

第5章

原子力発電利用の規定要因

—気候変動政策と再生可能エネルギー政策との関係から—

蓮沼 介永

要約

気候変動への対応が強く求められている現在、各国のエネルギー転換部門は、二酸化炭素排出量を削減しながら、電力の安定供給を実現しなければならないという難題に直面している。近年では、原子力がこの二点を両立する有用な電源として国際的に認められつつあるが、福島第一原発事故以降、日本ではいくつもの原子炉が運転停止を余儀なくされている。これらの原子炉を再稼働させる必要性を議論する上で、原子力利用を促進もしくは阻害する要因を今一度明らかにする必要があるだろう。本稿では、1995年から2012年までの38か国の気候変動政策と再生可能エネルギー政策に関するパネルデータを構築した上で、気候変動に関連する政策が国全体の原子力利用に与える影響を検証した。分析結果からは、気候変動対策としては、原子力よりも再生可能エネルギーがカーボンフリー電源として利用されやすいが、エネルギー需要が高まっている場合は、原子力利用が促進されるという代替関係が明らかになった。また、原子力利用国に限定した分析結果を基に、日本の現状から予測される原子力利用率をシミュレーションしたところ、分析期間において、日本は予測よりも原子力利用の比重が小さい電源構成となっていることが示唆された。原子力利用の有用性を再検討する余地があるかもしれない。

1. はじめに

2021年に米国が主催した気候サミットにおいて、菅義偉首相は2030年度の温室効果ガス排出量について2013年度比46%削減を目指すと宣言した。この計画は、2050年度までに温室効果ガス排出量を実質ゼロにするという最終的な目標に向けて設定されている。温室効果ガス総排出量のうち約9割を占めているCO₂について、発電や熱の生産に伴う排出量を、生産者からの排出量として計上した場合、CO₂を最も多く排出しているのはエネルギー転換部門である⁵⁴。そのため、カーボンニュートラルを達成するには、発電による二酸

⁵⁴ https://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/jqjm10000017v04i-att/L5-7gas_2022_gioweb_ver1.1.xlsx (2022年10月27日)。

化炭素排出量の削減が求められる。

一方で、安定的な電力供給を実現するための対応策も並行して講じる必要がある。カーボンニュートラルに注目が集まる現在、日本では火力発電所の休止・廃止事例が増加してきている。しばらくは火力発電所の新設計画もあるものの、日本国内では、火力による電力供給量が将来にかけて減少していくことが予想される⁵⁵。それにもかかわらず、2022年の夏季には、電力不足による停電を防ぐために、すでに休止した火力発電所の運転再開を強いられた。また、ウクライナ侵攻への対抗措置として、日本がロシア産の化石燃料の輸入を禁止したことも、エネルギー安全保障上の重要な出来事である。もともと火力への依存度が高い日本では、化石燃料の供給が停滞することで、冬季の電力需給の逼迫やさらなる電気料金の高騰が懸念される。

ここまで述べてきた日本の現状から、発電による二酸化炭素排出量の削減と安定的な電力の供給を並行して実現するための対応策を講じる必要がある。二酸化炭素排出量の削減という側面では、二酸化炭素の排出が多い化石燃料への依存度を下げ、再生可能エネルギーの利用を促進することが一つの方法として考えられる (Finon 2006, p.309)。しかし、電力の安定供給の面でいえば、再生可能エネルギーにはいくつかの懸念がある。たとえば、再生可能エネルギーは火力と比べて、単位面積当たりの発電量が少ないため、発電所を設置する際により大きな敷地を必要とする⁵⁶。さらに、特に太陽光や風力の場合、天候などの自然状況によって供給量が変動するため、電力需要に合わせて発電を行うことができないことも問題点だという⁵⁷。

一方で、二酸化炭素排出量の削減と電力の安定供給を同時に実現するという目的においては、原子力発電の利用が代替策になりうる。原子力は炭素の放出が少ない電源として評価されるため (Corner et al. 2011)、再生可能エネルギーと同じくカーボンフリー電源の一つとしてとらえることができる。また、再生可能エネルギーと比較して単位面積当たりの発電量も多く、自然状況による影響も受けないため、安定的な電力を供給することもできる。そのため、欧州議会では、原子力発電を持続可能な経済活動として認める動きが強まっており⁵⁸、国際的にも、気候変動政策の一部として原子力を利用することに対するハードルが下がりにつつある。

現在、経済産業省は2050年の電源構成について、原子力を化石燃料に代わる安定的な電力を供給するエネルギーとして位置づけており、2018年度現在で電源構成全体の6%を占

⁵⁵ https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/pdf/046_04_01.pdf (2022年10月15日)。

⁵⁶ たとえば、堺港発電所(火力)の単位面積あたり発電電力量は、堺太陽光発電所の約2,600倍以上である。https://www.kepco.co.jp/energy_supply/energy/newenergy/about/task.html (2022年10月15日)。

⁵⁷ 同URL。

⁵⁸ <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220701IPR34365/taxonomy-meps-do-not-object-to-inclusion-of-gas-and-nuclear-activities> (2022年10月15日)。

める原子力を、2030年には20%から22%まで増加させる見通しとしている⁵⁹。経済界の一部も原発を気候変動対策の手段として後押ししている⁶⁰。

しかし、福島第一原発事故以降、日本国民の原子力発電に対する安全面の不安は根強く、原発再稼働への理解は十分に得られていない状況にある⁶¹。それでは、原子力利用を促進する、あるいは阻害する要因とは何であろうか。先行研究では、原子力利用の要因について、経済的要因に基づく説明がほとんどを占めており、他の要因については未解明の部分が多い。まず、原子力利用はカーボンフリー電源として気候変動対策の手段になりうるから、さまざまな気候変動政策が、制度的要因として各国の原子力利用を促進する可能性が考えられる。他方で、気候変動政策の一環として利用される再生可能エネルギーは、原子力を代替する電源になりうるから、原子力利用が減少するほど、再生可能エネルギー利用が増加するという代替的な関係になりうる (Aguirre and Ibikunle 2014; Kilinc-Ata 2016; Marques and Fuinhas 2012; Marques et al. 2010; Popp et al. 2011)。

この点、代替電源としての再生可能エネルギーの利用を促す政策にはさまざまなものが存在する。原子力と再生可能エネルギーの代替関係において、事業者にとって政策が十分に魅力的であるとき、彼らは再生可能エネルギーの利用をより重視するだろう。そのような場合、再生可能エネルギー政策が間接的に原子力利用を減少させる可能性が考えられる。

そこで、本稿は、再生可能エネルギー利用の規定要因を巡る既存研究の知見を踏まえながら、そのような枠組みが原子力利用に与える影響を検証する。具体的には、1995年から2012年までの38か国の気候変動政策と再生可能エネルギー政策のパネルデータを構築した上で、気候変動に関連する政策が国全体の原子力発電利用にいかなる影響を与えてきたのかを明らかにする。

第2節では、原子力利用の規定要因と再生可能エネルギー利用の制度的要因に関する実証的な先行研究を概観する。第3節では、先行研究などの知見を基に原子力利用の規定要因を理論化し、第4節では、それらを検証するために必要なデータと方法を説明する。第5節では、実際の推定結果の議論を基に、日本における妥当な原子力利用をシミュレーションする。第6節では、本稿で得られた知見を踏まえて、日本の原子力政策のあり方を提示していく。

⁵⁹ https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyuu_kankyo/ondanka_wg/pdf/001_05_00.pdf (2022年11月2日)。

