

CFPMAN

講義資料

山本 良一
東京大学 名誉教授

気候変動の大津波が
迫っている

気候変動はなぜ深刻なのか

Kevin Anderson



2°Cターゲットを守るための温暖化ガス大幅削減はほぼ実行不可能

Susan Solomon



温暖化は実質不可逆的、1000年は続く

Hans Schellnhuber



テッピンングポイントを超えれば大変だ

Peter Wadhams



北極圏でメタンガスが噴出していて温暖化加速、2015年9月にも北極海氷消失、既に非常事態

James Hansen



CO₂濃度350ppmを超えれば南極氷床は3000年で融解

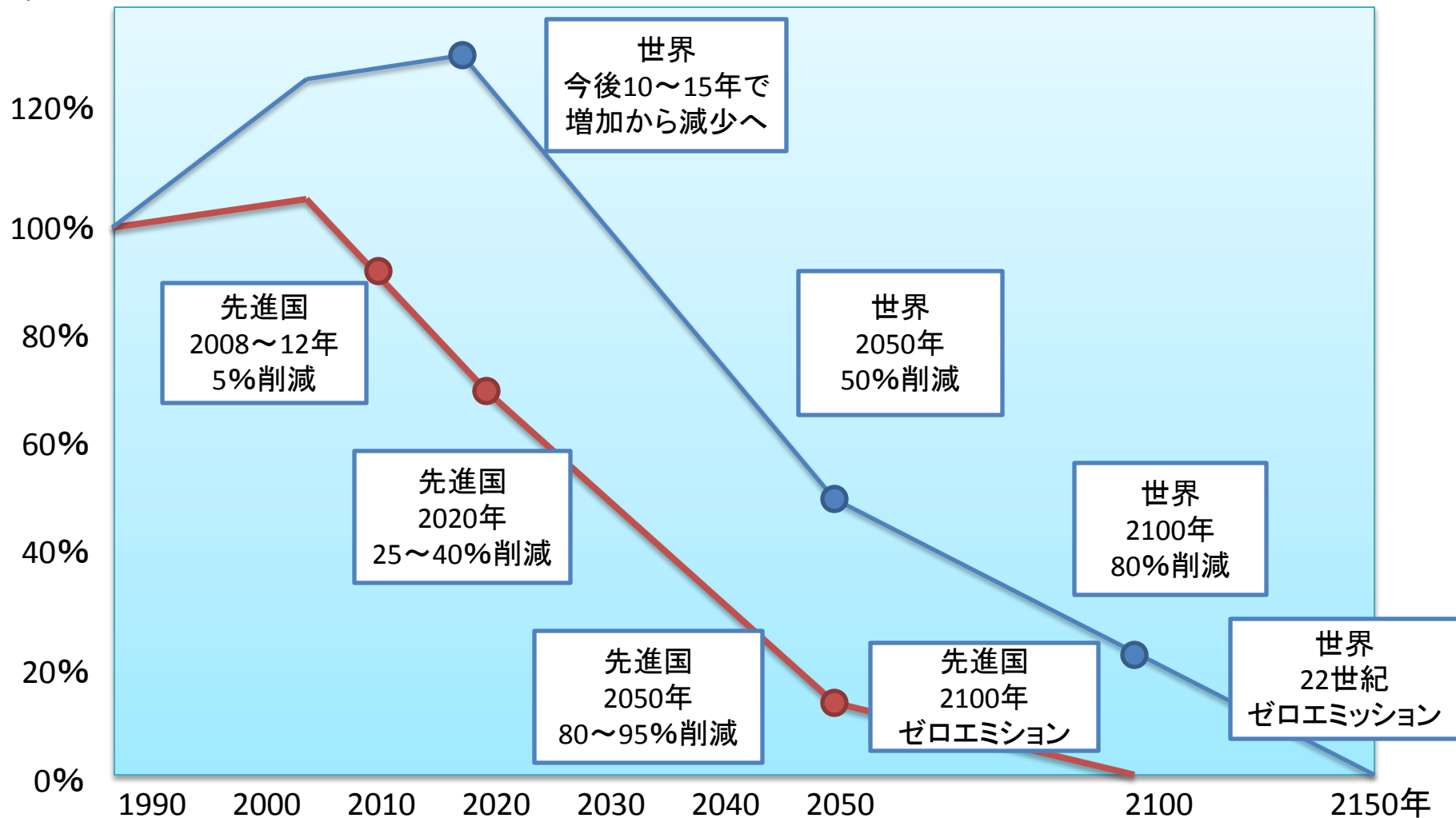
Paul Crutzen



気候工学で地球を急速に冷却すべきだ

CO₂が長寿命なのと、気候システムの熱的慣性が大きいために、
気候安定化にはCO₂排出量を急速にゼロにする必要がある。

温室効果ガス排出量
1990年=100%



「2°Cターゲット」を守るための排出経路/削減率はいずれも1990年比

CO₂増加量最悪—昨年18億8000万トン

毎日新聞 2011.11.5

※2010年の世界全体の二酸化炭素(CO₂)排出量は2009年に比べて18億8000万トン増え、1年間の増加量としては過去最高の伸びを記録した(米エネルギー省の速報値)。

※2010年の世界のCO₂排出量は**335億トン**で前年に比べて5.9%伸びた。これはIPCCの最悪のシナリオを上回る勢い。

※増加量が多いのは米国と中国で、2国だけで増加分の半分以上を占める。

※日本の2010年の排出量は2009年比6.8%増の11億3900万トンとしている。

化石燃料起源のCO₂は、 大気中に地質年代的な長期間留まる

Fate of fossil fuel CO₂ in geological time
David Archer, University of Chicago, Chicago, Illinois, USA
J. Geophysical Research, Vol.110,(2005)

大気中に排出された化石燃料起源の平均寿命は長い尾を引き、30,000～35,000年の範囲である。

このためCO₂排出による温暖化の影響は氷床、メタンクラスレート、貯蔵物、氷河期/間氷期・気候ダイナミックスと相互作用する可能性がある。

大気中に排出されたCO₂の長寿命は、長寿命の核燃料廃棄物ほどには一般に知られていない。

放出されたCO₂は1,000年後に17～33%、1万年後に10～15%、10万年後に7%大気中に残存する。一般の議論においては人為的起源のCO₂の寿命は300年を選ぶのが良いであろう(しかし、25%は永久に残るということを付け加えて)。

CO₂は長寿命である

化石燃料起源の大気中へ放出されたCO₂は、100年後に $\frac{1}{3}$ 、1000年後に $\frac{1}{5}$ 残留して地球を温暖化し続ける。

温室効果ガスを排出しても地球の表面温度はすぐには上昇しない。
海や氷床が平衡状態に到達するのに時間がかかるためである

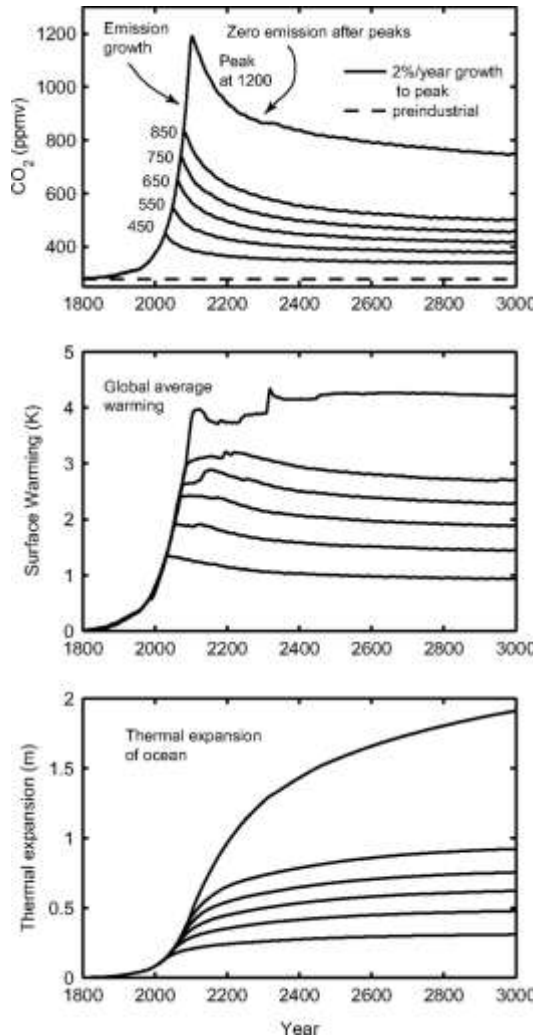
温度上昇の $\frac{1}{3}$ は数年以内、 $\frac{1}{2}$ は25年、 $\frac{3}{4}$ は250年、
100%現れるには1000年かかる。

