

「地球温暖化阻止をめぐる国際交渉：京都議定書のゲーム理論的分析」

一橋大学大学院経済学研究科 岡田 章

1. はじめに

地球の温暖化を阻止するために先進各国に二酸化炭素 (CO₂) などの温室効果ガスの排出削減量を割り当てた京都議定書が今年 2 月 16 日に発効した。京都議定書はさまざまな思惑をもった先進国と発展途上国を含む 150 以上の国の間の長期間にわたる複雑な国際交渉の結果、1997 年 12 月に京都で開催された「気候変動枠組み条約第三回締約国会議」(COP3) において合意された。

京都議定書の主な内容は、次の通りである：(1)先進国 (OECD 諸国と旧ソ連、東欧諸国) は全体で 2008 年から 2012 年の間に 1990 年比で 5.2%の温室効果ガスを削減しなければならない、(2)主要な排出国の削減率は、ロシア・ウクライナ 0%、日本 6%、米国 7%、EU 8%である、(3)削減を促進するために、排出量の国際取引、共同実施やクリーン開発メカニズムなどの「柔軟措置」が導入された。

本稿では、京都議定書をめぐる国際交渉とその合意がゲーム理論さらに経済学によってどのように説明することができるかについて考察する。以下の分析は、筆者の最近の研究論文 (Okada 2003, 2004) に基づいている。地球温暖化問題に関する包括的な論点については佐和 (1997) 等を参照されたい。また、ゲーム理論を用いた京都議定書の最新の研究に今井 (2005)、蓼沼 (2005) がある。

2. ゲーム理論は京都議定書交渉を説明できるか？

京都議定書は、国家間の複雑な国際交渉の政治過程における妥協によって実現した。このような京都議定書をめぐる国際交渉とその合意内容はゲーム理論や経済学によってどのように説明できるであろうか？人々の合理性を前提とするゲーム理論や経済学の科学的な方法論は現実の国際交渉を説明する上で果たして有効であろうか？このような視点から京都議定書の問題を考察することは、学問としてのゲーム理論や経済学にとって大切であるだけでなく、今後の地球温暖化問題とその解決策を考えていく上でも重要な研究課題である。

ゲーム理論さらに広く経済学の分析の基礎は、「合理的な経済主体」の仮定である。この合理性の仮定の意味は、人々は一定の明確な目的をもちさまざまな物理的および制度的条件の下で可能な限り他の人々の行動を推測し自己の目的の実現を目指すということである。このような合理性を前提とするゲーム理論に対して、「現実の人々は合理的でないからプレイヤーの合理性を仮定するゲーム理論は役に立たない」という批判がときどき見受けられる。このようなナイーブな批判は一見もっともらしいが、自然科学や社会科学のような実証科学の研究を誤解したものである。実証科学の研究において意味があり重要なことは、理論の「仮定」(ここでは、人々の合理性) が現実的であるかどうかを問うことではなく仮

定から演繹された「命題」の妥当性を実証することである。命題が反証された場合、理論の仮定を修正しさらによりよい理論を求めることが必要とされる。

この議論を京都議定書をめぐる国際交渉の問題にあてはめれば、各国を代表する交渉担当者が実際にゲーム理論で想定されるような合理的なプレイヤーかどうかの問題ではなく、合理性を前提とするゲーム理論によっていかに現実の国際交渉が説明可能かということである。言い換えれば、京都議定書はゲーム理論によっていかに合理的意味づけが与えられるかが問うべき問題となる。このような視点に立って、京都議定書によって合意された各国の排出量削減率がゲーム理論によって説明可能かどうかを次節で考えてみる。

3. 京都議定書をめぐる国際交渉ゲーム

CO₂排出国をプレイヤーとする次のような2段階n人ゲームを考える。

第1段階：排出量削減割当て交渉

nヶ国は各国に割り当てられる排出削減量について交渉する。議論を簡単にするため全体の削減率（京都議定書では5.2%）を所与とする。本来、地球全体で削減すべき温室効果ガスの量は交渉で決定される政治的問題というよりはむしろ客観的な科学的知識に基づいて決定されるべきものである。交渉プロセスは、毎回の交渉ラウンドで削減率の提案と応答が行われ、合意が成立するまで交渉ラウンドが繰り返される。具体的には、交渉プロセスのルールは次のようなものである。

