

滋賀をモデルに持続可能な社会像を描く

金再奎・内藤正明・高田俊秀・五味馨¹⁾・田中吉隆¹⁾

要 約

持続可能な社会の新しい姿を模索する動きが世界各地でみられているが、いまだにその姿は明らかになっていない。本研究では、バックキャストिंगの考え方に立ち、持続可能な社会はどういう社会なのかその社会像の定量的描写のためのツール作成を行った。滋賀県の環境、社会、経済に関する関連情報、既存将来計画等に関する情報収集を行い、将来推計および具体的な対策とその効果の見積もりのためのモデル群を作成した。

そして、そのモデル群を用いて2030年における滋賀の産業、家庭、業務、運輸部門の活動量を推計した。それをもとに、エネルギー消費量とそれに伴うCO₂排出量の計算を行い、2030年時点で“GDPは平均年率で1.6%上昇、二酸化炭素排出を1990年比で50%削減”の達成を目標とした滋賀の姿を、定量的に描いてみた。

具体的には、技術水準やエネルギー構成などを現状に固定し、産業構造の変化と県GDP及び人口の伸びだけを反映した場合、2030年の二酸化炭素排出量は1990年比で20%増加するという推計結果が出た。目標を達成するためには、「自然エネルギー」「適正技術」「各主体の心がけ」「土地利用変革」「先端技術」「電力エネルギー源の改善」など様々な対策がありえるが、大きく分けると「先端技術型」と「自然共生型」に分けられる。このいずれに重きをおくかは、最終的には主体の価値観や選択による。その際の参考になるように、本研究のツールはこれら手段の重みづけや組み合わせを自由に選択して効果を予測できるようにしたのが特徴である。本報では、ライフスタイルの変革や自然エネルギーの大幅な導入、電力などのエネルギー供給が不要な製品の普及など「自然共生型」により比重をおいた手段の組み合わせを選び、目標を達成した滋賀の将来の姿を描いた。これは滋賀の恵まれた自然条件に適したものであり、「世界の多くの地域で採用可能なモデル」であると考えている。

1. はじめに

20世紀の科学技術の進歩にともなう急激な経済発展と資源消費は、大いなる経済的な豊かさと利便性をもたらした。しかしその一方で、有限である資源の枯渇や自然環境の悪化だけではなく、コミュニティの崩壊、地域格差、伝統・文化の消滅、社会的不公平や人間性の喪失など、人間・社会的側面にも大きな悪影響を

もたらした。人類の存続さえ危惧される現在の状況は、まさに「経済的な豊かさ」を過度に優先し、「環境」と「人間・社会」とのバランスが崩れることによって起きたことに他ならないと考える。これら現行の豊かさは明らかに持続可能ではないといえる。

将来に亘って人類と地球生態系（自然環境）が生き残っていくためには、再生可能な資源は

1) 京都大学大学院工学研究科

その再生速度を超えない範囲で用い、再生不可能な資源は依存度を下げていく。汚染物質の排出は自然の浄化能力を超えない範囲で行うなど“人間の活動を地球の容量以下に抑えること”が重要である(内藤, 2006)。そして、その目標として最も重要でしかも具体的に捉えやすいのが、地球温暖化に関するものである。原因が主に化石燃料消費からの二酸化炭素であるため、排出量がかなり正確に計算でき、また原因の特定も比較的容易である。ただし、二酸化炭素を大幅に削減することは、石油文明と呼ばれる現代社会そのものを根底から揺るがすことになり、その困難さは測り知れない。だからこそ、もしこれを克服できれば、他の多くの「資源・環境問題」だけでなく、石油工業社会がもたらした「人間・社会」の多くの問題も同時に回避できる可能性がある。

ヨーロッパ諸国では、上記のような観点から、二酸化炭素の排出を2050年までに1990年に比べ50%から80%削減する目標を掲げている。またそのような大幅な削減を目指した「持続可能な社会」の姿とそこへの道筋を探る試みが各地で始まっている。その際、有効な手法として、バックキャストという概念が多く用いられている。ここでいうバックキャストとは、長期的な将来目標社会像に到達するには何を行わなければならないのかを検討し、その上に立って中短期的な政策・対策を立案するという考え方である(松岡, 2006)。

しかし、これまでの試みの多くはバックキャストという考え方を概念的な作業フレームとして適用しただけであり(松岡, 2006)、定量的かつシステマティックに目標社会像を描いて示した例はほとんどない。松岡はその原因として、“持続可能な社会の構築は、社会的、経済的、技術的状況に広く関連し、対象期間が長期であるため、それに付随する不確実性と難操作性が、既存例のほとんどを定性的かつ恣意性が強い範囲に留め、政策研究として必須であ

