

〈研究ノート〉

# 排出量取引制度の接続に関する一考察 ——参加国の脱退が各国に与える影響について——

井上知子

## 1. はじめに

World Bank (2021) によると、2021年に入り、排出量取引制度 (ETS: Emissions Trading Systems) と炭素税のいわゆるカーボンプライシングがカバーする温室効果ガス排出の割合は、世界全体の温室効果ガス排出の21.5%になり、2020年の15.1%から大きく上昇している<sup>1)</sup>。これは、2021年7月に中国が全国ETS (national ETS) の取引を開始したことによるところが大きい。なお、中国の全国ETSは、2013年以降、いくつかの省や市において地域レベルで実施されていた排出枠の取引を、それらの地域の市場は残しつつ、国全体の統一的な市場でおこなうようになったものである。また、2020年には、スイスとEUの排出量取引制度の接続も実現された。このように、一部地域で制度が先行実施され、その後、一国全体の制度が開始されたり、国や地域の制度が接続されたりすることは、今後もあるであろうし、そのような接続によって、排出量取引制度が国際的な枠組みに発展することは十分にありうる。

2021年10月-11月にイギリスのグラスゴーで開催された国連気候変動枠組条約 (UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change) の第26回締約国会議 (COP26) では、「気温上昇を工業化以前より1.5℃高い水準までに抑える努力を継続する」という目標が再確認された<sup>2)</sup>。その目標を達成するための脱炭素の達成時期について、先進国は2050年を掲げているが、COP26において、中国は2060年、インドは2070年と、排出量の多い国の達成時期が先進国と比べてかなり遅く想定されていることも明らかになった。このように、世界のさまざまな国や地域で、カーボンプライシングの取り組みが開始されてはいるが、それが国際的で統一的な取り組みに発展するためには多くの課題がある。

Holtmark and Weitzman (2020) は、国や地域がそれぞれの国内、域内のみで排

1) World Bank (2021) のFIGURE 2.2: Share of global greenhouse gas emissions covered by carbon taxes and emissions trading systemsによる。

2) COP26で合意された内容は、グラスゴー気候合意(Glasgow Climate Pact)にまとめられており、この内容は「IV. 緩和 (Mitigation)」の15, 16, 17に明記されている。

出量取引を実施する場合（以下では、国内ETSと呼ぶ）と、それらを接続させて国家間での取引が可能となった場合（以下では、接続ETSと呼ぶ）について、各々の国や地域の厚生、そしてすべての国と地域の厚生を合計したものがどのように変化するかを試算している。

なお、Holtmark and Weitzman（2020）は、5年から10年の期間では、CO<sub>2</sub>のフローが大気中のCO<sub>2</sub>ストックに与えるインパクトは線形に留まると考えて、各国や地域が世界全体の総排出から被る限界ダメージを一定と仮定している。その仮定のもとで、国内ETSにおける排出枠の取引価格はその国の限界ダメージに等しく、また、接続ETSにおける取引価格は参加国の限界ダメージの平均に等しくなるという結果を示している。それらの関係を使って、Holtmark and Weitzman（2020）は、ブラジル、日本、EU、カナダ、アメリカ、ロシア、インド、南アフリカ、中国の9つの国と地域が国内ETSで排出量取引をおこなう場合と、それらすべての国のETSを接続した場合を比較し、接続ETSでは9つの国と地域全体で排出量が1.6%増え、年間約330億ドルの厚生が失われることを示している<sup>3)</sup>。パリ協定は、各締約国の排出キャップをUNFCCCがトップダウンで定めるのではなく、それぞれの国が自国の事情に応じて排出削減目標を定めるボトムアップの形を許している。Holtmark and Weitzman（2020）は、そのような枠組みのもとでは、国内ETSを接続させることは全体の厚生を減らす可能性があるとして主張している。しかし、彼らの計算結果で個々の国に目を向ければ、厚生を減らす国は、限界ダメージが大きく排出枠の買い手になる大国であって、国内ETSを接続させることがすべての国の厚生を減らすわけではない。

個々の国の排出量取引制度の接続は実際に進んでいるし、それによって厚生を増やす国や地域も潜在的に存在すると考えられる。経済発展の段階や温暖化による被害の程度など、それぞれの国や地域で事情は異なり、国や地域によっては、国際的な排出量取引制度に参加することに消極的な場合もあるかもしれない。そこで本論文では、Holtmark and Weitzman（2020）で用いられたモデルおよび数値を使って、すべての国が接続ETSに参加している状況から、一部の国がその枠組みから脱退する場合の効果に注目し、どのような国に参加するメリットがあるのか、そして、ある国の脱退は接続ETSに参加する国あるいは脱退する国にどの程度の影響を与えるのかについて試算する。

以下、第2節ではHoltmark and Weitzman（2020）のモデルを紹介し、続く第3節では、接続ETSの枠組みから脱退する国がある場合に、それが各々の国や地域の排出量や厚生などに与える影響を試算する。第4節は結びである。

---

3) 世界銀行のWorld Development Indicatorsのデータを使うと、2000年以降、これら9か国の排出は、世界全体の排出の約73%で推移していることが確認できる。

