

# エネルギー・シナリオ研究とトランジション研究—接合か並走か—

2021年3月18日

杉山 昌広・陳 奕均  
(東京大学未来ビジョン研究センター)

# 日本では脱炭素の文脈でシナリオに重きがおかれトランジションは(相対的に)扱いが少なかった

- 「もはや、温暖化への対応は経済成長の制約ではありません。積極的に温暖化対策を行うことが、**産業構造や経済社会の変革**をもたらし、大きな成長につながるという発想の転換が必要です。」（菅首相所信表明演説, 2020/10/26）
- 達成したいことはトランジション
  - ⇔
- 分析枠組みはエネルギー・モデルによるシナリオ分析が一般的
  - エネルギー経済学／環境経済学の枠組み
- Evidence-based informed policymakingのためにはシナリオとトランジションの組み合わせが必要
  - 良質なエビデンス：credible, legitimate, salient (Cash et al. 2003)

# 「トランジション」への研究アプローチ

➤ 低炭素社会へのトランジション経路を分析するアプローチは、3つに分けられる：

– 定量的モデル分析 Quantitative systems modelling

- e.g. 統合評価モデル (IAM)

– 社会技術トランジション分析

Socio-technical transition analysis

- e.g. 重層的視座 (Multi-level perspective, MLP)

– 実践を通じた学習 (initiative-based learning) / 実践行動研究 (practice-based action research)

サステナビリティ  
・トランジション  
研究



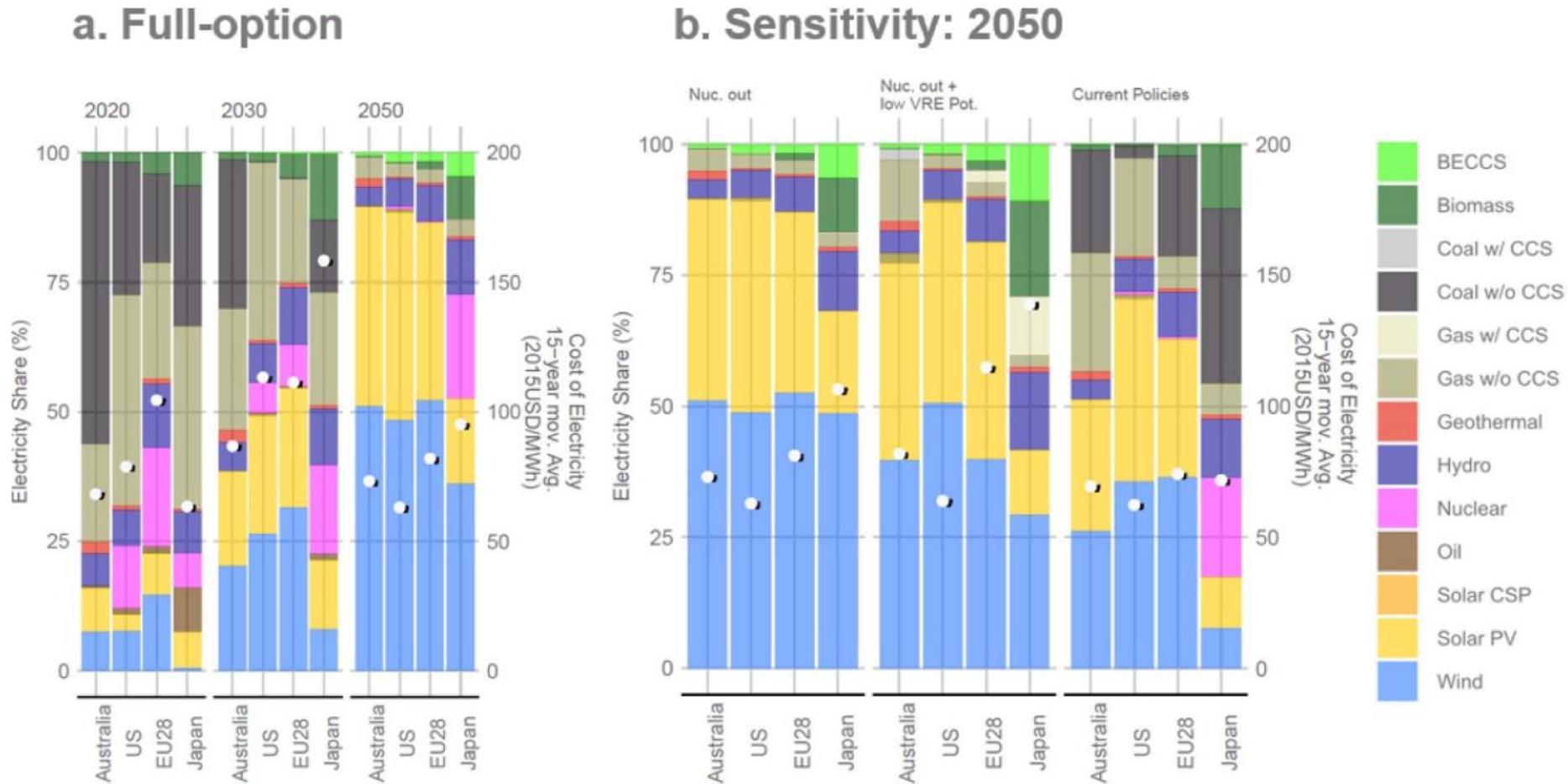
- Turnheim, B., et al. (2015). "Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges." Global Environmental Change **35**: 239-253.
- Geels, F. W., et al. (2016). "Bridging analytical approaches for low-carbon transitions." Nature Climate Change **6**(6): 576-583.
- Hof, A. F., et al. (2020). "Understanding transition pathways by bridging modelling, transition and practice-based studies: Editorial introduction to the special issue." Technological Forecasting and Social Change **151**: 119665.

