

# リンダール・メカニズムによる排出権取引制度の実現可能性

経済学部 3 年 藤 田 峻

## <目次>

- I. はじめに
  - II. Nishimura [2008] の概要
  - III. 社会的最適解
  - IV. リンダール解
    - 1. 第二段階の決定
    - 2. 第一段階の決定
  - V. 自主決定解
  - VI. リンダール・メカニズムによる協力が支配戦略均衡となる条件
    - 1.  $t_i = t_j$  のケース
    - 2.  $b_i = b_j$  のケース
    - 3. 含意
  - VII. おわりに
- 数学注：(6-2) 式の性質  
参考文献

## I. はじめに

地球温暖化問題が世界的な関心事となって久しい。周知の通りこの問題は、二酸化炭素に代表される温室効果ガスの大気中濃度の上昇を原因とする気候変動が負の効用をもたらす環境問題である<sup>1)</sup>。地球温暖化問題に対する政策は多くの先行研究において検討されてきた。その方向としては、(1)排出量を直接規制する、(2)各主体のインセンティブに働きかける、が代表的なものとして挙げられる。それらのうち後者に該当する具体的方法として、ピグー税の一種である環境税（炭素税と呼ばれることもある）、または排出権取引制度の導入が挙げられる。松枝 [2004] では、直接的に生産量や生産技術などを規制する手段では個々の生産者が自らにとって最適な生産技術などの選択を妨げるとして、経済的インセンティブを刺激する方法がより効率的であると指摘している<sup>2)</sup>。経済的インセンティブを刺激する方法に含まれる環境税と排出

権取引制度を比較すると、環境税は税率の微調整が困難であることに代表されるように、最適な排出量へ誘導するための税率の設定が困難であるなどの問題点がある。他方、排出権取引制度は最適な汚染物質の排出量を操作することが可能である。よって、ある目標となる環境水準を達成するための手段として、事実上は排出権取引に優位が与えられるように思われる<sup>3)</sup>。

排出権取引制度は、そのままでは市場が成立しない汚染物質について、それを排出する「権利」を排出権市場で取引する制度である。この「権利」を与えるためには国際的な取り決めが必要であり、その取り決めの手法の1つとしてリンダール・メカニズムが挙げられる。このメカニズムは、公共財の最適供給メカニズムとして知られている。温室効果ガスなどの排出権取引制度に関わる汚染物質は、非排他的かつ非競争的に全ての経済主体に対して負の効用を与えるから、「負の公共財」と考えられる。よって排出権取引制度において、全体と個別の排出許容量を決める手段としてリンダール・メカニズムを用いることができるのである。

リンダール・メカニズムによる温室効果ガスの排出権取引について、理論的な検討を行った先行研究である宇沢 [2003] とNishimura [2008] は本稿において特に重要である。宇沢 [2003] では、温室効果ガスの排出権取引制度について、N国が参加するリンダール・メカニズムを用いて検討し、リンダール均衡における配分の安定性について微分方程式を用いて議論がなされた。一方Nishimura [2008] では宇沢 [2003] を簡略化したモデルを設定し、リンダール・メカニズムを通じて世界の温室効果ガス排出総量と各国の排出割当を決め、それにもとづいて排出権取引市場に参加するゲーム (Emission game と呼ばれる) を検討し、coreの概念を用いてリンダール均衡の頑健性を分析している<sup>4)</sup>。

ただし、彼のモデルは宇沢 [2003] を簡略化しているとはいえ、仮定される関数は一般形を保持し、N国すべてが参加する状況が前提にある。そのため、彼の得た結論のいくつかは関数を特定化し、さらに2国モデルに単純化した上で数値例によって証明されている。その意味でNishimura [2008] の議論は

厳密とはいえない部分がある。そこで本稿では、Nishimura [2008] において具体例として示された関数を用いて、2国によるリンダール均衡の存在、およびそれが2国で必ず選択される（すなわちリンダール・メカニズムを通じた協調が支配戦略均衡となる）条件を厳密に検討する。

そのために、まず第Ⅱ章でNishimura [2008] の概要について本稿において重要な命題と併せて示す。第Ⅲ章で社会的に最も望ましい状況を定義した上で、第Ⅳ章ではリンダール・メカニズムによる協力がなされる場合を、第Ⅴ章ではそれがなされない場合について検討を行い、第Ⅵ章で両者を比較して協力関係が実現するための条件を探る。

## Ⅱ. Nishimura [2008] の概要

まず本章ではNishimura [2008] において仮定される関数について吟味したのち、そこで示された主要な結論を要約する。

$i, j$  という2国からなる世界が考察される。なお一般性を損なうことなく、本章では  $i$  国の構造について説明する。この世界において、温室効果ガスは生産活動を通じて排出されるものと仮定される。ここで  $i$  国のGDPを  $y_i$ 、温室効果ガスの排出量を  $x_i$  とすると、両者の関係は  $y_i = Y_i[x_i]$  と書くことができ、その性質は  $Y_i'[x_i] > 0$  かつ  $Y_i''[x_i] < 0$  と仮定される<sup>5)</sup>。この性質を満足する具体的関数として、本稿ではNishimura [2008] の特定化、

$$Y_i[x_i] = 2b_i x_i^{1/2} \quad (2-1)$$

を採用する。ここで  $b_i$  は正のパラメータで、生産活動に伴って排出される温室効果ガスの排出効率を表す。例えば、(2-1) 式を  $x_i$  について解けば  $x_i = \left(\frac{1}{2b_i}\right)^2 y_i^2$  となるが、ここから  $b_i$  が大きい（小さい）ほど  $\left(\frac{1}{2b_i}\right)^2$  は小さく（大きく）なって、同じGDPのもとで温室効果ガスがより少なく（多く）排出されることが容易に分かる。

