



平成22年度（第19回）ブループラネット賞  
受賞者記念講演会

---

**af** 公益財団法人 旭硝子財団  
THE ASAHI GLASS FOUNDATION

## 目次

---

ご挨拶 .....	1
プログラム .....	2
コーディネータープロフィール .....	3
受賞者紹介	
ジェームス・ハンセン博士 .....	4
記念講演	
「人起源の気候変動：道徳的、政治的、法的課題」 .....	7
受賞者紹介	
ロバート・ワトソン博士 .....	16
記念講演	
「オゾン層破壊、気候変動及び生物多様性の損失： 食糧、水、人間の安全保障に関する意味合い」 .....	19
ブループラネット賞 .....	28
旭硝子財団の概要 .....	31
役員・評議員 .....	32
別冊	
ジェームス・ハンセン博士 講演スライド集	
「人起源の気候変動：道徳的、政治的、法的課題」	
ロバート・ワトソン博士 講演スライド集	
「オゾン層破壊、気候変動及び生物多様性の損失： 食糧、水、人間の安全保障に関する意味合い」	

# 受賞者紹介

ジェームス・ハンセン博士（米国）

Dr. James Hansen

NASA ゴダード宇宙科学研究所ディレクター  
コロンビア大学地球環境科学科客員教授



## ●受賞業績

『“放射強制力”の概念を基に“将来の地球温暖化”を予見し、その対策を求めて米国議会等で証言した。気候変動による破壊的な損害を警告し、政府や人々に早急な対応が必要であることを説いた業績』

## ●略歴

1941	米国生まれ
1963	アイオワ大学にて物理学、数学学士号を取得
1965,1967	アイオワ大学にて天文学修士号、物理学博士号を取得
1967-1969	ゴダード宇宙科学研究所(ニューヨーク)研究員
1969	ライデン観測所(オランダ)ポストドクター
1969-1972	コロンビア大学研究員
1972-1981	ゴダード宇宙科学研究所 惑星と気候プログラムマネージャー
1978-1985	コロンビア大学地学科客員教授
1981-現在	ゴダード宇宙科学研究所ディレクター
1985-現在	コロンビア大学 地球環境科学科客員教授

## ●主な受賞歴等

1996	米国科学アカデミー会員
2001	ハインツ賞 Roger Revelle Medal (アメリカ地球物理学連合)
2006	エジンバラ公賞 (世界自然保護基金)
2007	Dan David 賞 (Dan David 財団) Leo Szilard 賞 (アメリカ物理学会) Haagen - Smit Clean Air 賞 AAAs 科学の自由と責任賞 (米国科学振興協会)
2009	Carl- Gusraf Rossby Medal(米国気象学会)
2010	Sophie Prize

大気の放射エネルギーの流れを表す“放射強制力”の概念を基に、多数の観測データに裏打ちされた実践的気候モデルを用いて、気候システムの理解や気候の予測に先鞭を付けた。過去の太陽や火山活動の影響による気温低下が目立った時代に、気候モデルに基づき“将来の地球温暖化”を予見した。1988年に米国議会等で証言し、地球温暖化の危険性をいち早く世に知らしめた。気候には“ティッピング・ポイント”(ある種の閾値)があって、数度の地球平均気温上昇でさえも、非可逆的で後戻り出来ない気候変動を生じ、地球の生命に壊滅的な結果をもたらす可能性が高いことを警告した。気候変動の影響を抑制・緩和するために直ちに行動するよう政府及び広く一般に働きかけると共に、未だかつて例のない国際的協調の必要性を一貫して訴え、地球環境問題の世界的認知に大きく貢献した。

## 天文学から気候科学へ

### 惑星大気の研究

ハンセン博士は1941年に米国アイオワ州で生まれる。アイオワ大学のヴァン・アレン宇宙科学プログラムに惹かれ、同大学で天文学修士号、物理学博士号を取得した。アイオワ大学在学中に来日、天体物理（京都大学）、天文学（東京大学）をそれぞれ受講し、京都大学の上野末男教授から放射強制力理論に必要な不変埋没法を履修している。

1967年に金星の温度データを分析し、金星大気が高温である原因は大気中の煙霧質（aerosol）による熱エネルギーのトラップが原因であるとの論文を発表した。1974～1975年には近赤外線の反射を左右する金星大気中の雲の成分の研究を行い、雲の成分は少なくとも濃硫酸飛沫であることを報告した。このことは1978年にパイオニア金星探査機によって証明された。更に1981年に雲の成分は硫酸飛沫と二酸化硫黄から構成されることを報告した。

他の研究者により、“数十億年前までの金星は水の豊富な惑星であったが、その後の天井知らずの温室効果により惑星表面から水が奪われた<sup>註1)</sup>”と報告されているが、後にハンセン博士はこのような計り知れない温暖化がおこれば、地球も同じように水が蒸発した金星のような過酷な環境になると警告している<sup>註2)</sup>。

その後ハンセン博士の研究の焦点は、人間活動による地球大気成分の変化に起因する気候変動に移っていった。博士等は観測データを駆使して地球大気の熱放射の研究を行い、これを全地球規模の大気循環モデルの開発へ導き、人間活動の影響を含む気候変化の詳細な理解や分析、予測に大きく寄与した。

