



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3号：気候変動と技術進歩



金研ニューズレター特別号
2021年10月

3



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 (3) 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

- ✓ 気候変動と技術進歩
- ✓ 正の外部性の活用
- ✓ 研究開発への補助金政策
- ✓ グリーン財との代替性



気候変動と技術進歩

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1・2号で紹介した研究は、技術進歩を外生的に与えており、技術進歩がもたらす役割を考慮していなかった。

環境負荷を高めてしまう分野での技術進歩は、短期的には経済にプラスに働いたとしても、気候変動や環境悪化を通じた負の外部効果を通じて長期的には経済にマイナスとなる。

一方、グリーン産業での技術進歩は、経済活動を大きく犠牲にすることなく環境負荷を抑制することに繋がる。ただし、グリーン産業の規模が小さいもとでは、当該産業の技術進歩のみでは経済成長が限られたものになるという制約も存在する。

本号では、技術進歩をもたらす研究開発投資をモデル化し、上記の問題の定式化と理論検証に取り組んだ Acemoglu らの研究を紹介する。社会厚生改善には、負の外部性に対応した炭素税だけでなく、グリーン産業の正の外部性を活用するために技術開発への補助金も有効であることが示されている。

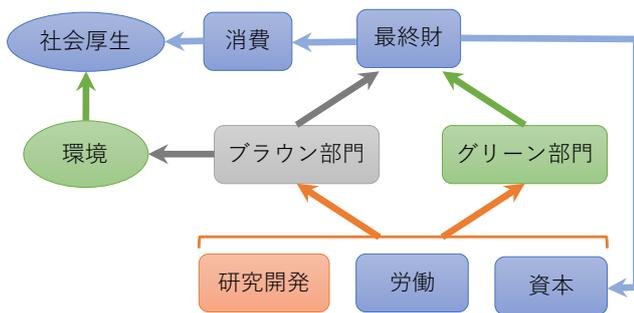
また、技術進歩の効果が累積定着すれば、補助金が恒久的に必要というわけではないこと、炭素税も不要になりうることをモデルで導出している。ただし、こうした結果には、グリーン財と環境負荷をもたらすブラウン財との代替性がカギになることも示されている。

Acemoglu らの研究も、DICE モデルと同様に、気候変動と実体経済の相互作用を取り込んだモデルに基づいている。新機軸は、研究開発投資によって技術進歩が内生的に生じるよう変更した点と、グリーン財とブラウン財を導入し、どちらの財部門で技術進歩が生じるのか、という技術進歩の方向性をモデル化した点にある。

【モデルの大枠】

まず、生産部門に二つの中間投入財を導入した。汚染物質の発生を通じて環境に負の影響を与える「ブラウン部門」と、汚染物質の発生を伴わない「グリーン部門」であり、両部門から産出される中間投入財を用いて最終財が生産される（図1）。

【図1：モデル経済の概念図】



各々の技術水準は研究開発投資に依存する。Acemoglu らのモデルは複雑なため、まず簡単に全体像を示し、次に詳細を説明する。

研究・技術開発に従事できる研究者が一定数存在し、これが両部門に振り分けられる。その人数に応じて技術水準の成長率が決定される。これが研究開発モデルのコア部分である。ここで、技術進歩は汚染物質の排出抑制（ブラウン部門が生産する中間投入財1単位を生産する際に排出される汚染物質の量の減少）をもたらすのではなく、一定の資本や労働の投入量当たりの産出量の多寡を決めるものと設定されている。

グリーン部門に多くの研究者が割り当てられると、同部門の技術進歩は高まる一方、ブラウン部門の技術進歩は低下する。資本・労働の投入配分を変えなければ、グリーン部門の産出量が増加する一方、ブラウン部門の産出量は減少し、環境への負の影響も抑制される。

しかし、グリーン部門の中間投入財ばかりが生産され、ブラウン部門の生産が過少になると最終財の生産は僅かなものに止まり、環境面ではプラスだが経済が大きく縮小することで社会厚生は低下してしまう可能性が考えられる。このため、気候変動と経済の関係をみるうえで重要になるのは、中間投入財の代替性（最終財の生産関数における代替の弾力性）である。

