

地熱発電を用いた 日本の新たな電力政策と地熱税

川本 勝

A New Electric Power Policy and Geothermal Tax of Japan Using the Geothermal Power Generation

KAWAMOTO, Masaru

Abstract

Although geothermal resources of Japan is rich and geothermal power generation manufacturers of Japan have the world's leading technology and performance, the development of geothermal power generation in Japan is quite late.

However, by replacing the thermal power in geothermal power generation, it is possible to significantly improve the energy self-sufficiency and CO₂ emissions, also, it is possible to obtain a stable base load power.

To facilitate geothermal power generation, "National project of geothermal source search" and "Development of new technologies related to geothermal source search", and "Promotion of cooperative use of the geothermal source" are important policy.

By replacing the thermal power generation in geothermal power generation, it is possible to introduce the "geothermal tax", and, it is possible to suppress the electrical charges.

Geothermal tax is a rich source of tax revenue of about comparable to the consumption tax, and it can establish a new "special account" for the "geothermal power generation business promotion".

要約

日本の地熱資源は豊富で、日本の地熱発電メーカーは世界有数の技術力と実績を持っているが、日本国内の地熱発電の開発は全く遅れている。

しかし、火力発電を地熱発電に置き換えることによって、エネルギー自給率やCO₂排出量を大幅に改善でき、また、安定したベースロード電源を得ることもできる。

地熱発電を促進するためには、「地熱源探索の国家プロジェクト」と「地熱源探索に関する新技術の開発」および「地熱源の共同利用の促進」が重要な政策である。

火力発電を地熱発電に置き換えることによって、電気料金の抑制と「地熱税」の導入が可能である。

地熱税は消費税に匹敵するほどの豊富な税収源で、「地熱発電促進事業」のための「特別会計」を新設することができる。

キーワード

長期エネルギー需給見通し (Long-term outlook of energy supply and demand)

地熱発電 (Geothermal Power Generation)

ベースロード電源 (Base load power)

ポートフォリオ (Portfolio)

地熱税 (Geothermal Tax)

序 論

2011年春に発生した「東日本大震災」(NHK 2015)の二次災害として発生した「福島原発事故」(東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 2012)によって危機に陥った国内の電力事情を受けて、経済産業省は平成27年7月に「長期エネルギー需給見通し」(経済産業省 2015)を発表した。

それによれば、2030年度の一次エネルギーの供給量はおよそ489百万kI程度と見積もられ、十分な量ではあるが、再生エネルギーと原子力を合わせたその自給率はおよそ24.3%程度しかなく、その他は天然ガスや石炭、LPG、石油など国外からの輸入エネルギーである。

同「見通し」では、2030年度のエネルギー需要は、経済成長によるエネルギー需要の伸びを徹底した省エネ施策でカバーする事を予定して、おおよそ326百万kIと見積もっている。この内、電力が占める割合は2013年度の実績である25%から2030年度には28%に増えるの見積もっている。これは、謂わば、ガスや灯油での暖房をやめて電気エアコン暖房に置き換えることに等しい。

経済産業省は、この「長期エネルギー需給見通し」を立てるに当たって、その最重要な条件として、「安全性Safety、安定供給Energy Security、経済効率性Economic Efficiency、環境への適合Environment」を設定している。

ここにいう「安全性Safety」とは、例えば、「原発による放射能事故や火力・風力における自然災害などへの耐性」のことである。

また、「安定供給Energy Security」とは、種々の情勢変化に依らずエネルギーを安定して供給できることをいい、「エネルギー自給率」を向上させることも含まれている。

同じく、「経済効率性Economic Efficiency」とは、原発事故以来高騰している電気料金を抑制して、産業界におけるコスト上昇を改善させる事や国民の生活コストを軽減させることである。

なお、「環境適合Environment」とは、CO₂など温室効果ガス排出量の増加を抑制する事である。

以上の観点から、経済産業省は、同「見通し」で、

- ①原発依存度を下げること
- ②エネルギー自給率の目標を約25%とすること
- ③電気料金は下げること
- ④CO₂排出量を欧米並みに削減すること

という具体的な「目標」を設定して、2030年度の「長期エネルギー需給見通し」を立てている。

その結果、経済産業省が得た2030年度の「電源構成」の見積もりは図1のようになり、水力や再生エネルギーと原子力を合わせたその自給率はおおよそ44%程度と見積もられ、また、石炭火力や水力、原発など季節・天候・昼夜を問わず一定量の電力を安定的に低コストで供給できる「ベースロード電源」はおおよそ56%程度と見積もられている。

ところで、自給率とCO₂排出量を改善するためには、火力を抑えて原子力や再生可能エネルギーへの依存度を上げ、また、電気料金の上昇を抑制する為には、再生可能エネルギーを抑えて火力への依存度を上げることが考えられる。しかし、太陽光などの再生可能エネルギーは、実は、風水害などの自然災害には甚大な影響を受ける事が、三井住友海上火災保険など（2015）がこのほど発行した「太陽光発電事業事故リスクハンドブック」などから既に解っている。従って、太陽光などの再生可能エネルギーは、日本のような「自然災害大国」には不向きな電源であるといわざるをえない。

「原子力」も、一度事故を起こせば、その被害は甚大で広域に及ぶという観点から、経済産業省も同「見通し」の中で「その依存度を上げるわけにはいかない。」としている。

同じく、経済産業省は同「見通し」の中で「石油やLNG、原子力」など、その原材料が国外に由来する電源は、「地域紛争など世界情勢の影響を受けて、その原材料の取得や輸送にトラブルが発生すると、たちどころに国家存亡の危機に陥るため、その依存度を上げるわけにはいかない。」としている。

更に、「石油やLNG、石炭」など、その原材料が国外に由来する電源は、電源コストなど「経済効率性Economic Efficiency」の観点からも、経済産業省は同「見通し」の中で「その依存度を上げるわけにはいかない。」としている。

なお、「石油やLNG、石炭」などは、CO₂などの温室効果ガスを排出するという観点から、経済産業省は同「見通し」の中で「環境適合Environmentとは言い難い。」としている。

このような検討では、「水力」のみが唯一生き残るが、同「見通し」に明らかなように、「水力」は十分な電力量を供給することができない。

以上のように、電力供給は国家の基本であるにもかかわらず、日本の電力供給の将来は厳しいといわざるをえない。

しかし、同「見通し」を精査してみると、「世界に冠たる火山大国」である日本には、本来、豊富な筈の「地熱発電」の電源構成比率が僅か（1.0～1.1%程度）に過ぎない事が解った。