## 2. Holtsmark and Weitzman (2020) のモデル

本論文では、Holtsmark and Weitzman (2020) の枠組みを使って、接続ETSからある国が脱退する際の影響を試算する。そこで最初に、Holtsmark and Weitzman (2020) のモデルを説明しよう。

国の数を  $n$  ( $n \geq 2$ )、第  $i$  国の排出量を  $e_i$  とし、すべての国からの総排出量を

$$E = \sum_{i=1}^n e_i$$

とする。Holtsmark and Weitzman (2020) では、世界全体の総排出量から第  $i$  国が被るダメージ  $D_i(E)$  が、 $d_i > 0$  を定数として、

$$D_i(E) = d_i E \quad (1)$$

で与えられると仮定されている。すなわち、総排出量からの第  $i$  国の限界ダメージは  $d_i$  である。

第  $i$  国の排出削減に伴う費用  $C_i(e_i)$  については、Rubin (1996) 等で考えられているように、排出削減に伴う便益の減少として定義されている。いま、 $e_i^{BAU}$  を第  $i$  国のBAU (business as usual) 排出量、すなわち何も規制がなかった場合の最適な排出量、 $B_i(\cdot)$  を第  $i$  国の便益関数とする。ただし、 $B_i(\cdot)$  は  $B_i'(\cdot) \geq 0$  および  $B_i''(\cdot) < 0$  を満たす。このとき、BAU排出量から排出を減らすことによる便益の減少分、すなわち排出削減に伴う費用は、排出量の関数として次のように表すことができる。

$$C_i(e_i) = B_i(e_i^{BAU}) - B_i(e_i)$$

ここで、便益関数に関する仮定より、 $C_i$  は以下を満たす。

$$C_i' = -B_i' \leq 0$$

$$C_i'' = -B_i'' > 0$$

このとき、第  $i$  国の排出削減に伴う限界費用は、 $-C_i' \geq 0$  で与えられる。ただし、次節における数値計算の際には、Holtsmark and Weitzman (2020) にしたがって、 $c_i$  を正の定数として、 $C_i(e_i)$  を以下のように仮定する。

$$C_i(e_i) = \frac{c_i}{2} (e_i^{BAU} - e_i)^2$$

この特定化の下では、 $C_i'(e_i) = -c_i(e_i^{BAU} - e_i) \leq 0$  および  $C_i''(e_i) = c_i > 0$  が満たされる。

ある国において、カーボンプライシングにより排出1単位の価格が  $p > 0$  で与えられている場合、その国の最適な排出水準は、排出削減に伴う限界費用と  $p$  が等し

くなる水準で与えられる。この点について、第  $i$  国の主体  $j$  ( $j = 1, \dots, n_i, n_i \geq 2$ ) の行動から説明しよう。以下では、第  $i$  国の主体  $j$  の排出量を  $e_{ij}$ 、排出に伴う費用を  $C_{ij}(e_{ij})$  とする。ただし、 $C'_{ij}(\cdot) \leq 0, C''_{ij}(\cdot) > 0$  である。 $C_{ij}(e_{ij})$  と  $C_i(e_i)$  の関係は、

$$C_i(e_i) \equiv \min_{e_{ij}} \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij}(e_{ij}) \quad \text{ただし、} \quad e_i = \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}$$

であり、右辺の最小化問題の解を  $e_{ij} = e_{ij}(e_i)$  と書けば、

$$C_i(e_i) = \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij}(e_{ij}(e_i))$$

である。包絡線定理を利用すれば、第  $i$  国の排出削減に伴う限界費用と、第  $i$  国の主体  $j$  の排出削減に伴う費用との関係は、

$$C'_i(e_i) = C'_{ij}(e_{ij}(e_i)) \quad (j = 1, \dots, n_i) \quad (2)$$

となる。いま、第  $i$  国で1単位のCO2排出に対して価格  $p$  がつけられている場合、第  $i$  国の主体  $j$  は、排出に伴う私的費用  $C_{ij}(e_{ij}) + p \cdot e_{ij}$  が最小となるように排出量を定める。そして、その排出量は、 $p = -C'_{ij}(e_{ij})$  を満たす。したがって、第  $i$  国が価格  $p$  に対して  $e_i$  を

$$p = -C'_i(e_i) \quad (3)$$

という関係になるようにすることで、(2) より、 $e_{ij} = e_{ij}(e_i)$  となる。

以下では、(1) より世界全体の総排出量からの各国の限界ダメージは一定であること、および第  $i$  国の最適な排出水準は1単位のCO2排出に対して設定されている価格  $p$  と排出削減に伴うその国の限界費用が一致する水準に決まることを使い、各国が自国内のみで排出量取引をおこなう場合と、国家間で排出枠の取引がおこなわれる場合について Holtsmark and Weitzman (2020) の議論を説明する。

#### 排出量取引を自国内のみでおこなう場合 (国内ETS)

第  $i$  国政府 ( $i = 1, \dots, n$ ) は、第  $i$  国以外の国による排出の合計である  $e_{-i}$  を所与として、世界全体からの排出から被るダメージと排出削減に伴う費用の和を最小にするように、自国の排出量を定める。第  $i$  国政府の最適化行動は、以下のように表される。

$$\min_{e_i} D_i(e_i + e_{-i}) + C_i(e_i)$$

この問題の最適のための1階の条件は、

$$D'_i(e_i + e_{-i}) + C'_i(e_i) = 0$$

である。すべての国の1階条件からなる方程式体系を満たす解を  $\hat{e}_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) とすると、

$$D'_i \left( \sum_{k=1}^n \hat{e}_k \right) = -C'_i(\hat{e}_i) \quad (i = 1, \dots, n)$$

