

地域における低炭素社会ロードマップの作成と その実現可能性

FEASIBILITY OF THE ROADMAP FOR REALIZING LOW CARBON SOCIETY IN LOCAL LEVEL

松野 正太郎¹・戸上 昭司²

¹Ph.D. (環境学) 名古屋大学大学院研究員 環境学研究科社会環境学専攻
(E-mail:matsuno.shotaro@e.mbox.nagoya-u.ac.jp)

²M.A. (理学) 特定非営利活動法人地域の未来・支援センター (E-mail:togami@mac.com)

本稿では、名古屋都市圏における、排熱やバイオマス等の未利用エネルギー等の地域資源を活用した中長期的なCO₂削減予測シナリオを作成した。また、このシナリオを構成するCO₂削減策の現実的な導入可能性を把握するため、デルファイ法による調査を実施し、時間軸を踏まえた各削減策の導入可能性を明らかにしCO₂削減ロードマップを作成した。地域資源を最大限に利活用した場合には、2050年に1990年比約60%削減が可能と試算したが、調査の結果、約21%の削減にとどまるとの結果を得た。地域における低炭素社会の実現に向けて、地域資源の利活用のための需給バランスを踏まえた施策の推進、低炭素社会推進施策と都市計画の融合、時間軸を踏まえた経済的手法の有効活用が必要であることが示唆された。

キーワード： 低炭素社会・地域レベル・ロードマップ・デルファイ法・実現可能性

1. はじめに

低炭素社会の構築は、環境分野における数ある政策課題の中でも世界的に見て喫緊に、且つ、統合的に取り組まなければならない事項となっている。特に、我が国では、東日本大震災に起因する福島原子力発電所の放射能漏出事故を契機とし、電力をはじめとするエネルギーの電源と供給量確保のあり方に対して、根本的な再考を余儀なくされている。

2008年に福田康夫首相は「福田ビジョン」を発表し、我が国における温室効果ガス(GHG)を2050年にマイナス80%とする長期目標を発表した。これは、我が国における初めての長期的なGHG削減目標を提示したものである。続く麻生内閣は2009年に、2050年に至るまでの中期目標として2020年にGHGの排出を1990年比マイナス8%を削減することを発表した。民主党政権となった鳩山内閣は、2020年までに、すべての主要国による公平かつ実効性のある目標の合意が前提という条件付きでありながらも、GHGを25%削減するという数値目標をUNFCCC(気候変動に関する国際連合枠組条約)事務局に提出した。これを受けて、小沢鋭仁元環境大臣は、「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップの提案～環境大臣小沢鋭仁試案～」¹⁾を発表し、上記の目標を達成するための対策・施策のパッケージを打ち出した。しかし、同試案に盛り込まれている低炭素化に向けた対策の

多くは、電気自動車等の新技術の導入、住宅断熱の推進や運輸部門の効率改善等単体の技術対応等、技術の革新に依るものが多く、低炭素社会に向けた経済・社会システムそのものの改善にまで踏み込んだものにはなっていない。

東日本大震災後の2011年8月に可決された再生可能エネルギー特別措置法では、太陽光・風力・地熱・バイオマス由来の電力の全量買取を規定するものであるが、電力のグリーン化が中心であり、より効率の良いエネルギー利用方法である熱利用については考慮されていない。このように、我が国におけるGHG削減策は、新エネルギーの導入や新技術の普及が中心となっており、熱利用等未利用エネルギーの活用についてはほとんど検討されておらず、総合的なエネルギー効率の向上に資する政策誘導を促すものになっていない。本質的には、新技術による対策よりも、既に存在する未利用エネルギーの活用を促進することは、上記の目的を達成することにつながり、経済性の側面からも有効であると考えられる。

この点について、竹内(2010)は、低炭素社会の実現に向けた本質的な取組は、エネルギー供給・交通体系等のシステムの改革であると指摘した上で、廃棄物系バイオマス由来のメタンの都市ガス利用・都市ガスによる熱供給発電への転換等地域のエネルギー供給構造を踏まえた、地域に根差したCO₂削減ロードマップを提示している²⁾。バイオマスや排熱等の未利用エネルギーの利活用による

地域構造を踏まえたロードマップの作成は、極めて先駆的な取組である。しかし、より実現可能性の高い現実的なロードマップとするためには、これを構成する各対策の普及度合や各対策によるGHG, 中でも圧倒的に多くの量を占めるCO₂削減量の妥当性について、中長期的視点に立ち、経済・社会状況、技術開発状況等を踏まえた精査が必要となる。

筆者らは、名古屋都市圏（愛知県・岐阜県・三重県）におけるエネルギー需給構造を踏まえ、未利用エネルギー等の地域資源の活用を基調としたCO₂削減予測シナリオ作成するとともに、その実現可能性および各対策の導入促進における課題を明らかにするため、各分野の専門家に対してデルファイ法に基づく調査（以下、デルファイ調査）を実施した。また、これを踏まえ、CO₂削減ロードマップを作成した。本稿は、CO₂削減予測シナリオと各対策の導入時期を考慮したロードマップを比較し、これらの乖離を埋め、且つ、地域において低炭素社会を実現するための課題および政策インプリケーションを導出することを目的とする。

2. 地域におけるCO₂削減予測シナリオの作成

2.1. シナリオ作成の背景

地域レベルのCO₂削減シナリオの作成に当たっては、当該地域のCO₂排出量の把握が不可欠である。環境自治体会議(2005)は、産業・民生・交通の各部門における地方自治体ごとのCO₂排出量の算出を行っており、活動量に排出係数を乗じたものを排出量としているが、排出係数は全国の平均値を用いた推計となっている。例えば、民生業務部門においては、市区町村別業種別従業者数に全国区分別エネルギー消費原単位をかけたものを排出量としている³⁾。また、環境省(2009)は、地方自治体における地球温暖化対策実行計画を策定するためのマニュアルを策定しており、その中で自治体ごとのCO₂排出量の算定方法を示している。この中で、例えば、産業部門の製造業については、全国の製造業業種別エネルギー消費原単位に自治体ごとの業種別出荷額を乗じてエネルギー消費量を算出し、これにCO₂排出原単位を掛け合わせるにより排出量を算定するとしている⁴⁾。このように、地域におけるCO₂排出量の算定方法が示されているが、いずれも全国のエネルギーデータや排出原単位を用いた推計によるものであり、地域の実態に即した積み上げ方式にはなっていない。