そこで、筆者は、「地熱発電」に焦点を絞って、その有用性を広く探ってみたところ、ポジティブな結果を得ることができたので、以下に、その詳細を報告する。

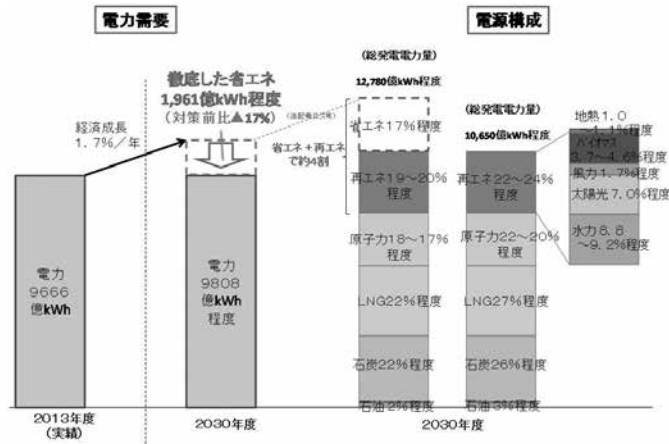


図1 電力供給の電源構成

1. 地熱発電とは

経済産業省資源エネルギー庁のホームページ（2015）によれば、「地熱発電」とは「火山の地下深部に存在するマグマ由来の膨大なエネルギーを『蒸気』という形で取り出して発電するもの」とされている（図2）。

このように、最終的には「蒸気」という形で発電する方法は、火力や原子力と同じ「蒸気」式発電方法である。また、同じく、最終的には「タービン」を回して発電するという方法は、水力や火力、原子力と同じ「タービン」式発電方法である。詰まり、「地熱発電」は、従来から有る発電方法と同様であり、特別に新規な方法が必要な発電方式では無い。

また、同ページで、資源エネルギー庁は、「地熱」は「エネルギー資源にめぐまれない我が国にとって、水力とともに純国産の再生可能な貴重なエネルギー資源であり、極めて高い供給の安定性を有することから、国としても積極的に開発を推進すべきもの」と、指摘している。

さらに、同ページで、資源エネルギー庁は、「地熱発電は火力発電に比べ単位発電量当たりのCO₂排出量が約20分の1と少ないため、地球にやさしいクリーンエネルギーとしても、その重要

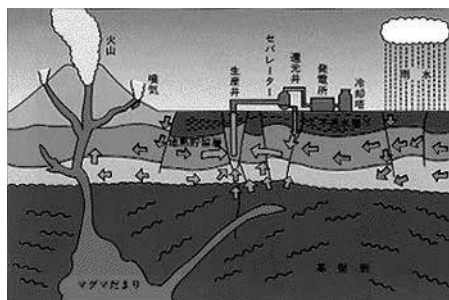


図2 地熱発電

性が再認識されています。」と指摘し、「地熱は発電のほかにも、浴用、施設園芸、道路融雪など多目的の熱水利用の熱源として地域開発にも役立っています。」と報告している。

これらの知見は、「運転に際していわゆる温室効果ガスのCO₂の発生が火力発電に比して少なく、燃料の枯渇、高騰などの心配が少ない。また、太陽光発電及び風力発電といった他の主要な再生可能エネルギーを活用した発電と異なり、天候、季節、昼夜によらず安定した発電量を得られる。資源量も多く、特に日本のような火山国においては大きな潜在力を有する。」とする電力中央研究所（2003）の報告とも一致している。

詰まり、両者からは、「火力発電を地熱発電に置き換えることが出来れば、エネルギー資源の純国産率（自給率）を大幅に改善できるばかりか、CO₂排出量も劇的に改善でき、更には、種々の情勢に影響されない安定して供給できる電力を得ることができる。」という可能性が推測できるのである。

例えば、もし仮に、「石油やLNG、石炭」を地熱に置き換える事が出来れば、電源のほぼ全てが自給できるほか、ベースロード電源比率（56%⇒86%）やCO₂排出量も劇的に改善（20分の1）できると見込む事が出来る。

経済産業省資源エネルギー庁のホームページ（2015）によれば、「地熱発電」には、「火山などに由来する地熱によって加熱され高温の熱水となって地下に貯えられた雨水（これは、地下水からできた熱水のことで、所謂、『温泉』のことであり、マグマから発生した熱水のことをいっているのではない）」を取り出して、「蒸気と熱水に分けて、蒸気だけを利用する『蒸気発電方式』」と、「熱水をまるごと有効利用する『バイナリーサイクル発電』」があるが、「現在の日本の地熱発電所は、『蒸気発電方式』である」とされている。

また、同ページには、「地熱発電は、計画から建設までに10年以上の期間を要し、井戸の穴掘りなど多額の費用がかかる。しかし稼働後は他の自然エネルギーと比しても高い費用対効果があり、2005年での調査では8.3円/kWhの発電コストが報告されている。特に、九州電力の八丁原発電所では、燃料が要らない地熱発電のメリットが減価償却の進行を助けたことにより、近年になって7円/kWhの発電コストを実現している。しかしながら2013年度の固定価格買い取り制度におけるの買い取り価格は15MW未満（40円+税）15MW以上（26円+税）であり、今後新設される地熱発電所について利用者側からみた価格は他の自然エネルギーと比べても高い。」と、報告されている。

これは、即ち、「地熱源の探索技術が進歩し、買い取り制度が合理化されれば、『廉価な電気』も夢では無い。」ことを意味しており、地熱発電を推進するためには、「地熱源探索技術の向上」と「買い取り制度の合理化」が必須の要点であるといえる。

2. 世界と日本の地熱発電の現状

日本地熱協会（Japan Geothermal Association 略称はJGA）のホームページ内の「世界の地熱発電」のページ（2015）によれば、「2015年現在、地熱発電は、日本はじめアメリカやフィリピン、アイスランドなど世界中の火山を有する26か国で既に実用化されている。」（図3）とのことである。

同じく、同ホームページの「地熱発電の特長」のページによれば、「日本のエネルギー自給率は世界的に見ても貧弱といわざるをえない(図4)」そうで、また、「活火山数と地熱資源量は比例しており、日本も例外ではなく(図5)、2015年6月の時点で、日本の地熱資源量はアメリカ、インドネシアに次ぐ世界第3位(およそ2347万kw)と地熱資源大国でありながら、日本国内で稼働中の地熱発電所の出力は29地点で52万kwと地熱資源量の僅か2.2%で世界第9位(図6)。十分利用されているとは言い難い。」とのことである。

JGAの情報に比べればやや古いのが、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(Japan Oil Gas and Metals Corporation 略称はJOGMEC)が2012年12月に発行した「JOGMEC NEWS Vol.31」(2012)によれば、「日本の地熱発電所は、所謂、『火山フロント』周辺の18地点に設置され(図7)、合計53万kwの設備容量で年間31億kwhの発電電力量を得ているが、その設置は未だ一部の地域に留まっており、総発電電力量の僅か約0.3%。」とのことで、火山フロントの周辺は未だ十