る透明性、具体性および説得性に欠いたものになっている”と指摘している。定性的かつ恣意性が強い将来目標社会像は、ただの夢物語に終わる可能性が高く、またそこへ到達するための対策の選定も難しくすると考えられる。そういう中で、目指すべき将来目標社会像の作成や、そこへ到達するための道筋に関する定量的かつシステマティックな処理手法の開発が強く求められている。

そこで、本研究では、バックキャストの考え方に立ち、将来目標社会像の定量的描写のためのツールの作成を行った。そして、それを用いて2030年を目標年として、経済・社会的進展を損なわず(県のGDP上昇率年1.6%)、環境負荷として二酸化炭素排出量に関する制約(1990年比50%削減)を満たす持続可能な滋賀はどういう社会なのか定量的に描くことを目的とした。将来の目指すべき社会を定量的に見据えた上で、対策を講じることは目標達成のために有効かつ確実な方法であると考えからである。

2. 将来社会像を描くための支援ツール

将来社会像は、可能な限りのデータとそれをつなぐツールとして数理モデルを用いて、客観・定量的な根拠をもって描くことになる。数理モデルは誤差も含んでいるが、単なる直感では得られない数量的根拠を与える。本研究で作成した数理モデルは、人口、産業活動、ライフスタイル、対策技術などの将来予測値を基に、そこから出てくる、二酸化炭素量、経済指標を推定するものである。ここでは各モデルの詳細は割愛するが、県および国のマクロ経済モデル、家庭・業務エネルギー需要モデル、貨物・旅客交通需要モデル、産業連関分析、エネルギー消費量推計モデル、二酸化炭素排出量推計モデルを可能な限り整合的に組み込んだものである。

