

脱炭素社会に向けた政策と地域的な対応

—中小企業参入の可能性—

千葉大学大学院社会科学研究院教授

倉 阪 秀 史

要 旨

地球の平均気温の上昇を1.5℃以内に抑えるために、2050年の脱炭素に向けた取り組みが国内外で進められるようになった。脱炭素社会を実現するためには、省エネルギー投資、代替エネルギー投資を確実に行うとともに、二酸化炭素の吸収・固定を進めることが求められる。特に、大規模火力発電などに依存する集中的なエネルギー供給から、再生可能エネルギー主体の分散的なエネルギー供給に切り替えることが必要となる。

原子力については、事故時のリスク、エネルギー源の枯渇性、最終処分の見通し、廃炉などのコストといった問題が十分に解決されておらず、2050年の世界のエネルギー供給の主力を担うことは難しいと思われる。再生可能エネルギーが世界の主力エネルギー源となる未来を見越して、その分野で日本の主力産業を興すべきである。

分散的なエネルギー供給の実現、地域の風土に合ったかたちの省エネルギー・再生可能エネルギー投資の推進、農林水産業を活用した二酸化炭素の吸収・固定の促進といった脱炭素社会に向けた取り組みの多くは、地域の主体性が求められるものである。このような領域においては、使用する技術的にも投資規模的にも地域の中小企業が参入できる可能性が高い。

域内の民生・農林水産用エネルギー需要を上回る地域的な再生可能エネルギーを生み出している市町村の数が、全自治体の1割に達したが、自治体においては、環境保全の観点から再生可能エネルギーを抑制する方向の政策が広がっていることもわかっている。国は脱炭素先行地域100カ所を2030年までに実現しようとする取り組みを進めているが、自治体の取り組み全体を底上げするための政策も必要である。

集中的なエネルギー供給よりも分散的なエネルギー供給の方が、地域経済効果が大きく、中小企業が参入できる可能性がある。脱炭素社会を実現することで、これまで化石燃料の輸入や地域外からのエネルギー購入によって流出していた富を国内・地域内にとどめ、その富を地域密着型の中小企業が地方創生に活かしていくという政策ビジョンが求められている。

1 脱炭素に向けた政策の動き

(1) 世界で加速する脱炭素への動き

脱炭素（カーボンニュートラル）とは、人の活動に伴って発生する温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させることである。この脱炭素に向けた流れが、2019年ごろから世界的に加速している。そのきっかけを与えたのが、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) が2018年10月に公開した『1.5℃特別報告書』である。この報告書では、地球の平均気温は工業化以前(1850~1900年の水準)と比較して、2017年にはすでに1.0℃程度上昇しており、このままでは2030年から2052年の間に1.5℃高い数値に達する可能性があることが述べられている。また、地球の平均気温の上昇が1.5℃を超えると、後戻りできない悪影響が発生するおそれがあること、地球温暖化を1.5℃以下に抑制することが不可能ではないこと、そして、そのためには2050年前後(2045~2055年)に二酸化炭素の正味の排出量をゼロにする必要があることなどが指摘されている。

2019年には、世界各地で異常気象が頻発した。令和2年版の『環境白書』に記載されているものから紹介する(環境省編、2020)。オーストラリアでは9月から広範囲にわたる森林火災が発生し、700万ヘクタール以上が延焼した。米国では2018年7月から2019年6月の平均降水量が史上最高になり、ミシシッピ川流域のルイジアナ州で7カ月に及ぶ洪水が発生した。欧州では熱波が襲い、6月にフランスで観測史上最高となる46.0℃を記録するなど、6カ国で最高記録を更新した。2020年2月には南極でこれまでの最高気温となる18.4℃が観測された。

また、2015年に締結されたパリ協定では、工業

化以前に比べた世界の平均気温上昇を2℃より十分低く保つとともに、1.5℃までに抑える努力をするという目標が掲げられていたが、2021年のグラスゴー気候合意では、1.5℃努力目標追求の決意を確認しつつ、今世紀半ばの脱炭素を締約国に求めることに合意した。これによって気温上昇を1.5℃を超える水準に上げないことが世界共通の目標となったのである。脱炭素の達成は、目標が2℃であれば今世紀後半まででよかったところ、1.5℃になって2050年までに早まった。

こうした流れのなか、EUは2021年6月28日に、2050年に脱炭素を達成することを義務づける欧州気候法を採択した。この法律には、2030年に温室効果ガス排出量を1990年比で55%削減するという中間目標も掲げられている。米国では、バイデン政権がパリ協定に復帰するとともに、遅くとも2050年までに温室効果ガスの排出量ネットゼロを達成するという公約の実現に向けた取り組みを進めている。

(2) 日本でも広がる脱炭素の動き

2019年、日本政府は、2050年までに温室効果ガスを80%削減することを目標とする「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を閣議決定した。この長期戦略では、今世紀後半のできるだけ早い時期に「脱炭素社会」の実現を目指すとしていた。その後、菅義偉^{すがよしひで}首相(当時)は、2020年10月の所信表明演説のなかで、「わが国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします」と述べた。

2020年11月19日には衆議院で、同じく20日には参議院で、それぞれ気候非常事態宣言が決議された。文面は同じであり、猛暑・台風・豪雨などの深刻な被害に言及し、パリ協定の下で各国が掲げている目標を達成しても温室効果ガスの必要な削

減量には大きく不足することを指摘した後、「私たちは『もはや地球温暖化問題は気候変動の域を超えて気候危機の状況に立ち至っている』との認識を世界と共有する。そしてこの危機を克服すべく、一日も早い脱炭素社会の実現に向けて、我が国の経済社会の再設計・取組の抜本的強化を行い、国際社会の名誉ある一員として、それに相応しい取組を、国を挙げて実践していくことを決意する。その第一歩として、ここに国民を代表する国会の総意として気候非常事態を宣言する」と記されている。

国の取組みに先駆けて、気候非常事態宣言や2050年脱炭素宣言を行っていった地方自治体もある。長崎県壱岐市の2019年9月25日を皮切りに、長野県、神奈川県をはじめ、多くの自治体が宣言を行った。環境省は、2050年までに二酸化炭素排出実質ゼロを表明する自治体を増やそうと働きかけており、2023年3月31日時点で46都道府県、888市区町村(531市、21特別区、290町、46村)が「2050年までに二酸化炭素排出実質ゼロ」を表明した。環境省は、表明した自治体の人口を合計すると約1億2,577万人になったとしている¹。

2 脱炭素社会とはどのような社会か

脱炭素社会を2050年に実現するためには、何をすべきだろうか。地球温暖化という問題は、18世紀後半に始まる産業革命以来の人類社会のあり方に根差す問題である。ジェームズ・ワットが内燃機関の実用化に成功して、人類が利用できるエネルギー量が格段に増加した。このことと引き換えにして、大気中に大量の二酸化炭素が排出され、地球の温暖化が引き起こされた。

化石燃料に依存することによって発生する地球温暖化は、人体にたとえれば、カロリー過多の食品を取りすぎて発生する慢性病のようなものである。地道な体質改善を図ってダイエットすることがその対策となる。食べすぎない(省エネルギー)、低カロリー食品を選ぶ(代替エネルギー)、運動して贅肉を減らす(吸収・固定)といった取り組み(二酸化炭素ダイエット)が必要なのだ。

(1) 我慢する省エネルギーから

構造的な省エネルギーへ

脱炭素社会に向けて、まず行うべきは省エネルギーである。その際に留意すべきは、我慢する省エネルギーを市民に強いるべきではないということだ。適切な設備投資を行うことによって、構造的な省エネルギーを進める必要がある。

日本では、一次エネルギー投入の多くが廃熱(損失)となって捨てられている(図-1)²。適切な設備投資は、この廃熱を有効に利用する方向で、なされなければならない。有用エネルギー分を節約する方向は、経済活動を縮小させるため、産業政策としても望ましくないといえる。

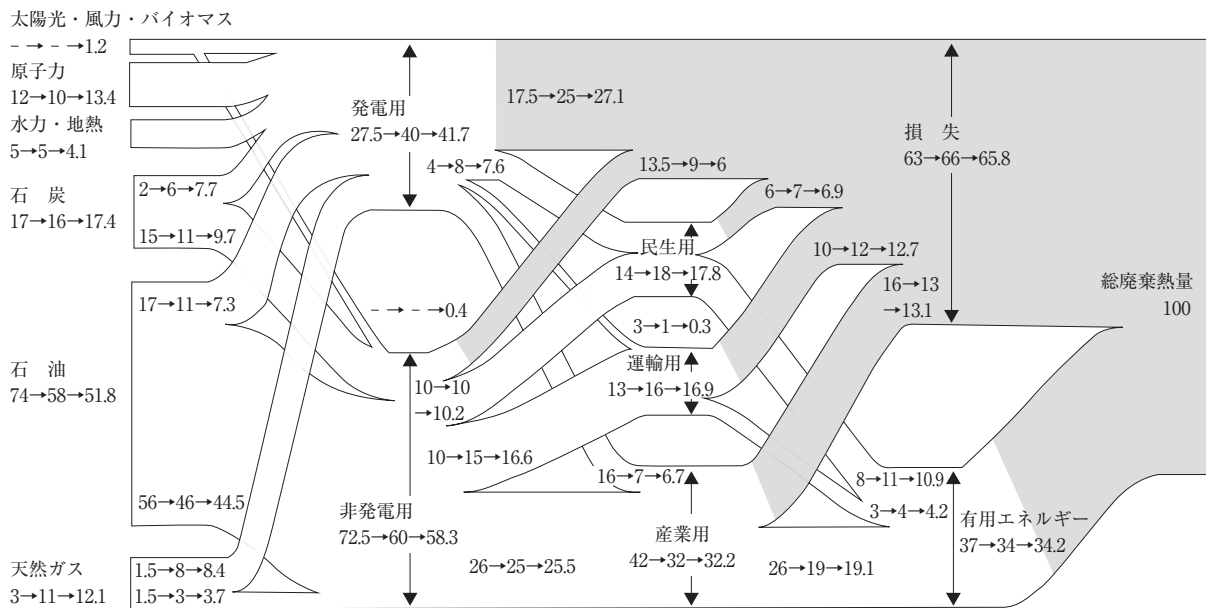
図-1により1970年代から90年代にかけてのエネルギーフローの変化をみると、電化が進むことにより発電部門における廃熱が増加し、燃料用(非発電用)の省エネルギー効果を相殺していたことがわかる。消費地から離れた火力発電所で電気を起こして消費地に運ぶやり方は、発電時に出る大量の熱を利用することができない。最新鋭のコンバインドサイクル発電でも発電効率は60%程度であり、送電ロスも5%程度発生する³。このため、集中的なエネルギー供給から、分散的なエネルギー供給に切り替えることが求められる。具体的には、

¹ 環境省「2050年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の自治体」(2023年3月)(<https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>)を参照。

² 筆者が把握しているなかでは最新である、図-1に示した1997年度のデータでは、一次エネルギー投入の約3分の2が廃熱となって捨てられていた。

³ コンバインドサイクル発電は、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電方式。詳細は電気事業連合会のホームページ(https://www.fepc.or.jp/enterprise/hatsuden/fire/combined_cycle)を参照。

図-1 わが国におけるエネルギーフロー



資料：環境省編（1994）、堤教司「エクセルギーとコプロダクションの原理」（2008年2月）（https://www.energy.iis.u-tokyo.ac.jp/html_seminar/20080229/20080229tsutsumi.pdf）をもとに筆者作成

（注）1 数字は総廃棄熱量を100とした場合の熱量。それぞれ左から、1975年度、1992年度、1997年度のデータである。
2 1975年度と1992年度は、太陽光・風力・バイオマスのデータがない。

消費地に近いところで熱と電気を一緒に供給する、熱電併給（コージェネレーション）を計画的に導入すべきである。熱電併給によって熱が有効に利用できれば、総合的なエネルギー効率は75%から80%になるといわれている⁴。

熱電併給を都市域において普及させるためには、蒸気や温水などの熱媒体を輸送する熱導管の敷設が不可欠である。例えば、将来にわたってにぎわいを確保すべきコンパクトシティの核となるエリアを指定し、そのエリアの熱供給は熱導管から行われるべきことを定めるとともに、熱導管を都市計画上の都市施設として計画的に敷設を進めなければならない。当面は、天然ガスを利用するガス・コージェネレーションを活用するとしても、2050年までに、バイオマス・コージェネレーションなど

