

-- プロジェクトセミナー報告 No.25 --

2001.2.6

報告 國則守生 氏

テーマ「地球温暖化について」

司会 大瀧雅之 氏

報告要旨

昨年 11 月のオランダ・ハーグにおける COP (Conference of the Parties: 締約国会議) -6 にみられるように、再び注目を集めている地球温暖化について、原因等について簡単な要約と今後の展開を考えるうえで重要と思われるいくつかの論点を紹介し、議論してみたい。

(1) 地球温暖化現象について

地球の気温は上昇していることがはっきりしてきた。全球表面気温は、今回の IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) 第 3 次評価報告書では、1861 年以降、 0.6 ± 0.2 の上昇としている。これは、第 2 次評価報告書よりも約 0.15 高い数値である。とくに 20 世紀における温暖化の程度は、観測結果の利用できる北半球では過去 1000 年のいかなる世紀よりも著しいといわれている。その原因としては、大気中の二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、ハロカーボンなどの温室効果ガス濃度の上昇があげられている。

温室効果ガスのなかでもっとも影響が大きいのは二酸化炭素濃度の上昇である。大気中の二酸化炭素濃度は 1750 年以降、3 割以上増加している。現在の増加率は少なくとも過去 2 万年では前例のないスピードである。最近 20 年間の大気中二酸化炭素の年率増加率は約 0.4% であったが、その間の大気中二酸化炭素濃度の増加のうち、4 分の 3 は化石燃料の燃焼によるものである。残りの大部分は森林の減少などの土地利用の変化によって引き起こされたものとされている。

次に、大気中のメタン濃度は、1750 年以降 150% 上昇し、現在も増加を続けている。ただし、大気中濃度の年間増加率は、1980 年代と比べて 1990 年代には減速し、かつその変動が大きくなってきている。メタン排出量の半分以上が、化石燃料の使用、畜牛、米作、埋立等の人為起源によるものである。

亜酸化窒素も 1750 年以降、17% 増加し、現在も増加を続けている。亜酸化窒素排出の 3 分の 1 が、農地土壌、畜牛、化学工業など的人為的起源によるものである。

ハロカーボン (フロン) は、オゾン層を破壊する原因物質でもあるが、その大気中濃度は 1995 年以降、モントリオール議定書 (フロンを規制する国際協定) の規制のもとでの排出削減効果により、微増あるいは減少している。一方で、これらの代替物質や一部の化合

物（パーフルオロカーボン（PFCs）、六フッ化硫黄（SF₆）など）も温室効果ガスであるが、それらの濃度は増加している。

温室効果の強度を表す放射強制力（radiative forcing）をみると、1750年から2000年間の温室効果ガス全体で2.43W/m²であるが、そのうち、二酸化炭素は約60%、メタンは約20%、八口カーボン（CO）は約14%、亜酸化窒素は約6%の寄与となっている。

すでに述べたように、これら温室効果ガスの大気中濃度の持続的増加の影響により、地球の温度は確実に上昇してきていることがこれまでよりも強調されるようになってきた。ただし、1940年代から1970年代後半にかけて全球平均温度が横ばいあるいは下がり気味の時期があり、温室効果の科学的不確実性として疑問を呈する向きもあったことも確かである。しかし、この原因の1つとして硫酸エアロゾルの大気中濃度が関係していることがわかってきた。硫酸エアロゾルは硫黄酸化物から発生するが、この大気中の小さな粒は太陽からのエネルギーの反射率を上げ、大気を冷却する効果がある。つまり、硫酸エアロゾルが増加すると、温暖化を抑制する効果があることが明らかになってきた。1940年代から1970年代後半にかけての時期は経済の発展段階で大量の公害汚染物質である硫黄酸化物が発生し、大気中の硫酸エアロゾルが増加し冷却効果を招いたのである。したがって、今後の硫酸エアロゾルの動向は、温暖化に関しても大きな影響を与えるが、最近では環境問題に対する意識の高まりから世界的にも硫黄酸化物の発生も抑制傾向にあることから、大気中の滞留時間の短い硫酸エアロゾルの冷却効果が弱まる結果、温室効果ガスの増加の影響が直接的に反映されることが予想される。