また、地域におけるCO₂削減策を考えると、CO₂排出量のみを把握するのでは、排出量の多寡が明確になるだけであって、対策の対象や方法にどう結び付けるかについては不明である。削減策を立案するには、どのよ

うな業種・分野においてより排出原単位の小さいエネルギーに転換できるか、また、排出原単位の小さいエネルギーがどこに存在するかについて明確に把握することが不可欠となる。しかしながら、経済産業省資源エネルギー庁（以下、エネ庁）の「都道府県別エネルギー消費統計」⁵⁾は、主に「総合エネルギー統計」⁶⁾（エネ庁）の全国におけるエネルギーバランス表から推定した最終エネルギー消費が示されているにとどまり、需給バランスを示したもにはなっていない。さらに、この統計では、「地域資源」として利用価値の高い発電所排熱は、転換損失として計上されるだけであり、資源としては位置付けられていない。

先述したように、技術開発等によるCO₂削減策、すなわち全国レベルで一律に推進することのできる対策のみではなく、地域における未利用エネルギーの有効活用を含めた地域に根差した対策が不可欠となる。地域におけるCO₂排出量の把握のため、さまざまな試みがなされてきているが、CO₂排出量が把握されるだけでは、地域における実行あるCO₂削減策は立案されない。地域における実効あるCO₂削減策の立案および実施が進展しないのは、地域に存在するエネルギー、すなわち地域資源の需給量を把握するバランス表が存在しないからであるといえよう。ここでは、特に地域レベルのCO₂削減策の立案を支援するための「エネルギー需給構造把握ツール」を名古屋都市圏を対象として開発し、本ツールにより明らかになった地域資源賦存量を中長期的に最大限に活用した場合のCO₂削減予測シナリオを作成した。

2.2. エネルギー需給構造把握ツールの構造

エネルギー需給構造把握ツールは、以下の構造をなしている。

第一に、転換部門に「熱供給発電」や「廃棄物発電」等の項目を設けると共に、全国のエネルギーバランス表では転換損失とされている発電排熱を地域資源として位置付ける等、政策志向型の構造とした。また、現状では全く有効活用されず、廃棄されているものを「未利用」として、そのポテンシャルを把握できるようにした。

第二に、これまで明らかにされていなかった地域レベルにおけるエネルギー種ごとの供給量、および転換部門を算出し、全体のエネルギー需給バランスを把握できるようにした。また、最終需要量の民生部門の民生家庭について、独自のアンケート調査により家庭用エネルギー機器の使用台数・時間等を明らかにし、この調査を基に積み上げ方式でエネルギー種別ごとの実態に即した消費量を把握した。

第三に、地域に根差したCO₂削減方策を立案する際に不可欠な地域資源の賦存量等を含み、政策のターゲットが明確になる構造とした。

なお、本ツールにおいては、名古屋都市圏全体を1つの地域として捉え、この地域内に存在するそれぞれの資源について、全体量を賦存量として把握することを目的としているため、名古屋都市圏内における地域資源賦存量の偏在性は考慮できていない。

2.3. エネルギー需給構造把握ツールの作成手法

エネルギー需給構造把握ツールは、名古屋都市圏における各種の既存統計、およびエネルギー供給事業者等へのヒアリング調査等に基づき、できる限り積み上げ方式で作成した。

(1) 賦存量の把握

石炭・原油・天然ガス等の化石燃料については、名古屋都市圏において産出され利用されるものが無いため、賦存量を0とした。地域資源について、太陽光発電および太陽熱については、名古屋都市圏における建物用地面積（屋根）のうち、北側半分は太陽光を授受できないので除外し、残りを太陽光パネルと太陽熱集熱器で折半するものとした。風力発電については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）の風況マップより、東海地域における風速6m/秒以上のおおよその面積を算出し、ここに、発電出力2,000kW、風車の直径80mの風車を800m²（風車の羽の直径の10倍の長さ四方）に一機の割合で建てるものとした。木質系バイオマス（林地残材、製材所廃材、果樹剪定枝、公園剪定枝、建築解体廃材、新・増築廃材）については、NEDOの「バイオマス賦存量・利用可能量の推計～GISデータベース」⁷⁾により公表されている推計値を引用した。廃棄物系バイオマスについては、愛知県・岐阜県・三重県において公表されている廃棄物統計からそれぞれの発生量を把握し、廃棄物の種類ごとの含水率、発熱量を加味し、賦存量を把握した。なお、本ツールにおいては、バイオマスについてはメタンとして利用した場合の賦存量を採用している。廃プラスチック（以下、廃プラ）等について、一般廃棄物由来のものについては容器包装リサイクル法の対象となっている「その他プラ」を除いたものとし、産業廃棄物由来のものについては、名古屋都市圏において既に資源化されているものを除いたものを熱量換算したものを賦存量とした。発電排熱・廃棄物焼却に伴う排熱については、現状では有効利用されていない排熱が持つ熱量を賦存量とした。

(2) 最終需要の把握

最終需要のうち、産業部門・民生部門業務についてはエネ庁の「都道府県別エネルギー消費統計」の愛知県・岐阜県・三重県を合算した値を用いた。運輸部門については、電気事業者が鉄道事業者に販売した電力量より、民生部門家庭については、名古屋大学大学院環境学研究

科竹内研究室が実施したインターネットによる家庭用電気機器の台数・使用時間の実績値調査より算出した。

(3) 供給量・転換部門の把握

転換部門において、化石燃料を用いる事業用発電については電力事業者のエネルギー種別発電量実績値より計算し、産業用蒸気・自家発電、および所内消費・ロスについては「総合エネルギー統計」を用い、それぞれのカテゴリーにおける名古屋都市圏における当該エネルギーの使用割合を把握し、全国の値にそれぞれの割合を乗じ算定した。地域資源のうち、バイオマスや廃プラ等については、発電機付きの焼却炉に投入され処理されているものは廃棄物発電の原料となるものとして捉え、発電機の付いていない焼却炉に投入され処理されるものは廃棄物単純焼却となるものとしてそれぞれ算出した。排熱については、火力発電によるもの、廃棄物焼却によるもの共に現状ではほとんど利用されずに放出されているため、未利用のカテゴリーに位置付けた。供給量については、エネルギー種ごと最終需要計と転換部門計の差を移入量として算定した。

