

# 地球温暖化とその影響

青木 健 Takeshi Aoki

杏林大学総合政策学部 客員教授

(財)国際貿易投資研究所 客員研究員

この数年地球各地で異常気象が頻発していることが誰の目にもはっきりわかるようになってきた。地球の気候変化を観測している「気候変動に関する政府間パネル (IPCC:INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE)」(以下、IPCC と略)を始めEU、日本の専門家が共通して警告していることは、地球の平均気温が現在より摂氏2度上昇すると、その地球への影響が一段と深刻になるということである。2007年1月EUは「ひとたび摂氏2度を超えれば、食糧生産や水資源、生態系への影響は深刻さを増し、元に戻せなくなる。壊滅的な事態も生じかねない」と強く警告した。こうした地球気候の先行きが懸念される中、2007年2月IPCC第4次評価報告書は、21世紀末までに地球の平均気温は、20世紀末に比べて1.1度から地球にとって危険水域である摂氏2度の上昇をはるかに超える最高6.4度高くなる可能性があるという予測を発表した。平均気温が1度上昇すると、高山の氷河や北極の海水が融け、珊瑚礁が白化する。2度を超えると、水不足が生じ農業生産も大きな影響を受ける。3度を超えると、永久凍土が急激に融け、メタンガスを放出し、事態を一層悪化させる。

地球の気候システムは「熱的慣性」があるため、ある時点を越えると地球の平均気温上昇を制御できなくなってしまうという。その時点はPoint of No Return と称される。IPCCは、事態を放置するならば、その時点は視野の射程に入ってきたと強い危機感を持つ。

本小論は地球温暖化のメカニズムとその影響、さらに *Point of No Return* の先に、地球はどのような状況に直面するのかを検討する。(次回は「もうひとつの脅威：資源涸渇」を予定している)。

## 地球気温の上昇と海面の上昇

近年地球規模で気候の異常が生じている。2007年初頭東京での初冠雪がこれまでになく遅く、初雪は3月中旬であった。しかも全く積もることがなかった。札幌では氷点下10度以下の日が一度もなく、余り雪が降らず2月恒例の雪祭りのために雪を山から集めた。ロシアの首都モスクワでは、2006年1月の寒波で平均気温が過去30年で最低を記録したが、2007年1月にはほとんど雪が降らなかった。モスクワ「赤の広場」にはほとんど雪がみられず、ブロックを敷き詰めた路面がみえた。米国のニューヨークでも、2006年1月に最多降雪量を記録した後、2007年1月は一転して記録的暖冬になった。

こうした大都市における冬の高温による異常気象のみならず、異常気象は年間を通じて特にこの数年世界の多くの地域でも観測されている。

異常気象は北半球、南半球、赤道域の至る所にみられ、枚挙するに暇がないほど多い(注1)。

地球の温暖化で世界の氷河の厚さが2005年に平均66センチ減ったという。氷河の減少スピードは1990年代の1.6倍、1980年代の3倍と加速している。1980年からの25年間の厚さの減少は10メートル余りに達しているという(注2)。温室効果ガスの放出をそのまま放置すれば、北極の氷はこれまでの4倍のスピードで減少し、2040年夏にはほぼ消滅するという。冬には再び氷結しても、その厚さは現在の4分の1程度になってしまう。1970年夏頃にも消滅すると予測されていたが、今回30年早い結果となった(注3)。グリーンランドのイルリサット氷河も後退を続けている。ヒマラヤ山脈の氷河は2035年までに1995年時の5分の1に縮小する可能性もあるという。南極でも予測以上の速さで氷が解けている。南極大陸の気温は過去30年で

2-3 度上昇し、そのスピードは世界のどこよりも速い（注 4）。

世界各地での異常気象は地球温暖化に伴うものとみられている。2007 年 2 月 IPCC は地球温暖化に関する第 4 次評価報告書を発表した。それによると世界の平均気温は上昇している。20 世紀 100 年間（1906-2005 年）の世界の平均気温は 0.7 度上昇し、前回第 3 次報告書（2001 年）の 0.64 度（1901-2000 年）より大きな上昇となった。さらに特に 20 世紀後半の北半球の平均気温は、過去 500 年間のうちのどの 50 年間よりも高かった可能性がかなり強く、少なくとも過去 1300 年のうちで最も高い可能性がある」と分析している。IPCC は 21 世紀末までに地球の平均気温は 20 世紀末に比べて 1.1 度から最高 6.4 度高くなる可能性がある」と予測している。この地球温暖化に伴い海面の上昇は 19-58 センチメートルと予測している。

### 地球温暖化とそのメカニズム

温暖化とは、人間の活動が活発になるにつれて「温室効果ガス（Green

House Gases :GHGs)」が大気中に大量に放出され、地球全体の平均気温が急激に上がり始める現象をいう。二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の気候に及ぼす影響の研究は 100 年以上前から始まっており、英国の物理学者が大気組成のわずかな変化が気候変動をもたらす可能性を示唆していたという（注 5）。その後多くの研究が重ねられ、「温室効果ガス」による昇温過程があることは 1960 年代初め頃までに既に知られていたという。「温室効果ガス」は大気中に微量に含まれる二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン（CH<sub>4</sub>）、亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）、フロンなどである。地球の平均気温は現在約 15 度で、もしも地球上に「温室効果ガス」が存在しなかったら、平均気温はマイナス 18 度となる。つまり現在より 30 度以上地球温度が低くなり、生命が存在できない極寒の星になってしまう。しかし地球の気温は①太陽から届く日射が大気を素通りして地表面で日射が吸収され、②加熱された地表面から赤外線形で熱が放射され、③「温室効果ガス」がその熱を吸収し、④その一部を再び下向きに放射し再び地表面や下層大気を加熱

するという仕組みにより、生物の生存に適した気温を保つ（気象庁 HP）。しかし「温室効果ガス」が増加すると、日射エネルギーと熱放射エネルギーとのバランスが崩れ、気温が上昇し地球温暖化が進んでしまう。つまり CO<sub>2</sub> や CH<sub>4</sub> などの増加量による気温上昇の正味の影響力に対し、水蒸気量の変化や雲の発生、その他生物圏の様々な要因による気温上昇効果を打ち消すフィードバック効果（負の放射強制力）が認められなくなることである。

