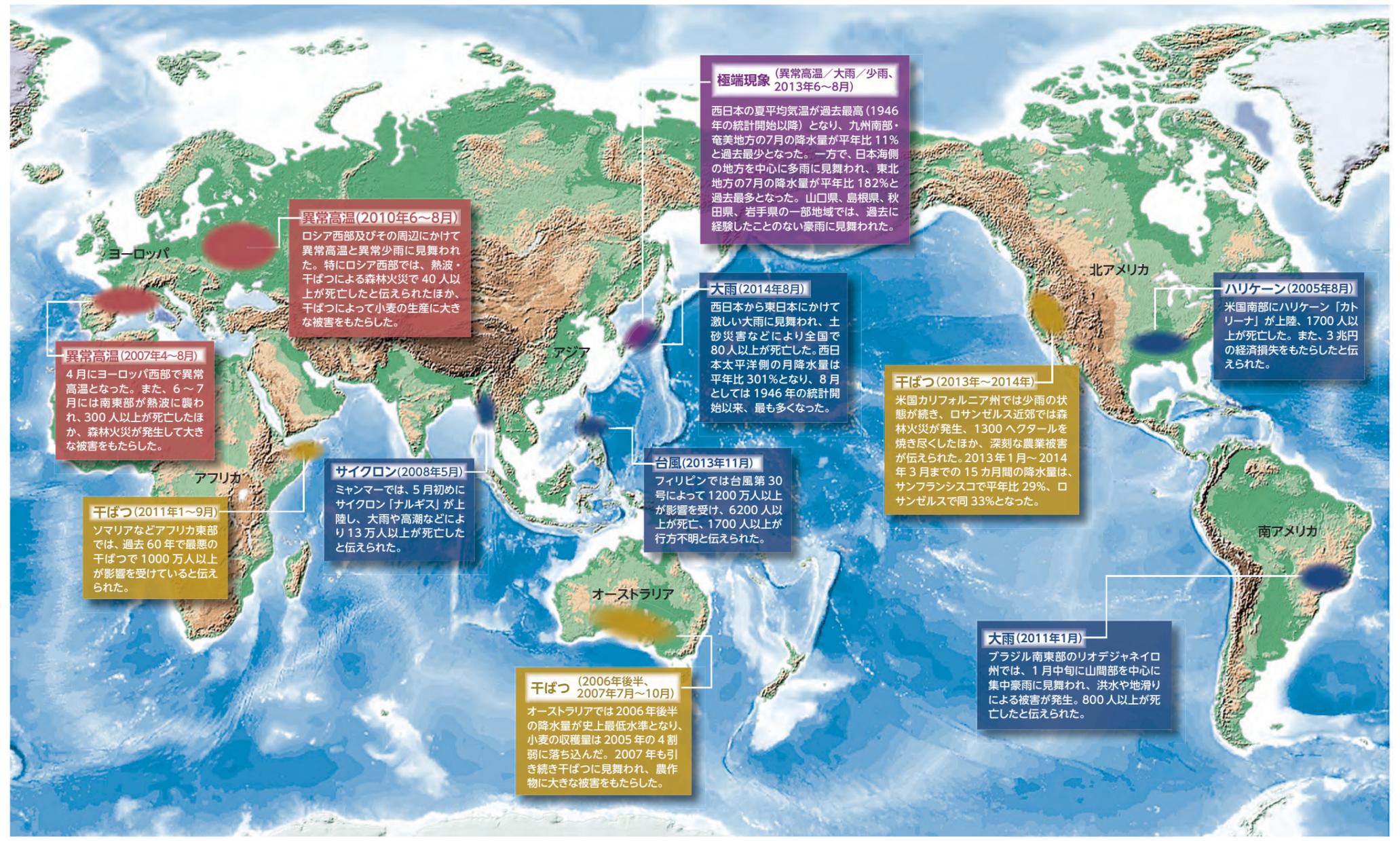
す。日本においても、2014年8月に広島市三入で最大1時間降水量101mmという観測史上最高の降水量を記録し、大きな被害をもたらしたことは記憶に新しいところです。

IPCCの第5次評価報告書 (AR5) は、今後、世界平均気温が上昇するにつれて、極端な高温がもっと増えることはほぼ確実であり、熱帯や中緯度地域で大雨の頻度が増す可能性が非常に高いと指摘しています。

### contents

- 第1章 地球温暖化——世界が直面する異変……………P2
  - 世界で多発する「異常気象」
  - 止まらない氷床・氷河の融解 上昇する海面
  - 生態系の異変・感染症リスクの拡大
- 第2章 地球温暖化の実態——科学は何を明らかにしたか……………P6
  - 上昇し続ける世界平均気温
  - 二酸化炭素濃度は産業革命以前より40%増加
  - 北半球の雪や氷が減少 北半球の中緯度で降水量が増える
  - 表層も深層も上昇する海水温 極端現象が増える
  - 人間の活動が温暖化をもたらす
  - column 永久凍土の融解が温暖化を加速?
- 第3章 観測された影響と将来予測——どんなリスクが迫っているのか……………P10
  - 21世紀末の地球は? 世界で観測されているさまざまな影響
  - CO<sub>2</sub>排出量が増えるとリスクが増大
  - 主要穀物の収量が低下 海洋生態系で高まるリスク
  - 高潮や海岸侵食に脅かされる沿岸域・小島嶼
  - 水問題は干ばつと洪水の二極化へ
  - 危機に瀕する生態系 人間の健康への脅威
  - 止まらない森林減少・劣化 日本の気候変動予測と影響評価
- 第4章 二酸化炭素排出の現状とリスクへの適応……………P16
  - 二酸化炭素の国別排出量 日本の排出量
  - ここ10年で排出量が急増 CO<sub>2</sub>排出量増大の要因
  - 2100年の排出量の将来予測——緩和に向けた4つのシナリオ
  - 温暖化への適応が始まっている
  - 世界の適応への取組 日本の適応への取組
  - column 河川災害に適応する新しい防災技術
- 第5章 日本の取組——低炭素社会の実現に向けて……………P22
  - 中長期的な温暖化対策 国際社会の動き
  - 地球温暖化対策の推進に関する法律
  - 低炭素技術の導入促進——先導的な低炭素技術をリスト化
  - カーボン・オフセット制度——自治体・企業・消費者がつながる取組
  - 気候変動キャンペーン「Fun to Share」 家庭エコ診断制度
  - 日本の科学面での貢献
- Q&A 本当に深刻? ここが気になる温暖化……………P26
- 出典一覧……………P28

### ■世界各地の異常気象例



■ 極端現象 ■ 大雨・洪水 ■ 異常高温 ■ 干ばつ (出典1を基に作成)

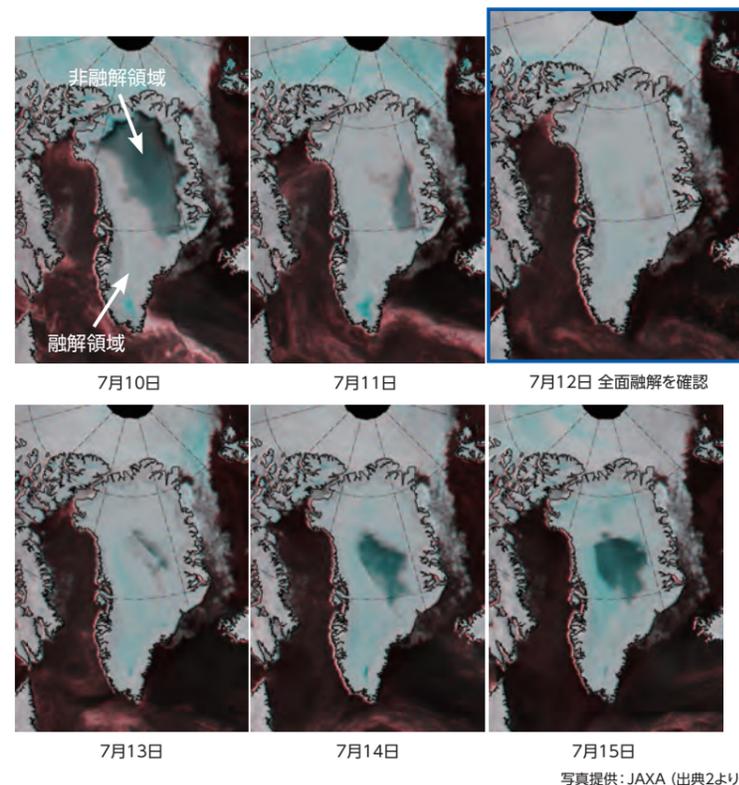
## 止まらない氷床・氷河の融解

温暖化によって世界中の水河が縮小し続けています。とくに世界の氷河の1割を占めるグリーンランドで融解が加速しています。

宇宙航空研究開発機構（JAXA）が2012年5月に打ち上げた第一期水循環変動観測衛星「しずく」によって、2012年7月12日にグリーンランドの氷床表面が全面にわたって融解していることが観測されました。このほかヨーロッパのアルプス地方や南米ボリビアなどの山岳地帯にある氷河の融解も進んでおり、スキーリゾートなどの観光資源や、水力発電などのエネルギー供給への影響が出ています。

氷河の融解は、海面水位の上昇を引き起こす要因にもなっています。世界の平均海面水位は、1993～2010年の間に約60mm上昇しましたが、その約半分が氷河の融解によるものと考えられています。

■「しずく」が捉えたグリーンランド氷床表面の全面融解



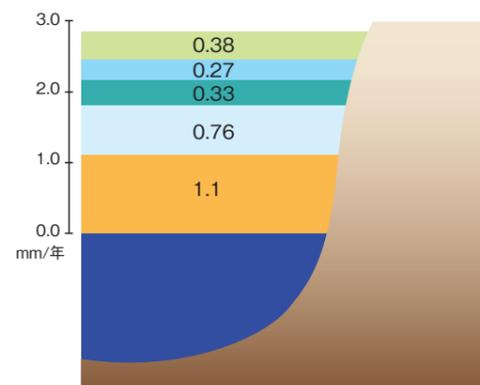
写真提供：JAXA（出典2より）

## 上昇する海面

1901～2010年の110年間に世界の海面水位は、1年当たり平均で約1.7mm上昇しましたが、1971～2010年の40年間では同約2.0mm上昇しています。とくに1993～2010年の直近の18年間では、同約3.2mmと急激に上昇しています。

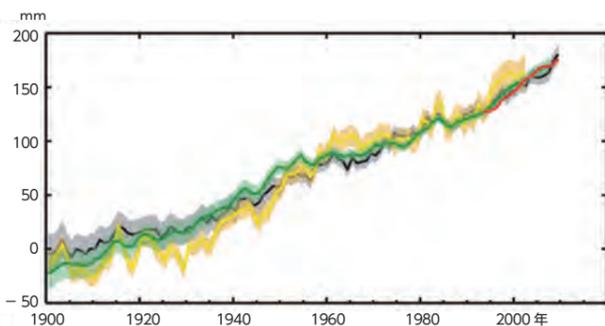
最大の原因は、海洋の熱膨張によるもので、次いで氷河の減少、グリーンランド氷床の減少、南極氷床の減少などが要因として挙げられます。これらはいずれも、温暖化による影響が関与しているとみられています。

■海面水位の要因別の上昇率（1993～2010年）



海面上昇への寄与を要因別にみたグラフ。これらの寄与の合計によって観測された世界平均海面水位上昇を高い割合で説明できる  
 ■ 熱膨張 ■ 氷河と氷帽の減少 ■ グリーンランド氷床の減少  
 ■ 南極氷床の減少 ■ 陸域の貯水量の減少 (出典3より作成)

■世界平均海面水位の変化



グラフの黒、黄、緑の線は潮位計、赤線は人工衛星に搭載された高度計の観測に基づく。不確実性の評価結果がある場合は色つきの陰影によって示している (IPCC AR5 WGI 図 SPM.3(d))

## 生態系の異変・感染症リスクの拡大

地球温暖化がもたらす気温や海水温の上昇などによって、陸上や海、淡水などにさまざまな生物、生態系に影響が現れ始めています。世界各地で、枯れる森林、動物の生息地の変化や個体数の減少などが報告されています。

### サンゴの白化

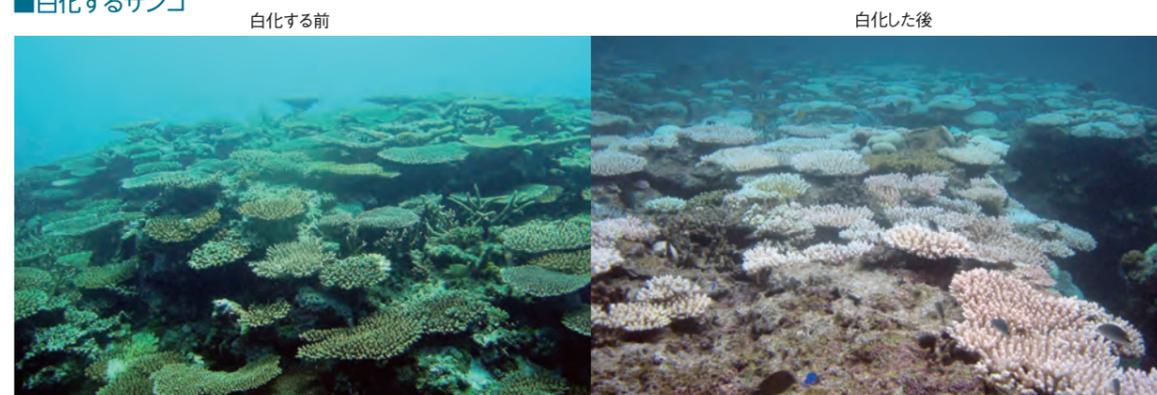
温暖な海に広がるサンゴ礁は、その3分の1が絶滅の危機にあるといわれています。1980年代頃からサンゴの白化現象が目されるようになり、その原因として地球温暖化が大きく関与していると考えられています。

サンゴの白化現象とは、サンゴが褐虫藻を失うことにより起こります。褐虫藻を失うとサンゴの白い骨格が透けて見え、白くなるため白化現象と呼ばれます。白化が起きる原因は、水温の変化や強い光、紫外線、低い塩分などですが、中でも

水温の影響は大きく、30℃を超える状態が長期間続くと褐虫藻に異常が起こり、白化を引き起こし、長く続くとサンゴは死んでしまいます。

さらに温暖化の主要因とされる二酸化炭素の増加もサンゴに悪影響を及ぼします。大気中の二酸化炭素の濃度が上がると海水に溶け込む量が増え、海洋の酸性化を引き起こします。これが、サンゴの石灰化を阻害するのです。温暖化はサンゴにとって大きな脅威となっています。

■白化するサンゴ



写真提供：環境省（出典4.5、6より）

### デング熱を媒介する ヒトスジシマカの北上

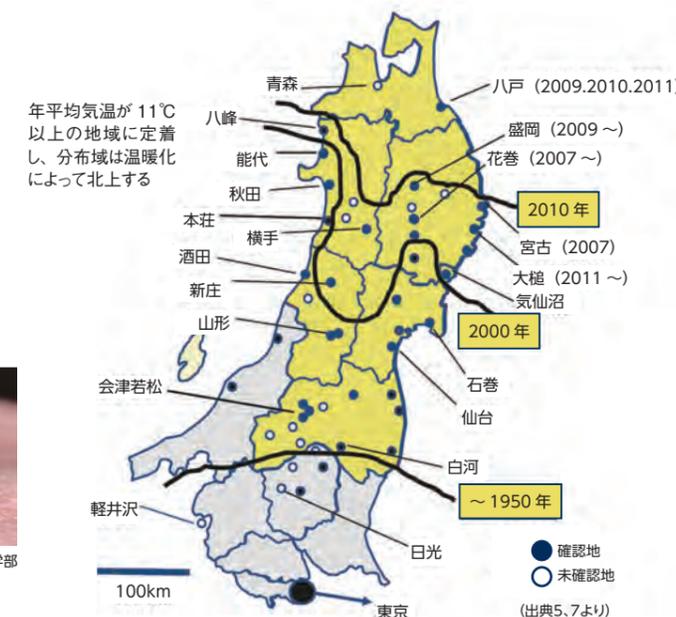
2014年8月、日本で70年ぶりにデング熱の国内感染が確認されました。その後も感染者数は続々と増え、厚生労働省の10月末の発表によれば合計160人に上りました。

デング熱やチクングニア熱を媒介するのは、ヤブカの仲間であるヒトスジシマカです。年平均気温が11℃以上の地域に定着するとされ、1950年頃の分布域の北限は栃木県の北部でした。それが温暖化によって分布域は徐々に北上し、2010年の調査では、青森県内で初めてその生息が確認されました。2035年には本州の北端まで、2100年には北海道まで拡大すると予測されています。



