

復興・復旧ワークショップ報告

復興まちづくりを支援する地域エネルギー計画評価システム

藤田壯¹⁾・戸川卓哉¹⁾・大西悟¹⁾・大場真²⁾・平野勇二郎¹⁾・谷口知史³⁾¹⁾ (独) 国立環境研究所(〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

fujita77@nies.go.jp, togawa.takuya@nies.go.jp

²⁾ 名古屋大学(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)³⁾ (株) アバンアソシエイツ(〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 1-11-8 渋谷パークプラザ 5F)

Evaluation System for Local Energy Management to Support Rebuilding Planning for Municipal Governments

Tsuyoshi FUJITA¹⁾, Takuya TOGAWA¹⁾, Satoshi OHNISHI¹⁾, Makoto OOBA²⁾, Yujiro HIRANO¹⁾, Tomohiro TANIGUCHI³⁾¹⁾National Institute for Environmental Studies (16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-8506)²⁾Nagoya University (Furo-Cho, Chikusa-Ku, Nagoya, Japan 464-8603)³⁾Avant Associates (Shibuya Park plaza 5F, 1-11-8 Shibuya, Shibuya-Ku, Tokyo, Japan 150-002)

Summary

This article discusses the evaluation system for local energy management to support rebuilding planning for municipal governments. Followed by the review of socio-economic backgrounds of rebuilding city planning, key concepts for system development are discussed. The system structure is provided to support legitimate global warming prevention local plans by municipal governments in Japan. The system is developed to identify the potentials of local energy supply such as co-generation systems or green energy systems as well as to analyze the local energy demand patterns with a quantitative and spatial analysis. The system enables the decision stakeholders for the priority sets of energy supply and demand technologies with appropriate social systems.

Key Words: renewable energy, unutilized energy, location optimization, low carbon city, smart energy city

1. はじめに

東日本大震災では、1万5千人以上の死者を出すとともに、津波被害を受けた沿岸部を中心に、住宅やインフラなどの都市ストックが根幹から失われ、壊滅的な被害を受けた集落が多く発生した。さらに、福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が周辺に放出され、多くの地域が除染と並行する復旧復興が大きな課題となっている。

大震災後の地域の復旧、復興の過程で、基幹的なライフラインや住宅の復旧整備が急速に進められているが、その一方で、地域の雇用や経済再生の遅れが重要な課題として浮かびあがっている。震災から1年半が経過した時点で、被災者の多くが避難所から仮設住宅へ移動し、災害廃棄物は仮置き場へ集約され分別も進みつつある。また、放射能汚染の除染作業の進捗により地域により進行の度合いは異なるものの、多くの被災自治体において住宅移転の具体的な規模や位置や土地利用を含む復興計画の検討も進み、復旧段階から復興段階に入りつつある。その一方で、原発事故の影響を受ける避難

区域における除染作業の推進と、それに伴う避難区域の見直しとその復興整備は大きな課題として残されている。さらに、復旧事業による地域経済効果が一段落する近い将来の時期に、地域での雇用を提供する活動の源となる産業システムの再生を、高齢化が進む地域制約と、資源の希少化や低炭素化などの地球的な制約のもとで実現するための具体的な道筋についての検討は、まだ端緒にいたばかりといえる。

今回の大震災はその規模が過去の災害をはるかに上回る深刻さと影響の広さをもち、これは、個別の復旧だけではなく地域の面的な復興が必要となると同時に、日本全体がすでに直面している超高齢化や地域産業の転換等の課題を、復興を通じて解決する方策を計画することが求められるといえる。都市や地域の緊急の復旧活動と連動しつつ、中長期的な地域の活性化につなげるという、「地域の復興力」を上乗せする復興のシナリオづくりが、重要な課題となる。

未曾有の被害をもたらした東日本大震災からの復興には、これまでの災害復興とは比較にならないほどの長い時間と労

力を要することが予想される。経済成長が見込めない人口減少下において外部支援のみに依存したプロセスでは地域・都市の復興を持続的に推進していくことは困難であり、復興プロセス自体が、地域の特性と地域資源を効率的に活用する内生的な復興のための仕組みを持つことが不可欠となる。