By James Hansen(NASA)

CO₂排出による不可逆的な気候変化

Susan Solomon, Gian-kasper Plattner, and
Pierre Friedlingstein,

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2009, 106:1704–1709



大気中のCO₂濃度はゼロ排出以降非常にゆっくり減少、地球の表面温度も非常にゆっくりと減少してゆく。

これはCO₂濃度減少による放射強制力の長期的減少と海洋への熱損失の間にバランスに近い状態ができるため。

大気中CO₂除去と海洋の熱吸収がともに深海の混合という同一の物理に依存しているためである。

Solomon S. et.al. PNAS;2009;106:1704-1709

気候安定化には排出量を ほとんどゼロにする必要がある

H.Damon Matthews¹, Ken Caldeira²

1. コンコルディア大学、モントリオール、ケベック、カナダ

2. ワシントン・カーネギー研究所、スタンフォード、米国

Geophysical Research Letters Vol 35, L 04705, 2008

CO₂レベルを安定化しても温暖化自体は数世紀継続する。

次の数世紀以内に世界の平均気温を安定化するために必要なCO₂
排出量の削減プロファイルを研究

CO₂のパルスを空気中に放出すると、世界の平均気温はある量上昇して
数世紀にわたってほぼ一定値をとることを示した。

気候を、ある世界平均気温で一定に保つためには、将来の排出量をほぼ
ゼロにすることが必要である。

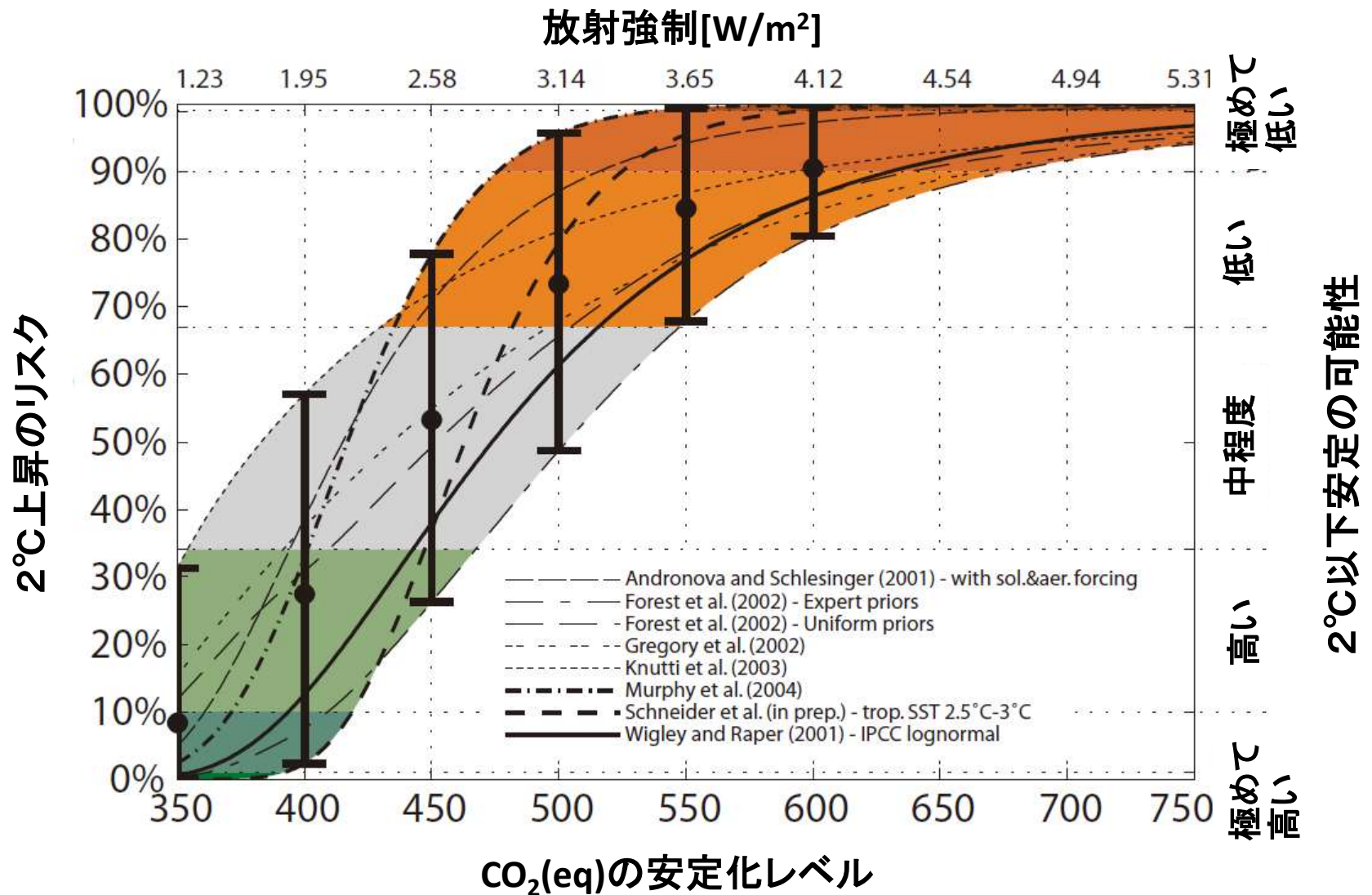
その結果として、人為起源の温室効果ガスの排出は、地球温暖化
を引き起こし、それは千年にわたって本質的に非可逆的である。

