特集「地域レベルで考える持続可能性」

[解説]

地域での技術・政策評価における統合評価モデルの活用：
日本での脱炭素に向けたシナリオ検討を例に芦名 秀一^{1,*}

1 国立研究開発法人国立環境研究所 社会システム領域

*連絡先: ashina.shuichi@nies.go.jp

概要：現在の社会経済システムを持続可能な姿に転換していくためには、社会、経済、技術等さまざまな要素について対策を検討し、社会を構成するさまざまなステークホルダーが協力しながらその対策を実施していくことが肝要である。統合評価モデルは、多様な要素の整合性を確保しながら将来の持続可能社会に向けた技術・政策等の対策を評価する手法のひとつであり、地域での気候変動対策分析（脱炭素化）へ応用した事例では、高効率機器の導入などの技術的対策に加えて、住み替えも含む土地利用・都市構造変化やバイオマス・産業排熱等も含む地域資源を活用した地域エネルギー事業導入なども重要であることを明らかにすることができているなど、地域の持続可能社会実現に向けた対策検討においても有用な知見を提供しうるものである。統合評価モデルを用いた地域での技術・政策評価には、社会、経済、エネルギー、資源ストック、地域資源などさまざまなデータが必要となるが、地域のエネルギー需給やCO₂排出量の現況把握に向けた研究の成果や、対象地域と類似した特徴を持つ地域の先行事例を参照するなどにより、データに関する制約を克服し、地域の持続可能社会に向けた計画づくりに活用することで、取り組み相互が整合的であり、かつ地域資源を最大限に活用した将来の道筋の検討と提案につながると期待される。

キーワード：統合評価モデル、地域分析、脱炭素社会、技術・政策評価

1. はじめに

現在の社会経済システムを持続可能な姿に転換していくためには、システム全体を俯瞰して社会、経済、技術等さまざまな要素について対策を検討し、政府や自治体、産業界、市民、NGOなど社会を構成するさまざまなステークホルダーが協力しながらその対策を実施していくことが肝要である。具体的な対策を検討するにあたっては、実施による直接の効果（温室効果ガス削減量や循環利用率など）とともに、システム全体への影響や多様な対策間での整合性も考慮していくことが必要となる。例えば、非常に効率が高いがライフサイクルが困難な家庭用エアコンは、家庭部門の省エネルギー対策としては有効であるものの、資源利用を通じた環境負荷が増加する可能性がある。また、化石燃料等から再生可能エネルギーを利用して製造した水素へ転換し、一方で電気自動車利用を促進することは、水素の余剰や電力供給量不足が生じるおそれがある。

多様な要素の整合性を確保しながら将来の持続可能社会に向けた技術・政策等の対策を評価する手法のひとつに、統合評価モデル（Integrated Assessment Model; IAM）がある。IAMは、人口や産業等の経済社会構造、エネルギーシステム構成、エネルギー消費量、物質ストックやフロー、温室効果ガス排出量等の多様かつそれぞれが複合的に関連する要素を対象に、相互の関連性や整合性を連立方程式等

の数式で表現したものであり、さまざまな条件のもとで見込まれる社会経済の姿や温室効果ガス排出量の推移を描き出す手法である。IAMを用いた技術・政策評価は世界のさまざまな研究機関や大学が実施しているが、国立研究開発法人国立環境研究所及び京都大学が中心となって開発しているアジア太平洋統合評価モデル（Asia-Pacific Integrated Model; AIM）¹⁾を例とすると、日本全体を対象にした2050年の温室効果ガス排出量を大幅削減した社会の姿の検討²⁾やその社会に向けて技術や制度、政策の実施タイミングも含めた実現の道筋の検討^{3, 4)}、また、わが国の運輸部門を対象に低炭素型自動車の導入によるCO₂削減効果の分析⁵⁾などが行われている。

そこで本稿では、AIMを用いた地域での技術・政策評価の取組を紹介し、地域資源を有効利用したシステムを創ることによる地域問題の解決への展望を述べる。なお、以下では「地域」は原則市区町村と同程度の範囲を指すものとする。