### 地球気候の研究

1987年にハンセン博士等は世界中の気象観測所から得られたデータを基に、1880～1985年の期間の地球大気温度のデータを纏め公表した。過去百年間の正確な地球大気温度変化は、平均気温にして0.5～0.7℃にも及ぶ上昇を示した。2006年更新の地球の平均気温上昇は0.8℃/100年にもなり、単なる都市化が原因でなく、全地球温暖化の傾向は紛れもない真実であることを示した。

ハンセン博士はMenon博士他との論文の中で局所地域の気候に対する大気中のブラック・カーボン（煤）効果を論じた。大気中のブラック・カーボンは大気を加熱することにより対流と降雨をもたらし、最終的には広範囲の気温の低下をもたらしことを示し、その実例として、1988年の中国北部で観測された異常気候を説明した。その後ハンセン博士はMakiko Sato博士と共にAERONET（AErosol RObotic NETwork）の太陽測光機を用いた研究を行い、ブラック・カーボンの影響は通常予測の倍であることを明らかにした。大気中のブラック・カーボンは産業革命の隆盛期の1880年代に急速に増加し、1900～1950年代にかけて増加が止み水平化した。一方、急速な経済発展のため、中国とインドは現在もブラック・カーボンの排出量が増大している。

### 気候変動に対する人類の影響

2003年にハンセン博士は「人類は地球温暖化の時限爆弾を止められるか」と題した小論を発表した。現在人類の活動に起因する気候変動は自然に生じる気候変動を上回っており、この状態が長期にわたり続くと大災害を伴う巨大な気候変動をもたらすと警告した。また地球温暖化防止などの気候変動緩和行動は、直ぐさま行う必要がありまた未だかつて例のない国際協調が必要であると述べている。同時に、これらの必要な緩和行動は、実現可能でかつ人類の健康や農耕、環境のためにもなるとした。

2006年にハンセン博士等は地球の平均気温を、地球大気システムに対する人間活動の影響度合いを判定する尺度として提案した。平均気温の上昇と共に必然的に“海水位の上昇”と“種の絶滅”が進み、1℃の気温上昇でさえ地球上の生命にとって非常に破壊的であることを訴えた。また450ppm以上の大気中のCO<sub>2</sub>レベルは非常に危険であり、強力なCO<sub>2</sub>削減努力とCO<sub>2</sub>以外の温室効果ガスの減少努力も重要であり、これらの削減行動は時を待たずに実行されなければならないと唱えた。

## 地球環境保全の訴え

1988年にハンセン博士は、いくつかの温室効果ガスの排出量シナリオに基づき、一般大気循環モデルを用いた気候予測の論文を発表した。博士は今後数十年の間に、人間活動に起因する温暖化は顕著になると結論づけた。同年にハンセン博士は地球温暖化の危険性について米国議会で初めて証言を行い、世の中の広範な注意を喚起した。

2007年には古気候学を援用し、地球の平均気温が今より2~3℃高かった3500万年前の海水位は、現在より25 m上昇し、IPCC予測の海水位の上昇59cm どころではないことを浮き彫りにした。2008年には講演を行い、人類が超えてはいけぬ気候変動の閾値であるティッピング・ポイントの定義を、1) ティッピング・水準 (Tipping Level) : それ以上温室効果ガスなどの増加を見なくとも大きな気候変動が起こる点、2) 帰還不能点 (Point of No Return) : 気候システムが制止不可能な非可逆的な気候の変化を生じさせる点、として説明している。古気候学によると、“地球の極地の氷は徐々に溶け出すのではなく、突然氷解の時がやってくる”ことを示しており、ティッピング・ポイントの一例として理解される。博士は温室効果ガスの危険レベルの非常に厳密な意味での特定は難しいことは認めているが、今現在既に一般に考えていたよりかなり危険レベルに近いことは確かであるとし、もし人類がこの危険レベルを未だ超えていないとしても、CO<sub>2</sub>排出を抑制せず現状のエネルギー・インフラを使用し続けると数十年でこの危険レベルに達する可能性があることを警告している。

温室効果ガス排出の各国の責任について、博士は歴史的な観点から現在までの各国の累積総排出量から定めるべきとしている。この尺度に従えば、英国が最大の温室効果ガス排出国となり、これに米国、独が連なる。博士はこの責任の大きさに応じて、各国が行動するよう求めている。

昨年、ハンセン博士は米国政府に対する呼びかけを行い“人類はこれ以上温暖化対策実行を猶予出来ない段階にある。米国が世界に範を垂れ、率先して世界をリードし、気候変動問題に対処しなければならない”ことを訴えた。このようにハンセン博士は、将来の世代のためにも、政府はもちろん広く一般に向けて地球温暖化の危険性を説き、地球環境保全のために温室効果ガス削減行動の早期実施を呼びかけ続けている。

## 注記

注1 : Kasting J.F. (1988) “Runaway and moist greenhouse atmospheres and the evolution of earth and Venus.” *Icarus* 74 (3): 472–494.

