



日本銀行金融研究所
Institute for Monetary and Economic Studies,
Bank of Japan

気候変動の経済学

第2号：気候変動と最適課税



金研ニューズレター特別号
2021年10月

2



日本銀行金融研究所
Institute for Monetary and Economic Studies,
Bank of Japan

金研ニュースレター

特別号 気候変動の経済学 (2) 2021年10月

金融研究所(Institute for Monetary and Economic Studies, IMES)は、1982年10月に日本銀行創立100周年を記念して、日本銀行の内部組織の1つとして設立されました。金融研究所は、金融経済の理論、制度、歴史に関する研究を行っているほか、金融経済に関する歴史的資料の収集・保存・公開を行っています。

ハイライト

- ✓ 気候変動と最適課税
- ✓ 負の外部性
- ✓ CO₂ 排出の社会的コスト



気候変動と最適課税

金研ニュースレター特別号「気候変動の経済学」シリーズでは、近年関心が高まっている気候変動問題について、経済学の主要な研究成果を順に紹介していきます(計5回予定)。本シリーズの内容や意見は金融研究所員によるものであり、日本銀行や金融研究所の公式見解を示すものではありません。

シリーズ第2号では、気候変動と最適課税に関する研究を紹介する。温室効果ガスの排出がもたらす地球環境問題は、ある経済主体の活動が価格システムを通じずに(無コストで排出可能)、他の主体の経済厚生に影響を及ぼすという意味で、典型的な負の外部性問題である。

経済学では、負の外部性がある場合には、それがもたらす社会厚生上のコストにちょうど見合う大きさの課税を行うことで、社会厚生を最大化できることが知られている。考案したイギリスの経済学者にちなみ、ピグー税と呼ばれている。気候変動の経済学分野でも、温室効果ガス排出にピグー税(炭素税)を課すことで、経済活動とその負の影響のバランスを取る最適課税の議論が行われてきた。

今号では、初号で紹介した DICE モデルに温室効果ガスへの最適課税を導入した Golosov et al. (2014)の研究ⁱを解説する。同研究では、最適課税額は GDP の一定割合として求められること、その割合は、①将来生産物を現在時点で評価する際の割引率、②炭素濃度上昇に対する生産量の減少度合い、③炭素が大気中で自然減少する速度、の3点に依存することが示されている。また、石油や石炭、クリーンエネルギーなどを想定した定量分析では、埋蔵量も課税設計上の重要な要素となることを指摘している。

最初に Golosov らのモデルを簡単に紹介する。彼らのモデルは、経済活動と気候変動の相互依存性を捉えた DICE モデルのアイデアを、現代のマクロ経済学で標準的な動学的一般均衡モデルに取り込んだものである。モデルを扱いやすくするため、DICE モデルと比べて気候モジュールが簡便化されている。

DICE モデル同様、経済モジュールと気候モジュールがあり、前者中の企業部門は最終財生産部門とエネルギー生産部門から成る。また、エネルギー生産部門は、エネルギー生産に伴って CO₂ を排出する部門と、排出ゼロのクリーンエネルギー部門に分けられている。

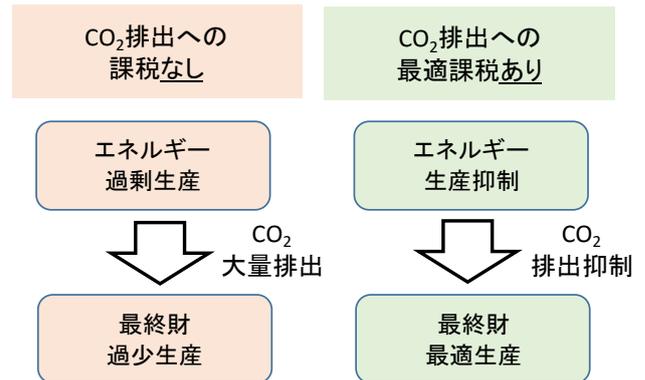
気候モジュールは、DICE モデルと比較して簡便に表現されており、同モジュールは大気中の炭素濃度というストック変数に集約されているほか、炭素濃度の上昇が最終財生産部門の生産に直接負の影響を与えると想定されている。炭素濃度上昇が気温上昇や自然災害などを通じて生産に悪影響を及ぼすといったプロセスを明示的に扱わないことで、動学モデル内での取り扱いを容易にしている。

