

記 録

文書番号	SCJ第21期-230930-21580700-030
委員会等名	日本学術会議土木工学・建築学委員会 低炭素建築・都市分科会、社会資本分科会（合同）
標題	低炭素化に向けた経済・社会・エネルギーのあり方と 実現のシナリオ
作成日	平成23年（2011年） 9月 30日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

日本学術会議土木工学・建築学委員会の低炭素建築・都市分科会と社会資本分科会は、平成 2008 年に発足し、前者は 8 回、後者は 11 回の会議を開催した。また、2010 年 12 月には合同でシンポジウム「低炭素化に向けた経済・社会・エネルギーのあり方と実現のシナリオ」を開催した。

低炭素社会実現のための基礎資料として両分科会の活動成果を役立てるために、ここに「記録」として残すこととした。

低炭素建築・都市分科会 委員

委員長	村上 周三	(独) 建築研究所 理事長
副委員長	吉野 博	東北大学教授
委員	伊香賀 俊治	慶應義塾大学工学部教授
委員	柏木 孝夫	東京工業大学統合研究院教授
委員	高草木 明	東洋大学工学部建築学科教授
委員	中上 英俊	㈱住環境計画研究所 代表取締役所長
委員	長谷見 雄二	早稲田大学理工学術院 教授
委員	林 良嗣	名古屋大学環境学研究科交通・都市国際研究センター長
委員	福井 秀夫	政策研究大学院大学教授
委員	米田 雅子	慶應義塾大学工学部教授

社会資本分科会 委員

委員長	浅見 泰司	東京大学空間情報科学研究センター 副センター長 教授
副委員長	野城 智也	東京大学生産技術研究所教授
委員	越澤 明	北海道大学大学院工学研究科教授
委員	小林 重敬	横浜国立大学大学院工学研究院教授
委員	高草木 明	東洋大学工学部建築学科教授
委員	林 良嗣	名古屋大学環境学研究科交通・都市国際研究センター長
委員	福井 秀夫	政策研究大学院大学教授
委員	村上 周三	(独) 建築研究所 理事長

目次

1.	はじめに	2
2.	低炭素社会の経済・エネルギー	3
2.1	スマートコミュニティの経済学	3
2.2	「エネルギー基本計画」と低炭素化	12
2.3	低炭素社会に向けた都市環境の評価	21
2.4	建築におけるCO ₂ 排出削減に関する経済価値の評価	26
2.5	日本の低炭素力	32
3.	低炭素社会実現のシナリオ	38
3.1	地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ	38
3.2	建築・都市におけるCO ₂ 排出量の50年までの長期予測	45
3.3	建築・都市におけるエネルギー消費特性の実態	55
3.4	森林再生による低炭素社会の実現	63
3.5	建築・建設分野における木材活用の拡大による炭素固定の可能性	70
4.	まとめ	73

1. はじめに

今年、京都議定書の第一約束期間の4年目となる。温暖化効果ガスの排出量は若干減少しているが、1990年比で6%減少されることは厳しい状況にある。また、部門別に見ると他の部門の排出量は過去10年間やや減少傾向であるのに対して、民生（住宅・非住宅）部門は未だに大幅な増加傾向を示している。従って、我が国における民生部門の温暖化対策を推進するためには、低炭素型の建築・都市の実現が喫緊の課題となっている。

そこで、低炭素建築・都市分科会は、良好な環境の実現とエネルギー消費節減の観点から低炭素型の建築・都市のあり方について検討することを目的に設置された。分科会では民生部門における温暖化対策や低炭素型の建築・都市のあり方に関して、国内外の各種施策について調査し、日本やアジアにおける住宅・社会基盤整備の方向性を、学際的・総合的視点から検討した。

一方、我が国の国民が共有するハードからソフトまで含めた社会資本のあり方については、長期的な展望をもとに、将来の社会における様々な変動リスクも加味して基礎的研究を体系的に推進していく必要があることから、社会資本分科会は基礎研究推進戦略に関する提言を行うことを目的とし設置された。

また、2010年12月には、両分科会合同で「低炭素化に向けた経済・社会・エネルギーのあり方と実現のシナリオ」と題するシンポジウムを開催した。

以上の分科会における活動成果として、分科会の審議を通して企画された、委員による話題提供の内容とシンポジウムのパネリストの発言内容を、それぞれの委員、パネリストが文章としてまとめ、それを委員長・副委員長が編集したものである。

2. 低炭素社会の経済・エネルギー

2.1 スマートコミュニティの経済学

松村 敏弘（東京大学 社会科学研究所）

(1) スマートグリッド、スマートエネルギーネットワーク、スマートコミュニティ

スマートグリッド(SG)、スマートエネルギーネットワーク(SEN)、スマートコミュニティ(SC)という言葉が、様々な場面で聞かれるようになった。しかしこれらの概念は国によって、また人によって言うことがバラバラで、統一的な定義が定着しているわけではない。この事実を持って、「これらの概念は実体のない怪しげな議論」と敬遠する人もいるようだが、私はそうは思わない。国によって、人によって言うことが変わるのは、それぞれ求めるもの、重点の置き方に違いがあり、かつ SG、SEN、SC が、多様な社会的要請に応える潜在的な能力が高いことの結果だと考えている。

定義がはっきりしないと云ったが、それでも最低限の共通要素を拾うと、SG は電力系統網+インターネットに代表される電気通信網、情報通信技術を使って電気の需要と供給の両面を効率的に制御して低炭素と高経済効率を両立させる電力系統網、SEN は SG+効率的な熱（更に将来的には水素）供給網、SC は SNE+効率的な水、交通、廃棄物処理、安全安心のためのインフラ等の環境面でも経済面でも効率的な社会的なインフラの再整備であると考えている。いずれも、価格メカニズムを上手く使うことで、その潜在能力を最大限に発揮できる。

(2) スマートグリッドと情報通信

既に述べたように SG は基本的に電力網+インターネット等の情報通信網、最終的にはコンセントにつなぐ全ての機器がインターネットに接続され、情報通信技術を使って効率的に制御されることになる。同時電気の使用状況等に関する膨大な量の情報が集められ、これを基に、エネルギー利用の効率化だけでなく生活の質の改善にも役立てる世界が実現することになる。需要家が漫然と電力を消費し、その消費量にあわせて漫然と電力を供給する旧来の世界ではなく、電気の需給条件に合わせて効率的に需要量を制御してエネルギー供給の社会的な費用を抑制するこの新しい世界では、スマートメーターと呼ばれる通信と電力消費量の総量を制御する機能を備えた電力計量器と、インターネットに繋がり個別機器を直接制御するホームサーバーが重要な構成要素となる。この2つの機能を統合したものをスマートメーターと呼ぶこともあるが、ここでは前者の機能だけを持つ計量器をスマートメーターと呼ぶことにする。後者の機能の具体例は、冷蔵庫やエアコンの設定温度、EV (Electric Vehicle、電動自動車)や PHV (Plug-in Hybrid Vehicle、プラグインハイブリッド自動車)への充電パターンの制御によって電力消費を効率化するなどである。

更にこの個別機器の電力使用状況のデータを活用して、更に省エネやライフスタイルの改善に役に立てることになる。この具体的な機器の制御やデータ利用の詳細は、工学系の専門家の話に任せるとして、ここでは主に、より基本的な前者、スマートメーターの話をする。

(3) 社会基盤としてのスマートメーター

電力は基本的に電力消費量にあわせて発電する必要がある。したがって、電力の供給設備は基本的に最大需要量にあわせて整備されている。つまり、ピーク時の電力消費量の増加は設備の増加を必要とし、従って社会的な費用の極めて高いものとなる。また仮に設備容量の範囲内の消費であっても、発電は基本的に限界費用の低いものから行われることになるため、需要の小さい低負荷の時間帯・季節の電力消費に比して、需要の大きい高負荷の時間帯、季節の電力消費はよりコスト高になる。例えば揚水発電を考えてみる。これは低負荷時間帯に電力を使って水をダムにくみ上げ、高負荷時間帯にこの水を使って発電するダム式水力発電である。水のくみ上げには当然ロスを伴うので、くみ上げに使った電力の約3割を失うことになる。つまり揚水発電で発電している時間帯の電力消費は、揚水発電に要する莫大な投資費用を計算にいれなくても、くみ上げている時間帯の電力消費よりも少なくとも3割は多くの社会的費用がかかっていることになる。逆に言うと、揚水が使われている状況で電力消費の時間をシフトさせるだけで、3割電力消費量を減らすことができる。

従来需給のピークは（冬季がピークとなる北海道を除くと）平日夏期の昼間、オフピークは春秋の深夜であり、極めて単純な需給構造であった。しかし PV 等が大量普及する将来にはこのような単純な構造ではなくなる。好天の昼間に電力の余剰が発生して揚水発電などをフルに使う吸収し、PVが止まる夜に揚水で発電する世界になることも予想されている。しかし、同じ昼間でも、曇天・雨天になれば電力が不足することもありえる。風力が普及すれば需給構造は更に複雑になる。このような再生可能電源が大量に導入された後の社会では、昼間料金を高くし需要を抑制し、深夜料金を割り引いて需要をシフトさせるという粗雑な運用では効率的な電力の使用を促すことはできず、よりきめ細かな料金体系が重要となる。この鍵となるのがスマートメーターである。需給にあわせてきめ細かな料金体系を採用するためには、きめ細かな計量が不可欠である。もちろん計量ができても、電力会社がそれを利用せず漫然と従来と同じ料金体系を維持していれば、需要の価格メカニズムによる需要の誘導は出来ないから、スマートメーターの普及は、効率的な電力消費のための十分条件ではないが、これ無しには、需要サイドからの調整の経済的誘因を引き出すことはできないと言う意味で、スマートメーターは効率的な電力需要管理のために必要な社会基盤である。

(4) 再生可能エネルギーの大量導入と需要制御

低炭素社会の構築と産業育成の観点から PV をはじめとする再生可能電源の大量導入を後押しする政策（固定価格買取制度など）が導入されている。一方 PV や風力発電は発電量が天候に左右されて大きく変動する不安定な電源であり、周波数などの変動を防ぐための調整費用がかかることになる。また PV が大量に導入されると、不需要期に電力の余剰が発生し、その電力を揚水発電や蓄電池で貯蔵するには膨大な費用がかかる（表 2-1-1）。この費用には既に述べた電力ロスの費用を含んでいない。この膨大な費用がかかると脅かせば、「PV の電気を捨てることもやむなし」と思えるかもしれない。実際、余剰となる PV の電気を捨てるための研究開発と、そのための追加的な機器に更にお金を使うという愚かなことが計画されていた。

しかし不需要期の電気の価格を十分に下げ需要を喚起すれば、より低コストでこのような無駄を防ぐことができる。価格メカニズムの利用は何よりも透明で公正な方法であるため、誰でも知恵を持ったものが参入でき、もっとも低コストで問題を解決するものが生き残る制度的な基盤となる。そしてこの価格メカニズムの導入を支えるのがスマートメーターである。これはほんの一例に過ぎずない。価格メカニズムが万能ではないにしても、価格メカニズムを上手く使いこなすことによって、環境効率性と経済効率性を両立させることが可能となる。価格メカニズムを上手く使う発想が常にあれば、再生可能電源による電気を捨てるという発想の前にもっとまともな対策ができたはずである。市場メカニズムからほど遠い、規制と事実上の独占の世界だけで生きてきた専門家に、制度設計を任せてはいけない。

表 2-1-1

シナリオ	蓄電池費用	総費用
出力抑制無(系統側蓄電池)	15.1兆円	16.2兆円
出力抑制無(需要家側蓄電池)	45.4～56.7兆円	45.7～57.2兆円
年14日出力抑制	2.8兆円	3.67兆円
年30日出力抑制	0.55兆円	1.36兆円

出典 経済産業省 次世代送配電ネットワーク研究会報告書

(5) 価格メカニズムと需要家の対応

需要家、とりわけ小口の家庭用電力需要に関して「価格に需要量が本当に反応するのか？」という批判が根強い。これに対する経済学者の反論としては、最近の依田氏（京都大学教授）と田中氏（政策研究大学院大学准教授）の研究からも、消費者の一定の反応は十分に期待できると答えられる。しかし、多くの者は、価格に対する需要の対応の本命は、

消費者の意識的な行動(電力価格を確認しながら冷蔵庫やエアコンの設定温度を変えたり、洗濯時間を選んだり、EVに充電するか否かを選択する行動)ではなく、通信機能と連動した自動制御であると考えている。電力価格が合理的に設定されれば、この電気代を合理的に節約できる機器、電力価格に応じて家電製品の電力消費量を制御し、EVの充電パターンを制御し、場合によっては電力価格の高い時間帯にはEVから家庭に電力を供給したり、自動でやってくれる機器の開発・導入が進み、結果的に電力消費量が価格に反応することになる。このような機器の開発は、本格的にスマートメーターが導入され価格メカニズムが採用されなければ進まない。

現在各地で価格と需要家の反応に関する実証実験が行われているが、実証実験のレベルでは、本格的な自動制御機器開発の誘因は生まれず、主役は手動による需要調節とならざるを得ない。そこで出てきた数値は、(今後市場メカニズムの下で開発されるであろう)本格的な自動制御機器無しでも現れる効果、予想される効果の下限、と理解すべきであり、特にSCの推進を嫌う保守的な電力事業者中心の実証実験やアンケート調査で得られる需要の価格弾力性の低い数値には、その解釈に注意が必要である。

(6) 成功した施策、失敗した施策

電力市場は全般的には価格メカニズムの導入に後ろ向きの産業であったが、価格メカニズムを上手く使って成功した事例も存在する。例えば家庭用電力料金における深夜料金制度である。現在深夜とそれ以外の時間の電力資料量の積算値を計量する2値メーターが一部の家庭に導入されており(更に4値メーターもある)、昼間の料金を高くする代わりに深夜料金を割り引いている。深夜がオフピークであることを考えると、昼間の需要を抑制しながら深夜の需要を開拓する合理的な料金体系で、ヒートポンプを使う給湯器であるエコキュートの普及を支えている。また結果的にEV普及の後押しをすることにもなる。電力会社にとって都合の良いエコキュートだけを差別的に割引するのではなく、需要を深夜にシフトさせるあらゆる機器の開発を促進すると言う点でも効率的なだけでなく公平で透明性も高い、世界に誇るべき料金体系である。この点オール電化割引のような、差別的で他事業者の排除を伴う不公正な料金制度の発想とは根本的に異なる。

近年失敗した典型例が、家庭用のPV(Photovoltaic power generation、太陽光発電)の余剰買取制度である。比較対象となる見なし全量買取制度と比べるとその違いがよくわかる。余剰買取制度とは、PVで発電した電力量から家庭で消費した量を引いた残りの部分、つまり系統に流した電力を高い価格で買取する制度である。全量買取制度は、PVの発電量に応じて高い価格でこの全てを買い取り、一方で消費電力に関しては別途消費者が料金を支払う制度である。買取価格を w 、PVでの発電量を y 、PVが動いている時間帯の家庭の電力消費量を x 、その時間帯の家庭用の電気料金を p とすると、余剰買取制度では家庭のネットの受取額は $w(y-x)$ 、全量買取制度では $wy-px$ となる。制度導入当初の価格はざっくり $w=48$, $p=24$ と考えて良い。

余剰買取制度の下では PV が動いている時間帯に 1 単位節電すると w の利益が得られるが、全量買取制度の下では p の利益に過ぎない。したがって余剰買い取りはより節電の誘因を高めるよい制度であると誤解している人がいるが、経済学的には誤りである。節電による社会的利益は、PV を設置している家庭もしていない家庭も同じである。設置していない家庭には節電で p の利益しかないのに、設置している家庭のみその 2 倍の利益を与えてより節電の誘因を与えるのは、単なる歪みに過ぎない。また PV を設置している家庭では PV が動いている時間帯により大きな節電の誘因を与えることになるがこれも単なる歪みである。もっと深刻なのは、PV が動いている時間帯から動いていない時間帯に電力需要をシフトさせると大きな利益を生むことになる点である。仮に PV と EV が大量に普及し、PV が動いている間は EV に充電せず、PV が止まった瞬間に充電を始めると、この家庭の利益になるが、社会的には壮大な無駄であり、系統安定性も損なうことになる。またそもそも PV を設置する段階で、昼間家に殆どいなくて電気を使わない家庭は利益が大きいが、昼に多くの電気を使う家庭の利益は小さくなる。自家消費率が低く、より多く系統に電気を流す需要家がより PV 設置の誘因を持つ制度が、効率的なはずがない。

全量買取ではこの問題は起きない。節電の利益は常に p 、発電の利益は常に w だからである。全量買取は「PV でどれだけ発電したか」を評価する思想に基づく料金制度で、その電気をどう使ったかとは切り離して評価する制度である。それに対して余剰買取は「系統にどれだけ電気を流したか」で評価する制度である。PV で自家消費を代替しようが他人に売ろうが、環境改善効果は同じ（送電ロスを考えれば前者の方が価値が大きいとさえ言える）であるのに、逆流させて系統に売ることを人為的に優遇する制度が余剰買取制度である。全量買取制度が優れた制度であることは自明ではないだろうか。もちろん買取価格を両制度で一致させれば、全量買取制度はより PV を優遇する制度となる。これがもし過剰な優遇であるとするならば、買取価格を下げればいいだけのことである。仮に平均的な自家消費率が 50%なら w を 48 ではなく 36 に下げればよい。平均的な家庭の利益は両制度で変わらなくなる。「全量買取制度では PV を優遇しすぎて、一般消費者の負担を増す」という批判は、高すぎる買取価格に対する批判であって、全量買取か余剰買取かという制度選択とは無関係な論点である。

余剰買取制度は SC にとっても極めて有害な制度である。系統で売れば 48 円で売れる余剰電力を（系統から買えば 24 円で買える電気を）系統管理者以外誰も買おうとは思わない。エネルギーの地産地消を目指す SC では、地域の PV の余剰電気を地域内で上手く利用することも重要な要素の一つだが、この設計の大きな弊害となりかねない。一方全量買取制度は発電を評価する制度なので、電力消費に関しては中立的な制度設計が容易に可能となり、長期的にも SC の構想を妨げたりはしない。

日本を代表する有識者が多く参加する審議会でも多くの時間を費やして議論されながら、このようなひどい制度が採用されてしまったのは極めて残念である。価格メカニズムという発想が如何に世の中に浸透していないかを物語る結果で、経済学者として責任を感じて

いる。

(7) 輪番停電とスマートメーター 震災を踏まえた視点

東日本大震災で東北地方の受けた打撃は計り知れないが、地震の直接的な被害が相対的に小さかった（南）関東地域でも「輪番停電」という思いもかけない事態に見舞われた。東京電力管内で2000万kWを越す電源が津波で被害を受けたからである。地震の規模、津波の被害の大きさが仮に1000年に一度の「想定外」の事態であったとしても、今回の規模の電源喪失は1000年の「想定外」の事態とは言い難い。現に、全く違う理由で東京電力管内の全原子力発電所が停止した事態も経験している。夏期の需要期に全原発が止まる事態は本来想定すべき事態であり、その備えができていれば、不需要期に二千数百万kWの電源を失う事態にいたっても、あれほど無様で非効率で無用の社会的混乱を引き起こした輪番停電よりはずっとましな対応が出来たはずである。もちろんこの事態に備えて膨大な予備電源を持っているべきであったと言っているのではない。そのためには膨大な費用がかかるからである。しかし、供給制限が不可避となったとしても「より良い対応」があり得る。このための事前の準備が出来ていなかったことに関しては、東京電力だけでなく、規制・政策当局も、私たち有識者と呼ばれる委員も等しく責任を負っており、私自身も深く反省している。

さて、仮に日本の関係者がしばしば「安価だが低性能」と評価する(?)イタリアのエネル社並のスマートメーターが普及していたら、このような緊急事態にどう対応できたか考えてみよう。このメーターがあれば、各需要家の最大電力消費量を、通信機能を用いて制御できる。例えば各需要家の最大電力消費量を50%あるいはそれ以上に抑制したとしよう。あるいは家庭用の需要家の最大消費量を一律に20Aに制限したとしよう。各需要家は優先順位を考えて自分で電力消費をコントロールできるので、混乱は遙かに小さくなり、また負担が特定地域に偏ることもない。もちろん事前に設定しておけば、優先度の高い需要家（命に関わる医療用機器を備えている家庭など）の削減率を個別に緩和することも可能である。今回の輪番停電の事態と比べても、非常時に遙かに合理的な対応が可能になる。

停電時には、家庭用の貴重な分散電源であるコジェネレーション（エコウィル、エネファーム）は停止してしまう（このような商品設計になった最大の原因も電気事業制度の欠陥と私は考えている）。電力が足りない事態であるのに、今回の輪番停電では貴重な電源をとめてしまうという愚かな結果をもたらした。また通常余剰電力を系統に供給しているPVも停電時にはこれが不可能となり、家庭では、手動で非常用のコンセントにつなぎ変えて使い切らない限り、PVの発電能力も無駄になる。不幸なことに現時点では分散電源は殆ど普及しておらず、結果的に停電による電源喪失は大きくなかった。しかし、今後SCの普及に伴い分散型電源が普及すると、この弊害は大きくなる。エネル社並みのスマートメーターを備え、上記の対応を取れば、需給逼迫時にも分散型電源をフルに利用できる。

更に価格メカニズムを併用して電力不足が予想される時間帯の価格を柔軟に引き上げて

需要を抑制し、逆に分散型電源での発電、逆潮流をうながすことができれば、上記の強制的な供給制限を減らすことができる。また価格メカニズムは事前の対応にも使える。危機になる前に、事前に「危機時に供給を 50%抑制する」という標準的な契約を設けるとともに、「危機時に優先的に供給を抑制するあるいは抑制量を高める代わりに平時の基本料金を低くする」特約と「危機時に最後に供給を抑制するあるいは抑制量を低める代わりに平時の基本料金を高くする」特約を設けておけば、電力供給抑制の打撃の小さな需要家から需要が抑制されることになり、より効率的に危機に対応できる。大口契約における需給調整契約は瞬時的な需要不足には対応できるが、今回のような長期の電源喪失には無力であることが明らかになった。より抜本的な事前の対策が不可避である。

(8) エネルギーの多様性、電源の多様性

今回の震災でエネルギー源を過度に原子力に依存する、あるいは沿岸部の火力発電所に依存する危険性が明らかになった。もちろんこれら大規模発電所が基幹電源であり、近い将来もこの状態が続くことは間違いないし、この構造を短期に変えようとする膨大な費用がかかることになる。しかし、今回の危機を見れば、分散電源の価値が再評価されるべきであるのは明らかで、その分散電源を無駄なく効率的に使う SC の価値も高まる要因こそあれ、低くなる要因は何もない。SC における分散型電源の主役は PV、小規模風力、小水力であるが、もう一つの主役は総合エネルギー効率の高いコージェネレーションである。発電すると同時に廃熱を効率的に利用するシステムである。

仮に東京電力管内の家庭用需要家約 2600 万件に、仮に 2000 万台のエネファーム（家庭用燃料電池）が導入されたとしよう。逆潮を含めて効率的に運転すれば、電力需要の大きい昼間から夕方時間帯に 1400 万 kW、深夜などのオフピーク時に 500 万 kW の電力を供給できる。既に廃炉となるのが確実な福島第 1 の 1-4 号機を含めた全機、現在停止している分も含めた福島第 2、柏崎刈羽の原子力の全機の設定容量が 1700 万 kW 強であることと比較してもこの規模の大きさが理解できると思う。これに EV を使った蓄電機能と組み合わせた再生可能電源を加えれば、原発を完全に代替することが長期的に「絵空事」ではないことが理解できるのではないか。

もちろん 75% の家庭にエネファームを入れるのが経済効率的だとはとうてい思えないし、何よりセキュリティの観点から必要な多様性という発想に反する。燃料電池のエネルギー源は、LNG、LPG、石油になるが、今回の震災でも東北地方ではガス施設にも深刻な打撃があった。石油あるいはガスの供給が途絶すると途端に深刻な電力危機を招くような市場構造にするわけにはいかない。とりわけ LNG は、基幹的な導管網が整備されておらず、東京一大阪間のような人口稠密地域でさえ導管が接続されていない。この状況を前提にするとガスに依存しすぎる脆弱な社会を作るわけにはいかない。しかし、かりに 2000 万世帯への導入が上げさだとしても、この数分の一の規模でも日本のエネルギー構造はかなり変わる。長期的には分散型電源を核とする SC の普及が日本のエネルギー構造を根本的に

変える潜在的な力を持っている。

危機対応では SC で中核を担うであろう次世代自動車も重要な役割を果たしうる。EV はその蓄電能力を生かして揚水発電所の役割を果たせるし、燃料電池車はピーク対応の発電所の役割を果たしうる。仮に燃料電池車を 1 万台系統に接続して発電できれば原発 1 機分の出力を代替できる。しかも自動車であれば、必要な場所まで自分で動いて行って発電することもできる。PHV ならこの両方の役割を果たしうる。現在ではこのような使い方を前提にした開発はされていないので難しいかもしれないが、自動車を「発電所に代替するエネルギー源」として位置づけて、多様なエネルギー開発の一環でこの問題を考えるのは重要である。

