

京都大学大学院経済学研究科
再生可能エネルギー経済学講座
ディスカッションペーパー

石炭火力発電と原発早期フェーズアウトの 2050 年までの日本経済と電源構成、
そして二酸化炭素排出影響分析

— E3ME マクロ計量経済モデルを用いた分析 —

**Analysis on impacts of Japanese economy, power mix and CO₂ emission by
early phasing-out of coal fired and nuclear power plants.**

-Analysis using E3ME global macro econometric model-



2020 年 9 月

September 2020

名城大学経済学部産業社会学科 教授 **李秀澈**

Soocheol Lee, Professor, Faculty of Economics, Meijo University

追手門学院大学経済学部 講師 **何彦旻**

Yanmin He, Lecturer, Faculty of Economic, Otemon Gakuin University

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 准教授 **昔宣希**

Sunhee Suk, Associate Professor, Graduate School of Fisheries and Environmental
Sciences, Nagasaki University

京都大学大学院地球環境学堂/経済学研究科 教授 **諸富徹**

Toru Morotomi, Professor, Graduate School of Economics & Graduate School of
Global Environmental Studies, Kyoto University

気候ネットワーク 理事 **平田仁子**

Klmiko Hirata, Director, Kiko Network

Unnada Chewpreecha, Principle Modeler, Cambridge Econometrics

Hector Pollitt, Director, Cambridge Econometrics

記：本稿は、京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座と
気候ネットワークの共同研究の成果である。

(2020 年 9 月 11 日受理)



石炭火力発電と原発早期フェーズアウトの 2050 年までの日本経済と電源構成、 そして二酸化炭素排出影響分析

— E3ME マクロ計量経済モデルを用いた分析 —

Analysis on impacts of Japanese economy, power mix and CO₂ emission by early phasing-out of coal fired and nuclear power plants.

-Analysis using E3ME global macro econometric model-

名城大学経済学部産業社会学科 教授 李秀澈

追手門学院大学経済学部 講師 何彦旻

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 准教授 昔宣希

京都大学大学院地球環境学堂/経済学研究科 教授 諸富徹

気候ネットワーク 理事 平田仁子

Unnada Chewpreecha, Principle Modeler, Cambridge Econometrics

Hector Pollitt, Director, Cambridge Econometrics

Abstract:

This paper measures quantitative answers using a E3ME macro econometric model for the question “What kinds of impacts do early phasing-out of coal fired power and nuclear power plants on Japanese economy, power generation mix and CO₂ emissions in 2050?” Model simulation results show almost no negative impacts on the economy in either scenario, chiefly due to the assumed ongoing reduction in cost of renewable energy generation, as well as lack of burden on the economy in the event it replaces existing coal and nuclear power plants. Total estimated reduction in CO₂ emissions in 2050 associated with phasing out coal-fired power plants is 50% compared to 2017. But this reduction falls far short of the level of Japanese 80% GHG reduction target in 2050. This is believed to be caused by nuclear and coal fired power being replaced by LNG fired power rather than renewable energy.

Keywords: coal-fired power and nuclear power early phase-out, E3ME model, power generation mix, Japanese economic impact, carbon dioxide emissions

要旨

本稿では、「石炭火力・原発の早期フェーズアウトは、日本経済と電源構成、そして二酸化炭素排出にどのような影響を与えるのか」という「問い」に対して、E3ME モデルを用いて定量的な回答を求めた。本稿では、原発の場合、稼働年数 40 年到達した古い原発からフェーズアウトし、石炭火力は発電効率の低い順から、2030 年までフェーズアウトと 2040 年までフェーズアウトの 2 つのシナリオを設定した。そしてこのシナリオが実現されたときに、2050 年までの日本経済（GDP、雇用など）と電源構成、そして発電部門の二酸化炭素排出に与える影響について、E3ME モデルにより推定を行った。

その結果、いずれのシナリオでも経済と雇用に悪い影響は殆ど与えないことが確認された。その要因として、再生可能エネルギー発電のコストが持続的に下落し、それが既存の石炭火力と原発を代替しても、経済への負担にはならないという事情を挙げることができる。ただし、原発と石炭火力の代替電源として LNG 発電の割合が再生可能エネルギー発電の割合を大きく上回ることになり、発電部門における 2050 年の二酸化炭素排出量は、日本の 80%削減目標に大きく及ばない 50%ほど削減(2017 年対比)に留まることも明らかになった。

キーワード: 石炭火力・原発早期フェーズアウト、E3ME マクロ計量モデル、電源構成、日本経済影響

1. はじめに

今世紀中、産業革命前からの世界の平均気温上昇を「2度未満」に抑える、加えて平均気温上昇「1.5度未満」を目指すことは、気候変動抑制に関するパリ協定（第2条1項）で合意されたように、全世界が力を合わせて到達すべき共通の目標である。そのため日本は、2030年に温室効果ガス排出の26%削減（2013年度比）を約束しており、2050年には80%削減目標（基準年なし）を打ち出している。特に温室効果ガスの2050年80%削減は、現在の削減技術や選択可能な政策手段を考えると、道のりは決してやさしくないといえる。日本の一次エネルギー供給に占める化石エネルギーの割合は85.5%（経済産業省、2019年）を占めており、この化石エネルギーを80%近く削減することは相当な経済的負担を強いられると考えられるからである。

日本は、2018年の最終エネルギー消費の28%を電力に依存している。またこの電力を生産するための二酸化炭素排出量は、2018年に4.6億トンであり、これは日本全体のエネルギー起源二酸化炭素排出量の約43%を占めている（環境省、2019）。発電部門は、家庭やオフィスだけでなく、産業にも重要なエネルギー供給源になっている。そして発電部門の脱炭素化は、他の部門より政策的にも技術的にも進めやすい部門でもある。従って経済全体の持続可能な脱炭素化には、まず発電部門の脱炭素化が欠かせないと言える。

発電部門の電源は、大きく、石炭火力・LNG火力・石油火力など化石エネルギーによる発電、原子力発電（以下、原発）、そして再生可能エネルギーによる発電（以下、再エネ発電）に分けることができる。このうち石炭火力発電（以下、石炭火力）は、発電部門でもっとも二酸化炭素排出係数の高い電源であり、発電部門の脱炭素化にはまず脱石炭火力が欠かせない状況にある。日本はまだ発電量に占める石炭火力の割合は約32%（経済産業省、2019年）を占めているが、世界は2017年に脱石炭同盟（PPCA：Powering Past Coal Alliance）が結成される等、既に脱石炭火力の方向へ動いている。