注2 : Climate Threat to the Planet: Implication for Energy Policy and Intergenerational Justice Jim Hansen December 17, 2008 Lecture at AGU

## 人起源の気候変動：道徳的、政治的、法的課題

ジェームス・ハンセン 博士

### 状況の概要

**#1** 人起源の気候変動は実はモラルの問題です。気候変動により、富や権力を持った影響力のある者が、若者やこれから生まれてくる者、自分を守る術のない者や自然などの弱者と競い合う対立の構図が生まれます。

また気候変動は政治的問題でもあります。政府が化石燃料業界と癒着したりすると政治は腐敗しうまく行きません。

更に気候変動は法的問題でもあります。司法は、政府の公共の利益を守る義務に対する政府責任を問うことができます。

**#2** 地球温暖化に関し科学者たちが理解していることと、温暖化の事実を知る必要がある一般の人々が理解していることでは、大きな隔たりがあります。

人起源の地球温暖化は、これまでのところ日々の天候の変化に比べて小さいので、人々には危機が迫っていることがなかなか認識できません。しかし、実際には、今は既に非常事態にあると言えます。直ぐには暖まらないが暖まってしまうと冷えにくいと言った大きな慣性力を持つ深さ4キロメートルの広大な海洋と、厚さ2~3キロメートルの巨大な氷床等の影響で、気候システムは温室効果ガスの増加といった気候強制力に対してゆっくりと応答することになります。しかし、この慣性力は、気候の変換点であるティッピング・ポイントを超えてしまう危険性を増大させることから決して人間の味方ではありません。このティッピング・ポイントを超えると、気候システムの動力学が作用し、人間の制御がまったく利かない急激な変化が起こります。

悪いことに、大気中の二酸化炭素は200年前の280ppmから現在では389ppmに増加し、既に危険な水準に達しています。ただ、幸いなことに、もし我々が迅速に行動すれば、二酸化炭素を350ppm以下に戻すことはまだ可能で、そのための必要な行動を取れば多くの利益につながるということです。

**#3** 広大なグリーンランド氷床と南極氷床、特に海面下に広がる岩盤の上にある西南極氷床はティッピング・ポイントの格好の証しとなります。氷床がもろくなり、崩壊し始めると、ティッピング・ポイントの性質上、コントロールが効かなくなります。2キロもの厚さの氷床にロープをかけて固定し崩壊をくい止めることはできないのです。

また生物種は相互依存性があり、種の絶滅が、一旦起こるとそれが更に加速する1つの例となります。複数のストレスによって、数多くの種の絶滅が引き起こされ、連鎖的に全生態系の崩壊につながるかもしれません。

メタンハイドレート（水和物）はいうなれば、凍ったメタンガスのことで、分解し始めると、分解が止まらなくなります。

地球の歴史を見ると、こうしたティッピング・ポイントはすべて地球温暖化と関連して起こっています。種の大量絶滅の後、新しい種が発生しましたが、そのためには何十万年もの時間がかかりました。もし、私たちが多くの種を破壊することになれば、将来の世代に今よりはるかに荒廃した地球を託すことになります。

**#4** 気候の慣性とティッピング・ポイントは世代間の潜在的不公平を造り出します。現在、成人してい



る人々は化石燃料を使うことで恩恵を受けてきましたが、そのつけは子供やこれからの世代にのしかかってきます。我々の両親は、自分たちの日常の営みが将来の世代に大きな影響を及ぼすなど思いもよりませんでした。しかしそんなことは我々の言い訳になりません。黙殺することは責任の拒絶と同じです。

これは2000年に生まれた初孫の写真です。なぜここに出したかというところある新聞が私のことを地球温暖化の祖父（元祖）と呼んだからですが、こうやって孫ができて実際におじいちゃんになったことをお知らせするのは楽しいことです。

1980年代に米国上院で証言した後、私は研究に専念して、一般への気候問題の説明は他の人々に任せようと決めました。しかし、二人目の孫ができた2004年頃には、科学者が理解していることと、一般の人々が知っていることの隔たりは大きくなっていました。そこで2004年に入念に準備をして、世の中に向けてメッセージを発信することを決めました。

**#5** この時の話は「気候への危険な人為的影響－ゲーテの戯曲“ファウスト”にあるような、人類と悪魔の取引とその後の人類へ迫りくる代償の支払いについての議論」と題しています。初めに火星、地球、金星を比較するチャートを示しています。これら惑星は二酸化炭素を含む大気の膜が表面を被っており、火星は薄い大気の膜、地球は中程度、金星は非常に厚い大気の膜が存在します。二酸化炭素には温室効果があり、太陽光により暖められた惑星の地表から熱が外に出て行くのを減らします。この結果、太陽が照っていない時に比べ、火星は数度、地球は数十度、金星は数百度熱くなります。

結果として火星は非常に寒くなり、水分はすべて凍りついています。金星は暑すぎ、水分は沸騰して大気中へ蒸散しています。地球だけが、生命が存在するのに適した温度を保っています。

**#6** 恒星である太陽の回りには生物が居住可能なゾーンは、水が液体であることができる惑星が存在するゾーンです。私たちの太陽はその中心で水素の核融合を起こし、ヘリウムを作り、ゆっくりと明るくなる普通の恒星です。太陽系が誕生して間もない頃、太陽は現在よりも30%暗く、居住可能ゾーンは太陽により近い位置にありました。金星は海が形成されるほど冷えていました。その頃の地球は人間が居住できるぎりぎりの寒さで、数回にわたり、赤道まで地球がすべて凍結したこともあります。最も最近のこの「全球凍結」は約7億年前に起きました。

太陽が明るくなると、金星は際限のない温室効果に見舞われました。海水は沸騰して、金星の大気中に蒸散しました。二酸化炭素は金星の地殻から炙り出され大気中へ拡散し、再び地殻に吸収されることはありませんでした。金星は地獄の温室と化し、表面は鉛が融けるほどの高温になり、永久に居住可能なゾーンから外れてしまいました。

