

# 福島事故後の日本のエネルギーミックスの 選択肢とその経済影響

松尾 雄司\*

本稿ではまず既存の試算例を参考としてエネルギー源別の発電コスト評価の問題を検討・整理した上で、それを用いて2030年の日本のエネルギーミックスに焦点を当て、その経済影響について評価を行った。2030年に原子力発電比率を0%、15%、20～25%とするシナリオについて評価した場合、0%シナリオでは実質電力価格が2010年比で2.1～2.6倍程度まで上昇し、それに伴いGDPが減少する。特に輸送機械を中心とした輸出産業での生産・雇用減少が著しい。但しこの電力価格上昇の要因のうち最も大きなものはCO<sub>2</sub>削減コストの上昇であり、従ってその影響は原子力のみでなく、気候変動問題への対処に係る政治的・経済的な状況に強く依存する。また脱原子力の経済影響は、原子力と並ぶ低炭素電源である再生可能エネルギー発電のコスト低減やその導入可能性、国内生産比率等にも依存する。このため我々は常に長期の将来を見据え、明確なプランのもとに将来のエネルギーミックスを考えるとともに、各種エネルギー源の動向を適切に把握し、先入観にとらわれることなく、常に誤りのない判断を下す努力が必要である。

**キーワード：**エネルギー需給，経済モデル分析，発電コスト，原子力，再生可能エネルギー

## 1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所の事故は放射性物質の大量放出と長期にわたる住民の退避という事態を招き、国内外の原子力政策に大きな影響を与えることとなった。日本では2010年に閣議決定された「エネルギー基本計画」<sup>1)</sup>により今後2020年までに9基、2030年までに14基の発電用原子炉を新設し、従来30%弱であった原子力発電比率を約50%まで拡大することが目指されていたが、福島事故の後、その政策は一変することとなった。2011年6月には閣僚級の「エネルギー・環境会議」が開始され、ここでは「エネルギーシステムの歪み・脆弱性を是正し、安全・安定供給・効率・環境の要請に応える短期・中期・長期からなる革新

的エネルギー・環境戦略を政府一丸となって策定する」ことが目指された。また経済産業省の下では専門家の会合である総合資源エネルギー調査会・基本問題委員会が同年6月より開催され、上記のエネルギー基本計画を「ゼロベースで見直す」ことが目指された。この会合の開催は第46回衆議院議員総選挙開催の前月である2012年11月までに33回を数え、主に今後の原子力利用の有無をめぐる盛んな議論が行われることとなった。

エネルギー選択の議論を行うに当たり、大きな論点の一つとなったのはその経済性、即ち各電源の発電コストである。従来日本ではコスト等検討小委員会<sup>2)</sup>で行われた試算結果に基づき、原子力発電は火力発電と比べて「コスト的に遜色ない」とされてきたが、一部ではこれに対して、原子力に特有の費用である廃止措置や放射性廃棄物処分のコストを含めると、実は原子力発電は高価なのではないか、との推測が根強く支持されていた。このような見解は2011年初頭までは一部の論者の間のみで共有され、広範な共感を得ること

2013年11月30日受付

\* 江戸川大学 経営社会学科非常勤講師，日本エネルギー  
経済研究所 研究主幹 エネルギー経済，計算機科学

はなかったが、福島事故の後、主に新聞・テレビ等のメディアがこれを取り上げることで、俄かに国民的な関心と呼ぶこととなった。

これを踏まえ政府は、2011年10月に上記の「エネルギー・環境会議」の下に「コスト等検証委員会」を設置し、原子力発電・火力発電（石炭火力・LNG火力・石油火力）・再生可能エネルギー発電（水力、太陽光、風力、地熱、バイオマス）やコージェネレーション・燃料電池等の発電コストを網羅的に、可能な限りのデータの透明性をもって評価を行い、同12月にはその結果を報告書として纏めるとともに、試算に用いたエクセルシートをも一般に公開した<sup>3)</sup>。ここでは特に原子力発電について、従来試算されてきた資本コスト・運転維持コスト・燃料コスト・バックエンドコストの他に、研究開発に係るコストや立地に係るコスト、福島規模の事故を想定した事故リスクに係るコスト等の評価し、上記の国民的な議論に十分に答えるものとなることが目指された。この報告書及びエクセルシートが公開されることにより、福島事故後高まっていた発電コストに関する国民的関心は一つの区切りを迎えることとなった。

このようにコスト評価が行われた後、改めて将来のエネルギーミックスに関する検討が定量的に行われた。将来のエネルギー選択肢に関しては上記の経済産業省の審議会のほか、環境省の中央環境審議会や、原子力委員会において議論が続けられてきたが、それらの議論をまとめ、2012年6月にエネルギー・環境会議は国民に対して「エネルギー・環境に関する選択肢」を提示した<sup>4)</sup>。これは2010年の原子力発電比率26%に対し、2030年にそれを0%、15%及び20～25%とする3つの選択肢を提示し、それぞれのシナリオについて発電コストや家庭の電気代への影響、実質GDPへの影響、温室効果ガス排出量等を評価したものである。特に家庭の電気代やGDPへの影響については4つの研究機関及び研究者が独自のモデルを用いて試算を実施した結果が併記されており、それによって試算結果の客観性の確保が図られる一方で、その結果の解釈についても議論を生むこととなった。いずれにせよこの結果が国民に提示

され、日本全国各地での国民からの意見聴取会やパブリックコメントの受付、討論型世論調査の実施等を経た上で、同年9月14日にエネルギー・環境会議は「革新的エネルギー・環境戦略」と題する文書を決定、公開した<sup>5)</sup>。これは上記の国民的な議論の結果等を受けて、原子力発電について「既存炉の40年運転制限を厳格に適用する」「新たに組織された原子力規制委員会が策定する基準により安全確認を得た発電プラントのみ再稼働を行う」「原子力発電所の新設・増設は行わない」との3原則を提示し、これに従って「2030年代に原発稼働ゼロを可能とするよう、グリーンエネルギーを中心にあらゆる資源を投入する」としたものである。但し一方で、主に青森県六ヶ所村で実施されている再処理事業については停止することなく、取り組みを続けるものとされた。次いで5日後の9月19日には、この「革新的エネルギー・環境戦略」自体がではなく、それを「踏まえて」「柔軟性を持って不断の検証と見直しを行いながら」エネルギー・環境政策を遂行する、との文言が、閣議決定された<sup>6)</sup>。このように、多くの検討が進められた後に結局政府が示した方針は極めて曖昧なものであったが、その後の政局は2012年12月の衆議院議員総選挙へと向けて進み、この選挙において2009年以来政権を担ってきた民主党が大敗、新たに自民党・公明党の連立政権が成立することとなった。

このような状況下で2012年12月に発足した自民党の安倍首相による政権は、アベノミクスと呼ばれる経済浮揚策を掲げることで広く認知されている。これに対応して、2013年7月8日によりやく施行された新たな原子力規制基準に適合する原子炉の稼働を進めることで原子力利用を回復し、また海外への原子力発電所輸出を進めることで産業の活性化を図るとともに、より長期的には国内での原子力発電所の新規建設も視野に入れている、と言われる。このため前述の「2030年代に原発稼働ゼロを可能とする」とした「革新的エネルギー・環境戦略」を更に「ゼロベースで見直す」ために、新たに専門家会合を開催して将来のエネルギーミックスの議論を進めている。但し

2013年11月現在、その議論は未だ明確な形を備えていない。また原子力発電所の再稼働に係る新たな規制基準に伴う審査には数ヶ月以上の時日を要すると考えられ、審査に要する人員の面からも、早急な大量の稼働は見込みにくい。同年7月に行われた参議院議員選挙においても安倍首相率いる自民党は圧勝をし、その政策は当面加速するものと考えられるが、それがエネルギー需給に対してどのような結果をもたらすかは、未だ今後の動向次第と言える。