一方で、原発は、発電部門の低炭素化には貢献する電源ではあるが、放射能リスクがあり、発電後に排出される使用済み核燃料は数万年も残存する放射性物質を含んでいるので、持続可能なエネルギー源とは言えない。したがって発電部門の持続可能な脱炭素化を進めるためには、両電源をフェーズアウトする必要がある。ただし、日本の発電部門において、両電源ともにベースロード電源として位置付けられており、脱石炭火力や脱原発は経済への悪影響が大きいということで、政府を中心に両電源による発電を進めてきた。

そこで本論文では、原発は新規建設を行わずに減価償却期限が到達したのから順次廃止し、そして石炭火力は発電効率の低いものから2030年、そして2040年にフェーズアウトした時に、経済（GDP、雇用などマクロ経済）と電源構成、そして環境（二酸化炭素排出）に与える影響について、E3MEマクロ計量経済モデル（Energy-Economy-



Environment Macro Econometrics) (以下、E3ME モデル)により推定を行う¹。すなわち計量モデルを用いて、両電源のフェーズアウトは、日本の経済に耐えがたい悪影響をもたらすのか、それとも無視できるほどの影響に留まるのか、もしくは経済に良い影響をもたらす可能性もあるのかを検証したい。E3ME モデルは、EU のエネルギー・気候変動政策策定と制度設計に重用される国際的に認知されているシミュレーションモデルであり、モデルの結果は日本のエネルギー・電源政策にも示唆できると思われる。

以下、第2,3節では世界の石炭火力と原発の状況を概観し、両電源のフェーズアウトが主要先進国を中心とした世界の流れに沿うものであることを示す。第4,5節では、E3ME モデルの概要について説明の後、モデルシミュレーションのためのベースラインと、政策シナリオの設定方法について論じる。第5節はモデルシミュレーションの結果を解説し、最後の第6節は本研究のまとめと今後の課題について触れる。

2. 世界の石炭火力発電状況

世界は、先進国を中心に確かに脱石炭火力の流れにある。2017年の気候変動枠組条約第23回締約国会議(COP23)で、イギリス政府とカナダ政府のイニシアティブにより脱石炭同盟が発足した。脱石炭同盟には、2030年までに石炭火力を停止すること等を宣言する国・地方自治体・企業が参加している。2018年4月の28カ国政府、8地方政府、24企業・組織から、2020年6月末には33カ国政府、28地方政府、43企業・組織へと加盟が拡大してきた(脱石炭同盟(PPCA)ウェブサイト)。

2019年9月には、先進国の中では石炭火力に最も大きく依存していたドイツ(2018年に総発電に占める石炭火力の割合38%)と、中東欧では初めてとなるスロバキアとが脱石炭同盟に加盟した。OECD諸国・EU28カ国のうち58%が2030年に石炭火力フェーズアウトを達成すると見られている(Leo et al., 2020)。2015年に世界銀行グループが石炭火力建設への金融支援を原則行わない方針を表明したが、それ以降石炭・化石燃料関連事業からのダイベストメント(投資撤回)の動きも世界的に広がっている(自然エネルギー財団(2018))。

こうした流れの中で日本は石炭火力に拘ることで、2019年の国連気候変動枠組み条約第25回締約国会議(COP25)開催期間中、国際的環境NGO「気候行動ネットワーク」からブラジルと一緒に「化石賞」という皮肉な賞を授与された。実際日本の第5次エネルギー基本計画(2018年発表)上で、総発電量に占める石炭火力の割合は2017年32.7%から2030年には26%へ減るものの、依然と高い割合を占めることになって

¹ 李ほか(2020b)では、石炭火力のフェーズアウトシナリオを単純化し、2015年から2030年までに2015年の容量を維持、そして2030年から2050年まで直線的にフェーズアウトする1つのシナリオだけ採用した。また李ほか(2020b)では、ベースラインシナリオもIEEJの2016年版のOUTLOOKを採用し(今回は201年版を採用)、さらにE3MEモデルも2017年バージョンを用いてシミュレーションを行っていた(今回は2020年バージョンを採用)。

いる²。ドイツ・アメリカでも石炭火力割合が減少しているため、日本の石炭火力の割合は、主要7カ国(G7)の中で最も高い(Roberts, L. et al.(2020))。日本では石炭火力がなかなか廃止できない理由は、石炭火力の経済性にあるといえる。実際、経済産業省総合エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ(2015)によると、石炭火力の発電コストは12.3円/kWhであり、原発の10.1円以上/kWhに次ぐ安い電源になっている。ただしこれは、福島第一発電所事故後に行われた「コスト等検証委員会」の試算時(2011年)の9.5円/kWhを大きく上回っており、今後カーボンプライシングや環境規制の強化傾向によりさらに高くなる可能性がある。

大規模火力発電所については、建設期間と設備稼働期間が長いため、現時点での発電コストではなく、少なくとも10~20年先の発電コストを考えなければならない。成熟技術である石炭火力は、再エネ発電とは異なり、技術革新による追加のコストダウンはあまり期待できない。自然エネルギー財団(2019)の推計によると2018年の太陽光発電の発電コストは15.3円/kWhであり、2030年には5.2円/kWhまで下がることになる。世界的エネルギーコンサルティング機関であるBNEF(Bloomberg New Energy Finance)(2018)によれば、日本における石炭火力と太陽光発電の発電コストは、2025年ごろに一致するという。従来電源と再エネ発電の発電コストが一致するいわゆるグリッドパリティは、多数の国ではすでに達成されており(BNEF, 2019)、日本でもさほど遠い将来の話ではない。新規の石炭火力発電が、「座礁資産」になることは時間の問題といえる³。

3. 世界の原子力発電と発電コスト状況

中国やロシアなど一部国を除けば、原発においても、世界は漸減・縮小の流れにある。ドイツ、イタリア、スイスは既に脱原発を宣言しており、原発の電源割合が70%を超えているフランスも2035年に50%まで縮小を宣言している。原発推進国のイギリスでは、ウェールズ北部アングルシー島で進められてきたウィルフォー原発建設計画の凍結、サマセット州で建設中であるヒンクリーポイントC原発の建設コスト急増により、推進動力が失われつつある⁴。世界の原発保有国31カ国の原発総保有基数は442基、建設中は42基、計画中は99基であるが、建設中の42基の中で、中国、ロシア、インドの3カ国の割合は52%であり、計画中の99基の中で、この3カ国の割合は92%も占めている(日本原子力産業協会, 2020)。

日本は、第5次エネルギー基本計画において2030年の原発割合を20~22%と定め

² ただし、まだ非公式ではあるが、日本の経済産業省は、約140ある国内石炭火力発電所の中で、2030年までに効率の悪い100の石炭火力を廃止することを検討しているという(日本経済新聞2020年7月3日報道)。