の再生可能エネルギーを利用したものに切り替えていくことも可能である。熱導管の実耐用年数は70年といわれているので、2050年以降もそのまま使えるからだ。

民生部門における省エネルギー投資としては、建物の消費エネルギーと生産エネルギーを均衡させるゼロ・エネルギー化がポイントとなる。国土交通省の「脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方検討会」が取りまとめた報告書（2021年8月）では、2030年には、新築住宅・建築物においてネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB）、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）が標準となるべきこと、2050年には、ストックベースで住宅・建築物におけるゼロ・エネルギーが確保されることを目標としている⁵。

⁴ 一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センターのホームページ（https://www.ace.or.jp/web/chp/chp_0030.html）を参照。

⁵ 報告書（<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001419721.pdf>）では、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（Net Zero Energy Building）の略称はZEB、ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（Net Zero Energy House）の略称はZEHが使用されている。

また、冷蔵庫などの耐久消費財も、省エネルギー型への切り替えを進めることが必要である。冷蔵庫については、新しく販売されているものは、10年前のものと比較すると、エネルギー消費量がほぼ半減している⁶。「冷蔵庫を開けばなしにしないようにしよう」と呼びかけるよりも、「古い冷蔵庫は買い替えましょう」と呼びかける方が、省エネルギー効果が大きいうえ、経済の活性化にも寄与する。

運輸部門においては、ガソリン車・ディーゼル車の販売が禁止されていく方向にある。2021年1月に、当時の菅首相が施政方針演説において、日本において「2035年までに新車販売で電動車100%を実現する」と表明した。日本で使用される自動車は、2050年までに電気自動車などの非内燃機関車に切り替わっていくこととなる。

(2) 二酸化炭素排出量の少ない

代替エネルギー源への転換

① 二つに分類される代替エネルギー源

脱炭素社会に向けて、次に求められるのは、二酸化炭素排出量の少ない代替エネルギー源への転換である。この際、代替エネルギーについては、さまざまなシナリオを描き得る。エイモリー・ロビンズに倣えば、ハード・エネルギー・パスとソフト・エネルギー・パスに大別することができるだろう(Lovins, 1977)。

ハード・エネルギー・パスとは、核エネルギーを基盤とする新しい技術開発によって問題を解決しようとするもので、ソフト・エネルギー・パスとは、再生可能エネルギーの活用を基盤として問題を解決しようとするものである。

政府のGX(グリーントランスフォーメーション)実行会議が2022年12月に公表した「GX実現に向けた基本方針～今後10年を見据えたロードマッ

プ～」では、代替エネルギーについて、ハード・エネルギー・パスと、ソフト・エネルギー・パスの二つの方向が混在している⁷。このロードマップには、「過去、幾度となく安定供給の危機に見舞われてきた我が国にとって、産業革命以来の化石エネルギー中心の産業構造・社会構造をクリーンエネルギー中心へ転換する、『グリーントランスフォーメーション』は、戦後における産業・エネルギー政策の大転換を意味する」と記されており、14項目にわたる今後の対応が列挙された。そのなかで、「再生可能エネルギーの主力電源化」に並んで、「原子力の活用」が位置づけられたのである。

そして、「カーボンプライシング導入の結果として得られる将来の財源を裏付け」にして、「新たに『GX経済移行債』を創設し、これを活用することで、国として20兆円規模の大胆な先行投資支援を実行する」とされている。この20兆円の前資をハード・エネルギー・パスとソフト・エネルギー・パスのどちらの方向に振り向けるのかが、今後の日本経済の浮沈を握る鍵になろう。

② ハード・エネルギー・パスの現状

原子力発電と核融合は、ハード・エネルギー・パスに大別される。政府は2022年8月に、それまでに再稼働した原子力発電所10基に加え、2023年夏までに7基の再稼働を目指すことを表明するとともに、グリーントランスフォーメーションの一環として、安全で小型の次世代型原子力発電の開発・新設についても検討することを明らかにした。

しかしながら、ハード・エネルギー・パスについては、科学技術の限界というものがあることが、次第に明らかになってきている。

通常の原子力発電所は、核分裂炉である。核分裂炉の限界は、第1に、事故時のリスクが激甚であること、第2に、燃料のウランが枯渇性であること、

⁶ 環境省のCOOL CHOICEホームページ (<https://ondankataisaku.env.go.jp/shinkyusan>) を参照。

⁷ GX実行会議は、内閣総理大臣が議長を務め、外務大臣、財務大臣、環境大臣と、複数の有識者から構成されている。

第3に、高レベル放射性廃棄物の最終処分場が決まっていないこと、第4に、廃炉のコストがかかることなど、さまざま挙げることができる。

事故時のリスクが激甚なものであることは、福島第一原発の事故によって実感された。事故から10年以上経過しても、広大な地域の生活基盤が失われたままになっている。燃料のウランは枯渇性燃料である⁸。ウランの枯渇性を改善するために高速増殖炉を開発してきたが、ナトリウム利用に課題があり、フランスのスーパーフェニックスも日本のもんじゅも廃炉となった。高レベル放射性廃棄物の最終処分場は、世界ではフィンランドとスウェーデンで1カ所ずつ決定しているが、プレートがぶつかり合う不安定な地盤からなる日本の本土で、10万年の保管が可能な適地を見いだすことは容易ではない。商業用原子力発電所として日本で初めて廃炉を進めている東海原発では、2001年に廃炉措置を開始し、完了までに30年を要する予定となっている。この原発は出力16.6万kWで、一般的な原発が100万kWクラスであることを考えると小規模なものであるが、廃炉に要する費用は当初の見積もりを大幅に超える885億円と想定されている(縄田、2015)。この金額は、この原発の建設費用である465億円⁹を大幅に上回る。

原子力発電所の耐用年数は当初30年といわれていた。1999年に、通商産業省(現・経済産業省)が耐用年数を40年に延長し、十分な管理を行えば60年まで使用可能とした。運転停止していた期間分に限って、60年を超えても使用できるようにしようと検討が進められているが、それでも、既存の原子力発電所はやがて耐用年数を迎え、稼働できな

くなっていく。

このために、政府は、既存の原発のリプレイスから検討を進め、新設・リプレイスに道を開くことによって、原子力発電を将来にわたって維持しようという構えである。

しかし、すでに建設されている原子力発電所を再稼働させるという話と、新設しようという話はまったく異なるということを認識する必要がある。計画が立てられてから運転開始までに要する時間をリードタイムというが、原子力発電所の場合、1970年代は約7.5年、80年代は約17.5年、90年代は25年強と、徐々に延びてきていた¹⁰。福島第一原発の事故を踏まえると、今後の日本において、このリードタイムが短縮できるとは想定しにくい。「安全で小型の新しい」原子力発電所をこれからつくるという話は、2050年には間に合わないだろう。

現状において、世界の電力供給量の約1割が原子力発電によって供給されている。熱源・動力源なども含んだエネルギー供給全体では、おおむね5%である。世界的にみても、原子力発電は、今後、耐用年数を迎え運転停止される分を、中国などにおける新設分で補えるかどうかという状況ではないだろうか。また、もし世界のどこかで次の事故が起こってしまったならば、原発回帰への期待も消えてしまうだろう。

一方、核融合を用いて2050年までに脱炭素を実現しようとするのは、現実的ではない。核融合は2050年には実用化が困難と思われる技術だからである。国際熱核融合実験炉(ITER)は2035年に「実験炉」の運転を開始する予定である¹¹。しかし、

⁸ NEA/IAEA (2021) によれば、2019年1月1日時点におけるウランの既知資源量は1,807万400tU(ウラン換算トン)、2018年の世界のウラン需要は年間5万9,200tUで、現状の需要量で単純に割り算をすると136年で枯渇することになる。

⁹ 藤江孝夫「わが国の原子力発電黎明期における導入の歴史的事実と教訓—英国及び米国パートナーと協業した日本原子力発電(株)の実験を通して—」(2019年6月)(https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/015/51015548.pdf)を参照。

¹⁰ 経済産業省「電気事業審議会 需給部会中間報告」(1998年6月)を参照。

¹¹ ITERは、もともとInternational Thermonuclear Experimental Reactorの略だが、現在の正式名称はITER(イーター)。日本が参加するイーター国際核融合エネルギー機構(The ITER International Fusion Energy Organization)により、フランスに建設されている。

実験炉の後に、技術的実現可能性を検証する「原型炉」、経済的実現可能性を検証する「実証炉」をそれぞれ稼働させて、ようやく実用化に至る。とても2050年には間に合わないだろう。

核融合は、地上では起こり得ないような高温高圧の環境を人為的に実現し、それを維持することが必要となる。小規模に実現しても、規模を大きくすると、さまざまな揺らぎが発生してうまくいかない状況が続いている。また、核融合炉は通常原発の10倍以上の中性子が発生するため、炉材が早く痛み、耐用年数が短い。このため、揺らぎが発生しないように精密に製作した炉材を運転途中で取り替えることを想定しているが、これが高コスト要因となる。核融合炉は、核分裂炉のようにメルトダウン（炉心溶融）するおそれはないものの、使用済みの炉材は、放射性廃棄物として一定期間の保管が必要になる。核融合は、決して万能な技術ではないのである。

③ ソフト・エネルギー・パスの状況

では、再生可能エネルギーの活用を基盤とするソフト・エネルギー・パスで、世界経済や日本経済は回せるだろうか。

再生可能エネルギーは、太陽・月・地球といった天体のエネルギーによって、エネルギー基盤が日々更新されるエネルギー源である。現状において、太陽光発電、風力発電、水力発電、地熱発電、バイオマス発電、太陽熱利用、地熱利用、バイオマス熱利用が実用化されており、2030年代には、波力発電、海洋温度差発電、海流発電など、海洋エネルギー利用が実用化される見込みとなっている。

再生可能エネルギーの特徴として、地勢的な偏在が少ない点を挙げることができる。地熱、水力、バイオマスなどを使えない地域は存在するが、太

陽光、太陽熱、風力などは、世界のどの地域でも利用することが可能である。また、分散的なエネルギーであるため、送電網のようなインフラの整備が不十分な途上国でも活用できるというメリットもある。

このような再生可能エネルギーについては、量が十分ではないのではないかという誤解がある。天然の核融合炉である太陽から地上に到達するエネルギー量は、人類が消費するエネルギー量の1万倍に相当する。狭い国土に稠密な経済活動を行っている日本においても、太陽光だけで現在の消費量の100倍のエネルギーが得られる¹²。

日本は、化石燃料は乏しいが、再生可能エネルギーは豊かである。降水量は世界第6位であり、国土の6割以上が森林で覆われている。世界の1割の活火山を有し、地熱資源は世界第3位である。海に囲まれ、安定的な洋上風力を活用でき、波力・海流力といった海洋エネルギーも開発可能である。

環境省の委託による三菱総合研究所(2015)では、社会的技術的制約を踏まえた再生可能エネルギーのポテンシャルを2050年にすべて実現すれば、2012年の発電量の78%を賄えるという試算が示されている。2050年には人口が2割程度減少する予測であり、人口減少下での省エネルギーと組み合わせれば、十分、再生可能エネルギーのポテンシャルが存在するといえる。

再生可能エネルギーの供給量は変動することが多く、調整力としての火力発電がないと使えないという主張もある。これまで、再生可能エネルギーが供給されすぎた場合に、火力発電の炊き減らしなどで調整してきたことは事実である。しかし、火力発電でないと供給電力量を調整できないというわけではない。エネルギーを貯めて、必要に応じて放出すればよいのである。

¹² 計算方法などは倉阪(2002)を参照。

エネルギーを貯めておく方法としては、蓄電池のように電気で貯めておく方法、揚水発電のように位置エネルギーで貯めておく方法、水素のように物として貯めておく方法、はずみ車(フライホイール)のように運動エネルギーで貯めておく方法などが、すでに使われている。太陽光や風力といった変動する再生可能エネルギーを安定的に活用するためには、このようなエネルギーを貯めておく設備、すなわち蓄エネルギー設備を計画的に設置していくことが必要となる。

エネルギーを貯めるものとしては、蓄電池と水素の二つが将来的に有望である。蓄電池を、現時点において最も安く入手する方法は、電気自動車を購入することである。最新型の電気自動車には、1家庭が3日ぐらい暮らせる程度の電気を貯めておくことができる蓄電池が搭載されている。日本では、世帯当たりの自動車保有台数は1を超えているため、自動車の電気自動車への切り替えが順調に進めば、少なくとも民生用の調整力は、電気自動車に搭載される蓄電池で十分賄える可能性がある。

