

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K20923

研究課題名(和文) サプライズを踏まえたエネルギー・シナリオの拡張と政策過程への適用の検討

研究課題名(英文) Extension of energy scenario analysis to deal with rapid technical change (surprises) and possible application for policy process

研究代表者

杉山 昌広 (Sugiyama, Masahiro)

東京大学・政策ビジョン研究センター・講師

研究者番号：20503428

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：長期の地球温暖化対策やエネルギー政策策定の際の基礎となるエネルギー・シナリオは非常に重要なツールだが、バイアスや問題点が知られている。本研究では技術が短期的に大きく変化するサプライズが、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)で利用されるようなシナリオでどう扱われているか検討した。シナリオを計算するモデルでは太陽光発電のコストが過大に設定され、導入量が過小評価され、また学習曲線のパターンに不整合な値になっていた。変化の速いエネルギー技術については、モデルの入力パラメーターの更新頻度を上げること、またコストが低下したシナリオなどを考慮するなど対応が必要であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Energy scenarios constitute a basic tool to assess long-term climate policy and energy policy. They, however, suffer from biases and various problems. This study investigated into how the scenarios utilized for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) deal with sudden changes in technology (surprises). Scenarios underestimated penetration of solar photovoltaics (PV) by using overly high cost parameters for solar PV and deviating from the typical pattern of learning/experience curves. For technologies with rapid changes such as solar PV, analysts should update the input assumptions for energy models and scenarios frequently and also explore a larger range of technology parameters.

研究分野：エネルギー・環境政策

キーワード：エネルギー・モデル エネルギー・シナリオ 不確実性 技術変化

1 . 研究開始当初の背景

長期のエネルギー政策や地球温暖化対策の立案にはエネルギー・シナリオが基礎的な役割を果たす。経済、エネルギー技術、エネルギー資源、環境汚染などを統合的に数式で表現するエネルギー経済モデルや統合評価モデルで作成されるエネルギー・シナリオは、高度に複雑なエネルギー・環境政策の議論を統合的に行う際には欠かせないツールである。国際的にも気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) の研究でもエネルギー・シナリオは重要な役割を果たしてきた。

しかし、過去のエネルギー・シナリオは不確実性の扱いで問題があり、特に新技術の台頭など、想定外またはサプライズのような事象の扱いに問題が残る。

エネルギー・シナリオの妥当性は学術研究のみならず、低炭素社会の実現に向けた政策に対しても大きな影響力を持ち得る。そこでエネルギー・シナリオにおける想定外やサプライズの表現について検討し、シナリオ研究の方法論を向上させることは重要である。

2 . 研究の目的

モデルに基づいて計算されたエネルギー・シナリオは、上述のように長期のエネルギー予測および地球温暖化対策の評価に使われる基礎的なツールである。長年による研究や応用にも拘わらず、モデルには様々な問題があることが知られている。不確実性やバイアスの問題に対応するために、古典的には感度解析が行われ、最近ではモデル相互比較プロジェクトやモンテカルロ法による分析が一般的になってきている (Paltev, 2016) 。しかしながら、こうした工夫でも対処できない問題はいまだに残る。

例としては、エネルギー・シナリオにおける太陽光発電や風力発電の導入量過小評価の問題がある。例えば国際エネルギー機関 (IEA) が毎年公表している世界エネルギー展望 (World Energy Outlook) では、過去の太陽光・風力発電の導入量を過小評価してきていることが指摘されている。太陽光についていえば、新たな報告書が出るたびに、生産拡大・技術進歩に伴うコスト低下を反映して、翌年から 2030 年までの太陽光導入量が上方修正されていた。それにも拘わらず、シナリオの導入量が翌年の現実に追いつかない状況が続いていた。

したがって本研究の第一の目的は、エネルギー・シナリオが技術的なサプライズをどのように扱っているか (もしくは扱うことができないでいるか) を描写し、その後、その原因について分析することとした。これにより、今後のモデルによるシナリオ分析の改善につなげる示唆を得ることを意図する。

本研究の予備的研究を進めるにあたって、欧米と日本でのエネルギー・シナリオ研究の

差に気が付いた。欧米ではエネルギー・シナリオは関連領域との融合的な研究が多く見られる。例えばエネルギー・シナリオの政策過程での用い方に関するガイダンスや、エネルギー技術のイノベーションについて検討する研究領域が見られる。しかし、日本でこうした研究は皆無ではないとしても十分な広がりがあるとは言いがたい。したがって、第 2 の研究目的として、エネルギー・シナリオの関連分野について、特に日本の文脈で広く考察をし、今後の日本の研究の方向性についても検討することとした。

