

不確定要素が多い水素エネルギー政策を「頑健」にサポートする新しい未来社会分析方法

高間剛*、David Groves**、James Keirstead***

ストックホルム環境研究所・オックスフォード大学*

RAND コーポレーション**

インペリアル・カレッジ・ロンドン***

Robust decision making for hydrogen economy assessment

Takeshi Takama*, David Groves**, James Keirstead***

Stockholm Environment Institute/Oxford office*

266 Banbury Road, Suite 193, Oxford OX2 7DL, U.K.

Rand Corporation**

1776 Main Street, Santa Monica, CA 90401-3208, United States

Imperial College London***

Princes Gardens, London, SW7 1NA, United Kingdom

This article briefly introduces a new method to analyse the future of the Japanese hydrogen energy. The development of a new economy centering on the hydrogen energy and its market has many uncertain elements. Therefore, we explain the problems of the existing analytical methods concerning uncertainties and "why a new analytical method is needed" to support policymaking.

Keywords: Robustness, Uncertainty, Probability, Scenario analysis, Decision making, Policy making

この論文では、日本の水素エネルギーの将来を分析する新たな方法を簡単に紹介する。水素エネルギーを軸にした経済と、その市場の発生には多くの不確定要素があるので、「なぜ新たな分析方法が必要なのか？」という問いに、不確定要素に関わる既存の分析方法の問題点と絡めて答える。

日本の水素経済の展望と不確実性

IPCC と IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) による評価によると、世界の人口はさらに 100 億人増加することを示している。そして、GDP は 2100 年までに、1 年につき少なくとも 200 兆米ドル上がる憶測である。指数関数的な世界人口と経済成長の急速な増加で、世界エネルギー需要は、増加することになるだろう。最も積極的なシナリオは、エネルギー需要が 2100 年までに現在の需要レベルの 5 倍以上にな

ることを示す。そして、最も保守的なシナリオでさえ、需要が二倍になると憶測される。

現在の経済は、非常に限られた化石燃料に依存している。たとえすべての資源が枯渇することがないとしても、経済理論の基礎は化石燃料生産が低下すれば、供給コストが上がることを示している。また、石油生産の大半が政治的に不安定な地帯にあることは、地政学の見地から、世界的なエネルギー問題であると考えられる必要がある。エネルギー問題は気候変動緩和に深い関係があるので、気候変動も考慮されなければならない。

さらに、現在の経済危機は、エネルギー問題にも影響を与えるだろう。以前の予想ほどエネルギー消費が増えないことは確かであるので、これは世界的なエネルギー状況を推測することがいかに困難であるかを示している。これらの問題のため、我々は再生可能エネルギー時代へ移動するために緊急な処置をとる必要がある。また、戦

略的な政策立案において、これらの問題を扱う方法についても考えなければならない。そして、これら全ての事柄は当然のことながら膨大な不確実性を持つ。

水素エネルギーは、化石燃料の代表的な代替資源の1つである。水素エネルギーが望ましい代替資源でありえるという理由は、太陽、水力、地熱、バイオマスなどを含む多角化された主要なエネルギー源から発生することができる事と、ゼロエミッション・エネルギーであるといえるからである。

したがって、問題になるのは水素経済への移行を容易にする際に、何が方針であり政府の役割であるかということである。それは、気候変動、景気後退、その他の不確実性の下で一番よい移行方法を選ぶことである。実際、水素技術の革新を支持する政府の役割は何であるか？水素製品を購入する助成金はその市場をつくる手助けとなるのか？

「非確率論的なシナリオ・アプローチ」と「確率論的な予測アプローチ」

これまでの将来に関する分析は、将来ありうる状況を確率とGDPなどのある一定の基準を元に量的に算出する「確率論的な予測する」か、もっと質的に起こりうる少数の「非確率論的なシナリオ」を詳しく記述するかである。「水素経済の可能性」といった未来を分析する場合には、前者の方法では算出する確率に不確定要素が含まれすぎていて、確立を概算することが困難であるか、あるいは算出した確率がまったく役に立たないであろう。そのため、後者の非確率論的なシナリオ・アプローチの方が幾分利用価値があるかもしれないので、この分析方法は実際に試されてきた。しかし、この場合でも、多く枝分かれした不確定な将来を記述することは不可能である。すなわち、膨大な不確定要素の下では、従来のツールでは「50年後の水素経済」と分析することはできないだろう。

