GHG 排出権取引実験：責任制度のデザイン†

草川 孝夫*
西條 辰義**

2005年3月

* 広島修道大学経済科学部
**大阪大学社会経済研究所
†本研究の一部は，文部科学省科学研究費補助金（課題番号16203012）の補助を受けた.

1. イントロダクション

1997 年 12 月に京都で開催された気候変動枠組み条約の第 3 回締約国会議において、先進国および市場経済移行国の第一約束期間（2008 年から 2012 年）の温室効果ガス排出量に上限を課す京都議定書が採択された。米国などの議定書からの離脱はあったものの、ロシアの批准を受けて 2005 年 2 月に議定書は発効した。

議定書は、排出上限を達成するための補足的な手段として排出権取引を用いることを認めているが、具体的な取引ルールを定めているわけではない。そのため、経済学的な観点などの複数の視点から見て望ましい制度を設計することが必要とされている。 制度設計の対象としては、第１約束期間の国際排出権取引制度だけでなく、第１約束期間の日本国内制度、第１約束期間以降の国際制度および国内制度が考えられる。本稿では、実験経済学的手法を用いて、これらの制度の設計をめざす。

京都議定書における排出権取引の単純化された大まかな時間の流れは次のようになる。まず、第一約束期間の開始前に、附属書Ｂ国（排出上限を課されている国々）は「割当排出量」とも呼ばれる温室効果ガスの排出許可証を割り当てられる。第一約束期間中、附属書Ｂ国は排出許可証の取引が認められ、第一約束期間の終了後、保有している「有効な」排出許可証の数量が第一約束期間中の総排出量以上である国は議定書を遵守していることになり、下回るならば不遵守となる。この手続きが機能するためには、各国が保有している排出許可証がどのようなときに有効と見なされるかに関する条件を明確にしなければならない。例えば、不遵守に終わった国によって発効・売却された排出許可証は有効なのであろうか？ 別の言葉で言い換えると、不遵守に終わった国が発効・売却した排出許可証を取引したことの責任は、不遵守であるにも関わらず排出許可証を売却した国の方が悪いのか、あるいはそのような排出許可証を購入した国の方が悪いのか？本稿においては、排出許可証がどのような状況の下で議定書の遵守に有効であると見なされるのかを定めるルールを、責任制度と呼ぶことにする。

Baron (1999)は、売り手１人、買い手１人の数値例を用いて、複数の責任制度案を提示し評価している。しかしながら、そこでは売り手も買い手も複数人の状況でどのように運用するのかを明確には示していない。 売り手も買い手も複数人の場合、ある国が不遵守に終わることによって、その国が売却した排出許可証が無効になり、それを保有している国が新たに不遵守となるためにさらにその国が売却した排出許可証も無効となり・・・という不遵守の連鎖反応が発生し得る。不遵守の連鎖反応が発生した場合、どの国がどれだけの不遵守に終わったのかを確定できない可能性がある。本稿においては、まず Baron

(1999) における責任制度を、売り手と買い手が複数人の状況でも不遵守の量を確定できるように拡張する。

責任制度の中身が重要であることの理由として、責任制度の違いが排出許可証の売買価格や削減行動に影響を与える可能性があることもあげられる。例えば、売買される排出許可証が、売り手の遵守状況に関わらず必ず有効であるような制度のもとでは、各国が排出許可証を空売りすることを禁止する必要がある。もし空売りをしておいて買い戻せなかった場合、空売りされた排出許可証を無効にしなければ、遵守の際に有効とみなされる排出許可証の附属書Ｂ国全体での総量（従って附属書Ｂ国全体での排出量）が、第一約束期間開始時に割り当てられた排出許可証の合計量よりも大きくなってしまうからである。しかしながら、排出権の空売りを禁止すると、排出許可証の購入量には上限がないにも関わらず売却量にのみ上限が設けられることになるので、売却量・購入量ともに上限がない場合と比べて排出許可証の価格が高く付く可能性がある。また価格が高く付くと、それに合わせて過剰な削減投資が行われる可能性もある。つまり、空売りの禁止は排出許可証のバブルと過剰投資を発生させやすくなる可能性がある。一方で、もし空売りを認めると、売買される排出許可証が無効となることを恐れて排出許可証の購入をためらう国が発生し、それらの国は自国での削減のみで遵守を目指す事になるため、過剰削減が頻繁に発生し、経済効率性が低下するかもしれない。

本稿においては、排出許可証の空売りが可能で、少なくとも単純化された理論においては空売りされた排出許可証が無効になりにくい新しいタイプの責任制度を設計する。 そして、その制度を実験により他の二つの責任制度と比較する。実験結果からは、まず、空売り不可能であるが売買される排出許可証が必ず有効な「売手責任制度」と呼ぶ制度のもとでは、価格が安定したために最適な削減分担がなされて経済効率性が高くなる結果と、バブルが発生したために過剰投資がなされて経済効率性が低くなる結果の２種類が観察された。

次に、空売り可能で排出許可証が無効になりにくい「国先買手責任制度」と名付けられた制度のもとでは、経済効率性の平均値は売手責任制度と同じで、分散は売手責任制度よりも小さくなった。また新たに、低い価格から始まり、最後に価格が上がる結果も観察された。

最後に、空売り可能で売買される排出許可証が無効になりやすい旧来の制度では、意図的にいくつかの国が排出許可証の空売りをして買い戻さずに排出許可証を無効にした結果を観察した。

本稿の構成は以下のようになる。第２節では実験デザインと手続きをのべる。第３節では空売りするインセンティブを、空売り可能な２種類の責任制度の間で比較する。第４節では実験結果を分析する。第５節は結語である。

2. 実験デザインと手続き

どのセッションでも、責任制度としては三種類の責任制度の内の一つを用い、取引制度としては三種類の取引方法の内の一つを用いた。それゆえ、３×３＝９種類の比較すべき制度ができあがる。本節では、各制度の内容と、全ての制度で共通に用いるルールに触れる。

2.1. 責任制度

Baron (1999) は「発行者責任」という制度と「買手責任」という制度の２つを土台にした複数の責任制度案を提示した。Baron (1999) における発行者責任制度では、排出許可証の発行・売却国が不遵守に終わったとしても、その排出許可証の保有主体はそれを自分の遵守に使うことができる。それゆえ、排出削減をしていないにも関わらず排出許可証の発行・売却を行った結果、有効な排出許可証が足りなくなった売り手は、自身が不遵守のペナルティを支払うことになる。つまり、排出削減をしていないにも関わらず排出許可証を売却してしまった責任を売り手（厳密には、最初の売り手＝発行主体）が負うことになるため、以下ではこのような制度のことを「売手責任制度」と呼ぶことにする。

一方、Baron (1999) における買手責任制度は、排出許可証を発行・売却したことにより、手元に残る排出許可証の保有量が排出量を下回ってしまった発行主体が現れた場合、その主体が発行した排出許可証を保有している主体は排出許可証を発行主体に返却しなければならず、発行主体は返却された排出許可証を自分の遵守に使うことが出来る、という制度である。このような制度は、議定書の遵守に有効な排出許可証自体を売買する制度というよりも、有効であるかどうかが発行国の状況によって決まるような「債券」を売買する制度の一例と考える方が妥当であろう。この制度では、有効でない債券を売買した責任を買い手（厳密には、最終的な買い手＝最終的な保有者）が負うことになるので、以下ではこの制度を「買手責任制度」と呼ぶことにする。

Baron (1999) はこれらの責任制度を、売り手１主体、買い手１主体の数値例を用いて説明しているため、売り手も買い手も複数主体となる状況で用いるには、さらなるルールが必要になる。例えば、Ａ国がＢ国に排出許可証を売り、Ｂ国がＣ国に排出許可証を売り、Ｃ国がＡ国に排出許可証を売り、Ａ国が不遵守となった場合、Ｂ国とＣ国がどれだけ不遵

守となるのかは、さらなるルールが無ければ確定できない。本稿では、最終的な遵守・不遵守をユニークに決定できるルールを説明する。

Baron (1999) における発行者責任制度（売手責任制度）は、新たなルール無しで売り手も買い手も複数人の責任制度に拡張することが可能である。具体的には、主体 i ($=1,...,N$) は約束期間の開始時に遵守委員会から $\hat{R}_i$ 単位の必ず遵守の際に有効な排出許可証を受け取る。なお、 $\hat{R}_i$ は京都議定書の割当排出量と同量である。各主体はこの許可書を約束期間中に売買することが出来るが、空売りすることは出来ない。約束期間の終了時に、各主体は遵守委員会に約束期間中の排出量と同量の排出許可証を提出しなければならない。提出できる場合、つまり、約束期間終了時の排出権保有量 R_i^{s0} が、約束期間中に出した総排出量 E_i 以上の場合、遵守となる。一方、 $R_i^{s0} < E_i$ である場合、$E_i - R_i^{s0}$ 単位の不遵守となり、不遵守のペナルティを遵守委員会に支払わなければならない。

続いて Baron (1999) の買手責任制度も売り手複数人、買い手複数人の状況でも使えるように拡張する前に、買手責任制度では債券がどのようなときに有効であるかの判断方法の違いによって異なる制度を設計できることを説明する。