⁶⁰ <https://www.keidanren.or.jp/speech/kaiken/2022/0905.html> (2022年11月1日)。また、佐藤 (2014) によると、日本の気候変動政策は日本経済団体連合会 (経団連) の政策選好による影響を大きく受けることで、原子力利用を中核に据えるようになっている。

⁶¹ 日本原子力文化財団が2021年に行った「原子力に関する世論調査」によると、回答者の46.3%は「再稼働を進めることについて、国民の理解は得られていない」と考えている。https://www.jaero.or.jp/data/01jigyoyou/pdf/tyousakenkyu2021/results_2021.pdf (2022年11月15日)。

2. 先行研究

2-1. 原子力利用の規定要因

原子力利用の要因についての実証研究は、経済的観点に基づく説明が大半を占める。いくつかの研究は、経済成長によって原子力利用が促進されるという因果関係を実証的に支持するが (Kirikkaleli et al. 2020; Lee and Chiu 2011; Wolde-Rufael and Menyah 2010; Yoo and Ku 2009)、多くはグレンジャー因果の検証にとどまっている。反対に、原子力利用が増加するほど経済成長が進む可能性や (Apergis and Payne 2010; Yoo and Ku 2009; Zaman 2015)、両者の相乗効果の可能性を示唆する研究も多くある (Apergis and Payne 2010; Yoo and Ku 2009; Wolde-Rufael and Menyah 2010)。したがって、そもそも経済発展から原子力利用に対する一方向の因果関係は、広く認められているわけではない。

一方で、Wolde-Rufael and Menyah (2010) は、スウェーデンにおいて経済成長が原子力利用を減少させる可能性さえ示唆している。日本、オランダ、スイスの場合には、原子力利用が増えるほど経済成長が後退していると主張されている (Wolde-Rufael and Menyah 2010)。因果の方向性のみならず、効果が正であるか負であるかも各国によって異なる可能性があるのである。

そのほか、原油価格がグレンジャーの意味で原子力利用を増加させることを支持する先行研究も存在するものの (Lee and Chiu 2011; van Ruijven and van Vuuen 2009)、経済発展以外に原子力利用を促す可能性のある変数は、ほとんど明らかになっていない。また、国によって因果の方向性が異なる可能性があるため、国ごとの分析を行う先行研究が多いが、各国の情報を統合したパネルデータを用いた研究は数少ない。パネルデータ分析においては、経済成長による原子力利用の促進という先行研究の仮説も考慮するが、逆因果には十分に注意して理論の構築に組み込む必要がある。

2-2. 再生可能エネルギー利用の規定要因

再生可能エネルギーの利用は温室効果ガス削減の効果的な手段として注目されているため、その規定要因に関する実証研究には蓄積がある。第一に、再生可能エネルギーの利用促進を目的とするいくつかの再生可能エネルギー政策は、その正の効果が検証されることが期待されている。

まず、一定の期間において、再生可能エネルギーから生産された電力に対して固定価格での買い取りを保証する FIT 制度 (Feed-in Tariff) は、いくつかの実証研究で再生可能エネルギーの利用を促進する可能性が示されているが (Johnstone et al. 2010; Kilinc-Ata 2016; Polzin et al. 2015; Smith and Urpelainen 2014)、Aguirre and Ibikunle (2014) と Popp et al. (2011) は明瞭に有意な効果を確認していない。また、電力会社に対して再生可能エネル

ギーによる電力供給の最低割合を定めるクォータ制によって (Finon 2006)、再生可能エネルギーの利用率が増加する可能性を支持する研究がある一方で (Carley 2009; Menz and Vachon 2006; Polzin et al. 2015; Yin and Powers 2010)、そのような関係を支持しない研究も存在する (Delmas and Montes-Sancho 2011; Delmas et al. 2007; Kilinc-Ata 2016; Popp et al. 2011; Shrimali et al. 2012)。そのほか、Kilinc-Ata (2016) では、入札制度や税制優遇の効果を確認する分析結果が得られている。

第二に、気候変動政策自体が再生可能エネルギーの利用に影響を与えうることも明らかにされている。Aguirre and Ibikunle (2014) や Johnstone et al. (2010)、Popp et al. (2011) は、包括的な気候変動枠組みである京都議定書の締約が、再生可能エネルギー利用を促進する可能性を実証的に示している。また、Polzin et al. (2015) は、各国が運用する温室効果ガス排出量取引が再生可能エネルギーの利用に有意に正の効果を与えることを示す結果を出した。

このように先行研究では、個々の再生可能エネルギー政策や気候変動政策と、再生可能エネルギーの電力利用との関係が明らかにされている。ただし、多くの研究がいかに再生可能エネルギーの利用を増加させるかを研究上の問いにしているため、気候変動政策としての再生可能エネルギーの好ましさが強調される傾向にある。それゆえ、再生可能エネルギーに依存することは、電力の安定供給に懸念をもたらすなどの負の要因は注目されず、気候変動と電力供給の安定性とを両立する望ましい電源構成が議論されることは少ない。次節では、先行研究で得られた知見を基にして、原子力利用の規定要因に関する理論を構築する。

3. 理論仮説

3-1. 気候変動政策としてのカーボンフリー電源の利用

本節では、はじめに、気候変動政策において、原子力と再生可能エネルギーがカーボンフリー電源として積極的に利用されうることを理論化する。しかし、再生可能エネルギー政策の直接的な効果と、二つの電源の代替的な関係を踏まえると、再生可能エネルギー政策は原子力利用を抑制する可能性があることを説明する。

発電の際に二酸化炭素を排出しない原子力や再生可能エネルギーはカーボンフリー電源であるため、気候変動問題に熱心に取り組んでいる国ほど、これらの電源の利用を好むだろう。具体的には、国際的な気候変動枠組みである京都議定書に加えて、温室効果ガス排出量取引や炭素税など、気候変動対策の制度化が進んでいる国ほど、カーボンフリー電源の割合が増加することが考えられる。

まず、京都議定書は、温室効果ガス排出量を削減する国際的な取り組みとして 1997 年に採択され、2005 年に発効された。議定書の締約国は、二酸化炭素排出量を削減するために、

カーボンフリー電源の利用に向けてより精力的に取り組むことが求められる (Aguirre and Ibikunle 2014; Popp et al. 2011)。締約国の一部には、1990年の温室効果ガス排出量を基準とし、2008年から2012年までの約束期間において削減すべき平均排出量の目標が定められた。既存研究では、環境に対する懸念を表す変数として二酸化炭素排出量を用いることが多いが、国際的な気候変動枠組みにおいて削減目標を有さない国では、二酸化炭素排出量を削減するインセンティブが働きにくいかもしれない。したがって、ここでは、京都議定書で割り当てられた削減目標を、その国が抱える環境に対する懸念の代理変数として採用する。削減目標と現実の削減率との乖離が大きく、環境に対する懸念が大きい国では、カーボンフリー電源の利用が促進される可能性があると予想される。

次に、各国が採用してきた気候変動政策の一つである温室効果ガス排出量取引については、EU圏で運用される欧州連合域内排出量取引 (EU Emissions Trading System: EU ETS) を主要な例として取り上げる。EU ETSでは、発電所を含め対象となる設備から排出される温室効果ガスの総排出量に、排出枠と呼ばれる上限が設けられており、この上限が段階的に押し下げられていくことで、総排出量が削減されることが期待されている⁶²。事業者はそれぞれに必要な排出枠を、事業者間の取引を通じて購入できることも特徴的である。排出量取引が行われている国の発電事業者は、カーボンフリー電源の利用を増加させることで排出量を削減し、排出枠購入の費用削減に取り組むようになると考えられる。

