

日本産油国計画

藻類でつくる明るい未来

京都産業大学 岑智偉研究会 資源エネルギー政策
分科会 C

小堀一真 市川美琴 稲垣千恵美 岡崎銀次郎
谷本大悟 野村美奈 山口英佑

2 0 1 1 年 1 2 月

日本産油国計画¹

藻類でつくる明るい未来

2011年12月

¹本稿は、2011年12月17日、18日に開催される、ISFJ 日本政策学生会議「政策フォーラム2011」のために作成したものである。本稿の作成にあたっては、岑智偉教授（京都産業大学）をはじめ、多くの方々から有益且つ熱心なコメントを頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。しかしながら、本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要約

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、わが国は非常に大きな被害を受け、特に福島県の福島第一原発をきっかけに放射能の問題が今後も解決が困難な問題となっており、また今夏には節電の呼びかけが大変話題を集めた。そこで本稿目的は、現代のエネルギー事情に着眼し、電力供給の在り方、また新エネルギー開発を政策提言とすることである。

本稿では、わが国の乏しいエネルギー事情からの脱却、火力発電における二酸化炭素過大排出の低減の二つを主に論じていく。また流れとして第1章は現状、第2章は問題意識、第3章は分析、第4章は政策提言としている。

第1章では現状として

第1節でわが国の発電供給体系の現状について

第2節でわが国のエネルギー状況について

第3節で原子力発電のこれまでの過程と世界における日本の原子力水準を示し

第4節で火力発電において他国との比較

第5節で現在わが国のエネルギー事情を述べていく。ここで重要となるのは、わが国は原子力に依存しわが国のエネルギー資源不足は深刻であり、エネルギー資源の大半を輸入に頼り、原油輸入で起こる様々な問題もあることである。この章ではこれらを示したうえ、他国との比較によるわが国の劣りに着目する。

第2章では問題意識として

第1節はエネルギー資源と題し、原発に頼らない電力供給を行うために各エネルギー資源のメリット・デメリットを挙げ、二酸化炭素排出量とコスト面から見てどの資源が最適であるのか着目する。

第2節は環境問題とし、主に高度経済成長以降の二酸化炭素排出量の増加による現在の二酸化炭素排出量増加問題に1997年京都議定書の削減目標達成の困難等を挙げ、二酸化炭素排出量削減の必要性につなげる。

第3節は自然エネルギーを使用した発電、水力、風力、地熱、太陽光が注目されてきている現在であるが、自然エネルギーを使った発電にも大気汚染やコスト増大等の問題に直面してしまう。メリットも多いが逆にデメリットも多いところを具体的に示す。

第4節は原子力発電における課題、震災後原子力の安全性が疑問視され、再稼働できない原子力発電所が多々ある。そのためわが国の発電供給が重要に見合わない状況となっていることからわが国の原発依存が問題となり、燃料資源であるウランの限りもあること詳しく取り上げる。

第5節では震災後に行った震災復興への予算等の財政事情を考慮したうえでこれまでの藻類からオイル生成を目指した研究や投資、アメリカの投資例を示して今後の期待収支等を述べる。第2章では自然エネルギーはデメリットが多く、原子力にも頼ることもできない現状を問題意識であるとする。

第3章では分析を行い

第1節で先行研究である筑波大学教授 渡邊信らの研究グループによって発表されたオイル生産効率の高いオーランチオキトリウムの性質、それ以前にあったボトリオコッカスの性質を示す。また生産効率・生成スピード比較、実際生産するときのある一定土地当たりの生産量を具体的な数字を示す。またバイオ燃料(トウモロコシ・大豆等)の生産量との比較、

植物系からとる油が本来は食糧生産のため植物のために引き起こす問題も取り上げる。

第 2 節では藻類を使い二酸化炭素排出量削減を目指す分析を行う。火力発電における 2009 年度の発電量は全体の約 63.8%にのぼり、その分火力発電で二酸化炭素排出量の削減が可能になれば大きいことが言え、石炭燃料を石油燃料に代替することで削減できる二酸化炭素排出量を分析し示す。

第 3 節では日本の制度体制について触れ、我々が利用を考える耕作放棄地の問題、有効利用できることを示す。ここでまず 2012 年 7 月 1 日施行の固定価格買取制度について紹介し、この制度はこれからの新エネルギーによる発電に関連する法律であるため、法を考慮した上で我々の考案した「藻類固定価格買取制度」を導入した時の電力供給仕組みをモデル分析で示す。我々のモデル分析では新規参入を促し、ベンチャー企業も藻類生産に容易に参入できるため、藻類市場の活性化が可能と分析できる。またそれには政府の補助金、土地等の援助が必要とする。

第 4 章は政策提言であり、オーランチオキトリウムとボトリオコッカスを併用したオイル生産、わが国の産油国化を目指す。有機物を吸収し炭化水素を生産するオーランチオキトリウム、光合成によって炭化水素を生産するボトリオコッカスを使用し、効率よく炭化水素を得るための仕組み、生産方法を示し、モデル分析で述べたとおり「藻類固定価格買取制度」を活用した仕組みを示したうえで、政府の補助金も財源も考慮し予算の見積もりを出す。第 3 節で今後の利益算出、具体的な計算を踏まえた予想利益を出し、カーボンニュートラルと呼ばれる二酸化炭素を生産過程で増加させない仕組みも取り上げ藻類生産においてメリットが多いことを政策提言で明白にする。

本稿ではエネルギー資源を輸入に頼るわが国の問題点を挙げ、自然エネルギーに頼る発電があまり普及せず原子力発電に頼っている現状を改善するためにわが国でエネルギー生産をし、産油国化によるエネルギー資源不足を解消すること、また二酸化炭素過大排出である現状を藻類からの石油生産によって二酸化炭素排出の抑制が可能であることを示している。

目次

はじめに

第1章 現状

- 第1節 わが国の発電供給
- 第2節 わが国のエネルギー状況
- 第3節 原子力発電
- 第4節 火力発電
- 第5節 エネルギー事情

第2章 問題意識

- 第1節 エネルギー資源
- 第2節 環境問題
- 第3節 自然エネルギー
- 第4節 原子力発電の課題
- 第5節 展望

第3章 分析

- 第1節 藻類バイオマス
- 第2節 二酸化炭素排出量の削減
 - 第1項 二酸化炭素排出量
 - 第2項 代替後の二酸化炭素排出量
- 第3節 制度説明
 - 第1項 耕作放棄地
 - 第2項 固定価格買取制度
- 第4節 モデル分析
 - 第1項 藻類固定価格買取制度
 - 第2項 補助金分析

第4章 政策提言

- 第1節 概要
- 第2節 補助金
- 第3節 今後の展望
 - 第1項 利益算出
 - 第2項 カーボンニュートラル
- 第4節 まとめ

先行論文・参考文献・データ出典

はじめに

本稿の目的は、現代のエネルギー事情を考慮し、電力供給における火力発電による二酸化炭素排出削減とエネルギー資源に乏しく輸入に頼っているわが国のエネルギー事情の改善である。

東日本大震災により福島県の福島第一原発での放射能の問題が注目され続けている中、電力供給の在り方についても懸念の声が上がっている。電力供給の改善は容易なものではなく、自然エネルギーを使った発電ではメリットもあるが、デメリットが少なくないため困難を要するため、我々は電力を安定供給も含めた新エネルギー開発を進めたいと論じていく。

そこで私たちが先行研究としている筑波大学教授 渡邊信氏らの研究チームによって発表されたオーランチオキトリウムと以前から研究が進められていたボトリオコッカスと呼ばれる藻類によってオイル生成（石油となる炭化水素の生産）が可能ということに注目し、これからの新エネルギーとなり得ると考えた。

藻類から油（炭化水素）を抽出する研究はすでに始まっており、先ほど述べたように代表的にオーランチオキトリウムとボトリオコッカスの二種があり、油抽出能力はいずれも十分にある。石油生産が可能になると、わが国はエネルギーの乏しい国からエネルギー大国・産油国化も可能であり、また石油生産で得た石油を火力発電の石炭燃料の代替燃料に当てるとかなりの二酸化炭素排出量削減が期待できることも重要な要素である。

分析では独自のモデル分析を考案し、オイル生産から消費者までの過程で政府の援助等を受けた仕組みを示している。モデル分析で電力会社における過剰介入を防ぐために「藻類固定価格買取制度」も考案し、導入後の政府による補助金の分析も行っていく。

本稿の政策提言としては、先ほど述べたようにオーランチオキトリウムとボトリオコッカスを併用したオイル生産をし、火力発電での石炭燃料を藻類からとり出し変換した石油燃料を使い二酸化炭素排出量を削減することで、環境問題改善にもつなげていく。また電力供給体系の見直しと供給体系の支援策としてモデル分析で示したモデルを使用した電力供給を行うことを目的とする。

第1章 現状

第1節 わが国の電気供給

わが国は平成 23 年 3 月 11 日に東日本大震災とそれによって引き起こされた大津波によって大きな被害を受けている。福島第一原発では今回の地震と津波により、炉心融解および水素爆発が発生し、チェルノブイリ以来の大事故となった。この原発事故をきっかけに福島原発が停止され東京電力の供給量が不足し、計画停電が実施された。このことから今後の電気供給の在り方について疑問の声があがっている。

表 1 は経済産業省が平成 22 年 3 月 31 日に公表した 2019 年度までの日本電力についての需給バランスである。これは震災前の試算であり、電気供給の安定性を示す供給予備率（供給予備力（=供給力-最大需要力）/供給力）は 2019 年度まで約 10%であることが示されている。これは安定した電力供給のための 3%（通常は 8%以上）より高い水準である。

表 1 今後の需給バランス（8月需給バランス）（万 kW）

	平成21年度 (2009年度)	平成22年度 (2010年度)	平成26年度 (2014年度)	平成31年度 (2019年度)
供給力	19,540	19,414	19,507	20,274
最大需要電力	15,512	16,965	17,603	18,257
供給予備力	4,028	2,449	1,903	2,017
供給予備率(%)	26.0%	14.4%	10.8%	11.0%

出典：通産省『平成 22 年度電力供給計画の概要について』（pp.2,表 3）

しかし、東日本大震災より、これらの目標は達成されなくなった。表 2 は経済産業省が平成 23 年 7 月 29 日に発表した「当面のエネルギー需給安定策」（エネルギー・環境会議決定）における今後 1 年の電気需給バランスについての試算である。それによると、日本全国電力会社（9 社）による電力供給は東日本大震災より最大電力需要を下回り、電力の供給予備率は安定供給水準の 3%よりはるかに低くなり、来年の夏まで、いずれもマイナスとなっている。但し、この試算では、前述の福島第一原発事故などにより、原子力について定期検査後の原子力発電所が再起動しないものとしている。

このような状況の中で、今年の夏から来年夏までの 15,698 キロワット～17,471kW の電力供給に使用されるエネルギー資源の内訳は次の通りである。原子力による発電は来年の

夏まで 0%であり、火力発電の割合が上昇し、来年の夏までは 81%に達する見込みである。

表 2 9 社電力供給と電力需要についての試算 (H23)

		今夏	今冬	来夏
最大電力需要	総需要(万 kW)	17,954	15,811	17,954
供給力	供給力合計(万 kW)	17,471	15,698	16,297
供給予備率	需給(供給-需要)(万 kW)	▲ 483	▲ 113	▲ 1,657
	予備率(需給/供給力)(%)	▲ 2.76	▲ 0.72	▲ 10.17
供給力内訳(%)	原子力	6.73	2.61	0
	火力	74.01	80.81	81.00
	水力	7.37	6.52	7.96
	揚水など	11.89	10.06	11.04

注：「電力各社の当面の電力需給と電源別供給力」(pp.16) よりまとめ・試算
出所：通産省『当面のエネルギー需給安定策』

表 3 は日本全国電力会社による電力供給の安定性を示す電力供給予備率と発電に占める火力発電の割合を示している。表 2 と同じように、東日本 3 社(平均)と中西日本 6 社(平均)のいずれも今年の冬から来年の夏までの供給予備準備率がマイナスとなり、火力発電の割合が上昇する傾向にある。

表 3 各社電力供給と電力需要についての試算 (H23)