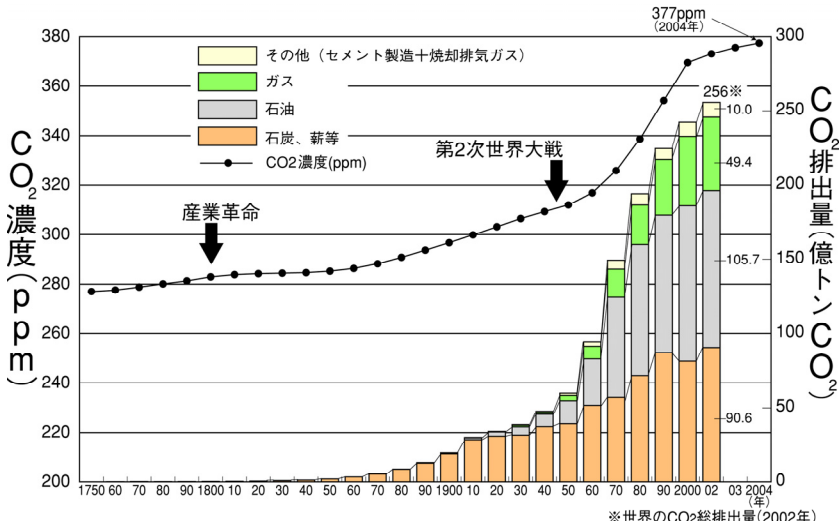
IPCC 第 4 次報告書は人為起源及び自然起源の気候変化の駆動要因によって、地球—大気システムに出入するエネルギーのバランスが崩れつつあり、この結果地球温暖化は以下のように疑う余地がないと分析している（注 6）。

①1995—2006 年の 12 年間のうち 11 年の世界の地上気温は、1850 年以降温度計による記録が存在するうちで最も温暖な 12 年の中に入る。②過去 100 年（1906—2005 年）の平均気温の上昇は 0.74 度で、第 3 次評価報告書で示した 0.6 度を上回った（注 7）。③最近 50 年間の線形昇温傾向

（linear warming trend）は（10 年当たり 0.13 度）過去 100 年の傾向のほぼ 2 倍である。④北半球の平均気温は過去 100 年間で世界平均のほぼ 2 倍の速さで高まっている。

地上気温を上昇させるとみられる温室効果ガスについては、以下のような特徴を指摘している。温室効果ガスの大気中濃度は、1750 年以降の人間活動を反映して大きく増加しており、氷床コアから決定された工業化以前何千年にも亘る期間の値をはるかに超えている（氷床コアとは過去に降り積もった雪を保存している氷の柱。氷の気泡に含まれる大気組成を分析することによって、過去の気温と世界的な海水準の変化を対比できる（注 8））。次いで人為起源温暖効果ガスのうち最も重要なのが CO<sub>2</sub> で、これは確実に増加している。それに続くメタン、一酸化二窒素も増加している（京都議定書はさらにハイドロフルオロカーボン、パーフルオロカーボン、六ふっ化硫黄を加えた 6 種類を温室効果ガスと指定している）。

図 1 で CO<sub>2</sub> 排出量の増加傾向をみると、次のような特徴が観察される。

図1 化石燃料等からのCO<sub>2</sub>排出量と大気中のCO<sub>2</sub>濃度の変化

①CO<sub>2</sub>の顕著な排出増は19世紀後半からみられる。②その後世界的な高度成長期である1960年代に急増する。③2002年世界全体のCO<sub>2</sub>排出量は256億トンとなる(注9)。④2002年時点における世界の源泉別CO<sub>2</sub>の排出は石油の41.2%を最高に、以下石炭(薪を含む)35.3%、ガス19.2%、その他3.9%と続く。⑤「産業革命以降人為的に排出された温室効果ガスによる地球温暖化への直接的寄与度」(1998年現在)はCO<sub>2</sub>が60.1%と最も大きく、以下メタン19.8%、一酸化二窒素6.2%、フロン13.5%で

ある。⑥「温室効果ガス」は産業革命以降急増し、現在のCO<sub>2</sub>の累積の70%は産業革命以降であるという。

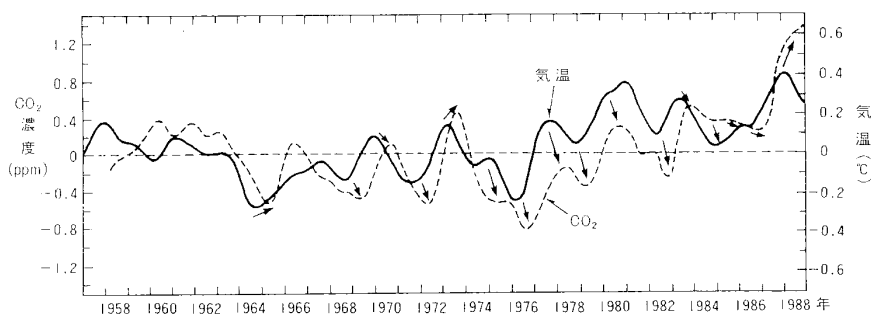
⑦大気中のCO<sub>2</sub>濃度(ppm)は1900年前後には約210であったが、その後増加の一途をたどり1990年には350を超え、2005年には379と過去最高を記録した。これは永床コアから決定された過去65万年間の自然変動の範囲(180-300ppm)をはるかに上回っている。WMO(世界気象機関)によると、大気中のCO<sub>2</sub>濃度(ppm)は過去10年間に年平均で1.9ppmの割合で増加しており、連続

的な大気の直接観測を開始して以来の値（1960－2005年平均：年当たり1.4ppm）と比べて大きいものである。なお2004年での濃度は産業革命前の濃度（約280ppm）比135%増であるという（注10）。