このように福島事故以降、日本のエネルギー政策は様々な局面を経ており、その中でエネルギー利用の経済性についても様々な分析が行われた。本稿では以下、まず経済性の議論の基本となる発電コストの問題について現状の論点をまとめた上で、既存の評価結果をも参照しつつ、将来の日本のエネルギーミックスの選択肢とその経済影響について評価・考察を行うこととする。

## 2. 火力・原子力・再生可能エネルギー発電コストの評価

### 2.1 コスト等検討小委員会の試算と震災後の議論

従来、日本の電源別発電コストは平成16年に発表された「コスト等検討小委員会」の報告書<sup>2)</sup>に基づいて評価がなされていた。これによれば、例えば割引率3%の条件の下で、運転年数を40年、設備利用率を80%（水力は45%）とした場合に一般水力11.9円/kWh、石油火力10.7円/kWh、LNG火力6.2円/kWh、石炭火力5.7円/kWh、原子力5.3円/kWhと、原子力は他電源に比べて割安な電源であるとされている。但し条件によっては原子力が高くなることもあり、常に他電源よりも安いわけではない。報告書の表記では、原子力発電の収益性は「他の電源との比較において遜色はない」とされていた。

これに対して従来から、この試算結果は妥当でないという意見が反原発派の人々を中心に散見されていたが、福島事故後、この問題が俄かに国民的な関心を集めることとなった。一部のメディア等においては「安価な原子力発電という神話」の

虚実について大きく報道されることとなり、また、「原子力発電コストの上昇と太陽光発電コストの低下に伴い既に両者は同等のレベルとなっており、今後数十年の間に原子力はより高価に、太陽光はより安価になる」とするBlackburnら<sup>7)</sup>による試算結果などが大きく喧伝された（但し実際には、このBlackburnらの評価は太陽光発電のコストから補助金分を控除し、見かけ上のみ安く推計しているため、正当な比較にはなっていない。この点は国内・海外の複数の専門家により指摘されている）。日本国内での評価事例として、メディア等で大きく取り上げられたのは大島による試算<sup>8)</sup>である。大島は1970年度から2007年度にかけた38年間の電力各社（一般電気事業者9社）の有価証券報告書を用い、原子力・火力・水力の各発電方式について、発電に要した費用を発電電力量で除することにより、実績値としての発電コストを評価することを試みた。その際、大島は原子力の発電費用に研究開発費用や立地対策費用を加算し、更に揚水発電に係る費用（大島によれば揚水発電は日本では負荷変動に対応できない原子力発電を継続するために用いられているものとされ、そのコストは原子力発電のコストに加算されるべきだとされた）等を加えることにより、原子力の発電単価を12.23円/kWh、火力を9.90円/kWh、一般水力（揚水除く）を3.98円/kWhと評価し、日本では原子力発電は最も高価な発電方式である、と述べ、「原子力は経済的に有利な電源であるとする主張は現実とは齟齬がある」と主張した。但し、この有価証券報告書を用いる方法は従来、國武<sup>9)</sup>らによって行われてきたものであるが、大島の試算方法はこれらの方法を変更し、日本の電力会社が電気料金を算定する際の計算式をもとに試算を行っている。即ちこの試算結果は、純粋な発電コストを示すものではない。また、38年間の平均を取る際に金額を実質化せず名目額をそのまま用いていること、金利の変動の影響を評価していないこと、などの問題があり、これは松尾ら<sup>10)</sup>によって指摘されている。

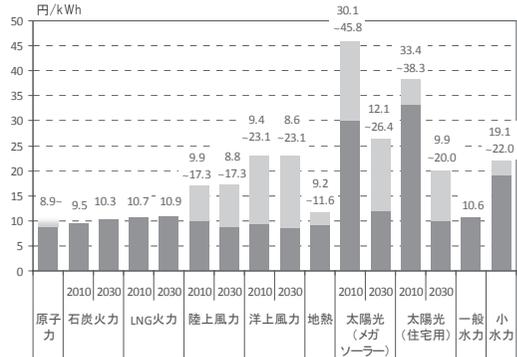
この他、福島事故後しばらく行われた発電コストに関する議論の中では、今後安全性向上のため

に必要となる費用や、六ヶ所再処理工場建設計画の遅延に伴うバックエンドコストの上昇を考え、原子炉の廃止措置や高レベル放射性廃棄物処分に係る費用を考慮すると、原子力発電はコスト競争力を持たないのではないか、という議論が多くなされていた。但しこれらの議論の多くは推測の域を出るものではなく、むしろ学術的に明確な議論は殆どなされなかった、という点にも注意すべきである。例えば電気事業者が原子力発電所を建設する際に国に提出する原子炉設置許可申請書に記載されている「発電コスト」を引用した上で、それらの値が上記の「コスト等検証委員会」の試算値に比べて高い、と指摘するような論調も間々見られた<sup>11)</sup>。実際にはこの原子炉設置許可申請書の値は「初年度」もしくは「耐用年数」の発電コストであるために40年平均の発電コストよりも高いのは当然であり<sup>12)</sup>、それらを単純に比較することには何の意義も見出すことができない。そのような混乱した情報が混乱したままでメディアによって国民に伝えられる中で、福島事故後の輿論が形成された、ということは、今後この時代を振り返る上で忘れてはならないことであるように思われる。

## 2.2 コスト等検証委員会による試算

このような状況の中、政府は「コスト等検証委員会」を構成し、新たに発電コストを試算、2011年12月にその結果を公開した<sup>3)</sup>。これは上記のような批判を受けて、可能な限り網羅的なデータ収集を行い、試算の透明性を確保して評価を実施したものである。このような試みは日本では過去、例を見ないものであると言える。割引率3%の場合の試算例は図1の通りである。ここからわかるように、再生可能エネルギー発電は一般的に立地条件や設備コストの低減見通しの不確実性等からコストの幅が広く、最も安い場合には10円/kWh前後と火力発電と同等になるものの、一般的には割高である。また原子力発電は後述の事故リスク対応費用に関する不確実性が残るものの、廃炉や廃棄物処分、立地対策等のコストを全て計上した上でも、「他の電源との比較において遜色

はない」とする従来の見解を概ね支持する結果となっている。



(出所) コスト等検証委員会 (2011)

図1 主な電源の発電コスト

### (1) 原子力発電

原子力発電については、事故の損害額等について不明な点が残ることから、コストを「下限値」として提示し、8.9円/kWh以上としている。うち資本費2.5円/kWh、運転維持費3.1円/kWh、核燃料サイクル費1.4円/kWh、追加的安全対策0.2円/kWh、政策経費1.1円/kWh、事故リスクへの対応0.5円/kWh「以上」である。従来「発電コスト」として計上されていたもの(資本費、運転維持費、核燃料サイクル費及び安全対策)はおよそ7.3円/kWhと、プラント建設費の上昇(ここでは35万円/kWと想定)等に伴い従来試算の5~6円/kWhに比べて若干高くなっている。その上で、この試算では政策経費及び事故リスクへの対応費用として、追加的に1.6円/kWh程度が計上されている。

#### a. 核燃料サイクル費とバックエンド・コスト

原子力発電コストのうち、核燃料サイクル費に関してはフロントエンド(ウラン燃料及びMOX燃料)0.84円/kWh、バックエンド0.55円/kWh(うち再処理等0.46円/kWh、中間貯蔵0.05円/kWh、高レベル放射性廃棄物処分0.04円/kWh)と評価されている。原子力発電のコストについて多くの人が問題としたがるものの一つは、高レベル放射性廃棄物処分のコストである。