COP-6の冒頭で発表されたIPCCのワトソン議長の報告によれば、今取りまとめ中の第3回報告では、科学的な不確実性の存在は認めつつも、「圧倒的多数の科学者は、これまで以上に人為起源による気候変動は避けられないものと認めている」という。

後で議論する京都議定書の目標年次の2010年（正確には2008年から2012年の平均）に温室効果ガスの排出量を先進国合計で1990年比5%の削減を目指すというタイム・スケールをもっているが、温暖化抑制のための究極的な目的とは、温室効果ガスである二酸化炭素の大気中濃度を安定化（大気中の二酸化炭素のストック量を一定にすること）である。よく議論されるリファレンス水準は、産業革命以前の濃度のほぼ2倍である550ppmの水準である。これによる温暖化の究極的な影響は、気温では約3℃、海面では約1mの上昇とみられているが、100年以上の時間をかけてこの上昇に何とか適応（adaptation）しようということになる。この場合のフローの年間排出量のパターンは数学的には無数にあるが、即座に大きな削減ができないことを織り込んだ図1の代表的なシミュレーション・パターンでも、図2でみると、22世紀中葉から安定化を目指すためにはフローの排出量は現在の半分以下に抑制しなければならないことがIPCC第2次報告で明らかにされている。二酸化炭素濃度の高い750ppm安定化を目指す場合でも、究極的な排出量は現状と比べて大きく

抑制されなければならない。つまり、ストック量の安定化のためにはいずれはフローの排出量を大きく抑制しなければならないことを示している。このような超長期的なフローの排出の削減目標からすれば、京都議定書の目標は、極めて小さな第1歩と見なければならないものです。しかし、「千里の道も一歩から」という視点からは、いち早く手をつける必要があるのではないかと思います。

図1 二酸化炭素安定化のプロファイル

図2 上記プロファイルの対応した各年の二酸化炭素排出量

(2) 京都議定書

1997年、温室効果ガスの排出を抑制するためCOP-3が京都で開催された。そこで採択された京都議定書(Kyoto Protocol)の第1の特徴はいうまでもなく、先進国(市場経済移行国を含む。Annex I Parties という)「各国別」の2008-2012年の温室効果ガスの排出量を1990年比で合意したことである。このため、先進国全体の排出量としては同時期少なくとも5%の削減となることを目指している。温室効果ガスの対象は、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン(HFCs)、パーフルオロカーボン(PFCs)、6フッ化硫黄(SF6)の6種類のガスであり、IPCCの定める地球温暖化ポテンシャル(GWP: Global Warming Potential)係数を使って炭素ベースの単一数値に換算したものを使用する。このなかで、最も影響が大きい温室効果ガスは二酸化炭素であり、これからさらに大きな影響を与えとみられている。一方、発展途上国に対しては、数値目標等の義務は全く取り入れられていないことも特徴の1つである。

第2の特徴は、基準年からの土地利用の変更(植林、再植林、森林減少など)に伴う温室効果ガス増減の影響を、非常に複雑なルールではあるが、取り入れることとしたことである。

第3の特徴は、「京都メカニズム」と呼ばれる国際間の仕組みを取り入れたことである。先進国間という限定のもとで、排出量取引(emission trading)および共同実施(joint implementation)が、先進国、途上国間では、クリーン開発メカニズム(clean development mechanism)が、それぞれ原則としては認められた。フレキシブル・メカニズムといわれるこれらの3つの手段の具体的な実施方法は、COP-6以降の会議に委ねられている。また、先進国・途上国間の排出量取引の可能性は後者が削減義務を課されていないこともあり不透明な取り扱いとなっている。