工業化以降の大気中のCO<sub>2</sub>上昇の主要な原因は化石燃料の使用である。CO<sub>2</sub>の上昇に関し、土地利用の変化も重要であるがその影響は小さい。メタン濃度は工業化以前の約715ppbから1990年代初頭の1732ppbを経て2005年には1774ppbに上昇した。2005年の大気中メタン濃度は、氷床コアから決定された過去65万年の自然変動の範囲（320－790ppb）をはるかに上回っている。

以上のように地球温暖化に関し重要なファクターが指摘されている。それは地上の平均気温の上昇とCO<sub>2</sub>の増加との関係である。その2つを時系列でプロットしたのが国際地球観測年（1957－58年）を主導していた米国の科学者キーリングによる図2である。同図から次のような特徴を指摘できる。1) CO<sub>2</sub>の変動と気温の変化はほぼ同じ傾向である。CO<sub>2</sub>の温室効果は物理現象であるので、これを否定する科学者はいない、2) 1980年代後半以降両者の変化はともにプラスに転じた、3) かくして両者の変化の間に相関関係があるとみられるが、依然その機構は明確でなく物理的に因果関係があるとは必ず

図2 気温の変化と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の対応



（出所）根本順吉『超異常気象』中公新書、151ページ。

しもいえない。詳細にみると、むしろ温度の上昇が先行しており、これまで論じてきたCO<sub>2</sub>の上昇が地球気温を上昇させるという論調を必ずしも支持する結果ではない。IPCCの報告は大気中に放出されるCO<sub>2</sub>の経年変化を明らかにしているが、気温上昇の著しかった1980年代には放出された量はほとんど増えておらず横ばいである。一方気温上昇がほとんど認められなかった1965-75年期間ではCO<sub>2</sub>は著しく上昇している(注11)。1958年から2000年までに二酸化炭素濃度が約50ppm増加しており、図2から気温が0.1度上昇すると二酸化炭素が約0.2ppm上昇するという関係があるとすると、気温は25度高まっていなければならない(注12)。また先のWMOの年平均ppm上昇の割合を用いると、過去10年間に気温は8.5度上昇することになる。しかし、気温上昇は生じていない。これはひとつに温室効果とは反対の「エアロゾル(エアロゾル)」と呼ばれる遮蔽効果というフィードバックが作用していると考えられるからであるという。「エアロゾル」とは大気中に浮遊するちりなどの微粒

子のこと。これは太陽放射を散乱・吸収して地上に到達する日射量を減少させ気温を低下させる効果を持つ一方、地球からの赤外放射を吸収・再放射するという保温効果がある。この直接効果に加えて地球の放射収支を変えるという間接効果もある(気象庁HP)。ただし大気中に放出されたエアロゾルの影響は長くても一年しか続かないという(注13)。このため地球温暖化の理由としてCO<sub>2</sub>は関係ないという強力な反論がある(注14)。それは以下のような主張である(注15)。

- 1)「二酸化炭素が温暖化の原因であるというのはただの仮説で証拠はない」、2)「予測モデルは信用できない」、3)「気温上昇が原因で二酸化炭素濃度上昇が結果である」、4)「大気中二酸化炭素濃度上昇は海域からの二酸化炭素放出による」、5)「人為起源二酸化炭素排出量は大気、陸、海間の炭素循環量に比べれば非常に小さい」、6)「二酸化炭素は地球放射の赤外線をこれ以上吸収しない」、7)「人類にとって寒冷化の方が問題である」。

上記のようにCO<sub>2</sub>と地球気温上昇との間に依然解明されなければなら

ない問題があるのにもかかわらず、IPCC 第 4 次報告書は 19 世紀中頃から 2000 年初頭までの長期に亘る観察期間における各年の平均気温と 1961-90 年の 30 年の平均気温との差は、若干の上下変動があるが、ほぼ傾向的に上昇していると指摘する。IPCC は「地球温暖化は疑う余地がない」と指摘する。地球温暖化の要因は 18 世紀半ばの英国を出発とする産業革命を境に、CO<sub>2</sub> とメタンがそれぞれ 1.4 倍、2.5 倍と急増した地球温暖化ガスで、IPCC はまさに地球温暖化は人間の活動である可能性が強いとこれまで以上に強調している。

2007 年 4 月 IPCC 第 2 作業部会は 1970 年以降に得られた 2 万 8671 件の陸海域の生態系に係わる観測データに変化がみられ、そのうち変動の原因は温暖化であると分析した。また雪氷や永久凍土に関する変化を求めた 7651 件の観測データでも、そのうち 94% は温暖化に関連すると分析している（注 16）。

### 地球温暖化の影響

地球温暖化による地球の生態系に

対する影響は多様である。環境省および IPCC は以下のように分析している（注 17）。

#### 1. 水資源への影響（水不足と水被害）

現在でも水資源の分布は地域的に偏在している。乾燥地は一層干ばつが進み、多雨地域は洪水が増加するなど、水需給のバランスが崩れ、水資源の格差が世界的に拡大する恐れがある。

IPCC 第 4 次評価報告書さらに同第 2 作業部会は 1970 年代以降、特に熱帯地域や亜熱帯地域で、より厳しくかつより長期間の干ばつ地域が拡大していると指摘している。2050 年頃に地上温度が 2 度程度上昇すると、水不足人口（安全な水にアプローチできない人口も含む）は現在の 11 億人からさらに数億人増加するという。世界の 5 人に 1 人が洪水の影響を受ける恐れがあるという。それにより当然農業生産も大きな影響を受ける。食糧不足で飢餓に悩む人口が最大 1 億 2000 万人増える可能性があるという。欧州南部でも利用可能な水が 25-30% 減ると予測している。



## 2. 自然生態系の変化（絶滅する種の増加）

植物はそれぞれに適した地域に生息しているが、南限のある植物は温暖化によって北または高地に移動を余儀なくされる。植物が種子を飛散させて分布を広げる速度は年40mから最高でも2kmといわれ、温暖化により年約1.5-5.5kmで移動する気候帯の変化に追いつけず、絶滅の恐れがある。これまで過去20年間で、野生生物の総個体数は40%も減ったという報告がある。IPCC第4次評価報告書（第2作業部会）は、環境悪化で生物の絶滅が急速に進み、生物種の最大30%が絶滅し、絶滅種の数は自然状態で見込まれる数の100倍にも達すると推計している。

