

地球温暖化緩和への国際交渉

—ゲーム論的分析—

蓼 沼 宏 一*

1997年に締結された京都議定書では規定されていない2012年以降の温室効果ガス削減総量と各国への割当は、地球温暖化を巡る今後の国際交渉における重要案件である。本稿は、温室効果ガス削減へ向けた国際交渉の帰結のパレート最適性と安定性について、浅子他(1995)、Okada(2003)およびTadenuma(2003)の3つのゲーム理論モデルによる分析を比較検討する。主要な結論は以下の通りである。(1)各国の厚生が貨幣単位で測られ、かつ国家間の純所得移転が可能であるならば、パレート最適な資源配分が実現される。(2)一定量の総排出権を各国に初期分配する交渉では、コアの意味での安定的帰結は存在しないが、フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルンの安定集合は存在する。(3)所与の初期分配ルールのもとで排出権総量について交渉するケースでは、各国は排出権総量が排出権市場均衡における自国の排出権収入または支出に及ぼす効果を合理的に予測するため、交渉によって決まる排出権総量は必ずしもパレート最適水準には至らない。

1. 地球温暖化緩和への規範と交渉

地球温暖化はまことに厄介な問題である。人間のあらゆる経済活動から——生産だけでなく消費からも——二酸化炭素等の温室効果ガスが発生し、その蓄積はやがて数十年後、あるいは一層遠い未来の人々にも影響を及ぼす。この問題は、かつて高度経済成長期に発生した水俣病のような公害問題と2つの点で顕著に異なる。第1は起因者の非限定性である。水俣病では原因物質発生源の企業を特定できたから、国家が有害物質の発生自体を停止させ、発生源の企業を処罰することができた。しかし、地球温暖化の原因はすべての人間の通常の経済活動であるから、温暖化ガスの発生を停止させることも、ガスの発生に対して処罰することも不可能である。第2は起因者と被害者の隔絶である。水俣病の起因者と被害者は同時代・同地域に并存していたから、被害の実態の把握も、被害者から加害者への賠償請求も実行可能であった。ところが、地球温暖化によって深刻な被害を受ける可能性のある人々は、主として未だ生まれてきていない将来の世代である。したがって、被害者が加害者に賠償請求することはあり得ない。

ある主体の活動が市場メカニズムの外部で別の主体の厚生に影響を及ぼす結果、資源配分の最適性が損なわれることを「外部性」の問題と呼ぶ。地球温暖化は外部性の問題の1つであるが、上に挙げた問題の特殊性が、その解決を著しく困難にしている。外部性の一般的な解決策として有名な「コースの定理」(Coase 1960)の主張は、権利の設定——誰も良好な環境を享受する権利があるのか、それとも環境を汚染しつつ利用する権利があるのかといった設定——が明確になされ、さらに交渉や取引に伴う費用が無視できるほど小さいならば、起因者と被害者の間の交渉によってパレート最適な資源配分が実現可能であるというものである。ところが、コースの定理で想定されているシナリオは、起因者の非限定性と起因者・被害者の隔絶という2つの特殊性のために、地球温暖化問題には全く適用不可能である。

地球温暖化の緩和は、起因者・被害者間の交渉・取引ではなく、起因者である現在世代の一方的・自律的な行動によってのみ可能なのである。Parfit(1984)が「非同一次性問題(non-identity problem)」として指摘したように、将来世代とは未だ存在せず、その選好や特性も未

定であるだけでなく、その存在や特性自体が現在世代の行動に依存して決定される人々である。そのような将来世代に対して、現在世代がなぜ地球温暖化を緩和しなければならないのか、という根拠は実は自明ではない。鈴木・蓼沼(2000)は、現在世代が地球温暖化を緩和すべきであるという規範の成立する倫理的根拠を詳細に検討し、「歴史的経路選択に対する責任」という基本原理にそれを求めた¹⁾。

温暖化問題が認識されるようになってからの様々な国際会議の歩みは、各国の政治的経済的思惑を反映しつつも、地球温暖化を緩和すべきという共通の規範の存在を示唆するものと言えよう²⁾。1997年、京都で第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)が開かれ、京都議定書が締結された。議定書は先進国全体の温室効果ガスの排出量を2008年から2012年までの期間において1990年に比して5.2パーセント削減することを定めるとともに、先進各国が達成すべき排出削減量を規定した。一方、いわゆる「京都メカニズム」として排出権取引制度等の導入も決められた。しかし、上記の期間以降の温室効果ガス排出量については未だ定められておらず、これに関する国際交渉は2005年から開始される予定である。温室効果ガスの総排出削減量と各国への削減割当量は、今後の国際関係における最重要問題の1つとなるであろう。

たとえ、地球温暖化を緩和すべきであるという基本的な規範が世界各国に共有されたとしても、温室効果ガスの削減のためにどれだけ現在世代が犠牲を払ってもよいと考えるかは、国・地域の特性によって、また経済発展段階によって異なるであろう。人間のあらゆる経済活動から温室効果ガスが発生するのであるから、これを削減するためには、生産活動・消費活動を抑制したり、人口を制限したりしなければならない。省エネルギー化のための投資にも財の投入が必要である。これらは最終的には現在世代の享受する消費の減少という形での費用となる。消費者理論の教える通常の限界代替率の性質から言って、温室効果ガス削減のために犠牲にしてもよいとみなす現在消費の量は、先進国に比

べて発展途上国が小さいのは当然である。このような評価の相違は、国際交渉における合意を難しくする。

一方、温室効果ガスは負の純粋公共財(pure public bad)であるから、どの国・地域で削減しても地球温暖化に対する効果は同じである。したがって、温室効果ガス総排出の削減量が同じである限り、自国の削減割当量は出来る限り小さくし、現在消費の減少を抑えようとする誘因が働く。国際会議が国家間の厳しい利害対立の場となり、安定的な妥協点に達するのが困難となるのはこのためである。

さらに、今後の国際交渉が京都議定書以前の国際交渉と決定的に異なる点は、排出権取引制度等を前提として各国が交渉に臨むことである。例えば、現行の排出量を大きく超える排出枠を認められた国は、排出権の売却によって多大の利益を得ることができる。このことを各国が合理的に予測するために、交渉結果に歪みをもたらされる可能性があるであろう。

