

技術と社会をつなぐ— シナリオ設計学の創成への挑戦

Linking Technologies to Society : Toward Establishing "Scenario Design" as a New Discipline

執筆者プロフィール



木下 裕介
Yusuke KISHITA

■2010年大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻修了、同年大阪大学特任助教、2015年産業技術総合研究所、2016年東京大学講師、現在に至る
 ■主として行っている業務・研究
 ・シナリオ設計学
 ・エコデザイン
 ・社会システム
 ■勤務先
 正員、東京大学講師 大学院工学系研究科精密工学専攻
 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1/
 E-mail : kishita@pe.t.u-tokyo.ac.jp)

1. はじめに

筆者は、「シナリオ設計」という研究テーマに取り組んでいます。とくに機械工学系の学会では、あまり触れることのないテーマと思われる。一方で、「シナリオ」という用語自体は、ビジネスの世界や研究者コミュニティでも市民権を得てきたように思います。たとえば、研究予算を申請する際や社内会議などで、対象とする技術の「社会への導入シナリオ」を提案書に盛り込むことを求められた読者の方々もいらっしゃるのではないのでしょうか。

これまで、工学者の役割は、技術開発を中心としたものづくりを通じて、社会に幸福をもたらすことにあると考えられてきました。これは、技術立国たる日本において、依然として極めて真に近い命題と考えることができます。その一方で、地球環境問題の解決に資するような、持続可能な社会・ものづくりへの転換が要請されるようになってきたのもまた事実です⁽¹⁾。このような転換のためには、先進的な技術を開発するのみならず、それらが社会でどのように使われるべきか、という点まで考える必要があります。実際のところ、世の中には太陽光発電、電気自動車、3Dプリンタを含めたさまざまな技術シーズが存在しています(図1)。ちなみに、本会ではウェブサイトから確認できるだけで22の部門があり⁽²⁾、それぞれの部門でさまざまな技術が扱われています。問題は、これらのさまざまな技術シーズと持続可能な社会・ものづくりに関する将来ビジョンのつながりをどのように設計するのかという点で、その対象を筆者らは「メゾ領域」(図1の真ん中の部分)と呼んでいます。メゾ領域には、政策、ライフスタイル、経済

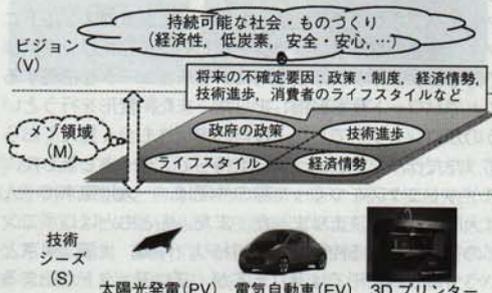


図1 持続可能な社会の設計における「メゾ」の視点

情勢、技術進歩など多種多様な側面が含まれ、かつ、そこには将来の不確実性が存在する点に特徴があります。シナリオ設計は、そのような複雑なメゾ領域をなんとか取り扱うための方法論の一つと位置づけることができます。

ところで、本特集テーマは「メカ屋の幸福」とのことです。筆者がはたして「メカ屋」に属するののかという議論は、さておきましょう〔一応、筆者は本会設計工学・システム(D&S)部門にて活動させていただいています〕。ここでは少し紙面をお借りして、筆者がシナリオ設計という研究テーマへの取り組みを通じて得られた経験、楽しみ、そしてこれから挑戦してみたいことなどを紹介させていただこうと思います。シナリオ設計そのものが学問領域としてまだまだ発展途上なので、本稿が読者(とくに、若手技術者)の皆様にとってどの程度参考になるのか自信がありません。皆様からのご意見、ご批判、あるいは励まし(?)などを頂戴できますと幸いです。

2. シナリオと持続可能な社会・ものづくり

シナリオは、ある一点の将来を予測するのではなく、起こりうる複数の将来を幅広く想定する点に本質的な特徴があります(図2)。シナリオが一般に広く用いられる契機となったのは、石油メジャーの一角であるロイヤル・ダッチ・シェルグループの取り組みのおかげとされています。いわく、1973年の石油危機に先だって石油価格高騰を含めたいくつかのシナリオを準備しておいた結果、他社に先駆けて有効な方策を打つことができたとのことです⁽³⁾⁽⁴⁾。その後、シナリオを用いた戦略立案の手法は「シナリオ・プランニング」としてビジネスの世界を中心に広く普及しています⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。たとえば、2016年11月にはアメリカの大統領選挙が控えています。もし共和党のドナルド・トランプ氏がアメリカ大統領になったら日本を含む世界の情