続いて、彼らのモデルに即しつつ、CO₂ 排出への最適課税の考え方について説明する。各部門における個別の経済主体が自らの目的関数を最大化するよう行動する場合、CO₂ 排出の社会的なコスト (Social Cost of Carbon, SCC)ⁱⁱ は考慮されない。すなわち、利潤最大化を志向するエネルギー生産企業は、CO₂ 排出がもたらす負の影響を考慮せずエネルギーの過剰生産を行う。その結果、大気中の炭素濃度が上昇し、最終財生産部門の生産活動が阻害される。エネルギー価格に SCC は反映されず、これを前提に生産量や財価格が決定され、社会厚生を最大化するような資源配分が達成されない。

経済学では、このような負の外部性による市場の失敗に対して、負の外部性による社会厚生上のコストに見合う課税 (ピグー税) を行うことで、社

会厚生を最大化できることが知られている。Goloso^v らは、CO₂ 排出を伴うエネルギー生産部門に SCC 相当の税を課すことで、最適な資源配分・生産量が達成できることを示した (図 1)。

【図 1 : CO₂ 排出の外部性と最適課税】



彼らのモデルでは、SCC は炭素排出 1 トンに伴う最終財損失の割引現在価値 (ドル) で表される。炭素濃度をストック変数としているため、今期の排出は将来にも影響を及ぼす。追加的な排出 1 トンによる将来の最終財損失が今期の SCC に相当する。

エネルギー生産部門に SCC 相当の課税が行なわれるとエネルギー生産が抑制される。その結果、CO₂ 排出に伴う最終財生産の減少幅が小さくなる。もちろん、課税によりエネルギー価格が上昇するため、財価格の上昇や生産量の減少が伴う。しかし、個別の経済主体が CO₂ 排出の社会的な負の側面まで考慮した経済活動を行うようになる (SCC が内部化される) ため、社会全体の厚生は改善する。

Golosov らの貢献は、モデル化に伴う一定の仮定のもとで、最適課税を理論的に明快な形で導出した点にある。すなわち、最適な課税額は GDP の一定割合として求められること、その割合は、①将来生産物がもたらす効用の割引率、②大気中炭素濃度上昇に対する生産量の減少度合い、③炭素が大

気中で自然減少する速度、の 3 点のみに依存することを示した (図 2)。

【図 2 : Golosov らによる理論的な最適課税額】

$$\text{最適課税} = \text{GDP} \times f \left(\begin{array}{c} \ominus \\ \text{将来の割引率,} \\ \oplus \\ \text{大気中炭素濃度上昇に対する生産の減少度合い,} \\ \ominus \\ \text{炭素が大気中で自然減少する速度} \end{array} \right)$$

関数 $f()$ 内の符号条件を順に解説する。まず、割引率が低いことは経済主体が将来の影響をより重視することを意味している。このため、割引率が低いほど、CO₂ 排出により将来失われる生産の現在価値が大きくなることから、SCC が上昇し、これを映じて最適課税も高まる。また、大気中の炭素濃度上昇に伴って生産損失が大きくなりやすいほど (生産の炭素濃度変化に対する弾性値が高いほど)、最適課税は高まる。そして、炭素が大気中で自然減少する速度が遅いほど (生物圏や深海に吸収されにくいほど)、最適課税は高まることを示している。

注目すべきは、最適課税の導出に他の重要な変数、例えば将来の生産や消費、大気中炭素濃度などが必要ない点である。そのため、将来の技術革新や生産性、労働供給など、予測が難しい変数を考慮することなく、今日の最適な課税額を決められる点が、Golosov らの研究の重要な発見であった。

Golosov らは彼らのモデルを用いた定量評価も試みており、最適課税がある場合と全く課税を行わない場合の比較を行い、最適課税の効果を数値検証している。エネルギー生産部門として、石油、石炭、CO₂ を排出しないクリーンエネルギーの 3 つ

を想定し、先行研究に基づいて各部門の特性を表 1 のように設定した。

【表 1 : 各エネルギーの特性】

	石油	石炭	クリーン
埋蔵量	少ない	豊富	—
コスト	残り埋蔵量が少ない程高い	低	中

モデルのシミュレーションから 2 つの示唆が得られている。第 1 の示唆は、エネルギー生産に対する課税効果はエネルギーの種類によって大きく異なり、特に、CO₂ 排出の程度に加えて、埋蔵量の多寡が影響する点である。埋蔵量が少ない石油については、課税の有無に関わらず、比較的早期に枯渇していく。一方、埋蔵量が豊富な石炭は課税などの政策対応を行わない限り、長期にわたってその利用を増加させ続けることが見込まれる。その結果、地球温暖化が進展し、大きな経済損失が生じるため、石炭への課税により利用を抑制させることが最適となる。

