HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	地球温暖化の特質と現状(北極中心)並びにその対策
著者	佐藤，卓司
引用	季刊北海学園大学経済論集，55(1)：135-155
発行日	2007-06-00

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

《研究ノート》

地球温暖化の特質と現状（北極中心）並びにその対策

佐　藤　卓　司

前　置　き

地球の温暖化が現実になり，1980年代から顕著になった地上気温の上昇も1990年代から2000年代初期の今日に至って益々その度合いが加速し，気象学者中心に専門家は地球のこの大きな問題の主な原因は温室効果ガスの増大であるとほぼ断定している。

世界の主要な科学雑誌に掲載された彼らの報告や論文を評価する国連「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）作業グループの研究者の報告を各国の政府やマスコミが信ずるのも当然のことだろう。

また産業界でも温暖化に対処するための新エネルギー，非化石燃料の開発に真剣に取り組み，なかには現実に利用されている新エネルギーもある。

しかし又一方では気象学者を含む地球物理学者，地球科学者，地質学者，環境学者の中には地球の温暖化が温室効果ガスの排出によるものであることには科学的根拠が欠けていると捉える専門家もいるのも事実のようだ。確かに絶えず自由自在に変化し，流れ動いている流体としての大気や海流の複雑微妙なメカニズムの具体的な解明は困難とされているし，その上専門的知識や経験に基づく直観や洞察力，経験による判断力はコンピューターに組み込むことはできない。確かに気象現象をモデル化し自然現象の物理的プロセスをパラメータ化（気象現象を構成する様ざまな要素を極端に単純化して少数の任意の変数にしてとらえて扱う数学的手法）して数値や記号に置き換えて計算した結果でもって，最新技術を駆使した高性能の大型コンピューターを利用しながら温暖化を予測しているが，その精密度は経験に基づく直感や判断力より常に高いかというと必ずしもそうではないそうだ。

ともかく毎年定量的に増加蓄積して大気中の濃度が年を追うごとに絶えることなく高くなっていく二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスは微量でもその効果を発揮するというこのガスの本質からして，温暖化の原因になっていることはまぎれもない真実だし，現に温暖化は進行している事実を最も重視すべきである。

であるから肝心なことは，太陽輝度などの自然のメカニズムの変化にも温暖化の一因があることを科学的に証明できない限り，温暖化温室効果ガス原因説を退けることはできないが故に，加速する地球の暖化を少しでも阻止すべく，まだ余りにも少なすぎる代替エネルギー，非化石燃料エネルギーの実用化の拡大の早急な実践をはかることだろう。

地球温暖化を学問的に根拠づける定説とか，この地球規模の大問題を学問としてとらえてきた歴史的背景もないし，またこの問題を専門とする科学者もいないとされているだけに，科学文明

が非常に発達した21世紀の今日にあって，地球という大自然のメカニズムの解明に向かって学問として意義づけを行うことよりも，現在最も急速に温暖化が進行している北極の海氷や世界の山岳氷河の融解・消失を可能な限り最小限にくい止めるためにも，先進国や中国，ロシア，インドのような新興大国が温暖化防止対策に真剣に取り組み，代替エネルギー，省エネルギー（自然エネルギー）の開発，現実利用の方向にできるだけ早急に向かうよう努力することのほうが，このかけがえのない地球救済のために最も重要なことだろう。

南極と北極が氷雪の世界で占められ，暖気と寒気との間の温度差，暖流と寒流の海水温の差，その落差が大きいが故に大気圏も海洋圏も活性化し，地球の健全さが保たれ，生物圏の多様性が保持され，ひいては人類まで健全な地球という大自然の奥深い恩恵を心身から受けながら英気を養い精神を陶冶して活動できる，そういう地球に引き戻すよう努力する時代に現在各国の政府や企業と同じように私たちも又いるのではないのか。

とりわけ1980年代から地球は過大な熱を受けて病んでいる。動物種は絶滅種も増加している。地球環境の悪化が進行しているのに，環境の保護に十分に配慮した産業の発展や先進国や新興大国の各国それぞれの国をあげてのライフスタイルの転換をはからなければ，これまでにない天変地異や流行病による犠牲者は膨大な数になり，もはや後戻りすることのない荒れ狂う地球に人心は深く失望し腐敗していくのではなかろうか。

このような地球環境の悪化に陥ることを少しでもくい止めるように我々にも可能なことは何なのかを真剣に考えようという趣旨で本稿は，地球の温暖化の報告，解説，専門的研究書など28冊の書物や，フランスの新聞 le Monde，Paris-Match や le Point 等の雑誌，あるいは読売新聞，日本経済新聞からの切り抜き記事から覚え書の形で書きとめたノートを元に研究ノートとしてまとめたものである。

1　温暖化の特質について

気象学者で地球化学者のD・キーリング博士は今から49年前の1958年の国際地球観測年にハワイ島のマウナロア山中腹（海抜3,400 m）にあるアメリカ海洋大気局（NOAA）の観測所で非分散赤外分析という方法で，同時にまた南極点でもグラブサンプリングという空気を採取後から分析する方法で大気中の二酸化炭素の精密な測定を行った。

季節変化によって激しく上下しながらジグザグ曲線をえがいて，そして左側から右側へじわじわ押し上げられていく上昇カーブは大気中の二酸化炭素が年々1.0 ppm から 1.5 ppm ずつ増加していることを示しているのだが，この有名なキーリング曲線はこういう形で二酸化炭素が増加している原因は自然界には存在せず，化石燃料の消費などの人間活動にあることは間違いないだろうと言われてきた。

また統計によってきちんと石油，石炭，天然ガスなどの化石燃料の消費量から二酸化炭素の約58%が大気中に残ると仮定した場合のこのガスの濃度が，マウナロア山で測定された実際の二酸化炭素濃度と一致して右肩上がりに漸次上昇カーブを描いていることからも，大気中の二酸化炭素濃度の増加は経済や人間活動による化石燃料の消費によってもたらされていることは明らかだとされてきた。ということは残りの42%が毎年大気中から取り除かれてその分だけ海や森林に吸収されていると推測されるのだが，この事が具体的にどのようなメカニズムで吸収されているのかの科学的な解明はいまだなされていないという。でも海が大気中の二酸化炭素を取り除いて

いるのは事実で，このことをまず捉えてみよう。

大気と海洋の間では二酸化炭素とこのガスが海中に溶けた炭酸が吸収されたり放出されたりして交換されている。そこで大気中の二酸化炭素の圧力（分圧）が海水中の炭酸の分圧よりも高ければ海は二酸化炭素を吸収するし，反対に海水中の炭酸の分圧の方が大気中の二酸化炭素の分圧よりも高ければ海は二酸化炭素を大気中に放出する。この時分圧差が大きければそれだけ吸収量や放出量が大きくなる。その上海水温が低く植物プランクトンの光合成が盛んな海域は炭酸の分圧が低く，それだけ二酸化炭素を吸収する海域であり，こういう海域は主に太平洋，大西洋の南北中緯度海域，インド洋南方中緯度海域である。

一方海水温が高かったり，あるいは植物プランクトンや動物の死骸，糞，溶存有機物質が最も多く沈降分解して炭酸濃度の濃い中層水が湧昇流となって表層海水域に上昇している海域は炭酸分圧が高く二酸化炭素を放出しているところで，赤道付近やアリューシャン列島付近，北アメリカ西海岸沖がこの海域に当たる。

一般に大気中の二酸化炭素は中緯度の海水温度が相対的に低い冷水域では，海水中の植物プランクトンの光合成が活発になり，大気中の二酸化炭素の吸収もまた活発になる。

一方赤道付近では海水温度が高く，海水も中層から湧き上がるため，この海水域から二酸化炭素は大気中に放出されるが，海洋全般からすれば海面下約75～100 m ほどの海洋表層圏と大気との間で二酸化炭素の放出，吸収がなされる。又水深70～100 m 前後の混合躍層とよばれる分離帯では海洋表層部と温度が急に下がる中深層部とがはっきり分かれている。そして海水中には二酸化炭素は炭酸水素イオン，炭酸イオン，炭酸となって約90対9対1の濃度比（弱アルカリ性の ph 8，海水温20℃を基準にして）で溶けていて，特に海洋表層圏に溶けている全炭酸が炭酸ガスとなって大気との間で吸収，放出の交換が数十年から百年ぐらいの期間に渡ってゆっくり行われている。

一方無機の炭素化合物であるこの全炭酸は海面下1,000～1,500 m 付近，つまり海洋中層圏で最も多くなり，炭素量に換算して約1兆トンもある表層圏に対してその38倍の38兆トンもの膨大な量が貯蔵されているのだが，この中，深層圏と表層圏との炭素の循環は数百年から一千年もの非常に長期に渡る年月がかかっているとされる。

南極海からニュージーランド南沖を北太平洋中緯度海域まで深層大循環にのって北上した深層水はアリューシャン列島付近そして北アメリカ西海岸沖の中部太平洋で沸昇流となって浮上し，有機物が分解されて豊かな栄養塩と豊富な炭酸の供給を受け，植物プランクトンの光合成も活発であり，動物プランクトン，魚類とりわけマイワシが大量に発生し，サケ，マス，スケトウダラ，カニ等も豊富にとれ，オホーツク海，アリューシャン列島や日本全体の沿岸，沖合いを含むこの太平洋北西部は他の海域に比べて漁獲量の多い世界最大の漁場になってきた。

