

GX 政策の経済学的な考え方

Report

天達 泰章
amatatsu-yasuaki@gxa.go.jp

June 2026

脱炭素成長型経済構造移行推進機構

GX Acceleration Agency

レポートは、すべて著者個人の責任で執筆されており、GX 推進機構の見解を示すものではありません。

なお、GX Future Lab 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。

GX 政策の経済学的な考え方[†]

(Report)

2026 年 6 月

GX 推進機構 上級研究員

信州大学特任准教授

博士（経済学） 天達 泰章

1. はじめに

我が国は、気温上昇抑制のため、2020 年 10 月に 2050 年までにカーボン・ニュートラルを目指すことを宣言し、2021 年 4 月に 2030 年度に温室効果ガス(Greenhouse Gas < GHG >)排出量を 2013 年度比 46%削減、さらに 50%の高みを目指すことを表明していることから、近年、GX(Green Transformation)政策を強力に推進している^{1,2}。GX は、2050 年までのカーボン・ニュートラル(脱炭素化)に加えて、我が国の産業競争力強化・経済成長の同時実現を目指す点が特徴である。

この産業競争力強化・経済成長の実現のために、GX 政策は世界初の国債としてのトランジション・ボンドである GX 経済移行債を創設し、今後 10 年間に 20 兆円規模の先行投資支援を実施する。GX 経済移行債で資金調達する 20 兆円については、例えば、①我が国の脱炭素技術獲得と量産によるコスト低減を企図して、先進脱炭素技術であるペロブスカイ

[†] 本稿の作成に当たっては、有村俊秀教授（早稲田大学）、入江賀子准教授（愛媛大学）、江夏あかね氏（野村資本市場研究所）、大内田康徳教授（広島大学）、大野太郎教授（信州大学）、鬼塚貴子室長（経済産業省）、澤田孝士准教授（久留米大学）、式見雅代教授（長崎大学）、善野吉博教授（福山大学）、竹中英泰教授（旭川市立大学）、張興和教授（旭川市立大学）、中田実准教授（名古屋大学）、西崎文平教授（立正大学）、朴香丹准教授（岩手大学）、日引聡教授（東北大学）、藤井秀道教授（九州大学）、馬奈木俊介教授（九州大学）、三菱重工業高砂工場、高田英樹理事（GX 推進機構）から有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝したい。ただし、本稿で示されている意見及びあり得べき誤りはすべて筆者に属し、GX 推進機構の公式見解を示すものではない。

¹ 菅内閣総理大臣は 2020 年 10 月 26 日の所信表明演説において、日本が 2050 年までにカーボン・ニュートラルを目指すことを宣言した。加えて、菅内閣総理大臣は 2021 年 4 月の地球温暖化対策推進本部及び米国主催の気候サミットにおいて、「2050 年目標と整合的で、野心的な目標として、2030 年度に、温室効果ガスを 2013 年度から 46%削減することを目指す。更に、50%の高みに向けて、挑戦を続けていく」ことを表明した。

² 温室効果ガスは、二酸化炭素 (CO₂)、メタン、亜酸化窒素、フロンガス等から構成される。我が国の温室効果ガス排出量に占める CO₂ 排出量の割合は 92.3% (2023 年度) と、CO₂ 排出量が大部分を占める。カーボン・ニュートラルは、CO₂ 等の温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させ、排出量を「実質ゼロ」に抑える、という概念。

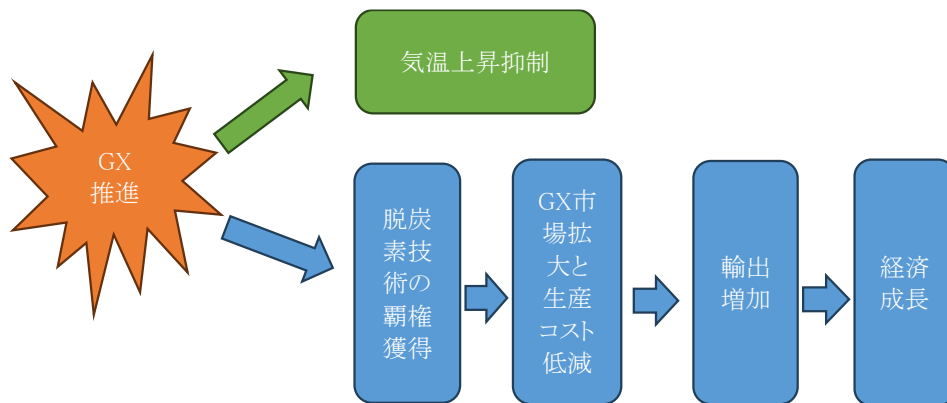
ト太陽光電池や浮体式洋上風力等でのサプライチェーン構築支援に10年間で1兆円支出することや、②多排出製造業における製造プロセスの水素・アンモニアへの燃料転換等の設備投資支援に10年間で1.3兆円支出すること、③エネルギー・セクターと多排出製造業における燃料転換等に安価かつ大量な水素・アンモニアを供給することを企図して、水素・アンモニア・サプライチェーンを構築するためのコストと水素等の販売価格のギャップを補助金によって支援する価格差支援制度に、15年間で3兆円支出することなどが決定されている。図表1のようにエネルギー・セクターを中心に約14兆円が予算措置されている。