2.4. 地域におけるCO₂削減予測シナリオの作成

(1) 地域資源のポテンシャル

上記のような方法により作成したツールにより、以下の諸点に着目することができる。特に、現状では有効に活用されていない地域資源により化石燃料を代替することによるCO₂削減効果とそのポテンシャルや、より排出原単位の小さい燃料への転換によるCO₂削減効果等に注目すると、下記のことが示唆される。

第一に、発電所等からの排熱を利用した地域熱供給およびCCHP（熱供給発電）を導入した場合、名古屋都市圏における火力発電、および廃棄物焼却による排熱が持つ発熱量は合計で549,541TJにもなる。名古屋都市圏における大都市においては人口密集地が多く、熱需要密度が高くなる。このような地域において熱供給発電を実施し、排熱を有効利用した場合、単位供給熱量当たりの放熱損失が小さくなりエネルギー有効利用の面で有利となり⁸⁾⁹⁾、発電形態を都市ガスを利用する地域熱供給型とすれば、暖房等需要の灯油や都市ガス使用量を削減できる。2km²に5,700世帯が住む地域に2,000kWの発電機を2機導入し、発電効率40%、熱回収効率40%、総合効率80%とし、200地域で熱供給発電を実施すれば、400万トンのCO₂の削減が可能となる。これは1990年の名古屋都市圏のCO₂排出量の3.0%に相当する。

第二に、産業部門における燃料を石炭・重質油から天然ガス・都市ガスに転換した場合、非鉄金属業、窯業土石業における燃料を石炭および重質油から天然ガスおよび都市ガスに転換し、84,444TJを代替した場合、169

万トンの CO₂ の削減が可能となる。これは 1990 年の名古屋都市圏の CO₂ 排出量の 1.3% に相当する。

第三に、廃棄物系バイオマスからのメタンの都市ガス利用等を行った場合、名古屋都市圏における廃棄物系バイオマスから発生するメタンの発熱量（賦存量）は 28,192TJ となる。これは、名古屋都市圏の産業部門における石炭を代替した場合、1990 年の名古屋都市圏における CO₂ 排出量の 1.4% にあたる 180 万トンの削減が可能となる。

第四に、廃プラ等を石炭代替燃料として利用した場合、現状では RPF（廃棄物固形燃料）としても利用されず、単に焼却処分されている廃プラは 16,498TJ あり、これが一般炭を代替したとすれば、172 万トンの CO₂ が削減される。これは、名古屋都市圏の 1990 年の CO₂ 排出量の 1.3% に相当する。なお、ここでは、容器包装リサイクル法が対象とする廃プラ（PET ボトル、その他プラスチックの容器・包装材料）は、RPF 化する廃プラに含めなかったが、特に「その他プラ」は、発熱量が高く CO₂ 排出係数が小さいポリエチレンが中心であるので、代替燃料として利用するのに適している。

上記のように、本ツールにより、自治体の政策立案者は、燃料転換により CO₂ の削減が可能で業種およびその量、利用可能な地域資源の量（賦存量）、熱供給発電の導入量のポテンシャルなどを把握することが可能となる。

(2) 地域における CO₂ 削減予測シナリオの作成

本ツールにより、名古屋都市圏における地域資源を含むエネルギー需給構造が明確になった。これを踏まえ、2020 年および 2050 年に導入することが可能であると考えられる CO₂ 削減策、それぞれの削減策による CO₂ 削減量 および CO₂ 削減割合を示したものが Table 1 である。また、それぞれの導入時期、削減効果が現れる時期等に応じて予測シナリオとして示したものが Fig. 1 である。これらの削減策は、全国レベルで講じられるもの、地域に根差したものに大別される。全国レベルの取組は、単体の技術革新によるものやライフスタイルに応じて導入できるものが多い。一方、地域に根差した取組は、木質系バイオマスの暖房利用や廃プラの石炭代替利用、廃棄物系バイオマスからのメタン回収とそのガス利用、産業部門における燃料転換のような地域資源を利活用するもの、コンパクトシティ化および CCHP 導入、共有自転車の導入、低炭素リフォーム、都市区域における森林増加等、都市計画・建築に関わるものが多くなっている。

これらの削減策を選定した理由として、第一に、それぞれの削減策の技術要素は確立しており、既に適用事例があるか実証試験が行われていること、第二に、排熱やバイオマス等の地域資源を有効かつ最大限利用できること、第三に、特に地域に根差した削減策においては、単

体の技術による対策ではなく、その社会への適用により将来においてエネルギー需給に関するシステム変革を促す可能性があること、を考慮した。

それぞれの削減策については、既に進められているもの、すぐに導入・着手できるものから実施することとし、その削減効果は、中長期的に拡大していくものとする。例えば、全国レベルの取組は、グリーン家電への買換、OA 機器の更新、低燃費車への買換、太陽光発電の拡充が該当し、地域に根差した取組は、廃プラの石炭代替利用、共有自転車の導入、低炭素リフォーム、廃棄物系バイオマスからのメタン回収・都市区域における森林増加等が該当する。一方、CCHP 導入については、既存の大型石炭発電所の更新に合わせて順次整備していくこととなるので、導入時期、削減効果が現れる時期は 2020 年以降になるものとした。

それぞれの削減策の導入量の設定について、全国レベルの取組については「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ（環境大臣試案）」に基づき、低燃費・電気自動車への買換については、新車販売台数に占めるそれらの割合を援用し、太陽光発電の拡充については、各年次における導入・普及割合を参考とし名古屋都市圏における導入量を算出した。グリーン家電・OA 機器の買換については、現時点で使用されているものの更新、および 2020 年以降に購入されたものの更新の双方を加味し、買換え台数および割合を推定した。また、地域レベルの取組については、木質バイオマスの暖房利用、廃プラの石炭代替利用、廃棄物系バイオマスのメタン回収・ガス利用については、名古屋都市圏エネルギー需給構造把握ツールで明らかにされている賦存量の全量を利用するものとした他、コンパクトシティ化とそれへの CCHP 導入等については、中長期的に導入可能であると考えられる数値を算定した。