次に  $i$  国に住む人々の効用は以下のように定式化される。人々の効用は消

費活動と温室効果ガスの排出総量によって定まる。ここで人々の消費水準を  $c_i$ 、温室効果ガスの排出総量を  $X (\equiv x_i + x_j)$  とすれば、宇沢 [2003] では効用関数が  $U_i [c_i, X]$  で与えられているが<sup>5</sup>、Nishimura [2008] は  $U_i [c_i, X] = c_i - D_i [X]$  としている。ここで  $D_i [X]$  は温室効果ガスによって人々が受ける不効用を表す関数で、その性質は  $D_i' [X] > 0$ 、かつ  $D_i'' [X] \geq 0$  と仮定される。本稿ではNishimura [2008] にしたがって、

$$D_i [X] = \frac{t_i}{2} X^2 \quad (2-2)$$

と特定化する。ここで  $t_i (> 0)$  は温室効果ガスが人々に与える悪影響の程度を示すパラメータで、 $i$  国の地理的条件などを表すと解釈できる。そして、Nishimura [2008] では  $t_i + t_j = 1$  と仮定しており<sup>6</sup>、本稿でもこの仮定を踏襲することにする。なお両国で生産された生産物は相互に貿易しない、かつ資本蓄積も存在しないと仮定される。よってGDPは消費に一致、すなわち  $c_i = y_i$  が成立する。

Nishimura [2008] では上の定式化にもとづいてさまざまなケースについて分析し、数多くの命題を導いている。その中で、本稿の検討対象とするものを「N命題」として以下に示しておく。

「N命題」

- ① リンダール均衡が存在するとき、その（生産や排出量の）配分はパレート効率的である。
- ② 一般に、リンダール均衡における配分は  $\gamma$ -coreにならない<sup>7</sup>。

「N命題」の第1は、パレート効率的なリンダール・メカニズムによる配分が存在することを示している。しかしながら、その配分が他の配分を支配するとは限らない。すなわち2国によってパレート効率的な配分が自発的に選ばれない可能性があることを第2の「N命題」は示している。

### Ⅲ. 社会的最適解

前章で示した定式化のもとで、本章ではベンチマークとして社会的に最も望ましい状況について分析する。Nishimura [2008] ではすべての国の効用水準の総和が最大となる状況を社会的最適と定義している。本稿でもこの定義を採用すれば、目的関数は2国の効用和、すなわち、

$$\begin{aligned} \text{Maximize } U_i [c_i, X] + U_j [c_j, X] &\equiv W \\ &= 2b_i x_i^{1/2} + 2b_j x_j^{1/2} - \frac{1}{2} X^2 \end{aligned} \quad (3-1)$$

によって与えられる。(3-1) 式を  $x_i$ ,  $x_j$  について偏微分したものをゼロとおくことで一階の条件を求めると、

$$\frac{\partial W}{\partial x_i} = 0 \Leftrightarrow b_i x_i^{-1/2} - x_i - x_j = 0$$

$$\frac{\partial W}{\partial x_j} = 0 \Leftrightarrow b_j x_j^{-1/2} - x_i - x_j = 0$$

となる。上の2式を整理すれば、最適条件は  $x_i = (b_i/b_j)^2 x_j$  となる。ここから、各国の最適排出量は、

$$x_i^* = \frac{b_i^2}{(b_i^2 + b_j^2)^{2/3}} \quad (3-2 a)$$

$$x_j^* = \frac{b_j^2}{(b_i^2 + b_j^2)^{2/3}} \quad (3-2 b)$$

と計算できる。よって世界の総排出量は、

$$\begin{aligned} X^* &= x_i^* + x_j^* \\ &= (b_i^2 + b_j^2)^{1/3} \end{aligned} \quad (3-3)$$

となり、(3-2 a), (3-2 b), (3-3) 式を (3-1) 式に代入することで、社会的に望ましい余剰水準は、

$$W^* = \frac{3}{2} (b_i^2 + b_j^2)^{2/3} \quad (3-4)$$

となる。

#### IV. リンダール解

次に本章では、リンダール・メカニズムと排出権取引市場を通じて社会的に最適な状態を達成できるかどうかについて検討する。その際、Nishimura [2008] では次の2段階の意思決定プロセスが仮定される。

- 第一段階：総排出量  $X$  と排出割当  $\theta_i$  ( $\theta_i, \theta_j > 0$  かつ  $\theta_i + \theta_j = 1$ ) をリンダール・メカニズムを通じて決める。
- 第二段階：両国が排出量  $x_i$  を決め、排出割当に応じて排出権が取引される。

