

シナリオ・プランニング手法による東アジアのエネルギー危機の分析と日本の科学技術戦略

Analysis of Energy Crises in East Asia Using a Scenario Planning Method and It's Implications for Japan's Science and Technology Policy

大森 良太¹・堀井 秀之²

¹ 博士(工学) (独) 科学技術振興機構 社会技術研究開発センター (E-mail:omori@ristex.jst.go.jp)

² Ph.D.(社会技術論) 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻 (E-mail:horii@ohriki.u-tokyo.ac.jp)

東アジアのエネルギー危機問題を事例として、シナリオ・プランニングに基づく科学技術戦略の構築支援研究を実施した。本手法は多分野の専門家の協働に基づき、対象とする問題領域の俯瞰・構造化、未来の不確実性に対処するロバストな科学技術戦略の構築、科学技術の多面的価値の明示化に有効と考えられる。本研究では、東アジアのエネルギー安定供給および日本の安全・繁栄の実現に対するリスク要素の総合的検討、中国の将来像をシナリオ軸とする未来シナリオ - 「資源争奪シナリオ」と「極東の島国シナリオ」 - の作成、各シナリオに基づく科学技術戦略の視点の抽出と研究開発課題例の意義の検討を行った。

キーワード：シナリオ・プランニング，科学技術戦略，エネルギー危機，東アジア，中国

1. はじめに

本研究はシナリオ・プランニングを手法として用い、東アジアのエネルギー危機の要因や展開を分析し、さらに得られた危機シナリオからその回避および日本の安全・繁栄に向けた科学技術戦略を検討したものである。近年、東アジアのエネルギー危機に対する関心が国際的に高まっているが、これについては次章で説明することとし、本章ではシナリオ・プランニングの概要を説明した上で、これを科学技術戦略の構築に援用する狙いについて述べる。

1.1. シナリオ・プランニング

シナリオ・プランニング¹⁾は戦略構築のための未来分析手法の一つである。多分野の専門家やステークホルダーの協働により、対象とする問題領域の未来に対する影響因子を総合的に分析し、特に影響度と不確実性が大きい因子を分岐として未来を構造化し、複数の未来像をシナリオ形式で叙述する (Fig. 1)。

本手法の特色は、我々の知識や見通しを一つの未来像に収斂させるのではなく、未来の不確実性や予測の困難さを前提とし、複数の可能な未来像を構築し、未来を集合的に理解することである。それぞれの未来像は多様な観点から分析され、それらのドライビングフォース、性格、展開を包摂したシナリオとして表現される。これにより、未来に対する複眼的な理解、および、未来を分か

つ重要な影響因子の把握が可能となる。

本手法は、主としてビジネス戦略の構築に適用されてきたが、特に国際的な大手エネルギー企業グループであるロイヤル・ダッチ/シェルが石油危機やエネルギー市場動向の予測などに活用してきた例が有名である²⁾。

本手法をエネルギー分野の未来分析に用いた例としては構想日本³⁾、総合資源エネルギー調査会⁴⁾によるものがある。また、最近米国 National Intelligence Council より発表されたレポート⁵⁾は世界の将来についての大規模なシナリオ研究である。しかし、東アジアのエネルギー危機の分析や科学技術戦略の構築支援を目的とした本手法の適用事例は見当たらない。

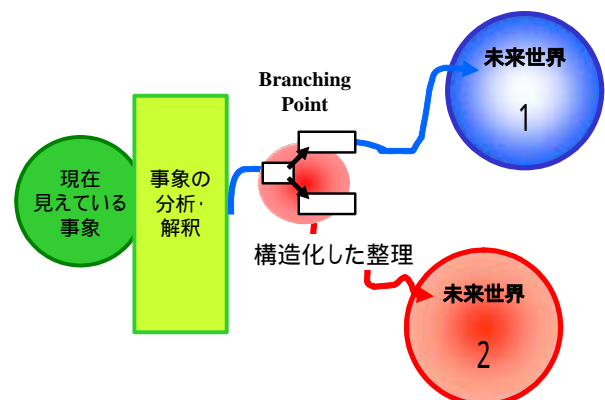


Fig.1 未来世界の構造化⁶⁾

1.2. シナリオ・プランニングによる科学技術戦略構築支援

シナリオ・プランニングを科学技術戦略構築に援用す

る狙いとしては、(1)様々な未来の可能性に対処するロバストな科学技術戦略の構築、(2)科学技術の多面的価値の明示化、(3)多分野の専門家の協働による問題の俯瞰・構造化、が挙げられる。以下、各項目について説明する。

(1) 様々な未来の可能性に対処するロバストな科学技術戦略の構築

国の科学技術戦略、特に研究開発戦略は多くの場合、安全保障の確保や環境の保全といった市場の外部にある公益性を有する課題、あるいは、自立的商品市場が形成される以前の基礎研究開発段階にある課題を対象とするため、その構築に当たっては中長期的な視点が求められる。ここで問題となるのが未来の不確実性である。未来社会をどのように捉えるかによって、科学技術戦略の構築において考慮すべき社会的ニーズも異なってくる。

我々は意思決定をする際、未来の不確実な要因から無意識に目をそらしたり、過去のトレンドを外挿して未来を想定しがちである。様々な可能性を考慮せず、単一の未来像を仮定すると、その予測が外れた場合のリスクが大きく、また変化への対応の柔軟性も失われやすい。

政策立案の次元で考えて見ても、確かに人口動態などかなり高い精度で予測できる要素もあるが、例えば国際政治情勢、経済情勢、技術革新、人々のライフスタイル・意識などは予測が極めて困難である。

従って、未来社会の可能性を複眼的に捉え、多様な未来の可能性を考慮したロバストな科学技術戦略を構築することが重要であり、この意味でシナリオ・プランニングの活用が有効である。