第 2 の示唆は、モデルでは外生的に与えられるエネルギー供給や技術進歩についての想定が、将来の気候変動や経済損失の算出に甚大な影響を持つという点である。特に、各エネルギーの代替の弾力性 (相対価格が変化した場合の代替の起こりやすさ) を変化させた場合、エネルギー選択のみならず全体の CO₂ 発生量や生産への影響に大きな違いが生じる。エネルギー間の代替が生じやすいモデル想定では、コストの安い石炭がその他のエネルギーを代替し、課税を導入しない限り、石炭の利用が大きく増加する。この場合には、最適課税の役割がさらに重要になると指摘している。

このように、初号で紹介した DICE モデルと同様、

Golosov らのモデル分析においても、外生的に与えられるモデル想定やパラメータ設定に定量分析が強く依存している。この点は、定量的な結果の解釈に慎重でなければならないことを示唆している。

最後に、彼らの研究結果に関する留意点を述べる。彼らのモデルに従えば、最適課税を導入すれば社会的に最適な生産量が達成できるため、クリーンエネルギー分野など特定の部門への補助金は必要とされない。しかし、彼らのシンプルなモデルでは捨象されている点も多い。特に、技術革新がもたらす効果、例えばクリーンエネルギーの開発に向けた R&D 投資の役割などは考慮されていない。シリーズ第 3 号で紹介する Acemoglu et al. (2012) の研究ⁱⁱⁱはこの点に焦点を当てている。具体的には、技術革新を取り込んだモデルでは炭素税に加えてクリーンな技術開発を促進させる補助金が必要である点を示している。

また、Golosoov らのモデルは非常に明快な形で最適課税を示しているものの、単純化されすぎているとの指摘もある。例えば初号で登場した Nordhaus (2014)^{iv}は、Golosoov らの研究について、定型化されたモデルで SCC の重要な決定要因を導いた素晴らしい例であると評している一方、決定要因の 1 つである大気中炭素濃度上昇に対する生産の減少度合いは計算がきわめて難しい点や、過度に簡便化された気候システムは、大気中の炭素濃度上昇の影響がラグをもって現れるといった重要な側面を捉えられていない点などを指摘している。

こうした限界はあるが、Golosoov らの研究は、CO₂ 排出の負の外部性がもたらす経済的コストをモデル化し、最適課税を明快な形で導出したことで、後の経済学者が気候変動の経済分析を発展させる基礎となった。この点は彼らの大きな功績である^v。

(次回に続く)

* 本号の執筆は主として米山俊一が担当した。

ⁱ Golosov, M., Hassler, J., Krusell, P., & Tsyvinski, A. (2014). Optimal taxes on fossil fuel in general equilibrium. *Econometrica*, 82(1), 41-88.

ⁱⁱ Nordhaus (2019)は、SCC を追加的な CO₂ 排出に伴う経済コストと捉え、SCC の推計値は気候変動政策において重要な要素であると指摘している。
Nordhaus, W. (2019). Climate change: The ultimate challenge for economics. *American Economic Review*, 109(6), 1991-2014.

ⁱⁱⁱ Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 102(1), 131-166.

^{iv} Nordhaus, W. (2014). Estimates of the social cost of carbon: Concepts and results from the DICE-2013R

model and alternative approaches. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(1/2), 273-312.

^v 例えば、本稿で紹介したモデルを拡張することで、Barrage (2020)は資源配分に歪みをもたらす税が別途ある場合の CO₂ 排出最適課税を、Li, Narajabad, and Temzelides (2016)は気候変動の経済への影響の度合いに不確実性がある場合の CO₂ 排出最適課税を分析している。

Barrage, L. (2020). Optimal dynamic carbon taxes in a climate-economy model with distortionary fiscal policy. *Review of Economic Studies*, 87(1), 1-39.

Li, X., Narajabad, B., & Temzelides, T. (2016). Robust dynamic energy use and climate change. *Quantitative Economics*, 7(3), 821-857.

金研ニュースレター特別号

気候変動の経済学

(2) 気候変動と最適課税

(1) 気候変動とマクロ経済の関係を捉える: DICE モデル

金研ニュースレター 2021年10月

※本誌に関する照会は、日本銀行金融研究所までお寄せください。

無断での転載・複製はご遠慮ください。

日本銀行金融研究所 (IMES)

〒103-8660 東京都中央区日本橋本石町 2-1-1

TEL: 03-3279-1111 (大代表)

FAX: 03-3510-1265

E-mail: imes.journals-info@boj.or.jp

ホームページ: <https://www.imes.boj.or.jp/index.html>