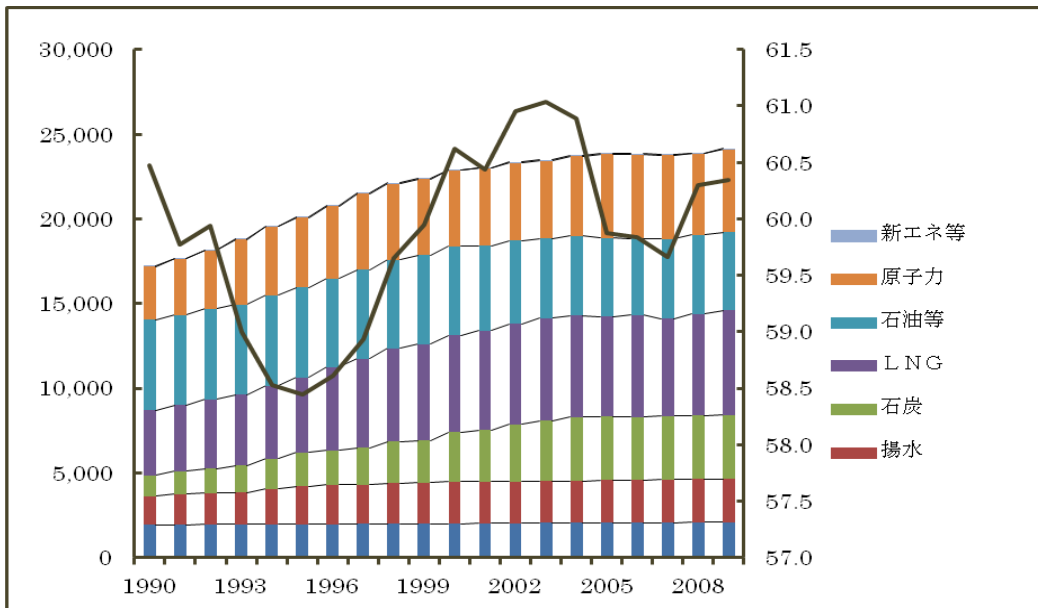
	電力の供給予備率(%)			火力発電の割合(%)			全国の割合(%)
	今夏	今冬	来夏	今夏	今冬	来夏	
東日本 3 社	▲ 7.30	▲ 1.10	▲ 6.40	76.79	82.09	84.56	43.89
北海道電力	8.50	13.60	▲ 6.40	69.03	69.00	77.85	2.91
東北電力	▲ 6.60	▲ 7.30	0.30	69.25	82.36	82.49	9.11
東京電力	▲ 8.80	▲ 1.10	▲ 13.40	79.47	83.73	85.79	31.86
中西日本 6 社	1.00	▲ 0.40	▲ 8.30	71.98	79.75	78.21	56.11
中部電力	3.40	6.10	1.50	80.08	82.86	78.21	13.37
北陸電力	2.00	2.40	▲ 1.50	74.49	80.40	77.00	2.67
関西電力	▲ 3.90	▲ 8.40	▲ 19.30	62.12	72.79	73.19	11.38
中国電力	5.10	8.40	2.70	83.77	82.82	82.90	6.28
四国電力	4.00	▲ 3.30	▲ 11.30	75.04	90.26	91.50	2.97
九州電力	2.10	▲ 2.40	▲ 12.30	65.73	79.81	76.80	7.23

注：「電力各社の当面の電力需給と電源別供給力」より試算。
出所：通産省『当面のエネルギー需給安定策』

第2節 わが国のエネルギー状況

以上のように、東日本大震災と福島原発事故より、今後の電力供給の中で、火力発電の割合は上昇していくことが予想される。ところで、火力発電を持続させていくには、エネルギー資源の問題を考えなければならない。図 1 は 1990-2009 年における日本発電設備容量を示している。1990-2009 年における日本の原子力発電、火力発電、水力などの発電、新エネルギー発電の割合はそれぞれ 20.0%、59.9%、19.85%と 0.21%である。しかし、表 2 と表 3 で示されているように、東日本大震災と福島の原子力事故により、今後の火力発電の割合が更に増えていくと予想される。それを実行させてくれるエネルギー資源はどのように確保していくことが今後の大きな課題となる。

図 1 発電設備容量の推移 (1990~2009)



注：火力発電の割合は『エネルギー白書 2010』【第 214-1-5】より試算。

出所：通産省『エネルギー白書 2010』

図 2 は経済産業省が公表したデータにより作成した世界主要国のエネルギーの構成である。日本のエネルギー構成の中で、原子力及び石油に依存している割合は 57%であり、世界の中で最も高い水準である (図 2)。原子力を除く日本エネルギーの自給率は 4%しかない。(図 3)

図2 世界主要国のエネルギー構成

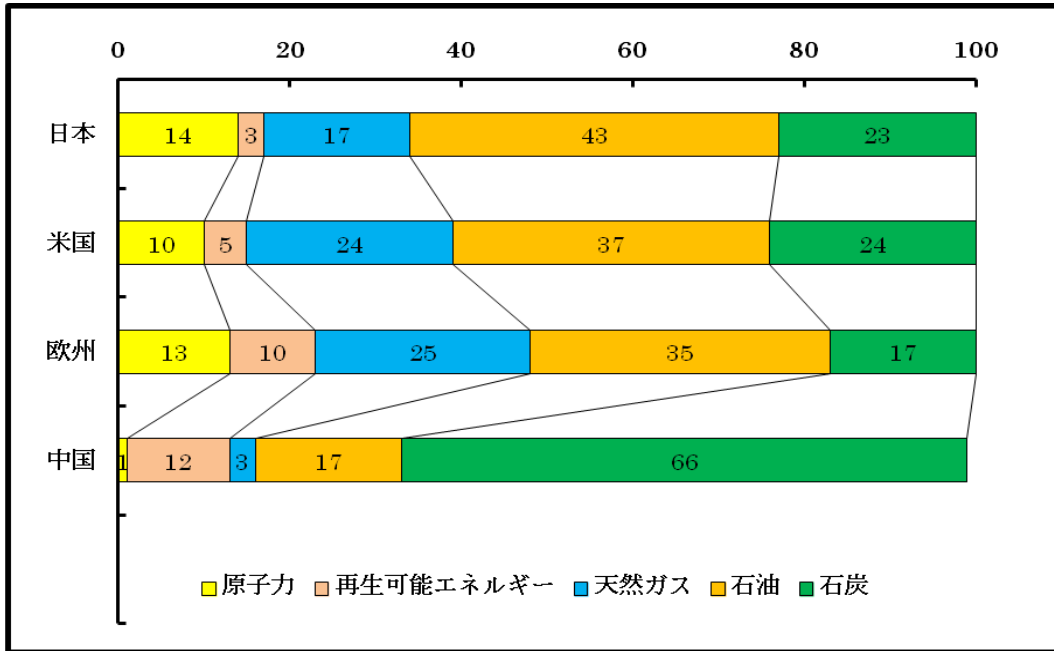
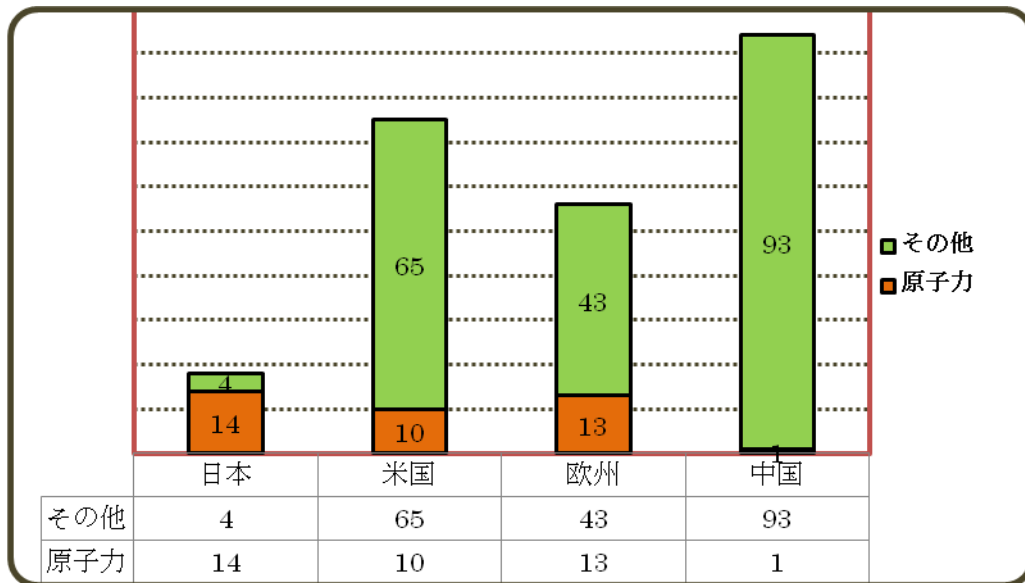


図3 世界主要国のエネルギー構成



出典：エネルギー白書 2010

第3節 原子力発電

原子力発電は2008年度の日本の発電割合で火力発電に次ぐ大きな割合を占めている。日本が原子力発電開始に踏み出したのは、1952年サンフランシスコ講和条約により原子力研究が解禁

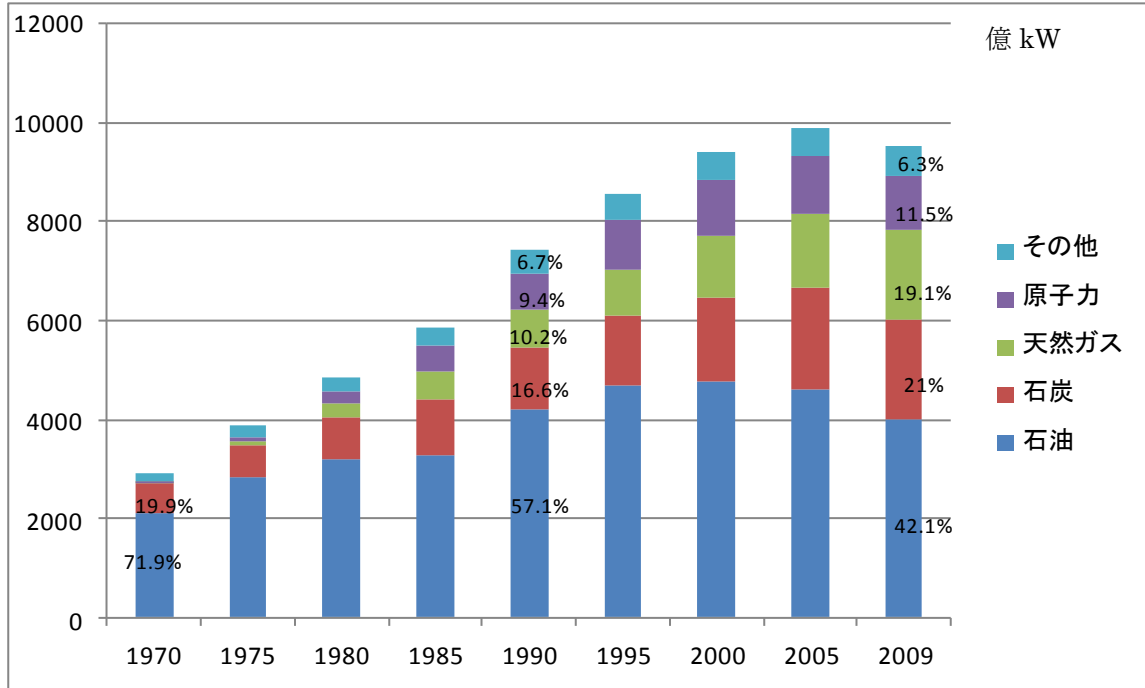
されたことによる。次いで1955年に原子力基本法の成立で原子力利用の大綱が定められると、その翌年には原子力委員会が設置された。上記の通り、日本の原子力発電実施に向けての動きは迅速に進められたのである。原子力発電は環境汚染が少ないことや、発電コストが安いなどのメリットを持つため推進の流れが起き、国内の原子力発電所はその数を増加させていったが、1999年に日本の原子力研究の中心地である茨城県東海村で臨界事故が発生した(東海村JCO臨界事故)。この事故により作業員2名が死亡1名が重傷の他667名の被爆者を出した。日本国内で初めて原子力発電所事故被曝による死亡者を出したこの事故により定期検査や保安規定を遵守しているかを国が確認を行うなど、安全面の強化が図られた。その後も原子力発電推進の動きは止まることなく続き、2009年時点の世界の原子力発電数で日本は、アメリカの104基、フランスの59基に次ぐ54基となっており、世界第3位の原子力大国となっている。しかし、2011年3月に起こった東日本大震災により福島第一原子力発電所事故が発生し、放射能が大量に漏れ出すという最悪の事態が発生した。同レベルの原子力事故は1986年に起こったチェルノブイリ原子力発電所事故以来2例目である。当初から問題視されていた安全面の課題が浮き彫りになり、原子力発電撤廃が世論となっているのが現状である。原子力発電の問題点についての詳しい内容は第2章問題意識で述べることとする。