生態系の変化は海中でも起こっている。南極に同大陸から押し出された氷が海上に張り出し、表面が平らな台地状になった巨大な「ラーセン棚氷」がある。これを含めて南極半島周辺で1974年以降13500m<sup>2</sup>の棚氷が崩壊したという。「ラーセン棚氷」の崩壊は10年ほど前から続いており、周辺では1940年代に比べ約2.5度気温上昇が記録されていると

いう。さらに深海で見つかる生物が浅い層に上がってきているなど、生態系が予想を超える速度で変化しているという。生態系の変化では世界遺産への影響もある。IPCCに呼応して、UNESCO（国連教育科学文化機関）は例えばその典型例として、タンザニアの「キリマンジェロ国立公園」では1万年以上維持されてきた万年雪が20世紀だけで8割失われ、このままだと15年以内にすべてなくなるということを発表した（注18）。

## 3. 沿岸低地域の水没

地球規模で気温が上昇すると、海水の膨張や氷河などの融解により海面が上昇し（sea level rise）、沿岸低地域の水没をはじめ海岸侵食、淡水帯水層への塩水の進入などが生じる。海水の浸入で淡水層への影響はまず飲料水や工業水への利用が困難になることである。さらに地下水位が上昇し、沿岸部での建物や地盤を支えている基礎部分にかかる浮力が増し、建物を押し上げて倒壊させてしまう危険性がある。これは沿岸部に既に出始めているという（注19）。

#### 4. 人の健康への影響

夏季に気温が高くなる頻度と期間が増加すると、熱射病などの発生が頻発し、特に高齢者の死亡率が高まる。死亡率が高い熱帯熱マラリアはこれまで言われてきたよりも低い気温（最低月平均気温 13 度）でも流行するという。つまり熱帯性病原菌が北上するということである。デング熱の北上も予想されている。

#### 5. 公害との複合と加速化

気温上昇は大気中の光化学反応を加速化し、夏になると目や喉の痛みの被害をもたらす光化学スモッグ（光化学オキシダント）を頻発させる。北米では光化学スモッグが悪化して、大気汚染による死者も 5% も増加するという。

#### 6. 影響の地域差

IPCC 第 4 次評価報告書によると、前回は気温の日格差の減少傾向は続いていると報告していたが、1979—2004 年間では、日中と夜間の昇温量が等しいため、日格差に変化がないという。また最も暑い夜、寒い夜と寒い日の気温はいずれも人為起源の

強制力によって上昇した可能性が強いと指摘する。しかし、地球温暖化つまり気温上昇の影響は高緯度地域ほど大きい。暖冬をはじめ突然の冷害や局所的な異常降雨、異常乾燥などが増加する。特に経済水準が低く技術的にも対応が難しい発展途上国が大きな影響を受ける。

地球上の温度差の発生は次のようである（注 20）。赤道地帯はほとんど上がらない。温度が上昇しているのは北緯 60 度ぐらいの高緯度地帯である。地球温度は赤道のところが高く、緯度が上昇するほど低くなる。ところが赤道のほうは余り温度が変わらないのに、北緯 60 度ぐらいで非常にあがってしまったということは、南北の温度差がなくなってしまったということで、これは非常に重要な 2 つの現象が生じたことを意味する。第 1 は北緯 60 度ぐらいの高緯度地帯つまり温帯の上空を流れる西風が弱くなって、不安定になってしまい、蛇行しやすくなった。第 2 は亜熱帯の上にある高気圧が全体として北に偏ってしまったこと。つまり北のほうに寒気がなくなり、南の空気が北上し易くなったということである。

2006年から2007年初頭にかけて日本の降雪量は極めて少なかった。日本の降雪量は東北地方と北海道で平年に対しそれぞれ23%と71%という低いものであった。これは北極付近の寒気が南下してこなかったためであるとみられている。日本の寒暖は、すぐ前で指摘したメカニズムと同じであるが、北極圏で寒気の蓄積と放出を繰り返す「北極振動」によって発生するという。2007年初頭の暖冬は「北極振動」が平年とおりの作動せず、寒気が北極に蓄積され、放出されず南下してこなかったということのようだ(注21)。人為起源の強制力は風のパターンの変化を促し、南北両半球の温帯低気圧の進路および気温のパターンに影響を与えた可能性が高い。特に中緯度の西風は1960年代以降両半球において強まってきた(注22)。

平均気温の上昇はロシア、ヨーロッパなどの高緯度地域の農産物の生産性を上昇させる。しかし低緯度地域では対応できず、1990年度比3度超えると、食糧生産は減少に転じるという。

これまでに得られた地球気候に関

する知見から、過去数百万年の新生代氷河期における氷期間サイクルで、海水準は100m以上の変動を示しているという。前回の氷河期はBC1万6000年頃に終わり、当時の海面は現在より100m前後低かった。BC1万2000年頃から急激な海面上昇が始まり、8000年かけてBC4000年頃までに現在に近いレベルになった。地質学的データによると、現在まで過去6000年間の海面上昇のテンポは年平均0.5mmである。海水準を上下変動させる水の供給メカニズムは次のようである。主に海から蒸発した水が(ほとんど北半球で)氷床として固定され成長する時に海水準が低下し、氷床が縮小する時に融解水として海洋に流れ込み海水準を高める。氷床としては南極の氷、山岳氷河、棚氷などがある。現在これらは急速に縮小している。さらに海水の熱膨張がある。

IPCCのデータによると、過去3000年間の海水準の変動率は年平均0.1-0.2mmと極めて安定したものであった。IPCC第4次報告書(2007年)は20世紀の100年間に約17cm海面が上昇したと確認した。これは年平均