2. 統合評価モデルを用いた地域での技術・政策評価：
脱炭素に向けたシナリオ検討を例に

2.1 国・地域で強まる脱炭素社会への流れ

地域の持続可能性を実現する要素の中でも、気候変動への対策は比較的早くから取り組みが進んでいる分野といえ

る。2015年の気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)でパリ協定が採択されて以降、世界全体で気候変動、特に温室効果ガス削減の取り組みが進んでいる。わが国では、2019年にパリ協定に基づく長期低排出発展戦略(long-term low greenhouse gas emission development strategies)としても位置づけられる「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(令和元年6月11日閣議決定)が策定され、2050年までに温室効果ガス排出量の80%削減を実現するために、エネルギー、産業、運輸、地域・くらし及び吸収源対策のそれぞれに目指すべきビジョン(将来像)とそこに向けた対策・対策の方向性が取りまとめられている。また、わが国の温室効果ガス排出量のうちエネルギー起源の二酸化炭素排出量(CO₂)が占める割合は2019年度では85.4%⁶⁾であり、エネルギー利用に関する技術革新が重要との観点から、「エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会報告書」⁷⁾において特にCO₂排出量の大幅削減に貢献する技術の実用化の状況やポテンシャル評価が取りまとめられている。さらに2020年10月26日には、菅内閣総理大臣の所信表明演説において2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにしたカーボンニュートラル・脱炭素社会を目指すことが宣言され⁸⁾、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」⁹⁾など具体的な実行計画の策定と実施に着手している。

このような世界や国での脱炭素化の流れを受け、地域でも脱炭素に向けた取り組みが広がりつつある。環境省¹⁰⁾によると、2050年までに二酸化炭素排出実質ゼロを表明した自治体は、2020年12月25日時点で201に達し、表明自治体人口では9,014万人となっている。これら自治体の

中には、これから計画作りに着手するものもあるが、多くは既存の環境基本計画や温暖化対策実行計画に追加する形でゼロカーボンへの取り組みを具体化する、又は具体化する予定であり、国全体での対策と同様の省エネルギー型機器の導入や再生可能エネルギー源の活用などの技術的対策やそれらを支援する制度・政策や環境教育の実施が多い傾向がある。しかし、既往研究^{11, 12)}では都市のコンパクト化など土地利用や都市構造に着目した対策も重要であることが指摘されており、また、地域固有のエネルギー源を活かした分散型エネルギーシステムの導入もCO₂削減に寄与するとした報告^{13, 14)}もある。そのため、地域スケールで脱炭素に向けた対策を検討するに際しては、高効率機器の導入などの技術的対策に加えて、住み替えも含む土地利用・都市構造変化やバイオマス・産業排熱等も含む地域資源を活用した地域エネルギー事業導入など、それぞれの地域の空間的な変化や特徴的な地域資源の活用を組み入れていくことも同様に重要となる。

2.2 統合評価モデルの地域分析への応用：空間考慮型 AIM モデルとその特徴

このような地域ならではの視点を加味して技術・政策評価を行う統合評価モデルの枠組みのひとつに、日本全体の技術・政策評価に用いられている統合評価モデルであるAIM技術選択モデル(AIM/Enduse [Japan])をもとに都市構造変化や地域エネルギー事業の効果なども評価できるように改良した空間考慮型AIM技術選択モデル(AIM/Enduse [Spatial])がある。このモデルの計算フローは図1の通りであり、点線で囲まれた2つのブロック(空間的な

図1 空間考慮型AIM技術選択モデル(AIM/Enduse [Spatial])の計算フロー

需給マッチング分析、地域エネルギー事業の導入可能量評価)は、地域での技術・政策評価のために新たに追加されたブロックとなる。

AIM/Enduse [Spatial]では、AIM/Enduse [Japan]と同様に産業・民生・運輸部門のエネルギー需要(サービス需要)や太陽光・風力などの地域資源ポテンシャルは所与(外生条件)であるが、AIM/Enduse [Japan]は日本全体など対象地域全体の総量を設定するのに対して、空間考慮型モデルでは三次メッシュ単位又は産業排熱や未利用熱などの供給源が特定できる地域資源はポイントとして設定する。なお、土地利用変化や都市構造変化はモデル外で取り扱うこととし、その効果はメッシュごとのサービス需要量を増減させることで分析に反映させている。