図表1：GX 経済移行債 20兆円による投資促進策

(兆円)	対象セクター	支援額 (兆円)	分類	支援内容	措置済み (億円)	令和7年度補正 (億円)	令和8年度当初 (億円)	今後の投資予定
20	エネルギー	4.8	次世代再エネ 水素・ アンモニア 原子力	ペロブスカイト、浮体式洋上風力 価格差支援 供給拠点整備 高速炉・高温ガス炉開発・実証 次世代革新炉開発	1,208 446 57 1,515 60	5年:845 5年:2,594 5年:2,196 4年:600 4年:122	567 5年:2,594 3年:1,200 20	10年間で1兆円 15年間で3兆円
15	製造業	1.8	鉄、化学、紙 パ、セメント	燃料・原料転換等の製造設備投資 支援	583		1,179	10年間で1.3兆円
	運輸	2.0	自動車 蓄電池 航空機、SAF	電動車導入支援(乗用/商用) 生産設備導入支援 次世代航空機、SAF製造設備	4,236 10,287 635	1,900 3年:616 4年:72	350 250	5年間で1,200億円 3年間で2兆円
10	くらし等	4.2	AI・半導体	省エネ・リフォーム パワー半導体製造設備、AI研究開発	5,595 8,733	2,445	3年:100 3,873	
	分野横断 的措置	2.8	中小企業 スタートアップ GI基金	省エネ補助金 スタートアップ育成 研究開発	2,220 710 8,060	5年:2,275	840 185	3年間で7,000億円 5年間で2,000億円
5	未決定	4.3	地域GX	GX戦略地域制度			5年:2,100	
0								

こうした先行投資支援によって、①脱炭素技術における我が国の覇権獲得と、②獲得した技術を基にした市場の創設・拡大と量産による生産コスト低減、③国際貿易で比較優位のある生産コストによる輸出の増加、④生産と輸出増加による経済成長が期待される(図表2)。言い換えれば、輸送機械と電気機械を中心とした我が国の輸出主導型の経済成長モデルをGX産業でも再現しようとしている。更に、海外生産移転が進んだこともあって国内向け設備投資の回復が遅れている中で、今後10年間に官民協調で150兆円超のGX産業での国内設備投資も期待される。

図表 2 : GX 推進による気温上昇抑制と経済成長の同時実現のイメージ



(GX 政策の成功例としての三菱重工業水素混焼・専焼ガスタービン)

水素混焼・専焼発電は、天然ガスから水素への燃料転換によって、GHG を排出する従来型の天然ガス火力発電設備における GHG 排出の大幅削減または実質ゼロ化を図る。GX 政策の成功例として水素混焼・専焼発電を挙げる³。

我が国においては、従来、LNG(液化天然ガス)を燃料としたガス火力発電が主流であるが、近年は天然ガスに水素混焼して発電できるあるいは水素専焼で発電できるガスタービンの開発・実証・商業化が進んでいる。三菱重工業は①中型ガスタービンにおける 100%水素専焼を開発・実証済みであり、②大型ガスタービンにおける 30%水素混焼の商業化と更なる水素混焼・専焼に関する燃烧器の開発・実証を進めている。これら脱炭素技術は国内の電力会社における実証設備や海外向け案件にも適用されつつある。

また、三菱重工業は東南アジア等への導入に向けた商談・受注を積極的に進めており、シンガポールとマレーシア、米国向けの水素混焼対応の大型ガスタービン供給・受注実績(M701JAC 等の供給案件)なども公表している。更に、AZEC(Asia Zero Emission Community)等の国際的枠組みの下で、2024 年 6 月には三菱重工業とタイの電力公社(EGAT)間で大型ガスタービンの水素混焼技術導入に関する覚書(MOU)が締結され、海外への技術展開・協力も進展している⁴。

こうした旺盛な海外需要の背景には、三菱重工業のビジネスモデルがある。三菱重工業では、ガスタービン導入後に水素混焼・専焼の技術が進展した場合でも、電力会社はガスタービン本体を新たに購入する必要がなく、開発済みの燃烧器を購入して交換するだけで対応できる仕組みとなっている。例えば、30%水素混焼の大型ガスタービンを導入した電力会

³ 本稿では、分析の簡便性を考慮し、完全競争市場を前提として社会的余剰分析を行う。しかしながら、ガスタービン市場は、三菱重工業、GE、およびシーメンスの三社によって高い市場占有が維持されており、実態としては寡占市場として捉えることも考えられ、今後の研究課題として、寡占市場を前提とした理論的および実証的分析に拡張することが考えられよう。

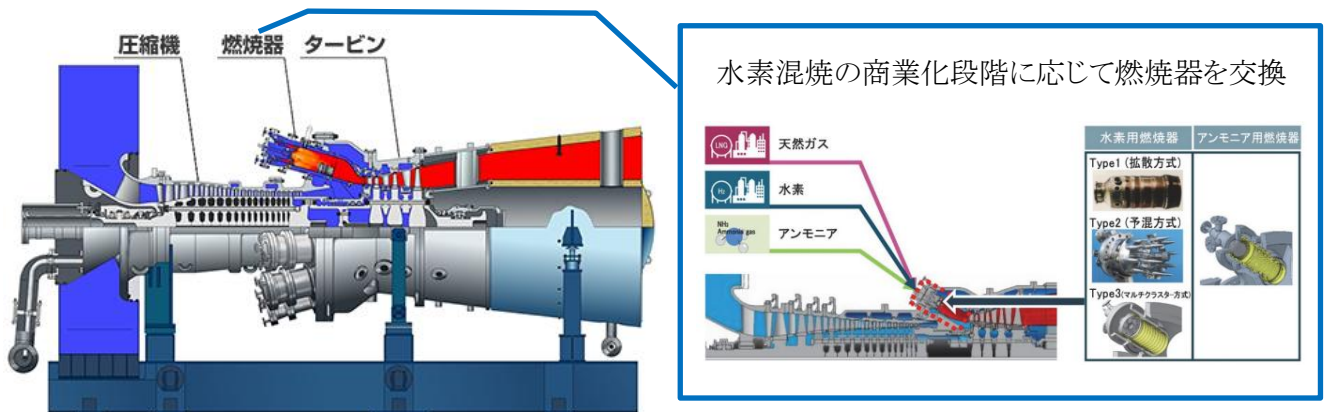
⁴ アジア各国は、経済成長にともない今後もエネルギーの需要が増加する中で、脱炭素化、経済成長、(エネルギー安全保障)を同時に実現することは困難であるため、各国の取り組みを支援し、協力するための枠組みとして、我が国は 2022 年、「アジア・ゼロエミッション共同体(AZEC)構想」を提唱した。