ヒトスジシマカ 写真提供：国立感染症研究所昆虫医学部

■ヒトスジシマカの分布域の拡大（1998～2012年）



# 第2章

# 地球温暖化の実態

## — 科学は何を明らかにしたか

世界の 800 人以上の科学者が温暖化に関する研究を評価し、約 4 年の歳月をかけて作成された IPCC の第 5 次評価報告書。その過程で集められたさまざまな地球温暖化の証拠は、事態がより深刻な状況にあることを示しています。私たちは今こそ温暖化の実態を直視し、行動を起こさなくてはなりません。

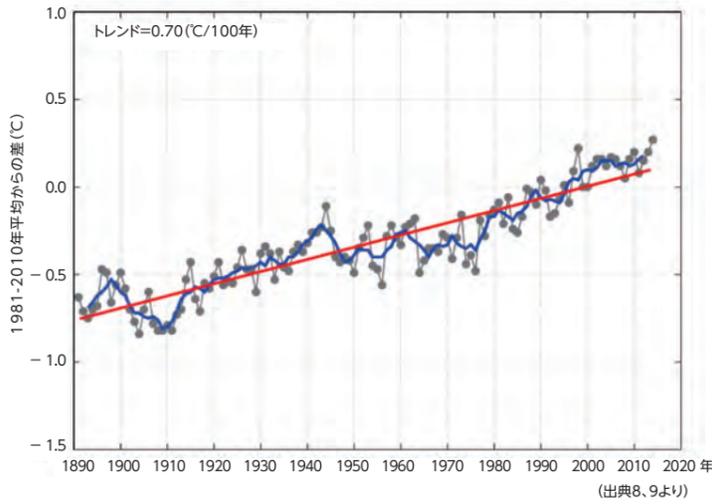
### 上昇し続ける世界平均気温

陸域と海域を合わせた世界平均地上気温は、1880 年から 2012 年の間に 0.85℃ 上昇しました。また、最近 30 年の各 10 年間は、1850 年以降のどの 10 年間よりも高温でした。

(1981 ~ 2010 年の 30 年平均値を基準値とし、平均気温から基準値を差し引いた値) が +0.27℃ となり、統計を開始した 1891 年以降、最も暑い 1 年になりました。

21 世紀に入ってからの世界平均地上気温上昇率は 10 年当たり 0.03℃ とほぼ横ばいの状態を示しており、こうした温暖化の停滞状態はハイエイタスと呼ばれています。世界中の数多くの研究者がこの現象を調査した結果、太平洋における大気と海洋の循環が、ここ数十年間は「自然のゆらぎ」の影響で特徴的な状態にあることが分かってきました。太平洋の表層が冷たく、西側の太平洋内部に暖かい海水が閉じ込められる状況が続きやすい状態にあるため、地球表面の平均気温が上がっていません。このような「自然のゆらぎ」は 10 年規模の気候の内部変動であり、地球全体としては温暖化が停滞しているわけではないことが示唆されました。

■ 上昇し続ける世界平均気温(1891~2014年)



2014 年には、世界の年平均気温偏差

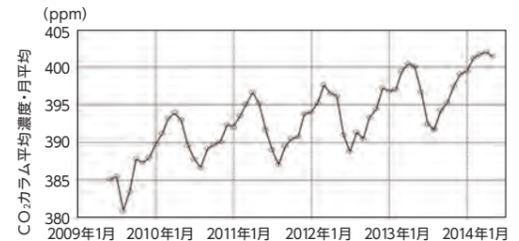
### 二酸化炭素濃度は産業革命以前より 40%増加

二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) は、温暖化の要因である温室効果ガスの代表的なもので、その大気中濃度は産業革命が始まった 1750 年以降、急激に増えています。私たちは石油や石炭などの化石燃料を燃やしてエネルギーを取り出し、経済を成長させてきました。その結果、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は

現在、1750 年に比べて 40%も増加しました。

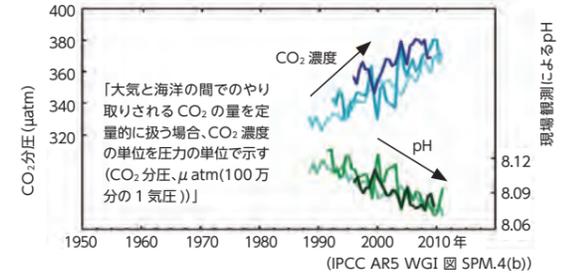
大気中の CO<sub>2</sub> 濃度が増加すると、海洋に取り込まれる CO<sub>2</sub> の量も増え、海洋の酸性化を引き起こします。右下の図は海面付近の CO<sub>2</sub> 濃度 (青線) と海水の pH (緑線) の経年変化を示したもので、1980 年代後半以降、CO<sub>2</sub> 濃度の上昇とともに海水の pH が低下、すなわち海洋の酸性化が進んでいることがわかります。

■ 「いぶき」\*による日本付近の二酸化炭素カラム平均濃度の月平均値の変化



\*いぶき：環境省、国立環境研究所、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の三者が開発・運用している温室効果ガス観測技術衛星 (出典10より)

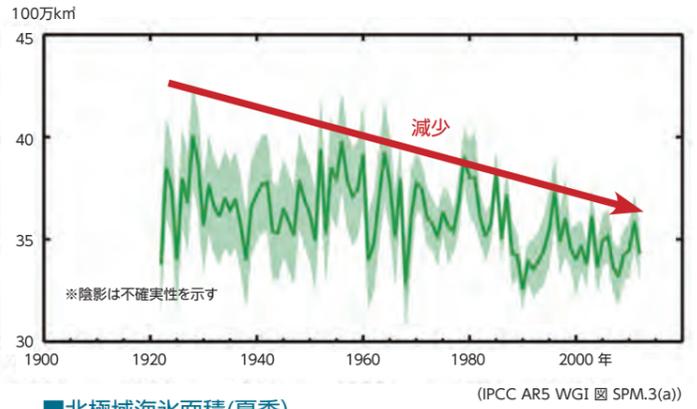
■ 海面の二酸化炭素とpH



### 北半球の雪や氷が減少

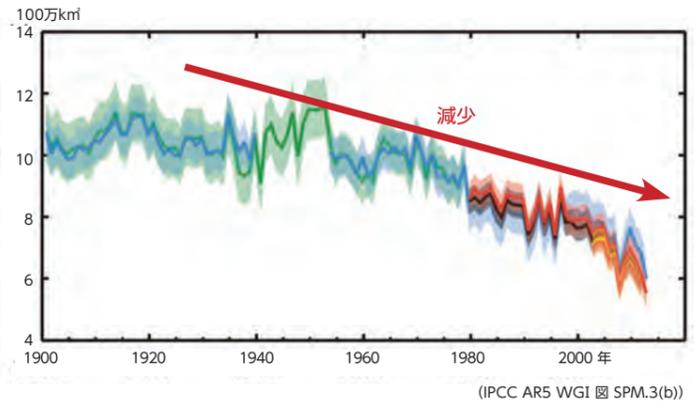
過去 20 年にわたって、グリーンランドと南極の氷床の質量は減少しており、氷河はほぼ世界中で縮小し続けています。また 20 世紀半ば以降、北半球の積雪面積がほぼ確実に減少していることの確信度は非常に高くなっています。右上の図は、北半球における 3 ~ 4 月 (春季) の積雪面積の平均値を示しており、減少傾向にあることがわかります。

■ 北半球積雪面積(春季)



北極域の海氷面積も 1970 年後半以降、顕著に減少しています。右下の図は、特に最も海氷面積が小さくなる夏季について、北極域の海氷面積の 7 ~ 9 月 (夏季) の平均値を示したグラフです。1979 ~ 2012 年にかけての減少率は 10 年当たり 73 ~ 107 万 km<sup>2</sup> (北海道の面積の約 9 ~ 13 倍) の範囲にある可能性が非常に高く、急速に減少していることがわかります。

■ 北極域海氷面積(夏季)

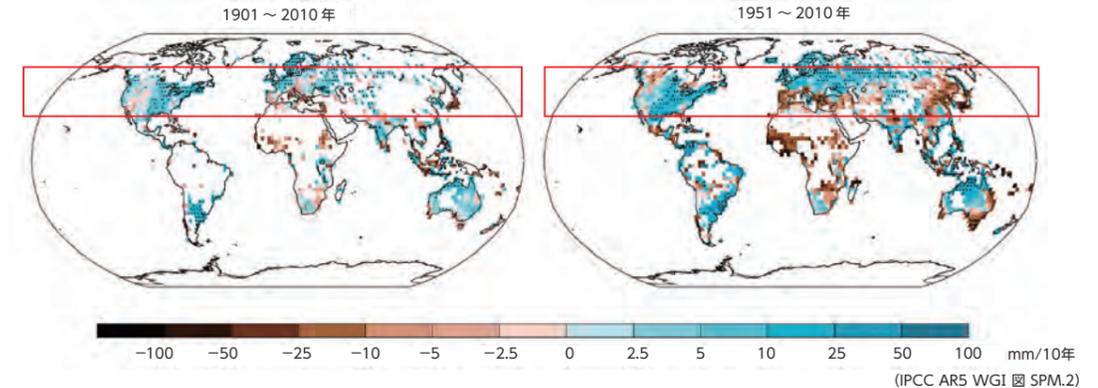


### 北半球の中緯度で降水量が増える

1901 年から 2010 年までの世界の降水量を見ると、1951 年以降現在にかけては、北半球の中緯度の陸地で降水量が増加しています。また、北アメリカとヨーロッパで強

い雨の頻度が増える傾向にあります。一方、西アフリカやオーストラリアの南東部で降水量が減少する傾向があります。

■ 観測された陸域の年降水量の変化

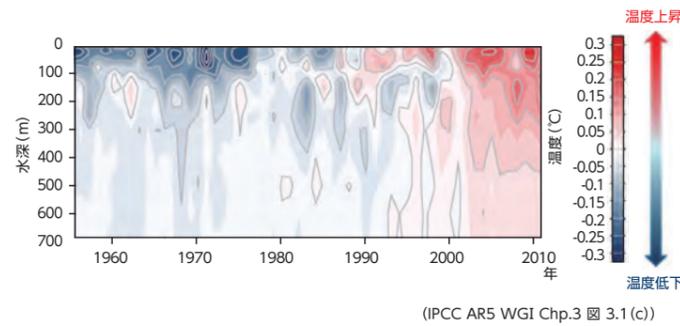


## 表層も深層も上昇する海水温

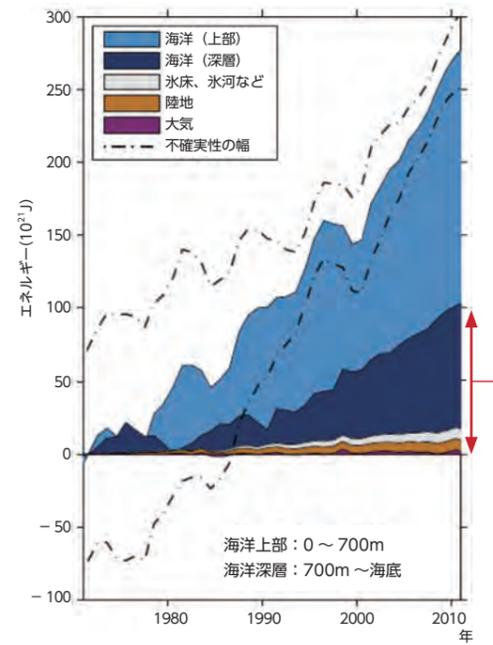
気候変動を起こすためのエネルギー変化の大部分を海洋が占め、1971～2010年の期間ではその90%以上が貯えられているといえます(右の図)。特に海洋表層(0～700m)には気候システムにおける正味のエネルギー増加量の60%以上が蓄積されています。1971～2010年に、海面から水深75mの層の海水温は10年当たり0.11℃上昇しました。

一方、700mより深い層にはエネルギー増加量の約30%が蓄積されています。温暖化によって、3000m以深の海洋深層でも水温が上昇している可能性が高いことが新たに分かりました。

■世界平均海水温の偏差(1971～2010年平均からの差)



■気候システムの貯熱量変化

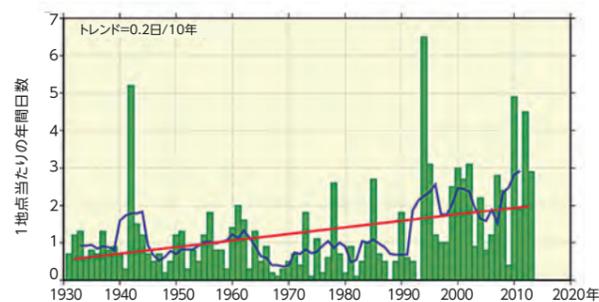


## 極端現象が増える

温暖化が進むにつれて、極端現象(異常気象)に変化が現れています。1951年以降、世界規模で寒い日が減少し、暑い日が増加しました。また、ヨーロッパ、アジア、オーストラリアの大部分で、高温・熱波に見舞われる頻度が増えています。

日本においては、日最高気温が35℃以上の猛暑日の日数は1931～2013年の期間、10年当たり約0.2日の

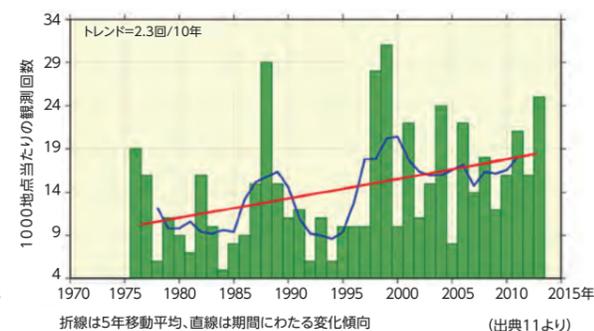
■日最高気温35℃以上の猛暑日の年間日数



ペースで明らかに増加する傾向にあります(左下の図)。

一方で、極端に強い雨の回数も増えています。右下の図は、1976～2013年にアメダス地点において観測された、1時間降水量が80mm以上の短時間強雨の年間観測回数をグラフにしたものです。10年当たり約2.3回のペースで増えていることが分かります。

■[アメダス]1時間降水量80mm以上の年間観測回数



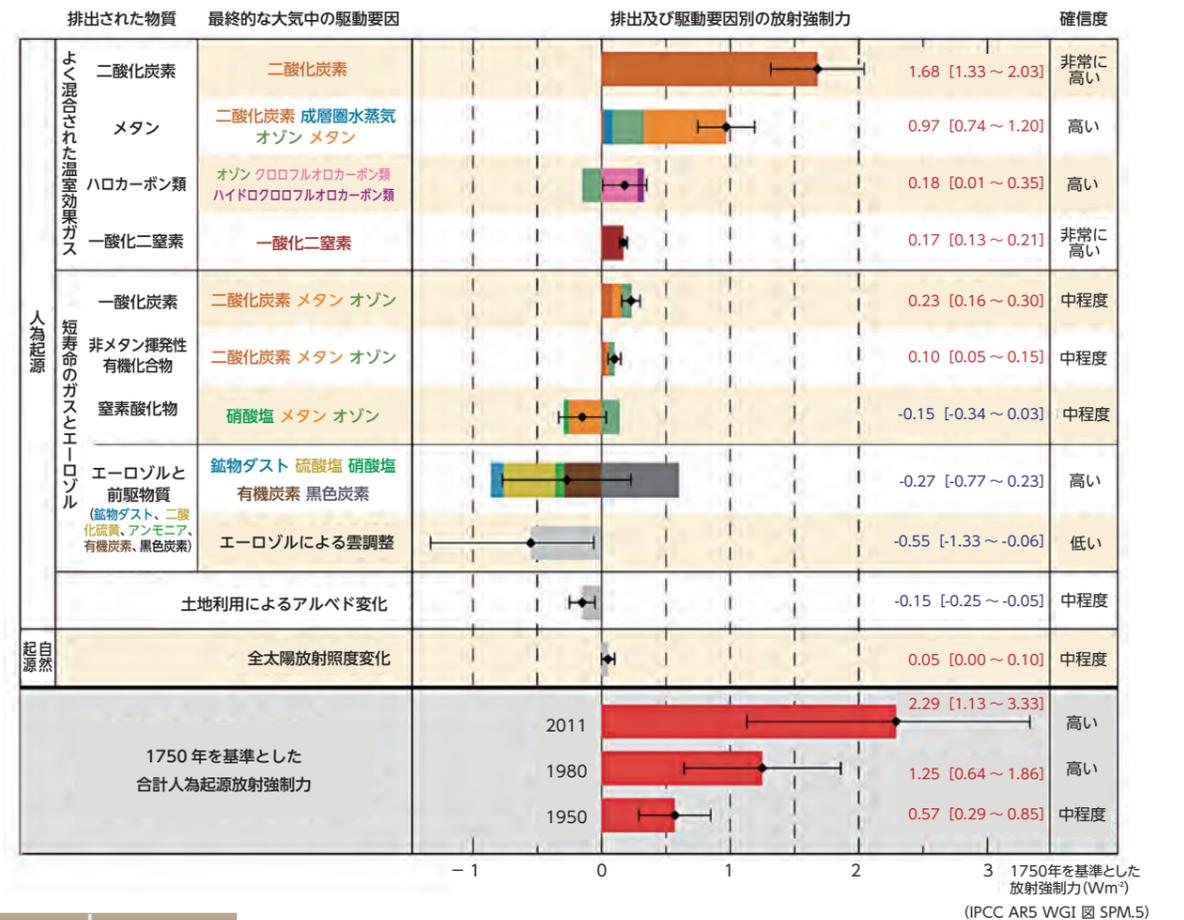
## 人間の活動が温暖化をもたらす

気候システムを変化させる要因のひとつが、CO<sub>2</sub>やメタンなどの温室効果ガスの濃度ですが、それ以外にも、鉱物ダストや二酸化硫黄などのエアロゾル濃度、地表面の特性の変化などが影響しています。要因となるガスや物質の濃度が変化することによって、温暖化を促進したり(正の放射強制力)、