ここで、AIM/Enduse [Spatial]で新たに追加された2つのブロックについて、その特徴を述べる。

空間的な需給マッチング分析は、地域資源の中でも産業廃熱や未利用熱、森林バイオマスなど地域内の特定の場所で産出される資源を対象にする。産業排熱や未利用熱は、5kmあたり10%減など距離比例の熱損失や熱交換による損失が生じる。そのため、供給源と需要地が大きく離れている場合には、十分なポテンシャルが存在していても実際には利用が困難な場合がある。また、森林バイオマスのように需要地まで物理的な輸送が必要となる資源では、輸送

容量の確保や輸送コストを考慮して利用可否を判断することが求められる。そこでAIM/Enduse [Spatial]では、サービス需要と地域資源それぞれの空間情報(緯度経度)を用いて距離を算出し、熱損失や輸送コストと需要量を考慮して供給可能な需要地と需要地ごとの利用可能量を特定(マッチング)し、以降の分析に反映させている。

地域エネルギー事業は、利用できる地域資源が十分確保できたとしても、需要密度が低い地域では採算が確保できず、仮に導入しても短中期で事業廃止される可能性が高い。そこで、地域熱供給などの地域エネルギー事業は、地域資源の利用可能量に加えて事業実施時の採算性も考慮した評価を行うこととしている。具体的には、分析にあたって想定する地域エネルギーシステムがどのような人口密度・従業者密度の条件であれば事業として成立するかを、耐用年数期間全体にわたる総収益と総費用に基づく事業収支に基づいてあらかじめ評価し、対象地域内の各メッシュまたは拠点が条件を満たすか否かを判定しておく。事業の規模(設備容量等)は、事業収支評価の結果に基づいてサービス需要を満たす技術の構成を評価する段階で具体的に決定される。一例として、表1の費用及び収入の想定に基づいて地域エネルギー事業の成立可能性を評価すると、人口密度7,000人/km²かつ従業者密度7,000人/km²以上、または同等の条件となる従業者密度・人口密度の組合せが必要で

表1 地域エネルギー事業の事業収支評価に用いた想定の例

項 目	想 定
設備費	
ガスエンジンコジェネレーション	25万円/kW
自営線(6.6kV)	2,400万円/km
熱導管	20,000万円/km
エネルギーセンター建屋	8,000万円
運用費	
人件費	1,000万円/人
維持管理要員	3人/km ²
維持管理費	初期費用コスト÷投資回収年数と同一と想定
燃料費(従量料金)	57.67円/m ³
燃料費(基本料金)	従量料金の1/6と想定
燃料発熱量(都市ガス)	41.1MJ/Nm ³
販売価格	
電力販売	17.5円/kWh
熱販売	5円/MJ
投資回収年数	15年
設備要件	
設備稼働率	35%
発電効率	45%
熱回収効率	43%
熱ロス	0.1(熱供給量に対する割合)
搬送ロス	0.1(電力供給量に対する割合)
補機等自家消費	0.05(電力供給量に対する割合)

あると分析された。また、「同等の条件」を検討するために、人口密度と従業者密度の一方を固定し、もう一方を200人/km²から10,000人/km²まで変化させて収支の変化を確認すると（図2）、従業者数の変化により収支は大きく変化するが、人口密度については大きくは影響しないことがわかる。このことから、地域エネルギー事業が成立するためには、人口の集約化よりも業務部門・事業所の集約化が重要であることが示唆される。

