

[基調講演]

地球温暖化研究の最前線

原 沢 英 夫

(独立行政法人国立環境研究所社会環境システム研究領域環境計画研究室長)



1. はじめに

温暖化問題が提起され約10年経過した頃までは、温暖化の科学と政治の世界がうまく車の両輪のような形で温暖化防止への取組みが進んでいた。しかし、米国の京都議定書離脱ということもあり、不協和音が生じてきている。いわゆる総論賛成の時代から各論反対の時代に入ってきている。このようなことは環境問題ではよくあることである。今日は、温暖化研究の内外の動向と温暖化研究の3つの大きな柱、すなわち現象解明、影響研究、対策研究について紹介する。

2. 温暖化研究の内外の動向

最近、天候・気候に異変が起きているのではないかと感ずる方が多いと思う。南極の棚氷の崩壊、アラスカ、山岳域での氷河の融解、世界各地での洪水、熱波の襲来等の異常気象が観測されている。地球温暖化の原因物質としては二酸化炭素、メタン、水蒸気等があるが、異常気象は人間活動あるいは自然生態系に影響を与えることになる。

このような地球規模の問題に対し、1985年頃から世界が動き出し、88年に気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が発足した。このIPCC第1次報告書が90年に出され、将来気温が上昇することが報告された。95年の第2次報告書では、この温暖化は人為的な原因によるもので、すでに始まっているという報告であった。2001年の第3次報告書では、人間の起こした温暖化は確実に進行しており、影響がすでに出ていることが報告されている。そして現在2007年の第4次報告に向け、作業を進めている。

IPCCは議長とビューロー (幹事国) の合わせて30カ国が運営の中核となり、その下に3つの作業部会とタスクフォースがある。タスクフォースは温室効果ガスのインベントリー (目録) 作りを担当しており、作業部会は報告書作成を担当している。第1作業部会は気候モデルを含めて、現象解明を取り扱い、第2部会は影響に関し、第3部会では対策に関することを扱っている。各部会は年に1~2回研究者を集めた会議を開催しながら報告書を作成する。この会議では、すでに実施された研究を審査しまとめる方法をとっており、科学的なアセスメントと呼んでいる。そして、最後の報告書の承認は各国代表 (主として政策決定者) からなるIPCCの全体会合で行われることになっている。

第4次報告書作成の作業は始まっており、最近のスクーピング会合で今回の全体の方針すなわち目次案が決まったところである。この第4次報告書 (第2作業部会) の目次案を紹介すると、各章で温暖化の影響がすでにどこで出ているか、地域ごとの影響等をまとめるのは第3次と同じであるが、引き続きチャレンジングな試みとして後述する安定化濃度というものを取り上げ、その研究の評価を行うことになっている。各国にこの報告書を執筆する研究者をノミネートしてもらい来年4月頃には決定し、本格的に第4次報告書の執筆活動が開始される。日本からいかに多くの執筆業者を出すかというのが今一番の懸案事項である。

3つの作業部会で扱う現象・影響・対策について、これらを横につなぐものが必要である。この分野横断的なテーマにはリスクと不確実性、適応

と緩和、地域の統合、持続可能な発展、水等があり、これらのテーマが横断的な問題という形であがっている。

3. 温暖化現象解明

日本においては2002年4月から地球温暖化研究イニシアティブがスタートした。これは総合科学技術会議の4つの重点項目の一つである環境分野（ごみ問題、化学物質問題、水環境問題等）のうちの1つである。これまで個別に実施されていた温暖化の研究は全体のまとまりがなかったので、総合科学技術会議が主導して、トップダウンでこういう研究をやるべきということで進められており、それなりの成果が出ている。国際的にはIPCC、国内的には地球温暖化イニシアティブという形で研究が進んでいる。日本では従来から研究テーマを立てるときはある発想で個別のテーマを作っていたが、温暖化研究では問題を解く鍵となる質問を立て、その問いに答えるためどのように研究を進めていくか、すなわち欧米で主流のシナリオ主導型研究で総合的に進めている。

IPCCの第3次報告書では、最近50年間の温暖化は人間活動によるものであることを科学的に証明している。それをもとに21世紀末の全球の平均気温は1.4~5.8℃上昇する。これは以前の予想より幅が広がり、最高気温が高くなっている。また、近年の地域的な気温変化の影響が生物、自然等に現われており、このまま進むと21世紀中に生態系の崩壊、干ばつの激化等種々の影響が予想され、とくに亜熱帯・熱帯の途上国の影響は深刻なものとなる。これらの問題への対策として、技術的には大きな進歩がみられ、二酸化炭素の削減には大きなポテンシャルがある。しかしこれが実現するには、技術や社会経済の障害を克服し、総合的な対策を推進し、早急に省エネ・省資源を徹底した循環型社会へ変革する必要がある。