社は、将来、50%水素混焼が商業化された段階で、50%水素混焼対応の燃烧器を購入し、既存の30%水素混焼用燃烧器と交換すれば良い(図表3)。電力会社にとっては、設備更新コストを抑えられるため、将来的な水素混焼・専焼発電の本格化を見据えて三菱重工業の大型ガスタービンを導入する動機となっている。

政策面では、NEDO(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)の補助金によって水素混焼・専焼技術開発が実現した上に、政府が設置したグリーンイノベーション基金(GI基金)により、水素サプライチェーンや水素混焼・専焼発電の社会実装に向けたプロジェクトに対して150億円のプロジェクト支援が設定されているなど、実証と需要創出を見据えた公的支援が投入されている⁵。

こうした官民の連携による脱炭素技術獲得と量産化・コスト低減は、我が国のガスタービン製造業の国際競争力強化および世界市場でのシェア拡大に寄与すると期待される⁶。

図表3：三菱重工業のガスタービンのイメージ



(出所) 三菱重工業

(本稿の問題意識)

従来の気温上昇抑制が環境経済学における①ピグー税・ピグー補助金による生産抑制(マイナスの経済成長)と②生産抑制によるGHG排出量削減であったことを考えれば、GXは脱炭素技術によるGHG排出量削減と生産の増加(プラスの経済成長)を狙う点で、大き

⁵ 政府は、2050年カーボン・ニュートラル目標に向けて、令和2年度第3次補正予算において2兆円の「グリーンイノベーション基金(GI基金)」をNEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)に造成した。GI基金は、①「経済と環境の好循環」の実現を目指す産業政策であるグリーン成長戦略において実行計画が策定されている重点分野、または②「GX実現に向けた基本方針」に基づき今後の道筋が示されている主要分野を対象としている。特に、政策効果が大きく、社会実装までを見据えた長期的な取組が必要な領域において、具体的な目標とその達成に向けた取組へのコミットメントを示す企業等に対し、最長10年間にわたり、研究開発・実証から社会実装までを継続的に支援する。

⁶ 三菱重工業は、2023年のガスタービン世界市場(出力ベース)で36%のシェアを獲得し、2022年、2023年と2年連続で世界トップのシェア(2024年迄の3年間累計のシェアは32%と世界トップ。大型ガスタービンに限れば、2024年のシェアは42%と3年連続で世界トップ。

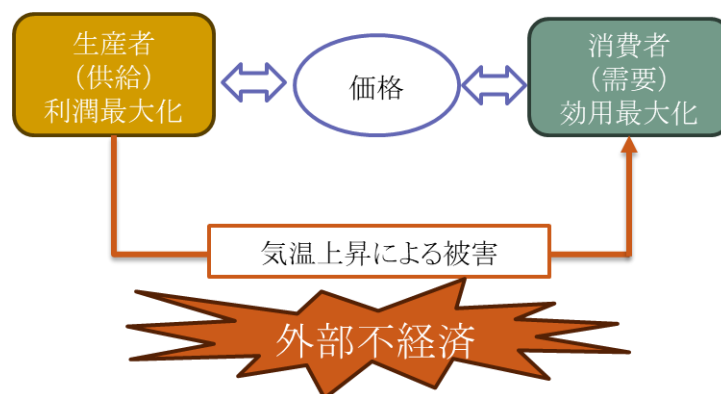
く異なる。ここで、環境経済学の観点では、GX 政策における社会的余剰がピグー税・ピグー補助金における社会的余剰と比較して如何になるかがポイントになる。なお、社会的余剰とは、消費者余剰、生産者余剰、政府の税収・補助金の合計であり、社会全体の厚生を表す。

本稿は(1)従来から環境経済学で議論されてきたピグー税・ピグー補助金による GHG 排出量削減のケースにおける社会的余剰を示した上で、(2)GX 経済移行債を用いた先行投資支援による GHG 排出量削減を目指す GX 政策における社会的余剰の考え方を整理する。

2. 市場メカニズムと外部不経済における社会的余剰

市場経済においては、価格を介して市場メカニズムが機能し、生産者と消費者が生産量を決定する。しかし、GHG(温室効果ガス)排出による気温上昇(地球温暖化)が発生するケースにおいては、市場メカニズムは有効に機能せず、市場を経由せず消費者に影響を及ぼす外部不経済が発生し、市場の失敗を引き起こす(図表 4)。

図表 4：市場メカニズムと外部不経済のイメージ



これを簡単に部分均衡分析で示す。部分均衡分析とは、他の市場や経済全体への影響を無視し、特定の市場の需要と供給だけが一致する均衡状態を静学的に分析するアプローチである。

図表 5 上図のように、市場メカニズムの下で決定される市場均衡 E(生産量 X_E 、価格 P_E) においては、①消費者が「この価格なら支払ってもよい」と考える金額(支払意思額)と実際にその財・サービスを購入した際の価格との差額である消費者余剰は ΔAEP_E 、②実際に受け取った販売価格の総額から、生産に要した費用の総額を差し引いた生産者の利益である生産者余剰は ΔBEP_E となる。この時、(1)式のように社会的余剰は ΔAEB になる。