(2) 科学技術研究開発の多面的価値の明示化

科学技術政策の立案に当たっては、多面的な観点から個々の政策課題の意義を明確にした上で、実施する政策課題の選択や全体としての資源配分の効率化を図ることが望まれる。

科学技術の価値は多面的であり、その研究開発・実用化によってもたらされる社会的効用も様々である。例えば、総合科学技術会議は第3期科学技術基本計画の策定にあたり、科学技術により実現すべき理念として「人類の英知を生む」、「国力の源泉を創る」、「健康と安全を守る」という3つを掲げ、さらに科学技術による世界、社会、国民への貢献として、「人類共通の課題を解決」、「国際社会の平和な繁栄を実現」、「日本経済の発展を牽引」、「国際的なルール形成を先導」、「国民生活に安心と活力を提供」、「質の高い雇用と生活の確保」の6項目を挙げている^{7),8)}。

シナリオ・プランニングで構築される未来シナリオには多分野の専門家の知見が凝縮されており、これらのシナリオから科学技術研究開発に求められる視点や個々の

科学技術研究開発課題の意義を逆抽出することができる。

(3) 多分野の専門家の協働、問題の俯瞰・構造化

科学技術戦略の構築においては、技術的観点だけでなく、将来の社会情勢や国際情勢といった社会的観点も含めた総合的な考察が不可欠である。このため考察すべき対象は複雑なシステムとなり、これを俯瞰・構造化するアプローチが望まれる。シナリオ・プランニングでは多分野の専門家の協働により、分野横断的に問題を構造的に整理し、専門家の知識、問題意識、将来見通し、解決策などに関する考えを包括してシナリオとして表現する。

2. 東アジアのエネルギー危機と本研究の実施項目

本章では東アジアのエネルギー危機問題を概説し、本研究の実施項目および研究体制を述べる。

2.1. 東アジアのエネルギー危機

エネルギー問題は、将来の東アジアの繁栄と安定に暗い影を投げかけている。

今後、中国・ASEAN 諸国を中心とする経済発展に伴い、東アジアのエネルギー消費は急増していく。文献9によれば2020年には東アジアの一次エネルギー消費は2000年に比べ1.9倍の約46億トン(石油換算)に達し、世界全体の約3割を占めると予測されている。特に中国の伸びが顕著で、2020年には約21億トンと日本の約3.7倍に達し、東アジア全体の約45%を占める。

特に懸念される点は原油の域外依存の深刻化である。域内の生産量が頭打ちになる一方、運輸部門を中心に原油需要は増大していく¹⁰⁾。2020年には中国の原油輸入量は日本の約2倍に達する。東アジアの原油域外依存度は現在の約2/3から2020年には8割へと上昇し、特に政治情勢が不安定化している中東への依存が高まっていく。

以上のような東アジアのエネルギーシステムの脆弱性は、エネルギー需給の逼迫やエネルギー価格の高騰のみならず、東アジア諸国の経済力や政治力の低下、資源ナショナリズムの高揚、エネルギー資源を巡る国際対立などをもたらす原因となる^{11),12),13)}。

日本はアジアの先進国として、またエネルギー資源のほぼ全量を海外からの輸入に依存している資源小国として、東アジア諸国と連携しつつ率先してこのような危機の回避に努めていくべきである。また、このような努力を日本の安全や繁栄に結び付けていくことも重要である。従って、日本の科学技術戦略の策定においても、東アジア全体のエネルギー安定供給確保と日本の安全・繁栄の同時達成という視点が求められる。

2.2. 本研究の実施項目

前節で述べた問題意識に基づき、本研究ではシナリオ・プランニングを手法として用い、「東アジアのエネルギー安定供給」と「日本の安全・繁栄」の両者の実現に向けた科学技術戦略の構築支援研究を実施した。具体的な実施項目は以下の通りである。

- ・ 上記の二つの目的の実現に対するリスク要素の総合的検討
- ・ 特に重要で不確実なリスク要素を分岐軸とした危機シナリオの作成
- ・ 各シナリオから抽出される日本の科学技術戦略へのインプリケーション、特に科学技術戦略に求められる視点および研究開発課題の意義の検討

2.3. 東アジアエネルギー危機シナリオ検討会

本研究ではエネルギー工学、エネルギー経済、科学技術政策、国際関係、安全保障、中国、中東などの分野の専門家からなる東アジアエネルギー危機シナリオ検討会を設置し、2004年12月から2005年3月の間に4回の会合を開催した。本検討会メンバーは、堀井秀之（リーダー、東京大学大学院工学系研究科）、大森良太（サブリーダー、社会技術研究開発センター）、渥美正洋（世界平和研究所）、氏田博士（エネルギー総合工学研究所）、角和昌浩（ファシリテーター、日本エネルギー経済研究所）、鈴木達治郎（日本エネルギー経済研究所）、角南篤（政策研究大学院大学）、古川勝久（社会技術研究開発センター）、三室戸義光（日本エネルギー経済研究所）、寄元政宏（中東経済研究所、現在は中国電力）の10名である。

3. シナリオ・プランニングによる東アジアエネルギー危機の分析

3.1. 問題の設定

シナリオ・プランニングを実施するに当たっては、シナリオとして描くべき未来の領域、本研究で言えばエネルギー危機の時間的・空間的範囲およびその危機の影響を検討する政治・経済・社会・国際関係システムの範囲についてあらかじめ合意しておく必要がある。

はじめにエネルギー危機の意味であるが、文献14はエネルギー安定供給に対するリスクを短期的・偶発的なリスクと長期的・構造的なリスクに分類している。前者の要因は戦争・軍事紛争、テロ、革命、突発的な事故等であり、後者の要因は特定の供給源（供給者）に過度に依存することから生ずる脆弱性や買い手としての交渉力の弱さ、投資不足などである。本研究ではこのようなリスクによるエネルギー供給安定に関する危機に加え、その

ようなリスクや脆弱性の存在、および、その低減に向けた各国の行動の結果生じる国力（経済力、国際政治力など）の低下やエネルギー資源をめぐる国際対立などもエネルギー危機として扱った。