第4の特徴とは、これらの国際的なフレキシブル・メカニズムの利用はあくまで補助的(supplemental)なもので、国内対策を優先させることがあげられる。

第5の特徴は、不遵守の場合の取り扱いを議定書発効後の締約国会議に委ねており、現状の京都議定書では罰則などの法的な拘束力を伴う具体的な取り決めは将来行われることと

なっている。

第1の特徴である先進各国の削減目標のもと、日本、カナダは6%減、アメリカは7%減、EUは8%減（議定書では数値目標を共同して達成することが認められている）などの削減目標となっている。一方、ロシア、ニュージーランドは0%、ノルウェーは1%増、オーストラリアは8%増などとなっている。

京都議定書は、以上のような特徴をもっているが、一般的な排出量の報告義務などの詳細の詰めのほかにも、発展途上国の取り扱い、森林等の吸収源の具体的な取り扱い方法など検討すべき課題が山積している。先般のCOP-6でも、吸収源としての森林等の取り扱いを直接的な要因として合意をみることができなかったことは衆知のことである。

（3）わが国の対応 削減目標

京都議定書を遵守するために、わが国はどのような目標を持っているのであろうか。政府発表の表1によれば、わが国の「6%削減」目標は、次のように分解できる。

まず、二酸化炭素、メタンおよび亜酸化窒素の3つの温室効果ガス合計で2.5%の削減寄与率を想定している。その中身は、エネルギー起源の二酸化炭素が±0%の寄与率のほか、非エネルギー起源の二酸化炭素、メタンおよび亜酸化窒素の3つの合計で0.5%の削減寄与率、「その他」の項目として2.0%の削減寄与率となっている。このうち、エネルギー起源の二酸化炭素の排出は、基準ケース（Business as Usual）では2010年には1990年比21%増加すると予測されるなか、対策ケースでは業界の自主規制などの個別の具体的な対策の積み上げを行い、二酸化炭素の排出を横ばいに抑制する努力が織り込まれている。

また、寄与率の大きい「その他」の項目には革新的技術開発やさらなる国民努力が含まれており、具体的には超高効率太陽光発電やサマータイムの導入などが指摘されている。それにしても、「その他」の項目で2%の削減寄与率をあげるためには、今後の経済成長率の予想やエネルギー起源の二酸化炭素削減努力の帰趨にもよるが、この計画のなかでは相対的に大きな努力（たとえば達成できない場合には炭素税といった経済的措置を採るなどの努力）が要請されているとみることができよう。

一方、代替フロンと呼ばれるHFCs、PFCs、SF6合計では、プラス2%の増加寄与率を想定している。また、森林等による純吸収量の効果によって議定書上では0.3%の削減寄与率が見込まれる。しかし、2010年頃における森林の純吸収量はわが国独自の判定では3.7%程度の削減寄与率が認められることから、今後の外交交渉において追加的な吸収量による削減寄与が認められるように努力することとされている。

森林の純吸収量による3.7%の削減寄与率が認められるとして、全体で6%の削減となるためには、排出権取引、共同実施、CDMからなる京都メカニズムの削減寄与率が1.8%にのぼることが要請されている（1.8% = 全体6% - 二酸化炭素等2.5% + 代替フロン2% - 森林

3.7%)。想定よりも他の項目の排出量が増加した場合には、京都メカニズム利用の割合が大きくなることとなる。

1990年の基準年から比較すれば、90年代の温室効果ガスの排出は趨勢的には増加しており、京都議定書による2010年目標を達成するためには、すでに指摘したように今後10年間の経済成長率などの前提にもよるが、現状の計画では相当程度の削減努力が要請されているといえよう。

表1 6%排出削減目標の達成に向けた当面の対策の概要

(4) 京都議定書に関するいくつかの論点

最後に、京都議定書に係わる論点のいくつかを思いつくままに列挙(順不同)し、簡単に議論してみよう。

4.1. Cost-effectiveness と国内対策優先

京都議定書に関して評価が最も分かれる論点の1つがその達成のためのコストに関する側面であろう。議定書の特徴である各国別の削減率を達成しようとした場合、各国ごとに温室効果ガスの限界削減費用が異なることが予想される。省エネルギー努力が相対的に進展しているわが国とそうでない米国等を比べれば、この点は明らかであろう。さらに、議定書で削減対象となっていない発展途上国の限界削減費用を考えれば、先進国と比べてさらに低いことが予想される。この点をとらえて、米国の経済学者を中心として、京都議定書はコスト的に有効な議定書を目指してはいるものの排出量取引量などを supplemental の観点から制限していることから、cost-effective な観点からは極めて中途半端に終わっており、議定書の将来に大きな疑問を呈する議論がある(例えば、Nordhaus and Boyer (1999) "Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of the Kyoto Protocol," in J. P. Weyant, ed. *The Cost of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, Special Issue of the Energy Journal*)