図1に本研究で使用した数理モデル群の関連を、表1にはこの将来推計のために本研究で

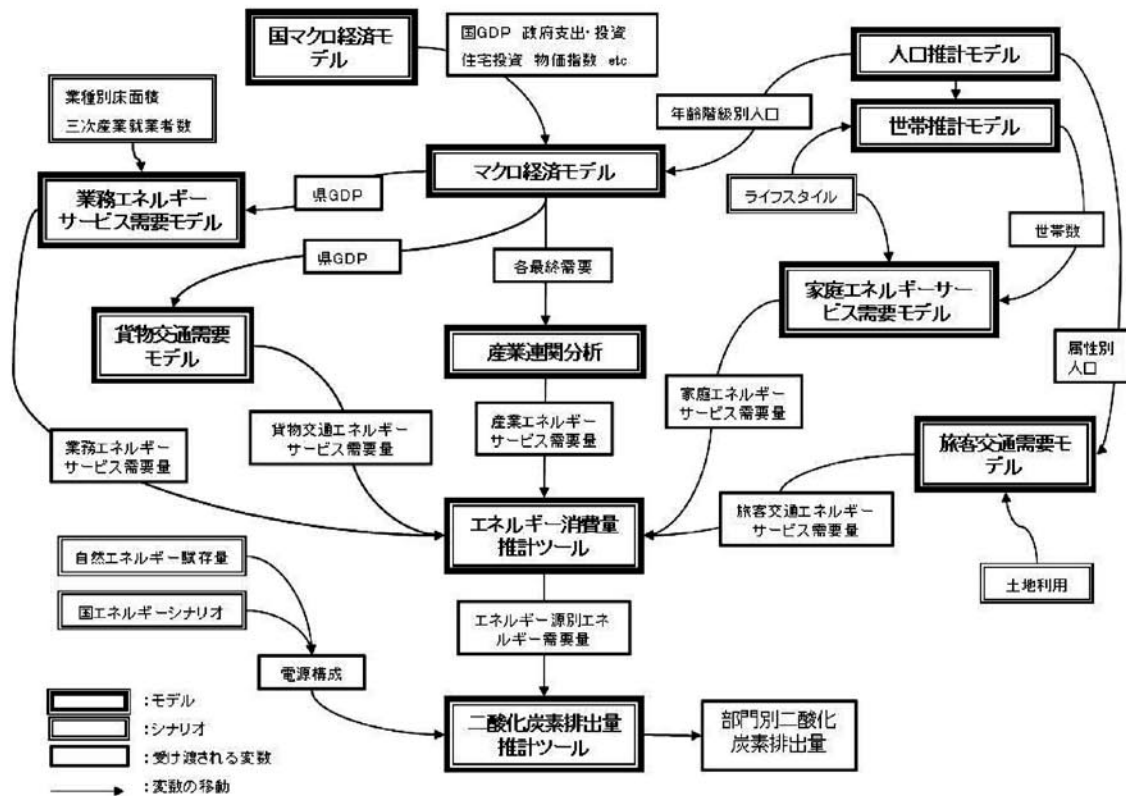


図1 モデル群の全体像

採用した主要な前提条件をそれぞれ示す。

ライフスタイルや自然エネルギー導入量、土地利用構造の改革による交通需要の変化、技術革新の程度などは将来シナリオとして外生的に設定される。

計算の流れは以下のとおりである。まず滋賀県マクロ経済・財政モデルや人口・世帯推計モデルから得られる最終需要や県民所得、人口および世帯数などを入力として、家庭、産業、業務、運輸の各部門が必要とするエネルギーサービス量を計算する。エネルギー消費量推計モデルでは、エネルギーサービス量を入力として、将来の技術革新による機器のエネルギー効率向上と普及の状況を設定し、実際のエネルギー種毎のエネルギー消費量を算出する。最後に二酸化炭素排出量推計モデルで将来のエネルギー種毎の二酸化炭素排出原単位と自然エネルギーによる自家発電量などの設定から部門ご

との二酸化炭素排出量が推計される。なお、最終的な出力はエネルギーバランス表および二酸化炭素排出表の形で表現される。

3. 2030年持続可能な滋賀の社会像

3.1 目指す社会の方向について

本研究では2030年の滋賀の将来社会像として2つのケースを想定した。一つ目は「成り行きケース（対策なし）」であり、技術水準やエネルギー構成などを現状に固定し、産業構造の変化と県GDP及び人口の伸びだけを反映したものである。二つ目は「CO₂50%削減ケース」であり、排出削減手段を織り込むことで、二酸化炭素排出量を2030年に1990年比で約50%削減する目標を達成するものである。

「成り行きケース」では、上記のモデル群を用いた推定の結果、2030年滋賀県の二酸化炭素排出量は1990年比で20%増加することが明

表1 将来推計のための主な設定条件

- ・国のGDPが一人あたり年率2%程度の成長（「21世紀ビジョン」（内閣府経済財政諮問会議）と同等）
- ・2030年に滋賀県の人口が2000年比で13%増加（国立社会保障・人口問題研究所2002年推計）
- ・将来の産業構造はマクロ経済モデル、産業連関分析で過去10年の技術変化等の趨勢を踏まえて想定
- ・2030年における購入電力の一次エネルギー構成比は「2030年のエネルギー需給展望（総合資源エネルギー調査会）」の「新エネルギー進展ケース」による
- ・産業の労働生産性向上、高付加価値化が進展・農業生産は農地面積を最大限に活用する（熱量供給：水田1526kcal/m²/年、普通畑528kcal/m²/年、農地面積：水田52,200ha、普通畑3,270ha、摂取熱量2,042kcal/人/日）
- ・漁業は湖の環境回復によって昭和30年代と同程度の漁獲量
- ・機器のエネルギー効率改善は技術開発動向から推計（平成17年「技術戦略マップ～超長期エネルギー技術ビジョン～」経済産業省）
- ・住宅断熱水準の向上（平成16年度「住宅用エネルギー消費と温暖化対策に関する調査研究報告書」）