本研究では、このような被災自治体の自立的な復興、再生計画の立案を支援する計画評価システムの在り方を議論する。とくに、震災後の日本再生戦略の中でも重要な成長要素と位置付けられる地域エネルギーシステムに着目し、復興を主導する技術政策オプションを選定して評価するプロセスを提案する。さらに、具体的な被災地域を選定して、都市・地域の環境エネルギー計画を支援するシステムを構築し、環境成長による復興の効果の算定を通じて検証する。

2. 復興まちづくりについての議論の整理

(1) 復興にかかる政策の整理

東日本大震災の復興に関する国的基本方針は、「東日本大震災復興基本法」に明記されている。その中で、単なる復旧ではなく、21世紀半ばの日本のるべき姿を示す復興を目指すことが謳われている。具体的な課題に対し、少子高齢化、人口の減少、国境を越えた社会経済活動の進展への対応、食料問題、電力などのエネルギーの利用の制約、環境への負荷及び地球温暖化問題等の人類共通の課題の解決に資するための先導的な施策に取り組むことなどが明記されている。これらの理念の具体化にむけては、復興庁などを通じた国の支援のもと自治体の策定する「復興基本計画」に委ねられてきた。実際には各自治体は被災直後の復旧作業に追われ、計画策定・実施に十分な人員と時間を割けないという課題が生じていた。その状況をふまえて、政府は「新成長戦略」の21の国家戦略プロジェクトの一つである「環境未来都市」構想として、6か所の復興自治体を指定（岩手県大船渡市・陸前高田市・住田町、釜石市、宮城県岩沼市、宮城県東松島市、福島県南相馬市、福島県新地町）した。環境未来都市の各自治体に対して助言を行うとともに、計画推進体制を整備して、資金提供、規制・制度改革の調整等を行う支援を実施している。「環境未来都市」構想は、震災復興を直接的な目的とはしていないが、都市をエンジンとして、環境や高齢化対応、経済・社会の活性化という人間共通の普遍的課題について、問題認識の共有、課題設定の普遍化、解決の枠組みを考えることを目指しており、「東日本大震災復興」への貢献が期待されている。

ほかにも、環境エネルギー分野では、復興に向けて地域資源（廃棄物を含む）を活用した再生可能エネルギーの利用計画が重要な施策となる。国のエネルギー政策の方針は、「エネルギー基本計画」で定められており、安定供給の確保、環境への適合、市場原理の活用が基本政策である。この中のもので再生可能エネルギーの使用目標が定められ、実現に向けて

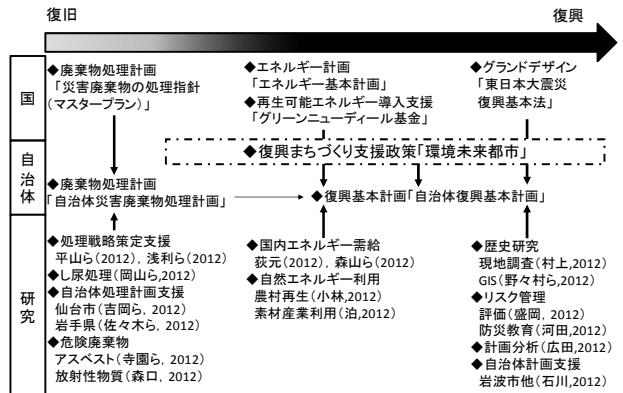


図 2-1 復興まちづくりについての議論の整理

た施策として固定価格取引制度、地域グリーンニューディール基金などの事業が推進されている。ただし、現行の「エネルギー基本計画」は、震災前に閣議決定されたもので、現在、改定に向けた国民的な議論が行われているが、再生可能エネルギー利用の大幅な増加が見込まれることから、今後、政策立案と事業推進のスキームの構造的な改変、整備が進むと考えられる。

(2) 地域復興に関する既存研究の整理

地域の資源を活用する復興を検討するにあたり、特に、復旧（災害廃棄物処理など）、復興（エネルギー計画、復興デザイン（都市計画）など）の分野での研究が進められてきた（図 2-1）。