抑制したり(負の放射強制力)します。こうした要因による濃度変化量は、放射強制力という値を用いて示されます。

産業革命以降の気候システムの変化には、人間活動が深く関係しており、放射強制力に最も寄与しているのは、大気中のCO<sub>2</sub>濃度の増加であることが分かっています。

■気候変動をもたらす主な駆動要因の、1750年を基準とした2011年における放射強制力の推定値



### column

#### 永久凍土の融解が温暖化を加速?

永久凍土とは永続的に凍結した土壌のことで、主に北極域の高緯度域で見られます。古い有機炭素堆積物を含んでおり、そこには現在大気中にCO<sub>2</sub>として存在する炭素の少なくとも2倍の量が保持されているとみられています。今後、温暖化によって永久凍土の融解が進めば、保持されていた炭素が、温室効果ガスであるメタンやCO<sub>2</sub>として大量に大気中に放出され、気温の上昇につながると考えられます。そうなれば、さらに多くのメタンとCO<sub>2</sub>が永久凍土から放出されるという正のフィードバックをもたらす、地球温暖化を増幅するおそれがあります。

最近の研究によると、北極シベリアの陸棚とシベリアの湖沼から局所的にかなりのメタン放出量が記録されています。これが地域的な温暖化によるものか他の原因によるものかは明らかになっていません。(IPCC AR5 WGI FAQ 6.1)



カナダのマニトバ州北部に広がるツンドラ。この下に永久凍土が眠っている。写真提供:伊勢武史

# 第3章

# 観測された影響と将来予測

## — どんないリスクが迫っているのか

温暖化が進むと、地球の気温や海面水位はどこまで上がるのでしょうか。最新の研究によって、地球温暖化が私たち人間の社会や自然の生態系にさまざまな影響を及ぼし始めていることが分かってきました。適切な対策を講じなければ、数十年～100年後には私たちの暮らしが危機的な状況にさらされる可能性もあります。温暖化によって地球の未来はどうなるのか、予測情報を正しく理解することが大切です。

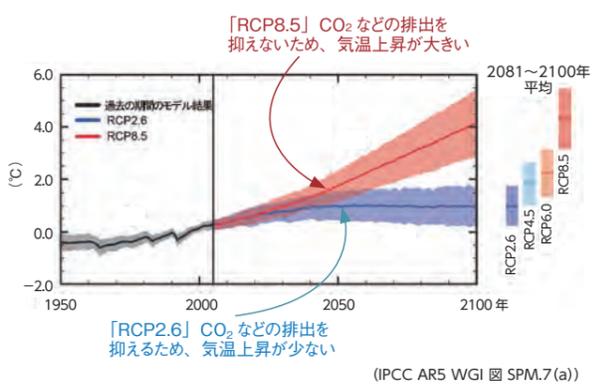
### 21世紀末の地球は？ (将来予測)

#### 世界の平均気温は最大 4.8℃の上昇も

IPCC 第5次評価報告書によれば、2081年から2100年の世界の平均地上気温は、1986年から2005年の平均よりも最小で0.3℃、最大で4.8℃上昇すると予測しています。陸地は海よりも気温が上がりやすく、北極や南極など極域の気温上昇が大きいとみられています。

予測に0.3～4.8℃と開きがあるのは、温暖化対策の実施の仕方による「シナリオ」\* (仮説) が異なるからです。CO<sub>2</sub> 排出削減などの温暖化対策を今以上に施さなかった場合の(最も温暖化が進む)「RCP8.5」シナリオでは2.6～4.8℃の気温上昇が予測されています。一方、可能な限りの温暖化対策を施した場合の(最も温暖化を抑えた)「RCP2.6」シナリオでは、0.3～1.7℃と予測されています。  
\*シナリオの詳細については第4章(18ページ)を参照

■1986～2005年平均に対する世界平均地上気温の変化



(IPCC AR5 WGI 図 SPM.7(a))

#### 上昇する海面水位

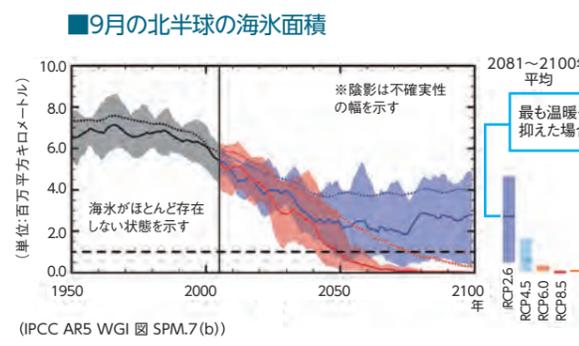
海面水位の上昇も見逃せない変化です。世界の平均海面水位は、21世紀末には、最も温暖化が進む「RCP8.5」シナリオで45～82cm、最も温暖化を抑えた「RCP2.6」シナリオで26～55cm上昇すると予測されています。

IPCCの第5次評価報告書は、第4次評価報告書と比べ、陸域の氷の寄与に関するモデリングが向上しており、この結果、第4次評価報告書よりも予測の確信度が高まっています。

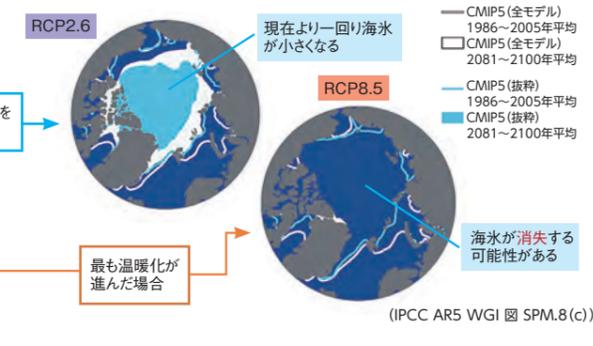
#### 北極海の海水が減少する

21世紀中に北極海の海水は縮小し、薄くなることと予測されています。IPCC 第5次評価報告書では、最も温暖化を抑えた「RCP2.6」シナリオでも、21世紀末には9月の海水の面積が現在より43%減少することが予測されています。一方、最も温暖化が進む「RCP8.5」シナリオの場合、

21世紀の半ばまでに夏季(9月)の北極域の海水が、ほぼなくなる可能性が高いと指摘されています。北極だけでなく、北半球全体にも影響が及びます。特に北半球の春の積雪面積が減少する可能性が非常に高いと予測されています。



(IPCC AR5 WGI 図 SPM.7(b))

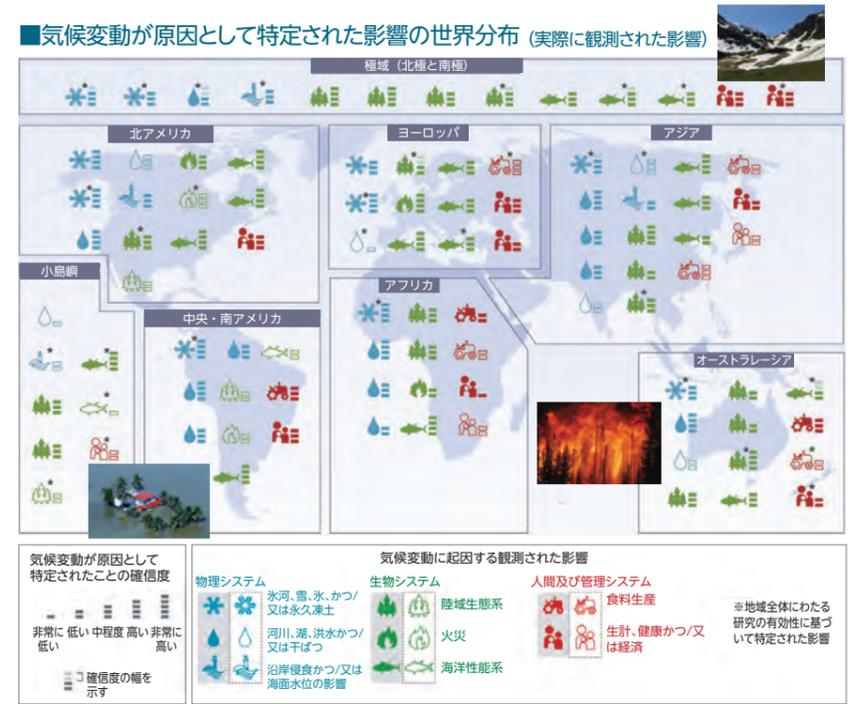


(IPCC AR5 WGI 図 SPM.8(c))

### 世界で観測されているさまざまな影響

ここ数十年の気候変動は、全ての大陸や海洋において、人間の生活や自然の生態系にさまざまな影響を与えています。右の図のように、氷河の融解や海面水位の変化、洪水や干ばつなどの物理的影響、陸上や海の生態系への影響、食料生産や健康など人間への影響が、地域ごとに現れていることが分かります。中でも、IPCC 第5次評価報告書によれば、自然システムに最も強くかつ包括的に影響が現れているといえます。

今後、温暖化が進むと、さまざまな影響の深刻度と確信度、すなわち気候変動リスクがさらに高まると考えられます。



アイコンは影響の種類を表しており、色がぬられているものは気候変動から受ける影響の度合いが大きいことを示す。アイコンの横のバロメーターは、気候変動が原因であることの確信度を示すもので、目盛りの数が多いほど確信度が高い。(IPCC AR5 SYR 図 SPM.4)

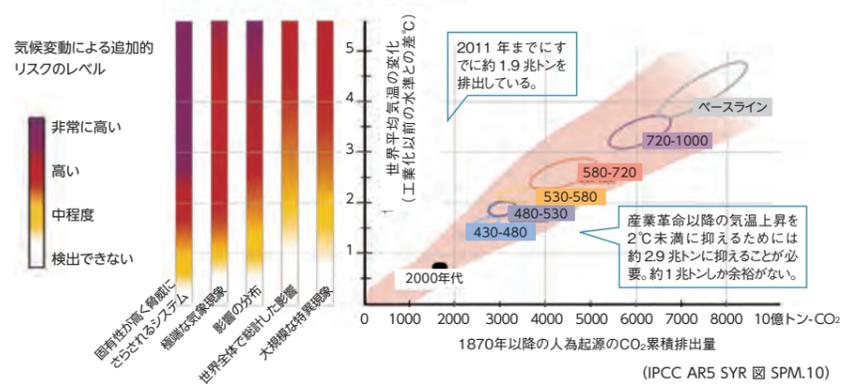
### CO<sub>2</sub> 排出量が増えればリスクが増大 (将来予測)

IPCC 第5次評価報告書では、気候変動をもたらす将来のリスクを「主要な8つのリスク」として挙げています。①海面上昇、沿岸での高潮、②大都市部への洪水、③極端な気象現象によるインフラ機能停止、④熱波による死亡や疾病、⑤気温上昇や干ばつによる食料安全保障、⑥水資源不足と農業生産減少、⑦海洋生態系の損失、⑧陸域と内水の生態系がもたらすサービスの損失——の8つです。今後、温暖化が進んだ場合、気温が何℃上昇すると、ど

のようなリスクが高まるのかを示したのが左下のグラフです。また、気温上昇と産業革命以降の人間活動によるCO<sub>2</sub>の累積排出量との関係を示したのが右のグラフです。

「生態系や文化など固有性が高く脅威にさらされるシステムへの影響」「極端な気象現象」「農作物や水不足などの地域的な影響」「生物多様性の損失などの世界的な影響」「氷床の消失などの大規模な特異現象」の5つの包括的な懸念材料が、気温上昇とともに危機的な状況になると警告しています。

■気候変動によるリスク、気温の変化、CO<sub>2</sub>累積排出量との関係



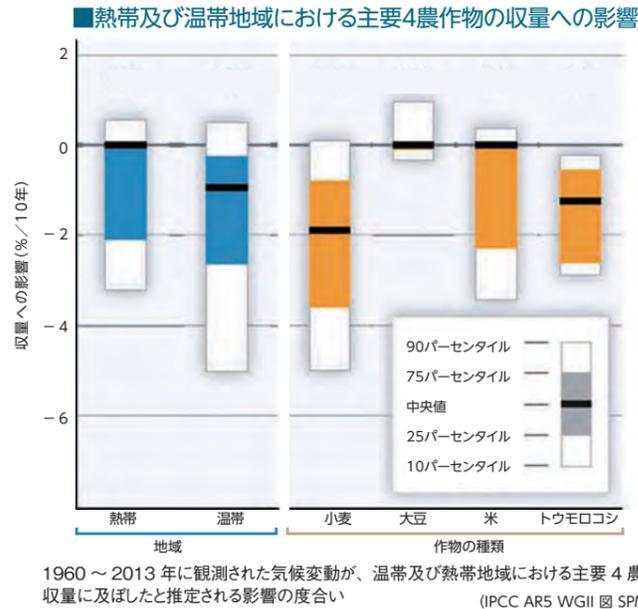
(IPCC AR5 SYR 図 SPM.10)

現在と比べて気温が1℃上がると、台風や熱波などの極端現象のリスクが高まり、2℃上がるとサンゴ礁など適応能力の低い生態系が非常に高いリスクにさらされます。3℃以上では、地球全体で生物多様性が減少して生態系サービスが失われ、人間の社会にも大きく影響すると予想されています。こうしたリスクを減らすためには、将来にわたってCO<sub>2</sub> 排出量を抑制することが非常に重要です。

## 主要穀物の収量が低下 (実際に観測された影響)

気候変動は、食料の生産量とも密接な関係があります。右の図は、1960～2013年に観測された気候変動が、主要4農作物の収量に及ぼしたと推定される影響をまとめたものです。温帯地域、熱帯地域のいずれにおいても、マイナスの影響を及ぼす方が多いことが分かります。小麦、大豆、米、トウモロコシの主要4農作物でみると、小麦が最も気候変動の影響を受け、収量に大きなマイナスの影響が出ています。米やトウモロコシについてもマイナスです。

逆に少ないながらも、気候変動がプラスの影響を及ぼすという研究があります。主に平均気温の低い高緯度地域の収量に関連した研究ですが、こうした高緯度地域での温暖化による影響の収支がプラスになるかマイナスになるかは、まだ明らかになっていません。



## 海洋生態系で高まるリスク (将来予測)

温暖化によって、海洋にすむ生物の分布の変化、生物多様性の低下、さらに局所的には絶滅の危機にさらされる生物種の増加が予測されています。この結果、漁業の生産性や、さまざまな生態系サービスの利用に影響が出るといわれています。

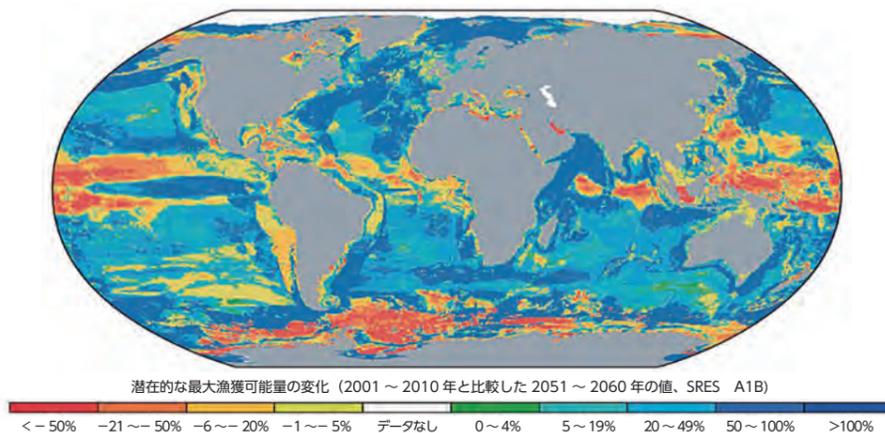
下の図は、約1000種類の魚類と無脊椎動物について、潜在的な最大漁獲可能量を2051～2060年と2001～2010年と比較したものです。濃い赤になるに従って、漁獲可能量が大きく減少するという予測です。平均すると、漁獲可能量は中～高緯度で増大するものの、熱帯域では減少す