売手責任制度において各主体が果たさなければならない責任は１種類、つまり排出量と同量の排出許可証を遵守委員会に提出することのみである。この責任のことを、以下では「京都議定書に対する責任」 と呼び、それを果たせないことを「不遵守」と呼ぶ。買手責任制度のもとでは、京都議定書に対する責任の他に、もう一種類の責任がある。買手責任制度においては、売買される債券が有効であるか否かが発行主体の排出許可証の保有状況や削減状況に依存するので、例えば主体Ａが債券を発行して主体Ｂに売却した場合、主体Ａは自分の排出許可証の保有量や削減量を、主体Ｂが購入した債券を遵守に使うことができるような状態にしておく責任を負う。この責任ことを、以下では「他国に対する責任」と呼び、それを果たせないことを「デフォルト」と呼ぶ。

ここで、どのようなときに債券が有効であるかの判断をシンプルにするために、買手責任制度では以下のようなルールを採用することにする。つまり、各主体は約束期間の開始時に必ず有効な排出許可証を遵守委員会から割り当てられ、約束期間中はそれらの許可証ではなく、有効な排出許可証を約束期間終了時に手渡すという約束を売買する。この約束のことを、以下では「債券」と呼ぶことにする。どの主体も債券を発行することができるので、各主体は２種類の果たすべき責任を負うことになる。一つは、有効な排出許可証を自分が発行した債券の保有者に対して提出する責任、もう一つは有効な排出許可証を排出量と同量だけ遵守委員会に提出する責任である。もし、排出量と債券の発行量の合計が排

出許可証の保有量よりも多い主体が現れた場合、その主体は両方の責任を全て果たすことが出来ない。そのため、どちらの責任が先に果たされるのかによって結果が異なることになる。つまり、どちらの責任が先に果たされるのかによって、二種類の責任制度を考えることができる。ここでは、京都議定書に対する責任が先に果たされる制度を「京都先買手責任制度」あるいは略して「京都先」と呼び、他国に対する責任が先に果たされる制度を「国先買手責任制度」あるいは、略して「国先」と呼ぶことにする。「京都先」は Baron (1999) における買手責任制度を売り手複数主体、買い手複数主体に拡張した制度に当たり、「国先」ほ本稿で新たに導入された制度である。

これらの買手責任制度は、以下のようにして売り手複数主体、買い手複数主体の状況で用いることができる。まず、どちらの買手責任制度でも、売手責任制度の場合と同じように、約束期間の開始時に主体 i (=1,...,N) は遵守委員会から $\hat{R}_i$ 単位の必ず有効な排出許可証を受け取る。 約束期間中、各主体はこの排出許可証ではなく、債券と呼ばれる、約束期間終了時に排出許可証を手渡す約束を売買する。同じ主体から発行された債券は、どの時点で発行されたものであるかに関わらず同じ財とみなされ、異なる主体から発行された債券は別の財とみなされる。そのため、主体数が N の場合、最大で N 種類の債券が売買されることになる。以下では主体 i が発行した債券のことを債券 i と呼び、主体 j が保有する債券 i の数量を B_{ij} と表現する。各主体の債券の初期保有量は 0 単位で、債券を他の主体に売却したときにのみ売却量と同量の債券を発行して買い手に手渡し、自分が発行した債券を買い戻した場合、それを破棄するものとする。そのため、どの主体 i についても $B_{ii}=0$ となる。どの主体 i も、買い手がいる限り何単位でも債券 i を発行・売却することができる。このことは、どの主体 i も排出許可証の保有量である $\hat{R}_i$ 単位以上の売却を行うことが出来るという点で、空売りが可能であることを意味する。一方で、主体 i は債券 j $(\neq i)$については保有している量、つまり B_{ji} 単位までしか売却できないとするため、$B_{ij} \geq 0$ が常に成立する。約束期間の終了時に、各主体は京都議定書に対する責任と他国に対する責任を、適用される責任制度が定める順序によって果たすことになる。

国先買手責任制度においては、約束期間終了時、まず各国について、他国に対する約束を果たすことが出来るか否かの判断を行う。もし主体 i が債務超過の場合、つまり $\hat{R}_i + \sum_j B_{ji} < \sum_j B_{ij}$ の場合、たとえ他の主体が全ての約束を果たしてくれて $\sum_j B_{ji}$ 単位の排出許可証を受け取ることができたとしても、受け取り後の排出許可証の保有量である $\hat{R}_i + \sum_j B_{ji}$ が他国に対して果たすべき約束の総量の $\sum_j B_{ij}$ よりも小さいので、全ての約束を果たすことはできず、必ずデフォルトを起こす。つまり、主体 i の排出許可証のアカウ

ントは破綻し、以下の手順で精算される。まず、主体 k には $\hat{R}_i\left(B_{ik}/\sum_j B_{ij}\right)$ 単位の排出許可証と、$B_{li}\left(B_{ik}/\sum_j B_{ij}\right)$ 単位の債券 l (=1,...,N)が分配される。つまり、主体 i に保有されている全ての排出許可証と債券が、主体 i が負う他国に対する全債務 $\sum_j B_{ij}$ に占める B_{ik} の割合に応じて主体 k に分配される。もし、この精算によって別の主体が債務超過になった場合、それらの主体のアカウントの精算を行い[1]、全ての主体 i (=1,…,N)について $R_i^{c1}+\sum_j B_{ji}^{c1} \geq \sum_j B_{ij}^{c1}$ が満たされた時点で新たに破綻する国が無くなる。ただし、R_i^{c1}、B_{ji}^{c1}、B_{ij}^{c1} は、それぞれ精算手続き終了時における、排出許可証の保有量、債券 j の保有量、主体 j に保有されている発行債券の量を表す。なお、アカウントが破綻した主体 i は、$R_i^{c1}=B_{ji}^{c1}=B_{ij}^{c1}=0$ となる。この時点で残っている約束は全て履行することできるため、各主体に保有されている債券は、発行主体が保有している排出許可証と交換してもらうことになる。交換後の主体 i の排出許可証保有量を R_i^{c2} で表すと、$R_i^{c2}=R_i^{c1}+\sum_j B_{ji}^{c1}-\sum_j B_{ij}^{c1}$ となる。この時点で、国の間で約束を果たす作業が終わる。次に、各主体は排出した量と同量の排出許可証を遵守委員会に提出しなければならない。$R_i^{c2} \geq E_i$ が成立している場合は遵守となるが、$R_i^{c2} < E_i$ が成立している場合、$E_i - R_i^{c2}$ 単位の不遵守となり、遵守委員会にペナルティを支払うことになる。

京都先買手責任においては、約束期間終了時、各主体はまず遵守委員会に排出量と同量の排出許可証を提出しなければならない。もし提出できた場合、この時点で遵守したことになる。 提出できない主体は、その時点で保有している排出許可証を全て提出し、その時点で保有している債券のうちのどれだけを排出許可証と交換してもらうことができるかによって最終的に遵守できるか否かが決まることになる。 遵守委員会への最初の提出手続きを終えた時点での主体 i の排出許可証の保有量を R_i^{k1}、遵守委員会に提出すべき排出許可証の残りの量を E_i^{k1} とすると、それぞれ $R_i^{k1}=\max\{\hat{R}_i-E_i,0\}$ および $E_i^{k1}=\max\{E_i-\hat{R}_i,0\}$

[1] この過程において、複数の主体が同時に債務超過状態に陥っている可能性がある。その場合、債務超過者の内の任意に１人を選び、その主体のアカウントを精算する。次に、別の債務超過者（直前の精算によって新たに債務超過となった主体も含む）の中から１人を任意に選び、その主体のアカウントを精算する。この作業を債務超過者がいなくなるまで続ける。このような精算方法を用いると、複数の債務超過者のうちの誰のアカウントを最初に破綻させるのかの順序によらず、最終的なアカウントの状態はユニークに決まる。（ただし、インストラクション内では説明を単純にするために、債務超過量が同量の主体が複数人いる場合は精算する主体を任意に一人選び、債務超過量の異なる主体が複数人いる場合は債務超過量の多い主体から精算することとした）。この実験で最初に導入された上記の精算方法を用いると最終的なアカウントの状態がユニークに決まるという事実は、我々の数値例での発見を聞いた久我(2002)によって証明されている。

となる。次に各主体は 他国への約束を果たす作業に入る。そこでの手続きは、国先買手責任制度における手続きと同様である。つまり、主体 i (=1,…,N) が債務超過となっていないか、つまり $R_i^{k1} + \sum_j B_{ji} < \sum_j B_{ij}$ が 成立していないかどうかのチェックを行う。もし成立している主体がいる場合、それらの主体のアカウントを１人ずつ順に精算していく。ここで、国同士の精算作業を終えた段階での主体 i の排出許可証の保有量を R_i^{k2} で表す。最後に、各主体 i (=1,…,N) は、E_i^{k1} 単位の排出許可証を遵守委員会に提出する必要がある。$R_i^{k2} \geq E_i^{k1}$ が成立している場合は遵守、$E_i^{k1} > R_i^{k2}$ が成立している場合は $E_i^{k1} - R_i^{k2}$ 単位の不遵守となりペナルティを遵守委員会に対して支払う。

３つのどの責任制度においても、最終的に余った排出許可証の価値は単純化のために$0 とし、不遵守のペナルティは不遵守１単位につき $250 とした。ペナルティ額は、競争均衡価格である $67 の約 3.7 倍となる。さらに、デフォルトに対するペナルティを$0 に設定することにより各主体がデフォルトを起こしやすい状況を作り、そのような状況であってもデフォルトの発生を阻止できる制度であるか否かを観察した。