図1は不確定要素と将来に関する分析方法の関係を示している。より遠い未来を検討しようとしたとき、不確実性がより多く含まれることになり、規定事実が少なくなってくる。例えば、水素経済の実現と考えた場合、水素の持っているエネルギー質量は未来永劫規定事実として代わらないであろう。しかし、水素から電力を作るための触媒にプラチナが使われるといった今の規定事実は、20年後も同じであるとは限らない。さらに経済状況の分

析を考えた場合、数年先でさえ不確定な条件が多数ある。

完全に物事が決まっていなくても、過去の経験や数学的な分析により、確率を出せるものも多くある。例えば、気候変動の影響がそれほどでもない短期の気候の変化なら、今までの経験値を元に確率を出すことも可能だろう。そのほか、「数年後に水素から電気を作る触媒となるプラチナが来年の市場に出回る確率はゼロに近い」など、排除するための確率は多く出よう。これらのことを考慮することにより、確率論的な予測アプローチで数年後の未来を予測することは可能になる。つまり、これは規定事実が不確定要素よりも格段に多い状況である。図1の一番左の色がついていないエリアである。確率論的な予測アプローチの場合、予測された未来の起こる確率と、その報酬と費用を憶測できるので、どの政策を取るか意思決定を直接下すことができる。ここまで述べたように、ここでは「予測」を他の似たような言葉を分けて使っている。この論文では、予測を英語の(Forecast)としている。これは地球が丸いことを予測した存在論的な予想(Prediction)と違い、「いつ」「どこで」と言ったことまで述べなくてはならない。ここに予測(Forecast)の難しさがあるが、このタイプの予測が政策には不可欠である。

そして、不確定要素が増え来ると、規定事実や確率を中心に未来を語るができなくなり、枝分かれした将来のシナリオに起こりうる分布を付ける事が困難になる。すなわち、水素経済が存在しないので、長期計画は、あまりにたくさんの不確実性(例えば未知の技術革新、政治的な不安定性、需要選択における変更)を含んでいるので、多くの前提条件を含まない限り、確率論的な予測アプローチを行うことは可能でない。(Lempert et al. 2004 p. 2; Rayner and Malone 1998 p. 15)。

そのため、図1の真ん中のエリアではシナリオで将来を記述することが一番の良策だろう。つまり、非確率論的なシナリオ・アプローチは、「起こりうる将来を羅列する事」に焦点が集まる。しかし、それでも非確率論的なシナリオ・アプローチは、将来のシナリオの多様な見方を十分にとらえることができない。たとえば、IPCCのSRES非確率論的なシナリオには4つのカテゴリーだけしかなく、これらの非確率論的なシナリオに付随した分布状態も示唆することができない。気候変動のような不確実性が「確率」として示されことは可能でないが、「見込みの度合い」は議論の中心としてとどまっている

(Parson et al. 2007)。したがって、意思決定の結果を提案するために、シナリオが均一と考える従来の非確率論的なシナリオ・アプローチは、混乱と議論を残す(Groves and Lempert 2007)。言い換えると、このアプローチは、単に意思決定プロセスのために「可能性がある将来のシナリオ」を生み出すのを助けるだけであり、確率論的な予測アプローチのように、意思決定を直接下すことはない(Postma and Liebl 2005)。

さらに、図1の一番右のエリアの様に不確定要素がさらに増えた場合、もうそれは「当てずっぽう」の憶測でしかない。このエリアになってしまうと不確定要素が分析要素の大多数をふめてしまっている。さらに、不確定要素が「知らないことがわかっている」(Known unkown)だけでなく、「知らないこともわかっていない」(Unknown unknown)も多く含むことになる。たとえるなら、19世紀後期には電気自動車も内燃機関自動車と張り合っていたが、その時代には気候変動問題は「知らないこともわかっていない」要素であった。もし、この要素がこの自動車技術の覇権争いに考慮されていたら、電気自動車が内燃機関自動車に取って代わって世界中を走っていたかもしれない。つまり、「当てずっぽう」のエリアまで来ると、未来の憶測は意思決定に関してほとんど役に立たない。