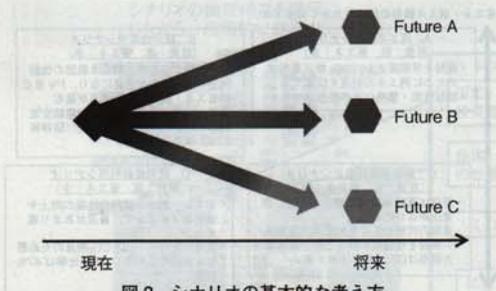


図2 シナリオの基本的な考え方



図3 ワークショップの一場面

勢はどう変わるのだろうか……といった思考実験（いわゆる what-if 分析）も、シナリオの考え方に基づくものです。シナリオにはさまざまな書き方がありますが、ケーススタディでよく用いられる（かつ、わかりやすい）方法のひとつは、将来に対して影響の大きな2本の軸を選び、その組合せに基づいて4種類の極端な将来を描くというものです⁹⁾。ただ、実際にはシナリオの作成目的に応じていろいろな作成手順やツールがあり、対象とする問題や状況に応じたシナリオ作成方法の選び方は一種のノウハウと化している面もあります。

筆者らの文献調査によれば、過去10~20年ほどを振り返ったとき、地球環境や持続可能性（サステナビリティ）の分野でさまざまなシナリオが盛んに作成されていることがわかりました¹⁰⁾。対象とされているテーマは、気候変動、エネルギー、資源・廃棄物、生物多様性、製造業など多岐にわたります。これらのシナリオの作成目的はさまざまで、政府・自治体の政策立案、企業の戦略立案、専門家と市民のコミュニケーション支援などが挙げられます。持続可能なものづくりに関連したもので、イギリス政府が主導している Foresight プロジェクト¹¹⁾においてイギリスのものづくりに関するシナリオが作成されており、そこでは貿易状況の違いに応じた製造業のGDPを分析しています。

これらのシナリオに共通した特徴のひとつとして、シナリオの作成では将来に関する叙事的な描写と、シミュレーションを用いた定量的な分析を組み合わせたアプローチがよく利用されます¹²⁾。叙事的な描写では自然言語（英語、日本語など）を用いて現在から将来への変化を記述するのに対し、シミュレーションでは数理モデル（応用一般均衡モデル、ストック・フローモデルなど）を用いて複雑な社会的・物理的な現象を表現します。この二つの組合せによって、シナリオでは定性的な事象（たとえば、消費者のライフスタイルや法制度など）と定量的な事象（たとえば、GDP、CO₂排出量、資源消費量など）の両方を含めて、現在から将来に至るストーリーを描きます。

3. 計算機を用いたシナリオの設計支援

2章で述べたように、すでに数多くのシナリオが描かれています。とくに、持続可能な社会・ものづくりに向けたシナリオを描く場合には、異なる学問領域の専門家やステークホルダー（政策立案者、市民など）を巻き込んだワークショップやインタビューが利用されます（図3）。これは、持続可能性の問題には多様な側面があり、その解決のためには学問分野をまたいだ広範な知識やさまざまな意見・見

方を取り込む必要があるためです¹³⁾。

実は、シナリオを描くことは決して容易な作業ではありません。図3の場面では、環境問題に関する第一線の研究者がああでもないこうでもないと言いながら、試行錯誤を繰り返しつつアイデアを生み出しています。もちろん、それらのアイデアを素直につなぎ合わせていくと、論理的な飛躍も生じてきます（ただし、これは発想を広げるという意味で必ずしも悪いことではありません）。持続可能な社会・ものづくりに関するシナリオを作成しようとする、大きく二つの問題に直面します。一つはシナリオの表現方法が統一されていない点、もう一つはシナリオの作成手順がノウハウに依存して十分に体系化されていない点です。前者に関して言えば、シナリオにはさまざまな将来に関する情報が含まれますが、そこには科学的・歴史的な事実や各シナリオで設定された独自の仮定、因果関係や論理的飛躍などが区別されずに記述されています。しかしこれでは、専門家やステークホルダーがシナリオの記述内容に関する理解をきちんと共有したうえで、将来について建設的な議論を展開することは困難です。