図3 世界の地熱発電(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構2012から引用)

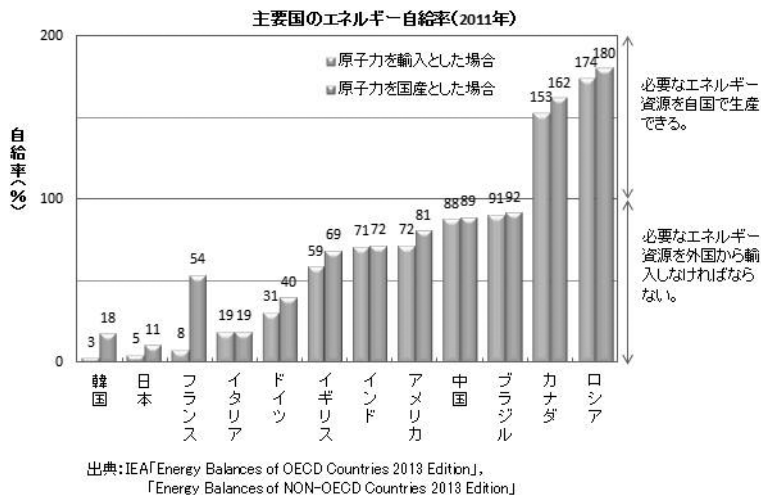


図4

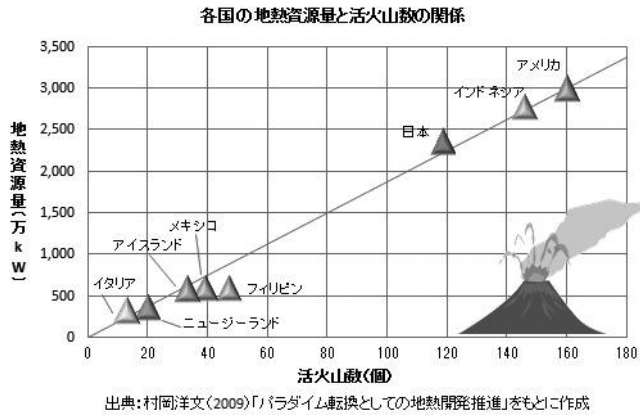


図5

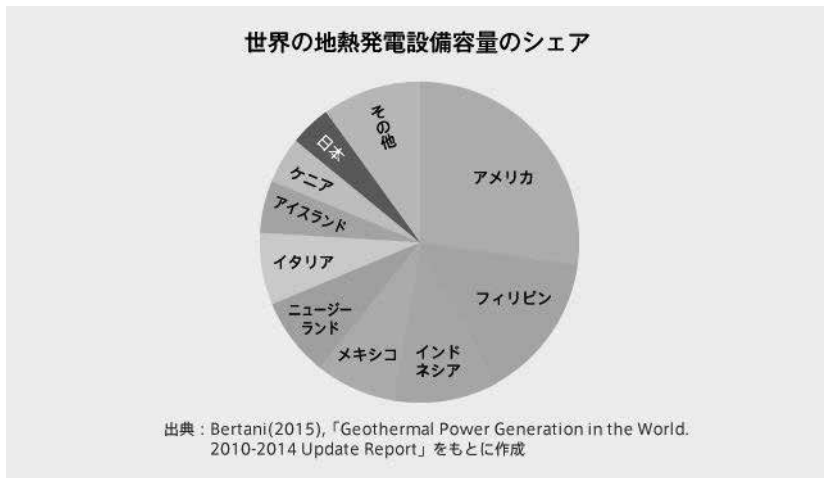


図6

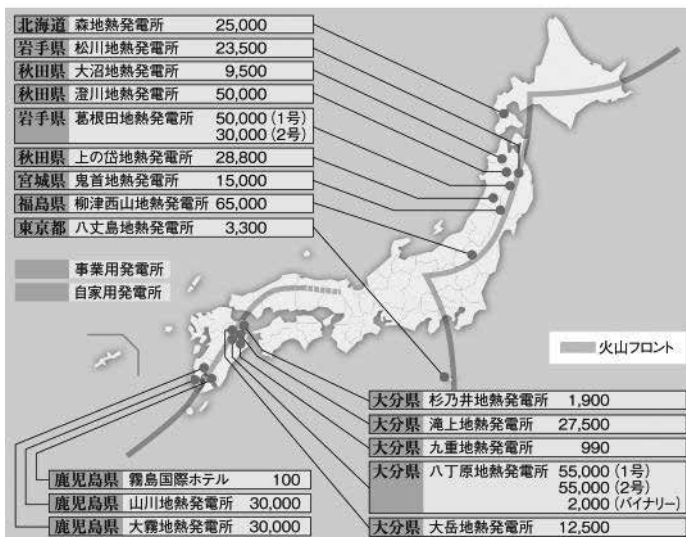


図7 日本の地熱発電所の所在地

分に開発されているとは言い難い。

同じく、JGAの情報に比べれば古いが、「地熱発電に関する研究会」による平成21年6月の「地熱発電に関する研究会/中間報告」(2009)によれば、地熱発電には「開発リスクや開発コスト、採算性、開発規制、温泉事業者との利害対立」などの諸問題が有り、「1999年の八丈島以来新たな開発案件は無い。」とのことである。

詰まり、「地熱資源の多くが自然公園法に基づく国立・国定公園内や温泉地の近傍に存在するので、開発に際しては、温泉事業者との調整が必要で、坑井を掘削して地下の熱水を取得する行為を伴うことから、自然公園法、温泉法などの規制を受ける。」のである。

ところで、同報告では、「地熱発電では、運転開始後に補充井の掘削等は必要であるが、燃料を必要としない事から、長期間にわたる安定した発電が可能で、水力発電と同様に長期安定的に運転される事により、経済性を発揮し、電気料金の安定化に貢献する。」と指摘され、また、「地熱発電は、発電時にCO₂を排出しない純国産の再生可能エネルギーである。また、再生可能エネルギーの中では、天候に左右されずに、年間を通じて安定した電気を供給する事が可能な電源であるため、設備利用率が高い(地熱70%、風力20%、太陽光12%)。」と評価されている。

また、同じく、情報がやや古いが、社団法人 火力原子力発電技術協会『地熱発電の現状と動向』2007年版(2007)からは、日本の総発電量に占める地熱発電の割合は、世界と比べても、決して高い方では無いことが解る(表1)。