震災の発生からそれほど時間の経過していない時期は、災害廃棄物の処理が喫緊の課題であり、その現状把握と処理計画策定のために多くの研究者も尽力した。災害廃棄物の性状、発生量の把握にむけて、環境省現地災害対策本部が研究者、技術者のチームを結成し、三回にわたる現地調査を実施し、推計量を公表してきた。これらの実地情報は、ハザード情報を用いた災害廃棄物の推計(平山, et al., 2012)などに活用されている。(浅利, et al., 2012)は、国内の既存の水害廃棄物処理マニュアルと米国のFEMAおよび環境保護局(EPA)のガイドライン、国連ガイドラインを比較・考察することにより、独自の「災害廃棄物分別・処理戦略マニュアル」を提示している。また、仙台市(浅利, et al., 2012)、岩手県(佐々木, 2012, 佐々木, et al., 2012)など特定の地域の計画支援研究もおこなわれてきた。また、東日本大震災の放射性物質汚染の把握と除染も大きな研究課題となっている(森口, 2012)他。一方、米国EPAは「PLANNING FOR NATURAL DISASTER DEBRIS」というプログラムの中で、災害廃棄物処理に関して戦略的な事前計画を策定することの重要性を指摘している。さらに、汚染されていない廃棄物については、リユース・リサイクルや廃棄物の燃料使用(Waste to energy)も重要な処理技術として位置づけられ、計画ガイドラインに組み込まれている。今

後、震災後の対応を教訓に今後の災害廃棄物の有効利用の事前計画策定に貢献する研究推進も重要な課題となる。

災害廃棄物の処理など復旧が進むにつれて、将来の復興デザインを提示するために、ステークホルダー間での議論が活発に行われ、それを支援する研究が報告されている。(村上, 2012)は、1971年 のアメリカ・サンフェルナンド地震をはじめ多くの被災現場を調査した経験から、「東日本大震災／復興についての緊急提案」を提示し、その中で地域特性の重要性を強調している。ただし、東日本大震災での放射性物質の拡散は、これまでの災害の知恵も限界がある点としている。(野々村, 田中, 2012)は、これまでの日本での地震に関する地理空間情報の取得と活用をする研究成果を整理し、今回の震災復興において防災対策だけでなく、都市計画、国土計画にも有用であることを示唆している。また、できるだけリスクを回避した復興を行うために、計画策定前のリスク管理を提案する研究もある。(盛岡, 2012)は、IRGC(International Risk Governance Council, 本部ジュネーブ)が提唱するリスクを協働して治める概念(リスクガバナンス)を紹介し、10項目についてリスクが生じる要因を検証している。(河田, 2012)は、より具体的なリスク回避行動を促す観点から、エスノグラフィーの手法を用いて防災教育の課題、今後の進め方を論じている。

さらに復興に重点を置く研究としては、地域の自然資本を活かした「流域自然共生都市(石川, 2012)」、瓦礫を利用した復興公園を核とした「グリーン復興(中野, 平吹, 2011)」、コミュニティの再生に主眼を置く「持続可能な福祉都市(広井, 2012)」などが提唱されている。これらの知見を活用し、特定地域における復興計画の策定プロセスや課題が検討されている。(広井, 2012)は、2012年1月時点での岩手・宮城県26自治体の復興計画の現状分析を行い、住宅移転の具体的な規模や位置や土地利用計画などは示されておらず、「計画」というよりは「構想」に留まっていると指摘している。そして、気仙沼市、仙台市および岩沼市(石川, 2012)、三陸地域(三船, 2012)など特定の自治体の計画案について分析されている。以上のように復興に向けて、歴史的分析や地理情報およびリスクガバナンスの知見が結集され、各自治体において復興構想が完成したが、実施を促す計画づくりを支援する研究やツールが不足しているという課題がある。同様に、エネルギー計画に関する研究は、震災地域のエネルギー計画を対象とするものは少なく(小林, 2012)、震災後、つまり原発の利用の制限が予測される中での日本のエネルギー計画を検討するものがほとんどである。例えば、(荻本, 2012)は、2030年の日本の需給バランスを分析し、「エネルギーインテグレーション」によるエネルギー需給ベストミックスの実現を提唱している。また、(森山, et al., 2012)は、中長期的な国内のエネルギー需給構造における太陽光エネルギーの普及効果について分析している。こうした国スケールでの研究を、今後、特定の復興地