地球は太陽系の居住可能ゾーンの中心近くにあり、再び凍結することはありません。太陽は非常に明るくなり、その上人間は地球の大気に温室効果ガスを加えました。今後数十億年の間は、地球において金星のような際限のない温室効果は、自然に起こることはないでしょう。しかし、もし我々が急いでタールサンドや油母頁岩を含めた化石燃料をすべて燃焼したら、金星型の際限のない温室効果を促進することは想像に難くありません。

今世紀、気候はどのように変動するのでしょうか。それは主に人間がどのくらい、二酸化炭素を大気中に放出するかによります。

**#7** 我々の気候変動の理解は、とりわけ地球の歴史の理解に負うところが大きいと言えます。なぜなら、地球の歴史はこれまで気候が大気組成などの変化にいかん影響を受けたかを示しているからです。また気候がいかに大気組成の急速な変化に反応するかを知ることで現在の進行中の地球観測も貴重です。気候モデルと理論は現在何が起きているか理解するための一助になり、また将来の変動を予測するために必要となり

ます。

**# 8** 我々はなぜ人起源の気候変動を心配すべきなのでしょう。過去には大きな気候変動がありました。それらと比べると現在の気候が最適と言えるのでしょうか。これらは、もっともな疑問で2008年、当時私にとっては雲の上の上司であったNASAの長官によるナショナル・パブリック・ラジオでの発言です。これらの疑問に答えるのに、地球の気候の歴史が助けになるでしょう。

**# 9** これは過去6,500万年にわたる深海の温度です。5,000万年前、地球は非常に暖かく、アラスカにはワニが生息し、北極は熱帯のようでした。氷床もなく、海拔は現在より約75メートルも高かったのです。その後地球は過去5,000万年にわたり冷え続け、約3,400万年前には氷床が南極大陸を形成するほど冷却しました。このように新生代の前半に地球は非常に暖かかったのに、なぜまた冷却していったのでしょうか。

**# 10** 気候変動の主因は大気中の二酸化炭素の変化です。気候強制力、エネルギー収支のバランスの変動は、地球に注ぎ込むエネルギーが、大気中で変化し、あるいは地表面上で変化することにより起こります。太陽はこの新生代の時期に0.4%明るくなりましたが、これは1平方メートルにつき1ワットの放射強制力に相当します。新生代の初期の大陸は既に現在の緯度付近に位置し、大陸表面の放射強制力はわずか1ワットでした。しかし大気中二酸化炭素はわずかの170ppmから1000ppm以上まで変動しており、1000ppmの場合は放射強制力は1平方メートルにつき10ワットにもなりました。

大気と海洋に存在する自然の二酸化炭素量はその排出源と吸収源のバランスに依存しています。このバランスは時とともに変化しますが、大陸移動による影響が大きいと言えます。二酸化炭素の排出源は火山噴火で、移動する大陸が海底のプレートの下に沈み込む時に二酸化炭素を排出します。この際の高圧や高温により海底の炭酸塩はより高密度の岩に変質します。大気中の二酸化炭素を炭酸塩にする風化作用は二酸化炭素の主な吸収メカニズムとなります。風化作用でできた炭酸塩は、堆積物として河川から海洋に運ばれ海底に堆積します。

6,000万年前から5,000万年前の間に、大気中の二酸化炭素が急速に増加しましたが、これはインド大陸がテテュス海（インド洋）を、年間約20センチメートルというスピードで移動したためです。テテュス海には主要な河川による炭酸塩の豊富な海底の堆積盆地が形成されました。インドがアジア大陸に衝突してヒマラヤ山脈とチベット高原を押し上げて止まった時、この大陸の移動に起因する二酸化炭素の排出は減少しました。一方、風化作用による二酸化炭素の吸収は健在で、その結果大気中二酸化炭素が減少して、地球は過去5,000万年にわたって冷却していきました。

**# 11** この新生代の歴史から学べるものは、大気と海洋の二酸化炭素量は地殻とのやりとりで自然に変化するという教訓です。二酸化炭素の排出源と吸収源のアンバランスは百万年に100ppmの割合、あるいは年間1ppmの1万分の1の割合で大気中二酸化炭素を変化させます。人間は現在、大気中二酸化炭素を年間約2ppm増加させています。これは自然な地質学的変化の2万倍の早さになります。

また新生代から、二酸化炭素が約450ppmまで減少した時に、南極大陸で氷床が形成し始めたと推定してもよいでしょう。二酸化炭素量はこのように地殻の変動期に多くなると推定する科学者もいます。しかし、地殻変動に拠らずとも、地球上のすべての化石燃料を燃焼すると、地球を氷のなかった状態すなわち人間の知らない状態へ再び温暖化するのに十分な二酸化炭素が発生することは明らかです。

**# 12** この過去40万年にわたる南極大陸の温度の記録が示すように、気候はより短い時間スケールでも変動します。約12,000年続いている、比較的温暖な期間である完新世時代に文明は発達しました。最後の氷



河期においては、ニューヨークは1キロメートルの厚さの氷に閉ざされ、海面は約107メートル低かったのです。

氷期から間氷期にかけての気候変動は地球の軌道の変化に起因します。木星、土星、金星は地球を引き寄せ、地球の回転軸は周期的に太陽に近づいたり離れたります。また、地球の軌道は多少偏心しており、地球と太陽との距離が周期的に変化します。こうした変化は夏季の氷床への日射量を変えます。