均 0.17cm の上昇テンポで、過去 3000 年間のそれを大きく上回る。同報告書は 21 世紀には 19-58 cm 上昇すると予測している。これを年平均でみると 0.19-0.58 cm の上昇テンポで、そのテンポは一層加速することになる。

IPCC 第 4 次報告書は先に指摘したように、海面上昇幅は前回報告の 88cm より下方修正したが、今回報告で最も議論になったのが海水面の上昇予測であったという。

### 氷床の融解と海水の熱膨張

海水面を上昇させる主因である氷

床の融解と海水の熱膨張のメカニズムをみよう。

IPCC (1995 年) の中位推計によると、過去 100 年間の海面上昇は 18cm である。このうち熱膨張 4cm、氷河・小規模な氷・氷帽 3.5 cm とほとんど同じであり、次いで地表面水量及び地下水量 3.5 cm と続き、以上 3 要因合計で 11cm である。グリーンランド氷床と南極氷床はともにゼロである。第 4 次評価報告書は「観測された海面水位の上昇率と様々な要因による寄与の見積もり」について表 1 のように推計している。

同表より次のような特徴と変化を指摘できる。①海面水位の上昇率は

表 1 観測された海面水位の上昇率と様々な要因による寄与の見積もり

海面水位上昇の要因	海面水位の上昇率 (mm/年)	
	1961-2003	1993-2003
熱膨張	0.42±0.12	1.6±0.5
氷河と氷帽	0.50±0.18	0.77±0.22
グリーンランド氷床	0.05±0.12	0.21±0.07
南極氷床	0.14±0.41	0.21±0.35
上記計 (1)	1.1±0.5	2.8±0.7
観測された海面水位の上昇 (2)	1.8±0.5	3.1±0.7
差異 ((2) - (1))	0.7±0.7	0.3±1.0

(注) 「観測された海面水位の上昇」のデータは、1993 年以前は潮位計、1993 年以降は衛星高度計の観測による

(出所) IPCC 第 4 次評価報告書

1993-2003 年という極めて短期間であるが年  $3.1 \pm 0.7 \text{mm}$  と、1961-2003 年の  $1.8 \pm 0.5 \text{mm}$  に比べ加速している。②海面水位上昇の主因は1961-2003 年では第1位が氷河と氷帽 (glaciers and ice caps)  $0.50 \pm 0.18$ 、第2位が熱膨張 (thermal expansion)  $0.42 \pm 0.12$  であり、両者のみで半分強を占めるが、1993-2003 年には両者合計の比重が4分の3 (76.4%) へと一層高まった。③前項のように海面水位上昇の主因の順位は逆転したが、両者とも海面水位を上昇させている。④その他の個別要因の合計は  $1.1 \pm 0.5$  から  $2.8 \pm 0.7$  へと上昇した。この結果「観測された海面水位の上昇」との「差異」は大幅に縮小した。これは IPCC が将来気候を予測しようとしている「気候モデル」が不断かつ大幅に改善していることを示したものであろう。こうした推計を踏まえつつも、2つの氷の融解について、以下のような問題が指摘されている。

氷床の融解は陸上にあるか海中にあるかによって違ったものになる。

1980年代以降、北極域の永久凍土の表面温度は全般的に上昇した（最

大3度）。1978年からの衛星観測によれば、北極の年平均海氷面積は、10年当り2.7%縮小した。北極の平均気温は、過去100年間で世界平均のほぼ2倍の速さで上昇した。

問題は陸上の氷であるという。陸地があるのは特に南極である。南極大陸の氷の厚さは2000m（後に4000mと判明する）にも達し、中央地点の1年間の平均気温はマイナス50度で、この温度では20度気温が上昇してマイナス30度になっても、氷はとけない。それどころか気温上昇で雪が一層降り出し、氷床を一層成長させてしまうという。つまり氷が増えることになる。氷山は海中で浮かんでいる。これは氷山が上に向かう力が働いているからで、それを「浮力」という。水の浮力は物体（氷山）の水中にある部分と同じ体積の水の重さに等しい。この原理から「南極海の氷山が融けただけでなら世界の海面はほとんど上昇しない」とみられている。したがって低緯度に位置し、氷床であるが海中に浮かぶグリーンランドの氷は気温の上昇でとけ出す。世界中の氷と雪は南極とグリーンランドによってほとんど占め

られ、しかも前者割合の方が圧倒的に大きく、気温が上昇しても、計算上海面は1ミリ位しか上昇しない(注23)。

先にIPCC(1995)は過去100年間のグリーンランド氷床と南極氷床による海面上昇寄与はゼロであると述べた。しかし第4次評価報告書はその後得られた知見を反映して、1961-2003年と1993-2003年を比較して、両者の海面上昇寄与を計測している。表1より、両者の融解について、次のような特徴を指摘できる。まずグリーンランド氷床では、前者の期間に $0.05 \pm 0.12$ 、後者は $0.21 \pm 0.07$ である。これは、1961-2003年にはグリーンランド氷床の融解は海面水面を低下させた可能性があるのに対し、1993-2003年には逆であることを示したものである。一方、南極氷床についてはグリーンランド氷床と異なり、両期間とも海面水位への寄与はマイナスであったという可能性があるということを示している。しかしIPCC(2007)は1993年から2003年にかけての海面水位上昇率の増加が10年規模の変動なのか、より長期的な上昇傾向の加速なのかは不明で

あると留保条件を付けつつも、グリーンランドと南極の氷床の減少が1993-2003年の海面水位の上昇に寄与した可能性がかなり高いと分析している。

熱膨張とは温度の上昇によって、物体の体積が増えることである。熱膨張による海水面の上昇のメカニズムは次のようである(注24)。

1. 天候の長期予報はあてにならない。これは陸、海洋、生物圏など大気圏以外の要因が大きく絡んでいるからである。
2. 特に海洋は大気の270倍の質量をもち、1100倍の熱容量をもつ。海洋の深層水は約1000年の寿命(海面下にもぐりこんでから表層に出てくるまでの平均時間)をもつ。したがって、海洋のタイムスケールでは海洋表層が気候に直接関係しない。
3. しかし深層水の循環や湧昇の変化はそのまま表層水に影響を及ぼす。
4. (IPCCが問題にしている)大気中の $\text{CO}_2$ も同じである。この問題を解決するには大気圏以外を含め「物質循環」を考えなければいけない。
5. 炭素の循環をみると、海洋で有機物の生産量を支配しているのは窒素やリンの化合物であり鉄