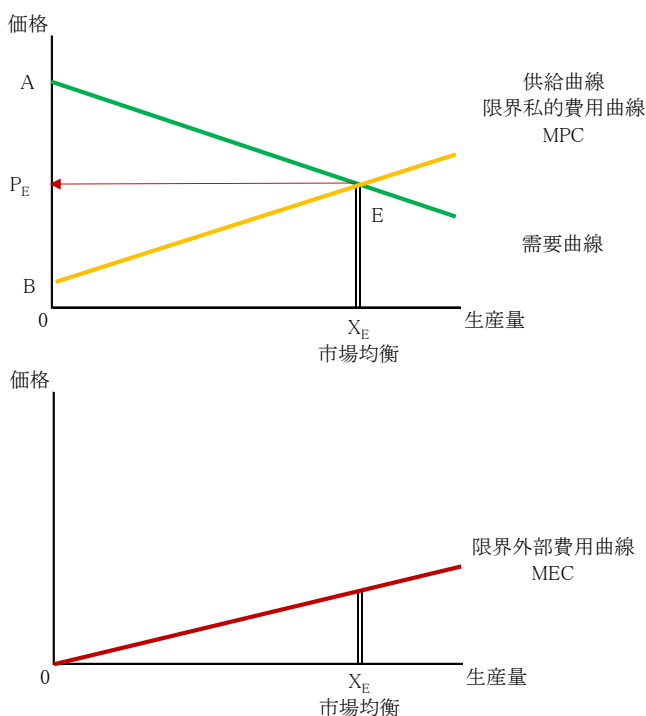
$$\text{社会的余剰} = \text{消費者余剰} \Delta AEP_E + \text{生産者余剰} \Delta BEP_E$$

= 社会的余剰 ΔAEB

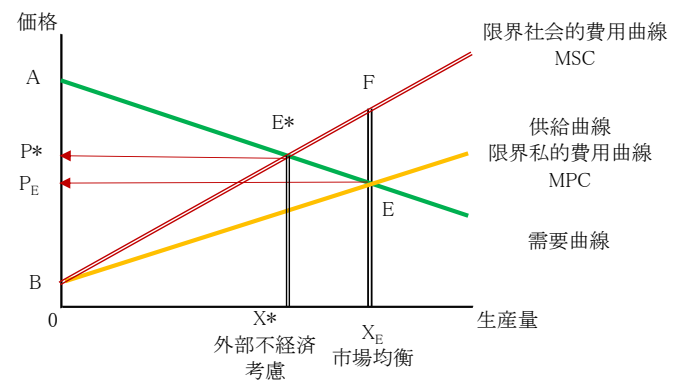
(1)

上記は、外部不経済である GHG 排出による気温上昇によって将来に発生する被害額 (社会的費用) を無視している。図表 5 下図は、気温上昇によって将来に発生する被害額を、生産 1 単位に対して発生する GHG 排出によって将来負担する社会的費用 (限界外部費用曲線) として示している。生産量が増えることで GHG 排出量が増えるため、気温上昇によって将来に発生する社会的費用はますます増加するので、限界外部費用曲線は右上がりになる⁷。すなわち、外部不経済である将来負担する社会的費用は生産量に応じて増加する。

図表 5: 市場メカニズムと外部不経済



図表 6: 外部不経済下での社会的な最適点と市場均衡



図表 6 のように、生産者の供給曲線 (限界私的費用曲線) に限界外部費用曲線を足したものが、気温上昇によって将来発生する被害額を考慮した社会全体の供給曲線 (限界社会的費用曲線) になる。需要曲線と限界社会的費用曲線の交点 E^* (生産量 X^* 、価格 P^*)

⁷ 最初の 1 単位の GHG 排出による気温上昇による被害より、ある程度の排出量を超えた後の、追加的な 1 単位の GHG 排出がもたらす気温上昇による被害の方が大きくなることを想定している。IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 第 6 次報告書は、気温上昇を産業革命以前の 1850~1900 年対比で +1.5°C に抑えるか、+2.0°C に抑えるかによって、熱波や大雨の発生頻度、海面上昇等の被害に大きな差があることを示している。例えば、10 年に 1 度起こるような極端な高温の発生頻度は、気温上昇 +1.5°C の場合に 1850~1900 年対比で 4.1 倍、+2.0°C の場合に 5.6 倍としている。

は、GHG 排出による将来負担を考慮した場合の社会的な最適点となる。(2)式のように社会的な最適点では、社会的余剰は ΔAE^*B になる。

$$\begin{aligned} \text{社会的余剰} &= \\ & \text{消費者余剰}\Delta AE^*P^* + \text{生産者余剰}\Delta BE^*P^* \\ &= \text{社会的余剰}\Delta AE^*B \end{aligned} \quad (2)$$

しかし、外部不経済下においても消費者と生産者は GHG 排出による将来負担を考慮しないで価格決定することから、実際には、市場均衡 E において生産量 X_E が生産され、社会的な最適点 E^* における生産量 X^* を上回って X^*X_E だけ過大に生産されることになる。この外部不経済下での市場均衡における社会的余剰は、消費者余剰 ΔAEP_E と生産者余剰 ΔBEP_E の合計から、外部不経済である気温上昇によって将来に発生する被害額 ΔBEF を差し引く必要がある。すなわち、(3)式のように社会的余剰は $(\Delta AE^*B - \Delta E^*EF)$ となる。

$$\begin{aligned} \text{社会的余剰} &= \\ & \text{消費者余剰}\Delta AEP_E + \text{生産者余剰}\Delta BEP_E - \text{外部不経済}\Delta BEF \\ &= \text{社会的余剰}(\Delta AE^*B - \Delta E^*EF) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、社会的な最適点における社会的余剰である(2)式と、外部不経済を考慮した上での市場均衡 E における社会的余剰である(3)式を比較すると、 ΔE^*EF だけ社会的余剰が失われている。環境経済学では、外部不経済を無視したことによって失われる ΔE^*EF を「死荷重ロス」と言う。GHG 排出による気温上昇が将来に社会的費用となるケースでは、市場は効率的な資源配分に失敗する。すなわち、「市場の失敗」が生じる。

このように外部不経済が存在すると市場メカニズムが有効に機能せず、生産量は社会的に最適な生産量を上回ってしまう。こうした背景には、GHG 排出による将来の社会的費用を、生産者は自らが支払うべきコストの一部として捉えていないことにある。