筆者はこれらの問題を解決するため、シナリオを徐々に詳細化して完成させるまでの一連のプロセスを「シナリオ設計」として体系化しようとしています¹⁴⁾。一般に、シナリオ設計のプロセスには、アイデア発想、データ収集、シミュレーション、評価・改訂といった多くの作業が含まれます。ちなみに、実際の作業時間で言うと、データ収集には非常に多くの時間と労力を要します。著者らは、これまでにシナリオづくりのケーススタディを数多く積み重ねることによって、シナリオ設計のサイクルの最小単位として、(a) アイデアの発想、(b) アイデアの整理とシナリオの記述、(c) シナリオ記述内容の評価・修正という三つのステップを抽出しました¹⁵⁾。そして、ステップ(a)~(c)の反復を通してシナリオを設計するものと定義しています。

さらに、シナリオ設計を計算機の力を借りて支援するために、持続可能な社会シナリオ（Sustainable Society Scenario : 3S）シミュレータというシステムを開発しています¹⁶⁾。3Sシミュレータにはいくつかの機能がありますが、そのひとつは、シナリオにおける論理関係の明確化と整理です。ここでは、シナリオの要素とそれらの関係をグラフ構造（ノードとリンクから構成したもの）として表現します。よく日常会話の中では因果関係を表す例として、「風が吹けば桶屋が儲かる」という言い回しが用いられますが、この場合では「風が吹く」と「桶屋が儲かる」という二つの要素を因果関係によって明示的につなぎます。このようにシナリオの記述の根拠や試行錯誤の過程をできる限り可

(矢野と島村)



図4 持続可能社会シナリオ (3S) シミュレータ

視化することで、結果として設計者の思考整理を手助けできるものと考えています。

図4は、3Sシミュレータの利用イメージです。ここでは、研究者、産業界、政策立案者、市民、起業家などが協働しながらシナリオを設計することによって、将来の社会・ものづくりに対する理解を深めるとともに、新たな価値やアイデアを生み出すことを目指しています。新規にシナリオを設計するための参考として、3Sシミュレータには既存のシナリオやシミュレータをアーカイブ化する機能を持たせてあり、現在のところ20~30本程度のシナリオを参照および再利用することが可能です。

4. シナリオ設計の適用事例

これまで、筆者らは持続可能なエネルギーシステム（具体的な対象は、系統電力網、燃料電池、太陽光発電、木質バイオマスなど）、持続可能な製造業などをテーマとしたシナリオ作成プロジェクトに参画してきました。2011年の東日本大震災後は、とりわけエネルギー関係の将来シナリオに対する社会的ニーズが増してきたように感じます。

ここでは一例として、筆者らが3Sシミュレータを利用して描いた「2030年関西地域電力需要シナリオ¹⁹⁾」について簡単に紹介したいと思います。これは、経済産業省次世代エネルギー・社会システム実証事業（平成23~26年度）のプロジェクトの一環で行われたものです。このシナリオでは、省エネ・創エネ機器（たとえば、太陽光発電パネル、電気自動車、ヒートポンプ（HP）給湯機、LED照明など）の将来普及量を推計することによって、2030年までの関西地域における電力需要を分析することを目的としました。

図5にプロジェクトで作成したシナリオのストーリーラインを示します。将来の電力需要に対して最も影響を及ぼしうる要因として、省エネ・創エネ機器の技術進歩と原発依存度の二つの軸を選択し、結果としてA~Dの4本のサブシナリオを想定しました。……と簡単に書いていますが、これら4本のシナリオを決めるまでには多くの研究者の方々と議論とそれに伴う試行錯誤があり、シナリオの大枠が固まるまでに1~2年ほどかかったように記憶しています。

