

Title	不確実性下におけるエネルギー選択の科学
Author(s)	桐山, 恵理子
Citation	年次学術大会講演要旨集, 28: 713-716
Issue Date	2013-11-02
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11812
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

不確実性下におけるエネルギー選択の科学

○桐山恵理子（東京大学）

1. エネルギー政策のための科学

エネルギー政策のための科学的知見として、エネルギーモデルによるエネルギーシステムについての解析結果が主たる科学的根拠として活用されてきた。エネルギーモデルとは、エネルギーシステムの構成要素間の相互関係を数式で抽象化することによって、一連のプログラムとして実現したものである。一般的な目的としては、複雑なエネルギーシステムを大規模な連立方程式で記述し定量的に評価すること、モデル作成者（専門家、研究者等）が対象とするエネルギーシステムに対する理解を深めること、エネルギー政策意思決定支援ツールとして、対象とするエネルギーシステムを理解するための共通フレームを提供し、政策意思決定者間における意識あわせ、議論のたたき台としての科学的知見を提供することである。

エネルギーモデルには、価値評価を明示的に含まない将来トレンド「将来は・・・だろう」を予測することを目的とするモデルと、予測データに基づく最適化計算により「将来は・・・すべきであろう」といったコスト最小化の価値評価等を含む規範的モデルがある。さらにこれらは、演繹的、合理的、ミクロ的にシステム構築されたボトムアップモデルと、帰納的、経験的、マクロ的なトップダウンモデルの二つに分類できる（図1）。

これらのエネルギーモデルは、複雑なシステムを大規模な連立方程式で記述し定量的に評価することが可能である。また、エネルギーシステムを理解するためのフレームワークを提供し、想定された前提条件の下で、多様なシナリオを検討することが可能である。

エネルギーモデルの時間構造を分類すると、単一時点を対象とした静学的モデル、対象とする期間中の複数の時点について時間順に逐次評価を進める準動学的モデル（基本的には対象とするシステムの寿命が短いものを対象とし、静学的モデルを逐次複数回行うフォアキャストモデル）、対象とする期間中の複数の時点について同時に評価する動学的モデル（エネルギーシステムに関連する設備等が複数時点にまたがって存在するようなケースを対象としたバックキャストモデル）がある。

以上のエネルギーモデルが提供する科学的知見について、その目的を大きく分類すると、以下の四つになる（図1）。

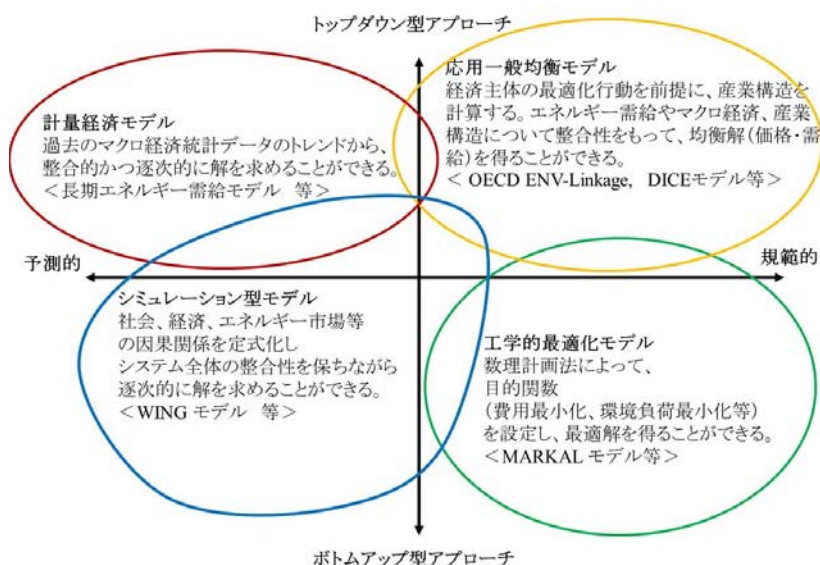


図1 エネルギーモデルの分類とその特徴（[1]に筆者加筆）

①計量経済モデル

目的：社会経済指標やエネルギー・環境関連指標間の因果関係を計量経済学手法（回帰分析等）によりモデル化し、逐次的に解を求める。

②シミュレーション型モデル

目的：社会、経済、エネルギー等の要因間の因果関係を定式化し、システム全体の整合性を保ちつつ逐次的に解を求める。

③応用一般均衡モデル

目的：家計・企業等の経済主体が最適化行動をとることを前提に、資本 K と労働力 L のコブ=ダグラス型関数で生産量 Q が定義されることが多い。産業連関表をベースとして、マクロ経済動向と整合した産業構造を計算する。