以下では、上に挙げた論点を明確に捉えるため、地球温暖化を緩和するためのさまざまな取り組みに関する交渉、とりわけ、温室効果ガス排出総量と各国への排出権初期配分を巡る国際交渉を、ゲーム理論に基づいて分析する。分析の焦点は、国際交渉の結果、パレート最適な配分が実現されるのか、また交渉結果は安定的であるのか、という問題である。具体的には、浅子・國則・松村(1995)、Okada(2003)、および蓼沼(1998)・Tadenuma(2003)の3つの交渉モデルを比較検討し、主たる分析結果とその含意を説明する。

2. 純所得移転を伴う交渉

浅子・國則・松村(1995)は、炭素税の導入による温室効果ガス削減への国際協調の可能性について、ナッシュ交渉解(Nash 1950)を応用して分析した³⁾。交渉事項は各国の炭素税率と国家間の所得移転額である。本節ではこのモデルを導入して、ナッシュ交渉解がパレート最適配分を実現することを示し、後節で解説する排出権取引を伴う交渉との相違点を明らかにする。

先進国(第1国)と発展途上国(第2国)の2国が炭素税率と国家間の所得移転額について交渉するゲームを考える。各国は温室効果ガスの排出を伴う経済活動から利得を得る一方、2国全体の温室効果ガスの排出から(将来に)損害を被る。第*i*国($i=1,2$)の温室効果ガス排出量を $x_i \in \mathbb{R}_+$ とすると⁴⁾、 x_i の排出を伴う経済活動からの利得は貨幣換算で $Y_i(x_i) \in \mathbb{R}_+$ で表されるとする。一方、2国全体の温室効果ガスの排出総量を $X := x_1 + x_2$ とすると、第*i*国の受ける被害は貨幣換算で $D_i(X) \in \mathbb{R}_+$ である。さらに、第*i*国への他国からの純移転所得を $M_i \in \mathbb{R}$ とすると、第*i*国の総利得 U_i は以下の式で与えられる。

$$U_i := Y_i(x_i) - D_i(X) + M_i$$

ここで、温室効果ガスの排出を伴う経済活動からの限界利益は逓減し、温室効果ガスの限界被害は逓増するとする。

このモデルにおける資源配分はベクトル $(x_1, x_2, X, M_1, M_2) \in \mathbb{R}^5$ である。配分 (x_1, x_2, X, M_1, M_2) は、 $X = x_1 + x_2$ かつ $M_1 + M_2 = 0$ であるとき実行可能である。各国の利得は貨幣単位で表されるから、パレート最適な配分 $(x_1^*, x_2^*, X^*, M_1^*, M_2^*)$ は、以下の最適化問題の解となる。

$$\begin{aligned} \max_{(x_1, x_2, X, M_1, M_2) \in \mathbb{R}^5} & \sum_{i=1}^2 (Y_i(x_i) - D_i(X) + M_i) \\ \text{subject to} & \begin{cases} X = x_1 + x_2 \\ M_1 + M_2 = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

最適解であるための必要十分条件は、

$$Y'_i(x_i^*) = D'_i(X^*) + D'_2(X^*) \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

である。

次に、2国が炭素税率と所得移転に関する交渉を行うとする。いま、第*i*国が税率 t_i の国内炭素税を課すとき、企業および消費者の最適化行動により温室効果ガスの排出量は

$$Y'_i(x_i) = t_i \quad (2)$$

を満たす量に決まる。税率 t_i のときの排出量を $x_i(t_i)$ と表すと、第*i*国の利得は t_1, t_2 および M_i に依存し、以下の式で与えられる。

$$U_i(t_1, t_2, M_i) := Y_i(x_i(t_i))$$

$$- D_i(X(t_1, t_2)) + M_i$$

つねに $M_2 = -M_1$ であるから、結局2国の利得は (t_1, t_2, M_1) によって決まる。国際協定が成立せず、どちらの国も炭素税を課さず、所得移転もないときの第*i*国の利得を \bar{U}_i とする。ナッシュ交渉解 (t_1^*, t_2^*, M_1^*) は、以下の最大化問題の解である。

$$\begin{aligned} \max_{(t_1, t_2, M_1)} & (Y_1(x_1(t_1)) - D_1(X(t_1, t_2)) + M_1 - \bar{U}_1) \\ & (Y_2(x_2(t_2)) - D_2(X(t_1, t_2)) - M_1 - \bar{U}_2) \end{aligned}$$

最大化の1階の条件より、

$$\begin{aligned} & Y_1(x_1(t_1^*)) - D_1(X(t_1^*, t_2^*)) + M_1^* - \bar{U}_1 \\ & = Y_2(x_2(t_2^*)) - D_2(X(t_1^*, t_2^*)) - M_1^* - \bar{U}_2 \quad (3) \\ & Y'_1(x_1(t_1^*)) = D'_1(X(t_1^*, t_2^*)) + D'_2(X(t_1^*, t_2^*)) \\ & = Y'_2(x_2(t_2^*)) \quad (4) \end{aligned}$$

が導かれる。(4)式とパレート最適配分の条件式(1)と比較すると、ナッシュ交渉解はパレート最適配分を実現することが分かる。その配分では(2)式より、 $t_1^* = t_2^* = D'_1(X(t_1^*, t_2^*)) + D'_2(X(t_1^*, t_2^*))$ が成立する。すなわち、2国の炭素税率は等しく、温室効果ガスによる限界損失に一致する、というピグー税に関するよく知られた最適条件が満たされている。一方、(3)式は国際協定が合意に至らなかった場合と比較した利得の増分が、2国で等しくなることを示している。これは、共通の炭素税導入による利得の増分が相対的に小さい国(発展途上国)に対しては、他国(先進国)からの所得移転によって補償することが合意形成に必要なことを意味する。

炭素税と所得移転という独立した2つの政策変数があり、かつ各国の利得が貨幣単位で測られる場合、まず炭素税をパレート最適条件を満たすように設定し、次に所得移転によって合意形成に必要な純利得の公平な分配を実現することができる。所得移転を伴う炭素税に関する国際交渉がパレート最適配分を実現することが出来るのは、このためである。後節で見るように、排出権に関する国際交渉では所得移転額が排出権の総量と分配に依存するため、パレート最適配分の実現に失敗するのである⁵⁾。

利得がすべて貨幣単位で測られ、プレイヤー

間で貨幣による利得の移転が完全に可能であるときには、一般にナッシュ交渉解は「標準解 (standard solution)」, すなわち利得の増分を等しくする解と一致することはよく知られている。このケースでは、カライ=スモロディンスキー解 (Kalai and Smorodinsky 1975) や平等解 (Egalitarian solution) も標準解に一致するから、上のモデル分析の結果は解概念をこれらの解に変えても成立するという意味で頑健な結果である。