表1 世界の地熱発電

国名	地熱発電容量計 (MW)	総電力設備容量 (MW)	地熱発電割合 (%)
アメリカ合衆国	2,534.1	1,031,692	0.2
フィリピン	1,930.8	13,434	14.4
メキシコ	953.0	43,536	2.2
インドネシア	797.0	24,706	3.2
イタリア	790.5	78,249	1.0
日本	535.0	272,701	0.2
ニュージーランド	435.5	8,555	5.1
アイスランド	172.1	1,510	11.4
コスタリカ	162.5	1,715	9.5
エルサルバドル	151.0	1,133	13.3
ケニア	127.0	1,129	11.2
ロシア	79.0	216,000	0.0
ニカラグア	77.5	641	12.2
グアテマラ	33	1,697	1.9
中国	28.8	391,408	0.0
トルコ	20.4	28,332	0.1
ポルトガル	16.0	11,240	0.1
フランス	14.7	115,975	0.0
エチオピア	7.0	501	1.4
パプアニューギニア	6.0	-	-
台湾	3.3	34,598	0.0
ギリシャ	2.0	11,360	0.0
オーストリア	1.2	18,030	0.0
タイ	0.3	50,532	0.0
オーストラリア	0.2	44,852	0.0

ところで、表1に記されているアイスランド共和国は北欧の島国で、日本と同様に「大西洋中央海嶺」上にある「火山国」である。同表によれば、日本より地熱資源量が少ない(図5)アイスランドの地熱発電の設備容量は合計で172MWと日本よりは少ないが、総電力設備容量に占める割合は11.4%と日本の50倍以上である。同じことは、フィリピン(14.4%)やエルサルバドル(13.3%)、ケニア(11.2%)、ニカラグア(12.2%)にもいえる。日本より地熱資源量が多いインドネシア(図5)でも3.2%と、やはり、日本の16倍である。

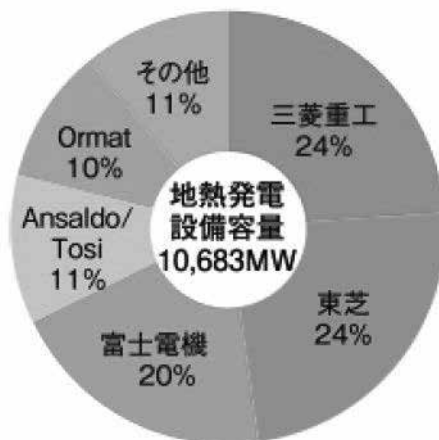
この事実は、「世界に冠たる地熱資源大国」の日本の地熱開発が全く遅れており、「地熱後進国」であることを明確に表している。詰まり、日本国民と政府の考え方次第で、すぐにでも、地熱発電割合を少なくとも10%以上にはできるのである。

3. 地熱発電のメーカー

JOGMECが2012年12月に発行した「JOGMEC NEWS Vol.31」(2012)によれば、「地熱発電用タービンでは、日本のメーカー3社(三菱重工・東芝・富士電機)で世界の3分の2(68%)のシェアを占めている(図8)」とのことである。

しかも、「最近、タービンメーカーが『フルターンキー』という形で発電所の建設そのものを請け負うことが多いため、日本の技術で世界の地熱発電所の大半をつくっているといっても過言ではない。」とのことである。ここでいう「フルターンキー」とは、同記事によれば、「プラントなど設備の建設に関して、設計・製造・組立・試運転・指導・保証の全てを請け負う方式で、完成して鍵を回すだけで設備が運転可能になるまでの仕事をする」という意味だそうである。

この事実は、要するに、日本の3大「地熱メーカー」には、「地熱発電所を建設する『元請け』となる能力と実績が十分に有る」ことを裏付けているのである。



地熱発電用タービンメーカー世界シェア
(2010年までの累計)

出所：日本地熱開発企業協議会

図8

特に、三菱重工と東芝は「世界原発4大グループ」の内の2社でもある（渥美好司2015）。また、富士電機（2015）も原発業界に参入している。一方、「世界原発4大グループ」の内の1社でもある日立は、三菱重工と組んで「三菱日立パワーシステムズ（2015）」という合弁企業を作り、地熱発電の業界にも参入している。地熱発電が原発と共通する技術は「タービン」や「プラント」である。

以上の事実から、日本の「地熱メーカー」は、地熱発電の業界では世界有数の技術力と能力および実績を持っていることは明らかである。

4. エネルギーミックスのポートフォリオ

経済産業省が平成27年7月に発表した「長期エネルギー需給見通し」（2015）の中にいわれている電源構成の「エネルギーミックス」とは、金融分野でいうところの「ポートフォリオ（Portfolio）」のことである。

「ポートフォリオ（Portfolio）」とは、解り易くいえば「組み合わせ」のことであるが、例えば、金融でいえば「安全資産と危険資産の最適保有率」のことである。

詰まり、ローリスクローリターンな安全資産とハイリスクハイリターンな危険資産をどのような組み合わせ割合で保有するのが投資家にとってベターかという視点で金融市場への投資活動を評価すると同様に、国家の電源構成にもハリーマーコウィッツ（Markowitz1952）が提唱した「現代ポートフォリオ理論（Modern Portfolio Theory）」を導入すれば、数値化して評価し、最適な組み合わせの解を得る事が出来る可能性が有る。

「現代ポートフォリオ理論」に依れば、例えば、「安全資産と危険資産の最適保有率」は、それらを構成する各独立要素からなる「連立方程式」ないしは「行列方程式」で表される。

例えば、一般に、

n種の資産rを保有し、それぞれの収益率をE (r_i)、その平均に対する重みをw_iとすると、n種の資産を合計した全体の期待収益率E (r_p) は、

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n w_i E(r_i)$$

ポートフォリオの分散は、

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij}$$

ポートフォリオのボラティリティは、

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_p^2}$$

と書ける。

また、その解については、昨今は、方程式を解いた解析解では無く、コンピュータを用いた数値計算を駆使して最適な近似解を求めるのが一般的である。

しかし、同「見通し」の中には、上記のような「方程式」は明記されていない。従って、その結果の細部を他者が検証する事は難しく、再現性を期待する事は困難である。

そこで、ここでは、「エネルギーミックス」のポートフォリオを数式化する事を試みる。

経済産業省が平成27年7月に発表した「長期エネルギー需給見通し」の中で取り上げられている電源構成の主な要素は、「原子力、火力、水力、再生可能エネルギー(太陽・風力・バイオマスなど)、地熱」の5種類である。これら5種類の要素は、相互に独立な発電システムである。

従って、この5種の電源をそれぞれ、 $r_1 \sim r_5$ とすると、

エネルギーミックスのポートフォリオは、

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^5 w_i E(r_i) \quad \text{①}$$