④工学的最適化モデル

目的：元々は特定のエネルギー事業者のシステムにかかるコスト等を最適化することを目的に開発された（電源計画、石油精製、核燃料サイクル等）。エネルギー技術等の工学プロセスを線形、非線形方程式で記述し、コスト最小化、環境負荷最小化等の目的関数を設定し、最適化手法（線形計画法、非線形計画法により最適解を求める。

Knight (1921)は、ある「不確実な」事象に対し、その事象が生起する確率が既知であるか（すなわち、事象に対する確率分布が既知であるかどうか）で、リスクと不確実性を区別することを提唱した。すなわち、定量的に測定可能な発生確率をリスク、不確実性は真に測定不可能なものであると定義している。これに対して、Wynne (2001)は、不確実性を「技術的不確実性」（リスクと狭義の不確実性）とそれ以外の「構造的な不確実性」に大別した。

一般にリスクとは、発生可能性のある有害事象（ハザード）の規模とそれが実際に起こる確率の積として定式化されている。

科学的知見はすべて、特定のフレーミングのもとで定式化された問題の解の集合である。解の正しさは、特定のフレーミングに基づいたモデルや実験デザイン、観測・検出・分析の方法、測定基準、装置等、その他の状況の下で検証されるものである。従って、異なるフレーミングでは解の正しさの度合いは大きく変動する可能性がある。

この不一致を知識の状況依存性という。不一致や非決定性などの構造的な不確実性とは、ある特定のフレーミングと検証条件で正しいと確認された科学的知見が、異なる前提条件の下では正しくない可能性が理論的または実証的に示唆され、そのフレーミングに含まれる理論的前提や実験手法など、知識の枠組み自体に誤りがある可能性がある場合に用いられる。これに対して、技術的不確実性は、ある特定のフレーミングや検証条件の下で、構造的な不確実性が無視できる（または無視した）場合のものであり、そのフレーミングに固有の前提の下での理論・モデリング・実験の改善や新たな事実・データ獲得によって、科学的に解消できるものであると定義されている。

Stirling (2013)は、科学的知見によるリスクアセスメントは、本質的に不定性を有していることを指摘している。発生可能性のある個々のハザードとその発生確率にかかる科学的知見が定まっている程度によって、その状態をリスク (Risk)・不確実性 (Uncertainty)・多義性 (Ambiguity)・無知 (Ignorance) の4つに類型化した。Stirling (2013)は、不確実性から無知の領域にあるような意思決定問題について、利害関係のある科学者や専門家がメインの審議会における閉ざされた議論によって、本質的には不確実性、多義性、多次元の不確実性が存在する問題を、一次元のリスク問題に収束させて意思決定を行うことについての問題を指摘している。

2. 目的

本研究の目的は、不確実性から無知の領域におけるエネルギー選択にかかる熟議の有用性を検討することである。社会（人々：すべてのアクター）にとっては「すべてのリスクを回避する政策シナリオを選択すること」が理想である。しかし現実には、その時点の科学的知見を結集した最善の (best) 政策シナリオでさえも、「リスクを最小化し管理することのみが可能な（つまり、すべてのリスクを回避することはできない）、まあまあ良い (good) 政策シナリオ」に過ぎない可能性が高い。すべてのハザードとリスクは科学的な不確実性を有しているため、提供される科学的知見の多くは完全なる知ではなく、そこには不確実性が存在し、対象によっては現状では未だ克服困難な無知が存在するという現実を社会が共有する必要があると考える。

Jasanoff (2003)は、現代の科学技術やリスクに関する専門家や政策意思決定者の言説は、予測とコント

ロールを最善の価値とし、不確実性や多義性、無知の知や、科学的なフレーミングを超えた社会的・規範的な問題の重要性を無視することによって、科学的知見にも内在する無知の知と、それらの問題を公にすることを拒絶する傲慢さ（hubris）に支配されていることを指摘している。

実際の政策でのエネルギー選択問題は、多次元の不確実性によって複雑になっており、解を出すためには、何が問題なのかを問う人間のフレーミングによるバイアスがかかるため、解は多義的になり、多次元の解空間が存在することとなる。