3. 排出権初期配分に関する交渉

本節と次節では排出権取引を巡る国際交渉に焦点を合わせる。交渉事項は温室効果ガスの排出総量と、その排出権の各国への分配である。まず本節では Okada (2003) に基づいて、排出総量は一定であることを前提として、その排出権を初期に各国に配分する問題を考え、次節では初期配分ルールは与えられたもとで排出総量を決定する問題を考察する。

3.1 交渉ゲーム

Okada (2003) は、第 1 段階で一定量の総排出権の分配に関する交渉が行われ、第 2 段階では第 1 段階で決まった排出権の初期配分のもとで排出権の市場取引が行われるという 2 段階ゲームを導入した。\$n\$ 国があり、\$N := \{1, \dots, n\}\$ を国家の集合とする。第 \$i\$ 国の現行の温室効果ガス排出量 (所与) を \$e_i \in \mathbb{R}_+\$ とし、\$e_i\$ からの削減量を \$z_i \in \mathbb{R}_+\$ で表す。排出削減には費用がかかり、削減量 \$z_i\$ に要する費用を \$C_i(z_i)\$ とする。費用関数 \$C_i\$ は、\$C_i' > 0, C_i'' > 0\$ を満たす。ゲーム全体を通して、温室効果ガス排出権総量は一定量 \$\bar{X} \in \mathbb{R}_{++}\$ であるとする。

排出権初期配分全体の集合を

$$A := \{\bar{x} := (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) \in \mathbb{R}_+^n \mid \sum_{i \in N} \bar{x}_i = \bar{X}\}$$

とする。まず、第 2 段階のゲームに焦点を合わせ、\$(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) \in A\$ が与えられたものとして、排出権市場の均衡を分析する。排出権の価格を \$q\$ で表す。第 \$i\$ 国の排出量 \$e_i - z_i\$ が \$\bar{x}_i\$ を超えるならば、第 \$i\$ 国は排出権を購入し、\$q(e_i - z_i\$

\$- \bar{x}_i)\$ を支払わなければならない。一方、\$e_i - z_i\$ が \$\bar{x}_i\$ よりも小さければ排出権を売却し、収入 \$q[x_i - (e_i - z_i)]\$ を得る。温室効果ガスの排出総量は一定であることを前提としているから、各国の行動原理は削減費用と排出権に対する純支払額の和を最小化することである。したがって、排出権市場の競争均衡とは、以下の条件を満たす排出権価格と排出削減量のベクトル \$(q^*, z_1^*, \dots, z_n^*) \in \mathbb{R}_+^{n+1}\$ である。

- (i) すべての \$i \in N\$ に対して、

$$C_i(z_i^*) + q^*(e_i - z_i^* - \bar{x}_i) = \min_{z_i \in \mathbb{R}} [C_i(z_i) + q^*(e_i - z_i - \bar{x}_i)]$$
- (ii) \$\sum_{i \in N} (e_i - z_i^*) = \bar{X}\$

条件 (i) より、すべての \$i \in N\$ について、\$C_i'(z_i^*) = q^*\$ が成立する。競争均衡 \$(q^*, z_1^*, \dots, z_n^*)\$ は、これら \$n\$ 個の式と条件式 (ii) からなる連立方程式の解として与えられる。このことから、競争均衡は排出権初期配分 \$(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)\$ には依存せずに決まることが分かる。第 \$i\$ 国の均衡における利得は、\$U_i(\bar{x}) := -[C_i(z_i^*) + q^*(e_i - z_i^* - \bar{x}_i)]\$ によって表すことができる。上述のように、\$q^*\$ および \$z_i^*\$ は排出権初期配分に依存しないから、利得は自国への排出権割当量に関して一定率 \$q^*\$ で単調に増加する。

次に、第 1 段階のゲームにおける排出権初期配分を巡る交渉を分析しよう。各国は第 2 段階において排出権市場均衡が成立することを予測して交渉に臨むから、各国の利得は上で導出した利得関数 \$U_i\$ によって与えられる。国家の任意の非空の集合 \$S \subseteq N\$ を **提携** とよぶ。提携 \$S\$ に属するメンバーの数を \$|S|\$ によって表す。**排出権配分交渉ゲーム** とは、提携のある非空のクラス \$W\$、排出権初期配分全体の集合 \$A\$、および利得関数 \$(U_i)_{i \in N}\$ の組 \$(W, A, (U_i)_{i \in N})\$ によって定義される。ここで、\$W\$ に属する提携を **勝利提携** とよぶ。クラス \$W\$ の定義は、意思決定ルールを反映する。例えば、多数決投票ルールのもとでは、メンバーの数が全体の過半数であるような提携を勝利提携と定義する。

3.2 コア

配分 $\bar{x}, \bar{x}' \in A$ と提携 $S \subseteq N$ に対して, $S \in W$ であり, かつすべての $i \in N$ について $U_i(\bar{x}_i) > U_i(\bar{x}'_i)$ であるとき, 配分 \bar{x} は勝利提携 S において配分 \bar{x}' に優越するという. どの勝利提携においても, どの配分によっても優越されない配分全体の集合をゲーム $(W, A, (U_i)_{i \in N})$ のコアとよぶ⁶⁾. コアに属する配分は, どのような勝利提携もメンバー全員の状態を改善するような別の配分を提案できないという意味で安定的な帰結である.

コアの非空性については以下の命題が成立する.

命題 1

(i) (Okada 2003, Proposition 1.) 排出権配分交渉ゲーム $(W, A, (U_i)_{i \in N})$ のコア $C(W, A, (U_i)_{i \in N})$ が非空であるための必要十分条件は,

$$S^* := \bigcap_{S \in W} S \neq \emptyset$$

である.

(ii) コアが非空であるとき,

$$C(W, A, (U_i)_{i \in N}) = \{\bar{x} \in A \mid \sum_{i \in S^*} \bar{x}_i = \bar{X}\}$$

である.