##### 1. 第二段階の決定

以降特に断りのない限り、 $i$  国のみを分析の対象とする。

排出権価格を  $q$  とおき、先決される総排出量  $X$  と各国の排出割当  $\theta_i$  を所与として、次の最大化問題によって最適な  $i$  国の排出量  $x_i$  を決定する。

$$\begin{aligned} \underset{x_i}{\text{Maximize}} \quad & Y_i[x_i] + q(\theta_i X - x_i) \equiv Z_i \\ & = 2b_i x_i^{1/2} + q(\theta_i X - x_i) \end{aligned} \quad (4-1)^8$$

一階の条件より、 $i$  国の排出量は、

$$x_i^0 = \left( \frac{b_i}{q} \right)^2 \quad (4-2)$$

となる。そして (4-2) 式と  $x_i + x_j = X$  より排出権価格は、

$$q^0 = \left( \frac{b_i^2 + b_j^2}{X} \right)^{1/2} \quad (4-3)$$

となり、これを (4-2) 式にもどせば  $x_i^0 = \beta_i X$  と書くことができる<sup>9)</sup>。これと (4-3) 式を (4-1) 式に代入して、 $Z_i$  の最大値は、

$$Z_i^0 = 2b_i (\beta_i X)^{1/2} + \left( \frac{b_i^2 + b_j^2}{X} \right)^{1/2} (\theta_i X - \beta_i X) \quad (4-4)$$

となる。

## 2. 第一段階の決定

以上をふまえて、ここから第一段階の決定について分析する。両国は自らの利得を最大化するような総排出量  $X$  を次の最大化問題の解によって申告する。

$$\begin{aligned} \text{Maximize}_X \quad U_i &= Z_i^0 - D_i[X] \\ &= 2b_i(\beta_i X)^{1/2} + \left(\frac{b_i^2 + b_j^2}{X}\right)^{1/2} (\theta_i X - \beta_i X) - \frac{t_i}{2} X^2 \end{aligned} \quad (4-5)$$

一階の条件から、 $i$  国が望む総排出量  $X_i$  を次の通り導出できる。

$$X_i = \left\{ \frac{(b_i^2 + b_j^2)(\theta_i + \beta_i)^2}{4t_i^2} \right\}^{1/3} \quad (4-6)$$

周知の通りリンダール均衡は各国が申告する  $X$  の水準、すなわち  $X_i$  と  $X_j$  が等しくなるときに実現する。(4-6) 式をもとにこれを図示すると図1のようになる。この図は3通りに描くことができるが、 $\theta_i, \theta_j$  とともに1未満の正の実数となるのは、ケース a のみである。そしてケース b では  $\theta_j < 0$ 、ケース c では  $\theta_i < 0$  となってリンダール均衡としては意味を持たない<sup>10)</sup>。よって(4-6) 式がケース a のようになるための条件は、

$$\frac{b_j^2}{2b_i^2 + b_j^2} < \frac{t_j}{t_i} < 1 + 2\left(\frac{b_j}{b_i}\right)^2 \quad (4-7)$$

と与えられる。 $X_i = X_j$  のもとで、 $i$  国の排出割当  $\theta_i$  は、

$$\theta_i^0 = (1 + \beta_j)t_i - \beta_i t_j \quad (4-8)$$

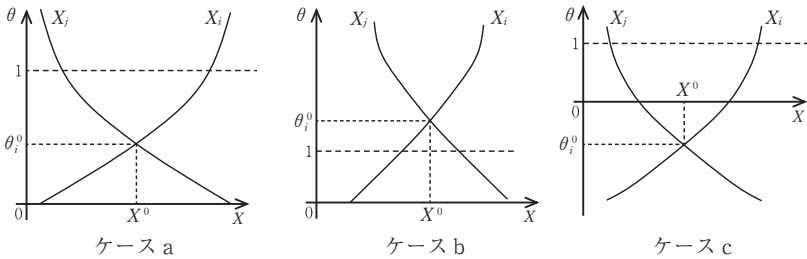


図 1

と求められ、(4-8) 式が 1 未満の正の実数であるための条件は (4-7) 式で与えられる。そしてこれを (4-6) 式に代入すると、

$$X_i^0 = X_j^0 = (b_i^2 + b_j^2)^{1/3} = X^* \quad (4-9)$$

さらに (4-9) 式より、

$$x_i^0 = \frac{b_i^2}{(b_i^2 + b_j^2)^{1/3}} = x_i^* \quad (4-10)$$

となって、総排出量、 $i$  国の排出量とも、社会的最適解に一致する<sup>11)</sup>。第 VI 章の分析のため、(4-9) および (4-10) 式を (4-5) 式に代入して、リンダール均衡のもとでの  $i$  国の社会的余剰は、

$$U_i^0 = \frac{3}{2} t_i (b_i^2 + b_j^2)^{2/3} \equiv U_i^* \quad (4-11)$$

となり、両国の社会的余剰の総和は、

$$\begin{aligned} U_i^* + U_j^* &= W^0 \\ &= \frac{3}{2} (b_i^2 + b_j^2)^{2/3} \equiv W^* \end{aligned}$$

つまり、(3-4) 式に一致する。以上の結果から、第 II 章において示した「N 命題」の第 1 の点が証明される。

## V. 自主決定解

前章の検討で確認したように、(4-7) 式を満たすもとでリンダール・メカニズムによるパレート効率が実現する。しかし (4-7) 式を満たさなければ、意味のあるリンダール均衡は成立しない。このことは両国が協力せずに自国の効用を最大化するように自主的に行動することを意味する。そこで本章では、両国が独自に排出量を決定するケースについて検討する。