と書ける。

ところで、経済産業省が平成27年7月に発表した「長期エネルギー需給見通し」の中では、「エネルギーミックス」に関し、「安全性 (Safety)、安定供給 (Energy Security)、経済効率性 (Economic Efficiency)、環境への適合 (Environment)」の条件が課せられている。

従って、これらの各条件から、上記の多項式①は、少なくとも4種の連立方程式に書き下すことが出来る。

なお、経済効率性は、「電気料金」と「発電コスト」に分解する事ができるので、上記の多項式①は、下記のような、少なくとも5種からなる「5元連立方程式」に書き下すことが出来る。

$$\begin{cases} E_1 = \sum_{i=1}^5 w_i^1 E_1(r_i) \\ E_2 = \sum_{i=1}^5 w_i^2 E_2(r_i) \\ E_3 = \sum_{i=1}^5 w_i^3 E_3(r_i) \\ E_4 = \sum_{i=1}^5 w_i^4 E_4(r_i) \\ E_5 = \sum_{i=1}^5 w_i^5 E_5(r_i) \end{cases}$$

結局、ポートフォリオの手法を応用すれば、「エネルギーミックス」の答えは、5種の独立な電源で書き下された「5元連立方程式」の最適解をコンピュータによる数値計算で求める事に帰結する。

ただし、ここで書き下せたエネルギーミックスのポートフォリオに関する「5元連立方程式」の解は未だ得ておらず、筆者にとっては、今後の研究課題である。

5. 日本の地熱発電の問題点と改善策

以上の調査から、日本の地熱発電には下記のような長所と問題点があることが解った。

長所

- ①安全性；火力や原発のような発電所が原因の大規模で広域な二次被害は発生しない
- ②安定供給；電力源の枯渇が無く、極めて高い供給の安定性を有する
- ③経済効率性；純国産で無尽蔵な再生可能エネルギーなので、電気料金を安く抑える事が出来る
- ④環境への適合；CO₂排出量が火力の約20分の1と極めて少ないクリーンエネルギー
- ⑤自給率とベースロード電源の比率を飛躍的に向上させることができる
- ⑥発電後に使用済み熱水の多目的な再利用が可能
- ⑦日本の地熱発電のメーカーは世界有数の技術力と実績を持っている

問題点

- ①自然公園法および温泉法による規制；
地熱資源の多くが自然公園法に基づく国立・国定公園内や近傍に存在し、坑井を掘削して地下の熱水を取得する行為を伴うことから、自然公園法、温泉法などの規制を受ける。
- ②温泉業者との利害対立；
地熱資源の多くが温泉地内もしくはその近傍に存在し、坑井を掘削して地下の熱水を取得する行為を伴うことから、開発に際しては、温泉事業者との利害調整が必要。
- ③開発コスト；
地熱水源の探索が難しいので計画から建設までに10年以上の期間を要し多額の費用がかかる。
- ④発電量の減衰；
地熱水源が枯渇すれば、所定の出力を維持するために補充井の掘削が必要で、補充井が発電できれば廃業せざるを得ない。
- ⑤エネルギー効率が低い；
日本の地熱発電所の平均発電熱効率は15～20%の範囲である。

特に、今回の調査からは、

「世界に冠たる地熱資源大国である日本の地熱開発は全く遅れており、未だに『地熱後進国』である。しかし、日本の地熱発電のメーカーは世界有数の技術力と実績を持っている。従って、政府の政策次第で、すぐにでも、地熱発電の割合を改善することができる。特に、火力発電を地熱発電に置き換えることが出来れば、エネルギー資源の純国産率（自給率）を大幅に改善できるばかりか、CO₂排出量も劇的に改善でき、更には、種々の情勢に影響されない安定して供給できるベースロード電源を得ることができる。」

などのことが解った。

一方、経済産業省が平成27年7月に発表した「長期エネルギー需給見通し」（経済産業省 2015）

の中には、その数値結果を導いた根拠となる「方程式」が明記されていないので、その数値結果の細部を他者が検証する事は難しく、再現性を期待する事も困難であることも解った。

これに関しては、ポートフォリオの手法を応用すれば、「エネルギーミックス」は、5種の独立な電源で書き下された「5元連立方程式」の最適解をコンピュータによる数値計算で求める問題に帰結させることができ、「検証性」や「再現性」を改善できることが解った。

ただし、ここで書き下せたエネルギーミックスのポートフォリオに関する「5元連立方程式」の解は未だ得ておらず、筆者にとっては、今後の研究課題である。

そこで、ここでは、日本の地熱発電の現状を改善する政策を考える糸口として、「自然公園法」や「温泉法」並びに、「地熱源の探索方法」などについて、調査を追加した。

以下は、その結果である。

5.1 自然公園法および温泉法による規制

①自然公園法

日本の「自然公園法」は、総務省法令データ提供システム（2015）によれば、昭和32年に「日本国内の優れた自然の風景地を保護するとともに、その利用の増進を図ることにより、国民の保健、休養及び教化に資するとともに、生物の多様性の確保に寄与することを目的として定められた」法律である。

同法律によって、日本国内には「国立・国定および都道府県立の自然公園」が指定され、自然環境の保護と快適な利用が促進されている。

ただし、同法律によって定められた自然公園は、「土地の『権原（権利の発生する原因）』」に関わらずに指定されているため、公有地のほか民有地も含まれている。

自然公園には、環境省が管理する「国立公園」と、環境省が指定し都道府県が管理する「国定公園」、並びに、都道府県が指定して管理する「都道府県立自然公園」などがある。2010年現在、国立公園は29か所、国定公園は56か所、都道府県立公園は312か所あり、その面積の合計は日本国土の約14%、東京都では36%を占めている。一方、「都市公園法」に基づいて都道府県や市町村が設置する公園は、「都市公園」と呼ばれている。

自然公園内には民有地もあるため、農業や林業、その他の産業活動は一定の条件下で認められており、全面禁止はされてはいない。そのため、各自然公園を「特別地域、特別保護地区、海域公園地区、普通地域」などの種別に区分けし、各地域の実情に合わせた「公園計画」が策定されている。

日本の火山の多くは、この自然公園の中にあるものが多い（表2：産業技術総合研究所地質調査総合センター 2015）ため、地熱源も自然公園内に存在するものが多く、必然的に、地熱源の探索や利用に関しては自然公園法によって規制される。

しかし、地熱源が自然公園内にあっても、民有地内にある場合は「所有者」の、公有地内にある場合は「国ないしは自治体」の同意が必要になる。

以上の事由から、自然公園の環境破壊や公害発生が無く、「地権者の同意」が有り、現地の公園計画を逸脱しない限りであれば、地熱源の探索や利用は可能である。

②温泉法

日本の「温泉法」は、総務省法令データ提供システム（2015）によれば、昭和23年に「日本国内の温泉を保護し、温泉の採取等に伴い発生する可燃性天然ガスによる災害を防止し、及び、温泉の利用の適性を図り、もって公共の福祉の増進に寄与することを目的として定められた」法律である。