氷床が融解すると、より黒い表面が露出して、太陽光を更に多く吸収し、地球の温暖化をわずかに進めます。暖まった海洋は大気に二酸化炭素を放出し、この二酸化炭素の温室効果がますます温暖化を進めます。氷床の大きさと大気中二酸化炭素の変化もまた気候変動を増幅させる緩やかなフィードバックと言えるでしょう。

**# 13** 実際、こうした氷床、海洋や大気中二酸化炭素のフィードバックはほとんどすべての気温変化の原因になっています。上にあるカーブは海面の記録を示しますが、いかに氷床が巨大であったかが分かります。温室効果ガスの量は降り積もる雪に交じって南極氷床に閉じ込められた気泡から推測できます。

氷床と温室効果ガスの強制力を足して強制力1ワットにつき摂氏0.75℃の気候感度と呼ばれる係数をかけると、下にあるカーブに示すように、実際の気候変動がほぼ導かれるでしょう。この実験的気候感度は水蒸気、雲、海水、煙霧質の変化といったすべての迅速なフィードバックを含み、数々の気候モデルから得られるものよりもはるかに正確です。特定の温室効果ガスの変動に対する気候感度はすべての氷床が融解してしまうと感度が増し2倍になるでしょう。

**# 14** 気候感度と気候システムの応答時間は重要です。なぜなら、右側の拡張時間スケールに示すように、人間は前世紀だけで、過去数百万年をはるかに上回る温室効果ガスを増加させたからです。下のカーブが示すように、地球の温暖化が始まりましたが、温暖化の多くは長い気候の応答時間のためまだ進行中で、今人々が目にしている気候変化は起こりうる変化の未だ一部でしかありません。

**# 15** 近代の気候変動を理解するには、すべての気候強制力を知る必要があります。気候変動は、地球のエネルギー収支バランスの変化です。温室効果ガスは正確に測定されており、確かに大きな正の気候強制力、すなわち温暖化を引き起こすことが分かります。空気中の人起源の微粒子いわゆる煙霧質は太陽光を反射し、冷却を引き起こしますが、測定できないので極めて分からない部分が多いのは事実です。太陽と火山の活動が原因で、人起源ではない自然の強制力は恐らく現在の方が18世紀より大きいでしょう。18世紀には太陽はわずかに暗く、火山噴火は今より大きかったと信じられています。しかし自然の強制力は現在の人起源の強制力に比べると小さなものです。

正味の気候強制力は恐らく1平方メートルにつき+1から+2ワットの間でしょう。

二酸化炭素が最大の強制力ですが、大気中に長く留まっているため、時が経つにつれて、ますます支配的になるでしょう。

**# 16** 2004年、アイオワ大学で気候変動について話す機会があり、その時娘の子供たちのこの写真を使って気候強制力のことを講義したことがあります。孫のソフィーは正味の強制力は約2ワットで、地表の1平方メートルにつき小さな電球2個に相当すると説明しました。しかしその時は孫のコーナーはたったの1ワットしか数えられませんでした。コーナーが正しかったのかもしれませんが。確信できるだけ十分に煙霧質の強制力を測定しなかったからです。

**# 17** 数年後、私は成長して賢くなったソフィーとコーナーのところに再び行き、正味の気候強制力とは

何かと質問したところ、答えは“知らないよ”でした。我々大人が煙霧質強制力の測定に失敗したとしたら、彼らを責めることはできません。

こんな彼らですが、他のことでは役に立っています。なぜなら結果的に私に気候変動について発言し続けるように仕向けたからです。私は、将来、孫たちに「おじいちゃんは何が起きているのか分かっていたのに、はっきりと言わなかった」とは言っておほしくなかったのです。

**# 18** 上のグラフは過去100年にわたって変化する気候強制力の推定値を示しています。温室効果ガス・強制力はますます支配的になっています。煙霧質強制力は、十分に測定できないため、非常に不確実です。

仮に我々が気候モデルにおいて強制力1ワットにつき摂氏0.75℃の気候感度で使うとしたら、下のグラフでも分かるように世界の気温の実測値と合致することが分かるでしょう。この合致はある意味偶然です。というのは、もし我々がより大きい気候感度のモデルとより小さな気候強制力を使っても、あるいはその逆でも合意は得られるからです。しかし、この気候モデルの感度は古気候データが示す気候システムの迅速なフィードバックに合っています。

**# 19** 物理学ができる最も基本的な診断は地球エネルギー収支のアンバランスのチェックです。我々は地球のエネルギー収支のバランスが崩れていて、エネルギーが宇宙に放出されるより、多く入ってくると予想しています。このアンバランスは温室効果の特徴で、気候変動は強制力により引き起こされると確認する決定的証拠となり、温室効果ガスが地球から宇宙への熱放射を減少させるので予想されていたことでもあります。

地球エネルギー収支のアンバランスはどのように測定するのでしょうか。少量のエネルギーは大気を暖め、氷を融かし、何十メートルもの厚さの地殻表層の土壌を暖めますが、残りのほとんどのエネルギーは甚大な熱容量を有する海に向かいます。海洋の熱含有量の正確な測定はこれまで大変な難題でしたが、世界中の海洋に200本以上のARGO(高度海洋監視システム)フロートにより、データの精度は高まってきました。フロートは計器パッケージを定期的に水深2,000メートルという深さまで沈めまた浮上させて測定を行っています。