これらサービス需要量や太陽光発電等の再生可能エネルギーも含む地域資源ポテンシャルと、空間的な需給マッチング分析及び地域エネルギー事業の導入可能性評価結果も踏まえて、AIM/Enduse [Spatial]ではサービス需要を満たすための技術の組み合わせを求め、組み合わせに基づいて二次エネルギー消費量と一次エネルギー消費量を算出する。モデル分析が対象とできる技術は、高効率エアコンやヒートポンプ式給湯器、電気自動車等の導入や、灯油暖房機のガス暖房機やエアコンへの転換（電化）などを含むことができる。なお、エネルギーインフラの状況は都市・地域によって異なり、例えば市区町村ごとの都市ガスの供給区域内世帯比率は0%から100%を超えるまで幅があるため、分

析においてこれら地域の差異を反映させるために別途地域エネルギー源データベースとして情報を整理している。

CO₂排出量は、直接排出に加えて対象範囲内で消費された電力や熱などの二次エネルギーに起因する排出量を対象とする（Scope 2）こととし、エネルギー消費量に排出係数を乗じることによって求める。なお電力消費に伴うCO₂排出量は、再生可能エネルギーや地域エネルギー事業からの供給を除いた全量が系統電力から供給されるものと想定し、対象地域を管轄として含む電力会社ごとのCO₂排出係数を乗じて求める。

2.3 統合評価モデルを用いた地域でのCO₂削減シナリオの検討例

ここで、AIM/Enduse [Spatial]を用いた分析例として、東北地域のある中核都市で地域シナリオを検討した結果を計算フローに沿って以下に紹介する。

分析では、都市構造変化として、都市構造が変わらないBAUシナリオと都市計画等に示された市街化区域へ人口等の集約が進む集約化シナリオの2つを想定した。BAUシナリオでは、住宅・施設等の建築物は解体されても場所

(a) 従業者数変化と収支の関係

(b) 人口密度変化と収支の関係

図2 表1の地域エネルギー事業の場合の導入可能性評価結果（収支計算結果）
（従業者数又は人口密度を200人/km²から10,000人/km²まで変化させた場合）

は変えず、同じ形式で新築される。一方、拠点集約化シナリオでは、解体された戸建住宅の居住者が市街化区域の新築集合住宅に移転する等と想定して建物床面積や需要量を求めている。このとき、過度な住み替えや建築物の解体・移転の促進は、脱炭素対策として有効であったとしても、建築副産物の増大など資源循環の観点で望ましくない結果を引き起こす可能性がある。そこで、モデルでは建物の解体量は既往研究¹⁵⁾ 脚注1) に基づいて設定した建物残存率を用いる。一例として、戸建住宅は木造の、集合住宅および業務建物はRC造の残存率曲線を図3に示す。

これらシナリオそれぞれの対象地域での総エネルギー需要量を推計すると、BAUシナリオ及び拠点集約化シナリオともに前提とする人口や経済成長等の想定は同一であるものの、拠点集約化シナリオでは戸建から集合住宅への住み替えが起こったことにより、集合住宅の割合が高まり、結果として集約対象とした市街化区域内のエネルギー需要が増加するが、戸建住宅と比較して集合住宅の人口・世帯

あたりのエネルギー需要が低いことを反映して、総エネルギー需要はBAUよりも減少する。

モデルでは、これら結果に基づいてサービス需要を満たすための技術の組み合わせを求める。特に地域エネルギー事業導入量に着目すると、分析で想定した地域エネルギー事業（表1）が成立する条件を満たす地域はBAUシナリオでは存在せず、将来も地域エネルギー事業は導入されないが、拠点集約化シナリオでは、特に市街化区域へエネルギー需要が集中することにより、病院や大規模商業施設等が集中している市役所周辺（西地区・東地区）と、業務施設等が集中する駅前地区の3つの地区で地域エネルギー事業の事業採算性が確保でき、2050年にはこれらの地区合計で電力及び熱の総計で1,560TJが地域エネルギー事業により供給できると分析された（図4）。

最後に、CO₂削減効果を評価した結果を図5に示す。分析では、CO₂削減対策の実施有無で無対策ケースと低炭素対策ケースを設けているが、図ではCO₂排出量が最大となるBAUシナリオ+無対策ケースの組み合わせと最小となる拠点集約化シナリオ+低炭素対策ケースの組み合わせで示す。BAUシナリオ+無対策ケースと比較すると、拠点集