第4節 火力発電

石炭、石油、天然ガスなどの燃料のもつ熱エネルギーを機械的エネルギーに変え、さらに電気エネルギーに変換するのが火力発電である。火力発電の基本的なしくみは燃料を燃やしてお湯を沸かし、その蒸気力で蒸気タービンを回転させて電力を発生させるというものである。わが国における最初の火力発電所は、明治20年(1887年)に日本橋茅場町に設置された25キロワットの直流式火力発電所である。わが国では地理的にも気象的にも水力発電が比較的容易であったため、年とともに数多くの水力地点が開発された。一方、火力発電も渇水期に減少する水力発電の出力の補給用として必要であり、いわゆる「水主火従」の形で建設が進められてきた。わが国の火力発電の著しい発展は、当時のアメリカを中心とする最新技術の導入によるところが大きい。1970年代に入ると、技術の国産化に合わせて自動化・省力化などが進められ、当時燃料コストが低かった石油火力発電所が積極的に建設された。高度経済成長に伴う電力需要の急増と経済的な水力資源の減少、また火力発電が大容量、高効率であったことや火力発電設備の信頼性と経済性の向上などによって、1960年ごろから電源開発の主体は火力となり、図2を見てもわかるように、わが国では、1963年に初めて火力発電の発電電力量が水力発電の発電電力量を上回り「火主水従」の電源形態へと移行した。火力発電は燃料の量を変えることで発電量を調整することができるというメリットがあるため、季節や時間帯によって変動する電力消費に対応して発電するという重要な役割を担っている。火力発電で使用されている燃料は主に図4のようになっているが、これらの燃料は二酸化炭素を多く出してしまうというデメリットも持ちあわしている。総務省統計局によると2009年時点のわが国の火力発電所数は2791カ所となっており、ピーク時である2005年の3347カ所よりも減少しているが総発電設備に占める火力発電の比率が年々増加している。しかし、第一次石油危機をきっかけに、原子力発電、天然ガスによる火力発電等の石油にとって代わる発電方法の開発が積極的に進められ、多様化が図られてきた。この結果、発電電力量で見ると、1973年には71.4%であった石油火力発電の割合は、2004年度には、わずか8.2%まで低下している。わが国はエネルギー消費量が世界第4位となっており、発電で見ると、火力発電(全体の約67%)を中心に原子力(24%)、水力、自然エネルギーを使った発電でエネルギー消費量を賄っている状態となっており、また、火力発電の内訳は、石炭(27%)、石油(13%)、天然ガス(27%)となっている。このように電源構成は各エネルギーともにバラ

ンスのとれたものに見える。しかし、わが国のエネルギー資源は非常に乏しく、火力発電で使用される石炭、石油、天然ガスいずれも他国からの輸入に頼っているのが現状である。

図 4 発電電力量の推移



出典：資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/index.htm>

次に、主要国の電源別発電電力量の構成比（図 5 参照）を見てみると、フランスは、日本と同様に、石油などの化石燃料に乏しく、原子力を中心に発電が行われている。発電割合を見ると、原子力（77%）を中心にエネルギー消費が賄われており、他の先進国に比べると原子力の割合が非常に高くなっている。このようにフランスで原子力発電の割合が高くなったのは、オイルショックにより自国の石油輸入依存度を低減すべく、国を挙げて強力に原子力発電の導入を推進したためである。

次にドイツは、火力発電が約 60%を占めており、続いて原子力(24%)、自然エネルギー(12%)、水力(3%)となっている。火力発電の中でもドイツは、豊富な石炭資源を有しており、内訳を見ても、石炭(50%)、天然ガス(10%)、石油(1%)と石炭が発電電力量の半分を占めている。また、風力に恵まれた地理的条件にあり、総発電量の約 2%を占めるにすぎないが風力による発電電力量は世界で 1 位となっている。

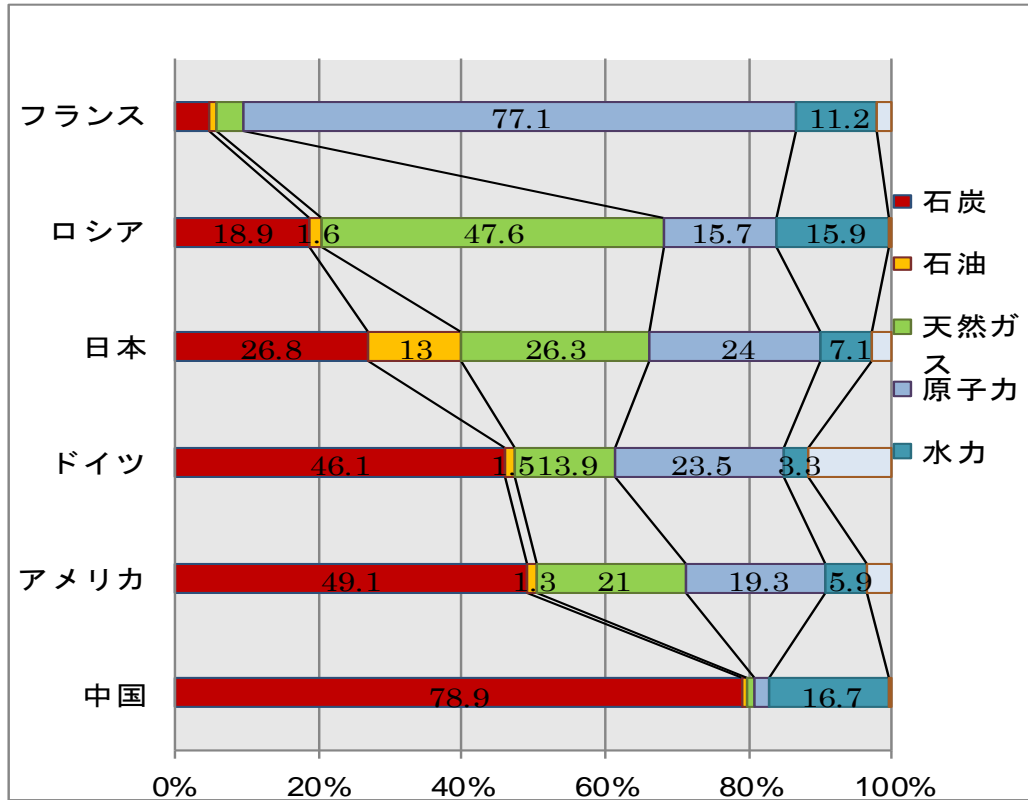
次に中国は、ドイツ同様に豊富な石炭資源を有しており、その埋蔵量は、世界で一番多い。火力発電が全体の約 80%を占めている中、石炭による発電がほとんどを占めている。また、豊富な資源を有することで、エネルギー自給率は約 90%と非常に高いが石炭資源による環境汚染が深刻化している。

次にアメリカは、世界一のエネルギー消費大国で、広大な国土には、豊富な石炭、石油、天然ガスなどのエネルギー資源を有している。アメリカの発電割合は、火力発電が約 70%を占めており、その割合は、石炭(50%)、石油(2%)、天然ガス(20%)となっており、石炭が多くの割合を占めている。火力発電に続いて、原子力(20%)、水力(8%)、その他の自然エネルギーとなっている。またアメリカは、エネルギー資源を豊富に有していることから、エネルギー自給

率も高く、石炭の自給率は約 100%、天然ガスの自給率は約 80%となっている。唯一、石油の自給率が約 30%となっており、年々低下しており、石油の輸入依存度が高くなってきていることが問題である。

次にロシアを見ると、火力発電が約 70%を占めており、その割合は、天然ガスが約 50%と一番高く、石炭 (20%)、石油 (2%) と続いている。火力発電の次には、原子力が約 16%、水力が約 16%と続いている。また、ロシアでは、1986 年にチェルノブイリ原子力発電所 4 号炉で原子力事故が起き、現在も原発から半径 30km 以内の地域での居住が禁止されている。

図 5 主要国の電源別発電電気量の構成比



出典：「電気事業連合会」 <http://www.fepec.or.jp/index.html>

第5節 エネルギー事情

日本は、1960 年代までは、石油を除いて高いエネルギー自給率を誇っており、当時のエネルギー利用の主役であった石炭では、需要の大部分を賄うだけの国内生産があった。しかし、高度経済成長に伴うエネルギー需要の増加と、国内の石炭生産量減少によって、自給率は急速に低下した。また、天然ガスは、生産量、消費量ともに極めて小さかったために、1960 年代までは高い自給率を維持していたが、石炭と同じように、その後消費量が次第に増える一方で、生

産量は過去 40 年の間大きく増加せず、自給率が急速に下がった。石油は、第二次世界大戦において、石油資源の確保が重要な戦略の一つとなっていたことから、供給の多くを輸入に依存していた。また、高度経済成長でのエネルギー需要拡大により、石油の輸入依存度はさらに高まった。自国で生産され供給されるエネルギー自給率をみると、日本のエネルギー自給率は全体で約 15%程度しかなく、火力発電で使用されるエネルギー資源の石炭、石油の自給率はほぼ 0%であり、天然ガスの自給率も約 4%と非常に低く、他国からの輸入に依存しているのが現状である。輸入量を見ると、用途の広い石油は 2009 年時点で中東地域を中心に年間約 2 億 1186 万キロリットル輸入されこの輸入量は世界第 2 位である。天然ガスは 2009 年時点で東南アジア、オーストラリア、中東等から約 6,635 万トン、石炭は 2009 年時点でオーストラリア等から約 1 億 6190 万トン輸入しており、日本国内で産出される「国産エネルギー」は、水力、地熱、風力や若干の天然ガス等のみで、我が国が必要とするエネルギーの約 4%にすぎない。こうしたエネルギー資源に乏しい問題に加えて、原油価格がいつ高騰するかわからない今の世界情勢の問題もある。1973 年、10 月 6 日に第四次中東戦争が起きたことにより、第一次オイルショックを招いた。石油輸出機構 (OPEC) に加盟しているペルシア湾産油の 6 カ国は、10 月 16 日に原油公示価格を 21%引き上げ、原油生産の削減、イスラエル支援国への禁輸を取り決められた。翌年、1974 年 1 月には、原油価格を 2 倍にすると決められ、原油価格の年平均が前年の 1 キロリットル当たり 8343 円から 1 キロリットル当たり 21203 円に上昇した (図 6 参照)。日本では、地価急騰でインフレが発生し、便乗値上げが相次ぎ、インフレが更に加速、公定歩合の引き上げや、企業の設備投資を抑制したことにより、高度成長経済の終わりを迎える要因となった。また、1979 年には、イラン革命により、イランでの石油生産が中断された。これにより、イランから石油を輸入していた日本も影響を受け、1978 年末に OPEC が原油価格を 4 段階に分け、計 14.5%値上げすることを決定し、1979 年には、前年の 1 キロリットル当たり 17627 円から 1 キロリットル当たり 33522 円に上昇し原油価格が第一次オイルショック並みに上昇した。また 2004 年からは、中国やアジア途上国の石油拡大、アメリカのハリケーンカトリナによるメキシコ湾油田・製油所被害により、原油価格は徐々に上昇していき、2007 年夏ごろから米国サブプライムローン問題が深刻化し 2008 年に原油価格がピークに達し 1 キロリットル当たり 58541 円にまで上昇した。その後同年 9 月に米国の証券会社リーマンブラザーズが経営破綻し、米国発の不動産バブルの崩壊が急速に世界的な金融不安に陥り、世界同時不況に発展した。そして、世界経済の減速により、原油価格高騰でブレーキのかかりつつあった石油需要は急速に鈍化し金融収縮によって石油市場に流出していた巨額の投機資金が一斉に引き上げられたと指摘されたこともあり、原油価格は急速に下落し 2009 年は 1 キロリットル当たり 40374 円を記録している。