二酸化炭素濃度の変化をみると、1800年代まではずっと280ppmというレベルであったが、1900年代から上昇し、このままだと500ppm、あるいは場合によれば1,000ppmになる可能性もある。約50年前からハワイのマウナロアで精密に測定され始め、当時は315ppmで現在は約370ppmとなり上昇を続けている。人為的なCO₂が植生とか海

洋中に吸収されない分が大気中にたまることになる。一方地表の温度については、最近140年間のデータがあり上昇傾向を示しているが、観測期間が短いので、これだけでは温暖化しているかどうかは判定できない。温暖化の現象面での問題は、いかに温暖化しているかを検出して、それが検出できたとすれば何が原因かを究明することが研究の大きな課題である（温暖化の検出と原因究明）。温暖化の証拠として氷河の融解等種々の現象が現われており、また地表面の気温が上昇すると成層圏の温度は下がるが、こういう現象も観測されている。こういう種々の科学的な知見を集めると、もうすでに温暖化は確実なことであるといえる。

人為的なCO₂の行方について、炭素循環の研究が最近盛んになってきている。90年代の1年間に、化石燃料の燃焼で63億t（炭素換算）、森林伐採等で16億t、合わせて人間活動により79億t排出されている。このうち植物、海により吸収されない32億tが毎年大気中に溜まり込んでいる。最近10年間の研究で、排出されたCO₂の行方はすべて把握されるようになったことは進歩である。とくにデータが少ない海洋については、当研究所では商業用船舶を利用したCO₂の収支に関するモニタリングを実施している。各国もこの方法を取り入れつつある。

現象面について異常気象のテーマがあるが、現段階では、温暖化と異常気象の関係についてははっきりいえないというのが科学的な見解である。関連づけできる長期のデータがまだないのである。ただ、異常気象は発生するとその影響が大きいので、温暖化との関連、いわゆる気候変化の一部としての異常気象の関連には注目している。異常気象という表現は気象庁の定義では約30年に1回起きる程度の異常な天候異変のことを指すが、最近の極端な気象現象は頻繁に発生しており、温暖化の進行とともに自然の変動性が大きくなっている。豪雨、干ばつ、熱波等による植生の急激な変化は温暖化を加速するという効果も研究されている。

エルニーニョは南太平洋の赤道付近の水温が上がる現象であるが、その起こり方が最近変わってきている。90年代に入ってから、だらだらと長いエルニーニョのような現象が起きている。98年に

は観測史上最大のエルニーニョが起きており、このように現象の起き方がだんだん変わってきた。エルニーニョは世界中の異常気象の原因となるので、エルニーニョの予測、分析は非常に重要である。このような研究の成果により、2007年の第4次報告書では異常気象と気候変化の関係について種々のことが解明されるであろう。

このような異常現象に対し、気候モデルを使った研究がヨーロッパを中心に実施されており、日本でも研究を開始した。気候モデルを研究する場合、将来の二酸化炭素排出量の予測が重要になる。このCO₂排出シナリオをベースにして気候モデルをまわし、将来の気温の変化あるいは降水量の変化を予測して、その予測結果を影響評価に使う。ただ、気候モデルを扱う場合、気象学会はじめ種々の学会が関与する必要がある。CO₂排出シナリオは社会科学の分野であり、横のつながりを持ちながら温暖化の研究は進んでいる。温暖化がCO₂に原因しているかどうかは地球規模での実験はしようがないので、気候モデルで原因究明するということである。気候モデルではその再現性が問題であり、火山の噴火等の自然現象を加味すると最近の傾向に合わず、人為的な排出CO₂だけで計算すると50年前の変化は合わないことになり、両方入れると再現性はよくなるということで種々の要素を入れてモデルを改良する研究が進められている。

気候モデルに重要なCO₂の排出シナリオについて、IPCCでは将来がグローバル化するか、EUのように地域化するかという軸と、経済発展を中心にするか、環境重視あるいは環境と経済の調和を求めるといった軸を設定し、これらを組み合わせた4つの社会についてモデルを比較していく方法で研究を進めている。さらに経済中心のグローバル化社会を3つに分け、従来と同じように化石燃料を使い続ける社会、最新技術、新エネルギーを取り入れた高度技術指向の社会、化石燃料の効率的な使用と新技術をバランスよく取り込んだ社会に分類し、人口、経済活動、技術の発展等の程度を想定して計6つの将来社会像を描き計算する。

たとえば熱回収やリサイクルを徹底した循環型社会になれば2100年での気温上昇は1.4℃となり、石油・石炭を使い続ける経済優先の高成長型社会

のままでは5.8℃の上昇が予測される。6つの排出シナリオの気温上昇幅が1.4~5.8℃の幅で予測されているが、今後これらの6つのうちのどの社会に進んでいくか途上国、先進国等それぞれ意見があり、対策が困難であるが、最終的には人類みんなで決める問題になってきている。また排出シナリオの1つに多元型社会があるが、このケースでは将来の温度上昇は北の地域ほど昇温度が高くなっている。