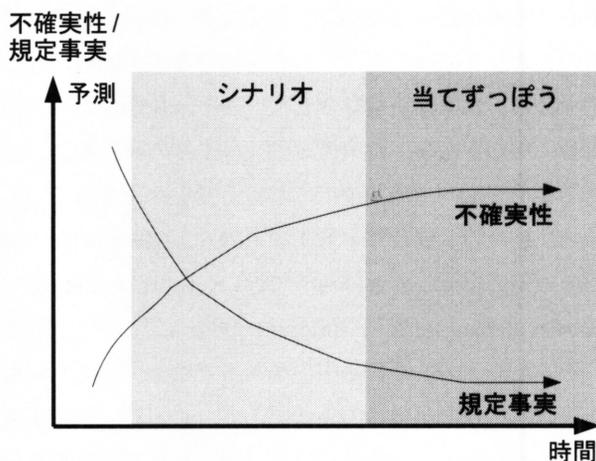


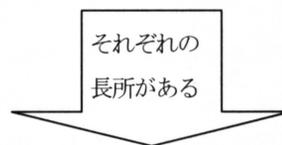
図1: 確率論的な予測、非確率論的な予測、当てずっぽうの違い。分析する将来が遠くなればなるほど、確立をとまなう予測をおこなう事は難しくなり、シナリオや見込みに頼った分析になる。(Postma, Liebl 2005 p. 166)

以上の事をまとめると、不確定要素が多いがまだそれが絶対的でない「中長期の未来」の分析においては、非確率論的なシナリオ・アプローチは、確率論的な予測ア

プローチより不確実性に対して頑健なアプローチである。しかし、このアプローチは、「将来の予測」を試みた場合、前に示したように依然としていくつかの問題点を持つ。非確率論的なシナリオ・アプローチは、どの決定を政策決定者がしなければならないか示すことはないので、意思決定者は自分自身で意思決定を下さなくてはならない。すなわち、非確率論的なシナリオ・アプローチの目的は確率論的な予測アプローチとは異なる。

その為、不確定要素が多い日本水素経済の実現を分析でき、その政策を助ける新しい分析方法が必要である。それは、シナリオを使ったアプローチであるが、枝分かれした多くのシナリオを分析でき、さらに何らかの分布又は見込み度合いをそれぞれのシナリオに示すものである。そのような分析手法として、RANDが開発した「大量のシナリオにもっともらしさを加えた」アプローチ「頑健な意思決定 (Robust Decision Making、またはRDM)」手法がある。以下では、今後の日本での水素経済の可能性を示しつつ、RDMがどの様に「水素経済の実現のため政策決定」を「頑健」に行うことができるかを示す。RDMの特性をまとめると以下の図2のようになる。別のセクションで詳しく述べるが、RDMは「非確率論的なシナリオ・アプローチ」の様に長期的な予測に頑健でありながら、「確率論的な予測アプローチ」の様に多様な未来に対応しつつ、その未来の起こりうる見込み分布を提示する事が出来る。

	確率論的な予測	非確率論的なシナリオ
時間的な有効性	短期	長期
不確定要素に対して	頑健でない	頑健である
見込みの提示に対して	分布を示す	分布が存在しない
未来の多様性	コンピューターで処理	少数の未来しか示せない



政策をサポートするための「頑健な意思決定」ツールを使う

図2. 確率論的な予測と非確率論的なシナリオのどちらのアプローチの長所を持ち合わせた、頑健な意思決定ツールが必要である。

既存の非確率論的なシナリオ・アプローチから分析された日本の水素経済

上で述べたように、非確率論的なシナリオを作成して日本の水素経済を分析するいくつかの試みがある。非確率論的なシナリオ・アプローチは長期の政策決定を研究するためにより適切であるが、前で述べたように、従来のシナリオ・アプローチがきちんと不確実性を扱えることができるかどうかは疑わしい。しかし、いくつかの重要問題はこれらの研究によって確認されているので、これらの分析は「確固とした意思決定」分析手法のインプットやメカニズムとして役にたつだろう。ここで簡単に3つのレポートを取り上げる：

- 「Ultra Long-Term Energy Technology Perspectives」 (財団法人 エネルギー総合工学研究所 2006),
- 「Prospects for Hydrogen and Fuel Cell」 (International Energy Agency 2005),
- 「World Energy Technology Outlook 2050 (WETO-H2)」 (European Communities 2006).