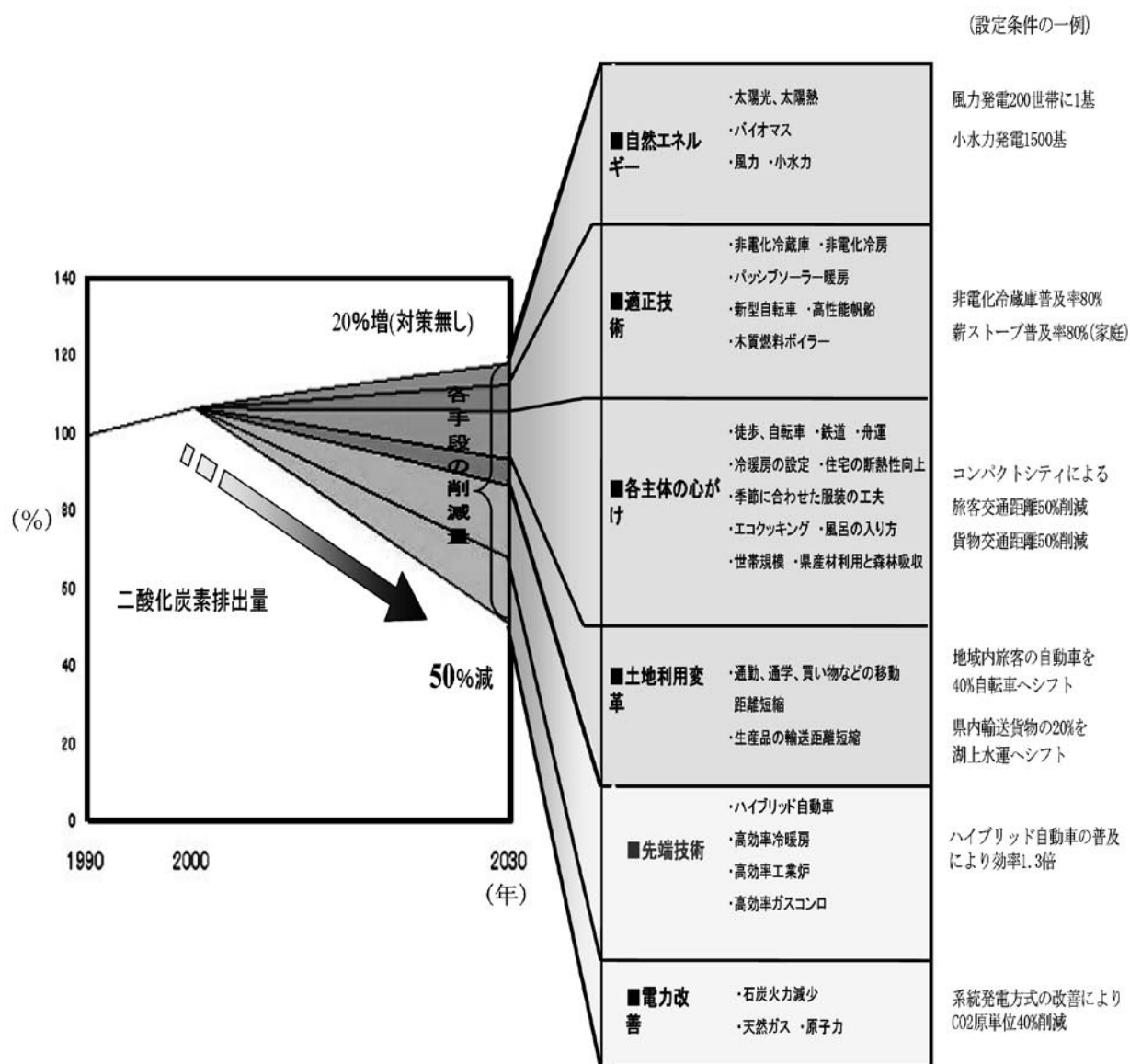


図2 CO₂排出削減手段の内訳

らかになった(図2)。

一方、排出量50%削減という目標を達成する方法は、盛り込む手段によって、大きく二つに分けられる。一つ目は超高効率技術の開発に賭け、高度な先端技術を社会全体に導入する「先端技術型」。二つ目は消費や生産の内容全体を抜本的に見直し、自然の生産力を活かしながらその範囲内でほどほどに快適な生活を実現しようとする「自然共生型」である。これらの手段の組み合わせで目標が達成された社会像を描くことになり、このいずれに重きをおくかは、最終的には県民の選択によるが、高度技術開発には不確実性が伴う一方、高度技術の利用が困難な多くの国や地域へも「持続可能な社会のモデル」を示す必要がある。そのため、本研究では高度技術の可能性を織り込みつつも「自然共生型」に軸足を置いた社会像を描いた。表2に本研究で、目標を達成するために設定した削減手段の内訳を示す。

図2は、本研究で想定している2030年までの二酸化炭素排出削減(1990年比50%削減)を、各手段が担う割合を示したものである。表2に記述した様々な削減手段を、「自然エネルギー」「適正技術」「各主体の心がけ」「土地利用変革」「先端技術」「電力エネルギー源の改善」に分類してある。上側の四つの段が、「自然共生型」社会で中心となる手段であり、滋賀独自の取り組みが強く要請される部分である。これは滋賀の恵まれた自然条件に適したものだが、「世界の多くの地域で採用可能なモデル」であろうと考えている。下の2つの段は、「先端技術型」社会で中心となる手段である。現状の発展型で持続可能であるが、一部の先進国・地域しか導入が困難な技術でもある。