ると予測されています。

急激な温暖化は、生物種が冷たい水を求めて高緯度地域に移動したり、深海に潜ったりするなど、生態系の変化に影響します。このまま温暖化が進むと、ある国の沿岸水域から、漁業で収益をもたらしていた生物が姿を消してしまうことも考えられます。

またCO<sub>2</sub>濃度の増大によって海洋の酸性化が進み、植物プランクトンから動物までの個々の生物種の生態に影響が出ると予測されています。特に極域の生態系やサンゴ礁といった海洋生態系に相当のリスクをもたらすとみられています。

### ■ 1000種の魚類と無脊椎動物の潜在的な最大漁獲可能量の変化



乱獲又は海洋酸性化の潜在的な影響分析は行わず、エネルギーと技術がバランスよく変化する排出シナリオ (SRES A1B) を基に2051～2060年の漁獲可能量の10年平均を予測し、2001～2010年の10年平均と比較した。

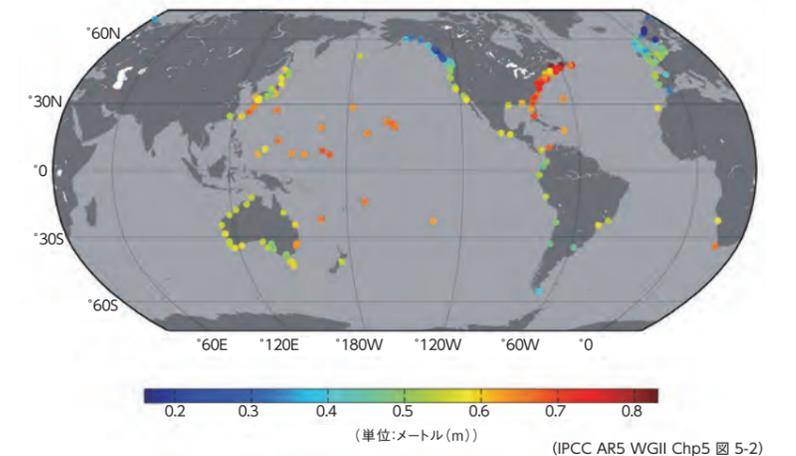
## 高潮や海岸侵食に脅かされる沿岸域・小島嶼 (将来予測)

気候変動が及ぼす海面水位の上昇は、沿岸や低平地、小島嶼に住む人々の暮らしに大きな影響を与えます。台風による高潮や浸水、沿岸域の氾濫、海岸侵食による被害をより多く受けることになります。

右下の図は、中程度の排出シナリオである「RCP4.5」の予測に基づいた場合、2081～2100年の洪水の頻度を1986～2005年と同程度に留めるために必要な堤防のかさ上げ高の予測を示したものです。アメリカ東部沿岸では70cmを超える堤防のかさ上げが必要となる個所が出てきます。日本でも50～70cmの堤防のかさ上げが必要となる個所が出てきます。

アメリカの河川洪水による年間被害額は、現時点では約20億ドルです。しかし、これが2100年までには70億～190億ドルへと大幅に増加すると予測されています。洪水管理設備が存在しないまま都市化を進めることにより、気候変動による洪水の影響を一層増加させる場合があると、IPCC第5次評価報告書は警告しています。

### ■ 将来必要となる沿岸堤防のかさ上げ高(余裕高)



## 水問題は干ばつと洪水の二極化へ (将来予測)

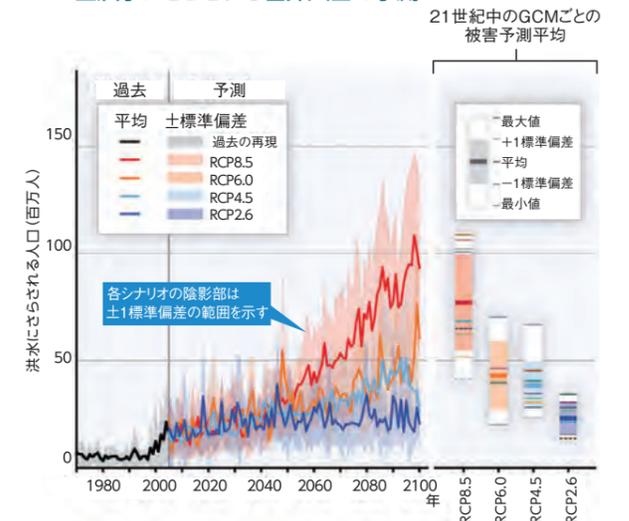
飲料水はもとより、農業、工業などでも不可欠なのが海水ではない水、すなわち「淡水」です。温暖化が進むと、淡水に関連するリスクが、著しく増大するといわれています。

そのひとつが水不足です。最も温暖化が進む「RCP8.5」シナリオでは、現在の乾燥地域で干ばつの頻度が21世紀末までに増加する可能性が高くなり、乾燥亜熱帯地域では、再生可能な地表水と地下水の資源が減少すると予測されています。こうした水不足により、エネルギーと農業など産業の分野をまたいだ水資源獲得の競争が激しくなり、紛争に発展する可能性も指摘されています。

逆に、高緯度地域では水資源の増加が予測されています。大雨による堆積物や汚染物質の増加、洪水による処理施設への障害などは、水道原水の質を低下させ、飲料水にリスクをもたらすと考えられています。

右の図は、20世紀では100年に一度発生するような規模の洪水にさらされる世界人口が、これから2100年までにどれくらいになるかを予測したグラフです。最も温暖化が進む「RCP8.5」シナリオでは、2100年頃には年間1億人がこうした大洪水にさらされるとしています。

### ■ 洪水にさらされる世界人口の予測



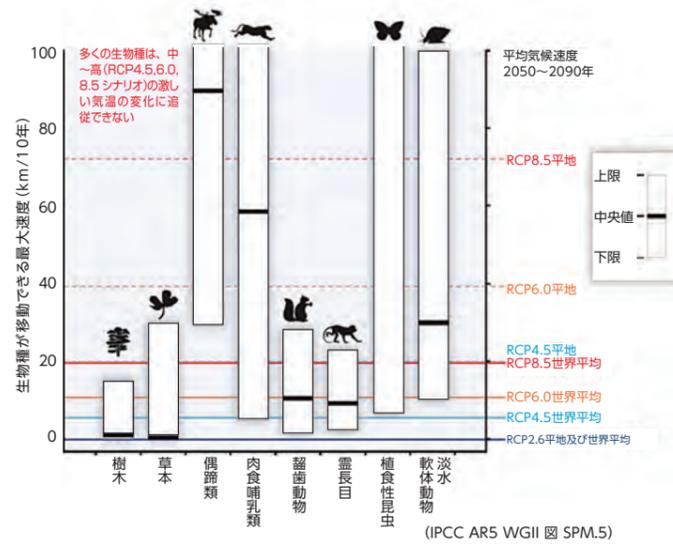
20世紀では100年に一度発生するような大洪水にさらされる人口は、最も温暖化が進んだ場合 (RCP8.5)、21世紀末には年間1億人と予測されている。

## 危機に瀕する生態系 (将来予測)

気候変動によって、陸上と淡水に生息する動物や植物などの生物種の大部分について、絶滅のリスクが増えると予測されています。一方で、生息地の改変や人間による乱獲、生息地の汚染などといった気候変動以外のストレス要因も高まっており、こうした要因との相互作用によって、絶滅へのリスクは一層高まります。

気候変動による生息地の変化に、動植物が追従できるかどうかを示したのが右の図です。生物種が地形を越えて移動できる最大速度を左の縦軸に、気候変動により気温が移行する速度を右の縦軸に、それぞれ示しています。中～高排出のシナリオである「RCP4.5」「RCP6.0」「RCP8.5」の場合、多くの生物種が、気温の変動に追従するために適切な生息環境へ移動することができないことがわかります。温暖化が進むに従い、生物種の絶滅や、森林の減少といったリスクが高まることになるのです。

■生物種が移動できる最大速度と気温の移行速度の比較



## 人間の健康への脅威 (将来予測)

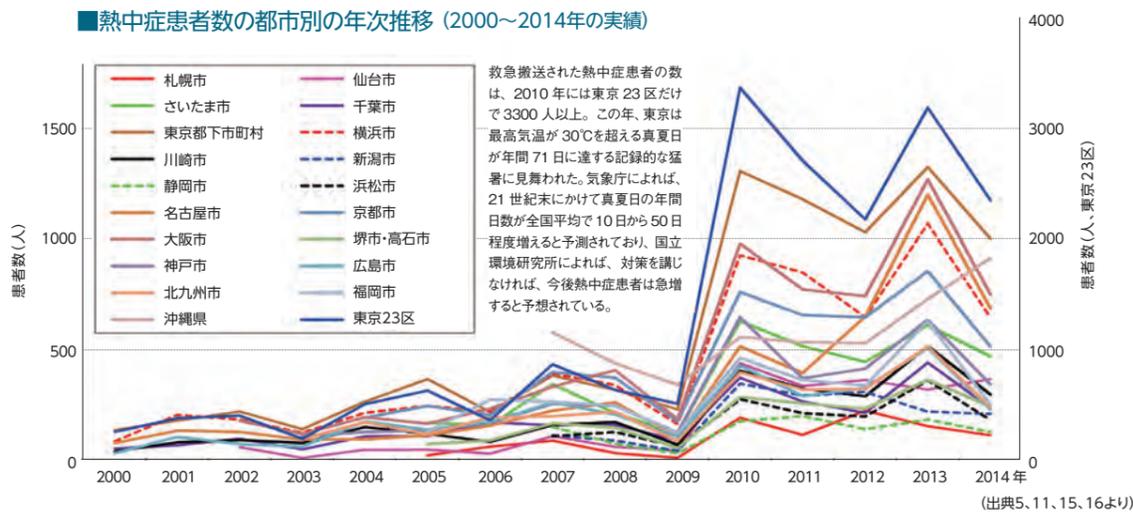
温暖化などの気候変動は、動植物だけでなく人間の健康にも大きな影響を与えると予測されています。強力な熱波や火災による負傷、疾病、死亡のリスク、食料生産の減少による栄養不足のリスクは、特に低所得の開発途上国で高まると懸念されています。

日本においては、夏季の高温による熱中症患者の数が近年増える傾向にあり(下の図)、今後も増加すると予測されています。熱ストレスによる死亡リスクは、2050年代には1981～2000年に比べて約1.8～2.2倍、2090年代には約2.1

～3.7倍に達するといわれています(2100年における平均気温上昇が産業革命以前に比べて約2.1～3.8℃となるCO<sub>2</sub>排出シナリオの場合)。最も温暖化を抑えた「RCP2.6」シナリオの場合でも、熱ストレスによる超過死亡数は、年齢層にかかわらず、全ての県で2倍以上になると予測されています。

熱中症死亡による経済的な損害も大きく増加します。最も温暖化が進む「RCP8.5」シナリオの場合、現在と比べて21世紀末には1年当たり1479～5218億円も日本で被害額が増えると試算されています。

■熱中症患者数の都市別の年次推移 (2000～2014年の実績)



## 止まらない森林減少・劣化 (CO<sub>2</sub> 吸収源の消失)

森林はCO<sub>2</sub>の重要な吸収源です。森林の伐採や劣化が進むと、森林に貯えられている炭素を放出するため、温暖化を促進することになります。2000～2010年に世界で約5200万ヘクタールの森林が減少し、森林面積は40億ヘクタール強にまで減りました。

特に消失面積が大きい国は、ブラジル、インドネシア、オーストラリアです。森林減少の主な要因は、熱帯林の農地への転換です。アブラヤシ、ゴム、コーヒーといった商品作物や輸出用農産物の生産拡大が原因です。しかし、森林減少には農地転換や土地開発といった直接的な要因以外にも、市場経済の拡大、貧困、人口増加などの背景要因があり、これらが複雑にからみ合っています。

こうした森林減少を原因とするCO<sub>2</sub>排出は、世界全体の排出量の2割を占めるといわれます。これは、化石燃料を

燃やすことによるCO<sub>2</sub>排出量に次いで大きな割合です。

こうしたなか、途上国における森林減少・劣化を抑制し、温室効果ガスの排出量を削減する取組「REDDプラス」が国際社会で進められています。基本的な考え方は、対象国の過去の温室効果ガス排出量データなどを参考に、森林減少などに伴う温室効果ガス排出量の将来予測シナリオ(参照レベル)を設定します。その後、森林整備や植林などの取組を実施することによって温室効果ガス排出量が参照レベルの水準を下回れば、その努力による排出削減量のクレジットを実施国が得られる仕組みが検討されています。

REDDプラスは、森林の機能回復による生物多様性の保全や、森林資源を活用することによる地域住民の生計向上などの効果も期待されています。

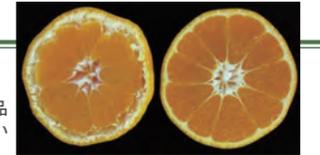
(出典17、18より)

## 日本の気候変動予測と影響評価

今後、日本の気温や降水量はどう変化していくのでしょうか。IPCCのRCPシナリオを基に、将来の気候変動を予測し、経済や社会、自然生態系などへの影響を評価した結果が公表されています。

それによれば、現在(1984～2004年)と比べ、将来(2080～2100年)の年平均気温(全国平均)は、最も温暖化を抑えたRCP2.6の場合で0.5～1.7℃、最も温暖化が進んだRCP8.5の場合で3.4～5.4℃、それぞれ上昇すると予測されています。全国的に気温は上昇し、特に北日本での温度上昇幅が大きくなるとみられています。

年降水量については、どのシナリオでも明瞭な変化傾向はないと予測されていますが、大雨による降水量は多くのシナリオで増加傾向にあると予測されています。一方、年降雪量はほとんどのシナリオで減少、特に東日本日本海側で減少量が大きいと予測されています。



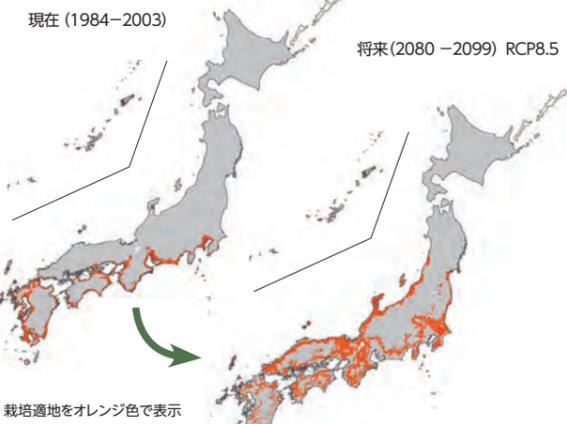
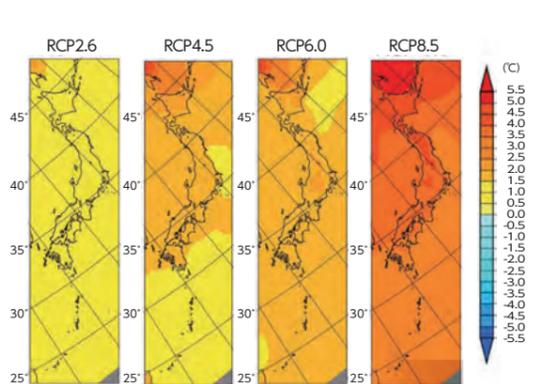
高温や多雨による品質低下が発生しているウンシュウミカン

気候変動予測を基に、農業、自然生態系などさまざまな分野における影響評価が行われています。例えば、日本で最も生産量の多い果樹であるウンシュウミカンは、いずれのシナリオでも栽培適地は北上し、沿岸部から内陸部に移動する傾向が見られます。また、現在に比べて栽培適地の面積は大きくなると予測されています。ただし、RCP8.5の場合、紀伊半島や四国、九州をはじめとした現在の主産地での栽培適地は大きく減少すると予測されています。気候変動は、私たちの暮らしにも影響を及ぼす可能性があります。

(出典19、20、21より)

■ウンシュウミカンの栽培適地の変化

■年平均気温の変化の分布 (2080～2100年)