排出量取引のように、炭素の排出に対して実質的に価値をつける取り組みをカーボンプライシングと呼ぶが、もう一つの代表的な例としては炭素税があげられる。炭素税では、二酸化炭素など炭素を含む物質を排出する化石燃料の消費に対して課税がなされる⁶³。各国政府は、化石燃料の種類によって環境負荷の大きさを判定し、異なる税率を定めている⁶⁴。炭素税が導入されている国の発電事業者は、同様に、カーボンフリー電源の利用を増加させることで化石燃料の消費量を削減し、租税の費用削減に取り組むようになると考えられる。具体的には、以下の仮説が導出できる。

仮説 1 気候変動政策 (京都議定書の締約、温室効果ガスの削減目標、排出権取引、炭素税) の下で、温室効果ガスの削減に取り組んでいる国ほど、カーボンフリー電源の利用率が高い。

3-2. 再生可能エネルギー政策による代替関係

⁶² https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en#tab-0-1 (2022年10月19日)。

⁶³ 一般的に排出量取引の対象となっているセクターでは、炭素税が免除される。例えば、EUにおいては、おおむねEU ETSの対象となっていないセクターに炭素税が課されている (Kossov et al. 2015, p.27)。

⁶⁴ <https://www.env.go.jp/content/900498772.pdf> (2022年10月24日)。

カーボンフリー電源の利用は気候変動対策の手段としてとらえられる。ただし、気候変動政策は二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの削減を主な目的としているため、原子力と再生可能エネルギーのどちらか一方の利用を促すことは意図されていない。各電源を個別に見たときに、原子力利用を促進する制度というのは考えにくい。再生可能エネルギーの利用を促進する制度としては、主に FIT 制度とクォータ制という二種類の制度がある。以下では、各制度が実際に再生可能エネルギーの普及に寄与することを具体的に理論化する。

先行研究では、再生可能エネルギー利用の促進を目的としたいくつかの制度の効果が検証されてきたが、本稿の分析期間においては、FIT 制度とクォータ制が主流になってきている (Kilinc-Ata 2016)。同時期には、国際的に再生可能エネルギーの利用率が上昇していることから、これら二つの制度が再生可能エネルギーの利用推進に貢献してきた可能性がある。既存研究では、入札制度や税制優遇などの他の仕組みと比較しても、FIT 制度やクォータ制が再生可能エネルギーの普及の制度的要因になっていることが広く認められており (e.g. Polzin et al. 2015)、本稿もそのような分析枠組みに依拠する。

FIT 制度は、発電される電力の価格に直接アプローチする価格ベースの政策、クォータ制は、発電量を補助や制限の基準とする数量ベースの政策に分類できる。まず、FIT 制度では、一定の期間において再生可能エネルギーから生産された電力に対して、固定価格での買取が保証される (Finon 2006)。競争入札制度下における再生可能エネルギー事業への参入や投資では、その他の電源と比較したときに費用面が問題となるが⁶⁵、固定価格が保証される FIT 制度では、投資家にとって費用面の懸念が解消されやすい (Mimantean et al. 2003)。この制度の下では、発電事業者は再生可能エネルギー事業への参入に対して前向きになると考えられる。

一方で、クォータ制は、電力会社に対して再生可能エネルギーによる電力供給の最低割合を定める、数量ベースの政策である (Finon 2006)。この最低割合を満たせない場合、電力会社には罰金が科される可能性がある (Wiser et al. 2007, p.3)。同様の政策に対するその他の一般的な名称としては、RPS 制度 (Renewable Portfolio Standard) が挙げられる。クォータ制の下では、再生可能エネルギーの利用が法的に強制されるため、電力会社は一定の再生可能エネルギー由来の電力を供給せざるを得なくなると考えられる。

以上の政策が事業者にとって十分なインセンティブとなる場合、事業者は再生可能エネルギーの利用に比重を置きやすくなると考えられる。このとき、同じく気候変動対策の手段となる原子力の利用は、再生可能エネルギー政策から間接的な影響を受けることになる。つまり、再生可能エネルギー政策は、原子力と再生可能エネルギーの間に代替関係を生む可能性があるといえる。

⁶⁵ Buckman (2011) は、発電時の費用が (カーボンプライシングを反映していない) 化石燃料の火力よりも高いことを問題点として挙げている。

仮説 2 価格ベースおよび数量ベースの再生可能エネルギー政策（FIT 制度、クォータ制）が整備されている国では、再生可能エネルギー利用率が高い一方で、原子力については利用率が低い。

3-3. エネルギー安全保障上の代替関係

太陽光や風力といった主要な再生可能エネルギーは、電力を安定的に供給することが難しく、設備利用率も比較的低い電源である。また、Fiore (2006) によると、天然ガスや石油などの化石資源には限りがあることに加え、地政学的に不安定な地域で多く産出されるため、輸入をする際には価格が変動しやすいことが懸念点となる。

他方で、原子力は再生可能エネルギーや火力に比べて安価な技術によって利用できる上に⁶⁶、実質的にカーボンフリー電源とみなされるため、エネルギー安全保障と温暖化問題を両立して解決する主要な対応策になると考えられている (Adamantiades and Kessides 2009; Apergis et al. 2010)。核燃料も石油などと同様に輸入によって賄われることがあるが、使用済み燃料内のウランやプルトニウムを発電に再利用する、核燃料サイクルが可能であることから、原子力を利用する国は、核燃料の輸入量が比較的少量でも数年にわたる電力の供給が可能だと考えている (Adamantiades and Kessides 2009)。さらに、貯蔵中の核燃料は、石炭のように劣化することがないという利点をもつ (Lidsky and Miller 2002, pp.11-12)。したがって、エネルギーの多くを輸入に依存しているほど、化石燃料に関する費用面の不確実性を回避するために、原子力利用が重視される可能性がある (Fiore 2006)。

しかし、原子力利用には安全上の強い懸念が存在しており、特に日本では、福島第一原発事故の経験が原発反対の世論を強めるきっかけとなった。各国政府が電力の安定供給という経済性と運用上の安全性のいずれを重視するかによって、気候変動対策として、原子力と再生可能エネルギーのどちらの利用を拡大するかが決まるといふ、エネルギー安全保障上の代替関係が想定されるのである。つまり、エネルギー安全保障上の懸念が大きいとき、原子力の利用が増加する一方で、電源間の代替関係において再生可能エネルギーの利用が減少すると考えられる。

仮説 3 エネルギー安全保障上の懸念が大きい国ほど、再生可能エネルギー利用率が低い一方で、原子力の利用率が高い。

⁶⁶ 再生可能エネルギーと同じだけの発電量を、より小さな敷地で得ることができる。つまり、原子力は設備利用率が低い。また、再生可能エネルギーと比べ、建設費や工事費などの資本費が安く、火力よりも燃料費が安い。 <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/to-kushu/nuclear/nuclearcost.html> (2022年10月15日)。

4. データと方法

4-1. データ

上記の理論仮説を検証するために、1995年から2012年までのOECD加盟国35か国と非加盟国3か国（ブルガリア、クロアチア、ルーマニア）、合計38か国のパネルデータを構築した。表1に本稿の分析に用いる変数を示す。仮説1から仮説3にかけて同じデータを用いる。

まず、従属変数は、総発電量のうち原子力を電源とする発電量の割合を表す原子力利用（Electricity Production from Nuclear Sources: *EPNS*）と、水力以外の再生可能エネルギー（風力、太陽光、地熱、バイオマス）を電源とする発電量の割合を表す再生可能エネルギー利用（Electricity Production from Renewable Sources: *EPRS*）の二つの変数を用いる⁶⁷。こ