3.2 各分野の姿

モデル群による定量的な計算結果を踏まえ、目標が達成されたときの滋賀県の分野ごとの姿を以下のようにまとめた。

表2 CO₂ 50%削減(目標設定)ケースの主な設定

部門	概要	削減手段	内容	50%削減ケース	
転換部門	グリーンな発電	電力原単位の改善	CO ₂ 原単位(CO ₂ g/kwh)	238	
		環境配慮型産業構造	石油製品を天然ガスへ転換	転換率	30%
		電力シェアの増加	増加率	10%	
		高効率ボイラーの導入	導入率	33%	
		高効率工業炉の導入	導入率	50%	
産業部門	省エネ機器の普及	高効率モーターの導入	導入率	100%	
		インバーター制御	導入率	100%	
		非製造業の効率改善	効率(2000=1)	1.05	
		クールビズの普及	全世界に対する普及率	100%	
		ウォームビズの普及	全世界に対する普及率	100%	
		非電化冷房の普及	全世界に対する普及率	80%	
		パンプジョーラー暖房の普及	全世界に対する普及率	80%	
		非電化冷蔵庫	全世界に対する普及率	80%	
		住宅の断熱効率の改善	新基準+次世代基準住宅比率	100%	
		連続的な入浴	全世界に対する普及率	100%	
家庭部門	省エネ機器の普及	HEMSの導入	全世界に対する普及率	0%	
		石油製品を他の燃料へ転換	転換率	50%	
		待機電力の削減+家電製品の電力消費削減	削減率(2000年=0%)	33%	
		エアコン(冷暖房)の効率改善	CO ₂ (2000=2.5)	5	
		ガスヒートポンプ(暖房用)の効率改善	熱効率(2000年=80%)	90%	
		石油ストーブ(強制循環式)の効率改善	熱効率(2000年=80%)	90%	
		ガス給湯器の効率改善	熱効率(2000年=80%)	95%	
		石油温水器の効率改善	熱効率(2000年=80%)	90%	
		ヒートポンプ(給湯用)の効率改善	CO ₂ (2000年なし)	5	
		HV調湿器の効率改善	熱効率(2000年=85%)	90%	
		ガスコンロの効率改善	熱効率(2000年=40%)	55%	
		太陽光発電の導入	新築への導入率	全世界15%	
		太陽熱温水器の導入	全世界に対する普及率	普及率50%	
		ベレットストーブの導入	全世界に対する普及率	普及率90%	
		業務部門	省エネ機器の普及	クールビズの普及	全事業所に対する普及率
ウォームビズの普及	全事業所に対する普及率			100%	
建築物の断熱効率の改善	新基準+次世代基準住宅比率			100%	
待機電力+動力等電器製品の効率改善	削減率(2000年=0%)			33%	
非電化冷房の普及	全事業所に対する普及率			80%	
パンプジョーラー暖房の普及	全事業所に対する普及率			20%	
BEMSの導入	全事業所に対する普及率			100%	
石油製品を天然ガスへ転換	転換率			65%	
エアコン(冷暖房)の効率改善	CO ₂ (2000=2.5)			5	
ガス吸収冷凍温水機の効率改善	CO ₂ (2000=1.2)			1.6	
業務用ボイラーの効率改善	熱効率(2000年=85%)			95%	
ガスヒートポンプ(暖房用)の効率改善	熱効率(2000年=80%)			90%	
ガス給湯器の効率改善	熱効率(2000年=80%)			95%	
石油温水器の効率改善	熱効率(2000年=80%)			90%	
ヒートポンプ(給湯用)の効率改善	CO ₂ (2000年なし)			5	
HV調湿器の効率改善	熱効率(2000年=85%)	90%			
ガスコンロの効率改善	熱効率(2000年=40%)	55%			
太陽光発電の導入(2000年基準)	全事業所に対する導入率	50%			
小水力発電	小水力発電設置数	10kW+1500基			
太陽熱温水器の導入	普及率	50%			
運輸部門(旅客)	都市のコンパクト化 輸送機関の機関変更 燃費改善	燃費改善(2000年=1)	自乗車の燃費向上率	1.3	
			鉄道の燃費向上率	1.1	
			二輪車の燃費向上率	1.5	
			バスの燃費向上率	1.5	
		輸送機関の機関変更(分母増)	内々乗用車→自転車転換率	40%	
			内々乗用車→鉄道転換率	30%	
			内外乗用車→鉄道転換率	60%	
			乗用車→鉄道転換率	30%	
		コンパクトシティ	内々輸送距離削減率	50%	
		地域経済圏	地域間交通削減率	25%	
運輸部門(貨物)	都市のコンパクト化 輸送機関の機関変更 燃費改善	燃費改善(2000年=1)	自乗車の燃費向上率	1.1	
			鉄道の燃費向上率	1.1	
			船舶の燃費向上率	1.1	
			航空の燃費向上率	1.2	
		輸送機関の機関変更(転換率)	内外トラック→鉄道転換率	40%	
			内々トラック→船舶転換率	20%	
			内外トラック→船舶転換率	10%	
		コンパクトシティ	県内輸送距離削減率	50%	
		地域経済圏	内外輸送減少率	20%	
		バイオディーゼルの花プロジェクト	輸送機関への導入率	0%	