# 第4章

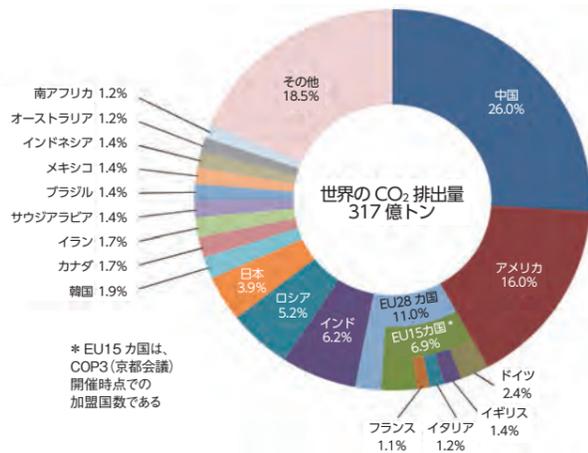
## 二酸化炭素排出の現状とリスクへの適応

温暖化の進行に主に人間活動によって排出されるCO<sub>2</sub>が大きく影響していることは疑いありません。人間社会や自然の生態系が危機に陥らないためには、今すぐ、世界の国々が協力し合い、連携しながら、実効性の高いCO<sub>2</sub>排出削減の取組を行っていく必要があります。一方で、各地で現れ始めている気候変動による影響への「適応」も待たなしの状況です。

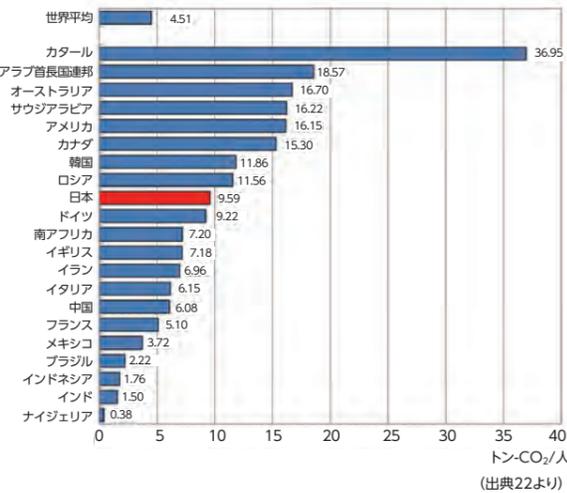
### 二酸化炭素の国別排出量

二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の国別排出量(2012年)をみると、中国が全世界(317億トン)の4分の1以上を占めて1位となっています。次いでアメリカが2位、日本は5位です。一方、国別の1人当たり排出量では、豊富な石油・天然ガスを産出するカタールが群を抜いて1位で、同じく中東の産油国であるアラブ首長国連邦(2位)、サウジアラビア(4位)が上位を占め、最大の排出国である中国は日本より低くなっています。

■世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量(2012年)



■国別1人当たりエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量(2012年)

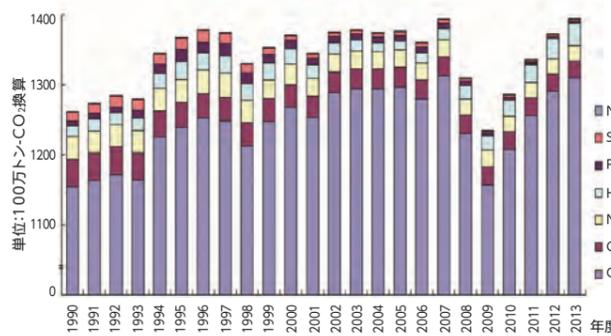


### 日本の排出量

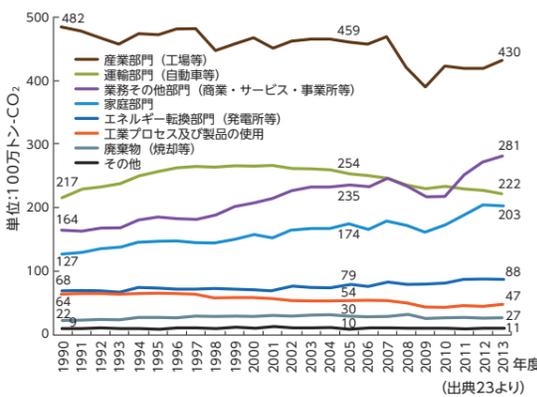
2013年度の温室効果ガス総排出量(速報値)は13億9500万トン(CO<sub>2</sub>換算)で、前年度と比べて1.6%、2005年度と比べて1.3%増加しています。部門別排出量では、排出量が最も大きい「産業部門」(工場など)では

2005年度と比べて6.3%減少していますが、オフィスなどの「業務その他部門」は19.5%増、「家庭部門」は16.3%増と大きく増加しています。

■日本の温室効果ガスの排出量の推移



■CO<sub>2</sub>の部門別排出量(電気・熱配分後)の推移



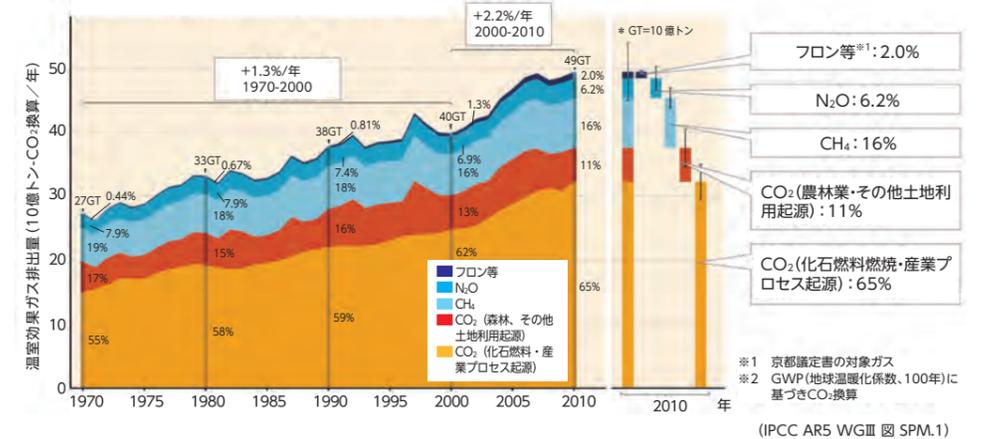
### ここ10年で排出量が急増

世界の人為起源の温室効果ガスの排出量は、1970～2010年の期間、一貫して増加を続けています。とりわけ、1970～2000年の期間は年率1.3%の増加であったものが、2000～2010年の期間では年率2.2%の増加と近年の増加率が高いことがわかります。

また、1750～2010年、すなわち産業革命以降の人為起源によるCO<sub>2</sub>累積排出量のうち約半分は過去40年間に排出されたとみられます。さらに燃料やセメント、原油探掘プロセスにおいて排出されるCO<sub>2</sub>に限ってみれば、この40年間で3倍に増えています。

人為起源の温室効果ガスの中でも排出量の増加が著しいのが、化石燃料の燃焼や産業プロセスにおいて排出されるCO<sub>2</sub>です。1970～2010年の期間における温室効果ガス排出量増加分の約78%が、これらによるものと考えられています。

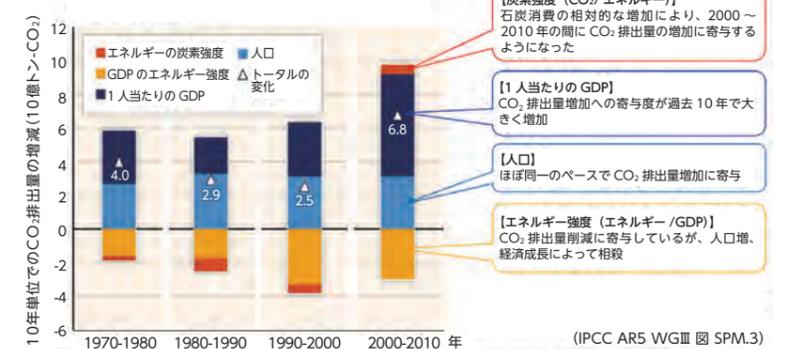
■人為的な温室効果ガス排出量の推移



### CO<sub>2</sub>排出量増大の要因

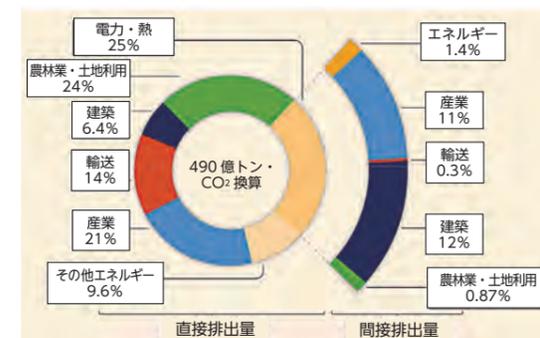
化石燃料を起源とするCO<sub>2</sub>排出量が増えている原因は何でしょうか。それは、主に経済成長と人口増であると考えられます。特に2000～2010年の期間で見ると、経済成長による影響が、それ以前の30年間に比べて急激に高くなっていることがわかります。1人当たりのGDPが増えることで、CO<sub>2</sub>の排出も増える傾向が顕著にみられます。

■化石燃料起源CO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析



2010年の人為的な原因による温室効果ガスの直接排出量を部門別にみる

■温室効果ガスの部門別排出量(2010年)



と、電力・熱・その他を含めたエネルギー供給によるものが約35%と最も多く、農林業・土地利用24%、産業21%、輸送14%、建築6.4%となっています。しかし、電力・熱の内訳を部門別に配分した間接的な排出量を含めると、産業が30%を超え、建築も20%近くになるなど、排出量全体に占める割合は高くなります。経済成長はこれらの部門の発展を伴うものであり、いかに削減するかが重要になります。

\*直接排出量：電力・熱に起因する排出をエネルギー転換部門に計上したものの  
間接排出量：電力・熱に起因する排出を消費する需要部門に配分したものの

### 2100年の排出量の将来予測——緩和に向けた4つのシナリオ

IPCC 第5次評価報告書では、温室効果ガス排出量の変化に関する複数のシナリオについて、2100年に想定される温室効果ガス濃度と気温上昇の予測を行っています。

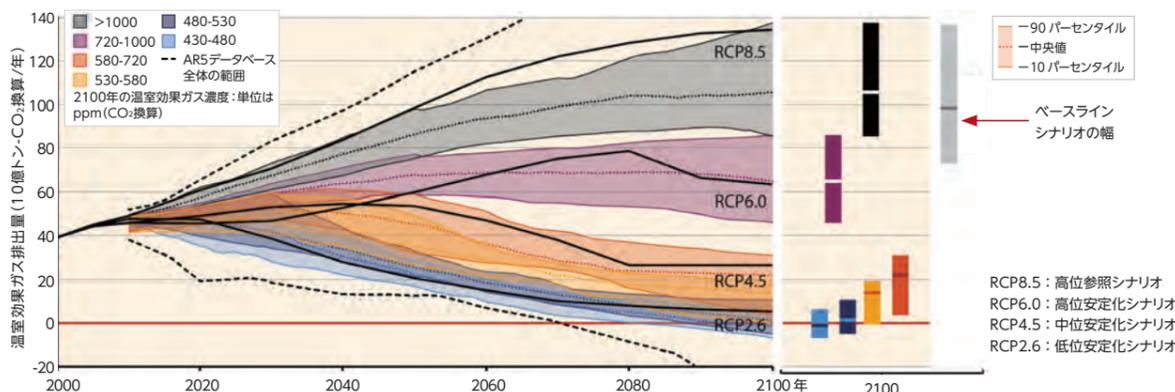
シナリオは、人為的な起源による温室効果ガスの排出抑制に向けた追加的な努力(緩和策)を行わない場合の「ベースラインシナリオ」と、追加的な緩和策を実施した場合の「緩和シナリオ」に大きく分けられます。また、緩和シナリオには、2100年以前に濃度が一定の基準を超える「オーバーシュート」を想定したシナリオも用意されています。

緩和シナリオのうち、2100年の気温上昇を産業革命以前に比べて「2℃未満」に抑えられる可能性が「高い」のは、4つのRCPシナリオ\*1の中ではRCP2.6(2100年の温室効果ガス濃度/430~480ppm、CO2換算)だけです。他のシナリオ(RCP4.5,6.0,8.5、2100年の温室効果ガス濃度580~1000ppm超、CO2換算)はいずれも、2100年の気温上昇を産業革命以前に比べて2℃未満に抑えられる可能性は「低い」、あるいは「どちらかといえば低い」となっています。

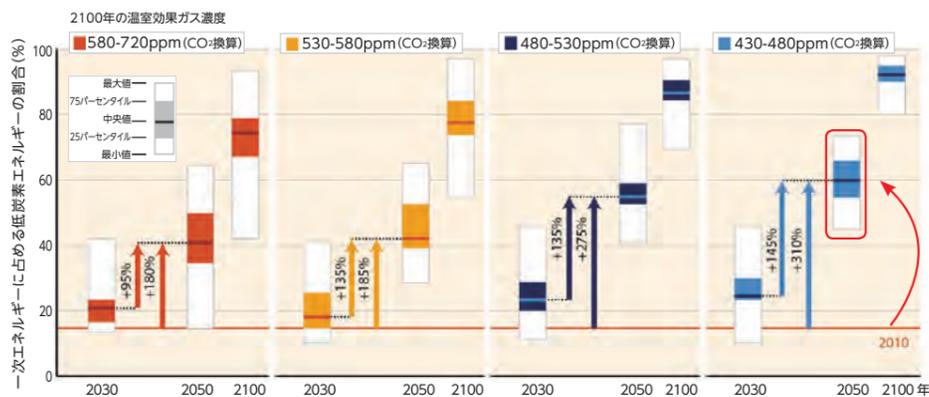
RCP2.6では、2050年の温室効果ガス排出量が2010年と比べて40~70%低減し、2100年にはほぼゼロかマイナスになることを想定しています。それに向けては、植林や森林減少の抑制など土地利用の変化に加え、エネルギー効率の大幅向上が含まれています。太陽光や風力などの再生可能エネルギーや、CCS(Carbon dioxide Capture and Storage、CO2回収・貯留)付き火力発電、BECCS\*2などの低炭素エネルギーのシェアが、2050年には2010年の3~4倍に増加するとしています。こうした低炭素化のための主要技術はできるだけ早く導入しなければ、RCP2.6の達成は難しくなるうえ、CO2排出削減(緩和)に向けた総コストも大幅に増加します。

\*1 IPCC 第5次評価報告書では、2100年のCO2濃度の水準に応じた4つのシナリオを基に、気候予測や影響評価等が行われている。各シナリオのRCPとは、Representative Concentration Pathways(代表的濃度経路)の略。将来の温室効果ガス安定化レベルと、そこに至るまでの経路のうち、代表的なものを選んだ。RCPに続く数値が大きいほど、2100年における放射強制力(温暖化を引き起こす効果)が大きい。  
\*2 BECCS(Bioenergy with CCS)は、バイオエネルギーとCCSを組み合わせることで、大気中のCO2を除去する技術。

#### CO2排出削減(緩和)に向けた4つのRCPシナリオ



#### 低炭素エネルギーの割合の推移(2100年の温室効果ガス濃度別)



一次エネルギーに占める低炭素エネルギーの供給の割合を2010年と2050年とで比較すると、430~480ppm(CO2換算)では、低炭素エネルギーの割合が3~4倍と大幅に増える。

3~4倍

(IPCC AR5 SYR 図 SPM.11)

### 温暖化への適応が始まっている

#### 適応への一歩

温暖化対策には、大きく分けて「緩和」と「適応」の2種類があります(右上の図)。緩和は温室効果ガス排出を抑制することで、最優先で取り組む必要があります。そして、緩和を実施しても温暖化の影響が避けられない場合、その影響に対して自然や人間社会のあり方を調整していくのが、適応です。IPCC 第5次評価報告書では、気候変動に関連する影響やリスクを、緩和や適応によってどのように低減・管理できるかについて言及しています。

右下の図は、気候に関連した影響のリスクを概念的に説明したものです。人間、社会及び自然システムの脆弱性(影響の受けやすさ)、曝露(リスクにさらされること)、ハザード(災害、危険な事象など)の3つが相互に作用し合うことで、このリスクがもたらされるとしています。そしてこれらには、気候システムや、緩和や適応を含む人間の活動(社会経済プロセス)の変化が大きく関わっていると指摘しています。

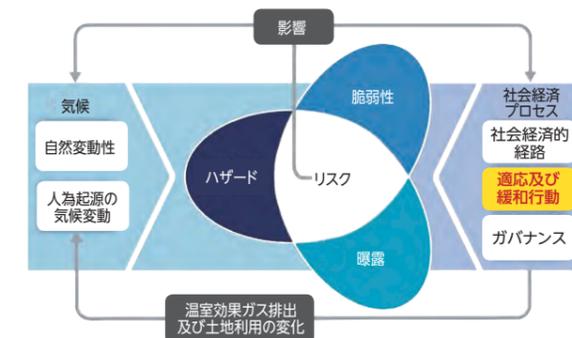
近年顕著になりつつある温暖化のリスクは、国や地域によってさまざま、あらゆる場所でも有効な適応の方法というものはありません。その地域に適した法制度の制定や社会システムの整備などの適応策を講じていく必要があります。