(1) 提案者の選出

交渉ラウンドの初めにnヶ国の中から1つの国が提案者としてランダムに選ばれる。提案者を選ぶ確率分布は任意でよいが、代表的なルールに、均一ルール、人口ルール、GDPルールなどがある。均一ルールでは各国が提案できる機会は均等であるが、人口ルールやGDPルールではそれぞれ提案できる機会は国の人口やGDPに比例する。したがって、人口ルールやGDPルールは人口やGDPの大きな国が陰に陽に大きな発言権をもつという国際交渉の現実をより適切に記述しているといえる。

(2) 削減量割当ての提案

提案者はすべての国に割り当てられる排出削減量を提案する。

(3) 提案に対する応答

提案者以外のすべての国は提案を受け入れるかどうかを逐次的に表明する。合意は全員一致ルールによって成立する。

(4) 提案が否決された場合のルール

提案が少なくとも一つの国によって拒否された場合、交渉は次のラウンドに進み同じルールで交渉が再開する。しかし、微小な確率で交渉が破綻し京都会議は不成功に終わる可能性がある。この場合、交渉は将来に先送りされ地球温暖化はさらに進行し将来各国は現時点より大きな費用を負担すると仮定する。交渉が破綻した場合に各国 i ($i=1, \dots, n$) が負担する費用ベクトル $d=(d_1, \dots, d_n)$ を交渉の決裂点(disagreement point)という。

第2段階：排出量の国際取引

第1段階で合意された排出削減量を所与としてnヶ国による排出量の国際取引が実施される。取引市場は競争的とし、競争均衡によって排出量価格pと各国 $i (=1, \dots, n)$ の実際の削減量 $x=x(i)$ が定まる。削減量xに対する第i国の削減費用を $C_i(x)$ とすると、第i国の削減の純費用は $C_i(x) + p \cdot (w(i) - x)$ で与えられる。ここで、 $w(i)$ は第i国に割り当てられた削減量であり、第i国は $w(i) - x$ の排出量を市場で購入（負の場合は売却）する。

最初に、EU、日本、米国、旧ソ連の実際の排出量データに基づいて排出量市場の均衡を計算する。各国の排出量削減の限界費用関数はNordhans(1991)とBohm/Larsen(1994)によって推定されたものを採用する。推定された限界費用関数は各国のGDP1単位生産するために排出されるCO₂の量の違いを考慮している。たとえば、EUと日本はすでに排出削減の努力をかなりの程度行っているため、さらに追加的に削減するための限界費用は米国と旧ソ連諸国に比べて大きくなる。

Okada(2004)による計算結果は、次のように要約される。

(1) 排出量価格は9,45ドル（炭素トン当たり）である。ⁱ

(2) 各国の実際の削減量、削減シェア、排出量取引による削減費用の節約分は表1に要約される。表1から読み取れることは、排出量市場ではロシア（旧ソ連）が唯一の売り手であり、ロシアと米国で4カ国全体に割り当てられた量の約8割が削減され、EUとロシアが排出量取引の導入によって最も大きな便益を得ることである。特に、排出量取引の導入による米国の節約費用（純益）はEUとロシアの1/8程度であり、米国が京都議定書に否定的であったことが計算結果からも裏づけられる。

排出国	京都議定書の取引後の削減量	取引後の削減量	取引後の削減シェア	取引後の削減費用	取引による節約費用
EU	66	21	0.12	522	469
旧ソ連	0	83	0.47	-398	398
日本	18	6	0.04	141	110
米国	92	66	0.37	558	52
合計	176	176	1	823	1029

表1. 国際排出量取引の市場均衡

次に、排出量取引の市場均衡を基に第1段階の排出量削減割当て交渉ゲームを分析する。次の定理が成立する。定理の証明はOkada(2004)を参照。

定理. 国際交渉ゲームの定常部分完全均衡はただ一つ存在する。交渉が決裂する確率が限りなくゼロに近いとき、均衡において合意される排出量削減率はナッシュ交渉解に収束する。さらに、ナッシュ交渉解における各国の重みは提案者に選出される頻度と一致する。