調整力としては、水素のかたちで貯めておくことも重要であろう。2050年に脱炭素社会を構築する際には、電気だけでは充足することができないエネルギー需要がある。例えば、電気では大型航空機を飛ばすことができない。産業プロセスのなかでも、電気では起こすことができない高温高压が必要な場合がある。従って、どうしてもエネルギー密度が大きい水素を活用する必要があるのだ。現状は、天然ガスの改質などによって水素をつくっているが、水素生産の際に二酸化炭素を発生させてしまう。それを抑えるには、再生可能エネルギーで生み出された余剰電力を用いて、水素を生産することが求められる。

ただ、産業プロセスに投入できる程度に水素をつくり出すためには、余剰電力の利用にとどまらず、水素生産目的での大規模な再生可能エネルギー生

産設備が必要となろう。できれば、国家プロジェクトとして、遠く離れた海上に大規模な洋上風力基地を建設し、水素を生産するのが理想である。核融合のようなリスクを伴う巨大技術と比べて、より確実に実現できるからだ。

すでに送電網などのインフラが整っている国においては、遠く離れた火力発電や原子力発電から消費地に電力を供給するといった集中的なエネルギー供給から、エネルギーを分散的に供給する方向に切り替えていくための社会投資も必要となる。

例えば、日本の現状の送電網は、火力・原子力といった発電所と消費地を結ぶように設計されているが、今後は、地熱・風力などの再生可能エネルギーの適地を結ぶとともに、再生可能エネルギーによる変動を吸収するための地域間電力融通が可能なように設計し直すことが求められている。この送電網は、社会インフラとして、道路と同じように国が主体的に整備すべきではないだろうか。

以上のように、ソフト・エネルギー・パスを支える各種技術は整いつつある。2050年において、世界の主たるエネルギー供給は、原子力発電や核融合であるとは考えにくい。再生可能エネルギーが2050年の主力エネルギーとなる世界を見据えて、必要な社会的投資を行わなければならない。そして、ソフト・エネルギー・パスの分野で、日本の主力産業を興していくことが求められているのである。そこには、中小企業がかかわるチャンスも大いにあるといえるだろう。

(3) 二酸化炭素の吸収・固定

① 二酸化炭素の吸収・固定利用

二酸化炭素の吸収・固定についても、ハード・パスとソフト・パスが存在する。ハード・パスは、技術的に排気ガスや大気中に含まれる二酸化炭素を吸収・固定し、地層中や深海底に封じ込めようとす

る方向である。

日本においては、2012年から北海道苫小牧市にある製油所の水素精製に伴って発生する二酸化炭素を回収し、沖合の地層に貯留させる実証事業が実施された。4年間の設備建設の後、2016年4月から実際に貯留が行われ、2019年11月に30万トンの二酸化炭素の貯留を予定どおり終了している¹³。

30万トンの貯留に成功したわけであるが、日本の年間二酸化炭素排出量は2020年度で10億440万トン、発電部門に限っても4億2,200万トンに上る¹⁴。国内に、油田、天然ガス田などが乏しい日本においては、排出量に比較して、地層中に貯留できる容量が少ない¹⁵。一方、深海底は日本近海に存在するものの、二酸化炭素を注入した場合に発生する環境への影響が懸念される。

このため、回収された二酸化炭素を原材料として利用できる技術が待たれる。その一つに人工光合成がある。この技術は、二酸化炭素と太陽光からプラスチックの原材料などの有用な有機化合物を生成するものである。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と人工光合成化学プロセス技術研究組合が、2019年から実証事業を進めており、2021年には、まず太陽光によって安定的に水素を発生させることに成功している¹⁶。この水素と、回収された二酸化炭素を反応させて、プラスチックの原材料を生成することとなる。これらの技術が実用レベルにまで到達すれば、二酸化炭素の回収が経済性を帯びることになるかもしれない。

② 農林水産業を通じた二酸化炭素の吸収・固定

一方、すでに存在する天然の光合成を活用する方向が、吸収・固定におけるソフト・パスである。特に、日本は、森林面積が国土の約3分の2を占めているため、森林による吸収・固定を活用しやすい国である。ただ、樹木は成長する過程で二酸化炭素を吸収・固定するため、適切に森林を伐採して、植林を進めることが必要となる。従来の林業は急峻な地域に人工林を育成していたため、森林の維持と伐採のコストが高く、外材との競争力を失っていった。林業人口も1985年には12万6,000人だったが、2015年には4万5,000人まで減少した。

2019年には、森林環境税及び森林環境譲与税に関する法律が成立し、2024年から、住民1人当たり年間1,000円の森林環境税が、市町村によって徴収されることとなっている。この税金が林業振興に有効に活用されることを期待したい。長期的には、耕作放棄地などを活用した平地林の育成という視点も必要となろう。また、伐採した木材を用材として活用することが、吸収・固定の観点からは重要である。このため、建造物の木質化などを温暖化対策のメニューに含めて、推進していくことが求められる。

さらに、農業や漁業においても、二酸化炭素の吸収・固定という新しい価値を上乘せしていく余地がある。アルコールの原料となるサトウキビのようなエネルギー作物の育成、堆肥や緑肥の活用による農地での吸収・固定、藻場・干潟・マングローブ林などの拡大を通じた海域での吸収・固定（ブルーカーボン）など、農業や漁業の分野での吸収・固定を検討していく必要がある。

¹³ この実証事業は、二酸化炭素の回収・貯留（Carbon dioxide Capture and Storage, CCS）技術の研究開発を行う日本CCS調査㈱が、経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO）より委託を受けて行ったもの。詳細は同社の2019年11月25日付プレスリリース「苫小牧におけるCCS大規模実証プロジェクト『二酸化炭素（CO₂）の30万トン圧入達成』」（<https://www.japanccs.com/press/20191125-co2>）を参照。

¹⁴ 環境省「2020年度（令和2年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について」（2022年4月）（<https://www.env.go.jp/content/900445425.pdf>）を参照。

¹⁵ 地層中への二酸化炭素貯留には、油田、天然ガス田などに注入する方法が世界的に多く採用されている。

¹⁶ NEDOの2021年8月26日付ニュースリリース「世界初、人工光合成により100m²規模でソーラー水素を製造する実証試験に成功—ソーラー水素の安全な製造と分離・回収技術を確認、大規模化へ前進—」（https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101473.html）を参照。

(4) 気候変動への適応策

脱炭素社会を展望する際には、気候変動への適応についても触れるべきである。前述のとおり、2021年のグラスゴー気候合意において、地球の平均気温を工業化前と比較して、1.5℃を超える水準に上げないことが世界共通の目標となったが、地球の平均気温はすでに1℃程度上がっており、今後も気温上昇が見込まれている。このため、排出削減のみならず、気温の上昇に適応することも重要な課題となっている。

① 気候変動気象データ提供システムにみる

温暖化の影響

すでに日本でも、温暖化の影響が出てきている。その影響を把握できるように、筆者が研究代表者として進めたプロジェクト「基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究」では、「気候変動気象データ提供システム」を構築し、2022年2月に公開している¹⁷。このシステムは、気象庁が公開している過去の気象データから、1981年から2020年までの40年間のデータを抽出し、平均気温、年降水量、1時間降水量の最大値の三つの指標についてトレンドを図示するものである。

気候変動気象データ提供システムにおいては、全国の760地点の観測所データを収録しており、全地点の過去40年間の平均気温、年降水量、1時間降水量の最大値のトレンド(回帰直線の傾き)を把握することができる。データ欠損がある観測所を除く709地点の観測所について、1981年から2020年までの40年間の平均気温と年降水量のトレンドをみ

ると、平均気温が低下傾向にあるのはわずかに4地点、年降水量が低下傾向にあるのは83地点、1時間降水量の最大値が減少傾向にあるのは59地点であった。709地点のトレンドを平均すると、40年間で、平均気温は1.26℃上昇、年降水量は184.2mm増加、1時間降水量の最大値は9.9mm増加している¹⁸。

② 適応策に関する対応の状況

日本では、2018年に気候変動適応法が施行され、気候変動適応計画を策定するとともに、5年おきに気候変動の影響を総合的に評価する報告書を発行するなどの対策を講ずることとされた。気候変動適応計画は、2018年に第1次、2021年に第2次計画が策定されており、気候変動影響評価報告書は2020年に発行されている。

気候変動適応法において、都道府県と市町村は、単独または共同して、地域気候変動適応計画を策定するように努め、また、気候変動の影響と適応策に関する情報提供などの拠点(地域気候変動適応センター)を構築するように努めることとされている。2023年2月現在で、地域気候変動適応計画は、46都道府県、18政令市、130市区町村で策定され、地域機構変動適応センターは、40都道府県、3政令市、12市町村で設置されている¹⁹。

適応策の検討が必要な分野として、気候変動適応計画では、「農林水産業」「水環境・水資源」「自然生態系」「自然災害・沿岸域」「健康」「産業・経済活動」「国民生活・都市生活」の7つが挙げられている(表-1)。それぞれの具体的内容に対する適応策は、地域の風土や暮らしぶりに応じて検討されるべきものばかりであり、基本的に地域主体で進められるべきものとなるだろう。

¹⁷ 環境省・独立行政法人環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20192010)により実施した。通称OPoSUM-DS(Open Project on Supporting-tools for Municipalities towards De-carbonized Societies)。詳細は、筆者の研究室が立ち上げたホームページ(<https://opossum.jp>)を参照。

¹⁸ ただし、個別の観測所のトレンドは、年によってかなりのばらつきがみられることに留意する必要がある。

¹⁹ 国立研究開発法人国立環境研究所の気候変動適応情報プラットフォームポータルサイト(<https://adaptation-platform.nies.go.jp/local/index.html>)を参照。

表-1 気候変動適応計画で掲げられている分野

分野	具体的内容
農林水産業	水稲、果樹、麦・大豆等、野菜等、畜産・飼料作物、病害虫・雑草等、農業生産基盤、木材生産（人工林等）、特用林産物（きのこ類等）、回遊性魚介類（海面漁業）、増養殖業（海面養殖業、内水面漁業・養殖業）、沿岸域・内水面漁場環境等（造成漁場）、野生鳥獣の影響（鳥獣害）、食料需給
水環境・水資源	水供給（地表水、地下水）、水需要
自然生態系	陸域生態系（高山・亜高山帯、自然林・二次林、里地・里山生態系、人工林、野生鳥獣、物質収支）、淡水生態系（湖沼、河川、湿原）、沿岸生態系（亜熱帯、温帯・亜寒帯）、海洋生態系、生物季節、分布・個体群の変動（在来種、外来種）、生態系サービス
自然災害・沿岸域	洪水、内水、高潮・高波、海面上昇、海岸侵食、土石流・地すべり等、強風等
健康	死亡リスク、熱中症、感染症、冬季死亡率等、温暖化と大気汚染の複合影響、脆弱性が高い集団への影響、その他
産業・経済活動	金融・保険、観光業、その他
国民生活・都市生活	水道・交通等、生物季節、伝統行事・地場産業、暑熱による生活への影響

資料：環境省「気候変動適応計画」（2021年10月）（<https://www.env.go.jp/content/900449799.pdf>）をもとに筆者作成

3 脱炭素社会に向けた地域の対応

(1) 脱炭素社会を実現するための地域の役割

さて、これまでみてきた脱炭素社会に向けた取り組みの多くは、地域の主体性が求められるものとなっている。省エネルギー対策の基本は、地域の建造物・耐久消費財の状況に応じて、その更新時期に確実に省エネルギー型のものへと入れ替えていくことである。また、熱電併給のような分散的なエネルギー供給を進めるためには、地域の都市計画との連携を欠かすことができない。人口減少が見込まれる地域においては、将来の人口規模に見合ったまちづくりを進めていく必要があり、まちをたたんでいくことも視野に入れて、コンパクトで省エネルギー型のまちづくりを進める必要がある。

代替エネルギーのうち、ハード・エネルギー・パスの方向は国家的な対応が求められるが、再生可能エネルギー主体のソフト・エネルギー・パスの方向は、地域的な対応が中心となる。洋上風力発電は国家的な対応となるが、それ以外の再生可能エネルギーは、地域の風土に応じたかたちで導入を進

めていくことが必要だろう。

また、農林水産業を通じた二酸化炭素の吸収・固定も、地域の風土に応じて進められなければならない。さらに、適応策についても、地域的な対応が必要であることは、すでに触れたとおりである。

以上のようなローカルな対応が求められる領域については、使用する技術的にも投資規模的にも地域の中小企業が参入できる可能性が高い。大型の風力発電や地熱発電の設置は中小企業のみでは対応ができないが、省エネルギー型の建物を建築すること、太陽光パネルを設置すること、小水力発電を導入すること、太陽熱・地中熱・温泉熱・雪氷熱・バイオマス熱などの熱利用を進めることといった領域は、地域の中小企業が受注可能であろう。