同法律では、温泉を湧出させるための土地の掘削の許可、温泉源からの温泉の採取の許可、温泉の利用の許可、温泉成分等の表示等に関して規定している。

同法律では、温泉（ここでいう「地熱水」）を湧出させる目的で土地を掘削する者は、掘削する土地の掘削する権利を持っていることを前提に、環境省令の定めに従って、都道府県知事の許可が必要と規定されている。

詰まり、地熱発電をしようとする者は、地熱源の地権者との間で「地熱源の掘削権」契約を締

表2 自然公園内にある活火山

国立公園			
知床	知床硫黄岳、羅臼岳、天頂山		
阿寒	雌阿寒岳*†、雄阿寒岳、アトサヌプリ*、摩周		
大雪山	大雪山*、十勝岳*†、丸山（東大雪山丸山）		
利尻礼文サロベツ	利尻山		
支笏洞爺	羊蹄山、樽前山（風不死岳を含む）*†、恵庭岳、有珠山*†*、倶多楽（登別）*		
十和田八幡平	八甲田山（北八甲田）*、十和田*†、八幡平、秋田焼山*、岩手山*†、秋田駒ヶ岳*		
磐梯朝日	吾妻山*†、安達太良山*、磐梯山**		
尾瀬	燧ヶ岳		
日光	日光白根山*、高原山、那須岳*†、（男体山）		
上信越高原	草津白根山*†、浅間山*†		
妙高戸隠連山	新潟焼山*、妙高山		
富士箱根伊豆	富士山*†、箱根山**、伊豆東部火山群**、伊豆大島*†*、利島、新島*、神津島*、三宅島*†、御蔵島、八丈島*、青ヶ島*		
小笠原	西之島		
中部山岳	弥陀ヶ原（立山）*†*、焼岳*†、アカンダナ山、乗鞍岳*、（鷲羽・雲ノ平）		
白山	白山**		
大山隠岐	三瓶山		
阿蘇くじゅう	阿蘇山*†*、九重山*†、由布岳、鶴見岳・伽藍岳*		
西海	福江火山群		
雲仙天草	雲仙岳*†*		
霧島錦江湾	霧島山*†*、桜島*†*、開聞岳、池田・山川		
屋久島	口永良部島*†		
国定公園			
ニセコ積丹小樽海岸	ニセコ	大沼	北海道駒ヶ岳*†
下北半島	恐山	津軽	岩木山*
鳥海	鳥海山*	栗駒	栗駒山**、鳴子
蔵王	蔵王山*†	八ヶ岳中信高原	横岳（北八ヶ岳）
北長門海岸	阿武火山群		
都道府県立自然公園			
松前矢越（道立）	渡島大島	恵山（道立）	恵山*
只見柳津（県立）	沼沢	御岳／御嶽山（県立）	御嶽山*†（長野・岐阜県境で公園名が異なる）
トカラ列島（県立）	口之島、中之島、諏訪の瀬島*†		
自然公園法に基づかない県立公園			
県立榛名公園	榛名山	県立赤城公園	赤城山
上記に含まれない活火山（北方領土と海底火山を除く87火山のうち）			
伊豆鳥島、硫黄島*、米丸・住吉池、薩摩硫黄島**、硫黄島島			

活火山とは、過去約1万年以内に噴火した、あるいは、現在活発な噴気活動が認められる火山です。

*：活火山のうち、気象庁が常時観測・監視している火山。

2009年に47火山を選定。2015年に追加予定の3火山（八甲田、十和田、弥陀ヶ原）を含む。（火山噴火予知連絡会、2014.11）

†：活火山のうち、文部科学省（大学及び防災科研）が重点的に研究観測する火山。

**：ジオパークに含まれる活火山（2015年9月4日、栗駒山と薩摩硫黄島を含む地域が認定されました）（日本ジオパークネットワーク）

結していることが「必須の条件」なのである。従って、地熱源の地権者が温泉業者である場合、その利害が対立したのでは、地熱発電は不可能ということになる。

即ち、地熱源の地権者との間で「地熱源の掘削権」を締結しなければならないという「条件」は、地熱発電をしようとする者にとっては、「決定的な条件」で有り、未達であれば致命的である。

5.2 地熱源の探索方法

前出の「地熱発電に関する研究会」の中間報告（2009）を要約すると、「地熱発電所の建設に多額の開発費や年数が掛かっている原因の一つは、地熱源の探索が難しいことにある。また、地熱水源が枯渇すれば補充井の掘削が必要で、補充井が不発であれば廃業せざるを得ないが、ここでも、地熱源の探索が重要な問題である。詰まり、坑井を掘削する方法では地熱源の探索が難しい事が原因で、時間が掛かり、時間が掛かることでコストが膨らんでいる訳であるが、それで不発となれば、投資した資金の回収が不可能になり、地熱開発がハイリスクな事業といわれる所以である。また、地熱源の探索に多大の費用が掛かってしまえば、開発後の地熱発電は高価なものになってしまう。」ということである。

しかし、東京大学地震研究所の田中宏幸（2008年および2014年6月）は、近年、素粒子の一種である「ミュオン」を使って火山や建築物、原子炉などの内部を透視する「ミュオグラフィ（図9）」という探索技術を開発した。特に、現在、火山の透視（Hiroyuki K.M.Tanaka, Taro Kusagaya, Hiroshi Shinohara 2014年3月）や原子炉の透視（NHK 2015）などでは顕著な結果が得られている。

火山や原子炉でこれほど精密な透視ができるのであれば、ミュオグラフィを用いて地熱源の探索も可能なはずである。

同様の研究は、自然や人工の地震による地震波を用いて地球内部の3次元構造を求める「地震波トモグラフィ」という分野でも既に進んでいる（Matsubara, M. and K. Obara 2011）。

小田義也（2008）は、地震波トモグラフィを用いて、箱根火山直下深度30kmまでの地下構造を推定し、「熱水」の存在を指摘している。

これらの技術を併用すれば、近い将来、地熱水源の詳しいデータが得られるであろうことは想像に難くない。詰まり、地熱水源探索のための技術開発に十分な国家予算をつける事が要である。