表1 変数説明⁶⁸

変数名	変数説明	出典
原子力利用	総発電量に占める原子力による発電量の割合 (%)	World Development Indicators
再生可能エネルギー利用	総発電量に占める水力を除く再生可能エネルギーによる発電量の割合 (%)	World Development Indicators
火力利用	総発電量に占める火力による発電量の割合 (%)	World Development Indicators
水力利用	総発電量に占める水力による発電量の割合 (%)	World Development Indicators
京都議定書	京都議定書の締約国を「1」、非締約国を「0」とするダミー変数	United Nations Treaty Collection
GHG削減目標未達成	京都議定書のGHG削減目標の未達成分を表す量的変数	国立環境研究所
GHG排出量取引	GHG排出量取引の導入国を「1」、非導入国を「0」とするダミー変数	IEA's Policies and Measures Database, Kossoy et al. (2015, p.23)
炭素税	炭素税の導入国を「1」、非導入国を「0」とするダミー変数	IEA's Policies and Measures Database, Kossoy et al. (2015, p.23)、環境省
FIT制度	FIT制度の導入国を「1」、非導入国を「0」とするダミー変数	IEA/IRENA Renewable Energy Policies and Measures Database, Hass et al. (2011)
クォータ制	クォータ制の導入国を「1」、非導入国を「0」とするダミー変数	IEA/IRENA Renewable Energy Policies and Measures Database, Hass et al. (2011)
一人当たりエネルギー使用量	原油換算の一人当たりエネルギー使用量 (t)	World Development Indicators
エネルギー輸入依存度	エネルギー使用量に対するエネルギー純輸入量 (%)	World Development Indicators
一人当たりGDP	一人当たりGDP (現1万米ドル)	World Development Indicators
人口	人口	World Development Indicators
面積	領土の面積 (km ²)	World Development Indicators

⁶⁷ 電源の割合に関するデータは、世界銀行の「World Development Indicators」から収集した。<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (2022年10月24日)。

⁶⁸ 人口と面積はのちの分析で用いるため、その際に説明をする。

ここで水力を再生可能エネルギー利用に含めないのは、研究対象となる再生可能エネルギー政策が水力の普及を目的としていないためである (Kilinc-Ata 2016)。

次に、理論的に関心のある独立変数として、仮説 1 ではまず、気候変動政策 (Climate Change Policy: CCP) として京都議定書の締約国⁶⁹を表す京都議定書ダミーと、京都議定書の温室効果ガス (greenhouse gas: GHG) 削減目標の未達成分を表す量的変数である GHG 削減目標未達成に注目する⁷⁰。京都議定書ダミーでは、協定が発効した 2005 年以降、当該年度の 8 月より前に締約していた国を締約国とみなす (Aguirre and Ibikunle 2014)。GHG 削減目標未達成では、その時点で目標を達成している国は「0」をとる。それ以外は、数値が大きいほど環境に対する懸念が大きいと解釈できる。先行研究では、環境に対する懸念を二酸化炭素排出量で操作化しているものが多いが、気候変動対策に取り組むインセンティブのない国では、排出量が多くなっても環境に対する懸念にはつながらないため、GHG 削減目標未達成がより適当であると考えられる。また、仮説 1 では、排出量取引の導入を表す GHG 排出量取引ダミーと、炭素税の導入を表す炭素税ダミーにも注目する⁷¹。仮説 2 では、再生

表 2 記述統計

	観測数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
原子力利用	684	18.3189	22.2364	0	87.4408
再生可能エネルギー利用	684	3.9209	5.4930	0	48.2720
火力利用	684	53.3181	28.5570	0.2049	99.7304
水力利用	684	20.9100	24.4470	0.0220	99.5137
京都議定書	684	0.5512	0.4977	0	1
GHG削減目標未達成	684	1.0157	3.9411	0	29.6400
GHG排出量取引	684	0.3041	0.4604	0	1
炭素税	684	0.2149	0.4111	0	1
FIT制度	684	0.4094	0.4921	0	1
クォータ制	684	0.1301	0.3367	0	1
一人当たりエネルギー使用量	684	3.8152	1.7544	1.0527	9.4288
エネルギー輸入依存度	684	22.4631	127.7288	-843.4819	98.8299
一人当たりGDP	684	2.6119	1.9959	0.1361	12.0422
人口	378	45661835.3439	65211759.7709	1981629	313877662
面積	378	1124702.0939	2609929.2442	20140	9161920

⁶⁹ https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-a&chapter=27&clang=_en (2022 年 10 月 24 日)。

⁷⁰ 削減目標と各年度の現状の削減率は、国立環境研究所のホームページの達成状況アーカイブから収集した。<https://www.nies.go.jp/gio/archive/ai-cp1/index.html> (2022 年 10 月 24 日)。

⁷¹ 国際エネルギー機関 (International Energy Agency: IEA) の「IEA's Policies and Measures Database」と、Kossoy et al. (2015, p.23) を基に作成した。<https://www.iea.org/policies> (2022 年 10 月 24 日)。特に炭素税に関するデータは、環境省の資料からも収集した。https://www.env.go.jp/policy/tax/misc_jokyo/attach/intro_situation.pdf (2022 年 10 月 5 日)。

可能エネルギー政策 (Renewable Energy Policy: REP) としての FIT 制度の導入を表す FIT 制度ダミーと、クォータ制の導入を表すクォータ制ダミーを用いる⁷²。

ただし、この操作化には限界があることにも留意されたい。FIT 制度の場合、特定の種類の再生可能エネルギーのみを対象としていることもあるが、本稿ではそのような対象となる電源の区別は行っていない。そのほかの制度についても、制度対象に関する区別をしていない。

また、仮説 3 では、エネルギー安全保障 (Energy Security: ES) の要因として、エネルギー総使用量に対する輸入依存度と、人口一人当たりのエネルギー使用量 (t) の自然対数を投入する。それぞれ数値が大きいほど、エネルギー安全保障上の懸念が大きいと解釈する。その他、エネルギー安全保障上の代替電源を表す統制変数として、火力利用の割合を表す火力利用と、水力利用の割合を示す水力利用を用いる。最後に、経済規模を統制する目的から、一人当たり GDP (現 1 万米ドル) の自然対数を用いる⁷³。

表 2 は、上記の変数群の記述統計である。

4-2. 推定方法

原子力と再生可能エネルギーの利用には、地域ごとの水準差が存在する。具体的には、地形や水辺へのアクセスといった永続的な地理条件によって、特定の電源を使うことが困難になることがある。また、福島第一原発事故のようなイベントがあると、日本に限らず各国の原発が稼働停止を余儀なくされる可能性にも注意すべきである。燃料の先物価格を表す国際的な指標も、各電源の利用率に水準差を生む要因として考えられる。そこで、本稿では推定の際に、国や年度ごとにみられる異質性を統制するため、個体効果と時間効果を投入する。

また、総発電量に占める各電源の利用率は、当該年度において同時的に決定されていると考えられ、双方向の因果関係を持つ可能性がある。本稿では、従属変数ごとに代替電源を統制変数として投入するモデルと、投入しないモデルを推定する。なお、国ごとにクラスター化したロバスト標準誤差を用いる。

$$EPNS \text{ or } EPRS_{i,t} = \beta_1 CCP_{i,t} + \beta_2 REP_{i,t} + \beta_3 ES_{i,t} + \theta x_{i,t} + \alpha_i + \gamma_t + \epsilon_{i,t} \quad (1)$$

(1) 式において、 i は国、 t は年度を表しており、 $x_{i,t}$ は統制変数のベクトル、 θ はその係数、 α_i は国の固定効果、 γ_t は年度の固定効果となっている。