過去6年間のデータによると、地球は1平方メートル当たり、少なくとも0.5ワット、エネルギー収支のバランスが崩れていると言えます。このデータは10年から12年の太陽周期において、太陽放射照度が最小時のデータであるので、補正を行うと我々の気候モデルは平均0.75ワット、バランスを崩れていると言えます。全太陽周期と海洋全域まで観測対象としてカバーする気候モデルなら、モデルと観測データの良い合致が期待できると思います。データによると既に地球はエネルギー収支のバランスを欠き、人起源の温室効果ガスから予測される影響が確認されます。

**# 20** 地球各地の観測データからも地球のエネルギー収支のアンバランスが確認されています。北極海の海水は1970年代後半に打ち上げられた衛星によって観測が始まりました。以前は夏の海水が融解するシーズンの終わる頃、海水は約30%減少していました。風向きや海流に影響する天候の変化によって、海水の融解は年々大きな変化が起きています。しかし、地球エネルギー収支がアンバランスのままなので、海水が被う面積は引き続き数十年間は減少するでしょう。地球エネルギー収支のバランスを取り戻さなければ、我々は今後数十年のうちに晩夏でも残っていた海水をすべて失うでしょう。

**# 21** 赤で示した部分はグリーンランドの夏に雪が融ける地域です。この赤で示した地域は天候により年々変動していますが、過去数十年に50%もの増加が見られます

**# 22** 雪解け水が氷床の低い部分に流れ、氷床の底までまっすぐ届く縦のシャフトのような穴を作り、

この水が氷床の底を滑らかにし、氷床を動きやすくします。

**# 23** こうして増加した雪解け水は巨大な氷山を海へ放出するスピードを加速させます。一方、地球温暖化は大気中の水蒸気量を増やし、氷床に降る降雪量を増やし水の成長を促すので、以前は温暖化の正味の影響を押し量るのは困難でした。

**# 24** しかし、2002年に打ち上げられた重力場測定衛星 GRACEは高精度で氷床の質量変化の測定を開始しました。グリーンランド氷床は冬季に雪が積もり重量が増しますが、夏の融解の時期は質量が減少します。しかし正味では、グリーンランド全体で年間200立方キロメートル以上の氷床が失われています。一方、南極では現在年間100立方キロメートル以上の氷床が失われていますが、データによると、その損失率が上昇してきているようです。

**# 25** 他に予想される地球温暖化の影響は、亜熱帯乾燥地帯の拡大です。熱帯で上昇し亜熱帯で降下する大気の動きは、地球の温暖化が進むにつれ、亜熱帯地域の乾燥の原因となり、この乾燥地帯はますます極地へ向かい拡大すると予想されます。観測データによると緯度にして4度分、亜熱帯の範囲が拡大しています。亜熱帯地帯の拡大は例えば米国南部、地中海地域、オーストラリアに影響を及ぼし、米国のミード湖やパウエル湖の湖水が半分しかない理由の1つとなっています。

**# 26** また、亜熱帯地帯の拡大は米国西部、ギリシャ、オーストラリアにおける森林火災の増加原因の1つでもあります。気候変動のため、森林の火災はより高温となり、森林回復を困難にしています。

**# 27** 地球温暖化が及ぼすもう1つの影響は世界中の山岳氷河の後退です。氷河はロッキー山脈、アンデス山脈、アルプス山脈、ヒマラヤ山脈で後退しています。米国のグレイシャー（氷河）国立公園は、もし温室効果ガスが増え続ければ氷河がなくなってしまう、25年以内に別の名前を付けなくてはならないでしょう。氷河の消失は現実的な問題をもたらします。最も乾燥する時期のインダス川やブラマプトラ川といった主要な河川は、河川水の半分を氷河の融解した水が占めており、氷河の消失は河川水量に大きな影響を及ぼすでしょう。氷河がなければ、降雪が氷河に留まらず、春の雪解け水が増えて洪水を引き起こし、また河川は最も乾燥する時期に干上がる可能性があります。

**# 28** 珊瑚礁は海の熱帯雨林とも言えるもので、全海洋生物の4分の1以上もが住み処としています。珊瑚礁にはいくつかの理由でストレスがかかっています。2つの最も重大なストレスは海水の温暖化と、酸性化です。温暖化によって、珊瑚が共生する藻を追い出し、珊瑚の白化現象と死滅を引き起こします。海洋はより多くの二酸化炭素を取り込むので、その分酸性化の程度が増します。もし海水の酸性化が更に進み、海中の炭酸塩を分解するようになると、炭酸塩を成分とする貝殻や骨格を持つ生物にとって死活問題となります。

**# 29** こうした海洋の状況は、地球の生命を持続・維持するために必要な大気中の二酸化炭素量を把握する一助となります。ここから導かれる結論は、大気中二酸化炭素の現在における水準も含めて、我々が目標とすべき大気中二酸化炭素量は、2010年時点の389ppmよりも低くすべきだということです。

秀逸かつ最も定量的なこれらの地球環境評価の結論は、地球エネルギー収支のバランスを回復すべきというものです。放出するより、吸収するエネルギーが多い限り、地球の温暖化は続くので、気候を安定させ、地球温暖化を止めるためには、地球エネルギー収支バランスの回復が欠かせません。現在、少なくとも1平



