

第5章 北極の環境問題

西村六善

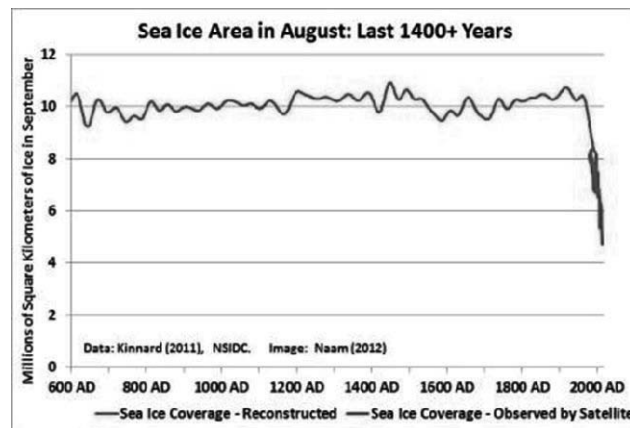
1. 地球温暖化は北極圏にどう影響しているか…事態はどれほど深刻か？

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は 2007 年に発表した第 4 次評価報告書において「温暖化は疑う余地がない」と断定した。その断定に当たり、大気や海洋の世界平均温度の上昇や南極や北極での氷や山岳氷河が広範にわたり減少していること、世界の平均海面水位が上昇していること等が例証として挙げられた。そして、「20 世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高い」とし、更に「1750 年以降の人間活動が温暖化をもたらしたことについての確信度は非常に高い」と結論づけた。このように地球温暖化が進行し、それは大部分人為によるものだと云う立場は世界中の大多数の科学者と 180 か国の政府が実証的に支持しているところである。

北極においては氷床や海氷の減少が広範囲に進行していることが 1978 年以來の衛星観測データにより検証されている。北極の海氷範囲は年平均値は 10 年毎に約 2.7%減少している。夏季は約 7.4%と大きく減少している。地球温暖化が北極の環境に大きな影響を及ぼしていることは明らかだが、北極での変化が地球全体の温暖化を加速していると云う重要で深刻な側面が存在している。地球全体の温暖化と北極の温暖化が共鳴し、温暖化の影響を加速していると云う現実が明らかになっている。北極の温暖化は世界的なインパクトを持ってそれを加速していると云う点がこの問題の深刻な側面である。

（1）北極海の氷の問題 夏季の海氷面積は年々縮小している

北極圏は温室効果ガスに由来する温暖化が最も急速に進んでいる地域である。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 4 次報告書によれば、20 世紀の 100 年間の間で地球の平均気温は約 0.74℃上昇したが、北極圏ではその 2 倍である 2℃以上も上昇した。特に最近は海氷面積が劇的に縮小している。海氷は通常 3 月に溶け始め、9 月に溶解量が最大になる。その後冬季には再度結氷する。問題は地球温暖化の影響で北極海の海氷面積が夏季に急激に減少していることだ。過去 1400 年間にわたる次の長期温度観測データでも裏付けられている。



このグラフはチリーの研究者Christophe Kinnardのチームが分析した結果をNature誌に2011年に発表したものから米国の研究者Ramez Naamが作図したもの。

過去1400年にわたりほぼ1000万Km²であった毎年の9月時点での海氷が2000年ごろ急激に減少し、半分以下になっていることが示されている。

出典: Ramez Naam "Arctic sea ice: what, why, and what next" Scientific American Sept.21, 2012
<http://thinkprogress.org/climate/2012/09/24/894511/arctic-sea-ice-what-why-and-what-next>