⁷² 「IEA/IRENA Renewable Energy Policies and Measures Database」と Hass et al. (2011) を基に作成した。 <https://www.iea.org/policies?source%5B0%5D=IEA%2FIRENA%20Renewables%20Policies%20Database> (2022 年 10 月 24 日)。

⁷³ 統制変数はすべて「World Development Indicators」から収集した。

ここでは、全サンプルで推定したモデルと、全期間にわたって原子力利用が「0」となっている国を除外した原子力利用国だけのモデルを分ける。これは、原発が設置されており、電源構成のうちに原子力利用の選択肢がある国と、原発ゼロを基本方針としている国では、同じ条件にあっても全く異なる電源構成を選択すると考えられるためである。原子力が気候変動政策として有効であり、安定性においても優れていることがわかっていたとしても、原発が建設されていない国で原子力利用を突然に増やすことは不可能である。

また、代替電源は、原子力と再生可能エネルギーの利用率の決定に対して、同時的に決定される変数であるため、規定要因として好ましくないかもしれない。よって、代替電源を統制しないモデルと統制するモデルの両方を推定する。つまり、全サンプルと原子力利用国サンプルのモデルそれぞれにおいて、代替電源統制なしとありの計四つのモデルを、各従属変数で推定することになる。

5. 分析結果

5-1. 原子力利用・再生可能エネルギー利用の規定要因

まず、表3と表4では、国別パネルデータから、気候変動政策と再生可能エネルギー政策の導入と、エネルギー需要の変化が原子力もしくは再生可能エネルギーの利用率の変化に与える効果を検証した。

気候変動政策のうち、国際的な枠組みとしての京都議定書とGHG削減目標未達成は、どのモデルにおいても有意な効果を示す結果が得られていない。京都議定書では、38か国に対して温室効果ガス排出量の削減目標が割り当てられており、2008年から2012年までの約束期間における排出量の平均が、基準年である1990年の排出量に対する目標値を達成していることが求められる⁷⁴。ただし、各国の純粋な排出量が目標を達していなかったとしても、森林等による二酸化炭素の吸収や、排出量取引による排出量の転嫁を加味して上で、達成できていれば良いとされているため、京都議定書とその削減目標が、各国に対して大きな強制力を持っていなかった可能性がある。

各国が導入する気候変動政策のなかでは、GHG排出量取引が表3のModel2とModel4において、原子力利用に対する有意な負の効果を示しており、表4のすべてのモデルにおいて、再生可能エネルギー利用に対する有意な正の効果を示している。すなわち、電力部門において気候変動への対応が求められるときには、再生可能エネルギーが利用され、その代替関係においては原子力の利用割合が減少する。

⁷⁴ 38か国のうち、アメリカは京都議定書の批准国ではなく、カナダは2012年12月に離脱している。https://www.nies.go.jp/gio/archive/ai-cp1/jqjm1000000p118j-att/161102_ai_kp-cp1_result.xlsx (2022年10月16日)。

表 3 原子力利用の規定要因

	従属変数 原子力利用				
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
	全サンプル		原子力利用国		
京都議定書	-0.4252 (0.5648)	-0.0642 (0.4555)	-1.1063 (1.2485)	-0.0700 (0.4438)	
GHG削減目標未達成	0.0635 (0.1033)	0.0036 (0.0820)	-0.0248 (0.1561)	-0.0908 (0.1238)	
GHG排出量取引	-0.0142 (1.0629)	-3.0524 (0.9915)	** 0.7137 (2.4564)	-4.1989 (1.1421)	**
炭素税	0.0908 (3.2233)	2.5934 (1.7989)	-2.3002 (3.2871)	4.2343 (1.8481)	*
FIT制度	-0.5227 (0.9289)	-0.3420 (0.5590)	-0.2920 (1.6602)	0.1169 (0.4797)	
クォータ制	-0.7491 (1.4477)	-0.0103 (0.6762)	-1.9254 (1.9779)	-0.7458 (1.2188)	
エネルギー輸入依存度	-0.0409 (0.0470)	-0.0024 (0.0066)	-0.4373 (0.3136)	-0.0072 (0.0446)	
log(一人当たりエネルギー使用量)	8.9485 (13.6764)	9.5307 (3.7676)	* -0.5793 (14.7618)	4.8723 (2.2100)	*
log(一人当たりGDP)	-1.2018 (6.5079)	2.1691 (1.3453)	-4.4211 (9.7503)	1.2073 (1.4139)	
火力利用		-0.9242 (0.1482)	***	-1.1127 (0.0539)	***
水力利用		-0.9759 (0.1771)	***	-1.0480 (0.1258)	***
時間効果	YES	YES	YES	YES	
個体効果	YES	YES	YES	YES	
調整済みR ²	0.9365	0.9874	0.8811	0.9906	
N	684	684	378	378	

(1) ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$ 。

(2) ()内は国ごとにクラスター化したロバスト標準誤差。

一方で、炭素税は表 3 の Model 4 において原子力利用を増やし、表 4 の Model 3・4 において再生可能エネルギー利用を減らす可能性を示している。EU ETS がカーボンプライシングの主流となっている EU 圏においては、EU ETS の対象企業に対して炭素税が課されないことが多く、炭素税は EU ETS に比べて対象となる温室効果ガス排出量も非常に少ない (Kossoy et al. 2015, p.23)。また、発電用の燃料に対しては減免措置を行っている国が存在することから⁷⁵、炭素税は、特に発電部門において化石燃料の使用を削減させる効果が

⁷⁵ 発電用の燃料に対して明確に免税を行っている国として、フィンランド、スウェーデン、

表4 再生可能エネルギー利用の規定要因

	従属変数							
	再生可能エネルギー利用							
	全サンプル				原子力利用国			
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
京都議定書	0.1344		0.1611		0.2026		0.1430	
	(0.4140)		(0.4091)		(0.2816)		(0.3381)	
GHG削減目標未達成	0.0154		0.0127		0.0858		0.0886	
	(0.0832)		(0.0780)		(0.1322)		(0.1277)	
GHG排出量取引	3.5261	***	3.2254	***	3.6585	**	3.9445	**
	(0.8272)		(0.7982)		(1.1261)		(1.0983)	
炭素税	-1.7576		-1.5093		-4.2197	*	-4.6215	*
	(2.1373)		(2.0434)		(1.6948)		(1.7366)	
FIT制度	0.2264		0.2050		-0.1335		-0.1410	
	(0.5858)		(0.5344)		(0.4109)		(0.4429)	
クォータ制	-0.2287		-0.1425		0.5390		0.4702	
	(0.5711)		(0.5727)		(0.9258)		(0.9848)	
エネルギー輸入依存度	-0.0091		-0.0051		0.0287		0.0015	
	(0.0099)		(0.0066)		(0.0507)		(0.0387)	
log(一人当たりエネルギー使用量)	-9.4067	*	-8.7077	*	-3.6668		-4.2758	†
	(4.2223)		(4.1572)		(2.5513)		(2.1502)	
log(一人当たりGDP)	-2.3259	†	-1.9978		-1.6837		-2.0005	†
	(1.2313)		(1.2514)		(1.4102)		(1.1438)	
火力利用			-0.0972				0.0704	
			(0.1275)				(0.0437)	
水力利用			-0.0755				0.0367	
			(0.1452)				(0.1145)	
時間効果	YES		YES		YES		YES	
個体効果	YES		YES		YES		YES	
調整済みR ²	0.8006		0.8089		0.8062		0.8146	
N	684		684		378		378	