わが国では、二度のオイルショックの経験から原油輸入先の多角化を図って、中国やインドネシアからの原油輸入を増やし、1968 年には、約 90%であった中東地域からの輸入割合を 1987 年には、約 65%まで低下させた。しかし、近年では、わが国の中東依存度は再び上昇し、2008 年には、約 88%と非常に高くなった。また、石油輸入を中東に依存することは、大きなリスクを伴う。現在、リビアを始めとする中東、北アフリカ情勢の不安定さは長引くと考えられており、原油価格は、2011 年 2 月以降、リビア情勢緊迫化による供給懸念の高まりから急騰し、更にバーレーン、ヨルダン、イエメン、シリアといった他の中東産油国での反政府デモの激化などの供給懸念材料は事欠かず、原油価格は更に上昇した。また、リビア情勢は長期化すると考えられており、仮に反政府勢力が新政権を樹立したとしても、情勢安定化には時間を要すると思われる。リビアの原油生産が情勢混乱前の水準に回復するには、数年かかると思われ、その影響を受ける日本の原油価格も高値がつくと考えられる。中東、北アフリカ諸国の情勢不安に伴う、供給懸念は当面払拭されず、引き続き原油価格の押し上げ要因となるとみられる。また、サウジアラビアやイランといった産油量の大きい国においても、デモが発生したものの、大きな混乱には至っていない。しかし、サウジアラビアでもいつ反政府デモが波及するかわからない状況で、仮にサウジアラビアやイランでも情勢が緊迫化し、原油生産の減少や原油輸出が滞ることとなれば日本へ

の影響は非常に大きなものとなる。このような、中東情勢の問題をみても、日本は 88%を中東から輸入しているため、石油輸入における中東依存度の高さは大きなリスクがある。そこで、石油を自国による生産で賄うことができれば、このような他国の政治情勢に左右されることのない安定したエネルギーを供給することができる。

図 6 原油価格の推移



出典：資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/index.htm>

第2章 問題意識

第1節 エネルギー資源

震災前の日本全体の発電電力量の内訳は、火力発電約 70%、原子力発電約 20%、その他(水力など)約 10%である。原発に頼らない電力供給を実現させるため、それに取って代わる発電方法が必要であり、震災後、太陽光発電や風力発電に注目が集まっているが、発電コストや発電できる電力量の少なさ、設置する土地の確保など様々な問題が立ちはだかっている。上記の問題の詳しい内容は第三項自然エネルギーで述べる。そこで我々、岑智偉研究会では火力発電の発電量を増やすことによって、原発に頼らない電力供給の実現を考えている。火力発電で使用されている資源の内訳は、石炭約 40%、天然ガス約 47%、石油約 12%、その他約 1%であり、その大部分の資源を外国からの輸入に頼っているのが現状である。石炭は埋蔵量が多く比較的安価で安定しているが、二酸化炭素排出量が多く、地球温暖化の面から見れば問題である。天然ガスは、石炭や石油に比べ最も二酸化炭素排出量が少ないが、埋蔵量があと数十年分で比較的高価である。石油は、天然ガスと同様埋蔵量があと数十年分で尽きることが分かっており、輸入先が中東の情勢が不安定な場所を中心としているので価格の変動が激しく、日本含め世界経済に影響を及ぼすものである(表 1 参照)。

表 1 「石炭・石油・天然ガスのメリット・デメリット」

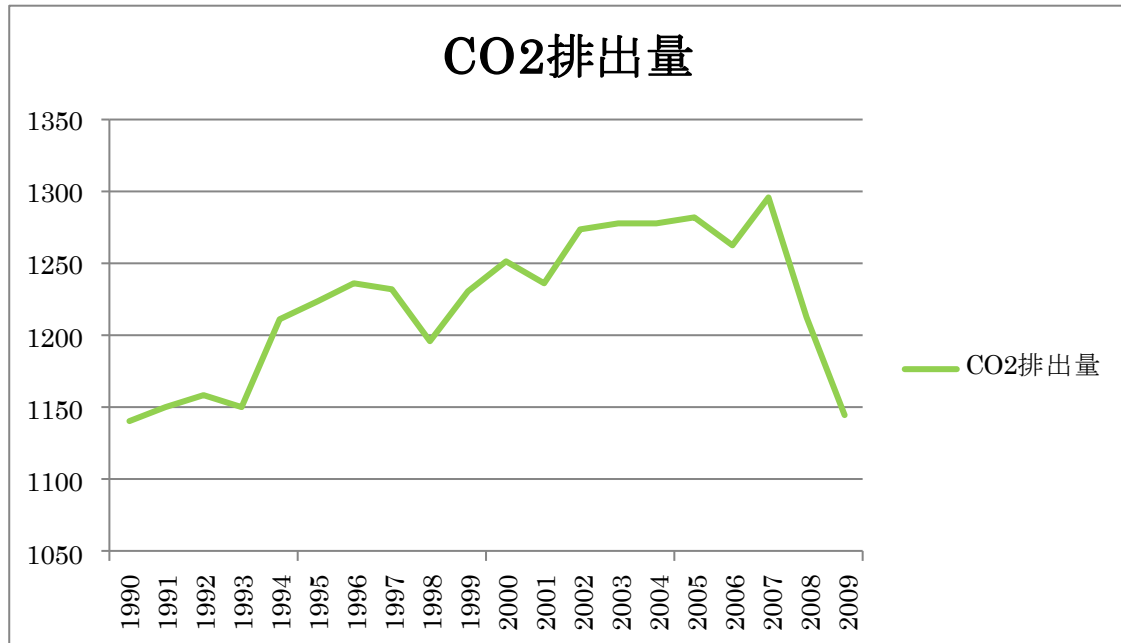
比較	メリット	デメリット
石炭	<ul style="list-style-type: none"> ・埋蔵量が豊富 ・価格が最も安い 	<ul style="list-style-type: none"> ・石油、天然ガスより CO2 排出量が多い ・CO2 排出量は 1kW につき 0.943 kg
石油	<ul style="list-style-type: none"> ・原油から扱いやすい燃料へと精製することが容易 ・化学素材を生み出せる 	<ul style="list-style-type: none"> ・埋蔵量に限界 ・CO2 排出量は 1kW につき 0.738 kg
天然ガス	<ul style="list-style-type: none"> ・埋蔵量が増加傾向 ・CO2 排出量は 1kW につき 0.474 kg 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設や冷却の維持などにコストがかかる

第2節 環境問題

近年の日本経済のグローバル化につれて大きな問題となっている内の1つが環境問題である。その中でも特に取り上げるべき事項は二酸化炭素排出量の増加といえ、高度経済成長期以降日本の二酸化炭素排出量は増加の一途を辿ってきた。二酸化炭素が増えると地球温暖化が促進されることになるのでこの問題は世界的に重要視されている。そういった流れの中で各国が地球温暖化の解決に向けて立ち上がり、1997年12月京都市の国立京都国際会館で開かれた第3回気候変動枠組条約締約国会議で気候変動枠組条約に関する議定書、正式名称、気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書が採択され、日本は2008年から2012年までの期間中に全体の温室効果ガス6種の合計排出量を1990年に比べて6%削減することを目的と定めた。

日本の二酸化炭素排出量を年代別に見てみると、特に、1994年からの排出量増加が著しいものとなっている(図1参照)。

図1 「日本の二酸化炭素排出量の推移」

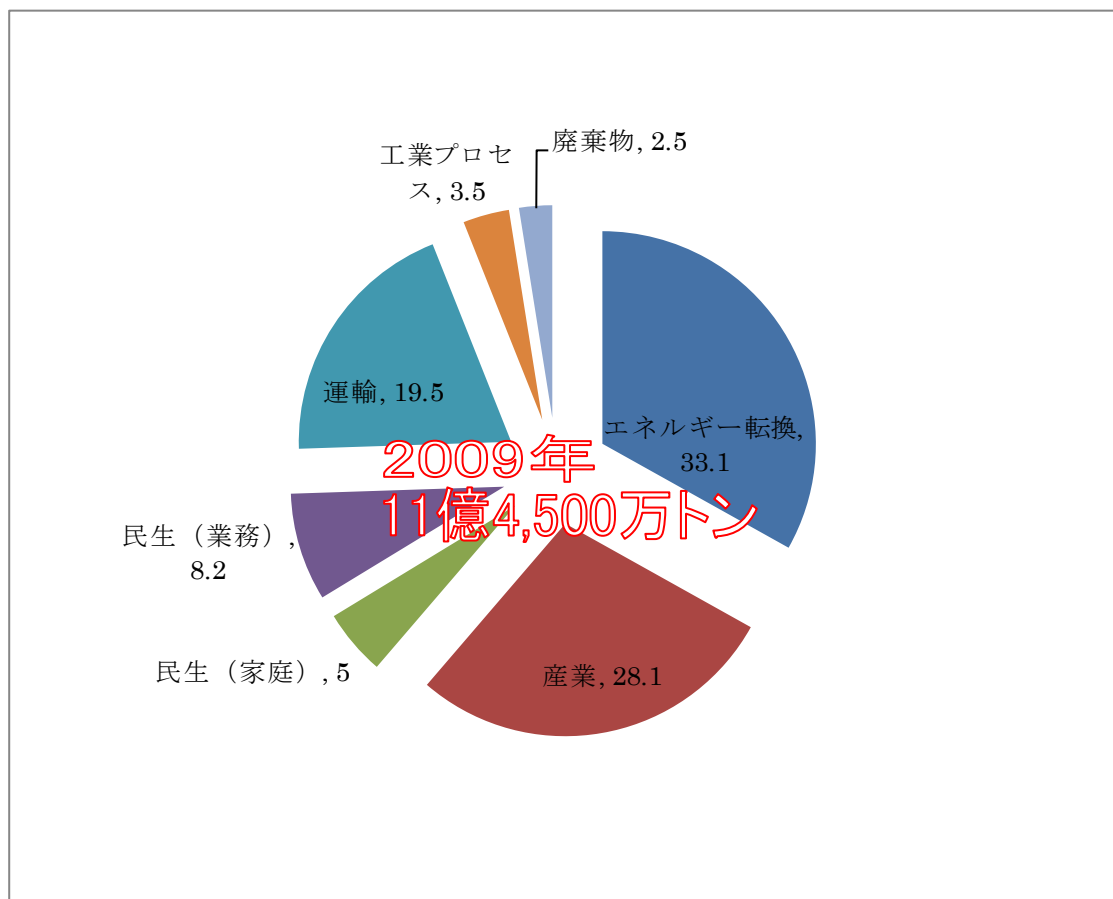


出典：日刊温暖化新聞 http://daily-ondanka.com/basic/data_07.html

この年は、バブル崩壊による不況の真只中で、二酸化炭素排出量が下がるほうが自然と考えられるが、「物流改革」があり、当時の運輸省主導でサプライチェーンの本格導入がされた年でもあるので運輸部門と産業部門の二酸化炭素排出量が増加した。2008年以降は、総量も一人当たりの排出量も減少しているが、これは金融危機や景気後退の影響を受けて、エネルギー需要が減少していることなどが原因とみられている。上記で述べたように、2008年以降日本の二酸化炭素排出量は減少傾向にあるが水準は依然として高く、京都議定書の二酸化炭素削減目標を達成するのは困難といえる。

日本の二酸化炭素の直接排出量を部門別に見てみると、エネルギー転換部門の割合が高く、発電によって多量の二酸化炭素が排出されていることが分かる。私たちの日常生活の中で排出される二酸化炭素は全体の5%にすぎない(図2参照)。そこで我々岑研究会は最も割合の高いエネルギー転換部門の二酸化炭素排出量を削減したいと考えた。