証明. コア $C(W, A, (U_i)_{i \in N})$ が非空であり, かつ $S^* = \emptyset$ であると仮定する. \bar{x} を $C(W, A, (U_i)_{i \in N})$ に属する配分の 1 つとし, S を勝利提携の 1 つとする. 仮に, $\sum_{i \in S} \bar{x}_i < \bar{X}$ であるとする. 配分 $\bar{x} \in A$ を,

$$\bar{x}_i := \begin{cases} \bar{x}_i + \frac{1}{|S|} (\bar{X} - \sum_{i \in S} \bar{x}_i) & \text{if } i \in S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

によって定義すると, すべての $i \in S$ に対して, $U_i(\bar{x}'_i) > U_i(\bar{x}_i)$ が成立する. したがって, S において \bar{x}' が \bar{x} に優越する. これは \bar{x} がコアに属することに反する. よって, $\sum_{i \in S} \bar{x}_i = \bar{X}$ でなければならない.

次に, S に属する任意のメンバーを i^* とする. $S^* = \emptyset$ であるから, $i^* \notin T$ なる勝利提携 $T \in W$ が存在する. 上と同様の理由により, $\sum_{i \in T} \bar{x}_i = \bar{X}$ であるから, $\bar{x}_{i^*} = 0$ となる. i^* は S

の任意のメンバーであったから, 結局 $\sum_{i \in S} \bar{x}_i = 0$ となる. これは, $\sum_{i \in S} \bar{x}_i = \bar{X}$ に矛盾する. よって, コアが非空であるためには, $S^* \neq \emptyset$ でなければならない.

逆に, $S^* \neq \emptyset$ であるとき, 配分の集合

$$Y := \{\bar{x} \in A \mid \sum_{i \in S^*} \bar{x}_i = \bar{X}\} \neq \emptyset$$

がコアであることを示そう. $\bar{x} \in Y$ とすると $\sum_{i \in S^*} \bar{x}_i = \bar{X}$ である. このとき, 任意の勝利提携 $S \in W$ は S^* を含むから, $\sum_{i \in S} \bar{x}_i = \bar{X}$ である. よって, 勝利提携 S において別の配分 \bar{x}' が配分 \bar{x} を優越することはない. したがって, \bar{x} はコアに属する.

次に, $\bar{x} \notin Y$ とすると $\sum_{i \in S^*} \bar{x}_i < \bar{X}$ である. したがって, $\bar{x}_j > 0$ なる $j \notin S^*$ が存在する. $j \notin S^*$ であるから, $j \notin T$ なる勝利提携 T が存在し, $\sum_{i \in T} \bar{x}_i < \bar{X}$ である. このとき, 上と同様の方法により, 提携 T において配分 \bar{x} を優越する配分 \bar{x}' を定義することができる. よって, \bar{x} はコアに属さない. 以上で, 集合 Y がコアと一致することが示された. ■

命題 1 の (i) は, すべての勝利提携に属するような強い交渉力を持つ国が存在しない場合, 排出権初期配分を巡る交渉が不安定となることを示している. 単純多数決ルールによる意思決定は, このケースに該当する. すなわち, どのような配分に対しても, ある勝利提携においてそれを優越する別の配分が存在するのである. 一方, 命題 1 の (ii) は, すべての勝利提携に属する国が存在する場合には, そのような国からなるグループによる排出権の独占が安定的な帰結であることを意味する. ただし, この結果を文字通りその他の国の排出権の初期割当がゼロである——他国から排出権を購入しない限り一切生産・消費を行えない——と解釈する必要はない. 通常, 各国に対してはあらかじめ一定の排出量(たとえば, 現行の排出量の 90 パーセントなど)は保証されているのであり, 交渉事項はある基準値を超える温室効果ガスの排出量であると考えられる. この場合, その基準値をゼロと見なせばよいのである.

3.3 安定集合

Okada(2003)はコアのみ考察しているが、本稿ではコアとは異なる安定性を概念化した、フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルンの「安定集合」⁷⁾(von Neumann and Morgenstern 1944)も考察しよう。配分の非空の集合 $K \subseteq A$ が以下の2つの条件を満たすとき、 K を安定集合とよぶ。

- (i) K に属する任意の2つの配分 $\bar{x}, \bar{x}' \in K$ に対して、どの勝利提携 $S \in W$ においても \bar{x} が \bar{x}' に優越することはない。
- (ii) K に属さない任意の配分 $\bar{x} \in A \setminus K$ に対して、 K に属するある配分 $\bar{x}' \in K$ が存在し、ある勝利提携 $S \in W$ において \bar{x}' が \bar{x} に優越する。

勝利提携 $S \in W$ に対して、 $T \subset S, T \neq S$ なる勝利提携 $T \in W$ が存在しないとき、 S を最小勝利提携とよぶ。一般に最小勝利提携は必ず存在するが、1つであるとは限らない。

命題 2

- (i) 排出権配分交渉ゲーム $(W, A, (U_i)_{i \in N})$ において、安定集合が存在する。
- (ii) 排出権配分交渉ゲーム $(W, A, (U_i)_{i \in N})$ において、任意の最小勝利提携 $S \in W$ に対して、集合

$$K_S := \{ \bar{x} \in A \mid \sum_{i \in S} \bar{x}_i = \bar{X} \}$$

は安定集合である。

証明. 最小勝利提携は必ず存在するから、(ii)のみを示せばよい。 $S \in W$ を最小勝利提携の1つとし、 $\bar{x}, \bar{x}' \in K_S$ とする。 $T \in W$ を任意の勝利提携とする。 $T \not\subseteq S$ であるならば、 $i \in T \setminus S$ なる i に対して、 $\bar{x}_i = \bar{x}'_i = 0$ である。したがって、 T において \bar{x} が \bar{x}' に優越することはない。 $T \subseteq S$ であるならば、 S が最小勝利提携であることから、 $T = S$ でなければならない。したがって、 $\sum_{i \in T} \bar{x}_i = \sum_{i \in T} \bar{x}'_i$ であるから、すべての $i \in T$ に対して、 $U_i(\bar{x}_i) > U_i(\bar{x}'_i)$ とすることはできない。よって T において \bar{x} が \bar{x}' に優越することはない。

次に、 $\bar{x} \notin K_S$ とすると、 $\sum_{i \in S} \bar{x}_i < \bar{X}$ である。配分 $\bar{x}' \in A$ を、

$$\bar{x}'_i := \begin{cases} \bar{x}_i + \frac{1}{|S|} (\bar{X} - \sum_{i \in S} \bar{x}_i) & \text{if } i \in S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