2.2 取引メカニズム

どのセッションでも、２種類の取引方法の内のどちらか一つを採用した。一つはダブルオークション、もう一つは相対取引である。ダブルオークションを用いたセッションでは、各被験者は割り当てられたＰＣからサーバーへ注文を送る。各注文は、商品名、売りか買いか、希望価格[2] 、希望数量、注文の有効期限から構成される。

商品名は、売手責任制度においては「排出権」、買手責任制度において発行国がＸである債券は「Ｘ国産排出権」と表示される。どのセッションでも被験者数を１０名にしたので、買手責任制度の実験では最大１０種類の債券が同時に売買されることになる。希望価格は指定することもしないことも出来る。希望価格を指定すると指し値注文となり、指定しないと成り行き注文となる。

ダブルオークションを用いたセッションでは、全ての取引成立情報、つまり、商品名、価格、数量、売り手と買い手の国名が公開された。また、売り注文、買い注文の全ての情報もについても公開された[3]。

---

[2] 新たに出される売り（買い）注文の希望価格は、市場に残っている売り（買い）注文の希望価格よりも安く（高く）なければならない、という「インプルーブメント・ルール」は課さなかった。インプルーブメント・ルールについては、Davis and Holt (1993: p. 41)を見られたい。

[3] ダブルオークションでは、取引方法自体が全ての注文を公開する方式であるため、取引成立情報の非公開セッションは実施できない。

相対取引を用いたセッションでは、各被験者は相手を指定して直接注文を送った。各注文は、商品名、売りか買いか、価格、数量、注文の有効期限、注文の送信相手から構成される。各被験者は、同時に複数の人に同じ注文を送ることもできる。もし注文を受け取った主体が注文内容に同意すると、取引が成立する。注文は、送信者がキャンセルするか、受信者が拒否するか、有効期限が過ぎると取り消される。相対取引の場合、価格は必ず指定する必要がある。相対取引を用いる場合、一部のセッションでは取引成立情報を全員に公開し、別のセッションでは非公開にした。いずれの場合も、交渉過程における注文内容は非公開にした。

2.3 投資の特徴

どのセッションでも、以下のようにして削減投資の特徴である非可逆性とタイムラグを導入した。まず、 t 年(=2008,...,2012)の主体 i の設備水準を $K_i(t)$ 、t 年の主体 i の可変要素投入量を $V_i(t)$ としたとき、t 年の主体 i の削減量 $Q_i(t)$ は次のように決まる。

$$Q_i(t) = f_i(V_i(t), K_i(t)) = A_i[V_i(t)]^{0.4}[K_i(t)]^{0.1}$$

ただし、A_i は主体 i の技術パラメータで、国によって値が異なる。主体 i の t 年の削減費用 $C_i(t)$ は次式のように単純化した。

$$C_i(t) = V_i(t) + K_i(t)$$

つまり、 t 年の削減費用は $K_i(t)$ と $V_i(t)$ によって決まり、可変要素価格と資本設備のレンタル価格はともに \$1 である。このとき、設備水準が $\overline{K_i}(t)$ で一定の場合の短期限界削減費用(SMC) 曲線は、次のようになる。

$$SMC_i(Q_i(t), \overline{K_i}(t)) = \frac{5}{2} A_i^{-\frac{5}{2}} \overline{K_i}(t)^{-\frac{1}{4}} Q_i(t)^{\frac{3}{2}},$$

また、長期限界削減費用 (LMC)曲線は次式のように線形になる。

$$LMC_i(Q_i(t)) = \frac{1}{A_i^2}\left(\frac{5}{2}\right)^{\frac{4}{5}} 10^{\frac{1}{5}} Q_i(t) \approx \frac{3.3}{A_i^2} Q_i(t),$$

費用が最小になるように可変要素と資本設備を組み合わせた場合の可変費用とレンタルコストの比率は４：１で、日本の電力会社の比率に近い。

以上の排出削減関数に、次のようにして投資のタイムラグを導入する。

$$K_i(t+1) = K_i(t) + I_i(t)\,,$$

ただし、$I_i(t)$ は t 年の投資水準である。つまり、資本水準を増加させるのに１年かかるものとし、資本減耗はしないものとした。

投資の非可逆性は次のようにして導入した。

$$K_i(t+1) \geq K_i(t) \text{ or } I_i(t) \geq 0.$$

以上より、各被験者は次のような時間スケジュールで意思決定をすることになる。まず、第一約束期間の最初の年である 2008 年の資本水準を増やしたい被験者は、2007 年の開始時に投資を行い、$I_i(2007) = K_i(2008) > 0$ とする必要がある[4]。各被験者は 2008 年の開始時にその年の可変要素の投入量 $V_i(2008)$を決定することにより、2008 年の排出量を $Q_i(2008) = A_i[V_i(2008)]^{0.4}[K_i(2008)]^{0.1}$ 単位だけ削減することができる[5]。2008 年の削減総費用は $K_i(2008)+V_i(2008)$なので、被験者は全く削減を行わないとしても、$K_i(2008)$のレンタルコストを支払う必要がある。2008 年の開始時に $I_i(2008)$単位の投資を行う場合、2009 年の設備水準は $K_i(2009)= K_i(2008)+I_i(2008)$単位に増加する。$I_i(2008)$は非負でなければならないので、2009 年に支払う必要レンタルコストが 2008 年のレンタルコストを下回ることはない。2008 年から 2011 年において、各被験者は $Q_i(t)$と $I_i(t)$を決定する。本実験では第一約束期間にのみ着目するので、第一約束期間終了後の 2013 年に効果が現れる 2012 年の投資は考えない。

2.4 実験手順

一つの制度のについて１０人の同じ被験者を用いて２セッション連続で実施した。制度ごとに被験者全員を変えたので、セッション数は１８（＝２セッション×９制度）、被験者数は９０人（＝９制度×１０人）となる。大阪大学内で被験者募集のビラを配り、各制

[4] 単純化のために、$K(2007) = 0$ とした。それ故、$K(2008) = K(2007) + I(2007) = I(2007)$となる。
[5] 京都議定書に従い、各年の各主体の削減量は、1年遅れで他の主体にも公開された。

度について最小で１２人の被験者を集めた。被験者には、経済学の研究のための実験に参加してもらい、そこでの成果に応じた報酬金が支払われると伝えた（被験者募集中に排出権取引に関する用語は使わなかった）。実験は各制度について２日間かかった。

１日目、被験者はまず実験者がインストラクションを朗読するのを聞き、その後実験者によるＰＣの操作見本を見た後、操作練習を行った。１日目の作業は約４時間かかった。２日目は、はじめに１０人の参加者をくじ引きで選んだ。選ばれなかった被験者は 10,000 円を受け取りその時点で実験終了となった。１０人の被験者はランダムに１０カ国の内の一つ（日本、米国、ロシア、ドイツ、フランス、イギリス、その他のＥＵ、東欧、オーストラリア＆ニュージーランド、カナダ）を割り当てられた。それぞれの被験者がどの国に割り当てられたのかは特定できないようにした。その後、１０分間の戦略を練る時間を与えた後、１セッション目の２時間半が始まった。５年間の各年は３０分からなり、最初の１０分間は投資水準の決定と削減量の決定をする時間、残りの２０分は取引の時間とした。毎年、投資および削減のための１０分間の始めと終わりに、その直後の２０分間の取引で成立する価格の平均値を予測してもらい、用紙に記入させた。最初の２時間半のセッションが終了すると、全ての国の最終年終了時の排出許可証の保有量、債券の保有量、債券の発行量、最終的な超過遵守量（不遵守量）、デフォルトを起こしたか否かが公開された。２セッション目の２時間半において、各被験者は１回目と同じ国を割り当てられた。２セッション目があることを被験者が知らされたのは、１回目のセッションが終了してからであるため、２回目のセッションの実験結果を誘導する目的で１回目のセッションの意思決定した可能性は低い。さらに、各被験者は２回目のセッションにおいて、１回目と同じ国を割り当てられたことは知ることになるが、他の被験者も同じ国が割り当てられたかどうかを知ることはできない。よって他の被験者の１セッション目の行動に対して、２セッション目にお礼や仕返しをした可能性は低い。

実験に２日目の終了まで参加した被験者への報酬の平均額は 19,208 円、最大額は 93,791 円、最少額は 13,000 円であった。

3. 買手責任制度における意図的デフォルト

買手責任制度において、各被験者が採用し得る戦略としては、主に次の２種類が考えられる。一つは、他国に対する責任と、議定書に対する責任の両方を全て果たす戦略、もう一つが、可能な限り空売りを行い、他国からは債券を買わず、意図的にデフォルトを起こす戦略である。以下では、前者の戦略を「非デフォルト戦略」、後者の戦略を「意図的デ