3. ピグー税・ピグー補助金における社会的余剰

(1)ピグー税における社会的余剰

そこで、GHG 排出による社会的費用を生産者に内部化させるために、GHG 排出量の代理変数である生産量に応じて課税することを考える⁸。この課税は、提唱者のイギリスの経済学者であるアーサー・セシル・ピグーにちなみピグー税と呼ばれる。

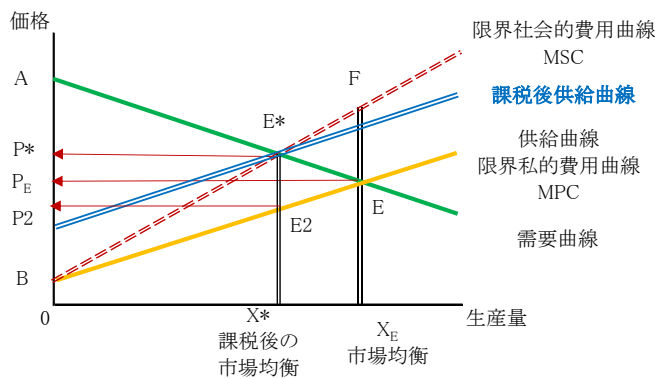
生産量 1 単位に対する税額の大きさは、ちょうど社会的に望ましい生産量 X^* の時の限界社会的費用の大きさにする⁹。図表 7 のように課税後の生産者の供給曲線は課税額だけ上

⁸ ピグー税と後述するピグー補助金は、企業が利潤を追求する姿勢を利用して GHG 排出量を減少させるため、「経済的手法」と称される。

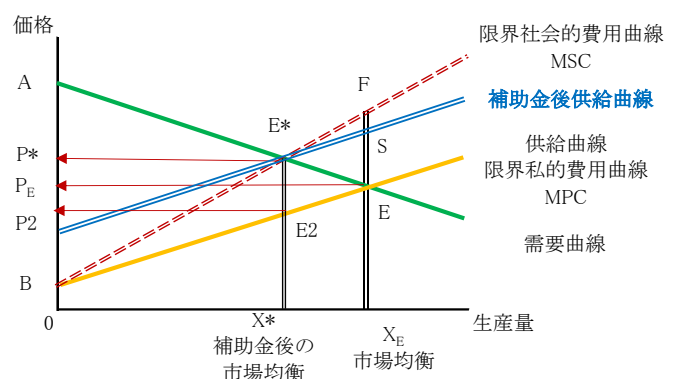
⁹ 詳細は、神取 (2014) を参照。

方シフトする。ピグー税の下での市場均衡は、需要曲線と供給曲線である限界社会的費用曲線の交点である E^* (生産量 X^* 、価格 P^*) になる。外部不経済下における社会的に最適な生産量が達成される。

図表 7: 外部不経済下でのピグー税



図表 8: 外部不経済下でのピグー補助金



この時の社会的余剰は、消費者余剰 $\triangle AE^*P^*$ 、生産者余剰 $\triangle P_2E_2B$ 、政府税収 $\square P^*E^*E_2P_2$ から、外部不経済 $\triangle BE^*E_2$ を差し引く。政府税収は、所得減税や消費税減税、法人税減税などを通じて消費者あるいは生産者に還元されることになるため、社会的余剰を改善する。(4) 式のように社会的余剰は $\triangle AE^*B$ になる。

$$\begin{aligned}
 \text{社会的余剰} &= \\
 & \text{消費者余剰} \triangle AE^*P^* + \text{生産者余剰} \triangle P_2E_2B + \text{政府税収} \square P^*E^*E_2P_2 \\
 & - \text{外部不経済} \triangle BE^*E_2 \\
 & = \text{社会的余剰} \triangle AE^*B
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

このピグー税下の市場均衡における社会的余剰(4) 式を外部不経済下での市場均衡における社会的余剰(3) 式と比較すると、 $\triangle E^*EF$ の分、社会的余剰は改善する。もっとも、ピグー税によって、生産量は X_E から X^* に減少してしまう。

(2)ピグー補助金における社会的余剰

生産者に生産を削減すれば補助金を与えることによっても、過大な生産量を抑えることができる。生産を削減することで補助金がもらえるため、生産者には生産を減少させようというインセンティブが生じる。この補助金をピグー補助金という。

生産者に与えるピグー補助金の額はピグー税と生産量 1 単位当たりで同額である。このピグー補助金の下での市場均衡は、図表 8 のようにピグー税の下での市場均衡と同様に

E^* (生産量 X^* 、価格 P^*)になる¹⁰。

この時の社会的余剰は、消費者余剰 ΔAE^*P^* と、生産者余剰である $\square P^*E^*E2B$ と生産者が受け取るピグー補助金 $\square E^*SEE2$ から、政府支出でピグー補助金と同額の $\square E^*SEE2$ と外部不経済 ΔBE^*E2 を差し引く。政府支出は、所得増税や消費増税、法人税増税などを通じて消費者あるいは生産者から徴収されることになるため、社会的余剰を悪化させる。(5)式のように社会的余剰は ΔAE^*B になる。

$$\begin{aligned} \text{社会的余剰} &= \\ &\text{消費者余剰}\Delta AE^*P^* \\ &+ \text{生産者余剰}(\square P^*E^*E2B + \text{生産者が受け取る補助金}\square E^*SEE2) \\ &- \text{補助金支出}\square E^*SEE2 - \text{外部不経済}\Delta BE^*E2 \\ &= \text{社会的余剰}\Delta AE^*B \end{aligned} \tag{5}$$

このピグー補助金下の市場均衡における社会的余剰(5)式を外部不経済下での市場均衡における社会的余剰(3)式と比較すると、 ΔE^*EF の分だけ社会的余剰は改善する。もともと、生産量は X_E から X^* に減少してしまう。この結果は、ピグー補助金がピグー税と同一の効果であることを示す。