このとき、 $i$  国は次の最大化問題によって自らの効用を最大化する。

$$\text{Maximize } U_i = 2b_i x_i^{1/2} - \frac{t_i}{2} (x_i + x_j)^2 \quad (5-1)$$

よって、 $i$  国の排出量  $x_i$  は、



$$\hat{x}_i = \left\{ \frac{t_i}{b_i} \cdot \frac{(t_j b_i)^2}{(t_i b_j)^2 + (t_j b_i)^2} \right\}^{2/3} \quad (5-2)$$

となる。そして両国が協力しない場合の総排出量  $\hat{X}$  は、

$$\begin{aligned} \hat{X} &\equiv \hat{x}_i + \hat{x}_j \\ &= \left\{ \left( \frac{b_i}{t_i} \right)^2 + \left( \frac{b_j}{t_j} \right)^2 \right\}^{1/3} \end{aligned} \quad (5-3)$$

となる。このとき (4-9) および (5-3) 式より  $\hat{X} > X^*$ 、すなわち協力がなされない場合の総排出量は、リンダール・メカニズムによる協力がなされる場合の総排出量と比べて必ず大きくなる<sup>12)</sup>。よって、温暖化による被害を小さくすることのみを考えるならば、リンダール・メカニズムによる協力が望ましいと言える。

(5-2) および (5-3) 式を (5-1) 式に代入すると、協力がなされない場合の  $i$  国の効用  $\hat{U}_i$  が次の式で与えられる。

$$\hat{U}_i = \frac{t_i}{2} \left\{ \frac{3(b_i/t_i)^2 - (b_j/t_j)^2}{(b_i/t_i)^2 + (b_j/t_j)^2} \right\} \left\{ \left( \frac{b_i}{t_i} \right)^2 + \left( \frac{b_j}{t_j} \right)^2 \right\}^{2/3} \quad (5-4)$$

## Ⅵ. リンダール・メカニズムによる協力が支配戦略均衡となる条件

前章までは、リンダール・メカニズムを通じて両国が協力する場合と、両国が協力せず個別に排出量を決定する場合について検討した。そこで本章ではリンダール・メカニズムによる協力が両国で必ず選択される、すなわち支配戦略均衡となる（リンダール解が  $\gamma$ -core に属する）条件について検討する。

両国の合意が得られ、リンダール解が実現すれば  $i$  国の社会的余剰は (4-11) 式、両国の合意が得られず、自主決定解が実現すれば  $i$  国の社会的余剰は (5-4) 式でそれぞれ与えられる。これを利得表として示すと表 1 のようになる。

この表から明らかなように、リンダール解は両国が合意するとき初めて実現するから、両国が協力を合意しないことに合意する場合はもちろんのこと、

$i$ 国 $j$ 国	協力する	協力しない
協力する	$(U_i^*, U_j^*)$	$(\hat{U}_i, \hat{U}_j)$
協力しない	$(\hat{U}_i, \hat{U}_j)$	$(\hat{U}_i, \hat{U}_j)$

(表 1)

どちらか一国のみが協力を申し出てもリンダール解は成立しない。よって分析の中心は対称均衡、すなわち  $(U_i^*, U_j^*)$  か  $(\hat{U}_i, \hat{U}_j)$  のどちらかが選択されるかを判断すればいいことになる。

ただし、(4-11) 式および (5-4) 式を直接比較することは難しい。そこで以下では2つの特殊なケースに絞って検討する。

### 1. $t_i = t_j$ のケース

まず  $t_i = t_j = \frac{1}{2}$  と仮定してリンダール・メカニズムによる協力が支配戦略均衡となる条件を考える。(4-7) 式に  $t_i = t_j = \frac{1}{2}$  を代入すると、 $0 < b_i$ 、 $0 < b_j$  を満たす任意の  $(b_i, b_j)$  の組合せのもとでリンダール解が存在することが分かる。そこで (4-11) および (5-4) 式に  $t_i = t_j = \frac{1}{2}$  を代入すると、2つのケースにおける  $i$  国の社会的総余剰 (すなわち利得) はそれぞれ

$$U_i^* |_{t_i=t_j} = \frac{3}{4} (b_i^2 + b_j^2)^{2/3} = U_j^* |_{t_i=t_j}$$

$$\hat{U}_i |_{t_i=t_j} = \frac{1}{4} \left\{ \frac{(3b_i^2 - b_j^2)}{(b_i^2 + b_j^2)} \right\} \left\{ \frac{(b_i^2 + b_j^2)}{(1/2)^2} \right\}^{2/3}$$