ところで海面から2,000 m までは中層水とも言われるが，それより深い3,000 m のところは深層圏の深層水となり水温も0℃近く非常に冷たく酸素も少ないし海流の動きも遅く，その上の中層水ともそれほど混合しないで独立して流れている。この深層水の世界の海洋全体の平均水温は過去50年間で海表面から3,000 m のところで0.06℃上昇し，表面から300 m の表層圏では0.31℃上昇していることをアメリカ国立海洋センターの研究グループがつきとめ，又カリフォルニア大学スクリップス海洋研究所は「南太平洋（南極海）の平均水温（700～1,100 m）が過去50年間で0.17℃上昇している。」ことを明らかにした[1]。

またアメリカ海洋大気局（NOAA）とアメリカ航空宇宙局（NASA）は2003年までの10年

間に深さ750mまでの表層圏（表層水）の海水温は0.09℃上昇したが，以後南極やグリーンランドの氷が溶けて海水に流入した結果2003年から2005年にかけての2年間で逆に0.03℃下がったとも発表した。しかしこれが海洋全体の平均海水温なのかどうかは分からない。しかし2007年になると加速する温暖化によって大気などから多くの熱を吸収してきた結果，海洋全体の平均海水温が0.04℃～0.06℃上昇したことを国連「気候変動に関する政府間パネル」の今年の国際会議で発表されたが，結局熱容量が大気より40倍も大きくそれだけに大気よりもなかなか上昇しにくい海洋が上昇に転じていることは間違いないようだ。

いずれにしても大気圏と特に海洋表層圏との間では二酸化炭素の吸収，放出の交換が普段なされていて，大気から海洋に吸収される二酸化炭素は炭素量に換算して105ギガトン，又海洋から大気に放出される二酸化炭素は炭素量で102ギガトンで結局海洋全体では年間正味差し引き3ギガトンの炭素が大気から吸収されていると推測されている。

しかし表層水だけでなく38倍もの濃度の炭酸が溶けている中層水の海水温も上昇していることは海水の二酸化炭素分圧を益々高めて，これまでのこのガスの吸収海域が放出海域に変化するのではないかとか，海洋全体で3ギガトンの二酸化炭素の吸収の余裕がこのまま持続するものなのかという疑問は残る。

勿論大気圏は海洋圏とりわけその表層圏との間で年間約900億トンの炭素が交換されるだけでなく，陸上生物圏との間でも炭素は交換される。陸上植物の炭素同化作用によって年間約1,000億トンとみられる量の二酸化炭素が大気中から吸収される。しかし植物は夜間動物同様呼吸するし，又枯れ木，落ち葉，落ち枝となったりして腐食し土の中の有機物の分解などでほぼ同じ量の二酸化炭素を大気中に放出している。しかし森林を中心に植物が農地転用とか木材伐採，放牧あるいは焼畑などで消失すれば，その分たとえば約58%も残留する二酸化炭素が吸収されにくくなり，より多くの炭酸ガスが大気中に濃縮されることになる。であるからそうならないように大気中の二酸化炭素の濃縮を緩和するために森林は必要なのだが，この森林の有機炭素の平均滞留時間はサヴァンナ（疎らな樹林の生えた草原）のそれの4年より長い10～20年とされる。そこで世界の森林面積は1995年の時点で4,100万km^2となっていたのが2000年には約3,500万km^2に減少し，2006年には3,000万km^2近くまで更に減少しているようである。

『ワールドウオッチ研究所　地球環境データブック2006－07』によれば2000年代の最初の5年間は1990年代の同期よりも約19%も森林面積が縮小していて，なかでも最も消失が多かったのはアフリカの3.2%，続いて南アメリカの2.5%で減少面積はそれぞれ2,020万1千ヘクタール，2,125万6千ヘクタールとなっている(2)。

地球の肺と言われたアマゾン熱帯雨林のあるブラジルは総面積の3.2%を失い，1990年代から森林伐採が加速しているそうだが，逆にヨーロッパ大陸の森林面積は少し増加し，森林管理評議会の認証森林面積上位10カ国中スウェーデン1,042万ヘクタール，ロシア670万ヘクタール，ポーランド625万ヘクタールでそれぞれ2位，3位，4位と上位に位置づけられている。又これまで積極的植林計画を行ってきた中国は森林面積が11%も拡大したと報告されている(3)。しかし人間活動による年間炭素排出量の25%も占める森林伐採により，1990年から2005年にかけての森林面積の縮小は世界の森林の炭素吸収量を5%以上低下させているそうで，この低下をくい止めるためには他の国々も相当大規模に森林事業を敢行しなければいけないようだ。これからは先進国が環境技術を駆使し，資本も十分に投下できるような事業団を設立して，その運営に当たりながら平地や荒野，半砂漠地帯に大規模な植林事業を敢行することも必要になってくるのでは

なかろうか。

以上のようなわけで海洋圏も森林中心の陸上生物圏も大気圏に放出蓄積され続けている二酸化炭素を効率的に取り除いてはくれないのである。その一方で化石燃料の消費に基づく二酸化炭素ガスが大気中に人為的に放出され続けて，年々その濃度は高くなり現在では地球規模で温暖化は加速されているのだが，元々この地球の気象の暖化が顕著になったのは1980年前後からである。

今から25年前の1982年の「気候への大気中の炭酸ガス量の増加の影響」，また1984年の「気候の人為的変化」に関する当時の米ソ共同委員会の出した結論では，1958年から1980年までの22年間に二酸化炭素濃度は22 ppm上昇し約340 ppmに達したとされた。

この間大気中への二酸化炭素の放出量は大気濃度で39 ppmとされ，炭素循環に関する研究から人為的に放出された二酸化炭素の残りの部分17 ppmは海洋に吸収されたとなっている。この共同委員会の報告書では大気中に人為的に放出された二酸化炭素の50～60%が残っており，20世紀末には大気中の二酸化炭素含量は380～400 ppmにもなるだろうと予測された(4)。

しかし現実には2000年には368 ppmだったから予測より12 ppmも少なかった。とはいえ1994年に358 ppmだったから，この6年で，年平均1.66 ppm以上は着実に増加してきたことに変わりはない。

この1980年代にはアメリカ航空宇宙局（NASA）ゴダード宇宙研究所のJ.ハンセン博士が1988年6月2日のアメリカ上院のエネルギー天然資源委員会の地球温暖化に関する公聴会で1980年代の10年間は過去1860年から1950年までの90年間と同じくらいの速度で地上気温が上昇してきており，温室効果が地球の気象を変化させているとして次のような発言をした。

「現在地球が暑くなっていることは夢物語でもSFでもなく，事実なのです。これから数十年後人類が経験したことのないような温度上昇が地球を襲うのです。」そして「温暖化の到来は99%確実」と証言した(5)。この「99%発言」を根拠づける詳細な状況証拠は明言されなかったが，下層大気の気温が二酸化炭素濃度に対して対数的に上がることを気象モデルを使用して明らかにしたアメリカ海洋大気庁（NOAA）地球物理流体力学研究所の真鍋淑朗博士等も増加してやまない温室効果ガスこそ現在の地球の温暖化の主要な原因であるとした。

この1980年代には38℃前後の記録破りの高温がアメリカでは続き，なかでも1988年は最も暑かった年であった。その後1990年代は1980年代より更に高温となり，この高温傾向は2000年代の今日でも持続している。

気象庁編『気候変動監視レポート』によると2004年は世界の平均地上気温は差＋0.45℃で，世界各地の約1,200地点の観測データから1880年の統計開始以来1998年，2000年，2003年に次いで4番目に高温の年であることが明らかになった。

現在温室効果の促進要因の約64%をになっている炭酸ガス濃度が1958年から2004年迄の46年間に年単位で1.0 ppmから1.2～1.5 ppmそして1.8 ppmから2.0ないし2.2 ppmあるいはそれ以上の割合で年を追うごとに漸次増加の度を増し，1958年に314 ppmであったのが，前述のように1980年には約340 ppm，1988年には350 ppm近くにまで上昇し，そして1994年には358 ppmに，又10年後の2004年には378 ppmにまで達した。この2004年までの10年間に20 ppm増加しているから，年平均2.0 ppmずつ増加したことになり，2年後の昨年2006年には382 ppmぐらいまでには達しているものと見られる。アル・ゴア『――不都合な真実――，ランダムハウス講談社，2006年』によると前年の2005年マウナロア山の上空で測定された二酸化炭素濃度は381 ppmであったというから当然そのくらいの濃度にはもう達しているだろう。

確かに同じ年でも春から初夏にかけて（4月～6月）と10月から冬場にかけては1.0 ppm前後の増減はあるし，又緯度もさることながらとりわけ北半球と南半球では2～3 ppm前後の増減の相違はあるにせよ，つまり化石燃料の放出源の多い北半球のほうがそれだけ南半球よりも炭酸ガス濃度が高いことが気象衛星や飛行機による計測で確認されているのだが，この絶えることなく増加し続ける炭酸ガスの地球大気への拡散浸透が大気圏の暖気化を増強してきた結果，雨がちで曇天の日数も増え，昭和年代には真夏でも33℃から時にはフェーン現象で36℃になる日もあったが，それが現在では38℃前後の日が続いたり所によっては40℃前後の猛暑に襲われたりするようになったし，年間を通じて暖かい日数が相当増加したり暖冬も多くなり積雪地帯だった地方に雪が積もらなくなったりで，又北海道でも日中雪だったのが夜には雨雪か雨になったりすることも多くなった。