フォルト戦略」と呼ぶことにする。本節では、主体 i の最適行動のみに着目した単純なモデルで、主体 i にとってはどちらの戦略が得になるかを比較する[6]。

3.3.1 仮定

前述した買手責任制度においては、各被験者が発行した債券が遵守の際に有効であるか否かが被験者相互の状態に依存して決まるため、分析するには複雑すぎる。よって、以下では単純化のために次のような仮定を設ける。まず、主体 i 以外から発行される債券は遵守に有効である（主体 i 以外はデフォルトを起こさない）が、主体 i が発行した債券(債券 i)が有効であるか否かは主体 i の排出許可証の保有量、債券保有量、債券 i の発行量に依存するものとする。次に、債券 i も含めた全ての債券の価格が、国先買手責任制度においては同一の p_c であり、京都先買手責任制度においては同一の p_k であると仮定する。次に、主体 i はその一定の価格のもとで他の主体が発行した債券を何単位でも買えるものと仮定する。一方で、主体 i は債券 i を国先買手責任制度では $\overline{B}_i^c$ 単位までしか売却できず、京都先買手責任制度では $\overline{B}_i^k$ 単位までしか売却できないという制限を課すことにより、もし主体 i がその量以上の債券を売却したときには、意図的なデフォルトを起こそうとしている事を他国が気づき、それ以上は買ってくれなくなるような状況を表現する。最後に、$\overline{B}_i^c > \hat{R}_i$, $\overline{B}_i^k > \hat{R}_i$, $p_c \in (0,h)$ and $p_k \in (0,h)$ とする。ただし、$\hat{R}_i$ は排出許可証の初期保有量、h は不遵守１単位あたりのペナルティ額である。

削減費用関数に関しては、次のような仮定をおく。まず、削減費用は $C_i(Q_i)$ によって表される、つまり５年間の削減総量である Q_i のみによって決まるものとする。次に、$C_i(Q_i)$ の形状として、次の仮定を置く。

$C_i'(Q_i) \geq 0$	等号は、$Q_i = 0$ の時にのみ成り立つ。
$C_i''(Q_i) > 0$,	
$0 < C_i'(\hat{E}_i - \hat{R}_i) < h < C_i'(\hat{E}_i)$	主体 i の初期値が $\hat{E}_i > \hat{R}_i$ である場合。
$0 < h < C_i'(\hat{E}_i)$	主体 i の初期値が $\hat{E}_i \leq \hat{R}_i$ である場合。

[6] 削減量 Q_i が最適な水準に選らばれた場合の「非デフォルト戦略」と「意図的デフォルト戦略」の少なくともどちらか一方は、それらのどちらでもない戦略、つまり議定書を遵守することも可能な限り債券を売却することもない戦略よりも利益が高い。よって、主体 i にとって最適な意思決定は、Q_i が最適な水準に選ばれたときの２種類の戦略の利益を比較すればよい。

ここで、 $\hat{E}_i$ は主体 i が全く削減を行わなかったときの排出量（Business as Usual）を表す。

3.2 非デフォルト戦略の利益

非デフォルト戦略を用いる被験者は、削減後の排出量である $\hat{E}_i - Q_i$ 単位と、排出許可証の保有量である $\hat{R}_i$ 単位の差額を売買する。それ故、非デフォルト戦略を用いた場合の主体 i の利益 $\pi_i^o(Q_i)$ は、次のように表せる。

$$\pi_i^o(Q_i) = p(\hat{R}_i - \hat{E}_i + Q_i) - C_i(Q_i)$$

ここで、国先買手責任制度では $p = p_c$ 、京都先買手責任制度では $p = p_k$ である。非デフォルト戦略を用いたときの利益の最大値 π_i^{o*} は、次のようになる。

$$\pi_i^{o*} = p(\hat{R}_i - \hat{E}_i + C_i'^{-1}(p)) - C_i(C_i'^{-1}(p)) \quad [7]$$

3.3 国先買手責任制度で意図的デフォルト戦略を用いたときの利益

国先買手責任制度において、債券の発行・売却量が排出許可証の保有量よりも多い場合、約束期間終了時に、保有している全ての排出許可証をまず自分が発行した債券の保有者に対して手渡さなければならない。一部の債券はデフォルトとなるが、そのことに関してペナルティを支払う必要はない。 しかし全ての排出許可証が手元から無くなるので、遵守委員会に排出許可証を 1 単位も提出することができず、排出した量全てに対して不遵守のペナルティを支払うことになる。このことより、国先買手責任制度において意図的デフォルト戦略を用いたときの主体 i の利益 $\pi_i^c(Q_i)$ は次のようになる。

$$\pi_i^c(Q_i) = p_c \overline{B}_i^c - C_i(Q_i) - h(\hat{E}_i - Q_i)$$

利益の最大値 π_i^{c*} は、次のようになる。

[7] この利益は、排出許可証の価格が p で一定の場合の売手責任制度の利益の最大値でもある。

$$\pi_i^{c*} = p_c \overline{B}_i^c - C_i(C_i'^{-1}(h)) - h(\hat{E}_i - C_i'^{-1}(h))$$

3.4 京都先買手責任制度で意図的デフォルト戦略を用いたときの利益

京都先買手責任制度においては、ひとたび排出量を排出許可証の保有量以下に抑えれば、大量の債券を発行していたとしても遵守となる。約束期間終了時に、まず排出量と同量の排出許可証を遵守委員会に提出するので遵守となり、その後、他国に対する約束は果たせずデフォルトを起こすが、それに対してペナルティを支払う必要はない。

京都先買手責任制度において意図的デフォルト戦略を用いたときの主体 i の利益 $\pi_i^k(Q_i)$ は、 $\hat{E}_i \le \hat{R}_i$ であるか $\hat{E}_i > \hat{R}_i$ であるかによって異なる。前者の場合の利益関数は

$$\pi_i^k(Q_i) = p_k \overline{B}_i^k - C_i(Q_i)$$

となり、利益の最大値 π_i^{k*} は次のようになる。

$$\pi_i^{k*} = p_k \overline{B}_i^k - C_i(0)$$

後者の場合の利益関数は、

$$\pi_i^k(Q_i) = p_k \overline{B}_i^k - C_i(Q_i) \qquad Q_i \ge \hat{E}_i - \hat{R}_i \text{ の場合}$$

$$\pi_i^k(Q_i) = p_k \overline{B}_i^k - C_i(Q_i) - h(\hat{E}_i - \hat{R}_i - Q_i) \qquad Q_i \le \hat{E}_i - \hat{R}_i \text{ の場合}$$

となり、利益の最大値は、次のようになる。

$$\pi_i^{k*} = p_k \overline{B}_i^k - C_i(\hat{E}_i - \hat{R}_i).$$

3.5 非デフォルト戦略対意図的デフォルト戦略

国先買手責任制度においては、意図的デフォルト戦略での最大利益と、非デフォルト戦略での最大利益との差額は次のようになる。

$$\pi_i^{c*} - \pi_i^{o*} = [p_c(\overline{B}_i^c - \hat{R}_i + \hat{E}_i - C_i'^{-1}(p_c))] + [C_i(C_i'^{-1}(p_c)) - C_i(C_i'^{-1}(h))] + [h(C_i'^{-1}(h) - \hat{E}_i)].$$

１つ目の角括弧内は正、２つ目と３つ目の角括弧内は負なので、符号はパラメータに依存する。

京都先買手責任制度においては、$\hat{E}_i \le \hat{R}_i$ である主体にとっては、意図的デフォルト戦略での最大利益と非デフォルト戦略での最大利益との差額は次のようになる。

$$\pi_i^{k*} - \pi_i^{o*} = [p_k(\overline{B}_i^k - \hat{R}_i + \hat{E}_i - C_i'^{-1}(p_k))] + [C_i(C_i'^{-1}(p_k)) - C_i(0)].$$

１つ目の角括弧内も２つ目の角括弧内も正なので、式全体でも正になり、意図的デフォルト戦略を用いたときの方が利益は大きくなる。一方、$\hat{E}_i > \hat{R}_i$ である主体の場合、次のようになる。

$$\pi_i^{k*} - \pi_i^{o*} = [p_k(\overline{B}_i^k - \hat{R}_i + \hat{E}_i - C_i'^{-1}(p_k))] + [C_i(C_i'^{-1}(p_k)) - C_i(\hat{E}_i - \hat{R}_i)]$$

一つ目の各括弧内は正、二つ目の各括弧内は $p_k \ge C_i'(\hat{E}_i - \hat{R}_i)$ であるならば非負、$p_k < C_i'(\hat{E}_i - \hat{R}_i)$ であるならば負である。よって、$p_k \ge C_i'(\hat{E}_i - \hat{R}_i)$ であるならば、意図的デフォルト戦略の方が利益は大きくなり、$p_k < C_i'(\hat{E}_i - \hat{R}_i)$ であるならば、他のパラメータに依存する。

以上の結果から、京都先買手責任制度においては、国先買手責任制度におけるよりも、意図的デフォルト戦略がより頻繁に用いられることが予測される。また、取引情報を非開示にすると、開示にする場合よりも意図的デフォルトを起こそうとしていることを他の主体に気づかれにくく $\overline{B}_i^c$ や $\overline{B}_i^k$ が大きくなると考えられる、意図的デフォルト戦略が用いられやすくなることも推測される。

ただし、これらの推測は極めて単純化された理論から導かれた推測である。債券の有効性が相互依存し、債券の価格は発行主体ごとに異なり、債券価格が時間に伴い変動し、投資が非可逆でタイムラグがある状況において、国先買手責任制度と京都先買手責任制度のどちらが意図的デフォルトが起こりにくい制度であるかは、実験によって確かめることができる。