これらの削減策の導入により、CO₂ 排出量は、2020 年には 1990 年比マイナス 13.9% (BAU: 現状の社会・経済状況がこのまま続いた場合の将来の姿 (Business as Usual) 増加分 3.6%、全国レベルの取組によりマイナス 4.9%、地域に根差した取組によりマイナス 6.5%) となり、2050 年には同マイナス 59.6% (BAU 減少分マイナス 11.4%、全国レベルの取組マイナス 13.5%、地域に根差した取組によりマイナス 34.7%) と試算した。

3. デルファイ法によるロードマップの作成とその実現可能性調査

3.1. 調査の概要

2. で示した名古屋都市圏における CO₂ 削減予測シナリオは、この地域における地域資源を最大限活用し、そ

Table 1 名古屋都市圏におけるCO₂削減策ごとの導入量・CO₂削減量の試算

カテゴリ	CO ₂ 削減策	単位	2020年			2050年		
			導入量	CO ₂ 削減量(t)	CO ₂ 削減割合(%)	導入量	CO ₂ 削減量(t)	CO ₂ 削減割合(%)
全国レベルのCO ₂ 削減策	グリーン家電への買替	世帯	4,000,000	-2,259,300	-1.70	8,000,000	-4,518,600	-3.41
	OA機器の買替	民生業務%	100	-2,074,482	-1.56	200	-4,148,964	-3.13
	低燃費車への買替	台	260,000	-127,507	-0.10	3,500,000	-1,664,760	-1.26
	電気自動車への買替	台	70,000	-114,236	-0.09	1,000,000	-1,631,939	-1.23
	太陽光発電の拡充	kw	5,100,000	-1,953,925	-1.48	15,500,000	-5,938,400	-4.48
地域に根ざしたCO ₂ 削減策	コンパクトシティ化による自動車利用減少	箇所	200	-959,152	-0.72	1,500	-7,193,641	-5.42
	コンパクトシティへのCCHP導入	システム	200	-4,011,436	-3.02	1,500	-30,085,773	-22.68
	木質系バイオマスの暖房利用	t	159,550	-167,556	-0.13	159,550	-167,556	-0.13
	廃プラの石炭代替利用	t	648,997	-1,722,878	-1.30	648,997	-1,722,878	-1.30
	共有自転車の導入	システム	50	-2,565	0.00	100	-5,130	0.00
	低炭素リフォーム	世帯	1,500,000	-1,257,032	-0.95	6,000,000	-5,028,126	-3.79
	廃棄物バイオマスからのメタン回収・ガス利用	t	13,334,366	-1,804,559	-1.36	1,334,366	-1,804,559	-1.36
	愛知県					2.1倍		
	岐阜県					1.2倍	-150,000	0.00
	三重県					1.3倍		

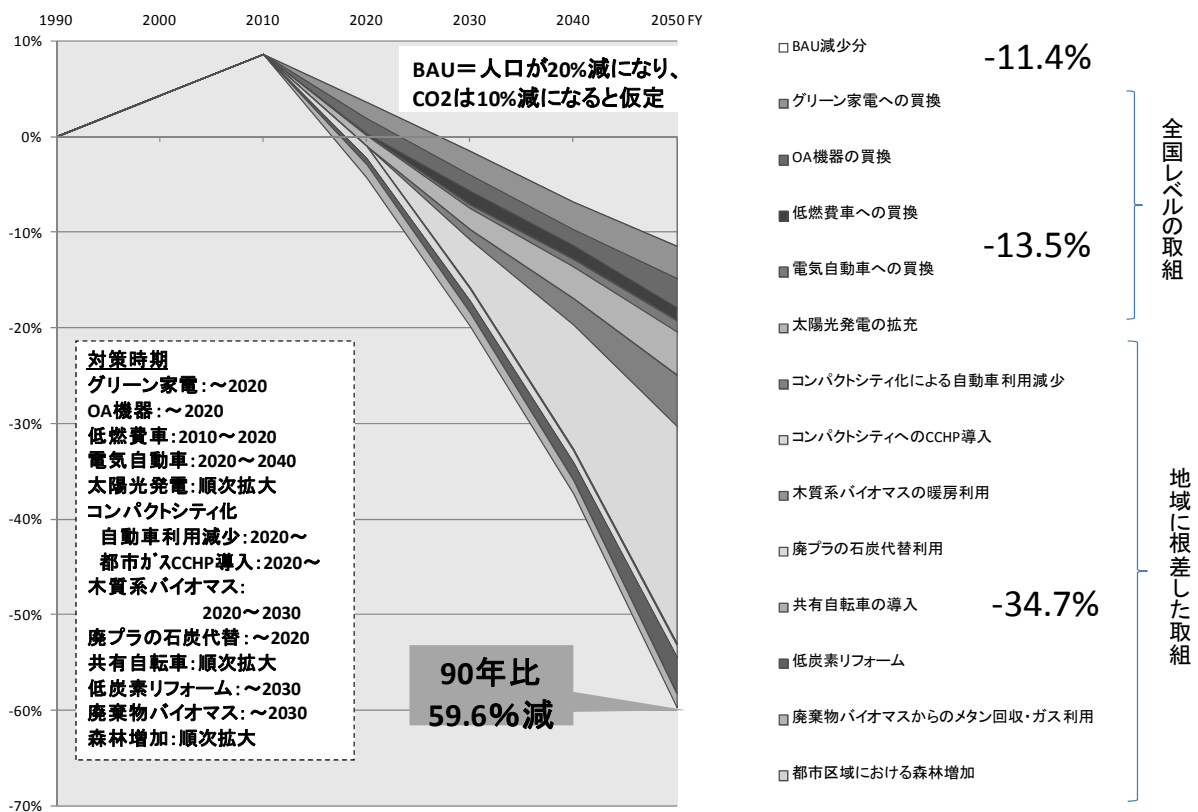


Fig.1 名古屋都市圏におけるCO₂削減予測シナリオ

それぞれのCO₂削減策をできる限り多く導入したのとなっている。しかし、それぞれの削減策の導入可能性について中長期的視野で精査する必要がある。また、それぞれの削減策の導入可能時期も踏まえる必要がある。その際考慮する点としては、費用対効果、技術普及状況等が考えられるが、コストの低さや技術の供給サイドの状況のみに着目したのでは不十分である。むしろ、経済的要因のみでなく、社会的・制度的要因も十分に加味し、総合的に考慮する必要がある。このことを踏まえ、それぞれの削減策に対して、2050年までの導入量として適切な