である。ここで、各国の限界ダメージが  $d_i$  で一定であるという仮定より、上式は、

$$d_i = -C'_i(\hat{e}_i) \quad (i = 1, \dots, n) \quad (4)$$

と書ける。よって、 $\hat{e}_i = \hat{e}_i(d_i)$  である。 $C_i$  を特定化した場合は、

$$d_i = c_i(e_i^{BAU} - e_i)$$

となり、これを  $e_i$  について解くと、

$$e_i = e_i^{BAU} - \frac{d_i}{c_i} \equiv e_i(d_i) \quad (5)$$

が得られる。すなわち、第  $i$  国の最適な排出水準は  $d_i$  の一次式として書ける。

いま、排出キャップを  $\hat{e}_i$  の水準に定めれば、均衡における排出枠の価格は  $p = -C'_i(\hat{e}_i)$  の水準に決まる。それは、次のように確認できる。いま、第  $i$  国の経済主体  $j$  について、(2) より

$$C'_i(\hat{e}_i) = C'_{ij}(e_{ij}(\hat{e}_i)), \quad \hat{e}_i = \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}(\hat{e}_i)$$

である。いま、排出枠の価格が  $p > -C'_i(\hat{e}_i) = -C'_{ij}(e_{ij}(\hat{e}_i))$  のとき、各経済主体  $j$  は  $p = -C'_{ij}(\bar{e}_{ij})$  となるように排出水準を決定するが、 $-C''_{ij}(\cdot) < 0$  より、 $\bar{e}_{ij} < e_{ij}(\hat{e}_i)$  であるから、 $\sum_{j=1}^{n_i} \bar{e}_{ij} < \sum_{j=1}^{n_i} e_{ij}(\hat{e}_i) = \hat{e}_i$  となり、排出枠市場は超過供給となる。同様にして、 $p < -C'_i(\hat{e}_i)$  のときには排出枠市場が超過需要となる。よって、排出枠市場が均衡するとき、その均衡価格は  $p = -C'_i(\hat{e}_i)$  を満たすことがわかる。

第  $i$  国が上で求めた排出量  $\hat{e}_i$  を排出キャップとして自国内で排出量取引をおこなえば、そのときの取引価格は  $\hat{p}_i = -C'_i(\hat{e}_i)$  の水準に決まり、また、(4) より、 $d_i = -C'_i(\hat{e}_i)$  であるから、

$$\hat{p}_i = d_i$$

となる。すなわち、国内での取引価格は、その国の限界ダメージそのものであり、他国の限界ダメージは取引価格に影響を与えない。

#### 各国の排出枠取引市場が接続されている場合（接続ETS）

各国の排出枠取引市場が接続されているとき、排出枠の国際取引価格が  $P$  ならば、

排出量取引制度の接続に関する一考察

(3) より, 第  $i$  国における最適な排出量は,

$$P = -C_i'(e_i) \quad (6)$$

で決まる。(6) から決まる各国の排出量を  $e_i^a$  で表すと, すべての国からの総排出量  $E^a$  は,

$$E^a = \sum_{k=1}^n e_k^a$$

である。先ほどと同様に,  $C_i$  を特定化した場合は, 排出量  $e_i^a$  は,

$$e_i^a = e_i^{BAU} - \frac{P}{c_i} \quad (7)$$

であり, 総排出量  $E^a$  は,

$$E^a = \sum_{k=1}^n \left( e_k^{BAU} - \frac{P}{c_k} \right) = E^{BAU} - P \sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k} \quad (8)$$

ただし,

$$E^{BAU} = \sum_{k=1}^n e_k^{BAU}$$

である。

パリ協定の下では, 各国の排出キャップを決めるのは, UNFCCCではなく, それぞれの国である。第  $i$  国の政府が決める排出キャップを  $e_i^c$  とすれば, 排出キャップの総和  $E^c$  は,

$$E^c = \sum_{k=1}^n e_k^c$$

である。第  $i$  国は, 他国の排出キャップを所与として, 排出枠売買による収益から, 自国の社会的費用, つまり, すべての国の総排出から被るダメージと排出削減に伴う費用の和を引いたものを最大にするように自国の排出キャップを決定する。排出枠の価格は排出キャップの総和  $E^c$  に依存するため, それを  $P = P(E^c)$  で表すと, 第  $i$  国の最適化問題は次のように書ける。

$$\max_{e_i^c} P(e_i^c + e_{-i}^c) \cdot (e_i^c - e_i^a) - (D_i(e_i^c + e_{-i}^c) + C_i(e_i^a))$$

ただし、 $e_{-i}^c = \sum_{j \neq i} e_j^c$ 、 $e_i^a = e_i^a(e_i^c)$ である<sup>4)</sup>。