何故こうなるのか？

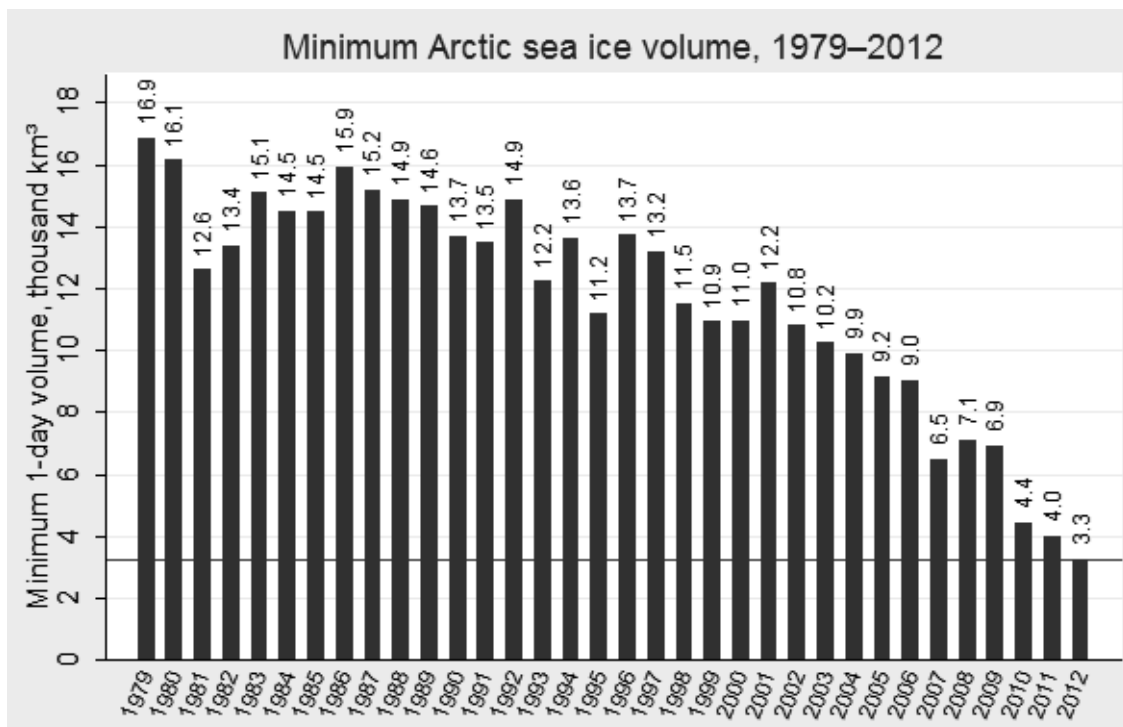
なぜ北極域で温暖化が増幅されるのか？ メカニズムは完全には把握されていないが、気温が上昇すると、白色の積雪や氷河・氷床、海氷が減少し、地表や海面が露出する。表面が白から黒っぽい色に変わることによって太陽光反射率（アルベド）が低下して陸や海が暖められ、更なる気温上昇を招く。このアルベドの変化に加えて大気中の水蒸気や雲・エアロゾル、植生や炭素循環、大気や海洋の熱輸送など、さまざまな変化が複雑に絡み合っていると考えられている。そして、上記の通り北極圏での温暖化の進行が速いことから、このプロセスには加速がつくとされている。この加速性は **Positive Feedback**（マイクをスピーカーに近づけると巨大反響が生まれる状態）とも呼ばれ、深刻な問題として研究されている。要するに北極では氷の溶解は一旦始まると自己溶解が加速するのである。

更に氷自体が薄くなっている（Thin Ice）の問題もある。氷が薄くなると若い氷が多くなり、わずかな温暖化ですぐ溶ける。面積の縮小だけでなく氷の厚さが縮小していることで問題が加重されている。つまり氷の面積だけでなくその体積が急速に減少していることにも注意が必要な事態になっている。このペースで行けば数年で氷はなくなる。夏季の結氷しない期間が今後次第に長くなると予測されている。

氷はなくなるのか？

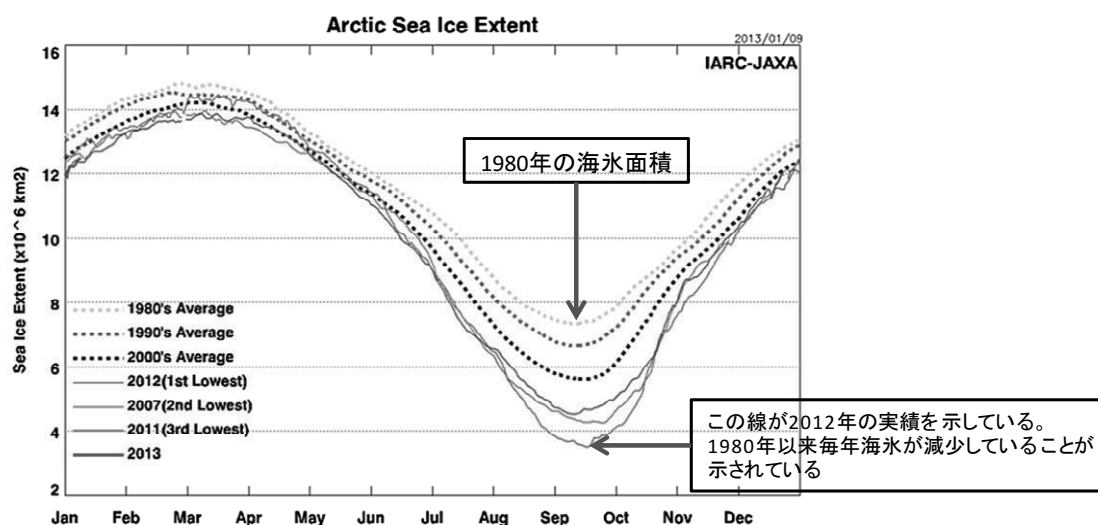
北極におけるこのような顕著な海氷の溶解の結果、夏季における氷はいずれは全部なくなるだろうとされている。いつなくなるかが問題となっている。2007年に発表された気候