「Ultra Long-Term Energy Technology Perspectives」レポートは、いくつかの環境の前提条件を規定している。たとえば、世界と日本のGDPは3倍と1.5倍にそれぞれ増加する。対照的に、二酸化炭素の排出は2050年に550ppmのレベルに達するという予測である。このレポートでは、水素エネルギーは日本で優位に立つことになっている。

「Prospects for Hydrogen and Fuel Cell」レポートは、政治戦略、経費と関連したテクノロジーの開発の前提条件を規定して、エネルギー・セキュリティ方針、気候変動方針と技術革新に関して水素と燃料電池の将来を量的に評価している。前提条件は、規制案と助成金を含む二酸化炭素の排出を減らす経済的インセンティブである。そして、それは人々に温暖化効果ガス削減とエネルギー保障を助ける先進技術開発を動機づけると考えている。その結果、今後十年間で報告される最大の報奨レベルは、CO₂ 1トンあたり50ドルとなっている。これらの誘因が順調に働けば、二酸化炭素の排出は、2050年のシナリオ (business-as-usual) の半分になるとしている。

この非確率論的なシナリオ評価で、最良の水素経済状況は、要所でのコスト削減と政府の誘導と定義されている。新しい経済の立ち上がりのために、政策は温室効果ガス放出縮小、エネルギー保障、技術革新で優先順位を

決定する必要があると述べている。もっとも好適な状況が満たされるならば、シナリオは2050年までに水素で動く車両の自動車市場占有率は30%であると憶測している。

「World Energy Technology Outlook - 2050 (WETO-H2)」レポートの非確率論的なベース・シナリオは、石油と天然ガスの不足と二酸化炭素の排出縮小要求が新たなエネルギー源の生産を促すとしている。その結果、気候変動緩和に関する政府の支持なしでは、石油とガスの不足から、石炭のような気候変動を助長するようなエネルギーを再び使うことになるのではないかとしている。

水素集約型のシナリオは、水素エネルギー経済が二、三十年で始まるかもしれないことを示唆し、そうなった場合、運送セクターでは、2050年までに世界的なエネルギー割当の13%まで発展することを示している。水素シナリオを現実にするためには、ここでも適当な政治的な促進が重要な構成要素であるとしている。

上記の興味深い調査結果にもかかわらず、これらの非確率論的なシナリオの信頼性と有用性は疑わしい。上記の3つのレポートも、IPCCシナリオのような少数の非確率論的なシナリオを基にしたアプローチを使っている。現実には、より多くのシナリオが存在する。そして、複数のシナリオのわずかな違いを考慮しない非確率論的なシナリオ調査では、現実で役に立つ推測を得ることはできないだろう。たとえば、「Ultra Long-Term Energy Technology Perspectives」は、2050年に550ppmレベルでCO₂に達するというシナリオを使うが、このCO₂シナリオだけで十分であろうか？何故なら、納得できる安定化レベルは450ppmに変わるかもしれないのに、方針目標が550ppmから450ppmのレベルに変えられたとき、このレポートでは何の政策戦略も暗示することができないからである。

したがって、将来の水素経済の評価は将来の不確実性を取り扱うために革新的なアプローチを必要とする。そして、それは従来の確率論的な予測アプローチの分布 (Probabilistic) によって示されることができなくても、いくらかの尤度 (Likelihood) を与えることができなくてはならない。尤度とはある前提条件下で、ある結果を見た場合、その結果から判断してある特定の前提条件がどれほど「尤もらしいか」を示すものである。別の言い方をすれば、通常、確率とはまだ起きていない現象が起こりうる可能性の度合いであり、尤度は確認された現象

下である仮定（前提条件）のもっともらしさである。頑健な意思決定アプローチ「Robust Decision Making Approach」はシナリオを使いながら、尤度を取り入れた分析方法である。

頑健たる戦略を開発する

不確実性下で尤度を取り扱う時の有効なルールのひとつは、ボトルネックの結果につながらなそうな選択肢を考慮することである。これは、不確実性の下では、最大限の利益を発生しないかもしれないが、必須の基準を満たす限り選択肢を保つことがより賢いことを意味する。すなわち、多様な不確定な将来の変化に「頑健な(robust)アプローチ」である。この頑健なアプローチは複数の基準を必要とし、不必要な不確実性を減らすことが一つの目標になっている。その結果、この「頑健な分析」で選ばれた政策は、多様の将来に柔軟になり「頑健な政策」となる。