ここで、 $e_i^a > e_i^c$ は第*i*国が排出枠の買い手であることを意味し、そのとき、排出量取引による収益 $P \cdot (e_i^c - e_i^a)$ は負である。また、 $e_i^a < e_i^c$ は、第*i*国が排出枠の売り手であることを意味し、そのとき、排出量取引による収益 $P \cdot (e_i^c - e_i^a)$ が正である。なお、均衡においては $E^c = E^a$ が成立する。

ナッシュ均衡となる各国の排出キャップを $\tilde{e}_i^c$ で表すと、それらは

$$P'(\tilde{E}) \cdot (\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a) + P(\tilde{E}) \cdot \left(1 - \frac{\partial \tilde{e}_i^a}{\partial e_i^c}\right) - \left(D_i'(\tilde{E}) + C_i'(\tilde{e}_i^a) \cdot \frac{\partial \tilde{e}_i^a}{\partial e_i^c}\right) = 0 \quad (i = 1, \dots, n)$$

$$\text{ただし、} \tilde{E} \equiv \sum_{k=1}^n \tilde{e}_k^c = \sum_{k=1}^n \tilde{e}_k^a, \quad \tilde{e}_i^a \equiv e_i^a(\tilde{e}_i^c)$$

を満たす。限界ダメージが一定であることを考慮して整理すると、

$$-\left(P(\tilde{E}) + C_i'(\tilde{e}_i^a)\right) \frac{\partial \tilde{e}_i^a}{\partial e_i^c} + P'(\tilde{E}) \cdot (\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a) + P(\tilde{E}) - d_i = 0$$

となり、左辺第1項は(6)より消えるので、次の式が得られる。

$$P'(\tilde{E}) \cdot (\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a) + P(\tilde{E}) - d_i = 0 \quad (9)$$

(9)の*i*に関する総和を求め、均衡においては $E^c = E^a$ であることを考慮すれば、

$$\begin{aligned} P'(\tilde{E}) \cdot \sum_{i=1}^n (\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a) + nP(\tilde{E}) - \sum_{i=1}^n d_i &= P'(\tilde{E}) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \tilde{e}_i^c - \sum_{i=1}^n \tilde{e}_i^a\right) + nP(\tilde{E}) - \sum_{i=1}^n d_i \\ &= nP(\tilde{E}) - \sum_{i=1}^n d_i = 0 \end{aligned}$$

よって、

$$\tilde{P} \equiv P(\tilde{E}) = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \equiv \bar{d} \quad (10)$$

すなわち、接続ETSにおける排出枠の均衡価格は各国の限界ダメージの平均 $\bar{d}$ の水準に決まることがわかる。

Holtsmark and Weitzman (2020)のモデルから導かれたことをまとめておく。国内ETSでの排出枠の取引価格はその国の限界ダメージに一致し、接続ETSでの取引価格は参加国の限界ダメージの平均に一致する。また、接続ETSについて(9)と(10)より、

4) 本来は、 $e_i^a = e_i^a(P(e_i^c + e_{-i}^c))$ と書くべきであるが、記号を簡単化するために、 $e_i^a = e_i^a(e_i^c)$ と記す。

$$\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a = \frac{d_i - P(\tilde{E})}{P'(\tilde{E})} = \frac{d_i - \bar{d}}{P'(\tilde{E})} = -\frac{1}{P'(\tilde{E})}(\bar{d} - d_i)$$

すなわち、各国の排出枠販売量（あるいは購入量） $|\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a|$ は、限界ダメージの平均と自国の限界ダメージの差 $\bar{d} - d_i$ に比例する。 $C_i$ を特定化した場合は、(8)より $E^a = E^{BAU} - P \sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k}$ であり、均衡では $E^a = \tilde{E}$ であるから、均衡価格 $P(\tilde{E})$ は、

$$P(\tilde{E}) = \frac{E^{BAU} - \tilde{E}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k}}, \quad P'(\tilde{E}) = -\frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k}} < 0$$

と決まる。したがって、接続ETSに参加する各国の排出キャップと実際の排出の関係は、

$$\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a = (\bar{d} - d_i) \sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k} \quad (11)$$

となる。(11)から、自国の限界ダメージが平均よりも大きい場合（すなわち $d_i > \bar{d}$ ）は排出枠を買うことになり（ $\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a < 0$ ）、自国の限界ダメージが平均よりも小さい場合（すなわち $d_i < \bar{d}$ ）は排出枠を売ることになる（ $\tilde{e}_i^c - \tilde{e}_i^a > 0$ ）。

以上、Holtmark and Weitzman (2020)の理論モデルを紹介した。ここで、例えば総排出量について、各国が個別に排出量取引をおこなう場合と各国の排出枠取引市場が接続された場合でどちらが低くなるのかを一般的に求めることは困難である。そこで、Holtmark and Weitzman (2020)は以上の理論モデルに現実のデータを当てはめて数値的な分析を試みている。本論文でもHoltmark and Weitzman (2020)で用いられた数値を使って、彼らとは異なるケースについて検討する。

