

持続可能な社会経済システムの構築に向けた若干の問題提起

—アイスランドと日本の地熱発電を事例に—

専修大学商学部 阪本将英

Challenges in Building Sustainable Socioeconomic System :
Examples of geothermal power generation in Iceland and Japan
Senshu University, School of Commerce Masahide Sakamoto

日本は、世界3位の地熱資源量(2300万kW)があるにもかかわらず、実際の発電量は53万kWと3%にも満たない。この背景には、日本において再生可能エネルギーの利用とその波及効果に対する認識の不足やその普及促進に向けた環境政策の不備などがあげられる。

このことを踏まえ、本稿では、持続可能な社会の実現のための方策の一つとして、太陽光や風力に比べて、安定的な供給源となる地熱の包括的利用のための制度設計について、アイスランドと日本の地熱発電の事例をもとに若干の問題提起を行った。

キーワード：再生可能エネルギー、地熱発電、持続可能な社会

Despite having the third highest geothermal resources in the world (23 million kW), the actual geothermal power generation in Japan is currently at 530,000 kW, which is less than 3% of its power output. Japan has inadequate awareness about the usage and positive knock-on effects of renewable energies, and it lacks an environmental policy to promote their use.

In this paper, we discuss some challenges in designing a system for comprehensive use of geothermal energy, a more stable power source than solar power and wind power in Japan, as a measure to create sustainable society. We base our discussions on the cases of geothermal power generation in Iceland and Japan.

Keywords : Renewable energy, Geothermal power generation, Sustainable society

はじめに

本稿の目的は、持続可能な社会(Sustainable Society: SC)の実現のための方策の一つとして、再生可能エネルギーの自給率を高めていくことの意義について述べたうえで、太陽光や風力に比べて、安定的な供給源となる地熱の包括的利用のための制度設計について若干の問題提起をすることにある。

日本は、世界3位の地熱資源量(2300万kW)があるにもかかわらず、実際の発電量は53万kWと3%にも満たない。このことは、再生可能エネルギーの利用とその波及効果に対する認識の不足とその普及促進に向けた環境政策に何らかの不備

があることを示すものである。これに対して、アイスランドは、再生可能エネルギーのなかでも、日本と同様の火山国であるという自然特性を生かして、地熱発電を包括的に利用するための仕組みを構築している。

このことを踏まえ、本稿では、第一に、再生可能エネルギーの普及に向けた各研究分野のアプローチを大別したうえで、SCの概念について述べる。第二に、再生可能エネルギーを普及促進することの社会的意義を明らかにする。第三に、アイスランドと日本の地熱発電を事例に、SCを実現するための制度設計について若干の検討を行う。

1. 再生可能エネルギーの利用のための分析 枠組み

ここでは、再生可能エネルギーの利用に向けた各研究分野のアプローチについて大別したうえで、持続可能性の概念についてふれる。

再生可能エネルギーに関する分析枠組みは、主に、①発電のための技術研究、②立地に向けた地層構造などの環境影響評価に関する研究、③環境効率性に関する研究、④経済的手法（補助金や課税等）に関する研究、⑤自然再生エネルギーの普及・促進による地域自立のための社会経済システムの研究、の五つに分類できる。上記①から③については工学や理学、地学などの自然科学分野の研究が中心となり、上記④については経済学や経営学、法学などの社会科学分野からの研究が多く、上記⑤は自然科学と社会科学の学問領域を超えた包括的な研究分野となる。

上記①から③の細かい内容についてはふれないが、例えば、福島再生可能エネルギー研究所・再生可能エネルギー研究センターが進めている研究は、(1) 再生可能エネルギーの大量導入のための中核的要素技術と新システム統合技術、(2) 太陽光発電の高効率化・低コスト化、および、利用効率向上による発電コストの大幅な低減 (3) 地熱、地中熱の適正開発技術などの再生可能エネルギーなどの技術研究が中心となっている（再生可能エネルギー研究センター, 2018）。同センターの試みは、技術の独自性や技術の間の協調性や独立性や自立性、コスト競争力に優れた技術の確立を目指していることから、こうした自然科学分野における総合的な研究においては、上記①から③を満たすものと捉えることができる。上記④については、太陽光や風力などの再生可能エネルギーの電力を通常の市場価格より高めに固定した価格で買い取る固定価格買取制度の意義と制度存続のための課題などについて議論されている（宮本・竹内, 2013；玉田, 2017）。上記⑤については、和田が再生可能エネルギーの市民利用は地域の活性化につながることを実態を明らかにしたこと（和田, 2008）、また、江原が温泉を利用した地域共生のた

めの地熱発電の重要性について述べている（江原, 2013）¹⁾。

ただし、日本では、研究者の間で上記⑤の重要性が認識されていても、自然科学の分野と社会科学の分野の結びつきが弱く、上記①～④の比重が大きくなってしまう。このことを踏まえ、本稿では、上記⑤の視点にもとづき、後ほど再生可能エネルギーを活用した地域自立のための社会経済システムについて若干の問題提起をするが、そのための準備として、以下では、持続可能な社会の考え方についてふれておく。

はじめに、持続可能な社会の基礎的概念となる持続可能な発展（Sustainable Development: SD）について述べる。この概念を普及させたブルントラント委員会の報告書である『Our Common Future』の定義にしたがうと、持続可能な発展とは、「将来の世代が彼らの欲求を満たす可能性を損なうことなく、現在の世代の欲求も満たすような発展」を意味する（WECD, 1987, p.43）。したがって、それは、現在世代と将来世代との間の衡平と現在世代間（先進国と途上国との間の）の衡平を満たすことを目標にしている。