気温上昇と環境影響予測

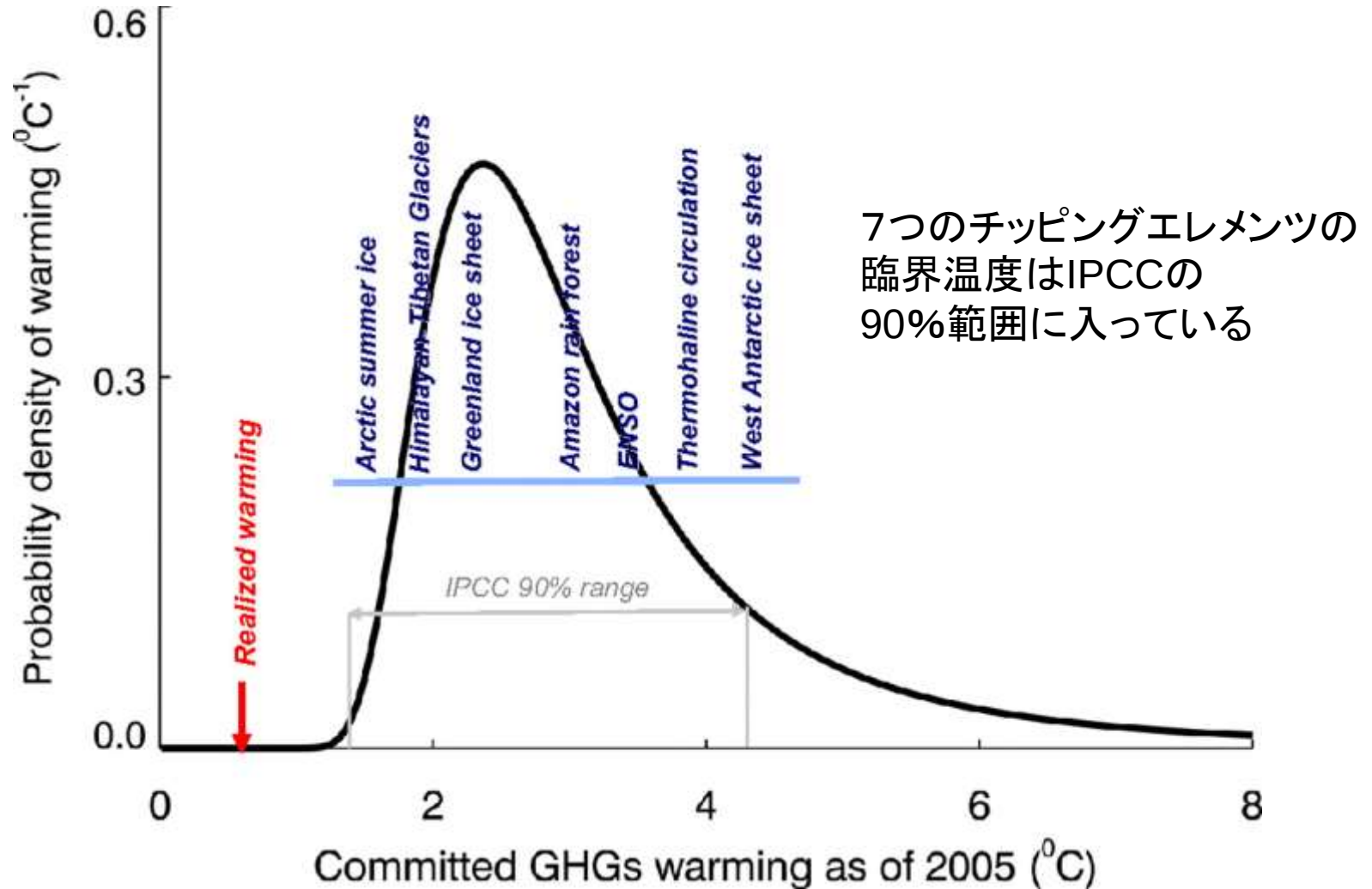
ref.Avoiding Dangerous Climate Change(2006)

1°C	グローバル・エコシステム、2～47%の範囲を失う。 ペルーでは氷河融解により飲料水、農業などで問題発生 アフリカでは作物収量が減少、クイーンズランドの熱帯雨林は50%減少など
1.5°C	インド洋の珊瑚礁が死滅、グリーンランドの気温2.7°Cを超え、氷床の全面融解始まる、2100年までにこれによって海面水位上昇75cm (Hansen,2005)
2°C	海面上昇とサイクロンで1200万～2600万人が移動、10～28億人が水ストレスを受ける、珊瑚礁の97%が死滅、グローバルな穀物生産が低下し、食糧価格増大、1200万～2億人が飢餓リスクにさらされるなど
2.5°C	オーストラリアのカカウ湿地、中国の北方森林は完全消滅 南アのカロの80%が消滅し、固有植物2800種が消滅 アフリカのグレートレイクのエコシステムが崩壊 カラハリ砂漠の砂丘が移動してサブ・サハラの農業が被害を受ける チベット高原の永久凍土がほとんど融解して砂漠化 カーボンソースがシンクに転じる、アマゾンが砂漠化へなど
3°C	10～30億人が水ストレスにさらされる 世界人口の50～60%がデング熱にさらされる (現在30%) 西南極大陸氷床の不安定化など
4°C	オーストラリアの農業崩壊、アルプス氷河の消失、6億人が飢餓リスク、 ツンドラは60%消失、タイガは44%消失、北大西洋海流は50%以上の確率で停止など

CO₂(eq)の安定化レベルと2°C上昇のリスク



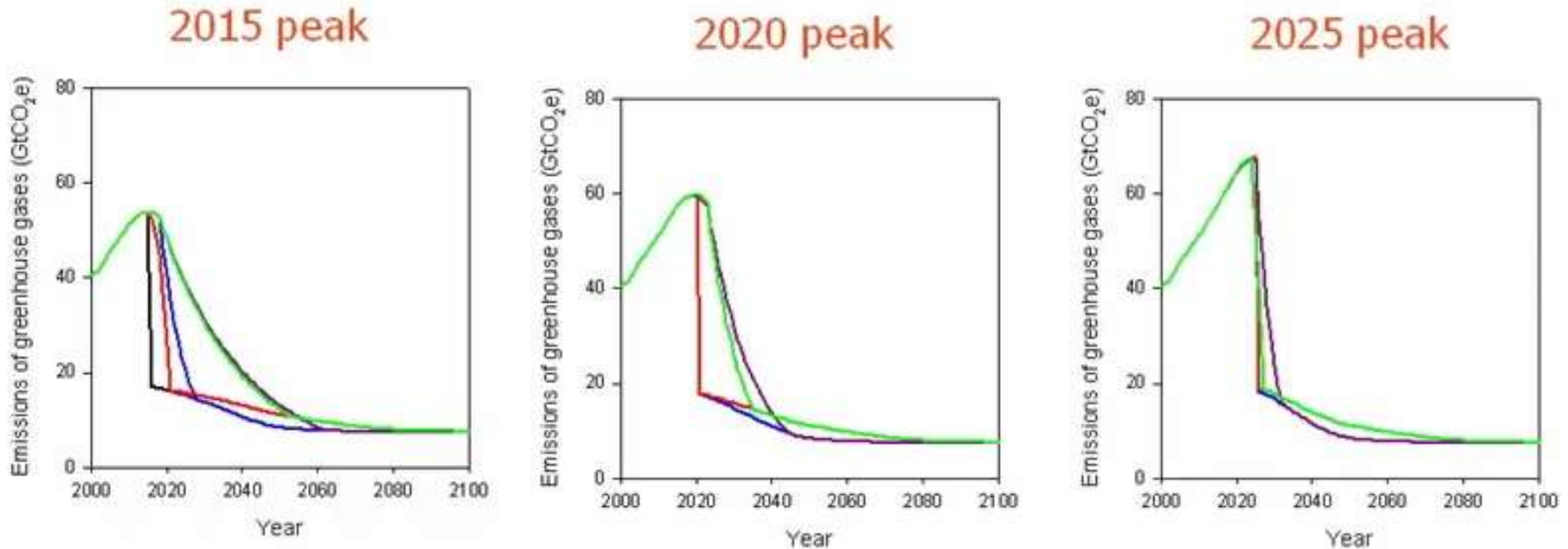
1750-2005に排出された温室効果ガスによる温暖化の確率密度曲線 by Ramanathan V. and Feng Y.(2009)