予測値を入力することで正確なCO₂削減量が把握でき、現実的なロードマップを作成することができる。各種CO₂削減策の2050年までの予測は、地域レベルのみならず国レベルにおいても存在しない。そこで、本研究では、まちづくり・都市計画、エネルギー、廃棄物処理の各分野の専門家(大学・研究機関、企業、行政等)に対しデルファイ法を用いて、複数回のアンケート調査を実施した。

デルファイ法とは、技術開発や将来の社会動向等の長期的予測を行う手法であり、当該分野の専門家に対して

質問紙調査等を複数回繰り返して実施し、最も信頼度の高い将来予測とそれに基づくシナリオを構築するものである⁸⁾。デルファイ法が通常のアンケート調査と異なる点は、複数回調査を繰り返す点であり、第一回目の回答者に対し調査結果を開示し、それを踏まえて再度質問に回答してもらうというプロセスを反復する。このことにより、意見のばらつきが少なくなり、信頼性の高い回答に収斂していく。我が国においては、このデルファイ法を用いて、10～20年後の生活予測に関する調査が、国、地方レベルの双方で1970～1980年代に盛んに実施された¹¹⁾¹²⁾。亀山(2009)はデルファイ法を用いて、2013年以降の気候変動への対処における国際枠組みの構成要素を分析し、この枠組みは、地域の多様な取組の集積が枠組を形成するボトムアップ型、世界的に統一されたルールに基づくトップダウン型、多国間の交渉が決裂するタイプの3種類に収斂されることを示している¹³⁾。

本調査におけるアンケートは全92問からなる。その内容は、域内総生産などのBAU予測に関するもの、グリーン家電・省エネOA機器・低燃費車・電気自動車・太陽光発電の普及などの全国レベルの取組に関するもの、コンパクトシティ化による自動車利用量・CCHPの導入・共有自転車システムの普及・低炭素リフォームの普及・木質系バイオマスの利活用・廃棄物系バイオマスのメタン化による都市ガス代替利用・廃プラスチックの石炭代替利用などの地域に根差した取組に関するものにより構成されている。

第1回目のアンケートは、382名に対して送付し、77名から回答を得た(回収率20.2%)。77名の専門家の分野別回答者数は、まちづくり・都市計画分野22名、エネルギー分野27名、廃棄物処理分野28名であった。次に回答者77名に対し、集計結果をフィードバックした上で、同様のアンケートを再び行った(一部設問については、第1回目のアンケート結果を鑑み、選択肢を修正したり、記述式から選択式にしたりする修正を行ったものの、設問文自体は変更していない)。その結果、64名から回答を得た(回答率83.1%)。64名の専門家の分野別回答者数は、まちづくり・都市計画分野18名、エネルギー分野22名、廃棄物処理分野24名であった。

3.2. 調査の結果と考察

第一に、BAUとしてたずねた域内総生産の将来予測については、2020年では「現在(実際には2008年データ)より0%以上5%未満の増加」、2030年では「0%以上5%未満の減少」、2050年では「5%以上10%未満の減少」という回答を中央値として得た(以下の回答結果でも中央値を示す)。これらの値を、そのままBAUのCO₂減少率として設定した。

第二に、全国レベルの取組について、グリーン家電の

買換効果として、1世帯あたり「10%以上15%未満の削減効果」、買換が完了する時期として「2016年以降2020年以前」という回答を得た。OA機器の省エネ機器買換効果としては、1事業所あたり「5%以上10%未満の削減効果」、買換が完了する時期として「2016年以降2020年以前」という回答を得た。低燃費車への買換効果については、まず乗用車保有台数として1世帯あたり「1.19台以上1.26台未満(2050年)」になるとの予測が中央値であったものの、この分野の専門性が高い回答者のみ抽出すると「0.98台以上1.12台未満(2050年)」という回答を得た。貨物自動車の台数は域内総生産予測に従って増減するものとした。一方、燃費改善率、平均走行距離の回答から1台あたりの燃料消費量が分かることから、CO₂削減量の計算を行うことができる。また、乗用車のうち電気自動車以外の全ての乗用車と、全て貨物自動車が、2020年には低燃費車になると仮定している。電気自動車の普及については、「25%以上30%未満(2050年)」の回答を得たものの、専門性が高い回答者のみの回答は「50%以上70%未満(2050年)」という回答を得た。太陽光発電の普及については、一次エネルギー需要に占める太陽光発電の割合として「5%以上10%未満(2050年)」という回答を得た。

第三に、地域に根差した取組について、コンパクトシティは、面積は「2.0km²以上3.1km²未満」、人口密度は「7,500人/km²以上10,000人/km²未満」、実現数として「50箇所以上100箇所未満」という回答を得た。また、コンパクトシティ内の自動車利用率は「25%以上30%未満」になるとの回答を得た。コンパクトシティにおけるCCHPの導入可能性を尋ねたところ、「0%以上20%未満(2050年)」、専門性が高い専門家では「40%以上60%未満」という回答を得た。さらに、コンパクトシティ内では自転車活用されることが想定されるため、共有自転車システムについての可能性についてたずねた。共有自転車システムの実現数として「100箇所以上150箇所(2050年)」という回答を得た。木質系バイオマスの熱利用については、利用可能量(賦存量から、現在エネルギー以外に利用されている肥料等と、収集困難な林地残材を引いた量。すなわち、実際にエネルギーとして利用可能な量)のうち「10%以上20%未満(2050年)」が実際に利用される、という回答を得た。低炭素リフォームの効果としては、冷暖房で「10%以上15%未満」、給湯で「10%以上15%未満」のCO₂削減効果があるとの回答を得た。

本ロードマップでは、廃棄物系バイオマス(生ごみ、紙ごみ、下水道汚泥、浄化槽汚泥、家畜ふん尿)をメタンガス化し都市ガス代替として利用することを想定している。都市ガスに代わり、カーボンニュートラルな廃棄物系バイオマスを用いることは、CO₂削減につながる。また、これが実現すれば、廃棄物の焼却に使用していた廃プラが不要となる。そこで、廃プラを、CO₂排出原