(9) 多様な知恵を持つ者が参入できる社会基盤を

スマートメーターの普及と価格メカニズムの利用は SC の推進の制度的な基盤であり、震災の経験を踏まえてこの普及を更に加速させる必要がある。スマートメーターに関しては、単純な開閉機能だけでなく電力消費量をコントロールできる機能が不可欠である。もし独占事業者である一般電気事業者が、震災の経験を踏まえてもなお方針の転換ができないほど硬直的な企業であれば、何らかの対策を考える必要がある。

普通に考えれば、一般電気事業者は単純な開閉機能だけでなく電力消費量をコントロールするようなスマートメーターの開発の誘因を持たない。仮に危機時に各家庭の総量をコントロールしたとしよう。普通の住宅なら、普段はエアコンを暖房の主力に、ガスファンヒーターを併用してきるとしても、電力危機時にはエアコンをとめてガスファンヒーターを主力に使うこともできる（逆にガスの危機時にはエアコンのみを使うこともできる）。普段は電気ポットを使っているがガスでお湯を沸かす、電子レンジの使用を控えてガスコンロを使うことも可能である。著しく割高な小型カセットボンベを使うのでない限り、オール電化住宅ではこのような対応はできず、電力使用制限の打撃が大きくなる。強引で不公正なやり方をしてまで普及させたオール電化住宅家庭に不利になるような対応を自然体でするとは考えられない。一方安易で粗雑な輪番停電なら、大半の新しいガス機器もとまるので、オール電化住宅も普通の住宅も同様の負担を強いることが可能となる。社会的な利益を考えず自社の利益のみ考えるなら、当然単純な開閉機能だけを備えたメーターを開発することになる。一般電気事業者が本当に公益を考える事業者なのかどうか、今後のスマートメーターの開発方針を注意深く見守る必要がある。もし震災の経験を踏まえてもなお方針の転換ができないほど硬直的な企業であれば、一般電気事業者の自主性に任せておく訳にはいかない。

また今回の震災に関連して、発送電分離の議論が再び注目を集めるようになってきた。私は発送電分離のような重要で長期的な問題は、原発事故対応、震災復興、東電の経営形態の問題のような緊急の課題が一段落してから時間をかけてきちんと議論すべき問題であると考えている（しかし同時に教訓が忘れられ、記憶が薄れるほどに先延ばししてはなら

ないとも思う)。ただ、2つの点は現時点で認識すべきであると考えている。

一つは、発送電分離は SC 建設の重要な制度基盤となるという点である。発送電が分離され、送配電部門に自社の大規模電源を優遇する誘因がなくなれば、今までのような傍目には嫌がらせにすら見えかねない接続ルール、買手独占力を背景にした購入電力の買いたたき等がなくなり、SC 促進に対してより中立的な環境が整う側面がある。SC の推進に発送電分離は「必要条件」とまでは言えず、垂直一貫体制の下でも SC を構想することは可能だが、もし垂直一貫体制を維持するのであれば、震災後一層価値を増した SC の推進のためには同時同量をはじめとするこれ以外のルールを抜本的に変える必要があるのではないか。

2つ目は、発送電分離と供給安定性、セキュリティの観点である。垂直一貫体制のメリットとして供給安定性の点で優れているとしばしば主張されてきた。本来なら今回のような危機的な状況で威力を発揮するはずであった。しかし、今回の輪番停電を経験して、日本の系統が(少なくとも東京電力の系統が)、このような危機時に上手に対応できるほど「スマートな系統」ではなかったこと、事後対応も極めてお粗末なものであったことをふまえば、「垂直一貫体制は安定供給に資する」という議論の説得力が低下したと考えるべきである。確かにこの状況で全系統を崩壊させるような大規模停電を起こさなかったのは誇ってもいいのかもしれないが、これ以外の点では目を覆いたくなるようなひどい対応であったことは、東京電力管内の需要家全てが目撃している。日本の系統は十分スマートで、あとは大量の再生可能電源導入に対応するだけ、などと主張していた人は完全に信頼を失ったと言って良いのではないか。そしてこのようにスマートでない系統を長年かけて作り上げてきたのは垂直統合体制下の一般電気事業である。発送電分離されていれば問題が起きなかったとは思わないが、垂直統合体制の優位性の説得力は大いに低下した、という点を踏まえて今後の制度設計を考えるべきである。

国家100年の計をにらんで、今後、抜本的な長期のエネルギー計画の見直しと社会のあり方の再検討が行われるはずである。その際には、短期に実現するには膨大な費用がかかる施策も、100年後の日本をにらんだビジョンの提示と建設的な政策の提示を行うべきである。SC の推進、その前提となるスマートメーターの普及だけでなく、30—50年かけてでも国内の周波数を60Hzに統一するといった抜本的な政策も必要なのではないか。今すぐ周波数を統一しようとするれば信じがたいほど費用がかかるとしても、50年後に統一することを前提に今から機器を開発し、50Hz 圏内で今後新設する発電機、変電所などを両規格に対応する機器に変えていけば、合理的な費用で移行できるのではないか。自分たちが生きていない50年後のことを議論するのは無責任かもしれないが、それでもそのような長期をにらんで議論することが必要なのではないか。

参考文献

経済産業省 次世代送配電ネットワーク研究会報告書, 2010.4

2.2 「エネルギー基本計画」と低炭素化

住環境計画研究所 所長 中上 英俊

2.2.1 はじめに

エネルギー基本計画とは、エネルギー基本法に基づいてわが国のエネルギー政策の基本的な方向性を示すものであり、法律上、少なくとも3年ごとに見直しを実施することが求められている。平成15年に策定後、平成19年に第一次改訂がなされ、今回は平成22年5月18日に閣議決定されたところである。

しかし、今回の東日本大震災により未曾有の災害を被った東京電力福島第一原子力発電所の事故により、わが国のエネルギー政策の見直しが取りざたされているところである。従ってエネルギー基本計画においても早晚改訂が実施されることは必須と思われることをお断りしておく。

2.2.2 今後の資源エネルギー政策の基本的方向について

ここでは今回のエネルギー基本計画策定に当たって、その基本的な方向について紹介する。

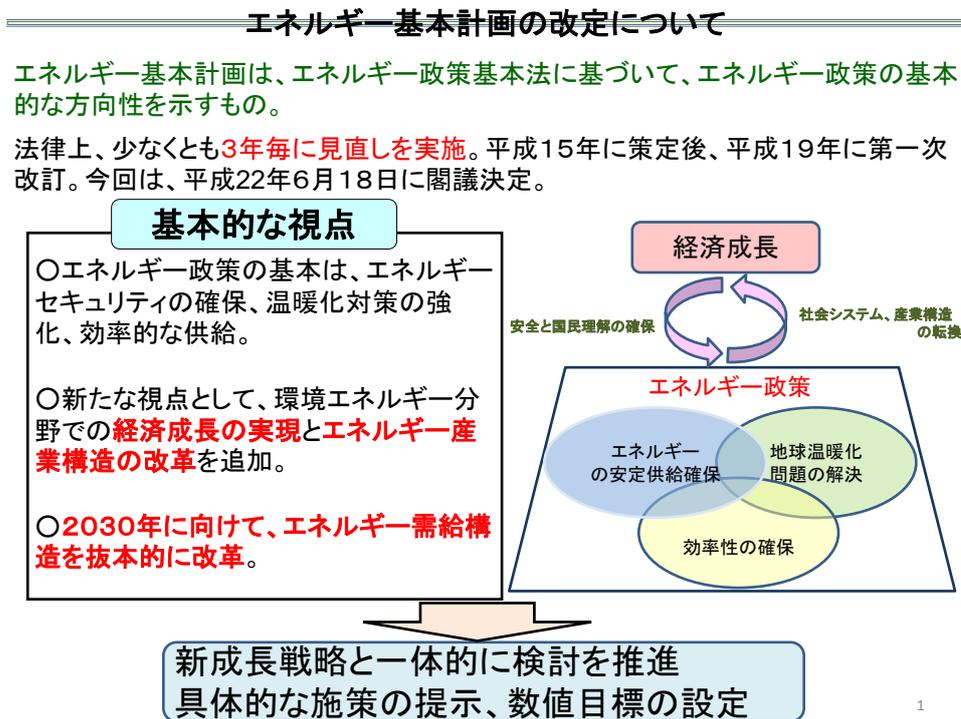


図 2-2-1

基本的な視点として、

- ① エネルギー政策の基本は、エネルギーセキュリティの確保、温暖化対策の強化、効率的な供給

② 今回新たな視点として、環境分野での経済成長の実現とエネルギー産業構造の改革が追加された。

③ 2030年に向けてエネルギー需給構造を抜本的に改革

の三点が挙げられている。特に二番目に示されたエネルギー産業構造の改革は、従来の電力、都市ガス、石油と言ったエネルギー産業の枠を超えてのエネルギー産業界の再編と言った観点からの検討が意図されていたことはきわめて興味深い。また、地球温暖化対策の中期目標年である2020年を超えて、2030年をターゲット年に定めたこともきわめて象徴的な意味合いが感じられる。

(1) 現状認識

基本計画の立案に当たっての現状認識を整理しておこう。

まず第一に「安定供給の確保・環境への適合」である。

資源エネルギーの安定供給確保を巡る制約の高まりがあり、総合的なエネルギーセキュリティの確保のためには、明確な目標を掲げ、一貫した政策を講じる必要がある。

また、地球温暖化問題の解決に向けた社会的要請の高まりを受けて、2030年に向けて社会・産業・暮らし・まちづくりを含むエネルギー需給構造の改革が求められているところである。さらに、日本の技術力を生かした革新技术開発と国際展開により広く世界の温暖化ガス削減への貢献が期待されている。

第二には「効率性の確保・成長戦略との連携」である。

安定供給・環境対応の中での市場機能を活用した効率性の追求が求められている。エネルギー価格の上昇等の総合的な国民負担について、国民の理解を得つつ、最大限経済効率を重視したエネルギー供給の実現である。

第三は「エネルギー産業構造の転換」である。

国際市場において急速に技術力をつけてきた新興国との競争の激化。一方で、国内市場の縮小、エネルギー価格の上昇・乱高下、環境コストの増大が進んでいる。エネルギー間の垣根の低下、これは従来、エネルギーの指定席とも言われた各エネルギー特有の需要構成が大きく変わりつつあることを示しているのだが、それに伴う異業種の参入・連携・競争の活性化につながっている。また、需要家の多様なニーズに応えるためには、社会全体でのエネルギー効率向上を図ることのできる総合エネルギーサービスへの期待につながっていると考えることができる。

さらに、エネルギー産業の国際競争力強化を図るための政策を高じる必要を示唆しており、全体最適をもたらすような「総合エネルギーサービス実現」に向けた環境整備を行う必要がある。第三の視点はこれまでのエネルギー基本計画では見られなかった現状認識である。

(2) エネルギー安全保障の確保

エネルギーの安全保障としては以下の五点が指摘されている。

- ① 自給率の向上(国産・純国産エネルギー・自主開発資源の拡大)
- ② 省エネルギーの推進
- ③ エネルギー源の多様化／供給源の多様化
- ④ サプライチェーンの維持・強化
- ⑤ 緊急対応力の確保

(3) エネルギー供給構造

① 電源のベストミックスと原子力

電源のベストミックスは二度の石油危機以降順調に進展してきたが、引き続き重要な課題である。原子力発電は中長期的な基幹電源である。安全の確保を大前提として、国民の理解と信頼を得つつ、新增設の着実な推進および設備利用率の向上を図るべき。

2020年までに8基の増設と設備利用率85%の達成を目指し、2030年までにさらなる増設(世界最高水準の設備利用率を目標)これらを実現するための環境整備や、電源立地交付金制度の改善を目指す。

② 石炭火力発電の高効率化と炭素固定技術の推進

IGCC(ガス化複合発電)やA-USC(先進的超々臨界圧発電)の2020年初頭までの実用化を目標とする。また、今後計画される石炭火力の新增設に当たってはCCS Readyとする(Ex,EU指令)。商品化を前提に、2030年までに石炭火力にCCSを導入することを検討する。これらの技術開発を通じて海外におけるCO₂削減に積極的に貢献することも合わせて目標とする。

③ 石油・天然ガスの位置づけ

石油については依然として基幹エネルギーとして位置づけた上で、抜本的な構造調整を推進する。

天然ガスについては、低炭素社会への実現を円滑化するための「bridge energy」として産業部門の燃料転換、コージェネの利用推進、燃料電池の普及拡大などガスシフトを推進すべき。と位置づけられたが、「bridge energy」との表現は議論の場で大いに物議を醸すことになった。

④ 電力システムの強化

2020年代の可能な限り早い時期にすべての電源や需要家と双方通信が可能な送配電ネットワークの構築をはかる。たとえば、スマートメーターに求められる機能の標準化、セキュリティの確保を前提とした需要サイドのエネルギー情報の活用推進などが求められる。

卸電力市場のさらなる活性化、現在30億kWhにとどまる取引実績を、常時バックアップからの移行も含め3年以内に2倍程度に引き上げるための具体策を検討する。

⑤ 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーについては、現時点ではコストや供給安定性の面で課題はある

ものの、環境負荷が小さく、多くが国内で調達可能なエネルギーである。エネルギー源の多様化や新たな市場・雇用の創出と言った効果も期待できることから、積極的な利用を図る。と明記されているが、311以降は大きく位置づけが代わったことは周知の通りである。

(4) 次世代エネルギー・社会システムの構築

交通システムや都市づくりにおいても低炭素型に革新をはかりいわゆるスマートコミュニティの実現を目指す。

スマートグリッドの大規模実証等を通じたエネルギー・環境分野の先導的モデルを提示・実証するための総合特区の創設を検討し、日本の先進システムを世界に売り出すためのモデルケースとする。このため、スマートコミュニティ実証、海外実証、国際標準化、電力やガスの使用量をはじめとするエネルギー需給情報を詳細に把握し、さまざまな機器を制御することを可能とするシステムの早期開発および大規模な普及拡大を目指す。

(5) エネルギーを基軸とした成長戦略 国内においては、分散電源の普及、住宅や建築物のネット・ゼロエネルギー化の推進、電気自動車等の次世代自動車の普及、スマートグリッドの構築、産業の省エネ投資やガス転換への投資等々は将来の内需の中心的な役割の一翼を担うことが期待される。

アジアを中心としたエネルギー関連の内需を積極的に取り込むことも重要な視点である。

また、国内でエネルギー産業構造の変革を積極的に推進し、これをわが国産業の競争力として、雇用の確保を図る。さらに、強省力のあるわが国エネルギー産業の海外展開の促進により経済成長の確保と海外における CO2 削減の同時達成に大きく寄与することを目指す。

(6) エネルギー政策の手法

規制・予算・税制・金融措置などの政策を総動員し、最小の国民負担で最大の効果を得られるポリシーミックスを構築していくことが基本。今後のエネルギー政策のためには「規制の強化・見直し」と支援の拡大は避けて通れない道であり産業界や国民各層に対してもこれらの政策への理解を求めていくことが必要である。

そのために留意すべき事項としては、固定価格買い取り制度や環境税、排出量取引などについては整合的な制度となるような制度設計が必要となる。また、これらを適切なタイミングで段階的に導入することが必要である。このような政策の実施に伴う受益と負担の関係が国民にわかりやすい透明な形で示される仕組みを確保することもまた重要な課題である。

同時に、「規制の強化」に加えて、新たなエネルギー技術等の普及の障害になっているような規制については、これを見直すことも重傷である。そのほかには、資源外交、国際展開、

新たなエネルギービジネス等をリードする人材育成についても重要な課題として指摘されている。

(7) エネルギー産業構造

エネルギー分野は、国内需要は全体として縮小していくものの、家電メーカー、自動車メーカー、蓄電池メーカー、IT メーカーなどが分散電源の普及やエネルギー需給の調整の観点などからスマートグリッド等のエネルギー分野に参入することが想定されており、この傾向は海外でも同様のニーズがあるとされている。

エネルギー産業は、中長期的に既存の電力、石油、ガスなどの事業者自身の事業多様化に加えて、既存の事業者と新たな参入者間で、エネルギー供給に関するさまざまな競争が激化する「エネルギー大競争時代」を迎えることが見込まれる。

このような情勢下にあつては、①国際ビジネスを勝ち抜ける製品・サービス力と強靱な事業基盤を有する事業者、②需要家の多様なニーズと社会的なエネルギー最適利用の要請に応える総合エネルギーサービス事業者(ガス・アンド・パワー、既存のエネルギー事業者と家電メーカーとの連携等)、③ 多様な低炭素型エネルギー供給の担い手(原子力、水素、再生可能エネルギー等)などの存在を促すような環境整備が必要ではないか。

(8) エネルギー基本政策の目標

2030年に向けて、以下のようなエネルギー基本政策の目標を掲げるべきではないか。

① 供給

エネルギーセキュリティー指標(準国産エネルギー、自主開発を含む)を約70%(現状38%)。

ゼロエミッション電源比率の大幅拡大(現状34%)。

② 需要

くらしのCO₂を半減

産業部門では世界最高効率の省エネ水準のさらなる向上を目指す

③ わが国のエネルギー・環境製品や技術の国際展開

低炭素製品技術の輸出・対外投資の大幅な拡大

以上がエネルギー基本計画策定始めるに当たって提示された問題いい式である。以下これを受けて策定された、エネルギー基本計画の骨子を紹介する。

2.2.3 エネルギー基本計画（平成 22 年 6 月）

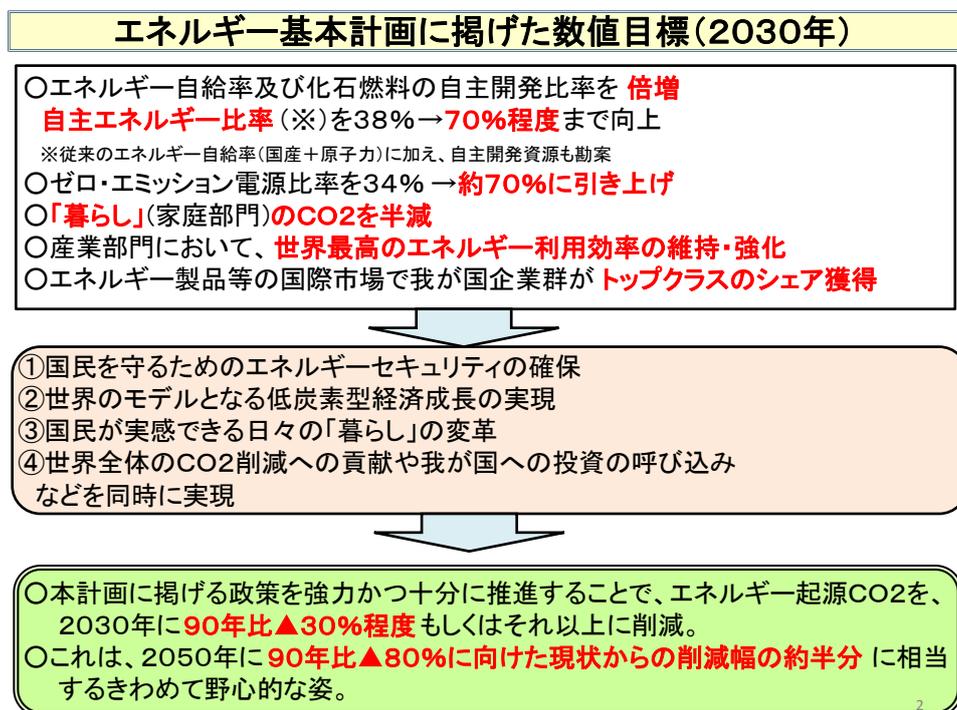


図 2-2-2

(1) 低炭素型成長を可能とする需要構造の実現

a) 産業部門

- ① 設備更新時に最先端の技術導入を促進し、世界最高水準の省エネ水準の維持・強化を図る
- ② 省エネ法の運用の強化、天然ガス利用の促進、革新的技術（環境調和型製鉄プロセス、革新的セメント製造プロセス等）の実現を図る

b) 家庭部門

- ① ZEH(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス:徹底した省エネと太陽光発電等により、ネットでゼロ・エネルギーとなる住宅)を、2020年までに標準的な新築住宅とするとともに、2030年には新築住宅の平均で実現する。
- ② 家庭用高効率給湯器を、2020年までに単身世帯をのぞくほぼ全世帯相当、2030年に全世帯の8~9割に普及させる。
- ③ 省エネ基準の適合義務化、高効率発電や、太陽光発電乗りよう、スマートメータの普及による国民の「意識」改革、ライフスタイルの転換を促す。
- ④ 高効率照明(LED等)を、2020年にフローで100%、2030年にストックで100%の普及。

c) 業務部門

- ① ZEB(ネット・ゼロ・エネルギービル)を2020年までに新築公共建築物等で実現

するとともに、2030年までに新築建築物平均で実現する。

- ② ビルの省エネ性能を評価するラベリング制度を導入する。
- ③ 建築物全体でのエネルギー消費量を総合した新たな省エネ基準を 2011 年度中に策定する。
- ④ 省エネ IT 機器（ルータ、ストレージ、サーバ等）を 2015 年までに実用化、2020 年までに 100%普及。

d) 運輸部門

- ① 新車販売に占める次世代車の割合を 2020 年最大 50%、2030 年代最大 70%を目指す。
- ② 2020 年にまでに普通充電器を 200 万基、急速充電器を 5000 基設置。
- ③ 2020 年に向けた乗用車燃費規定を策定。

e) 横断的取り組み

敏也が行くレベルでのエネルギー利用最適化を図る。

(2) 新たなエネルギー社会の実現

- a) 次世代エネルギー・社会システム構築に向けた実証事業を実施。2020 年代早期に、原則すべての需要家にスマートメータを導入。
- b) 地域におけるエネルギーマネジメントシステムの技術確立等に向け、関係各省庁が一体となって関連施策を集中投入。
- c) 規制見直しを含めた特区的な対応の検討。
- d) スマートコミュニティをビジネス展開するため、国際展開戦略、ロードマップの深化、戦略的な展開を推進する。
- e) 燃料電池自動車/ 2015 年からの普及開始に向け、水素ステーション等の水素供給インフラ整備を支援。

(3) 革新的なエネルギー技術の開発・普及拡大、国際展開の推進

- a) 革新技術開発前倒し、新たなエネルギー革新技術ロードマップの策定。
- b) 官民一体となった海外展開支援体制の整備。
- c) 世界の温暖化ガス削減への貢献を適切に評価するためのメカニズムの構築。

(4) 資源確保・安定供給への総合的取り組み

- a) 首脳・閣僚レベルでの資源外交等において、政府や関係機関が一体となったオールジャパンの取り組みにより、二国間関係を強化。
- b) リスクマネー供給支援の強化（JOGMEC, ODA, 政策金融、貿易保険等）
- c) 安定供給に向けての戦略的な対応が必要なレアメタル（戦略レアメタル）の自給率 50% 以上、ベースメタルは 80% 以上を目指す^{注1}。

d) わが国近海の資源探査、開発の強化。排他的経済水域における権益確保、適切な権利行使のための制度整備。

e) 緊急時対応能力の充実。

(5) 自立的かつ環境調和的なエネルギー供給構造の実現

a) 再生可能エネルギーの導入拡大

- ① 全量固定価格買い取り制度の導入（対象を住宅用太陽光発電からメガソーラー、風力発電、バイオマス発電に拡大）
- ② 導入支援策の強化（導入可能成長差、初期コストの低減、導入インセンティブを高める普及拡大のための措置等）
- ③ 系統安定化対策、技術開発・実証事業の推進、規制の見直し・緩和（行政刷新会議の議論をふまえた検討）

b) 原子力発電の推進

- ① 2020年までに新規増設9基（設備利用率約85%）、2030年までに少なくとも14基以上の増設（設備利用率約90%）
- ② 最新の地検を活用した科学的・合理的な安全規制の充実。
- ③ 立地地域住民との相互理解の促進と地域振興。電源立地交付金制度のさらなる改善（発電電力量に傾斜配分する見直しを検討）
- ④ 核燃料サイクルの早期確立と高レベル廃棄物処分に向けた取り組みの強化。
- ⑤ 核不拡散や原子力安全における国際貢献
- ⑥ 原子力産業の国際展開に向けた一体的対応（システム輸出として建設、運転・管理、燃料供給、法整備、人材育成などを含めた対応、新会社設立）

c) 化石燃料の高度利用

- ① 石炭火力の新増設・更新は、原則GCC波のCO₂排出量に抑制
- ② 世界最高水準の石炭火力発電技術開発をさらに革新
- ③ CCSの2020年の商用化を目指した技術開発の加速化

d) 電力・ガスの供給システム強化

- ① 2020年代早期に原則すべての電源や需要家と双方向通信が可能な世界最先端の次世代送配電ネットワークを構築。
- ② 卸電力市場取引実績を3年以内に2倍程度に引き上げる。

以上が昨年(平成22年6月)閣議決定された「エネルギー基本計画」の概要である。また学術会議における講演は平成22年12月9日のことであった。その後平成23年3月11日に未曾有の災害に見舞われ、東京電力の福島第二原子力発電所は想像を遙かに超える厄災を被っている。東京電力管内では今夏の電力需給がきわめて厳しいことが予測されるとと

もに、全国の原子力発電所においても定期点検とその後の運転開始が必ずしも予定通りに実行されるか否かきわめて不透明な状況にあることから、東電管内以外でも、この夏の電力需給は逼迫が予想される。このような状況下にあって、関係者の間では、昨年策定されたこの「エネルギー基本計画」を含めて、わが国のエネルギー政策そのものを抜本的に再検討すべきではないかと言う声も聞かれるところである。今回改めて見直してみて、確かに原子力関係の記述は大幅な見直しが必要と実感したが、中には十分今後のエネルギー政策として活用すべき項目も少なくないと感じたところである。このような状況を勘案しながらお読みいただければ幸いである。