温暖化のリスクというマイナス面ばかりを見るのではなく、温暖化のプラス面を積極的に生かすという考え方も必要です。例えば、夏季の高温を利用して亜熱帯地方の果物を栽培し、新しい市場を切り開くこともできるでしょう。「温暖化の時代をよりよく生きることが、私たちに求められています。

#### 2つの温暖化対策：緩和と適応



#### 気候変動に関連したリスクの概念図



気候変動は、人間、社会及び自然システムにさまざまな影響やリスクをもたらす。そうしたリスクは、人間、社会及び自然システムの脆弱性(影響の受けやすさ)、曝露(リスクにさらされること)、ハザード(災害、危険な事象や傾向など)の3つの相互作用によってもたらされる(図の中央)。さらにその3つには、気候システム(図の左)や人間の活動(社会経済プロセス、図の右)の変化が大きく関わっている。(IPCC AR5 WGII 図 SPM.1)

#### 世界の適応戦略と適応計画

「適応」に向けた戦略/計画策定への取組は、世界各地で始まっています。例えばイギリスでは2008年に気候変動法が施行されました。気候変動適応一行動枠組の下、国家適応プログラム(NAP)を2013年に策定し、5年おき

にレビューを行う仕組みを整備しています。

一方、オーストラリアは、熱波の増加によって森林火災がさらに頻発するとみられることから、早期警報システムや燃えにくい建築設計、燃料管理などに重点を置いた適応計画を立案しています。

#### 海外の主な適応戦略/計画

国名	名称	分野	実施状況
イギリス	・英国気候変動適応一行動枠組(2008) ・国家適応プログラム(NAP・2013)	・7分野(環境創造、インフラストラクチャ、健康・回復力をもつコミュニティ、農業・林業、自然環境など)	・行動枠組は、原則やプログラム策定までの流れを提示。 ・適応プログラムは、31の目標ごとに各分野の具体的な施策を列挙。影響評価で抽出した約100のリスクに対応させている。
アメリカ	・省庁間気候変動適応タスクフォース進捗報告書:国家気候変動適応戦略支援行動提言(2010) ・戦略的かつ持続可能な行動計画(省庁等41組編別・2013)	・タスクフォース進捗報告書は分野横断。WGは9分野。適応科学、適応計画、水資源の適応、保険、国際、コミュニケーションと広報、都市、健康、植物・魚類・野生生物で構成	・タスクフォース進捗報告書は、原則や政策目標を提示。戦略/計画とは位置づけしていない。 ・省庁別の適応計画は、大統領令に基づき各省庁が公表。
オランダ	・気候変動に対する国家空間適応プログラム(ARK・2007) ・デルタプログラム(2011)	・水、自然、農業、エネルギー、輸送、建築物・インフラストラクチャ、公衆衛生、レクリエーションの8分野(国家空間適応プログラムは分野横断)	・国家空間適応プログラムは、分野横断的考え方を提示。 ・デルタプログラムは、洪水対策・淡水供給の具体的な施策等を含む。毎年公表。
オーストラリア	・国家気候変動適応枠組(2007) ・政府政策方針書(2010)	・適応枠組は、水資源、生物多様性、人の健康、自然災害管理など8分野 ・政府政策方針書は、沿岸域の管理、インフラストラクチャ、自然災害の防止など6分野	・適応枠組は、分野横断的な考え方、5~7年の研究等に関する行動の指針が中心。 ・政府政策方針書は、適応に対する政府見解、5~10年間に優先する分野等に言及。

(出典25より)

## 世界の適応への取組

世界各国では、気候変動の将来予測を踏まえ、特に影響の大きい分野や優先的に適応を進めるべき分野を特定し、被害額や適応に要するコストの検討なども行っています。海面上昇による高潮被害を防ぐ防潮堤の建設、高温による農作物被害への対策など、適応策は国や地域によってさまざまです。ここでは、世界の先進的な取組について紹介します。

### イギリス

2012年から適応プログラムを始動し、洪水リスク管理、水資源、淡水生態系などを優先分野として適応策に取り組んでいます。テムズ川河口の施設改良では、海面水位よりも低い土地を守るため、延長18kmにも及ぶテムズ防潮堤を設置。年10回程度の高潮に際しても、ゲートを閉じて浸水被害を防いでいます。(出典24より)



テムズ川流域にある水門「テムズ・バリヤ」は、海面が仮に毎年8mmずつ上昇したとしても、2030年までは高潮に耐えられる設計になっている。

写真提供：藍谷鋼一郎

### オランダ

ライン川では、豪雨による洪水リスクの増大が懸念されており、2050年には現在よりも10%以上流量が増加すると予測されています。そこで洪水リスク管理計画「Room for the River」を策定し、約7000ヘクタールの遊水地を確保するなど治水安全度の向上を進めています。ライン川河口の都市、ロッテルダムには北海の高潮から都市を守るマエスラント可動堰が建設されました。(出典26より)



ライン川河口の都市、ロッテルダムにあるマエスラント可動堰。北海の高潮から都市を守っている。

写真提供：het Keringhuis

### ツバル

マングローブは海と川が交差する河口部の汽水環境に生育する植物で、高潮や津波の被害から沿岸の地域を守る防潮堤の役割を果たしています。またマングローブ林には、淡水性と海水性の両方の生物、水域と陸地の両方の生物が息し、豊かな生物多様性が育まれます。そこで温暖化による海面上昇などによって国土の侵食被害が増加しているツバルでは、フナフチ環礁フナファラ島などにおいてマングローブの苗木を植える活動が進められています。(出典27より)



ツバルでは、高潮被害を防ぐ自然の防潮堤となるマングローブの植林が行われている。

©遠藤秀一 / NPO Tuvalu Overview

### オーストラリア

2006年にオーストラリアを襲った過去100年間で最悪といわれる大干ばつによって、同国の小麦生産量は前年比4割程度にまで落ち込みました。続く2007年も2年連続の干ばつとなり、オーストラリアの農業は大きな被害を受けました。そこでオーストラリア政府は、小麦農家に補助金を出すなどして、小麦の作付け地域を比較的雨の多い北部へ移転させる政策を打ち出しました。(出典28より)



オーストラリアでは、南東部から南西部にかけて広がる小麦の作付け地域を北へ移動させる政策を打ち出した。

写真提供：風間深志

## 日本の適応への取組

日本においても適応計画の策定が進められています。気候変動の影響は地域によってさまざまであるため、適応策の策定と実施においては、地方自治体の役割が非常に重要です。すでに適応策について先行した取組を行っているのは、山形県、長野県、埼玉県、東京都、三重県、和歌山県などです。長野県は、「長野県環境エネルギー戦略～第三次長野県地球温暖化防止県民計画～」(2013年)の中に適応策の項目を設け、「気候変動モニタリング(観測)体制」や「信州・気候変動適応プラットフォーム」の整備を進めています。ここでは、和歌山県と山形県の適応への取組を紹介します。

### 暑熱ストレスに強い鶏をつくる

食料の生産現場では、作物別の被害状況の把握とともに、多様な適応策が進められつつあります。こうしたなか、和歌山県畜産試験場養鶏研究所は、夏季の暑熱ストレスに強い採卵鶏の開発に取り組んでいます。もともと鳥類は汗腺を持たず、全身を羽毛に覆われているため、夏の暑さに非常に弱い動物です。温暖化によって夏の暑さが年々厳しくなるにつれ、採卵鶏では産卵率の低下や卵質の悪化、へい死数の増加などが見られるようになりました。養鶏農家にとって深刻な問題であり、早急に対策を講じる必要があります。



そこで同研究所では、暑熱ストレスに強い鶏をつくるため、県内特産品である山椒種子など抗酸化作用の強い素材を活用し、鶏に給餌する試験を行っています。その結果、暑熱ストレス下でも鶏の産卵率や日産卵量、卵質の低下を軽減でき、生産性向上効果が期待できることが分かってきました。今後この飼養技術を開発し、養鶏農家への技術普及と鶏卵の地域ブランド化、循環型社会の構築を目指します。(出典29、30より)

県内特産品を生かした抗酸化作用の強い素材を飼料添加し、鶏に給与した。①梅干しを作る際に出る梅酢を脱塩濃縮した「梅 BX70」、②ビタミンEを多く含む米糠抽出油脂「ライストリエノール」、③特産品の山椒を製造する際の副産物である「ぶどう山椒種子」の3つの素材について検討している。

(出典29、30より)

### 東北で暖地作物のカンキツ類を育てる

全国有数の農業産出額を誇る山形県では、2010年に「地球温暖化に対応した農林水産研究開発ビジョン」を策定し(2015年3月改訂)、温暖化を先取りした戦略的な研究開発を進めています。

そのひとつが、暖地型作物の導入プロジェクトです。山形県ではサクランボやリンゴなど冷涼な気候を生かした農作物が多く栽培されていますが、数十年後には暖地で産地化されているカンキツ類などが栽培できると予測されています。そこで山形県庄内産地研究室では、スタチやカボス、ユズ、ウンシュウミカンなど8種類のカンキツ類を露地栽培する実証研究を行いました。その結果、スタチやウンシュウミカンなど5種類は全体を不織布などで覆うことで比較的良好に越冬でき、順調に生育できることが分かりました。特にスタチの果の品質は商用としても問題ないとの評価を得ています。樹体も大きく育ってきていることから、今後は安定的に栽培可能な栽培法の検討を進めていきます。(出典29、31より)

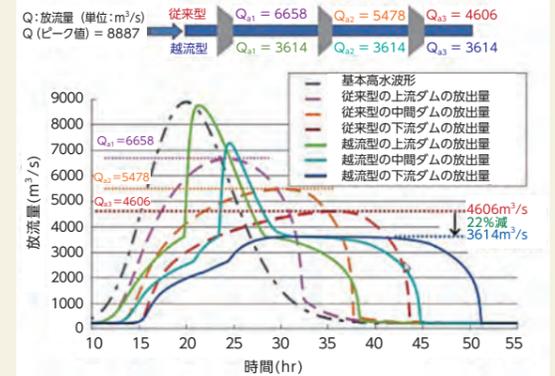


冬は気温が-7℃前後に下がるため、樹木全体を不織布等で覆うことで越冬させる。

## column

### 河川災害に適応する新しい防災技術

九州地方では毎年夏から秋にかけて激しい豪雨に見舞われており、洪水災害への適応が急務になっています。こうしたなか、九州大学の研究グループは、流水型(穴あき)ダムの設置による「カスケード方式」の新しい治水技術を開発しました。これは、複数の小規模流水型ダム(河道内遊水池)を直列に組み合わせるといふものです。シミュレーションの結果、山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容することによって(カスケード方式)、より重要となる下流側の洪水制御能力が強化されることを明らかにしました(右の図)。この流水型ダムは、降雨強度・量の増大により様相が変化した水・土砂災害にほぼ対応できるとのことです。今後、筑後川を対象とした具体的な検討を開始し、効果が期待されています。(出典5より)



カスケード方式による洪水制御能力  
従来型に比べてカスケード式は、下流ダムの最大流量を22%削減できることが分かる。

# 第5章 日本の取組——低炭素社会の実現に向けて

地球温暖化対策を進めるうえでは、国際社会が協力して取り組んでいかななくてはなりません。日本は、「攻めの地球温暖化外交戦略」の下、国際的なパートナーシップを強化し、革新的な環境技術を世界に展開していくことによって、地球規模の温暖化対策に大きな貢献を果たしていきます。国内では、産業・エネルギー構造や国民のライフスタイルの変革を促し、低炭素社会の実現を目指します。

## 中長期的な温暖化対策

地球温暖化対策は、科学的知見に基づき、国際社会が協調しながら進めていく必要があります。日本は、温室効果ガスの排出量を2050年までに世界全体で少なくとも半減、先進国全体で80%削減するとの目標を掲げています。

その実現に向け、2013年11月に発表した「ACE (Actions for Cool Earth) : 攻めの地球温暖化外交戦略」の下、さま

ざまな取組を行っています。革新的な技術開発を主導し、優れた低炭素技術やシステムなどを世界に普及させることによって、地球規模での温室効果ガス削減に貢献していきます。

同時に国内においても、日本の産業・エネルギー構造や、国民のライフスタイルの変革を促すことによって、低炭素社会の実現を目指しています。

(出典32、33、34より)

## 国際社会の動き

### 近年の国際交渉の流れと途上国支援

2010年に開催された国連気候変動枠組条約締約国会議(COP16)でのカンクン合意に基づき、2020年に向け、先進国の国別の排出削減目標及び途上国の国別の削減行動が条約の下に位置付けられています。

さらに、全ての国が参加する、2020年以降の新たな枠組交渉が、2015年末パリで開催されるCOP21での合意を目指して進められています。各国はCOP21に十分先立ち、準備ができる国は2015年第1四半期までに、2020年以降の削減目標の案を示すこととされています。

2015年3月現在、EUは2030年までに少なくとも1990年比40%削減とする目標を国連に提出し、米国も2025年

までに2005年比26～28%削減することをすでに表明しています。日本としてもできるだけ早期に新しい削減目標を提出します。

世界全体の温室効果ガス排出量に占める途上国の排出量比率は年々増加しており、地球全体の温室効果ガス削減には、途上国における対策を推進することが不可欠です。

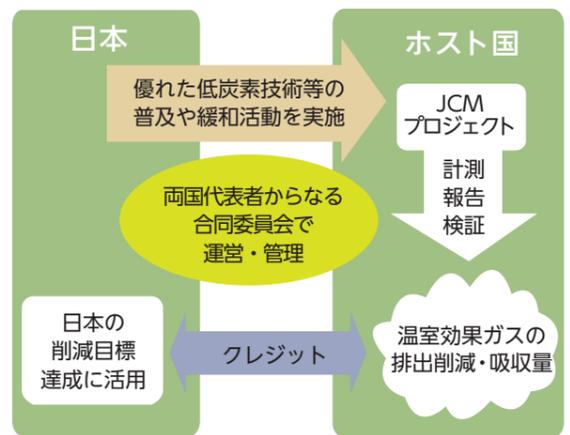
このため日本では、優れた環境技術、経験、ノウハウを提供するとともに、積極的な資金支援を進めています。COP16で設立が決定された、途上国の温暖化対策を支援する「緑の気候基金」へは、最大15億ドル拠出することを発表しました。

(出典32、35、36より)

### 二国間クレジット制度 (Joint Crediting Mechanism : JCM)

JCMは、途上国への優れた低炭素技術等の普及を通じ、地球規模での温暖化対策に貢献するとともに、日本の削減目標の達成に活用するクレジットの獲得を目指すものです。2015年2月末時点でのJCMの署名国はモンゴル、バンラデシュ、エチオピア、ケニア、モルディブ、ベトナム、ラオス、インドネシア、コスタリカ、パラオ、カンボジア、メキシコの12カ国です。

環境省によるJCMを活用した設備補助事業は、インドネシア、ベトナムをはじめ8カ国で22件が計画・実施中(2015年2月末時点)であり、2014年10月には、JCMプロジェクトの登録第1号となる工場空調及びプロセス冷却用のエネルギー削減プロジェクト(荏原冷熱システム)がインドネシアとの合同委員会において承認されました。



(出典37より)

## 地球温暖化対策の推進に関する法律

1998年10月、京都議定書を受けて「地球温暖化対策の推進に関する法律」が制定されました。その後、改正を重ね、2013年3月の改正では、三ふっ化窒素を温室効

果ガスの種類として追加することや、地球温暖化対策計画を策定することが規定されました。改正後の法律の要点は以下のとおりです。

(出典38、39、40、41より)

### 地球温暖化対策計画(第8条)

●温室効果ガスの排出抑制・吸収の目標、事業者・国民等が講ずべき措置に関する具体的事項等について定める計画を国が策定

### 国・都道府県・市町村の実行計画(第20条の1～4)

●国・自治体が、率先して削減努力を行う計画を策定  
●きめ細かい取組を推進・他の地域計画との連携

### 排出抑制等指針の策定(第21条)

●事業活動に伴う排出抑制(高効率設備の導入、冷暖房抑制、オフィス機器の使用合理化等)(第20条の5)  
●日常生活における排出抑制(製品等に関するCO<sub>2</sub>見える化推進、3Rの促進)(第20条の6)  
この2つの努力義務に関して、適切かつ有効な実施を図るため必要な指針を公表

### 温室効果ガス排出量の算定・報告・公表制度(第21条の2～11)

●一定規模以上の事業者について温室効果ガスの排出量を算定し、国に報告することを義務付け、国がデータを集計・公表  
●事業者、フランチャイズチェーン単位での報告  
●CDMクレジット等の活用促進に配慮