一方、京都議定書を擁護するEUを中心に温暖化対策は国内対策を優先させるべきだという強い主張があり、議定書にもその旨、織り込まれた。この背景には、化石燃料の依存度を下げするための技術開発を効果的に行うことができるのは先進国であり、そこでの技術開発を促進するためにも、排出許可証を国外から購入して対処することはできるだけ避けて、国内対策を主要な対策とすべきだという考え方がある。現在、進展しつつある脱化石燃料のための新エネルギー源の開発や省エネなどの努力や社会的枠組の改編等の動きを損なわないよう、国際協定によってバックアップしたい意図が込められている。技術開発や社会システムの改編等を促すためには、先進国内での対策を優先しておかなければならないという主張である。

京都議定書に伴う義務を各国が満たす場合、それぞれの国(地域)での負担を示すため

に、温暖化に関する世界モデルを集め、シミュレーション結果を報告したものに J. P. Weyant, ed. *The Cost of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, Special Issue of the Energy Journal*, 1999 がある。報告されたモデルは、13 件である（表 2 参照）。議定書を想定しない基準ケースの前提はそれぞれのモデルで異なっているが、議定書を遵守するための対策ケースとして各国（地域）で炭素税を賦課するケースが報告されている。この炭素税のレベルは、排出権取引がどのように行われるかによって、以下の 4 つのケースに分かれている（この場合、CDM 等の影響は含まれていない）。

- 排出量取引が全く行われない場合、
- 先進国（Annex I）間で排出量取引がフルに行われる場合、
- EU と EU 以外の先進国を分割し、後者のなかで排出量取引が行われる場合（double bubbles という）、
- 仮に途上国の排出量が基準ケースに制約されると想定した場合に、地球規模で排出量取引が行われる場合。

炭素税の水準は 4 つの方法によって異なってくるが、それぞれの方法は各国（地域）における限界削減費用と排出量取引の価格に関連している。とくに、は議定書では途上国は未だ排出量抑制が全く制約となっていないため、便宜的に排出量規制を設定したものである。

図 3 の結果によれば、各国とも のケースでの炭素税は高率のレベルとなっている。とくに日本は高く、次に EU と続く。また、米国、日本、カナダ・オーストラリア・ニュージーランド 3 国では、 から までの順に炭素税は低くなる傾向となっている。一方、EU は、 と が高く、 と が低い傾向となっている。最後に、 では、すべての国（地域）で極めて低い結果となっている。

このような結果は、予想されることであるといえよう。しかし、たとえば、の排出抑制が途上国に課せられ、排出量取引が行われた場合、途上国各国の経済発展はどのような姿になるのかといったことは明瞭でない部分が多い。

これらモデルの 1 つである前出の Nordhaus and Boyer のモデルでは、それぞれのケースで世界中の総コスト自体に大きな違いがあることを報告している。とくに、京都議定書の内容が 300 年続いた場合の の場合のコストの現在価値を求めているが、この場合には、世界中の総コストのうち、米国は 3 分の 2 もの負担を負うことになることを指摘している。

一方、EU の supplementality の主張は、各国におけるある程度大きな炭素税（限界削減費用）の差異を容認し、それを技術開発、国内の制度改変等を促すインセンティブに結びつけようとする点で、宇沢教授の提唱する「1 人あたり国民所得に比例した炭素税」構想とも共通な考え方が根底にあるものと解釈することもできよう。もちろん、後者の論点は、所得配分が公正でない次善の世界での経済対策の議論とも関連している。