図2 「各部門の二酸化炭素直接排出量」



出典：日刊温暖化新聞 http://daily-ondanka.com/basic/data_07.html

第3節 自然エネルギー

大量の二酸化炭素排出問題を解決するために、我が国では近頃二酸化炭素の排出が少ない自然エネルギーを活用した発電方法に注目が集まっている。そこで、主に注目が集まっている自然エネルギーを使った発電方法を紹介したいと思う。

まず風力発電は、比較的発電コストが低く事業化も容易で設置工事に要する期間が短い、離島などでは独立電源として使用可能であり、風が吹くところであれば一日中発電できる利点がある。しかし、風力原動機を設置した場所での風況が発電の採算性に大きく影響することや風速の変動に伴って出力の電圧や力率が需要と関係なく変動するなど出力電力の不安

定・不確実性があり、周辺住民への騒音・低周波公害、鳥がブレードに巻き込まれ死傷するバードストライクの問題や設置によって景観が損なわれ観光地では観光客が減少する恐れもあり立地する場所の選定が難しく、地震や落雷で運転停止や事故につながることもある。

次に水力発電は、山が多く起伏の激しい日本にとって向いている発電方法といえ、発電時に酸性雨や光化学スモッグなどの大気汚染の原因となる酸化物を排出せず、発電コストも他の自然エネルギーを使った発電よりも安く、地下施設で発電することもできることもあり豊かな自然の景観を失わずに済むことも可能であるが、ほとんどはダムを建設しなければならず他の発電方法よりも莫大な費用がかかり、自然環境を破壊することになり、また降水量により発電量が左右される。

地熱発電は、水力発電同様まだまだ発電量が他と比べ少ないが火山国の日本では有効な発電方法であり安定的な供給が可能であり、火山の多い東北地方や九州地方の一部に集中している。地熱発電がなかなか普及しないのは、発電コストの問題だけでなく政府や地方行政からの支援が乏しいことや候補地の多くが温泉地であり温泉の枯渇や発電所建設によって景観が損なわれる恐れがあり地元の反対が根強いことや国立公園内の建設候補地では、1972年に通商産業省と環境省の間で交わされた「既設の発電所を除き、新たに国立公園内に発電所を建設しない」ことを約する覚書により、発電所の新設が認められていないという理由がある。

太陽光発電は、今現在最も注目されている自然エネルギーを使った発電方法で、世界的にも普及が進んでおり低炭素社会の成長産業として期待されており、普及のため国と地方自治体による補助金制度も存在する。発電時に老廃物や騒音・振動が発生せず、外壁や屋根に設置可能で土地を占有することがなく非常用の電源としても使うことができ、蓄えた電力を電力会社に売ることもできる。だが、太陽の光を必要とするため昼間であっても天気に非常に左右され、夜間は発電することができないなど風力発電同様出力電力の不安定・不確実性があり、また設置時の初期費用が高額で発電コストも比較的割高であるが発電量は少なく、ソーラーパネルが汚れたり、影で隠れるとその分発電量も減ってしまい、たとえ設置規模を大きくしてもスケールメリットが効かないため発電効率が向上しないなど問題がある。

第4節 原子力発電の課題

先ほど述べた通り、震災以前は原子力発電が推進され発電所の数も増加していったのだが、3月の震災以降原子力発電の安全性が疑問視されている。ヨウ素やセシウムなどの放射能汚染により周辺住民は避難を余儀なくされいつ帰宅できるのか依然わからず、農家などの生産者も商品を出荷できない状態が続いている。また福島原子力発電所が被災したことによって東日本の電力の需給ギャップが生まれた。計画停電が実施され信号や鉄道、病院などの電力や被災地の電力さえ止まってしまうことに加え、生産活動の見通しが立てられないとして産業経済界からも異論の声が上がっている。このような問題がある中で国民の多くは脱原発を望み、政府も脱原発の方向性を打ち出したことにより今後定期点検などによる再稼働は非常に難しく、2012年春には日本全国すべての原子力発電所が停止する見込みである。また原子力発電で使用する燃料のウランも先進的な核燃料サイクルの技術が開発されなければ後1世紀程で不足するとされ、長期的に見ればますますウラン鉱山の発見が困難になり同時にウランの価格が高騰するとされている。世界の各地でも脱原発の動きが盛んになっており、この震災を機に原子力に頼らない社会を構築していくべきである。

自然エネルギーの活用により電力供給を行うなどと囁かれているが問題も多いため、昔から日本にある出光興産、エクソンモービル、JX日鉱日石エネルギー・コスモ石油、昭和シェル石油などの探鉱から元売りまで手がける有力な石油会社の協力のもと、我々岑研究会が提案する藻類

を使った石油生産においてその技術や手腕で日本のエネルギー問題を解決できるのではないかと考えている。

第5節 展望

第3節で述べたように、我が国の二酸化炭素排出問題を解決する自然エネルギーを使った発電方法だが、それぞれメリットもあればデメリットもあり3月11日に東北地方を襲った地震により電力需要が増し、大規模な供給源の確保が急務な現在、まだまだ発電所建設のための費用、発電装置設置時にかかるコストを考えると現在の日本の財政事情では東北の復興財源確保に精一杯で捻出は厳しいものがあり、仮に設置したとして既存の発電所に比べて発電量は少ないといえ莫大な電気を消費する経済大国の日本では普及には時間がかかるといえる。そこでわれわれ岩研究会では自然エネルギーを使った発電よりも既存の火力発電所を使い日本全土の発電を賄い、同時に二酸化炭素の削減を図りたい考えである。現在の火力発電で使用されている資源は第1節で述べたように石炭・石油・天然ガスであるがこれを筑波大学教授 渡辺信が発見した産油性の藻を活用して火力発電に使用し、藻の培養に関しては耕作放棄地の利用を考えている。東日本大震災による津波で使用できなくなった農地が約2万ヘクタールに及ぶので、その農地を使うことも可能である。しかし、政府はこれに対して3年間で塩を抜く計画をしており、一次補正で700億円もの金額をつけたのが目に付く。本当に塩は抜けきれるのか、また抜けきるには相当な費用と時間がかかるのではと疑問が残るものであり、費用と期間を有効利用できるのではないかと考える。そこで我々は、政府にこの研究にかかるコストを負担してもらいたいと考えている。予算の面では、現時点までに難点が残るものとなっており、藻類産業創成コンソーシアムと呼ばれる50社以上の企業が藻類から油生産をし、実用化を目指し発足した組織があるが、以前出光が1980-90年代、地球環境産業技術研究機構(旧通産省参加)が1990年から10年間で約122億円を投資していたが、撤退しているため、民間企業の投資は難しいものとなっている。海外ではエクソンモービルが2009年7月に他社と共同で微細藻類由来のバイオ燃料生産に6億ドル(550億)を投資すると発表した。世界全体では75社以上が藻類の研究を進めている。産油国化が実現可能な期間として個別技術開発に3~5年、実規模スケールの実証に3~5年、合わせると6~10年がかかると予想されている。バイオ燃料開発・藻類からの炭化水素抽出は欧米諸国中心に研究が進められており、アメリカでは実際にバイオ燃料を一部使用してジェット機を動かしたこともある。アメリカでは開発費用に1000億以上も投資されており、日本でもこれぐらいの開発費用は最低限必要とされている。しかし成功すればおよそ250兆円もの見返りが期待できる市場である。この研究で、新たな石油を生み出し世界をリードする日本にするためには政府の投資は必要不可欠である。

これらのことを踏まえて日本の投資体制が整うと、我々が考えている研究でもある火力発電における石炭燃料から産油性の藻であるオーランチオキトリウムによって増産された石油燃料への代替も可能になり、二酸化炭素排出量削減にも貢献ができる内容となる。政府が東日本大震災での津波被害にあった農地から塩を抜く計画に出した一次補正の金額700億円にプラス300億円を出すだけで、被害にあった農地の有効活用もでき、エネルギーも生産可能となる。現代の日本・世界を見ても、長距離輸送の船舶や飛行機等の普及により液体燃料の必要性が高くなっており、エネルギー資源が減っている状況とは矛盾している。また石油の需要が供給を上回り価格が上昇している現在、石油(価格)が経済を不安定なものとし、経済を脅かす不安要素となっていると言える。石油価格が不安定な今だからこそ、石油価格の安定が必要であり、安定して作る時代となっている。産油性の藻ポトリオッコカス・ブラ

ウニー（以下ボトリオコッカスという）とオーランチオキトリウムから石油（炭化水素）の大量生産をし、石油の安定供給ができると、石油・石油化学製品価格が安定し市場も活性化、経済全体も活性化することが見込めるうえ、経済危機からの脱却ができる。ボトリオコッカスとオーランチオキトリウムは経済危機脱却の立役者となれるエネルギー源であり、藻類から産油国にでき石油輸出国とできるとしている。我々は国家の安全のため、また成長のためにも政府の 10 年後 20 年後を見据えた長期的で積極的な投資体制を求める。

第3章 分析

第1節 藻類バイオマス

現在、研究が進められている二つの藻類に我々は着目した。一つ目はボトリオコッカス、二つ目はオーランチオキトリウムである。

一つ目のボトリオコッカスとは植物と同様、太陽光を利用し二酸化炭素を固定し、炭水化物を合成する光合成を行い炭化水素を生産する。この炭化水素が石油系オイルである。多くの藻類が生産するオイルはトリグリセリド（いわゆる植物油）で、細胞内に蓄積するが、ボトリオコッカスが生産するオイルは炭化水素であり、さらに細胞で合成された炭化水素は細胞外に分泌される。その分泌されたオイル含量は約 60%と非常に高い。しかし、ボトリオコッカスは増殖が遅く、現段階の試算で1リットルあたり 800 円と採算が合わないという点により本格的な実験に投資するのはリスクが大きすぎるという問題点がある。

二つ目のオーランチオキトリウムは 2010 年 12 月に筑波大学で開催された「第一回アジア・オセアニア藻類イノベーションサミット (The 1st Asia-Oceania Algae Innovation Summit)」にて渡邊らの研究グループにより発表されたのが、オイル生産効率の高い藻類である。このオーランチオキトリウムは光合成を行わず、植物の作った有機物を吸収して炭化水素を生産する。さらに増殖のスピードが速く、温度が 30 度になると約 2 時間で倍の量になる。また、20-25 度になると約 4 時間で倍になる。炭化水素の含量は総重量の約 20%と含量は少ないが、ボトリオコッカスと比べると増殖のスピードが 36 倍である。そのため生産効率では 10 倍以上になる。オーランチオキトリウムは光合成を行わないので光が届かない地下施設でも生産できる。4 時間ごとに半分を取り、そこへ培養液を入れることを連続して行なうというやり方で、深さ 1.5 メートルのプールで年間 1 ヘクタール当たり 1 万トン以上の炭化水素が採れる計算である。

ここで、以前から注目されているバイオ燃料と藻類を比較していく。バイオ燃料の代表としてトウモロコシやパームなどがあるが、トウモロコシは 1 ヘクタール当たり 172 リットルしか作れない。また、陸上植物の中でいちばん生産効率がいいと言われているパームですら 5950 リットルで約 6 トンしか生産されない。それに比べると藻類は 58-136 トンと、非常に効率的である。さらに、バイオ燃料は本来食糧生産のために使っていた耕地で燃料用の作物を育てるため、食糧価格が高騰すると言った問題が生じていて本末転倒である。

藻類バイオ燃料を実用化するためには、実用化に向けた研究と技術開発が必要であり、米国エネルギー省が行っているような官民一体となった規格や基準作りなどの支援が求められる。そこで我々は独自のモデルを作成し分析する。独自のモデルは第 3 章第 4 節でとりあげる。

第2節 二酸化炭素排出量の削減

ポトリオコッカスやオーランチオキトリウムをはじめとする藻類のバイオマス燃料の開発研究の結果、日本での石油生産が可能になったときに火力発電において二酸化炭素をどの程度減らすことが可能なのか分析していく。そのために用いるデータはデータの制約により2009年を基準として分析を行う。