わが国は、これまでエネルギー源を主に国外から輸入する化石燃料に頼っており、2021年には年間17.0兆円が化石燃料の輸入に費やされた。これは、輸入金額全体の84.9兆円の2割を占める²⁰。国内において省エネルギーを進めるとともに、再生可能エネルギーを開発し、脱炭素社会に転換できれば、海外に流出していた国富を国内にとどめることができる。

省エネルギーと再生可能エネルギーの推進が富

²⁰ 財務省貿易統計「品目別輸入額の推移（年ベース）」（税関ホームページ）（<https://www.customs.go.jp/toukei/suii/html/data/y2.pdf>）を参照。

を域内にとどめるという点は、地域においても同様である。国内では、1世帯当たり年間平均で21万円程度が、エネルギー代として支出されている。これまでは、地域外から電気・ガス・ガソリン・石油といったエネルギーを購入してきたが、地域内で省エネルギーを進め、地域の事業者がエネルギーを生産できれば、その分の富が地域にとどまり、地域の雇用も増やすこととなるだろう。

(2) 自治体での再生可能エネルギーの導入

2012年7月に「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(以下、固定価格買取制度)が導入されて以来、地域における再生可能エネルギーの導入が進んでいる。その状況については、千葉大学の筆者の研究室と、NPO法人環境エネルギー政策研究所が毎年行っている「永続地帯」研究において把握されている。この研究は、2006年に開始したもので、2023年で17年目になる。基礎自治体別に、地域的エネルギー自給率と食料自給率を算出しており、この二つの自給率がともに100%を超えている自治体を「永続地帯市町村」と呼んでいる。なお、地域的エネルギー自給率とは、その地域の民生用と農林水産用のエネルギー需要のうち、何%を地域内の再生可能エネルギー供給量で賄えているかを示す。

研究のアイデアは、拙著、倉阪(2002)にさかのぼる。そこでは、将来、再生可能エネルギー基盤の経済社会に転換していかねばならないが、中間段階では、国内の一部の地域から再生可能エネルギー100%の地域が現れてくるはずであり、その地域を明確にわかるようにすれば、徐々にそこへ人と資本が移動していくことになるのではないかという趣旨のことを書いた。出版から20年経って、ようやくその方向で世の中が動き始めたように思う。

なお、「永続地帯」研究では、産業用・発電用(エネルギー転換用)・運輸用のエネルギー供給が、その分母に含まれていない。これは、工場のエネル

ギー消費量を個別に把握することが困難だったこと、輸送用については、どの市町村に帰属させるのかを判断するのが困難だったことなどの理由による。産業部門などは、国が主に担い、基礎自治体は、主に民生部門・農林水産部門を対象にするという役割分担の方が適切という考え方もあった。ただ、今後、脱炭素を進めるに当たって、民間の工場のエネルギー消費量を公開させる制度ができた場合には、これまで除外してきた分野も含めて地域的エネルギー自給率を試算できると考えている。

2022年6月7日に公開された「永続地帯」研究の最新報告書では、2020年度末に各自治体に存在する再生可能エネルギー設備が年間稼働した場合のエネルギー供給量を、基礎自治体別に把握した。その結果、以下のことがわかった。

第1に、2020年度は太陽光発電・風力発電の伸びに支えられ、再生可能エネルギー発電量は前年度と比べて7.6%増加した(表-2)。一方、国の固定価格買取制度の対象外である、再生可能エネルギー熱供給は3.4%減っており、3年連続の減少となった。

第2に、地域的エネルギー自給率の都道府県別ランクでは、秋田県が51.3%で、前年度に続いて1位となった。続く大分県(50.0%)を加えた2県が自給率50%を超えている。3位以下は、鹿児島県(48.3%)、宮崎県(46.1%)、群馬県(39.5%)、三重県(38.1%)、高知県(36.0%)、福島県(35.9%)、岡山県(35.8%)、栃木県(34.1%)と続き、合わせて17県が30%を超えている。

第3に、域内の民生・農林水産用エネルギー需要を上回る地域的な再生可能エネルギーを生み出している市町村(エネルギー永続地帯)の数が、2020年度には174と、東京23区を含む市町村数1,741のほぼ1割になった(図-2)。また、域内の民生・農林水産用エネルギー需要を上回る量の再生可能エネルギー電力を生み出している市町村(電力永続地帯)は、272に増えた。

表-2 再生可能エネルギー供給の推移 (全国)

(単位:TJ、%)

	2011年度 (参考)			18年度			19年度			20年度			20年度 /18年度	(参考) 20年度 /11年度
	総量	電力のみ 比率	全体 比率	総量 (前年度比)	電力のみ 比率	全体 比率	総量 (前年度比)	電力のみ 比率	全体 比率	総量 (前年度比)	電力のみ 比率	全体 比率		
太陽光発電	50,906	19.0	15.1	648,242 (118.0)	64.6	58.1	688,177 (106.2)	65.0	58.9	757,174 (110.0)	66.5	60.8	116.8	1,487.4
風力発電	47,909	17.9	14.2	76,982 (126.1)	7.7	6.9	85,227 (110.7)	8.1	7.3	92,410 (108.4)	8.1	7.4	120.0	192.9
地熱発電	23,449	8.7	7.0	20,335 (98.8)	2.0	1.8	22,385 (110.1)	2.1	1.9	22,895 (102.3)	2.0	1.8	112.6	97.6
小水力発電 (1万kW以下)	132,584	49.4	39.4	137,364 (100.8)	13.7	12.3	138,521 (100.8)	13.1	11.9	140,228 (101.2)	12.3	11.3	102.1	105.8
バイオマス発電	13,312	5.0	4.0	120,164 (109.7)	12.0	10.8	124,135 (103.3)	11.7	10.6	126,688 (102.1)	11.1	10.2	105.4	*
再生可能 エネルギー発電計	268,159	100.0	79.7	1,003,087 (114.4)	100.0	90.0	1,058,445 (105.5)	100.0	90.6	1,139,396 (107.6)	100.0	91.4	113.6	424.9
太陽熱利用	27,955		8.3	32,672 (102.9)		2.9	30,981 (94.8)		2.7	31,509 (101.7)		2.5	96.4	112.7
地熱利用	25,295		7.5	23,183 (96.5)		2.1	23,232 (100.2)		2.0	23,918 (103.0)		1.9	103.2	94.6
バイオマス熱利用	15,017		4.5	56,046 (89.7)		5.0	56,189 (100.3)		4.8	51,236 (91.2)		4.1	91.4	*
再生可能 エネルギー熱利用計	68,267		20.3	111,902 (94.6)		10.0	110,402 (98.7)		9.4	106,663 (96.6)		8.6	95.3	156.2
総計	336,427		100.0	1,114,989 (112.0)		100.0	1,168,847 (104.8)		100.0	1,246,058 (106.6)		100.0	111.8	370.4
民生用+農林水産 業用エネルギー需要 に対する比率	3.8			15.4			16.2			17.3				
民生用+農林水産 業用エネルギー需要 (再生可能エネル ギー熱利用含む)	8,833,958			7,220,655 (98.0)			7,219,432 (100.0)			7,215,899 (100.0)				

資料：千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所（2022）をもとに筆者作成

(注) 1 TJはテラジュールで、テラは10の12乗。

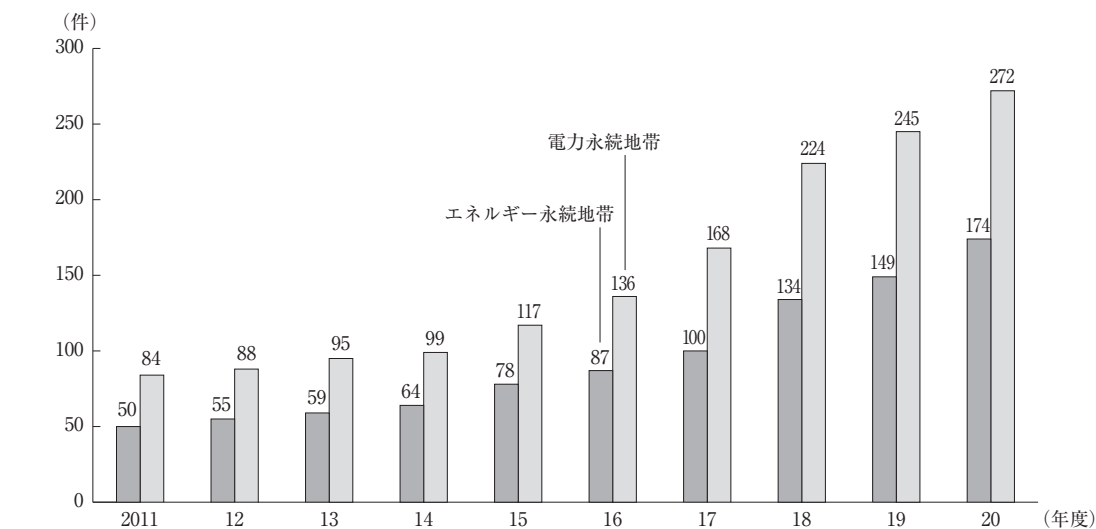
2 前年度比のうち、2018年度の数値は2017年度の試算に対するもの。

3 2011年度の数値は、千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所「永続地帯2014年度版報告書」（2015年3月）のものを使用。

4 2014年度以前の試算には、バイオマス発電とバイオマス熱利用に一般廃棄物のバイオマス分の発電・熱利用が含まれていないため、2020年度/2011年度の計算は行っていない。

5 構成比は小数第2位を四捨五入して表示しているため、合計は100%にならない場合がある。

図-2 エネルギー永続地帯・電力永続地帯市町村数



出所：千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所（2022）

表-3 永続地帯市町村一覧

地方	都道府県	市町村数	市町村名
北海道	北海道	15	稚内市、紋別市、茅部郡森町、檜山郡上ノ国町、久遠郡せたな町、島牧郡島牧村、磯谷郡蘭越町、虻田郡ニセコ町、苫前郡苫前町、天塩郡幌延町、有珠郡壮瞥町、勇払郡安平町、様似郡様似町、河西郡更別村、白糠郡白糠町
東北	青森県	7	つがる市、西津軽郡深浦町、上北郡七戸町、上北郡横浜町、上北郡六ヶ所村、下北郡東通村、三戸郡新郷村
	岩手県	5	八幡平市、岩手郡雫石町、岩手郡葛巻町、九戸郡軽米町、二戸郡一戸町
	宮城県	5	刈田郡蔵王町、刈田郡七ヶ宿町、柴田郡川崎町、伊具郡丸森町、黒川郡大郷町
	秋田県	7	湯沢市、鹿角市、湯上市、にかほ市、山本郡三種町、山本郡八峰町、雄勝郡東成瀬村
	山形県	3	西村山郡朝日町、最上郡大蔵村、飽海郡遊佐町
	福島県	4	南会津郡下郷町、河沼郡柳津町、石川郡石川町、双葉郡川内村
関東	茨城県	2	北茨城市、行方市
	栃木県	3	那須烏山市、塩谷郡塩谷町、那須郡那珂川町
	群馬県	3	吾妻郡長野原町、吾妻郡嬭恋村、利根郡昭和村
	千葉県	1	長生郡長南町
甲信越	新潟県	1	中魚沼郡津南町
	長野県	4	南佐久郡小海町、上伊那郡飯島町、上水内郡信濃町、下水内郡栄村
北陸	富山県	1	下新川郡朝日町
	石川県	3	珠洲市、羽咋郡志賀町、羽咋郡宝達志水町
中部	愛知県	1	田原市
中国	鳥取県	2	西伯郡大山町、西伯郡伯耆町
	岡山県	4	苫田郡鏡野町、勝田郡奈義町、久米郡久米南町、久米郡美咲町
	広島県	1	山県郡北広島町
四国	徳島県	1	阿波市
	高知県	1	幡多郡大月町
九州	福岡県	2	田川郡赤村、築上郡上毛町
	熊本県	6	玉名郡和水町、阿蘇郡産山村、阿蘇郡西原村、上益城郡山都町、球磨郡錦町、球磨郡水上村
	大分県	2	豊後大野市、玖珠郡九重町
	宮崎県	2	串間市、児湯郡川南町
	鹿児島県	4	出水郡長島町、始良郡湧水町、曾於郡大崎町、肝属郡南大隅町