域における計画に適用するための社会実装研究や方法論の開発及びその実用化に向けた研究が求められている。

震災復興にかかわる研究の流れを図2-1に整理する。

3. 復興まちづくりを支援するシステム構築の方針

(1) 復興まちづくりの計画作成の課題

地域の復興に際しては市民の意向を反映する参加型のまちづくりであることや、公共事業や補助金のみに頼らない自律的な街づくりであることとともに、地域特性を反映し地域の持つ環境資源を積極的に地域経済に取り込み、地域の産業と経済を活性化することの重要性が指摘されてきた。震災の被害を受けた東北の自治体には沿岸域であるなどの地勢条件の他、農林水産業の復興が共通の課題であることや、製造業の拠点機能の再生整備への期待が大きいことや、全国に先立つて進んでいる高齢化社会への対応など、共通する地域条件を持つことから多くの復興計画では以下の事業について共通して検討が進められている傾向がみられる。

① バイオマス・エネルギーシステム

被災地の多くの自治体は森林地帯を含んでおり、豊富に賦存すると考えられる木質系バイオマス資源を石炭火力発電所での混焼燃料として活用することや地域熱供給源として活用することが期待される。一方で、事業の採算性を高めるには木質系資材の安定的で効率的な収集とともに、発電に加えて熱供給事業を行うなどの事業の多元化が課題となる。

② 太陽光発電システム

津波浸水地区は当面塩害のため農業用地としても活用が困難であり、災害安全性の観点からは居住用には適さない状況で、このような地区の活用方法としてメガソーラ設置が検討されている。一方で、高圧系統線への接続は事業者の負担となることから採算性の確保ができる地区が限定されることや、津波被災地では将来の災害リスクが大きいとの判断から事業投資資金の確保が困難になるなどの課題がある。

③ 野菜工場システム

野菜工場は養液栽培を利用し、自然光または人工光を光源として植物を生育させる。食料の周年・計画生産が可能になることから、被災地での農業再生で安全な食料の供給、食材の周年供給とともに雇用創出を可能とする事業として期待される。とくに、被災地では農地が津波で冠水し土壌に塩分が残る中で、短期間で営農を再開できる手法として注目を集めている。一方で、現状の事業システムではエネルギー費用が大きな負担となるなどの課題がある。

④ スマートコミュニティシステム

復興住宅などの新市街地の開発や既存の市街地の再開発の際に、省エネ機器やスマートビル、小規模分散型のエネルギー技術や、新たな都市の情報共有のICTネットワークに加えて、既存の都市インフラの更新を組み合わせて、エネルギー効率の高い建物や設備を整備する。くわえて、分散型の中小

規模のエネルギー供給施設整備、エネルギーの需要家及び供給施設の情報ネットワーク制御によって需給効率を高めることなどによって、エネルギー効率の高い復興を実現することが検討されている。個別の建物、施設の整備については事業化の検討が進められているが地区街区や都市のスケールでの施設横断的な取り組みについては検討が先送りされていることが課題となる。

以上に挙げた復興事業については、地区・街区のスケールから、都市や地域のそれぞれのスケールで新しいエネルギーシステムを整備する国家的な課題への対応を、復興まちづくりで先導的に実現する試みとして多くの自治体の計画検討で共通している。その一方で、自治体は可能な限り早期に復興のめどを立てるという地域の要請に直面している状況から、復興事業に対する個別の事業ごとに検討を優先せざるを得ない状況にも直面している。実際に、複数の事業を横断的に連携して推進することによる事業間の相乗的な効果（統合効果）や、事業効率の改善などの効果（地域効果）などは総論として自治体担当者やおよび専門家の間でも議論されるものの、多くの場合は横断的な取り組みの効果を、客観的に数字で推定することは容易ではないため、先送りになることも見られる。また計画にかける時間と労力の制約から同様に、地域の特性を十分に検討した上で事業選定や立地選定が行われていない計画も見られる。これらの計画については構想から計画、事業推進の段階に至って再計画を余儀なくされることも見られており、早急に計画の方法論を提供することが求められている。

早期の事業実現をめざす復興計画において、事業実現までの期間をできるだけ短縮しつつ、統合的、分野横断的な計画を実現するためには、その統合効果や地域効果を客観的、定量的に把握する手法の提供と活用が、関係主体間の合意形成には不可欠となることから、本稿では、「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定マニュアルに関する低炭素化手法の検討」（環境省、2012）での成果をもとに、復興まちづくりの計画づくりを地域エネルギーシステムの分野から支援するための計画評価システムを構築した。

復興まちづくりで検討が遅れている地域の製造業、産業拠点施設の再生とそこでの工場・発電所排熱の積極的利用を含めて、将来像を地域特性と地域の都市基盤、環境資源の分布を活かして計画を作成し、その効果を定量化するシステムの構築をめざした。