によって定義すると、 $\bar{x}' \in K_S$ であり、 S において \bar{x}' が \bar{x} に優越する。■

意思決定ルールが単純多数決である場合を具体例として、上の結果の意味を明らかにしよう。このとき最小勝利提携は、メンバーの数がすべての国の半数を超える数のうちで最小数であるような提携である。このような最小勝利提携の任意の1つを S とすると、 S のメンバーが排出権を独占し、 S に属さないどの国の排出権もゼロである配分からなる集合が安定集合 K_S である。上で述べたように、単純多数決ルールのもとではコアは空であるから、たとえ安定集合に属する配分でも、ある提携において、ある配分によって優越される。それにも関わらず「安定」であるというのは、どのような意味においてであろうか。

いま、安定集合に属する配分の任意の1つを \bar{x} とし、 $\bar{x}_{i^*} > 0$ なる $i^* \in S$ を選ぶ。この i^* を除く S のメンバー全員と S に属さない国すべてからなる提携を T とすると、 T は勝利提携である。さて、 T の各メンバー i に対して、 $\bar{x}'_i := \bar{x}_i + \bar{x}_{i^*} / |T|$ とし、 $\bar{x}'_{i^*} := 0$ とすれば、配分 \bar{x}' は提携 T において \bar{x} を優越する。しかし、この配分 \bar{x}' もまた、当初の勝利提携 S において、安定集合に属する別の配分 $\bar{x}'' \in K_S$ によって優越されるのである。実際、今度は T に属するが S には属さないメンバーの排出権を全量取り上げ、 S に属する各メンバーに均等に分割して付与すれば、そのような配分 \bar{x}'' を構成することができる。すなわち、勝利提携 S は、たとえ他の勝利提携から S の一部のメンバーの利得を増加させるような別の配分の提案を受けたとしても、ただちにカウンター・オファーを出してその提案を拒けることができるのである。この意味で、集合 K_S は交渉の一つの帰結を表している。

ただし、命題2は、任意の最小勝利提携に対して K_S が安定集合になることを示すだけであって、どの最小勝利提携が実際に形成されるのかは明らかにしていないことに注意する必要がある。

本節の分析では、一定の温室効果ガスの排出権総量を各国へ分配する「初期配分ベクトル」について交渉するケースを扱った。国際交渉では、しばしば「初期配分ベクトル」そのものではなく、「初期配分ルール」について交渉する場合がある。たとえば、現行のGDPに比例したルール、人口に比例したルール、削減費用に比例したルールなどが考えられる。初期配分ベクトルについては無数に選択肢があるが、初期配分ルールの選択肢の数は限られている。このようにアジェンダが限定されると、国々の利害が一致し、安定的な帰結の生じる可能性が高まると推測される。この点については、今後一層綿密な検討が必要である。

4. 排出総量に関する交渉

本節では、温室効果ガス排出総量に関する交渉をモデル分析した Tadenuma(2003)の結果とその含意を説明する。

4.1 モデル

浅子他(1995)は温室効果ガスの発生を伴う経済活動からの利得と、温室効果ガスによる損害を一括して貨幣換算で表した。一方、Okada(2003)は温室効果ガスの排出総量は一定であることを前提としたから、温室効果ガスによる損害は考慮の対象外とし、排出量削減の費用、すなわち失われる経済的利得を費用関数で表現した。Tadenuma(2003)のモデルは、より基礎的な情報である一国の生産量、消費量、及びそれぞれからの温室効果ガスの排出量をベースにしている。これにより、排出権取引の収入または支出額が最終的には国内消費量を変化させ、温室効果ガスの排出量に影響を及ぼすという事実を、明示的に考慮することができる。また、各国は国内消費の増加と温室効果ガスの減少に価値を置くが、必ずしも利得や損害が貨幣換算で

きることは前提とせず、一般的な厚生関数で表されるものとする。

$N := \{1, \dots, n\}$ を国家の集合とする。第 i 国の生産量(GDP)を y_i 、消費量を c_i と表す。生産と消費はともに温室効果ガスを発生させる。第 i 国の生産からの温室効果ガスの排出量を x_i^p とすると、 x_i^p と y_i との関係は**生産からの排出関数** $x_i^p = f_i(y_i)$ で表される。関数 f_i は各国の技術水準を反映し、国によって異なることを許容するが、一般に、 $f_i' > 0, f_i'' > 0$ であると仮定する。すなわち、生産からの限界排出量は生産量とともに逡増する。生産量が大きいほど、さらなる省エネルギーは困難になるから、この仮定は妥当であろう。一方、第 i 国の消費からの温室効果ガスの排出量を x_i^c とすると、 x_i^c と c_i との関係は**消費からの排出関数** $x_i^c = g_i(c_i)$ で表される。一般に、 $g_i' > 0, g_i'' \geq 0$ であると仮定する。すなわち、消費からの限界排出量は逡増または一定である。後の分析では、消費からの限界排出量が一定であると仮定することがある。第 i 国の温室効果ガスの排出総量を $x_i := x_i^p + x_i^c$ とし、世界全体の温室効果ガスの排出総量を $X := \sum_{i \in N} x_i$ とする。

各国は自国の消費量と世界全体の温室効果ガス排出量の組 (c_i, X) に関して選好をもち、その選好関係は厚生関数 $V_i: \mathbb{R}_+^2 \rightarrow \mathbb{R}$ によって表される。関数 V_i は連続微分可能で厳密に準凹であると、変数 a に関する偏導関数を $D_a V_i$ と書くと、 $D_{c_i} V_i > 0, D_X V_i < 0$ であると仮定する。すなわち、各国の厚生は自国の消費水準が高いほど、また世界全体の温室効果ガス排出量が小さいほど高まる。

4.2 パレート最適配分

まず、この経済におけるパレート最適配分の特徴を明らかにしよう。温室効果ガスは、その増加がすべての国の厚生を低下させるという意味で「負の純粋公共財」(pure public bad)である。公共財を含む経済におけるパレート最適配分については、有名はサミュエルソン条件(Samuelson 1954)が確立されている。しかし、Samuelson(1954)は公共財の生産技術が普遍的

であり、かつ私的財消費の外部性はないことを前提としていた。これに対して、温室効果ガスの特徴は地域ごとに「生産技術」、すなわち生産・消費と排出量との関係が異なることである。しかも、生産に関しては最も効率的な(温室効果ガスの発生が少ない)地域で実行することも可能であるが、消費に関しては各地域で実現せざるを得ず、それは必然的に温室効果ガス排出を伴う。このことを明示的に考慮してパレート最適性の条件を導く必要があるのである。