(1) ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$ 。

(2) ()内は国ごとにクラスター化したロバスト標準誤差。

小さく、カーボンフリー電源の利用を促進できていないと考えられる。分析結果は、炭素税の実状からしても予想しうるものである。

次に、FIT制度とクォータ制の二種類の再生可能エネルギー政策については、どのモデルにおいても有意な効果を確認していない。FIT制度に関しては、Aguirre and Ibikunle (2014) や Popp et al. (2011) の先行研究でも、再生可能エネルギー利用に対する有効性を

アイルランドなどが挙げられる。<https://www.env.go.jp/content/900498772.pdf> (2022年10月19日)。

確認していない。固定価格買取期間が終了してしまった際の費用面のリスクが大きく感じられるなど、事業者にとって魅力的な制度ではないものと考えられる。

FIT 制度が有意でないという今回の分析結果は、以下のようにも解釈できる。Menanteau et al. (2003) によると、再生可能エネルギーを用いて発電量を増加させる際の限界費用の推移が、発電事業者にとって経験上明らかでなく、実際にそれが予想よりも緩やかであった場合、事業者は予想以上に発電量を増やさなければ資源配分上好ましい運用ができなくなる。つまり、価格ベースの政策における費用の不確実性が、再生可能エネルギー事業への参入や投資を阻害している可能性がある。その点においては、再生可能エネルギー発電所の設置目標に応じて、政府側が数量的な基準を定めるクォータ制の方が、目標は達成されやすい上に、事業者も不本意な発電をする必要がなくなるのであろう (Menanteau et al. 2003)。

クォータ制に関しては、Carley (2009) や Delmas and Montes-Sancho (2011)、Delmas et al. (2007)、Kilinc-Ata (2016)、Popp et al. (2011)、Shrimali et al. (2012) も再生可能エネルギーの普及に寄与することを確認していない。むしろクォータ制が再生可能エネルギーの利用率を減らす可能性を示唆する研究もある (Carley 2009; Delmas and Montes-Sancho 2011; Shrimali et al. 2012)⁷⁶。すべてのクォータ制が有効でないわけではないが、十分な強制力をもつ制度設計になっていなかったり、制度を守らないことに対する罰則が規定されていなかったりすることが、有効性を阻害する原因になると考えられている (Wiser et al. 2007, pp.7-8; Wiser et al. 2005)。

また、エネルギー安全保障上の要因としてのエネルギー輸入依存度は、どのモデルにおいても有意な効果が確認できていない。この点では、エネルギー安全保障上の理由で再生可能エネルギーの代わりに原子力利用が促進されているとは認められない。一方で、もう一つのエネルギー安全保障の変数である、一人当たりエネルギー使用量は、表 3 の Model 2・4 において原子力利用を促進するという結果となっているが、表 4 の Model 1・2・4 においては再生可能エネルギー利用を減少させるという結果が示されている。つまり、エネルギーの需要が高いとき、電力の安定供給に不安のある再生可能エネルギーの利用は抑制されるが、安定性の高い原子力の利用が促進されるととらえられる。特に、代替電源の変数を投入していない表 4 の Model 1 においても、一人当たりエネルギー使用量が有意であることは、再生可能エネルギーが主要電源の地位を確立していないことを示唆する結果かもしれない。

また、代替電源の火力利用と水力利用に関しては、原子力利用を減少させる可能性が示されている一方で、再生可能エネルギー利用に対する効果は認められない。石炭、天然ガス、石油による火力発電は、伝統的に主要な発電手法である。水力もほかの再生可能エネルギーと異なり、地域によっては電力供給の 60%以上を担うこともある主要電源の一つである。

⁷⁶ Shrimali et al. (2012, p.6) はクォータ制の風力に対する正の効果を確認した Menz and Vachon (2006) の分析方法について、国や年度の固定効果が重要な要因であるにもかかわらず、彼らが理由も示さずに固定効果を除外することでモデルの頑健性を損ねていると批判している。

つまり、原子力は火力や水力といった安定性のある主要電源を代替する傾向にあるが、再生可能エネルギーがその役割を担うことは一般的でないことを、分析結果は表している⁷⁷。

このような電源同士の代替関係を考慮すると、表3の Model 2や4で示されている気候変動政策の効果についても説明がつく。GHG 排出量取引には、カーボンフリー電源の利用率を増加させる効果があると思われるが、カーボンフリー電源内の代替関係では、再生可能エネルギーに比べて原子力は利用されにくい傾向がある。たとえば、代替電源を統制したモデルでは、気候変動対策は再生可能エネルギーの電源利用を増加させつつ、原子力の電源利用に負の影響を及ぼしている。

したがって、以上の分析結果から、エネルギー変換部門において気候変動への対応が求められるとき、カーボンフリー電源全体の利用率は高まるが、その傾向は原子力よりも再生可能エネルギーに顕著であることが明らかになった。他方、エネルギー需要が高まると、再生可能エネルギー利用を減少させ、原子力利用を増加させることで安定的な電力供給と二酸化炭素排出量の削減の両立が試みられると考えられる。気候変動政策がカーボンフリー電源の利用を促進することを支持する結果は、仮説1に整合的である。さらに、エネルギーの需要が高まるほど、再生可能エネルギーの代わりに原子力の利用が増加するのは、二つの電源の代替関係を理論化した仮説3に整合的な結果である。一方で、再生可能エネルギー政策に関して、仮説2は支持されなかった。

5-2. 日本の原子力利用のシミュレーション

原子力利用が気候変動対策とエネルギー需要を両立させるものであるならば、現状の日本ではどの程度、原子力に依存する必要があるのだろうか。これまでの分析を踏まえて、国際比較の観点から、妥当と思われる日本の原子力利用率を算出する。まず、算出に当たっては全サンプルではなく、原子力利用国のみサンプルを用いて、時間効果のみを統制したプーリングモデルによる推定を行う。日本には多くの原発が立地していることから、利用率の比較は原発が運用されている国との間でなされるべきであろう。

次に、国際的な基準でシミュレーションを行うため、各国が政治的に原発推進派であるか反対派であるかなど、電源構成に対する説明力の高い要因は考慮しないことにする。分析では、国の個体効果は投入せず、年度の時間効果のみを統制することになる。その代わりに、期間中の変動がほとんどない地理的変数として、国の面積 (km²) の自然対数を追加で投入する⁷⁸。

⁷⁷ 電源利用同士の同時性を考慮した場合、エネルギーに対する需要が高いときに、再生可能エネルギー利用の減少分を補完するのが火力や水力でないのなら、補完しているのは原子力ということになるだろう。さらに、表3の Model 1と Model 3において、原子力利用に対してエネルギー使用量が有意でないことから、エネルギー需要が高いときにより利用されやすいのは、火力や水力である可能性がある。

⁷⁸ 「The World Development Indicators」から収集した。

また、従属変数と同時性のある変数はなるべく除外する。たとえば、代替電源の変数は原子力の利用率の決定に対して同時に決定される変数である。代替電源の利用率自体がエネルギー政策における各国の意思決定を反映してしまうため、その予測値は現実の原子力利用率をそのまま近似するものになってしまいかねない。

一人当たりエネルギー使用量も、原子力利用からの影響を同時に受けているととらえられる。たとえば、福島第一原発事故の際には、事故の危険性が高い原発が運転停止を余儀なくされ、夏季の電力不足が懸念された。2012年におけるエネルギー使用量の急激な減少は、原子力利用の減少に由来しているのである。つまり、エネルギー使用量という変数では、電力需要によって原子力利用が規定されているのか、原子力利用の可能性によって電力需要が上下しているのかという双方向の因果関係を区別することができない。この場合、人口の自然対数が各国における本来の電力需要を表す指標になりうる。人口が多く電力需要が高い国ほど、再生可能エネルギーよりも原子力利用が好まれるだろう。