リスク要素や危機の展開を検討する期間は2020年頃までとした。検討期間を遠い将来にまで拡張すると、現時点における政策的意思決定への含意が不明確になる。

また、対象とする地域は日本を含む東アジア地域とした。文献15はわが国のエネルギーセキュリティに係るリスクの現状を分析した上で、エネルギーセキュリティ確保のあり方としてわが国における対応、アジア地域におけるリージョナルな対応、グローバルな対応、について論じている。本研究では、主としてとを念頭に検討を実施した。

危機シナリオの作成までの手順をFig.2に示す。

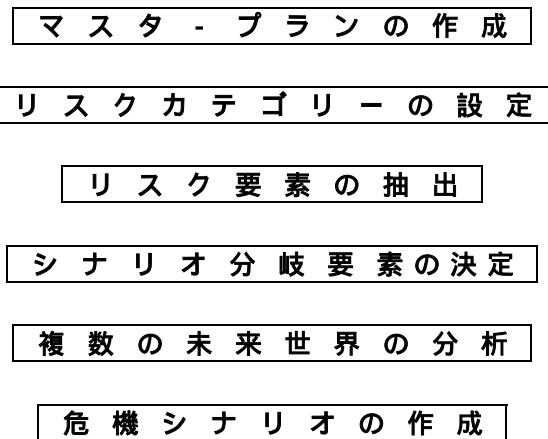


Fig.2 エネルギー危機シナリオ作成プロセス

3.2. マスタープラン - 問題意識の共有化

本検討会では、以下の二つの問題意識を共有化し、日本としてとるべき基本戦略をFig.3のマスタープランとして表現した。本検討会で対象とする危機はこのマスタープランの実現に対する危機として位置づけられる。

東アジア地域のエネルギー安定供給確保は日本の安全に資する

日本として守るべきもの、すなわち国民一人ひとりの安全や幸福や豊かさ、その前提となる経済の発展や福祉水準の確保は、東アジア地域の繁栄および平和安定と不可分の関係にあり、地域全体のエネルギー安定供給確保はその基盤である。

エネルギー関連技術は国家的資産であり、日本の繁栄に向けて有効に活用していくことが重要

日本の有するエネルギー分野の技術および研究開発資源は東アジアのエネルギー危機リスクを低減し、技術や製品の輸出を通じ日本を豊かにし、さらに日本と東アジア諸国の関係を戦略的に構築していくための大切な資

源であり、これを有効に活用していくことが重要である。



Fig. 3 マスタープラン

3.3. リスク要素の抽出とシナリオ構造の決定

危機シナリオのコンポーネントとなるリスク要素を抽出するに当たり (1)中国資源ナショナリズム, (2)中国科学技術体制, (3)地政学・国際関係, (4)エネルギーインフラ, (5)モータリゼーションの進展, (6)電力危機, (7)原子力事故・核拡散, (8)環境, の8つのリスクカテゴリーを設定した。その上で各カテゴリーについて、現在見えているトレンド、見通しが不確かな要素、特に注目すべきリスク要素に関する調査を実施した。この段階で挙げられた要素は30項目以上であるが、これらをさらに精査した結果、マスタープランの実現に対して特に大きな影響を及ぼし、かつ、現時点において見通しが不確実な要素として以下の18項目がリストアップされた(便宜上、事後的に4つのカテゴリーに分類)。

(中国関連)

- ・ 中国がエネルギーセクターに市場メカニズムを積極的に導入するか?
- ・ 中国が外国資源を積極的に求めていくか?
- ・ 中国の科学技術体制が政治の影響を大きく受けるか?
- ・ 中国の経済繁栄が国内政治の安定をもたらすか?
- ・ 中国が温室効果ガス排出削減に向けた国内措置を行うか?

(地政学・国際政治関連)

- ・ 朝鮮半島の地政学的情勢?
- ・ ロシア資源の北東アジアへの供給?
- ・ 米中貿易摩擦?
- ・ シーレーン安保を巡る米中間対立

(インフラ・事故・テロ関連)

- ・ 中東資源輸送ルート確保のために国際協力体制ができるか?

- ・ 中国の発電設備建設が間に合うか?
- ・ 深刻な原発事故が発生するか?
- ・ 東南アジアのテロの規模と頻度?
- ・ 東アジアで原子力保障措置が十分にとられるか?

(科学技術・環境関連)

- ・ 日本のエネルギー科学技術の国際的優位性が維持できるか?
- ・ ガソリンハイブリッド車の普及、自動車の燃費改善度合?
- ・ 消費者の省エネルギー・環境意識が高まるか?
- ・ ポスト京都プロトコルの行方?

ここではすでに見えているトレンド、例えば「日本で少子高齢化が進展する」、「中国・ASEAN 諸国でモータリゼーションが進展する」といった項目は捨象されている。

なお、シナリオ・プランニング作業で作成するシナリオの数は通常数個である。多くのシナリオを作るとシナリオ間の境界の意味があいまいになり、意思決定ツールとしての価値が失われる¹⁾。

本検討会では、上記の18項目を踏まえてさらに議論した結果、我々が関心を寄せる未来世界に最も大きな影響を及ぼす要因は中国の未来像であると合意し、これをシナリオ軸としてシナリオを構築することとした。

3.4. 二つの中国 「国権的な中国」と「オープンな中国」

これまでに述べた作業を踏まえ、各シナリオの基底となる中国の未来像について集中的な検討を行った。その結果、以下の二つの中国像を形成した。

- 統治優先の政治的ロジックを指向する「国権的な中国」
- 経済発展重視の科学的・経済的ロジックを指向する「オープンな中国」

これらは我々が目的とする東アジアのエネルギー危機の描述および日本の科学技術戦略に関する議論にとって、最も有効なフレームワークとなると考え作成したモデルである。各々はやや極端な状態ではあるが、両者をあわせて考えることにより、中国の未来像についての複眼的な理解が可能となる。大きな流れとしては、「国権的な中国」から「オープンな中国」に移行しつつあると見るのが一般的であろうが、これは近年のトレンドから見た仮説であって、2020年頃まで、どちらの「中国」が支配的となるかは予測できない。日本は両者の可能性を踏まえた戦略構築が求められる。