SD の概念を踏まえたうえで、次に、SC について述べる。SC は SD とは異なり、統一的な定義があるわけではない。その理由は、SC は社会を対象としていることから、それは個人と集団との関係性、経済システム、政治体制、文化、芸術、宗教など広範で複雑な要素が絡み合うなかで、国や地域によってさまざまな集団や組織形態が観察できるからである。したがって、本稿では、SD の概念にしたがい、便宜的に、SC を持続可能な発展が享受される社会としておく。そうすると、持続可能な社会とは、現在世代と将来世代の衡平と現在世代間（先進国と途上国）の衡平を満たすような社会となる。ただし、持続可能性を達成するためには、地球の扶養能力の範囲内で社会・経済活動を行うことが前提となるが、ブルントラント委員会の SD の概念にはこの前提が欠けている²⁾。したがって、本稿では、この前提にもとづき、SC を地球の扶養能力の範囲内で社会・経済活動を行うという制約のもとで、SD が享受された社会と

する。

いずれにせよ、人間の生活に必要な不可欠な酸素や水、さらに、光合成の過程で酸素を供給してくれる森林などの自然環境を破壊することは、現在世代にとどまらず将来世代の生活基盤を破壊することになる。したがって、現在世代と将来世代の生存条件を確保するためには、環境を保全するためのシステムが構築されなければならないこと、そのうえで、人々の尊厳が守られる社会経済システムを構築するといった、二重のシステムが機能しなければならない。前者については、資源の枯渇問題や温暖化に対応しつつ、生物多様性を確保するための仕組みが、また、後者については、健康・教育・食糧・衛生等の人間の生存権の保障を重視しつつ、貧困や所得格差の原因となる非正規社員を使い捨てるような日本の雇用システムの是正を目指したものでなければならない。したがって、SC の概念には、資源の枯渇問題や温暖化に対応しつつ、生物多様性を確保するための環境システムと、労働者の間の給付格差の解消と雇用の達成による人間の尊厳の回復、さらには、その延長線上にある地域自立のための社会経済システムの両者を備えた考え方が内包されなければならない。

次章では、このような SD や SC についての考え方を踏まえたうえで、再生可能エネルギーの普及・促進が持続可能な社会・経済の構築につながるのかどうかの判断材料の一つとして、再生可能エネルギーを利用することの意義について述べる。

2. 再生可能エネルギーの利用を普及促進することの社会的意義

ここでは、再生可能エネルギーの利用を国策として推進していくことの意義についてふれておく。エネルギー資源は、経済活動の基礎となるものであるが、日本は化石燃料が乏しく、これらを海外からの輸入に頼っている。現在、日本のエネルギーの自給率は、2017 年の時点で 9.6% と低く、これに対して、日本の一次エネルギーの構成

比は、石油・石炭・天然ガスを含めた化石燃料の依存度は 87.4% にもなる（資源エネルギー庁、2019）。エネルギー政策は、国家存続のための最も重要な戦略となるにもかかわらず、エネルギー資源のほとんどを輸入に依存するという貧弱な国家体制は大きな問題である。日本の社会経済を安定化させるためには、化石燃料の海外依存度を減らし、エネルギーの自給率を高めていくことが求められる。このエネルギー問題を解決していくために注目されているのが、再生可能エネルギーである。

再生可能エネルギーの種類には、太陽光発電、水力発電、風力発電、地熱発電などがあるが、再生可能エネルギーは、化石燃料のように国や地域に偏在しているという土地制約からもある程度解放され、また、環境負荷も小さく、技術的な問題を解決すれば半永久的に利用できる。このことを踏まえ、以下では、日本の社会経済状況に考慮して、再生可能エネルギーの普及促進の意義について述べる。なお、以下の議論を進めていくうえで、以下の参考資料として、表 1 に電源別の発電費用、CO₂ 排出量、政策的課題等を記している。

再生可能エネルギー導入の意義は、第一に、他の化石燃料を主体とした発電方式に比べて温室効果ガス（CO₂）や硫酸化合物をほとんど排出せず、環境負荷が小さいということにある（表 1）。再生可能エネルギーの普及促進は、地球温暖化対策や大気汚染対策につながるという点で重要な取り組みとなる。特に前者については、日本は 2015 年に、地球の平均的な気温上昇を産業革命前の水準に比べて 2℃ よりはるかに低い水準に抑え、1.5℃ に抑制する努力をするなどの中期目標を定めたパリ協定に合意し、さらに菅義偉総理大臣が所信表明演説において、グリーン社会の実現を目指し、2050 年までに日本の温室効果ガスの排出をゼロにするという宣言をしたことから³⁾、再生可能エネルギーの利用率を高めていかざるを得ない。その理由は、この目標を達成するために、原発の稼働率を高めていくことは国際的趨勢から現実的ではないということ、また、日本の火力発電所の発電効率は世界最高水準にあることから、火力発

表 1 各種電源別の発電費用と特性

	発電費用(円/KWh)*		CO ₂ 排出量(g) /KWh	課題
	2014 年	2030 年		
原子力	8.8	8.8	19	・施設の安全管理 ・放射性廃棄物の処理・管理
太陽光(住宅用)	27.3	12.5~16.2	38	・一定の土地が必要 ・自然条件に左右される
風力(陸上)	15.6	9.8~15.6	25	
水力	10.8	10.8	11	
地熱	10.9	10.9	15	・立地の制約 ・地域の理解
天然ガス(LNG)火力	13.7	13.4	599	・資源価格の変動が大きい ・紛争が起きやすい ・他の発電方式に比べて環境負荷が大きい
石油火力	30.6~43.3	28.9~41.6	738	

関西電力 HP「エネルギー問題と原子力」：https://www.kepco.co.jp/energy_supply/energy/nuclear_power/nowenergy/bestmix.html；新エネルギー・産業技術総合開発機構(2014)「NEDO 再生エネルギー技術白書(第2版)」；長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト検証ワーキンググループ(2015)「発電コスト等の検証に関する報告」より、筆者作成