となる。よって両者の大小比較より、

$$U_i^* |_{t_i=t_j} \geq \hat{U}_i |_{t_i=t_j} \Leftrightarrow \frac{3}{4} (b_i^2 + b_j^2)^{2/3} \geq \frac{1}{4} \left\{ \frac{(3b_i^2 - b_j^2)}{(b_i^2 + b_j^2)} \right\} \left\{ \frac{(b_i^2 + b_j^2)}{(1/2)^2} \right\}^{2/3} \quad (6-1)$$

$$\Leftrightarrow b_i \geq \eta b_j \quad (\text{複号同順})$$

という条件が求まる<sup>13)</sup>。そして、(6-1) 式を図示したのが図 2 である。

(6-1) 式が等号で成り立つ境界線は原点を通る右上がりの直線で、その傾きは 45 度線よりも大きい。そしてこの境界線よりも下の領域において、 $U_i^* > \hat{U}_i$  が成り立つ。この分析を  $j$  国について当てはめると、45 度線より小さな傾きを持つ境界線が現れる。そしてこれより上の領域において  $U_j^* > \hat{U}_j$  が成り立つ。このケースでは、 $b_i, b_j > 0$  を満たす任意の組み合わせでリンダール均衡が存在するから、結局図の網掛けの領域でリンダール解が両国政府により実際に選択されることが分かる。

## 2. $b_i = b_j$ のケース

次に  $b_i = b_j$  のケースにおいて、リンダール・メカニズムによる協力が支配戦略均衡となる条件を考える。(4-7) 式に  $b_i + b_j = b$  を代入すると、 $1/4 < t < 3/4$  の範囲を満たせばリンダール解が存在する。次に (4-11) および (5-4) 式に  $b_i = b_j = b$  を代入して整理すると、

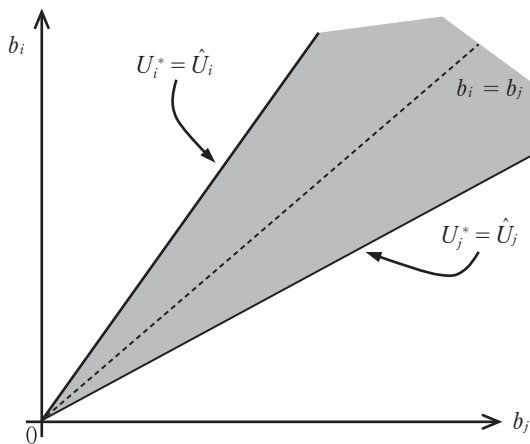


図 2

$$U_i^* |_{b_i = b_j} = \frac{3}{2} t_i 4^{1/3} b^{4/3}$$

$$\hat{U}_i |_{b_i = b_j} = \frac{t_i}{2} (3t_j^2 + t_i^2)(t_i^2 + t_j^2)^{-1/3} b^{4/3} (t_i^2 t_j^2)^{-2/3}$$

となる。よって両者の大小比較より、

$$U_i^* \gtrless \hat{U}_i \Leftrightarrow 108 \gtrless \frac{(2t_i^2 - 6t_i + 3)^3}{t_i^4 (1-t_i)^4 (2t_i^2 - 2t_i + 1)} \quad (\text{複号同順}) \quad (6-2)^{14)}$$

という条件が得られる。

あとは図を用いて検討する。(6-2) 式を図示すると図3のようになる。(6-2) の右側条件式右辺は  $t_i \in [0, 1]$  において一様減少関数であり、 $t_i = 0, 1$  で漸近線を持つ。これと定数 108 が等しくなるような  $t_i$  が存在する。これを  $\bar{t}_i$  とすれば、簡単な計算から  $\bar{t}_i > 1/4$  であることが確認できる。よって (6-2) 式より  $t_i \in [\bar{t}_i, 1]$  において  $U_i^* > \hat{U}_i$  が成り立つ。