参考文献、「エネルギー基本計画」経済産業省資源エネルギー庁、2011,6

注1：ここで言う自給率とは、基本的には、国内の金属需要(地金精錬量)に占める、わが国企業の権益下にある輸入鉱石から得られる地金量に国内スクラップから得られるリサイクル地金量を加えたもの。鉱種により海外にわが国企業の権益下にある精錬所がある場合についてはそうした供給源からの輸入地金等も含む。

2.3 低炭素社会に向けた都市環境の評価

浅見 泰司（東京大学）

(1) はじめに

本章は、低炭素社会を実現していくために、都市環境の評価がどうあるべきかを述べる。

都市はこれまでも強力な付加価値の創造拠点であり、今後も経済的成長の拠点であり続けるだろう。特に、国際競争が激しくなる中、都市再生のために公的な便宜を都市にはかることが増えてきた。これに応えるためには、便宜を受けた都市としても、より大きな社会的貢献が求められるようになった。貢献としては、単に生産性を上げるだけではなく、環境・経済・社会という広い観点で都市外への広域的な貢献を考えていく必要がある。浅見ら(2010)¹⁾は広域的な貢献として、ヒートアイランド対策、生態系保全、景観創出、汚染防止、省エネルギー、省資源などの環境面、経済活性化、経済環境の頑健性、発展核の維持、交通便利施設などの経済面、文化的貢献、周辺地域も含めた防災性能の向上などの社会面など、多様な貢献がありうることを述べている。

このためには、都市の個々に行われる開発行為においても、全体への貢献を意識させる環境を作り出していく必要があり、これがマネジメント概念を重視した新たな計画のあり方にもつながっていく。また、社会貢献が当然の責務であるという倫理的規範に頼るのではなく、社会貢献が促進される社会制度そのものの創造が必要となる。

都市の空間は貴重な資源であり、それが単一目的のために役立っているというだけでは、十分ではない。常に総合的、多機能的に評価されることが必要となる。環境アセスメントはどちらかと言えば、環境面におけるネガティブチェックの仕組みであるが、都市を評価する上ではポジティブチェックも含めて判断されるべきであろう。

近年、スマートコミュニティという用語が流布している。スマートコミュニティとは、エネルギーの面的利用や交通システム、ライフスタイル変革を複合的に組み合わせるエリア単位で次世代のエネルギー・社会システムの概念となっている。しかし、都市計画の面から考えると、この用語には大きな違和感を感じる。一つには、主体問題における齟齬である。コミュニティとは本来は地縁的な人間関係をさす。そのため、システムがスマートなのではなく、人がスマートであることを想像させる用語であるのに、そうっていない。もう一つには、機能における齟齬である。コミュニティとは極めて包括的な機能を含む概念であり、エネルギーに特化した用法は明らかにおかしい。スマートコミュニティというからには、エネルギーだけでなく、より広い機能を考えていくべきである。都市全体の中での地区の位置づけを理解し、地区の人々が将来像を検討し、そのための持続可能なパスを構想し、実践できるコミュニティ、これこそが本来のスマートコミュニティではないだろうか。このために、全体との関係、総合性を主体的に斟酌して実行できるようなエリアマネジメントが求められている。

(2) 都市環境の評価原理

持続可能性概念は、地球環境問題を考える上で、欠かせないものとなっている (WCED, 1987⁵⁾)。持続可能性においては、TBL (Triple Bottom Line) の環境・経済・社会に対するバランスのとれた配慮が必要とされている。低炭素社会に向けた都市の実績を評価する仕組みを構築したいという場合に、どのような配慮が必要だろうか。

低炭素社会という目標があるのであるから、低炭素、すなわち温室効果ガス発生の抑制が必要であることは論をまたない。このための一般的な指標は温室効果を持つ他の物質を二酸化炭素に換算した CO₂ 排出量であろう。この指標は少ない方が良いということになる。これだけを指標にすると、都市活動が低調なほど高い評価が得られる。しかし、これは望ましい社会と言えない。むしろ、CO₂ 排出量あたりの都市の価値創造の高さという効率性で考えるべきだろう。それでは、都市の価値／二酸化炭素排出量とすべきだろうか、それとも、都市の付加価値／二酸化炭素排出量とすべきだろうか。ここで、注意すべきは分子と分母に含まれる指標の性質である。一般に、ストック量を表す指標 (例えば、都市の価値量) とフロー量を表す指標 (例えば、都市の付加価値量) がある。分子と分母で、同じようにストック／ストック、もしくはフロー／フローとしないと指標としておかしくなる。もしも、ストック量で統一するとすれば、都市の価値量／都市を作り上げてきた過去からの排出量の総和が指標となるが、この分母量を求めることは困難である。そこでより現実的な方法としては、フロー量で統一した、付加価値量／排出量となる。

付加価値量として一般的な指標は GRP であろう。ただし、GRP は経済情勢に大きく影響を受ける不安定な指標であり、また、日本においては、都道府県での把握はできても、都市ごとの計量化は難しい。そこで、より安定的な指標として、TBL が付加価値を構成するという考えのもと、都市の TBL 自体を評価することを考える (Kawakubo, et al, 2010²⁾; Murakami, et al, 2010³⁾; Murakami, et al, 2011⁴⁾)。

(3) 都市環境の評価方法

デンマークで 1994 年に発出されたオルボー憲章以来、都市レベルでの低炭素社会の重要な認識が高まってきている。ヨーロッパでは、European Green Capital Program として、高い環境水準を達成し、意欲的な環境改善・持続可能性を追求するヨーロッパの都市に授賞するプログラムをはじめている。日本においても、内閣官房地域活性化統合本部において、環境モデル都市プロジェクトがはじまり、温室効果ガス削減を積極的にとりくむ都市が選定された。これらの施策の効果を検証するには、都市の状況をモニターすることが重要である。都市を評価する新たなツールを開発するために、一般社団法人日本サステナブル建築協会(JSBC)は、建築環境総合性能評価システム(CASBEE)の新たなツール開発に取り組んだ。

以下に、開発中の Casbee 都市の概要を述べる。

これは、都市の環境性能を総合的に評価するシステムであり、環境効率として、都市内の環境品質、活動、生活質（Q）を都市外へのマイナスの環境影響（環境負荷）（L）で除したものと定義する。これは、関係者の環境意識変化をねらって、都市の長所・短所を認識するためのツールとなることを目標にしている。

環境負荷 L としては、温室効果ガスの排出量にしぼることとし、以下の3つの要素を勘案する。

L1=年間温室効果ガス排出量（エネルギー起源 CO₂、工業プロセス、廃棄物分野、農業分野、代替フロン等3ガス）

L2=環境負荷低減・吸収量（低炭素エネルギー源、CO₂吸収量）

L3=他地域での二酸化炭素排出の抑制支援量（国内取引等）

また、環境質 Q としては、トリプルボトムラインの概念より、以下の3つの観点で評価する。

Q1=環境（自然保全、環境質、資源循環、環境施策）

Q2=社会（生活環境、社会サービス、社会活力）

Q3=経済（産業力、経済交流力、財政基盤力）

都市を評価する際には CASBEE 都市では都市をとりまく仮想閉空間を設定し、その中で環境改善が Q、外への環境負荷が L と考える。Q、L それぞれの得点を求め、都市の環境効率(BEE) = Q 得点 / L 得点で評価することとなる。

また、現状から将来にわたる都市政策の評価を可能とするため、都市の将来像と施策の期待効果を可視化する試みを行った。現状の都市の環境効率、施策を講じないケース (Business As Usual [BAU]) と施策を講じたケースを比較してその差を政策の評価とするのである。

都市の政策による期待効果は、施策ごとに環境質の変化量と環境負荷の変化量を求め、それぞれに将来における実現可能度を乗じたものの総和を求めて、環境質の変化量 (ΔQ) と環境負荷の変化量 (ΔL) をそれぞれ求める。CASBEE 都市では、各都市の努力量を評価したいため、実現可能度は関係者のコミットメントを促すように導入する。すなわち、0 から 1 の値をとり、コミットメントが強ければ大きくなるように評価する。例えば、環境負荷では、自治体のコミットメントとして、新実行計画を定めている、目標実現に向けたマスタープランやビジョンを策定、管理可能な数値目標を設け、継続的なモニタリングと結果の公表、関係者の会議を年間複数回開催、市民や雇用者のための環境セミナーを年間複数回開催などの項目の多さで値を定める。

CASBEE 都市の活用イメージとしては、CASBEE 都市では施策を実施しない場合の BEE と施策実施後の BEE の予測値を提示し、この2つを比較することで、CASBEE 都市では都市政策の効果を容易に定量化できるようにすることを想定している（図 2-3-1 参照）。

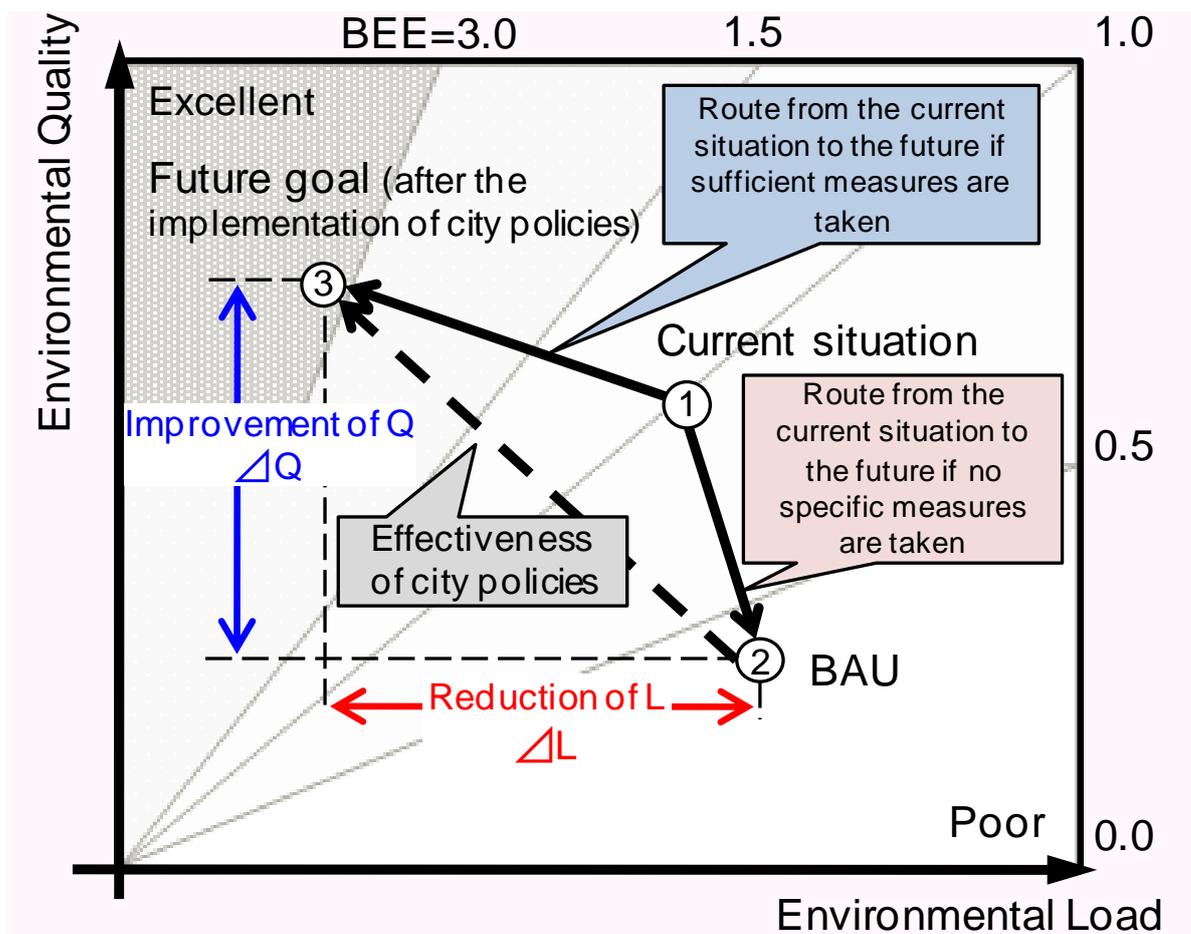


図 2-3-1 都市の評価結果のイメージ
 (出典：Murakami, et al., 2010³⁾)

環境負荷 (L) の評価の枠組みとしては、Lは一人当たりの年間温室効果ガス排出量を環境省のマニュアルに基づいて計算こととする。温室効果ガス排出量は負の値から正の値まで広がっており、何らかの基準化が必要となる。そこで、CASBEE 都市ではロジスティック関数を使って排出量を0~100の値に変換し、日本の平均である一人当たり10tのCO2排出が50点になるようにした。

Lの計算においては、2つの原理を考えた。工業はエネルギー消費が大きいため、温室効果ガス排出量は工業都市で多い。工業としてはこのことは事実として受け止め低炭素化を目指して努力するべきである。ただ、これらの都市は工業生産を通して他都市に貢献しており、この点も考慮すべきである。この2つの観点から評価するために、CASBEE 都市では2つの原理にもとづいて環境負荷を計算する。

- (1)発生地型：排出者負担原理、排出量を生産地に配分する
- (2)再配分型：受益者負担原理、排出量を消費地に配分する

再配分型は、工業製品の消費者が排出量を増やす原因を作っているという考え方に基づい

ている。

環境品質・活動度 Q の評価の枠組みとしては、環境品質・活動度は環境、社会、経済といった多様な観点から評価する。この際に、各項目での評価を 1～5 でランク分けし、レベル 3 は基準値で平均的な都市、レベル 5 は最高値で上位の都市、レベル 1 は最低値で下位の都市が含まれる。環境品質・活動度の得点は各項目のスコアに重みをつけて足し合わせて求める。その重みは、環境：社会：経済＝0.45：0.30：0.25 となっており、社会の環境に対する重要性認識の高さから、環境に重めとなっている。

CASBEE 都市はトリプルボトムラインの概念に基づき都市の環境効率を評価するツールとして、開発された。このツールにより、都市政策が全体として環境貢献につながっているのかを判定できる。このため、政策当局者は不断に政策の方向性の是非を知ることができるという利点がある。この意味で、都市環境評価のしくみは、低炭素社会実現に貢献できる。この評価ツールを通して、都市政策を環境効率の観点で評価でき、低炭素社会の実現に向けて関係主体の共通理解と協力動機を促すことを願っている。

参考文献

- 1) 浅見泰司, 中井検裕, 山口幹幸, 佐土原聡, 陣内秀信, 遠藤薫, 井関和朗, 今泉宜子, 奥森清喜, 河村茂, 楠亀典之, 齋藤智香子, 祖父江光治, 中川智之(2010)『環境貢献都市：東京のリ・デザイン』清文社
- 2) Kawakubo, S., S. Murakami, Y. Asami, T. Ikaga, N. Yamaguchi, S. Kaburagi (2010) “Assessment Framework of CASBEE-City” paper presented at SB10 Finland, September 22-24, 2010, Dipoli, Espoo, Finland.
- 3) Murakami, S., Kawakubo, S., Y. Asami, T. Ikaga, N. Yamaguchi, S. Kaburagi (2010) “Concept and Framework of CASBEE-City” paper presented at SB10 Finland, September 22-24, 2010, Dipoli, Espoo, Finland.
- 4) Murakami, S., S. Kawakubo, Y. Asami, T. Ikaga, N. Yamaguchi, S. Kaburagi (2011) “Development of a comprehensive city assessment tool: CASBEE-City” *Building Research & Information*, **39**(3), 195-210.
- 5) WCED (World Commission on Environment and Development) (1987) *Our Common Future*, Oxford University Press, New York

2.4 建築におけるCO₂排出削減に関する経済価値の評価

高草木明（東洋大学）

(1) はじめに

建築の設計でCO₂の排出を抑制するために省エネルギー策を採用して、建設コストが増加することがある。多くの場合、エネルギーコスト削減によって建設コスト増を回収できる。すなわち、LCC（Life Cycle Cost）がマイナスになる。

地球温暖化問題が深刻化すれば、LCCがプラス（経済的に赤字）となるような省エネルギー策でも設計に採用されるようになる。

LCCのプラス分は、純粋にCO₂排出削減のための支出（社会貢献）である。従って、CO₂排出削減にそれだけの社会的価値があるかどうか検討する必要がある。また、植林など、他のCO₂排出削減策と経済性を比較する必要がある。

(2) 企業の投資評価法に整合した建築設備のライフサイクルコストの定義¹⁾

現状の初期コストに維持コスト現価を加えるLCCによる経済性検討では、建物への投資家の尺度との不整合が生じる。CO₂排出削減に関する経済価値を論じるためには、正しいLCCの計算方法が必要である。図2-4-1は、法人税等企業の利益に関わる税金の影響と、維持費が建築設計時において推定値であり不確実な支出見積もりであることを考慮にいったLCCの定義である。

LCCは次式より求められる

$$\int_{-\infty}^{\infty} \{1 - \exp(-\alpha r)\} \exp\left\{-\frac{(r C_0 - LCC + E + C)^2}{2\sigma_0^2}\right\} dr = 0$$

C₀:初期投資額 C:キャピタルロス(下式)

$$C = \frac{1}{1-\tau} \left(C_0 - \frac{\tau G \{(1+d)^N - 1\}}{d(1+d)^N} - \frac{\tau Z}{(1+d)^{M-1}} \right) + \frac{L}{(1+d)^{M-1}}$$

G:減価償却費 G=(C₀-Z)/N (定額法) Z:備忘残価 L:撤去費 d:割引率
N:法定耐用年数 M:実耐用年数 τ:実効税率

$$E = \sum_{k=1}^M \frac{E_k}{(1+d)^{k-1}} \quad \text{E:維持費}$$

内部収益率(IRR)は複利計算に基づいた、投資に対する収益率(利回り)を表す。IRRは、NPVの累計がゼロになる割引率dとして求められる。
 投資によって得られるフリーキャッシュフローの現在価値の総和から投資額を引いたものを正味現在価値(NPV)という。

U(r) = 1 - exp(-αr) :効用関数 r:収益率(推定値) σ₀:収益率の標準偏差

このLCCはC+Eよりも大きくなるのでC+Eを初期値として収束計算を行う

図 2-4-1 利益に関わる税金と維持費推定の不確実性を考慮したLCCの定義¹⁾

(3) 地球温暖化対策と炭素税

環境政策における経済的手段としての環境税に関する議論の出発点になっているのは20世紀の前半の経済学者ピグー (A.C.Pigou,1938) の外部不経済論である。ピグーは、環境問題とは外部不経済 (環境汚染) を原因とし、市場に委ねると資源配分の効率性が達成されない問題であるとした。ピグー税は外部不経済を内部化 (資源配分の失敗の是正) するための手段として提案されたものである。

ボーモルとオーツ (W.J.Baumol & W.E.Oats,1975) はピグー税を発展させて人類の生存と生活の質を維持するのに必要な環境水準を設定し、その水準を達成するための環境税制度の確立を目指した。

環境対策費用をかけてそれに見合う便益が得られていればその費用支出は合理的であり正当化される。政策の意思決定者にとって重要なのは費用対効果のバランスである。議論の対象が公害対策から地球温暖化対策へ移り、このような観点からの炭素税を対象とした研究がみられるようになる。

対策を講じなかった場合の被害額を推定するという研究はノルドハウス (W.D.Nordhaus) ²⁾ を端緒としている。ノルドハウスは二酸化炭素濃度が2倍になったときの経済的被害額を推計した。この推計は地球温暖化に極めて楽観的なものである。

地球温暖化対策に費用・便益分析を初めて適用したのはクライン (William R.Cline) ³⁾ である。クラインは二酸化炭素の世界排出量を直ちに年間40億トンにまで削減し、その水準を維持するという積極的な政策が社会的に正当化できるかどうかを費用・便益分析によって検討した。ノルドハウスもクラインもこのような検討に基づきそれぞれに炭素税率を提案している。

日本では宇沢⁴⁾ がカール・メンガーの帰属価格の理論を用いて二酸化炭素排出の帰属価格を求めこれを炭素税として賦課することを提案している。大気は社会的共通資本と捉えられ、その価値は帰属価格の概念により測ることができる。また、温室効果ガスについてもその蓄積が社会的共通資本としての大気の価値をどれだけ低下させるかということによって、その帰属価格を測ることができる。すなわち、現時点において大気中の二酸化炭素の蓄積量が限界的に1トン増えたときに、将来の世代にどれだけの被害を与えるかを推計して、適当な割引率によってその割引現在価値をとったのが二酸化炭素1トン当たりの帰属価格である。

この他にも様々な炭素税の設定方法の提案があり、それぞれの税率の差は今のところ大きい。共通しているのは温暖化効果ガスの削減の社会的価値を金額で表そうとしている点である。

(4) 建築設備の省エネルギーと炭素税との関係性⁵⁾

初期コスト支出 (x : 初期コスト増分の平均年価) と省エネルギー効果 (e : 設備の実耐用期間に削減されるエネルギー費の年価) との関係の条件は以下ようになる。

- a) 従来の条件 $e \geq x$
- b) 法人税等利益に関わる税金の影響
を考慮に入れた場合の条件
 $e \geq \xi_1 x$
 ξ_1 は第2節のLCCの定義による。

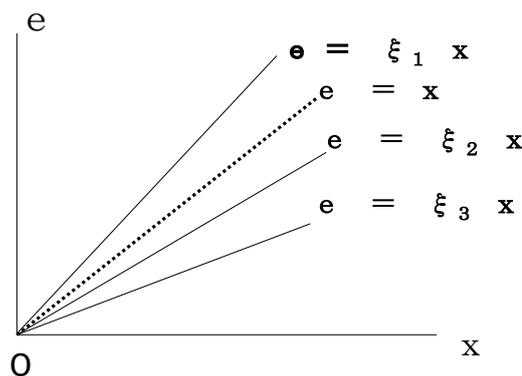


図 2-4-2 省エネルギー経済性条件⁵⁾

- c) 炭素税が導入された場合の企業の
条件 $e \geq \xi_2 x$
 $\xi_2 = (1 + \beta) \xi_1 / (1 + \alpha)$
 α : 炭素税率 (=エネルギー費の上昇率)
 β : 炭素税による初期コスト (建設費) 上昇率

- d) 社会的意義をもった初期コスト対省エネルギー効果の比率の下限を ξ_3 とする。
炭素排出抑制効果と投資額との比は、排出炭素当たりの炭素税額T (温暖化効果
ガス削減の社会的価値を金額で表した値) よりも小さいことが、省エネルギーの社
会的意義の観点での経済性条件といえる。このように考えると次式が導かれる。

$$\xi_3 = S (\xi_1 + \beta) / M \cdot \alpha + S$$

S : 年金現価係数 M : 実耐用年数

$e \leq \xi_3 x$ となる省エネルギー策を実施することは温暖化問題への過剰反応とい
うことになる。

(5) 建築設備の省エネルギー策の経済性とCO₂排出権価格との関係性⁶⁾

建築設備の設計において、個々の省エネルギー策について初期コストが求められ、消費
エネルギーが推定される。従来、設備のライフサイクルにおける経済性評価によって採否
の判断がなされてきた。

設備の耐用期間において、エネルギー費削減額によって、初期コストを回収できなけれ
ば、ライフサイクルにおいて赤字が計上される。今後、企業の環境会計の開示等による環
境問題への貢献の方針や、CO₂排出量規制枠の賦課などにより、このような省エネルギ
ー策の赤字額は、ある程度許容されるようになる場合が増えると考えられる。

現時点においても、社会に貢献する目的で、直接の利益を期待することなく環境保全事
業に費用を支出している企業は少なくない。植林などCO₂削減を目的とするものも多い。
このような事業における投資に対するCO₂削減の効果が、建築設備の省エネルギー策の
赤字額に対するCO₂削減効果の比較評価対象となると考えられる。

植林事業などCDMは専門技術を要し、得られる成果にリスクを伴うから、企業側はア
ウトソーシングとすることが合理的であり、これを手がける環境ビジネスが既に出現して
いる。すなわち、認証されたCO₂の吸収あるいは排出抑制量に価格がついている。この
価格によって、許容され得る省エネルギー策の赤字額の上限が設備設計者に提示されるこ
とになる。

前節の初期コスト対省エネルギー効果の比率では、

$$\xi_3 x \leq e \leq \xi_1 x$$

の範囲における議論である。

植林などCDMによるCO₂削減の価格（ここでは排出権価格と呼ぶ）が、建築設備の省エネルギー設計の経済性判断にどのような関わりを持つかを検討した。省エネルギー策コストの単純回収年数を指標として具体的な関係性の把握を行った。また、地球温暖化問題に対する経済政策手段である炭素税との関係についてもこれらの検討に含めた。