* 発電費用は政策経費を除いたものとなっている

電所を主体としたさらなる CO₂ 排出量の削減は費用の問題に直面することから妥当といえない。いずれにせよ、一国の首相が公式に発言した以上、温室効果ガスの排出をゼロにするための取り組みをしなければ、国家としての信用を失ってしまう。

第二に、化石燃料(鉱物性資源)は採掘できる場所が決まっているため、その所有権をめぐる紛争が起りやすいが、再生可能エネルギーは、技術があれば程度の差はあれ、どこの国でも利用できる。このことは、石油をめぐる戦争や紛争を回避し、エネルギーの平和利用につながることを意味する。2019 年に、イランとアメリカの間で政治的緊張が高まるなかで、ホルムズ海峡付近で日本の海運会社のタンカーが襲撃を受ける事態が起こったが、日本はこのような原油を運ぶシーレーンを海上封鎖されれば経済活動に支障が出てしまう。こうした事態を避けるためにも、日本は再生可能エネルギーの自給率を高めておくことが望ましい。

第三に、災害リスク(災害発生後の事後的被害)の削減につながる。2019 年に、千葉で起こった大規模な停電の原因には、台風 15 号の暴風によって電線や鉄塔が破壊され、配電線(送電網)が断たれたことがあげられる。台風が直撃した後、数

週間にも及ぶ停電は、火力発電所を主体とした大規模発電依存型の電力供給システムの弊害といえる。仮に、当該地域が再生可能エネルギーを主体とした小規模地域分散型の再生可能エネルギーによる電力供給システムを構築していれば、暴風による影響があったにせよ、必要最低限の電力を各家庭に供給できたであろう⁴⁾。また、このような小規模地域分散型システムは、地震や津波被害を受けた地域においても、災害発生直後の人命救助や負傷者の応急措置といった緊急支援から復旧に向けたプロセスにおいても、大規模依存型電力システムに比べて、より早い段階からの電力供給を可能にしたであろう。仮に、再生可能エネルギーによる電力供給システムが地域全体の電力需要を満たさなかったとしても、それは災害時の電力確保のための補助システムになり得る。いずれにせよ、こうした地域保有のエネルギー供給源を確保することは、防災や減災の観点からも望ましい。

第四に、上記の第二から第三に関連するが、新型コロナ・ウイルス(COVID-19)のような疫病による感染拡大によって国境封鎖や輸出制限が行われる場合のリスク削減につながる。なぜなら、多くの国は、被災国に対して派遣隊を送り、人命救助や仮設住宅の建設など様々な支援策を講じるが、新型コロナにより困窮した国へは躊躇するこ

となく渡航禁止措置をとるからである。これは、新型コロナ・ウィルスの感染拡大により判明した新たな教訓といえる。したがって、国は、災害時のリスク削減にとどまらず、疫病による国境封鎖のリスク削減のためにも、再生可能エネルギーの自給率を高めておく必要がある。

第五に、自然再生エネルギーの普及・促進による地域自立のための社会経済システムを構築することにある。これは、地域で風力発電所や太陽光発電所、地熱発電所などを所有することで、その電力を家庭電力や農業生産、産業誘致に用いたうえで、さらに余剰電力を売電することで利潤を増やしていくといった循環的なシステム構築を意味する。この循環的プロセスのもとで、地域住民の間で電力の余剰をどのように活用していくのか、あるいは、地域でいかに雇用を生み出していくのかという関係を築くなかで、地域自立の方向性が定まってくるかもしれない⁵⁾。

上記の第五と関連するが、第六に、再生可能エネルギーの活用は、コロナ後の社会において、地方への企業誘致につながるかもしれない。新型コロナの感染拡大に伴い、企業のオンライン化が進むと、最低限の機能だけを都市部に残し、地方に移転するという企業もでてくるであろう。こうした企業に対して地域所有の電力を安価に供給することで誘致を促し、地域雇用を増やしていくための地域振興策として再生可能エネルギーを位置づけていくことも一案となる。このとき、子育て支援などの社会福祉政策も合わせて提供できるとより望ましいといえる。

その他にも、第七に、企業が気候変動リスクなどを適切に管理しているかどうかの判断材料となる ESG 投資を進めていくうえで、企業戦略において再生可能エネルギーの利用が重要視されている。ESG 投資は、従来の財務情報だけでなく、企業の気候変動リスクを含めた環境 (Environment)・社会 (Social)・ガバナンス (Governance) 要素も考慮したリスク特性を適切に評価し、それを投資判断に利用する取り組みである。欧米の年金基金においては、環境を意識した投資基準を定め、これを満たしていない企業からの投

資撤退を進めるなど、投資家がサステナビリティ (持続性) を投資の軸の 1 つに据える動きが強まっている (日本銀行, 2020, pp.1-5)。当然ではあるが、企業の目的は環境を保全することではなく、利潤の最大化である。したがって、ESG 投資はそのための手段に過ぎない。しかしながら、気候変動による経済的損失などのリスクを考慮し、そのリスク軽減に向けた中長期的な取り組みを行う企業の評価が高まるような投資が行われることは、再生可能エネルギーの活用も指標の一つになることから、持続可能な社会経済を構築していくうえでも望ましいといえる。なぜなら、ESG 投資が国際社会において主流になれば、環境や社会のサステナビリティを考慮した戦略をたてられない企業は排除されることになるからである。

このように、再生可能エネルギーの利用による波及効果は広範囲にわたることから、国は再生可能エネルギーの利用に制限を設けず、中長期的な費用節約と便益の拡大を目指したエネルギー政策をつくるべきである。次章では、地熱を主体とした持続可能な社会経済システムを構築しているアイスランドの事例をみていくことにする。