Ramanathan V., Feng Y. PNAS;2008;105:14245-14250

2°C気候ターゲットを守るためには、なるべく早く世界の温室効果ガスの排出量を最大にして、すぐその後劇的に減少させる必要がある。

Kevin Anderson, Alice Bows
Tyndall Centre, UK

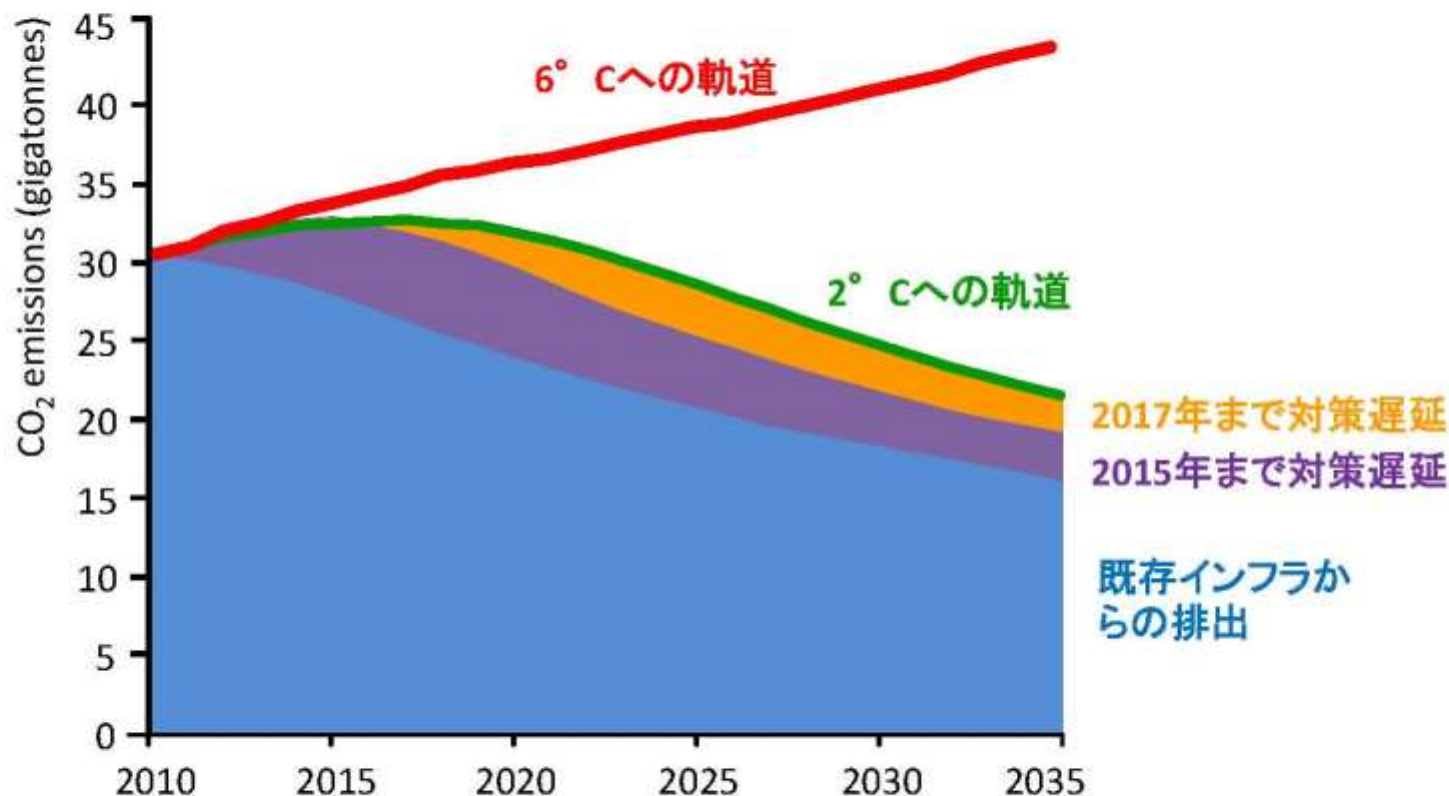


Beyond 'dangerous' climate change : emission scenarios for a new world
Phil. Trans. R. Soc. A2011, 369, 20-44