脚注1) 公益社団法人環境科学会2019年会(名古屋)口頭発表資料：正木 晃平、奥岡桂次郎、谷川寛樹

図3 分析に用いる戸建住宅・集合住宅・業務施設の残存率曲線の例

図4 地域エネルギー事業の導入量評価結果(拠点集約化シナリオ)

図5 対策別CO₂削減効果
(拠点集約化+低炭素対策ケースとBAUシナリオの差分)

約化シナリオ+低炭素対策ケースでは、対象地域のCO₂排出量を2050年には45万tCO₂削減できることがわかる。これは、対象地域の2007年のCO₂排出量の37.8%に相当する。削減量の内訳では、高効率機器への置き換え等が削減量全体の14.6%、再生可能エネルギー（太陽光発電（PV））の導入が22.5%、集約化によるエネルギー需要及び供給の効率化により41.2%、系統電力の低炭素化による削減量が21.7%となる（系統電力の低炭素化効果を除くと、高効率機器置き換えが18.6%、再生可能エネルギーが28.7%、集約化の効果が52.6%となる）。

これらAIM/Enduse [Spatial]を用いた分析結果例から、地域において持続可能なシステムを設計し、それに沿った対策を講じていくうえでは、技術の導入のみを議論するのではなく、土地利用や都市構造などの空間的な変化や地域資源の活用を組み入れた検討が重要であることがわかる。また、脱炭素社会に向かうためには、需要側での省エネルギーと供給側での再生可能エネルギー導入や地域エネルギー事業導入などのそれぞれの地域が独自に実施される対策とともに、国レベルでの取り組みが必要となる系統電力の脱炭素化も追求しなければならない。

一方、分析から得られた2050年のCO₂排出量の削減率は、わが国が現在目標としている水準には十分ではない。分析では、建築物の解体や住み替えはこれまでの傾向の延長線上にあると想定しているが、これら結果も踏まえると、地域でのカーボンニュートラルを早期に実現するためには都市構造の転換などの大規模な取り組みを加速化させることが不可欠であることが示唆される。しかし、社会のインフラストラクチャーの急激な転換は、建築副産物等の物質利用に伴う環境負荷を増加させる可能性があり、LCA等の環境負荷の包括的な手法と組み合わせるなど、脱炭素の側面にとどまらない多面的な評価が求められるものである。

3. 地域での技術・政策評価における統合評価モデルの活用への課題

前節で示したように、統合評価モデルを用いることによって、地域での持続可能社会、特に脱炭素社会実現に必要な技術や政策について有用な知見を得ることが可能である。しかし、実際にさまざまな地域で統合評価モデルを活用した評価を進めていくためには、地域の現況把握と地域特性を考慮した技術・政策の検討などの課題がある。

3.1 エネルギー需給・CO₂排出量に関する地域の現況把握に関する取り組み

例えば、地域のエネルギー需給の情報は、一覧することにより対象地域が脱炭素化を進めるためにどのような技術の導入を促進すべきか、あるいはどのようなエネルギー源

に転換していくべきかに対する定性的・定量的な気づきを得ることができる。日本全体や都道府県別のエネルギー需給の情報は、経済産業省資源エネルギー庁が総合エネルギー統計や都道府県別エネルギー消費統計として公表しているが、市区町村等の地域別の情報は十分整備されているとはいえない。また、環境省は、「地方公共団体実行計画（区域施策編）」の策定支援として区域施策編の策定・実施マニュアルを公開し、自治体排出量カルテなど地域での対策・施策の検討に資する情報を提供しているが、CO₂排出量に主眼が置かれるとともに、その算定においても主として全国や都道府県単位の情報を人口や生産額等で按分する手法を採用しており、これらから得られる情報において地域特性が全て反映されているとは限らない。このような状況のもと、地域の現況把握に向けた研究がさまざまに進められている。ここでは、地域のエネルギー需給やCO₂排出量の現況把握に向けた取組を紹介する。