排出量削減をめぐる国際交渉ゲームの理論結果に基づいて、京都議定書で合意された日本、EU、米国、ロシアの削減率がナッシュ交渉解によって説明可能かどうかを検討する。分析にあたっての困難な問題は、交渉が決裂した場合の各国の費用（交渉の決裂費用）の推計である。残念ながら、現実には実現しなかった場合のしかも多くの不確定要因を含むこのような費用に関して信頼できる推計は存在しない。したがって、ここでは京都会議が不成功に終わった場合に各国が将来負担する費用がどのようなものであれば、京都議定書で割り当てられた各国の削減率はナッシュ交渉解と一致するか、という問題を考える。表2は、均一ルール、人口ルール、GDPルールの下で京都議定書がナッシュ交渉解によって説明可能な各国の交渉の決裂費用（単位は百万USドル）を示している。表2によると、均一ルールと人口ルールの下でもしEUと米国の交渉の決裂費用が日本やロシアのものに比べて大きいならば、京都議定書の削減率はナッシュ交渉解によって説明可能である。GDPルールの下ではロシアは交渉が決裂したときに利潤を得るという非現実的な結果を示していて、GDPルールの下ではナッシュ交渉解は京都議定書を適切に説明できないことがわかる。これは、GDPルールではロシアの交渉力は弱いにもかかわらず、現実の京都議定書ではロシアの参加を促すという政治的理由によってロシアに有利な内容となっていることによると考えられる。

均一ルール				
交渉決裂点 の総費用	3000	4000	5000	重み
EU	1067	1317	1567	0.33
旧ソ連	146	396	646	0.33
日本	685	935	1185	0.33
米国	1102	1352	1602	0.33

人口ルール				
交渉決裂点 の総費用	3000	4000	5000	重み
EU	1296	1652	2007	0.35
旧ソ連	215	496	777	0.28
日本	403	523	643	0.12
米国	1087	1331	1574	0.24

GDPルール				
交渉決裂点 の総費用	3000	4000	5000	重み
EU	1400	1803	2207	0.4
旧ソ連	-205	-116	-27	0.09
日本	516	688	860	0.17
米国	1289	1625	1960	0.34

表2. 京都議定書がナッシュ交渉解によって説明可能な交渉の決裂費用

4, おわりに

京都議定書で割り当てられた各国の排出削減率はゲーム理論によって説明可能である。さらに、京都会議後の米国の離脱という事件も、排出量取引による米国の便益の少なさ（表1）や米国が交渉の決裂費用を他の国より大きく予想した事実はない（むしろ米国内では京都議定書は米国経済に悪影響を与えるという意見が支配された）ことなどを考慮すると、本稿で示したゲームモデルの結果と整合的である。

京都議定書は複雑な国際交渉の政治的妥協の産物であるが、ゲーム理論による京都議定書の分析の有効性は大きい。ナイーブな反合理主義（naïve anti-rationalism）を乗り越えて、今後さらに京都議定書のような政治経済学の諸問題に対するゲーム理論による分析が進展することが望まれる。それによって、社会科学における合理性アプローチに基づく研究の可能性と限界がより明らかになることが期待される。

参考文献

Bohm, P. and B. Larsen (1994) "Fairness in a Tradeable-Permit Treaty for Carbon Emissions Reductions in Europe and the former Soviet Union," *Environmental and Resource Economics* 4, 219-239.

今井晴雄(2005)「環境経済学への応用：国際環境協定とその設計」、今井晴雄・岡田章編、『ゲーム理論の応用』、勁草書房。

Nordhaus, W.D. (1991) "The Cost of Slowing Climate Change: a Survey," *The Energy Journal* 12, 37- 65.

Okada, A. (2003) "A Market Game Analysis of International CO2 Emissions Trading: Evaluating Initial Allocation Rules," in Takamitsu Sawa (ed.), *International Frameworks and Technological Strategies to Prevent Climate Change*, Springer, 3-21.

Okada, A. (2004) "International Negotiations on Climate Change: A Non-cooperative Game Analysis of the Kyoto Protocol," DP #2004-2, Hitotsubashi University.

佐和隆光(1997)「地球温暖化を防ぐ-20世紀型経済システムの転換」、岩波新書。

蓼沼宏一(2005)「地球温暖化問題における効率・衡平・交渉」、今井晴雄・岡田章編、『ゲーム理論の応用』、勁草書房。

ⁱ 欧州エネルギー取引所(EEX)は排出量の取引価格指数（欧州炭素指数）をHP上で公表しているが、2005年2月1日の1トン当たりの排出量価格は7.16ユーロ(約9.31ドル)である。