3. 持続可能な社会経済システムの構築に向けた取り組み —アイスランドと日本の地熱発電を事例に—

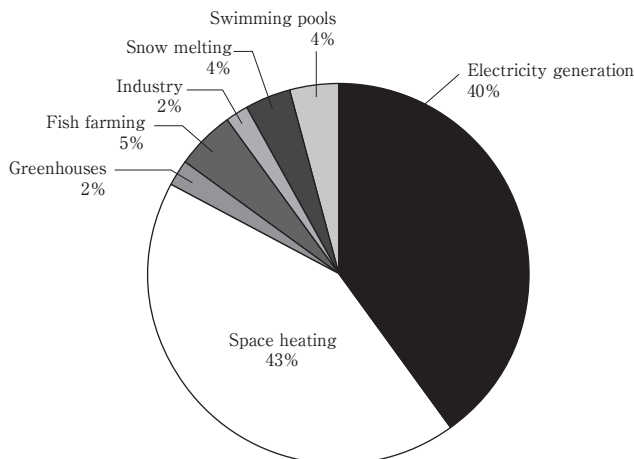
3.1 アイスランドの地熱発電の概観とその取り組み

3.1.1 アイスランドの地熱利用の概要

アイスランドの人口は 34 万 8450 人で、これらのうち 22 万 2484 人がレイキャビック市を含めた首都圏に居住している⁶⁾。面積は、約 10 万 3000 km² で、位置はグリーンランド (北極) の近くで、火山は 200 以上ある。主な産業は観光業と漁業で、電力生産は水力発電が 7 割、地熱発電が 3 割となる⁷⁾。

アイスランドは、天然資源が乏しく、20 世紀の中頃までは、ヨーロッパの最貧国の一つであり、主要エネルギーは泥炭と輸入した石炭に依存していた。その後、国策として、安い電力を売りに、

図1 地熱利用の内訳



(出所) Orkustofnun "Direct Use of Geothermal Resources" (<https://nea.is/geothermal/direct-utilization/nr/91>)

海外からの産業誘致を進めた⁸⁾。石油危機に直面した同国は、化石燃料に依存したエネルギー政策を見直し、再生可能エネルギーを主軸としたエネルギー政策に転換した。その一方で、アイスランドの経済は、金融業に傾倒し、集めた投資マネーの運用先とした。またその一方で、アイスランドの経済は、集めた投資マネーの運用先がサブプライムローン商品であったことから、2007年のサブプライムローン住宅危機に端を発した世界金融危機によって、不良債権が膨大化し、通貨暴落を引き起こした結果、2008年に経済危機に陥った。水産物の輸出拡大と観光客の増加で経済危機を脱した後は、地熱発電を主体とした包括的なエネルギー政策をつくるなかで、デフォルトの危機を脱した。アイスランドは、国内電力の3割が地熱発電による生産で、残りの7割は水力発電による生産となっているため、火力発電所や原子力発電所はなく、全ての電力を再生可能エネルギーでまかなっている。

アイスランドでは、幅広く地熱が利用されていて、市内の暖房と給湯は全て地熱発電によって供給されている。地熱利用の内訳は、図1より、電力が40%、暖房が43%、温室栽培が2%、養殖産業に5%、除雪が4%、温水プールが4%となっている。

さらに、同国では、地熱の国内利用にとどまら

ず、地熱利用のためのノウハウをアメリカやドイツ、中国、インドネシアなどの他国に伝えるといった国際開発支援を行っている⁹⁾。その他にも、地熱発電所の見学、ブルーラグーンのような地熱を利用した巨大な温泉スパの建設など、観光業への積極的な地熱利用も行っている。

同国のヘトリスヘイジ発電所は、国内最大の地熱発電所で世界第2位の規模の地熱発電所である(写真1、写真2)。同発電所は、2006年に三菱重工の45メガワットの蒸気タービン2基をもとに電力生産を開始し、2007年には東芝の33メガワットの蒸気タービンを追加した。2011年には、45メガワットの蒸気タービンが2基追加された¹⁰⁾。このように日本企業がアイスランドの地熱発電を支える技術を提供しているにもかかわらず、日本国内における地熱の発電率からは、地熱の発電技術が活用しきれていない実態が浮き彫りになっている。このことは、社会に貢献する技術であっても、法制度に不備があると、その技術が市場で有効活用されないことを示すものである。この地熱をめぐる法制度の問題については、3.2.1で述べる。

3.1.2 国境を越えたアイスランドの再生可能エネルギー利用計画

アイスランドは、漁業関係者の反対や捕鯨の間

写真1 ヘトリスヘイジ発電所（東芝製蒸気タービン）



(出所) 筆者撮影

写真2 ヘトリスヘイジ発電所（外観）



題もあり EU 加盟国ではないが、欧州経済領域 (European Economic Area: EEA) に加入している。EU コミッションが、「ヨーロッパエネルギー安全保障戦略 (EESS)」において、域外のエネルギー依存度を下げていくための域内供給の多様化計画をつくった (加藤, 2017, p.144)。アイスランドは、EEA に参加していることから EU との結びつきが強く、EU 域内への海洋ケーブルを用いた電力輸出に期待をしている。その中心となるのが、国営企業である Landsvirkjun の IceLink 事業である¹¹⁾。

Landsvirkjun は、60 年以上も前に、海底ケーブルを介してアイスランドの電力網とスコットランドの電力網を接続する IceLink 事業の提案を行っていた。このプロジェクトの実現可能性については過去 30 年間で定期的に評価されてきたが、技術的には可能であっても、採算性の問題から有益な事業とみなされてこなかった。しかし、2009 年から 2010 年にかけて、Landsvirkjun と事業分割によって設立された Landsnet が行った共同研究によって、同プロジェクトの実現可能性が示されたのである。この共同研究においては、欧州の電力価格の上昇と再生可能エネルギーへの需要の増加によって、このプロジェクトが経済的に実行可能であるとの見解が述べられたのである。2013 年には、Landsvirkjun、Landsnet、イギリスの電力事業会社である National Grid が提携することで、同プロジェクトは IceLink と名づけられ、その実現可能性が調査されるようになった。2015