検討の手順を図 2-4-3 に示す。

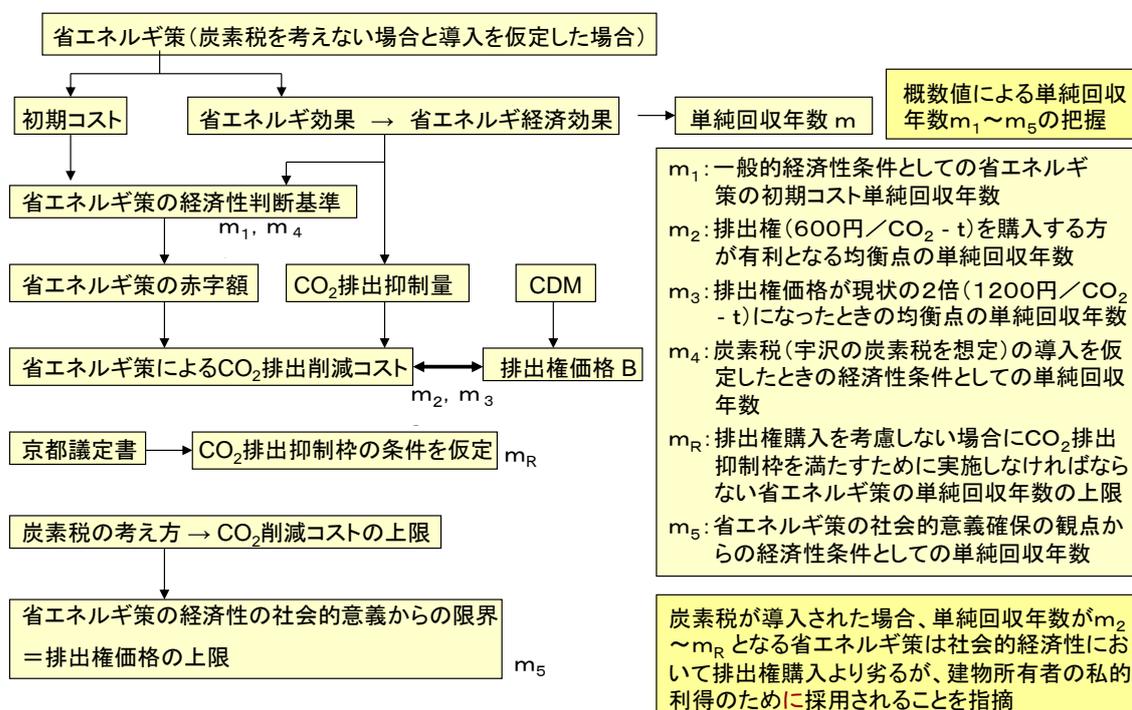


図 2-4-3 CO₂削減価格と省エネルギー設計の経済性判断との関係性の検討手順⁶⁾

図 2-4-4 は、単純回収年数 m を中心に炭素税を考えない場合とこれを想定した場合について、CO₂抑制要求に対する建物所有者の対応方針の関係を総括的に示したものである。

炭素税を考えない場合、 $m < m_1$ では省エネルギーにより利益がでる。 $m_1 < m < m_2$ では、赤字となるがCO₂排出抑制の目標達成のためには省エネルギー策を実施する。 $m \geq m_2$ では、排出権価格 $B = 600 \text{円} / \text{t} \cdot \text{CO}_2$ ならば排出権を購入するほうが有利である。

$B = 1200 \text{円} / \text{t} \cdot \text{CO}_2$ の場合、 $m_2 \leq m < m_3$ においては省エネルギー策を実施、 $m \geq m_3$ では排出権購入が有利となる。

一方、図 2-4-4 の単純回収年数 m の軸の下部で、炭素税を想定すると、 $m \leq m_4$ において、省エネルギー策実施により炭素税負担が減り経済利得が得られる。 $m > m_4$ であっても、

参考文献

- 1) 高草木明：企業の投資評価法に整合した建築設備のライフサイクルコストの定義に関する研究，日本建築学会計画系論文集 NO. 550，2001 年 12 月
- 2) William D. Nordhaus: To slow or not to slow, The economics of the green house effects, Economic Journal Vol. 101, 407, 1991
- 3) William R. Cline : Economics of Global Warming, Washington, D.C. : Institute for International Economics, 1992
- 4) 宇沢弘文：地球温暖化の経済学，岩波書店，1995. 2
- 5) 高草木明：建築設備の省エネルギーと炭素税との関係性に関する研究，日本建築学会計画系論文集 NO. 526，1999 年 12 月
- 6) 高草木明：建築設備の省エネルギー策の経済性とCO₂排出権価格との関係性に関する研究，日本建築学会環境系論文集 No. 604，2006 年 6 月

2.5 日本の低炭素力

柏木孝夫（東京工業大学）

（1）低炭素社会の実現に向けた国内外の潮流

東日本大震災により我国は大変な被害となり、原子力に対しても連日緊張した日々が続いている。我国のエネルギー需給構造に対し、今後長期に亙り緊張した議論がなされることになる。低炭素エネルギー社会の構築は、地球環境問題はもとより、最近では国境を越えたエネルギーセキュリティ(安定供給)の観点から今世紀最大の課題であり、化石から非化石エネルギーへのシフトが加速されることになる

これまでは、非化石エネルギーの双璧として原子力と再生可能エネルギーが挙げられていたが、原子力に対しては、今後人工物の制御システムの高度化に向け経済性も含めて国際的な議論が展開されることになる。

一方、再生可能エネルギーに対しては総論として賛成意見が圧倒的であるが、解決すべき課題も少なくない。そのため、我国では、2009年11月から、太陽光発電からの余剰電力を売電価格の約2倍の固定価格で買い取り、電気料金に上乗せすることにより全員参画型の新エネルギー政策が開始された。現状では割高なシステムを市場に導入する訳であるから誰かがそのコスト負担をしなければならない。将来性の大きい新エネルギー市場の拡大を推進するために、最終的には政治的決断が成されることになる。国民に負担を強いることになるため、その決断は複眼的、多角的、分析的に十分な検討が必要であるが、太陽光発電に関しては、エネルギー・環境政策のみならず、産業、雇用政策上のシナジー効果も大きいことがあげられた。さらに、今国会には再生可能エネルギーからの電力を原則全種全量固定価格で買取る法案が審議されることになっている。

（2）グリーン イノベーション

私は21世紀における日本の成長エンジンが低炭素型の経済モデルを逸早く構築することにあると考えている。科学的、分析的に理論武装された国際世論が必ず低炭素社会の実現を力強く牽引する。世界は今、大きな転換点にある。今までのエネルギー社会の延長に、これからの社会の未来像はない。低炭素社会を実現していくためのパラダイムシフトが求められている。既に述べたように第一に「化石から非化石への燃料転換」、第二に「化石燃料のクリーン化や高度利用技術の確立」が必要になっている。今後10～20年をかけてこれらの課題を克服することで、新たなエネルギーシステムを構築していく時期を迎えている。

そのためには低炭素社会へのパラダイムシフトを促すための技術開発、そしてイノベーションが求められる。ここで重要なことは、イノベーションとは「新たな知や技術が牽引する社会経済システムの構造改革」と定義されるが、まず「開発技術がもたらす新たな価値創造」を明確に示す必要がある。日本の場合、技術先導型のアプローチを取るケースが

多く、この面では欧米の取り組みに学ぶことが多い。太陽光発電等の開発は人類に公平に与えられた自然エネルギーをうまく生活の中に取り込むことにより豊かな暮らしの実現という価値を創造するためのイノベーションである。

(3) 次世代エネルギーとスマートグリッド

最近では、「スマートグリッド」という新たなエネルギーインフラが注目されている。スマートグリッドとは、太陽電池や風力発電などの自然エネルギー系の電力を既存の系統制御に最大限に取り込むことができる次世代送配電システムである。現在、世界各国のいずれにおいても化石燃料系や原子力などのメガインフラが中枢を成している。中国では電力全体の80%を石炭火力が占め、これら系統からの電力を同時同量制御システムでダイヤモンド側に流し込んでいる。これからはその系統制御が変わってくる。

日本を例に取れば、現状では電信柱に6.6キロボルトの送配電システムを設け、引き込み線で100ボルト、200ボルトに分けて家庭に送り込んでいるが、このシステムが変わる。各家庭の太陽電池などで発電された100ボルトの電源が系統制御に入り込み、いわば電力に下からの噴出し口ができた形になってくる。その場合、電信柱にもICT（情報通信技術）を装着し、どの程度の発電が成されているかを検知する必要が生ずる。各家庭にもスマートメーターと呼ばれるICTの計器をつけて、太陽電池などのダイヤモンド側からの逆潮流をすべてチェックする。ICTを活用することでメガインフラとダイヤモンド側を双方向で管理する電力の新しい系統制御を作り出すことになる。その結果、自然エネルギーを最大限取り込むことでエネルギーコストを大幅に削減したシステムが生まれ、人々に豊かさゆとりのある暮らしがもたらされる。

欧州ではさらに進んだシステムが議論されている。例えば、オランダにナビゲーションの専門会社がある。この会社は、全世界のナビゲーションの約4割のシェアを握っており、事業戦略としてナビゲーションによる高度情報処理を活かした次世代インフラの構築を目指している。ナビゲーションの端末は日本が優れた機器を提供しているが、システム構築については米国、そして欧州が先導する状況にある。こうした中でその企画は、ナビゲーションを核とした新たなエネルギーシステムの構築を狙っている。

想定しているシナリオは次のようなものである。今までの系統制御では、メガインフラで発電した電力を上から下に流すだけだった。ところが、これからは自然エネルギー系の電力がダイヤモンド側に入ってくる。技術開発が進み太陽電池の発電コストが化石燃料並みに下がれば、家庭用電源として標準装備され、住宅地一帯のすべての屋根に太陽電池が設置されるようになる。すなわち、各住宅団地に発電所の機能が付与される。団地は電力の消費地でもあるので、その結果、団地の発電量や消費量が全体の系統制御にかなりの影響を持つようになる。太陽電池の発電量は天候によって左右される。雨の日は発電しない、晴れの日も日照によって発電量が変わってくる。このため、宇宙衛星のGPSを経由したナビゲーションを使って各地の発電状況を随時チェックし最適な予測を可能とするシステ

ムが欠かせなくなり、電力需給制御全体の鍵を握るようになる。ナビゲーションとスマートメーターを連動させれば、戸別の発電出力も把握できる。携帯電話などの ICT と組み合わせることで、「家庭内の電力を無駄なく使う（例えば、冷蔵庫など常時必要な電力を上回った発電が得られた時に洗濯機を動かす）」「地域の余剰電力を他の地域に回す（例えば、日照の強い地域から雨がふっている地域に電力を融通する）」ことなども可能になってくる。つまり、エネルギーシステムそのものがスマート化する。その上で、車の電化がスマート化に拍車をかける。プラグイン・ハイブリッド車や電気自動車が普及すると、ガソリンではなく電気で車を動かすようになるため、運輸用途にも余剰電力を回すルートが拓けるからである。

結果として、地域のエネルギーシステム全体をナビゲーションで制御しながら最適化するシステムが生まれてくる。これは「新たな知や技術が牽引する社会経済システムの構造改革」を可能とし、無電化村も一年に電化できる可能性すら秘めており、新しい価値の創造をもたらす。

（４）都市エネルギー全体最適化とスマートエネルギー

我国は低炭素モデル国家として省エネ性、自律性、環境性に富んだ低炭素エネルギー需給構造のグランドデザインを明確に示す責務がある。

私は科学的検証から、電力に関して言えば、原子力・石炭・天然ガスなどのメガインフラが全体のベースを担い、その基盤の上に燃料電池、ヒートポンプなど、省エネルギー性に富んだトップランナー機器群や自立性の高い地域共生型の新エネルギーが適切な規模でクラスターを形成してゆくことになるかと確信している。

低炭素社会に向けた都市エネルギーシステムのグランドデザインには、例えば都市内の商業施設・ビルなどを良質な拠点ストックとして捉え、エネルギーマネジメントシステム（BEMS）などの導入により、新たな省エネルギーをネットワーク的に達成してゆくことが必要となる。これら広域BEMSを都市集積部に構築し、最先端超省エネ ICT インフラを整備できれば、今後問題となる中小規模施設への双方向遠隔制御インフラとしても利用可能となり、CO₂削減ポテンシャルは極めて大きい。

また、都市部のバイオマス系エネルギー拠点である清掃工場や下水処理場の存在も重要となる。膨大な都市型排熱が有効利用できる面的・ネットワークインフラ、いわば循環型静脈インフラの整備が成されてこそ、低炭素都市が機能する。今後、太陽光発電や燃料電池などの分散型電源が建築物内や屋根などに大量導入されてくると、既存電力システムのスマートグリッド化はもとより、これらのマネジメントシステムは需要地に導入された分散型発電システムとエリア内に形成された電力だけでなく熱も融通するスマートエネルギーネットワークとして CO₂ を削減するアドバンスドシステムへと発展させるための新しいインフラとなり、低炭素社会の実現には欠かせないものとなる。

一方、燃料電池を見据えた水素社会の到来も電力化傾向の高まりと共に必ず訪れる。

将来的には需要地に知能を備えた各種分散型システム群が大規模送配電系統の一端に最適潮流制御を可能とするスマートネットワークが形成され、系統との調和を図りつつ、既存の空間インフラを高度に活用しながら、電力だけでなく熱や物質（例えば水素）までも併給する統合型インフラを適切に整備することが究極の省エネルギーを実現し、再生可能エネルギーを最大限とり込める低炭素社会の公共インフラそのものとなり、結果として社会コストミニマムを達成する。我国は愛知万博をはじめとし、すでにマイクログリッドという型で2030年の低炭素社会の姿を世界に先駆け発信している。

(5) エピローグ —— これからのグランドデザインとは？ ——

2050年に向け我々が目指すべき未来、エネルギーシステムのグランドデザインとはどのようなものか。すでにおわかりと思うが、私はエネルギーシステムに、二者択一はないと考えている、今回の原子力発電の事故を乗り越え、一層安全性を高めることにより原子力を選択する国も多く出てくるであろう。仮に日本がどうあれ、新興国は猛烈な経済成長を目指す。経済が伸びればエネルギー消費が伸びるのは不可避だ。その場合、苛烈な資源争奪戦も抑え、持続可能な成長を助けるエネルギー源を考えれば、自ずと選択肢は限られる。エネルギー量の比較では、ウラングラムに対して石炭は三トン。つまり三百万倍の高発熱量を誇るわけで、世界が原子力を手放すとは考えにくい。特に産業セクターにはどうしてもメガインフラが必要となり、現状、化石燃料か原子力に頼る以外にない。割安だと判断されるうちは、世界では今後も原子力は伸びる確率は高い。世界が原子力を捨てない以上、彼らには最先端の技術で運用してもらわなければならない。その時、日本の技術・経験上の蓄積も大きな意味を持つことになる。もっとも原子力も、これまでのような「低廉なエネルギー」との単純な認識は改めなければならない。既存設備も含めてより強固な災害・安全対策が不可欠で、これらはコスト上昇要因となる。費用便益関係はもとより、市民感情も踏まえて原発を捉え直す必要がある。今回は原子力の負の側面が浮き彫りになったが、一方で化石燃料は安定的だがCO₂と資源枯渇の問題を抱える。自然エネルギーもランニングコストは安いが不安定があることは既に述べてきた。それぞれ光と影を持つ。原子力、化石燃料、自然エネルギーは互いにコスト上昇を抑制する関係にあり、時々々のベストミックスの追求でしかエネルギー問題の解決はなく、スマートコミュニティ構想は極めて有力なソリューションを与える。

すなわち、革新的システムとは、決して、原子力、石炭、天然ガスなどによる既存のメガシステムをすべて太陽光や風力発電で置き換えるような二者択一を迫るものではない。農業国ならば太陽光や風力だけで国内需要に応えることも不可能ではない。だが、工業国や商業国においてその産業を動かすには、自然エネルギーの利用だけではパワーが不足する。原子力、石炭、天然ガスなどによる既存のメガインフラをグリーン化した上で安定供給しながら、全体のエネルギー構造を低炭素型へと変革させていく必要がある。工場や事業所、住宅といった需要により近い場所に太陽光や風力発電、燃料電池などのシステムを

導入すると共に、分散したエネルギー供給源をネットワーク化し、上位の基幹系統と融合させる。

その際、ポイントとなる点は情報インフラとしての ICT の活用である。スマートグリッド構想のようにグリーンビジネスの新たなモデルを情報通信で創造していく「グリーン by ICT」を積極的に展開することが大きな効果を発揮することを強調しむすびとしたい。

3. 低炭素社会実現のシナリオ

3.1 地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ

藤野純一（国立環境研究所）

学術会議のシンポジウムが行われる前日（2010年12月8日）にメキシコのカンクンから帰ってきた。当地では、国連気候変動枠組条約第16回締約国会議（COP16）及び京都議定書第6回締約国会合（CMP6）が行われていた。議長国のメキシコの粘り強いリーダーシップにより2011年末に南アフリカのダーバンで行われるCOP17につながる合意が得られた、と評価する。

ここ数年にわたり中国、インド、タイ、マレーシア、インドネシア、ベトナム等の研究者と共同で、AIM（アジア太平洋統合評価モデル）を用いて国または地域を対象とした低炭素社会シナリオの構築に関わっている。そこで、12月3日にサイドイベント”Shifting to Low-Carbon and Climate-resilient Development in Asia and the Pacific”（アジア太平洋地域における低炭素で気候変動の影響に対応可能な発展への移行）をアジア開発銀行、地球環境戦略研究機関（IGES）と共同で開催し、弊所の甲斐沼美紀子室長（当時）、小生および共同研究している P.R.Shukla 教授（インド経営研究所）、Jiang Kejun 博士（中国エネルギー研究所）が、日本およびアジアを対象とした低炭素社会シナリオ研究の最新結果を報告した（文献1）。また、COP16 に合わせて作成した研究概要を示すリーフレットを紹介した（図3-1-1）。



**Shifting to Low-carbon and Climate-resilient
Development
in Asia and the Pacific
ADB/IGES/NIES Side Event,
UNFCCC COP-16, Cancun, Mexico on 3rd Dec 2010**

図 3-1-1 COP16 メキシコ・カンクン会議サイドイベントのパネリスト

カンクンに行く直前の2010年11月26日に英文原稿がAJISS-Commentary106号に掲載された(文献2)。”Keep the Summit in Sight at COP16”(山の頂を目指して)。事前の期待の低かったCOP16を前に、交渉如何にかかわらず、低炭素社会の先にある持続可能な社会(山の頂)を改めて見据え、サイエンスに基づいたビジョンとロードマップを設計し実現していこうではないか、という趣旨の檄文である(文献1、2)。比較的穏やかな気持ちで初日から参加したが、状況は一変する。会合が始まって二日目の11月30日に、モデル仲間であるgentleなscientistが展示ブースの番をしていたので、立ち寄って最近の研究について意見交換をはじめた。暫くすると急に彼が怒ったような口調になり、「日本はなぜ、このタイミングであんな発言をするのか」と言い出した。恥ずかしながら事情を知らなかった筆者が詳細を乞うと、「日本政府はどんなことがあっても(under any circumstances and any conditions)京都議定書の単純延長に反対する声明を昨日出したと聞いた。何も初日に言うことはないのではないか。言うならもっと早くに言えばいいのに。せつかくの雰囲気は台無しだ。」と。確かに、米国が抜け、もともと中国やインド等が参加していないために、世界の排出の27%を占める日本や欧州しか入っていない京都議定書を単純延長することは、世界規模の問題である地球温暖化対策を効果的に進めるには有効ではない恐れがある。しかし、何も会議の初日に日本から発言し、手の内を見せる必要はなかったのではないか。戦略コミュニケーションのプロに聞くと、日本ほど世界で嫌われていない国はないという(好かれているかどうかは別として)。この発言は諸外国が持つ日本への期待を裏切るものだったので、多くの批判を受けたのだろう。三日目には弊所にも日本の発言への抗議を伝える人たちが訪れた。親しい海外の研究者や知人も心配してくれた。小生が危惧したのは、相手の期待を裏切ることで、日本が行っている様々な温暖化への取り組みについて、アジアや世界の人たちが聞いてくれなくなるのではないか、ということだった。せつかくいい取り組みをやっていても、聞いてくれなければ意味がない(文献3)。

COP15では、鳩山首相(当時)が改めて2020年までに主要国が同等の取り組むことを前提に日本の温室効果ガス排出量を25%削減することを明言し、2010年1月31日までに国連気候変動条約事務局に提出が義務付けられた先進国の削減目標値を提出した。そこで環境省地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会(2009年12月末から3月末まで)、および中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会(2010年4月から開催)において、削減策の具体案を構築すべく、エネルギーの供給サイドだけでなく、住宅・建築物、自動車、地域づくり、ものづくりなど需要サイドの各分野の検討が行われた。さらには2050年の将来ビジョン、温暖化対策を効果的に進めるためコミュニケーション・マーケティングについても検討を行った。その結果、第19回中長期ロードマップ小委員会が行われた2010年12月21日までに延べ101名の専門家が関わり、今までの2020年を対象にした中期目標検討に比べて視点を広めた議論を行った(図3-1-2、図3-1-3)(文献4)。そこでわかったことは、1)2020年までに国内対策だけでも25%削減を行う技術

的なポテンシャルは存在すること（図 3-1-4）、2）そのためには年間約 10 兆円の追加投資が必要だが、エネルギー節約による化石燃料輸入（2008 年は 23 兆円）の回避により半分は 2020 年までに、残りの半分は 2030 年までに回収可能なこと（図 3-1-5）、3）家庭・業務部門においてはエネルギー機器の高効率化、建築物の環境性能の向上、太陽光発電の設置などにより 2020 年における新築住宅の 100%ゼロエミッション化などを実現すること（図 3-1-6）で、何も対策をしないケースより 4-5 割の温室効果ガス排出量削減を行う技術的なポテンシャルが存在すること（図 3-1-7）、4）そのためには建築基準法の強化、CASBEE 等の建築物性能のラベリングによる見える化、大企業だけでなく中小工務店などの施工者がゼロエミッション建築物をデザイン・建てられるようなキャパシティービルディング等が必要なこと（図 8）、である。

2011 年 3 月 11 日に東日本大震災が発生したため、原子力発電に関する前提などの変更など中長期ロードマップの見直しが欠かせない一方で、世界では確実に温室効果ガス排出量削減や脱化石エネルギーに向けたアクションがとられている。私たちはどのような持続可能な社会を目指すのか、そのためにすべきことは何か。

今までのしがらみを見直し、悪しきものは決別し、人類のあらゆる英知を結集させ、国だけでなく地域の主体的な意思の下で、次世代のためになる取り組みを実行していくことが今まで以上に求められている。



図 3-1-2 地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討に関連する組織

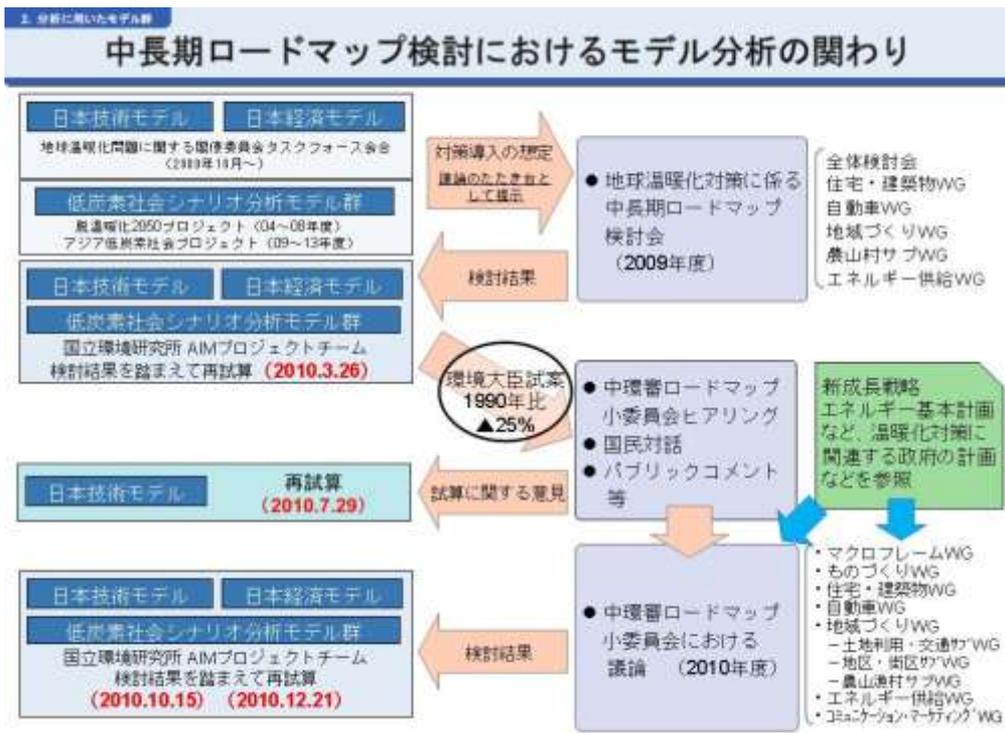


図 3-1-3 中長期ロードマップ検討におけるモデル分析の関わり

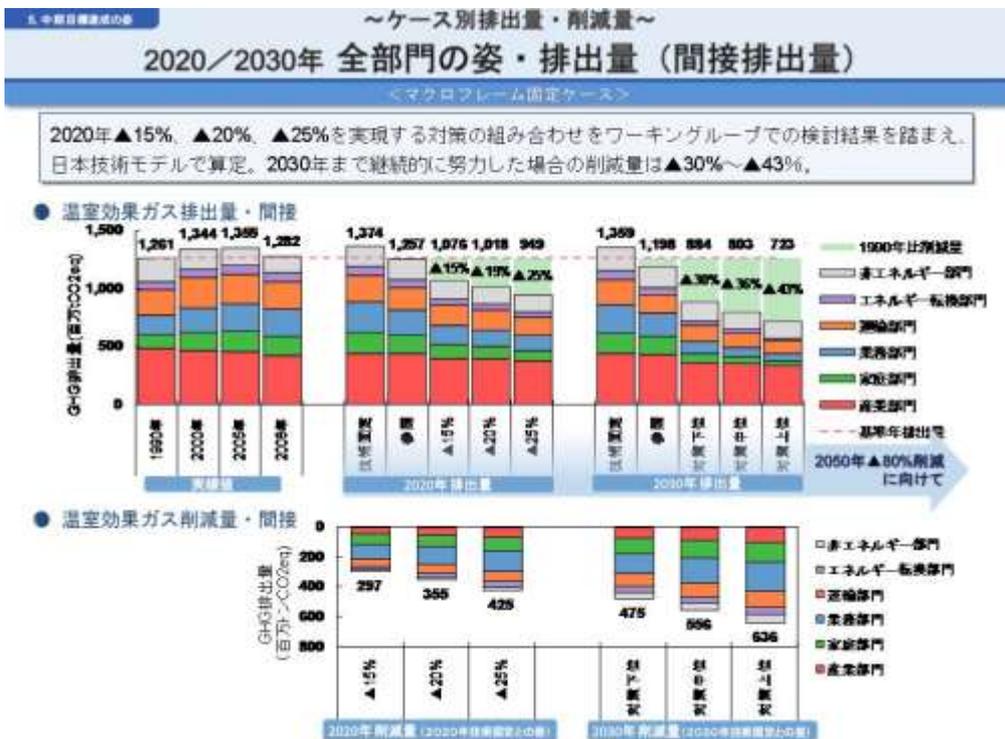
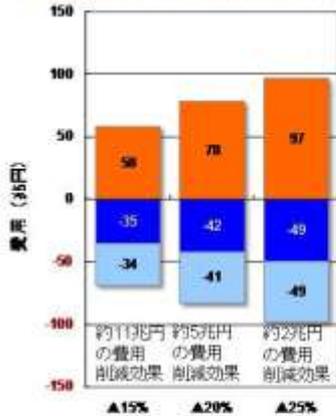