4. 実験結果

4.1 効率性の表を用いた分析

まず、各セッションの効率性などを表したの表１、表２、表３を用いて実験結果を分析する。

	SD1	SD2	SBo1	SBo2	SBc1	SBc2
JPN (1.09784)	3.830	-1.470	0.063	-1.207	-0.177	-1.642
1288, 1659	0.0	0.0	79.0	0.0	10.7	344.2
USA (3.7466)	-3.655	-0.751	0.388	1.196	0.451	0.546
6254, 9416	0.0	1227.3	0.0	0.8	9.0	18.3
RU (2.6559)	1.891	1.538	0.698	0.623	1.417	1.178
3860, 2727	0.0	0.0	61.0	0.0	146.6	0.0
GER (0.9661)	0.594	-4.378	-2.595	-0.412	1.498	1.553
1055, 1289	-30.1	0.0	135.0	0.0	0.0	0.0
FR (0.4851)	59.639	-9.114	-3.767	-9.116	1.592	0.940
515, 574	0.0	11.0	0.2	249.2	0.0	0.0
UK (0.7761)	-4.683	-25.409	-17.019	-7.073	-0.759	-0.786
726, 877	13.5	142.0	768.0	-190.0	82.0	100.0
Rest EU (1.1815)	5.662	3.462	-1.449	0.967	-8.015	-1.220
2001, 2351	480.4	0.0	124.7	-1.0	850.0	70.0
E. Europe (2.6559)	-0.220	-0.059	1.306	0.615	1.065	0.714
1409, 1322	0.0	457.0	60.0	20.0	0.0	100.0
AU-NZ (0.9021)	-4.315	-1.715	-14.545	0.948	-11.667	-4.811
482, 631	0.0	0.0	217.0	5.0	0.0	61.9
CAN (0.8875)	0.480	0.681	-0.387	6.369	0.728	1.232
597, 805	0.0	0.9	104.6	28.7	1.4	0.0
Total	0.512	-0.190	-0.023	0.603	0.457	0.586
-3,464	463.8	1838.2	1549.5	112.7	1099.7	694.4

表１　売手責任制度における効率性の表

	CD1	CD2	CBo1	CBo2	CBc1	CBc2
JPN (1.09784)	0.027	1.102	-0.419	0.800	0.995	0.475
1288, 1659	0.0	0.0	10.0	10.0	10.2	-53.0
USA (3.7466)	-0.014	0.322	0.035	0.661	-0.355	0.833
6254, 9416	20.4	0.0	-149.4	2.4	0.0	-89.9
RU (2.6559)	0.828	0.349	1.413	0.947	0.967	0.922
3860, 2727	281.1	670.5	20.0	70.0	0.0	0.0
GER (0.9661)	-0.533	-0.396	-4.678	0.376	-6.913	1.564
1055, 1289	53.0	54.8	269.0	55.1	586.0	-65.6
FR (0.4851)	1.255	-1.805	-4.221	-1.683	-2.377	-66.520
515, 574	5.0	86.0	121.0	66.0	35.1	-521.8
UK (0.7761)	-6.276	0.619	-0.322	-10.414	1.870	1.424
726, 877	301.4	20.0	99.5	669.0	0.0	-54.3
Rest EU (1.1815)	0.144	0.823	-0.072	-0.048	0.564	-0.423
2001, 2351	0.0	5.0	8.9	0.0	15.0	-18.0
E. Europe (2.6559)	0.244	0.570	0.838	1.006	0.500	-0.370
1409, 1322	494.2	0.0	0.1	0.7	0.0	-71.9
AU-NZ (0.9021)	-4.104	-0.406	-0.885	-0.536	-2.640	-2.789
482, 631	125.7	0.0	1.0	0.0	81.0	-15.8
CAN (0.8875)	-2.471	1.342	-3.265	0.767	0.973	0.935
597, 805	218.0	0.6	22.0	19.5	93.9	-14.9
Total	0.150	0.430	0.385	0.571	0.272	0.190
-3,464	1498.8	836.9	402.1	892.7	821.2	-905.2

表 2　国先買手責任制度における効率性の表

	KD1	KD2	KBo1	KBo2	KBc1	KBc2
JPN (1.09784)	-1.366	1.039	0.026	1.489	-2.688	0.703
1288, 1659	320.0	121.0	61.8	33.5	-254.5	154.8
USA (3.7466)	-0.137	-0.036	1.816	1.779	-0.670	-0.146
6254, 9416	-169.0	44.0	0.0	-195.0	178.2	358.5
RU (2.6559)	0.927	0.514	0.632	0.429	0.159	0.407
3860, 2727	178.6	118.0	794.7	0.0	1266.9	239.0
GER (0.9661)	-0.274	0.615	-0.571	1.817	-0.732	0.281
1055, 1289	31.0	4.0	18.7	5.5	-36.0	51.0
FR (0.4851)	0.095	-1.842	-4.193	5.561	28.310	4.618
515, 574	32.0	0.0	35.5	21.4	0.0	0.0
UK (0.7761)	-0.247	0.953	-6.754	-0.208	-4.155	0.653
726, 877	45.0	5.0	53.9	-69.3	-79.8	27.4
Rest EU (1.1815)	0.523	0.852	-10.459	-17.711	-0.956	-2.683
2001, 2351	0.0	44.1	-317.0	-250.0	0.0	-195.0
E. Europe (2.6559)	0.753	0.312	-1.245	0.252	0.906	0.251
1409, 1322	77.7	157.8	390.7	0.0	0.0	0.0
AU-NZ (0.9021)	7.279	2.861	-10.372	-5.136	4.033	0.919
482, 631	-3.3	0.8	33.6	80.0	0.0	4.0
CAN (0.8875)	-0.546	-0.997	-3.680	2.401	-4.161	-2.859
597, 805	-8.0	71.0	275.2	66.7	147.3	-86.8
Total	0.377	0.352	-0.147	0.196	-0.223	0.068
-3,464	504.0	565.7	1347.1	-307.2	1222.1	552.9

表 3　京都先買手責任制度における効率性の表

これらの表の一番上の行はセッション名を表す。責任制度を表す記号としては、売手責任制度は S、国先買手責任制度は C、京都先買手責任制度は K を用いる。取引方法を表す記号としては、ダブルオークションは D、相対取引の取引成立情報開示は Bo、相対取引の取引成立情報非開示は Bc を用いる。最後の数字は、１回目のセッションであるのか２回目のセッションであるのかを表す。例えば、SBc2 は、売手責任制度で相対取引の情報非開示セッションの２回目を表す。一番左の列の各セルには上に担当国名とパラメータが表示される。丸括弧内の数値は、削減技術パラメータである A_i を表し、その下の左の数値は排出権の初期保有量である $\hat{R}_i$、右の数値は全く削減しなかった場合の排出量 $\hat{E}_i$ を表す。例えば日本は 1,288 単位の排出許可証を保有し、全く削減をしなかった場合は 1,659 単位の排出をする状態から実験がスタートし、毎年、削減費用関数の $Q_i(t) = 1.0978 \cdot [V_i(t)]^{0.4} [K_i(t)]^{0.1}$ を用いて排出量を削減する。左から２列目以降の各セルの上の数値は、被験者が実験中に獲得した余剰を競争均衡における余剰で除した値、つまり余剰獲得率を表し、下の数値は超過遵守の量（負の場合、不遵守の量）を表す。例えば、SD1 セッションにおけるドイツは、競争均衡において獲得できる余剰の 0.594 倍の余剰を獲得し、30.1 単位の不遵守に終わった。同じセッションの英国は、競争均衡において獲得できる余剰の-4.683 倍の余剰を獲得し（4.683 倍の余剰を失い）、13.5 単位の超過遵守に終

わった。セルが太枠で囲われている場合、デフォルトを起こしたことを表し、灰色で塗りつぶされているセルは、デフォルトが意図的であることを表す。よって、太枠で囲われているが灰色で塗りつぶされていないセルは、他国のデフォルトに連鎖してデフォルトを起こしたことを意味する[8]。一番下の行には、上側に市場の効率性、つまり、市場全体で獲得した余剰を、競争均衡における総余剰で除した値が書かれ、下側に超過遵守量の合計が書かれる。例えば、SD1 セッションでは、市場全体で獲得できた余剰が競争均衡の 0.512 倍（つまり、経済効率性が 0.512)であり、超過遵守量の合計が 463.8 単位であることを表す。

まず、どちらの買手責任制度の方が優れているかを明らかにするために、国先買手責任制度と京都先買手責任制度の効率性を比較する。

結果 1 *平均的に、国先買手責任制度で獲得できる効率性は、京都先買手責任制度で獲得できる効率性よりも高くなる。*

サポート. 国先買手責任制度の効率性の平均値は、有意水準５％で京都先買手責任制度の効率性の平均値よりも大きい[9]。■

次に、相対的に優れている買手責任制度である国先買手責任制度と売手責任制度を比較する。

結果 2 *売手責任制度と国先買手責任制度の間で効率性の有意な差は観察されなかった。*

サポート. 売手責任制度と国先買手責任制度の間の効率性の平均値の差は統計的に有意ではなかった。■

結果 3 *国先買手責任制度の方が売手責任制度よりも獲得できる効率性がばらつく。*

サポート. 売手責任制度の効率性の分散は、国先買手責任制度の効率性の分散よりも有意水準１０％で大きかった。■

[8] 主体 i がデフォルトを起こした場合、次の不等式が満たされている場合に意図的であると判断する。つまり、国先買手責任制度では $\hat{R}_i + \sum_j B_{ji} < \sum_j B_{ij}$ 、京都先買手責任制度では $R_i^{k1} + \sum_j B_{ji} < \sum_j B_{ij}$ である。