変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次報告書では、検討された「全てのシナリオにおいて、北極と南極双方の海氷が縮小する」と予測されている。その中には、「北極の晩夏の海氷は、21世紀後半までにほとんど消失する」との予測もある。例えば米国国立大気圏研究所（The National Center for Atmospheric Research）の Marika M. Holland 博士らの研究（Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice, 2006）によれば、現状のままだと2040年には海氷がほとんど消失するとされている。下図は北極海の海氷の量が急激に減少していることを示している。



出典：Polar Science Center, University of Washington

しかし、最近では海氷消滅の時期はもっと早いと云う研究がある。2030年の夏にはもう氷はないと予測する科学者がいる。それへの反対論はある。しかし、2015年の夏には氷はなくなるとする意見もある。次の2013年1月9日付の最新のIARC-JAXAの「北極海氷範囲」（Arctic Sea Ice Extent）によれば、2012年は観測史上最大の溶解（海氷の縮小）を示した。2015年には消滅するとする学説が極端だとも云えないだろう。



出典：Arctic Sea-Ice Monitor
http://www.ijis.iarc.uaf.edu/en/home/seaice_extent.htm

この図でも明らかな通り、海氷の全面溶解が起きるのは9月ごろの短期間である。その他の期間は結氷している。しかし、科学者は溶解の加速性からしてこの期間が少しずつ長期化するだろうと予測している。

予測が楽観過ぎたと云う問題

北極の氷は当初の科学的分析では 21 世紀中は結氷し続けると云う事であった。それが 2007 年に公表された IPCC の最も厳しいモデルでも 2040 年までは消失しない、とされるようになってきた。しかし、今日、反対論はあるものの、2015 年の夏には氷はなくなるとする意見もある。

海洋研究開発機構（JAMSTEC）と宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、2007 年 8 月 16 日に発出した「プレス・リリース」で次のように述べている。

「...海洋・大気観測データ、衛星観測による海氷データを共同で解析した結果、北極海における海氷面積が、過去最小を記録した 2005 年夏を大幅に上回るペースで減少し、8 月 15 日に 1978 年から開始された衛星観測史上最小となったことを確認しました。海氷の減少は、9 月中旬まで続き、海氷面積はさらに大幅な減少となる見込みです。この海氷の減少は、IPCC 第 4 次報告書で予測されている北極海での海氷の減少を大幅に上回るもので、このような観測と予測の大きな差は、予測モデルでは北極海で起こっている現象が十分に表現されていないことの現れであると考えられます...」

このことは地球環境を議論するに際しての深刻な問題を提起している。北極域の急激な

気候変化は北極域にとどまらず、大気・海洋の循環などを通して、全球に影響している。肝心の北極域における気候変化が科学の予想より急速に進行している。現実にはモデル計算より海水の減少は速く進行中だ。将来の予測が現実と合致していないのは、海水が減少するメカニズムが十分に把握されていないことに起因している。大気や海洋、陸域との関係が複雑に作用し合っている状況を正しく把握できていないためだ。これは由々しき問題だ。