年末に、イギリスとアイスランドの両首相は、IceLink を評価し、その実行に向けた助言をするためにタスクフォースを設立した。2016 年に、両政府は社会経済的利益にもとづいて IceLink の実現に関心を示したが、タスクフォースは、その実現可能性や準備作業に関して、5 年ほどの研究期間が必要であること、さらに、同事業が次の段階に入った場合、ケーブルの製造や設置、施設の建設などに、さらに 5~6 年かかるとの見解を示した。

このように Icelink の推進は困難をとまうが、以下の点で両国にとって有益な事業であると考えられる。

第一に、IceLink は、再生可能エネルギーによる電力をイギリスに供給するためのプロジェクトであることから、電力余剰のあるアイスランドには、新たな電力市場の開拓につながる。同事業は、アイスランドにおいて、採算性や運用上の制限のために現在利用されていない再生可能な水力システムによる余剰エネルギーの輸出機会を提供するであろう。また、同事業では、水力発電や太陽光発電、風力発電などのエネルギー・ミックスによって、再生可能電力の安定供給を目指すと同時に、地熱発電の利用を促進していくことで、電力供給システムを強化するものとなっている。

第二に、イギリスは、温室効果ガスの排出削減に取り組むなかで、発電費用と温室効果ガスの二重の削減につながる。イギリスは低炭素社会を目指すなかで、アイスランドの安価な再生可能電力

を利用することで費用の節約になる。また、同事業は、イギリスに対する再生可能電力を供給するためのプロジェクトとなっており、年間で5TWh超の再生可能電力を輸出し、160万世帯に電力を供給する可能性についてふれている。このように、IceLinkは、アイスランドとイギリスの双方の事業者に新たな市場を生み出すことになる。

したがって、アイスランドとEUを海底ケーブルで結ぶ電力輸出事業は、再生可能エネルギーを安価につくれるところから、電力の生産費用が高い国に送電することで、費用の削減と温室効果ガスの削減の両方を達成することになる。こうした電力を融通する仕組みは、再生可能エネルギー関連市場を活性化していくものとなる。さらに、アイスランドとEUの間の再生可能電力を通じた結びつきは、エネルギー資源にもとづく国家安全保障体制の構築につながる。

その他にも、Landsvirkjunは、国内の電力ネットワークを築きつつ、地熱を主体とした国内ネットの構築、農業や観光業の促進、さらにはヨーロッパ各国のサーバー管理をアイスランドに集積させるデータセンターをつくるなどの多様な試みを行っている。同社にサーバー管理を依頼する国は、アイスランドの電気料金が自国のそれよりも安価であるうえに、アイスランドの気温の低さがサーバー管理に適しているという二重のメリット

を求めて進出しているのである。

いずれにせよ、アイスランドの地熱を主体とした再生可能電力は、一般家庭への利用にとどまらず、農業、産業、観光業、さらにはIT関連事業と幅広く利用されるなかで、さらに海外企業の電力需要まで満たしている。地熱は再生可能エネルギーであることから、その利用は地球の扶養能力の範囲内で行われることになる。さらに、アイスランドの地熱利用は国内と地域の発展にとどまらず、海外送電網事業のように将来を見据えた事業を展開していることから、SCの達成を目指した取り組みとなっている。

3.2 日本の地熱発電の包括的な利用にもとづく社会経済システムの構築について

3.2.1 日本の地熱発電の現状と課題

日本は、世界3位の地熱資源量(2300万kW)があるにもかかわらず、実際の発電量は52万kWと3%にも満たない(表2)。このことは、地熱利用の波及効果に対する認識不足とその普及・促進に向けた制度設計に何らかの不備があることを示すものである。事実、日本のメーカーは、3.1のヘトリスヘイジ地熱発電所の例で示したように、早くから地熱発電機器の製造技術を確立し、世界中に輸出してきた。地熱発電用タービンは、東芝、富士電機、三菱日立パワーシステムズの日本

表2 世界の地熱発電の動向

国名	地熱資源量(万KW)	地熱発電設備容量(万KW)
アメリカ	3000	345
インドネシア	2779	134
日本	2347	53
ケニア	700	59
フィリピン	600	187
メキシコ	600	102
アイスランド	580	67
エチオピア	500	1
ニュージーランド	365	101
イタリア	327	92
ペルー	300	0

(出所) 資源エネルギー庁 (2017) 「地熱資源開発の現状について」
(www.meti.go.jp/shingikai/enecho/.../022_04_00.pdf)

メーカーの3社で全世界の67%のシェアを占めている¹²⁾。このことは、日本企業の地熱発電技術が優れていることを示すものである。それにもかかわらず、日本国内で地熱発電の技術が十分に活用されてこなかった背景には、以下のものがあげられる。

第一に、日本の法律とその特徴にある。地熱の採掘場所の多くが国立公園にあるため、地熱開発に制限がかかったことがあげられる。地熱利用が可能な場所の多くが自然公園法によって定められている特別保護区や特別地域にあるため、開発の許可が下りなかったのである。現在、法改正によって、開発地域も合意できる案件であれば許可されるようになったが、地熱開発のための規制は依然として厳しいといえる。その背景には、地熱資源開発のための基本法がなく、地熱に関する法律は、温泉の保護を目的とした温泉法ほか全てが規正法であり、許認可も多様な部署にわたっていることがあげられる（江原, 2016, p.8）。