Table 2 デルファイ調査により導出した名古屋都市圏におけるCO₂削減策ごとの導入量・CO₂削減量

カテゴリ	CO ₂ 削減策	単位	2020年			2050年		
			導入量	CO ₂ 削減量(t)	CO ₂ 削減割合(%)	導入量	CO ₂ 削減量(t)	CO ₂ 削減割合(%)
全国レベルのCO ₂ 削減策	グリーン家電への買替	世帯	4,365,315	-1,027,350	-0.77	8,215,942	-1,933,571	-1.46
	OA機器の買替	民生業務%	100	-874,470	-0.66	200	-1,748,939	-1.32
	低燃費車への買替	台	1,157,590	-1,045,253	-0.79	3,159,615	-3,235,026	-2.44
	電気自動車への買替	台	725,734	-1,184,354	-0.89	2,727,163	-4,450,564	-3.35
	太陽光発電の拡充	kw	171,429	-218,928	-0.17	2,307,704	-2,947,112	-2.22
地域に根差したCO ₂ 削減策	コンパクトシティ化による自動車利用減少	箇所	25	-162,153	-0.12	75	-486,459	-0.37
	コンパクトシティへのCCHP導入	システム	3	-60,172	-0.05	38	-762,173	-0.57
	木質系バイオマスの暖房利用	t	22,161	-23,273	-0.02	44,323	-46,547	-0.04
	廃プラの石炭代替利用	t	111,186	-295,163	-0.22	211,186	-560,631	-0.42
	共有自転車の導入	システム	30	-1,539	0.00	175	-8,977	-0.01
	低炭素リフォーム	世帯	1,091,329	-914,557	-0.69	4,107,971	-3,442,566	-2.60
	廃棄物バイオマスからのメタン回収・ガス利用	t	351,098	-36,623	-0.02	1,053,294	-1,098,660	-0.07
	都市区域における森林増加	愛知県					2.1倍	
		岐阜県					1.2倍	-150,000
		三重県					1.3倍	

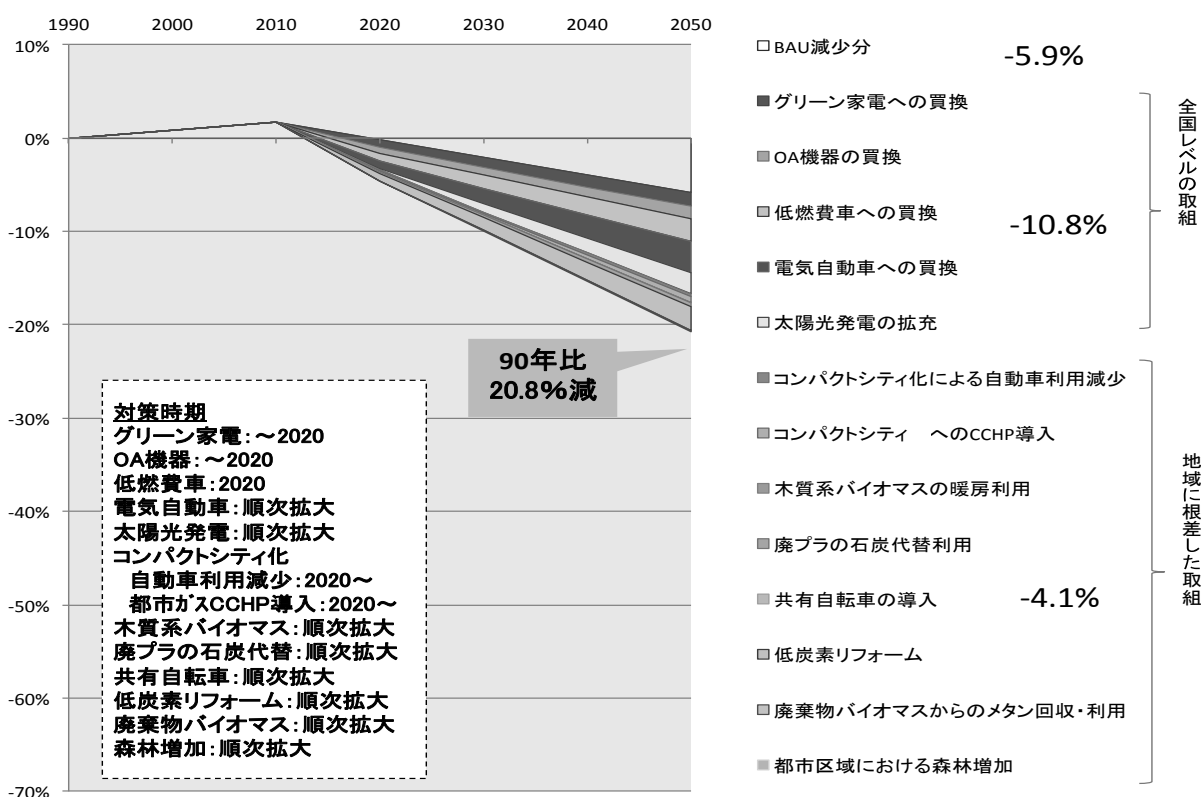


Fig. 2 デルファイ調査により算定した名古屋都市圏におけるCO₂削減ロードマップ

単位の大きい石炭の代替として利用することで、さらなるCO₂削減が図られる。この実現可能性については、まず、廃棄物系バイオマス起源のメタンが都市ガスに代替される割合として「5%以上10%未満(2050年)」程度しか実現しない、という回答を得た。また、廃プラの石炭代替利用としては「10万以上15万未満(2050年)」という回答を得た。これは現在の廃プラ排出量の18%から27%に相当する。

なお、削減策の実現時期について、全国レベルの取組においては、機器単体の買替や普及が中心になることから、2020年以前の段階で比較的大きな割合で対策が進む

との予測結果が得られたが、地域に根差した取組においては、コンパクトシティ化やそれを前提とした削減策等中長期的な取組を必要とする対策であること、現状において導入が始まったばかりである対策があること等により、実現時期が遅くなったり、または2050年においても実現しないと予測される削減策が多くなった。