ローゼンハイムなどは1972年に、今でも広く言及されている「頑健な意思決定」の概念を提案した(Rosenhead, Elton, and Gupta 1972)。頑健さは、別の見方をすれば、複数の将来の見込みに対する意思決定戦略の柔軟性である。この頑健さの概念は、「計画」と「決定」を区別している。「計画」は望ましい将来を設計する一組の将来の決定とそれに進んでいく方法であり、「決定」はその「計画」の為に将来行う複数決定の1つへのリソースとしての関与である。つまり、一連の「決定」点として「計画」のプロセスがある。すなわち、それはリスク評価、選択肢確認、選択肢選択してから結果をモニターする経路であり、これがすなわちシナリオとなる。この複数回に分かれた意思決定によって、不確実で多様な将来(シナリオ)に対して柔軟に対応できるのである。

RANDの開発した「Robust Decision-Making (RDM)」は、この「頑健さ」のコンセプトを多様なシナリオに確率論でなく尤度を入れることにより、シナリオ間のもっともらしさをだしている(Lempert, Popper, and Bankes 2003)。複数の将来の状態に対して頑健としている戦略を特定する意思決定支援プロセスである。また、ステイク・ホルダーから新情報を入手することに順応性があるので、RDMは反復的に決定プロセスを行う

(図3)。ここに、上で述べた不確定な将来への柔軟な対応と、不確定要素の削減といった「頑健さ」が出てくるのである。

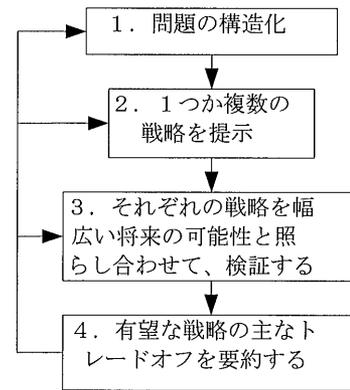


図3. 頑健な意思決定プロセス

RDM分析は、他のモデリングのように問題を体系化することから始めるが、次の段階で違いが出てくる。既存のアプローチは意思決定の戦略にランクを付ける前に不確実性の特徴を記述するが、RDMは最初に候補となる複数の戦略を提案し、これらの選択間での影響による不確実性の特徴を記述する。このために、RDM分析法は候補となる戦略の束を探し出した後に、広範囲にわたる「もっともらしい将来」のシナリオ上で各戦略を評価する。それぞれの「将来」は、不確実性の値の組合せによって定義される。たとえば、将来の石油の価格が今までの基準より高くなりそうな場合、政策決定者は水素経済の発展をサポートすることを真剣に考えるだろう。そして、RDMはこのリスクを冒す危険があるかどうか判断する事を助ける。

理想的なRDM分析は、不確実性の非常に広い選択肢を比べるさいに、「そこそこ機能」する「頑健な戦略」を見つけ出すことである。最初に考慮される戦略のどれも「頑健」でないならば、RDM分析は更なる情報を考慮して、新たに潜在的に潜んでいる「頑健たる戦略」を探すべきであろう。

この種の分析は、たとえ不確実性が非常に大きいとしても、政策担当者が頑健な戦略を特定して同意することを可能にするので、多くの場合非常に役に立つ。しかし、RDM分析の成功は、しばしば、この「頑健さ」をもつ戦略を見つける能力に依存するので、そのような戦略が存在しないならば、RDM分析の結果は十分に活用されない。しかし、頑健な戦略が存在しないときでも、RDM分析は重要な不確実性を減らす事に貢献するだろうし、選択肢を拡大する方法を見つける必要がある箇所を政策決定者に提示する事も可能であろう。

RDM をより体言化するフレームワークとして「XLRM」がある。それは、外生の要因(X)、政策レバー(L)、パフォーマンス測定基準 (M) とモデル・システムから成る関係(R)を組織するためにデザインされている。Lは現在または将来コントロールすることができる政策または決定手段を表す。たとえば、水素経済のためのLは、新しい触媒開発への、政府の助成レベルなどである。Xは石油の高騰や気候変動による人々の購買行動の変化など、政策決定者がコントロールできない不確定要素である。RはXとLの入力値と出力値間の関係を示す。XとLに基づくシナリオの集合は、結果とつながる。多くのM基準(すなわち、戦略が定義済みのシナリオの下で許容できているかで、頑健であるかどうかについて決定する)は、戦略のパフォーマンスの成功を評価する。