中間投入財の代替性が低い経済では、最終財を生産するために両部門の財がバランスよく必要となるため、経済成長には両部門の拡大が求められる。もちろんブラウン部門の拡大は環境を悪化させるため、社会厚生にはマイナスである。したがって、この経済では、経済成長と環境の安定を長期的に達成することはできない。

中間投入財の代替性が高い経済では、グリーン部門がブラウン部門の中間投入財を代替しやすいため、代替性の低い経済と比べて、グリーン部門に多くの研究開発投資を割り当てることで環境と経済活動の最適なバランスが達成される。生産を大きく犠牲にせずに、環境負荷を抑制することができるため、経済成長と環境の安定の同時達成が可能となる。

【グリーン・ブラウン部門間の選択】

Acemoglu らは、中間投入財の代替性が高く、経済成長と環境の安定が同時に達成可能な経済を想定している。それを所与としても両部門間での研究開発投資や生産量の決定に関するロジックは複雑である。

Acemoglu らのモデルでは、研究開発投資は確率的にしか成功せず、成功した場合は中間投入財の生産性が向上することで企業利潤が高まる。企業は期待利潤に基づいてどの部門で研究開発を行うかを決定することになる。また、中間投入財の生産（生産性所与の下で資本と労働をどれだけ投入するか）も期待利潤の最大化によって決定される。モデルでは、この期待利潤を左右する要因として3つの効果が存在している。

第1の効果は「価格効果」である。これは、中間投入財の価格が高い部門ほど期待利潤が高くなるため、資本や労働力の投入だけでなく、研究開発投資も行われやすくなる効果である。

第2の効果は「規模効果」であり、市場規模が大きい部門のほうが、新技術が開発されたときに得られる期待利潤も高くなるという効果である。

第3の効果は「生産性効果」であり、すでに技術水準（生産性）が高い部門の方が、新技術開発による期待利潤が高くなるという効果（いわば「巨人の肩の上に立つ」効果）を想定したものであるⁱⁱ。

これら3要素は相互に影響しあっている。市場規模は生産性が高いほど大きくなるため、規模効果と生産性効果は、すでに発展している部門の技術水準をさらに高めるように作用する。一方で価格効果は、逆に作用する。価格は生産性が低いほど高止まりしてしまうため、生産性が低い部門ほど研究開発投資が行われ技術水準を高めるように作用する。

Acemoglu らは、上記3つの効果を考慮した場合、技術開発を市場に任せたままでは、技術進歩がグリーン部門ではなく、ブラウン部門のみで生じてしまう可能性がある」と指摘している。現実の経済では、グリーン部門よりもブラウン部門が発達していることが多い。ブラウン部門の市場規模が大きいと、規模効果と生産性効果が、価格効果を上回るためと解釈することができそうである。

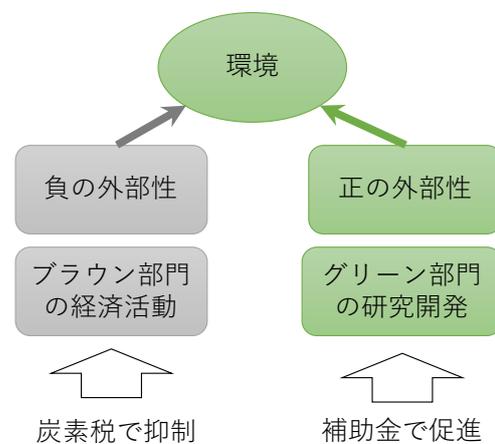
例えば、通常のプラスチック製品と生分解性プラスチック製品を考えてみよう。一般的に価格は後者が高い。しかし、市場規模は前者が圧倒的に大きく、既存技術のストックも多いため「巨人の肩」効果が大きいかもしれない。

こうした現実味があるモデルの示唆は、環境の悪化と社会厚生が悪化を回避するためには、自由選択に任せるのではなく気候変動政策の導入が必要ということである。

【補助金政策の有効性】

それでは、どのような気候変動政策を導入することで、社会厚生を改善できるだろうか。社会厚生上望ましい気候変動政策には、経済に内在する2種類の外部性に対処することが求められる（図2）。