そしてそのコストは実際にはわずかに0.04円/kWhに過ぎず、仮にそのコストが試算値の数倍に膨れ上がったとしても原子力発電のコスト競争力に対して全く有意な寄与をするレベルのものではない、ということが明確に示されている点が、この試算において注目すべき点の一つであると言える。ここでは高レベル放射性廃棄物処分には2.7兆円もの巨額の費用を要することが想定されているが、第一に全体の処理量が大きいため、第二に費用が発生するのが数十年先であることから3%の割引率でもかなり安価になるために、発電量当りのコストへの寄与はかなり小さくなる。高レベル放射性廃棄物は一度地層処分された後には人類の管理を一切必要とせずに数十万年間の安全性を確保する方針であるため、処分時の2.7兆円を超えるコストは一切かからない(但し、もし一定額の管理費用が数十万年間かかり続けると想定したところで、コスト計算上は現在価値に割引かれるため実際に殆ど寄与しないという点では同じである)。高レベル放射性廃棄物について数十万年間の安全性をいかに確保するかは重要な問題であり従来多くの研究がなされている<sup>13) 14)</sup>上に、今後も核変換の技術等も視野に入れて検討が重ねられるべきであるが、少なくともコストの面からは、それは全く問題とすべき点にはならない。この点については、一般に誤解されていることが非常に多い。

一方でバックエンドの中では再処理のコストが比較的大きくなっていることは、注目に値する。このことは、日本国内において再処理を実施することの可否を改めて議論する際の材料の一つとなっている。但し六ヶ所村再処理工場の計画遅延を受けて、仮に再処理計画が現行から5年遅延し、更に再処理工場を新たに作り直す費用を想定しても、発電コストの上昇分は0.2円/kWh程度以下である、という試算もなされており、これが原子力発電全体の経済性を大きく損なうものではないことも明確にされている。

## b. 政策経費

「政策経費」とは原子力発電所の立地に係る費

用や研究開発に係る費用を評価したものであり、従来これらは原子力発電の「隠れたコスト」と呼ばれていた。ここでは日本政府の平成23年度の予算から、これらの費用を3,193億円と見積り、それを平成22年度の総発電量で除した値として1.1円/kWhと算出されている。なおこの研究開発費用の中には高速増殖炉等、既存の軽水炉の運転とは関係のない先進的な技術開発費用についても上乘せされており、若干の過大評価となっていることには留意すべきである。

## c. 追加的安全対策費用と廃炉コスト

福島事故を受けた追加的安全対策費用については、試算時までに政府から指示された安全対策に相当する費用をプラント当たり194億円と試算し、それを発電量で除することにより0.2円/kWhとしている。但しその後制定された新たな規制基準に適合するために更なる追加投資が必要となる可能性は高く、このコストは改めて評価されるべきであると考えられる。しかし規模の面からみて、より重要なのは次項に示す事故リスク対応費用であろう。

廃炉コストについては1基当りの費用を680億円とし、これにより発電単価への寄与を0.1円/kWhと試算している。仮にこれが数倍の規模に膨れ上がったとしても大したコストでないことは、上記の廃棄物処分費用と同様である。

## d. 事故リスク対応費用

事故リスク対応費用としては、まず原子力事故に伴う追加的な廃炉費用や損害賠償費用を5.8兆円とし、これを40年間の発電量で除することにより評価を行っている。ここで注意すべき点は二点ある。第一に、この5.8兆円は廃炉費用や賠償費用等の確定しない段階で試算した値であり、今後除染等に係る費用が上昇する可能性を考えると、この数値(0.5円/kWh)はあくまでも「下限値」である、とされる。事故損害額が5.8兆円から仮に1兆円増加すると、発電コストへの寄与は0.09円/kWhの上昇となる。即ち、仮に図1に示す火力発電と比べた場合、事故被害が10兆

円規模(事故リスク費用 0.9 円 /kWh)であれば「原子力発電の収益性は他の電源との比較において遜色はない」とする従来試算の結論を大きく覆すものではない一方、仮に 50 兆円規模(同 4.5 円 /kWh)に達すれば原子力は比較優位性を大きく損なう、という結果となる。

第二に、これはあくまでも一つの方法による試算結果であり、他の方法に従う場合には同じ 5.8 兆円の損害額が異なるコスト上昇をもたらす結果となる、ということである。例えば仮に事故の発生確率として世界の原子力発電所の実績に基づき  $3.5 \times 10^{-4}$  / 炉・年を採用した場合、もしくは日本の原子力発電所の運転実績に基づき  $2.0 \times 10^{-3}$  / 炉・年を採用した場合に、これらの確率を 5.8 兆円に乗ずると、発電単価への寄与は 0.3 円 / kWh、もしくは 1.6 円 / kWh となり、結果は大きく異なる。

そもそも、もし被害額に事故発生確率を乗じた期待値をもって発電単価への上乗せ分とする場合には、追加的な安全対策を行うことにより期待値を減らす効果が見込めるはずだ、という議論が必ず生じる。安全対策が事故発生確率の低減を目指すものである以上、これは当然である。一方で、単純に期待値で議論をするのではなく、一度事故が発生した際に深刻な被害をもたらすものは期待値よりも大きなコストと評価されるべきだ、との議論も存在するであろう。このようなことから、事故被害額を発電単価に換算して上乗せするための明確な指針を得ることは実際には不可能であり、事故被害の問題は発電単価の評価とは全く別の重要な課題として認識すべきであると言える(但し、被害額が 10 億円程度までであれば原子力発電単価への寄与は小さいが、50 億円程度になると無視できないレベルになる可能性がある、という規模感だけは把握しておく価値があるであろう)。少なくとも「コスト等検証委員会」で採用された方法は、この問題について最終的な解決を与えるものではない。

## (2) 火力発電

石炭火力発電及び LNG 火力発電についても化

石燃料価格の上昇に伴いコストは上昇しており、前者は 9.5 ~ 9.7 円 / kWh (2030 年に CO<sub>2</sub> 対策費用が上昇した場合には 10.3 ~ 10.6 円 / kWh)、後者は 10.7 ~ 11.1 円 / kWh (同 10.9 ~ 11.4 円 / kWh) となっている。ここで燃料価格の高騰を受け、特に LNG 火力のコストの 7 ~ 8 割程度を燃料費が占める状況となっており、そのため発電コストは一次燃料価格、発電効率と炭素価格によって概ね決定される結果となっていることは注目に値する。火力発電のコストが第一義的には燃料価格によって決定されるという事実は、日本のように化石燃料供給のほぼ全量を海外からの輸入に頼る国では、国のエネルギー・セキュリティを考える上で忘れてはならないことであるだろう。なお石油火力については最低でも 20 円 / kWh 以上と高い結果となっているが、これは天然ガス・石炭に比べて石油の熱量当りの価格が高いこととともに、既存の古い石油火力発電所(運転開始 1987 年 ~ 1998 年)の平均熱効率(39%)を用いていることが影響している。日本では石油火力発電はピーク対応や緊急時の電力供給などのために継続的に続けられており、これは実際の電源選択が単純なコストのみでなされるものではない、という一例であるとも言える。