すなわち、ピグー税とピグー補助金は、外部不経済を考慮して課税や補助金によって生産者の行動抑制を促し、行き過ぎた生産量を減少させることによって、GHG排出による将来の被害額(社会的費用)を削減して、社会的余剰を最大化する政策である。

4. GX 政策における社会的余剰

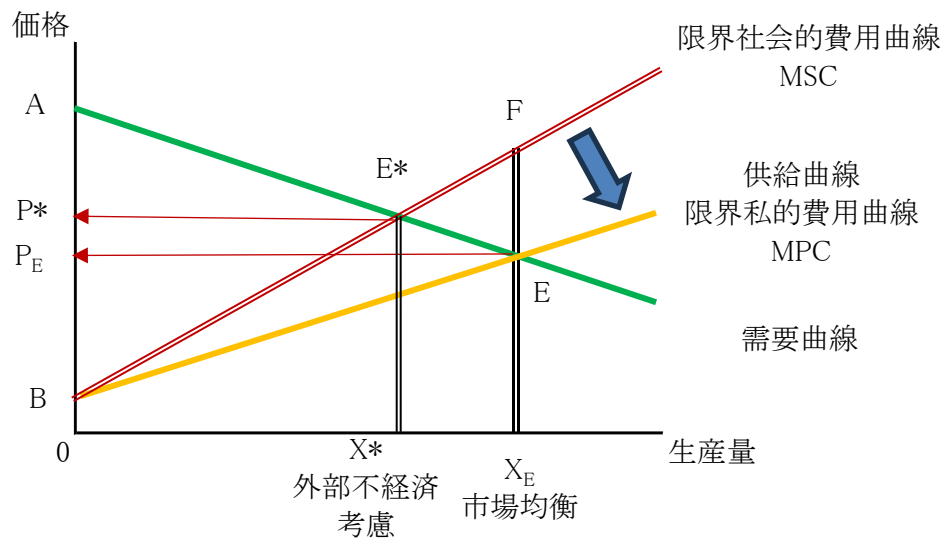
GXは2050年までのカーボン・ニュートラル(脱炭素化)に加えて、我が国の産業競争力強化・経済成長の同時実現を目指すものである。その本質は、生産量を維持したまま脱炭素化を進める点にある。GX政策は、生産量を維持したまま、GX経済移行債による調達資金を原資に、補助金や税制優遇によって脱炭素技術を獲得し、燃料転換や原料転換等によってGHG排出を無くして将来発生する外部不経済そのもの解消することを目指す。

(脱炭素技術獲得時におけるGX政策の社会的余剰分析)

仮に補助金等による脱炭素技術の獲得によって将来発生する外部不経済そのものを解消することができる場合には、図表9のように市場均衡E(生産量 X_E 、価格 P_E)を実現する。すなわち、生産量を減らすことなく、市場均衡を実現できる。

¹⁰ ピグー補助金における生産者の利潤最大化式とピグー税における生産者の利潤最大化式は一致する。詳細は、神取(2014)を参照。

図表 9 : GX 政策における社会的余剰のイメージ : 脱炭素技術獲得時



この時の社会的余剰を分析すると、消費者余剰は $\triangle AEP_E$ 、生産者余剰は $\triangle BEP_E$ になる。脱炭素技術獲得により将来発生する外部不経済は解消される。これらをまとめると、(6)式のように社会的余剰は $\triangle AEB$ になる。

$$\begin{aligned}
 \text{社会的余剰} &= \\
 &\text{消費者余剰}\triangle AEP_E + \text{生産者余剰}\triangle BEP_E \\
 &= \text{社会的余剰}\triangle AEB
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

(6)式をピグー税とピグー補助金の社会的余剰(4)、(5)式と比較すると、脱炭素技術の獲得時には GHG 排出が無くなり、GHG 排出によって将来発生する外部不経済が解消されることにより社会的余剰は改善する。生産量も X_E となる。

また、GX 政策によって①国際的に脱炭素技術の覇権を獲得し、②GX 市場を創設・拡大して生産コストを低減させ、③輸出が増加する場合には、供給曲線の下方シフトによる均衡価格の低下と生産量 X_E を上回る生産の実現によって、社会的余剰は更に改善しよう。

こうした GX 政策における社会的余剰分析においては、先述した三菱重工業における水素混焼・専焼ガスタービンをイメージすると良い。従来の LNG(液化天然ガス)を燃料としたガスタービンは GHG 排出によって外部不経済が将来に生じるが、補助金による水素専焼ガスタービンの社会実装によって、GHG 排出を無くして将来発生する外部不経済を解消することができる。すなわち、三菱重工業はガスタービンの生産量を落とす必要はなく、更に、生産コストの低減と輸出の増加が生じる場合には、生産量の増加を期待できる。

なお、脱炭素技術を獲得した場合であっても、水素価格の高さなどを理由として、企業の費用が上昇し、限界私的費用曲線が上方にシフトする可能性を指摘する向きもある。しかしながら、日本政府の「水素基本戦略」(2023年6月)は、水素供給量の拡大と価格低下を前提とした長期的な導入目標を提示している。具体的には、2030年に水素価格 334 円/kg(30

円/Nm³)で供給量 300 万トン、2050 年には水素価格 222 円/kg (20 円/Nm³)で供給量 2,000 万トンの供給を目標としている。これらの目標は、水素関連技術の普及に伴う経験曲線効果、すなわち累積生産量の増加に伴う単位コストの低下を前提としていると解釈できる。したがって、カーボン・ニュートラルが達成される時点においては、水素価格は現在よりも大幅に低下し、脱炭素技術の導入が限界私的費用曲線を押し上げるとは限らないと考えられる。