以上の結果を踏まえると、2020年、および2050年におけるCO₂削減策の導入可能量とCO₂削減量はTable 2に示すようになる。また、それぞれの導入時期、削減効果が現れる時期を考慮してロードマップとして示したものがFig. 2である。なお、BAUは、2050年は現在より7.5%減

少するという結果を得たので、これより、CO₂削減割合を1990年比マイナス5.9%と算出した。なお、BAUによる削減量に関しては、域内総生産の予測を単純に適用したのみである。本調査により得られた現実的に導入可能と考えられるCO₂削減量を踏まえると、CO₂排出量は、2020年には1990年比マイナス4.6%（BAU減少分マイナス0.2%、全国レベルの取組によりマイナス3.3%、地域に根差した取組によりマイナス1.1%）となり、2050年には同マイナス20.8%（BAU減少分マイナス5.9%、全国レベルの取組によりマイナス10.8%、地域に根差した取組によりマイナス4.1%）となった。デルファイ調査前のCO₂削減シナリオ(Fig. 1)と比較すると、全体のCO₂削減効果は約3分の1になっている。

全国レベルの取組（グリーン家電・省エネOA機器・低燃費車・電気自動車・太陽光発電の普及）に関しては、個別の削減策では多少の相違があるものの、デルファイ調査前のCO₂削減シナリオと比較すると2.7%の違いしかない。一方、地域に根差した取組（コンパクトシティ化による自動車利用量・CCHPの導入・共有自転車システムの普及・低炭素リフォームの普及・木質系バイオマスの利活用・廃棄物系バイオマスのメタン化による都市ガス代替利用・廃プラスチックの石炭代替利用など）に関しては、デルファイ調査前のCO₂削減シナリオでは34.7%のCO₂削減であったものが、デルファイ調査後では4.1%減と、大きく変化している。

これに影響を与えている最も大きな項目は、コンパクトシティの実現数およびCCHPの導入数に関する項目である。デルファイ調査後のロードマップでは、コンパクトシティ実現数が「50箇所以上100箇所未満」と約20分の1になったのに加え、CCHPが導入されるのが40%以上60%未満（専門性の高い回答者の見解）、つまりCCHPの導入箇所はシナリオの約40分の1になった。コンパクトシティの実現については、「土地所有権の問題」「土地への愛着」「再開発予算」に対する課題を解決する必要があるとの意見が多く挙げられ、CCHPの導入については、「事業採算性」「イニシャルコスト」「熱供給インフラの整備」に対する課題を解決する必要があるとの意見が多く挙げられた。

また、デルファイ調査前のCO₂削減シナリオでは、廃棄物系バイオマスの全量をメタン化・都市ガス代替に利用するプランを想定したものの、デルファイ調査で得られた廃棄物系バイオマスの活用量は全量の約36%に過ぎなかった。さらに廃プラの全量利用を前提としたその石炭代替利用については、取組自体は約49%の賛同を得ているものの、デルファイ調査で得られた廃プラの活用量は全量の約13%でしかなかった。

このように、デルファイ調査によれば、低炭素社会の実現に向けた中長期的なロードマップを構成するCO₂削

減策の導入可能性を検討した時、地域に根差した取組に対して低い結果が出るとともに、より地域の都市構造やエネルギーの供給方法等について多くの課題が存在し、それらの抜本的な改善方策を見出す必要があることが明確に示されることとなった。

3.3. 本調査手法の課題

本調査においてはデルファイ法に基づく専門家へのアンケート調査により、Fig. 1に示したCO₂削減予測シナリオを構成する各削減策の導入可能時期と導入可能量を明らかにしたうえで、2050年におけるCO₂削減ロードマップの作成を試みた。しかし、留意すべきは、デルファイ法により明らかになるのは、各削減策単体の技術的発展・普及を踏まえた導入予測についてである。また、各削減策間の相互作用により新たな削減効果がうまれる可能性は大いにあるが、削減策間の相関性を示すことができない¹⁴⁾¹⁵⁾。そのため、これらの積み上げにより、目指すべき低炭素社会に対する最適ロードマップが必ずしも描かれるわけではない点に課題が残る。むしろ本研究により目指したものは、このようなロードマップを描くことにより目指すべき低炭素社会の技術的要素のパッケージ化と削減効果の概要を示し、政策意思決定に資する情報を提供することである。

4. 地域における低炭素社会実現に向けた課題・政策インプリケーション

本研究の結果を踏まえると、地域における低炭素社会の実現に向けた課題および政策インプリケーションとして指摘できるのは以下の諸点である。

第一に、地域資源の利活用のための需給バランスを踏まえた施策の推進が必要である。本研究を通じ、名古屋都市圏における地域資源について、火力発電および廃棄物焼却により発生する排熱の賦存量が極めて大きいことが把握でき、排熱を有効利用できる熱供給発電や地域熱供給の導入の余地が高いことである。また、バイオマスや廃プラ等の賦存量も比較的大きなものであることである。このような地域資源の賦存量と利活用状況の把握は地域社会・地域経済の状況を踏まえた地域の主体しか把握することができない。そのうえで、井村・森下(2006)も指摘するように、国レベルの政策に基づき、地域のミクロな主体の実践に結び付けることができるかどうか課題となる¹⁶⁾。また、地域に根差した削減策において、廃プラ等の燃料としての石炭代替利用やバイオマスのメタンガス化とその利用等については、その回収方法等を確立できれば比較的早期に導入が可能である。しかし、デルファイ調査の結果で示されたように、多くの専門家は、地域に根差した対策の導入はあまり進展せず、CO₂

削減効果もそれほど大きくないとの見解を示している。すなわち、技術要素の供給能力とその需要量とのミスマッチが生じていることが考えられるが、この解消のための施策の立案が必要である。

第二に、低炭素社会推進施策と都市計画の融合が必要である。地域に根差した削減策のうち、特に、コンパクトシティ化およびCCHPについては、地域における産業構造や人口動態の推移や変化を踏まえ、将来におけるエネルギー需要の見通しを的確に立てたうえで、その具体的導入場所や導入規模の検討を行う必要があるため、中長期的な対策となる。換言すれば、CCHPの導入を前提とした都市計画の策定が必要となる。すなわち、これらの対策は地域における温暖化対策としてのみ実施するのではなく、地域を低炭素化するための都市自体の構造に適した都市計画・まちづくり計画と融合させる必要がある。政策立案の段階においては、それぞれの地域のエネルギー需給構造の特性に応じた都市計画を行う必要があると言えよう。