2°Cへの道は閉ざされつつある。
我々は“ロックイン”されてしまうのか？

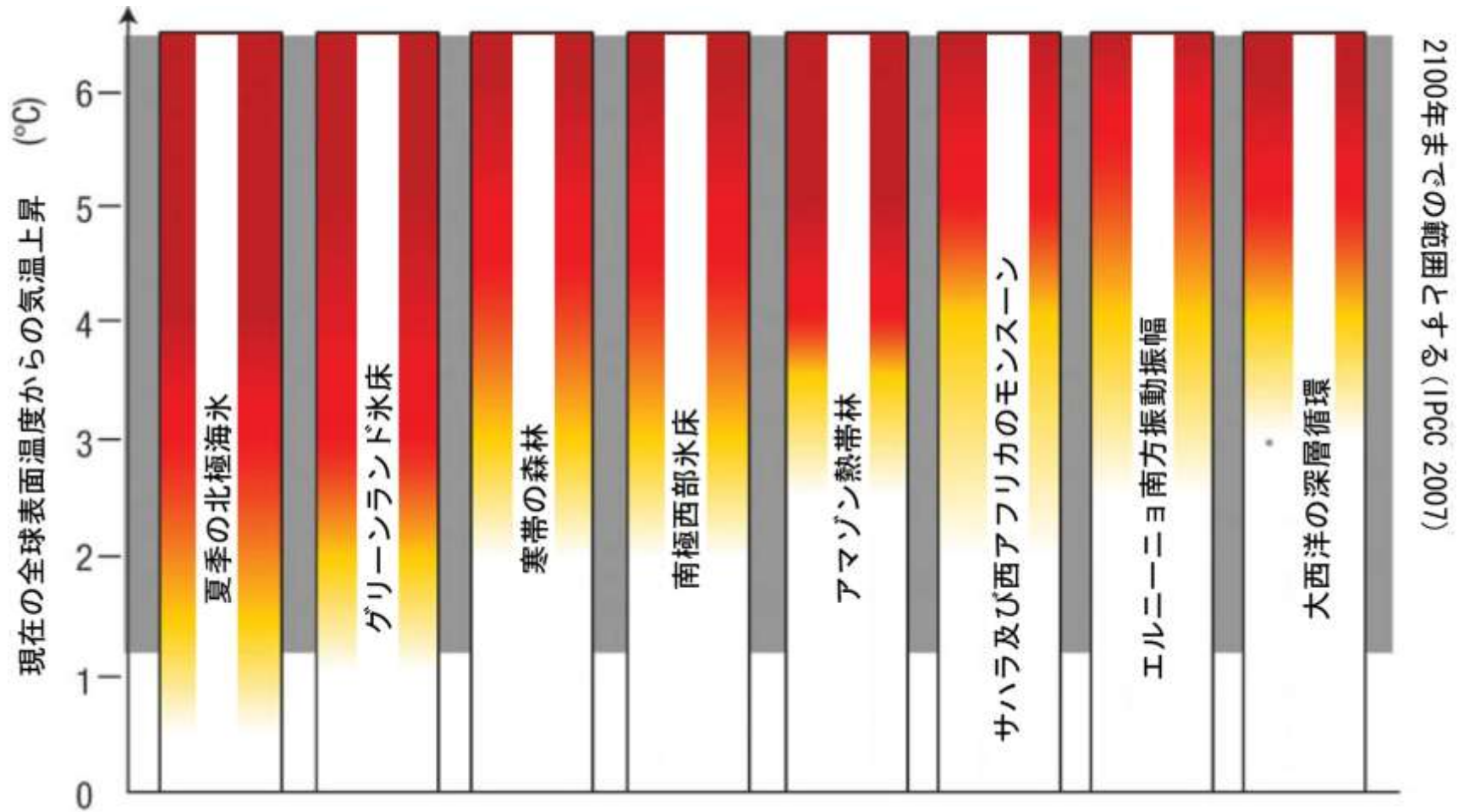
WORLD 2
ENERGY 0
OUTLOOK 1

資源エネルギー庁訳



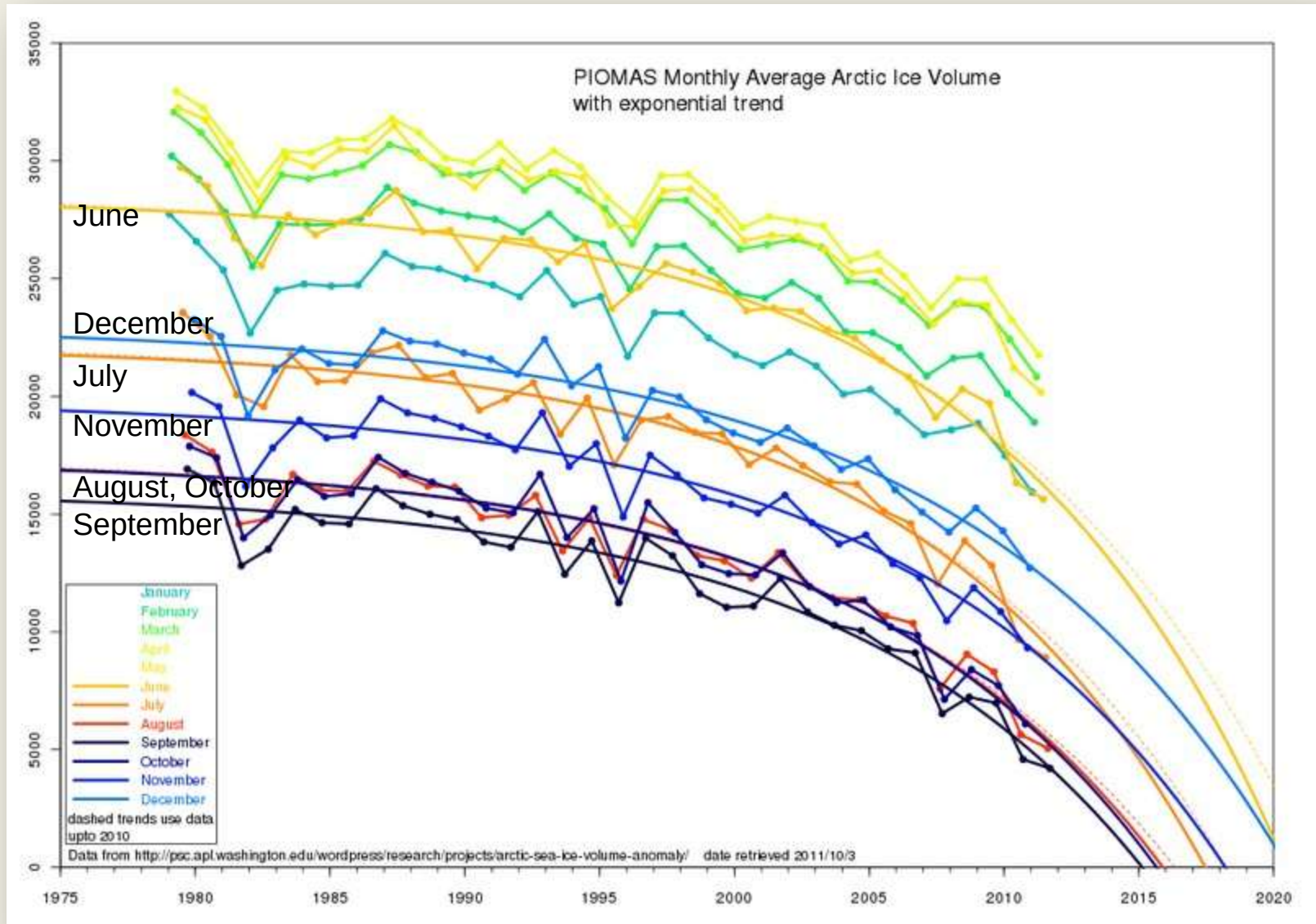
2017年までにさらなる行動をとらなければ、既存の発電所、工場、建築物などが
450シナリオでのCO₂排出許容量を使い切ってしまう

ティッピングポイントと気温上昇



各ティッピングエレメントが地球表面温度の気温上昇に伴ってティッピングポイントに達する。白から黄の変化はティッピングポイントに達する低いレベルの境界を示し、黄から赤の変化はより深刻な境界を示している。色変化が不確定さを示している。

PIOMAS Trend Shows That All The Ice Will Be Gone In Four Years, 2015. Winters look ice free by about 2030 or 2040.



北極圏を保護する

Arctic Methane Emergency Group, 2月24日2012

Peter Wadhams, Stephen Salter, Brian Orr

北極圏の急速な温暖化によりメタンガスの放出が加速している。北極海氷がPoint of No Returnを越えて減少する事態になれば、氷アルベドフィードバックにより温暖化は更に加速し、海底のメタンハイドレードの不安定化や凍土融解により大量のメタンガスが放出されることになり、人類は急激な気候変化をコントロールできなくなるだろう。これは惑星的非常事態 (Planetary emergency) である。それを阻止するために気候工学を実施することも止むを得ない。

(1) 海氷後退

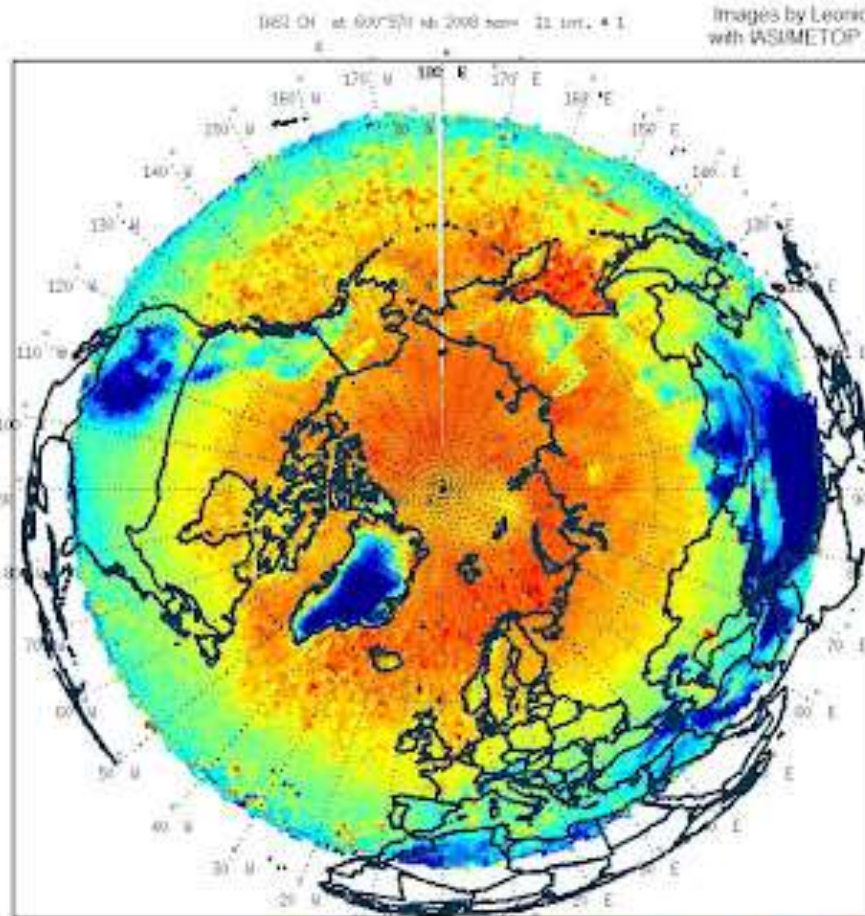
北極海氷面積は1950年代より減少、最初は10年あたり3%、2000年代に入り、10%に増加した。氷の厚さの減少も著しい。このままの傾向が続けば2015年9月にも海氷消失か (PIOMASデータ)。Stephen Hudsonによれば9月に海氷を消失すると、温暖化速度は2~3倍に増加する。1年のうちの半分海氷が無い場合には更に2倍に増加するという。放射強制力の変化は1ヶ月消失の場合 0.3W/m^2 、完全消失の場合 0.7W/m^2 と評価されている。