(1) エネルギー：化石燃料から自然エネルギーへ

滋賀の自然エネルギー賦存量などを勘案して、2030年自然エネルギーの生産量は、太陽光発電・熱利用が450ktoe(17%)、木質ストーブなどのバイオマス熱利用が60ktoe(2%)、従来型の水力発電が70ktoe(3%)、小水力発電が10ktoe(0.3%)、風力発電が10ktoe(0.4%)と

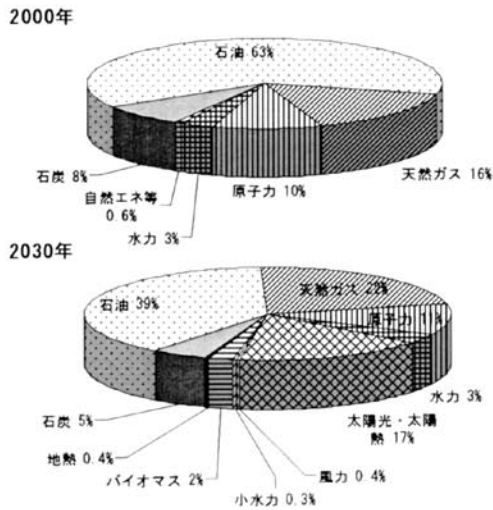


図3 エネルギー源の内訳

推計された。このような自然エネルギーのポテンシャルを最大限に活用し、エネルギー全体の約4分の1をまかなう(図3)。

二酸化炭素排出への適切な課税、自然エネルギー開発への補助といった環境を内部化する政策と、長期的な原油価格の上昇などによって自然エネルギーは経済性を持つようになる。県内でも自然エネルギーの分布やエネルギー需要の性質には差異があるため、各地域にふさわしい特性と規模で、太陽光、風力、小水力、そしてバイオマスなどの再生可能な自然エネルギーを組み合わせる。エネルギー源の転換と各分野でのエネルギー効率の向上・消費抑制によって、全エネルギー源に占める石油の割合は39%程度(2000年63%)に低下する。

(2) 家庭のライフスタイル：住み方、使い方、使い方

本研究での試算では、家庭のエネルギー消費の中では暖房の割合が大きいが、住宅の断熱性を高めることで40%近い暖房需要の削減が可能であった。そのうえに、パッシブソーラー暖房、非電化冷房、非電化冷蔵庫などでエネルギー需要をさらに削減し、残るエネルギーも太陽光・太陽熱を最大限に利用することで、家庭か

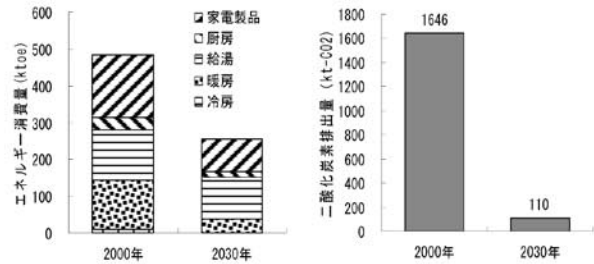


図4 家庭からのエネルギー消費量と二酸化炭素排出量

らの二酸化炭素排出は15分の1以下に削減できることが分かった(図4)。

また家庭生活では、快適さと環境が両立したライフスタイルが広まっている。キーワードは、「良いモノを長く使い、余分なエネルギーは使わない」である。高品質・長寿命の製品を利用し、レンタル、リース、リユース市場も成り立っている。新築される住宅は、自然の力をうまく取り入れた設計や、断熱壁、二重窓等の採用によって、冷暖房の効率を高めることができる。住宅寿命も長く、世代を越えて住めるようになる。