表2 ポスト京都を分析するエネルギー・モデルの概要

図3 2010年の炭素税比較

4.2 森林等のシンク（吸収源）

京都議定書は、各国別の温室効果ガスの削減・抑制目標に影響を与える活動として、植林（afforestation）、再植林（reforestation）および森林伐採（deforestation）が定められている（3条3項）が、それらの定義およびシンク対象の拡大などについてはその後の作業に委ねられていた。COP-6では、各国の思惑（とくにわが国はとくに温室効果ガスの吸収割合を多くしたい希望あり）もあり、合意が得られなかった。シンクの取り扱いは直接、削減量に影響を与えるため、交渉の駆け引きに使われる傾向がある。

4.3 炭素 leakage

京都議定書は、先進国しか数値目標が定められていないため、温室効果ガスの発生が相対的に多い産業がそれ以外の諸国（発展途上国）にシフトし、地球全体の削減量はそれほど多く削減されない可能性が潜在的には考えられる。つまり、炭素 leakage の程度が大きければ、京都議定書の効果は単に先進国から発展途上国に温室効果ガスの発生源が移転するにとどまる可能性も指摘できる。2010年をターゲットとした京都議定書によってこのような効果がすぐに顕在化するとは限らないかもしれないが、今後、先進国で大きな削減傾向が持続すると判断された場合には、日本の90年代の東アジアを中心とする対外直接投資の盛行例などを考えても、中長期的にはエネルギー多消費産業の海外移転等の大きな要因の1つとなる可能性も高いといえよう。

4.4 Prices vs. Quantities

一般的な議論としての温暖化の経済的対策を想定すると、数量制約あるいは炭素税のような価格制約のどちらの政策がより効率的かという問題が提起される。そのとき、京都議定書のような数量制約を課した場合、限界費用は不確実になる。一方、税によって價格的制約をかけると、排出削減量が不確実になる。このとき、もし限界費用曲線の傾きが限界便益曲線（温暖化の場合には限界被害曲線）の傾きよりも絶対値において相対的に大きければ、不確実性かでは価格制約のほうが優れていることが、Weitzmanによって示されていることは衆知のことである。

温暖化問題に即して検討した Pizer (1998) “Prices versus Quantities Revisited: The Case of Climate Change,” RFF Discussion Paper 98-02 の計算によれば、税の方が数量制約よりはるかに効率的であるとされる。さらに、價格制約と数量制約の双方を織り込んだ方法（Poberts and Spence）によっても、温暖化問題の場合には、價格制約と比較して大きく改善しないとされる。Pizer の結果は子細に検討しなければならないが、もしそうだとすると、将来の議定書

は、直接、限界費用を制約する政策が優れているということになる。少なくとも、これからは、不確実性のもとでの論点の検討も1つの課題となろう。

4.5 議定書の遵守などについて

オゾン層破壊に対するモントリオール議定書は貿易制裁という形で条約に参加し役割を果たすインセンティブを織り込んでいたが、京都議定書は現状ではモントリオール議定書のようなインセンティブはないものといえよう。とくに、条約に参加しない、すなわち批准が難しい国の場合、締約国側としてはどのように対処し、批准の難しい国の参加を促すかということは、参加しない国のいわば「ただ乗り」をどうするかということを含め、今後、大きな問題となる可能性があるだろう。

以上のように、京都議定書は、いろいろな課題を含んでいると思われる。とくに、排出量取引などのフレキシブル・メカニズムの実質的な取り扱いは、フィージビリティも含めて、検討すべき経済学的課題が多く残されているものとみられる。

しかし、一方で、いたずらに完璧な国際協定を求めてそれが得られないことも慎まなければならない。これまでの環境に関する国際協定を調べると、1つの協定で十分であるという例はなく、ある期間をおいての国際協定の連続であるという傾向が顕著である。この観点から、完璧な国際協定でなくとも、いち早く協定を結ぶことがベターである場合を取り扱った論文を温暖化問題を対象に松村氏とまとめているので、興味をお持ちの方はご参照下さい（國則・松村「環境問題と国際協調：地球温暖化を中心として」『経済研究』第50巻1号1999）。

（國則守生）