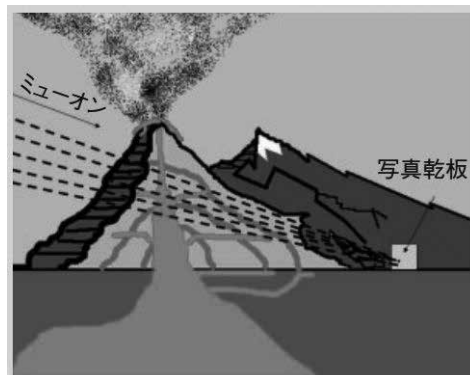


図9 ミュオグラフィ

5.3 改善策

以上の結果から、下記のような改善策が考えられる。

①自然公園法・温泉法による規制の緩和

自然公園法ないしは温泉法による規制は、上記の調査結果から、地熱発電をしようとする者にとっては、地熱源の地権者との間での「地熱源の掘削権」契約の成否に帰結することが解った。

従って、地熱発電を推進するためには、国や都道府県知事などによる「地熱源の掘削権」契約の「仲介斡旋」事業が効果的な政策であるといえる。

②地熱源探索に関する新技術の開発

従来の探査法の成果として、村岡洋文等（2008）によって、既に「日本の地熱水系の資源量」は調査され、まとめられている。しかし、その精度が荒いため、実際の地熱水掘削には多大な時間と費用が掛かっているのが現状であったが、昨今、地震学の分野で「ミュオグラフィ」や「地震波トモグラフィ」という画期的な探査技術が開発され種々の成功を取っており、これらの技術が地熱水源の探索に応用されれば、精度の良い「地熱水源地図」が製作できるものと見込む事が出来る。

従って、地熱発電を推進するためには、国が「地熱水源の新探索技術」開発について重点的に十分な予算を付けることが効果的な政策であるといえる。

③地熱源の共同利用の促進

既存の温泉業者も、その温泉源が枯渇してしまえば、温泉業を存続することは出来ない。しかし、温泉業者による従前の温泉源探索法では、必ずしも十分な補充井が発見できるとは限らない。

従って、上記のように村岡洋文等（2008）によって実施された「全国的に温泉源（地熱水源）を探索し、その結果を地図としてまとめる事業」に国が国家予算を付けてきた政策は十分に意義が有ったといえる。

そこで、仮に、この政策事業が今後も続けられ、既存のもの以外に「新たな温泉（地熱水）源」が温泉業者の所有する土地以外で発見されたとすれば、それは、既存温泉業者が排他的に独占できるものではなく、地熱発電業者と共同利用されるべきものであるといえる。

一方、上述した日本の地熱発電が持つ「長所」の⑥「発電後に使用済み熱水の多目的な再利用が可能」からは、「発電後の使用済み熱水を『温泉』として再利用することが可能」であることが容易に解る。

従って、温泉業者が所有する土地以外で発見された「新たな温泉（地熱水）源」について、温泉業者が「発電後の使用済み熱水の再利用」に同意すれば、温泉業者と地熱発電業者との間で「地熱水の共同利用」は可能になる。

詰まり、地熱発電を推進するためには、温泉業者では出来ない「大規模で包括的な地熱水源探索を国が予算を付けて行う事業」は、引き続き、極めて効果的な政策であるといえる。

④地熱源探索の国家プロジェクト

以上の結果から、長年にわたり既に国家的予算が付けられて実施されてきた「全国的に温泉源（地熱水源）を探索し、その結果を地図としてまとめる事業」に引き続き国が国家予算を付け、合わせて、「地熱水源の新探索技術」の開発についても国が重点的に十分な予算を付け、更には、温泉業者と地熱発電業者との間で「地熱水の共同利用」を国や都道府県が仲介斡旋することは、地熱発電を推進するうえでは要となる極めて重要な政策であるといえる。

⑤地熱税の導入

上記の「地熱源探索の国家プロジェクト」を実施するには、その財源的な裏付けが必要であるが、そのためには、事業の「独立採算制」という観点から、地熱事業には「地熱税」の導入が要となる重要な政策である。

次節6は、その詳細である。

6. 地熱税導入の提案

「地熱税」という全く新しい税を導入することで、上記の「地熱源探索の国家プロジェクト」を永続的に実施するための財源的な裏付けが確保できるだけでなく、「地熱税」は、温泉源（地熱水源）ないしは地熱エネルギー、あるいは、火山などの「管理・保全・観測・研究・防災設備などの充実および普及」などに関する政策を充実させるための裏付け財源にもなりえる国家予算の「特別会計」とすることができる税である。

地熱税の導入は、「原子力や火力、水力、地熱、その他の再生可能エネルギー（太陽・風力・バイオマスなど）」などから構成されている日本の電力供給の「電源構成」の内、原子力発電ではなく、火力発電の部分を地熱発電で置き換えることによって可能になる。

日本の電力供給の「電源構成」の内、原材料を輸入に頼っている火力発電の部分を純国産で再生可能な地熱発電に置き換えることによって、電気料金全体のコストを下げ、その恩恵を電気料金の値下げと「地熱税」の導入に振り分けることができる。

電気事業連合会（2015）によれば、2014年度の販売電力量の合計は8230億kWhであった。一方、業界動向サーチ（2015）によれば、同年度の電力業界の電気料金売上の合計は20兆5490億円であった。

この2つのデータから電気代単価を概算すると、
電気代単価は、

電気代単価 = 電気料金売上合計 ÷ 販売電力量合計
で概算できるとすると、

$$\begin{aligned} \text{電気代単価（概算値）} &= 20兆5490億円 \div 8230億kWh \\ &= \text{約}25\text{円}/kWh \end{aligned}$$

と求まる。

一方、経済産業省資源エネルギー庁のホームページによれば、「地熱発電は、計画から建設までに10年以上の期間を要し、井戸の穴掘りなど多額の費用がかかる。しかし稼働後は他の自然エ

エネルギーと比しても高い費用対効果があり、2005年での調査では8.3円/kWhの発電コストが報告されている。特に、九州電力の八丁原発電所では、燃料が要らない地熱発電のメリットが減価償却の進行を助けたことにより、近年になって7円/kWhの発電コストを実現している。しかしながら2013年度の固定価格買い取り制度における買取価格は15MW未満（40円＋税）15MW以上（26円＋税）であり、今後新設される地熱発電所について利用者側からみた価格は他の自然エネルギーと比べても高い。」と、報告されている。

従って、今後、地熱探索の新技術が確立して地熱探索のコストとリスクが飛躍的に改善され、温泉業者との共同利用も可能になることを前提に、仮に、従来の固定的な「買取価格」制度が廃止されれば、地熱発電のコストは原子力発電とほぼ同じ10円/kWh程度になるものと期待できる。

即ち、仮に、地熱発電のコストが10円/kWh程度になるものと期待できれば、既存の電気代単価（概算値）約25円/kWhとの「差額」約15円/kWhは、電気料金の値下げと「地熱税」の導入に振り分けることができる。