[9] 以下の分析で脚注が付いていない場合は t 検定が用いられている。

これらの結果より、危険回避的な政策担当者にとっては国先買手責任制度の方が望ましい制度であることになる。

次に、どちらの買手責任制度の方が意図的デフォルトが発生しやすいかを明らかにする。

結果 4 *意図的なデフォルトは、京都先買手責任の方が国先買手責任よりも頻繁に発生した。*

サポート. 京都先買手責任制度での意図的デフォルトの発生件数の平均値は、有意水準５％で国先買手責任制度におけるそれよりも多くなった[10]。■

表２より、国先買手責任制度のもとでは、デフォルトのペナルティが$0 であったとしても、60 カ国の内、１カ国しか意図的にデフォルトを起こしていないことが分かる。つまり、デフォルトのペナルティが$0 ではない現実世界では、デフォルトはさらに起こりにくいと推測される。

取引成立情報の開示・非開示の違いが意図的デフォルトの発生に与える影響は観察されなかった。

4.2 動学的な価格変動プロセスの違いによる実験結果の分類

表１、２、３は、いずれも取引価格や価格の予測の時間に伴う変動を表していないので、実験中の取引価格とともに、実験中の各時点においてその時点までの行動を考慮に入れて再計算される競争均衡価格、つまり Chamberlin (1948) における Moving Equilibrium （以下、M. E.）価格[11]の変動が示されている図を用いて分析を行う。SBo2 の動学的プロセスを表す図１を見られたい。図において、横軸は時間、縦軸は価格を表す。ただし、削減と投資の意思決定に使われる各年初めの１０分間は、図の０分目、２０分目、４０分目、６０分目、８０分目の部分に圧縮して表示している。図の中の正方形は取引の成立、灰色の線は競争均衡価格である$67、黒い線は M. E. 価格で、競争均衡価格と同じ$67 からスタート

[10] 分散が有意水準５％で異なったので、ノンパラメトリックのマン＝ホイットニーU検定を用いた。

[11] ここでは、各被験者が非デフォルト戦略を用いるものと仮定して M. E. 価格を計算する。つまり、$\hat{t}$ 年の取引期間までの主体 i の行動が $\overline{V}_i(2008),\ldots,\overline{V}_i(\hat{t}),\overline{K}_i(2008),\ldots,\overline{K}_i(\hat{t}+1)$ であり、M. E. 価格を $p_{\hat{t}}^m$、主体 i の超過需要を d_i で表したときの $\hat{t}$ 年の取引期間中の M. E.、
$(p_{\hat{t}}^m, d_1,\ldots,d_{10}, V_1(\hat{t}+1),\ldots,V_1(2012),\ldots,V_{10}(\hat{t}+1),\ldots,V_{10}(2012), K_1(\hat{t}+2),\ldots,K_1(2012),\ldots,K_{10}(\hat{t}+2),\ldots,K_{10}(2012))$
は、以下の2つの条件を満たす:

し、最初の２０分間は$ 72 になり、２年目の２０分間には$68 になり、３年目の２０分間には$61 になり、４年目の２０分間には$65 になり、最終年の 20 分間には$0 になっている。黒い三角形は価格予測を表し、灰色の波線はそれらの平均値を表している。

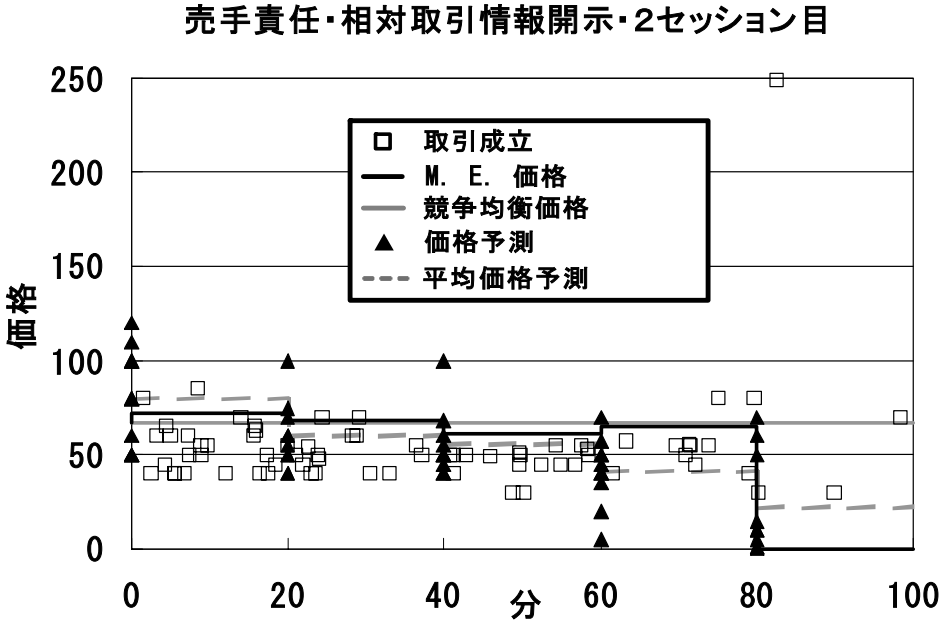

図１ 成功ケース

各セッションについてこれらの図を眺めると、M. E. 価格の変動や、平均価格予測の変動がセッションによって大きく異なることが分かる。例えばあるセッションでは価格予測の平均は常に M. E. 価格よりも高く、また別のセッションではそれらがほぼ同じである。つまり、これらの変動パターンがセッションを特徴づけている。それらの変動を数値化する一つの指標として「バブル度」の概念を導入する。バブル度は、最終年を除く４年間のそれぞれについて、M. E. 価格と価格予測の差を求め、それを合計した値である[12]。この値が正（負）であれば、被験者が M.E.価格よりも高い（低い）予測をしていることを意味する。そのため、この指標はバブルの度合いを表す一つの指標として考えることができる。

---

(1) $\sum_i d_i = 0$ ，(2) 各主体 i が以下の利益関数 $\pi_i(\hat{t})$ を、$\overline{K}_i(\hat{t}+1) \le K_i(\hat{t}+2) \le \ldots \le K_i(2012)$ の制約下で最大化する。

$$\pi_i(\hat{t}) = -d_i p_{\hat{t}}^m - \sum_{t=\hat{t}+1}^{2012} V_i(t) - \sum_{t=\hat{t}+2}^{2012} K_i(t) - h_i \cdot [\hat{E}_i - \hat{R}_i - d_i - \sum_{t=2008}^{\hat{t}} f_i(\overline{V}_i(t), \overline{K}_i(t)) - f_i(V_i(\hat{t}+1), \overline{K}_i(\hat{t}+1)) - \sum_{t=\hat{t}+2}^{2012} f_i(V_i(t), K_i(t))]$$

ただし、この式の角括弧内が非負ならば $h_i = 250$、負ならば $h_i = 0$。

[12] 最終年については、市場全体で１単位でも排出許可証が余っていれば M.E.価格は$0、１単位でも足りなければ$250 となり、排出許可証のわずかな数量の差が計算に大きな影響を与えすぎるので、計算から省く。

図１の場合、M. E. 価格と平均価格予測はほぼ同一なので、バブル度はほぼゼロである。一方、SD2 セッションの価格変動パターンを表す図２では、M. E. 価格が早い段階で下落しているが、価格予測は高いままなので、バブル度は大きい。