勿論気温の過去30年の平均値よりも最高，最低気温ともに高い日数も非常に増えた。

炭酸ガスをはじめとする温室効果ガス濃度の増強は海洋と大気との間の自然のリズムの相互作用を漸次圧迫しつづけて衝撃を与え，突然急激な気象のゆらぎ，変動を引き起こす。

つまり熱波とか旱魃あるいは暴風雨とか洪水を引き起こしている。勿論地球の平均気温の上昇に影響を与えているのは，大気中の二酸化炭素などの増強だけではなく，太陽定数値（すなわち地球－太陽間の距離が平均値の場合，大気上面へ入射する太陽エネルギー流速）とか地球の反射率（アルベド）があげられる。

ブデイコ，ロノフ，ヤンシン『地球大気の歴史――その進化と未来を探る』によると40億年前から10億年前の地球は全般に火山活動やこれと関連して地球内部のマントル上層部からの脱ガス活動が非常に激しく，地質時代の前期カンブリア紀には炭酸ガス量は現在より100～1,000倍も多く，水蒸気も多かった。であるから現在よりも高温の時代であったようである。

1980年代の下層大気の平均気温は15℃であるが，カンブリア紀の古生代から中生代をへて新生代，それも新第三期の鮮新世までのこれら「顕世代の各世の気温と現時点での気温との差に関する計算結果に基づく表3.3の値を用いる」と「全期間を通じて地球平均気温は現在より2.8～11℃高かった」(6) とされる。つまりこれら各地質時代の地球の平均気温は18～26℃であったようである。気候理論による研究から，より温暖な気候をもつ顕世代の時代では，熱帯の気温はあまり上昇せず，中緯度とりわけ高緯度の気温は現在値より著しく高く割合温暖であったので，常緑植物からなる森林も存在し極地方の氷原は消失していたとされる。それで極地から熱帯にいたる地上の気温は10℃から40℃の現在よりは相当狭い温度範囲を保っていたが，炭酸ガス濃度が現在の0.0380 ppmの3倍前後から4倍近くの0.10～0.15 ppmもありながら，無機栄養植物のらん藻類などの光合成が盛んになされて炭酸ガス濃度を安定させていた。それに太陽定数（太陽から来る放射エネルギー）が現在値（1980当時）よりかなり低かったこともあって，地上気温はそれ程高温にはならなかったようだ。

先カンブリア紀に相当する11億年前から6億7千年前にかけての後期原生代の初めには太陽放射量は現在値より8％低く，又この時代にすぐ後続する6億7千年前から5億7千年前の後期原生代の末期には太陽放射量は現在値よりも3％低かったとされ，この時代には地上の気温はそれぞれ11℃とか4℃も低下したようである(7)。しかし地上の気温は太陽定数の低下によってだけでなく，雪や氷のアルベド（反射能）の増加によっても低下するし，勿論炭酸ガス濃度の増減によっても左右される。

そこで26億年前から始まる早期原生代より更にもっと遠い30億年前から35億年前も前の太

古界あるいは40億年も前の深太古界にまでさかのぼると，太陽放射量は現在値より10数%から20%も低かった〝暗い太陽〟の時代だったといわれる。逆から言うとつまり現在の太陽放射量は単純に逆算すると40億年前の深太古界より20%，11億年前から5億7千年前の後期原生代よりも8%から3%増大しており〝明るい太陽〟の時代に我々はいるのである。太陽の放射エネルギーその熱量と表裏する太陽光の輝度は定常的に増加し，40億年に20%つまり10億年当たり5%の割合で増大したとされているから，1億年前から1000万，100万，10万，1万，1000，100年前といった具合に現在に近づけるとこの太陽定数はそれぞれ0.5%，0.005%，0.0005%，0.00005%，0.000005%，0.0000005%の割合で増加してきたことになるだろう。しかし現実にはこれほど単純に割り切るわけにはいかないだろう。事実太陽活動も変化しているそうで80～90年程度の周期を持った太陽の有効放射の変化，すなわち太陽定数の変動は小さくても地球に及ぼす放射の波長別の質的内容が変わってくるために起こる影響と，オゾンおよび大気の透過度の変化を媒介として冬期主に中高緯度にその影響を与える20数年の太陽二重周期の変化があると言われる[8]。

しかし電離層内現象や地磁気の変動と違って大気大循環のような対流圏内の気象現象は，太陽との関連がかなり複雑な為いまだその仕組みがあまり明確ではないとされる。

ところでエネルギー保存の法則から地球が太陽から受け取った70%の太陽放射の熱量（短波太陽放射の吸収によるエネルギー獲得）は地球から赤外線として放出する熱量（長波赤外線放射によるエネルギー損失）と釣り合う。であるから結局太陽から地球が受け取ったエネルギーと地球から宇宙へ逃げていく熱量は同じで，太陽エネルギーの約3分の2は地表や雲などを暖めるのに使われるがそっくりそのまま同じ量が地球から宇宙へ逃げていく。そこで大気の温室効果を果たすのは雲や水蒸気のような自然現象によるものと炭酸ガス，メタン，オゾン等の人為的な温室効果ガスの二種類あるが，これら全てがない場合地表の温度は−18℃になる。そこで太陽光が0.1%増加すると地上気温は0.13℃上昇するといわれるから，上記のように1億年で太陽光が0.5%増加するとその5分の1の2000万年で太陽光は0.1%の増加すなわち0.13℃上昇することになる。とすると20万年では0.0013℃，2千年では0.000013℃，20年では0.00000013℃という非常に微々たる上昇にとどまり，数十年単位では太陽輝度による地上気温の上昇は殆ど考慮しなくてもよいことになる。事実気象の専門家は太陽輝度の増加は無視できるとしている。

1980年代よりも1990年代から2000年代の現在の方が温暖化がより顕著でその進行も加速しているようで，その主因である炭酸ガスの早急な削減に政治の力で今すぐ取り組まなければいけないと気象の専門家は言明している。

このまま化石燃料を放置して経済優先社会を継続すると今世紀末には最大5.8℃以上も気温が上昇し，北極海の海氷は晩夏には完全に消失し，暴風雨を伴う強大なハリケーンや台風も増加し，海水も酸性化が進みサンゴ礁が溶ける危険があると国連「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC）の最新報告書が今年2007年1月23日明らかにした。

この報告書を待つまでもなく地球の温暖化は深刻な食糧危機や水不足そして健康被害だけでなく，計り知れないほど大きな経済上の損失をもたらす。又現在まで13～20 cm上昇した海面水位が今世紀中には58 cm前後も更に上昇し，日本に限定してみても約410万人が居住する東京，大阪，名古屋の沿岸域内が浸水する恐れもあるという。

その他地球環境や生態系に深刻かつ甚大な被害を与える温暖化を座視することは許されないことだと考えられる。それだけに温室効果ガスによる地球暖化についてはより多くの人々がそのメ

カニズムを知るべきだろう。そこで温室効果とはどんな現象なのかここで確認してみよう。

太陽から地球に入り込んでくる光のエネルギーを100%とすると大気中の雲やエアロゾルに反射して出る22%のエネルギーと地表面（雲や氷その他）で反射する9%のエネルギーを合わせた31%のエネルギーはそのまま宇宙へ放出されるので地上の気温の温室効果には直接関係はない。温室効果が問題なのは太陽から受け取るエネルギー，すなわち赤外線に比べて波長が短い可視光線とその周辺の電磁波が大部分であるところの太陽の放射する光のエネルギーが地表に降り注ぎ海洋，陸地に吸収され地表を温めるエネルギー51%（49%とも言われる）のうち，対流によって顕熱と潜熱によって失われる30%のエネルギーではなく，地表面から赤外線として上方に放出されたり，又その21%の熱量のうち宇宙空間に逃げ去る6%以外の15%の赤外線が大気中の水蒸気や炭酸ガス，オゾン等の温室効果ガスによって吸収されるが，その一方では地表に降り注いで地表を暖める前に大気中の雲やエアロゾルに吸収されてその雲や水蒸気を暖めたエネルギーからも赤外線が地表面に向かって出ているので地上の大気は相当暖められていく。そして温室効果ガス濃度が高くなるにつれて大気の暖化が強まっていくのである。

確かに温室効果の90%位は水蒸気になっていて，炭酸ガスよりも水蒸気の温室効果の方がずっと大きいといわれているが，大気中の水蒸気は凝結してきわめて小さな水滴や氷晶（氷の粒）となってそれらがたくさん集まってできた雲に変化しやすく，太陽放射の吸収だけでなく赤外線放射の射出もする雲は正と負のフィードバック効果にかかわり相殺し合うので，下層大気の地上平均気温にはあまり影響しないとされてきた[9]。

であるから大気中に0.1～5%（1,000～5,000 ppm）あった水蒸気が温暖化で3%以上も現在増加しているとされているにせよ，水蒸気や雲は太陽の放射エネルギーと共に自然現象として捉え，ここではこれまで述べてきた通り人為的な温室効果ガスの中でも最も温暖化に影響を与えてきた二酸化炭素中心に地球規模で進行しているこの問題をもう少し続けてみよう。