そのほか、先の分析結果において有効性が低いと考察した制度的変数として、京都議定書、炭素税、FIT制度、クォータ制のダミー変数を除外する。ただし、GHG削減目標未達成は、制度的変数であると同時に、環境に対する懸念を操作化した変数として引き続き用いるこ

表5 年度の固定効果のみを考慮したモデル

	従属変数 原子力利用	
	Model 1	
GHG削減目標未達成	-0.2618 (0.5079)	
GHG排出量取引	5.2403 (7.4455)	
エネルギー輸入依存度	0.2745 (0.0984)	*
log(一人当たりGDP)	0.6103 (3.5817)	
log(人口)	-6.4579 (3.4003)	†
log(面積)	3.1050 (3.2237)	
時間効果	YES	
調整済みR ²	0.2911	
N	378	

(1) ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$ 。

(2) ()内は国ごとにクラスター化したロバスト標準誤差。

とにする。つまり、気候変動政策として GHG 排出量取引のダミー変数と GHG 削減目標未達成を残すことになる。

表 5 は、原子力利用国の国別パネルデータからプーリングモデルを推定した推定結果である。現実の原子力利用を説明するモデルではないため、調整済み決定係数が相対的に低いことや、統計的に有意な変数が少ない点に留意しつつ、ここでは係数の正負とその大きさに注目する。

気候変動政策としての GHG 排出量取引は、統計的に有意でないが、原子力利用を促進する変数となっている。温室効果ガスの削減が求められるとき、エネルギー転換部門がカーボンフリー電源としての原子力利用を増加させる可能性がある。

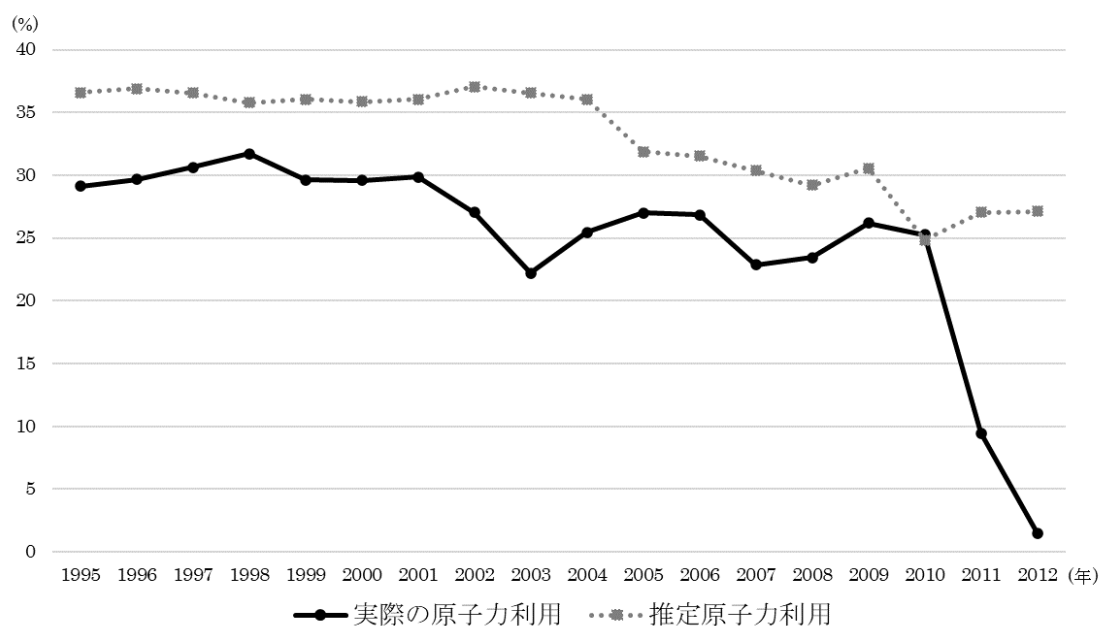
エネルギー安全保障上の懸念を表す、エネルギー輸入依存度は正の値をとっており、統計的に有意である。エネルギーへの輸入依存度が高まっており、エネルギー安全保障上の懸念が大きい国では、原子力利用による安定的な電力供給が重視されるのであろう。

また、社会的変数としての人口の自然対数は負の値をとっている。エネルギー需要が大きい国では、火力発電などの主要電源への依存が強まり、相対的に原子力利用率が低下するものと考えられる。

次に、このような表 5 の Model 1 の推定結果から表される回帰式に、日本の各年の変数の値を代入して、国際比較の観点から、妥当な日本の原子力利用率を算出するシミュレーションを行う。ダミー変数に関しては、該当する年度に「1」を、そうではない年度に「0」を入れて計算する。

図 1 では、1995 年から 2012 年までの実際の原子力利用率と予測値を、折れ線グラフで

図 1 実際の原子力利用と予測値の比較



比較している。破線のプロットは、推定式から算出した原子力利用率の予測値であり、実線で表されている実際の原子力利用の数値と比較できるようになっている。図 1 によると、実際の原子力利用は予測値よりもおおむね低く推移している。1995 年から 2012 年にかけて、日本はエネルギー安全保障上妥当と思われる原子力利用を実現できていなかったといえる。特に 2002 年から 2004 年と、2011 年以降に乖離が大きい。

2011 年は福島第一原発事故が起きたため、日本では原子力利用が大幅に減少し、2012 年には電源構成全体の 2%以下に落ち込んでいる。一方で、予測値は 2010 年から 2012 年にかけて上昇していることから、国際的には事故の影響が大きくなかったことがわかる。実際に、対象国のなかで、事故の影響を受けて利用率を大幅に低下させた国は日本とドイツだけである。

福島第一原発事故のほか、2002 年に東京電力が管内の原発トラブルに関する記録を隠蔽していた事件など、原発に関連する不祥事は国内の原子力利用率を減少させる要因になると考えられる。2003 年にかけて続く原子力利用率の減少は、一連の事件の影響を受けたものとしてとらえられる⁷⁹。

6. 結論

本稿では、1995 年から 2012 年までのパネルデータを用いて、原子力利用の制度的要因を明らかにしてきた。分析結果からは、第一に、気候変動対策としては、再生可能エネルギーの方が原子力よりもカーボンフリー電源として利用されやすいが、エネルギーの需要が高まっている状況では、原子力の利用が促進されるという代替関係が明らかになった。これは、仮説 1 と仮説 3 に整合的な結果である。

また、第二に、国際比較データに基づいて、日本の原子力利用率の予測値を算出することで、1995 年から 2012 年までの間、日本は電力の安定供給上、妥当と考えられる電源構成を実現していなかった可能性が示された。特に、東京電力の不祥事があった 2002 年から 2004 年までと、福島第一原発事故が起きた 2011 年以降にその傾向は顕著である。

上記の知見に基づけば、気候変動対策と電力の安定供給の両立という観点から、原子力の有用性は再評価されるべきであると思われる。特に、原子力利用率を従前の 30%程度にまで引き上げるためには、原発再稼働はやむを得ない。

他方、本稿の分析結果では、京都議定書などの気候変動枠組みの効果は限定的であった。本稿の分析対象期間以降、2015 年の COP21 で採択されたパリ協定は、アメリカや中国など温室効果ガスを多く排出している国も含め、すべての国が参加していることから、前身の京都議定書よりも公平な枠組みとなっており、この合意の下で、先進国と途上国が足並みを