第二に、地元の温泉協会との関係があげられる。地熱発電による温泉の枯渇問題への懸念から、地熱開発を希望しても温泉関係者から反対され、地熱開発ができないという実態があった。これに対して、日本地熱学会の報告書からは、地熱開発地域との間で地熱発電の知見を共有することで、地熱開発により温泉が枯渇するという誤解が解消できた事例が示されている（日本地熱学会, 2010）¹³⁾。したがって、地熱利用を促進していくためには、地熱開発地域（温泉関係者）と地熱開発業者、さらには識者や自治体との間にパートナーシップを築くなかで相互理解を深めることが重要となる。

第三に、エネルギー政策の中心が原子力発電と火力発電を用いた開発にあった。政府は、長らく原発を安価で安全なエネルギー源としたうえで、発電に際しCO₂排出量も少なく、低炭素社会の構築に欠かせないとして、エネルギー政策の中心に据えた。しかしながら、2011年の福島第一原発の事故によって原発の新設や増設は難しいことから、再生可能エネルギーの自給率を高めていかざるを得ない。そのためには、エネルギー政策

の根本を見直すなかで、自然公園法や温泉法などの規制を緩和していく必要がある。

いずれにせよ、日本で地熱開発を進めるためには、政府によるエネルギー政策の見直しにもとづき、自然公園法や温泉法といった規制を中心とした法体系の柔軟な法整備と許認可の窓口の一本化といった法整備が求められる。

3.2.2 地熱発電にもとづく社会経済システムの構築に向けて

ここでは、地熱利用を主体とした社会経済システムの構築について若干の問題提起を行う。

地熱発電所の建設には、開発地域の環境影響調査（温泉モニタリング）を行うなかで、地表調査や調査井掘削、噴出試験、事業性評価など、いくつものプロセスを経なければならない。その一方で、地熱発電所の建設に向けた地域住民の理解をどのように深めていくのか、また、自然公園法や温泉法による法的制約をいかにクリアしていくのかといった問題もある。しかしながら、こうした困難がありつつも、地熱発電は、太陽光発電や風力発電に比べて気候条件の変化を受けず、安定強化が見込まれるという利点があるうえに、日本には豊富な地熱資源量があるにもかかわらず、地熱が有効活用されていないという現実がある。これらを踏まえ、以下では地熱利用の大枠を示したうえで、地熱利用に向けた費用負担のあり方についてふれる。

はじめに、地熱利用の方向性についてふれておくと、第一に、太陽光発電や風力発電と同様に、地熱を再生可能電力源の主軸とする。そのためには、パリ協定ならびに2050年の温室効果ガスの排出ゼロを目指すための温室効果ガスの削減効果とエネルギー自給率の向上に向けた安全保障体制の構築に寄与するエネルギー源として地熱を位置づけることが重要となる。菅首相の所信表明のとおりに、2050年に温室効果ガスのゼロ排出を目指すのであれば、その達成に向けた地熱開発はまだ間に合うであろう。

第二に、政府や自治体は、アイスランドのように地熱を包括的に利用するための社会経済システ

ムを構築することで、地域の自立や発展を促す。地熱利用による農業や観光業の推進、データセンターの集積といった、地熱の包括的利用を進めていく。これについては、(1) 園芸用ハウスの空調熱源、冬場の温室栽培のための電力供給を行う、また、電力会社であれば発電に利用できない余剰熱を周辺農家に提供することで農業の費用節約に貢献する、(2) 地熱発電による施設の観光ツアーやそれに伴う環境学習などを取り入れるなど観光事業を推進していく、(3) 地震や津波などの災害リスクの低い場所を選択し、そこに地熱利用によるデータセンターとしての集積基地をつくることなどが考えられる。こうした取り組みを進めていくことも地域発展につながるかもしれない。

その一方で、政府あるいは自治体主導で、コロナ後の社会情勢も考慮し、雇用政策の一環としての安価な電力供給による産業誘致を進める。これについては、地域の雇用を優先する企業については、相対的に電気料金を安くするなどの措置をとることで、コロナ後の企業の移転需要を見込む。電力会社が所有するような大規模地熱発電は、計画から稼働までのリードタイムが10~20年と長く、また、坑井掘削等の初期投資費用が数億円と大きく、ハイリスク・ローリターンにみえるかもしれない。しかしながら、ある程度の電力確保が見込まれるのであれば、国の補助を受けつつ、地熱利用にもとづく地域振興策の一環として位置づけることも可能となる。

第三に、地域所有の小規模発電施設による電力供給システムの構築を目指す。これは、上記の第二の(1)と(2)とも関連するが、町村単位の小規模発電のもとで、地域の家庭電力の供給、災害時の電力補助システム¹⁴⁾、余剰電力の活用など、地域住民が自活するための電力を確保することが目的となる。この場合は、地域で地熱発電所を所有することになるので、施設の建設に対する合意形成も図りやすいであろうし、反対運動も起こりにくいと考えられる。ただし、地熱発電所(バイナリー発電所)の建設を地域で主導していくためには、その建設によるメリットとは何であるのか、その認識を住民の間で共有する必要がある。こう

したプロセスを通じて、地熱利用による地域の将来計画のための議論も進んでいくことになる。このことは、小規模なレベルでの雇用創出、さらには過疎化の脱却に向けた取り組みにつながるかもしれない。

ただし、地熱発電を普及促進していくためには、その建設費用やランニング・コストをどのように負担していくのかという問題に直面する。表1より、地熱の発電費用は、以前と違って、他の再生可能電力の発電費用と比較して安価な部類に入るが、今後、地熱発電所の建設を進めていくためには、次に、利害関係者の間で費用負担や出資形態について検討しておく必要がある。

それは、①電力会社と自治体、地元住民との共同出資により地熱発電所の開発を行うことにある。出資形態については、住民の出資比率を最も低くする、あるいは自治体ベースに出資金を組み込むことで新たな住民負担をゼロにしてもよい。重要なことは、形式上、地熱開発に地域住民が関わっていることにある。住民が地熱の共同出資者になれば、地熱発電所の建設に理解が得られやすく、包括的な地熱利用のためのネットワークの構築につながるであろう。自治体は、電力会社と住民との間の調整役として、また、住民からの地熱利用案が出されたときの窓口としての役割を担うことになる。