などである。しかし大気循環の変化に最も影響を与えるのは炭素である。CO<sub>2</sub>は大気中の存在量の50数倍の量が海水に溶けている。6. 大気中のCO<sub>2</sub>濃度が増えると、海水中に存在する炭酸イオン(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)の量だけCO<sub>2</sub>は溶け込める。炭酸イオンの濃度は海水中の全炭酸の4%しかないので、一年間に燃やしている化石燃料の300倍である。7. 大気中のCO<sub>2</sub>が増えれば、海の石灰が溶け出し、CO<sub>2</sub>を吸収する。地球上の化石燃料を全部燃やしても、十分な時間をかけられれば、海洋にそれを吸収する能力がある(ということになる)。

8. 一方、大気と平衡にあった海水を、CO<sub>2</sub>を含まない大気に接触させれば、CO<sub>2</sub>が出てくる。しかし現実には大気と海水ともCO<sub>2</sub>を含み、この差(分圧)が大気-海洋間を移動する炭素の量を決める。大気-海洋間を移動する炭素の量は、移動量の中では大きい。しかし、表層水の炭素のうち、一年間に気体交換によって入れ替わる量は20分の1以下である。このことは、表層海水が大気と平衡になるには時間を要することを意味する。

9. 海水のCO<sub>2</sub>分圧は水温に大きく

依存し、低温になると溶けやすくなる。10. IGY(国際地球観測年)の一環としてハワイでキーリングが、大気中のCO<sub>2</sub>を長期間観測してきた。それが図2である。しかし海洋側でそのような測定が始まっていないが、IGBP(地球圏-生物圏国際共同研究)がその計画を策定している。

11. 人類活動の結果を海が吸収するのではなく、逆に海から大気中の50数倍存在するCO<sub>2</sub>の一部が放出される可能性もある。例えば、CO<sub>2</sub>によって地球が温暖化すれば、表面水温が上昇して、その溶解度が減り、表面水からCO<sub>2</sub>が出てくる。あるいは、水温上昇で深層水の生成量が減れば、栄養塩が深層から湧昇してなくなり、生物が減り、CO<sub>2</sub>を吸収しなくなる。これらの効果で大気中のCO<sub>2</sub>は増え、ますます気温が上がり、海からCO<sub>2</sub>が一層排出されることになる。

12. こうした地球は破局的状況を迎える。

人為的に放出されるCO<sub>2</sub>量は年間250億トンで、このうち海洋に73億トン吸収され、残りの120億トンが大気中に残存し、残り57億トンはミッシングシンクといわれ、これは大

気中でなく海か陸かに吸収されると考えられるという。ミッシングシンクと言われる量は森林消滅によるCO<sub>2</sub>の放出量に相当するからである(注25)。

IPCC第4次評価報告書は1961年以降の観測によれば、水深3000mまでの層の全海洋水温は上昇し、気候システムに加えられた熱の80%を超える部分が海洋に吸収されたという。日本の海洋研究開発機構は太平洋の水深3500mで水温の上昇を確認した。これが確認されたのは太平洋のほぼ中央深く北上する海流で、この10年間で0.005-0.01度の上昇であるが、気温に換算すると1度以上の上昇に相当する(注26)。先に指摘と関連して、CO<sub>2</sub>に限らず、気体が海水や淡水に溶ける量は水温によって決まる。低水温の方が高水温より溶けやすい。

#### Point of No Return

「海は二酸化炭素を吸収していると考えられているが、海洋の表層と深層水が混合するには、数百年から1000年という時間が必要である。こ

のまま二酸化炭素の放出が続くと、二酸化炭素濃度は2050年には地球にとっての危険濃度である600ppmに到達する。つまり温暖化現象で危惧される期間は50-60年程度と極めて短く、海洋に二酸化炭素の吸収を期待できない」(注27)。

海水中には大気中存在する二酸化炭素の約50倍、2兆6000億トンも存在しているという。先に指摘したように、現在毎年人為的に250億トンのCO<sub>2</sub>が放出されている。これは海洋のCO<sub>2</sub>のわずか0.0002%に相当するものでしかないが、海水温の上昇で大気中に放出されることがないのだろうか。

このためIPCC第4次評価報告書は「気候に関する諸過程やフィードバックに関連した時間スケールのため、たとえ温室効果ガス濃度が安定したとしても、数世紀にわたって人為起源の温暖化や海面水位上昇が続く」という。さらに同報告書は「過去及び将来の人為起源の二酸化炭素の排出は、このガスの大気からの除去に必要な時間スケールを考慮すると、今後千年以上の昇温と(海水を膨張させ)海面水位上昇に寄与する



であろう」と警告している。

IPCC 第 4 次報告 (Climate change 2007:The Physical Science Basis) は地球温暖化の主因は人間の活動 (human activities) であることは疑いない (no question) と明確に言い切った。つまり IPCC は化石燃料の燃焼は基本的に我々の気候を変えつつあると断定したということである。今や地球温暖化に関し我々は疑念 (doubting) から行動しなければならない (having to act) 状況にある。国連環境計画議長の A・スタイナー氏は「他のいかなる対応は無責任だ」 (Any other response would be irresponsible) と強い警告を発する。

1990 年に発表された IPCC 第 1 次評価報告書 (FAR1990) では次のようであった。人間活動に伴う排出によって、温室効果ガス (CO<sub>2</sub>、メタン、フロン、一酸化二窒素) の大気中の濃度は確実に上昇しており、このため地球上の温室効果が増大している。1995 年に発表された第 2 次評価報告書 (SAR:Climate Change 1995) はその後新たに解明された科学的知見を踏まえ、一層踏み込んだ内容になっている。「全球平均気温および海