さらに、詳細は紙面の都合で省きますが、各シナリオを

省エネ・創エネ機器の技術が大きく進歩する

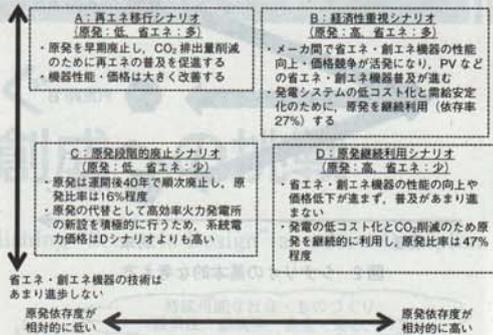


図5 関西地域電力需要シナリオのストーリーライン

詳細化することによって、シミュレーションモデルを用いて省エネ・創エネ機器の普及量と関西地域の電力需要を推計しました。図6の左側は、3Sシミュレータで書いたシナリオの論理構造の一部です。この図で示すように、シナリオの各要素とその関係をネットワーク状のグラフで表現しています。図6の右側は、HP給湯機の普及台数の推計に関する記述部分を拡大したものです。ここでは、HP給湯機の推計において、技術進歩による投資回収年数の変化、HP給湯機の導入に関する消費者の嗜好、人口減少の影響を想定しており、それらの根拠として技術ロードマップ、消費者アンケート、外部文献の予測データを用いたことを示しています。このように、3Sシミュレータではシナリオの論理関係を明示できるため、シナリオ内部の整合性を管理すること、および、ある仮定を変化させた場合の影響をさらに分析することなどができるようになります。

5. おわりに—シナリオ設計学の創成に向けて

以上は、筆者が博士課程在籍中から現在に至るまで取り組んできた内容をざっとまとめたものです。最後に本稿のまとめに代えて、シナリオ設計学の創成に向けた筆者の考えを少しばかり述べたいと思います。

筆者のこれまでの経験では、シナリオ設計の醍醐味は、大きく二つあると考えています。一つは、研究活動を通じていろいろな知識や考え方を持った人たちと連携・協働ができる点です。シナリオ設計の研究プロジェクトでは、対象とするテーマに応じて実にさまざまな専門知識が必要となります。エネルギーシステムの場合を例にとると、エネルギー工学、電気工学といった工学系の分野のみならず、政策・法律・経済学といった社会科学系の知識も必要不可欠です。学問領域によって使用している用語や理論が異なるので、研究者間でもコミュニケーションが難しいと言われることがあります。しかし、じっくり時間をかけながらシナリオ設計を進めていく過程を通じて、徐々に相互の理解・学習が進み、自分なりの解釈を経て新たな気づきを得られることがあります。この点で、シナリオ設計はさまざまな技術およびさまざまな科学を「つなぐ」ための役割を担うことができるのではないかと考えています。

もうひとつは、工学系の風味を持ちながらも社会に近い学問であるという点です。もちろん、技術開発も最終的に

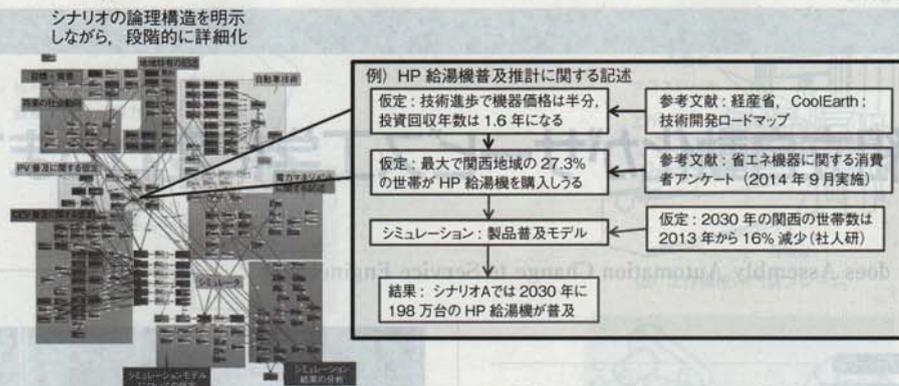


図6 関西地域電力需要シナリオの論理構造図 (一部)

は社会への展開を目的として行われるものです。一方で、シナリオ設計では個々の技術と、社会の制度、ライフスタイルや経済情勢などといった、実際の社会の動きとのつながりをより積極的に見ようとする部分に特色があります。本来、シナリオ設計の目的は実社会の問題を解決することであり、その問題を抱えている企業・自治体等の方々の連携が必要になります。それゆえに、社会に対するアウトプットを常に意識しながら研究活動に取り組むことができます。逆に、研究内容の社会的な意義を常に問われるという厳しさもありますが、これは世の中からアカデミア全般に要求されている流れのようにも思えます。