本検討会では「国権的な中国」と「オープンな中国」における基本政策(政治経済、外交、科学技術)とエネルギーシステム(エネルギー政策、エネルギーの需要と利用効率、エネルギー技術の展開)について詳細に分析した。その結果の骨子を Table 1 にまとめる。

Table 1 二つの「中国」の基本政策とエネルギーシステム

	国権的な中国 - 統治優先の政治的ロジック -	オープンな中国 - 経済発展重視の科学的・経済的ロジック -
内政	<ul style="list-style-type: none"> 国家管理型, 既得権益の保護 農村振興・西部開発重視 個人より国家重視 	<ul style="list-style-type: none"> 市場経済導入・規制緩和推進 沿海部大都市発展計画 大衆の意思の影響増大
外交	<ul style="list-style-type: none"> 地域覇権主義 日米欧に対して戦略的な外交 反日・反米感情の顕在化 軍事力増強 軍によるシーレーン確保 	<ul style="list-style-type: none"> 国際協調主義 西側・国際社会に対してオープン 比較的親日・親米 軍事的影響力への依存度低下 ASEAN 諸国への政治的・経済的影響力拡大
科学技術	<ul style="list-style-type: none"> 共産党・軍部主導 自前技術開発路線 「科学技術は政治に奉仕」 	<ul style="list-style-type: none"> 国際派テクノクラート主導 外資技術積極導入 先端科学技術による発展重視 R & D分野で国際協調・合作路線
エネルギー政策	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー価格を政策的にコントロール エネルギー自給力重視 積極的上流投資・海外資源確保 環境意識は停滞 地球温暖化対策に消極的 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーセクターに市場メカニズム積極導入 エネルギー価格は国際市場価格とリンク 国際エネルギー市場を信頼 エネルギー効率重視 国際協調によるシーレーン確保 CDM 等地球温暖化対策に前向き
エネルギーの需要と効率	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー需要に歯止めがかからず 特に電力と運輸部門の伸びが顕著 低エネルギー効率 電力不足や停電リスクの慢性化 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー利用効率が改善 市場価格機能によるエネルギー需要抑制効果 先端エネルギー技術の導入によるエネルギー需要の抑制効果
エネルギー技術の展開	<ul style="list-style-type: none"> 旧式石炭火力の効率改善や脱硫・脱硝技術の普及 大規模集中型発電所(石炭, 原子力, 水力)の拡大 国産原子力技術の開発 農村振興のための再生可能エネルギーの導入 	<ul style="list-style-type: none"> 省エネルギー技術の導入・普及 先進クリーンコール, 革新的原子力システム, ハイブリッド自動車, 燃料電池など先端技術の実用化に向けた取り組み オンサイト電源普及 送配電ネットワーク制御技術高度化

4. 危機シナリオ - 「資源争奪シナリオ」と「極東の島国シナリオ」

前章で分析した二つの中国像からは、マスタープランの実現に対する重大な危機の可能性が導出される。本研究では、これらの危機の様相を「資源争奪シナリオ」、「極東の島国シナリオ」として叙述した。Fig. 4 に二つの「中国」とシナリオの骨子を構造化して示す。

「国権的な中国」から導出される「資源争奪シナリオ」では、東アジアの中東産原油への依存度の上昇、資源やシーレーンを巡る国際対立、国際エネルギー市場の機能低下、インフラ危機などが顕在化する。一方、「オープンな中国」から導出される「極東の島国シナリオ」ではグ

ローバルな競争の激化、日本の科学技術力の優位性喪失（少子高齢化、R&D 費減少）、その結果としてのエネルギー政策の孤立化、東アジアにおけるプレゼンス失墜などが顕在化する。以下、各シナリオの原文を示す。

4.1. 「資源争奪シナリオ」 - 国権的な中国

中国政府は政治体制の安定を第一とする統治優先のロジックに基づき、国家管理型の政策を指向していく。

地域格差や三農問題が重要な内政課題として位置づけられ、農村の振興や西部開発に多くの資源が投入される。既得権益が保護されていく一方、市場経済の導入や規制緩和のペースは鈍化する。大衆の政治参加も制限される傾向が続く。

また、地域覇権主義的な傾向を強め、日米欧に対し戦略的な外交を展開する。反日・反米感情もしばしば表面化する。軍事力の強化・近代化に注力し、周辺諸国や中東シーレーンへの軍事的影響力を高めていく。このような中国に対して西側諸国は不信感を高める。

共産党や軍部の意向が科学技術政策に強く反映される。その結果、農村や地方の発展、および、軍事転用に結びつく科学技術課題への政府投資が優先的になされていく。海亀派と呼ばれる欧米帰りの研究者が科学技術研究開発の中心的な役割を担っていくが、中長期の科学技術計画や研究開発体制は政治的影響を受けやすい。

特にエネルギーなどの基幹技術分野においては、自前技術開発路線を指向する。このような一国主義的な中国に対して西側諸国からの技術移転は停滞する。結果として技術イノベーションは低い水準にとどまる。

巨大な内需に支えられた経済は成長を続け、エネルギー消費も急増していく。国内のエネルギー価格は政策的に抑制され、エネルギー消費の伸びに拍車をかける。省エネルギーや都市・地球環境改善のための政策や新技術の導入は遅れ、エネルギー利用効率の向上は進展しない。

特に需要の伸びが著しいのは、電力と自動車用燃料である。中国政府は電力供給力を拡大するために、石炭、原子力、水力などの大規模集中型発電プラントや送電ネットワークの建設を進めていく。しかし、最も電力需給がタイトな華東地域では、発電所の建設が追いつかず、電力不足や停電の危機が続く。

一方、国民所得の向上は急速なモータリゼーションの進展をもたらす。2010年代には自動車保有台数が1億台を突破するが、それでも先進国の平均的な自動車普及率に比べかなり低い水準である。政府や国民の省エネルギー・環境意識は高まらず、ガソリンハイブリッド自動車の普及は進まない。