第1項 二酸化炭素排出量

二酸化炭素を出さないクリーンなエネルギーとして自然発電が注目されているが、自然エネルギーでは現代の莫大なエネルギー需要を補えきれない。現状で述べたとおり、自然エネルギーの一つである太陽光による発電も火力発電による発電量と比較するとコストがかかり問題も多い。そこで現在最も多く利用されている発電方法である火力発電に視点を置き、火力発電において使用されている化石燃料の二酸化炭素排出量の比較をしていく。2009年度の日本の総発電量は約9253億9200万キロワットであり、火力発電の割合は約61.7%にのぼる。つまり、

$$9253 \text{ 億 } 9200 \text{ 万 } \text{kW} \times 0.617 = 5709 \text{ 億 } 6686 \text{ 万 } 4000 \text{ kW}$$

と計算されるので、2009年度の火力発電の発電量である約5709億6686万4000キロワットからそれぞれの発電量と二酸化炭素排出量を計算していく。

石炭、石油、天然ガスの発電量と二酸化炭素排出量は表1のように計算できる。

表1

化石燃料	発電の割合	発電量
石炭	40%	2283 億 8674 万 5600kW
石油	12%	685 億 1602 万 3680kW
天然ガス	47%	2683 億 5442 万 6080kW

出典：エネルギー白書 2009、総務省 統計局

表1より、石炭は火力発電のなかで40%の割合を占めているので、

$$5709 \text{ 億 } 6686 \text{ 万 } 4000 \text{ kW} \times 0.4 = 2283 \text{ 億 } 8674 \text{ 万 } 5600 \text{ kW}$$

と計算される。同等に、石油と天然ガスも計算していく。

現状では石油の占める割合は低く、天然ガスに次いで石炭による発電方法が多いことがわかる。

表2

化石燃料	CO2 排出量/1kW	CO2 排出量
石炭	0.943kg	2153 億 6870 万 1101kg
石油	0.738kg	505 億 6482 万 5476kg
天然ガス	0.474kg	1271 億 9999 万 7962kg

出典：電力中央研究所

しかし、表2のように石炭は1キロワットあたり0.943キログラムの多くの二酸化炭素を排出する。ここで取り上げる石炭、石油、天然ガスのなかで一番多くの二酸化炭素を排出す

るが、石炭は資源埋蔵量が豊富でコストが安く、石油と違い政治情勢が比較的安定している国から輸入しているため急激な価格高騰の心配もないので多く使われている。石炭を火力発電に使用すると、

$$2283 \text{ 億 } 8674 \text{ 万 } 5600\text{kW} \times 0.943\text{kg} = 2153 \text{ 億 } 6870 \text{ 万 } 1101\text{kg}$$

約 2153 億 6870 万 1101 キログラムの二酸化炭素を排出していることが分かる。表 2 より、石炭は天然ガスより発電している割合が低いにもかかわらず、二酸化炭素は天然ガスより多く排出していることがわかる。

これに対して、石油は 1 キロワットあたり 0.738 キログラムの二酸化炭素を排出する。石油は原油から扱いやすい燃料へと精製することが容易で石炭の約 2 倍ものエネルギーを持つが、埋蔵量に限界があり燃料の他にも化学繊維、プラスチックなど「化学素材」を生み出す原料となるため、使い道が多くその効率性から考えても発電の用途として使用することはあまり望ましくないものとなっている。そこで、藻類による石油生産が可能になり国内で使用される石油の量が増えれば火力発電における石油の割合をあげることが出来るのである。

第 2 項 代替後の二酸化炭素排出量

石炭より二酸化炭素排出量の少ない石油との比較の割合を、大胆ではあるがわかりやすくするため、現行の石炭をすべて石油へと代替する。

表 3

化石燃料	発電の割合	発電量
石炭	0%	0kW
石油	52%	2969 億 276 万 9280kW
天然ガス	47%	2683 億 5442 万 6080kW

石炭を全て石油に代替した場合、表 3 のように火力発電の燃料の割合は石油が 52%、天然ガスが 47%、その他が 1%ということになるが、火力発電の発電量は変わらない。石油 52%の発電量は、

$$5709 \text{ 億 } 6686 \text{ 万 } 4000\text{kW} \times 0.52 = 2969 \text{ 億 } 276 \text{ 万 } 9280\text{kW}$$

と計算され、これは石炭の発電量と石油の発電量を足しても同じである。しかし発電量は変わらないが、二酸化炭素は大きく変わる。

表 4

化石燃料	CO2 排出量/1kW	CO2 排出量
石炭	0.943kg	0kg
石油	0.738kg	2191 億 1424 万 3729kg
天然ガス	0.474kg	1271 億 9999 万 7962kg

表 4 より石油 52%のとき、二酸化炭素排出量は、

$$2969 \text{ 億 } 276 \text{ 万 } 9280\text{kW} \times 0.738\text{kg} = 2191 \text{ 億 } 1424 \text{ 万 } 3729\text{kg}$$

となる。表 2 より、石炭と石油の二酸化炭素排出量の合計は、

$$2153 \text{ 億 } 6870 \text{ 万 } 1101\text{kg} + 505 \text{ 億 } 6482 \text{ 万 } 5476\text{kg} = 2659 \text{ 億 } 3352 \text{ 万 } 6577\text{kg}$$

ということがわかるので、石炭から石油へと代替したときに削減される二酸化炭素排出量は、石炭 40%、石油 12%のときの約 2659 億 3352 万 6577kg と石油 52%のときの約 2191 億 1424 万 3729kg の差額である。

$$2659 \text{ 億 } 3352 \text{ 万 } 6577\text{kg} - 2191 \text{ 億 } 1424 \text{ 万 } 3729\text{kg} = 468 \text{ 億 } 1928 \text{ 万 } 2848\text{kg}$$

現状で一番多くの二酸化炭素を排出する石炭から、石油へと代替することにより、約 468 億 1928 万 2848kg の CO₂ が削減される。2009 年度の年間二酸化炭素排出量はエネルギー転換部門では約 3789 億 9500 万キログラムなので石炭から石油へと代替した場合の二酸化炭素排出量の割合は、

$$468 \text{ 億 } 1928 \text{ 万 } 2848\text{kg} \div 3789 \text{ 億 } 9500 \text{ 万 } \text{kg} \times 100 = \text{約 } 12\%$$

となる。火力発電における石炭から石油への代替だけでエネルギー転換部門において約 12%もの二酸化炭素の削減になる。

火力発電において天然ガスが最も二酸化炭素を排出しない化石燃料ではあるが、最も二酸化炭素を排出する石炭を使用しないことで二酸化炭素の削減につながるのはあきらかである。藻類による石油生産と石油の国産化は環境問題へと大きく貢献するのである。藻類の開発援助のためにはまず、藻類を生産するための土地が必要になる。そのために用いる耕作放棄地については、第 3 節で詳しく説明する。

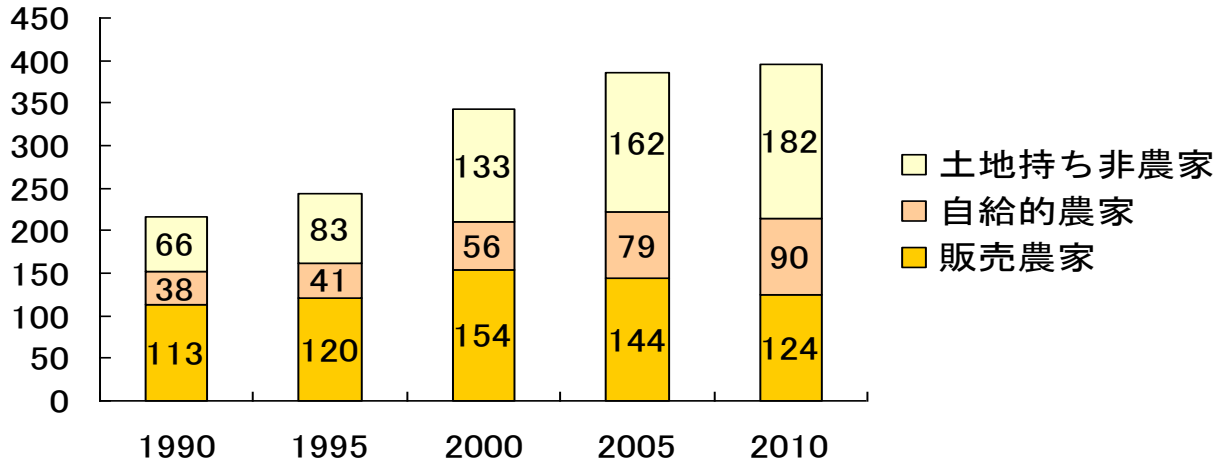
第3節 制度説明

日本産油国計画の実現に向けて、藻類による石油生産を可能にし、国内の石油エネルギーを安定的かつ、低価格で供給出来るようにするために我々が考案した「藻類固定価格買取制度」のモデル分析を行う。先にその際に参考とした 2012 年に施行される固定価格買取制度についての説明と、わが国における、耕作放棄地の利用を検討し、日本産油国計画に向けて独自の支援モデルを展開していく。

第1項 耕作放棄地

耕作放棄地とは農林業センサスにおいて「以前耕地であったもので、過去 1 年以上作物を栽培せず、しかもこの数年の間に再び耕作する考えのない土地」と定義されている統計用の用語である。また耕作放棄地はこの 20 年間で増加傾向があり、39.6 万ヘクタール (2010 年) となっている (図 1 参照)。さらに農地の減少理由として耕作放棄によるものが約 44%、非農業用途への転用によるものが約 55% (2009 年耕地面積統計より) となっている。耕作放棄になる理由としては①高齢化による労働力不足②生産物が低価格＝生産性が低い③農地の受け手がいない④土地条件が悪い、等の四つが挙げられ、耕作放棄地を農地として使用するのは困難だと考えられる。

図1 耕作放棄地



出典：農林水産省 http://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/pdf/genjou_1103r.pdf

現在、耕作放棄地については農林水産省による耕作放棄地再生利用対策として農地を復興するために様々な取り組みが行われているが、現状ではいくら農地を回復させたところで、農業人口の減少が大きく問題となっており、再び農地としての機能を果たすのは非常に困難だと思われる。

そこでこの耕作放棄地を政府からの設備投資とし、藻類生産のための施設を建設する。詳しくはモデル分析で述べる。

第2項 固定価格買取制度

2011年8月26日成立、2012年7月1日施行の「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（以下、固定価格買取制度という）」について述べる。

固定価格買取制度とは、「エネルギー源としての再生可能エネルギー源を利用することが、内外の経済的社会的環境に応じたエネルギーの安定的かつ適切な供給の確保及びエネルギーの供給に係る環境への負荷の低減を図る上で重要となっていることに鑑み、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関し、その価格、期間等について特別の措置を講ずることにより、電気についてエネルギー源としての再生可能エネルギー源の利用を促進し、わが国の国際競争力の強化及び我が国産業の振興、地域の活性化その他国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。（第一条）」と定められ、再生可能エネルギーで発電した電力を電力会社に一定期間、一定の価格で買い取るよう義務づけ、再生可能エネルギーの導入拡大を図るものである。