このモデルにおける配分とは、ベクトル $(y, c, x) := (y_1, \dots, y_n; c_1, \dots, c_n; x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}_+^{3n}$

である。配分 (y, c, x) は、 $\sum_{i \in N} y_i = \sum_{i \in N} c_i$ であり、かつ、すべての $i \in N$ について $x_i = f_i(y_i) + g_i(c_i)$ であるとき、**技術的に実行可能**であるという。技術的実行可能性の条件の第1は、世界全体の総生産量が総消費量に一致することであり、必ずしも各地域の生産量と消費量が一致することは要しない。これに対して、条件の第2は、各地域の温室効果ガス排出量はその地域における生産量と消費量によって決まることを示している。

各国の厚生関数の組 (V_1, \dots, V_n) が与えられたとする。2つの配分 $(y, c, x), (y', c', x')$ について、すべての $i \in N$ に対して

$$V_i(c'_i, \sum_{h \in N} x'_h) \geq V_i(c_i, \sum_{h \in N} x_h)$$

であり、かつ少なくとも1つの $i \in N$ に対して

$$V_i(c'_i, \sum_{h \in N} x'_h) > V_i(c_i, \sum_{h \in N} x_h)$$

であるとき、配分 (y', c', x') は配分 (y, c, x) をパレートの意味で優越するという。配分 (y, c, x) は、実行可能であって、かつそれをパレートの意味で優越するような別の実行可能な配分が存在しないとき、**パレート最適**であるという。パレート効率的配分において以下の条件が成立することが示される。

命題3 生産の効率性. (Tadenuma 2003, Proposition 1.) 配分 (y^*, c^*, x^*) がパレート効率的であるならば、すべての $i, j \in N$ について、 $f_i(y_i^*) = f_j(y_j^*)$ である。すなわち、生産からの温室効果ガスの限界排出量はすべての国で

等しい。

温室効果ガス排出総量削減に対する自国消費量の限界代替率の絶対値を

$$\eta_i(c_i, X) := \left| \frac{D_X V_i(c_i, X)}{D_C V_i(c_i, X)} \right|$$

とする。

命題4 サミュエルソン条件の拡張. (*ibid.* Proposition 2.) 配分 (y^*, c^*, x^*) がパレート効率的であるならば、

$$\sum_{j \in N} \eta_j(c_j^*, \sum_{h \in N} x_h^*) \cdot (f'_j(y_j^*) + g'_j(c_j^*)) = 1 \quad (5)$$

が成立する。

命題3より、すべての $i, j \in N$ に対して $f'_i(y_i^*) = f'_j(y_j^*)$ である。この値を b とおく。いま仮に消費に伴う温室効果ガスの排出がないとすれば、すべての $i \in N$ に対して、 $g'_i = 0$ である。よって命題4の(5)式は、

$$\sum_{j \in N} \eta_j(c_j^*, \sum_{h \in N} x_h^*) = \frac{1}{b} \quad (6)$$

となる。右辺は温室効果ガスの削減と私的財生産との間の限界転形率にはかならないから、(6)式は公共財と私的財の間の限界代替率の和と限界転形率が等しいという、よく知られたサミュエルソン条件と一致する。この意味で、命題4はSamuelson(1954)の結果を、負の公共財が私的財消費に付随して生じるケースに拡張したものだと言えるのである。

4.3 交渉ゲーム

次に、排出権取引が実行されることを前提として、温室効果ガス排出総量に関して交渉する次のような3段階ゲームを考える。

- 第1段階：温室効果ガス排出総量に関する国際交渉が行われる。
- 第2段階：各国の政府が国内の制度を選択する。
- 第3段階：前段階までに決定された取引ルールと初期配分のもとで実際の経済活動と排出権取引が実行される。

浅子他(1995)やOkada(2003)のモデルでは、排出権収入または支出が温室効果ガスの排出量

には影響しないことを暗黙に仮定しているが、ここでは排出権収入の増加は国内消費を増加させ、したがって温室効果ガスの排出量を増加させるため、逆に排出権からの収入の増分を減少させるというフィードバック効果も考慮する。同様に、排出権支出の増加は国内消費の減少を通じて排出権支出の増分を減少させるというフィードバック効果をもつ。

まず、第3段階のゲームから分析しよう。排出権初期配分 $(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) \in \mathbb{R}_+^n$ が与えられたとする。排出権の価格を q で表す。第 i 国が排出権の純供給国である場合、国内消費量 c_i は第 i 国の国内生産量 y_i に排出権収入を加えたものである。生産 y_i からは $f_i(y_i)$ の、消費 c_i からは $g_i(c_i)$ の温室効果ガスが排出されるから、排出権収入は純供給量 $(\bar{x}_i - f_i(y_i) - g_i(c_i))$ に価格 q を掛けた額である。排出権の純需要国であるならば、国内消費量は国内生産量から排出権支出を差し引いた量となる。したがって、消費量と生産量のペア (c_i, y_i) が排出権取引のもとで実行可能であるための条件は、

$$c_i = y_i + q(\bar{x}_i - f_i(y_i) - g_i(c_i)) \quad (7)$$

を満たすことである。生産量 y_i に対して、この実行可能条件を満たす消費量を $c_i(y_i)$ で表す。

第3段階のゲームでは、企業は利潤を最大化するように生産量を決定する。いま、企業は生産活動から生じる温室効果ガスに対してのみ責任を負い、生産物の消費から発生する温室効果ガスには責任を負わないものと仮定する。排出権価格 q に直面したとき、または排出量1単位当たり q の国内炭素税が課されたとき、第 i 国の企業の利潤最大化の条件は、生産量の1単位の増加からの追加的収入(限界収入)と排出権または炭素税に伴う追加的費用(限界費用)の均等として与えられる。このとき、生産の限界収入は1、限界費用は $qf'_i(y_i)$ となるから、生産量は

$$qf'_i(y_i^*) = 1 \quad (8)$$

を満たす y_i^* に決まる。生産量が与えられると、実行可能条件(7)を満たすように国内消費 $c_i(y_i^*)$ が決まる。実際には政府は消費からの温室効果ガスの排出に対しても排出権の購入義