これは、電気料金が1kWh当たり7.5円値下げされて17.5円程度になる事を意味する。値下げ幅は、約30%である。

一方、値下げされた電気料金1kWh当たり17.5円の内、7.5円は「地熱税」として国庫の特別会計に収納される。税率は約42.9%である。

2014年度の販売電力量の合計は8230億kwhであったので、2014年度相当の「地熱税」徴収総額は、約6兆円と概算される。これは、現在導入済みの消費税とオーダーで匹敵している。

「地熱税」の税収が多い場合は、国家予算の「一般会計」に振り分けることもできるし、地熱税そのものを軽減することも可能である。一般会計に振り分けられれば、国家予算の「財政再建」に役立つことにもなる。

結 論

今回の調査からは、「日本は『地熱資源大国』であり、日本の地熱発電メーカーは世界有数の技術力と実績を持っているにもかかわらず、日本国内の地熱資源の開発は全く遅れており、経済産業省が平成27年7月に発表した『長期エネルギー需給見通し』では、日本の電力を供給する『電源構成』の中に占める地熱発電の割合は僅かに1%程度である。この現状の主な原因は、既存地熱水源の権利が温泉業者にあることと、地熱水源の探索が難しいことである。しかし、火力発電を地熱発電に置き換えることが出来れば、エネルギー資源の純国産率（自給率）を大幅に改善できるばかりか、CO₂排出量も劇的に改善でき、更には、種々の情勢に影響されない安定して供給できるベースロード電源を得ることができる。」などのことが解った。

また、経済産業省が平成27年7月に発表した「長期エネルギー需給見通し」の中には、その数値結果を導いた根拠となる「方程式」が明記されていないので、その数値結果の細部を他者が検証する事は難しく、再現性を期待する事も困難であることが解ったが、ポートフォリオの手法を応用すれば、5種の独立な電源で書き下された「5元連立方程式」の最適解をコンピュータによる数値計算で求める問題に帰結させることができ、「検証性」や「再現性」を改善できることが解った。ただし、その解は未だ得ておらず、筆者にとっては、今後の研究課題である。

「温泉業者との利害調整」については、国家プロジェクトとして地熱水（温泉）源を大規模に探索することで新規の地熱水（温泉）源を発見する事ができ、それを温泉業者と地熱発電業者が共同利用するように国ないしは都道府県知事が仲介斡旋することで問題が解消する可能性があることが解った。

また、「地熱水源の探索が難しいこと」については、「ミュオグラフィ」や「地震波トモグラフィ」などの地震研究の最新技術を応用することで問題が解消する可能性があることが解った。

即ち、地熱発電を促進するためには、「地熱源探索の国家プロジェクト」と「地熱源探索に関する新技術の開発」および「地熱源の共同利用の促進」が重要な政策である。

これらの政策を実施するためには、国家予算としての財政的な裏付けが必要であるが、火力発電を地熱発電に置き換えることで、電気料金を抑制することが可能で、その余裕分の一部を「地熱税」として徴収することで、「地熱発電促進事業」のための「特別会計」を新設することも可能である。

謝 辞

尚美学園大学教育支援センターメディアセンターのスタッフの皆様方には、常日頃、多大なお世話になっている事を心より感謝致します。

引用文献

- 渥美好司、「原発メーカー」、『知恵蔵2015』、朝日新聞社、2015年
- 電気事業連合会、「2014年度分 電力需要実績（確報）」、2015年4月30日
- 電力中央研究所、「未利用地熱資源の開発に向けて—高温岩体発電への取り組み—」、『電中研レビュー』第49号、2003年3月
- 富士電機、富士電機のホームページ、https://www.fujielectric.co.jp/products/index.html#products_01 (accessed 2015.11.13)
- Hiroyuki K.M.Tanaka, Taro Kusagaya, Hiroshi Shinohara, 'Radiographic visualization of magma dynamics in an erupting volcano', *Nature Communications*, 2014/3/10
- 社団法人 火力原子力発電技術協会、「地熱発電の現状と動向」、2007年
- 経済産業省資源エネルギー庁、「地熱発電について」、経済産業省資源エネルギー庁のホームページ、http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/geothermal/ (accessed 2015.11.13)
- 経済産業省、「長期エネルギー需給見通し」、平成27（2015）年7月
- 業界動向サーチ、「電力業界 基本情報（平成25-26年版）」、<http://gyokai-search.com/3-denryoku.html> (Accessed 2015.11.16)
- Markowitz Harry M, 'Portfolio Selection', *The Journal of Finance*, 7 (1), 1952, pp.77-91
- Matsubara, M. and K. Obara, 'The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate', *Earth Planets Space*, 63, 2011, P.663-p.667
- 三井住友海上火災保険（株）・あいおいニッセイ同和損害保険（株）・（株）インターリスク総研、「太陽光発電事業事故リスクハンドブック」、2015年11月9日
- 三菱日立パワーシステムズ、三菱日立パワーシステムズのホームページ、http://www.mhps.com/products/detail/diasys_sol_geo.html (accessed 2015.11.13)
- 村岡洋文、坂口圭一、駒澤正夫、佐々木進、「日本の熱水系資源量評価2008」、『日本地熱学会誌』、Vol.30 Supplement P、日本地熱学会、2008、B01-B31
- NHK、「東日本大震災アーカイブス」、<http://www9.nhk.or.jp/311shogen/> (accessed 2015.11.13)

- NHK、「透視調査で『原子炉に核燃料なし』福島第一原発」、『NHK NEWSWEB』、2015年3月19日
http://www3.nhk.or.jp/news/genpatsu-fukushima/20150319/2058_toshi.html (Accessed 2015.11.20)
- 日本地熱協会、「世界の地熱発電」、日本地熱協会のホームページ、<http://www.chinetsukyokai.com/information/sekai.html> (accessed 2015.11.13)
- 小田義也、「地震波で見た箱根火山の地下構造」、『神奈川博調査研報（自然）』、13巻、2008年、p171-p186、
産業技術総合研究所地質調査総合センター、「国立国定公園の活火山」、2015年9月
https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/park.html (Accessed 2015.11.20)
- 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、「JOGMEC NEWS」、Vol.31、2012年12月
総務省法令データ提供システム、「温泉法」、総務省、<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S23/S23HO125.html>
(Accessed 2015.11.20)
- 総務省法令データ提供システム、「自然公園法」、総務省、<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S32/S32HO161.html> (Accessed 2015.11.20)
- 田中宏幸、「宇宙線で火山を透視する」、『日経サイエンス』、日経サイエンス社、2014年6月号
- 田中宏幸、「素粒子で地球をのぞく」、『東京大学地震研究所ニュースレターPlus』第2号、東京大学地震研究所、2008年4月30日
- 地熱発電に関する研究会、「地熱発電に関する研究会/中間報告」、平成21（2009）年6月
東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、「国会事故調 調査報告書」、平成24（2012）年6月28日