地上気温の暖化現象が持続すると低緯度から中高緯度に進むにつれて気温が上昇することは現在より3000～9000年前のヒプシサーマル（高温）時代の古気候が太陽放射の増大，太陽輝度が強化して気温に脈動はあっても平均して1～3℃も高かった時代，とりわけ後期ヒプシサーマル時代（5300～6200年前）と現在における夏の気温差（6～7月）の各緯度ごとの古植生分布の復元により以下のような変化から理解される。

気温差（6～8月）の緯度による変化[10]

緯度帯	20－30	30－40	40－50	50－60	60－70	70－80
気温変化度（℃）	－0.2	0.3	1.0	1.9	3.0	4.4

(Budyko, Izrael 編，1987)

この表から北緯20－30度より北緯60－70度，北緯70－80度の方が3.0℃から4.5℃近くも平均気温が上昇したことが分かる。現在でも北極地方中心に温暖化が急速に進行していることは，特に北極海，アラスカやシベリアのツンドラ地帯それにアルプスやアラスカ氷河が温暖化が顕著になった1980年以降2007年の現在に至るまでその実態はどうなってきたか，又どうなっているのかを捉えることで明らかになるだろう。

2　急速に進行する温暖化 —— 北極海，氷河，ツンドラ地帯中心に ——

北極海の面積は約1,000万km²あり，ユーラシア側に大陸棚があり，この上にスバールバル(Svalbard)，フランツ・ヨゼフ（Franz-Joseph)，ノバヤ・ゼムリア（Novaja Zemlja)，ノヴォシビールスク（Novosibirskije Ostrova)，ウランゲリ（Wrangel）各諸島がある。又カナダ北極諸島北半部にクウィーン・エリザベス諸島（Queen Elizabeth Islands）がある。

この北極海は冬季には約90%が海氷に覆われ，その全体積は26,000 km²にも達していた。そして氷山はバフィン湾（Baffin Bay）やグリーンランド海（Greenland Sea）に見られる。

この広大な北極海は氷に覆われているが，その下に低温，低塩分の海水（といっても海水温＋0℃から－1℃以内で塩分約35%）があるため気温はカナダやシベリアの内陸部に比べると相対的に暖かい。それでも1月の気温は－30℃から－40℃まで低下するが，最も暖かくなる7月は0℃前後にまで気温は上昇する。

1年のうち8カ月は雪で覆われる北極海は冬は晴天が多く，夏は曇天で霧の日が多い。又北極海中央部の海氷は夏でも消滅せずに存続しそこに何年も存在したいわゆる永久極氷であり，氷冠面積は夏季には700～800万km²，冬季には1,200～1,500万km²と夏期の2倍前後にまで拡大してきた。

アラスカやシベリア沿岸部以外の海氷は殆んど夏になっても消滅せずに存続してきた多年氷で，厚さも2～3mから最大で6mにも達するものや，反対に厚さ1～2cm程度の新年氷もあり，そして氷盤どおしの衝突による多重氷や氷丘脈など形状の複雑な凸凹の激しい海氷内部には細長い水路（リード）や沿岸ポリニアが形成されたりする。

巨大な氷に覆われた氷原はいろんな形状を呈する。海流の活動で流氷としてゆっくり漂流し，冬期には陸地の浜辺にまで前進して接近し，夏期には縮小していくつかの通り道をつくりその周縁では海氷が板状に分解したりする。こうして堅い氷の殻で覆われた氷状を呈したり，氷塊が乱雑に散乱したり，あるいは海氷が広大な範囲にわたってゆるやかな波のような起伏をえがきながら展開するびょうびょうたる氷原であったりする。しかしこの北極海の海氷も最近の10年間に徐々に縮小しており，2000年，2001年の気象庁編『気候変動監視レポート』によると北極を含む北半球の春および夏の海氷面積は1950年代以降およそ10～15%減少し，この数十年晩夏から初秋にかけての期間北極の海氷の厚さは約40%も減少したと報告された。

更により一層精密にアメリカ航空宇宙局（NASA）のNIMBUS 7号の多重チャンネルマイクロ波走査放射計（SMMR）（1978年10月～1987年9月）およびアメリカ雪氷データセンターから提供されているDMSP衛星のマイクロ波撮像装置（SSMIT）（1987年10月～2005年9月）による観測データから求めた海氷密接度データで算出したところによると，北極海の海氷面積は1979年以降1987年までは平年より大きい状態で推移していたが，1987年から1990年にかけて減少傾向となり，1989年から平年より小さくなった。

1975年当時アラスカのバロー岬（Point Barrow —— 北緯71度18分）沖合いのボーフォート海（Beaufort Sea）は7月でも氷に閉ざされた開氷面ゼロの氷原に見えていたようだが，温暖化が顕著になった1980年代それもとりわけ1987年以降には10年で4.5%ずつ海氷の減少速度が加速し，その結果この1987年から6年後の1993年に北極海の海氷面積は一時平年値まで回復するけれども海氷の減少傾向がずっとそのまま基本的にあったため，加速する勢いが生じてしまい，翌1994年以降再度平年より小さくなったまま現在まで減少し続けている。

従来アラスカやシベリア沿岸地域では夏期には海氷は殆んど消滅するところだったが，それが一層顕著に海氷面積を拡大して 1998 年 9 月 30 日の時点ではボーフォート海は隣接のチュコート海（Cukotskoje More）とともにかなり北方までの広大な海域に渡って海氷ゼロ海域へと変貌してしまった。しかし海氷面積の拡大は温暖化ばかりに起因するのではないだろう。アラスカ大学国際北極圏研究センター所長赤祖父俊一氏によれば，北極海の海氷の減少は北大西洋の暖かい海水が流入してきたためとしているが，太平洋側でも最近数年の強い南風によって海氷はアラスカの海岸から北方海域へ押し流されてきたが，2005 年から海氷はアラスカ側に戻りつつあるという[11]。しかし北大西洋ばかりでなく，北太平洋からも暖かい海水がベーリング海から北極海に流入している傾向が強まっていることは，海水温の上昇している海域が非常に拡大しその勢いが強化していることと関連しているようである。1997 年夏にはベーリング海峡（Bering Strait）をはさんでボーフォート海の南に広がるベーリング海（Bering Sea）の海水温は平年値よりも約 5 ℃も高温で，それまでの卓越種であった珪藻に取って代わり円石藻の大発生がこのベーリング海で起こり，そしてこの円石藻は高水温海域となったこの海域からアラスカ沿岸流に乗ってベーリング海峡を北上して北極海に流入し，特にアラスカ北部沿岸に広がるボーフォート海は 1998 年を挟んで 1997－1999 年の 3 年間の夏期（9 月 30 日まで）には海氷面ゼロ海域がかなり北方まで拡大した。そしてこの北極海中央部の夏でも融けない多年氷域の面積は 1978 年からこの 1998 年にかけての 20 年間に約 14％も減少し，アメリカ潜水艦による海氷観測の結果，北極海の海氷の厚さは 1960－1970 年代に比べ，1990 年代の海氷全体の厚さは平均で約 40％も減少したと報告された。

1980 年代前半には北極海の海氷の減少率は 10 年につき 2.7％程度であったのが，1987 年を境に更に 1.8％も減少率をより加速させて 4.5％にもなったことが，結果的に海氷面積の約 14％，海氷体積にして約 3 倍弱の 40％もの大幅な減少に結びついたようである。

つまり北極海の夏期の海氷は 1987 年以降減少傾向をたどるようになって以来，その面積よりも体積のほうが約 3 倍近くも加速されて減少するようになったことが分かる。

そして 2001 年 5 月以降には更に大きく減少していると報告されているが，この事を裏づけるかのように過去実に 5000 年以来という物すごく長期間にわたって夏でも真っ白に覆われていた氷原，つまり海氷に覆われていた北極点が，2000 年 8 月 19 日付けニューヨークタイムズ紙によると「国連の気候変動に関する調査グループ」の研究者グループが乗る砕氷船が北極点に到達したらそこは全く意外なことに青々とした大海原になっていたという衝撃的なニュースが報道された。

IPCC（Intergouvenmental Panel on Climate Change＝気候変動に関する政府間パネル）の第三次評価報告書（2001 年度）によると以下のような報告内容になっている。

① 炭酸ガス濃度が異常に上昇中。

　現在の炭酸ガス濃度は過去 42 万年間でありえなかった高い値で，過去 2000 万年間でもありえなかった可能性が高い。又炭酸ガス濃度の現在の増加率は過去 2 万年間でも例のないほど高い値を示している。

② 過去 20 年間に人間により排出された炭酸ガス量のうち約 4 分の 3 は化石燃料の燃焼による。残りは森林の減少である。

③ 20 世紀の 100 年間の気温上昇は 0.6℃であった。1990 年代が最も高温である。

④ 1990～2100 年間に気温は 1.5～5.8℃上昇する。過去 1 万年間で観測されえなかった高い

比率である。

⑤ 海面水位の上昇。
1990年より2100年まで0.09～0.87mも上昇する。

⑥ 海氷は北極で解けている。1950年代以降夏期での面積は約15%減少。秋期での海氷の厚さは約40%減少した。北半球の雪氷や積雪はさらに衰退するだろう。南極半島海域の環境生態異変。年平均気温は過去50年間で2.5℃の異常上昇。海氷面積は過去20年間で約20%減少。

特に北極は大気の昇温や海氷の消失だけでなく海水温も上昇し，温度計は他の地域よりも2倍も早く急上昇していて，北極全体が高熱をこうむっていることを科学者たちが憂いている。