# 日本の最近のネット・ゼロのシナリオ

---

- モデルに基づく
- 査読付き論文に発表されている

# Schreyer et al. (2020, ERL, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb852>): VRE share in Japan is smaller than in US, EU, Australia



**Figure 3.** Left panel (a) Electricity mix in 2020, 2030 and 2050 in Net-zero scenario (bars, left y-axis) and 15-year moving average cost of electricity (white dots, right y-axis). Right panel (b) Electricity mixes (bars) and cost of electricity (white dots) for 2050 across different scenarios: net-zero scenario with regional nuclear phase-out by 2040 (left), net-zero scenario with nuclear phase-out and limited wind and solar potentials (center) and Current Policies scenario (right).

# エネルギー・シナリオには様々な限界がある

(Krey et al. 2014, McCollum et al. 2020, Shiraki & Sugiyama 2020, 他)

- 変化の速い技術には追いつけていない
  - 太陽光、電気自動車、天然ガスはモデルは過小評価  
(Trancik et al. 2015; Paltsev 2017; Shiraki & Sugiyama 2020)
- 特定の研究機関、グループのシナリオだけ扱っていると偏りがでる(Krey 2014)
  - 同じモデルでの仮定を変えたときの結果の差  
  < 同じ仮定でモデルを変えたときの結果の差
- 小さなスケールに行けば行くほど不確実性が増す
  - ESG投資、TCFD対応への難しさ
- COVID-19のようなextremeは扱えていない (McCollum et al. 2020)
- シナリオは独り歩きする傾向があるのでコミュニケーションが難しい  
(バイオマスCCSの例：Hilaire et al. 2019)
- シナリオではpolitical feasibility（政治的実現可能性）(Jewell & Cherp 2019)  
やシステム・イノベーション政策など評価できない項目も多い

# トランジション経路への研究アプローチを 結合する必要

---

- トランジションを管理する (governing) ためには、定量的モデル分析、社会技術トランジション分析、実践を通じた学習/行動研究 といった3つアプローチを結びつける必要がある。
- しかし、各アプローチに異なる科学哲学、存在論を持っており、簡単に統合する (integrate) ことができないので、橋渡し(bridging)をする。

- Turnheim, B., et al. (2015). "Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges." Global Environmental Change **35**: 239-253.
- Geels, F. W., et al. (2016). "Bridging analytical approaches for low-carbon transitions." Nature climate change **6**(6): 576-583.

# トランジション経路への研究アプローチを 結合する必要

---

- EUの「PATHWAYS」プロジェクト (EC FP7-funded, 2013–2017)
  - 『Technological Forecasting & Social Change』の特集  
(‘Transition Pathways’) で研究結果を紹介 ( Volume 151  
(February 2020) )
    - Hof, A. F., van Vuuren, D. P., Berkhout, F., & Geels, F. W. (2020).  
Understanding transition pathways by bridging modelling, transition  
and practice-based studies: Editorial introduction to the special  
issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119665.
  - 研究アプローチの橋渡しの実践には3つの手法：  
比較的 (comparative) , 手順的 (procedural) , 統合的  
(integrative)

# シナリオとトランジション研究に関するプロジェクトの例

---

- 日立東大ラボ Working Group 3（社会シナリオ）
  - トランジション・シナリオの創出
- 環境省 推進費：「脱炭素トランジション：イノベーションとライフスタイル変容の複数モデル評価」（2021年度～2023年度）
  - 東大（未来ビ、工）、電中研、京大、エネ研
  - シナリオをトランジション研究を踏まえてシステム・イノベーション政策に翻訳
- EDITS (Energy Demand changes Induced by Technological and Social innovations)（2020年度～）（IIASA & RITE）
  - 需要側にフォーカス、シナリオ分析にトランジション研究やエネルギー技術イノベーションの知見を持ち込む

# 社会技術シナリオ(STSc)

---

- 定量的モデル分析と社会技術トランジション分析の bridging（手順的な手法で）により社会技術シナリオを作成する試み

## – イギリスの例

- Geels, F. W., McMeekin, A., & Pfluger, B. (2020). Socio-technical scenarios as a methodological tool to explore social and political feasibility in low-carbon transitions: Bridging computer models and the multi-level perspective in UK electricity generation (2010–2050). *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119258.