## (3) 再生可能エネルギー発電

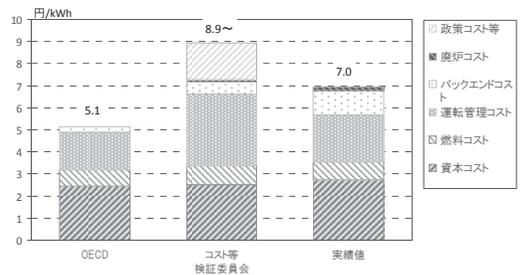
再生可能エネルギー発電については、特に太陽光等においてコストの大幅な低減を将来の「可能性」として見込んでいることが大きな特徴である。例えば住宅用太陽光については、現在の建設単価 48 ~ 55 万円 / kW、発電単価 33.4 ~ 38.3 円 / kWh に対し、2030 年に 18.9 ~ 38.4 万円 / kW まで低下し、それにより発電コストが 2030 年には 9.9 ~ 20.0 円 / kWh まで低下する計算となっている。その際、グリーンピース及び欧州太陽光発電産業協会<sup>15)</sup>をもとに、太陽光発電設備の稼働年数を 2030 年時点で 35 年としていることが特徴的である。また風力発電については、2010 年時点で陸上 9.9 ~ 17.3 円 / kWh、洋上 9.4 ~ 23.1 円 / kWh に対し、「コスト低減の可能性」として 2030 年に陸上 8.8 ~ 17.3 円 / kWh、洋上 8.6 ~

23.1 円/kWh となっている。これらのコスト低減や稼働年数向上の実現可能性は現状では明確でなく、今後の動向を注視する必要がある。またこの試算では、太陽光・風力等の再生可能エネルギーを導入した際に必要となる系統対策費用が加算されておらず、その意味ではこれらの再生可能エネルギー発電のコストも原子力と同様に「下限値」であると言える。

この試算結果を参照する際に一つ注意すべきことは、ここで公開されているエクセルファイルでは、建設等にかかる資本費について、一般的な LCOE (Levelized Cost of Electricity) 法に従って計算がなされていない、という点である。即ち、OECD<sup>16)</sup>等の文献では資本費を算出するに当り、設備の建設に要する数年間の実費用を、所定の割引率を用いて運転開始時の現在価値に換算し、その合計を、運転期間にわたる割引発電量の合計値で除することにより資本コストを算出している。一方でコスト等検証委員会の試算シートはこれとは異なり、プラント建設に係る実費用を計上する代わりに会計上の減価償却費用を所定の償却年数(例えば原子力については16年、水力については40年)にわたって計上し、しかもその各年の減価償却費用を想定割引率を用いて割引いた上で合計し、それを合計割引電力量で除している。OECD 試算で用いられている一般的な LCOE 法と同等の結果を出すためには、減価償却費用も初期建設時に支出されたものと見なし、それを割引かずに合計することが必要であるが、コスト等検証委員会の試算方法ではこれを割引くことにより、発電コストをより小さく評価していることになる。コスト等検証委員会がこのような試算法を採用した理由は不明であるが、仮にこの試算に対し、減価償却費用を割引かずに計算を行った場合、8.9 円/kWh 及び 10.7 円/kWh とされる原子力及び LNG 火力発電コストは 9.3 円/kWh 及び 10.8 円/kWh となり、平均コストが微小に上昇する。しかし資本費率が高く、償却年数の長い水力発電等ではこの効果が特に顕著に現れ、10.6 円/kWh とされる水力発電コストは 13.5 円/kWh まで上昇する。

### 2.3 他の発電コスト試算結果との比較

世界的に広く引用される発電コストに係る文献としては OECD<sup>16)</sup>があり、そこでは日本を含む多数の国を対象として各種電源の発電コスト評価がなされている。上記のコスト等検証委員会試算と OECD 試算とを比較すると、火力発電コストについては結果が大きくは異なる反面、原子力発電コストは図2に示す通り前者では 8.9 円/kWh、後者では 5.1 円/kWh (割引率 5%) と、前者に含まれる上述の政策コスト等 (1.6 円/kWh) を差引いたとしても大きな隔りがある。割引率の差 (3% 及び 5%) を考えると、実際には両者の試算結果はより大きいものと考えられる。



(出所) OECD (2010)、コスト等検証委員会 (2011)、松尾他 (2013)

図2 原子力発電コストの比較

この差及び妥当性については、松尾ら<sup>17)</sup>で詳細な分析がなされている。主な原因は運転管理コストやバックエンドコスト等、OECD 試算では他国と同等と置いているコストが、実際には日本では割高となっていることにある。いずれにせよこのことから、日本のエネルギー政策立案のために参照する値としては、OECD 試算よりもコスト等検証委員会試算の方が、より適切であることがわかる。

## 3. 2030年までのエネルギーミックスと経済影響の評価

### 3.1 エネルギー・環境会議「3つの選択肢」におけるケース設定

既に述べた通り、日本における発電コストの評価が改めて行われたことにより、この結果を用い

てエネルギーミックスのオプションによる経済影響を評価することが可能となり、その評価の試みが2012年にエネルギー・環境会議の「3つの選択肢」の評価として行われた<sup>4)</sup>。

ここで想定されるシナリオは、2030年に日本が目指すべき姿として、現状よりも更に省エネルギーを進めてエネルギー・電力消費量を削減し、原子力及び化石燃料への依存度を低減する一方で再生可能エネルギーの利用を拡大し、これによってCO<sub>2</sub>排出量を削減することを前提として設定された。その上で、2030年の原子力発電比率をシナリオ1で0%、シナリオ2で15%、シナリオ3で20～25%とする3つのオプションが提示された。このように、CO<sub>2</sub>排出量削減やエネルギー・セキュリティ確保の観点から、原子力への依存度の変化に応じてその他のエネルギー政策のあり方も変化する、とされていることが特徴的である。具体的には表1に示すように、原子力発電比率の低いケースほど、再生可能エネルギー導入量が大きくなる。また原子力0%シナリオでは他のシナリオに比べ、「追加対策」が想定されている。これは追加的な省エネルギー対策を講じることによりエネルギー消費量及びCO<sub>2</sub>排出量削減を目指すものである。これらの変化は各選択肢の経済性に影響を与えると同時に、以下示すように、それ以外の点において重大な政策的な相違をもたらすことに注意が必要である。

なお温室効果ガス排出量については、原子力0%シナリオ及び15%シナリオで2030年に1990比23%減、20～25%シナリオで同25%減と設定されている。原子力15%シナリオに比べて0%シナリオでは火力発電比率が55%から65%まで上昇するため、このままの条件ではGHG排出量は大きく変化するはずである。しかしここでは、0%シナリオでは上記の追加的対策を講じるとともに、石炭火力発電からLNG火力発電へのシフトを促すことにより、GHG排出量を同水準に維持することが想定されている。従来、日本では主にエネルギー・セキュリティの観点から火力発電の中で一定比率の石炭火力を維持することが目指されており、そのLNG火力との比率をどうする

かは、エネルギー・セキュリティとCO<sub>2</sub>排出削減との兼ね合いで決ることになる。原子力比率の相違による各シナリオの影響を評価するという観点からは、全てのケースで石炭/LNG比率を同一とすることが望ましいが、ここでは表1に示されるような想定が採用されている。