### 3. 接続ETSからの脱退効果

Holtmark and Weitzman (2020)は、前節で概観した理論モデルに基づき、データが入手可能なブラジル、日本、EU（UKを含む）、カナダ、アメリカ、ロシア、インド、南アフリカ、中国の9つの国と地域について数値的な分析をおこない、9つすべての国と地域の国内ETSを接続させると、総排出量は増加し、また各国の厚生は減少することを示した。個々の国を見ると、ブラジル、日本、カナダ、ロシア、南アフリカの厚生は上がるが、EU、アメリカ、インド、中国の厚生は下がることが示されている<sup>5)</sup>。欧州グリーンディールを進めるEUは接続ETSへの参加に賛同するかもし

5) 表2の最右列と表7の「すべて」の列を国毎に比較することで、確認することができる。



れないが、自国の厚生を下げても接続ETSに参加することに躊躇する国もあるかもしれない。

そこで、本論文では、上記9つすべての国と地域の排出量取引制度が接続されている状況から、アメリカ、インド、中国が脱退する場合を想定し、各々の国や地域が受ける影響を試算する。なお、以下では、接続された枠組みから外れた国は、自国内で排出量取引をおこなう国内ETSに移行すると仮定する。

以下の計算では、Holtmark and Weitzman (2020) と同じデータを用いる。限界ダメージ  $d_i$  については、Nordhaus (2015) Online Appendix の p. 15, Table B-2 の値を、そして、BAU 排出量  $e_i^{BAU}$  と排出削減可能量  $e_i^{BAU} - e_i$  については McKinsey (2009, p. 154)<sup>6)</sup> の値を利用する。排出削減費用のパラメータ  $c_i$  については、Holtmark and Weitzman (2020) と同じく、(5) の関係を利用した

$$c_i = \frac{d_i}{e_i^{BAU} - e_i} \quad (12)$$

により求めている。ただし、Holtmark and Weitzman (2020) はカリブレーションをおこなない、 $c_i$  の導出において、(12) の右辺から計算される値に8.4を掛けたものを使用している。本論文でも同じ値を使用する。表1は、計算に使用するデータの一覧であり、Holtmark and Weitzman (2020) の Table 1 および Table 2 に対応している。

表2は、国内ETSにおける、排出量、ダメージの減少分、排出削減に伴う費用、および厚生への効果を計算したものであり、Holtmark and Weitzman (2020) の Table 3 に対応している。なお、これら4つの値は、表1の数値を使ってそれぞれ以下のように計算される。排出量は、(5) より、

$$e_i(d_i) = e_i^{BAU} - \frac{d_i}{c_i}$$

で求めた。ダメージの減少分は、

$$D_i(E^{BAU}) - D_i(\hat{E}) = d_i(E^{BAU} - \hat{E})$$

で求めている。排出削減に伴う費用は、(5) を使って、

$$C_i(e_i(d_i)) = \frac{c_i}{2} \left( e_i^{BAU} - \left( e_i^{BAU} - \frac{d_i}{c_i} \right) \right)^2 = \frac{d_i^2}{2c_i} \quad (13)$$

6) Nordhaus (2015) Online Appendix の p. 16, Table B-3 にも記載されている。

表1. 計算に使用するデータ一覧

	限界ダメージ (USD/tCO2)	BAU排出量 <sup>7)</sup> (GtCO2/年)	排出削減可能量	排出削減費用 パラメータ
国/地域	$d_i$	$e_i^{BAU}$	$e_i^{BAU} - e_i$	$c_i$
Brazil	3.1	3.1	1.9	34.6
Japan	4.8	1.5	0.3	219.3
EU(UKを含む)	18.5	5.3	1.2	54.8
Canada	1.6	0.8	0.2	329.0
United States	17.0	7.7	2.0	32.9
Russia	3.5	2.9	0.7	94.0
India	6.5	3.3	1.0	65.8
South Africa	0.7	0.6	0.2	329.0
China	14.8	13.9	3.5	18.8
	$d_i$ の平均	BAU排出量合計	排出削減可能量合計	逆数合計
	$\bar{d}$	$E^{BAU}$	$\sum_{k=1}^9 e_k^{BAU} - e_k$	$\sum_{k=1}^9 \frac{1}{c_k}$
	7.8	39.1	11	0.17

出所：Nordhaus (2015) Online Appendix, p. 15, Table B-2およびMcKinsey (2009, p. 154)

表2. 国内ETSを実行した場合

国/地域	排出量	①ダメージの減少分	②排出削減費用	厚生への効果
	$e_i(d_i)$	$D_i(E^{BAU}) - D_i(\hat{E})$	$C_i(e_i(d_i))$	① - ②
Brazil	3.010	5.877	0.139	5.738
Japan	1.478	9.100	0.053	9.047
EU(UKを含む)	4.963	35.071	3.121	31.950
Canada	0.795	3.033	0.004	3.029
United States	7.183	32.228	4.392	27.836
Russia	2.863	6.635	0.065	6.570
India	3.201	12.322	0.321	12.001
South Africa	0.598	1.327	0.001	1.326
China	13.113	28.057	5.826	22.231
合計	37.204	133.650	13.921	119.729

出所：本表はHoltmark and Weitzman (2020) のTable 3に対応している。ただし、表2は表1の値を使って筆者が再計算したものであり、小数点以下第3桁まで表示している。

で求まる。厚生への効果は、すべての国と地域がBAU水準での排出をおこなった場合のダメージと国内ETSをおこなった場合のダメージおよびそれに伴う費用の差で定義され、