ただし、地熱利用を促進するためには、共同出資者の間で、地熱発電の発電目標を定め、その達成を義務づけたうえで、その代わりに、共同出資者の代表は、政府に電力会社の地熱電力の固定価格での買い取りを交渉し、電力会社の利益を確保するための仕組みをつくらなければならない。

上記①と関連し、②政府は地熱発電所の開発を地方振興策の一環として位置づけることで、地熱発電所の建設費の大部分を補助金事業からの支出とし、その一方で、地熱電力を一定の価格で買取するための法的枠組みをつくる。こうした仕組みのもとで、地熱発電に要する固定費用と可変費用を含めた総費用が抑制できれば、当該地域に進出してくる企業に対して、通常の電気料金より安価に電力を供給することができる。このとき、地域貢

献の割合に応じて、企業の電気料金にウェイト付けすることも一案である。地域雇用を率先して行う企業に対して、電気料金を相対的に安くするなどの措置をとることは、地方移転を考えている企業を後押しするものとなる。

③地域住民ならびに市民の融資によって、地元還元型の小規模バイナリー発電所をつくり、地域活性化にむけた地域参画を促す。出資者の大半は、金儲けのために融資しているのではなく、再生可能電力を主体とした地域の取り組みを支援することを目的としている。したがって、例えば、地域と出資者との間で、さらには、両者と自治体との協同のもとで、バイナリー発電所の観光ツアーを企画したり、環境学習の場を提供したりするなかで地域の対外発信力を高めていく。こうした取り組みは、都市部の若者や地方移転を考えている企業へのアピールとなる。それによって、地域が潤えば、出資者への配当も支払えるであろう。

いずれにせよ、地熱の利用は、短期の費用で捉えるのではなく、国の安全保障体制を築き地域の自立や雇用政策の一環として中長期の便益を確保するという観点から捉えるべきである。

おわりに

地熱を含めた再生可能エネルギーの普及促進は、自国のエネルギー自給率を高め、災害リスクを軽減するなかで自国の安全保障を築き、さらに、地域の自立や雇用の創出につながる。こうした視点にもとづき、本稿では、持続可能な社会を享受するための地熱利用の制度設計について述べた。

その第一は、太陽光発電や風力発電と同様に、地熱を再生可能エネルギー政策の主軸にする。第二に、地熱を包括的に利用するためのシステムを構築することで、地域の自立や発展を促す。第三に、地域所有の小規模発電施設による電力供給システムの構築を目指すといったものである。また、これらのシステム構築に要する財源については、(1)電力会社と自治体、地元住民との共同出

資方式をとる、(2)地方振興策の一環として、政府は地熱発電所の建設費を一部負担すると同時に、地熱電力の固定価格買取を導入する、(3)地熱利用に向けた地域参画を促すために、地域住民ならびに市民の融資を募るといった方法が考えられる。

アイスランドの地熱電力は、一般家庭にとどまらず、農業、産業、観光業、さらにはIT関連事業と幅広く利用されているうえに、アイスランド政府は、海外送電網事業のように将来を見据えた電力事業を展開している。このように、アイスランドは再生可能エネルギーを主軸とした国家体制を築いているという点で、日本のエネルギー政策とは本質的に異なる。

実際のところ、地熱利用を進めていくためには、①自然公園法や温泉法などの法的規制をどのように緩和していくのか、あるいは、②地元住民の理解を得るのに時間がかかる、③地熱発電所の設置は、計画から稼働までのリードタイムが長いうえに初期投資費用が高いといった課題がある。

しかしながら、こうした法的課題や費用負担の問題を解決し、かつ、地元住民の地熱理解を深めていくことができるかどうかというのは、結局のところ、国や地域がどのような社会経済を目指し制度設計するのかということに依拠する。それと同時に、地域住民は、自治体、電力会社、さらには国と協同するなかで、地域の自立と発展のための仕組みをつくっていかねばならない。こうした国レベルと地域レベルの相互の取り組みが、地熱利用による社会経済システムの構築につながるのである。

謝辞 本研究の成果の一部は、「令和元年度 専修大学研究助成」によって得られたものである。ここに記して謝意を表す。

注

- 1) 江原は、立地のための地層構造の環境評価や地熱利用のための科学技術的方法などを論じつつ、地域共生のための地熱発電の重要性について述べている。詳細は、江原, 2013, pp.44-58 を参照されたし。
- 2) Daly は、ブルントラント委員会の SD の定義がなぜ漠

然としたものになったのかという理由について、「それは、明確に定義された概念をめぐり意見の不一致がでるよりも、漠然とした概念についての合意が得られた方が好ましかったという時代背景にあった」と述べている。Daly, 1996, p.3 を引用している。