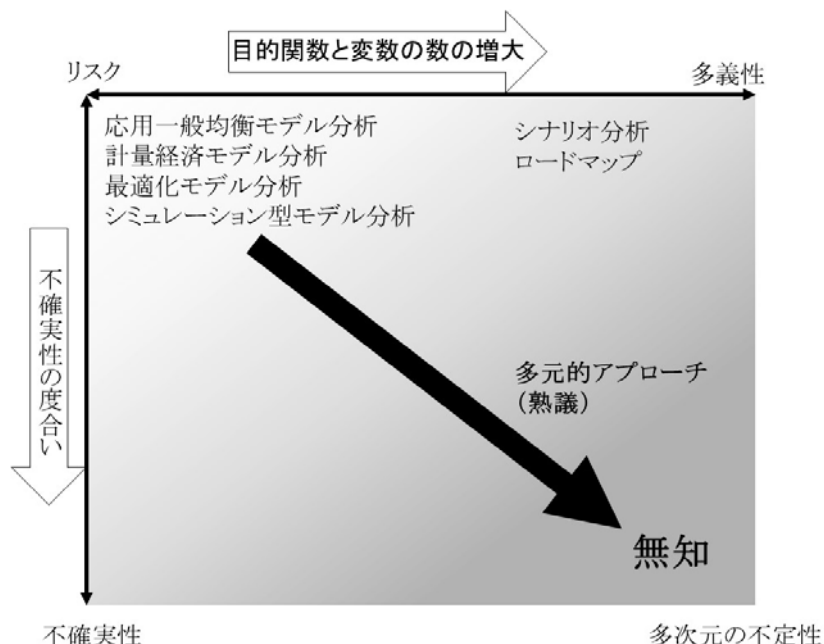


図2 不確実から無知の領域における意思決定における熟議の位置づけ（[4]に筆者加筆）

3. エネルギー選択にかかる国民的議論

不確実性下におけるエネルギー選択、とりわけ将来世代へ影響を与える意思決定については、多様なアクターの参加による熟議と、熟議における前提として無知の知を理解することが必要である。すべてのアクター（人々）と社会との関係性、あるいはその参加の在り方を考えるためには、全てのアクターが、それぞれのフレーミングの違いを認識することが重要であると考えられる。

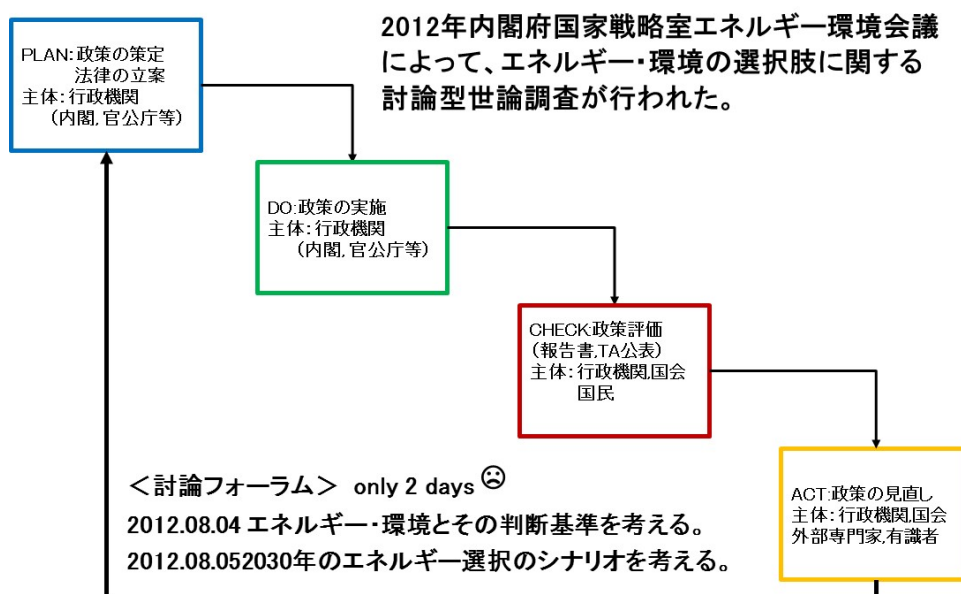


図3 エネルギー政策意思決定プロセス（PDCA サイクル）における熟議の位置づけ

科学者にとって、現在の知識で特定することができない不確実性を超えた無知の知の領域は、研究対象とすることが不可能である。次の大きな地震や津波が起こるのは、何時なのか、何処なのか、どの程度なのかについては、現時点での科学では、正しく予測することが不可能である。