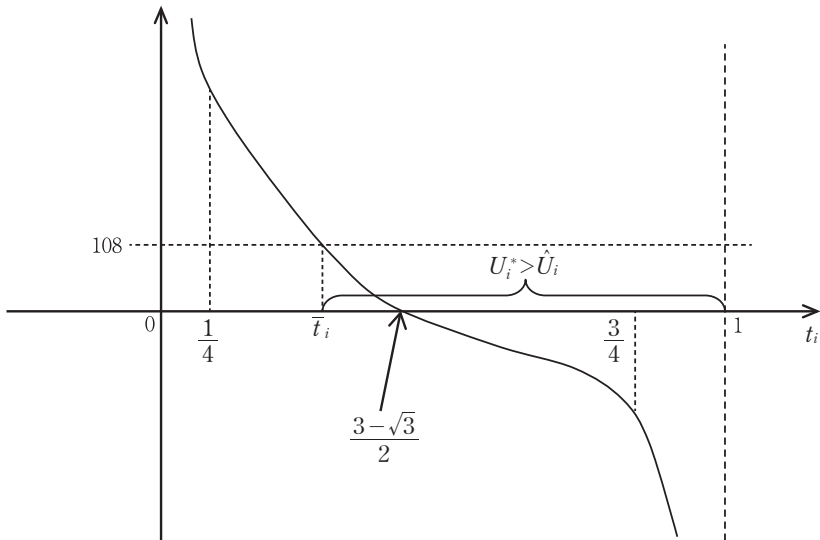


図 3

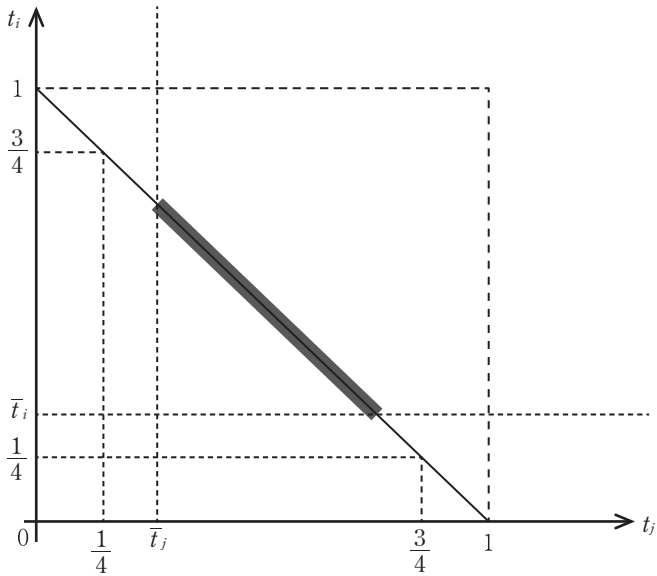


図 4

$j$  国においても同様の条件を導出できるから、 $t_j - t_i$  平面に 2 つの条件を表現すると図 4 のようになる。本稿では Nishimura [2008] にしたがって  $t_i + t_j = 1$  を仮定しているから、結局、

$$(t_i, t_j) = \{t_i, t_j \mid \bar{t}_i < t_i < 1 - \bar{t}_j, \bar{t}_j < t_j < 1 - \bar{t}_i, t_i + t_j = 1\}$$

を満たす組合せ、すなわち図で網掛けされた線上においてリンダール解が両国政府によって実際に選択されることが分かる。

### 3. 含意

以上の検討結果を命題の形としてまとめておく。

〈命題〉

リンダール解が両国で選択されるためのパラメータ条件として、

- $t_i = t_j$  のもとでは、 $b_i$  と  $b_j$  の比が

$$\frac{1}{\eta} \leq \frac{b_i}{b_j} \leq \eta$$

を満たす。

- $b_i = b_j$  のもとでは、 $t_i$  と  $t_j$  の比が

$$\frac{\bar{t}_i}{1-\bar{t}_i} \leq \frac{t_i}{t_j} \leq \frac{1-\bar{t}_j}{\bar{t}_j}$$

を満たす。

以下では2つの条件が持つ意味について若干の考察を行う。

第1の条件は両国における温室効果ガスの排出効率について示したもので、この条件は排出効率が似通った2国間でリンダール・メカニズムが実現する傾向にあることを示している。例えば(4-8)式より、 $t_i = t_j = 1/2$ のとき、 $i$ 国に与えられる排出割当は $\theta_i^0 = \beta_j$ となる。もし $b_i$ と $b_j$ の比が1に近ければ両国の排出割当は1/2の周辺となるだろう。ところが、 $b_i > b_j$ で上記条件を満たさないとき、排出効率の良い $i$ 国の排出割当が少なく、排出効率の悪い $j$ 国に高い排出割当が与えられてしまう。この結果は排出効率という技術的理由から合理性を持つだろうが、両国が交渉するとなると、合意の成立を難しくする要因となりうると考えられる。例えば $i$ 国を先進国、 $j$ 国を途上国と考える。途上国は排出効率の悪さからより高い排出割当を求める。一方先進国は途上国の排出削減を求める。ゆえに両者の対立はより先鋭化することになるだろう。

第2の条件は、両国における地理上の条件について示したもので、この条件は類似した地理的条件、すなわち温室効果ガスの悪影響の程度が似通った2国間でリンダール・メカニズムが実現する傾向にあることを示している。(4-8)式に $b_i = b_j = b$ を代入すれば、 $i$ 国の排出割当は $\theta_i^0 = (3t_i - t_j)$ となる。この式から容易に分かるように、 $i$ 国において温室効果ガスの悪影響の程度が

強い（弱い）ほど高い（低い）排出量が割り当てられる。つまり、 $i$  国の温室効果ガスによる多大な損失を積極的な生産活動で補填するような排出配分であると言える。ところが、温室効果ガスの影響をあまり受けない  $j$  国にとれば、他国の厚生改善のために自国の経済活動を抑制しなければならず、両国の合意点を見出しにくくなることは容易に想像できる。

$b_i$  と  $t_i$  が似通っている排出権取引制度の実例としては、米国における  $\text{SO}_2$  および  $\text{NO}_x$  の排出権取引制度や、EU ETSなどが挙げられる<sup>15)</sup>。これらの制度はどれも一定の成果を収めており、どの事例についても、参加国の技術水準および被害の程度（あるいは地理条件）は似通っている。これは、 $b_i$  と  $t_i$  が似通っている場合に、リンダール均衡による協力が支配戦略均衡となる、すなわち排出権取引制度が実現するという本稿の結論と一致するものである。

以上、本節では  $t_i = t_j = 1/2$  もしくは  $b_i = b_j$  という特殊なケースにおいて、リンダール解が支配戦略均衡となる条件について考察してきた。この結果は本章でおいた仮定をゆるめても、少なくとも2国間交渉であれば妥当するだろう。だが温室効果ガス排出抑制のための国際会議では、さまざまな  $(b_i, t_i)$  の組合せを持つ多数の国々が参加している。そこには大きく食い違う  $(b_i, t_i)$  を持つ国々での鋭い対立がある。すると、会議に参加した国々がすべて納得するような排出割当を決定するのは相当に難しくなる。その推論から第二章で示した《N命題》の第2の点が主張できるのである。