ここで挙げられる「再生可能エネルギー源」とは以下の5つを指す。

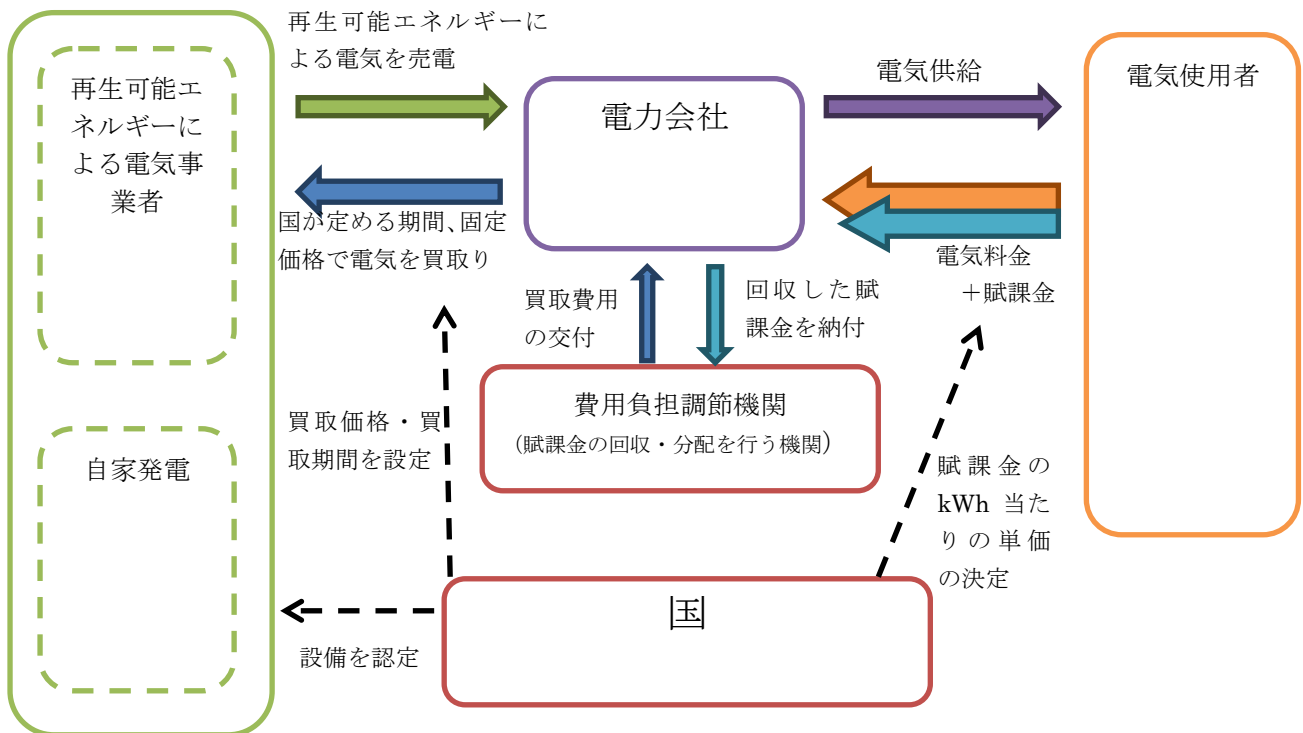
- 1、太陽光
- 2、風力
- 3、水力
- 4、地熱

5、バイオマス（動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの（原油、石油ガス、可燃性天然ガス及び石炭並びにこれらから製造される製品を除く。）をいう。

電力の買取対象として業務用では、太陽光、風力、中小水力（3 万キロワット未満）、地熱、バイオマス（紙パルプ等の既存の用途に影響がないもの）の 5 種類、認定設備を用いて新たに発電を始める企業は発電量全量買取とし、家庭用では住宅用太陽光発電等（10 キロワット未満）、認定した設備を用いて発電する家庭は余剰電力買取とする。また、太陽光発電設備については既に導入されている余剰電力買取制度に基づいて買取が行われているものについてはあらたに導入される再生可能エネルギーの固定価格買取制度に基づいて引き続き買取が継続される。

再生可能エネルギーを買い取る費用は使用量に応じて消費者で負担する。賦課金の単価は前年度実績を基に国で定める。ただし、エネルギー多消費事業者（賦課金の 8 割またはそれ以上）と東日本大震災の被災者（2012 年 7 月 1 日から 2013 年 3 月 31 日まで）は賦課金を免除する。また、再生可能エネルギーの導入速度は地域間によってばらつきがあるので、その負担を調節する機関（以下、費用調整負担機関という）を国が新たに設置する。そして、各電力会社が回収した賦課金はこの費用調整負担機関が回収し実際の買取価格に応じて各電力会社に交付金として再分配する（図 4 参照）。

図 4 固定価格買取制度



出典：経済産業省 資源エネルギー庁

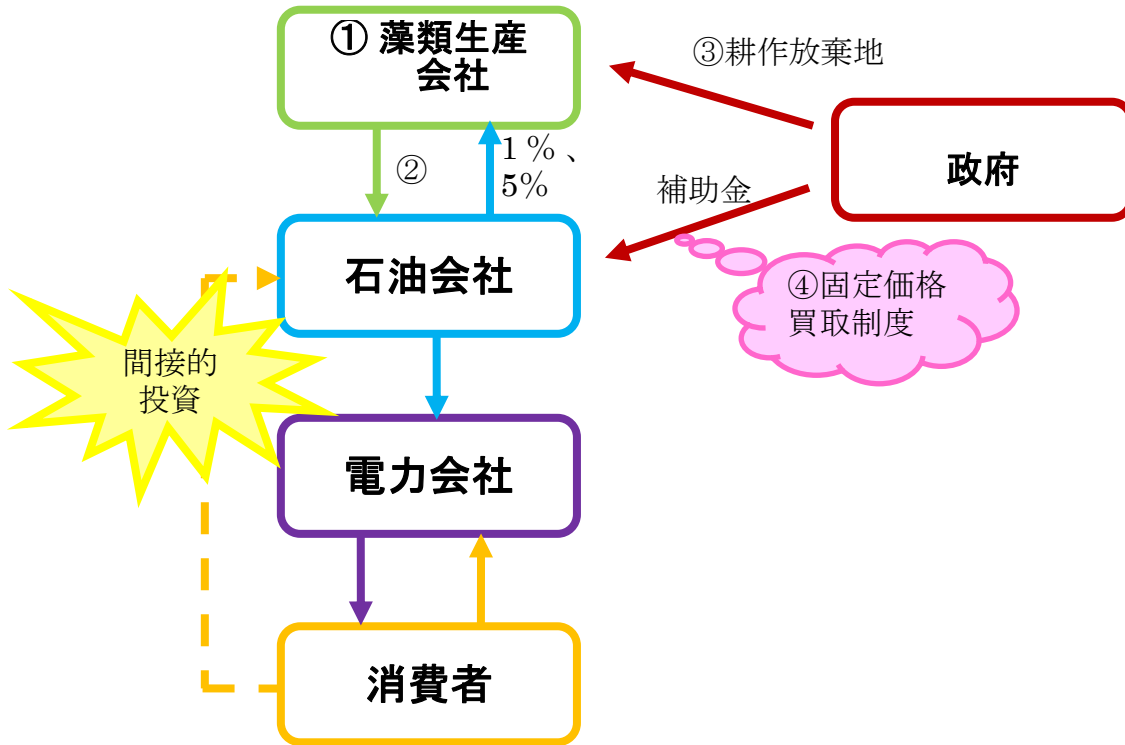
<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/index.html>

再生可能エネルギー固定価格買取制度を使用し独自のモデル作成、分析を行う。

第4節 モデル分析

第1項 藻類固定価格買取制度

図1 藻類固定価格買取制度



まず、図1のように藻類を生産する会社と藻類から石油を生産する会社に分ける。①の藻類生産会社は一定の技術要件と設備を整え、環境保全に配慮した優良な企業であれば誰でも新規参入が可能であるようにする。これによりベンチャー企業なども簡単に参入出来るので②に藻類の市場を生み出す。この市場は企業間での競争を促し生産力の増加や技術開発を早める効果があると考えられる。次に政府による藻類生産会社へ③の耕作放棄地を投資する。藻類の生産には多くの土地が必要なので先ほど説明したわが国における耕作放棄地を設備投資として利用する。また、この政府における設備投資も参入の早い企業から順に多くの投資を行っていく。藻類を生産する際にかかるコストは経験曲線(または学習曲線)により、低くなっていくことが考えられるので後期に参入した企業ではコストが低い分、投資も少なくなるといった方法をとる。これにより、参入企業を促し技術開発を早期に進められる。

そして次にあげるのがこのモデルにとって最も重要である④の藻類固定価格買取制度である。従来の固定価格買取制度は再生可能エネルギーや自然エネルギーを対象とした制度であるが、我々が推奨しているのは藻類によって生産された石油を使った火力発電であるのでここではあてはまらないということになる。しかし、藻類によって生産された石油は枯渇しないし現状の火力発電における石炭による発電よりも石油による発電の方が二酸化炭素の排出は抑えられるので環境にも良いと言える。そこで我々は固定価格買取制度の仕組みを参考に、藻類の買い取りを石油会社へ義務付ける藻類固定価格買取制度を分析していく。藻類による石油の生産は現段階では非常にコストがかかり、進展するには資金が必要であるが政府による補助金は少なく、わが国のバイオマスエネルギー研究は他国に比べて遅れをとって

いる。昨今の景気の低迷により、企業の資金調達も容易に行えない。より安価な石油を求めて、輸入に頼っている現状である。それでも、エネルギーの安定供給実現のために藻類等のバイオマスエネルギーの開発には多額の資金が必要不可欠である。

そこで企業への投資を消費者が広く浅く行う固定価格買取制度に着目した。まず、藻類固定価格買取制度とは簡単に言うと、政府により石油会社へ使用する原油（※藻類が生産する炭化水素は石油と同等の性質を持つ）の一定の割合を藻類で賄うように義務付ける。その際に生じたコストオーバー分を消費者が電力会社を通して間接的に支払う仕組みである。そうすることで石油会社も電力会社も出費は増えずに新しいエネルギーを使用することが可能になる。消費者は電気料金の値上げという形で石油会社へ投資する。一見すると消費者の支出が増えるので反発が出るだろうが、広い視野で見ると将来的には石油会社に投資することによって技術開発が進み、藻類から石油を生産する際のコストが大幅に削減されることになる。始めに投資をすることにより後の電気料金を下げるので総合すると大幅なコスト減につながるのだ。藻類をはじめ、バイオマスエネルギー等の生産コストは経験曲線をもって低下していくことが分かっている。

第2項 補助金分析

石油会社への投資を消費者のみで行うのは負担が大きいため、政府による石油会社への補助金との併用を考えていく。藻類固定価格買取制度における藻類の買い取り割合を決定し政府による補助金額を算出していく。ここで使用する数値は2009年度を基準とする。また、藻類は先行研究の進んでいるボトリオコッカスの価格を使用する。ボトリオコッカスの価格を考慮して、藻類の買い取り割合は仮に1%、5%として政府の補助金額を分析していく。

表 1

原油輸入価格(円/KL)	3万5527円.
原油輸入量(KL)	2億1186万KL
原油輸入総額	7兆5268億2084万円

出典：経済産業省 統計局、資源エネルギー庁

表1より、2009年度の原油輸入価格は1リットルあたり約3万円、原油の輸入量は約2億キロリットルなので原油の総輸入価格は、

$$3万5527円/KL \times 2億1186万KL = 7兆5268億2084万円$$

となる。

次に、現状の原油輸入量の1%と5%をそれぞれボトリオコッカスに代替する。ボトリオコッカスは1リットルあたりの石油を生産するのに約800円のコストがかかる。これは現状の原油価格の数倍から数十倍にのぼる。

まず現在の石油輸入量の1%をボトリオコッカスで補う場合は、輸入価格も含め約9兆円の石油価格になる(表2参照)。通常、政府による補助金の決定方法は、

$$\text{技術開発にかかる費用} - \text{現状の価格} = \text{補助金}$$

でもとめられるので、1%のボトリオコッカスを使用する際には、

$$9兆円 - 7兆5268億2084万円 = \text{約}1兆6000億円$$

この 1 兆 6000 億円が全て政府の補助金になるのではなく、ここから消費者負担の金額を引いたものが政府の補助金になる。政府の補助金と消費者による負担は 5 対 3 とすると 1% の場合は政府の補助金は約 1 兆円となる。

表 2

	ボトリオコッカス 1%	輸入 99%	総計
石油量	211 万 8600KL	2 億 974 万 1400KL	2 億 1186 万 KL
石油価格	1 兆 6948 億 8000 万円	7 兆 4515 万 5263 万 1600 円	9 兆 1464 億 3263 万 1600 円

同様に、ボトリオコッカスの割合を 5% とすると石油価格は約 15 兆円になる(表 3 参照)。ここから現状の輸入価格を引くと、

$$15 \text{ 兆円} - 7 \text{ 兆 } 5268 \text{ 億 } 2084 \text{ 万円} = \text{約 } 8 \text{ 兆円}$$