表1 2030年の3つのシナリオ

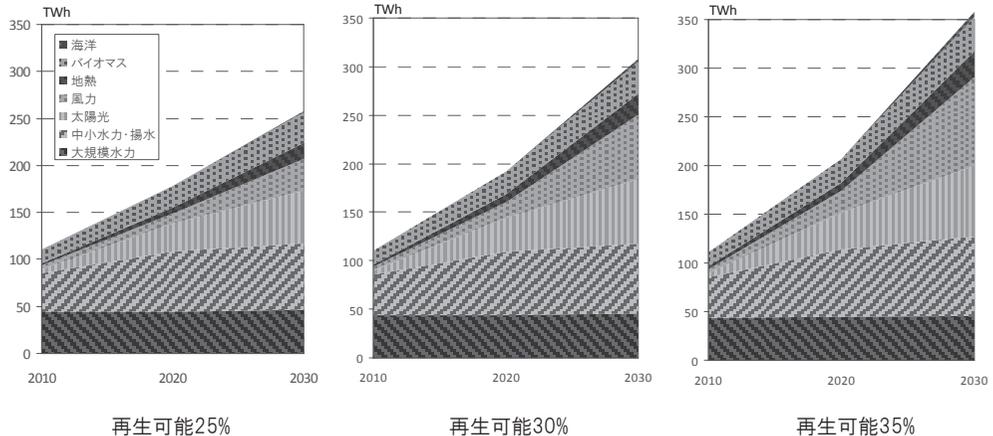
	2010年	2030年		
		0%シナリオ	15%シナリオ	20～25%シナリオ
原子力発電比率	26%	0%	15%	20～25%
再生可能エネルギー発電比率	10%	35%	30%	30～25%
火力発電比率	63%	65%	55%	50%
石炭火力	24%	21%	20%	18%
LNG火力	29%	38%	29%	27%
石油火力	10%	6%	5%	5%
GHG排出削減率(1990年比)	-0.3%	-23%	-23%	-25%

(出所) エネルギー・環境会議 (2012)

### 3.2 再生可能エネルギーの導入想定とコスト

再生可能エネルギーの導入見通しに関しては、従来のエネルギー基本計画では2030年に発電電力量の約2割を賄うものと想定されていた。これに対し、「3つの選択肢」では表1のように、2030年に25～35%と設定された。このように最も低いケースにあっても従来よりも遥かに野心的な導入目標であることに注意が必要である。その内訳は図3の通りである。

日本では2010年現在、発電電力量の10%程度を再生可能エネルギーが担っており、うち8.2%が水力、1.3%がバイオマス、1.0%が風力・太陽光等である。水力発電の拡大余地は国内では限られており、2010年の発電量89TWhに対し、2030年には118～128TWhまで緩やかに拡大することが想定されている。それに対して太陽光発電及び風力発電の導入拡大想定は著しく、太陽光については2010年の3.6GWから2030年に25%、30%及び35%シナリオでそれぞれ53.4GW、63.3GW及び68.6GWとされている。また風力発電については2010年の2.4GWから、2030年にそれ



(出所) エネルギー・環境会議 (2012)

図3 再生可能エネルギー導入の想定

ぞれ 17.6GW (うち洋上風力 2.1GW), 34.9GW (うち洋上 5.9GW) 及び 47.6GW (うち 8.0GW) まで拡大することが想定されている。また地熱発電についても上記二者ほど極端ではないものの大幅な拡大が想定されている。

これらの導入量想定に対し、上述のコスト等検証委員会試算における建設単価の上限と下限の平均値を用いることにより、2030年までの累積の再生可能エネルギーへの投資額は、再生可能 25% ケースで 26.1 兆円、30% ケースで 35.2 兆円、35% ケースで 43.6 兆円と推計された。この 43.6 兆円のうち太陽光が 20.6 兆円、風力が 13.8 兆円であり、この二種のみで 8 割を占める。いずれのシナリオにおいても巨額の投資が必要となる。また、再生可能エネルギーの大量導入に際しては、系統コストとして、連系線の強化や出力の調整等の追加的コストがかかる。これについては 2030 年までの累積額として、再生可能エネルギー 25% シナリオで 2.7 兆円、30% シナリオで 3.4 兆円、35% シナリオで 5.2 兆円と試算されている。

なお、日本における再生可能エネルギー発電の大量導入を議論する際に必ず論点とされるのは、特に再生可能エネルギー 35% シナリオ等の目標について、そのような大量導入がそもそも物理的・政策的に可能であるのか、という点である。これについてもエネルギー・環境会議では回答が試み

られている。例えば 30% シナリオ相当では 2030 年までに 1000 万戸、即ち現在設置可能なほぼ全ての住宅の屋根に太陽光パネルを設置することが想定される一方、35% シナリオ相当では耐震性等のため現在設置不可能な住宅にも改修、もしくは建替えを行い、導入を進めることが想定されている。また風力発電に関しては、立地困難な地域等も開発して導入を進め、東京都の面積の 2.2 倍に相当する場所に 610 ケ所のウインドファームを設置する、とされている。「3つの選択肢」資料に見えるこれらの記述についてどう考えるかは受け取る側の問題であるが、少なくとも、その実現を本気で目指すならば他の何かを大きく犠牲にしなければならないことは想像がつくであろう。一般の国民は必ずしも常にエネルギー・環境問題のことばかりを考えているわけではなく、ニュース等でそれらに接した場合に意識する程度に過ぎない。その人々がみな再生可能エネルギー普及のために情熱を傾け、多大な労力を払って協力しない限り、35% 目標の達成は不可能であろう。

### 3.3 省エネルギーの想定

全てのシナリオにおける重要な前提事項として、政府の強力な施策による省エネルギーの実現が想定されている。これは各産業別及び業種横断の産業部門における省エネルギー対策、家庭・業

務部門における断熱性能向上や給湯器・照明機器・家電等の効率向上、運輸部門における燃費向上や次世代自動車の導入、モーダルシフト等を含むものであり、これらの各対策にかかる費用を積み上げた結果として、原子力 15% シナリオ及び 20～25% シナリオでは、2030 年まで累積で 84 兆円の投資額となる一方で、エネルギーコスト削減により 55 兆円の節約となる、と評価されている。また原子力 0% シナリオでは更に追加的な対策を行うことにより、投資額は累積 96 兆円、節約額は累積 67 兆円と評価されている。

この「追加的省エネルギー対策」についても、それを実現するための現実的な可能性について言及がなされている。即ちこのケースでは、「効率の悪い設備・機器を販売制限・禁止などの厳しい規制で入替える」ものとして、重油ボイラーの原則禁止、省エネ性能に劣る空調機器の改修義務付け、省エネ性能に劣る設備・機器の販売制限、高効率空調器以外の暖房機器の販売禁止、中心市街地へのガソリン車等の乗り入れ制限、といった例が挙げられている。上述の再生可能エネルギー導入のための施策と同様、これらの対策の現実的な可能性についても改めて精査がなされるべきであろう。また、ここでも火力発電における石炭／LNG 比率と同様に、もし本試算の目的が原子力導入比率のオプションによる経済影響を評価することであるのなら、電源構成比率以外の重要な施策をこのように変えて試算を行うべきではなかった、との指摘もなされるであろう。

### 3.4 シナリオの評価結果

これらの前提条件をもとに、シナリオごとの経済影響評価が行われた。エネルギー・環境会議資料には地球環境産業技術研究機構 (RITE)、国立環境研究所 (NIES)、慶応義塾大学・野村准教授、大阪大学・伴教授の 4 者の試算結果が示されている。また本稿ではこれらの試算の妥当性を確認し、その内容について検討を行うため、計量経済モデルを用いて同様の条件のもと、試算を行った (以下 IEEJ と記す)。

これらの研究機関・研究者らはそれぞれ独自の

モデルを作成・利用しており、異なる特色をもつ。野村准教授、伴教授及び NIES のモデルは日本を対象とした多部門一般均衡モデルであるが、例えば野村准教授のモデルは日本のエネルギー・環境問題を精密に分析するため日本経済の長期産業別生産性データベース (KEO データベース) を用いるなど、それぞれ特徴を有している。RITE のモデルは世界を 18 地域に分割し、GTAP モデルのデータベースに基づいた産業連関構造を取り込んだ経済モジュールと、各種エネルギー供給技術を明示的にモデル化したボトムアップ型エネルギーモジュールとを統合したモデルである。また IEEJ のモデルは計量経済学的手法に基づき、ケインジアンタイプの経済モデルと詳細なエネルギーバランス表の時系列データに基づくエネルギー需給モデルとを統合した予測モデルである。以下、それぞれのモデルによる試算結果の概要を示す。