### (全国、都道府県・指定都市等)地球温暖化防止活動推進センター(第24条、第25条)

●全国センター 一般社団法人地球温暖化防止全国ネットが指定されている  
●地域センター 47都道府県+8市(青森、秋田、熊谷、川崎、浜松、長野、熊本、川口)が指定されている <平成26年10月1日現在>

### 京都メカニズムクレジットの取引制度(登録簿)(第29条～第41条)

●京都メカニズムクレジットの取引ルール、取引の保護  
●植林CDMの活用のための手続

### 雑則

●温室効果ガスの排出量がより少ない日常生活用品等の普及の促進(第42条の2)

## 低炭素技術の導入促進——先導的な低炭素技術をリスト化

環境省は事業者に向けて温室効果ガスの排出抑制等指針を策定し、対策を促しています。2014年3月には「L2-Tech・JAPAN イニシアティブ」を発表、先導的な低炭素化技術をリスト化して、その開発・普及を推進しています。産業・業務(業種共通)、産業(業種固有の製造設備等)、運輸、家庭、エネルギー転換、廃棄物処理・リサイクルの6領域に分けて、設備や機器の説明、指標の説明、L2-Tech水準(実現されている最高効率の数値)などの情報を網羅的に整理し、リスト化しています。永久磁石同期モーターや高効率ターボ冷凍機、断熱材、燃料電池など、幅広い技術を対象にしています。技術の開発・普及に向けては、工場や事業所

において低炭素化技術によってCO<sub>2</sub>排出削減やコスト低減につなげるニーズがどれくらいあるのかを調査し、リストの更新・拡充と情報発信を行っていく予定です。

また、オフィスビル等のCO<sub>2</sub>排出量を効率的に削減する先進的な対策技術への投資に対して、補助及び運用改善を促す事業「先進対策の効率的実施によるCO<sub>2</sub>排出量大幅削減事業」を実施します。

永久磁石同期モーター



(出典34、42、43より)

## カーボン・オフセット制度——自治体・企業・消費者がつながる取組

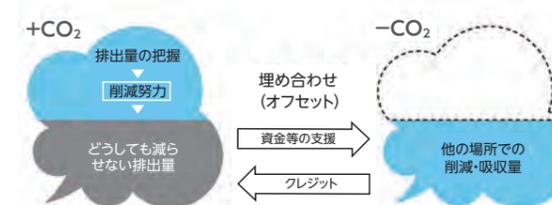
カーボン・オフセットとは企業などの組織や個人が自らの温室効果ガス排出量を知り、削減する努力を行った上で、どうしても削減できない部分を他の場所で実現した排出削減・吸収量(クレジット)などで埋め合わせる(オフセットする)というも

ので、環境省は2008年より制度の運用を開始しました。

バイオマスなど再生可能エネルギーの導入や、間伐による森林整備などの対策によって毎年たくさんのクレジットが創出されています。企業がこうしたクレジットを購入して自社の商品などに付加し、それを消費者が購入すれば、クレジットの創出者に資金が還流され、さらに再生可能エネルギーの導入や森林整備などが進むことになるのです。

2013年には従来の制度を発展させたJ-クレジット制度が始まり、クレジットを創出する側、活用する側の両方にとって取り組みやすい制度になりました。温室効果ガスの削減とともに、農林業を軸とした地域の活性化への貢献も期待されています。

(出典44、45、46、47より)



## 気候変動キャンペーン「Fun to Share」

地球温暖化を防ぐための知恵は日々新たに生み出されています。大切なのはそうした知恵をみんなでシェアし、一人ひとりが自分でできることを始めることです。

環境省は2014年3月より気候変動キャンペーン「Fun to Share」をスタートさせました。「Fun to Share」は知恵や技術を楽しくシェアしながら低炭素社会をつくらうという合言葉です。目標に向けて我慢したり無理したりするのではなく、毎日を楽しみながらさまざまなアクションを起こすことで低炭素社会を実現していきます。

企業、団体、地域などによる低炭素社会実現のための知恵や技術、取組を、公式 Web サイトや Facebook などの SNS、TV、新聞、イベントなどを通して紹介しています。「これは良い取組だ」「ぜひ自分も実践したい」と思ったらシェアすることで、世界中へ広げることができるのです。

また、低炭素社会を実現するために、以下のようなさまざまなアクションを展開しています。

**クールビズ** 冷房時の室温を28℃にした場合でも快適に過ごすことのできるライフスタイルを提案。服装

プロサッカーチームの清水エスパルスが開催した「Fun to Share マッチ」。サポーターやスポンサー各社が一体になって環境への取組を推進  
© S-PULSE



企業等の低炭素社会づくりに向けた独自の技術や取組を一堂に集め、情報発信拠点として「Fun to Share ラウンジ」を開設

だけでなく、カーテンやブラインドの使用、勤務時間の見直し、省エネエアコンへの買い替え、涼しい場所をみんなでシェアする「クールシェア」などの取組が行われています。

**ウォームビズ** 暖房時の室温を20℃にした場合でも快適に過ごすためのライフスタイルを提案。衣類や食事、入浴、運動などによる工夫に加えて、家庭や近隣、街で暖かさを共有する「ウォームシェア」を推進しています。

**移動をエコに。～ smart move ～** 通勤、通学、買い物、旅行など日々の移動をエコにする新しいライフスタイルの提案です。CO<sub>2</sub>排出量を減らすだけでなく、より健康で快適、便利な生活を目指し、公共交通機関の利用、自転車、徒歩での移動、自動車の利用の工夫、カーシェアリングやコミュニティサイクルの利用などを推奨しています。

**ECO DRIVER. これからの、マナー。** 優れたドライバマナーを備えた「エコドライバー」になることを提案。急ブレーキや急発進をやめ、丁寧な運転をこころがけることで、CO<sub>2</sub>排出量削減に貢献できるだけでなく、燃費が向上することで財布にやさしく、事故を防止できます。

(出典48、49より)

## 家庭エコ診断制度

家庭からのCO<sub>2</sub>排出量は日本の排出量全体の約17%を占めており、大幅な削減が求められています。環境省は2014年度より、各家庭のCO<sub>2</sub>、光熱費の「見える化」を行い、対策を提案する「家庭エコ診断制度」を開始。家庭の効果的なCO<sub>2</sub>排出削減行動を積極的に支援しています。

診断は環境省が認定した資格試験に合格し、診断実施機関に登録した「うちエコ診断士」が「うちエコ診断ソフト」を用いて行います。また、企業などによる独自の家庭向けエコ診断も行われています。

診断では(1)エネルギー消費状況を把握し、他の世帯に比べて使いすぎているかチェック、(2)CO<sub>2</sub>排出内訳の分析(CO<sub>2</sub>の見える化)により、例えば給湯や暖房など、エネルギーを使い過ぎている分野が分かるほか、(3)受診世帯の要望に応じて、自家用車、給湯・節水、冷暖房、冷蔵庫、照明などについての対策を行うことで、どれくらいCO<sub>2</sub>と光熱費が下がるかをアドバイスします。

2011～2013年度の基盤整備事業では約3万件の診断が実施され、2012年度の調査では70%以上の受診者から高い評価が得られています。

(出典42、50、51より)

### 家庭エコ診断の診断画面



## 日本の科学面での貢献

### 温室効果ガスを宇宙から観測

温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite、愛称「いぶぎ」)は、主要な温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>とメタンの濃度を宇宙から観測することを目的に2009年1月23日に打ち上げられ、現在も

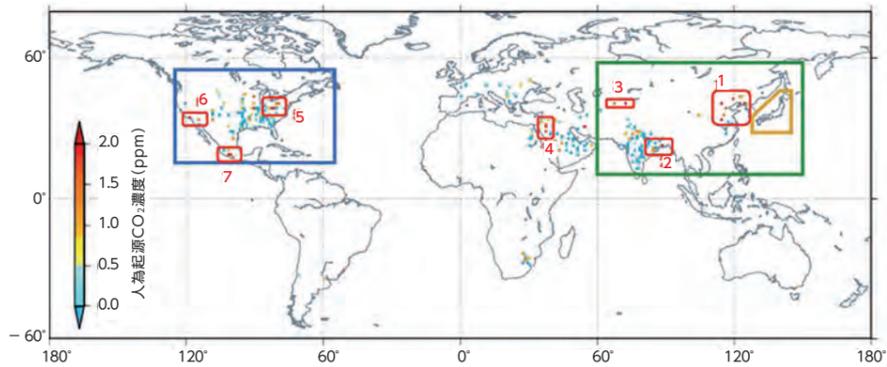
観測を続けています。

従来、温室効果ガスの地上観測点は約200点でしたが、GOSATによって約1万3000点に増加し、より詳細で正確な観測が可能になりました。CO<sub>2</sub>とメタンの地域分布と季節変動、年々変動などを知ることができ、地球温暖化や気候変動に関する科学的な理解を深め、将来の気候変動予測、温室効果ガス削減対策の立案などに貢献しています。

2017年度には後継機であるGOSAT-2の打ち上げが予定されています。大都市単位、大規模排出源単位での温室効果ガス排出量の推定、エアロゾルなどによる大気汚染状況の監視などを行います。

(出典34、52、53、54より)

### ■「いぶぎ」により高濃度の人為起源CO<sub>2</sub>が観測された領域



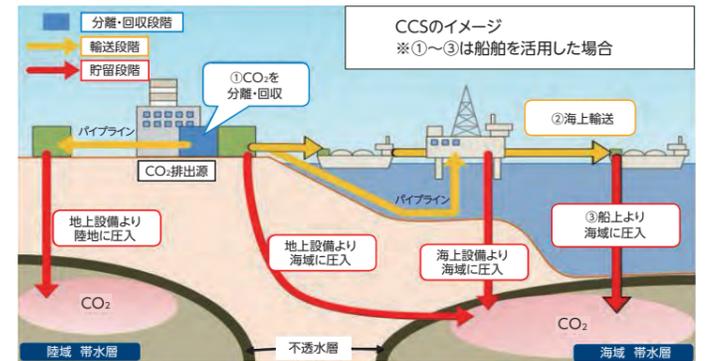
特に高濃度の人為起源CO<sub>2</sub>が観測された領域(2009年6月～2012年12月の平均)を赤い枠で示している。

### CO<sub>2</sub>を回収・貯留する

CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) は、発電所などから排出されたCO<sub>2</sub>を吸収液によって分離回収し、地中に送り込んで閉じ込める技術です。日本では火力発電による発電量の増加に伴ってCO<sub>2</sub>の排出量が増加を続けています。このため2020年ごろの商用化を目指し、「CCSによるカーボンマイナス社会推進事業」を実施しています。環境に配慮したCCSを適切かつ円滑に導入することによって、CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減することが期待されています。

(出典55、56より)

### ■CCSのイメージ



### 世界最先端の浮体式洋上風力発電

浮体式洋上風力発電は、比較的水深の深い海域に風力発電設備を浮かべる高度な技術です。日本は西欧に比べて遠浅な海が少なく、すぐ深くなるために着床式ではなく浮体式が有利と考えられていますが、浮体式の実証事例は世界でもほとんどないのが実情です。

こうしたなか、2010年に環境省は日本初となる浮体式洋上風力発電の実証事業を開始しました。2013年10月には、長崎県五島市花島沖に2メガワット風車を搭載した実証機の設置を完了し、運転を行っています。

こうした実績を積み重ね、日本の浮体式洋上風力発電の早期の実用化を目指しています。

(出典57、58、59より)



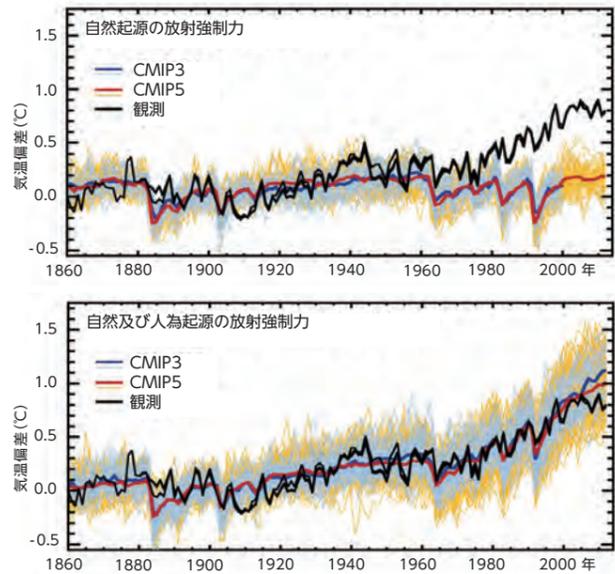
長崎県五島市花島沖の浮体式洋上風力発電の2メガワット風車  
写真提供：五島市役所

## Q 温暖化の主要因が人為的な温室効果ガスであるというのは本当か?

**A** 地球の平均気温を変動させる原因には、さまざまなものがあります。太陽活動の活発化や火山噴火などは、「自然起源」の強制力（外部から気候システムを変化させる力）といわれ、人間の活動が活発化する前は気候変動の主要因でした。しかし、IPCC 第5次評価報告書は、1951年から2010年に観測された世界平均気温の上昇の半分以上は、人間活動が引き起こした可能性が極めて高いとしています。つまり、最近の気候変動は、気候システム自体の内部の過程による変化（内部変動）や自然起源の強制力だけでは説明できず、温室効果ガスの排出や大気汚染などの人間活動に伴う「人為起源」の強制力が大きく影響していると考えられます。

気候変動の原因を決定するためには、内部変動に加えて、さまざまな外部からの強制力を取り入れた変化をコンピューターモデルでシミュレーションし、再現する必要があります。このとき、重要な鍵を握るのが、気候変動の歴史に刻まれた変化のパターン（比喩的に「指紋」と呼ばれる）です。20世紀後半に観測された地球の気温上昇を、自然起源の強制力だけを駆動要因に取り入れてシミュレーションを行っても十分に再現することができません。これに対し、自然起源に加え、温室効果ガス排出をはじめとする人為起源の強制力も含んだシミュレーションを行うと、実際に観測された気温上昇とよく似たパターンを再現することができます（右図）。

■1860年から2010年にかけての世界平均気温年々差の観測値とシミュレーション結果



上の図は、自然起源の強制力だけを駆動要因とした2つの気候モデルの個々のシミュレーション結果（薄青と黄の細線）と、両モデルのアンサンブル平均（青と赤の太線）を示している。これらと黒線の観測値の変化のパターンは、1970年代以降は明らかに一致性が高い。これに対し下の図は、同じモデルだが、駆動要因として自然起源の強制力と人為起源の温室効果ガス及びエアロゾルの変化を両方含んでおり、観測値とよく一致する。(IPCC AR5 WGI FAQ 10.1)

## Q ジオエンジニアリングは気候変動に対抗できるのか?

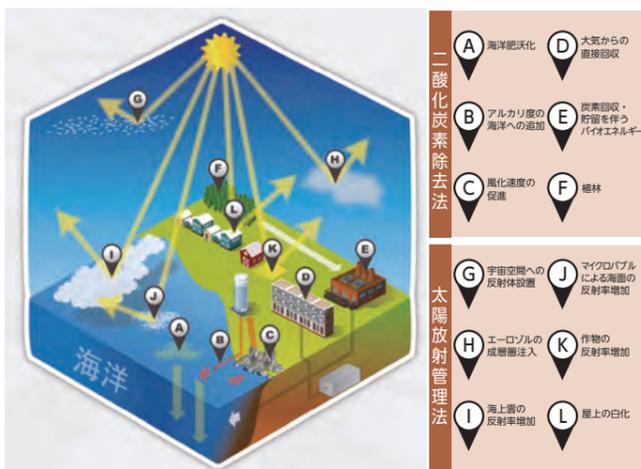
**A** ジオエンジニアリング（気候工学とも呼ばれる）とは、気候変動の影響を緩和するために、気候システムを意図的に改変する手法や技術のことで、「二酸化炭素除去」（CDR）と、「太陽放射管理」（SRM）に大きく分かれます。CDR法は大気中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）濃度を低減するもので、SRM法は地球の太陽光（放射）の反射率を高めることで人為起源の温室効果ガスによる温暖化を相殺するものです。

CDR法の中には、右図のように、(A) 海洋肥沃化（海洋に栄養を追加することで生物起源炭素の一部を下方に運ぶ）や、(E) BECCS（炭素回収・貯留を伴うバイオエネルギーの利用）、(F) 植林などがあります。こうして大気中から取り除かれたCO<sub>2</sub>は、陸上や海洋、地質の貯蔵庫に貯蔵されることになり、CDR法が効果を発揮するためには少なくとも数百年間貯蔵される必要があります。

一方、SRM法としては、(G) 太陽放射を反射するために宇宙空間に反射体を配置、(H) エアロゾルを成層圏に注入、(K) 反射率の高い作物を栽培、などが提案されています。SRM法が実現すれば、気温上昇の対策に一定の効果があるとされています。