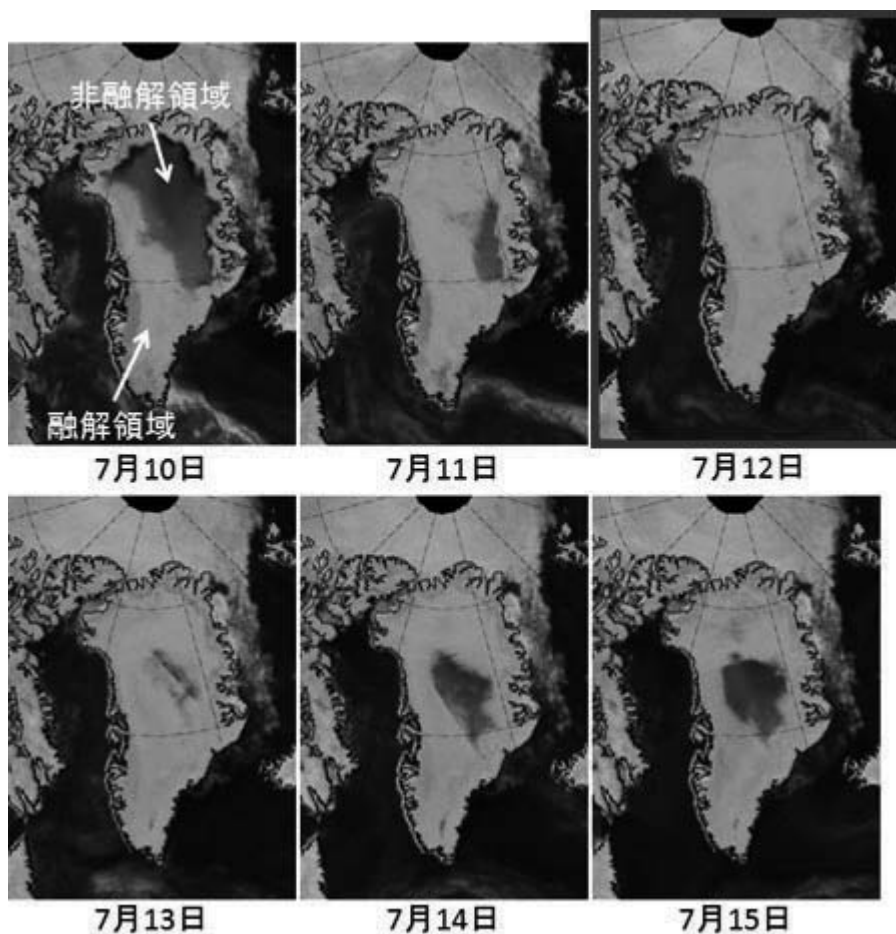
従って、云うまでもなく将来予測の精度を上げていくことは重要だ。しかし同時に、現在示されている諸指標に対し安全サイドに立って対応していくことも必要だ。現行モデルに依存して行くことも問題だ。事態は予想を超えて悪化していると云う観点から対応していく必要がある。

（2）グリーンランド氷床の融解の問題

北極圏に位置するグリーンランドでも近年記録的な高温が続き、それに伴い氷床が大規模に溶解している。米航空宇宙局（NASA）は2012年7月24日、グリーンランドの地表を覆う氷床の表面がほぼ全域で解けたと発表した。標高3200mの頂上付近の氷も約120年ぶりに解けた。

一方、日本の地球観測研究センター（EORC）も衛星「しずく」の観測結果を次のように公表している。

「… 2012年7月12日にグリーンランド氷床表面のほぼ全域の輝度温度の上昇を捉えました。高い輝度温度は氷床表面が湿っている状態（融解領域）と考えられ、通常は夏季においても表面が凍結状態にあるグリーンランド氷床の内陸部まで、融解領域が広がった可能性が高いと考えられます。10日は、北東部の大部分が非融解領域でしたが、11日には東部に若干残る程度になり、ついに12日には、ほぼ全域が融解領域となりました。その後、14日以降には、再び非融解領域が広がっていったことが分かります。」



出典：地球観測研究センター「しずく」が捉えたグリーンランド氷床表面の全面融解
<http://www.eorc.jaxa.jp/imgdata/topics/2012/tp120725.html>

グリーンランド氷床 (Greenland ice sheet) は、グリーンランドの面積の 82% を占めている。国連の気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は 2007 年の第 4 次評価報告書でこれが溶けることで全球的に 7.2m 海面が上昇すると予測している。北極海の氷が海上に浮いているのに対してグリーンランドの氷は土地の上に存在しているのでその溶解は海面レベルに影響する為である。