たとえば、M基準は水素エネルギーの市場占有率、水素の最小の生産単位原価、自足レベルなど複数になってもかまわない。この複数の基準を持つ事により、複数の不確かな将来に対して、より多くの基準(M)を基に戦略を決定することを助けるので、RDMは不確定な将来の予測に柔軟に対応して、結果はより頑健な政治的な戦略となる(Lempert, Popper, and Bankes 2003)。例えば、水素経済の目的が、「国内のエネルギー供給レベルの確保」と、「二酸化炭素の削減」だとする。頑健な分析で出される頑健な政策は、双方の目的をある一定のM基準を達成しさえすればよいわけであり、一方または複合的に最高のレベルを目指すものではない。一方、確率論的な予測アプローチは例えば、費用便益分析のようにGDP一番多くさせる政策を選ぶといった「一つの基準」、もしくは複合基準の最大の結果を探し出す。この最大を探し出す方法だと、時として偏った政策になり、これは不確定要素が多い時はギャンブルにしかならない。別の言い方をすれば、確率論的な予測アプローチは、ハイリスク、ハイリターン、RDMは、ローリスク、ローリターンの政策を導き出す。そして、非確率論的なシナリオ・アプローチは、この様に意思決定をサポートする基準を持たない。

米国での水素と燃料電池技術の投資に関する調査を使った例

RANDの米国での水素と燃料電池技術の投資に関する調査でも、コンピュータ化されたRDMをつかって数多くのシナリオが分析された(Mahnovski 2007)。この例では、意思決定者は本件で取り扱っている政策決定者で

はなく、水素経済に参入する民間企業と考えていただいたほうが良い。

一つのRDMの分析結果として、米国の再生可能エネルギー・ポートフォリオが燃料電池電力の生産を20%に決める可能性の度合い(政府方針)と民間主導の分散型エネルギー供給の市場(Distributed generation)への初期費用の割合を縦と横軸にしたプロットに、投資戦略を描くと図4のようになる。色分けされたエリアが、その状況にあった「頑健な戦略」を表している。この分析では、「燃料電池電力の生産を全体の再生可能エネルギー(エネルギー・ポートフォリオ)の20%にする」と義務付ける事は固定しているが、それが実際に起こりうる可能性は無限のシナリオとして、0%から100%までとってある。つまり、このパーセントは起こりうる「確率」ではなく、「10%ではどうなる」といった仮説の設定要因である。同じように民間主導の分散型エネルギー供給の市場への初期費用の割合も、最大から最小無限のシナリオになっている。

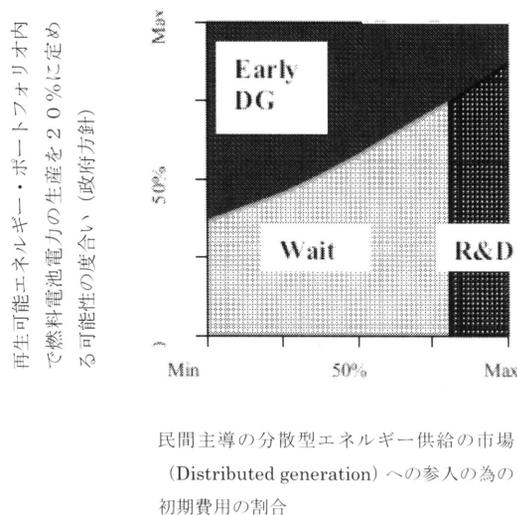


図4. 米国での水素と燃料電池投資戦略

さらに色々な要因がこの分析では設定しているが、それはRANDの原版を見ていただきたい。例えば、重要な要因として、燃料電池電力のポートフォリオの割合は20%、そして研究開発費は1千万ドルに設定されているが、これらの設定は図4を二次元で表すための為の便宜上で設定であり、実際にはいくつものレベルのポートフォリオと研究開発費のシナリオが試されている。

この図は、投資戦略がうまくいくエリアを明確に表している。例えば、政府が絶対に燃料電池の生産20%を保証するエリア(図の一番上の部分)では、他方の不確実

性である初期費用が何であれ、環境への不可が少ない水素燃料は分散型エネルギー供給の市場で活躍できるチャンスが確実なので、その産業の参入 (Early DG) に投資することが最善の戦略と考えられる。逆に政府が燃料電池の生産を保障しない状態で、参入初期費用が高ければ、研究開発 (R&D) にもう少し力を入れなくてはならない。しかし、参入費用がもう既に十分に低い状態なら、状況を見守っていれば良い事になる (Wait)。