面水位の上昇に関する予測から、人間活動が人類の歴史上かつてないほどに地球の気候を変える可能性がある」。「温室効果ガスの蓄積に対する気候系の反応は時間スケールが長いことから、気候変化は多数の重要な点に関し、既に取り返しのつかない状況にあるといえる」と述べている。このように第 2 次評価報告書は前回よりも踏み込み、地球温暖化は人間活動の影響によるものだとより明確に表現している。第 3 次評価報告書はその延長にあることは言うまでもない。

地球温暖化とそれによる人類生存に危機への危惧はかねてから論じられてきた。それにもかかわらず遠い人ごとのようにみられてきた。しかし 2006 年秋ごろから 2007 年初頭にかけて、日本はこれまでにない暖かい冬を迎えしかも各地で異常気象を経験することによって、ひょっとしたら地球環境の悪化で人類は大変な事態に直面しているのではないのかと実感したのではないだろうか。

日本の少子化・高齢化さらに人口減少の到来は 30 年前以上から指摘されていた。当時一部の専門家を除

きほとんど誰も関心を示さなかったといっても過言ではない。しかし、2005年の合計特殊出生率がこれまで最低の1.26人や総人口が初めて減少することなどが相次いで明らかになり、国民の関心を引いた。気がつけば隣近所や町に子供が見当たらない。一般国民や庶民がそれに気がついた時は、それが既に常態であるということである。地球環境の悪化も同じである。異常気象であるのではないかという思いを超えて、ひょっとしたらさらに大きな地球気候全体の変調にあるのではないかと多くの人々が感じた時には、「引き返し不能点 (point of no return)」を超えた可能性が強いということである。2006年から2007年からの異常気象はそれを示したのだろうか。

これに関しフランスの子供向けの「なぜなぜ」がある。「あなたが池をもっていて、その中で水蓮を育てているとする。その水蓮は、毎日二倍の大きさになる。もしその水蓮がとどめられることなく成長するならば、30日でその池を完全におおい尽くして、水の中の他の生物を窒息させていまいそうだ。しかし、長い間、

水蓮はほんの小さいものだと思っていたので、それが他の半分をおおうまで、それを刈ることにわずらわされないと心にきめていたとする。いつその日が来るだろうか。答はもちろん、29日目である。あなたは、あなたの池を救うのに1日しか残されていないのだ」(注28)。

水蓮の池と同じ状況が現在地球環境を巡り進行しているのではないだろうか。IPCC第4次評価報告書は地球環境の変化を特に温暖化と海面上昇の2つをとり上げて、人類生存の危機を訴えている。しかし地球温暖化に対し様々なる反論があることを指摘している。それにもかかわらずIPCCに世界40国から専門家や政府高官が600人以上参加し、第4次評価報告書に署名した。地球温暖化に懐疑的だった米国や石油産出国のサウジアラビアも報告書の内容を受け入れた。米国は二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)削減を目指す京都議定書に参加していないが(気候変動枠組条約にはとどまっている)、2007年3月ブッシュ大統領は地球温暖化で、米国内でも水が蒸発し水不足で干ばつの危険性が拡大することに言及した。さら

にその後ブッシュ大統領は、米国のガソリン消費を2012年までに2割減らす目標のためその努力を米国自動車大手3社に求めた。(注29)。

IPCCはさらに主張する。ハリケーン・熱波など異常気象は既に多くの地域で生じている。温暖化の影響は長期間に及ぶ。温暖化ガスの濃度が安定したとしても、熱が深海まで届くのにかかる。海水温の上昇に伴う海水の膨張で起こる海面上昇は1000年以上も続くことになる。第4次IPCCに参加した日本の気象や環境問題に関する科学者(IPCC日本代表)は、2007年2月6日以下のように緊急メッセージを発表した。

- 1) 気候が急激に変化している。この気候変化が人為的温室効果ガス排出によるものであることは、科学的に疑う余地がない。このままの排出が続けば、人類の生存基盤である地球環境に多大な影響を与えることは明白である
- 2) 気候の変化は見えないうちで進行し、近年になって、それが顕在化した。気候システムには慣性があり、さらに悪化してから手を打ったのでは安定化は極

めて困難である

- 3) 地球規模での雪氷圏における変化などは予想以上に速く進みつつあることが確認された
- 4) 温室効果ガスの排出を現在の半分以上にまで削減しないと気候は安定しない
- 5) 気候変動による悪影響が危険なレベルを超えないためには、温室効果ガスの削減を直ちに開始せねばならない

18世紀工業化以前は、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度は280ppmあたりで自然循環はバランスしていた。しかしその後CO<sub>2</sub>は増加の一途を辿り、年間の排出量は250億トンを超えている。世界の課題は温室効果ガス濃度を安定するために、自然吸収量110億トンと同等のレベルに排出量を削減することである(図1)。これはCO<sub>2</sub>のいわばプライマリー・バランスを目指すことである。だからこそ京都議定書は地球温暖化対策の目標として、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする」(気候変動枠組条約第2条)と

謳っているのである（注 30）。

（注）

- (1) News Week 日本語版 2007 年 2 月 7 日号、18-19 ページ、(財) 地球・人間環境フォーラム『環境要覧 2005/2006』古今書院、2005 年、iv-v など。
- (2) 読売新聞 2007 年 1 月 30 日付け夕刊、朝日新聞 2007 年 1 月 31 日付け朝刊。
- (3) 産経新聞 2006 年 12 月 13 日付け朝刊、Sankeiweb2006 年 12 月 12 日。
- (4) 前掲 News Week 日本語版、21 ページ。
- (5) 真鍋淑郎「二酸化炭素と気候変化」『地球環境の危機』岩波書店、1992 年、65-66 ページ。
- (6) IPCC が第 1 次から第 4 次までに観察した事実に基づいている報告書（気象庁日本語訳）に依拠している。
- (7) 「1850 年の CO<sub>2</sub> 濃度が 270ppm と仮定すると、1850-1950 年の全球表面気温上昇は、約 0.4-0.5 度と概算される。これは過去 100 年に観測された全球表面気温の上昇とほぼ同じである。しかし CO<sub>2</sub> 濃度以外にも、太陽放射をさえぎる成層圏の塵など、ほかのいろいろな要素が過去 100 年間に変化した可能性があるので、こ