（2）地域エネルギー計画・評価システム構築の指針

地域エネルギーシステムの技術と対策が有効に効果を発現するためには、地域に環境資源が賦存していることが重要である。たとえば、風力発電やメガソーラなどの大規模な技術の導入は、系統への接続性が重要となる。一方で、スマートコミュニティの形成のように都市や地区・街区のスケールで

の総合的な低炭素対策を導入する際には、社会経済の状況、および都市開発や社会資本更新の進行の状況を考慮する必要がある。

これらの条件によって対策導入によるCO₂削減の効果が異なるため、都市や地域の特性に応じた削減効果の策定によってはじめて、削減目標の設定、個別対策の技術間の相乗効果の同定が可能になる。さらに個別の技術導入に加えて追加的に行うべき面的対策や都市の空間更新の事業の将来像を描くことや、そこへ到達するロードマップの作成に向けて都市の特性を考慮した算定プロセスが必要となる。低炭素都市、環境都市の総合的な取り組みを評価するため、導入施策のスケールの設定に選択肢を与えつつ、地区・街区及び都市のスケールでの施策を導入することによる個別の技術導入に加えての上乗せ効果、複合効果、相乗効果についてその効果を評価することを想定して計画支援の評価手法の構築に当たり、以下の方針を設定した。

① 定量的データや指標の提供

環境都市を検討する過程で、具体的な議論に踏み込めないという状況を乗り越えて合意形成を進めるために、客観的な指標や定量的データを活用して、対策のもたらす効果と費用について「客観的な根拠」として提供する。地区・街区での面的な複合対策の効果、個別の取り組みに対しての追加効果の程度を明らかにすることで、自治体が複数の技術や施策を視野に入れて特定の施策にとらわれることなく、地域特性に応じた効果の高い対策の導入を検討する仕組みを提供する。

② 短期の市場変動と切り離した経済性の考慮

定量的なデータや指標を活用することにより、物理的な供給可能量等を把握するとともに、事業を実施する際の様々な制約条件を考慮して推計する。中でも影響力の大きい制約条件であるコストについて、例えば対象施策の範囲をマクロなコスト検討から限定するなどの形で検討ができるよう、短期の価格変動によらない長期的な基準値を用いることで経済性を反映する推計方法を構築する。

③ エネルギーの需給バランスの考慮

地域エネルギー事業の多くは供給量の物理的ポテンシャルに加えて、エネルギーの需要主体との立地的適合性が事業成立に重要となる。とくに電力に加えて地域での熱供給を検討に加えることでの地域エネルギー事業の効果を高めるために、供給の立地とともに需要の立地特性を評価に反映する仕組みを構築する。需要と供給の時間変動及び空間立地の生業性を客観的に評価するプロセスを提供する。

④ 多様な都市活動・機能の実態の考慮

住宅、業務施設、公共施設や工場など多様な都市活動を把握し、それに応じた対策の効果を算定することによって、業種や、空間スケールなど環境都市施策で導入する対策の対象を現実的に評価することができる。複数の温暖化対策の技術

や施策を視野に入れて、地域特性に応じた効果の高い対策の導入を広く検討する

⑤ 都市空間の制御、社会条件の変化を算定に反映

土地利用やインフラ施設、環境基盤を固定的なものと考えると導入が難しい対策でも、都市空間の改変を誘導することにより、将来的には有効となる。現状の空間条件での個別対策評価だけではなく、土地利用の誘導等も含めた都市環境の制御にかかる幅広い技術・施策オプションを視野に入れつつ、柔軟な技術選択や技術・施策の組み合わせを評価できる推計手法とする。さらに、人口密度や用途の変化など中長期的な将来変化も考慮に入れて代替的な将来シナリオを設定し、各シナリオ下で効果の高い対策を客観的に明らかにする手法とする。

4. 復興まちづくりエネルギー計画支援システム

(1) 計画支援システムの基本構造

計画支援システムの基本フレームワークを図 4-1 に示す。地域資源情報を GIS により空間データ化し、一方で復興ソリューションの技術情報を整備し、それらを組み合わせることで、地域固有のエネルギー需給の空間的・時間的な分布情報に基づき、エネルギー自給率向上や CO₂ 排出量削減に有効な技術・施策が選定できる構造となっている。具体的には以下のステップより構成される。