図 3-1-4 2020/2030年 全部門の姿・排出量 (間接排出量)

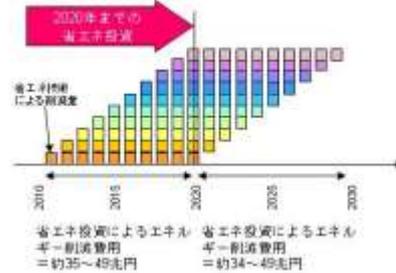
追加投資額とエネルギー削減費用との関係

温暖化対策のための追加投資額は、導入された新技術によるエネルギー費用の節約効果により、日本全体としては2020年までに追加投資額の半分、2030年までに追加投資額に匹敵する金額が回収される。

● 温暖化対策への追加投資額とエネルギー削減費用の関係



例として、寿命10年の省エネ機器の場合
 2011年に購入した機器は2020年までの10年間で
 2020年に購入した機器は2029年までの10年間
 機器の使用時のエネルギー消費量が減ること
 でエネルギー費用が削減される。



<10年間のエネルギー削減費用の算定方法>

- ① 2011～2020年において最終消費部門（産業・家庭・業務・運輸部門）に導入された機器による各年の二次エネルギーの省エネ量（固定ケースとの差）を推計。2021年～2030年および、20年までに導入された機器については、2030年までに稼働している機器の省エネ量について推計。2021年以降に新たに導入された機器による削減効果は積算しない。
- ② 各年の省エネ量を足し合わせ、2011～2020年、または2021～2030年の省エネ総量とする。
- ③ 毎年のエネルギー価格は前述の原油価格の想定に基づき推計。
- ④ ②で求めた省エネ総量に③で求めたエネルギー価格（2015年値）を掛け合わせてエネルギー削減費用とした。

図 3-1-5 追加投資額とエネルギー削減費用との関係

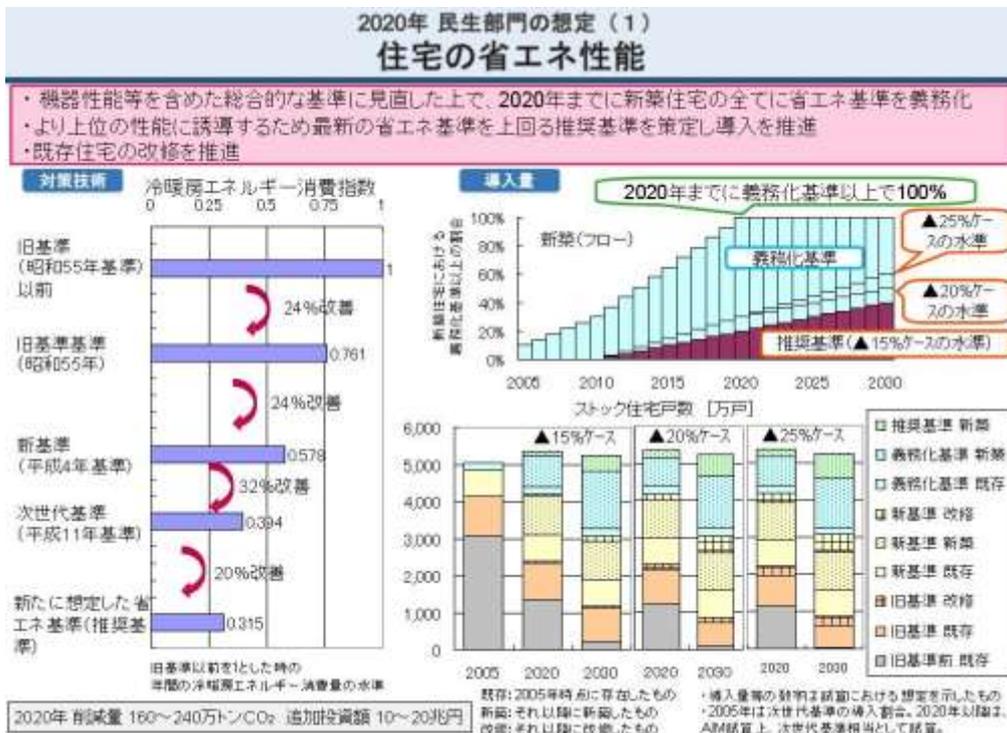
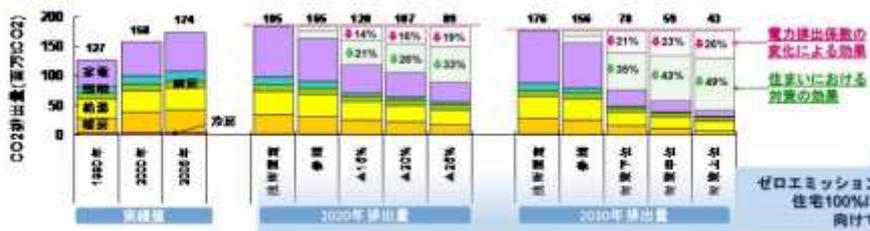


図 3-1-6 住宅の省エネ性能

～ケース別排出量・削減量～ 2020/2030年 家庭部門の姿

家庭部門では**ゼロエミッション住宅100%の実現に向け**、エネルギー機器の高効率化、住宅の環境性能の向上、太陽光発電の設置などにより、**2020年までに4割～5割の排出削減**。うち、電力排出係数の低減によって14～19%削減、省エネ技術や創エネ技術など**住まいにおける対策によって2割～3割削減**。

● CO2排出量



● CO2削減量



図 3-1-7 2020/2030年 家庭部門の姿

家庭部門の施策検討結果

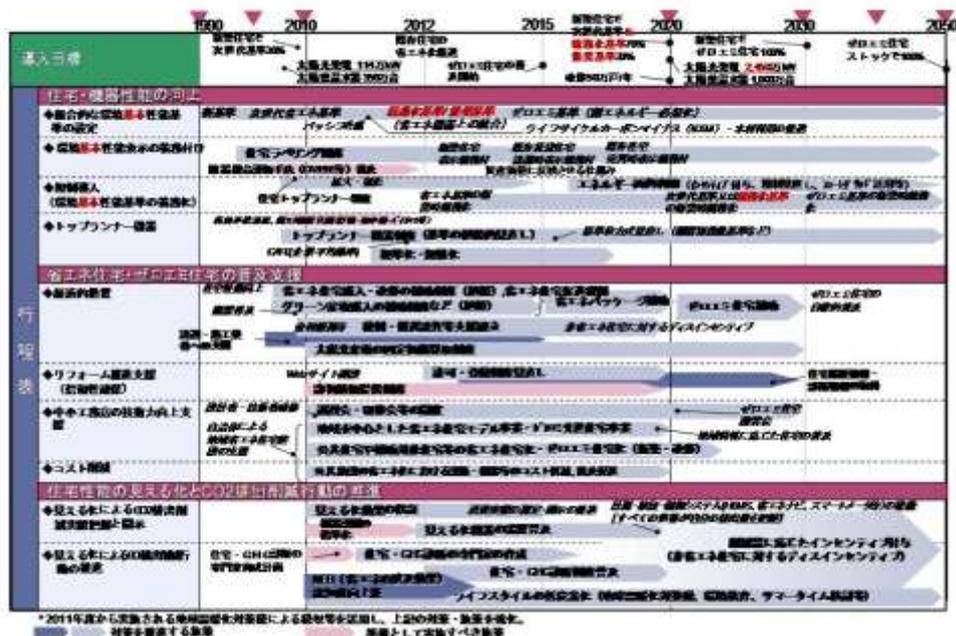


図 3-1-8 家庭部門の施策検討結果

参考文献

1) 藤野純一・甲斐沼美紀子、「Ⅱ. サイドイベント ADB/IGES/NIES 共催のサイドイベント「アジア太平洋地域における低炭素で気候変動の影響に対応可能な発展への移行」を開催」、地球環境研究センターニュース Vol.21 No.11 (2011年2月)

<http://www.cger.nies.go.jp/publications/news/vol21/vol21-11.pdf>

2) Junichi Fujino, “Keep the Summit in Sight at COP16”, AJISS-Commentary No. 106 (26 Nov. 2010), http://www.jiia.or.jp/en_commentary/201011/26-1.html

3) 藤野純一、「粘り強いのび太で行こう!-戦略コミュニケーションのススメ-」、IGES「月刊クライメート・エッジ」Vol.7 (2011年4月1日)

<http://www.iges.or.jp/jp/cp/newsletter007.html#02>

4) 中長期ロードマップ小委員会、「中長期の温室効果ガス削減目標を実現するための対策・施策の具体的な姿 (中長期ロードマップ) (中間整理)」(2010年12月28日)

http://www.challenge25.go.jp/roadmap/roadmap_detail.html

3.2 建築・都市におけるCO₂排出量の50年までの長期予測

伊香賀俊治（慶應義塾大学）

3.2.1 はじめに

民生部門（住宅、業務用建築）におけるエネルギー消費量は一貫して増加し続けている。民生部門の省エネルギー対策を検討するためには、民生用エネルギー需要の将来予測を全国規模で実施すると同時に、各種低炭素技術の普及によるエネルギー削減効果を長期的な視点から定量的に把握する必要がある。本サブテーマでは、将来人口、社会システム、建築性能、設備機器普及率、利用形態、エネルギー効率基準の規制導入などの政策シナリオに応じて、住宅・非住宅建築のエネルギー消費量を2050年まで予測する手法の開発を行うことを目的とする。床面積やエネルギー消費量等に関する基礎データを整備するとともに、エネルギー消費量に影響を及ぼす低炭素技術の普及動向を把握するために、住宅（分譲集合、戸建）、非住宅建築物それぞれの建築主に対してアンケート調査を実施した。これらを通じて、分譲集合住宅、戸建住宅、非住宅建築物を対象として、エネルギー消費量、及びCO₂排出量の2050年までの推移を予測可能な手法を確立してきた。そして、本予測手法を用いて、各種政策を実施した際のCO₂削減効果について評価することで、中長期削減目標の達成に向けて実施すべき政策について検討を実施した。このように、施策を実施した際のCO₂削減量を定量的に評価することが可能となったことで、住宅・非住宅部門における実効性の高い低炭素化施策の検討が可能となり、低炭素社会の実現へ貢献できると考えられる。

なお、本報告の一部には、環境省環境研究総合推進費 E-0803（「低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言」、委員長：村上周三）によって実施された研究成果が含まれている。

3.2.2 研究方法

（1）分譲集合住宅を対象とした予測手法の開発

1) 分譲集合住宅における省エネ技術導入率と省エネ型ライフスタイル実行世帯率の推計方法

a) 分譲集合住宅への省エネ技術導入率の推計

分譲集合住宅の建築主企業120社に対して、2008年12月にアンケート調査を実施し、代表的な省エネ技術である①外皮の断熱性能、②給湯設備、③太陽熱利用給湯器、④太陽光発電に関して、現状(2008年)の導入率（各設備を導入した新築住宅戸数割合）と今後の導入予定を分析した（有効回答率:23%）。

b) 分譲集合住宅のストック戸数、新築戸数、解体戸数の推計

国立社会保障・人口問題研究所の都道府県別将来世帯数推計および総務省の住宅・土地

統計調査などの統計資料を利用して、戸建住宅、集合住宅（分譲と賃貸を区別）のストック戸数を都道府県別に 2050 年まで推計した。また、国土交通省の建築着工統計年報における共同住宅と長屋建ての着工戸数の合計を分譲集合住宅の新築着工数として、1990～2001 年の各年のストック戸数から前年のストック戸数と当該年の新築着工戸数を減じた戸数を解体戸数とした。2002 年以降は、解体数を前年のストック戸数の 2%とし、新築着工数は当該年のストック戸数から前年のストック戸数と当該年の解体数を減じて推計した。

c) 省エネ技術の各年次のストック戸数に対する普及率の推計

2010 年以降は、(1)項で推計した今後の省エネ技術の導入率が達成されると仮定して、代表的な 4 つの省エネ対策（建物の断熱性能、高効率給湯設備、太陽熱給湯設備、太陽光発電設備）が各年次のストック戸数に対する普及率を 2050 年まで推計した。

d) 集合住宅における省エネ型ライフスタイルの実行世帯率の推計

本研究の研究代表者と研究分担者が既往研究^{文1)}において、全国の約 4000 世帯を対象に実施他アンケート調査の分析結果を利用して、省エネ型ライフスタイルを実行している世帯率、および今後実行する意志のある世帯率を設定した。各省エネ型ライフスタイルに関して、「現状よりさらに省エネができるか」という質問に、「できる」、「多少なら」、「どちらともいえない」、「あまりできない」、「できない」、「もっていない・使っていない」のいずれかで回答するアンケート調査であり、代表的な省エネ型ライフスタイルに関して、「できる」、「多少ならできる」と答えた世帯割合を、省エネ型ライフスタイル実行世帯率とした。

2) 日本の全分譲集合住宅からの CO₂ 排出量の 2050 年までの推計方法

1)項で推計した結果を、本研究分担者が開発した住宅内のエネルギー消費推計マクロモデル^{文2)}に反映し、分譲集合住宅からの CO₂ 排出量を都道府県別に 2050 年まで推計した。

(2) 戸建住宅を対象とした予測手法の開発

1) 戸建住宅主の意思決定構造を考慮した低炭素技術普及率の予測方法

a) 低炭素技術普及率の予測方法の概要

戸建住宅主の意思決定構造を考慮した低炭素技術の普及率の予測手法を開発した。本研究では、社会心理学分野の既往研究^{文2)}を参考に、戸建住宅主は①環境意識、②情報接触度、③費用・便益の満足度、④技術のイメージの 4 要素に基づき技術導入を判断するものと想定した。更に、③費用・便益の満足度は、技術の設置費用・投資回収年数・快適性の変化に影響を受ける。本研究では、太陽光発電、断熱、高効率給湯器、太陽熱温水器の 4 つの低炭素技術を対象として、①環境意識～④技術のイメージの度合いと、技術を導入する・しないの関係を把握するために判別分析を実施した。続いて、技術の設置費用・投資回収年数・快適性の変化と、③費用・便益の満足度との関係を把握するためにコンジョイント分析を実施した。

b) 判別分析に基づく普及率予測モデル

①～④の度合いと、技術を導入する・しないの関係を把握するため、判別分析を実施した。判別分析とは、いくつかの量的データを説明変数とし、対象が属するグループを予測する方法である。本研究では、『①環境意識、②情報接触度、③費用・便益の満足度、④技術のイメージの度合い』を説明変数とし、『技術を導入するグループ・しないグループどちらに属するか』を目的変数とした。グループの判別には判別関数 Z (式(1))を用いた。

$$Z = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + b \quad \text{式(1)}$$

$a_1 \sim a_4$ 、 b は係数、 $x_1 \sim x_4$ は 5 段階（一部 2 段階）で表される①～④の度合いである。低炭素技術毎に判別関数の係数 a, b を決定するために、 $x_1 \sim x_4$ の値と各技術の導入状況を問うアンケートを 2009 年 11 月に実施した。回答は、戸建・持家かつ家計の決定権を持つ人 563 名から得た。内訳は、技術導入者：太陽光発電 109 名・断熱 110 名・高効率給湯器 110 名・太陽熱温水器 113 名、技術未導入者：121 名である。

また、決定した判別関数 Z を、式(2)でロジスティック回帰をすることで、普及率 P [%] への換算を可能とした。

$$P = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

c) コンジョイント分析に基づく費用・便益の満足度の規定要因の分析

戸建・持家かつ家計の決定権を持つ人 563 人を対象にコンジョイント分析に基づくアンケートを実施した。『設置費用』『投資回収年数』『快適性の変化』の組み合わせ 11 ケースを提示し、11 ケースそれぞれの費用・便益への満足度の回答結果より、コンジョイント分析手法を用いて設置費用・投資回収年数・快適性の変化と、③費用・便益の満足度との関係を分析した。

2) 普及率予測モデルを用いた中・長期削減目標達成に向けた普及政策の検討方法

1) で開発した普及率予測モデルを用いて予測した政策実施時の低炭素技術普及率を、本研究分担者が既往研究^{文 1)}において開発した住宅内のエネルギー消費推計マクロモデルに反映し、日本全国の戸建住宅からの CO_2 排出量を 2050 年まで推計した。

(3) 非住宅建築物を対象とした予測手法の開発

1) 非住宅建築物起因のエネルギー消費量予測手法の開発

非住宅建築物起因のエネルギー消費量 (CO_2 排出量) を中長期的に予測する手法を開発した。本モデルは次の 3 つから成り、建物用途別 (事務所、卸小売業、飲食店、宿泊施設、娯楽施設、医療施設、教育施設、その他の 8 用途)、地域別 (北海道、東北、北陸、関東、中部、関西、中国・四国、九州・沖縄の 8 地域) に 2050 年までのエネルギー消費量 (CO_2 排出量) の予測が可能である。

① 床面積予測モデル:

業務用建築の床面積は、人口動態や産業構造の変化によって大きく変動する。本研究では、マクロ経済分析に基づいて床面積の予測を実施した。分析に必要な統計データを収集し、最小自乗法の回帰分析を実施することにより、人口や生産額などの変数が、各用途の床面積に与える影響を示す推計式を得た。マクロ経済モデルによって説明変数を予測し、この結果を推計式に代入することで将来のストック床面積を推計した。

② 技術普及予測モデル:

低炭素技術の普及に影響を与える主要な要因の一つとして、建築主の時間選好（初期投資を早期に回収したい等の選好）が挙げられる。この選好の分布関数（以下、選好関数）はロジスティック型となることが知られており、投資回収年数 t と導入率 $f(t)$ の関係として表される。本研究では、非住宅建築物の建設を業務とする建築主に対するアンケート調査を実施し、耐用年数が長い技術（20年以上）と短い技術（20年以内）に分けて、この選好関数を同定した。低炭素技術の導入実績や、導入における阻害要因、インセンティブについても調査し、これらの結果を踏まえて各技術における導入率を予測した。

③ エネルギー消費原単位のデータベース:

非住宅建築物におけるエネルギー消費量や消費特性は、用途や地域によって大きく異なる。そこで本研究では、8用途別、8地域別、技術導入の有無別に推計し、データベース化した。現状値に関しては、DECC（Database for Energy Consumption of Commercial building: 非住宅建築物のエネルギー消費量に関するデータベース）^{文3)}を利用した。技術導入時の値に関しては、シミュレーションを利用して推計した。

2) 開発した予測手法による各種低炭素化政策の評価

開発した本予測手法を用いて、各種低炭素化政策を実施した際の省エネルギー効果（CO₂削減効果）を評価することで、中長期削減目標の達成に向けて実施すべき政策について検討した。

3.2.3 結果・考察

(1) 分譲集合住宅を対象とした予測結果

1) 分譲集合住宅における省エネ技術導入率と省エネ型ライフスタイル実行世帯率の推計結果

分譲集合住宅の建築主企業 120社に対して、2008年12月にアンケート調査を実施・分析した結果を表3-2-1に示す。i)住宅の断熱性能については、住宅性能表示制度において最高レベルの等級4（平成11年の住宅省エネ基準相当）を達成している住宅戸数割合が現状では29%であるのに対して、今後は41%になる予定との回答が得られた。ii)高効率給湯設備（潜熱回収式またはヒートポンプ式）については、現状でも85%で、今後は90%になる予定であり、iii)太陽熱給湯設備については、現状では0%であるのに対して今後は

2%、iv)太陽光発電設備については、現状では0%であるのに対して、今後は20%の導入率を予定しているとの回答が得られた。2050年の温室効果ガスの60~80削減という目標達成のためには、省エネ技術導入率のさらなる向上が必要であり、規制や誘導などの政策推進の余地が大きいことがわかった。

本研究の研究代表者と研究分担者が既往研究^{文4)}において、全国の約4000世帯を対象に実施他アンケート調査結果を利用し、住宅内のエネルギー消費量マクロモデルに組み込むように整理した結果を表3-2-2に示す。居住者自身が省エネ型のライフスタイルを実行する世帯の割合(実行世帯率)は、入浴回数を減らす対策の実行世帯率の26%を除けば、50~76%となっており、全般的に比較的大きな値となっているものの、2050年に向けて、規制や誘導などの政策推進による実行世帯率向上の余地は大きいことがわかった。

表3-2-1 建築主による省エネ技術導入率

省エネ技術項目		導入率(%)	
		現在	今後
i)断熱性能	省エネ対策等級1	0.0	0.0
	省エネ対策等級2	0.0	0.0
	省エネ対策等級3	70.7	59.4
	省エネ対策等級4	29.3	40.6
ii)給湯設備	その他	0.0	0.1
	電気温水器	0.6	0.5
	ガス瞬間式給湯器	14.2	9.4
	潜熱回収型ガス給湯器	74.0	70.9
	CO ₂ 冷媒ヒートポンプ式給湯器	11.3	19.1
iii)太陽熱給湯設備	0.0	1.9	
iv)太陽光発電設備	0.0	19.7	

表3-2-2 居住者による省エネ型ライフスタイル実行世帯率

省エネ型ライフスタイル項目		実行世帯率(%)
暖冷房	暖冷房設定温度の変更 暖房:-2℃、冷房:+1℃	70
	暖冷房時間の25%短縮	70
	給湯温度を下げる(-1℃)	50
給湯	入浴回数の減少	26
	風呂給湯量の節水	54
	節水シャワーヘッドの使用	60
	洗顔と炊事で湯の節水	76
	夏の洗顔・炊事での水の使用	50
家電製品	待機時消費電力のカット	54
	風呂の残り湯を洗濯に使用	64
	洗濯のまとめ洗い	74
	スピードコースで洗濯	50
	白熱灯を電球型蛍光灯に交換	61
	温水洗浄便座のふたを閉める	50
温度設定を季節に合わせて調整	51	

2) 日本の全分譲集合住宅からのCO₂排出量の2050年までの推計結果

1990年から2050年までの分譲集合住宅からの総CO₂排出量を都道府県別に推計し、全国集計した結果を図3-2-1に示す。2050年におけるCO₂排出量は、1990年に比べて、現状維持シナリオでは71%増加するのに対して、アンケート調査に基づく建築主の意識変革シナリオでは59%増加、居住者の意識変革シナリオでは44%増加、双方併せたシナリオでは31%増加に抑制できることがわかった。長期目標達成に向け、建築主による省エネ技術導入率が100%に、居住者による省エネ型ライフスタイル実行世帯率が100%になるような有効な規制、誘導政策が実施されたとした建築主と居住者双方の徹底対策シナリオでは、6%増加に抑制できる結果となった。さらに、暖冷房機器、給湯機器などの住宅設備機器と冷蔵庫、テレビなどの家電製品のエネルギー消費効率ならびに電力のCO₂原単位の改善^{文5)、文6)}を想定することによって、65%削減となることがわかった。