資料：千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所（2022）をもとに筆者作成

第4に、日本全体での地域的な再生可能エネルギー供給は、2011年度に民生・農林水産用エネルギー需要の3.8%だったものが、2020年度には17.3%まで増加した。

第5に、エネルギー永続地帯174市町村のうち、食料自給率も100%を超えた市町村（永続地帯市町村）は、前年度に比べて10増加し、2020年度には90になった（表-3）。

これらのなかで、筆者が最も問題視しているのは、再生可能エネルギー熱の供給量が3年連続で減少していることである。2012年の固定価格買取制度の導入以来、再生可能エネルギー発電のみ、長期にわたる固定価格での買い取りが保証されたことによって、再生可能エネルギー開発は発電の分野では進んだものの、熱の分野ではかえって後退するという状況が出てきている。例えば、屋根の上

には、太陽光パネルだけが載せられるようになり、太陽熱給湯器の普及が止まってしまった。太陽熱利用の分野も技術開発が進み、70℃から80℃の温水を発生させ、冷房もできる技術があるにもかかわらず、その普及は遅れている。また、バイオマス発電は余熱が大量に発生することから、熱供給とともに行われることが望ましいものの、発電だけを行う施設が多くつくられている。2050年の脱炭素社会の実現のためには、太陽熱利用、バイオマス熱利用、地熱利用といった、再生可能エネルギー熱利用を促進させる政策が欠かせない。例えば、化石燃料の元売りを行う輸入業者に対して、販売した化石燃料を燃焼した場合に想定される二酸化炭素排出量に応じて、再生可能エネルギー熱証書を購入することを義務づけるといった政策の導入も、一つの選択肢となろう。

(3) 再生可能エネルギー政策調査にみる

自治体の動き

前項でみたように、地域に再生可能エネルギーが導入されつつあるが、これまでのところ、この動きは地域主体で起こされたものではないことに留意すべきである。

千葉大学の筆者の研究室においては、2011年度以降、隔年で全市町村（東京23区含む）を対象として「再生可能エネルギー政策調査」を実施してきた。2021年度調査は、2022年1月に1,741の基礎自治体に対して行い、967の自治体から回答があった。回答率は55.5%であった。

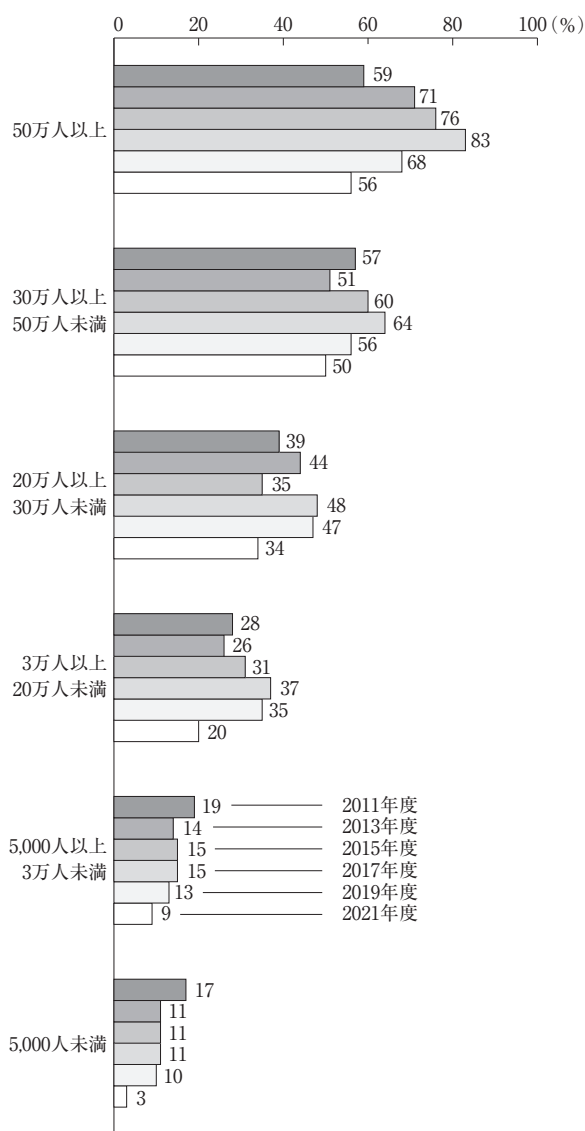
調査では、まず、「貴自治体が再生可能エネルギーで期待するのはどの分野か」について、複数回答で尋ねた。その結果、「住宅用太陽光発電」(78.6%)、「事業用太陽光発電」(63.3%)と太陽光発電に期待する自治体が多く、次いで、「バイオマス発電(木質)」(30.0%)、「水力発電」(24.6%)、「バイオマス熱利用(木質)」(21.6%)、「風力発電」(21.5%)、「バイオマス発電(木質以外)」(20.8%)となった。太陽光発電と同様に普遍的に利用できるはずの「太陽熱利用」を選択した回答は14.8%、「地中熱利用」は12.4%にとどまっている。自治体の担当者が想定する再生可能エネルギーがおおむね太陽光発電であるということが、後で述べる、自治体での再生可能エネルギー政策の後退と密接に関連している。

次に、再生可能エネルギーに関する目標設定の有無を聞いたところ、設定しているのは16.2%の157自治体であり、83.0%に当たる803自治体は設定していなかった²¹。設定していない803自治体に今後の見通しを聞いたところ、「現在設定に向けて検討中」が16.7%、「設定に向けた検討は行っていないが、将来的に設定する予定である」が26.4%、

²¹ このほか、「無回答」が0.7%あった。

²² このほか、「わからない」が33.1%、「その他・無回答」が5.7%あった。

図-3 再生可能エネルギーに関する目標を設定している自治体の割合（人口区分別）



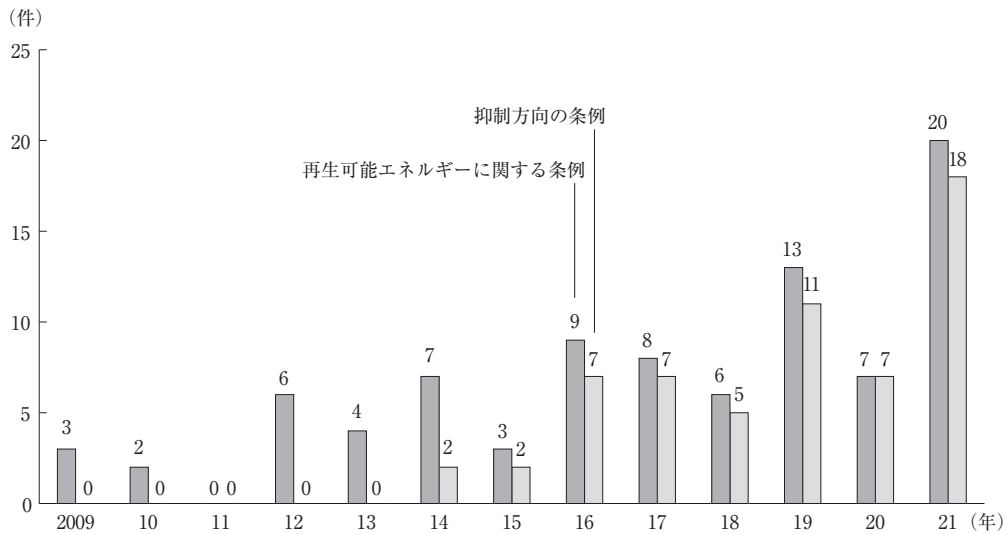
資料：千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所（2022）をもとに筆者作成

（注）回収数の記載は省略した（図-4も同じ）。

「今後とも設定する予定はない」が18.1%となっている²²。

目標を設定している自治体の割合について、人口区別に、2011年度からの6年間の推移を示したのが図-3である。数値は、各人口区分に属する回答自治体のなかで、何%の自治体が目標を設定

図-4 収集された再生可能エネルギーに関する条例と抑制方向の条例



出所：千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所 (2022)

しているかを示している。この図からは、2021年度調査において、すべての人口区分で明らかに目標設定自治体が減っていることがみてとれる。

回答自治体で実施されている再生可能エネルギー政策を個別に聞いた結果、「再生可能エネルギー設備の設置補助・助成」(47.9%)、「自治体自らによる再生可能エネルギー施設の設置・導入」(46.0%)が、過去と同様に主たる政策となっているが、その割合も低下しつつある。施設設置補助・助成の対象としては、「住宅用太陽光発電」が48.1%、「太陽熱利用」が9.6%、「事業用太陽光発電」が9.2%、「バイオマス熱利用 (木質)」が8.8%となっている。また、自ら設置しているものとしては、「事業用太陽光発電」が38.7%、「バイオマス熱利用 (木質)」が9.2%、「バイオマス発電 (木質以外)」が7.4%、「地中熱利用」が6.8%となった。

また、「再生可能エネルギーの導入促進のための条例・要綱の制定」を行っている自治体が11.8%、「再生可能エネルギーの導入抑制のための条例・要綱の制定」を行っている自治体が8.1%であった。検討中と回答した自治体の、それぞれ2.6%、4.0%を合わせると、促進のための条例・要綱は14.4%、抑制のための条例・要綱は12.1%の自治体が、制定

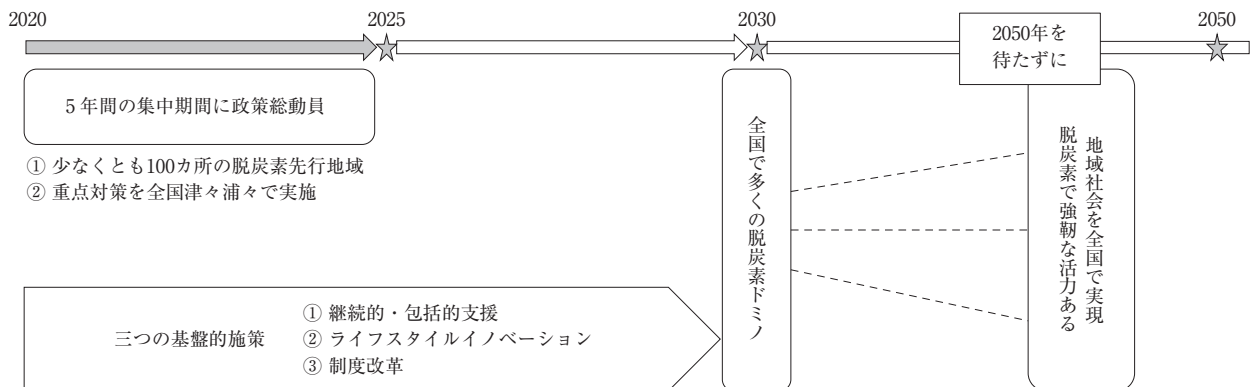
または検討を行っていることになる。

具体的な条例・要綱の内容についても聞いたが、2014年以降、「自然環境と再生可能エネルギー発電事業との調和に関する条例」「太陽光発電設備の適正な設置に関する条例」といった、再生可能エネルギー施設の設置を規制する方向の条例が急増している。具体的には、事前に計画書を提出させて指導を行うというものが多かった。

今回の調査で収集された88の条例の制定年と、そのうち抑制方向の条例と考えられるものの制定年は、図-4のとおりである。2016年以降に制定された再生可能エネルギー関連の条例のほとんどが、再生可能エネルギー発電設備、特に太陽光発電を規制する方向の条例であることがわかった。

自治体の担当者において真っ先に思い浮かぶ再生可能エネルギーが太陽光発電であるが、2012年7月の固定価格買取制度が引き金となり、民間企業が営利目的で建設する太陽光発電設備が、各地で地域住民の反対・不安・対立を引き起こした結果、再生可能エネルギーが、一気に規制対象としてみられるようになってしまったのではないかと。特に、再生可能エネルギー促進のための独立の部署をもっていない自治体においては、こ

図-5 地域脱炭素ロードマップの考え方



資料：国・地方脱炭素実現会議「地域脱炭素ロードマップ（概要）」（2021年6月）（https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/datsutanso/pdf/20210609_chiiki_roadmap_gaiyou.pdf）をもとに筆者作成

れまでなじみのある、公害の防止や自然保護を目的とした規制中心の政策手法が適用できる内容であり、急速に広がっていったものと考えられる。

すでに述べているように、地域の風土に応じたかたちで、地域主導で再生可能エネルギーを導入していくことは、脱炭素社会の実現に欠かせない。地域にとっては、域外へのエネルギー支出の流出を取り戻すことにつながり、地域に新たな雇用をもたらすことが期待できる。今回の調査では、自治体の再生可能エネルギー政策で問題となっていることも聞いたが、最も多い回答は「財源不足」（80.1%）で、「人員不足」（71.7%）がそれに続く。地域脱炭素を専任で取り扱うための人員分の予算を、全自治体に交付金として支給するなどの政策を国が行うといったような強い推進策がないと、自治体の再生可能エネルギー政策の転換はなかなか進展しないのではないだろうか。