(2) メタンガスの放出

東シベリア北極大陸棚から500億トンのメタンガスが直ちに放出され得ると評価 (Shakhova, Semiletov)。もしそうになると、大気中のメタン濃度は11~12倍に増加して温暖化を加速する。数十年でいかなる緩和策も無効となるような気候変化が生じるであろう。

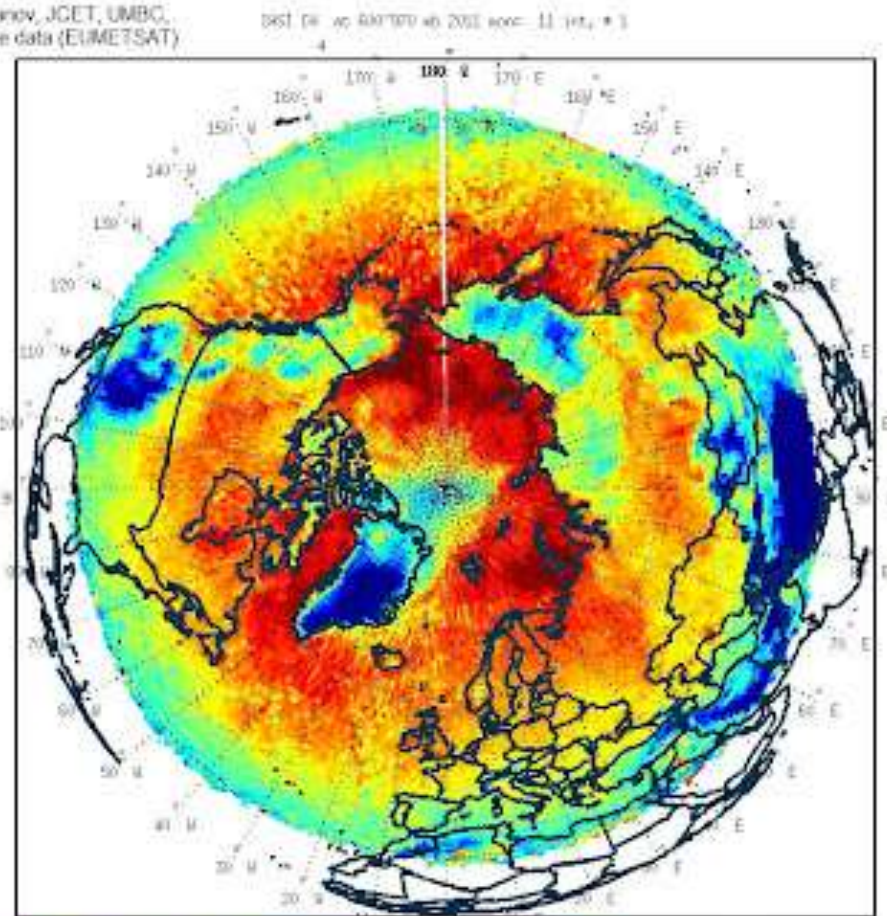
北極洋の大陸棚に沿ってメタンガス濃度が急速に増加している

2008年



Methane 2008
November 1-10

2011年



Methane 2011
November 1-10

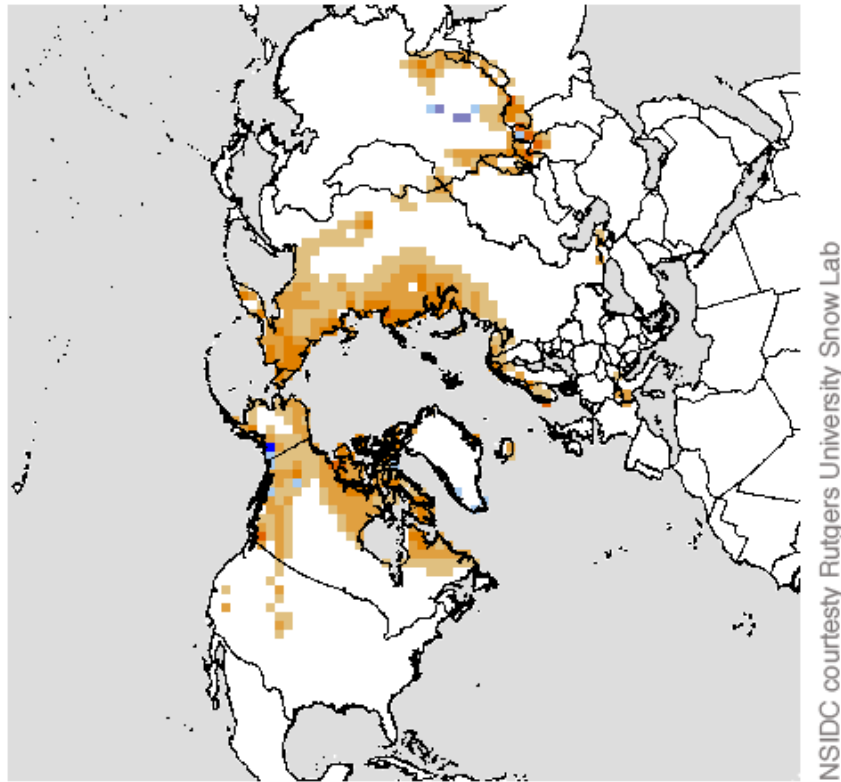


CH₄ Mixing Ratio (ppbv) at 600°S/0°E

Dr. Leonid Yurganovによる(AMEGのメンバー)