第三に、それぞれのCO₂削減策の導入を促進するための時間軸を踏まえた経済的手法の有効活用が必要である。低燃費車や省エネ家電等の全国レベルの対策については、生田(2003)も指摘するように、既に実施されたようにエコポイントや補助金を購入者に対して付与するというインセンティブの与え方が比較的容易である¹⁷⁾。しかし、先にも述べたようなコンパクトシティ化やCCHP等の大規模で長期間をかけて実現していく対策については、施設整備を行うためのイニシャルコスト、稼働時のメンテナンスコスト、さらに、ここから電気・熱を受給する住民が負担するコスト等、諸々のコストを対策による便益が上回るようなインセンティブを与える施策、すなわち、新しいシステムを構築する対策の費用を補てんするような補助金や、エネルギー使用の段階でも従来型の電力よりCCHPから得られる電力の方が安価にできるようにするための補助金や減税が必要となる。

最後に、本稿では、デルファイ調査の結果について、それぞれのCO₂削減策の導入可能量に関する定量的な分析は実施できたが、それぞれの削減策の導入の阻害要因に関する定性的な分析は十分に実施できていない。また、先にも述べたように、CO₂削減ロードマップを構成する各削減策間の関連性や相乗効果について分析ができていない。さらに、ロードマップの実現に向けた各主体間の社会的合意形成の構築のための手法や個別の課題の解決の方法の開発等の社会実装のための方法についての実証的研究も必要である。これらの点については今後さらに研究を進め、ロードマップそのものの精度を高めると共に、地域における低炭素社会の実現に向けた政策・施策に必要な要件を、より詳細に解析することとしたい。

参考文献

- 1) 小沢鋭仁(2010)「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップの提案 ～環境大臣小沢鋭仁試案～」
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/shian_100331/main.pdf [2011, September 6]
- 2) 竹内恒夫(2010)「地域における長期のCO₂削減ロードマップ作成の試み」『環境科学会誌』23(4), 307-312.
- 3) 環境自治体会議(2005)『環境自治体白書』2005年版
- 4) 環境省(2009)『地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定マニュアル(第1版)』
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁(2009)「都道府県別エネルギー消費統計」
http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/energy/index.html [2009, September 11]
- 6) 経済産業省資源エネルギー庁(2009)「平成19年度総合エネルギー統計」
http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyuu/index.htm [2009, October 20]
- 7) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(2006)「バイオマス賦存量・利用可能量の推計～GISデータベース」
http://www.nedo.go.jp/library/biomass/index.html [2009, October 21]
- 8) 野村裕造・河原透・尾島俊雄(1991)「排熱利用地域冷暖房施設の計画手法に関する研究 その1 排熱供給地の選定方法」『日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)』1197-1198.
- 9) 佐土原聡(2001)「都市排熱利用を可能にする地域熱供給網の意義」『建築雑誌』116(1475), 20-21.
- 10) Helmer, O. (1966) *The Delphi Method for Systematizing Judgement about the Future*. University of California, Institute of Government and Public Affairs.
- 11) 経済企画庁国民生活局国民生活調査課(1976)「10年後の生活予測 国民生活に関するデルファイ調査」
- 12) 三重社会経済研究センター(1980)「21世紀における三重県民の生活像 デルファイ法に見る20年後の三重県の姿」
- 13) 亀山康子(2009)「気候変動対処を目的とした次期国際枠組みの構造分析 デルファイ手法およびクラスター分析を用いたアンケート調査結果」『環境経済・政策研究』2(2), 12-21.
- 14) 江藤肇(2001)「技術予測情報と意思決定システムとの適合性」『千葉経済論叢』23, 1-52.
- 15) 今村和男(1977)「政策科学から見たデルファイ法の効用と限界」『オペレーションズ・リサーチ』1977年5月号, 270-273.
- 16) 井村秀文・森下兼年(2006)「地域からの地球温暖化対策 温室効果ガス発生源別対策のためのデータ整備」『環境

研究』141, 65-71.

- 17) 生田孝史(2003)「地域主導による温暖化対策の推進」『富士通総研経済研究所レポート』102-117.

謝辞

本稿は、環境省環境研究総合推進費「低炭素型都市づくりの効果とその評価に関する研究(E-0806)」および、環境省世界に貢献する環境経済の政策研究「自立的地域

経済・雇用創出のためのCO₂大幅削減方策とその評価手法に関する研究」の成果の一部を取りまとめたものです。デルファイ調査にご協力いただいた各分野の専門家の皆様にお礼を申し上げます。また、匿名の査読者の方々にもお礼を申し上げます。最後に、本稿の作成にあたり、名古屋大学大学院環境学研究科竹内恒夫教授、渡邊聡研究員には有用なご助言をいただきました。心より感謝の意を表します。

FEASIBILITY OF THE ROADMAP FOR REALIZING LOW CARBON SOCIETY IN LOCAL LEVEL

Shotaro MATSUNO¹, Shoji TOGAMI²

¹Ph.D. (Environmental Studies) Researcher, Nagoya University, Graduate School of Environmental Studies
(E-mail:matsuno.shotaro@e.mbox.nagoya-u.ac.jp)

²M.A. (Science) (NPO) Support Center for Sustainable Regional Design (E-mail:togami@mac.com)

In this study, the mid-and-long term roadmap for CO₂ reduction utilizing local resources in accordance with energy supply-demand structure in greater Nagoya was developed. Delphi method for figuring out realistic amount of implementation for CO₂ reduction toward low carbon society was conducted. In the case of utilizing local resources to a maximum extent, 60% of CO₂ reduction compared to the 1990 level would be achieved in 2050. According to Delphi analysis, it was estimated that only 21% of CO₂ reduction would be accomplished. It was indicated that policy integration between urban planning and energy supply-demand, institutional innovation for leading implementation of measures in local level, and making effective use of economic incentive.

Key Words: *Low Carbon Society, Local Level, Roadmap, Delphi Method, Feasibility*