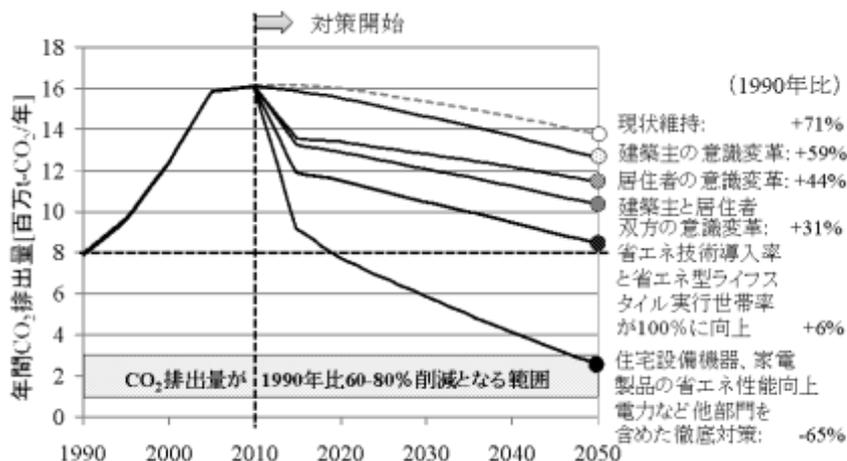


図 3-2-1 日本全国に分譲集合住宅からの CO2 排出量の 2050 年までの推計結果

(2) 戸建住宅を対象とした予測結果

1) 戸建住宅主の意思決定構造を考慮した低炭素技術普及率の予測結果

アンケート結果より、4つの低炭素技術ごとに、判別関数 Z の係数を決定した。

表 3-2-3 に、一例として太陽光発電システムの判別関数 Z の係数を記す。また図 3-2-2 に、太陽光発電の導入・未導入に4つの項目（うち、情報接触度は2つ）が与える影響度を示す。太陽光発電では、費用・便益への満足度よりも、技術のクールなイメージや情報の有無の方が、導入・未導入に与える影響が大きいことが明らかになった。その他の低炭素技術の導入傾向は次の通りである。断熱・複層ガラスは、住宅を新築する際に追加的に導入を検討する人が大半なため、事前の知識量や専門家の有無は大きく影響せず、費用・便益への満足度によって導入の可否を判断している。高効率給湯器は、事前の知識量が大きく導入に影響を与えている。太陽熱温水器は、クールなイメージの無さや、近年の市場動向の鈍さに起因し、イメージや情報の有無が導入に与える影響は少ない。一方で、環境意識や、身近な専門家の有無、費用・便益への満足度が、技術導入に影響を与えている。

表 3-2-3 太陽光発電の判別関数 Z の係数

	係数		係数
①環境意識 a_1	7.91	③費用便益 a_3	9.81
②業者有無 $a_{2,1}$	-21.0	④イメージ a_4	21.2
②情報有無 $a_{2,2}$	15.5	切片 b	-128

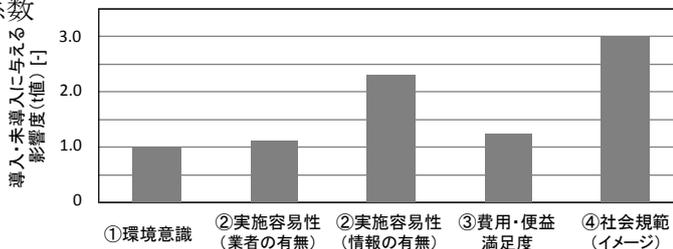


図 3-2-2 太陽光発電の導入・未導入に与える影響度

設置費用・投資回収年数・快適性の変化と、③費用・便益の満足度との関係を分析した結果を図 3-2-3 に示す。設置費用が 200 万円程度と高額だと、投資回収年数が 10 年でも不満足側の回答となる。設置費用が 50 万円程度になると満足度は向上する。更に、断熱を想定し、『冬の暑さ・夏の暑さの緩和、結露の防止、遮音性の向上』といった快適性の向

上効果も加味すると、費用・便益の満足度は向上することが明らかになった。このように、従来注目されてこなかった快適性の向上効果（間接的便益）をアピールすることによる、人々の購入意欲向上の可能性が示唆された。

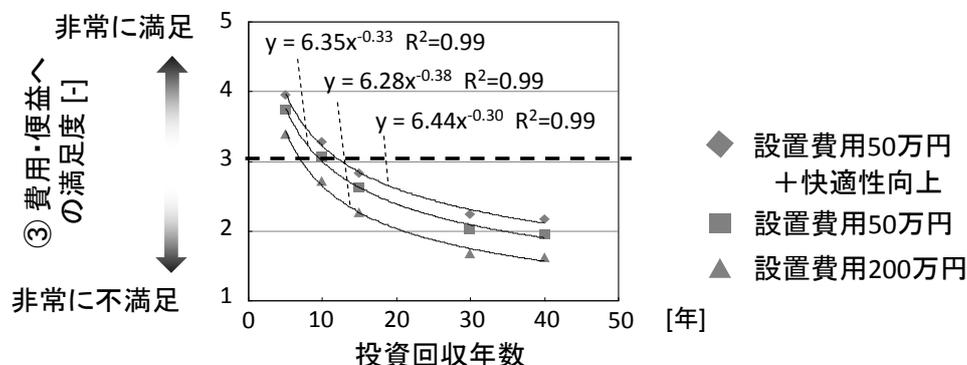


図 3-2-3 設置費用・投資回収年数・快適性と費用・便益への満足度の関係

2) 普及率予測モデルを用いた中・長期削減目標達成に向けた普及政策の検討結果

開発した普及率予測モデルを用いて、政策実施時の低炭素技術普及率を予測した。この普及率を住宅内のエネルギー消費推計マクロモデルに入力し、中・長期削減目標の達成に向けた以下の知見を得た。戸建住宅分野では、温室効果ガス排出を 2020 年で 25%削減、2050 年で 80%削減（ともに 1990 年比）するためには、以下に述べる低炭素技術普及率を達成する必要がある。太陽光発電・高効率給湯器ともに、現状は 1%に満たない普及率を今後 10 年間で 20%にまで向上させ、それ以降も毎年 1%ずつ普及率を向上させていく必要がある。住宅の断熱性能については、新築住宅では次世代省エネ基準（平成 11 年基準）を 100%とし、既存住宅では全て平成 4 年基準への改修が必要である。太陽光発電の普及率 20%を達成するためには、補助金や固定価格買取制度により、投資回収年数を 5～6 年程度に短縮すること、または技術のイメージ向上を目指した啓発活動が有効である。高効率給湯器に関しては、既に投資回収年数が 8 年程度と短いため、補助金等金銭面での支援は有効ではない。代わりに、専門家の配置や、投資回収年数等に関する情報提供により、普及率 20%の達成が可能となる。断熱・複層ガラスについては、設置費用を 50 万円、投資回収年数を 10 年程度、更に快適性向上という便益を考慮することで、新築住宅における導入率 100%を達成する。

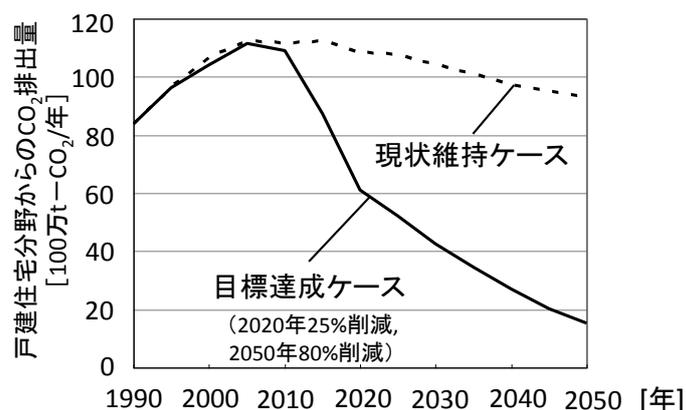


図 3-2-4 戸建住宅からの日本全国の CO₂ 排出量

3.2.4 非住宅建築物を対象とした予測結果

1) 非住宅建築物起因のエネルギー消費量予測手法の開発

a) 床面積の予測結果

人口や産業別生産額などの社会経済情勢を表す変数が、各用途の床面積に与える影響を定量的に示す推計式を得た。この推計式における主要な説明変数を表 3-2-4 に示す。マクロ経済モデルによってこれらの変数を予測し、この結果を推計式に代入することで将来のストック床面積を推計した結果を図 3-2-5 に示す。

表 3-2-4 各用途の床面積の説明変数

建物用途	説明変数
事務所	第三次産業就業者人口[人]
卸小売業	卸小売業生産額[百万円]
飲食店	飲食店生産額[百万円]
医療施設	病床数[床]、 病床数当たり床面積[m ² /床]
宿泊施設	宿泊業生産額[百万円]
娯楽施設	娯楽施設生産額[百万円]
教育施設	各教育機関別学生数[人]
その他	その他のサービス業生産額[百万円]

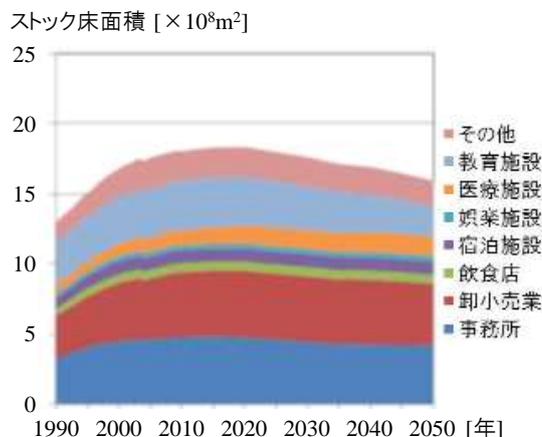


図 3-2-5 ストック床面積の予測結果

b) 技術の普及率の予測結果

建築主へのアンケート調査結果を基に、低炭素技術の投資回収年数と導入率の関係を表す選好関数を同定した結果を図 3-2-6 に示す。この選好関数に、各低炭素技術の投資回収年数を代入することで導入率を算出した。また、導入量が増加するほど技術の生産コストは低下していく効果（学習効果）を考慮した上で、2050年までの普及率を予測した。

c) エネルギー消費原単位の推計結果

既往の統計データの分析とシミュレーションにより、用途別、地域別、技術導入の有無別にエネルギー消費原単位を推計した結果を図 3-2-7 に示す。

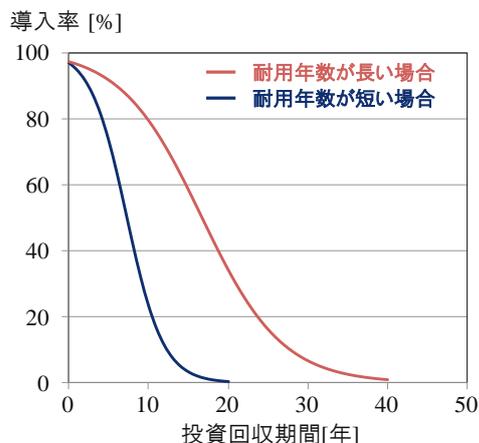


図 3-2-6 選好関数の同定結果

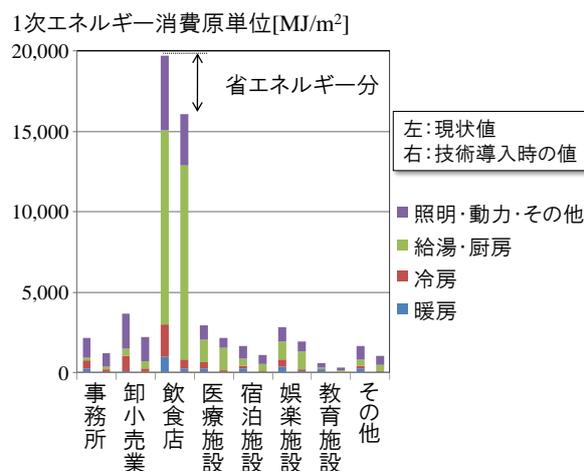


図 3-2-7 エネルギー消費原単位の推計結果

2) 開発した予測手法による各種低炭素化施策の評価

本研究では、無対策シナリオに対して、情動的対策（認知バイアスの除去）、経済的対策（補助金の交付）、規制的対策（導入の義務付け）の 3 つの対策シナリオを設定した。各シナリオにおける低炭素技術の導入率を選好関数に基づき推計し、2050 年までのエネルギー消費量（CO₂排出量）の推移を予測した（図 3-2-8）。但し、情動的対策における認知バイアスの除去とは、アンケート調査で明らかとなった追加投資額に対する過大評価等の是正を指す。

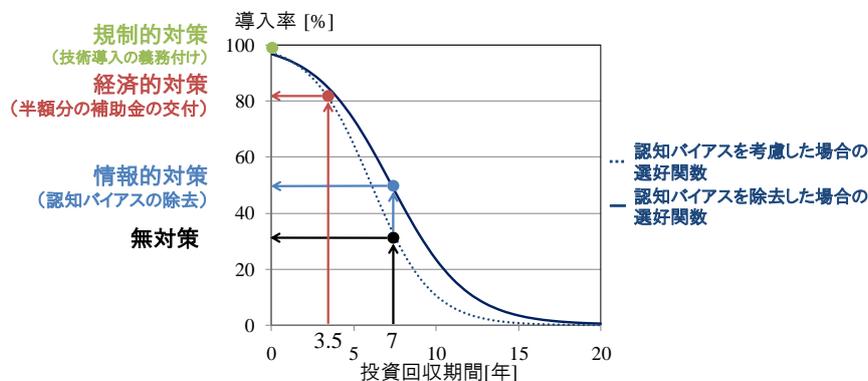


図 3-2-8 予測シナリオの設定方法（高効率熱源の場合）

エネルギー消費量、CO₂排出量の予測結果を図 3-2-9 に示す。無対策ケースでは、2050 年の CO₂ 排出量が 1990 年比で約 4%増であるのに対し、対策ケースでは減少に転じていることが分かる。情動的対策ケースでは 1990 年比 49%減、経済的対策ケースでは 57%減、規制的対策ケースでは 68%減である。更にこの規制的対策に加え、電力 CO₂ 排出係数の改善を見込んだ^{文 5)}、^{文 6)}場合は、最大で 1990 年比 77%の削減が可能であることが示された。我が国の中長期削減目標の達成に向けては、規制的対策も含めた徹底した対策と他分野における努力も求められることが示唆された。このように、本予測手法によって各政策を実

施した際の削減効果を定量的な評価が可能となり、非住宅部門における実効性の高い低炭素化政策を検討する上で有効な知見が得られた。

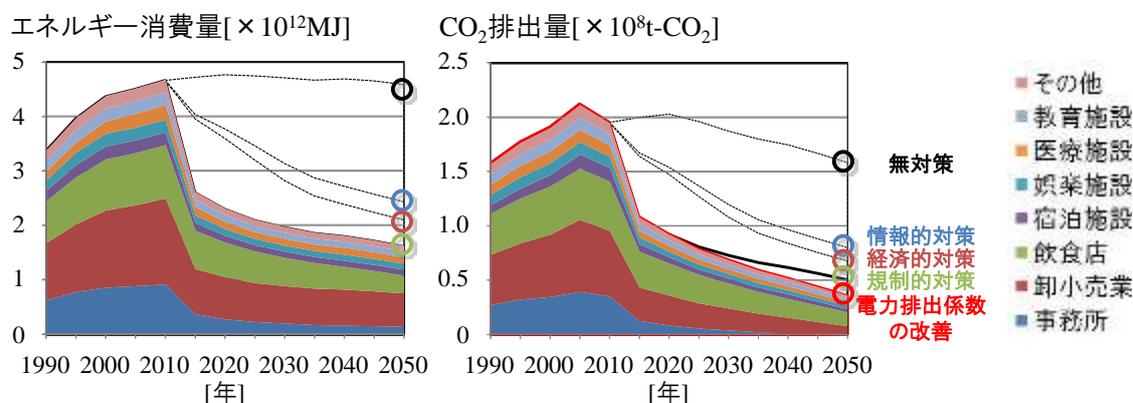


図 3-2-9 エネルギー消費量、CO₂ 排出量の予測結果

3.2.5 まとめ

これまで住宅・非住宅建築に存在する多様な用途を網羅したエネルギー消費量、及びCO₂排出量の予測手法が存在しなかった。そこで床面積やエネルギー消費量等に関する基礎データを整備するとともに、エネルギー消費量に影響を及ぼす低炭素技術の普及動向を把握するために、住宅（分譲集合、戸建）、非住宅建築物それぞれの建築主に対してアンケート調査を実施した。これらを通じて、住宅・非住宅建築起因のエネルギー消費量、及びCO₂排出量の2050年までの推移を予測可能な手法を確立した。これによって、2050年までの将来動向について把握するとともに、施策を実施した際のCO₂削減量を定量的に評価することが可能となった。これにより、住宅・非住宅部門における実効性の高い低炭素化施策の検討が可能となり、低炭素社会の実現へ貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) 伊香賀俊治, 三浦秀一, 外岡 豊, 下田吉之, 小池万理, 深澤大樹: 住宅内のエネルギー消費量とCO₂排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発, 日本建築学会技術報告集, 第22号, 2005.10
- 2) 広瀬幸雄: 境配慮的行動の規定因について, 社会心理学研究第10巻第1号44-55, 1994
- 3) (社)日本サステナブル建築協会, 非住宅建築物の環境関連データベース検討委員会平成21年度報告書
- 4) 井上 隆ら: 全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究影響を及ぼす要因に関する分析その2, 日本建築学会環境系論文集No.606, 2006.8
- 5) 電気事業連合会: 環境行動計画 (2008年度版), 2008
- 6) NEDO: 技術戦略マップ2008, 2008

3.3 建築・都市におけるエネルギー消費特性の実態

吉野 博（東北大学）

(1) はじめに

本章は、中・長・超長期的な観点から都市・建築におけるエネルギー消費の大幅削減の方策を探ることを目標として、そのための基礎的な資料を整備するために、エネルギー消費に関連のある最新の資料や調査に基づいてエネルギー消費特性の実態を明らかにする。

建築におけるエネルギー消費量は、住宅では暖房、冷房、給湯、照明、家電など、一般建築では、空調、照明、動力、OA 機器などに使用されており、様々な因子によって時間ごとの使用量、年間の使用量が大幅に変化する。エネルギー消費に及ぼす因子は図 3-3-1 に示すとおりである。建物が建っている土地の気象条件は、最も大きな影響を及ぼす因子である。建物の外壁や窓の断熱性能、気密性能などの外皮性能や各種の建築設備も大きな因子である。また、以上の条件が同一であったとしても、運用や保守管理、使用者の行動、室内環境の条件によっても、エネルギー消費量は大幅に変化する。

これらの因子とエネルギー消費量との関係を明らかにすることによって、今後の省エネルギー対策の方法やその効果を推定することが出来る。

なお、本報告の一部には、環境省環境研究総合推進費 E-0803（「低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言」、委員長：村上周三）によって実施された研究成果が含まれている。

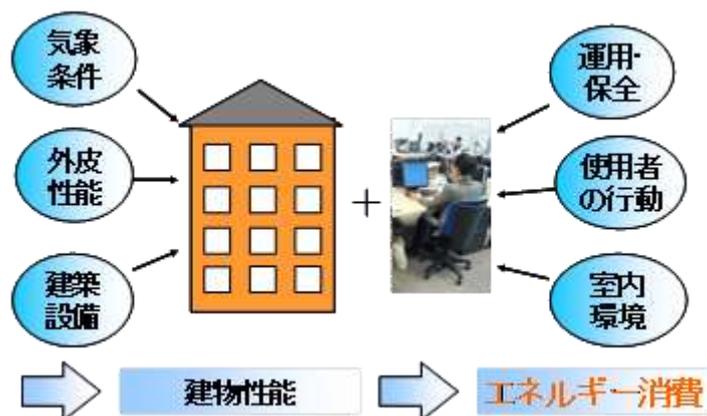


図 3-3-1 エネルギー消費と影響する因子

(2) 住宅のエネルギー消費特性

住宅におけるエネルギー消費量に関する統計データは毎年、住環境計画研究所から発表されている。これは家計調査年報に基づいて算出されたものである。エネルギー消費量の実態は 1988 年頃から多くの研究者が調査してきているが、全国的で大規模な調査は、日本建築学会の「住宅のエネルギー消費に関する調査研究委員会（2001-2003 年）」並びに「住宅用エネルギー消費と温暖化対策検討委員会（2004-2005 年）」（いずれも委員長：村上周三（当時：慶応大学教授））で実施されたものが初めてである。

この調査では、(1) インターネットを介したアンケート調査（約 3,500 件）、(2) 80 件の住宅の計測器を用いた詳細調査、(3) 数値計算による影響因子の推定、将来予測などが含まれている。詳細は委員会報告書¹⁾などに示されている。結果の一例を図 3-3-2 に示す。これは、1075 件の戸建住宅を対象としたアンケート調査による年間一戸当たりのエネルギー消費量の結果である。寒冷気候にある北海道、東北、北陸地方では暖房と給湯の

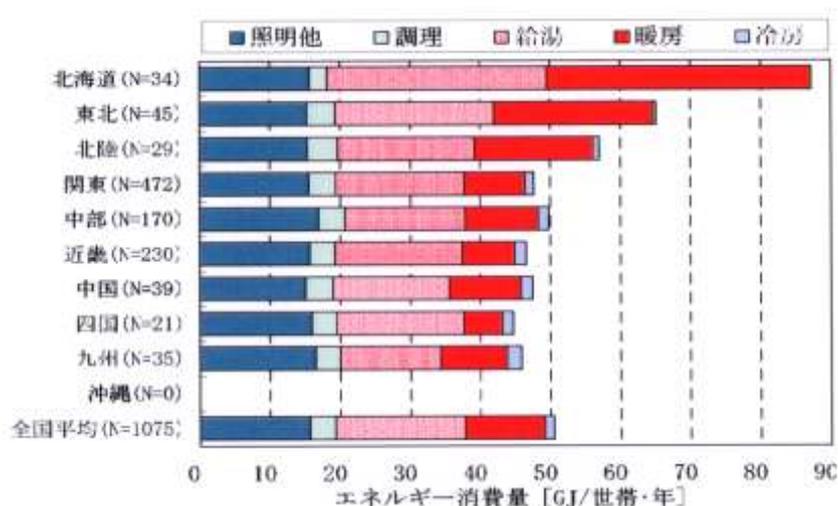


図 3-3-2 地域別の一戸当たり年間エネルギー消費量

消費量が他の地方に比べて多いことがわかる。一方、関東以南の地域では、平均的な値は地域の差がない。また、エネルギー消費に及ぼす因子としては、世帯人数、所有機器の台数、戸建住宅か集合住宅の違いが上げられた。

最近では吉野ら²⁾が、仙台市の 850 戸を対象としたアンケート調査を実施している。結果の一部を図 3-3-3 に示すが、家族人数や家族構成によって大幅に異なることが明らかである。影響する因子としては、世帯人数、延床面積、年収が上げられた。

また、長谷川ら³⁾は、これまでデータの無かった農村地域の住宅約 100 戸を対象としたアンケート調査を実施している。その結果、住宅面積が都市住宅に比べて大きいことなどの理由で、農村住宅のエネルギー消費量は同じ地方の都市住宅と比較して 2 割前後、多いことを明らかにしている。

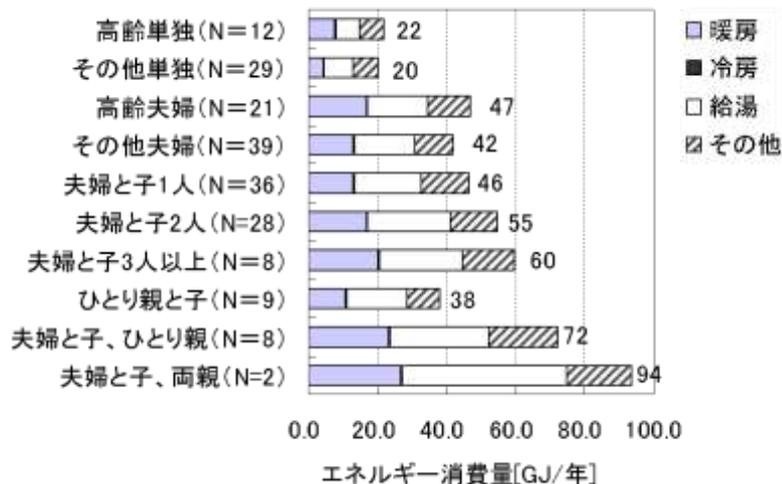
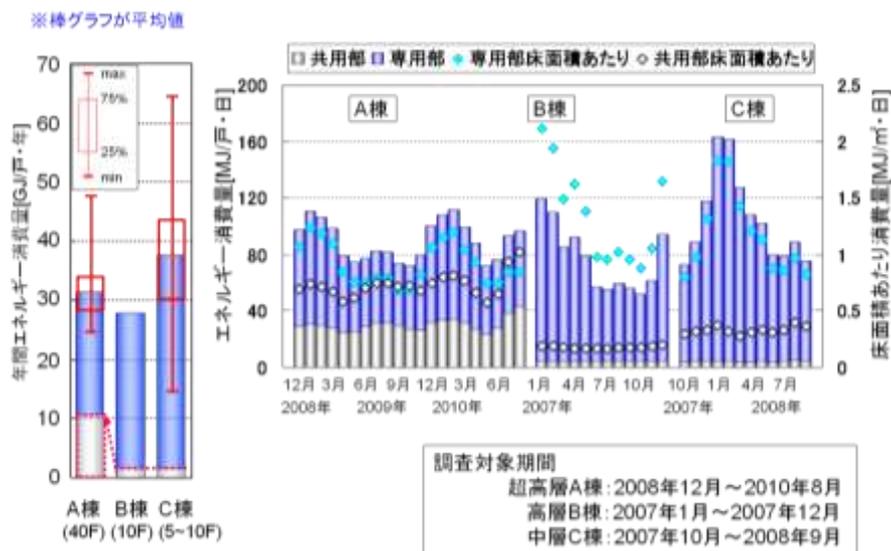