北半球の雪氷面積の減少

Northern Hemisphere Snow Cover Anomaly
June 2012



NSIDC courtesy Rutgers University Snow Lab



Percent difference from 1971 - 2000 average June snow cover extent

北極海氷と陸域雪氷面積減少
による温暖化効果は人為起源
温室効果ガスを上回る可能性

Northern Hemisphere Snow Cover Anomalies
1967-2012 June

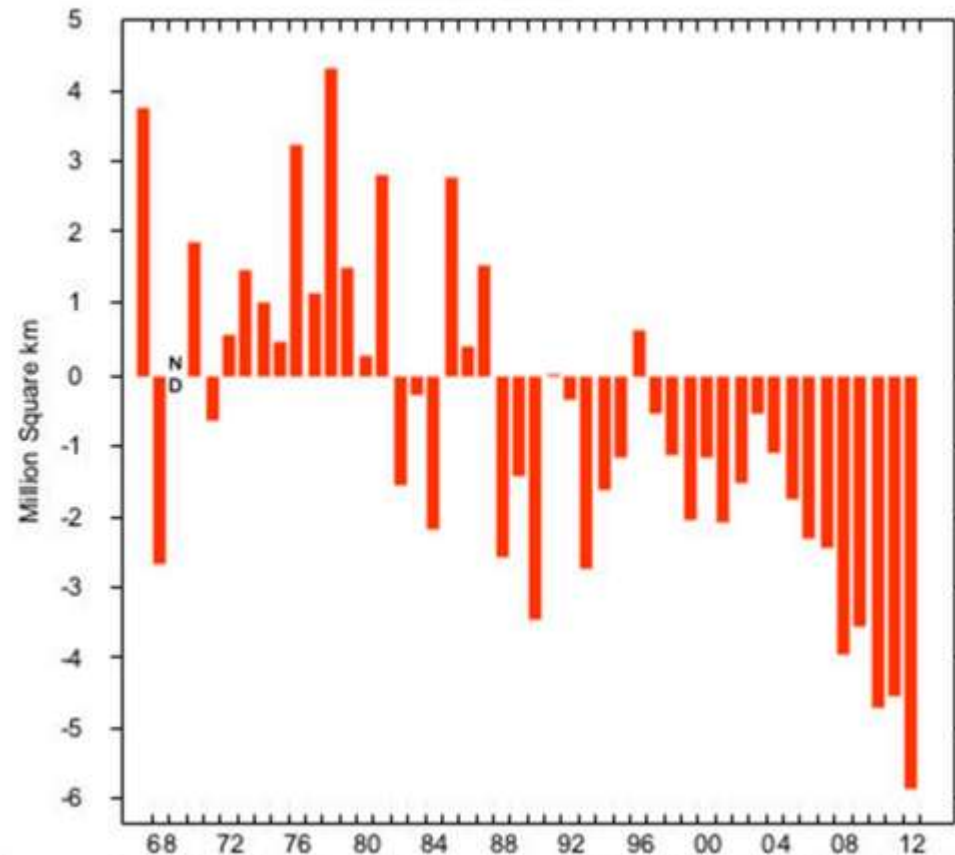


Image courtesy of climate.rutgers.edu/snowcover (Rutgers University, Global Snow Lab)

Peter Wadhams教授の予想(ケンブリッジ大学、英国)

- 1 2015～2016年までに北極海氷は消失する。
ただしグリーンランド北部、エルスマア島付近の多年氷は除いて
- 2 2020年までに海氷ゼロの期間は1ヶ月に、2030年までに3ヶ月に拡大する。
- 3 大陸棚の海の表面温度は9月、6～7℃上昇した。沖合いの凍土層を縮小させ10年以内に消失させるだろう。その結果メタンガスが放出され、地球温暖化速度は50%増大。2060年までに世界の平均温度は4℃、北極圏温度は10℃上昇するだろう。

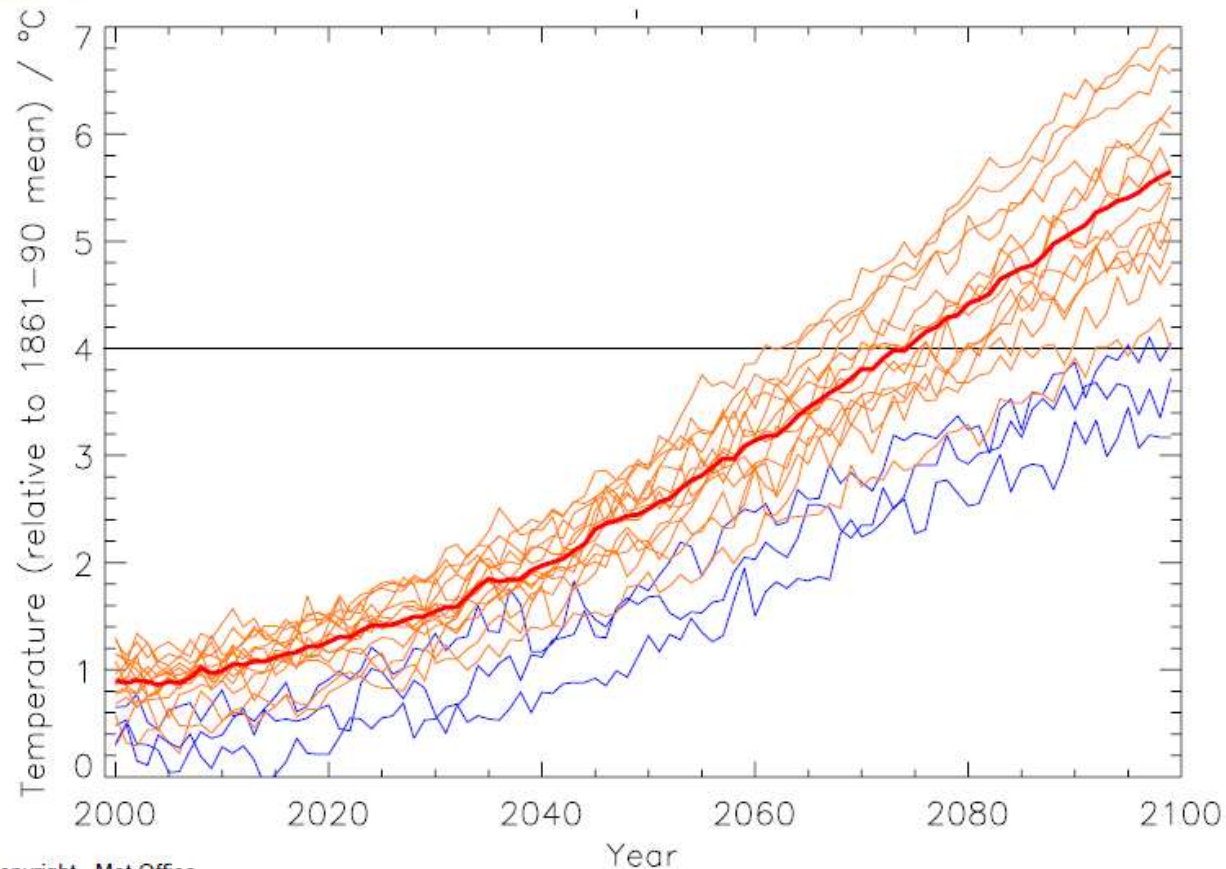
※北極海氷(9月、4百万平方キロメートル、アルベド0.6)が失われると、表面海氷のアルベドは0.1だから、全体で $0.5 \times (4/510) = 0.0039$ アルベドが減少(地球全体で)。現在の地球の平均のアルベドは0.29だから、夏の北極海氷の消失により1.35%減少することになる。地球のアルベドが0.01減少すると、 $3.4 \text{ (W/m}^2\text{)}$ の放射強制力が生ずる(IPCC)。したがって0.0039のアルベド減少は $1.3 \text{ (W/m}^2\text{)}$ の放射強制力に相当。陸上の氷床後退によるアルベド変化分を加えて $2 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 。これは人為起源温室効果ガスによる $1.6 \text{ (W/m}^2\text{)}$ を上回る。

2060年にも4°C突破の可能性

*Richard Betts, Mike Sanderson, Debbie Hemming,
Mark New, Jason Lowe, Chris Jones*



Global warming with A1FI scenario:
MOHC ensemble





地球温暖化

帰還不能地点

(Point of No Return)が
迫っている！

地球温暖化地獄絵巻

東京大学生産技術研究所 山本研究室

南極・北極氷河融解



崩れ落ちる両極の氷河

氷河融解



アンデスから崩落する氷河

熱波



ヨーロッパを襲った熱波 (2003)



インドの熱波による犠牲者は
1200 人以上に上る

熱中症による 死者増加



熱中症で倒れる女性

ヒートアイランド



排熱により熱される都市



ニューヨークのヒートアイランドマップ

乾燥化



砂漠化が進む中国 (天漠)



降雨不足により干上がる沼 (サヘル地域)

集中豪雨



地下鉄の駅に大量の水が流れ込む。



妊婦をボートに乗せ避難させる住民
(東海豪雨)