³ 座礁資産(Stranded Assets)は、英国の金融シンクタンクである「カーボントラッカー」が2011年にはじめて提唱した概念であり、「市場環境や社会環境が激変することにより、投資額を回収できる見通しが立たなくなってしまった資産」を指している。

⁴ この状況について詳しくは、李ほか(2020a)を参照。



ているが、新規建設がない限り、2050年ごろには原発ゼロの状態となる。福島第一原発事故以来、世界的な安全規制強化傾向により原発の新規建設コストは過去より倍増しており(1基当たり約4000億円から1兆円以上)、日本の東芝、日立製作所、三菱重工業や世界屈指の原発建設事業者であったフランスのアレバ(Areva)の海外原発建設の失敗の例を挙げなくても、原発はもはや経済的には割に合わない電源となっている⁵(李ほか, 2020a)。

原発の発電コストは、政府関係組織の試算でも持続的に上昇している。新規建設費用を勘案した最近の試算(例えば日本経済センターが2017年に公表した試算14.7円/kWhと原子力市民委員会が2018年に公表した試算17.9円/kWh)では、石炭火力はもとよりLNG火力よりも高くなっている。原子力発電も技術革新によるコスト低下があまり期待できない成熟技術であり、世界的な安全規制強化傾向により今後もコスト上昇が予想される中、少なくとも原子力のエネルギー源としての経済面での優位性はなくなったと思われる。

BNEF(2018)によれば、2017年時点では石炭火力発電コストがすべての再エネ発電コストより安くなっているが、2025年あたりからは太陽光発電コストと一致し、その後は太陽光発電コストより高くなることが予測されている。2040年では陸上風力発電コストと一致することが予測されている。石炭火力は技術革新によるコストダウンがほとんど期待できず、カーボンプライシングなど化石エネルギー規制制度が強化されれば、石炭火力発電コストと太陽光や風力など再エネ発電コストと一致する時期がより早められると思われる。

4. E3MEモデルの概要及び石炭火力・原発フェーズアウトの政策シナリオ設定

4.1. E3MEモデルの概要

筆者らは、石炭火力と原発のフェーズアウトが長期的に日本の経済と電源構成、そして二酸化炭素排出量にどのような影響を与えるかという問いに答えるために、イギリスのケンブリッジ・エコノメトリックス研究所(CE: Cambridge Econometrics)が開発・運営しているE3MEモデルを活用した。同モデルは、エネルギー環境政策の経済・環境影響分析に優れた機能を有しており、既述のようにEuropean Commissionとイギリス政府のエネルギー・気候変動政策・制度設計に重用されている。従来、同モデル

⁵ 世界トップの原発建設事業者であったフランスのアレバ(Areva)は、フィンランドのオルキルオト(Olkiluoto)やフランスのフラマンビル(Flamanville)など複数の原発建設に巨額の損失を出したことにより、経営破綻寸前まで追い込まれ、国営のEDF(フランス電力公社)の支援などにより2018年1月にオラノ(Orano)へ改変されている。国内外の原発建設事業による巨額損失事例については、李ほか(2020a)を参照。

の主な分析対象国は EU 諸国であったが、「東アジア環境政策研究会」と CE との共同モデル改訂作業により、日本・中国・韓国・台湾など主要アジア諸国に対しても EU 諸国と同様な分析が可能となった(詳しくは、Lee, S.et al.(2015)、Lee, S.et al.(2019)を参照)。

E3MEモデルは、分析対象国の詳細な経済・産業分類がなされた国民所得勘定と産業連関表を用いて構築されている。さらに、計量経済モデルにリンクされたエネルギーサブモデルによって、エネルギー需要およびCO₂などの環境負荷物質排出量を算出する。労働市場も詳細にカバーしており、失業に関わる推定も可能である。E3MEモデルの方程式体系には、国別・部門別に、GDPの構成要素(消費、投資、国際貿易)、各種価格、エネルギー需要、主要鉱物資源需要を求める方程式が含まれている。

E3ME モデルは、日本を含む 59 カ国・地域のマクロ経済部門(投資、消費、貿易、雇用、物価、政府部門)と 42 産業(産業連関表が E3ME モデルに接続されている)、12 種の燃料(石炭、石油、電力、ガス、熱など)、24 の電源(原発、石炭、ガス、石油など 7 つの従来型電源、太陽光、風力など 12 の再エネ電源を含む)で構成された大規模連立方程式体系となっている。各種のエネルギー環境政策変化をモデルが内生的に解くことで、2050 年までに経済と産業、二酸化炭素排出に与える影響に関する定量分析が可能となる。さらにこのモデルは、電源、産業、交通などの部門で起きる様々な低炭素技術革新効果(それによる低炭素技術のコストダウン効果)がボトムアップで内生的に決定される最先端の FTT(Future Technology Transformation)サブモデルを装着している。

エネルギー環境政策の効果分析には、一般均衡(CGE)モデルが広く使われている。CGE モデルは低炭素化政策のコスト側面が強調され、政策の経済へのネガティブな影響が出やすいが、E3ME モデルは、低炭素政策の技術革新効果(それによるコストダウン)と新規投資(有効需要)がより経済を刺激するメカニズムを持っている。E3ME モデルのこうしたメカニズムは、CGE モデルではあまり見られない特色といえる⁶。

4.2. 石炭火力・原発フェーズアウトの政策シナリオ設定

4.2.1. ベースラインシナリオ

本研究の主な目的は、E3ME モデルにより日本で石炭火力と原発がフェーズアウトされたときの経済と二酸化炭素排出などに与える影響を 2050 年まで推定することである。そのためには、まずこれらのフェーズアウトシナリオが実際の政策シナリオとして選択された場合、経済と環境に与える影響の度合いを測るための比較となる基準シナリオ(以下、ベースラインシナリオ)の設定が必要である。ベースラインシナリオは、通常、現行の政策以外の特別な政策が実施されない場合の経済、エネルギー、

⁶ E3ME モデルについて詳しくは、www.e3me.comを参照。



環境などの推移を表すシナリオといえる。

本研究でのベースラインシナリオは、日本エネルギー経済研究所(2019)刊行の「IEEJ OUTLOOK 2020」のレファレンスケースを採用した。このレファレンスケースは、日本が現行以上の特別措置を行われない場合の経済(GDPなど)、環境(二酸化炭素排出量など)、そしてエネルギー関連指標の2050年までの推移を示している。IEEJ OUTLOOK2020(以下、OUTLOOK2020)レファレンスケース上のGDPは、2017年から年平均2%成長し、2050年には約7.8兆米ドル(2010年価格)となり、最終エネルギー消費は2050年に2017年より23.5%削減する224百万toe、発電量は2050年に2017年より0.8%微増する1069TWh、そしてエネルギー起源二酸化炭素排出量は2050年に2017年より33.9%削減する742百万tと予測されている(表1)。そして電源構成の場合、石炭火力は2017年に33%から2050年には24%へ縮小、LNG火力は2017年に38%から2050年に27%縮小する一方で、原発は2017年に3.1%から2050年に13%へ拡大、そして再エネ発電は2017年に19.3%から36%へ伸びることが予想されている。