この点は石炭の代わりに水素を還元剤として用いる水素還元製鉄などの他の GX 産業にも当てはまる。脱炭素技術の導入初期には設備投資や水素等の燃料調達コストの高さにより生産コストが上昇すると考えられるが、技術の普及やインフラ整備が進むにつれてコスト低減が見込まれる。

(異時点間における資金移動を考慮した GX 政策の社会的余剰分析)

しかしながら、(6)式は脱炭素技術を獲得した最終時点を切り取った静的な部分均衡分析である。GX 政策の社会的余剰を分析するには、(i)初期時点における生産者による脱炭素技術の開発費用と政府における GX 経済移行債発行による生産者への補助金支出と、(ii)中期時点における GX 経済移行債償還のために課税する生産者と政府による資金移動、すなわち異時点間における資金移動を考慮に入れて部分均衡分析をする必要がある。

まず、初期時点においては、①生産者は、脱炭素技術の開発・実装費用を負担するが、GHG 排出を無くすための脱炭素技術開発・実装のための補助金を受け取る。他方、②政府は、GHG 排出を無くすための脱炭素技術開発・実装のための補助金を支出するものの、GX 経済移行債の発行によって同額の資金を調達する。

次に、中期時点では、③政府は、GX 経済移行債を償還するために、2026 年度から本格稼働する排出量取引制度における排出枠のオークション売却収入(特定事業者負担金<2033 年度からオークション実施>)と 2028 年度から導入する化石燃料輸入事業者等への化石燃料賦課金(実質的に炭素税)を償還原資として徴収する¹¹。また、④生産者は排出量取引制度と化石燃料賦課金を負担する。

最後に、やや難解になるが、こうした初期時点と中期時点での生産者と政府の資金移動を考慮に入れると(7)式のようになる。脱炭素技術開発・実装費用と補助金、GX 経済移行債の発行額、GX 経済移行債の償還額、排出量取引制度と化石燃料賦課金における生産者の負担は同額となる。加えて、脱炭素技術の開発・実装費用が起点となって全ての額が変動する。そのため、社会的余剰は△AEB から脱炭素技術開発・実装費用を差し引いたものになる¹²。

¹¹ 「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律」第 8 条を参照。GX 経済移行債を 2050 年迄に償還することも明記している。

¹² 厳密には、GX 経済移行債における利払い費や補助金分配、排出量取引制度等の運用費などの種々のコストが生じる。

$$\begin{aligned}
& \text{社会的余剰} = \\
& \text{消費者余剰} \Delta AEP_E \\
& + \text{生産者余剰} (\Delta BEP_E - \underline{\text{脱炭素技術開発・実装費用}} + \text{脱炭素技術開発の補助金} - \text{排出量取引制度と化石燃料賦課金における負担}) \\
& + \text{政府余剰} (- \text{脱炭素技術開発の補助金支出} + \text{GX 経済移行債発行による資金調達} + \text{排出量取引制度と化石燃料賦課金による税金} - \text{GX 経済移行債償還のための支出}) \\
& = \text{消費者余剰} \Delta AEP_E \\
& + \text{生産者余剰} (\Delta BEP_E - \underline{\text{脱炭素技術開発・実装費用}}) \\
& = \text{社会的余剰} (\Delta AEB - \underline{\text{脱炭素技術開発・実装費用}}) \tag{7}
\end{aligned}$$

(7)式をピグー税とピグー補助金の社会的余剰(4)、(5)式と比較すると、GHG 排出によって将来発生する外部不経済が解消されることにより社会的余剰は改善する一方、脱炭素技術開発・実装費用は社会的余剰を悪化させる¹³。従って、将来発生する外部不経済を解消することによって得られる社会的余剰の改善度合いが、脱炭素技術開発・実装費用を上回る場合には、ピグー税やピグー補助金による社会的余剰を、GX 政策による社会的余剰が上回る事となる。

(GX 政策における留意点)

ただし、GX 政策を成功させるためには、以下のリスクに留意する必要がある。

第一のリスクは、補助金による脱炭素技術開発・実装が成功せず、GHG 排出を実質ゼロ化することが出来ずに将来に外部不経済が発生する場合である。その将来発生する外部不経済の分を社会的余剰から差し引かなければならず、社会的余剰は悪化する。例えば、水素混焼・専焼発電におけるガスタービン開発が成功しない場合には、ガス火力発電による GHG 排出が継続して、気温上昇を抑制できない。

第二のリスクは、脱炭素技術の開発・実装による社会的余剰がその費用を下回る場合である。この場合、GX 政策よりもピグー税やピグー補助金の方が効率的な政策となる。加えて、脱炭素技術への補助金支出が過剰となり、生産者は将来導入される排出量取引制度や化石燃料賦課金によって過剰な負担を負う可能性がある。したがって、GX 政策の有効性は、政府の脱炭素技術に対する選別能力に大きく依存する。

第三のリスクは、排出量取引制度と化石燃料賦課金による政府収入の状況によっては、政府収入が GX 経済移行債償還額(補助金支出額)を下回る可能性があることである。この場合、

$$(\text{排出量取引制度と化石燃料賦課金による政府収入} - \text{GX 経済移行債償還の政府支出}) < 0$$

¹³ 生産者における排出量取引制度と化石燃料賦課金における負担は、生産者の費用をどの程度上方シフトさせるかを部分均衡分析では示すことができないため、本稿では、中期時点における排出量取引制度と化石燃料賦課金における負担後の供給曲線を捨象している。

となって政府余剰は悪化する。そのため、その政府余剰の悪化分を社会的余剰から差し引かなければならないかもしれない(社会的余剰の悪化)。例えば、GX 経済移行債の償還原資となる排出量取引制度において、排出枠価格(炭素価格)が当初想定した水準まで上昇しなければ、排出枠のオークション売却収入が当初想定よりも下振れることなどが考えられる。