7) BAU排出量および排出削減可能量について、Holtmark and Weitzman (2020) と同じく、McKinsey (2009) の2020年と2030年の試算のうち、2020年の数値を使用している。

$$D_i(E^{BAU}) - \{D_i(\hat{E}) + C_i(e_i(d_i))\} = \{D_i(E^{BAU}) - D_i(\hat{E})\} - C_i(e_i(d_i))$$

すなわち、ダメージの減少分と排出削減に伴う費用の差で計算している。ただし、 $\hat{E} = \sum_{k=1}^n \hat{e}_k$  である。

以下、表3から表7について、項目「すべて」が、考えている9つの国と地域すべてが接続ETSに参加するケース、すなわち、Holtmark and Weitzman (2020) のTable 4の各列の値に対応している。「すべて」の右側には、中国、インド、あるいはアメリカがそれぞれ枠組みから外れる場合である「中国脱退」、「インド脱退」、「アメリカ脱退」の3つのパターンについての試算結果を記している。なお、表3には排出量、表4には排出キャップ、表5には排出枠の売買による純利益、表6には排出削減に伴う費用、そして、表7には厚生への効果を示している。なお、ダメージの減少分については、計算結果の表は省略する。

まずは、排出量についてみてみよう。枠組み参加国の排出量は、(7)、(10) および  $P = \bar{P}$  より、

$$e_i^a = e_i^{BAU} - \frac{\bar{d}}{c_i} \equiv e_i(\bar{d}) \quad (14)$$

である。他方、脱退した国は、自国のみで排出量取引をおこなう、すなわち(5)で決まる水準で排出をおこなうとすれば、各国と地域の排出量は表3ようになる。なお、カッコ内の数値は、各々左にある数値をすべての国が枠組みに参加した場合の数値で除したものであり、1より大きい場合は、脱退によって当該変数が増加することを表す。ただし、表の最下段の「枠組参加国合計」の行のカッコ内の数値は、左の数値を「すべて」

表3. 排出量

国／地域	すべて	中国脱退	インド脱退	アメリカ脱退
Brazil	2.874	2.899 (1.009)	2.869 (0.998)	2.907 (1.012)
Japan	1.464	1.468 (1.003)	1.464 (0.999)	1.470 (1.004)
EU (UKを含む)	5.157	5.173 (1.003)	5.154 (0.999)	5.178 (1.004)
Canada	0.776	0.779 (1.003)	0.776 (0.999)	0.780 (1.004)
United States	7.462	7.488 (1.004)	7.457 (0.999)	7.183 (0.963)
Russia	2.817	2.826 (1.003)	2.815 (0.999)	2.829 (1.004)
India	3.181	3.194 (1.004)	3.201 (1.006)	3.198 (1.005)
South Africa	0.576	0.579 (1.005)	0.576 (0.999)	0.580 (1.006)
China	13.483	13.113 (0.973)	13.474 (0.999)	13.544 (1.005)
9か国合計	37.790	37.519 (0.993)	37.785 (1.000)	37.669 (0.997)
枠組参加国合計	37.790	24.406 (1.004)	34.584 (0.999)	30.485 (1.005)

の列の数値の中から枠組み参加国のものだけを合計したもので除したものであり、1より大きい場合は、脱退しなかった国や地域について当該変数が増加したことを表す。

表3より、中国やアメリカが枠組みから脱退し、自国内での排出量取引に切り替える場合、脱退国の排出量はむしろ減少することがわかる。他方、インドが脱退した場合、インド自身の排出は0.6%の増加となる。なお、表1のBAU排出量と表2の排出量の値を使えば、仮に枠組みから脱退した国がBAU排出量を実行したなら、脱退した国の排出量は3%から4%増えることも確認できる。枠組み参加国の総排出量は、インドが脱退した場合は微小に減少するが、インドの脱退は他国の排出量に対してあまり影響を与えない。これは、表1に示されるように、インドの限界ダメージが6.5であって、全体の平均の7.8に近いために、枠組みからのインドの脱退は枠組み参加国の限界ダメージの平均にあまり影響を与えないからである。なお、中国やアメリカが脱退した場合、枠組み参加国の総排出量は0.4%～0.5%増えることになる。

各国や地域のダメージの減少分は、すべての国と地域の排出削減可能量の合計に各々の限界ダメージを乗じた  $d_i(E^{BAU} - E)$  で計算される。ただし、 $E$  は、枠組み参加国の総排出  $\tilde{E}$  に脱退した国の排出量を加えたものである。ダメージの減少分について、脱退ケース毎に、 $E^{BAU} - E$  は各国や地域で共通であるから、国や地域の違いは、定数である限界ダメージ  $d_i$  の部分のみに現れる。また、ここでは詳細な数値は示さないが、脱退の各ケースでの当該変数の変化の割合は、国や地域にかかわらず、それぞれ同じある。

次に、排出キャップであるが、枠組み参加国については(11)より求められ、また、脱退した国の排出キャップは国内ETSの排出量そのものとする。結果を一覧すると、表4のようになる。