まず、土地利用や個別建物に関する GIS データに基づき、地区・街区単位で建物の用途ごとの床面積を求め、エネルギー需要原単位を掛け合わせることで、月別・時間帯別のエネルギー需要量とそのパターンを推計する。また、太陽光を中心とする自然エネルギー、高温・低温の地域の賦存熱の空間分布から、地域でのエネルギー供給能力とその分布情報を定量化する。このことにより、空間的、時間的なエネルギー需給の変動を試算する。この段階で、施策誘導により想定される土地利用・建物分布のパターンを操作的に設定することやエネルギー需要原単位を再設定することで、スマートコミュニティシステム形成による需要集約効果や需要平準化効果を検討可能である。

次に、エネルギー需給分布特性に基づき、重点的に対策導入を行う地区・街区を選択し、地域エネルギー施策の効果を算定する。ここでは、工場排熱等の利用可能な地域エネルギーが集中的に賦存する地区や、太陽光や風力などの身近な自然エネルギーの施設整備が可能な地区などを対策導入の重点地区として選定する。なお、エネルギーの供給・需要マネジメントの範囲は操作的に設定可能とし、効果を比較検証できる構造とする。エネルギーの需要と供給の時間・空間分布に基づき再生可能エネルギー活用、地域熱源活用、地域エネルギー事業技術の効果算定プロセスを適用する。その際には、需給施設間の位置関係を考慮する計算アルゴリズムを用意することによって推計精度を高めている。これらの対策の標準

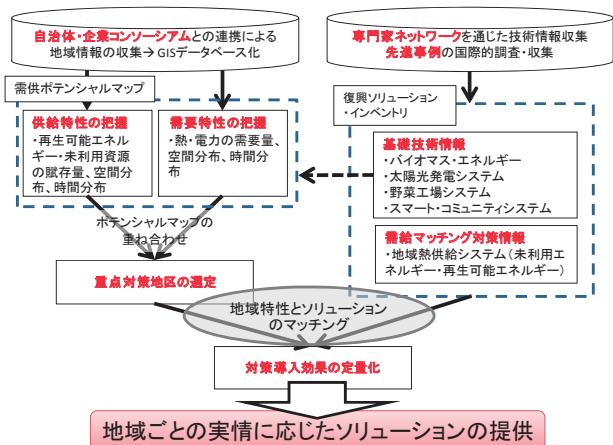


図 4-1 エネルギー計画支援システムのフロー

的な定量情報をあらかじめ事業例調査や専門家情報からの意見聴取等を通じて構築している。例えば、高温未利用熱利用のための導管の敷設長に基づくエネルギー損失パラメータや、太陽光発電設備の効率性パラメータ等について、既存事例調査および有識者ヒアリングの結果をもとに標準的な判断の基準値として内挿している。

システムを活用した、実際の計画のプロセスにおいては対策の組み合わせを比較することで、地域特性に応じた地域エネルギーシステムの策定が可能となる。

以上のプロセスに基づき、低炭素都市、環境都市の将来像に基づいた土地利用誘導策と地域エネルギー対策のパッケージ効果の定量的検証が可能となる。なお、詳細な推計プロセスについてはケーススタディとともに(環境省, 2012)で明らかにしている。

(2) 評価システムの設定

本研究では、季節別・時間別・小地区単位でエネルギー需給状況をシミュレートすることで、エネルギー消費の削減量を試算可能である。また、面的な施策の効果についてもその便益の帰着先をマクロな都市単位ではなく、地区・街区のレベルで視覚的に明らかにすることが可能となる。したがって、ステークホルダー間の合意形成を進めるために有効な客観的なデータを提供することが可能となる。

地域の GIS データベースに基づいて季節別・時間別にシミュレーションを実施するため、日射量等の自然特性、産業立地・住宅立地・高圧電力系統網といった社会・経済特性等の地域の実情報の反映が可能である。また、熱輸送時の距離減衰等の施策評価時においても空間情報も考慮した推計を行った。GIS データベースとエネルギーの需給の原単位データベースを整備することで、多様な都市活動の評価が可能であり、ケーススタディでは需要側の都市活動として住宅・業務・商業の 3 分類を採用している。

5. 東北地域におけるケーススタディ

(1) 対象エリアの概要

本研究では、東日本大震災の被災地域のうち福島県および宮城県の境界部分に属する9市町を対象としてケーススタディを実施する。表5-1と図5-1にその概要を示す。圏域の総人口は26万人、総面積は約10,000km²である。なお、データソースは国勢調査（2005年）、事業所・企業統計調査（2003年）および国土数値情報・土地利用細分メッシュデータ（2007年）である。