（4）地域の脱炭素を進めるための政策

① 地域脱炭素ロードマップ

次に、地域の脱炭素を進めるために国が推進している政策の動向を確認しよう。

2050年の脱炭素社会の実現に向けて、特に、地域の取り組みと国民のライフスタイルに密接にか

かわる分野を中心に、ロードマップを議論する場として2020年12月に設けられたのが「国・地方脱炭素実現会議」である。内閣官房長官が議長、環境大臣、総務大臣が副議長となり、地方自治体からもメンバーを選定して議論が行われた。この会議が2021年6月に公表したのが「地域脱炭素ロードマップ」である。

まず、ロードマップでは、なぜ地域での脱炭素が必要かについて、二つの理由づけを行っている。第1に、地域脱炭素は地域の成長戦略になるという点である。脱炭素を早期に実現することが、地域の企業立地・投資上の魅力を高め、地域の産業の競争力を維持向上させるということである。第2に、再生可能エネルギー等の地域資源の最大限の活用によって、地域の課題解決に貢献できるという点である。地域の雇用や資本を活用しつつ、地域資源である豊富な再生可能エネルギー等のポテンシャルを有効利用することによって、地域の経済収支の改善が期待でき、防災・減災や生活の質の向上などさまざまな地域課題の解決にも貢献できると述べられている。

ロードマップでは、2030年度までに少なくとも100カ所の「脱炭素先行地域」をつくることと、全国で重点対策を実行することが記されている（図-5）。それぞれ、その内容をみていきたい。

② 脱炭素先行地域とは

ロードマップにおいては、脱炭素先行地域で実現する削減レベルの要件として、「民生部門（家庭部門及び業務その他部門）の電力消費に伴う二酸化炭素排出については実質ゼロを実現」「運輸部門や熱利用等も含めてその他の温室効果ガス排出削減についても我が国全体の2030年度目標と整合する削減を地域特性に応じて実現」「それらの実現の道筋を、2025年度までに立てる」という三つが示されている。

なお、第2の要件における「その他の温室効果ガス排出削減」については、民生部門の電力以外のエネルギー消費に伴う二酸化炭素や二酸化炭素以外の温室効果ガスの排出、民生部門以外の地域と暮らしに密接にかかわる自動車・交通、農林水産業や観光、廃棄物・下水処理等の分野の排出を指すと注記されている。

脱炭素社会の実現に当たって、国と地方の役割分担としては、工場や発電所といった部門については、それぞれの事業者が脱炭素を進めさせるとともに、民生・農林水産業・運輸の各部門については、自治体が地域の状況に応じた政策を主体的に実施して脱炭素に向かわせるというものが適切であろう。

鉄鋼、セメント、石油化学などの産業系の多量排出事業者については、それぞれの業界において2050年までの脱炭素を図っていくことが求められており、これは産業政策として国が責任をもって実現させる必要がある。一方、地域や暮らしに密着した分野で、脱炭素を図っていくという目標は、主に、自治体における地域特性に応じた政策によって実現していくべきである。脱炭素先行区域の要件はこの考え方と整合的である。

③ 地域脱炭素のために進める八つの重点施策

一方、ロードマップでは、全国的に取り組む重点対策として、「系統制約の課題が少ない自家消費型

の太陽光発電の推進」「地元企業による施工、収益の地域還元、災害時の電力供給など地域に貢献する再生可能エネルギーの推進」「業務ビル等における更新・改修時のゼロ・エネルギー・ビル化の促進」「住宅・建築物の省エネルギー性能等の向上」「再生可能エネルギー電力と電気自動車や燃料電池車の活用による自動車移動の脱炭素化」「プラスチック分別収集、食品ロス半減などにより、廃棄物処理からの温室効果ガス発生を削減すること」「街のコンパクト化と脱炭素化公共交通を組み合わせ、都市内のエリア単位での脱炭素化に取り組むこと」「食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立」の八つが挙げられている。

そして、ロードマップにおいては、これからの5年間が集中期間であるとして、「人材派遣・研修」「デジタル技術も活用した情報・ノウハウの整備（情報基盤・知見の充実、各自治体による削減目標やシナリオ・計画の策定・更新の推進）」「資金支援」を集中的に行うことを求めている。

④ 脱炭素先行地域の選考状況

2022年1月25日から2月21日まで、第1回の脱炭素先行地域の公募が行われ、共同提案を含めて全国の102の自治体から79件の計画提案が提出された。書面審査とヒアリング審査の結果、26件が採択された（図-6）。また、2022年7月26日から8月26日まで、第2回の公募が行われ、50件の提案から、さらに20件が採択されている。今後、年2回の公募がなされる見込みである。

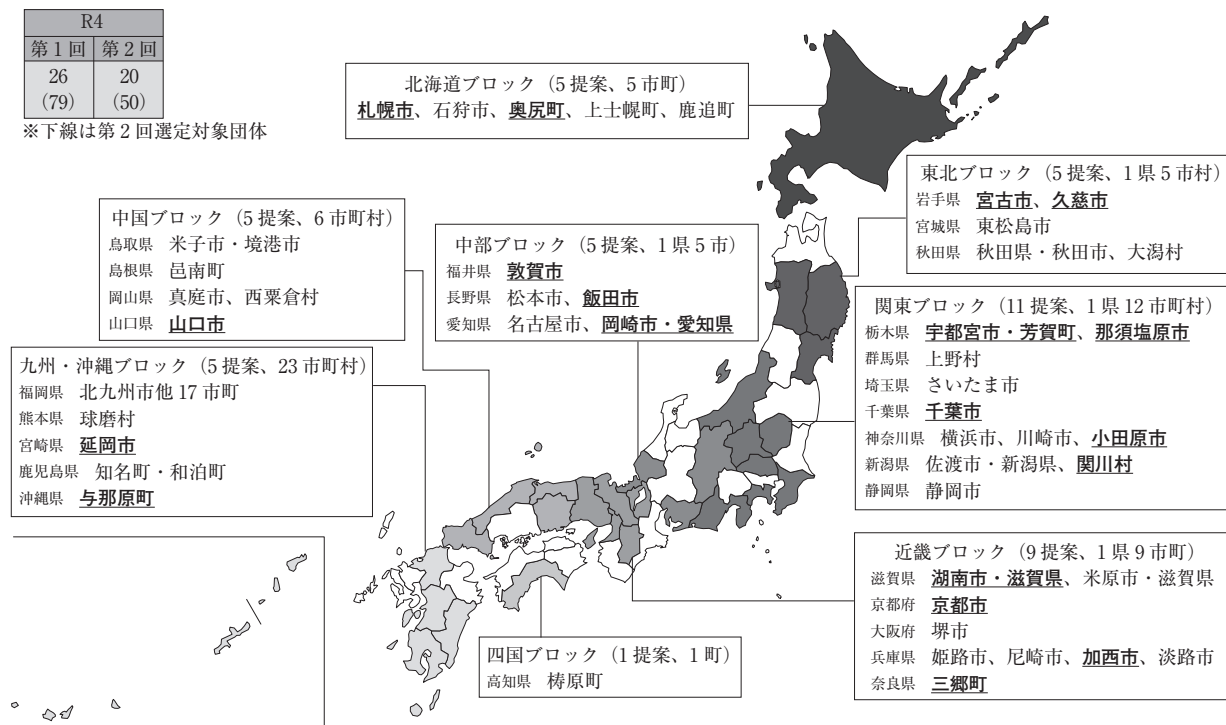
これまでに選考された46件中、市町村の全域を対象としているのは、北海道上士幌町、北海道奥尻町、群馬県上野村の3カ所である。上士幌町は、住宅2,505戸、公共施設17施設、法人事業所95件、個人事業主89件、工場11事業所のすべてを、地域新電力の「かみしほろ電力」を通じて、地域のバイオガス発電、太陽光発電、卒FIT電源（固定価格買取制度が終了した電源）から再生可能エネルギー

図-6 これまでに採択された脱炭素先行地域

年度別選定提案数（共同で選定された市町村は1提案としてカウント、括弧内は応募提案数）

R4	
第1回	第2回
26 (79)	20 (50)

※下線は第2回選定対象団体



出所：環境省「脱炭素先行地域（第2回）選定結果について」（2022年11月）（<https://www.env.go.jp/content/000084555.pdf>）

電力を供給して脱炭素を図る計画である。奥尻町は、住宅1,491戸、民間事業所164施設、公共施設等52施設を対象として、水力発電、地熱発電、太陽光発電、木質バイオマス発電をエネルギー源とし、自営線ネットワークと蓄電池によって安定供給を図ろうとしている。上野村では、村全域の村営住宅149戸、戸建て住宅351戸、民間施設13施設、公共施設18施設を対象として、太陽光発電と木質バイオマス熱電併給施設などによって、エネルギー供給を行う計画である。その際に、既存の地域新電力「中之条パワー」が供給主体となる。

その他の計画は、市町村の一部の区域を対象とするもの、あるいは公共施設群を対象とするものとなっている。北九州市の提案は、北九州市のみならず、北九州都市圏域18市町の公共施設群3,600施設などを対象としている。

これまで採択された提案には、蓄電池、PPA（電力購入契約）、自営線、地域新電力といったキーワードが多くみられた²³。太陽光発電のように変動する再生可能エネルギーであっても、蓄電池を置いて、電力系統に負担をかけないように自律的な需給調整ができる計画が採択される傾向にある。

PPAについては、企業や自治体などが、自らの敷地内に第三者が再生可能エネルギー発電設備を設置することを認め、その設備から電力を長期に購入する契約を結ぶオンサイトPPAと、敷地外の再生可能エネルギー発電設備からの電力を購入するオフサイトPPAの2種類がある。域内の大規模なエネルギー消費事業者が、その電力料金によって、地域の再生可能エネルギーを支えるという提案が、選ばれる傾向にある。

そのほか、自営線によって域内で再生可能エネ

²³ PPAはPower Purchase Agreementの略であり、自営線は既存の電力網によらない自治体等が所有する送電線を指す。

ルギー電力を供給する提案、地域新電力によって再生可能エネルギー電力を地域内の需要家に供給する提案も選ばれている。

都市域においては、エネルギー消費量が大きいため、都市域の再生可能エネルギー資源だけで脱炭素を実現することが難しいかもしれない。この問題に対応するため、横浜市は、再生可能エネルギーに関する連携協定を締結した東北地方の13市町村から再生可能エネルギー電気を調達するという内容が含まれた提案をしている。

⑤ 脱炭素ドミノは起こるか

今後、残りの54カ所の脱炭素先行地域が選考されることとなるが、合計100カ所で、2050年の脱炭素の実現に近づくのだろうか。基礎自治体は、東京23区を含めれば1,741存在するが、これまでに採択された計画のうち自治体全体を対象とするのは、前述の3町村のみである。採択された計画に対しては、地域脱炭素移行・再エネ推進交付金が1計画当たり50億円を上限として交付されることとなっている。交付金が支出される区域においては確実に対策が進められると考えられるが、他地域に波及するかどうかは不透明である。

先にみたように、小規模自治体での政策展開が遅れている状況である。これは、前にも述べたように、脱炭素先行地域に申請するための計画づくりに携わる人材を確保できる自治体が、限られているためだと考えられる。脱炭素政策を進めるための人員配置を促す交付金の導入は、特に小規模自治体にとって有効となるだろう。

さらに、全国的に省エネルギー投資や再生可能エネルギー投資を促進するためには、脱炭素先行地域だけに集中的に交付金を支出するだけでは不十分である。排出権取引制度の導入、化石燃料販売

への再生可能エネルギー熱証書の購入義務づけなど、化石燃料の使用に対して適切に経済的な負担を求める政策、つまりカーボンプライシングの導入が求められる。そのためには、まず、各事業者の二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量情報を把握できる仕組みが必要となろう。