図 3-3-3 仙台の世帯構成別年間エネルギー消費量

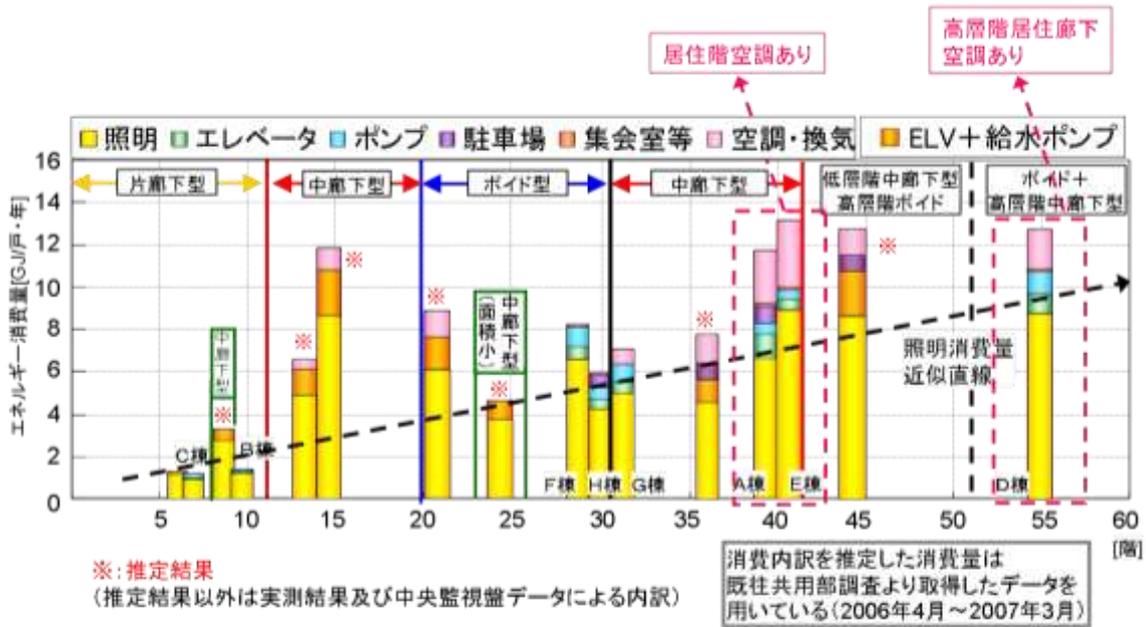
(3) 集合住宅の共用部で利用されるエネルギー消費量

集合住宅のエネルギー消費量に関しても、これまでに多くの調査が実施されてきたが、共用部におけるエネルギー消費量の実態については全く調査されてこなかった。井上らは東京にある集合住宅3棟を対象として、共用部のエネルギー消費量について詳細な調査を実施した。その結果は図 3-3-4 の通りである。10階程度の集合住宅の場合には、共用部のエネルギー使用量はわずかであるが、高層の集合住宅であるA棟では、約3割を占めている。



(東京理科大学 井上隆教授 提供)

図 3-3-4 三つの集合住宅共用部における一戸当たりエネルギー消費量



※実測内訳は、国土技術政策総合研究所が(財)建築環境・省エネルギー機構に設置した集合住宅共用部省エネルギー推進研究会での成果 (東京理科大学 井上隆教授 提供)

図 3-3-5 集合住宅共用部における一戸当たりエネルギー消費量と建物階数の関係

他の調査例と一緒にして、建物の階数との関係で示すと図 3-3-5 のようになる。階数の高い集合住宅ほど共用部のエネルギー消費量の割合が大きくなり、照明用の増加がその原因であることがわかった。これらのデータは世界的にも初めて得られたものであり、大変に貴重である。

(4) 非住宅のエネルギー消費特性

住宅以外の各種の建物のエネルギー消費量に関しては、日本ビルエネルギー総合管理技術協会が、毎年調査を実施し公表⁴⁾している。対象は 2000m²以上の建築物で、協会加入の会員各社が受託している建物であり、対象建物数は合計 1100 件ほどである。建物用途は、事務所、デパート・スーパー、店舗飲食店、ホテル、病院、学校、その他である。詳細は報告書に示されているが、年間のエネルギー使用量はいずれの建物用途でも床面積との相関が高いこと、床面積当たりの年間平均エネルギー消費量は、過去 20 年間ほどの間で大幅には変化していないことなどが明らかになっている。

これとは別に住宅の場合と同様に、多くの研究者が 1988 年ごろからエネルギー消費量に関する調査を進めているが、全国的な大規模調査は、一般社団法人 日本サステナブル建築協会 (JSBC) に設けられた「非住宅建築物のエネルギー消費量に関わるデータベース (DECC) 委員会 (委員長: 村上周三)」によるもので、2007 年から実施されている。サ

サンプル数は13454（2009年度調査）である。

結果の一部を図 3-3-6 に示す。これは床面積当たりのエネルギー消費量（エネルギー消費原単位）を示しており、建物用途別で見ると、電算・情報センター、コンビニ、飲食店における消費量が極めて多く、全体の平均値の4から7倍となっている。また、因子との関係について言えば、事務所建築の場合には図 3-3-7 に示すように、床面積との相関が大変に強いことが明らかになっている。また、その他の因子としては従業員数などがあげられる。地域性についても分析されているが、事務所建築の場合には、気候条件との関連は低く、大都市が含まれる関東、関西が他の地方よりも床面積当たりの消費量が1割程度、

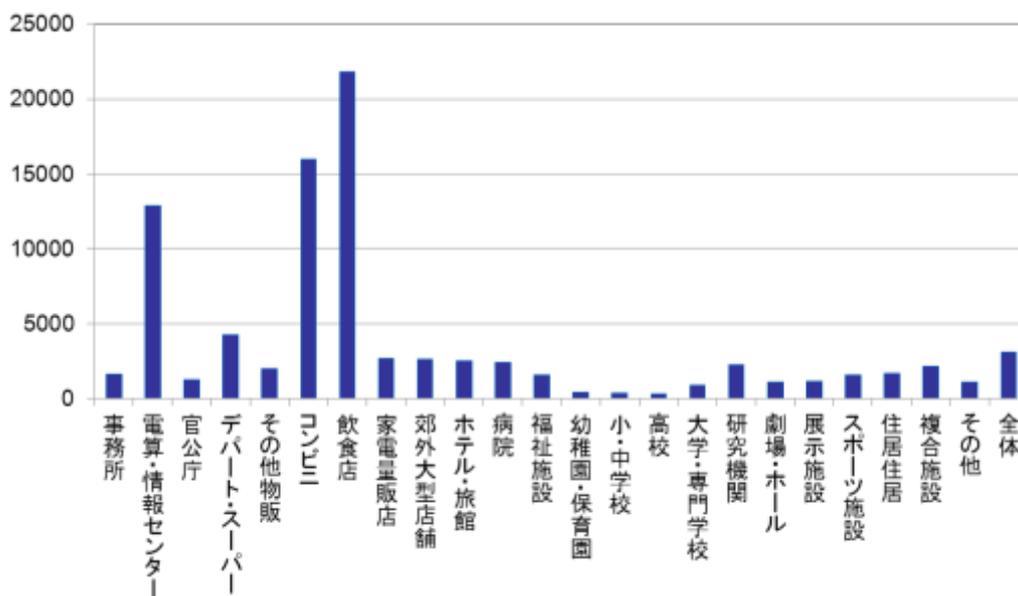


図 3-3-6 建物用途別年間エネルギー消費量原単位（床面積当たり）⁵⁾

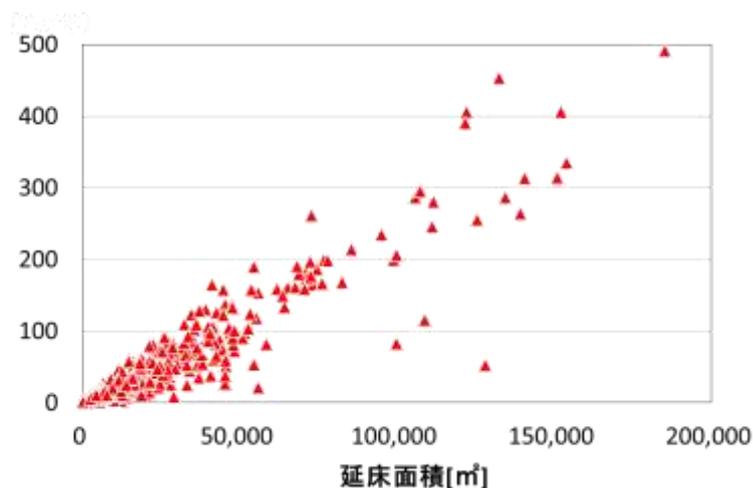


図 3-3-7 延床面積と年間エネルギー消費量との関係⁵⁾

多いことが明らかになっている。これはコンピューター関連の機器の密度が大都市の事務所は大きいからであると推察される。

(5) 食料品スーパーにおけるエネルギー消費の実態

デパート・スーパーやコンビニなどの小売店舗における面積当たりのエネルギー消費量は、事務所に比べて多いことが DECC の調査で明らかになっている。鳴海らの調査によれば食料品スーパーの同一事業者のエネルギー消費原単位は図 3-3-8 に示すとおりである。図によれば最大値は最小値の約 3 倍であり、大きなばらつきが見られる。統計分析によれば、営業時間が長く、建物規模が小さく、食品売上率が大きい店舗ほどエネルギー消費原単位が大きな値を示すことが明らかとなった。

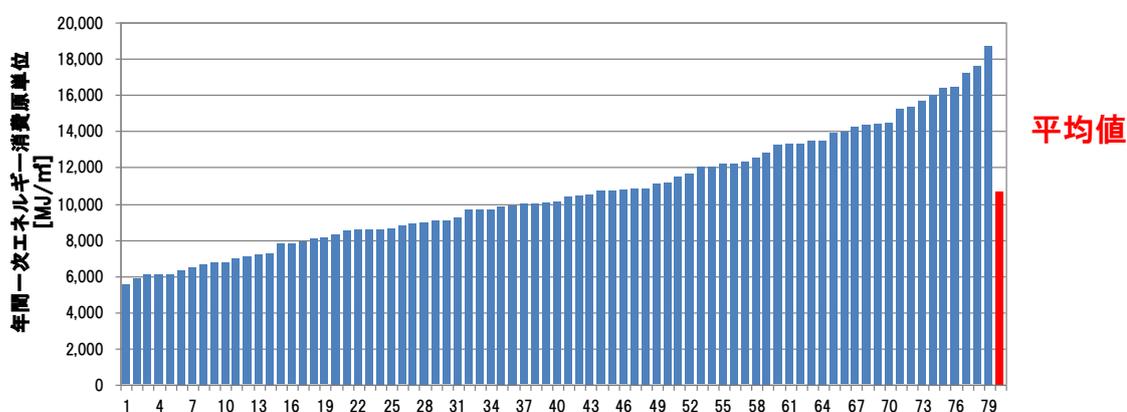


図 3-3-8 食料品スーパー（同一事業者 79 軒）のエネルギー消費原単位のばらつき
（横浜国立大学 鳴海准教授 提供）

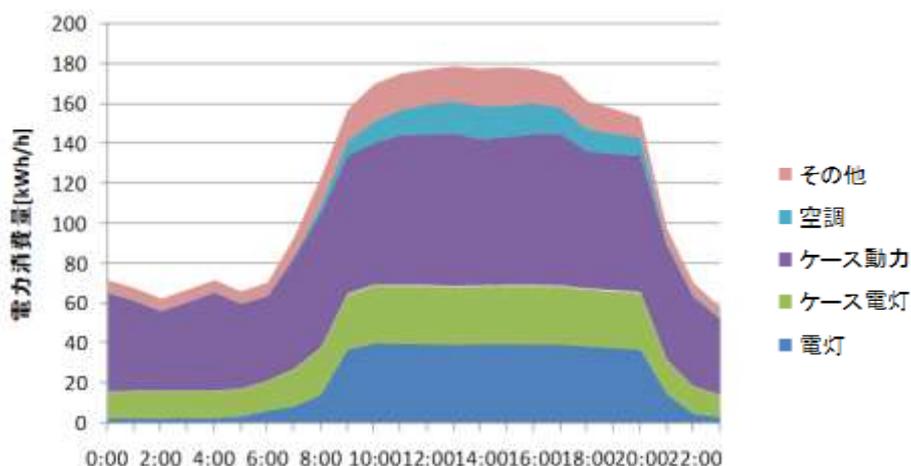


図 3-3-9 代表店舗（食料品スーパー）の用途別電力消費量のパターン
（横浜国立大学 鳴海准教授 提供）

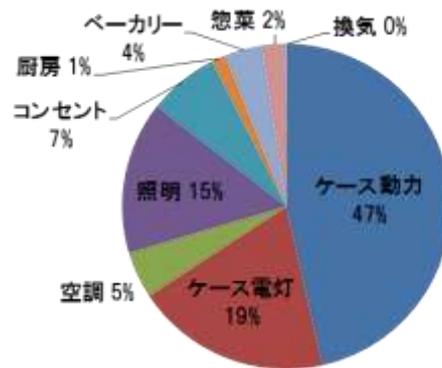


図 3-3-10 代表店舗（食料品スーパー）の用途別電力消費量の内訳

（横浜国立大学 鳴海准教授 提供）

また、代表的な店舗を対象とする詳細実測調査結果からは、図 3-3-9、図 3-3-10 に示すように冷凍・冷蔵ショーケースに使用される動力・電灯用のエネルギー消費量が 66% を占めていることが明らかとなっており、食料品スーパーのエネルギー消費特性は、単位延床面積あたりの冷凍・冷蔵ショーケース容量（冷凍・冷蔵能力）で説明が可能であるといえる。ショーケースのエネルギー消費量が大きいことから、冷気漏れ対策として夜間にカバーを設置したところ 30% 程度の動力用エネルギーが削減できたことを鳴海らは報告している。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震、その後の巨大津波によって関東・東北地方ではエネルギー供給施設が被災し、電気、ガス、水の供給がストップした。その後の復旧活動によって、被災地を除けば、電気、ガス、水の供給は殆どの地域で再開されている。しかし、福島第一原発の事故、幾つかの火力発電所の停止によって、東京電力の場合には電力供給が通常の 75% と落ち込んでいる（6 月 6 日付産経ニュース）。政府は今夏の電力需給を、猛暑を想定した電力需要見込み 6,000 万キロワットに対し、東電の供給能力が 5380 万キロワット程度にとどまるとみており、最大使用電力量を 15% 程度削減することを検討している（経済産業省）。

従って、供給量をいかに増やすかという問題と需要量がどの程度抑えられるかという問題を検討する必要がある。後者の問題は、温暖化防止のための CO₂ 低減と同じベクトルを向いており、建物性能の向上による負荷の削減、新しい効率の高い設備の導入、再生可能エネルギー利用機器の導入、使い方・住まい方の工夫による節減などが考えられる。

そのためには、今回報告したエネルギー消費実態に関するデータは最も基本となるものであり、しかるべき機関によって全国レベルの定期的な調査を実施し、データを蓄積していく必要がある。

(6) まとめ

- a) 建築におけるわが国のエネルギー消費実態に関して概説した。
- b) これまでエネルギー消費量データのなかった農村部住宅、集合住宅共用部、小売店舗における実態について紹介した。
- c) 食料品スーパーの冷凍・冷蔵ショーケースにおけるエネルギーロスの多きいことなどが明らかとなった。
- d) エネルギー消費データは将来推定や省エネルギー対策を施す上で基本となるデータであり、定期的に調査を実施し整備していく必要がある。

なお、本報告をまとめるにあたっては、東京理科大学の井上隆教授、秋田県立大学の長谷川兼一准教授、横浜国立大学の鳴海大典准教授より、資料の提供をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会「日本の住宅におけるエネルギー消費量」、丸善株式会社、2006.10
- 2) 西谷早百合、吉野博、村上周三、河田志穂：仙台市における住宅エネルギー消費量の実態調査 - 夏期のアンケート調査 -、日本建築学会東北支部研究報告集、計画系 (72)、pp 45-48、2009.6
- 3) 長谷川兼一、齋藤綾加、松本真一、吉野博、村上周三：農村地域と都市地域における住宅のエネルギー消費特性に関する分析、エネルギーシステム・経済環境コンファレンス講演論文集、第 27 回、2011.1
- 4) 平成 21 年度版 建築物エネルギー消費量調査報告書、社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会、2010.3
- 5) 一般社団法人日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム「非住宅建築物の環境関連データベース検討委員会 平成 21 年度報告書、2010.3

3.4 森林再生による低炭素社会の実現

米田雅子（慶應義塾大学）

（1）豊かな森林資源と低い国産材自給率

日本には資源がないといわれる。エネルギー自給率はわずか4%、食糧自給率は40%にすぎない。しかし、日本には「豊かな緑の資源」がある。日本は先進国でありながら、国土の67%が森林という世界有数の森林国家でもある。

日本の森林面積は、約2500万ha程度とほぼ一定を保つ一方で、森林蓄積は、平成7年の3483百万m³から平成17年の4341百万m³へと、毎年平均で8580万m³増加している。戦後の拡大造林で植えられたスギやヒノキ等の人工林の増加が大きい（図3-4-1）。

森林の年間生育量は、日本の木材使用量約8,000万m³を超えている。しかし、国産材自給率は、平成21年で28%にすぎず、海外から72%を輸入している（図3-4-2）。森林資源が枯渇しつつある海外から木材を輸入し、日本の豊かな森林は利用されていない。外材の一部には森林破壊につながる違法伐採も含まれるという。

日本の森林は、適切に間伐をすることで、残りの木を大きく育てることができる。また主伐期になれば、小面積の皆伐と植林を順次行い、次のサイクルの森をつくることができる。間伐材や主伐で搬出した木材を利用することが、次の森を育てるために必要である。

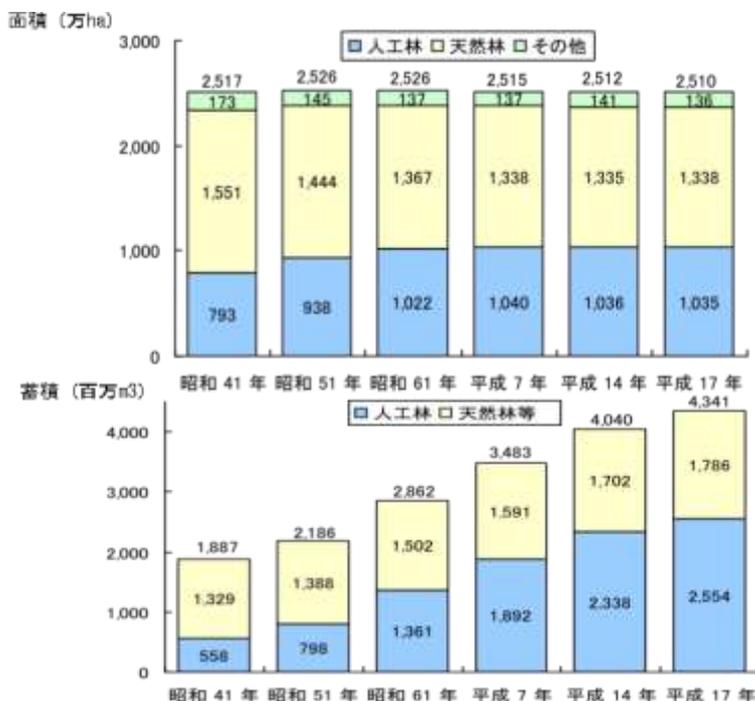


図 3-4-1 日本の森林資源の推移
出所 林野庁「森林・林業・木材産業の現状と課題」



図 3-4-2 わが国の木材（用材）供給量の推移 1)

(2) 地球における森林減少

戦後の造林で植えた木々も大きく成長し、計画的に利用することが求められている。しかし、ここに伏兵がいる。「樹木を伐採するのは良くないことだ」、「木を使うのは良くないことだ」という考えが広く流布されている。

これは、熱帯雨林の違法伐採のイメージが根強いからだと思われる。たしかに、地球上では毎年 730 万 ha、5 年間で日本の国土面積に相当する森林が減少し、「木を伐るのが良くない」地域がたくさんある (図 3-4-3)。減少の主な原因は、林地の農地への転用、焼き畑の増加、薪炭材の過剰摂取、森林火災であるが、違法伐採も少なくない。一度伐採すると元に戻らない森林も多い。ちなみに、この森林の喪失による CO₂ の増加は、地球上で増える CO₂ の約 2 割とも言われている。

テレビや新聞で、地球上の砂漠化のニュースが流れると、森林を伐採するのは悪いことだと思っだろう。しかし、日本には豊富な森林があって、適切に手をを入れて間伐を続けないと、森が荒廃してしまうことは、なかなか放映されない。また木の成長の早い南九州等の温かい地方では、主伐の時期を迎えており、皆伐と植林の計画的実施が必要になっていることも伝えられていない。

今の日本にとって、「木を適切に伐るのは良いこと」で、「国産材を使うことは良いこと」である。日本の気候は、樹木を育てるのに適している。

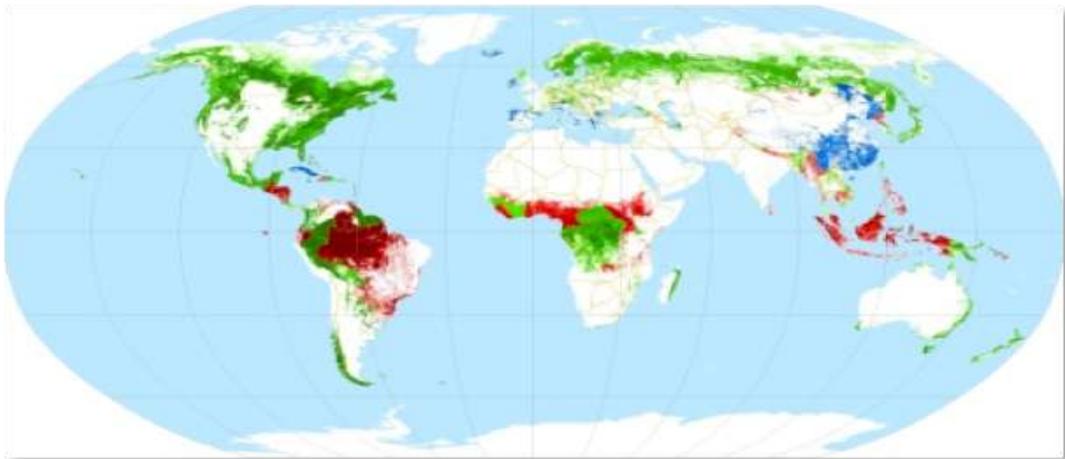


図 3-4-3 「森林の減少・劣化の進行する地域（世界地図の濃い部分）」²⁾

（3）国産材利用増大で低炭素社会を

筆者が主査をつとめる JAPIC の森林再生事業化研究会は、2009 年 3 月の発足時に、2020 年までに国産材自給率を 50%に上げる目標を打ち出した。国産材を 28%から 50%に上げて、外材を 72%から 50%に下げて、国内、国外ともに、持続可能な森林から木材を調達する目標である（図 3-4-4）。2010 年 3 月には、次世代林業提案として、50%を実現するためのシミュレーションを行い、「国産材 50%への組立」を発表した（図 3-4-5）。

国内では、これまで間伐材の約 7 割が、伐採木を林内に残置する伐り捨て間伐であったが、これからは作業道をつくり、この間伐材を搬出して利用する。また、大規模な皆伐後に植林せずに放置する業者からは木材を買わない。主伐の方法でも、一定面積以下の皆伐と植林による循環施業を行っている森林から調達する、などの提案である。

海外でも、違法に伐採された木材は輸入せず、次の資源を計画的に育てながら伐採している森林からの木材輸入を選ぶ。つまり、国内で木材を使うことが、日本と海外の森林を育てることにつながる仕組みを構築する。