日本の国立極地研究所を中心とした国際研究グループは、過去 4000 年間の温度変動を復元し、最近 10 年間の平均気温は、過去 4000 年間に出現した温暖期と同等であり、過去 1000 年のなかでは、2 回しか起こらなかった特に気温の高い時期に匹敵することを突き止めた。気候変動予測モデルによれば、人類が排出し続けている温室効果ガスによって温暖化がさらに進行することになっているので、今世紀の終わりのグリーンランドの気温は過去 4000 年の気温変動範囲をも超えると懸念されている。

(3) メタンの湧出の問題

地球温暖化が北極圏に影響を及ぼしている問題の一つとしてメタンの湧出の問題がある。メタンは地球温暖化をもたらす温室効果ガスの一種で、その温室効果は同量の炭酸ガスの 21 倍である。2009 年頃、研究者らは西スピッツベルゲン大陸棚縁辺の北極海の海底に大量のメタンガスが存在することを突き止めた。それが大量に地表に湧出することで世界的な気候変動がさらに激化するのではないかと懸念され始めている。この海底に眠るメタンガスの埋蔵量は大気中に存在する量の 3 倍にもなるとされている。もしも大気中のメタンガスが 2 パーセントでも増加すれば、急激な温暖化が引き起こされ、人類に巨大な打撃を与えることとなる。しかし、科学者は現在は種々の理由でメタンの大量放出は近い将来には起きないとしている。

温暖化の為、北極圏の永久凍土が溶け始めている。これも何万年にもわたって閉じ込められていた二酸化炭素やメタンが放出されると云う点で容易ならざる問題である。その点を 2012 年 8 月英科学誌ネイチャー (Nature) の研究論文が警告している。科学者の分析では、地球温暖化と海岸侵食によって永久凍土が溶け出し、これまでに考えられてきた量の 10 倍の量にあたる年間 4000 万トンもの炭素が放出されている。こちらの方は温暖化の進行に伴い、放出が拡大し、それが更に温暖化を加速すると云う悪循環が懸念されている。

2. 地球環境への影響

海面上昇

先ず第一に、北極海の氷の溶解は全球的な海面上昇は惹起しない。この氷は海水の凍ったものであり、溶けても海面上昇を引き起こさない。一方、北極域に位置するグリーンランドでの氷床は地表の上に存在しているので、その溶解は全球的な海面上昇をもたらす。

熱塩循環

熱塩循環 (thermohaline circulation) とは、おもに数百メートル以深の中深層で起こる地球規模の海水の長期循環のことである。これは海洋の世界的なシステムでありこの循環の過程で水塊は (熱) エネルギーと物質 (固体、溶解物質、ガス) を運んで地球上を約 1200 年かけて周回する。その為、熱塩循環は地球の気候や自然環境に甚大な影響を持っているとされている。循環現象はグリーンランド沖は冷やされて重くなった海水が沈み込み、海洋大循環の出発点になっている。グリーンランドの氷床が融けて淡水が海に流れ込むことで沈み込みが起きにくくなり、海洋大循環が弱まってしまう可能性がある。それは、全球

規模の激しい気候変動を引き起こすとされている。

生物への影響

北極圏での地球温暖化の影響は、その地域に生息する生態系にまで影響を及ぼしている。「ホッキョクグマ」は、絶滅の危機に晒されている。ホッキョクグマの数は現在2万頭から2万5千頭でそれが減少している。

極端な気候現象

北極域での温暖化傾向は全球的に極端な気候現象を惹起している。温暖化によりジェット気流が弱体化し、それが種々の影響を与えている。北極域での気候変動も全球的な気候現象の極端化の一因となっている。

加速化する温暖化

海氷の消失は全球での温暖化を加速化する。白が黒に変わる。水は太陽光を90%吸収するのに対し、雪は10~20%しか吸収しない。よって加速度的に溶解する。しかし、より重要なのは全球へのインパクト。6月の北極圏の氷は全地球表面（510百万平方キロ）の2%（11百万平方キロ）に過ぎないが、この2%が夏季の2か月間に浴びる太陽光は赤道付近の最も強い太陽光より大きい。

この事実から学者は夏季の氷の消失は過去から今日までの全ての人為行動由来の温室効果ガスと同じ規模だと論じている。要するに、夏季に北極の氷がなくなることは現在までの人為由来の全ての温室効果ガス排出がもたらす温室効果に匹敵し、それが追加的に加重されることになる。北極の氷が完全になくなれば地球全体の温暖化は凡そ倍の率でひどくなると云う事だ。