その上北極地方の生態系の異変も顕著になっている。

北極海の植物プランクトンは約70種類でケイ藻類が主である。海氷の底面付近に生息するケイ藻類は北極の海に豊富な酸素を供給し食物連鎖の原点になってきた。その氷藻を食べる動物プランクトンやオキアミのような甲殻類が集まりそれらがいろんな魚類の餌になっているのである。ことに私たちが日常食べているタラもこういう氷藻や動物プランクトン（オキアミ等）を餌にして成長している。

このような物理的要因の変化でそこに生息する生物たちも変化し，冷水域を好む生物たちはより北方へ移動してその移動範囲を狭められているのに対して，より暖かい水を持つ海域に住んでいた生物たちが移動しその活動範囲も拡大してかつその種類も増大しているようだ。

1998年には植物プランクトン→動物プランクトン（藻類)→小魚→魚と続く食物連鎖の上位に位置する海鳥「みずなぎどり」が20世紀最大のエルニーニョによる海水温の5℃の上昇による魚不足が原因で大量に餓死したり，その他セイウチ達が休息場所にしていた海氷がより北方に後退してしまい母親たちが子供たちを残して立ち去ってしまったことが確認されている。

それに夏でも広大な氷原を親子づれで獲物を求めて歩いていた白熊がたまたま1981年9月北極上空を飛行中の機内から目撃されたが，かなり多くの流氷（氷原）が解氷してしまい，海中を泳ぎっぱなしで疲労困憊している白熊の哀れな姿が2005年夏のニュースで放映された。こうして疲労死する白熊も増えているそうだ。

この白熊（北極熊）は3000年も前からグリーンランドの氷原中心に守られてきたが，現在は2万頭しか生存していないし，彼等の獲物をねらう地域も海氷域の消失減少で，充分な捕食もままならず飢えに苦しんでいるという。この北極熊だけでなく，アザラシ，セイウチ（海象)，北極クジラ，白イルカとか魚類，海鳥達の生活空間が寒冷地帯や冷たい海水域の減少により益益狭められ，彼等北極圏の動物たちが減少していく事を単に憂うるだけでなく，人間対他の多種類の生物群との共存・共生にこそ地球の自然が保たれるという，そういう豊かな自然環境の中で生きる事こそ人間自身に健全で充実した心をもたらしてくれるのだという事をもっと深く自覚しなければいけない時代に私達はいると考えられる。

勿論地球の温暖化は北極海やその周辺海域だけではない。

世界最大の独立島であるグリーンランド（Groenland）は面積は217万5,600 km²で日本の約6倍も大きく，世界の氷の総体積の10分の1を占め，氷河や氷床の形をした氷は世界の陸地の10%を占めていて，全土の85%が氷河と万年雪に覆われてきて，1990年代にはここの氷床は大変安定していると言われてきたが，2002年9月より3年後の2005年9月ですでに万年氷原の5分の1近くも融解減少していた。事実グリーンランドの氷に劇的な変化が発生しているそうだ。

「現在では，南極半島と同じようにグリーンランドでもこの氷が溶けた水は底まで真っすぐに流れ，深いクレバスやムーランと呼ぶ垂直のトンネルを切り刻んでいると考えられている。水が流れて氷の底まで達すると，基盤岩の表面に潤滑油を差したような状態になり，氷塊が不安定になる。そうすると氷塊が海に滑り落ちる時期が早まるのではないかという懸念が高まる。」(12)

こうして溶けたばかりの水が大急流となって氷の下の基盤岩のほうへ真っ直ぐ流れ落ちていて，グリーンランドの南西部中心にこの巨大な島の全周辺地域で急速に氷床が溶解しているようだ。それで弱い地盤で建物を支える基礎杭で生活しているイヌイット（北米エスキモー）達も自分たちの住居が崩れ落ちるのをまのあたりにし，移動を余儀なくされているという。

又このグリーンランドとノルウェイ（Norvège）の間に位置して北極海に浮かぶスヴァールバル諸島（les îles de Svalvard —— 北緯77～80度）は1970年代当時は夏の7，8月以外の各月は氷点下の気温が多く，12月の平均気温は－12℃程度，1月や2月は－30℃近くから－27℃から－28℃前後まで下がる非常に寒冷な所だった。この島の中心都市ロングイヤービエン（Longyearbyen）は基地や観測所を除く居住地としては世界の最北地に位置しているが，現在ではここはもはや極北の寒冷な沿岸地方ではなくなり，62,050 km² の面積の5分の2を占めていた氷河は1900年以降後退を始め，Kongsfjord沿いにあったBlomstrandbreen氷河は1922年には，このフィヨルドの中央部より手前の沿岸部がこのフィヨルドの向こう側から部厚く巨大に，それもこちら側の岸辺まで勢いよく張り出していたのが，78年後の2000年にはこの氷河湖の右手の岸辺にかなり薄くかつ小さくなって部分的に残っている以外完全に融解消失してしまい，きつく傾斜した左側とこの沿岸部の真ん中より右側に入ったところまで地肌がはっきり露出していて，氷河はこの沿岸部の上の高台から後方の山側の方へとかなり後退している様子がParis-Match紙2002年9月5日号の写真で一目瞭然に分かる。勿論炭酸ガスなどの温室効果ガスによってのみだけではなく，太陽の黒点数が増えたり，太陽風の磁場が強まったりしても地球は温暖化するのであるから，温暖化の進行の目安となる氷河の後退の原因を前者にのみ帰するわけにはいかない。しかしながら温室効果ガスの大気中での絶えることなき増強蓄積と平行して氷河の後退は加速しているという事実をもっと厳粛に受けとめるべきだろう。

アラスカを代表する世界でも最大級の大氷河であるコロンビア氷河は1975年当時は固くて部厚い巨大な長方形の白い岩の上に無数のクレバスが口を開け，博多織のような堅締模様をえがいていると言われた。その威厳豊かな雄姿が幅5 km，厚さ200 kmの氷盤となって湾に落ち込んでいた。それが1998年になるとすっかり溶解してしまって崩れ落ち，口でなめたアイスキャンディーのように滑らかに平べったくなって湾に広がるように流れ落ち，見るも無残な光景を呈するようになった。氷河見物客の興ざめといっていいだろう。

しかしアラスカ太平洋沿岸の代表的なこのコロンビア氷河は1978年頃から10 kmほど後退して，現在も1年間に100 m以上の速さで後退しているという。元来氷河は山頂付近に積もった雪がそれ自体の圧力で氷になり，1年に数10 mあるいは数100 mの速さで流れ出しているが，このコロンビア氷河は上流での積雪量が減ったために氷河の末端とうまく続かなくなり，末端の方だけが本体から崩れ落ちたもので，温室効果によって氷河の量が減少したからだとは必ずしもいえないとの指摘もある。その上アンカレジ近くのポーテッジ氷河は1980年頃から後退しているとされるし，又1910年から1940年までの30年間に100年間の平均的な上昇率より大きな上昇率で温暖化が起こり，特に北極圏では地球平均の変動よりははるかに大きかったが，この気候暖化は成層圏を汚染する爆発型火山噴火がなく，大気圏の透明度が上昇して気象学的太陽定数

（圏界面での太陽放射の法線流束密度）が増大したためではないかと推測されている[13]。

しかし前述したようにここ二十数年来北極圏に限らず世界中の氷河は後退を続けているほうがはるかに多いし，完全に消失してしまうだろうと見られる氷河も少なくない。

アラスカ南東部にある北米最大のベーリング氷河も1996年からの2年間だけで長さ191 kmある氷河が2 km以上短くなり，氷河が溶けてできた湖に何千もの大小様々の氷山が浮かぶバイタス湖になっていることが『地球環境報告，岩波新書592，1998年』で報告されていた。

このアラスカを初めカナダの東と南の地域の山岳氷河はとりわけ1981年から1990年にかけての10年間よりも1990年代に融解の度を加速させているとの報告が多くなった。山中に生息する野生動物とともにアラスカ観光の大きな目玉となってきた氷河の透明で冷たく神秘的威圧感をたたえた荘重な美しさは微妙に崩れてきたようだ。

世界の全ての雪氷の総量は体積で3,200万 km^3 あり，その90%以上が南極の雪氷で，9%がグリーンランドの雪氷であるからアルプスなどの山岳氷河を含むこれまで取り上げてきたアラスカの氷河だけでなく世界中の山岳氷河を合わせても残りの1%にもみたないとは信じがたいがそれが事実なのである。それでも世界の山岳氷河は南極の棚氷と共に非常に寒冷な気候のおりなす極寒の自然の賜物なのであり，奥深い神秘を秘めた壮絶美で人間の心を強くとらえてきたその感動こそ人間自身を前進させるよすがとなることを忘れてはいけないだろう。

北極圏に広がるコケや地衣類，背丈の低い草木に覆われた荒涼とした感じの大草原であるツンドラ地帯は概して雨の降るのが不安定で，丘陵地帯においては乾燥化も進行して，湿地は干しあがり湖は干からびて消滅したりする所も多くなり，又多量の草木は枯れその草木からほこりが舞い上がったりしているそうだ。低地ではベリーや山菜のできも良くなくなったようだ。そして世界で最も気温の上昇の影響を受けているアラスカやシベリアのツンドラ地帯は食糧不足に悩まされているだけでなく，永久凍土層の融解で村全体の土台が崩れ移住を余儀なくされているという。