⁷⁹ 「[電力危機](上) 運転再開、「不信」が壁 原発理解、国が指導力を (連載)』『読売新聞』2003 年 6 月 28 日 1 面。

そろえて気候変動の抑制に取り組むことが期待されている⁸⁰。パリ協定以降の期間を分析対象とする研究の実施が待たれるところである。

7. 参考文献

- 佐藤圭一. 2014. 「日本の気候変動政策ネットワークの基本構造—三極構造としての団体サポート関係と気候変動政策の関連」『環境社会学研究』20: pp.100-116.
- Adamantiades, Achilles and Ioannis Kessides. 2009. “Nuclear Power for Sustainable Development: Current Status and Future Prospects.” *Energy Policy* 37(12): pp.5149-5166.
- Aguirre, Mariana and Gbenga Ibikunle. 2014. “Determinants of Renewable Energy Growth: A Global Sample Analysis.” *Energy Policy* 69: pp.374-384.
- Apergis, Nicholas and James E. Payne. 2010. “A Panel Study of Nuclear Energy Consumption and Economic Growth.” *Energy Economics* 32(3): pp.545-549.
- Apergis, Nicholas, Payne, James E., Menyah, Kojo, and Yemane Wolde-Rufael. 2010. “On the Causal Dynamics Between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy, and Economic Growth.” *Ecological Economics* 69(11): pp.2255-2260.
- Buckman, Greg. 2011. “The Effectiveness of Renewable Portfolio Standard Banding and Carve-Outs in Supporting High-Cost Types of Renewable Electricity.” *Energy Policy* 39(7): pp.4105-4114.
- Carley, Sanya. 2009. “State Renewable Energy Electricity Policies: An Empirical Evaluation of Effectiveness.” *Energy Policy* 37(8): pp.3071-3081.
- Corner, Adam, Venables, Dan, Spence, Alexa, Poortinga, Wouter, Demski, Christina, and Nick Pidgeon. 2011. “Nuclear Power, Climate Change and Energy Security: Exploring British Public Attitudes.” *Energy Policy* 39(9), pp.4823-4833.
- Delmas, Magali A. and Maria J. Montes-Sancho. 2011. “U.S. State Policies for Renewable Energy: Context and Effectiveness.” *Energy Policy* 39(5): pp.2273-2288.
- Delmas, Magali, Russo, Michael V., and Maria J. Montes-Sancho. 2007. “Deregulation and Environmental Differentiation in the Electric Utility Industry.” *Strategic Management Journal* 28(2): pp.189-209.
- Finon, Dominique. 2006. “The Social Efficiency of Instruments for the Promotion of Renewable Energies in the Liberalised Power Industry.” *Annals of Public and Cooperative Economics* 77(3): pp.309-343.
- Fiore, Karine. 2006. “Nuclear Energy and Sustainability: Understanding ITER.” *Energy*

⁸⁰ https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000119.html (2022年11月9日)。

- Policy* 34(17): pp.3334-3341.
- Haas, Reinhard, Panzer, Christian, Resch, Gustav, Ragwitz, Mario, Reece, Gemma, and Anne Held. 2011. "A Historical Review of Promotion Strategies for Electricity from Renewable Energy Sources in EU Countries." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2): pp.1003-1034.
- Johnstone, Nick, Hašič, Ivan, and David Popp. 2010. "Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts." *Environmental and Resource Economics* 45: pp.133-155.
- Kilinc-Ata, Nurcan. 2016. "The Evaluation of Renewable Energy Policies Across EU Countries and US States: An Econometric Approach." *Energy for Sustainable Development* 31: pp.83-90.
- Kirikaleli, Dervis, Adedoyin, Festus F., and Festus V. Bekun. 2020. "Nuclear Energy Consumption and Economic Growth in the UK: Evidence from Wavelet Coherence Approach." *Journal of Public Affairs* 21(1): e2130.
- Kossoy, Alexandre, Peszko, Grzegorz, Oppermann, Klaus, Prytz, Nicolai, Klein, Noemie, Blok, Kornelis, Lam, Long, Wong, Lindee, and Bram Borkent. 2015. *State and Trends of Carbon Pricing 2015*. World Bank.
- Lee, Chien-Chiang and Yi-Bin Chiu. 2011. "Oil Prices, Nuclear Energy Consumption, and Economic Growth: New Evidence Using a Heterogeneous Panel Analysis." *Energy Policy* 39(4): pp.2111-2120.
- Lidsky, Lawrence M. and Marvin M. Miller. 1998. "Nuclear Power and Energy Security: A Revised Strategy for Japan." *Science and Global Security* 10(2): pp.127-150.
- Marques, António C. and José A. Fuinhas. 2012. "Are Public Policies Towards Renewables Successful? Evidence from European Countries." *Renewable Energy* 44: pp.109-118.
- Marques, António C., Fuinhas, José A., and J.R. Pires Manso. 2010. "Motivations Driving Renewable Energy in European Countries: A Panel Data Approach." *Energy Policy* 38(11): pp.6877-6885.
- Menanteau, Philippe, Finon, Dominique, Marie-Laure Lamy. 2003. "Prices Versus Quantities: Choosing Policies for Promoting the Development of Renewable Energy." *Energy Policy* 31(8): pp.799-812.
- Menz, Fredric C. and Stephan Vachon. 2006. "The Effectiveness of Different Policy Regimes for Promoting Wind Power: Experiences from the States." *Energy Policy* 34(14): pp.1786-1796.
- Polzin, Friedemann, Migendt, Michael, Täube, Florian A., and Paschen von Flotow, "Public Policy Influence on Renewable Energy Investments: A Panel Data Study

- Across OECD Countries.” *Energy Policy* 80: pp.98-111.
- Popp, David, Hašič, Ivan, and Neelakshi Medhi. 2011. “Technology and the Diffusion of Renewable Energy.” *Energy Economics* 33(4): pp.648-662.
- Shrimali, Gireesh, Jenner, Steffen, Groba, Felix, Chan, Gabriel, and Joe Indvik. 2012. “Have State Renewable Portfolio Standards Really Worked?: Synthesizing Past Policy Assessments to Build an Integrated Econometric Analysis of RPS Effectiveness in the U.S.” *DIW Berlin Discussion Paper* 1258.
- Smith Michael G. and Urpelainen Johannes. 2014. “The Effect of Feed-in Tariffs on Renewable Electricity Generation: An Instrumental Variables Approach.” *Environmental and Resource Economics* 57(3): pp.1-26.
- van Rujiven, Bas and Detlef P. van Vuuen. 2009. “Oil and Natural Gas Prices and Greenhouse Gas Emission Mitigation.” *Energy Policy* 37(11): pp.4797-4808.
- Wiser, Ryan, Namovicz, Cristopher, Gielecki, Mark, and Robert Smith. 2007. “Renewables Portfolio Standards: A Factual Introduction to Experience from the United States.” *Ernest Orland Lawrence Berkeley National Laboratory* LBNL-62569.
- Wiser, Ryan, Porter, Kevin, and Robert Grace. 2005. “Evaluating Experience with Renewables Portfolio Standards in the United States.” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10: pp.237-263.
- Wolde-Rufael, Yemane and Kojo Menyah. 2010. “Nuclear Energy Consumption and Economic Growth in Nine Developed Countries.” *Energy Economics* 32(3): pp.550-556.
- Yin, Haitao and Nicholas Powers. 2010. “Do State Renewable Portfolio Standards Promote in-State Renewable Generation?” *Energy Policy* 38(2): pp.1140-1149.
- Yoo, Seung-Hoon and Se-Ju Ku. 2009. “Causal Relationship Between Nuclear Energy Consumption and Economic Growth: A Multi-Country Analysis.” *Energy Policy* 37(5): pp.1905-1913.
- Zaman, Khalid. 2015. “Determinants of Nuclear Energy Consumption in South Asia: Economic and Energy Security Issues.” *International Journal of Energy Economics and Policy* 5(3): pp.822-827.