4. 温暖化影響研究

温暖化の影響に関する研究は最近10年間に非常に進歩しているが、重要な問題の一つに温暖化の影響が本当に現われているかどうかの判定である。20年以上の長期間のデータを解析した多くの論文をまとめると、温暖化の影響が現われていると判定できる例として、水文関係、氷河の融解等北米、ヨーロッパに報告例が多い。日本や途上国は温暖化の影響が出ていないというのではなく、研究報告が少ないということである。日本では100年後には豪雪地帯がなくなるという報告もあり、雪がなくなることは植物への影響、水資源の問題等深刻な影響をもたらす。

気候変化はその対応する時間が気温の場合と海面上昇とかそれぞれスケールが異なる。気温は数百年で安定化するが、海面上昇の安定化は1000年オーダーである。このような長期の計算も気候モデルで実施されている。日本での影響例として、高山植物の生息域が狭くなっている報告、1℃の上昇で100~150km生息域が北上するなど影響はまず植物に現れる。CO₂、メタンの測定と同時に植物の生息状況の把握も重要になっている。農業への影響も大きく、南部で米が取れなくなる。自給率の低い日本では、世界の穀倉地帯への影響が間接的に日本へも影響することになる。

水文・水資源への影響も大きく、現在の気候モデルではまだ水量の予測は困難であるが、中央アジア、地中海沿岸等では乾燥化し、東南アジアでは多くなることが共通してわかっている。沿岸域では、海面上昇が9~88cm予測されており、島国では国土が無くなる深刻な例も報告されている。日本でも海面が1m上昇した場合、各県別の砂浜の減少率が報告されているが、今後は種々

の面に関し各県ごとの影響について研究していくべきであろう。産業面への影響については、種々の安全策で守られており気候変化のみの影響は出にくい。たとえば季節商品は気温に応じた生産調整で対応できるが、水温上昇により冷却効率が低下することによる発電効率の低下、雷が増えることによる電子機器への影響等細かなレベルでは種々の影響が考えられている。人間の健康への影響については、マラリア患者の増加、熱波による影響等が懸念されている。米国では熱波発生時に避難するシェルターが設置されている都市もあるが、健康に対する種々の対策が必要になる。

5. 温暖化対策研究

気候変動枠組条約の第3回締約国会議で成立した京都議定書で各国に割り当てられた削減目標の第一約束期間（2008～2012年）が目前に迫っているが、世界のCO₂削減は進んでいない。この条約の目標は、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすことに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」ことである。しかし、何ppmにすべきかはまだ結論が出ていない。産業革命前の280ppmから、現在の370ppm、さらに今後550ppmで収まるか、1,000ppmまで上がるか、どのレベルを目標に対策をとっていくか結論が出ていない。IPCCでこの安定化濃度について議論しており、先の6つの排出シナリオで予測される排出量から安定化濃度に落とす場合に、この差が大きいかほど削減経費は大きくなる。

京都議定書で国際的に約束した日本の6%削減に必要な経費は、限界費用（たとえば10t削減する場合の最後の9t目から1t減らすのに要する費用）は、幅はあるが中央値で約300ドルで米国は180ドルである。この削減の経済的な影響（GDP損失）は日本では約0.6%見込まれている。この限界費用の幅はまだ大きい、経済分野で精力的

に研究されており、京都議定書の達成に要する正確な経費は近々に出てくると思う。ただ、達成しても気候の安定化には、その後の削減も必要である。

CO₂濃度の安定化レベルを450ppmに設定すれば、2030年には先進国では34%減らさないと達成できない。安定化レベルを緩めると先進国はあまり削減しなくても達成できるので、この安定化レベルの設定は重要な問題である。安定化濃度とその影響の問題を念頭においてレベル設定の研究が進められている。

最後に、当研究所で実施している研究を紹介する。京都議定書の目標を達成するための経費で当然経済が落ち込むが、新しい技術への投資、その普及で経済を回復させることである。種々の環境産業を興すことにより、産業を活性化させ、CO₂も削減する。さらに、環境に優しい商品、グリーン購入等のライフスタイルの変革が重要な役割を果たす。また炭素税の導入によりCO₂の削減が期待できる。このような種々の研究成果は政策担当への資料として利用できるものと思っている。

6. おわりに

現段階での温暖化の研究の進め方について、CO₂安定化濃度の問題とか、京都議定書の効果の問題、それに要する経済的な問題等があり、これらを日本だけでなく、世界の国々と協力してやっていく必要がある。この際アジア諸国との連携は重要である。また、地球モニタリングは一研究所がやるよりも今後はデータをネットワークで公開し地球レベルで互いに情報を共有し、研究を進展させていくべきであろう。一方、従来のグローバル的な影響面での研究を今後は国・地域への展開を図る必要が出てきている。そうすればわれわれ一般市民への影響もより詳しく予測できるようになる。