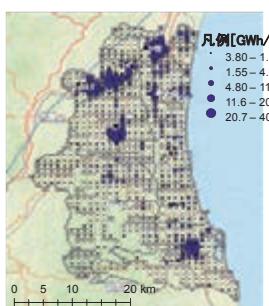
圏域全体の高齢化率は約22%と、全国平均をやや上回る値に止まっているものの、丸森町・山元町では30%前後の値を示しており、特に高齢化が進んでいる地区も両県の境界部を中心に存在している。産業構造については、第一次・第二次産業の就業者割合は全国平均よりも高く、特に、丸森町・新地町では第一次産業の就業者割合は15%以上と高い値を示す。昼夜間人口比率は、丸森町・亘理町・山元町・新地町では80%台と低く、さらに圏域全体でも93%となっており、対象地域外への就業者が超過している。これは、仙台市への通勤圏となっているためであると考えられる。

人口分布の特徴からは、岩沼市・柴田町・大河原町・亘理町・角田市・相馬市に人口集積が見られる。また、第二次・第三次産業の従業者数についても、夜間人口とほぼ同様の分布傾向を示す。阿武隈川流域と相馬市・新地町の境界部分に工業の集積が見られる。特に後者には2基の出力100万kWの施設から構成される石炭火力発電所（新地火力発電所）が立地している。

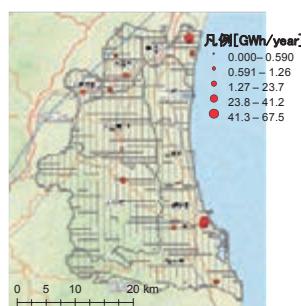
土地利用特性をみると、森林が約50%、農地が約32%を占め、約10%が建物・道路等の都市的な用途に用いられている。木質系バイオマス資源が豊富に存在していることが示唆される。東日本大震災における対象地域の死者数は1,744人、全壊住宅棟数は6,971である。また、津波による浸水面積は860km²であり、地域全体の9%の土地が浸水したことになる。なお、これらの被害は沿岸部の自治体で集中的に発生している。

(2) エネルギー需給ポテンシャルマップ

a) エネルギー需要ポテンシャルマップ



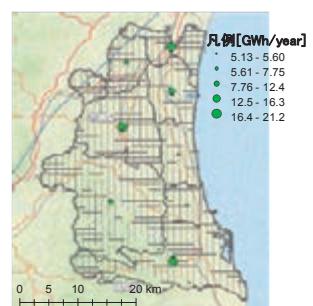
(a) エネルギー需要



(b) 工場排熱



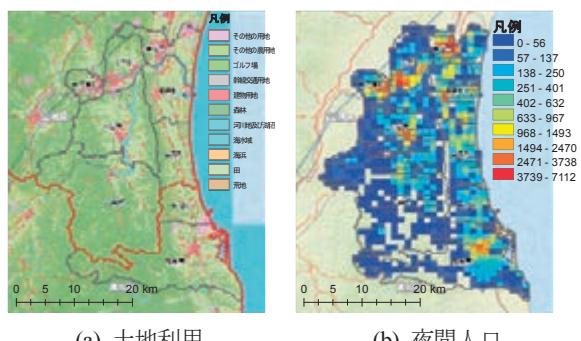
(c) 太陽光発電



(d) バイオマス

表5-1 新地町周辺地域の地域の概要

	人口総数 (人)	65歳以上 人口割合	昼夜間 人口比率
角田市	33,199	25%	101%
岩沼市	43,921	18%	98%
大河原町	23,335	20%	96%
柴田町	39,809	19%	92%
丸森町	16,792	32%	87%
亘理町	35,132	21%	82%
山元町	17,713	28%	82%
相馬市	38,630	24%	100%
新地町	8,584	26%	87%
圏域全体	257,118	22%	93%
全国平均	-	20%	100%