表1 OUTLOOK2020 レファレンスケース上の主要指標の見通し

	2017年	2030年	2040年	2050年
GDP(10億US\$,2010年価格)	6158	6762	7291	7787
最終エネルギー消費(百万toe)	293	266	245	224
発電量(TWh)	1061	1072	1077	1069
二酸化炭素排出量(百万CO ₂ t)	1122	953	861	742

出所：日本エネルギー経済研究所(2019)

4.2.2. 石炭火力のフェーズアウトシナリオ

政策シナリオにおいては、まず石炭火力フェーズアウトシナリオの場合、2030年フェーズアウトと2040年フェーズアウトの2つのシナリオを設定した⁷。

石炭火力2030年フェーズアウトシナリオにおいては、パリ協定の目標と整合させるために、2020年6月時点での151基の石炭火力発電所を、稼働40年以上が経過する亜臨界の石炭火力発電所は2021年度に廃止、亜臨界の残りの石炭火力発電所の全てを2023年度に廃止、そして、2025年度には超臨界の石炭火力発電所を全廃し、2030年には超々臨界および石炭ガス化複合発電(IGCC)を併せた残る発電所を全廃するこ

⁷ 2030年フェーズアウトシナリオは、「気候ネットワーク」の2030年石炭火力廃止シナリオを少し緩めた(一部非効率的石炭火力の廃止時期を少し遅らせた)ものであり、2040年フェーズアウトシナリオは京都大学再エネ講座チームによって「気候ネットワーク」の2030年廃止シナリオを基に一部石炭火力の廃止時期を2040年までにさらに遅らせたシナリオとして設定された。石炭火力2030年、そして2040年フェーズアウトシナリオ設定の根拠として、下記が挙げられる。すなわち、パリ協定の目標である気温上昇を1.5~2°C未満に抑制するためには、世界全体の温室効果ガスを2050年~今世紀後半にネットゼロを達成する必要があり、それと整合的に石炭火力発電を削減するためには、石炭火力発電の利用は、先進国は2030年に全廃、世界全体でも2040年には全廃をする必要があることが示されている(Climote Analytics, 2019)。

とにした(表 2)⁸。また、2021 年度、2022 年度は年 350 万 kW 未満と緩やかに廃止を進めることとし、2023 年度以降の全廃は 500 万 kW 超としている。

表 2 2030 年石炭火力フェーズアウトのスケジュール

技術と稼働年	全廃年	全廃基数
亜臨界 (Sub-C) 40 年以上稼働	2021	30
亜臨界 (Sub-C) 40 年未満	2023	59
超臨界 (SC)	2025	21
超々臨界 (USC)/石炭ガス化複合 (IGCC)	2030	41

注：気候ネットワークの石炭火力フェーズアウトスケジュールによる。

次に、2040 年石炭火力発電フェーズアウトシナリオは、亜臨界は 2025 年度、超臨界は 2027 年度末までに廃止し、2030 年度までに現状の 3 分の 1 の設備利用率まで低下させる。その上で、新規の石炭火力発電所（現在建設中の USC/IGCC）については、稼働年を最長 15 年とし、2040 年までにフェーズアウトするシナリオである(表 3)。また、2020 年度と 2021 年度の廃止分は、200 万 kW 以下に止め、最初は緩やかに全廃を進めることとしている。以上の 2030,2040 年石炭火力のフェーズアウトシナリオは、図 1 に示されている。

表 3 2040 年石炭火力フェーズアウトのスケジュール

技術と稼働年	全廃年	全廃基数
亜臨界 (Sub-C) 40 年以上稼働	2022	30
亜臨界 (Sub-C) 40 年未満	2025	59
超臨界 (SC)	2027	21
超々臨界 (USC)/石炭ガス化複合 (IGCC)	2039	41

注：気候ネットワークの石炭火力 2030 年フェーズアウトスケジュールを参考とし、フェーズアウト時期を 2040 年まで遅らせたスケジュールである。

⁸2020 年 6 月現在において把握される既存の石炭火力発電所(3 万 kW 以上、自家発電を含む)は、151 基、5564.0 万 kW となる。このうち、亜臨界圧(Sub-C)は 1205.2 万 kW、超臨界圧は 1346.7 万 kW、超々臨界圧は 3012.1 万 kW である。また 2030 年石炭火力フェーズアウトの考え方について詳しくは、気候ネットワーク(2018)を参照。

(単位：GW)