3 . 研究の方法

(1) エネルギー・シナリオとサプライズ

上述したように太陽光・風力発電がシナリオにおいて過小評価されているとの指摘を受け、この技術の扱いについて調べることとした。また IPCC の最新の報告書では最も重要な技術として二酸化炭素回収貯留 (CCS) が挙げられているため、CCS も比較対象の技術として検討することとした。

分析対象のシナリオについては、IPCC 第 3 作業部会が作成するエネルギー・シナリオを収めたデータベースが起点になる。このデータベースには多くのデータが収められているが、設備費のデータは含まれていない。IPCC に貢献したモデル相互比較プロジェクトである AMPERE (<https://tntcat.iiasa.ac.at/AMPEREDB/>) は同様の形式で詳細なデータベースを用意しており、Work Package 2&3 のデータには再生可能エネルギーの資本費が含まれる。これらからパリ協定で長期的な温度目標として謳われる地球温暖化に伴う気温上昇を 2 °C に抑えるという目標に整合的なシナリオを分析した。

再生可能エネルギーの導入実績については様々なデータがあるが、価格については市場調査会社のデータが一般的である。ここでは公知情報に絞り、REN21 がインターネット上に整備する導入量や価格に関するデータを用いた。

エネルギー・シナリオで太陽光・風力発電や CCS などが導入される場合は、何らかの政策的後押しが仮定される。シナリオでは全世界に均等化された炭素税 (炭素価格) が仮定されることが多いため、特段の調査は必用としない。現実の再生可能エネルギーの支援策は炭素価格ではなく、固定価格買取制度 (FIT) や再生可能エネルギー割当基準 (RPS) が重要になる。これらについては REN21 が関連データを整理しているため、これを利用した。

(2) 日本におけるエネルギー・シナリオ研究の俯瞰的検討

エネルギー・シナリオに関連する広範な文献をレビューし、特に日本における研究と欧米における研究の違いに注意を払いながら

文献を読み込んでいった。

また、以前より日米欧のエネルギー・シナリオのモデル研究者や政策担当者にインタビューを実施していたため、このデータも活用し、エネルギー・シナリオとその関連分野の研究が日本と欧米でどのように違うか、欧米のベスト・プラクティスが日本で利用されているかを検討した。

4. 研究成果

(1) エネルギー・シナリオとサプライズ

過去の文献で言われているように、本研究で対象にしたデータベースでも、エネルギー・シナリオでは太陽光発電、風力発電の導入量が（初期時点では）過小評価されていることが明らかになった（杉山ほか、2017b）。

この原因を見るためにエネルギー・シナリオをエネルギー・モデルで作成するときのインプットである発電設備の設備費を過去の実績値と比較したところ、価格が過大に設定されていることが明らかになった。

学習曲線（経験曲線）の枠組みを用いてモデルデータベースの結果を整理した。モデルは長期的な学習率（例えば太陽光発電では20%程度とされる）が再現できていないか、または初期のコストが高すぎてコストの低減が再現できていない。

シナリオと現実の乖離のもう一つの理由は、モデルの中の政策の表現と、現実の政策の違いに求めることができる。再生可能エネルギーの導入支援策としての固定価格買取制度（FIT）の導入国の累積数を検討した。ドイツなどの欧州、また最近では日本のFITは有名であるが、全世界的に広がりを見せている。FITは特定の技術に高い炭素価格を設定する政策と解釈できる。一方、モデルでは炭素価格は共通に設定される。したがって短期的な大幅導入は結果として得られない。

モデルのバイアスの原因はモデル研究者だけに帰属することはできない。太陽光発電の専門家に将来コストの展望についてベイズ論的確率分布を厳格な方法（expert elicitation）で聞き取り調査した研究があるが（Curtright et al., 2008）、大幅なコスト低下を予測できた専門家は非常に少なかった。

エネルギー技術の変化は本質的に不確実であるため、エネルギー・シナリオがここ数年のトレンドを捉えられないこと自体は問題とはいえない。しかし、コストが急速に低下する技術については、エネルギー・モデルのパラメーターの更新を毎年行うこと、また学習曲線の効果を積極的に考慮することなどの対応が望ましい。