地域のエネルギー需給状況の把握に関しては、東北大学¹⁶⁾が需給分析とそれに基づく地域のエネルギーフロー図の作成に取り組んでいる。一例として、北九州市と仙台市、横浜市のエネルギーフローを図6に紹介する。北九州市のエネルギーフロー図を見ると、一次エネルギー総供給量（246 PJ/年）のうち89%が化石燃料で供給されており、特に石炭が全体の43%と最も大きいことがわかる。また、発電部門については、市内に新小倉をはじめとする天然ガス火力が立地していることを反映し、石炭火力と天然ガス火力での発電量が大きい。仙台市については、一次エネルギー総供給量（175 PJ/年）の96%が化石燃料で占められているが、北九州市とは異なり、石油が最も大きな割合（70%）となっている。発電部門については、天然ガスを利用する新仙台火力が立地しているものの、電力消費のほとんどが市外からの供給でまかなわれている。横浜市は、仙台市と同様に一次エネルギー総供給量（470 PJ/年）の98%が石油を中心とした化石燃料であり、発電部門も天然ガスを中心とした火力発電によっている。このように、エネルギーフロー図を活用することで、地域ごとのエネルギー需給状況の違いの把握とともに、具体的な対策を検討する際にも有用な知見を得られる。例として示した3地域について見ると、北九州市では石炭消費量を削減する対策が、仙台市や横浜市では石油消費量を削減する対策が重要であるという違いがあるが、いずれの地域でも消費する電力の多くが地域外から供給されていることから、系統電力での対策は共通して必要となることなどがわかる。

民生家庭部門でのCO₂排出量推計については、石河ら¹⁷⁾が環境省の実施する家庭CO₂統計調査（家庭部門のCO₂排出実態統計調査）のデータを活用して、各市町村の気候や居住形態の違いを反映した世帯あたり排出量を求め

(a) 北九州市

(b) 仙台市

(c) 横浜市

図6 地域のエネルギーフローの例(2015年)¹⁶⁾

る回帰モデルを構築し、全国市町村別の家庭部門CO₂排出量推計を行っている。市町村別世帯あたり年間排出量の都道府県別・地域別のばらつきを見ると(図7)、10地方区分別のうち、東北、関東、北陸、近畿の4地方(図中赤枠)において、排出原単位のばらつき(市町村別の差異)が大きい(四分位偏差>0.3)ことがわかる。すなわち、家庭CO₂を算出するにあたって全国平均や地方平均の排出原単位を用いることは、市区町村によっては過大または過小に

世帯あたり年間排出量[t-CO₂/世帯・年] 図7 市町村別世帯あたり年間排出量推計結果と都道府県別・地域別のばらつき(石河ら¹⁷⁾をもとに加筆)

推計されてしまう可能性を有していることが示唆されており、特にこれらの地方では、石河ら¹⁷⁾の手法を用いることでより地域特性を反映した排出量推計が可能であることを示している。

3.2 地域特性を考慮した技術・政策の検討に関する取り組み

地域スケールでその特性を考慮した技術・政策を評価するにあたっては、地域資源やエネルギー需給の状況や特徴

を把握し、それらを踏まえて方策を検討・選定することが重要となるが、将来の持続可能社会実現に向けた技術や政策は多様であり、その中から地域の特徴を踏まえて検討・選定していくことは容易ではない。しかし、同様の特徴を持つ地域での取り組みを参照できると、効率的に進めることができると思われる。

一例として、市区町村の部門別エネルギー消費量からクラスター分析手法を用いて地域の類型化を試みたものに中田¹⁸⁾がある。図8は、産業、業務・家庭、運輸（自動車）の3部門の比率を軸とした三角グラフであり、円の大きさにより最終エネルギー消費量の大きさを表現している。部門別比率に基づいて類型化すると、市区町村は産業特化型、産業主体型、民生主体型、運輸主体型、運輸特化型の5つに分類される。産業特化型地域には工業都市などが含まれ、エネルギー消費量が多い傾向がある。民生主体型はエネルギー消費量の大小の差が大きいが、これはエネルギー消費の多い都市部と製造業が少なく観光業が発展した離島などが混在しているためである。運輸特化型の地域はエネルギー消費量が少ない傾向がある。この分類には中山間地域等が多く分布していることから、産業や商業が発展していないことで相対的に運輸部門の割合が高まっていること、林道や山道が多いこと、商業施設や職場等が遠方にあり自動車による遠距離移動が多いこと、公共交通機関などの輸