方メートルにつき0.5ワット、バランスが崩れています。このアンバランスを正すための宇宙への熱放射0.5ワットの増加は、大気中二酸化炭素を35～40ppm減らせば達成できます。

最適の二酸化炭素量は、とりわけ大気中の太陽熱を遮る効果のある煤等の煙霧質が減少するとしたら、今後350ppm以下の辺りとなるでしょう。しかし、二酸化炭素のみではなく、メタンや煙霧質などの他の放射強制力の排出管理に気を配ることも地球エネルギー収支のバランスを取る一助となります。

**# 30** もし我々が森羅万象、文明を育んだこの地球を保全したいのであれば、近い将来の政策上の目標として、我々が知っておくべきことは、二酸化炭素目標量は350ppm以下にすべきということです。350.orgという組織の屋台骨を作ったビル・マッキベン氏と若者たちは、この目標の必要性を世の中に知らしめるという仕事を成し遂げ、100以上の国々にこの目標に同意させることに成功しました。

**# 31** この350ppm以下の目標が実際どんな意味合いを持つのでしょうか。この表は化石燃料埋蔵層の炭素量を示し、濃い紫色は既に燃焼され、空気中に排出された部分を示しています。残る埋蔵量の推定は、我々が「残らずすべて」を求めるか否かにより幅があります。

大気中二酸化炭素の増加を止め、350ppm以下の水準に戻すには、迅速に石炭による排出を減らし、「他の」化石燃料、つまり地中のタールサンドのような環境コストの高い燃料の大部分の開発を停止しなければいけません。我々が残っている石油とガスをどの程度使用するかに依りますが、大気中二酸化炭素は、こうすることにより、400ppmから425 ppmの間というピーク値に達しそれ以上増えません。

こうして石炭の使用を止め、我々が石油とガスを残らずすべて使用してしまわなければ、数十年のうちに大気中二酸化炭素を350ppm以下の水準に戻せるかもしれません。ただし、これは植物や土壌に二酸化炭素をより多く貯蔵させるような改良された農業や林業を導入できればの話ですが。

**# 32** このように、350ppm以下に抑制するという目標は達成可能と言えます。しかし、そのためには次の基本的な3つの条件を満たさなければなりません。第1に石炭からの二酸化炭素排出を迅速に減少すること。第2にタールサンドのような環境コストの高い化石燃料の開発を行わないこと。第3に石油とガスを最後まで使い切らないこと。

更に残っている化石燃料を使い切るのではなく、今後はクリーンエネルギーに移行することが必要です。

**# 33** 目標は先に述べたとおりですが、現実はどうなっているのでしょうか。米国はテキサス州のタールサンドから得られたオイルを運ぶパイプライン建設についてカナダと政府間協定を結びました。世界中で新しく石炭プラントが建設中であり、一部は世界銀行の融資を受けています。環境を破壊する炭鉱の山頂の除去も続いています。また今まで開発の手が及ばなかった無垢な土地で石油が追い求められています。最後のガス資源を得るために、環境破壊を伴う頁岩破碎技術が開発され、実動しています。

**# 34** 政府の説明と現実の政策には大きな隔たりがあります。政治家は、我々は「地球の危機」に直面していると言いますが、彼らの提案する政策は旧態依然としておりなら変わりません。

世の中には環境保護を装う偽情報があふれていますが、一部の指導的政治家は化石燃料の特別利益団体に妥協するようなこともあります。進んで立ち上がり何が必要かについて真実を語る、ウィンストン・チャーチルのような人物はいないのです。

国際協定も結局は今までどおりの二酸化炭素排出を許すもので、一時凌ぎでしかありません。例えば、世界銀行はCDM「クリーン開発メカニズム」として、発展途上国の新しくて更に効率の良い火力発電所に融資をして、その代わりに先進国の二酸化炭素排出量の多い古いプラントの存続を許しています。このやり方

だと正味の二酸化炭素排出総量は増えているのです。科学から導かれる結論は、石炭を採掘しないことです。なぜなら、化石燃料の燃焼により生じた二酸化炭素は何千年も大気と海洋に滞留するからです。これではいくら効率的に燃焼しても何の役にも立たないのです。

**# 35** 二酸化炭素排出量は京都議定書の前まで年間1.5%の割合で増えていました。その後は、最近の景気の停滞にも関わらず、年間2.5%増えています。

**# 36** 化石燃料は最廉価のエネルギーなのでその使用は増え続けるでしょう。これは重力の法則と同じくらい確かなことです。最廉価であるのは政府の補助金が出ることもあります。その主な理由は人体、環境、若者の将来に及ぼす影響等の本来支払うべき社会的対価を払っていないからです。

解決策は明らかです。補助金を廃止して、炭素にもっと高い値段を付ける、つまり鉱山で採掘を行ったり輸入をしたりする化石燃料会社から国内で課税するのです。

もちろん、効率性を要求する規制も、技術開発同様に必要ですが、炭素にもっと高い値段を付けることが成功のカギとなります。

**# 37** 炭素価格の大幅な上昇を、自分たちに分け前が与えられる場合のみ、人々は受け入れるでしょう。消費者にお金を渡し、市場に低炭素技術の勝者を選ばせるべきです。二酸化炭素排出を減少するために努力しない人々は、環境関連の小切手（炭素価格の上昇による分け前）を受け取るより多くエネルギーコストを負担することになるでしょう。