なかでもシベリアは広大な永久凍土（パーマフロスト，Permafrost）地帯で知られてきたが，この永久凍土の面積は地球上の陸地の面積の14%を占め，この広大なシベリアの永久凍土は日本の面積の26倍にもなる。

永久凍土は西シベリアでは北極海沿岸にしか分布しないが，東シベリアでは100 mから200 m，300 mあるいは400 m～500 m前後の厚さで広く分布し，タイガ（ダフリアカラマツの針葉樹）とツンドラ植生で覆われている。しかし温暖化により永久凍土の表層は夏期融解した水分で飽和され水浸し状態で沼沢地化され，泥炭が嫌気的な状態で分解されメタンガスを発生するようになった。極東ロシアの北極海に注ぐ大河コリマ（Kolyma）河周辺のカラマツの疎林はあちらこちらで凍土が融解して白い湖面が点在し，2000年になってからの最近5年間の夏（6月～8月）の平均気温は1980年代より2℃高くなり，2005年夏は過去最高の13.7℃を記録した。このコリマ下流域からチュルスキー山脈（Hrebet Cerskogo）を超えたオイミヤコン郡（Ojmjakon ── 北緯63度）は世界で最も寒い所の一つで，これまでに記録された最低気温は－72℃で飛んでいる鳥まで落ちる寒さだといわれた。このオイミヤコンからヴェルホヤンスク（Verhojansk）間は極寒の地で1960年代から70年代にかけての1月の平均気温は－50℃以下－65℃から－68℃の最低気温も記録されたところだ。ちなみに1973年頃のヴェルホヤンスクの12月，1月，2月の最寒月の月平均気温はそれぞれ－44.5℃，－46.8℃，－43.1℃であった。この極東シベリアのサハ（ヤクート）自治共和国の首都ヤクーツク（Jakutsk）の冬は2カ月以上も－40℃以下の日が続いていた。人間や馬などの吐く息が自動車の排気ガスを含め，空中ですべて凍ってし

まい濃い霧となって漂う居住霧で知られてきた。この都市周辺の地域を含め更に西方の東経90度から120度に位置する中央シベリア高原（Srednesibrskoje Ploskogorje）に至る広大な地帯が，タイムイール半島（Poluostrov Tajmyr）やノーヴァヤ・ゼムリャー（Novaja Zemlja）周辺地域と共に非常に寒冷なそして乾燥したシベリア寒気団の形成されるところで，北日本に大雪を降らせる冬の季節風の発源地帯であるが，1990年3月にはオイミヤコン郡周辺の月平均気温が10℃以上の高温になったが，ここだけでなく北緯60度から70度の間にある広大なシベリア大陸やその南方の北緯50度から60度の緯度圏にある地帯の気温が高温になる傾向が，第三次評価報告書によると，全球平均で過去1000年間で最も暖かい10年であった1990年代から2000年代初期の今日にかけて強まっている。

2002年6月にシベリアと極東のタイガ（針葉樹林）地帯の約6,272 km² が焼失した。

森林火災の原因は落雷のような自然現象も多いようだが，寒冷な低湿地帯に土壌中のピート（泥炭）の乾燥化が進み，発火剤のようにあっという間に炎が上がり燃え広がったそうだが，一方では大河エニセイ川，レナ川の北極海側の下流の氷が溶けないうちに，上流の雪解け水が増水し川がせき止められて，周辺の住宅1,500戸以上が水没し，1千人以上が避難したという。

2001年の第三次評価報告書によると1960年代後期以降積雪面積は約10%減少した可能性がかなり高いし，この積雪面積の減少が北半球域の地上気温の上昇の大きな要因となっているとのことだが，アラスカ同様シベリアも今後3℃から4℃も更に気温が上昇する危険も高まっていて，炭酸ガスよりも20倍から24倍もの温室効果を秘めたメタンガスの脅威に脅かされているようだ。事実シベリアでは地上気温の上昇の影響で深さ40 mもの部厚い永久凍土が溶けているし，湖が次々と出現し凍土層がむき出して露出し，又湖の面積は10年間で15%も拡大した。こうして永久凍土に大量に蓄積されたメタンがもう既に大気中に放出されているという。現在秋から冬，そして翌年の春にかけて湖を含むツンドラ地帯は結氷し，そのため凍土の融解はこの期間中断しているとしても，この凍土上層部に蓄積されたメタン濃度は平均2,000 ppmで，大気中の1,000倍も高いとされ，シベリア全体から大気中に放出されているメタンは毎年10トンにもなるという。

こうして炭酸ガスに加えメタンガスの二重の温室効果による地上気温の上昇に拍車がかかっているものと考えられる。であるからいくら従来どうりに冬になると日中の太陽の高さが低くなると同時に昼の時間が短縮されて太陽の放射量が減少し，かつ夜間の放射冷却によって地球の熱が宇宙へ直接逃げていって大気は冷え込み寒冷な気団が発生しやすくなるといっても，積雪面の減少や，温室効果ガスの増大によってこの寒気団の勢力が弱まり暖気化している可能性は大きいだろう。

Le Monde紙によると2006年秋（9，10，11月）は西ヨーロッパはこれまで計測された中でも最も気温の高い秋となり，フランスは過去30年の平均値と比べても10月は3.3℃，11月は2.5℃から2.6℃も高く，過去500年間で最も暑い秋の10年間は1997年から2006年にかけての秋であることが判明した。この30年間にフランス以外でもヨーロッパでの秋の気温はイギリス諸島（グレート・ブリテン島，アイルランド島，チャンネル諸島）や1980年代に少し寒冷化した北欧でも記録されたし，又モスクワでは2005年の12月から翌年の1月にかけて月平均気温がそれぞれ－3℃～－8℃とか－13.7℃～－21℃と厳寒であったのが，2006年の12月から2007年1月中旬にかけては気温が氷点下に下がる日数が非常に少なく，又昨年は3月上旬も－7.4℃～－12.5℃であったのが，今年（2007）3月は1日，2日の－2℃，－3℃を除けばこの3月上

旬は＋3.5℃，＋0.62℃と昨年同期よりかなり高い。北米や日本でも記録的な暖冬，大暖冬であり北半球の中高緯度の広大な範囲の地域は概してこれまでにない暖かすぎる秋それに大暖冬をむかえたのである。こういう地上気温の暖化傾向が今後も持続すると地球規模の温暖化がいよいよ本格化したといえるだろう。

3　世界の対温室効果ガス排出削減の取り組みについて

石炭，天然ガスとともに二酸化炭素を最も排出する三大化石燃料の一つの石油は依然世界のエネルギーの主力であり，2003年における世界の総エネルギー消費のうちの37%はこの石油が占めている。

エネルギーあたりの二酸化炭素放出量は石油を基準にすると，石炭は石油の1.24倍，天然ガスは0.72倍となって石炭が一番多く次いで石油，天然ガスの順になる。

つぎに単位重量あたりの発熱量の比は石炭，石油，天然ガスでおおよそ3対4対5となり，水素含有率の一番高い天然ガスが発熱量も高くその次が石油で石炭が最後になる。

つまり石炭は二酸化炭素の放出量が最も多くかつ発熱量の効率が最も低いのに対して，天然ガスは発熱量のわりに二酸化炭素発生が少ないのだから，温暖化抑止のうえでは石炭はなるべく使用せず天然ガスへ転換していくことが望ましいが，各国の事情やエネルギー政策が関係しているし，エネルギー消費に最も便利な石油に依存してしまう国々は先進国に多かったし新興大国にも多いようだ。

そこでまず世界でどういう国々が最も石油を消費しているか石油消費上位10カ国を以下に掲げてみよう。

世界の石油消費上位10カ国（2003年度）

百万バレル／年

1　アメリカ	7,326（25.7%）
2　中国	2,183（7.7%）
3　日本	1,990（7.0%）
4　ドイツ	972（3.4%）
5　ロシア	914（3.2%）
6　インド	886（3.1%）
7　韓国	840（2.9%）
8　カナダ	784（2.7%）
9　フランス	727（2.5%）
10　イタリア	703（2.5%）
その他の国々	11,186（39.2%）
合　計	28,511（100.0%）

出典　BP(British Petroleum)統計より作成

一方世界の温室効果ガス排出量を国別に追ってみよう。但しこの場合石油以外に天然ガス，石炭等も含まれているから，この排出量は石油消費結果のものと決めつけるわけにはいかない。

世界の温室効果ガス排出量

総排出量 252 億トン（二酸化炭素換算）

1　アメリカ	22.8%
2　中国	16.4%
3　ロシア	6.3%
4　日本	4.9%
5　インド	4.3%
6　ドイツ	3.4%
7　イギリス	2.3%
8　カナダ	2.1%
9　イタリア	1.8%
10　韓国	1.8%
11　フランス	1.6%
12　メキシコ	1.6%
その他の EU 諸国	4.3%
その他の国々	23.7%

資料　環境省地球環境局

この 2 つの資料から世界 1，2 位の石油大消費国のアメリカ，中国が温室効果ガス排出量もロシア，日本，インドその他の国々よりもずばぬけて多いことが分かる。その上この二大国は石炭の生産量，消費量も他の国々より非常に多く，2003 年度の世界の石炭消費上位 10 カ国（BP 統計 —— 百万トン／年）でも中国が 799.7（31.0%）で 1 位，アメリカが 573.9（22.3%）で 2 位と上位を占め，インド 185.3（7.2%），日本 112.2（4.4%），ロシア 111.3（4.3%）とその後に続いている。