#### (1) 電力価格の上昇

図 4 及び図 5 に、2010 年に対する 2030 年の電力価格 (名目額及び実質額) を示す。ここに示すように、試算した機関・研究者により物価上昇の見方等にばらつきはあるものの、ベースラインケース (2010 年と同様の電源構成を 2030 年に想定するケース) であっても 2030 年の電力価格は 2010 年から名目額で 18%～51%、実質額でも 12～32% 程度上昇する。これは想定している化石燃料輸入価格 (IEA<sup>18)</sup> に準じて設定) の上昇により、火力発電コストが上昇することなどによる。これに対し、2030 年に原子力発電をゼロとするシナリオでは、2010 年に比べて電力価格は名目で 2.3～3.3 倍、実質で 2.1～2.6 倍にまで上昇する。

この電力価格上昇は、①電源構成の変化 (原子力発電の減少及び火力発電・再生可能エネルギー発電の増加) 等に伴う発電コスト自体の上昇、②再生可能エネルギー発電の増加に伴う付随的な費用 (固定価格買取制度 (FIT) に係る費用や系統対策費用等) 及び③炭素価格付加に伴うコスト増の各要因による。図 6 にその要因を示す。2010 年の価格に対してベースラインでは 2030 年までに発電コストの上昇で電力価格が 14% 上昇する。

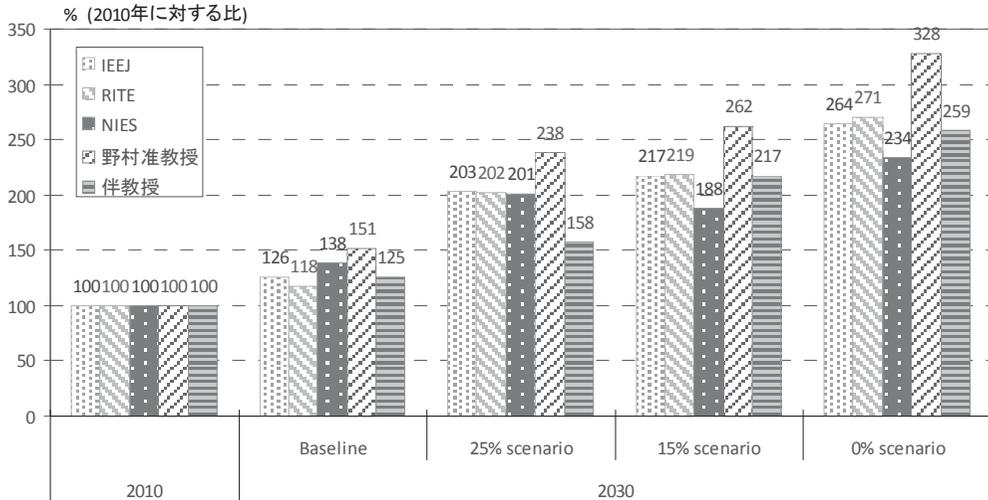


図4 各選択肢の電力価格（名目）

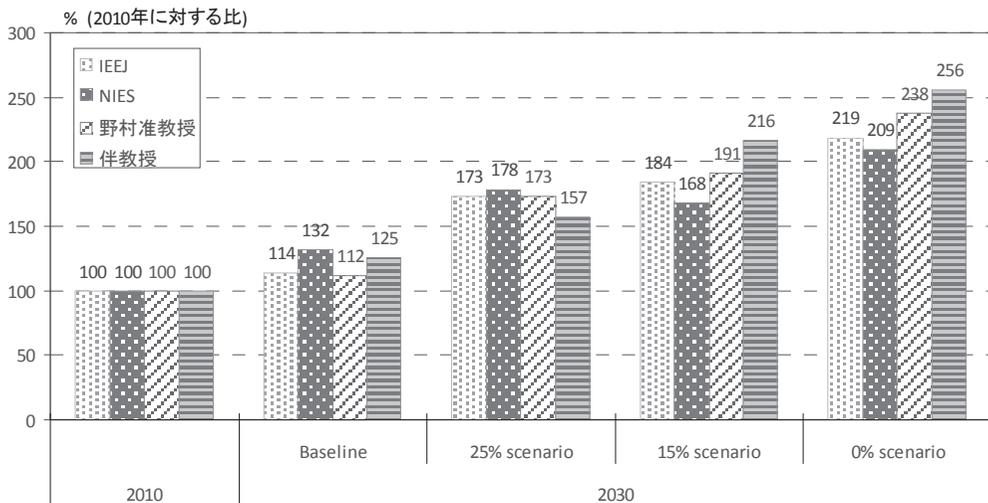


図5 各選択肢の電力価格（実質）

これに対して0%シナリオでは、電源構成の変化に伴い発電コスト上昇で更に23%分、FITで23%分、系統対策コストで2%分、CO<sub>2</sub>価格で56%分上昇し、全体で2010年から119%上昇(2.19倍に上昇)する。このように、電力価格への影響はCO<sub>2</sub>価格による影響が大きいことが特徴である。日本の政策としての観点からは、原子力発電比率は常にCO<sub>2</sub>排出量や再生可能エネルギー導入量と密接な関係をもつ。仮に原子力発電をやめた場合には、CO<sub>2</sub>排出削減量維持の観点から追加

的な再生可能エネルギー導入や省エネルギーの進展が必要となり、それが更なるコスト増加を生み出す、ということを確認する必要がある。

1章で述べた通り、これらの試算結果の一部は事務局によって整理され、国民に提示された。その際、図6や図7に示す電力価格の代りに、「家庭の電気代」として、2010年の平均的な値1万円/月が2030年に各シナリオで名目額でいくらになるか、として示された。一般的に2030年に電力価格が上昇するシナリオほど家庭の電力消費

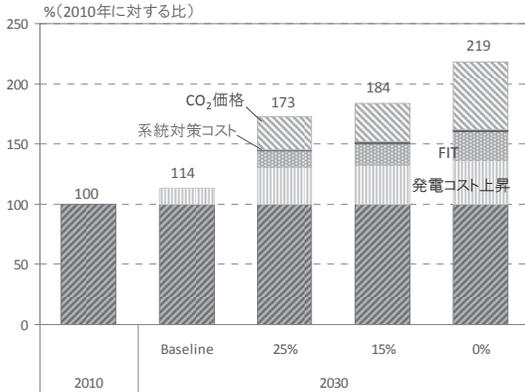


図6 電力価格（実質）への影響要因

量が減少するため、例えば RITE の試算結果は、「2010 年の 1 万円 / 月に対し、2030 年には 20 ~ 25% シナリオ及び 15% シナリオで 1.8 万円 / 月、0% シナリオで 2.0 万円 / 月」、NIES の計算結果に至っては「全てのシナリオで 2030 年に 1.4 万円 / 月」と翻訳された（但しその正確な計算方法は必ずしも明確でない）。この翻訳は、一般的な日本国民に対して「結局、原子力に関してどの選択肢をとったとしても家庭の電気代に対して大きな差は生まない」という認識を広める結果となったと推測される。しかし仮に例えば電気代が 3 割上昇し、一方でそれに見合うだけの節電、もしくは所得の低下による電力使用量減少が生じて結果として 1 ヶ月当りの電気代が同一水準で維持された場合、それは「家計への追加的な負担がなかった」ことを、果して意味するのか。計算結果を国民に示す際には、その示し方によって大きく印象が変化するものであり、可能な限り偏りのない目で、先入観なく示す努力が必要である。