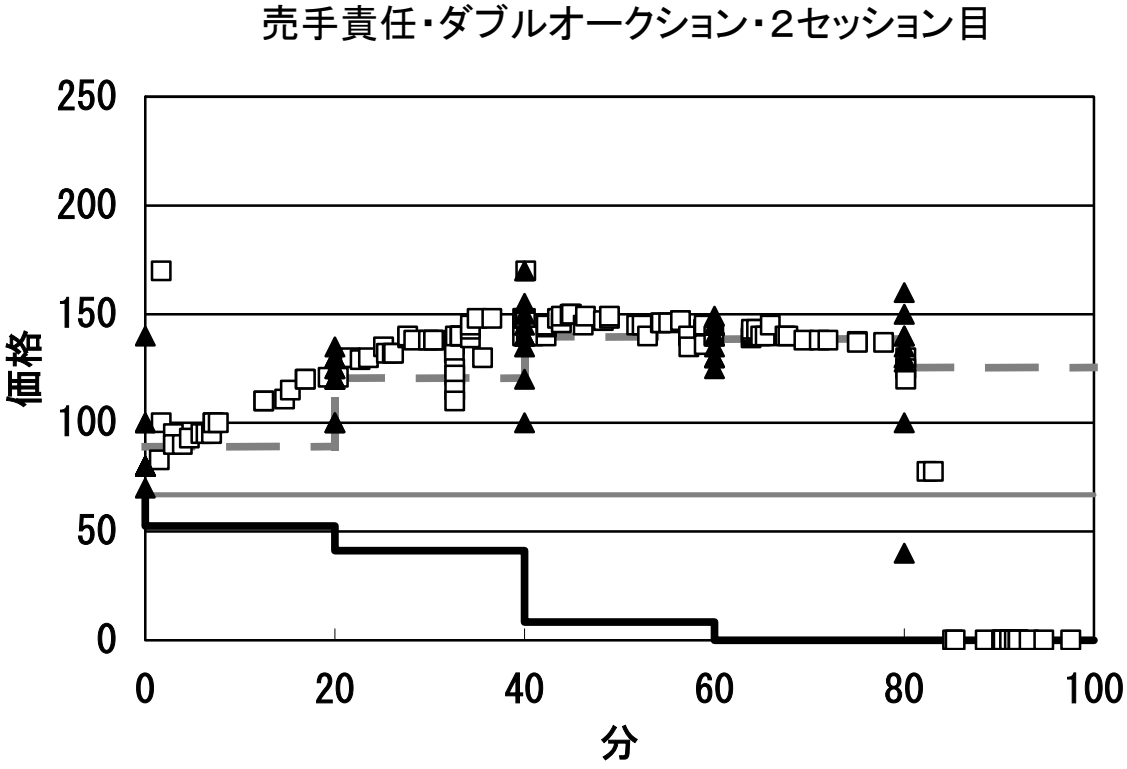

図 2 バブルケース

これらの指標を用いることによって、次のような結論が得られる。

結果 5 *全１８のセッションは、次の４つのグループに分類できる。(i) SD1, SBo2, SBc1, SBc2, CD2, CBo1, CBo2, CBc1, KD1, KD2; (ii) SD2, SBo1, CD1, KBo1; (iii) CBc2, KBo2; (iv) KBc1, KBc2.*

サポート. 効率性、バブル度、超過遵守量の合計のそれぞれを標準化し、クラスター分析の K-means 法を使って４グループに分類すると、上記４グループに分類される。■

それぞれのグループの動学的な特徴は以下のようになる。まず、図 1 は一つ目のグループに属するセッション SBo2 の価格変動である。このセッションにおいては、ほとんど

全ての取引価格は M. E. 価格よりも低かったが、価格予測の平均はほぼ M. E.価格と等しかった。つまり、各被験者は本来の価格を正しく予測していた。それゆえ、各被験者は最適な削減を行い、高い効率性が得られた。このグループに属する他のセッションもこれと似た動学的パターンが観察された。つまり、価格予測の平均は M. E.価格とほぼ等しく（あるいは若干高く）、それゆえ各被験者は最適な削減を行い、高い効率性となった。このグループのことを、以降「成功ケース」と呼ぶことにする。

図 2 は二つ目のグループに属するセッション SD2 の価格変動である。このセッションにおいては、ほとんど全ての被験者が実験開始時に競争均衡価格である$67 よりも高い価格予測をしたため、競争均衡において削減すべき量と比べて過剰な削減を行った。そのため M. E. 価格は$67 から$53 へ下落することになった。つまり 1 年目の競争均衡価格は$53 へと下落した。しかしながら、1 年目の取引成立価格は$53 よりもかなり高くなった。この価格を見て、ほとんど全ての被験者が 2 年目開始時に M. E.価格よりも高い価格予測をしたため、再び過剰削減を行った。そのため 2 年目の M. E. 価格はさらに下落した。しかしながら、おそらく取引成立価格の慣性により、 取引成立価格は相変わらず高いままだった。 このような、高い価格予測と過剰削減と M. E. 価格の下落が 3 年目と 4 年目も繰り返され、M.E.価格は 4 年目の時点で$0 になった。このことは、 4 年目の時点で、全被験者の排出量の合計が、排出許可証の保有量の合計を下回り、全体で見れば排出権が余っている状態になってしまったことを意味する。そしてとうとう最終年に取引価格が暴落し、M. E. 価格と取引成立価格が等しくなった。効率性は、過剰削減が繰り返し行われたために低かった。このグループに属する他のセッションの動学的な特徴も同じである。つまり、初めの高い価格予測が過剰削減を生み、M. E. 価格を下落させた。しかしながら高い価格予測を反映して取引成立価格は極めて高く、価格の慣性もあって価格はなかなか下落しなかった。各被験者はその価格を見て引き続き過剰削減を行ったため、M. E. 価格はさらに下落することになった。このような負のサイクルにより、効率性は極めて低くなった。このグループのことを、以降「バブルケース」と呼ぶことにする。

図 3 は三つ目のグループに属するセッション CBc2 の価格動学である。このセッションにおいては、半数以上の被験者が実験開始時に競争均衡価格よりも低い価格予測をしたため、削減量の合計が競争均衡価格で行うべき量よりも少なくなった。そのため、M. E. 価格は$67 から$72 へと上昇することになった。その価格を見て、ほとんど全ての被験者は 2 年目の初めに M. E. 価格よりも低い価格予測をした。そのため再び過小な削減を行い、M. E. 価格をさらに上昇させることとなった。このような低い価格予測と不十分な削減による M. E. 価格の上昇が繰り返され、最終年になっても排出量の合計が排出許可証の保有量の

合計を下回らなかったので、M. E. 価格はペナルティと同額の$ 250 になった。不十分な削減が繰り返し行われたため、このセッションの効率性は低くなった。このような動学的パターンは同じグループに属するもう一つのセッションである KBo2 においても観察された。つまり、初期の段階で低い価格予測により十分な削減がなされず、M. E. 価格が上昇した。しかしながら、低い価格予測を反映して取引成立価格は低いままで、価格の慣性によりなかなか M. E. 価格に向かって上昇しなかった。それ故、被験者は引き続き十分な削減を行わず、M. E. 価格をさらに上昇させた。このような負のサイクルが効率性を大きく下落させた。このグループのことを、これ以降「逆バブルケース」と呼ぶことにする。

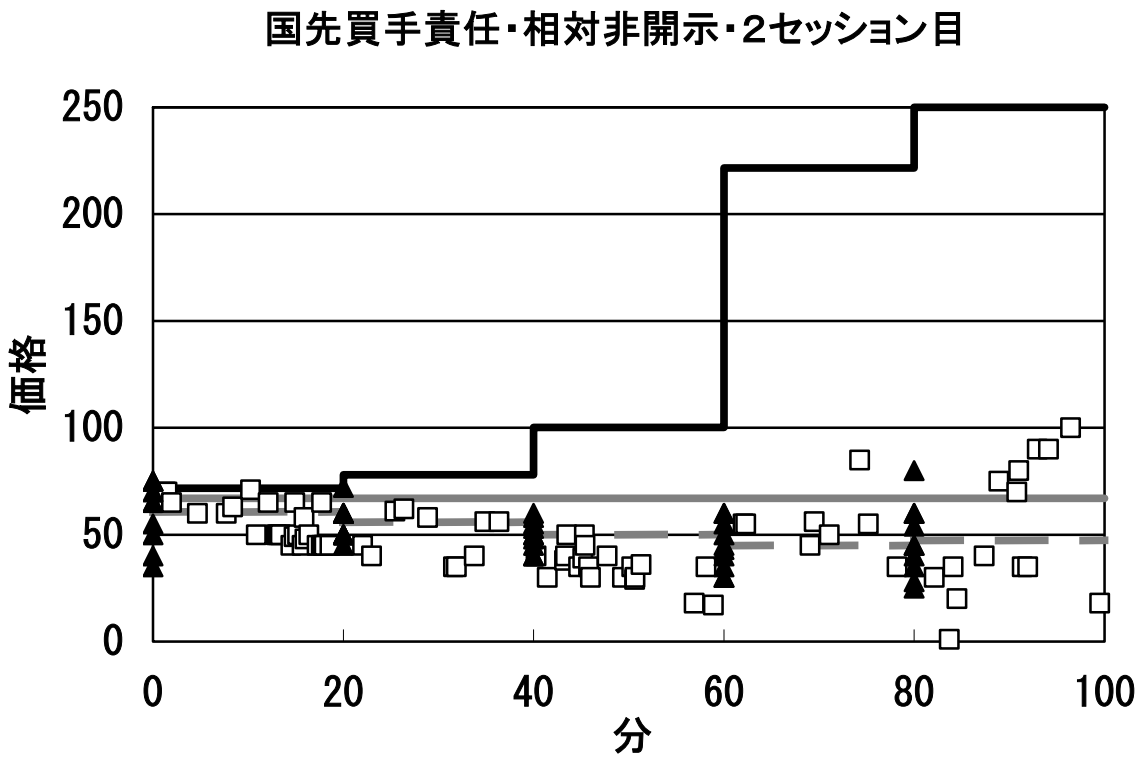

図 3 逆バブルケース

図 4 は四つ目のグループに属するセッション KBc1 の価格変動である。このセッションにおいては、4 人被験者が意図的なデフォルトを起こした。それらの被験者が発行する債券価格はセッションの半ばには$0 になったが、菱形で示されるロシアの発行した債券の価格は高かった。おそらく、ロシアは超過遵守の状態で実験が始まるため、デフォルトを起こしにくいと他の被験者が予測したものと考えられる。このセッションにおいては、価格予測はそれほど高くなく、取引価格が低かったにもかかわらず、過剰削減がなされた。そ