このように、RDM はシナリオ・アプローチのように意思決定者に、物語を語るかのように不確定の将来を提示する。しかし、図4が示すように既存の非確率論的なシナリオ・アプローチに比べて、無限大のシナリオを分析できる事や、分析結果を視覚化できる利点がある。さらに、RDM は上に述べたように、尤度をこのシナリオ分析にも当てはめている。候補になった戦略として確認された4つの戦略、Early DG、R&D、Wait、BAU (業務平常どおり) は、ラテン・ハイパーキューブ・シミュレーションによって、500回ランダムに実行された。これは、各戦略が全てのパラメータ・スペース (可能性がある将来の全て) の上にテストされていることになる。これらのシナリオの優劣を決定する Regret (後悔値) は、一つのシナリオ上で選択された戦略と最高の戦略のパフォーマンスの違いを現在の現金フローに直して表したものである。つまり、図4で見ると、米政府が燃料電池の生産を絶対保障する状況なら、Early DG が最適な戦略であり、その時 Early DG の戦略をとった場合、Regret は発生しない、すなわち0である。しかし、そこでもし Wait の戦略をとった場合、最善の戦略がとられない事に対して Regret が発生する。仮に Early DG が2千万ドル、Wait が5百万ドルの現金フローを生み出す

時、Regret の値は2千万ドル引く5百万ドルで15百万ドルになる。

そして、図5の箱髭図は、戦略ごとに Regret の分布状態を示す。ゼロの中央値があるので、「エネルギー・サービス市場への早期参入 (Early DG) 戦略」は50パーセント以上のシナリオにおいて最高の戦略であることをしめしている。つまり、一番多くのシナリオで Regret が少ない頑健な戦略になる見込み (尤度) をシミュレーションの結果から表している。しかし、すべて4つの戦略が、あまり十分に機能しないかなりの数のアウト라이어をもっているということもわかる。それは Early DG 戦略でも同じである為、この頑健な政策も将来のおよそ30パーセントのシナリオで、最適戦略と比較して十分に実行しないことを示している。つまり、不確実性は依然として大きく、意思決定者は RDM のシナリオ分析と「見込み度」を考慮したうえで最終的に Early DG 戦略を選ぶかどうか決める必要がある。日本でも水素経済の可能性を RDM で検証することが可能であるし、それは重要なことである。2009年に日本政府が始めたクールアースエネルギー革新技术計画プログラムは、気候変動の進みを和らげる革新的なエネルギー技術計画のプログラムであるため、水素と燃料電池技術に非常に大きな注目を集めている。2008会計年度には、全体として6億3000万米ドルの予算がこのプログラムに組まれた。既存の調査は、強いエネルギー・セキュリティ方針、CO₂排出縮小政策と水素・燃料電池技術革新が世界と日本で水素経済の出現の鍵であることを示している。そして、これらの利益が、特定の水素燃料に依存しているということも示している。しかし、どの政策が水素経済への移行を最も可能にするか明瞭にあらわしていないことが難点である。

前に紹介した3つの既存のレポートは、水素経済の実現に向けたインプット (X と L) を数多く示しているが、著者らは、読者諸氏にさらに適切で十分なインプットを提案していただきたいと思っている。そうすれば、将来 RDM を使った戦略策定プロジェクトを進めることが可能になるからである。

結論にかえて

頑健な意思決定プロセス (RDM) は政策担当者の決定を『支持する』が、決定を『自動的に下さない』事を

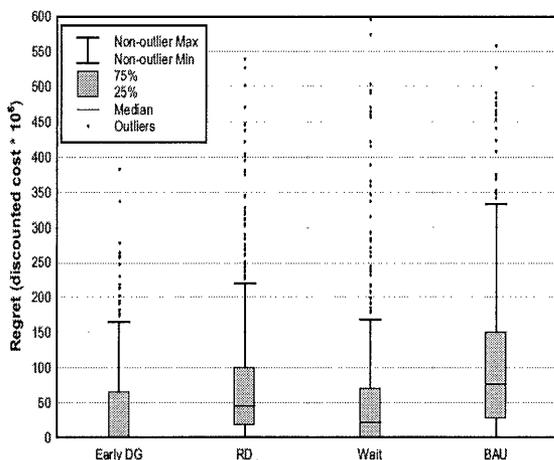


図5. 4つの戦略候補を比べる。

明記しておく。実際に現実の市場を見るまでは、水素経済出現の不確実性が完全に消えることはなく、ユーザーは効果的に入力と結果を解釈しなければならないからである。下記は、頑健な意思決定プロセス下の不確実性の処置へのいくつかの提案である：