枯死



立ち枯れの丹波系のブナ



干天のため枯死したとうもろこし

森林火災



巨大な炎の前に立ち尽くす
消防隊員 (2003 カルフォルニア)



延焼中の現場 (1997 インドネシア)



洪水



洪水により流される家屋



激流に身動きが取れないボートパイ

サイクロン



インド洋上に発生した巨大なサイクロン



サイクロンによって破壊された家の前で絶望する家族

トルネード



オクラホマで発生したトルネード



トルネード通過後の様子。
家屋は破壊され、自動車は吹き飛ばされた。

高潮



堤防に激しく打ちつける高潮



防波堤が壊れ、高潮が海沿いの家まで押し寄せてくる

ハリケーン



ハリケーンの直撃により破壊された家屋
(ホンジュラス)

珊瑚の白化



沖縄県 阿嘉島周辺のサンゴ礁の白化



強大な台風



台風一過の瓦礫の中で
赤子を抱きながら途方にくれる母親



強風でなぎ倒された電柱

保険会社の倒産



度重なる災害によって保険金の支払額が膨れ上がって倒産に追い込まれる保険会社が増加する。

地球温暖化地獄絵巻

東京大学生産技術研究所 山本研究室

地球温暖化地獄絵巻

東京大学生産技術研究所 山本研究室

海面上昇による国土喪失



海面上昇により海没しつつある島々
(上：マーシャル諸島マジュロ環礁
下：ツバル)

水不足



干上がった井戸 (2003 インド)



水を求めて砂漠を見渡す子供

食料不足



衰弱しうずくまる少女とその後ろでじっと待ち
続ける一羽のバゲワシ (スーダン)



栄養不良の子供たち

紛争



戦車に投石する少年

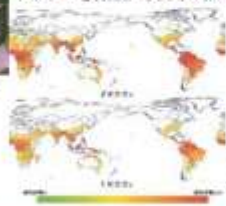


銃声に怯える少女

マラリアの北上



脳性マラリアで息を引き
取った患者 (ビルマ)



マラリアを発症し元気の無い息子を抱える母親

温度上昇によるマラリア
発生リスクの拡大

飢餓



餓死寸前の子を抱く母親 (スーダン)

難民の越境



難民を満載して走る車



流れ込む難民 (コンゴ共和国)

資源を巡る争い



油井に向かう兵士

寒冷化



深層海流停止により寒冷化した都市

The *green* race is on
The new business agenda

Scorecards on best
and worst policies
for a green new deal

MEASURING THE GREEN ECONOMY

Pursuing Green Growth
in Asia and the Pacific

Vision
2050

ECO WORLD
2010



Green
Growth
at a Glance

The Way Forward for Asia and the Pacific

アジア太平洋地域主要国におけるグリーン経済成長動向

北東アジア

香港

- ・ 環境ラベル制度
- ・ 香港グリーンカウンシル (HGC)
- ・ エコプロダクツ展

日本

- ・ グリーン公共調達制度（グリーン購入法、環境配慮契約法など）
- ・ 環境ラベル制度
- ・ グリーン購入ネットワーク（GPN）
- ・ グリーン製品・サービスのデータベース
- ・ エコプロダクツ展

韓国

- ・ グリーン成長計画
- ・ 国家GHG排出管理システム
- ・ グリーン公共調達制度（グリーン購入法）
- ・ 環境ラベル制度
- ・ 韓国グリーン購入ネットワーク（KGPN）
- ・ 低炭素・グリーン成長エキスポ
- ・ Global Green Growth Institute (GGGI)

中国

- ・ 中華人民共和国国民経済と社会発展に関する第12次5カ年計画要綱（第六篇 グリーン開発を推進し 資源節約型・環境友好型社会を構築）
- ・ グリーンエコノミーのための環境政策方針
- ・ グリーン公共調達制度（政府購入法、政府による環境ラベル認証製品の意見書など）
- ・ 環境ラベル制度
- ・ 中国グリーン購入ネットワーク（CGPN）

台湾

- ・ グリーン公共調達（政府調達法）
- ・ 環境ラベル制度
- ・ グリーン購入アライアンス（GPA）
- ・ グリーン貿易プロジェクト
- ・ グリーンストア
- ・ グリーン製品・サービスデータベース
- ・ エコプロダクツ展
- ・ グリーン製品・サービスのディレクトリ

アジア太平洋地域主要国におけるグリーン経済成長動向 東南アジア

インド

- ・ グリーン公共調達検討中
- ・ グリーン購入ネットワーク・インド (GPNI)
- ・ グリーン製品・サービスのデータベース
- ・ 第7回エコプロダクツ国際展 (EPIF)

シンガポール

- ・ 環境ラベル制度
- ・ シンガポール・グリーン購入ネットワーク (EPC)
- ・ 第3回エコプロダクツ国際展 (EPIF)

インドネシア

- ・ 環境ラベル制度
- ・ インドネシア・グリーン購入ネットワーク (IGPN)
- ・ 第6回エコプロダクツ国際展 (EPIF)

ベトナム

- ・ ベトナム・グリーン購入ネットワーク (VGPN)
- ・ 第4回エコプロダクツ国際展 (EPIF)

タイ

- ・ グリーン公共調達計画
- ・ 環境ラベル制度
- ・ タイ・グリーン購入ネットワーク (TGPN)
- ・ 温室効果ガス管理組織
- ・ 第2回エコプロダクツ国際展 (EPIF)

フィリピン

- ・ グリーン公共調達行政命令
- ・ 環境ラベル制度
- ・ グリーン購入アライアンスムーブメント (GPAM)
- ・ グリーン製品・サービスのディレクトリ
- ・ エコプロダクツ展およびグリーンコンファレンス
- ・ 第5回エコプロダクツ国際展 (EPIF)

マレーシア

- ・ 低炭素グリーン成長政策
- ・ グリーン技術省とグリーン技術方針
- ・ グリーン公共調達パイロットプログラム
- ・ 1 MALAYSIA PROGRESSプロジェクト
- ・ 環境ラベル制度
- ・ グリーン購入ネットワーク・マレーシア (GPNM)
- ・ グリーン製品・サービスデータベース
- ・ エコプロダクツ展
- ・ 第1回エコプロダクツ国際展 (EPIF)

エコプロダクツ2011

日時 12月15日(木)～12月17日(土)

場所 東京ビックサイト(東展示場、6ホール)

主催 産業環境管理協会、日本経済新聞社

来場者 18万1千人





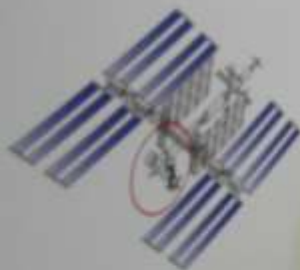


で実験 指材料

のポリイミド樹脂材料は高い耐熱性や皮膜の
宇宙ステーション」の衛星「きぼう」日本実験棟で
実験結果は、今年6月に沖縄で開催された国際
しました。

宇宙開発事業の推進に貢献しています。

of resistance and a film self-repair function, it was used at
site of the ISS (International Space Station).



木の学校 日本製紙グループ

再生可能エネルギー



ソーラーフレーム
超耐候性鋼板を用いた太陽電池パネル

Various technologies and materials for solar panels

信頼性・経済性・耐食性に優れた太陽電池パネル

High reliability, cost-effectiveness, and corrosion resistance

●信頼性
経年劣化のバイオニアとして、各種気象・環境条件に
さらされた最長な耐久・構造を提案します。

●経済性
基本設計に対し、20～30%の重量削減の提案があり
による経済設計を提案します。

●耐食性
腐食性で豊富な実績のある高耐食性鋼板「ス
（新日本製鉄）」を使用、他のより安価な鋼板と

Steel plant