一本松幹雄『地球温暖化とエネルギー戦略』（南雲堂，2005 年）によれば，国際エネルギー機関（IEA）の予測（2004 年）として世界の一次エネルギーの需要量は年率 1.7%程度で増加し，2010 年の世界全体の原油需要量は基準となる 2002 年より 17%増，2030 年には 56%もの大幅な増量となる 1 億 2,100 万バレル／年と推定している。

又 IEA の予想する世界の一次エネルギーの供給の割合は以下のようになっている。

	2000 年	2030 年
石油	38%	37%
石炭	26%	24%
天然ガス	23%	28%
原子力	7%	5%
水力	3%	2%
再生可能エネルギー等	2%	4%

そして 2030 年までにエネルギー需要で最も需要が増えるとみられる電力と輸送の二部門で電力消費量は今日の約 2 倍になるだろうと予想される(14)。

こういう予想では石油，石炭，天然ガスとも今後 20 年以上もこれまでと同じように大量に消費されていくことになり，今すぐにでも温室効果ガスを削減すべきだという警告を暗に含んでいる国連「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）や『京都議定書』，EU 先進国中心に各国政府やマスコミのこのガス排出削減の実施を強く求める動きに逆行することになる。しかしながら石油をはじめとする化石燃料の消費がこの予測通り 2030 年ごろまで続くものかどうかは，先進

国の産業界で原子力発電や水力，風力発電，太陽エネルギーの利用あるいは燃料電池車，電気自動車などへの転換を急ぐようになっているし，1980年にサトウキビを原料としたバイオエタノール車が，1990年代生産シェアが落ちたが，2004年以降ドイツフォルクスワーゲン，イタリアフィアット，アメリカゼネラルモーターズ製造のフレックス車として再び使用されることになった。ブラジルやブラジルの後を追うアメリカ，インド，中国などの化石燃料排出国もエタノール生産を高めており，地球温暖化の元凶である温室効果ガス排出量の18%から現在ではもう25%をも占めるようになった輸送部門で，とりわけ農業での廃棄物やセルロースの供給源となるスイッチグラス，ポプラを活用する先端的なバイオマス技術の開発により，バイオスイッチグラスは温室効果ガス排出量を現在以上に大幅に削減できるということのようで，現在世界の液体輸送燃料のわずか1%を占めるに過ぎないが，地球環境悪化への懸念が欧米の産業界でも非常に高まっていて，『ワールドウォッチ研究所，地球環境データブック，2006～2007』によるとダイムラー・クライスラー，ヂュポン，シェル，カーギル，ビル・ゲイツ，ごく最近では国際的投資企業のゴールドマン・サックスさらにフォード，ゼネラル・モーターズ，フォルクスワーゲンなどの主要自動車メーカー数社もバイオ燃料への本格的な新規投資を発表したり，フレックス・フェーエル車（エタノールとガソリンのあらゆる混合比の燃料で走行可能）の生産台数を一気に増加させる計画を発表し，今世紀をになう自然エネルギー，代替エネルギーとして世界の脚光を浴びる更なる実用化拡大が急がれているだけに，今後10年以内に化石燃料依存体質からの脱却が少なくとも世界の輸送部門では可能になってほしいと思う。

この『環境データブック』によればアメリカではトウモロコシ由来のエタノールは現在ガソリンと充分に価格競争ができ，ブラジルのサトウキビ由来のエタノールはガソリンよりもはるかに安価でありこのメリットはこれからも続くということだし，更に農業や自治体や森林からの廃棄物，あるいは水分や肥料をさほど必要とせず，やせた土地でも育つスウィッチグラス（アメリカ西部に自生するイネ科キビ属の多年草で生育力が旺盛）など植物の茎や葉，木などのセルロース類の非食物の多年生作物からも液体燃料を生産させる技術革新によってバイオ燃料の生産量を激増させようとしているというし，又アメリカ農務省とエネルギー省による最近の共同研究によると，今後25年間で新世代のバイオ燃料はアメリカの輸送用燃料使用量の37%も占めるようになり，自動車の燃料効率が2倍になればこの割合は75%にまで急上昇するという[15]。しかし温暖化が急速に進行し早急に化石燃料削減実施をIPCCでは求めている現状からして，25年を10年，できれば5年に短縮してでもバイオ燃料使用量の急速な拡大増加が望まれる。

生産量は減少しているとはいえイギリス，インドネシアとともに石油の主要産出国であるアメリカは依然世界最大の石油消費国であり，その使用量は日量2,000万バレルから2,080万バレルと世界全体の4分の1近くも占め，マイカーがなければすぐ日常生活に支障をきたす程自家用車利用に依存する傾向が非常に強い国であるが，2005年度はエタノール燃料生産量はブラジルの16,500に次いで16,230と高く，バイオディーゼル生産量はドイツの1,920，フランスの511に次いで290と第3位になっていて，バイオ燃料産業も今後飛躍的に発展していく勢いにあるようだし，その上「エネルギー政策法」に盛り込まれた「再生可能燃料基準（RFS)」による今年度のエタノール使用量を50億ガロン，5年後の2012年までに75億ガロンに増やすことにしているし，ガソリン税の減免措置を設けてバイオエタノール燃料の使用を促している。

温室効果ガス排出規制の動きはアメリカ上院で強まっているだけでなく，アメリカ大手企業10社のトップが2050年までにではあるが現在より60～80%の非常に大幅な二酸化炭素削減を義

務化するようブッシュ大統領に積極的に求める提言発表を行ったことが新聞で報道された。この提言の背景には善意に捉えれば従来保守的だった産業界が対温暖化抑止対策実施の行動を本格的に起こそうとする姿勢を感じ取れないこともない。そのように受けとればその含みとして可能な限り段階的にでも，2050 年まで待つことなく 5 年でも 10 年でも早めに小幅でも二酸化炭素削減の実施の方向に向かってもらいたいものだ。

とりわけガソリンの代替燃料として世界的な注目引いているバイオ燃料のエタノール生産量の 70%を占めるアメリカとブラジルが資金・技術を提供して生産量・生産拠点を増やそうとしているが，ガソリン消費大国アメリカがその消費量を 10%以上減らすことはまだ先になるようだ。でも供給目標が 80 億ガロンが限界とされるトウモロコシ原料エタノールだけでなく，3 ～ 5 倍程度生産効率が高いブラジル産サトウキビ原料エタノールに食指を動かしている。ともかくアメリカは化石燃料脱却傾向を少し強めているようだ。

一方元来温暖化対策に熱心だった EU 諸国は，『── 地球環境の教科書 10 講 ──』（東京書籍，2005 年）によると，

「炭素税の課税や税負担軽減・免除を組み合わせての再生可能エネルギー（風力，木質バイオマス等）の利用促進，建築物の省エネ対策，環境ラベルを活用した啓発などさまざまな取り組みが進められており，1990 年から 2001 年までで EU（15 カ国）温室効果ガス排出量は約 2 %削減している。」(16)

北欧と並ぶ環境先進国ドイツは最大の風力発電国で，風力発電含めた再生可能エネルギーの発電総量に占める割合は 1990 年の 4.0%→ 2001 年の 7.1%への増加傾向から現在更に上昇し，北海，バルト海に面した地方中心に年間電力需要の 30%以上が風力発電でまかなわれておりドイツ全土でも約 6.6%までになっていると言う。

しかし環境先進国とはいえドイツのエネルギー消費の構成比は石油（38.5%），天然ガス（21.5%），石炭（13.1%），褐炭（11.2%）と他の先進諸国同様化石燃料消費が多く，発電に限ると原子力が 31%と多いが，水力・風力発電消費は全体のエネルギー消費 1 %にも満たない。その上風力発電はエネルギー資源の量としてはそれ程大きくなく水力発電にも及ばず，又安定した風力を得ることは難しいという欠点がある。それに風力発電は周波数調整能力がなく風力は電力系統と相性がよくないとされるので，今後は風力発電それ自体の発展よりも風力発電で水素をつくって貯蔵していくシステム構築により期待がかけられているようだ。それでも風力発電はドイツを筆頭に，スペイン，デンマーク，イタリア，ポルトガル，イギリスで電力需要を伸ばしており，2005 年末時点で設置される風力タービンにより 230 万世帯の電力需要をまかなうとされるアメリカやアジアでは中国，インドが風力発電量も増加し，世界全体で太陽エネルギーについで二番目に大きい成長を遂げているそうだ。

他にクリーンなエネルギー源として太陽電池があるが，現在太陽電池が使われる半導体にはアモルファスシリコン，ポリシリコン等のシリコン系のものとガリウム砒素等の化合物半導体があるそうだが，最高で光のエネルギーの 24.2%を電気エネルギーに変換できると言われる。今日太陽電池の耐用年数はおよそ 20 年程度で，二酸化炭素発生量は石油火力発電のおよそ 5 分の 1 に抑えられるそうだ。太陽電池生産に関してはドイツ中心にヨーロッパ全体で 2005 年に 45 万 2,000 kW の太陽光発電量を生産し，日本も前年より 38%増の 83 万 3,000 kW の世界最大量の太陽光発電量を生産した。