- 不確実性が単にすべての政策決定過程の一部であると認めること。したがって、どんなデータと分析でも、すべてに答えを提供するというわけではないのでこれを認めることは、出力の過剰解釈を防ぐ。
- 不確実性が減少しやすいものと、そうでもないものがあること。たとえば、2050年度の温暖化の変化は最初の計算がなされてから20年以上たつが、その範囲はほとんど変わっていない。
- 不確実性の問題を議論するのに時間をかけること。そして、議論の結果をいろいろなプロジェクトで考察し、その問題点を理解できるように表現すること。
- 適切に外生の不確実性(X)、政策手段(L)、出力基準(M)とつながり(R)の違いを区別することに時間をかけること。
- 議論された不確実性のタイプを理解して、正確に説明すること。特にどの不確実性がどの出力または行動を理解することに関連しているか、そして、それらの不確実性がどのように影響を及ぼすかを示すこと。
- 「不確定下の問題は多様な解決策を持つこと」と「選択肢を消費者、産業界、政府を含む広範囲にわたるステイク・ホルダーと議論することの重要性」を理解すれば、そこから利益を得られる。これを理解して施行される解決策・政策は、異なる前提条件に対してテストされた事になる。

本論文は、日本の水素経済の可能性を分析するために有効な、革新的なアプローチを紹介した。これはRDM過程の最初の試みとされてもよいだろう。より多様な視点からの提案が、より良いXLRM要因とその範囲を特定するために必要である。また、この研究を水素経済の確立のために役に立つようにするには、より現実的な基準(M)について、重要なステイク・ホルダーと政策担当者によって協議されなければならない。願わくは、フル・スケールRDMモデルを開発するために、読者から多くのフィードバックとコメントを受け取りたいと思っている。

参考文献

・ European Communities. 2006. World Energy Technology Outlook 2050 (WETO H2).

- ・ Groves, David G. and Robert J. Lempert. 2007. "A new analytic method for finding policy-relevant scenarios." *Global Environmental Change*, 17(1):73-85.
- ・ International Energy Agency, . 2005. Energy Technology Analysis Prospects for Hydrogen and Fuel Cells: Complete Edition. (<http://www.ingentaconnect.com/content/oecd/1608019x/2005/00002005/00000029/6105311e>).
- ・ Lempert, R., N. Nakicenovic, D. Sarewitz and M. Schlesinger. 2004. "Characterizing Climate-Change Uncertainties for Decision-Makers. An Editorial Essay." *Climatic Change* 65(1):1-9 (<http://www.springerlink.com/index/M846061053L33357.pdf>).
- ・ Lempert, R. J., S. W. Popper and S. C. Bankes. 2003. Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis. RAND Corporation (http://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1626/).
- ・ Mahnovski, S. 2007. "Robust Decisions and Deep Uncertainty: An Application of Real Options to Public and Private Investment in Hydrogen and Fuel Cell Technologies."
- ・ Parson, E. A., V. Burkett, K. Fisher-Vanden, D. W. Keith, L. O. Mearns, H. M. Pitcher, C. E. Rosenzweig and M. D. Webster. 2007. "Global-Change Scenarios: Their Development and Use, Synthesis and Assessment Product 2.1 b." Washington, DC: US Climate Change Science Program, July 10 (<http://www.climatechange.gov/Library/sap/sap2-1/sap2-1b-draft3-all.pdf>).
- ・ Postma, Theo J. B. M. and Franz Liebl. 2005. "How to improve scenario analysis as a strategic management tool?" *Technological Forecasting and Social Change*, 72(2):161-173.
- ・ Rayner, S. and E. Malone. 1998. "Ten suggestions for policymakers." *Human Choice and Climate Change* 4:109-138.
- ・ Rosenhead, Jonathan, Martin Elton and Shiv K. Gupta. 1972. "Robustness and Optimality as Criteria for Strategic Decisions." *Operational Research Quarterly* (1970-1977) 23(4):413-431 (<http://www.jstor.org/stable/3007957>).
- ・ 財団法人 エネルギー総合工学研究所. 2006. 平成17年度 エネルギー環境総合戦略調査 超長期エネルギー技術ロードマップ報告書.