この他、旧式石炭火力発電プラントの高効率化技術や脱硫・脱硝技術、原子力発電技術、農村振興に向けたバイオエネルギーや風力などの再生可能エネルギー技術などが積極的に導入される。また、原子力発電に関しては、毎年数基の新規プラントが建設されていく一方で、それらの安全管理体制に対して国際的な懸念が高まっていく。

世界のスーパーパワーたるとする中国は国際エネルギー市場への依存を嫌う。経済性を二の次としたエネルギー自給力の拡大を進め、西部資源開発や大規模な原油・天然ガスパイプライン建設などの上流投資を積極的に実施する。さらに海外資源の確保に向け、中東やアフリカ諸国に対し活発なエネルギー外交を展開していくが、西側諸国は中国が独裁的もしくは人権に相応の配慮を払わない政権との関係を強めていくことに警戒感を強めていく。さらに、日本、フィリピン、マレーシア、ベトナムとの間では東シナ海や南シナ海の資源の領有権を巡り、

対立が深刻化していく。

このような上流投資も、エネルギー需要の伸びには追いつかない。2020年、中国の総エネルギー需要は約20億石油換算トンを超え、日本の4倍以上となる。特に原油については約3/4を輸入に依存し、その輸入量は日本の約2倍となる。また、ASEAN諸国の経済成長も国際原油市場の需給逼迫に拍車をかける。東アジア地域の中東原油依存度は上昇を続け、エネルギーシステムの脆弱性が一層顕著となっていく。

中国の供給重視のエネルギー政策、および、国内外の資源確保に向けた資源ナショナリズム的な行動は国際エネルギー市場の機能を低下させるとともに、他国を同様な行動に誘発してしまう。各国はいわば一国主義的なエネルギー安全保障政策に追い込まれ、自らがエネルギー資源を確保する効用に対して、過大な期待感を抱き続ける。一方、東アジアにおける国際的なエネルギー機関や市場の創設、資源輸送ルートの確保、石油共同備蓄などに向けた国際協調的な取り組みに進展は見られない。

以上の結果、東アジアのエネルギーシステムの脆弱性はさらに深刻化し、同地域の安全と繁栄が脅かされていく。エネルギー需要の増大にブレーキがかからず、多額のエネルギーインフラ投資がなされるにもかかわらず、エネルギー価格は高値安定で推移する。原油の中東依存度は上昇し、エネルギー供給支障リスクは高まり、さらに資源や中東シーレーンの確保をめぐる国際対立が深刻化していく。

4.2. 「極東の島国シナリオ」 - オープンな中国

中国政府は経済発展を第一とする科学的・経済的ロジックに基づき、国際社会に対してオープンな政策を指向していく。

政府は市場の効率化、規制緩和、外資導入、沿海部大都市発展計画に積極的に取り組んでいく。過熱気味であった国内経済も地域格差、国有企業改革、失業、不良債権などの問題を克服し、ソフトランディングに成功する。また、国民個人の政治的・経済的自由を尊重し、大衆の政治参加に対しても寛容な姿勢をとる。

西側諸国と協調的な外交を展開し、国際的なレジームにも積極的に参加していく。反日・反米感情は顕在化せず、東アジアにおける日本のリーダーシップに対しても一定の範囲内で容認する姿勢をとる。軍事的潜在能力は高まっていくが、その影響力を国際社会に対して行使する意欲は低下する。ASEAN諸国とはFTA協定の締結などを進めるなど経済的依存関係を深めていく。

国際派テクノクラートが科学技術政策を主導していく。彼らの多くは欧米帰りの研究者であり、国際的な人的ネットワークを生かし、西側諸国との共同研究開発プロジェクトを推進する。政府も先端技術開発の重要性を認識

し、公的研究投資を拡大していく。自前技術開発にはこだわらず、効率性や経済性を重視し外資技術を積極的に導入する。

エネルギーセクターに市場原理が導入される。低廉な水準に抑えられていたエネルギー価格は国際市場価格とリンクし上昇していくものの、中国経済にとって大きな足枷とはならない。長期的にはエネルギー価格に対する市場メカニズム機能が過度のエネルギー消費を抑制し、またエネルギー利用効率の向上を促進していく。また、政府、企業、国民の各層で環境意識が高まり、大気汚染や地球温暖化の防止に向けた政策が積極的に実施される。一方、高コストな大規模資源開発やエネルギーインフラ建設は抑制される。

外国企業は中国への投資や技術移転を活発化させる。エネルギー分野においても省エネルギー、ガソリンハイブリッド自動車、原子力発電、再生可能エネルギー、分散電源、電力ネットワーク制御などに関する技術移転が進展する。また、中国政府は燃料電池システム、革新的原子力システム、クリーンコールテクノロジーなどの先端エネルギー技術の研究開発・実用化に関して国際協調路線を展開する。

このようなオープンな中国への市場参入や技術移転、さらには国際的な技術標準の策定プロセスにおける主導権確保を巡り、グローバルな競争、特に日米欧間の競争が激化する。また、中国の科学技術水準も分野によっては日本を凌駕するようになる。

2020年以降の日本には少子高齢化や財政悪化が重くのしかかる。経済成長は東アジア諸国の中で低い水準にとどまる。官民の研究開発投資、特に、先進国の中でも高水準にあったエネルギー研究開発投資の減少が顕著となる。この結果、日本のエネルギー分野をはじめとする技術の国際競争力は低下し、中国および世界への技術輸出、および国際標準獲得において欧米に遅れをとっていく。