(3) 産業：「三方良し」で新産業スタイルを創造

本研究で利用したマクロ経済モデルからは、2030年にかけて年平均約1.6%の経済成長という結果が得られた。滋賀は第二次産業が多く、生産額の半分以上を占めており、第三次産業の割合が少ない。とはいえ、工業は生産額あたりのエネルギー消費が多い部門であり、エネルギー消費量では将来も多くを占めることになると考えられる。しかし、将来の産業連関分析から、今後は第三次産業の増加が見込まれている。産業構造の変化と工業用ボイラーなど機器効率改善により、エネルギー消費量は約20%削減された。二酸化炭素排出量では、エネルギー源の転換により約40%の削減が見込まれた(図5)。

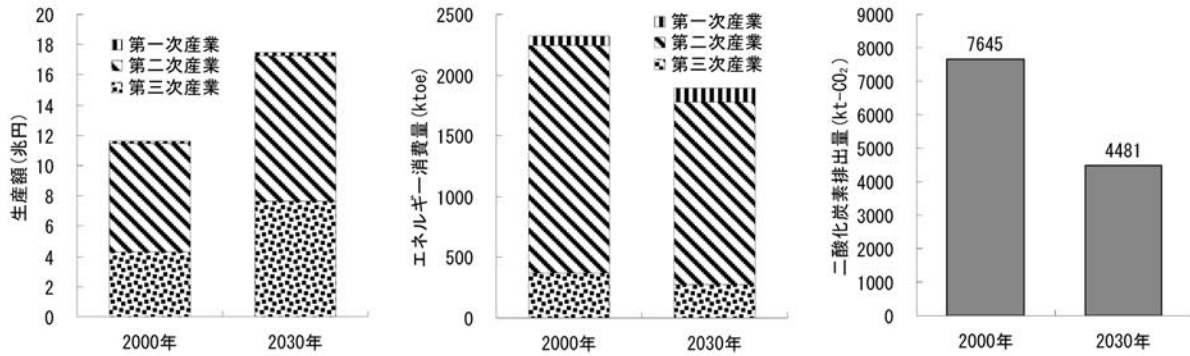


図5 生産額およびエネルギー消費と二酸化炭素排出量

(4) 農林水産業と食生活：地産地消（身土不二）が循環型社会の要になる

農林漁業は、県民の食生活を支えると同時に、県土の環境を守る役割を果たす。現在の滋賀の食糧自給率は50%程度である。全国と比較すれば低くはないが、米が中心で野菜・畜産が極端に少ない偏った構造となっている。本研究の試算では、現存する農地を（休耕田を含め）最大限に活用することで70%程度まで食糧自給率を引き上げることができることが分かった。このような地元食糧を地場で供給する「地産地消」の食生活と、家庭・業務からの生ゴミ堆肥の活用、さらに下水汚泥の農地還元によって、農地は地域内の有機物循環の要となる。環境配慮型の農法によって、農地からの窒素・リンの流出も大幅に減少する。

林業は木材の供給と県土の保全の両面で大きな役割を果たす。森林は二酸化炭素を吸収して成長する。木を育て、それで家を建てれば安定して炭素を貯留することができる。新築される住宅の25%が県産材を利用することで、二酸化炭素に換算して毎年3万7千トンになる。現在の木造住宅はその多くが輸入材を利用しているが、これを県産材にかえることで輸送に伴うエネルギー消費を大幅に削減することができる。また、森林は、水源かん養、災害防止などのはたらきがあり、適切に手入れすることによって琵琶湖の水質・水量の安定に寄与する。漁業では、自然湖岸の回復と水質の改善によって生態系はバランスを取り戻し、固有種の個体

数が増え、琵琶湖の漁業は再び活気を取り戻す。

(5) 交通・物流：“効率を改善し、手段を変え、量を減らす”の合わせ技

滋賀の産業構造が製造業が中心であり、将来の産業構造の変化を見込んでも製品の出荷が相当量あると考えられる。（今回の試算では、滋賀「発」の貨物輸送に伴う二酸化炭素発生を「滋賀からの排出」として計算している）そのため、貨物輸送需要の大幅な削減は見込みづらい。そこで貨物輸送では、輸送手段の変更が必要となる。現在90%以上を占めているトラック・自家用貨物車から、鉄道と海運・湖上舟運への大幅な機関変更が、二酸化炭素排出削減の中心的な手段である。その結果二酸化炭素の排出量は45%削減された（図6）。