務を課すか、または同率の炭素税を課すことによって、この消費量を実現することができる。

さて、上のような取引ルールのもとで企業と消費者の最適化行動から導かれる生産量・消費量は、実は実行可能条件(7)を満たす (c_i, y_i) のうちで、消費を最大化するものであることが確かめられる(*ibid.* Proposition 3)。第2段階における各国政府は、既に第1段階で決定された温室効果ガス排出総量は一定とみなすから、自国の厚生 $V_i(c_i, X)$ を最大化するためには国内消費を最大にするよう行動する。したがって各国政府は、「企業は生産活動から、消費者は消費から生じる温室効果ガスに対してのみ排出権の購入義務または排出権価格と同率の炭素税負担を負う」という制度を選択する。上で置いた仮定は、各国政府の行動原理とも整合的なのである。

さて、排出権の(国際)価格 q が変化したとき、各国の排出権需要はどう変化するのであろうか。企業の利潤最大化条件(8)と生産からの限界排出が逡増することから、 q が上昇すると生産量は減少し、よって生産からの温室効果ガスの排出は減少する。他方、消費量の変化は、その国が排出権の純需要者であるか純供給者であるかによって異なる。純需要者であるならば、 q の上昇は消費量を減少させ、消費からの温室効果ガスの排出は減少するが、純供給者のときには逆の効果が働くのを示すことができる。したがって、純供給者である国の排出権需要が q の上昇とともに増加するのか減少するのかは不確定である。しかし、次の仮定のもとでは、排出権の世界全体の総需要関数は均衡価格の近傍で価格 q の減少関数となることが証明できる(*ibid.*, Proposition 4)。

仮定 L: 消費からの温室効果ガス排出の線形性。 ある定数 $\alpha > 0$ が存在し、すべての $i \in N$ に対して $g_i(c_i) = \alpha c_i$ である。

仮定 L は、消費から発生する温室効果ガスの量は、どの地域で消費が実行されるのかに関わらず消費量と一定の比例的な関係があることを意味する。一般に、生産から排出される温室効

果ガスの量は各国の生産技術によって大きく異なるが、消費からの温室効果ガスの排出に関しては地域差は少ないと考えられる。例えば、ガソリンの生産から排出される温室効果ガスの量は石油精製技術の差によって異なるが、ガソリンの消費から発生する温室効果ガスの排出量はどの地域でもガソリンの量と一定の比例関係があるであろう。

4.4 実現可能集合のフロンティア

以上の分析結果を踏まえて、第1段階のゲームにおける温室効果ガス排出総量に関する国際交渉の分析に進もう。ここでは初期配分ルールについては、何らかの比例配分ルールに既に合意がなされていること前提とし、各国の比例配分割合を $(\theta_1, \dots, \theta_n) \in]0, 1[^n$ 、(ただし、 $\sum_{i \in N} \theta_i = 1$) とする。

いま、温室効果ガス排出総量 X が与えられると、各国政府の国内取引ルールの選択を経て、排出権市場の均衡が成立し、排出権価格、各国の生産量および消費量が定まる。したがって、各国の厚生水準 V_i は排出総量 X によって決まることになる。第1段階のゲームの国際交渉において実現可能な各国の厚生水準ベクトルの集合を**実現可能集合**とよぶ。実現可能集合の境界は、各排出総量に対して各国の達成する厚生水準のベクトルの軌跡として表される。

各国にとって、排出総量の変化に対して自国の厚生水準がどのように変化するのが重要である。温室効果ガスの排出総量が X のときの排出権の均衡価格を $q(X)$ 、第 i 国の消費を $c_i(X)$ とすると、排出権の世界全体の総需要関数は均衡価格の近傍で価格 q の減少関数となることから、 $q'(X) < 0$ である。排出総量 X が増加したときの消費 c_i の変化率は、計算により以下のように求められる。

$$c'_i(X) = \frac{\theta_i q(X) + q'(X)[\theta_i X - f_i(y_i) - g_i(c_i)]}{1 + q(X)g'_i(c_i)} \quad (9)$$

(9)式の意味は以下のとおりである。排出総量 X が1単位増加したとき、第 i 国の排出権割当は θ_i だけ増加する。これにより、第 i 国が排

出権の純供給国であれば $\theta_i q(X)$ だけ排出権収入を増加させ、純需要国であれば同量だけ排出権支払いを減らすことができる。それだけでなく、 X の増加は排出権価格を $q'(X)$ だけ下落させるから、この効果により純供給国の収入は $q'(X)[\theta_i X - f_i(y_i) - g_i(c_i)]$ だけ減少し、純需要国の支払いは減少する。排出権価格の変化は生産量も変化させるが、企業の最適化行動により、生産量の変化分は生産からの温室効果ガス排出量の変化に伴う排出権収入または支払いの変化分によって丁度相殺される。したがって、(9)式の右辺の分子は、排出総量 X が1単位増加したときの第 i 国の純収入の変化分である。しかし、この変化分がそのまま消費量の変化分になるわけではない。なぜなら、消費の増加は温室効果ガスを増加させ、排出権支払いの増加または排出権収入の減少をもたらすからである。よって、消費の変化分を得るためには純収入の変化分を割引かなければならない。その割引率は、1単位の消費の増加がもたらす排出権純支払いの増分 $q(X)g'_i(c_i)$ である。

(9)式は、排出総量 X を1単位減少させたときに第 i 国が犠牲にしなければならない消費量であり、第 i 国にとっての排出総量削減の機会費用である。第 i 国にとっての最適な排出総量 X_i^* は、この機会費用と排出総量削減と消費の間の限界代替率とが一致する水準として与えられる。すなわち、 $c_i^* := c_i(X_i^*)$ とおけば、

$$\begin{aligned} \eta_i(c_i^*, X_i^*) &= \frac{\theta_i q(X_i^*) + q'(X_i^*)[\theta_i X_i^* - f_i(y_i^*) - g_i(c_i^*)]}{1 + q(X_i^*)g'_i(c_i^*)} \end{aligned} \quad (9)$$

が成立する (*ibid.*, Proposition 5)。

以上の結果から、実現可能集合——第1段階のゲームの国際交渉において実現可能な各国の厚生水準ベクトルの集合——のフロンティアについて、いくつかの性質が明らかになる。まず、 $X_1^* = X_2^* = \dots = X_n^* := X^*$ のときには、排出総量 X^* において実現する配分はパレート効率的である (*ibid.*, Proposition 6)。このことは、(9)式を各 $i \in N$ について表した n 本の等式の和をとると、拡張されたサミュエルソン条件の