日本においては人口の緩やかな減少やさらなる省エネルギーの推進によりエネルギー消費の伸びは小さい。また、GDPに占めるエネルギー資源輸入額の割合は低く、この意味においては効率的かつエネルギー価格の変動に対して強靱なエネルギーシステムを構築していると言える。しかし、一次エネルギー供給の約8割を占める化石資源のほぼ100%を海外に依存し、特に原油は中東頼みという脆弱な状況は根本的に解決されないままである。中国の東アジア地域でのプレゼンス拡大に伴い、ASEAN諸国は政治的および経済的に対中国依存度を高めていく。その一方、経済力や科学技術力を基盤としていた日本の東アジアにおけるプレゼンスは低下していく。その結果、東アジア地域のエネルギー安全保障確保にむけた国際的取り組み、すなわち、エネルギー市場の整備、革新的工

ネルギー技術の研究開発・導入、中東シーレーン確保、原油・天然ガス・電力などの国際的パイプライン建設プロジェクトなどに関する日本の影響力も失われていく。資源小国日本は、これまで以上に単独で自国のエネルギー安全保障確保に取り組みざるをえない状況に追い込まれていくが、手段と効果は限定的なものとなっていく。

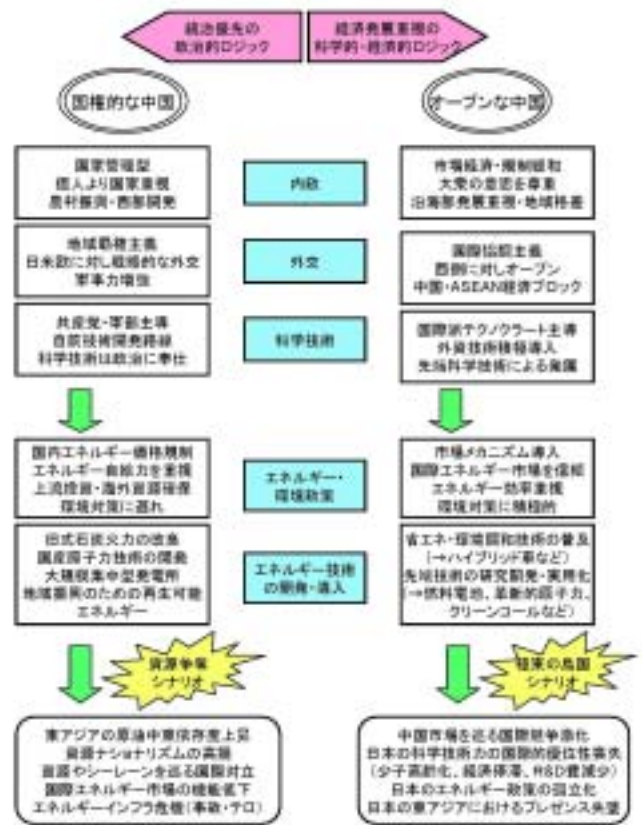


Fig. 4 二つの「中国」とエネルギー危機シナリオの骨子

5. 日本の科学技術戦略へのインプリケーション

本研究では二つの危機シナリオに基づき、それらに描かれた危機の回避に向け日本の科学技術戦略に求められる視点の抽出、および、各シナリオにおける個別研究開発課題例の位置づけについての検討を実施した。

5.1. 各シナリオから導出される科学技術戦略構築の視点

資源争奪シナリオで描写された危機の回避に向けては、中国をはじめ各国が資源ナショナリズムへ向かう誘因を抑制するための基盤技術開発が重要である。これには、省エネルギー技術、原油代替技術、化石資源の環境調和型利用技術など、エネルギー需給や資源・環境制約を緩和するための技術が挙げられる。また、原子力安全技術、電力ネットワーク技術、テロ対策技術などもエネルギーシステムの安定性・信頼性の向上に寄与することから資源争奪への誘

引を抑制する。

また、このシナリオでは地域覇権主義的で日米欧に対し戦略的な外交を展開し、科学技術政策においては自前技術開発路線を指向する傾向が強い中国が想定されている。このような中国に対して日本がどのように対応すべきかについてはまさしく外交戦略上の問題であるが、科学技術分野においては、対中政策における欧米との協調、中国のテククラートらとの多層的な交流の拡大などが求められよう。

一方、極東の島国シナリオにおいて描写された危機を回避するためには、第一に自助努力として、エネルギー資源輸入量(特に原油)を低下させる技術開発が重要となる。これは先に述べた資源争奪シナリオの危機の回避に向けた技術と共通する面が大きい。また、資源小国であり最も国際エネルギー市場の恩恵を享受している国として日本は、東アジア地域におけるエネルギー安全保障確保に向けたイニシアティブに対する影響力を確保する視点から、最先端エネルギー技術開発およびエネルギーシステムの更なる効率化(エネルギー技術分野でアジアの最先進国としての地位を確保)、東アジア地域へのエネルギー技術輸出の拡大(欧米との競争)、科学技術の外交カードとしての利用(戦略的共同研究開発、戦略的技術移転など)、国際派テクノクラートの育成などが重要となる。

5.2. 各シナリオにおける個別研究開発課題例の位置づけ

前節で考察した視点を踏まえ、エネルギー分野の研究開発課題の例として、燃料電池自動車、革新的原子力システム、クリーンコールを取り上げ、各シナリオにおけるそれらの研究開発・実用化の意義を検討した。

(1) 燃料電池自動車

資源争奪シナリオに対して

中国をはじめとする東アジア諸国では、今後モータリゼーションが急速に進み、運輸部門のエネルギー消費が大きく伸びていく。しかし、その大部分を占める自動車用燃料はほぼ100%を石油に依存しており、石油自給率の低い東アジアのエネルギーセキュリティ上のアキレス腱となっている。燃料電池自動車の実用化・普及は東アジアの石油需要を大きく低減し、各国が資源ナショナリズムへ向かう誘引を減じる効果が極めて大きい。

燃料電池自動車の燃料である水素は、短中期的には副生水素の利用、あるいは、天然ガスの改質や水の電気分解によって供給されると考えられるが、その際、総合エネルギー効率(well to wheel)は現在のガソリンエンジンに比べ数10%-200%程度向上する¹⁶⁾。さらに、原子力や再生可能エネルギーを利用した、化石資源を燃料やエネルギーとして使用しない水素製造プロセスの実用化・普及も期待される。