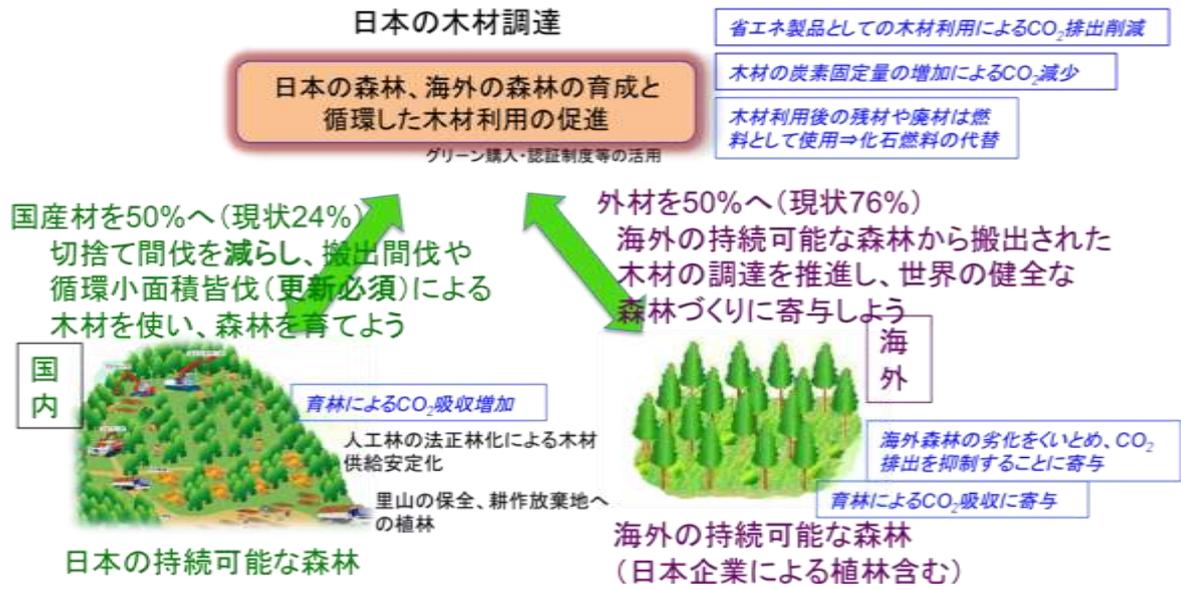


図 3-4-4 「低炭素化にむけた国内外の木材調達」 JAPIC 森林再生事業化研究会（主査：筆者）³⁾

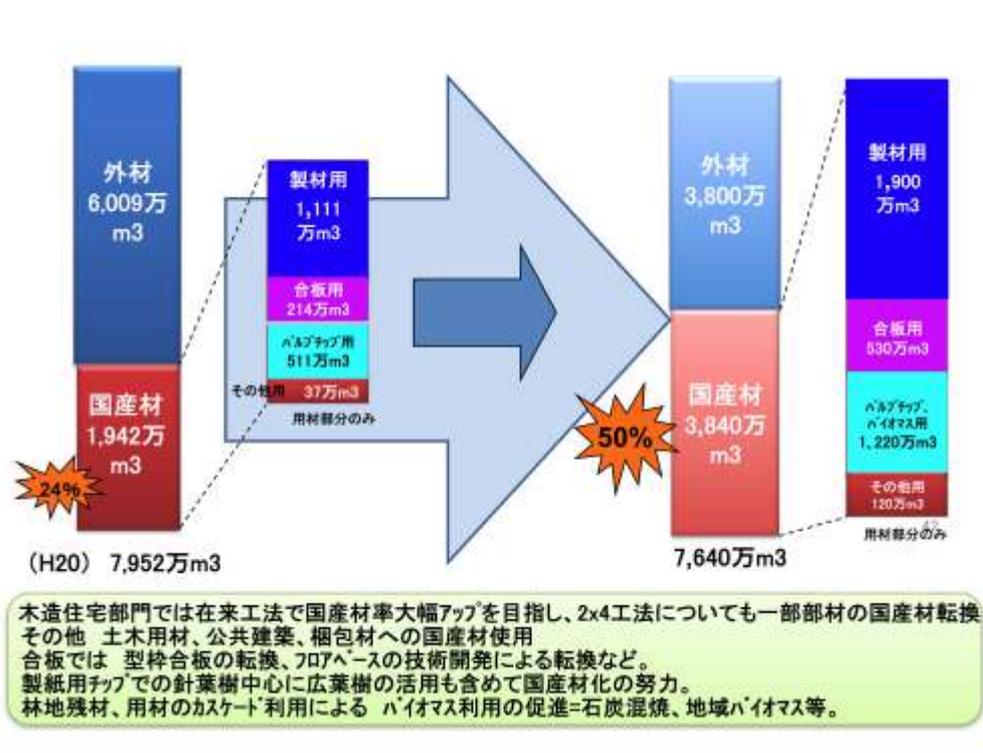


図 3-4-5 「国産材率 50%へのシナリオ」 JAPIC 森林再生事業化研究会（主査：筆者）³⁾

(4) CO2 吸収と森林の生育サイクル

京都議定書で、2008 年から 2012 年の日本の CO2 削減率 6%のうちで、日本の森林による吸収が 3.8%ほど認められた (図 3-4-6)。この値は政治的な交渉もあるが、戦後の緑化事業で植えたスギやヒノキが育っており、それらの森林の間伐による吸収効果が評価されたものである。

しかし、森林も年をとってくると、光合成による炭素固定が少なくなり、CO2 の吸収効果が落ちてくる。木は呼吸もしているため、高樹齢の森林は、CO2 の出し入れは、プラスマイナスゼロになる (図 3-4-7)。日本の森林も高齢化が進めば、CO2 の吸収を期待できなくなる。

そこで、老木になる前に伐採して、そこに苗木を植えて育てるというサイクルを回すことが重要になる。循環型の森林をつくる林業は、温暖化を防ぐ上でも重要である。

現在の日本の人工林の樹齢構成は、戦後の植林で植えられた 30 年生から 50 年生の樹木が過半を占めている。政府は現在、間伐を繰り返し、残った木を 100 年以上かけて育てる長伐期施業を推進している。ただし、長伐期施業だけでは、高齢樹ばかりが増えてしまう。次の時代の森林のためには、「皆伐と植林」による短伐期施業も、地域の特性に応じて推進していくべきである。日本の国内で若木を育てることも忘れてはならない。持続可能な森林経営は、50 年後、100 年後を考えて行う必要がある。

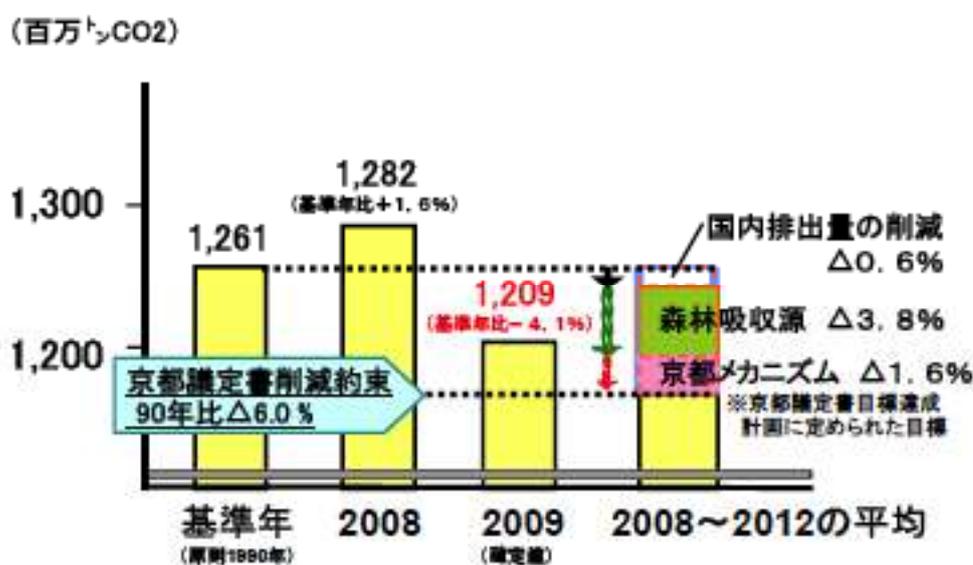


図 3-4-6 日本の温室効果ガス排出量

出所 林野庁「森林・林業・木材産業の現状と課題」¹⁾

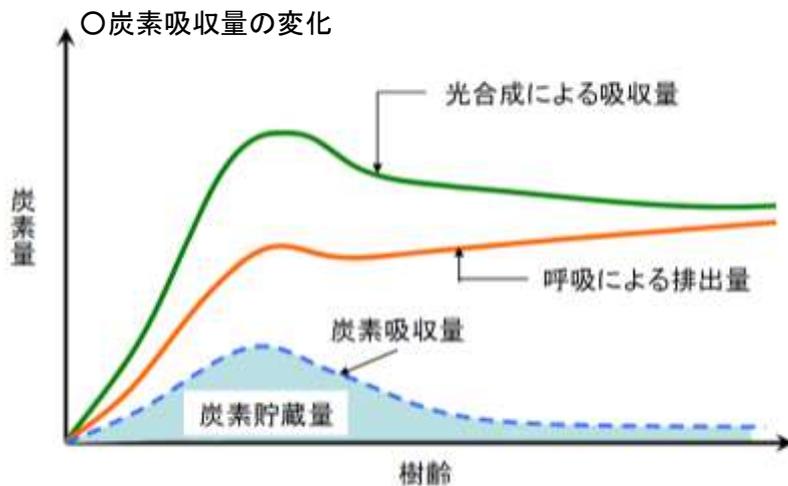


図 3-4-7 光合成と呼吸の差が樹木の炭素吸収量

(5) 木材利用による低炭素化効果の国際評価

CO₂ 吸収については森林が注目されがちだが、これまで述べたように、残念ながら日本の森林は高齢化が進みつつ有り、炭素吸収・貯蔵能力は下がる傾向にある。その一方で、森林から生産された木材の中にも炭素は貯蔵されており、木材をマテリアルやエネルギーとして使うことによる低炭素化効果の検討が、ポスト京都議定書の国際交渉において始められている。

ここでは、木材利用による CO₂ 削減効果として、次の3つの効果が評価の対象となっている。

- ①炭素貯蔵効果：木材は樹木として生長する際に吸収した炭素を貯蔵しており、社会における木材のストック量が増加すれば実質的に大気中の CO₂ を削減したとみなす効果
- ②省エネルギー効果：材料製造に伴う CO₂ 排出量が少ない木材を使うことによる効果
- ③化石燃料代替効果：木材や木廃材をバイオマスエネルギーとして活用することにより化石燃料由来の CO₂ 排出を削減する効果

これらの3つの効果の測定方法に関しては、現在、各国の協議が行われている段階で、統一の見解は得られていないが、木材利用を低炭素化に評価しようという動きは本格化しつつある。

今後は、森林を適切な時期に伐採し、伐り捨てにせず搬出し、木材として利用し、またそこに植林し、それを育てるといったサイクルが重要になる。森林の育成と循環した木材利用の推進が、低炭素型社会実現の鍵になる。

参考文献

- 1) 林野庁「森林・林業・木材産業の現状と課題」、2011
- 2) 国連食糧農業機関、「State of the World's Forests 2006」、2006
- 3) 米田雅子+(社)日本プロジェクト産業協議会編著、「日本は森林国家です-産業界からのアプローチ」ぎょうせい、2011

3.5 建築・建設分野における木材活用の拡大による炭素固定の可能性

長谷見 雄二（早稲田大学）

(1) はじめに

低炭素社会への転換に向けて、効果が期待されている建築・建設分野の課題として、木材活用、木造建築の拡大があげられる。大気中の二酸化炭素の増減への影響という観点から建築における構造材料として、木材を鋼材等と比較すると、次の二点を指摘できる。

- ①原材料から部材生産までのプロセスでの二酸化炭素排出が少ないこと
- ②木材自体が大気中の炭素を固定するため、植林を続けながら、炭素固定上、適正な材齢で伐採して木造建築を蓄積すれば、大気中の二酸化炭素の吸収源となること

そこで、京都議定書による日本における温室効果ガス排出の1990年比6%(約2000万t-C)削減目標の過半にあたる3.9%を森林による吸収でまかなうことが目標とされている。これは、木材量に換算すると、約2,500万m³に相当するが、近年の国産材供給量が約1,617万m³であるから、京都議定書の目標を達成するには、この供給量をすべて固定のうえ、更に約60%の活用増が必要ということになる。一方、建築における木材の活用や木造建築については、かねてから建築基準法による強い制約がかけられてきたが、最近、森林の維持管理及び林業の危機的状況への対策、伝統建築・歴史的建築物保全への関心、木材の持つ優れた美観・感触・環境調整機能等への関心など、低炭素化とは異なる文脈から、木材活用策の振興に向けた検討が進められており、2010年には公共建築物木材活用促進法が制定されたり、国交省により、大規模木造学校の法基準の検討が進められたりしている。やや過去に遡るが、2000年に施行された建築基準法防耐火条文の性能規定化により、木質耐火構造も法理論的には可能になり、枠組壁工法、軸組木造の木質耐火建築物は、防火地域の小規模建築物等の新しい市場を形成して、すでに広く普及している。

(2) 新築時の木造率の増加による炭素貯蔵と炭素排出量減少効果

現在、木造建築は、1時間耐火構造とすることにより、4階建てまでが可能になっているが、防耐火条文性能規定化の2000年以降に建てられた4階建て以上の木造は、現在のところ、2件に過ぎず、耐火構造を含めて、実際に建っている木造建築のほとんど全部は3階建て以下である。また、鋼構造建築物の新築着工床面積は、図3-5-1のように推移しているが、約80%は3階建て以下である。そこで、3階建て以下の建築を現行法令のもとで(つまり、準耐火構造以下の防耐火性能で)、鋼構造から木造に転換した場合の炭素排出量、吸収量を検討する。鋼構造建築物及び一般的な木造建築物の単位床面積当り炭素排出量、炭素貯蔵量は、表3-5-1の通りとする。3階建て以下の鋼構造建築物を木造に転換した時の排出炭素量の変化を、木造化率をパラメータとして算定すると、図3-5-2のようになる。

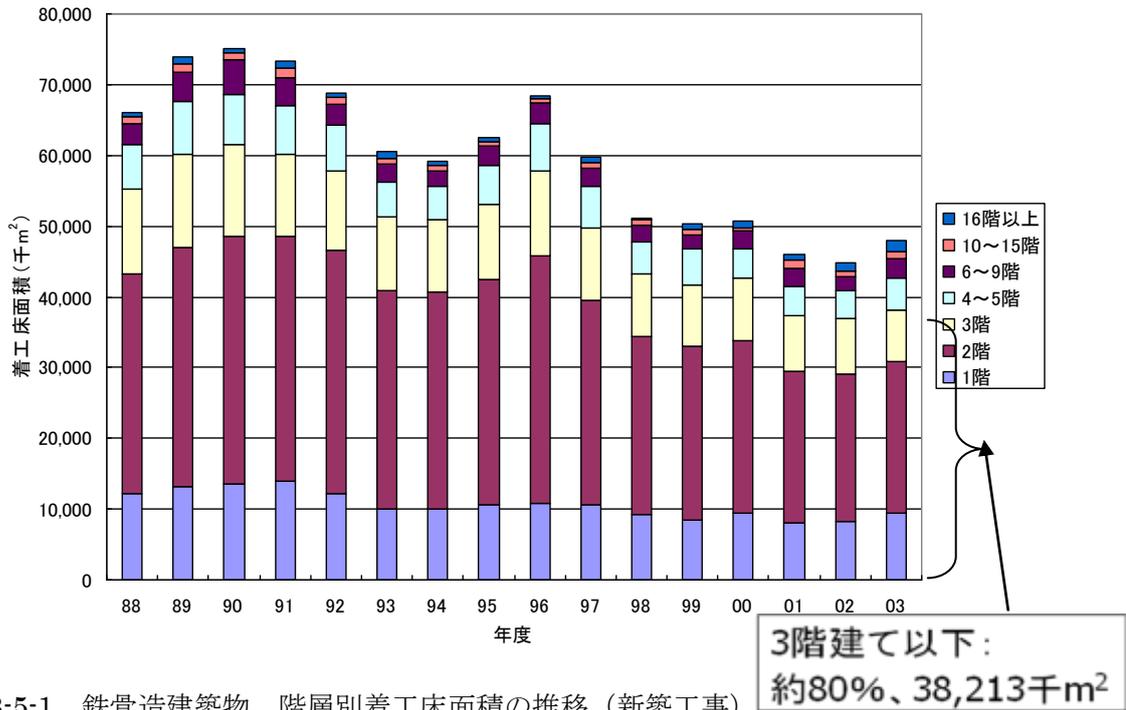


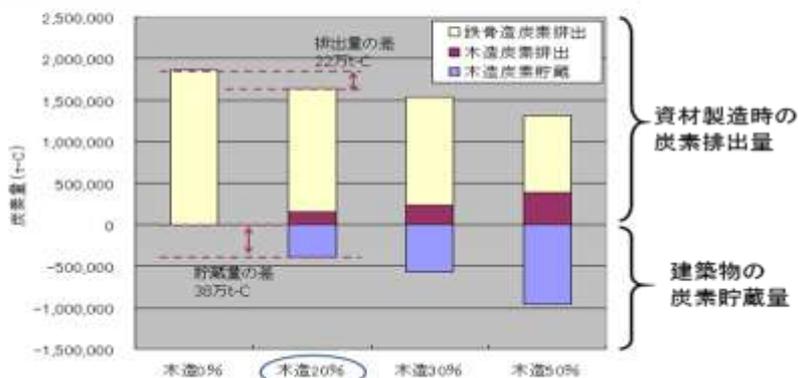
図 3-5-1 鉄骨造建築物 階層別着工床面積の推移 (新築工事)

表 3-5-1 炭素排出・貯蔵からみた鋼構造と木造の比較

	材料の比重	材料製造時の炭素放出量	建築物床面積 1 m ² 当り	
			炭素排出量	炭素貯蔵量
鉄骨造(鋼材)	7.86	33,830 kg-C/m ³	48.73 kg-C	0 kg-C
木造(木材)	約 0.50	100 kg-C/m ³	20.00 kg-C	50.00 kg-C

3階建て以下の鉄骨造建築物の一部を木造に代替

2003年度の3階建て以下の鉄骨造建築物(床面積38,213千m²)



20%を木造に代替した場合、炭素排出量164万t-C、炭素貯蔵量38万t-C

図 3-5-2 低層鋼構造建築を木造に転換した場合の炭素排出量・貯蔵量への影響

3階建て以下の建築物の20%を木造化できた場合、炭素貯蔵量の増加は38万t-C、炭素排出量の減少は22万t-Cとなり、炭素排出量については、京都議定書の目標の約1%であるが、貯蔵効果が大きいことがわかる。

(3) 炭素貯蔵に適した木造建築の検討

炭素排出量、木造の振興現在、一般的に普及している準耐火構造以下の木造のみでは、京都議定書で示された森林による炭素吸収目標を達成することはできない。無論、木材は建築以外の活用法もあるが、活用後に長期、安定的に固定する媒体としては建築・建設以上に適したメディアはそれほど容易には見当たらない。そこで、現在の一般的な木造建築を一旦、離れて、どのような木造ならば、炭素の排出削減と貯蔵に有効かを検討する。

木造建築を増加させるといっても、建築の新築需要そのものは社会資本・設備投資で決まるから、非木造から木造への転換による木造の増加、ということにならざるを得ない。そこで、現在はまだ木造がほとんど存在しない中高層建築を検討してみる。

中高層型耐火木造は、現在、部材の研究開発が試行錯誤的に進められているという段階である。木材を不燃材料等で耐火被覆する場合を除き、最も一般的には、荷重負担させる木材(芯材)を、火災加熱で炭化層を形成する燃えしろ層で覆い、芯材に燃え進まないように確実に燃え止まるように工夫する、という考え方である。耐火建築物は最上階から4階分は耐火1時間、15階までは耐火2時間が必要で、これを実現するためには、大量の燃えしろが必要である。もともと、中高層建築では柱断面が低層よりも格段に大きくなることを含め、木造中高層建築が実現すれば、構造部材として、木材を大量に蓄積する建築物となる。これを在来型の低層木造と比較するために住宅を想定して、蓄積される木材量と建設に必要な丸太量を概算すると、40坪(133 m²)の軸組木造住宅では、1住戸当り蓄積される木材量26.5 m³、丸太使用量53 m³に対し、8階建ての集合住宅を木現し耐火木造で建設すると、30坪(100 m²)の住戸1戸当り蓄積される木材量は62.5 m³、建設に必要な丸太量は208 m³となる。

すなわち、中高層建築に適した木現し型耐火木造が実用化されれば、木材の蓄積量は、床面積当りでは、在来型の木造建築の3倍前後には達することになり、炭素排出量の多い在来型耐火構造から木造に転換することによる炭素排出量の低減とあわせて、低炭素化に向けて大きな効果が期待できるようになると考えられる。無論、木材を大量利用することは、少なくとも構造部材のコスト増につながり、そのまま、鉄筋コンクリート造、鉄骨造等の在来型耐火構造に対して価格競争力をもつとは予想し難い。木造は軽量である分、基礎工事が容易で、基礎のコストが鉄筋コンクリート造成等に比べて低減される利点を有するとはいっても、木質耐火構造を低炭素化の梃子として普及させるためには、そのための優遇措置を講ずる必要があろう。

4. まとめ

「はじめに」の部分で述べたように、この「記録」は、分科会の審議を通して企画された、委員による話題提供の内容とシンポジウムのパネリストの発言内容を、それぞれの委員、パネリストが文章としてまとめ、それを委員長・副委員長が編集したものである。話題提供とシンポジウムは2010年までに実施されてものであるが、2011年3月に東日本大震災が発生したため、執筆者によってはそれらを踏まえて内容や新たな課題を追加している。

「記録」の前半の2章「低炭素社会の経済・エネルギー」では、まず、松村が「スマートコミュニティの経済学」と題して、スマートコミュニティにおけるスマートメーターの位置づけを示し、「スマートメーターの普及は、効率的な電力消費のための十分条件ではないが、これ無しには、需要サイドからの調整の経済的誘因を引き出すことはできないと言う意味で、スマートメーターは効率的な電力需要管理のために必要な社会基盤である」と述べ、さらに再生可能エネルギーの大量導入、電気自動車の普及、分散電源の確保などのためにも、価格メカニズムを合理的に設定することにつながるスマートメーターの普及が欠かせないとした。

中上は、エネルギー基本計画が策定される上での社会・経済的な背景、即ちエネルギーセキュリティの確保、温暖化対策の強化、経済成長の実現などについて紹介し、基本計画の内容と数値目標について示した。ただし、「今回の震災を踏まえると、原子力関係の記述は大幅な見直しが必要と実感した」と述べている。

浅見は、まず低炭素社会に向けた都市環境の評価法について一般論を述べ、次に村上らが開発している建築環境総合性能評価のファミリーの一つであり、浅見らが開発している「CASBEE 都市」の概要に関して紹介し、評価指標である環境の質と環境負荷の構造についての考え方を示した。

高草木は、建築におけるCO₂排出削減に関する経済価値の評価法について、まず建築設備のライフサイクルコストについて定義し、次に設備の初期投資と省エネによる経済性の関係や炭素税を導入した場合の省エネルギー設計の経済性の検討手順、単純回収年数とCO₂抑制要求に対する建物所有者の対応方針の関係などについて論じ、CO₂排出削減の社会的価値を十分に検討すべきであることを述べた。

柏木は「日本の低炭素力」と題して、低炭素社会の実現に向けた国内外の潮流、グリーンイノベーションの必要性について述べ、スマートグリッドやスマートエネルギーネットワークの導入による低炭素社会の実現の可能性について論じた。また、震災を踏まえたこれからのグランドデザインとしては、資源のベストミックスが重要であり、分散化したエネルギー源をネットワーク化して、基幹系統と融合させることが必要であることを述べ、それらを実現させるためには「グリーン by ICT」の積極的展開が大きな効果を発揮するとした。

後半の3章は「低炭素社会実現のシナリオ」という題でいくつかの話題がとりあげられている。

まず、藤野は環境省がまとめた「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ」に関して、シナリオの考え方、家庭用のCO₂削減の算出結果と施策の具体的な提案について示した。また、シンポジウム開催の直前に参加したメキシコ・カンクンでのCOP16における日本の姿勢に対する各国の反応などについて情報を提供した。

伊香賀は、建築・都市におけるCO₂排出量の50年までの長期予測のために、建築主に対して実施したアンケート調査をもとにして新たに確立した手法を示し、それに基づいた予測結果を述べた。それによれば、規制的な対策ケースでは1990年比で68%の削減、それに加えて電力CO₂排出係数の改善を見込むと、最大で77%の削減が可能であることを示した。

吉野は、「建築・都市におけるエネルギー消費特性の実態」と題し、エネルギー消費に關する既往調査のデータを示すとともに、これまではデータが得られなかった農村地域における住宅、集合住宅における共用部、食料品スーパーにおける興味あるエネルギー消費実態について述べた。また、低炭素社会実現に向けた対策を検討するためには、エネルギー消費実態のデータ蓄積が重要であり、継続的に調査する必要があることを強調した。

米田は、低炭素社会に向けた森林再生と木材利用の推進について述べ、我が国は森林資源が豊かであるにも関わらず国産材の自給率が低い実態を示し、木材利用による炭素貯蔵効果、省エネルギー効果、化石燃料代替効果を指摘した。また、森林を適切な時期に伐採し、伐り捨てにせず搬出し、木材として利用し、またそこに植林し、それを育てるというサイクルが重要であることを述べた。

最後に長谷見は、建築・建設分野における木材活用の拡大による炭素固定の可能性について、まず、3階建て以下の鋼構造建築物の20%を木造に転換した時の排出炭素量を算出すると京都議定書目標の約1%であること、まだ研究開発中ではあるが、中高層建築に適した耐火木造が実現されれば、木材の蓄積量は床面積当たりで在来型木造建築の3倍前後となり、両者を合わせれば低炭素化に向け大きな効果が期待できると述べた。

以上、本「記録」では、様々な観点から低炭素化に向けた経済・社会・エネルギーのあり方や提案が、その道の専門家から示されており、今後の低炭素化に向けた都市のあり方を探る上で、大いに参考になるものとなっている。