最後に、技術スピルオーバーが生じることで、我が国が脱炭素技術を獲得できずに、生産を海外に奪われてしまう(海外の製品を輸入することになる)リスクもある。例えば、水素混焼・専焼ガスタービンにおける技術流出によって、外国企業にガスタービンの世界シェアを奪われてしまう場合には、我が国のガスタービンの生産量が減少することになる。我が国が比較優位のある脱炭素技術の秘匿性を維持する必要がある。

5. 結論

GX 政策は、2050 年までのカーボン・ニュートラルの達成とともに、脱炭素技術の覇権獲得によって輸出主導型の経済成長モデルを再現することを企図した政策である。政府が GX 経済移行債によって資金調達し、先行投資支援することによって、脱炭素技術開発・実装を促して GHG 排出量を削減するとともに、獲得した脱炭素技術を世界に輸出することで更なる経済成長を促すことを目指している。

本稿の貢献は、GX 政策を社会的余剰分析という経済学の枠組みで理論的に説明したことである。特に、補助金による技術開発によって、外部不経済そのものを解消することを図示するとともに、GX 経済移行債による異時点間の資金移動を明示的に組み入れた。

GX 政策の社会的余剰分析の結果をまとめると、図表 10 のようになる。GX 政策が成功すれば、ピグー税とピグー補助金の社会的余剰よりも、GX 政策による社会的余剰の方が大きく(将来の外部不経済の解消がもたらす社会的余剰の改善度合いが、脱炭素技術開発・実装の費用を上回ることが条件)、生産量を維持することもできる。ただし、GX 政策は将来のリスクを取る政策であることから、①脱炭素技術開発・実装が成功しないリスクや②外部不経済を解消することによる社会的余剰の改善度合いを脱炭素技術開発・実装費用が上回り、過剰に補助金を支出するリスク(生産者が将来導入される排出量取引制度及び化石燃料賦課金において過剰な負担を被るリスク)、③排出量取引制度における排出枠のオークション売却収入と化石燃料賦課金(実質的に炭素税)の政府収入が GX 経済移行債の償還額に満たないリスクなどがあることに留意しなければならない。

なお、本稿の分析は、部分均衡分析の枠組みに基づく静学的分析であり、経済成長や所得変化に伴う需要・供給曲線の時間的シフト、更には補助金政策が誘発する脱炭素技術開発・実装の進展による生産構造・費用構造の動学的変化を明示的には扱っていない。そのため、技術進歩が蓄積的に生じる場合の政策効果(経験曲線効果による費用低減、技術の拡散メカニズム等)や、一般均衡的な資源配分調整を通じた相互依存的な波及効果(財相互の代替関係による価格体系の調整等)については、本分析では十分に捉えられていない。これらの点を解明するためには、技術進歩や資本蓄積を生内化した動学的一般均衡モ

デルの構築が必要であろう¹⁴。特に、脱炭素技術の導入初期に、設備投資や水素等の燃料調達コストの高さにより生産コストが上昇すると考えられ、技術の普及やインフラ整備が進むにつれてコスト低減が見込まれることを、明示的にモデルに取り込むことが考えられる。

【参考文献】

有村俊秀、日引聡(2023)『入門 環境経済学 新版 脱炭素時代の課題と最適解』、中公新書

井堀利宏(2013)『財政学 第4版 (新経済学ライブラリ 7)』、新世社

神取道宏(2014)『ミクロ経済学の力』、日本評論社

栗山浩一、馬奈木俊介(2020)『環境経済学をつかむ第4版』、有斐閣

Nakada, Minoru. (2004) "Does environmental policy necessarily discourage growth?" *Journal of Economics* 81.3, 249-275.

¹⁴ Nakada (2004) は、垂直的イノベーションを伴う内生的成長モデルに汚染を内在化し、環境税が中間財企業の利潤構造を通じて研究開発 (R&D) の収益性を高める可能性を理論的な動学的一般均衡モデルで示した。

図表 10 : GX 政策における社会的余剰分析のまとめ

	消費者余剰 (+)	生産者余剰 (+)	政府収入 (+)	政府支出 (-)	外部不経済 (-)	社会的余剰	生産量
政策対応なし	$\triangle AEP_E$	$\triangle BEP_E$	—	—	$\triangle BEF$	$\triangle AE^*B - \triangle E^*EF$	X_E
ピグー税	$\triangle AE^*P^*$	$\triangle P_2E_2B$	$\square P^*E^*E_2P_2$	—	$\triangle BE^*E_2$	$\triangle AE^*B$	X^*
ピグー補助金	$\triangle AE^*P^*$	$\square P^*E^*E_2B + \square E^*SEE_2$	—	$\square E^*SEE_2$	$\triangle BE^*E_2$	$\triangle AE^*B$	X^*

		消費者余剰 (+)	生産者余剰 (+)	政府収入 (+)	政府支出 (-)	外部不経済 (-)	社会的余剰	生産量
		ΔAEP_E	ΔBEP_E	—	—	—		
動学的な GX 政策 GX 経済 移行債発行による 補助金支出	初期時点	—	$\frac{1}{2} \times$ 脱炭素技術 開発・実装費用 $+$ 脱炭素技術 開発のための補 助金	GX 経済移行債 発行による資金 調達	補助金支出	—	$\Delta AEB - \frac{1}{2} \times$ 脱 炭素技術開発・ 実装費用	X_E
	中期時点	—	$-$ 排出量取引 制度と化石燃料 賦課金における 負担	排出量取引制 度と化石燃料賦 課金による負担 政府税収	GX 経済移行債 償還	—		

地球と産業の未来を、
ともに拓く。



「GX Future Lab」は、GX 推進機構メンバーの個人としての調査研究成果をとりまとめた資料です。学界、研究機関等の関係する方々から幅広くコメントを頂き、今後の研究に役立つことを意図して発表しております。

レポートは、すべて著者個人の責任で執筆されており、GX 推進機構の見解を示すものではありません。