送手段が少ないことなどが影響していると考えられる。

もう一つの例として、エネルギー消費と産業構造の地域差を表す尺度としての温室効果ガス排出量の部門別割合に着目し、全市区町村の分類を行った結果を図9に示す。CO₂排出量の部門別割合の類似性に着目すると、全市区町村は6グループに分類される。グループごとの特徴に着目すると、グループ1は全部門が同程度の割合であり、グループ6は産業部門がやや少ないものの、それ以外の部門はおおよそ同程度の割合である。グループ2とグループ4は、他のグループと比較して産業部門の割合が高く、特にグループ4は平均で7割近くが産業部門由来となっている。グループ3は、家庭部門及び業務部門の割合が高く、特に業務部門に分類される活動が中心の地域が分類されている。グループ5は、貨物運輸部門の割合が高いが、分類される地域数はそれほど多くない。

これらの例のほか、メッシュ別人口や経済規模、気候条件、森林面積等の自然環境面など持続可能社会を実現させる観点で重要となり、かつ地域を特徴付ける側面を組み入れた類型化を行うとともに、それら分類ごとに適した技術や政策の情報を整備していくことで、新たに持続可能社会に向けた技術・政策を評価する地域において地域特性を考慮した検討を支援することも可能であると考えられる。

図8 地域の部門別エネルギー消費構成に基づく分類の例 (出典：中田¹⁸⁾)

図9 グループ別の平均的なCO₂排出量の部門別割合(括弧内はグループに含まれる市区町村数)
(環境省¹⁹⁾より著者作成)

4. おわりに

地域で持続可能社会を創造していくためには、人口・経済活動などの社会経済や再生可能エネルギー利用や省エネルギー技術等を含むエネルギー需給、資源ストック・フローなど多様な側面を同時に考慮した計画作りが不可欠である。統合評価モデルは、多様な要素の整合性を確保しながら技術・政策の評価が可能な手法であり、本稿にて気候変動対策分析への適用例を示したように、地域の持続可能社会実現に向けた対策検討においても有用な知見を提供しうる。他方、統合評価モデルを用いた地域での技術・政策評価には、社会、経済、エネルギー、資源ストックなどさまざまなデータが必要となる。それぞれの地域で、必要となるデータを整備できることが望ましいが、利用可能な情報源の制約や制度、人的資源の制約などにより、全ての地域が独自にデータ整備や地域特性に応じた技術・政策の検討を行うことには困難が大きく、対象地域と類似した特徴を持つ地域の先行事例を参照できるような仕組みを国全体として構築するなどが重要となるであろう。

地域での持続可能社会実現には、技術、社会、地域資源の全てを最大限に活用した取り組みが求められる。また、都市集約化・分散化など、地域の空間的な姿を考えることも不可欠である。統合評価モデルは、分析においてさまざまな地域のデータを必要とするものの、これを地域の持続可能社会に向けた計画づくりに活用することで、取り組み相互が整合的であり、かつ地域資源を最大限に活用した将来の道筋の検討につながると期待される。

謝辞

本稿の一部は、(独)環境再生保全機構及び環境省の環境研究総合推進費(JPMEERF20172011・JPMEERF20201003)によった。

(2021年2月3日受付)