FUKUSHIMA にかかるデータ、現存するすべての科学的知見の徹底的な再編を通して、不確実性下での問題解決のために、科学者や専門家、政策意思決定者の多くは、リスクと便益のバランスによって「どれだけ安全ならば安心なのか（How safe is safe enough?）」を判断することが求められていると認識している。しかし、いま現在、「なにが、どの程度わからないのか」ということについて、社会に対する情報提供が十分になされていないことが問題ではないだろうか。

社会から求められていることは、リスクと便益のバランスをとることだけでなく、無知の知も含めた不確実性についての理解と、技術利用の目的や便益、必要性についての理解、科学者の責任や信頼性、さらには意思決定過程の透明性や説明責任、倫理である。

2012 年 8 月世界で初めて日本において、エネルギー政策の意思決定プロセスに熟議（DP: Deliberative Polling）が正式に組み込まれ実施された。DP から得られた知見がエネルギー政策の意思決定に十分に反映されているのか、第三者機関等による再検証が必要ではないだろうか。そして、不確実性下におけるエネルギー選択については、「無知の知」を社会全体と共有し熟議するためのコミュニケーションの和（Wa）が必要であろう（図 4）。

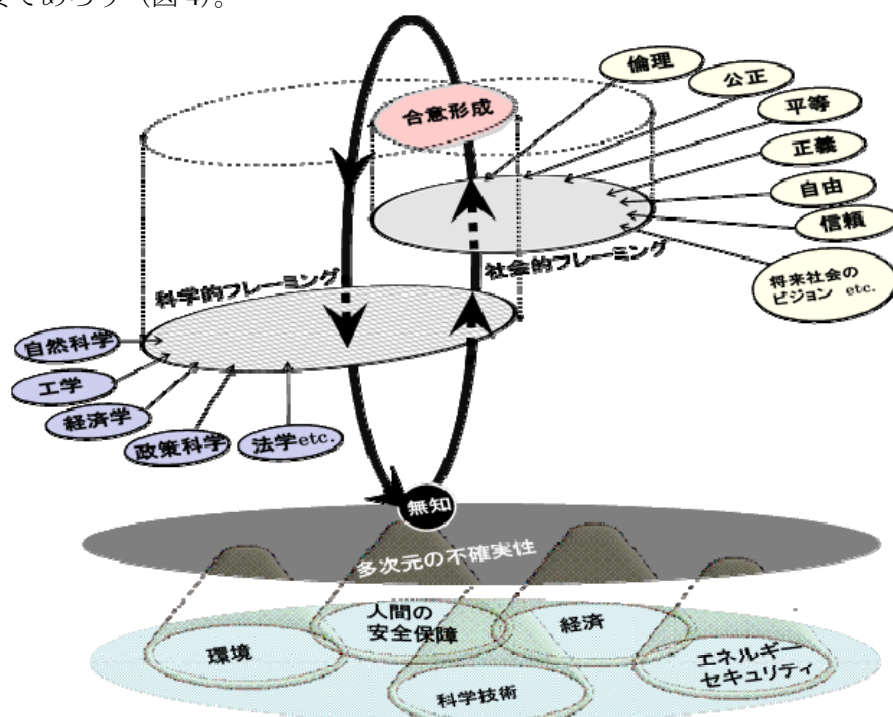


図 4 「無知の知」を社会全体と共有し熟議するためのコミュニケーションの和（Wa）

参考文献

- [1] 東京大学エネルギー工学連携センター（2011）「物質・エネルギー統合モデルによる物質・エネルギー環のデザインとエネルギー技術戦略」講演要旨集
- [2] Knight, Frank (1921) Risk, Uncertainty and Profit, Houghton Muffin, Boston. Midway reprint, The University Chicago Press, London
- [3] Wynne, Brian (2001) "Managing Scientific Uncertainty in Public Policy," Biotechnology and Global Governance: Crisis and Opportunity, Harvard University Weatherhead Center for International Affairs, April 26-28, 2001.
- [4] Stirling, Andrew (2013) "From sustainability, through diversity to transformation: towards more reflexive governance of technological vulnerability.," In: Vulnerability in technological cultures: new directions in research and governance. MIT Press, Cambridge, MA.
- [5] Jasanoff, Sheila (2003) "Technologies of Humility: Citizen Participation in Governing Science", Minerva Vol.41, no.3: 223-244