その一方で、シナリオで扱う対象は将来の〇〇システム(たとえば、社会システム、エネルギーシステムなど)といった漠然としたものが多く、その具体的な成果が見えづらいという問題があります。また、シナリオで描いた内容の正しさ、妥当性を評価するというのも難題です。たとえば、2050年の日本を対象とした太陽光発電普及シナリオを描いたとして、その結果が実際に確認できるのはいまから30年以上も後のこととなります。とはいえ、将来に向けて何も手を打たないのは愚かな選択と言えるでしょう。これらの問題への対策としては、抜本的な解ではないものの、異なる領域の学会・研究者、ステークホルダーとの連携に基づいてシナリオの記述内容を多角的に精査し練り上げること、そしてシナリオ設計と連動して小さな地域で実証実験(社会実験)を行うことが挙げられます。そのような取り組みをうまく社会で展開するためにも、さらにケーススタディを積み重ねながら、シナリオ設計の理論化・体系化を進めていきたいと考えています。

なお、筆者は2016年4月に東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻に研究室を立ち上げました(同専攻・梅田研究室との共同運営です)。本稿の冒頭で述べたように、研究室のコアとなる理論はまだ発展途上の段階ですが、サステナビリティ学(sustainability science)⁽¹³⁾、タイムアクシス・デザイン⁽¹⁴⁾、フューチャー・デザイン⁽¹⁵⁾など、関連する学問領域で活動されている先生方のお力を借りながら、日本発のシナリオ設計学の創成に向けて力を尽くしたいと思います。もしご興味をお持ちいただけた読者の方がいましたら、いつでも研究室にお越しください。学生さんに向けては、知的好奇心のある人や、何かしら社会貢献が

したいという人に向けた研究テーマと思います。

文 献

- (1) Tomiyama, T., A Manufacturing Paradigm toward the 21st Century, *Integrated Computer Aided Engineering*, 4-3 (1997), 159-178.
- (2) 日本機械学会ホームページ, <http://www.jsme.or.jp/japanese/contents/05/01.html>
- (3) Wack, P., Scenarios: Uncharted Waters Ahead, *Harvard Business Review*, 63 (1985), 73-89.
- (4) 角和昌浩, 「シェル流」シナリオプランニングの実践手法, *日本LCA学会誌*, 10-3 (2014), 254-260.
- (5) Foresight Horizon Scanning Centre, Scenario Planning: Guidance Note, *The Government Office for Science*, (2009).
- (6) 西村行功, シナリオ・プランニング, *日本LCA学会誌*, 10-3 (2014), 230-238.
- (7) van der Heijden, K., Scenarios: The Art of Strategic Conversation, (1996), John Wiley & Sons Ltd.
- (8) Kishita, Y., Hara, K., Uwasu, M. and Umeda, Y., Research Needs and Challenges Faced in Supporting Scenario Design in Sustainability Science, *Sustainability Science*, 11-2 (2016), 331-347.
- (9) Foresight, The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK Project Report, *The Government Office for Science*, (2013).
- (10) Lang, D.J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M. and Thomas, C.J., Transdisciplinary Research in Sustainability Science: Practice, Principles, and Challenges, *Sustainability Science 7-Supplement*, 1 (2012), 25-43.
- (11) Umeda, Y., Nishiyama, T., Yamasaki, Y., Kishita, Y. and Fukushima, S., Proposal of Sustainable Society Scenario Simulator, *CIRP J. of Manufacturing Science and Technology*, 1-4 (2009), 272-278.
- (12) 木下裕介・岩生直己・水野有智・福重真一・梅田 靖・山口容平・下田吉之, 2030年の関西地域を対象とした電力需給シナリオ解析: 第1報 省エネ・創エネ機器の普及と電力需要シナリオの作成, 第34回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, (2015-6), 137-142.
- (13) Komiyama, H. and Takeuchi, K., Sustainability Science: Building a New Discipline, *Sustainability Science*, 1-1 (2006), 1-6.
- (14) 松岡由幸, タイムアクシス・デザインの時代: 世界一やさしい国のモノ・コトづくり, (2012), 丸善.
- (15) 西條辰義, フューチャー・デザイン: 七世代先を見据えた社会, (2015), 朝草書房.