また、中国には豊富な石炭資源や水力資源が賦存して

おり、石炭のガス化およびコールベッドメタン、水電解を利用した水素製造プロセスの大規模な普及は、同国の石油消費を大きく抑制する可能性もある。

極東の島国シナリオに対して

燃料電池自動車の可能性に国際的な関心が高まり、各国の政府・企業は熾烈な開発競争を繰り広げている。日本にとって、燃料電池自動車の研究開発・実用化において国際的に主導的役割を果たしていくことは、将来の産業の国際的競争力や科学技術立国としてのプレゼンスを維持する観点から極めて重要である。

燃料電池自動車の普及に向けては、燃料電池システム技術、水素製造技術、水素貯蔵技術、安全対策技術などにおけるブレークスルーが不可欠とされ¹⁷⁾、基礎研究に対する国の研究開発投資の役割が大きい。燃料電池自動車の商用化、水素貯蔵材料開発、原子力や太陽光を用いた水素製造技術の研究開発などに関して日本は国際的優位性を有している。

技術的課題に加え、ガソリンハイブリッド車など他のクリーン自動車との競合もあることから、日本における燃料電池自動車の普及台数は2020年で約500万台と予想されている¹⁸⁾。東アジア諸国への普及についてはさらに遅れるであろう。しかし、科学技術上のブレークスルーが、国民の環境意識の高まりと相俟って、企業にとっての巨大なビジネスチャンスを早期に生み出し、燃料電池自動車の商用化に向けた企業のインセンティブを大きく加速させる可能性も期待される。

(2) 革新的原子力システム

資源争奪シナリオに対して

原子力発電は、化石資源を燃料として用いないことから地球温暖化防止の観点で望ましい発電源である反面、放射性廃棄物処分、大きな初期投資の必要性、安全管理、核拡散、社会的受容性、ウラン利用率の低さなどの問題を抱え、東アジア地域においても中国を除き積極的な導入計画を立てている国は見られない。

革新的原子力システム¹⁹⁾はこれらの課題を緩和・克服する原子炉および核燃料サイクルであり、原子炉に関しては、核燃料資源の利用効率を高める高速炉、安全性の高い固有安全炉、電力需要や経営の柔軟性を高めさらに立地制約を緩和する中小型炉、熱利用など発電分野以外への利用を目指す多目的利用炉といったコンセプトが検討されている。

このようなシステムの研究開発・実用化は、化石資源の需給逼迫が懸念される将来において、原子力発電が多く東アジア諸国で有力なエネルギー供給技術オプションとして受容される契機となる。原子力発電がこれらの地域に導入されれば、主に電力部門で消費されている天然ガスや石炭の消費を抑制することができる。

また、高温ガス炉などを利用した水素製造システムの実現も期待されている。将来、普及が期待されている燃料電池自動車の燃料となる水素を、原子力エネルギー（電力あるいは熱）を利用して水や天然ガスなどから製造することは、現在ほぼ 100%原油に頼っている運輸部門のエネルギー供給システムを大きく変革する可能性を有している。

極東の島国シナリオに対して

今日、日本の原子力発電技術および原子力研究開発は世界最高の水準にある。原子力分野の技術ストックおよび人材は国家的資産として日本の繁栄に向け有効に活用していくことが重要である。革新的原子力システムの研究開発は将来の国際的な原子力市場における主導権確保、および、科学技術創造立国としての日本のプレゼンス維持の観点から鍵となる技術の一つである。特に日本にとって望ましいのはアジア諸国への原子力プラントの輸出である。日本の原子力技術の同地域への導入は、わが国にとって経済的効果をもたらすのみならず、東アジア地域のエネルギー安全保障確保に向けた国際的イニシアティブに対する影響力の維持に大きく貢献する。

近年、米国のイニシアティブの下、将来を睨んだ革新的原子力システムの研究開発が国際的に活発化しているが²⁰⁾、ナトリウム冷却高速炉、高温ガス炉、超臨界圧軽水炉、低減速スペクトル炉、鉛ビスマス冷却高速炉など日本が世界の研究開発をリードしている炉型も少なくない。日本の原子力人材の国際的な活躍も期待される。

(3) クリーンコール

資源争奪シナリオに対して

石炭は低廉な資源であり、東アジア地域においても中国やインドネシアなどに豊富に存在し、またオーストラリアにも大きな輸出余力があるなど、原油や天然ガスと比べ最も供給不安の少ない化石資源である。一方、大気汚染や地球温暖化などの環境負荷が問題となっている。

クリーンコール技術は、発電効率の向上、石炭灰や二酸化炭素の処分的高度化、利用可能な炭種の拡大などにより、石炭の利用ポテンシャルを高める技術である。特に、石炭ガス化複合発電(IGCC)などの高効率石炭火力発電、二酸化炭素の回収・貯留技術などの研究開発が国際的に活発化している。

高効率で環境負荷の小さい石炭火力発電技術の実用化は電力部門における天然ガスの消費を抑制する効果がある。また、利用炭種の拡大は東アジアにおける石炭の実質的な存在量を増大させ、各国が資源ナショナリズム的な行動に向かう誘引を抑制する効果が期待される。

さらに、石炭ガス化技術によって得られる合成ガスからはディーゼル自動車用の DME や燃料電池自動車用の水素を製造することができ、運輸部門における石油需要の

低減も期待される。

極東の島国シナリオに対して

今後、中国をはじめとする多くの東アジア諸国において石炭火力発電は基幹電源としての役割を維持し、発電量は大きく伸びていく。一方で、都市環境汚染や酸性雨問題が深刻化することが予想され、クリーンコール技術に対するニーズが高まる可能性が高い。この分野で、日本が東アジア諸国への技術移転を拡大していくことは、日本の国際的プレゼンスを高める上で意義が大きい。京都議定書の発効はクリーン開発メカニズム(CDM)を活用した技術移転を促進する。