## – ドイツの例

- Rogge, K. S., Pfluger, B., & Geels, F. W. (2020). Transformative policy mixes in socio-technical scenarios: The case of the low-carbon transition of the German electricity system (2010–2050). *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119259.
- 【参考】英・独の電力部門のトランジションをMLPによる定性的分析：  
Geels, F. W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., ... & Wassermann, S. (2016). The enactment of socio-technical transition pathways: a reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). *Research Policy*, 45(4), 896-913.

# 社会技術シナリオ(STSc)

---

- モデルと定性的ストーリーラインとの間の、再帰的に (recursively) 対話 (dialogue) することで、両アプローチを比較・対照
- 「移行のボトルネック」 ( transition bottlenecks) :  
MLP分析 (経路依存性と最近の進展に焦点を当てる) と  
目標指向のモデルで生成されたシナリオ ([ネットゼロの]目標達成に必要な望ましい将来の普及軌道に焦点を当てる)  
との間の緊張関係 (ギャップ等)
- モデルで生成されたトランジション経路のために、説得力のあるストーリー (plausible storylines) を作成

# イギリスのSTSc

---

➤ 8つの繰り返し(iterative)ステップ

## 1. システムの選択:

- 電力システム

## 2. ベースライン・シナリオの作成 (‘Neutral pathway’):

- 2050年までにGHGを1990年比で80%減
- 技術経済シナリオ、費用効率
- 技術中立、すべての技術のコストは平均的な速度で発展
- 英: IMAGE、WITCHとのIAM、Enertileという部門に特化したモデルで作成

# イギリスのSTSc

---

➤ 8つの繰り返しステップ:

## 3. 社会技術シナリオの設定

先行研究、「内発的实施」(endogenous enactment) による  
転換経路に対する社会技術的な理解で、  
経路Aと経路Bを想定・設定する:

- 経路 A: 既存アクターが主導 (incumbent actors)
- 経路 B: 新規参入者が主導 (new entrants)

# イギリスのSTSc

## ➤ 8つの繰り返しステップ:

### (続き) 3.社会技術シナリオの設定

経路 A	<ul style="list-style-type: none"><li>● 既存アクターが主導</li><li>● 技術代替</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 原発：使う</li><li>● 洋上風力：好まれる</li><li>● CCS, biomass-CCS</li><li>● 陸上風力：少ない</li></ul>
経路 B	<ul style="list-style-type: none"><li>● 新規参入者が主導</li><li>● システム転換</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 電力消費量減少 → 2030年以降増加：EV</li><li>● 原発：延命せず、フェーズアウト</li><li>● CCSなし</li><li>● PV増加: 住宅 + メガソーラー</li></ul>

# イギリスのSTSc

---

➤ 8つの繰り返しステップ:

4. 経路 A と Bの設定をモデルに

# イギリスのSTSc

---

## ➤ 8つの繰り返しステップ:

### 5. MLPに基づいた定性的分析

【これまでの】 ニッチ・イノベーション技術、レジームの軌道に対する定性的分析。

### 6. ステップ4とステップ5を照らし合わせてみる

ステップ4の定量的な将来シナリオと、ステップ5の近年の発展に関する定性的な評価とを比較。

### 7. 社会技術シナリオを作成

如何にしてステップ4の定量モデル（シナリオ）の経路を達成できるのか？

説得力のあるアクターベースのストーリーラインを明確にすることを目的とした質的な社会技術シナリオを作る。

### 8. 考察

STScとモデルベースのシナリオから得られた政策的インプリケーションについて議論。

# 今後の研究の方向性

---

- 日本の事情の的確な反映

- モデルのシナリオ分析

- 再生可能エネルギーのコストが高い（グリーン水素等も高くなる）
    - 相対的賦存量が小さい（再エネ100%は不可能ではないが「困難」）

- 政治的、経済的な違い

- 若者のグリーン・ムーブメントは弱い
    - 民主主義だが行政が強い
    - Experimentationの重要性にも関わらずcleantechは僅少

- Geels et al. (2020)の限界

- 供給側中心（ただPATHWAYではmobility等も検討）

- ランドスケープは明示的に分析されていない  
（日本の場合、外圧が重要？）