(5) 脱炭素社会に向けた

自治体間連携の必要性

① カーボンニュートラルシミュレーターとは

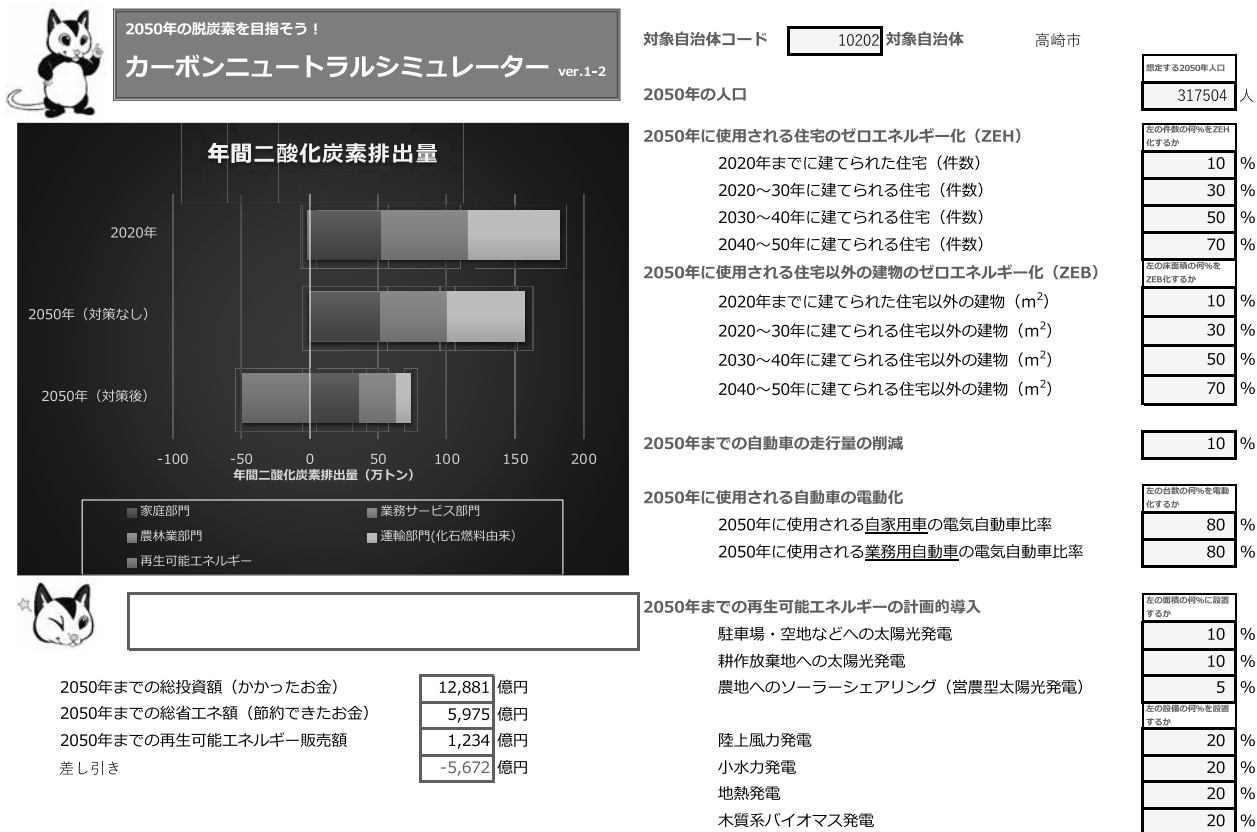
地域の脱炭素のしやすさを簡易に把握するためのツールとして、筆者の研究チームでは、「カーボンニュートラルシミュレーター」を開発して、2019年9月に公開した(図-7)²⁴。これは、各自治体において、家庭やオフィスビル、農林水産業、自動車からの二酸化炭素の排出量を、地域の再生可能エネルギーなどで差し引きゼロにできるかどうかを検討するものである。

このシミュレーターは、2050年から逆算して検討することを特徴としている。まず、対象自治体の2050年の人口・世帯数・就業者人口などを予測する。2050年の人口は、国立社会保障・人口問題研究所の人口予測を延長して自動計算したものをデフォルトに設定しているが、各自治体の人口ビジョン目標などを踏まえ自由に変えることができる。

次に、想定人口規模と1世帯当たり人員数の傾向を用いて2050年の世帯数を予測し、その自治体の1世帯当たり平均住宅床面積を用いて2050年に必要な住宅床面積を推計する。そして、現在の住宅の建築年度から、将来どの時点でどの程度の住宅を建て替え・新設すれば2050年の必要住宅床面積が確保できるかを推計する。同様に、2050年の業種別就業者人口の予測をもとに、オフィスビルの

²⁴ 図-7で示したのは、群馬県高崎市のシミュレーション結果。脚注17で示した環境省・独立行政法人環境再生保全機構の環境研究総合推進費プロジェクト「基礎自治体レベルでの低炭素化政策検討支援ツールの開発と社会実装に関する研究」において作成した。筆者の研究室が立ち上げたホームページ (<http://opossum.jpn.org>) からダウンロード可能である。

図-7 カーボンニュートラルシミュレーター



出所：千葉大学倉阪研究室「カーボンニュートラルシミュレーター」

必要床面積を推計し、今後の建て替え率を推計する。さらに、2050年の人口・就業者人口の規模に応じて、自家用車と業務用自動車の登録台数を予測する。これらによって、2050年の民生・農林水産・運輸のエネルギー消費量を概算する。これによって、人口減少による省エネルギー効果がどの程度なのかを、把握できることになる。

シミュレーターでは、省エネルギー対策として、既設住宅のゼロ・エネルギー住宅 (ZEH) 改修比率、今後新築される住宅のZEH比率、既設事業所建物のゼロ・エネルギー・ビル (ZEB) 改修比率、今後新築される事業所建物のZEB比率、交通量の削減率、2050年に使用される自動車の電動化比率といった項目を入力できるようにした。電気自動車の導入によって、ガソリンなどの燃料消費が減少するが、電力消費は増加するかたちとしている。

このような省エネルギー投資によっても、エネルギー消費量はゼロにはならない。シミュレーターでは、省エネルギー投資を行ってもなお残るエネルギー消費について、再生可能エネルギー投資を行って賄えるかどうかを検討する。再生可能エネルギー投資の可能性は、各自治体の土地利用の状況や、再生可能エネルギーポテンシャルの状況によって異なる。太陽光は、その自治体においてすでに開発が行われている土地面積であって、太陽光発電設備が設置可能な面積を自治体別に試算する。ただし、森林を切り開いて太陽光発電設備を置くような開発は想定しない。太陽光以外の再生可能エネルギーについては、環境省の再生可能エネルギー情報提供システムのデータをもとに導入可能性を把握する。そして、これらのポテンシャルをどの程度実現させるのかを選択し、脱炭素を達成

できるかどうかを検討する。

このシミュレーターは、産業部門と発電などのエネルギー転換部門を除外しているものの、地方自治体の政策領域について、脱炭素のしやすさを自治体別に簡易に検討するためのツールとなっている。

② 地域的な脱炭素達成可能性の違いと

自治体間連携

カーボンニュートラルシミュレーターを使い、さまざまな自治体について試行した結果、人口の多い自治体では、域内での取り組みだけでは脱炭素が難しいところが多い一方、人口減少が進む自治体では、脱炭素は比較的余裕をもって実現できるところがあることがわかっている。

カーボンニュートラルシミュレーターに、前掲図-7で示した右半分の画面と同じ強度の対策セットを入れて、各自治体が脱炭素を達成できるかどうかを確認してみた。その結果、この対策強度で脱炭素を達成できたのは、全体の66.0%に当たる1,149自治体であった。一方、2022年1月末現在で2050年脱炭素宣言を行っていた557自治体（以下、宣言自治体という）のなかで脱炭素を達成できたのは279自治体で、達成できた割合は全体を下回る50.1%であった。つまり、脱炭素宣言を行っている自治体が、脱炭素を達成しやすいとは限らないのである。

ここで、人口と脱炭素達成可能性の関係性をみるために、省エネルギー対策を実施した場合における各自治体のエネルギー消費量に対する再生可能エネルギー供給量の比率と、各自治体の人口を比べてみた。すると明らかに、人口規模の小さな自治体の方が、脱炭素達成可能性が高いとわかった。

宣言自治体の達成割合が低かったのは、このことが背景となっている。人口規模が比較的大きな自治体が宣言を行っている傾向にあるからだ。2022年1月末現在での宣言自治体の平均人口は

14万3,305人で、全自治体の平均人口7万2,498人の約2倍となっていた。

人口規模の小さな自治体の方が、脱炭素達成可能性が高いという結果は、人口規模の大きな自治体において脱炭素を達成するために、人口規模が小さく再生可能エネルギーが豊かな地方の自治体と協働する必要があることを示唆している。前述の横浜市の脱炭素先行地域の取り組みのように、自治体間連携をさまざまなかたちで進めていく必要がある。このように、脱炭素をきっかけとする自治体間連携が進展すれば、これを通じて、都会の富が地方に移動する可能性もあるだろう。

(6) 脱炭素社会の構築と

地域課題の同時解決

① バックキャスティング型政策形成の必要性

脱炭素社会の構築は、2050年というおおむね30年後の未来を見据えて、社会を転換させていくことが求められる課題である。このような計画期間においては、地域の人口、年齢構成、1世帯当たり人員、公共交通、産業構造などさまざまな条件も変わってくる。そのため、この課題は、従来の環境政策の範疇にとどまらない広がりをもっている。2050年に向けてどのような人口規模を確保するのか、どのようなまちづくりをしていくのか、どのように産業を発展させ、どのような雇用を確保するのかといった広範な政策分野の課題も、脱炭素と同時に考えることが求められる。

従来の行政計画は、長期的な計画であっても10年程度の期間であった。一方、脱炭素社会は、30年後をターゲットとしている。この点でも、過去に経験したことのない政策形成を進めることが求められる。脱炭素という課題を克服するには、従来の長期計画を超えた時間的視野が必要なのである。

では、各自治体はどのように取り組めばよいのだろうか。2020年6月の地方制度調査会の答申で

は、高齢人口がピークを迎える2040年を想定しつつ、地域の未来予測に基づくバックキャスト型政策形成を勧めている²⁵。市町村が、長期的な変化の見通しの客観的なデータを「地域の未来予測」として整理し、目指す未来像を実現するための政策を検討するという考え方である。2050年をターゲットとする脱炭素社会の構築という課題に当たっても、バックキャスト型政策形成が求められるだろう。

バックキャスト型政策形成に当たって必要となるのが、何もしない場合の地域の未来予測である。具体的な政策を講じずに、このまま現在の傾向が継続した場合に、どのような地域社会になる可能性があるのかをみることによって、2050年という近未来にどのような課題が発生するのかわかるのである。市場の状況、人々の嗜好や普及する技術の状況などとは異なり、人口や年齢構成、建造物の老朽化の状況、人工林・農地などの状況など、物理的な各種資本基盤の状況については、ある程度長期にわたって「何もしなかった場合の未来」を想定することができる。また、何もしなかった場合の温暖化の進行状況についても、科学者から一定の知見を得ることができる。

政策の効果を見込まない「何もしなかった場合の未来」に関する情報を把握することを通じて、「あるべき未来」とのギャップに気づき、「あるべき未来」を具体的に想定できるようになる。このようにして具体化した「あるべき未来」を実現するために、今から何をすべきかを考えるのが、バックキャスト型政策形成なのである。

② 未来カルテと未来ワークショップ

以上のようなバックキャスト型政策形成を支援するために、筆者らの研究プロジェクトで作成したのが「未来カルテ」である²⁶。自治体コードを入力すれば、人口、年齢構成、就業者人口規模、産業構造、教育・保育・医療・介護、公有施設・道路・農地などの維持管理、財政という項目について、該当する自治体の2050年の「何もしなかった場合の未来」がグラフ化される²⁷。

この未来カルテの情報に触れて、「あるべき未来」とのギャップを埋めるために今からどのような政策を講じていけばよいのかを考えるワークショップが、「未来ワークショップ」である²⁸。未来ワークショップとは、中高生や若手の社会人が、2050年の未来カルテ情報などを踏まえて、未来の首長になったつもりで、今の首長に対して政策提言を行うものである。この未来ワークショップは、自治体の職員研修や、中高生の公民教育プログラムとして、全国各地で実施されるようになってきている(図-8)。

さらに、カーボンニュートラルシミュレーター体験を未来ワークショップに組み合わせたのが「脱炭素未来ワークショップ」である。例えば、千葉県白井市では、2021年4月に市内6カ所において一般市民向けのワークショップを、同年6月には、市立白井中学校の1、2年生全員を対象にしたワークショップを、それぞれ実施した。