中国・ASEAN 諸国に対しては当面は旧式石炭火力の脱硫・脱硝技術や経済性に優れる超臨界圧石炭火力の移転が進むと考えられるが、日本はこれらの技術に関して国際的優位性を維持している。さらに、先進的クリーンコールテクノロジーにおける優位性の維持に向け、次世代型高効率発電技術、二酸化炭素の回収・貯留技術などの実用化に向けた研究開発を進めていくことが重要である。

6. おわりに

本研究では、東アジアのエネルギー危機問題を事例としてシナリオ・プランニングによる科学技術戦略の構築支援研究を実施した。具体的には、東アジアのエネルギー危機に関するリスク要素の総合的検討、中国の将来像を分岐軸とした危機シナリオの作成、各シナリオに基づく日本の科学技術戦略に求められる視点の抽出および各個別研究開発課題例の位置づけの検討を行った。

東アジアのエネルギーシステムの脆弱性は今後さらに深刻化し、東アジア諸国の国力低下や資源ナショナリズムをもたらす可能性が大きい。このような状況は、日本の安全にとっても脅威である一方、先端技術開発や技術移転によって日本の国力や国際的プレゼンスを高める機会ともなりうる。

本研究では「国権的な中国」と「オープンな中国」という二つの中国像を構築し、各々から「資源争奪シナリオ」と「極東の島国シナリオ」を作成したが、今後どちらの中国像が支配的となっていくか予見は困難である。日本は両者の可能性を考慮して科学技術戦略を構築する必要がある。

本研究では、主として科学技術戦略に焦点をあてたが、日本のプレゼンス向上に向けた東アジア諸国との間の戦略的な共同研究開発・技術移転の実施、国際的科学技術者の育成などについてはエネルギー政策、産業政策、外交政策とも密接に関連する課題であり、その効果的な実施の方策についてはさらなる研究が必要である。

今回の研究が、シナリオ・プランニングを用いた科学技術戦略構築支援および日本・東アジアが直面しうるエネルギー危機への関心を高める一助となれば幸いである。

謝辞

東アジアエネルギー危機シナリオ検討会の皆様に厚く御礼申し上げる。また貴重なご意見を賜った石井彰氏(石油天然ガス・金属鉱物資源機構), 伊東慶四郎氏(政策科学研究所), 金子熊夫氏(E E E 会議主宰), 桑原輝隆氏(文部科学省科学技術政策研究所), 城山英明氏(東京大学法学政治学研究所), 鈴木一人氏(筑波大学人文社会科学研究所), 田所昌幸氏(慶応大学法学部), 堀田昌英氏(東京大学工学系研究科)に深く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) ピーター・シュワルツ(2000)『シナリオ・プランニングの技法』, 東洋経済.
- 2) Shell International (2003) *Scenarios: An Explorer's Guide* http://www.shell.com/static/royal-en/downloads/scenarios_explorersguide.pdf[2005, June]
- 3) 構想日本エネルギー戦略会議(1993)「シナリオ・プランニング手法による日本のエネルギー戦略 - 2030 年に向けての政策提言 - 」『電気協会報学会誌』平成 13 年 9 月号, 14-18.
- 4) 総合資源エネルギー調査会需給部会(2004)「2030 年のエネルギー需給展望」, 56-78.
- 5) National Intelligence Council (2004) *Mapping the Global Future*, NIC 2004-13.
- 6) 日本エネルギー経済研究所角和昌宏氏の提供.
- 7) 総合科学技術会議基本政策専門調査会(2005.5)「科学技術基本政策策定の基本方針(会長試案)」.
- 8) 総合科学技術会議「平成 18 年度の科学技術の予算, 人材等の資源配分の方針(案)」.
- 9) 田辺靖雄編著(2004)『アジアエネルギーパートナーシップ』エネルギーフォーラム.
- 10) International Energy Agency (2002) *World Energy Outlook*.
- 11) ケント・カルダー(1996)『アジア危機の構図』日本経済新聞社.
- 12) 金子熊夫(1997)『日本の核・アジアの核』朝日新聞社.
- 13) Herberg, M.(2005). *The Emergence of China Throughout Asia: Security and Economic Consequences for the U.S.*, Testimony at the United States Senate Committee on Foreign Relations, June 7, 2005.
- 14) 経済産業省資源エネルギー庁(2004)「エネルギー白書」.
- 15) 総合資源エネルギー調査会総合部会 (2001)「エネルギーセキュリティーワーキンググループ報告書」.
- 16) 例えば文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター編著(2003)『水素エネルギー最前線』工業調査会.
- 17) American Physical Society (2004) *The Hydrogen Initiative*.
- 18) 経済産業省燃料電池実用化戦略研究会(2001)「燃料電池実用化戦略研究会報告書」.
- 19) 原子力委員会研究開発専門部会革新炉検討会(2002)「革新的原子力システムの研究開発の今後の進め方について」.
- 20) US DOE Generation IV Nuclear Energy Systems Initiatives. <http://gen-iv.ne.doe.gov/>[2005, June]

ANALYSIS OF ENERGY CRISES IN EAST ASIA USING SCENARIO PLANNING METHOD AND IT'S IMPLICATIONS FOR JAPAN'S SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY

Ryota OMORI¹ and Hideyuki HORII²

¹Ph.D. (Engineering) Research Institute of Science and Technology for Society (E-mail: omori@ristex.jst.go.jp)

²Ph.D. (Science and Technology for Society) University of Tokyo (E-mail: horii@ohriki.u-tokyo.ac.jp)

This proposes a scenario-planning-based-approach for the development of science and technology strategy through the analysis of energy crises in East Asia. This method, with the help of experts of various fields, enables the comprehensive understanding of the problem to be considered, the development of a robust science and technology strategy for uncertain future, and the evaluation of individual research and development themes from various aspects. This research conducts comprehensive analysis of risk factors, developments of two scenarios with the emphasis on 'China's future', and investigation of strategic viewpoints needed on science and technology and evaluation of individual research and development themes for each of the scenarios.

Key Words: Scenario Planning, Science and Technology Policy, Energy Crisis, East Asia, China