ただし現状では、ジオエンジニアリング手法の科学的理解の水準は低く、その全ての手法についてリスクと副作用が伴うことも事実です。

■提案されている主なジオエンジニアリング手法



「二酸化炭素除去」（CDR）法は、(A) 海洋肥沃化、(B) 土壌鉱物のアルカリ度を海洋に追加、(C) ケイ酸塩岩の風化速度を促進し、溶存炭酸塩物を海洋に運搬、(D) 大気中のCO<sub>2</sub>を化学的に回収・貯留、(E) バイオマス発電所で燃焼して炭素を回収・貯留、(F) 植林、など。「太陽放射管理」（SRM）法は、(G) 宇宙空間に反射体を配置、(H) エアロゾルを成層圏に注入、(I) 海上雲に凝結核を散布、(J) 海洋表面でマイクロバブルを生成（海面の反射率向上）、(K) 反射率が高い作物をより多く栽培、(L) 屋根などの建造物を白くする、など。(IPCC AR5 WGI FAQ 7.3)

## Q 海洋は本当に温暖化しているのか?

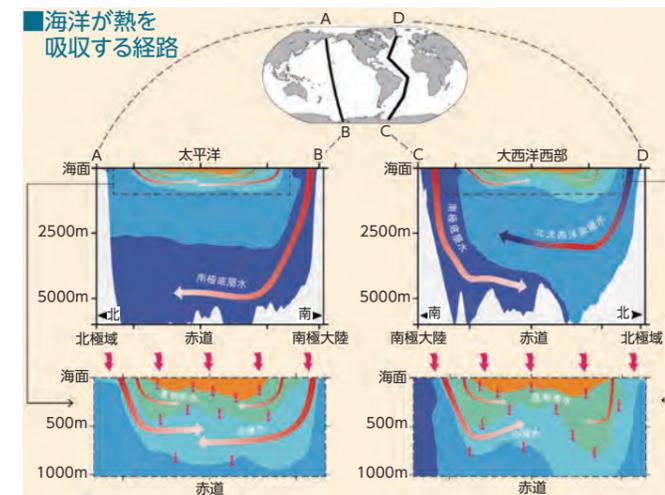
**A** 海洋は地球表面の約7割を占め、熱やCO<sub>2</sub>を吸収することで大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇を抑え、地球温暖化を和らげる働きをします。しかし、海洋が熱やCO<sub>2</sub>にさらされ続けることで、さまざまな海域、深さにおいて海水温度は明らかに上昇しています。

水深数百メートルの海洋の世界平均水温を推定できるようになったのは、1971年頃のことです。さらに2005年以降、国際的な海洋観測計画である「Argo」の水温/塩分自動観測フロートが全世界のほとんどの海域をカバーしたことで、確度の高い世界平均海洋表層水温を推定できるようになりました。現在では、世界平均海洋表層水温が1971年から2010年にかけて10年規模の時間スケールで上昇していること、また表層だけでなく深海でも水温が上昇していることが分かっています。

右の図は、海洋が熱を吸収する経路を示しています。北大西洋北部や南極大陸周辺などの高緯度の海には、きわめて冷たい高密度の海水があり、海面付近から下に沈んで、低緯度の温かく密度の低い水

の下を赤道方向に広がっていきます。海面付近（表層）の海水が温まると、時間の経過とともに深層の冷たい水も温められ、結果として表層からの熱よりも迅速に海洋内部の水温を上昇させることになります。南極大陸周辺では1992～2005年ごろから、海底近くの水温上昇がみられています。

1971年から2010年までの40年間に顕著となった地球温暖化による熱も、ほぼすべてが海に吸収されています。温室効果ガス濃度の水準が今後上昇していけば、海水温度もさらに上昇を続けるとみられています。



上の左右の図は海洋深層の経路、下の図は海洋表層の経路を示している。冷たい南極底層水（濃い青）は南極大陸の周囲で沈んでから、海底に沿って北方向に広がり、太平洋中央部や大西洋西部に達する（それぞれ左上、右上の図中の赤から白に薄くなっていく矢印）。海水温度が上昇していることを示す。南極底層水よりも温度が高く、軽い北大西洋深層水（薄い青）は、北大西洋北部で沈んでから南方向に広がる（北大西洋深層水の赤と青の矢印は、10年規模で昇温と降温を繰り返していることを示す）。一方、海洋表層の経路は、低温の中層水（青緑）が寒帯域で沈んでから赤道方向に広がり、高温の亜熱帯水（緑）が最も温度が高く軽い熱帯水（オレンジ）の下側を赤道方向に広がる（左下及び右下の図）。海面を通じて入ってくる大量の熱も、ゆっくりと下方に向かって混ざり合う（波形の赤い矢印）。

(IPCC AR5 WGI FAQ 3.1)

## Q 気候変動でモンスーンによる降水量が増えるのはなぜか?

**A** モンスーンは一般に季節風と呼ばれ、アジアやオーストラリア、アメリカ、アフリカなどの熱帯域にある多くの地域において、年降水量の大部分をもたらしています。今後、気候が温暖化すると、こうしたモンスーン地帯では大雨が降る可能性が高まるといわれています。

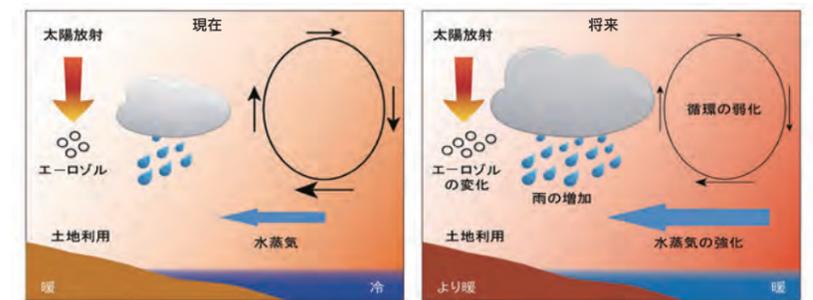
モンスーンは海と陸の温度差によって発生し、海洋から陸域へ水蒸気を運んでくることによって雨を降らせます。温暖化で気温が上昇すると、温められた空気はより多くの水蒸気を含むため、海洋から陸域への水蒸気の輸送量が増え、結果として大雨の可能性が高まるといわれます。

気候変動がどのようにモンスーンに影響を与えるかについては、他にもたくさんの要素が関係しています。人間の活動による土地利用の変化によって地表の反射率（アルベド）が増加したり、大気汚染によってエアロゾルが増加したりすると、大気と陸によって吸収される太陽放射量が増え、海陸の温度差を潜在的に和らげる効果をもたらします。

21世紀を通じた気候モデル予測によると、世界全体のモンスーン降水量

は、温室効果ガスの排出シナリオに応じて5%から15%程度増加するといえます。熱帯のモンスーンに伴う降水の総量は増加しますが、地域によっては熱帯の大気循環が弱まることによって降水量が減る場所もあるとみられています。また、モンスーンが始まる時期については早まる、あるいはあまり変化しない可能性が高く、終わる時期は遅くなる可能性が高いため、結果としてモンスーンの期間は長期化すると予測されています。

■人間活動がモンスーン降水量に与える影響



気候が温暖化すると、温められた空気はより多くの水蒸気を含むため、海洋から陸域への水蒸気の輸送が増える。これによって、大雨の可能性が高まる。温暖化による大気循環の変化は、モンスーンの強さと広がりにも影響する。一方、土地利用の変化による地表の反射率（アルベド）の増加や、大気汚染によるエアロゾルの増加などは、大気と陸によって吸収される太陽放射量に影響し、海陸の温度差を潜在的に和らげる。(IPCC AR5 WGI FAQ 14.1)

- 1 気象庁ウェブサイト「地球環境・気候」(<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/menu/index.html>)
- 2 宇宙航空研究開発機構(JAXA)ウェブサイト (<http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/topics/2012/tp120725.html>)
- 3 IPCC、2013: IPCC第5次評価報告書 第1作業部会報告書  
原文:<http://www.climatechange2013.org/report> 政策決定者向け要約の和訳:<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/#WG1>
- 4 海洋研究開発機構(JAMTEC)、Blue Earth 2008 5-6月号([http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/data/doc\\_catalog/media/be95\\_all.pdf](http://www.godac.jamstec.go.jp/catalog/data/doc_catalog/media/be95_all.pdf))
- 5 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム(環境省推進費S-8、H22-25):「温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」2014報告書(<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2014/20140317/20140317.html>)
- 6 国立環境研究所、「環境儀 NO.53」、2014年6月(<http://www.nies.go.jp/kanko/kankoyogi/53/53.pdf>)
- 7 国立感染症研究所ウェブサイト(<http://www0.nih.go.jp/niid/entomology/research/research.html>)
- 8 気象庁ウェブサイト「世界の年平均気温の偏差の経年変化(1891~2014年)」([http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_wld.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html))
- 9 東京大学大気海洋研究所ウェブサイト(<http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2014/20140901.html#01>)
- 10 環境省提供資料
- 11 気象庁、「気候変動監視レポート2013」([http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2013/pdf/ccmr2013\\_all.pdf](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2013/pdf/ccmr2013_all.pdf))
- 12 IPCC、2014: IPCC第5次評価報告書 第2作業部会報告書  
原文:<http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/> 政策決定者向け要約の和訳:<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/#WG2>
- 13 IPCC、2014: IPCC第5次評価報告書 統合報告書 原文:<http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> 和訳:<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/#SYR>
- 14 IPCC、2014: IPCC第5次評価報告書 第3作業部会報告書  
原文:<http://mitigation2014.org/report/> 政策決定者向け要約の和訳:<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/#WG3>
- 15 環境省 中央環境審議会 地球環境部会 気候変動影響評価等小委員会、「日本における気候変動による影響に関する評価報告書(案)」、2015年1月20日(<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0616-08.html>)
- 16 国立環境研究所、「熱中症患者情報速報 平成26年度報告書」、2015年1月
- 17 森林総合研究所 REDD研究開発センターウェブサイト(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rcd/ja/index.html>)
- 18 食糧農業機関(Food and Agriculture Organization: FAO)、「世界森林資源評価2010」
- 19 環境省 気象庁、「日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について(お知らせ)別添資料」、2014年12月12日(<http://www.env.go.jp/press/files/jp/25593.pdf>)
- 20 環境省 中央環境審議会 地球環境部会 気候変動影響評価等小委員会、「気候変動予測結果をもとにした影響評価の結果について」、2015年1月20日(<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0616-08/ref02.pdf>)
- 21 農業環境技術研究所ウェブサイト「地球温暖化と農林水産業」(<http://ccaff.dc.affrc.go.jp/index.html>)
- 22 環境省、「世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量」、2012年、([http://www.env.go.jp/earth/cop/CO<sub>2</sub>\\_e\\_mission\\_2012.pdf](http://www.env.go.jp/earth/cop/CO2_e_mission_2012.pdf))
- 23 環境省、「2013年度(平成25年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」(<http://www.env.go.jp/press/files/jp/25511.pdf>)
- 24 環境省、「適応への挑戦2012」([http://www.env.go.jp/earth/ondanka/pamph\\_tekiou/2012/](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/pamph_tekiou/2012/))
- 25 環境省 中央環境審議会 地球環境部会、「気候変動の適応のあり方について(報告)」、2015年1月(<http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-125.html>)
- 26 国土技術政策総合研究所、「オランダ事例概要」
- 27 JICA 自然環境保全ナレッジマネジメントネットワークニュースレター「自然環境だより 第3号」、2014年8月
- 28 ナショナルジオグラフィック日本版 2015年1月号別冊「気候変動の今」
- 29 IPCCリポート コミュニケーター (<http://funtoshare.env.go.jp/ipcc-report/>)
- 30 和歌山県畜産試験場養鶏研究所、「採卵鶏の暑熱ストレス緩和技術の開発」、2014年8月(<http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070109/gaiyou/005/topix/documents/h26-1-sutoresu.pdf>)
- 31 石黒 近野 明石、「山形県庄内地域におけるカンキツ類の越冬と生育」、「園芸学研究 第14巻別冊1(2015)」
- 32 環境省 中央環境審議会 地球環境部会2020年以降の地球温暖化対策検討小委員会、「地球温暖化対策-国際交渉の現状」、2014年10月24日(<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0617-01.html>)
- 33 JETROブリュッセル事務所・欧州CIS課、「低炭素経済ロードマップ2050年の概要」(ユーロトレンド2011.4)
- 34 外務省 経済産業省 環境省、FACE: Actions for Cool Earth(美しい星への行動)「攻めの地球温暖化外交戦略」、2013年11月(<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai27/gijisidai.html>)
- 35 環境省 地球環境局 国際地球温暖化対策室、「COP20の成果とCOP21への展望」、2014年12月
- 36 日本政府代表団、「国際気候変動枠組第20回締約国会議(COP20)京都議定書第10回締約国会議(CMP10)等の概要と評価」、2014年12月14日
- 37 環境省、「二国間クレジット制度(Joint Crediting Mechanism(JCM))の最新動向」、2015年1月(<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/bilateral.html>)
- 38 環境省資料「地球温暖化対策の推進に関する法律(平成10年10月9日法律第117号)の概要」
- 39 環境省、「地球温暖化対策推進法とこれに関する取組」(<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/domestic.html>)
- 40 「地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案の閣議決定について(お知らせ)」(<http://www.env.go.jp/press/16439.html>)
- 41 環境省、「地球温暖化対策の推進に関する法律の一部を改正する法律案の概要」(<http://www.env.go.jp/press/16439.html>)
- 42 環境省 中央環境審議会 地球環境部会2020年以降の地球温暖化対策検討小委員会、「環境省のエネルギー需要対策(省エネ対策)」、2014年12月5日(<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0617-03.html>)
- 43 環境省、「平成26年度版L2-Techリスト(素案)の公表について」(<http://www.env.go.jp/press/18927.html>) 2014年12月16日
- 44 環境省、「我が国におけるカーボン・オフセットのあり方について(指針)」、「我が国におけるカーボン・オフセットの推進に向けた展望」、2014年3月31日(<http://www.env.go.jp/press/17972.html>)
- 45 環境省、「我が国におけるカーボン・オフセットのあり方について(指針)」の見直しに関する検討会資料、2014年3月27日、2月14日、2013年12月17日([http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon\\_offset/conf7.html](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/carbon_offset/conf7.html))
- 46 環境省、「カーボン・オフセット活用ガイドブック2015」、2014年12月
- 47 カーボン・オフセットフォーラム(J-COF)ウェブサイト (<http://www.j-cof.go.jp/index.html>)
- 48 環境省ウェブサイト「気候変動キャンペーンFun to Share」(<http://funtoshare.env.go.jp/>)
- 49 環境省 中央環境審議会 地球環境部会2020年以降の地球温暖化対策検討小委員会、「地球温暖化防止国民運動」、2014年12月5日(<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0617-03.html>)
- 50 環境省パンフレット「家庭エコ診断制度がはじまりました!」
- 51 環境省ウェブサイト「家庭エコ診断制度」(<https://www.uchieco-shindan.go.jp/2014/>)
- 52 環境省ウェブサイト「GOSATプロジェクト」(<http://www.gosat.nies.go.jp/index.html>)
- 53 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 国立環境研究所 環境省、「温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)による大都市等における二酸化炭素観測データと人為起源排出量との関係について」、2014年12月5日([http://www.jaxa.jp/press/2014/12/20141205\\_ibuki\\_j.html](http://www.jaxa.jp/press/2014/12/20141205_ibuki_j.html))
- 54 環境省、「今後の宇宙インフラ整備について」(2014年9月26日)
- 55 環境省 27年度重点施策 概要「CCSによるカーボンマイナス社会推進事業(一部経済産業省連携)」
- 56 地球環境産業技術研究機構(RITE) CO<sub>2</sub>貯留研究グループウェブサイト ([http://www.rite.or.jp/CO<sub>2</sub>storage/](http://www.rite.or.jp/CO2storage/))
- 57 環境省 中央環境審議会 地球環境部会2020年以降の地球温暖化対策検討小委員会、「低炭素化に向けた環境省の取組」(エネルギー変換部門)、2015年1月23日(<https://www.env.go.jp/council/06earth/y0617-04.html>)
- 58 環境省ウェブサイト「浮体式洋上風力発電実証事業 GOTO FOWT」(<http://goto-fowt.go.jp/>)
- 59 長崎県五島市公式サイトまるごとウェブページ (<http://www3.city.goto.nagasaki.jp/windfarm/index.php>)

※IPCC第5次評価報告書の詳細な出典表記については、以下の略語を使用した。  
 IPCC AR5: IPCC 第5次評価報告書 WGⅠ: 第1作業部会 WGⅡ: 第2作業部会 WGⅢ: 第3作業部会  
 SYR: 統合報告書 SPM: 政策決定者向け要約 TS: 技術要約 FAQ: よくある質問と回答 Chp: 章