結論的に

従来の気候変動モデルでは北極の氷の溶解は2100年まで起きないと云う前提だった。北極圏で今年2012年に起きた現象は、IPCCのモデルでは2065年までは起きないとされていた。

それが今日尋常でない速度で溶けている。従って地球の温度上昇は更にひどくなるだろう。このことは事態を非常に深刻化させている。この点だけからしても現行の議論やプロジェクションは現実性を欠いていると云うべきだ。事実はもっと深刻だ。今後10~20年で

どんなに CO₂ の排出削減に努力しても温暖化の傾向は不可避免的に続くと見るべきだ。

一方、永久凍土の溶解も不可避だとされている。最も深刻な予測モデルでは凍土からのメタンの排出は温室効果ガスの現在の人為的排出規模に匹敵する量だとされている。北極圏と気候変動の問題を分析するに当たっての最大の問題は科学的予見が常に楽観的であって、危険を正しく予見できていないと云う点である。非常に深刻に危険を予見する分析は「故意に危険を誇張する者」(alarmists) とされてきた。実際、夏場における北極海の海水の溶解は今日までの全ての人為的温室効果ガスの排出量と同じ程度の温室効果を持つと論じている学者もいる^(*)。要するにそうなれば地球の温暖化は 2 倍の勢いで進行すると云うことだ。

(*) Peter Wadhams ケンブリッジ大学教授 (The Global Oceans Physics Program, Cambridge University)

3. 地球温暖化は食い止められるか？

ところで地球温暖化は食い止められるのか？ 現在の気候変動交渉では、工業化前からの地球平均気温上昇を 2℃ (ないし 1.5℃) 以下に抑制することが目的とされている。これは「2℃目標」と称され国連交渉の決定文書に書き込まれている。しかし、この「2℃目標」が実現したら地球環境は良好に維持されると云うことではない。

産業革命以降現在までに上昇した全球平均気温は僅か 0.7℃程度である。それでも非常に深刻な被害が出ている。更に 1.3℃上昇することにより、更に甚大な影響が懸念される。地球環境だけでなく経済的、社会的、政治的にも影響が起きる。例えば伝統的な農業は壊滅的な影響を受けるだろう。それが多数の難民を生む可能性は高い。これは実に膨大な被害予想のほんの一部だが、この一点だけでも巨大な政治的衝撃だ。

しかし、2012 年後半以降公表された複数の国際機関の分析では、2℃目標は達成が厳しいとされている。国連環境計画 (UNEP) の最新の『排出ギャップ報告』は、2℃目標のために必要な排出削減量と現状の各国の削減努力との間には約 80 億～130 億トンものギャップがあるとしている。このギャップは 2011 年よりも 20 億トン拡大している。世界銀行も、『熱を下げろ～なぜ 4℃上昇を回避しなければならないか～』という分析で、現在の各国が誓約している削減量では 2100 年に 4℃上昇し、未曾有の熱波、深刻な干ばつ、大規模な洪水、生態系への重大な影響が発生すると警告している。

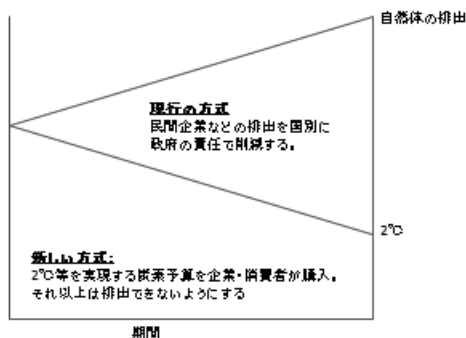
国際協力 何が問題なのか？

このような国際機関の警告を受けて、国連における国際交渉はどうなっているのか？一言でいえば顕著な進捗は全くと云える。2012年11～12月、ドーハで行われた気候変動枠組条約（UNFCCC）のCOP18では全ての国が参加する新しい国際条約を2015年までに交渉して2020年より実施することが決まった。この交渉は地球環境の将来や人類の将来を決める重要なものとなる。