になり、8 兆円を政府と消費者で 5 対 3 として補うと政府の補助金額は、約 5 兆円となる。

表 3

	ボトリオコッカス 5%	輸入 95%	総計
石油量	1059 万 3000KL	2 億 126 万 7000KL	2 億 1186 万 KL
石油価格	8 兆 4744 億円	7 兆 1504 億 7979 万 8000 円	15 兆 6248 億 7979 万 8000 円

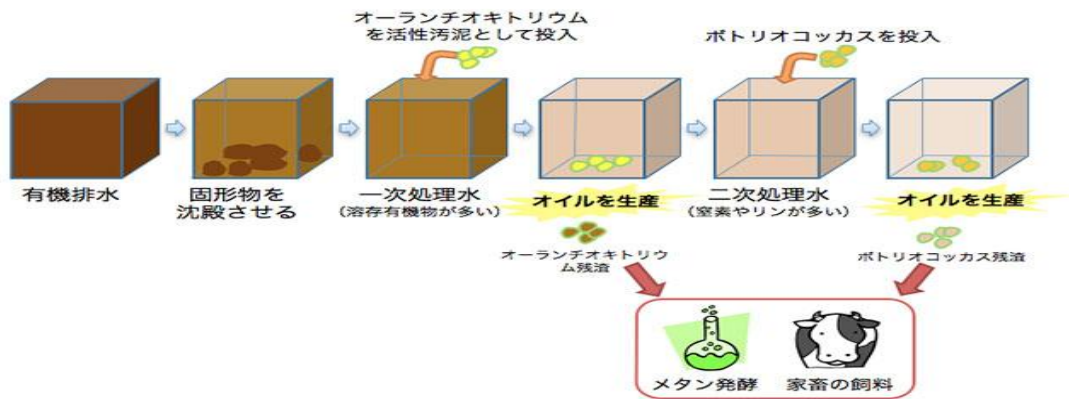
つまり、藻類固定価格買取制度における買取割合を 1% と定めた場合、必要な政府からの補助金は約 1 兆円であり、5% と定めた場合は約 5 兆円となる。この計算においてボトリオコッカスの価格は生産コストが変わらないときのものなので、実際には大きく削減されることが予想されここまで沢山の補助金が必要というわけではない。この分析における補助金額は必要最低限のものではなく、余裕をもった価格計算となっている。

第4章 政策提言

第1節 概要

我々が提案する政策案は、日本産油国計画である。第3章で先ほど述べた「藻類生産支援モデル」は耕作放棄地を設備投資として与え新規参入が可能である藻類生産会社を設立し、そこで藻の生産のみを行う。藻類生産会社で生産された藻を既存の石油会社が一定量買い取り、石油を生産する。ここで藻類生産会社の倒産を避けるため私たちの考案した「藻類固定価格買取制度」を利用する。そして既存の石油会社へは藻類から石油を採取するための設備設置などにかかるコストを補うため、政府から補助金を与えるというものである。我々としてはこの「藻類生産支援モデル」に渡邊氏の提案であるボトリオコッカスとオーランチオキトリウムの併用を追加することを考えている。下水等の有機排水をオーランチオキトリウムのエサとし、石油を生産する。オーランチオキトリウムによって処理された水には窒素とリンが大量に残っており、これをそのまま排水してしまうと、水域の富栄養化などの問題が発生してしまう。ここで培養時に窒素とリンを必要とするボトリオコッカスを活用し石油を生産させる。石油を採集した後のオーランチオキトリウムやボトリオコッカスは動物の飼料やメタン発酵に使用することにする（図1参照）。

図1 オーランチオキトリウムとボトリオコッカスの併用



出典：Tsukuba Science http://tsukubascience.com/seibutsu/sourui_ga_sekai_wo_kaeru/

これが実現することができればコストが下がり、海外から輸入されている石油の多くを藻類から生産された石油に代替することができ、将来的にはすべての石油を国内で生産することも可能だといえる。

第2節 補助金

我々が提案する「藻類生産支援モデル」には石油会社への政府からの補助金が必要不可欠である。先ほど述べたように藻類固定価格買取制度の導入比率が5%である場合は約5兆円、1%の場合は約1兆円もの補助金が必要となる。この巨額の補助金の資金元であるが、東京財団上席研究員大和総研顧問原田泰は以下のように述べている。「内閣府が仮の数字としてストックの毀損額を16兆円から25兆円と発表したが（2011年3月23日）、復興投資に必要な投資規模はそれほど大きくはないのではないかと。表1は、大和総研が推計した東北3県（岩手・宮城・福島）の資本ストックの合計である。この地域の人口571万人、住宅237万戸に対して、死者14,662人、行方不明者11,019人、避難者127,076人、以上合わせて157,122人、建物被害（全壊、半壊、全焼半焼、浸水、一部破損など含む）366,731戸である。震災の物的被害は57兆円の10-20%以下ではないだろうか。20%としても、民間部門5兆円、公的部門6兆円である。仮に民間部門の毀損額の半分を国が支援するとしても2.5兆円、公的部門の6兆円と合わせても8.5兆円以下ではないだろうか（表1参照）。」このことから私たちは内閣府が本来支援するつもりでいた復興投資の一部を石油会社への補助金として利用することを考える。

表1 資本ストック

東北3県と全国の資本ストック	(2009年末値、兆円)	
	東北3県 (岩手・宮城・福島)計	全国
有形固定資産（合計）	57.0	1183.8
うち民間部門	25.4	616.5
うち住宅	8.9	224.8
うち住宅以外の建物	9.0	215.0
うち輸送用機械	1.1	27.2
うちその他	6.3	149.4
うち公的部門	31.7	567.2
うち、その他の構築物 (道路、橋等)	29.2	508.3
うち、設備、その他の固定資産	2.4	59.0
(注) 東北3県の有形固定資産は、総資本固定形成(民間・公的部門の住宅、企業設備、一般政府)の累計額(1955~2007年度)から全国に対する各部門のシェアを計算し、それに2009年の有形固定資産額を乗じて求めた。 (出所) 内閣府統計より大和総研作成		

出典：政策シンクタンク東京財団

<http://www.tkfd.or.jp/topics/detail.php?id=272>

第3節 今後の展望

第1項 利益算出

我々の政策案である日本産油国計画が今後数十年と活用されるとすれば、技術開発が進み藻類から生産された石油が現在の原油価格を大幅に下回ることが予測できる。そこで藻類から生産された石油を1リットルあたり50円で提供できると想定すると藻類固定価格買取制度の導入比率はおのずと100%に達すると考えられる。これを第3章第4節第2項で計算した値を利用し試算すると藻類から生産された石油の価格は

$$2 \text{ 億 } 1186 \text{ 万 KL} \times 50 \text{ 円} = 105 \text{ 億 } 9300 \text{ 万円}$$

となる。これを現状の総輸入価格から引くと

$$7 \text{ 兆 } 5268 \text{ 億 } 2084 \text{ 万円} - 105 \text{ 億 } 9300 \text{ 万円} = 7 \text{ 兆 } 5162 \text{ 億 } 2784 \text{ 万円}$$

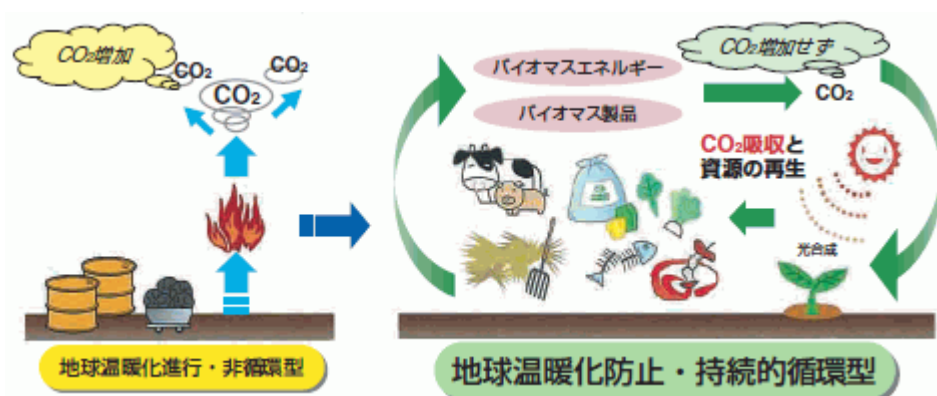
となりこれが利益となる。この試算によって採算がとれることが判明したため政府は早急に日本産油国計画にふみだすべきである。

第2項 カーボンニュートラル

本論文の分析により発電の際に使用している石炭をすべて藻類から生成された石油に代替することで二酸化炭素の排出量が減少することを述べた。私たちはボトリオコッカスとオーランチオキトリウムの二つの藻類を使用しているが、二酸化炭素を吸収し増殖するボトリオコッカスはカーボンニュートラルの特性をもっているといえる。

カーボンニュートラルとは、生物が光合成によって生成した有機物であるバイオマスを燃焼すること等により放出される二酸化炭素は、生物の成長過程で光合成により大気中から吸収した二酸化炭素であることから、ライフサイクルの中では大気中の二酸化炭素を増加させない。この特性を称して「カーボンニュートラル」という(図1参照)。

図2 カーボンニュートラル



出典：農林水産省出典

http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/trend/1/terminology.html

そのため、分析で導き出した二酸化炭素排出量よりもさらなる削減が見込まれる。今後試行錯誤を行いボトリオコッカスとオーランチオキトリウムの最適と思われる使用量の割合

を導き出せば、さらなる二酸化炭素排出量の削減が実現し環境問題に大きく寄与できるといえる。

第3項 まとめ

以上のことからボトリオコッカスとオーランチオキトリウムという藻類を生産し、そこから生産される石油を活用する『日本産油国計画』が実現すれば、環境問題やエネルギー問題である石油価格の変動や枯渇の問題を解決することができる。我々が考えた固定価格買取制度を応用した藻類固定価格買取制度を使用することにより、今後さらなる技術開発が進み、藻類から生産された石油の価格が現在の原油価格を下回る価格まで引き下げることが可能となる。そのため火力発電や工場などで使用されている石炭をすべて石油に代替し、二酸化炭素排出量の減少が実現される。さらにわが国が諸外国から輸入している石油のすべてを国内で賄うことができ、国内の石油生産が安定した際には、石油や石油から生成されている化学繊維などを低価で提供することができるため、石油から生産される製品の輸出を行い、さらなる経済発展を目指す。我々は藻類がこれからの日本の未来を明るくすることを切に願う。

先行論文・参考文献・データ出典

《先行論文》

渡邊信 「藻類バイオマスエネルギー技術の課題と展望」 『日本機械学会誌』 113 (1096): 342-345

《参考文献》

<http://www.nisa.meti.go.jp/> 「原子力安全・保安院」
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/index.htm> 「資源エネルギー庁」
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=01-03-07-01 「高度情報技術研究機構」
http://daily-ondanka.com/basic/data_07.html 「日刊温暖化新聞」
<http://solar.seo-gq.com/kinds/3.html> 「蓄電ガイド」
<http://www.isep.or.jp/library/1660> 「ISEP 環境エネルギー政策研究所」
<http://www.jaea.go.jp/> 「日本原子力研究開発機構」
<http://www.sekkoren.jp/index.htm> 「石油鉱業連盟」
<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/main.html> 「RPS 法ホームページ」
<http://www.maff.go.jp/index.html> 「農林水産省」
<http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/part01/chapter03/section02.html> 「J X 日光日石エネルギー」

《データ出典》

http://daily-ondanka.com/basic/data_07.html 「日刊温暖化新聞」
<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/main.html> 「RPS 法ホームページ」
<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/index.html> 「資源エネルギー庁」
http://tsukubascience.com/seibutsu/sourui_ga_sekai_wo_kaeru/ 「TSUKUBA SCIENCE」
<http://www.tkfd.or.jp/topics/detail.php?id=272> 「政策シンクタンク東京財団」
http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/trend/1/terminology.html 「農林水産省」
http://www.bk.mufg.jp/report/ecoinf2011/report_oil_20110405.pdf 「三菱東京UFJ 銀行」
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=01-03-07-01 「RIST」
<http://www.tkfd.or.jp/topics/detail.php?id=272> 「政策シンクタンク東京財団」
<http://criepi.denken.or.jp/> 「電力中央研究所」