の理由はおそらく、多くの被験者が京都先買手責任制度であるが故に意図的なデフォルトが起こりやすく、また取引成立情報が非開示であるためにだれが意図的なデフォルトを起こそうとしているのか発見するのが難しいと考え、限界削減費用が高くても自力で削減目標を達成しようと思ったからだと考えられる。同様な動学的パターンがこのグループに属するもう一つのセッションである KBc2 でも観察された。このグループを、これ以降「意図的デフォルトケース」と呼ぶことにする。

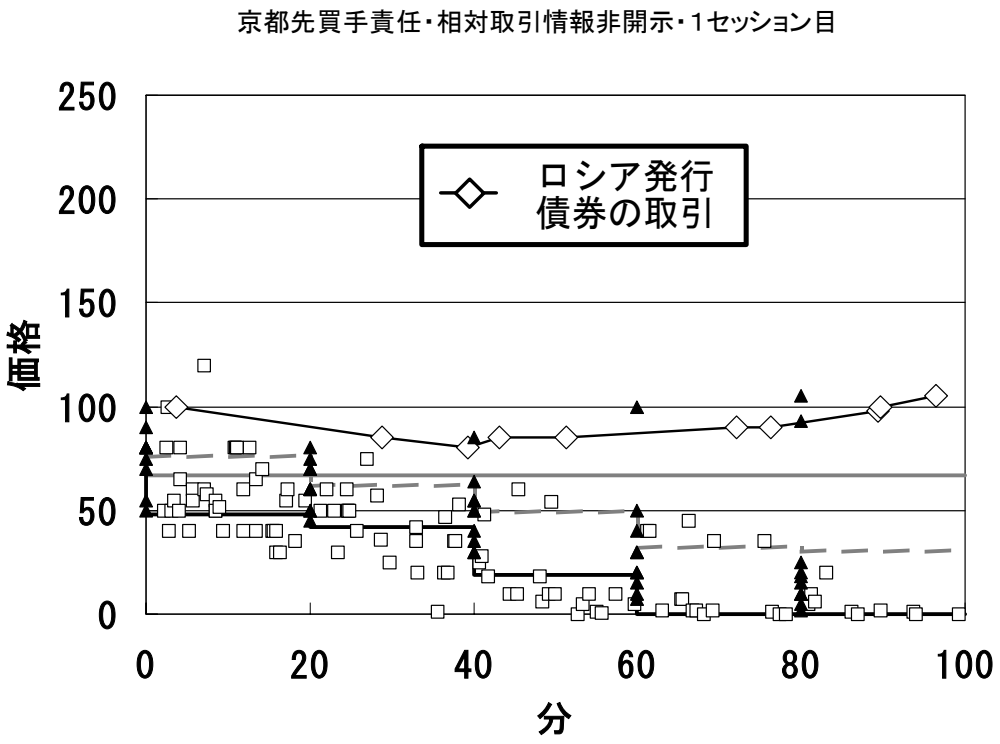

図 4　意図的デフォルトケース

図 5 は 18 セッションの散布図である。横軸は効率性、縦軸はバブル度を表す。この図により、クラスター分析の 4 グループの分類を視覚的に確かめられる。さらに、売り手責任制度においては、極めて高い効率性と極めて低い効率性の 2 つに大きく分かれるのに対して、国先買手責任制度においては安定した結果となることも確認できる。その原因として、国先買手責任制度では売手責任制度では認められない空売りをすることができるので、高い価格が付いたとして債券を大量に発行して売ることにより価格を下落させる圧力が働き易く、結果として強いバブルが起こりにくかった可能性が考えられる。

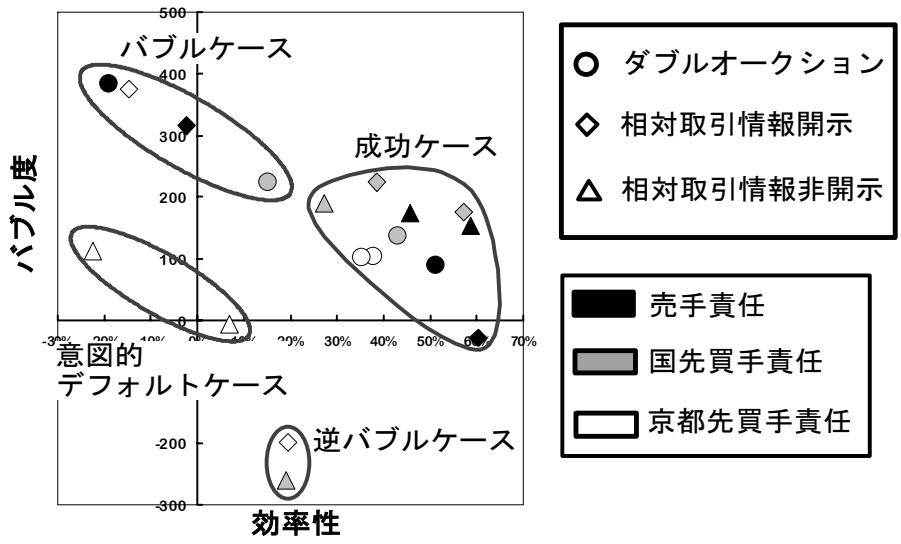

図５ ４つのケース

図６は、図５に３つ目の軸として超過遵守量の合計、つまり排出許可証の保有量の合計から最終的な排出量の合計を差し引いた値、を加えた図である。図より、バブルケースにおける超過遵守量の合計が成功ケースにおける超過遵守量の合計よりも大きいことが分かる。つまり、環境保全性の観点から見れば、バブルケースの方が成功ケースよりも優れていることが分かる。逆バブルケースにおいては、効率性が低いだけでなく、超過遵守量の合計が負になっているため、成功ケースと比べて経済効率性と環境保全性の両方で劣ることが分かる。最後に、意図的デフォルトケースは、経済効率性はバブルケースとほぼ同じであるが、環境保全性の点で劣るため、バブルケースに劣るケースであると言うことができる。

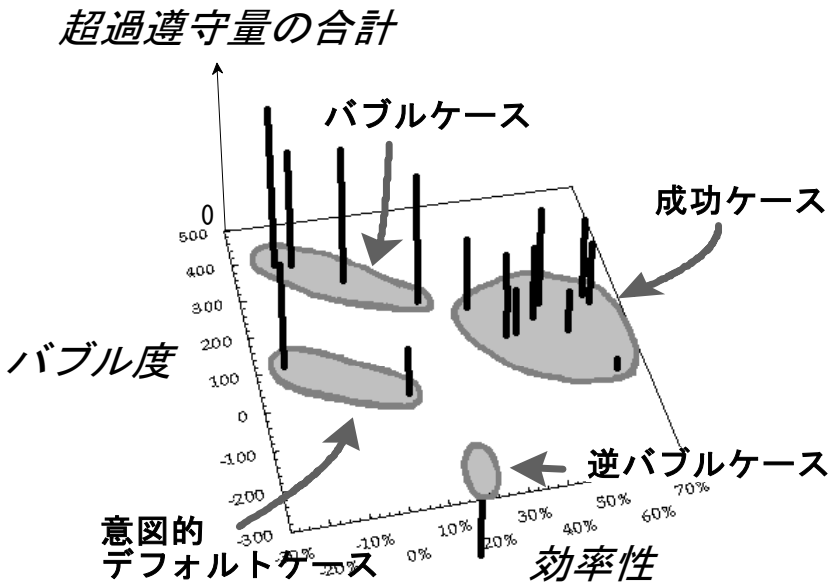

図 6 超過遵守量の合計

5. 結語

排出権取引においてどのような責任制度が採用されるべきであるかを明らかにするために、 売り手複数人、買い手複数人の状況でも使える３種類の責任制度、つまり売手責任制度、国先買手責任制度、京都先買手責任制度の３つを設計し、実験により比較した。 実験では、削減投資の特徴である非可逆性とタイムラグの効果を導入した。実験結果からは、単純な理論モデルから予測したとおり、国先買手責任制度において京都先買手責任制度よりも意図的なデフォルトが起こりにくいことが明らかになった。また、国先買手責任制度の効率性が、京都先買手責任制度の効率性よりも平均的に高くなることを明らかにした。一方で、売手責任制度と国先買手責任制度との間の効率性の差は観察されなかった。ただし、売手責任制度では高い効率性のセッションと低い効率性のセッションの大きく二つに分かれるのに対して、国先買手責任制度ではそれらの間のほどほどの結果に安定することが明らかになった。さらに実験結果からは、全 18 セッションが「成功ケース」、「バブルケース」、「逆バブルケース」、「意図的デフォルトケース」の４つに分類出来ることが明らかになった。最初の２つのケースは売手責任制度のもとで観察され、最初の３つのケースは国先買手責任制度のもとで観察され、全てのケースが京都先買手責任制度のもとで観察された。

実験結果は、18 のセッションから得られたものなので、セッション回数をさらに増やし、さらに詳しく制度間の比較をすべきであるが、それは今後の課題である。

参考文献

Baron, R. (1999): "An Assessment of Liability Rules for International GHG Emissions Trading," International Energy Agency Information Paper.

Chamberlin, E. H. (1948): "An Experimental Imperfect Market," *Journal of Political Economy*, 56, 95-108.

Davis, D. D., and C. A. Holt (1993): *Experimental Economics*. Princeton University Press.

Kuga, K. (2002): "Bankruptcy and Settlement of Debt and Credit Reconsidered: Phase Classification and Uniqueness of Settlement," (in Japanese), pp. 25.