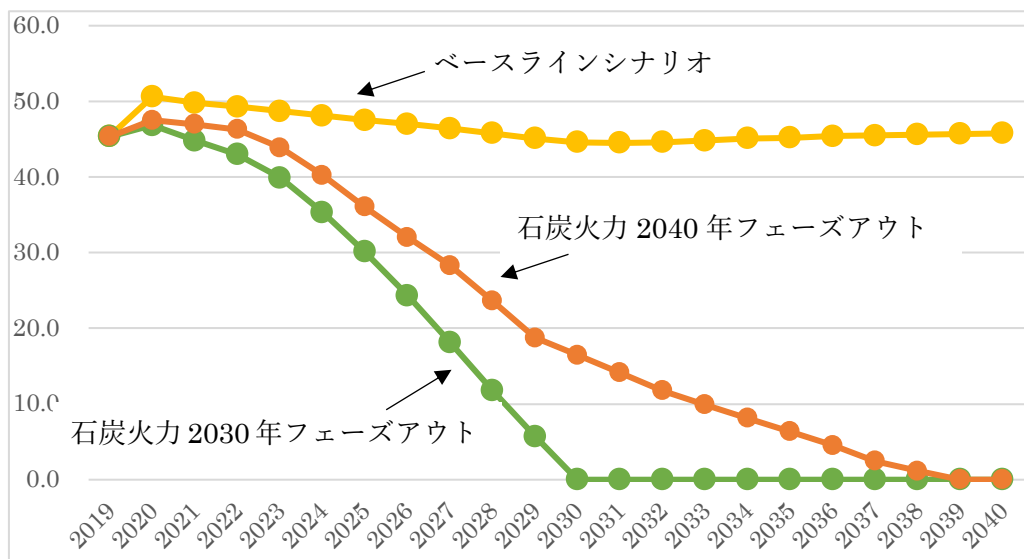


図1 石炭火力の2030年、2040年フェーズアウトシナリオ

出所：筆者らの石炭火力フェーズアウトスケジュールによる。

4.2.3. 原発のフェーズアウトシナリオ

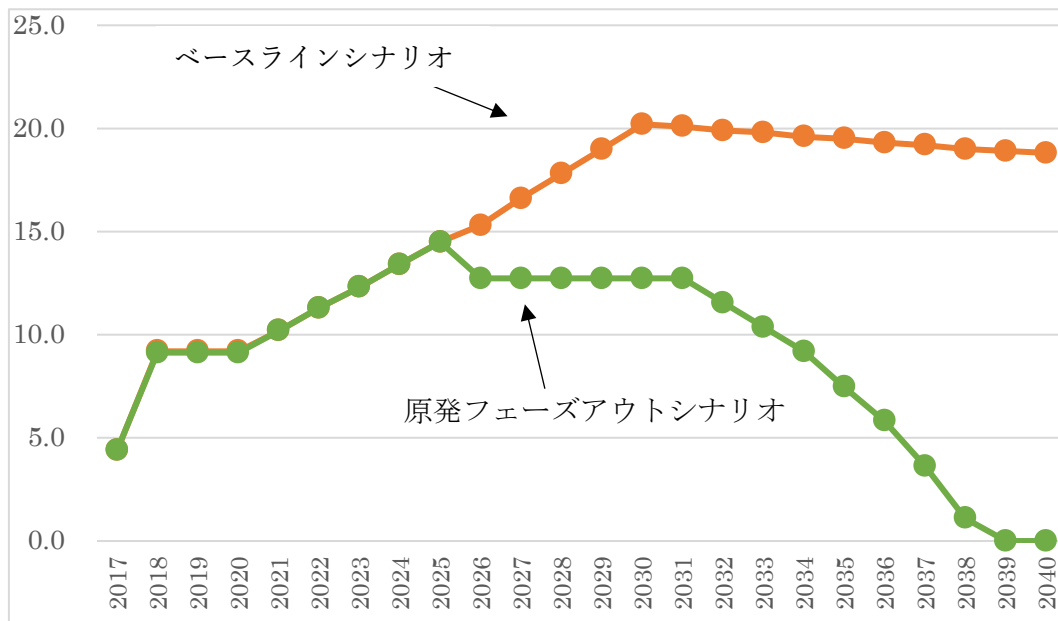
2020年6月末現在、日本の原発の中で稼働可能な最大数の原子炉は36基である。福島原発事故の影響により24基は廃炉が決まっている。稼働可能な36基のうち、原子力規制委員会から稼働許可が出てから現在稼働中の原発は9基である（うち3基は定期点検や運転差し止めなどにより停止中）。そして原子力規制委員会により、原子炉設置変更許可がなされた炉が7基⁹、新規規制基準への適合性審査中炉が11基、適合性審査未申請の炉が9基となっている¹⁰。

本研究での原発フェーズアウトシナリオは、現在稼働中の9基、そして原子炉設置変更許可がなされた7基、合計16基が2025年まで稼働することと想定する。その際に2020年から2025年までにどの原発がいつ稼働するかについては定かではないために、9基から16基までに比例的に増加することと仮定する。2025年からは、新規原発の稼働は無しとし、稼働年数40年に達する原発からシャットダウンさせる。ただし、すでに原子力規制委員会から60年運転が認められている4基（関西電力高浜原発1、2号機（福井県）、同美浜原発3号機、東海第二原発）については60年稼働を認める。以上の原発2040年フェーズアウトシナリオは、図2に示されている。

⁹ この審査によって許可を受けた事業者は、運転開始までには、設計の詳細について「工事計画認可」を申請し、原子力規制委員会に認可された後、工事を開始、また、運転管理など保安に関する基本的な事項を定めた「保安規定(変更)認可」についても事業者は申請を行い、原子力規制委員会の認可を得る必要がある。

¹⁰ 日本の原発再稼働状況については、<http://www.genanshin.jp/db/fm/plantstatusN.php?x=d>を参照。

(単位：GW)


図2 原子力発電のフェーズアウトシナリオ

注：著者らの原発フェーズアウトスケジュールによる。

5. 石炭火力・原発フェーズアウトの長期経済・環境影響

5.1. 経済への影響

本研究では、以上のような原発の2040年フェーズアウトを条件に、石炭火力の2030年フェーズアウトと2040年フェーズアウトシナリオの2050年までの経済と電源構成、そして発電部門の二酸化炭素排出に与える影響に関するシミュレーションを行った。まず、経済に与える影響に関するシミュレーションの結果は、図3と表4に詳細にまとめられている。

GDPへの影響の場合、一般の予想とは異なり、石炭火力フェーズアウトシナリオは、2020年～2030年までには、ベースラインシナリオに比べて0%～0.3%のプラス影響が表れた。しかも、石炭火力の2030年フェーズアウトの方が2040年フェーズアウトよりも、同期間中にGDPが概ね0.1%上回る結果となった。これは、同期間中に石炭と原発のフェーズアウトを代替する再エネ発電とガス発電への投資が進み、これらの投資が有効需要として経済にプラス効果を与えた結果と解釈できる（表4の投資部門ベースラインシナリオ対比増加率1.2%）。そして、石炭火力のフェーズアウトによる発電コストの上昇は、2030年フェーズアウトシナリオは最大6.5%、2040年フェーズアウトシナリオは最大5.5%上昇に留まり（それによる消費者物価上昇率は0.2%に留まり）、経済への負担にはあまりならなかったことにも一因があるといえる（図4）。すなわち、同期間中のGDPへのプラス効果は、石炭火力のフェーズアウトによ



る投資効果が発電コスト上昇のマイナス効果を上回った結果であると判断される。

そして2030年以降の場合、石炭火力のフェーズアウトシナリオのGDPへの影響は、2030年～2040年間はベースラインシナリオに比べて0.0%～0.1%のプラス効果が続くが、2040年～2050年間は0.0%～0.2%マイナス効果が表れた。2040年以降GDPへのマイナス影響は、同期間中、ガス発電と再エネ発電への投資が一段落する中で、主にガス発電増加によるLNG輸入増加に起因する¹¹。ただし発電コストは2030年頃5.5%～6.5%上昇のピークに達した後、再エネ発電のコストダウンの影響により、2040年代以降には2～3%台の上昇に抑えられており、全体的に石炭火力のフェーズアウトの経済への悪影響は殆ど見られなかった結果となった。また発電コスト上昇の消費者物価への影響も最大0.2%上昇に留まることが予測された（表4）。