## Ⅶ. おわりに

本稿では、Nishimura [2008] の提示したN国モデルを2国モデルに単純化し、さらにすべての関数形をNishimura [2008] の提示したものを採用し、そのもとで彼が数値例で示した結論を定性的条件として厳密に導出した。その検討結果は次のようにまとめることができる。

- ① リンダール解はパレート効率的である。

- ② 排出効率と地理条件が類似した2国であれば、リンダール解を選ぶことが支配戦略均衡となる。

地球サミットに代表される国際会議では、温室効果ガスの排出効率と地理的条件 ( $b_i, t_i$ ) を初期賦存として持つさまざまな国が参加している。その参加国すべてが納得するような排出割当を見出すことはかなりの困難を伴う。その理由は前章からの考察からも明らかで、ある割当に対して参加国の一部からの反対が回避できないからである。その意味において、Nishimura [2008] の  $\gamma$ -core や宇沢 [2003] の微分方程式を用いた分析結果は整合的だと判断できる。

今後の検討課題として、次の2点が指摘できる。1点目は本稿のモデルを使って次善の交渉を考えることである。ここでいう次善とは、 $N (\geq 3)$  国すべてではなく一部の  $K (< N)$  国のみがリンダール・メカニズムによる排出量交渉に参加するケースを指す。このケースを考える最小単位は3国であるから、本稿のモデルを3国に拡張するのがもっとも単純であろう。2点目はNishimura [2008] で少し検討された、リンダール・メカニズムによる温室効果ガス削減を決定するケース (Abatement game) における諸条件を本稿のモデルを使って厳密に検討することである。

### 数学注：(6-2) 式の性質

(6-2) 式の右側条件式の性質を明らかにするには、その右辺の性質が明らかになればいい。そこで、

$$\frac{(2t_i^2 - 6t_i + 3)^3}{t_i^4(1-t_i)^4(2t_i^2 - 2t_i + 1)} \equiv F[t_i] \quad (7-1)$$

とにおいて、この式の性質を明らかにする。

最初に (7-1) 式左辺分母の性質について明らかにする。まず  $2t_i^2 - 2t_i + 1 = 0$  を満足する  $t_i$  の値は、



$$t_i = \frac{1 \pm i}{2}$$

となって、実数として存在しない。ゆえに分母は  $t_i \in [0, 1]$  において  $t_i = 0, 1$  のときに 0、さもなくば正値をとることが分かる。

よって (7-1) 式の符号は左辺分子の符号と一致することが分かる。そしてこれは 2 次不等式  $2t_i^2 - 6t_i + 3 \leq 0$  を解けばよい。その解は  $t_i \in [0, 1]$  において、

$$\frac{3 - \sqrt{3}}{2} \leq t_i \leq 1$$

で与えられる。よって (7-1) 式の符号は、

$$F[t_i] \begin{cases} > 0 \Leftrightarrow 0 < t_i < \frac{3 - \sqrt{3}}{2} \\ < 0 \Leftrightarrow \frac{3 - \sqrt{3}}{2} < t_i < 1 \end{cases} \quad (7-2)$$

によって明らかとなる。また次の結果も明らかである。

$$\lim_{t_i \rightarrow 0} F[t_i] = +\infty$$

$$\lim_{t_i \rightarrow 1} F[t_i] = -\infty$$

以上のことから、(7-1) 式は  $t_i \in [0, 1]$  において  $t_i = 0, 1$  で漸近線を持つ一様減少関数であることが分かる。

## 註

\* 本稿の審査にあたって、学生懸賞論文審査員の方々より貴重なコメントを賜った。記して深謝申し上げる。

- 1) 地球温暖化による気候変動の影響とその原因については、『IPCC 第 4 次評価報告書 統合報告書政策決定者向け要約』でその概要が網羅的に述べられている。また長井 [2004] では、『IPCC AR 3』をもとに排出権取引制度に関わる重要な事項について整理されている。
- 2) 松枝 [2004, pp. 537-538] ではより詳しい解説がなされ、排出権取引制度の問題点を指摘している。また、前田 [2010] では各政策についての詳細な解説がなされて