表4に示した排出量キャップと表3に示した実際の排出量の差が正の国は排出枠の

表4. 排出量キャップ

国／地域	すべて	中国脱退	インド脱退	アメリカ脱退
Brazil	3.665	3.339 (0.911)	3.614 (0.986)	3.398 (0.927)
Japan	1.971	1.715 (0.870)	1.950 (0.989)	1.728 (0.876)
EU (UKを含む)	3.374	3.858 (1.143)	3.558 (1.055)	3.562 (1.056)
Canada	1.818	1.390 (0.765)	1.748 (0.962)	1.476 (0.812)
United States	5.929	6.344 (1.070)	6.089 (1.027)	7.183 (1.211)
Russia	3.541	3.221 (0.909)	3.499 (0.988)	3.265 (0.922)
India	3.404	3.247 (0.954)	3.201 (0.940)	3.224 (0.947)
South Africa	1.769	1.293 (0.731)	1.685 (0.953)	1.399 (0.791)
China	12.319	13.113 (1.064)	12.441 (1.010)	12.435 (1.009)
9か国合計	37.790	37.519 (0.993)	37.785 (1.000)	37.669 (0.997)
枠組参加国合計	37.790	24.406 (1.207)	34.584 (1.006)	30.485 (0.957)

売り手であり、負の国は買い手である。表5には、枠組みに参加している国が排出枠の売買から得る純利益  $\bar{P}(e_i^c - e_i^a)$  が示されている。

表5の純利益の表から、EU、アメリカ、中国は、いずれのケースにおいても排出枠の買い手となることがわかる。表4から、枠組みからの脱退が起こると、排出枠の買い手は排出量キャップを緩く（高く）し、売り手は厳しく（低く）することもわかる。

枠組み参加国が排出削減をすることでかかる費用は、(14)より、

$$C_i(e_i^a) = \frac{c_i}{2} \left( e_i^{BAU} - \left( e_i^{BAU} - \frac{\bar{d}}{c_i} \right) \right)^2 = \frac{\bar{d}^2}{2c_i}$$

である。他方、枠組みから脱退した国は国内ETSに移行すると仮定しているため、排出削減による費用は(13)で求められる。結果をまとめたのが表6である。

表5. 排出枠の売買による純利益

国／地域	すべて	中国脱退	インド脱退	アメリカ脱退
Brazil	6.198	3.065 (0.495)	5.957 (0.961)	3.281 (0.529)
Japan	3.972	1.716 (0.432)	3.891 (0.979)	1.727 (0.435)
EU (UKを含む)	- 13.968	- 9.156 (0.655)	- 12.766 (0.914)	- 10.805 (0.774)
Canada	8.163	4.256 (0.521)	7.781 (0.953)	4.654 (0.570)
United States	- 12.004	- 7.966 (0.664)	- 10.942 (0.912)	
Russia	5.675	2.748 (0.484)	5.471 (0.964)	2.916 (0.514)
India	1.746	0.367 (0.210)		0.172 (0.098)
South Africa	9.341	4.970 (0.532)	8.875 (0.950)	5.477 (0.586)
China	- 9.123		- 8.267 (0.906)	- 7.421 (0.813)
枠組参加国合計	0.000	0.000	0.000	0.000

表6. 排出削減に伴う費用

国／地域	すべて	中国脱退	インド脱退	アメリカ脱退
Brazil	0.886	0.700 (0.790)	0.924 (1.043)	0.646 (0.729)
Japan	0.140	0.111 (0.790)	0.146 (1.043)	0.102 (0.729)
EU (UKを含む)	0.560	0.442 (0.790)	0.584 (1.043)	0.408 (0.729)
Canada	0.093	0.074 (0.790)	0.097 (1.043)	0.068 (0.729)
United States	0.933	0.737 (0.790)	0.973 (1.043)	4.392 (4.710)
Russia	0.326	0.258 (0.790)	0.340 (1.043)	0.238 (0.729)
India	0.466	0.368 (0.790)	0.321 (0.689)	0.340 (0.729)
South Africa	0.093	0.074 (0.790)	0.097 (1.043)	0.068 (0.729)
China	1.632	5.826 (3.570)	1.702 (1.043)	1.189 (0.729)
9か国合計	5.129	8.588 (1.674)	5.184 (1.011)	7.451 (1.453)
枠組参加国合計	5.129	2.763 (0.790)	4.863 (1.043)	3.059 (0.729)

インドが脱退した場合、枠組みに参加している国の排出削減の費用は、9つの国と地域すべてが枠組みに参加していたときから4%増加する。他方、限界ダメージが大きい中国が脱退すると排出削減の費用は21%減少し、アメリカが脱退すると27%減少する。中国やアメリカの脱退によって枠組みに参加している国の限界ダメージの平均が小さくなり、接続ETSにおける排出枠の取引価格は低下する。その結果、接続ETSの枠組みに参加している国や地域は排出量を増やす（排出削減を減らす）ため、排出削減に伴う費用は減ることになる。

最後に、厚生への効果を考える。厚生への効果は、ダメージの減少分から排出削減に伴って生じる費用を引き、それに排出枠の売買からの純利益を加えることで計算される。その結果を示したものが表7である。