(2) 日本におけるエネルギー・シナリオ研究の俯瞰的検討

上記のサプライズに関する検討に並行して、日本におけるエネルギー・シナリオ研究を俯瞰した。

文献調査を進めることによって、日本では関連分野の蓄積が極めて限定的であることが明らかになった。サプライズに関連するエネルギー技術イノベーションの研究では、研究の量が非常に限られることがわかった（杉山、2016）。そもそも統合評価やエネルギー・シナリオ自体が学際的な研究分野であるが、技術変化やイノベーションをより厳密に考慮すると学際性をさらに進めた研究が求められる。しかし、こうした取り組みは日本では遅れており、2011年の東日本大震災・東京電力福島第一原子力発電所事故以降も改善の傾向が見られない（Sugiyama et al. 2016）。

例えば上述のIPCCシナリオ・データベースでは、複数のモデルによる結果の違いを明示的に分析するモデル相互比較が一般的になってきており、欧米では盛んに研究が進んでいる。日本でも同様な研究は2009年の中期目標検討委員会の時に行われていたが、政策決定プロセスの一環として行われ、モデル分析にあわせてタウンホール会議や意見調査も行われた。

日本と欧米の研究の違いは、欧米はモデル相互比較プロジェクトが学術的研究として行われているのに対し、日本では政策過程に取り込まれていたことである（Sugiyama, 2016）。もちろん欧米でも政策過程の一部として政府機関によるシナリオ分析は行われるが、一部のモデルに限って分析がなされるのが通常である。欧米の学術的モデル相互比較は客観的に知識を明らかにするところに重きがおかれ、政策との距離を意識的に確保することで研究の中立性を確保する努力が見られた。

こうした知見を他の研究プロジェクトとして開始していた日本の地球温暖化対策のモデル相互比較プロジェクトに、活用した（杉山ほか、2017a）。

またエネルギー・シナリオ研究の文献調査の過程で得られた、不確実性をシナリオでどのように扱うべきかといった知見を踏まえ、気候工学 climate engineering のシナリオ研究を進めるための方策についても検討した（Sugiyama et al., 2017, accepted）。

引用文献

- Curtright, A. E., Morgan, M. G., & Keith, D. W. (2008). Expert Assessments of Future Photovoltaic Technologies. *Environmental Science & Technology*, 42(24), 9031-9038. <http://doi.org/10.1021/es8014088>
- Paltsev, S. (2016). Energy scenarios: the value and limits of scenario analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. <http://doi.org/10.1002/WENE.242>
- Sugiyama, M. (2012). Climate change mitigation and electrification. *Energy Policy*, 44, 464-468.

<http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.028>

Sugiyama, M., Akashi, O., Wada, K., Kanudia, A., Li, J., & Weyant, J. (2014). Energy efficiency potentials for global climate change mitigation. *Climatic Change*, 123(3-4), 397-411. <http://doi.org/10.1007/s10584-013-0874-5>

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Sugiyama, M., Sakata, I., Shiroyama, H., Yoshikawa, H., & Taketoshi, T. (2016). Research Management: Five years on from Fukushima. *Nature*, 531(7592), 29-31. <http://doi.org/10.1038/531029a> (査読無)

杉山昌広 (2016). 気候変動緩和策としてのエネルギー技術イノベーション政策. *環境経済・政策研究*, 9, 1, 103-107. http://doi.org/10.14927/reeps.9.1_103 (査読無)

Sugiyama, M., Arino, Y., Kosugi, T., Kuroasawa, A., & Watanabe, S. (2017). Next steps in geoengineering scenario research: Limited deployment scenarios and beyond. *Climate Policy* (accepted). <http://doi.org/10.1080/14693062.2017.1323721> (査読有)

[学会発表](計3件)

Sugiyama, M. (2016). Absorptive capacity for energy policymaking: A case of energy-economic modeling. 34th USAEE & IAEE North American Conference. 2016年10月26日, タルサ(米国).

杉山昌広, 藤森真一郎, 和田謙一, 遠藤聖也, 藤井康正, 小宮山涼一, 加藤悦史, 黒沢厚志, 松尾雄司, 大城賢, 佐野史典. (2017a). 日本の中期・長期的な緩和パスとその課題: モデル相互比較プロジェクトの試行. エネルギー・資源学会第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2017年2月2日, 砂防会館(東京都千代田区).

杉山昌広, 浦江望於, 佐々木友理. (2017b). エネルギー・シナリオのバイア

ス: 技術変化と政策選好. エネルギー・資源学会第36回研究発表会(2017年6月8日, 予稿採択済), 砂防会館(東京都千代田区).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉山昌広 (SUGIYAMA, Masahiro)
東京大学・政策ビジョン研究センター・講師
研究者番号: 20503428

(2) 研究協力者

梶川裕矢 (KAJIKAWA, Yuya)
東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授
研究者番号: 70401148