いる。

- 3) もちろん排出権取引制度が必ずしも万能である訳ではない。松枝 [2004] では、排出権取引制度の問題点について詳しく指摘されている。また、環境税と排出権取引制度双方について言えることだが、特に地球温暖化問題について、温室効果ガスの最適な排出量の把握は困難であることに注意すべきである。すなわち、社会的費用関数の導入困難性が根源的課題として存在するが、本稿の分析対象から捨象する。
- 4) それと同時にNishimura [2008] では同じ関数を用いて、リンダール・メカニズムを通じて世界の温室効果ガス削減総量と各国の削減割当を決め、それにもとづいて排出権取引市場に参加するゲーム (Abatement gameと呼ばれる) を検討している。
- 5) Nishimura [2008] では関数 $Y_i[x_i]$ の性質は明示されていないが、藤岡 [2003; pp.33-34] に詳しい解説がある。
- 6) これはモデルの帰結を明瞭にするためにおかれたものである。
- 7) Nishimura [2008] によれば、 $\gamma$ -coreとは、2国によるリンダール・メカニズム (ゲーム理論では提携ゲームの範疇に入る) における配分 $(c_i^*, X^*)$ が、利得で評価して他の配分 (例えば $(\tilde{c}_i, \tilde{X})$ ) に支配されない状況をいう。数式では $U_i[c_i^*, X^*] > U_i[\tilde{c}_i, \tilde{X}]$ で表される。
- 8)  $Z_i$ に $D_i[X]$ を含めないのは、 $X$ は第一段階で先決されるため、 $X$ の値はその後に於ける両国の戦略選択に影響を与えないためである。
- 9) ここで、 $\beta_i \equiv \frac{b_i^2}{b_i^2 + b_j^2}$ である。
- 10) ケースbの場合、すべての排出割当が $i$ 国に与えられ、同国は少しでも排出を少なくすれば排出権を $j$ 国に売却できる。そのことを通じて $i$ 国は一方向的に得をすることになる。ケースcの場合には逆のことが起こる。いずれにしても両国の合意が成立しないことは明らかである。
- 11) ここでは、排出権市場の均衡が成立している。このもとでは、 $i(j)$ 国が排出権の売却国であれば、必ず $j(i)$ 国が購入国となる。
- 12) ただし、 $i$ 国の排出量 (5-2) 式がリンダール解 (4-10) 式と比べて大きいかどうかは一般に不確定である。
- 13) ここで $\eta \equiv \left( \frac{1+3(1/2)^{4/3}}{3[1-(1/2)^{4/3}]} \right)^{1/2}$ であり、その値は1.1002...である。
- 14) (6-2) 式に関する性質については数学注を参照せよ。
- 15) 制度導入の背景や、運用の実態等については、若林・杉山 [2007] に詳しい解説がある。

## 参考文献

- Mas-Colell, A., M. D. Winston, and J. R. Green [1995], *Microeconomic Theory*, Oxford Univ. Press.
- Nishimura, Y. [2008], *A Lindahl Solution to International Emissions Trading*, Queen's Economics Department Working Paper No.1177.
- IPCC第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約, 参照日: 2011年11月20日, [http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr\\_spm.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf).
- 荒井一博 [1999], 『ミクロ経済理論』, 有斐閣。
- 宇沢弘文 [2003], 「地球温暖化とリンダール均衡の安定性」『経済解析展開篇』第2章, 岩波書店。
- 宇沢弘文・東嶋和子 [2008], 「特集迷走, 地球温暖化大論争 地球温暖化への経済学的解答 - 排出権取引では解決しない」『中央公論』第123巻7号, pp. 100-107。
- 岡敏弘 [2001], 「温暖化国内政策手段の比較と評価 - 排出権取引の可能性」『三田学会雑誌』第94巻1号, pp. 105-123。
- 岡本博之 [2002], 「地球温暖化ガスと排出権取引問題」『国際関係学部研究年報』第23巻, pp. 189-201。
- 奥野正寛(編著) [2008], 『ミクロ経済学』, 東京大学出版会。
- 緒方隆 [2001], 「排出権取引の最適設計について」『九州国際大学国際商学論集』第13巻2号, pp. 1-25。
- 小山昭雄 [2010], 『経済数学教室』(第5・6巻), 岩波書店。
- Gibbons, R., (福岡正夫, 須田伸一訳) [1995], 『経済学のためのゲーム理論入門』, 創文社。
- 柴田弘文・井堀利宏 [2008], 「経済的環境制御手段と万国窮乏化」『環境経済・政策研究』第1巻1号, pp. 15-23。
- 常木淳 [2002], 『公共経済学』(第2版), 新世社。
- 長井壽満 [2004], 「経済システムからのアプローチ-地球温暖化対策『排出権取引制度』の実現にむけて」『日本大学大学院総合社会情報研究科紀要』第5巻, pp. 260-271。
- 中村勝之 [2009], 『大学院へのミクロ経済学講義』, 現代数学社。
- 平井俊行 [2009], 『公共財供給問題の提携ゲーム理論分析』, 三菱経済研究所。
- 藤岡明房 [2003], 「排出権取引の理論的検討」『敬愛大学研究論集』第64巻, pp. 25-65。
- 細田衛士・横山彰 [2007], 『環境経済学』(第1版), 有斐閣。
- 前田章 [2005], 「バンキング可能な排出権取引制度の市場価格形成」『環境科学会誌』

第 18 卷 3 号, pp. 207-216。

前田章 [2010], 『ゼミナール環境経済学入門』(第 1 版), 日本経済新聞社。

松枝法道 [2004], 「排出権取引制度に対して不完全競争市場がもたらす問題点について」  
『経済学論究』第 58 卷 3 号, pp. 537-554。

柳川隆・町野和夫・吉野一郎 [2008], 『ミクロ経済学・入門』, 有斐閣。

山本哲三 [2004], 「規制代替策と排出権取引市場」『早稲田商学』第 401 卷, pp. 363-398。

若林雅代・杉山大志 [2007], 「排出権取引制度の実効性に関する事例研究レビュー」  
『電力中央研究所報告 研究報告Y』(06010) pp. 1-45。

渡辺隆裕 [2008], 『ゼミナールゲーム理論入門』(第 1 版), 日本経済新聞出版社。