【図2：外部性と政策ツールの対応関係】



1 つ目の外部性は、ブラウン部門の経済活動が、環境悪化を通じて社会厚生を悪化させる負の外部性である。こうした外部性に対しては、シリーズ第2号で論じたように、外部性が生み出す社会的なコストに相当する金額の課税（ピグー税）をブラウン部門に対して課すことによって市場化（内部化）することができる。

2 つ目の外部性は、グリーン部門の研究開発投資

が、同部門の生産性を高めることで生産量を増加させ、最終財生産に関する代替性を通じて（完全に非代替でない限り）ブラウン部門の生産量を抑制することで、将来の環境を改善する正の外部性である。本モデル特有の外部性といえよう。

この正の外部性は、グリーン部門の研究開発への補助金によって経済に取り込むことができる。このように、気候変動政策には、汚染物質排出への課税だけでなくグリーン部門の研究開発への補助金という2番目の政策手段が導出される。

グリーン部門の研究開発への補助金は、具体的にどのような形で行うべきであろうか。Acemogluらのモデルによれば、同補助金は恒久的である必要はないことが示されている。補助金が提供されている間にグリーン部門の技術水準が向上し、同部門の市場規模も拡大する。このため、補助金がなくても、生産性効果と規模効果により研究開発投資が自発的に推進されるようなフェーズに転じることが、モデル上で確認されている。

また、グリーン部門への代替が進展すると、ブラウン部門に対する炭素税の課税も、ある時点で不要になることが示されている。これは、補助金がブラウン部門からグリーン部門への移行を促進し、ブラウン部門が縮小することで、ブラウン部門の経済活動による負の外部性の影響が小さくなり、炭素税がなくても、市場メカニズムを通じた社会厚生最適化が行われるようになるためである。

Acemogluらは、上記の結果が、様々なモデルの拡張・変更に対しても、概ね頑健であることを確認しているⁱⁱⁱ。こうした政策的示唆は、グリーン部門とブラウン部門が十分に代替的であるという前提の下で導出されているが、これを実証分析で確認した研究もある^{iv}。また、ブラウン部門とグリーン部門の技術進歩の方向性に関する決定要因を分析した実証分析もある^v。

本稿で紹介したモデルでは、最終財の生産におけるブラウン部門・グリーン部門の中間投入財の代替の弾力性が重要な役割を果たしていた。技術進歩を考える場合、中間投入財の生産効率だけでなく、この代替性を高めるような技術進歩も考えられるかもしれない。

いずれにしても、本稿で紹介した分析では、従来の研究とは異なり、技術進歩が果たす役割を明示的にモデル化することで、クリーンエネルギー分野の技術開発を促す「正の外部性を活用した政策」も有効なことが示された。こうした政策含意の導出にAcemogluらの研究の大きな貢献があったと言えよう。

（次回に続く）

* 本号の執筆は主として池田大輔が担当した。

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

ii 生産性が低い部門ほど、研究開発投資のリターンが大きい（改善余地が大きい）という逆の考え方も可能であるが、ここでは採用されていない。

iii 例えば、以下の場合を勘案しても、結論が概ね頑健であるとしている。第1に、ブラウン部門での生産活動に化石燃料等の枯渇性資源が生産要素として必要になる場合。第2に、中間投入財を生産するグリーン部門とブラウン部門という「財の区別」ではなく、生産性を改善しつつ環境も改善するグリー

ン技術と、生産性は改善するが環境を汚染してしまうブラウン技術といった「技術の区別」をモデル化した場合。第3に、生産性のみを改善する技術と環境のみを改善する技術に分けて考えた場合。

iv Papageorgiou, C., Saam, M., & Schulte, P. (2017). Substitution between clean and dirty energy inputs: a macroeconomic perspective. *The Review of Economics and Statistics*, 99(2), 281-290.

v 例えば次の論文を参照。Aghion, P., Dechezleprêtre, A., Hemous, D., Martin, R., & Van Reenen, J. (2016). Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: evidence from the auto industry. *Journal of Political Economy*, 124(1), 1-51.

金研ニュースレター特別号

気候変動の経済学

- (4) 気候変動と非伝統的金融政策
- (3) 気候変動と技術進歩
- (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>