石炭火力フェーズアウトの2020年～2050年全体の期間のGDP損得を考える場合、GDPへのプラス影響（期間中総利得：図6で0%上の面積換算値）がGDPへのマイナス影響（期間中総損失：図6で0%下の面積換算値）を上回る結果となった。雇用の場合も、石炭火力フェーズアウトシナリオでは、再エネ発電などの投資需要により微増ながら0.1～0.2%増加が予想されており、それ以降全期間、全シナリオにおいて雇用に悪影響はないことが予想されている。

(単位：%、ベースラインシナリオからの乖離)

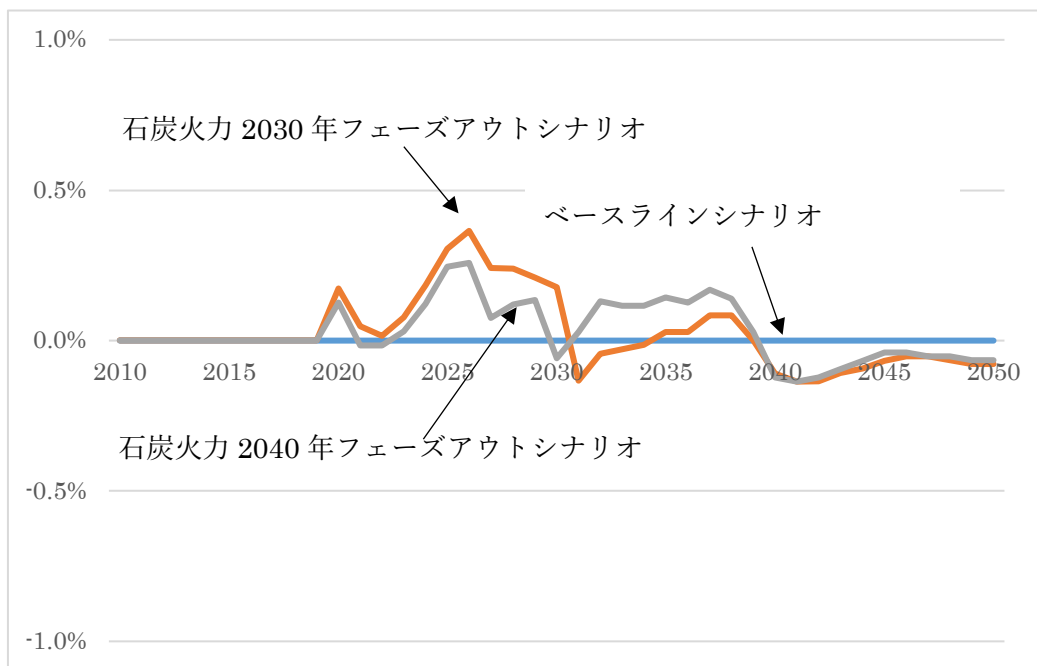


図3 石炭火力2030年フェーズアウト(S1)及び2040年フェーズアウト(S2)のGDP影響

出所：本研究のE3MEモデルシミュレーションによる。

¹¹ 本研究では、石炭火力と原発のフェーズアウトシナリオといった規制政策だけ設定されており、例えば再エネ発電が初期に政策的に支えられるシナリオが設定されれば、このGDPへのマイナス影響も消去されると思われる。

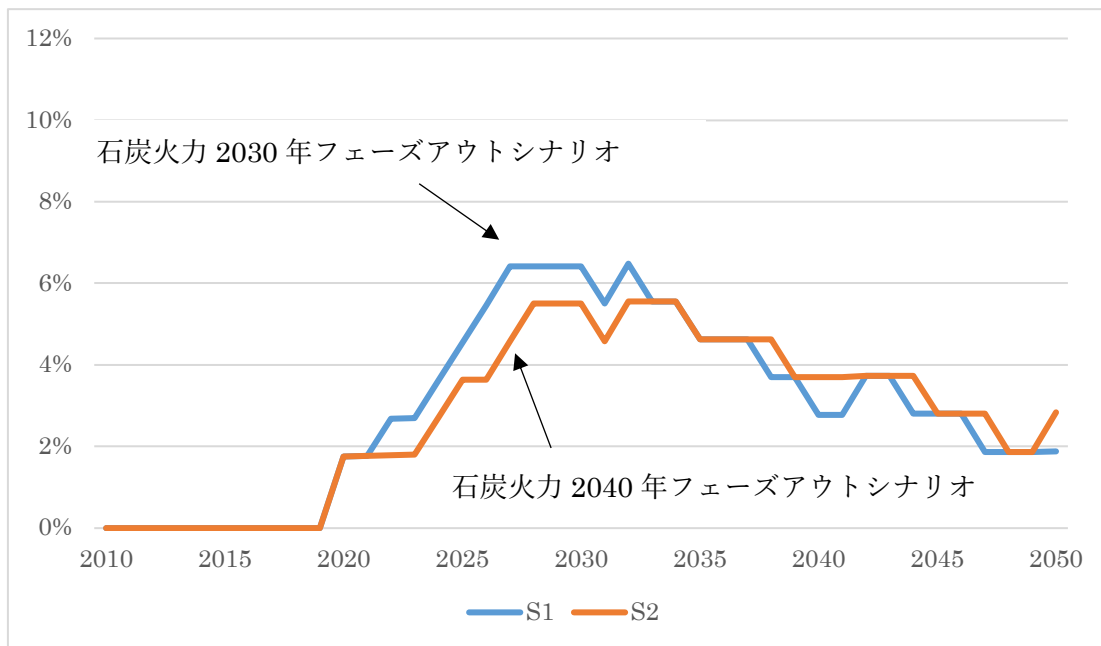
表 4 石炭火力・原発フェーズアウトの GDP 影響

(単位：%、ベースラインシナリオからの乖離)

	2030 年		2040 年		2050 年	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
GDP	0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
消費	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
投資	1.1	0.1	0	-0.1	0.0	0.0
輸出	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0
輸入	1.2	0.7	1.2	1.2	1.1	1.1
雇用	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
消費者物価	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
発電コスト	6.4	5.5	2.8	3.7	1.9	2.8

出所：本研究の E3ME モデルシミュレーションによる。

(単位：%、ベースラインシナリオからの乖離)


図 4 石炭火力 2030 年フェーズアウト (S1) と 2040 年フェーズアウト (S2) の電源コストへの影響

出所：本研究の E3ME モデルシミュレーションによる。

結論的にいうと、いずれの石炭火力のフェーズアウトシナリオでも GDP や雇用など経済に悪影響は殆どないことが判明された。その要因として、上述のように特に石炭火力のフェーズアウト期間中には、石炭火力を代替するための再エネ発電関連の投資需要増加（有効需要として）が経済に良い刺激を与えること、そして再エネ発