一般市民向けのワークショップは全体で2時間かけて行われた。まず、白井市の環境概要、白井市未来カルテ、脱炭素の背景について筆者らが40分

²⁵ 内閣府第32次地方制度調査会「2040年頃から逆算し顕在化する諸課題に対応するために必要な地方行政体制のあり方等に関する答申」(2020年6月)(https://www.soumu.go.jp/main_content/000693733.pdf)を参照。

²⁶ 国立研究開発法人科学技術振興機構(Japan Science and Technology Agency, JST)に所属する社会技術研究開発センター(Research Institute of Science and Technology for Society, RISTEX)の戦略的創造研究推進事業「多世代参加によるストックマネジメント手法の普及を通じた地方自治体での持続可能性の確保」(研究代表者:倉阪秀史)、通称OPoSSuM(Open Project on Stock Sustainability Management)において作成した。

²⁷ 「未来カルテ」発行プログラムは、カーボンニュートラルシミュレーターと同様に、筆者の研究室が立ち上げたホームページ(<https://opossum.jpn.org>)から無料でダウンロードできる。

²⁸ 「未来ワークショップ」「脱炭素未来ワークショップ」は自治体等の依頼を受けて、筆者が代表を務めるNPO法人地域持続研究所が実施している。

図-8 未来ワークショップの開催実績



資料：筆者作成

で説明、カーボンニュートラルシミュレーターを20分で体験、休憩を挟んで40分で参加者自身が提言を書き出し、10分で共有するというかなり詰め込んだスケジュールであった。6カ所まで延べ60人が参加し、589件の提言が発表された。

白井中学校におけるワークショップは、丸1日を使ったものとなった。9時から約2時間かけて、未来カルテと気候変動について筆者らが講義を行い、生徒たちはカーボンニュートラルシミュレーターも体験した。その後は教室で各班に分かれ、昼休みを挟みつつ2時間ほどかけて、2050年に予想される白井市の課題と現在の市長への提言を、模造紙に書き出した。そして、14時45分から1時間近く、市長と市の幹部を前に、政策提言の発表を行った。参加した生徒は100人を超え、合わせて560件の提言が提出された。

白井市でのこれらのワークショップにおいては、

省エネルギー、再生可能エネルギー、植林、自動車の電動化といった脱炭素に関するものにとどまらず、人口減少や高齢化への対応、農業の後継者確保などの産業振興、ごみ、水質などの環境改善、温暖化への適応策、空き家対策やまちづくりといった、広範な提言がなされ、地域の課題解決と脱炭素を同時に解決する方策が検討された。

このように、未来カルテとカーボンニュートラルシミュレーターというツールを活用することによって、2050年の課題について具体的に気づくことができる。地球温暖化対策計画をパブリックコメントにかけても、ほとんど意見が出てこない自治体もあろう。2050年の脱炭素社会について「自分事」にしてもらうためには、このワークショップのような仕掛けが必要なのである。



白井中学校での「脱炭素未来ワークショップ」の様子

タブレットでカーボンニュートラルシミュレーターを体験（左） 市長と市幹部に政策提言（右）



4 脱炭素社会の構築と

中小企業のビジネスチャンス

(1) 中小企業の活躍の場がどこにあるか

最後に、脱炭素社会の構築における中小企業のビジネスチャンスについて整理したい。これまで述べたように、脱炭素社会に向けては、廃熱をできるだけ出さないエネルギー供給構造に転換する必要がある。このために、地域で再生可能エネルギーによって熱と電気を一緒に生み出し、自営線、熱導管、蓄電池などを組み合わせて、安定的に供給する仕組みをつくり上げる必要がある。また、農林水産業などを通じた二酸化炭素の吸収・固定も、地域で進められなければならない。

こうした取り組みの過程で、中小企業のビジネスチャンスになり得ると筆者が想定するのは、「建築物のゼロ・エネルギー化」「風土に適合する再生可能エネルギーの普及」「農林水産業における二酸化炭素の吸収・固定」「さまざまな適応策への対応」の四つの領域である。

① 建築物のゼロ・エネルギー化

住宅・建築物において消費エネルギーと生産エネルギーを均衡させるゼロ・エネルギー化を2050年にストックベースで実現するには、新築物件のゼロ・エネルギー化だけではなく、既設物件のゼロ・エネルギー化改修が不可欠となる。その際には、照明の入れ替え、熱を逃がさない空調への転換、壁や窓の断熱化などへの需要が発生する。さらに、屋根や外壁における太陽光発電・太陽熱利用など、建物に付設する再生可能エネルギー設備への需要も出てくるだろう。こうした取り組みの推進には、地域の中小企業が活躍することが期待される。

② 風土に適合する再生可能エネルギーの普及

太陽光発電設備は、建築物の屋根・外壁に加えて、駐車場・資材置き場などに置かれていこう。さらに、営農型太陽光発電（ソーラーシェアリング）は、農地面積が広いため大きなポテンシャルを有している²⁹。将来的には、温暖化の適応策の一環として、日陰が必要となる歩道などの上部にも、太陽光発電設備の設置が検討される可能性がある。

事業用太陽光発電の建設コストについて、固定価

²⁹ 2022年10月から、JST/RISTEXが実施する「SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム（SOLVE for SDGs）」のソリューション開発フェーズのプロジェクトとして、「ソーラーシェアリングを活用した自立型脱炭素スマート農地の確立と展開」（研究代表者：倉阪秀史）を開始している。

格買取制度の買取価格を検討する「調達価格等検討委員会」では、1kW当たり25.7万円と試算している。内訳は、太陽光パネルが10.2万円、パネルの架台が3.3万円、パワーコントローラーが3.0万円、その他設備が1.6万円、これら設備以外の工事費が7.4万円、設計費が0.2万円と試算している³⁰。特に工事に関しては、地元の中小企業が受注することが十分可能であろう。

また、太陽光発電のみならず、小水力発電、小型風力発電、バイオマス利用、地中熱利用、温泉熱利用など、地域の風土に応じた再生可能エネルギー設備の設計施工などにおいて、地域の企業が活躍できる可能性がある。また、地域で熱利用を進めるための熱導管の敷設においても、ビジネスチャンスが発生するだろう。

③ 農林水産業における二酸化炭素の吸収・固定

二酸化炭素の吸収・固定という側面で、今後、農林水産業が見直されていくこととなるだろう。農業においては、エネルギー作物の生育、緑肥などを用いた農地への二酸化炭素の固定などに、経済的な付加価値が与えられる可能性がある。林業では、森林環境税を原資として、森林の手入れを適切に行い、計画的に植林を進めることに資金が流れ込むと思われる。木材の用材としての利用にも、付加価値が与えられる可能性がある。地域の木材を使った建物の建設や家具の製造などは、地元の中小企業が活躍できる場である。海域における藻場などの育成が、ブルーカーボンとして認められれば、こちらにも付加価値が与えられていくだろう。

④ さまざまな適応策への対応

対策を十分に行ったとしても、今後も、温暖化が少しずつ進んでいく。そのため、さまざまな適応策を地域において講じていくことが必要となる。熱中症対策、気温上昇に適応した農業生産への変更、

水利用計画の変更、大規模化する台風など災害への対応といった、さまざまな社会投資が必要となり、この点でも中小企業にビジネスチャンスが生まれることになる。

(2) 再生可能エネルギーへの転換による

地域経済効果

最後に、再生可能エネルギーへの転換によって生み出される、地域経済効果の大きさを試算した例を紹介する(倉阪・佐藤・鷲谷、2018)。千葉市において107万kWの石炭火力発電所が計画された際に筆者らが行ったもので、その発電所と年間発電量が同等の太陽光発電所を設置した場合に、地域経済効果がどのように異なるのかを試算した。稼働率が異なるため、107万kWの石炭火力発電所と同じ年間発電量が見込まれる太陽光発電所は、557万kWの設備容量となる。

この規模の太陽光発電設備を置くためには、千葉県内の宅地面積の13.4%に相当する面積が必要であり、建物の屋根に置かせるための施策を実施しなければならない。一方で、表-4にみるように、建設工事段階では、石炭火力よりも太陽光の方が、約17倍の金額の受注が県内事業者に対して見込まれる。維持管理段階でも、地元発注率が約3割程度と仮定すれば、石炭火力発電と同等の地域経済効果が得られる。さらに、太陽光発電所を地元出資によって建設できれば、売電収入が地域に入ることによって経済が活性化し、耐用年数経過後の再投資資金も蓄積することができる。

このように、大規模な石炭火力発電所による集中的なエネルギー供給を、再生可能エネルギーを活用した分散的なエネルギー供給に転換することによって、地域に仕事が生まれ、持続可能なエネルギー源と収入源が、地域に与えられることが期待できるのである。

³⁰ 経済産業省調達価格等検討委員会「令和5年度以降の調達価格等に関する意見」(2023年2月)(https://www.meti.go.jp/shingikai/santei/pdf/20230208_1.pdf)を参照。

表-4 蘇我石炭火力発電計画と発電量が同等の太陽光発電所による地域経済効果

	石炭火力発電所 (107万kW)	太陽光発電所 (557万kW)
建設工事による 年間県内受注額	392億3,333万円 (0.18%)	6,674億3,648万円 (3.13%)
維持管理による 年間県内受注額	56億5,987万円 (0.03%)	地元発注率20% 41億2,687万円 (0.02%) 地元発注率40% 82億5,734万円 (0.04%) 地元発注率60% 123億8,601万円 (0.06%)
地元出資者の 年間売電収入額	—	地元出資率20% 287億3,823万円 (0.13%) 地元出資率40% 574億7,646万円 (0.27%) 地元出資率60% 862億1,429万円 (0.40%)

資料：倉阪・佐藤・鷲谷 (2018)

(注) 1 年間発電量が同等の場合の地域経済効果を試算したもの。

2 () 内は千葉県2014年度県内総生産 (21兆3,321億円) に対する比率。

(3) 脱炭素社会と中小企業の可能性

脱炭素社会を実現するためには、発電時などに発生する廃熱が大きい集中的なエネルギー供給から、地域分散的なエネルギー供給に転換していくことが求められる。建築物・耐久消費財の建て替え・買い替えの機会を確実にとらえて、省エネルギー投資を行っていくことも必要となる。さらに、太陽光・太陽熱・小水力・風力・地熱といった再生可能エネルギーへの投資も、地域の風土に合ったかたちで計画的に進めていくべきであろう。

集中的なエネルギー供給よりも分散的なエネルギー供給の方が、地域経済への効果は大きい。地元で中小企業が参入できる可能性も高くなる。また、集中的なエネルギー供給では、大手のエネルギー

会社が独占的に供給するかたちにならざるを得ないが、再生可能エネルギーを基盤とする分散的なエネルギー供給では、中小企業がエネルギーを供給する事業者としても参入できる余地がある。

さらに、日本全体でみれば、化石燃料の輸入のために国外に流出していた富を、分散的なエネルギー供給に転換するための原資として活用することができる。地域での分散的なエネルギーの活用が進めば、エネルギー購入により域外に流出していた富を、地域内の再投資に回すことができるようになる。このように、脱炭素社会の実現によって国内、地域内にとどまった富を、地域密着型の中小企業が地方創生に活かしていくという政策ビジョンが、求められているのである。

<参考文献>

環境省編 (1994) 『平成6年版 環境白書—総説』 国立印刷局

——— (2020) 『令和2年版 環境白書 循環型社会白書／生物多様性白書』 日経印刷

倉阪秀史 (2002) 『環境を守るほど経済は発展する—ゴミを出さずにサービスを売る経済学』 朝日新聞社

倉阪秀史・佐藤峻・鷲谷駿 (2018) 「石炭火力発電の運転開始が立地自治体の財政・経済にどのように影響するか」

千葉大学公共研究センター『千葉大学公共研究』第14巻第1号、pp.286-297

千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所 (2022) 「永続地帯2021年度版報告書」 <https://sustainable-zone.com/sz2021report>

縄田康光 (2015) 「原発の廃止措置をめぐる現状—放射性廃棄物の処分等様々な課題—」 参議院事務局企画調整室『立法と調査』 No.369、pp.80-90

三菱総合研究所 (2015) 「平成26年度2050年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討委託業務報告書」 <https://www.env.go.jp/earth/report/h27-01>

日本政策金融公庫論集 第59号 (2023年 5月)

Lovins, Amory.B (1977) *Soft Energy Paths: Towards a Durable Peace*, Friends of the Earth Inc. (エイモリー・B. ロビンズ著、室田泰宏・槌屋治紀訳 (1979) 『ソフト・エネルギー・パス—永続的平和への道』時事通信社)
NEA/IAEA (2021) *Uranium 2020: Resources, Production and Demand*, OECD Publishing.