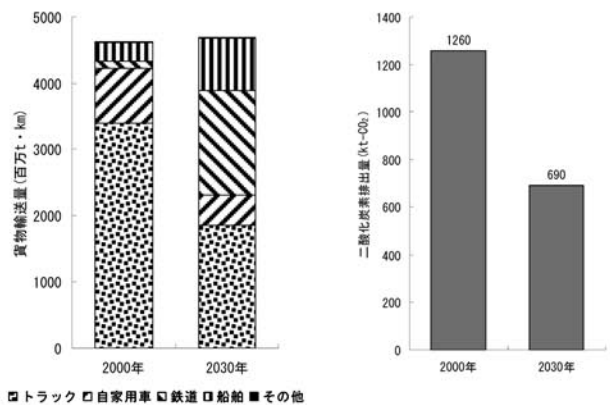


図6 貨物輸送（機関の変更—鉄道と舟運を活用）

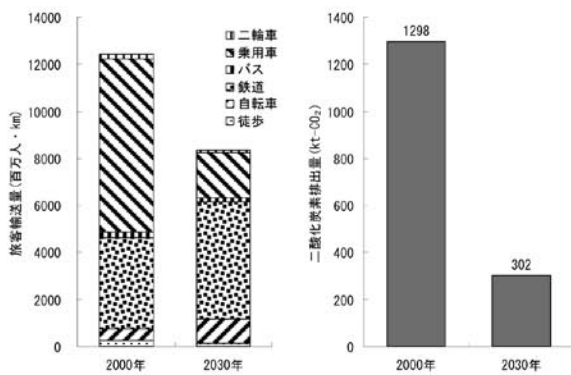


図7 旅客輸送

(公共交通、徒歩、自転車で暮らせる街に)

旅客、即ち「人の移動」では、コンパクトにまとまった効率的な都市計画、産業立地、情報化によって通勤などの移動距離を短縮し、それに歩道や自転車道の整備を徹底することで、自転車・徒歩で移動できるようになる。移動量そのものを減らしたうえに、新交通システムなどの整備によって自動車から鉄道へと移動手段を変更し、さらに自動車の効率改善も見込まれる。こうした各段階での対策を積み重ねた結果、二酸化炭素排出量は77%削減された(図7)。

(6)土地利用：集約で高効率の都市と分散で自立の農村地域

滋賀の都市計画は、効率的な土地利用で環境負荷を大幅に削減する。都市部では市街地がコンパクトにまとめ、集中効率的なインフラを建設する。それに対して人口がまばらな郊外や里山地域では、自立分散型のインフラが整備される。都市部のコンパクト化は通勤などの移動距離を短縮する。このようなメリハリのある土地利用は、社会全体の資源・エネルギー効率を高め、それぞれの地域における独自の快適さ、便利さをつくりだす。

4. おわりに

本研究では、バックキャストिंगの考え方

に立ち、将来目標社会像の定量的描写のためのツールの作成を行った。そして、それを用いて経済・社会的進展を損なわず、厳しい環境制約を乗り越えるため、将来において目指すべき滋賀の社会像を定量的に描いてみた。将来の目指すべき社会を定量的に見据えた上で、対策を講じることは目標達成のために有効かつ確実な方法であると考えられるからである。

ただし、これは多様な未来社会の中の一つの選択肢であり、最終選択は県民の手に委ねられる。その際の参考となるように、作成したツールでは二つの社会、技術のタイプを様々な組み合わせで計算できるようにした。本報では、高度技術の可能性を織り込みつつも「自然共生型」に軸足を置いた目標社会像を描いて示したが、これは滋賀の恵まれた自然条件に適したものであり、「世界の多くの地域で採用可能なモデル」であると考えている。

しかしながら、本報で設定した社会の変化はマクロ経済・財政モデルや産業連関分析などと連携しておらず、推計の更なる整合性確保が必要である。また、ここで示した社会像は2030年にどうなっているべきかのゴールだけであり、そこへ到達するための道筋の本格的な検討は今後の大きな課題である。具体的な政策手段は最近各国、各地でさまざまに試みられ、そのあるものは現実に大きな効果をあげている。これらの経験を参考に、滋賀で実行できる政策手段の本格的な研究が必要であると考えている。

参考文献

- 内藤正明 (2006) : 滋賀をモデルに持続可能な社会像を描く。Biocity, 33,42 - 65.
- 松岡謙 (2006) : 定量的バックキャストिंग法の開発提案。滋賀県持続可能社会研究会資料。
- 滋賀 SD2030 研究チーム (2006) : 2005 年度滋賀県・持続可能な社会づくり研究プロジェクト報告書。