電のコストが持続的に下落し、石炭火力と原発がフェーズアウトされても、経済へのコスト負担にはあまりならないということが挙げられる。

一方で、石炭火力と原発のフェーズアウトは、電源構成と電源部門の二酸化炭素排出にも大きな影響を与えることになるが、これらのシミュレーション結果については、次節で考察を行う。

5.2. 電源構成と二酸化炭素排出への影響

石炭火力及び原発のフェーズアウトシナリオによる 2050 年までの経済への影響は前節で考察されたが、本節では、2050 年までの電源構成と二酸化炭素排出量への影響についてシミュレーションを行った。まず 2030 年の電源構成の場合、石炭火力 2030 年フェーズアウトシナリオでは、ガス発電が 2017 年 36%から 53.5%へ、そして再エネ発電が 2017 年 18.6%から 31.5%へと大きく伸びており、石炭火力 2040 年フェーズアウトシナリオでは、ガス発電が 2017 年 36%から 46.6%へ、再エネ発電が 2017 年 18.6%から 26.3%へと伸びている。再エネ発電の伸び率は 2030 年フェーズアウトほどではないが、依然と増加することになる（表 5）。

表 5 原発及び石炭火力フェーズアウトの電源構成への影響

(単位：%)

	2017 年	2030 年			2040 年			2050 年		
		BA	S1	S2	BA	S1	S2	BA	S1	S2
石炭火力	32.9	25.9	0.0	9.7	25.8	0.0	0.0	24.8	0.0	0.0
石油火力	7.3	2.6	3.8	3.5	1.8	2.4	2.5	1.5	1.9	1.9
LNG 火力	36.0	31.0	53.5	46.6	32.1	63.8	62.8	29.3	59.8	58.8
原発	3.1	13.6	8.7	8.7	12.2	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0
再エネ発電	18.6	25.5	31.5	29.3	26.9	31.5	32.3	31.5	36.0	36.8
水力	7.5	7.5	7.6	7.6	7.4	7.5	7.5	7.2	7.3	7.3
地熱	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4
太陽光	5.8	9.4	12.5	11.3	8.2	10.8	11.3	10.7	13.7	14.3
風力	0.6	2.8	3.5	3.3	4.4	5.1	5.2	6.1	6.8	7.0
海洋エネルギー	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
バイオマス	4.5	5.5	7.5	6.8	6.7	7.7	8.0	7.3	7.8	7.8
水素	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
その他	2.1	1.3	2.5	2.3	1.1	2.3	2.4	1.1	2.4	2.5
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

出所：本研究の E3ME モデルシミュレーションによる。

2040年～2050年の電源構成においても、2030年、2040年石炭火力フェーズアウトシナリオ両方ともに、代替電源としてガス発電と再エネ発電を伸ばす傾向は続くが、再エネ発電の発電コストが十分に下がる2050年ごろは、より再エネ発電へシフトする傾向を見せている（表5で、再エネ発電の割合が2030年に29%～31%から2050年に36%～37%へ拡大）。

一方で、発電部門における二酸化炭素排出量は、石炭火力2030年フェーズアウトシナリオの場合、2017年の排出量に比べて、2030年に52.7%、2040年に46.7%、2050年に49.1%へ削減されることが予測されており、石炭火力2040年フェーズアウトシナリオは、2017年の排出量に比べて、2030年に43.2%、2040年に47.5%、2050年に49.9%へ削減されることが予測された（図5及び表6）。特に石炭火力2030年フェーズアウトシナリオでは、2030年の発電部門の二酸化炭素排出量削減率が52.7%となり、全期間、全シナリオのなかで削減率が最も高いことが示された。これは、その年の石炭火力の全廃が二酸化炭素排出量の大幅な削減に貢献したことに起因している。その後2050年までには46～49%削減率を維持することが予測された。

(単位：百万CO₂t)

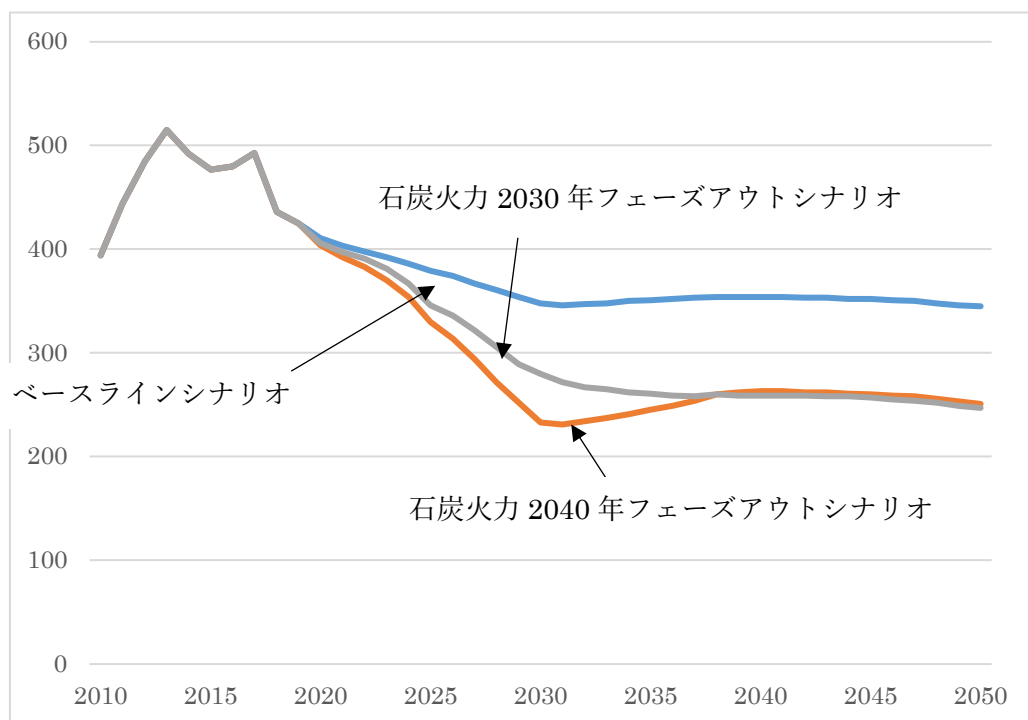


図5 発電部門における石炭火力・原発フェーズアウトケース別2050年までの二酸化炭素排出量予測

そして、特筆すべきことは、二酸化炭素排出係数の高い石炭火力発電の早期フェーズアウトによる二酸化炭素排出量の削減効果は大きいことが示された。たとえば石炭火力2030年フェーズアウトシナリオは、石炭火力2040年フェーズアウトシナリオより、カーボンバジット