の観測された温度変化が、果たして CO<sub>2</sub> 濃度の増加によるものかどうかは今のところ何ともいえない」（真鍋淑郎前掲論文、72 ページ）。もっともこの論文が書かれたのは 15 年以上前である。その後 IPCC など多くの観測結果が得られている。

- (8) 最深度は南極の EPICA コアで 72 万年前までの地球気温の変化を追跡できるといふ（東北大学 HP など）。
- (9) 世界の CO<sub>2</sub> 排出量（化石燃料燃焼起源）は 1971 年の 136 億トンから 1990 年 201 億トンを経て 2003 年には 242 億トンになった（船舶及び航空燃料分を除く）（日本原子力文化振興財団統計資料）。
- (10) 世界気象機関（WMO）による。日本の CO<sub>2</sub>（ppm）観測地は 3 ヲ所あり（岩手県綾里、南鳥島、与邦国島）、2005 年で世界平均より若干高く 382.5（与邦国島）、南鳥島 380.7 であった（綾里は 382.4 であった）（気象庁資料 2006 年 3 月 14 日）。
- (11) 根本順吉『超異常気象』中公新書、1994 年、148-149 ページ。図 2 は根本順吉氏が「ハワイにおける CO<sub>2</sub> の長期観測者として知られたキーリングの論文から引用したものである」

が、同氏は「CO<sub>2</sub>は気温の変化の後追いをしているのであって、CO<sub>2</sub>が変化してからそれによって気温が変わったとはとても思われない」と主張する。根本順吉氏は留保条件をつけ図2は短期的変化であると指摘する。それ故根本順吉氏の指摘を基に「温暖が先で二酸化炭素が後」という議論は特に日本での会議論者特有の論拠であると、明日香壽川氏などは論難しているが（明日香壽川など「経済学者でもわかる地球温暖化懐疑論への反論」『経済セミナー』2006年8月号、44-50ページ）、それは過剰反応であろう。というのは根本氏をはじめその追従者であれ温暖化反対者であれ、いずれもIPCCやローマクラブへの言及が一切ないからである。

- (12) 明日香壽川など前掲論文、44-50ページ。
- (13) 雲の変化も気候感度に影響を及ぼす。ある大気循環モデルによると、「CO<sub>2</sub>増加に伴い低緯度の雲量が減り、対流圏-地表系の昇温をさらに増幅する。つまり、雲の変化は、気候の感度を増幅する正のフィードバックとして働く」という。しかしそこで使

われている「雲の予報方式とその放射への効果を信じるかどうか」などの問題があり、にわかに結論を出すのが難しいという（真鍋淑郎前掲論文、71ページ、山本良一・Think the Earth Project編『気候変動+2°C』ダイヤモンド社、116、122-123ページ）。

- (14) 気温の変化と、CO<sub>2</sub>よりもっと良い対応を示しているのは、大気中のメタン（CH<sub>4</sub>）である。メタンはそれ自身温室効果を持つばかりでなく、大気中ではCO<sub>2</sub>に変わる。それで地球の気温の変化に対応してまずメタンに変わり、さらにこれがCO<sub>2</sub>に変わることになり、両者が一緒になって、もとの気温の変化を増幅しているのではないかと考えられている（根本順吉前掲書、142ページ）。
- (15) 明日香壽川など前掲論文、45-48ページ。
- (16) 読売新聞2007年4月16日付け朝刊。
- (17) 気象庁HP、JCCCAWebなど。
- (18) 産経新聞2007年2月26日付け朝刊、asahi.com2007年4月11日。
- (19) 国連安全保障理事会は「海面上昇で国境線の変化」が生じ、国際紛争が生じることを懸念して、「国際の平和

- と安全」に関連して討議をすること  
を決定した。紛争の要因として、①  
地形の変化に伴う国境領海線の見直  
し、②人口の大量移動、③エネルギ  
ーや水、耕作地の争奪などがある、  
と想定される（読売新聞 2007 年 4  
月 14 付け朝刊。
- (20) 根本順吉前掲書、123-124 ページ。  
(21) 毎日新聞 2007 年 2 月 6 日付け朝刊。  
(22) 根本順吉氏も北緯 60 度の昇温を指  
摘しているが、IPCC がその後観察し  
ている西風の強まりを執筆時期から  
当然触れていない。地球温暖化の日  
本への影響に関してインターネット  
で検索できるものとして『STOP  
THE 温暖化』（環境省 2005）があ  
る。これは平易に解説している。  
(23) 根本順吉前掲書、111 ページ。  
(24) 以下は角皆静男「炭素などの物質循  
環と大気環境」『地球環境の危機—研  
究の現状と課題—』内嶋善兵衛編、  
岩波書店、1992 年）を要約したもの  
である。
- (25) 松永勝彦『森が消えれば海も死ぬ』  
講談社、2005 年、156 ページ。  
(26) 日本経済新聞 2007 年 4 月 9 日付け朝  
刊。「水は空気より熱を蓄積するこ  
とができ、観測した範囲の海水温の上  
昇は、同じ量の大气なら 1-1.6 度暖  
かくなる熱量に相当する」（同じ）。  
(27) 同上、156-157 ページ。  
(28) 『成長の限界』17 ページ。  
(29) 産経新聞、毎日新聞、朝日新聞、日  
本経済新聞 2007 年 4 月 3-4 日付け  
各朝刊。  
(30) 松下和夫「京都議定書発効後の地球  
環境問題」『環境要覧』（財）地球・  
人間環境フォーラム、古今書院、30  
-31 ページ。

本稿は平成 18 年度日本自転車振興会補助  
事業である「東アジアの再生資源活用と世  
界貿易」の成果をとりまとめた調査報告書  
に収録したものを加筆したものである。