参考文献

- 1) Kainuma M, Matsuoka Y., Morita T. (2002): Climate Policy Assessment Asian-Pacific Integrated Modeling, Springer, Tokyo, 440pp.
- 2) Fujino J., Hibino G., Ehara T., Matsuoka Y. (2008): Climate Policy, 8, S108-S124
- 3) Ashina S., Fujino J., Masui T., Fujiwara K., Hibino G., Kainuma M., Matsuoka Y. (2010): Journal of Renewable and Sustainable Society 2, 031001-031017
- 4) Ashina S., Fujino J., Masui T., Ehara T., Hibino G. (2012): Energy Policy, 41, 584-598
- 5) Oshiro K., Masui T. (2015): Energy Policy, 81, 215-225
- 6) 温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) (2020): 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2020年, 2-2
- 7) 経済産業省, 文部科学省 (2019), エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会報告書, 経済産業省ホームページ, 入手先 <<https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190610002/20190610002-1.pdf>>, (参照 2020-12-28)
- 8) 内閣官房内閣広報室 (2020), 第203回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説, 首相官邸ホームページ, 入手先 <https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html>, (参照 2020-12-28)
- 9) 内閣官房成長戦略会議 (2020), 成長戦略会議 (第6回) 配布資料 (資料1, 2), 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 内閣官房ホームページ, 入手先 <<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/seichosenryakukaigi/dai6/>>, (参照 2020-12-28)
- 10) 環境省 (n.d.), 地方公共団体における2050年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の状況, 環境省ホームページ, 入

- 手先 <<https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>>, (参照 2020-12-28)
- 11) 谷川寛樹, 大西暁生, 高平洋祐, 橋本征二, 東修, 白川博章, 井村秀文 (2010):日本LCA学会誌, 6(2), 92-101
 - 12) 河村幸宏 (2011): 名古屋都市圏におけるエコ・コンパクトな市街地形成, 平成22年度名古屋都市センター研究報告, 115pp.
 - 13) 中村圭吾, 村木美貴 (2016): 都市計画論文集, 51 (3), 532-537
 - 14) 前田秀人, 中久保豊彦, 東海明宏 (2012):土木学会論文集G(環境), 68(1), 21-38
 - 15) 小見康夫, 栗田紀之 (2010): 日本建築学会計画系論文集, 75(656), 2459-2465
 - 16) 東北大学大学院工学研究科技術社会システム専攻中田研究室 (n.d.), エネルギーフロー図, 東北大学ホームページ, 入手先 <<http://www.eff.most.tohoku.ac.jp/charts/>>, (参照 2020-12-28)
 - 17) 石河正寛, 松橋啓介, 金森有子, 有賀敏典 (2018): 土木学会論文集G, 74(6), II_193-II_201
 - 18) 中田俊彦 (2020), 地域のエネルギーの見える化手法～エネルギーフロー図と空間情報の可視化と分析～, 分散型エネルギーシステム普及・啓発セミナー, 経済産業省四国経済産業局ホームページ, 入手先 <https://www.shikoku.meti.go.jp/01_releases/2020/02/20200220a/shiryou_03.pdf>, (参照2021-06-01)
 - 19) 環境省 (n.d.), 部門別CO2排出量の現況推計, 環境省ホームページ, 入手先 <https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikai.html>, (参照2019-08-15)

[Commentary and Discussion]

Application of Integrated Assessment Model to Regional Technology and Policy Assessment: Case of Decarbonization Scenario in Japan

Shuichi ASHINA^{1,*}

1 National Institute for Environmental Studies

*Corresponding author: ashina.shuichi@nies.go.jp

Synopsis: In order to promote transition from the current system into a sustainable one, it is essential to plan and implement various measures and options among socio-economic system and technological system with the cooperation of stakeholders. An integrated assessment model (IAM) is one of the methods to evaluate measures of technologies and policies toward the sustainable society while ensuring the consistency of various elements in the society. The case study of application for regional climate change mitigation showed that, technical measures such as the introduction of high-efficiency appliances, as well as changes in land use pattern and urban structure and installation of local energy system utilizing local energy resources are important for reduction of CO₂ emissions. IAM requires a various type of data among socio-economic situation, energy system, material stock and local resources for evaluation of technological and policy measures and options; however, such data-related limitations can be overcome by referring to the research outcomes for understanding the current situation of region, as well as precedent cases of regions with similar characteristics to the target region. The IAM expects to lead to plan future pathways to sustainable society that is consistent with each other's efforts and utilizing local resources.

Keywords: integrated assessment model; regional analysis; decarbonization society; technology and policy assessment