の考え方に基づけば、2020年～2050年までに約340百万tの二酸化炭素排出量（図6の矢印の面積）の節約ができることが示された。ただし石炭火力のフェーズアウト以降に二酸化炭素排出量のさらなる削減が現れないのは、前述のように石炭火力と原発の廃止分が再エネ発電とともに、ガス発電に大きくシフトされたためであることに起因している¹²。これは、石炭火力廃止が再エネ発電コストがまだ十分に下がらないうちにガス発電に大きく代替されれば、その後再エネ発電のコストダウンがさらに進んでもガス発電のロクイン効果により、再エネ発電がなかなか進まないことを物語っている。

表6 石炭火力フェーズアウトの発電部門二酸化炭素排出量への影響

(単位：排出量は百万CO₂t、削減率は%)

	2017年	2030年			2040年			2050年		
	排出量	排出量	BA対比	2017対比	排出量	BA対比	2017対比	排出量	BA対比	2017対比
E3ME ベースライン	493	348	-	-29.4	354	-	-28.2	345	-	-30.0
石炭 2030年フェーズアウト	493	233	-33.0	-52.7	263	-25.7	-46.7	251	-27.2	-49.1
石炭 2040年フェーズアウト	493	280	-19.5	-43.2	259	-26.8	-47.5	247	-28.4	-49.9

注1：BA対比は、各シナリオのベースラインから当該年までの排出削減率である。

2：2017対比は、各シナリオの2017年から当該年までの排出削減率である。

6. まとめと今後の課題

本研究は、「発電部門の石炭火力・原発のフェーズアウトは、経済と両立が可能か、また発電部門の二酸化炭素排出削減効果はどれほどあるのか」という「問い」に対して、E3MEモデルを用いて2050年までに定量的な答えを求めた。そのため、同モデルに投入する政策シナリオとして、原発の2040年フェーズアウトを前提に、石炭火力の2030年そして2040年フェーズアウトの政策シナリオを設定し、それぞれのシナリオの2050年までの経済と電源構成、そして二酸化炭素排出への影響をシミュレーションした。その結果、2050年までの長期を想定する場合、いずれのシナリオでも経済に悪い影響は殆ど与えないことが確認された。その主な要因として、石炭火力早期廃止による発電コスト上昇の経済へのマイナス影響より、再エネ発電投資増加など有効需要拡大の経済へのプラス影響が勝ることが挙げられる。

¹² こうした結果は、前述のように本研究では規制シナリオだけ採用しており、カーボンプライシングやFITなど二酸化炭素排出抑制や再エネ発電の促進を誘導する経済的手法はシナリオとして採用されていないことに起因しているといえる。

また発電部門の電源構成も、ガス発電と再エネ発電中心に再編することも確認された。そして、石炭火力フェーズアウトシナリオは、発電部門の二酸化炭素排出量の削減に大きく貢献する（2050年までに2017年に比べて約49%~50%削減）ことも示された。特に、2030年の石炭火力の早期フェーズアウトシナリオは、一般の予想と異なっており、2040年の石炭火力のフェーズアウトシナリオより、経済へプラス効果を与え、さらに全シミュレーション期間中340百万tの二酸化炭素排出削減をもたらすということであった。

ただし、石炭火力フェーズアウトシナリオは、経済への悪影響を与えずに、発電部門の二酸化炭素排出量の削減に有効であったが、日本の2050年の温室効果ガス削減目標には大きく及ばないことが示された。日本の2050年までに80%削減という温室効果ガス削減目標達成のためには、民生、産業など他部門へエネルギー供給源となる発電部門の脱炭素は欠かせない。発電部門は、政策的にも技術的にも他の部門より脱炭素化の達成が進みやすい分野でもある。

ただし発電部門の脱炭素化は、本研究の政策シナリオとして採用した石炭火力のフェーズアウトのような規制的な政策シナリオだけでは達成が難しく、カーボンプライシングやFIT (Feed-in Tariff) など経済的誘因策を中心とする政策シナリオの設定が必要となる。また、環境側面(脱炭素・脱大気汚染物質)だけでなく、エネルギー自給・自治などの面で公共性の高い再生可能エネルギーのさらなる導入を後押しする政策シナリオの設定も必要である。その際の経済やエネルギーミックスに与える影響の考察も重要であり、これらに関する研究は今後の課題としたい。

参考文献

- 李秀澈・周瑋生・崔鐘敏・河津早央里・尹順眞(2020a)「[日本の原子力政策と原子力安全規制制度-原子力リスクから安全な社会に向けて](#)」『名城論叢』第20巻第4号, 2020年4月, 101~132頁.
- 李秀澈・何彦旻・昔宣希・諸富徹・Unnada Chewpreecha, ・Hector Pollitt(2020b)「石炭火力発電と原発のフェーズアウトの日本経済と環境影響分析」『京都大学大学院経済学研究科再生可能エネルギー講座ディスカッションペーパー』.
- 環境省(2019)『2018年度の温室効果ガス排出量(速報値)について』.
- 気候ネットワーク(2018)『石炭火力 2030 フェーズアウトの道筋』
https://www.kiconet.org/wp/wp-content/uploads/2019/03/Report_Japan-Coal-phase-Out_JP.pdf.
- 経済産業省総合エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ(2015)『長期エネルギー需給見通し小委員会に対する 発電コスト等の検証に関する報告』.
- 経済産業省(2019)『[総合エネルギー統計](#)』.
- 自然エネルギー財団(2018)『石炭火力発電から撤退する世界の動きと日本』.
- 自然エネルギー財団(2019)『日本の太陽光発電の発電コスト:現状と将来推計』.
- 脱石炭同盟(PCCA)ウェブサイト <https://poweringpastcoal.org/>.



日本エネルギー経済研究所(IEEJ) (2019) 『IEEJ OUTLOOK 2020』.

日本原子力産業協会(2020) 『世界の原子力発電開発の動向(2020年版)』.

Bloomberg New Energy Finance (BNEF) (2018) Levelized Cost of Electricity, BNEF.

Bloomberg New Energy Finance (BNEF) (2019) Country Profiles, BNEF
<https://www.bnef.com/core/country-profiles/>.

Roberts, Leo, Chris Littlecott, Jesse Burton, and James Hawkins (2020) Global status of coal power Pre-Covid19 baseline analysis
https://www.e3g.org/wp-content/uploads/14_07_20-E3G-Global-Status-of-coal-power-review.pdf.

Lee, Soocheol, Hector Pollitt and Seung-Joon Park(2015) Low-carbon, Sustainable Future in East Asia : Improving energy systems, taxation and policy cooperation, Routledge Published, London.

Lee, Soocheol, Hector Pollitt and Kiyoshi Fujikawa(eds) (2019) [Energy, Environmental and Economic Sustainability in East Asia: Policies and Institutional Reforms](#), Routledge Published, London.