アメリカは特にカリフォルニア州で 2006 年初め今後 11 年間で 300 kW の太陽光発電量を設置

する計画で，大規模な新規投資計画をして最大の太陽光発電量生産地になりうるという。

一方太陽光をレンズや鏡で集光し太陽光に含まれる赤外線による「ものを暖める作用」を集中させ，この熱で蒸気を発生させて発電する太陽光発電は直射日光しか集光できず，曇ると効率が下がる欠点があるが，太陽電池生産同様太陽熱市場も急成長を続けていて現在世界で約400世帯が太陽集熱器による温水供給を受けているし，ヨーロッパ最大市場のドイツは太陽熱で給湯や暖房を行う家に住む人が200万以上いるといわれる。又太陽熱産業に約1万2,500人が雇用されているそうだ。

この太陽光発電もその欠点をかんがみると，スペインやイタリア，アメリカのカリフォルニア州など夏暑くそれ以外の季節も暑い日含め温暖で晴天に恵まれた国や地方に便利なようだ。

他に上部のダムで取り入れた水を導管で低いところに落とし，その水の勢いで水車式の発電機を回すことによって水の位置エネルギーを電気に変換する水力発電がある。

水力発電の利点は発電時に二酸化炭素を出さないクリーンなエネルギー源であることと位置のエネルギーを電気エネルギーに変換する効率が約85%と高いことがあげられる。

しかし水力発電を有効活用できる量は少なく大きなダムの水没面積は相当広くなるという欠点もあり，水力発電は世界のエネルギー使用量の2.5%程度にすぎない。

前記『ワールドウォッチ研究所 —— 地球環境データブック ——』によると2005年に水力で発電された電力の使用量が多かった5カ国は中国（世界の13.6%，4,010億kWh），カナダ（同12.2%，3,610億kWh），ブラジル（同11.5%，3,404億kWh），アメリカ（同9.1%，2,678億kWh），ロシア（同5.9%，1,749億kWh）という広大な面積を誇る国々に多く，合計で52%強を占め，ブラジルやノルウェーなどでは水力発電でほぼすべての電力を賄っているという。

2005年でGDPが2.2兆ドルに達し7年間でほぼ2倍のスピードで急成長しそれも鉄鋼，非鉄，石油化学，セメント，自動車などのエネルギー資源消費型産業を急拡大した中国は，今後10年間6%強の経済成長が続くとみられるインドとともにアメリカをぬいて化石燃料の最大の消費国になるのは間違いないと言われているが，その中国は既開発の水力発電の年間平均出力で世界第1位になっている。

長江の三峡ダムプロジェクトは2005年に491億kWhの電力を生産し2009年に完成して以降は毎年847億kWhの発電が見込まれていて[17]，中国政府は水力発電を大規模に開発できる再生可能エネルギー源として位置づけていることは温室効果ガス削減の上では大いに意義あることだろう。しかしこれまで述べてきた代替エネルギー，自然エネルギーは加速している温暖化を軽減するに充分な消費量を満たす生産量に至っていないので，日本を含む先進工業国で二酸化炭素や窒素酸化物などの排出が最も増加し続けている自動車などの運輸部門や電気製品などの民生部門での日常のライフスタイルの見直し変革にまでこぎつけれれば，そのことが自然に産業部門にも及んでいき，そうなってはじめて温暖化の進行が緩和の方向にも向かうのではないかと考えられる。

ドイツと並ぶ環境先進国スウェーデンでは国を挙げて環境対策に取り組みそれを実施することが当然視されていて，環境保護団体中心に住民，企業が3年後の2010年までには化石燃料に依存しない社会を目標にしながら環境問題の解決策を考えて一定のアクションプランのもとに行動しているという。

『スウェーデンの持続可能なまちづくり —— ナチュラル・ステップが導くコミュニティ改革 ——』によるとストックホルムでは他のヨーロッパ7都市（ロンドン，ブリュッセル，プラハ，ブレー

メン，パレルモ，ツリン，ジヌア）と共同で電気，エタノールやバイオガス（有機性廃棄物からつくられたガス）といった代替燃料をガソリンスタンドで供給している。より多くのドライバーに代替燃料車への切り替えを促すためだそうだ。そしてスウェーデンの多くのコミューン（市町村地方自治体）は公用車（公共バス，職員が業務用に使用する車，バン，トラック）をエタノールやキャノーラ（菜種）油その他の燃料車へと転換した。ストックホルム市内のバス250台はほとんど全てデイーゼルではなくエタノールで走行し，又12世帯から14世帯を1グループとしてグループ単位で車両を所有したり借りたりするカーシェアリングシステムが導入されたりしている。

その他地方のコミューンでも列車利用が5年間で6％から25％以上に増加したところや3年間で交通量を10％削減するため町の中心部に自転車道を拡張したり多く作ったり，バスの巡回頻度と順回路の停留所数を増加させたり，地域内の列車の駅も増設したりして自転車，バス，あるいは徒歩での移動を市職員が進め説得までしている。こうしてマイカー利用者もその利用度が減少していて車社会からの脱出がはかられている。

同様に家庭や企業の電力消費でも次のように脱化石燃料社会への移行が進んでいる。

たとえば製材業界で「切りくず」「おがくず」「樹皮のパルプ」「枝」「チップ」などのバイオマス燃料のみで稼動する最先端の施設で冬季の暖房費と夏季の冷房に必要なエネルギーを生産し，このバイオマス燃料だけでコミューン内の全企業と28,000世帯に熱と電力供給している。又排出される固形廃棄物（家庭ゴミ，産業廃棄物，建築廃材，プラスチック，ゴム，有機物等）を燃焼させ熱と電力供給しているコミューンもある。こうしてスウェーデンにおいて消費される地域暖房供給プラントの燃料に石油が占める割合は1981年の83％から12年後の1993年には12％へと減少し，この傾向は現在でも続いている[18]。

こうして市や町のコミューンが主体となって住居への徹底した環境重視教育とともに各家庭の車利用や電力消費に占める化石燃料依存体質からの脱却が実施され，この事が他のコミューンにも広く浸透していって温暖化防止対策が現実に着々と実行されているところに，豊かな自然環境と生態系を守ることを目標にすえた健全な社会の模範例を見出すべきだろう。

前記『スウェーデンの持続可能なまちづくり』によると，世界で最も地方分権が進んだ国スウェーデンでは児童福祉，高齢者福祉，学校，余暇，エネルギー（熱供給），廃棄物，上下水道など市民にとって身近なことはすべてコミューンの管轄となっている。そして各コミューンは独自に所得税率を決めて所得税はじめエネルギーや廃棄物処理費，水道料などの料金を住民から徴収して事業費収入にしているので各自治体に最も適合した環境擁護施策を打ち出して実行できるのである。この背景には学校教育によって民主主義や環境問題をしっかりと理解した人間形成がなされ，住民が行政の決定に積極的に参加することによってNGO（非政府機関，民間機関）も発達して強力な団体になり，マスメデイア（新聞，テレビ，ラジオ）も市民側に立って支援していることが大きい。これからの町づくり，都市や地方の振興は環境問題を解決しながら展開していくべきものであることをスウェーデンのコミューンは如実にわれわれに知らせてくれていると言えるだろう。

註

(1)　永延幹男『南極海　極限の海から』，集英社新書　0191 G，2003年，p.127.

(2)　クリストファー・フレイヴィン編著『ワールドウォッチ研究所　地球環境データブック　2006－07』，ワー

ルドウォッチジャパン社，p.132-p.133.
(3) 上に同じ．p.132.
(4) ブデイコ，ロノフ，ヤンシン『地球大気の歴史 —— その進化と未来を探る ——』，朝倉書店，1989 年，p.144.
(5) NHK 取材班『NHK 地球汚染(1)　大気に異変が起きている』，日本放送出版協会，1989 年，p.13.
スチーブン・H・シュナイダー『地球温暖化の時代　気候変化の予測と対策』，ダイアモンド社，1990 年，p.222-p.223.
(6) 前掲書『地球大気の歴史』，p.101.
(7) 上に同じ．p.107.
(8) 根本順吉『異常気象を追って　11 年の記録』，中公新書 371，1974 年，p.84-p.85.
(9) 伊藤公紀『シリーズ地球と人間の環境を考える　01　地球温暖化』，日本評論者，2003 年，p.27-p.31.
(10) 前掲書『地球大気の歴史』，p.163.
(11) 赤祖父俊一『北極圏のサイエンス —— オーロラ，地球温暖化に迫る ——』，誠文堂新光社，2006 年，p.186.
(12) アル・ゴア『不都合な真実』，ランダムハウス講談社，2006 年，p.192.
(13) 前掲書『北極圏のサイエンス』，p.166-p.170.
(14) 一本松幹雄『地球温暖化とエネルギー戦略』，南雲堂，2005 年，p.13-p.14.
(15) 前掲書『ワールドウォッチ研究所，地球環境データブック』，p.183-p.185.
(16) 左巻健男等編著『地球環境の教科書 10 講』，東京書籍，2005 年，p.81.
(17) 前掲書『ワールドウォッチ研究所，地球環境データブック 2006－07』，p.51.
(18) サラ・ジェームズ，トルビョーン・ラーティー『スウェーデンの持続可能なまちづくり，ナチュラルステップが導くコミュニティ改革』，新評論，2006 年，ここでは特に第 2 章再生可能なエネルギーへの転換と第 3 章化石燃料車からの脱却 —— 輸送と交通のところを参照．p.45-p.77.