なおこれらのモデルの間ではエネルギー需要の価格弾力性の値が大きく異なっており、それを反映して実質限界削減費用の値にも大きな違いが見られる。0% シナリオでの 2030 年の限界削減費用は RITE、野村准教授、IEEJ、伴教授、NIES でそれぞれ 55,422 円 / tCO<sub>2</sub>、38,699 円 / tCO<sub>2</sub>、37,500 円 / tCO<sub>2</sub>、14,649 円 / tCO<sub>2</sub>、8,011 円 / tCO<sub>2</sub> である。限界削減費用の大小はエネルギー政策上大きな意味をもつものであり、モデルの信

頼性という面からも、これらのモデル間の差異については更に精査を進め、より精度の高い推計が可能となることが望まれる。いずれにせよ、これらの限界削減費用は現状の炭素価格に比べて極めて高く、表 1 に示す GHG 排出削減目標の達成の難しさを改めて認識させる。

## (2) 実質 GDP の変化

発電に係るコストの上昇は企業や家計の活動を低下させ、経済の規模を縮小させる。各シナリオにおける、ベースラインケースからの実質 GDP の低下率は図 7 の通りである。各モデル間の推計方法や特性の違い、例えば上述の通り価格弾力性が大きく異なることなどにより、モデル間で経済影響は異なり、2030 年の実質 GDP の低下率は 25% シナリオで -0.4% ~ -4.4%、0% シナリオで -1.4% ~ -7.6% となる。RITE のモデルで特に経済影響が大きいのは、このモデルが日本のエネルギー価格上昇による他国での生産量の増加（リーケージ）をも明示的に扱う国際モデルであるため、とされる。実際、このモデルでの輸出額（実質）の変化はベースラインケースに比べて 0% シナリオで -18.5%、25% シナリオで -11.8% に及ぶ。いずれにせよ、原子力比率の低いシナリオにおいて経済影響が大きくなる傾向は一致しており、RITE のモデルにおける最大 7.4% の GDP ロスは金額にして 45 兆円に相当する。

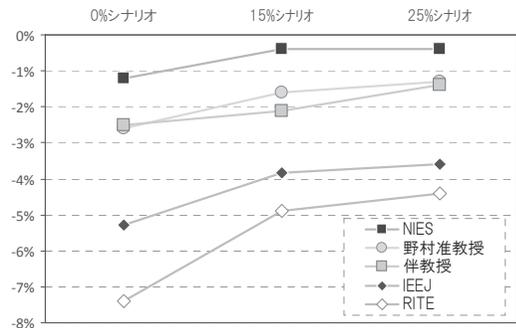


図7 各選択肢の実質GDP低下率

なおこれらの経済影響は、家計消費等の減少による低下分と、再生可能エネルギー・省エネルギー等への投資増による上昇分を相殺した正味の減

少量である。例えば野村准教授の試算では、0%シナリオでは4.3%のGDP水準の低下に対し再生可能エネルギー等投資が増加し、差し引き2.7%減となる、と試算される。ここに見られるように、再生可能エネルギーの推進は大規模な設備投資、いわゆるグリーン投資の増加を仮定すれば、マクロ経済への悪影響は比較的小さくなる。但しその前提条件として、現在から2030年までの間に太陽光パネル等における大幅な価格低下が実現することと、その国産比率が現状からわずかな低下で実現できることが必要である。これらの前提条件の成立の可否が、再生可能エネルギー導入の経済影響を大きく左右する。日本では原子力発電設備の国産率は非常に高い一方で、太陽光パネルは輸入製品のシェアが拡大しつつあり、今後大量の普及が見込まれる再生可能エネルギー関連

設備の国産率を維持することが非常に重要な課題となる。

秋元ら<sup>19)</sup>はRITEの分析結果を提示するに当たり、ここで試算されているシナリオは原子力を維持するシナリオも含め、全てについてCO<sub>2</sub>排出削減や省エネルギー促進のレベル、再生可能エネルギー導入の想定が大きすぎる可能性が高く、より現実的な目標の設定が必要である、と述べている。少なくとも経済合理性の観点からは、その主張に一定の正当性があることは、上記の試算結果に照しても明らかである。但し一方で我々は、なぜこのような野心的な目標が設定されているのか、ということについても考えなくてはならない。それは再生可能エネルギー導入を含む低炭素技術の開発を進め、それによって産業の国際競争力を維持するとともに、省エネルギーによって化石燃