問題の核心はこの交渉で現行制度の諸問題を解決できるかどうかである。現行制度の問題とは何か？それは政府の責任で私企業のCO₂排出を削減するという根本思想に由来している。現行の制度では政府には科学の要請とは無関係に恣意的な削減量を誓約することが許されている。しかも政府と云うものは元来他国よりも負担を軽くしようとするものだ。本来は大幅な削減が実現しなければならないところを負担縮小を本旨とする政府に責任を負わせている。しかもこの仕組みは元来先進国が1990年比で僅か5%と云う小さな削減をするために編み出されたものだ。今日事態は全く違っている。政府の責任とする従来の制度を踏襲して行けば、恐らく2℃目標はおろか3℃すらも実現できないだろう。

どうしたら良いのか？ 北極の将来は？

2℃等の目標を達成するには全球でCO₂を排出できる上限（炭素予算）を科学に基づいて設定し、排出企業は全体でそれを超えないような制度を作る必要がある。新しい制度は2℃等の目標を実現する炭素予算を排出権の形で市場に放出し、排出権代金が既に支払われている化石燃料しか燃焼できないと云う仕組みにする。この制度では汚染者が市場で生まれる炭素の価格を支弁する形で温度目標が必ず実現する。炭素価格の機能で必要な技術投資を喚起して行く。更にこの新制度では汚染者が炭素予算を購入するので大規模な新しい資金収入が生まれて来る。これは気候変動資金として各国政府に還元する。途上国がかねてから要求している潤沢な資金が初めて生まれる。



国際社会がこれまで実績を上げられなかった「国の責任で排出を削減する」という思想を捨て去り、市場的アプローチを採用したら、温度目標を達成できるだけでなく、最も困難な資金提供問題を解決して途上国を救済することができる。

それは実現するのか？

2013年から始まる交渉がどう云う形で収まるのか判然としない。しかし、各国政府が長年にわたり徹頭徹尾追求してきた政府責任による国別削減制度を変更することは恐らく難しいだろう。2020年から実行される新条約は京都議定書型の国別削減制度を軸として種々の工夫が施され、削減野心が引き上げられると云う努力が行われるだろう。同時に新条約の枠内か枠外かはともかく、市場によるコスト削減の工夫も行われるだろう。

その際、2℃等の温度目標は採択されるのかどうかも問題となる。現在の交渉上の議論ではボトムアップ的アプローチを指向する人々によって、温度目標は設定すべきでないという議論も根強い。寧ろ国にはその状況に合致した低炭素社会を建設すると云う粘り強い国家努力が奨励されるべきで、2℃のような全球目標は不要だとする議論である。この議論は米国や日本の一部で盛んである。他方において、これだけ深刻な問題である以上、今後相当の低炭素投資が行われて行くだろうが、そう云う投資努力をしたが結果は5℃等と云う人間が居住できないような地球を作り出してしまうこともあり得る。人類にとって取り返しがつかないことが起きる。だから、責任政府が投資する以上は目標が必要で、それを実現できる解決策を模索するべきだ...そういう意見も当然根強くある。

真の問題はこれまで分析してきたとおり、北極の地理的条件と地球全体の気候変動の深い関係、特に両者は反響し合って事態を悪化させる可能性が大であることである。科学的な予想やモデル計算を上回って加速進行している状況からすると、真に一層憂慮するべき事態である。温暖化の進行により北極域のもたらす恩恵が利用されて行くのは是とされるにしても、温暖化の進行を早く完全に食い止めなければならないと云う地球的で歴史的な必然性は忘れられるべきでない。

再三論じた通り、北極が地球全体の温暖化を加速していることからして、北極域に対する世界の関心は今後非常に大きなものになろう。その関心は単に環境領域に留まらないで、北極域全体のガバナンスに影響する。単純化すると北極は北極圏の関係諸国の「所有物」ではなくなる。我が国はそういう展望のもとでこの地域に対する関心を維持し、究極的にはこの地域が開かれた領域となるように働きかけて行くべきだ。

主要参考文献

本稿は筆者自身が参加した気候変動交渉に由来する知見と以下の資料を素材にして筆者が纏めたものである。意見にわたるところは筆者の私見である。

- ▶気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書統合報告書
- ▶「Stop the 温暖化 2008」環境省
- ▶地球温暖化懐疑論批判 IR3S/TIGS 叢書 No.1
- ▶「北極へ」情報・システム研究機構・国立極地研究所
- ▶Ramez Naam “Arctic sea ice: what, why, and what next” Scientific American Sept.21, 2012
<http://thinkprogress.org/climate/2012/09/24/894511/arctic-sea-ice-what-why-and-what-next/>