- 3) 菅首相は、脱炭素社会を目指し、省エネの徹底、再生可能エネルギーを最大限導入すること、安全最優先で原発政策を進めることなどを述べている。日本経済新聞「所信表明演説」2020年10月27日朝刊6面を参照。
- 4) 北海道胆振東部地震では、大規模停電により系統全体の周波数が低下し、太陽光発電や風力発電の多くは火力発電による調整余力が戻るまで再稼働できなかった。これに対して、蓄電池を併設した太陽光や風力発電については、蓄電池の調整力が利用できたことから、災害の多い日本では、災害時の安定的な電力供給に向けて、蓄電池等の調整力を付加した配電網等による電力供給網の構築も重要となる。資源エネルギー庁(2019)「災害時にも再生可能エネルギーを供給力として稼働可能とするための蓄電池等補助金」(https://www.enecho.meti.go.jp/appli/public_offer/1812/181227a/pdf/3.pdf) を参照。
- 5) ドイツの農村では、村落単位で風力発電や太陽光発電の設備を所有し、その電力を家庭電力や農業生産などに活用するなかで余剰電力を売電するなど、再生可能エネルギーを主体とした地域自立のシステムを築いている。詳細については、和田(2008)；(2016)を参照されたし。
- 6) Statistics Iceland (2018) を参照。
- 7) 地熱の利用には、①地下から高温で高圧の蒸気や熱水を取り出して、それを用いて発電する地熱発電、②アンモニアやベンタンなどの沸点の低い媒体を熱水や圧力の低い蒸気を加熱し気化させて、その蒸気でタービンを回して発電するバイナリー発電などがある。アイスランドの地熱利用は上記①となる。
- 8) 1965年に、アイスランド政府は、自国のエネルギー資源の最適利用を目指し、電力集約型産業内の外国人投資家にアイスランドへの投資を奨励するために Landsvirkjun 社を設立した。
- 9) ORKUSTOFNUN (2009) を参照。
- 10) ヘトリスハイジ発電所の展示資料を参照している。なお、ヘトリスハイジ発電所の設備構造については、以下の文献に詳述されている。Elin Hallgrímsdóttir, 2012, pp.1067-1072。
- 11) Landsvirkjun の Icelink 事業については、Landsvirkjun (2019) ならびに Landsvirkjun “Submarine Cable to Europe” (<https://www.landsvirkjun.com/research-development/submarinacabletoeurope>) を参照している。
- 12) 日本地熱協会「世界の地熱発電を支える日本メーカー」(<https://www.chinetsukyokai.com/information/sekai.html>) を参照している。
- 13) 本報告書では、その他、九州の民間ホテルが温泉を利用したバイナリー発電によって、ホテル運営に必要な電力をつくりだしていることなど、温泉との共生事例を紹介している。
- 14) 一つの例ではあるが、兵庫県美方郡の新温泉町の温泉バイナリー発電所は、地域住民に対して家庭電力を供

給することが目的ではなく、災害時に必要な補助電力を供給することを目的につくられている。具体的には、災害時に電力会社(関西電力)からの電力供給が止まった場合に、湯村の中心部にある指定避難所(共同浴場)に最低限の電力(照明や携帯電話の充電、入浴サービスなど)を供給することが同施設の主な役割となる。こうした取り組みは、指定避難所への避難行動を促すことから、住民の安全確保につながる。

<参考文献>

- 江原幸雄(2013)「地熱発電—温泉利用と地熱発電所の共生を実現するために—」『温泉科学』63巻1号, pp.44-58.
- 江原幸雄(2016)「地熱発電の現状と今後の課題」『電気計算』84巻9号, pp.30-37.
(http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/ider-project.jp/stage2/feature/00000166/file04.pdf)
- 加藤修一(2017)「日本の再生可能エネルギー政策の評価と課題—再生可能エネルギーの固定価格買取制度の改正をふまえて—」植田和弘・山家公雄編『再生可能エネルギー政策の国際比較—日本の変革のために—』京都大学出版, pp.139-174.
- 資源エネルギー庁(2019)「日本のエネルギー 2019—エネルギーの今を知る 10 の質問—」(https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2019.pdf)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2014)「NEDO 再生エネルギー技術白書(第2版)」森北出版.
- 福島再生可能エネルギー研究所「再生可能エネルギー研究センター」(https://www.aist.go.jp/Portals/0/fukushima/images/publication/senterpamph_201408_.pdf).
- 玉田大(2017)「再生可能エネルギー固定価格買取制度の法的問題—投資協定仲裁における争点—」『現代国際通商・投資システムの総合的研究(第3期)』RIETI Discussion Paper Series 17-J-060 (<https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/17j060.pdf>).
- 長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト検証ワーキンググループ(2015)「発電コスト等の検証に関する報告」(https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/006/pdf/006_05.pdf).
- 日本地熱学会・地熱発電と温泉との共生を検討する委員会(2010)「地熱発電と温泉利用との共生を目指して」
- 日本銀行・金融市場局(2020)「ESG 投資を巡るわが国の投資機関の動向について」(https://www.boj.or.jp/research/brp/ron_2020/data/ron200716a.pdf).
- 宮本舞・竹内憲司(2013)「再生可能エネルギー普及のための経済的インセンティブ」『国民経済雑誌』207巻5号, pp.73-85.
- 和田武(2008)「飛躍するドイツの再生可能エネルギー—地球温暖化防止と持続可能社会構築をめざして—」世界思想社.
- 和田武(2016)『再生可能エネルギー 100% の時代の到来』あけび書房.
- 湯村温泉町地域振興課(2018)「湯村温泉—温泉エネル

ギー活用の取り組み―」

Daly, H.E (1996), *Beyond Growth*, Beacon Press, Boston.

Elin Hallgrímsdóttir, Claus Ballzus, and Ingólfur Hrólfsón (2012), “*The Geothermal Power Plant at Hellisheiði, Iceland*” GRC Transactions, Vol. 36(2), pp.1067-1072 (<http://pubs.geothermal-library.org/lib/grc/1030363.pdf>).

Landsvirkjun (2019), *Renewable energy in a sustainable world : Annual report 2019* (<https://annualreport2019.landsvirkjun.com/>)

ORKUSTOFNUN (2009), *Meet Iceland : a Pioneer in the Use of Renewable Resources*

(<https://orkustofnun.is/media/utgafa/H71-OS-veggspj-baeklingur.pdf>)

Statistics Iceland (2019), *Iceland in figures 2018*

(<https://hagstofan.s3.amazonaws.com/media/public/2019/7bc8b111-7479-4739-8aa5-a9b9f5dcf3eb.pdf>)

WECD (1987), *Our Common Future*, Oxford University Press.