式(5)に一致することから確かめられる。しかし、一般には各国にとって最適な排出総量は異なる。このときには、ある国にとって最適な排出総量で実現する配分は必ずしも拡張されたサミュエルソン条件を満たさない(*ibid.*, Proposition 7)。この含意は重要である。任意の1つの国にとって最適な排出総量で実現する各国の厚生水準のベクトルは、交渉において実現可能な厚生水準ベクトルの集合のフロンティアにある。ところが上の結果は、このベクトルが技術的に実行可能な配分全体から導かれる厚生可能性フロンティア上にはないことを意味している。つまり、交渉において実現可能な厚生フロンティアは、技術的に実現可能なフロンティアから収縮してしまうのである。

各国はゲームの後段階で実行される排出権取引を合理的に予測するため、第1段階における交渉でも、排出総量が自国の排出権収入または支出に及ぼす影響を考慮に入れる。これが排出総量決定における歪みとなり、浅子他(1995)のように独立した純所得移転が可能なケースとは異なって、交渉結果は必ずしもパレート最適性を満たさなくなるのである。

5. 結論

本稿では、地球温暖化緩和のためのさまざまな取り決めに関する国際交渉を、ゲーム理論を用いて分析した3つの論文を取り上げ、それぞれの結果とその含意を説明した。とりわけ、交渉の結果が安定的であるかどうか、またパレート最適な配分を実現するかどうか、という2つの点に焦点を当てた。ただし、ここでいう「パレート最適性」とは、現在世代の人々の選好・価値における望ましさの基準であることを明記しておきたい。われわれが検討したのは、現在世代内の異なる国・地域の間で地球温暖化緩和に対する選好・価値観の対立——「歴史経路選択」に関わる対立——があるときの、「現在世代内における」社会的選択の問題であったのである。

主要な結論は次のように要約される。

(1)炭素税率に関する調整交渉が、純所得移転

を含めて行われるならば、パレート最適な配分が実現される。

- (2)温室効果ガス排出総量が一定であるとき、各国の厚生水準は排出権初期割当量に比例するため、初期配分を巡る交渉は厳しい利害対立を反映して不安定になりやすい。通常の意思決定ルールのもとではコアの意味での安定的帰結は存在しないが、フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルンの安定集合は存在する。
- (3)排出権初期配分ルールを所与として排出総量について交渉するとき、各国は合意後における排出権市場均衡を合理的に予測し、排出総量が自国の排出権収入または支出に及ぼす影響を考慮に入れる。この結果、交渉によって決まる排出総量がパレート最適配分を導かないことがある。

地球温暖化緩和を巡る国際交渉においては、各国は交渉後に実行される制度内取引を常に考慮して臨む。交渉結果の予測ないし説明とその評価には、交渉後の段階における制度内取引を含む多段階ゲーム理論モデルによる分析が有用である。取引制度と交渉過程の特徴を一層適切に捉えたモデルの構築は、今後の継続的な課題であろう。

(一橋大学大学院経済学研究科・経済学部)

注

* 本稿の草稿に対して、鈴木興太郎教授、篠原隆介氏および「地球温暖化問題を巡る世代間衡平性と負担原則」研究会のメンバーから有益なコメントをいただいた。また、本稿の基礎になった研究に対しては、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「世代間利害調整」(領域番号：603)から研究費の助成を受けた。記して謝意を表したい。

1) 鈴木・蓼沼(2000)の内容は、鈴木・吉原(2000)の展望論文の中で詳細に紹介されている。

2) これまでに環境問題を解決あるいは軽減するために締結されてきた国際協定については、たとえば、國則・松村(1999)を参照せよ。

3) Asako and Kuninori(2001)は、浅子・國則・松村(1995)のモデルを動学モデルに拡張し、シミュレーション分析を行っている。

4) 実数全体の集合を R 、非負の実数全体の集合を R_+ で表す。

5) 炭素税の場合でも所得移転が実行不可能であるときには、ナッシュ交渉解の炭素税率は2国間で一致せず、パレート効率的配分が実現できないことが、浅子他(1995)に示されている。

6) コア、安定集合等の協力ゲームの解概念に関する詳しい解説についてはOwen(1995)および鈴木・武藤(1985)を参照せよ。

7) 安定集合は「フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルン解」とも呼ばれる。

参考文献

- 浅子和美・國則守生・松村敏弘(1995)「地球温暖化と国際協調：合意形成の条件」宇沢弘文・國則守生編『制度資本の経済学』東京大学出版会, pp. 231-261.
- 國則守生・松村敏弘(1999)「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巻第1号, pp. 32-43.
- 鈴木光男・武藤滋夫(1985)『協力ゲームの理論』東京大学出版会.
- 鈴木興太郎・蓼沼宏一(2000)「地球温暖化抑制政策の規範的基礎」Project on Intergenerational Equity (PIE) Discussion Paper Series No. 1, Hitotsubashi University.
- 鈴木興太郎・吉原直毅(2000)「責任と補償——厚生経済学の新しいパラダイム——」『経済研究』第51巻第2号, pp. 162-184.
- 蓼沼宏一(1998)「地球温暖化ガス排出権市場について」1998年度東京経済研究センター(TCER)コンファレンス報告論文.
- Asako, K. and M. Kuninori (2001) "On Vulnerability of International Cooperation to Slow Global

Warming," *The Economic Review*, Vol. 52, No. 1, pp. 52-60.

Coase, R. (1960) "The Problem of Social Cost," *Journal of Law and Economics*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-44.

Kalai, E. and M. Smorodinsky (1975) "Other Solutions to Nash's Bargaining Problem," *Econometrica*, Vol. 43, No. 3, pp. 513-518.

Nash, J. F. (1950) "The Bargaining Problem," *Econometrica*, Vol. 18, No. 2, pp. 155-162.

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

Owen, G. (1995) *Game Theory*, Third Edition. Orlando: Academic Press.

Parfit, D. (1984) *Reasons and Persons*, Oxford: Oxford University Press.

Samuelson, P. A. (1954), "The Pure Theory of Public Expenditure," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 36, No. 4, pp. 387-389.

Tadenuma, K. (2003) "International Negotiations for Reduction of Greenhouse Gases with Emission Permits Trading," Project on Intergenerational Equity (PIE) Discussion Paper Series, Hitotsubashi University.

von Neumann, J. and O. Morgenstern (1944) *Theory of Games and Economic Behavior*, New York: John Wiley and Sons.