中国とアメリカは枠組みから脱退すると、枠組みに参加していたときよりも厚生が上昇するが、他方、インドについては接続ETSからの脱退は厚生の上昇に繋がらない。インドの脱退により、各国の厚生はそれぞれ、マイナス5%からプラス13%程度変化するが、脱退したインドの厚生は16%低下する。表2にあるように、すべての国と地域が国内ETSをおこなうとき、インドの厚生への効果は12.001であった。すべての国と地域の国内ETSが接続されず、それぞれの国が独自に国内ETSで排出量取引をおこなう状況がインドにとって好ましいが、国内ETSの国際的な接続が実施に移されているいま、インドは接続ETSへの参加が望ましいであろう。また、枠組みからの脱退が起これば、枠組みに参加している国のうち排出枠の売り手の厚生が下がる。特に、ブラジル、カナダ、ロシア、南アフリカの厚生は低下が大きい。排出枠の売り手となる日本についても、接続ETSから脱退する国があることで厚生が低下するが、中国の脱退よりも、アメリカの脱退が大きく影響することがわかる。

表7. 厚生への効果

国／地域	すべて	中国脱退	インド脱退	アメリカ脱退
Brazil	9.372	7.266 (0.775)	9.109 (0.972)	7.073 (0.755)
Japan	10.118	9.194 (0.909)	10.055 (0.994)	8.495 (0.840)
EU (UKを含む)	9.698	19.647 (2.026)	10.970 (1.131)	15.269 (1.574)
Canada	10.165	6.711 (0.660)	9.787 (0.963)	6.876 (0.676)
United States	9.325	18.172 (1.949)	10.433 (1.119)	19.942 (2.138)
Russia	9.932	8.023 (0.808)	9.732 (0.980)	7.688 (0.774)
India	9.792	10.274 (1.049)	8.224 (0.840)	9.136 (0.933)
South Africa	10.165	6.003 (0.591)	9.698 (0.954)	6.411 (0.631)
China	8.626	17.571 (2.037)	9.486 (1.100)	12.575 (1.458)
9か国合計	87.192	102.860 (1.180)	87.494 (1.003)	93.465 (1.072)
枠組参加国合計	87.192	75.016 (1.091)	79.271 (1.024)	64.387 (0.946)

#### 4. おわりに

本論文では、国際的な排出量取引の枠組みから一部の国が外れた場合に、枠組みに残る国や脱退した国の排出量や厚生にどのような変化が生ずるかを試算した。

接続ETSのもとでは、排出枠の取引価格が参加国の限界ダメージの平均に等しく決まるため、インドのようにその限界ダメージが平均に近い国が枠組みから脱退しても他国への影響は小さいが、インド自身についてはその厚生が減少する。それぞれの国内ETSを国際的な排出量取引に接続する可能性を探っているいま、インドは接続ETSに参加するという選択がよいと考えられる。また、インドは現在、国内でカーボンプライシングの制度を持っていない。したがって、仮にインドが脱退してBAUの水準で排出をおこなうならば、さらに総排出量が増え、各国の厚生が減少し、インド自身の厚生もさらに減少するかもしれない。

また、枠組みからの脱退が起これると、枠組み参加国のうち排出枠の売り手の厚生が減少する。特に、ブラジル、カナダ、ロシア、南アフリカの減少分が大きく、緑の気候基金（GCF: Green Climate Fund）、あるいは、気候技術センター・ネットワーク（CTCN: Climate Technology Centre and Network）などを通じて、資金や技術の援助が重要となるであろう。

2022年1月現在、EU-ETSでの取引価格は1炭素トンあたり80ユーロを超えており、1年前の約2.5倍になっている<sup>8)</sup>。このような排出枠の価格変動がもたらす効果については、本論文では扱っておらず、また、本論文の議論は、Holtmark and Weitzman (2020) の枠組みを用いた1つの試算に留まる。各国のカーボンプライシングの結果それぞれの国の炭素価格が変動し、それが国際的な排出量取引への接続にどのような影響を与えるかを検討することは今後の課題としたい。

#### 参考文献

- Holtmark, Bjart and Martin L. Weitzman, “On the Effects of Linking Cap-and-Trade Systems for CO<sub>2</sub> Emissions,” *Environmental and Resource Economics*, vol. 75, pp. 615–630, 2020.
- McKinsey, *Pathways to a low-carbon economy. Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve*, 2009.
- Nordhaus, William, “The Climate Clubs: Designing a Mechanism to Overcome Free Riding in International Climate Policy,” *American Economic Review*, vol. 105, pp. 1–32, 2015. (Online Appendix)
- Rubin, Jonathan D., “A Model of Intertemporal Emission Trading, Banking, and Borrowing,”

---

8) EEX (European Energy Exchange) のサイトより、Secondary Market の Last Price のデータを閲覧。

排出量取引制度の接続に関する一考察

*Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 31, pp. 269–286, 1996.

UNFCCC, *Paris Agreement*, 2015.

([https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf))

UNFCCC, *Glasgow Climate Pact*, 2021.

([https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26\\_auv\\_2f\\_cover\\_decision.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf))

World Bank, *State and Trends of Carbon Pricing 2021*, 2021.

『南山経済研究』掲載論文の中で示された内容や意見は、南山大学および南山大学経済学会の公式見解を示すものではありません。また、論文に対するご意見・ご質問や、掲載ファイルに関するお問い合わせは、執筆者までお寄せ下さい。

(井上 知子, E-mail: inouet@ic.nanzan-u.ac.jp)