炭素価格または炭素税だけが実現可能な世界的アプローチです。それには米国と中国が炭素価格に同意することが不可欠ですが、欧州と日本は必ず同意するでしょう。これに同意しない国は化石燃料から作られる自国製品を輸出する際に税金の納税義務が生じることになります。

**# 38** 対照的に、キャップ・アンド・トレードは大型銀行や化石燃料利権団体にとっては好まれるでしょうが、数兆ドルの規模を持つ炭素市場においては、金融機関の関与を避けることはできません。秘密主義で高度の金融の技を持つ金融機関の炭素市場ユニットは、大した付加価値を提供することなく、数十億ドルを稼ぎ出したりもするでしょう。

キャップ・アンド・トレードは二酸化炭素排出削減には効果がないと証明され、世界的な展開はできません。インドと中国は自国経済に排出枠を割り当てられることを受け入れないでしょうし、そうすべき理由もありません。

**# 39** 炭素価格と環境関連の小切手により、人々の手に沢山のお金が入れば、経済と技術革新を刺激して、将来のクリーンエネルギーへ向けて一番の早道となります。また石炭鉱山の山頂の除去やタールサンドの開発に終止符を打つでしょう。これが唯一の、確実に一番痛みの伴わない方法となります。

**# 40** 根本的な課題に戻ると、気候を安定させることは世代間の公平性につながります。この写真を撮った頃は生後2日半でしたが、息子の長男のジェイクは、最近、妹が生まれることに興奮していました。私の両親は90歳近くまで生きていたことを考えると、孫のジェイクとローレン・エマは今世紀のほとんどを生きるでしょうから、気候変動の力を大いに実感するでしょう。

**# 41** ジェイクは、時々手を焼くこともある妹を守りたいとっていて、年齢の割に妹思いのやさしい巨人です。もし、あなたが外挿法を信じているなら、これらの表から、ジェイクがやがて身長が2メートル



ル近くになることとなります。しかし、こんなに大きくなったとしても、妹のローレン・エマを気候変動の災害から守ることは、ジェイクの手には負えないことは確かです。

現在、我々は地球をティッピング・ポイントぎりぎりまで追い込んでいます。北極、グリーンランド、南極、そして世界中の山岳氷河で氷が融解しています。そして多くの生物種が環境破壊と気候変動からストレスを受けています。もし化石燃料の燃焼による二酸化炭素の排出がこのまま続いたら、海面上昇や種の絶滅の増加等はますます人間のコントロールが効かないところまで来るでしょう。気温上昇や大気中の水蒸気の増加は早魃と洪水といった両極端の気象現象を増幅させています。孫たちが被る嵐は今と比べはるかに破壊的になるでしょう。

**# 42** 世代間の不平等の概念は、すべての国、文化、宗教にとって馴染みがないことでしょう。未だに我々は効果的なことは何もしない政府に手綱を取られています。政府は二酸化炭素排出を自分たちが任意に選んだ水準に決められると思っていますが、実際には化石燃料産業が決めた水準を政府が選んでいるのです。

人々が政府にその責務を遂行するよう要求するまではこうした状況は続くでしょう。しかし、人々から圧力がかかる見込みは、規制されずに今までどおり二酸化炭素を排出したい人たちによる、科学の信用を落とすことを狙った効果的キャンペーンのせいで薄らいでいます。

**# 43** それでも、いくらか楽観できる理由が2つあります。第1に中国は合理的決断をして行動を起こすことができるという点です。中国にはクリーンエネルギーをできるだけ迅速に実現したい、いくつかの動機があります。つまり (1) 悪化する大気汚染と水質汚染、(2) ほとんどの国以上に地球温暖化の影響に苦しむという事実、(3) クリーンエネルギー技術の最前線に立つことで得られる経済的な優位です。実際、中国はクリーンエネルギー技術に積極的に投資しています。

中国のこうした行動が米国や他の国を動かす刺激になるのでしょうか。恐らくなるでしょう。しかし、ワシントンや他の首都が過度にお金に支配されていることを考えると、私は政府の司法部門を関与させるべきだと思います。市民権運動の場合のように、公正な権利を勝ち取るには、人々が自分の権利のために立ち上がり、法廷が実施に移すべきです。

**# 44** 政府は人々の共通の財産である大気を管理するに当たり、受託者責任を取るべきだと法学者は指摘します。政府の行政と司法部門は科学の言うことに聞く耳を持ちませんが、法廷は科学が必要だと証明した排出削減を政府に要求できる権力を持っています。気候を安定させることこそは、世代間の公平性の問題であり司法は政府にその執行を迫ることができるのです。

地球を保全するための効果的なアプローチを政府に要求する上で、若者たちと彼らを支援する年上の人々は団結しなくてはなりません。若者たちと地球のために科学と環境のための訴訟を成功裏に進展させる上で、私は若者たち及びその支援者と協力し合うことを楽しみにしています。

若者に言いたいことは、自分の権利のために立ち上がってほしいということです。あなたとあなたの子供のために、将来を約束する行動を政府に取るよう要求してほしいのです。年配の人に言いたいことは、戦うのに年を取りすぎているということではなく、気持ちを引き締めて、若者が継承する世界を守るために若者の側に立って戦ってほしいということです。