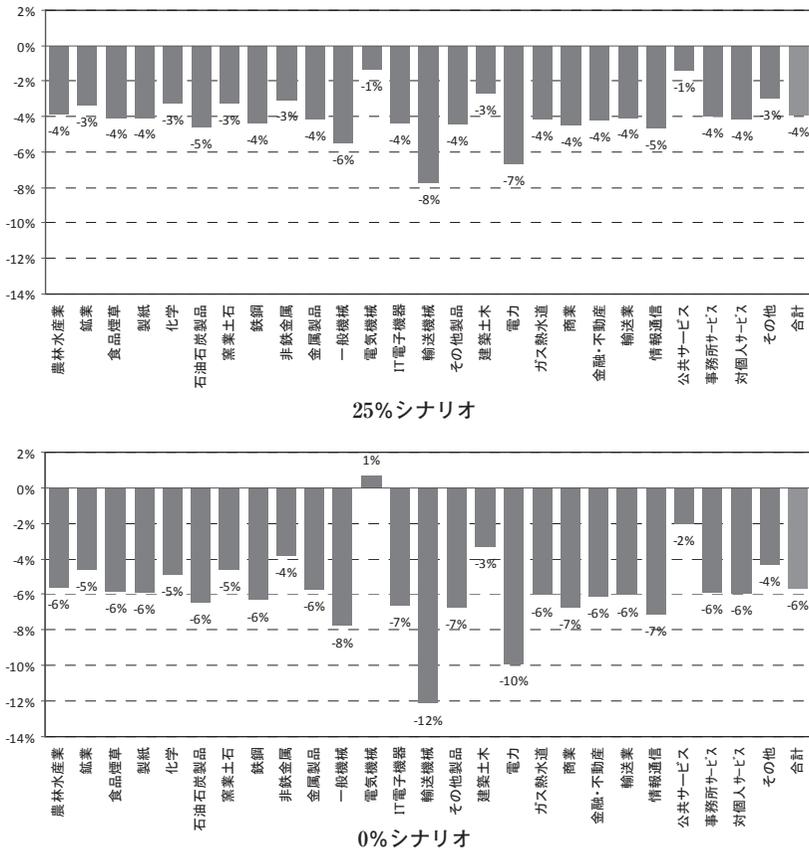


図8 産業別生産額の変化

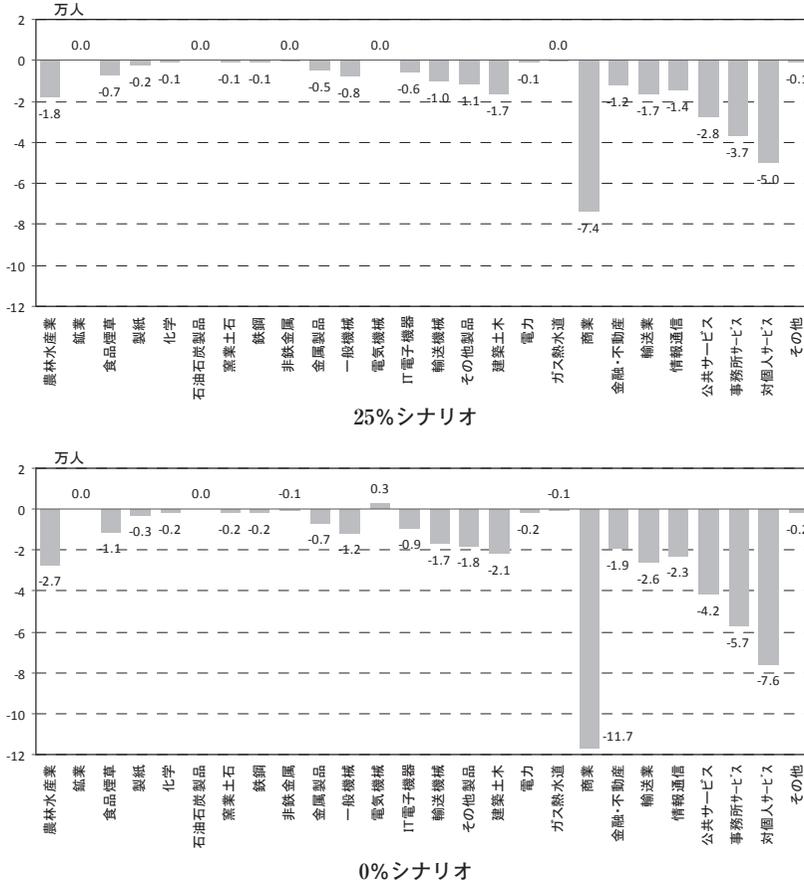


図9 産業別雇用者数の変化

料の依存を低下させ、CO<sub>2</sub>排出量を削減することを通じて、地球環境問題という厄介な問題を一転して明るい将来のための原動力としたい、という日本の強い希望の現われである。希望は人の生きる糧であって、そのない将来の設計はあり得ない。将来の予測はあくまでも予測に過ぎず、そこには大きな不確実性がある。しかし一方で、分析の結果から目をそらし、それを覆い隠すことで非現実的な未来を夢想することがあってはならない。我々に求められることは、その希望を実現するための具体的な方法を、その現実性と不確実性を認識した上で複数のシナリオのもとに作成し、将来の状況に応じて常に正しい判断ができるよう努めることであろう。そのために改めて、現実的な実現可能性を踏まえて将来のエネルギー選

択の議論を白紙に戻って行うことが、現在の日本の重要な課題となっている。

### (3) 産業別の経済影響

0%シナリオおよび25%シナリオにおける産業別生産額の変化（ベースラインからの変化率）の試算結果を図8に、また産業別の雇用への影響を図9に示す。この結果においても、25%シナリオであっても大きな落ち込みが見られ、0%シナリオでは更に大きく低下する、という意味では上記の実質GDPと同様である。業種別には特に輸送機械産業（自動車産業を含む）等、輸出産業への影響が大きくなる一方で、再生可能エネルギー関連への投資が進むため、電気機械や建築土木業への負の影響が小さくなる。特に0%シナリオでは再

生可能エネルギー発電比率 35% ケースを採用しているため、それに係る発電設備への投資増によって電気機械産業の生産額が上昇、雇用も増加している。しかし他の産業部門での生産減少により、日本全体で見ると大幅な生産減・雇用減となる。0% シナリオでの雇用減少は合計で 49 万人に達する。

#### 4. おわりに

本稿ではまず「コスト等検証委員会」の試算を中心に発電コスト評価の問題を整理した上で、それに基づいた 2030 年の日本のエネルギーミックスの選択肢とその経済影響について評価した。エネルギーミックスの問題は気候変動対策の問題と常に密接に関連しており、両者を切り離して議論することはできない。現在、気候変動対策の枠組みをめぐる議論の状況は必ずしも大きな進展を示していないが、それにもかかわらず、日本を含む各国の政府が温室効果ガス、中でもエネルギー起源 CO<sub>2</sub> の排出削減を主要な政策目標と位置づけていることに相違はない。その中で冷静にコストと経済性を評価した場合、原子力発電の利用が優位性をもち、その放棄が経済への大きな打撃を意味することは決して否定することができない。我々にできることは、まずその事実を受け止めた上で、ではそこに潜むリスクにどう対処するかを考えることであろう。福島第一原子力発電所事故の後、原子力発電所の稼働停止及びそれに伴う化石燃料の購入額増加により日本経済が大きな負担を強いられていることは既に明確であり<sup>20)</sup>、無計画かつ早急な原子力からの撤退は最も忌避すべきものであることがわかる。一方で、長期のエネルギー選択の可否は原子力のみの問題ではなく、例えば再生可能エネルギーのコスト低減やその導入可能性、設備の国産比率の動向等に強く依存する。このため我々は常に長期の将来を見据え、明確なプランのもとに将来のエネルギーミックスを考えるとともに、各種エネルギー源の動向を常に適切に把握し、誤りのない判断を下すことが必要である。ともすれば個人的な好悪や利害で語られ

易いこの問題について、それらを離れた視点から国全体、もしくは世界全体の視野において考えてゆくことが求められている。

#### 参考文献

- 1) 「エネルギー基本計画」、2010 年 6 月閣議決定。
- 2) コスト等検討小委員会「バックエンド事業全般にわたるコスト構造、原子力発電全体の収益性等の分析・評価」、(2004)。
- 3) コスト等検証委員会「コスト等検証委員会報告書」、(2011)。
- 4) エネルギー・環境会議「エネルギー・環境に関する選択肢」、(2012)。
- 5) エネルギー・環境会議「革新的エネルギー・環境戦略」、(2012)。
- 6) 「今後のエネルギー・環境政策について」、2012 年 9 月閣議決定。
- 7) Blackburn J.O. and S. Cunningham, "Solar and Nuclear Costs - The Historic Crossover", NC WARN, (2010)。
- 8) 大島堅一『再生可能エネルギーの政治経済学』, 東洋経済新報社, (2010)。
- 9) 國武紀文「わが国における原子力発電のコスト構造分析 - 電力九社の財務諸表に基づく経済性評価 -」, 電力中央研究所研究報告 Y98003, (1999)。
- 10) 松尾雄司, 永富悠, 村上朋子「有価証券報告書を用いた火力・原子力発電コスト構造の分析」, 『エネルギー・資源学会論文誌』, 33 (5), (2012)。
- 11) エネルギーシナリオ市民評価パネル, 「発電の費用に関する評価報告書」, (2011)。
- 12) 松尾雄司「『コスト等検証委員会』による原子力発電のコスト試算の概要と評価」, 日本エネルギー経済研究所, (2012)。
- 13) 核燃料サイクル開発機構「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術の信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ -」, (1999)。
- 14) 原子力発電環境整備機構「高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性」, (2010)。
- 15) Greenpeace and EPIA (European Photovoltaic Industry Association) "Solar Generation 6 - Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World", EPIA, (2011)。
- 16) OECD/IEA, NEA, "Projected Costs of Generating Electricity 2010 Edition", OECD Publications, (2010)。
- 17) 松尾雄司, 山口雄司, 村上朋子「有価証券報告書を用いた評価手法による電源別長期発電コストの推移」, 日本エネルギー経済研究所, (2013)。
- 18) International Energy Agency, "World Energy Outlook 2012", IEA Publications, (2012)。
- 19) 秋元圭吾, 本間隆嗣, 佐野史典「エネルギー・環境会議選択肢に替る選択肢の提案」, 地球環境産業技術研究機構 (RITE), (2012)。
- 20) 松尾雄司, 山口雄司「福島第一原子力発電所事故後の日本の発電コスト上昇と電気事業財務への影響」, 日本エネルギー経済研究所, (2013)。