(a) 土地利用 (b) 夜間人口

図5-1 対象地域の概要

地区・街区単位（ここでは1kmグリッド）で集計された用途別（業務・商業・住宅）の建物床面積にエネルギー需要原単位（柏木孝夫,日本エネルギー学会, 2008）を乗じることでポテンシャルマップを作成する。対象地域全体におけるエネルギー需要の空間分布を図5-2(a)に示す。2005年基準のエネルギー需要総量は1,403[GWh/year]である。岩沼市、柴田町、大河原町、角田市、相馬市、亘理町の中心部にエネルギー需要の集中している地区が存在しており、夜間人口密度の高い地区と一致している。なお、エネルギー需要量とは電力需要と熱需要の合計で、電力は1次エネルギー換算していない値である。また、今回はポテンシャル推計と方法論の確認に主眼があるため2005年基準のデータを用いているが、正確なデータは今後入手する予定である。

なお、本推計は現時点で民生部門（家庭+業務）のみを対象としており、需要の原単位化が困難な産業部門（工場など）

は算定外となっている。図 5-3 で臨海部でとくに大きなエネルギー需要は見られないが、実際には産業部門の熱需要（および動力・照明等の需要）は存在している。自治体ごとのエネルギー需要推計結果によると、エネルギー需要が最大の岩沼市（258[GWh/year]）と最小の新地町（41[GWh/year]）では 6 倍以上の格差がある。さらに、エネルギー需要特性を比較すると、角田市・岩沼市・大河原町は電力需要の割合が高いが、柴田町・丸森町・亘理町・山元町・新地町では給湯需要の割合が高い値となる。昼夜間人口比率が低く、住宅用途の建物が多い地区では給湯需要が大きくなる傾向がある。

さらに、図 5-6(a)に対象地域全体のエネルギー需要の時間変動を示す。電力・冷暖房需要は季節ごとに需要パターンに違いが見られる。冬期は 9 時および 18 時あたり（就業時間と帰宅時間）でピークを迎えるが、夏期は日中の 15 時あたりでピークを迎える。一方、熱需要パターンは 20 時あたりピークがあり、冬期のピーク需要は夏期の 3 倍に達する。

b) エネルギー供給ポテンシャルマップ

本研究では、地域特性に依存する基礎的なエネルギー供給源である、工場廃熱・太陽光発電・バイオマスについてのポテンシャルを評価する。

① 工場排熱

工業統計調査（2010 年）の従業者数に（吉田, et al., 1997）により報告されている排熱原単位を掛け合わせることにより排熱量を推計する。なお、工業統計調査は市区町村ごとの値であるが、国土数値情報の工業用地データを用いて面積割合に応じて割り振ることで地図情報に変換している。また、（吉田, et al., 1997）に基づき一事業所あたりの排熱量の多い 6 業種（パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、石油製品・石炭製品製造業、窯業・土石製品製造業、鉄鋼業、非鉄金属製造業）を評価対象とする。

対象地域全体における工場排熱ポテンシャルは 241[GWh/year]である。そのポテンシャルマップを図 5-2(b)に示す。岩沼市と相馬市の臨海部に 50[GWh/year]程度のまとまった排熱供給源が存在している。また、柴田町・大河原町・丸森町などの内陸部にも 10~20[GWh/year]程度の中規模の排熱供給ポテンシャルが存在している。一方で、新地町や角田市のようにまとまった工場排熱がほとんど存在していない自治体もあり、地区ごとの格差は大きい。また、自治体の境界付近に立地している工場も多いことから、行政単位を超えた連携が必要であることが示唆される。

産業類型別の内訳からは、岩沼市は鉄鋼業に起因する排熱が支配的であるが、相馬市では、鉄鋼業と化学工業に起因する排熱が同程度存在している。鉄鋼業や石油・石炭製品製造業は稼働時間が長いことから、岩沼市における工業排熱は活用可能性の点からも有利であると考えられる。

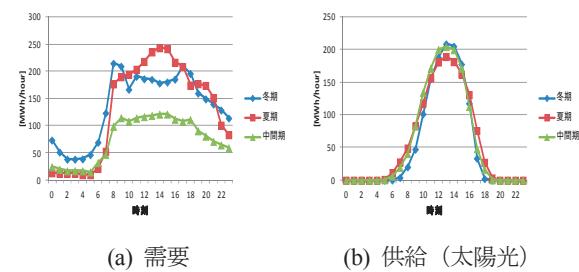


図 5-3 電力需給の時間変動パターン

② 太陽光発電ポテンシャル

本研究では、屋根設置型の太陽光発電システムが 10% 普及した場合と 80% 普及した場合について検討する。ここで、普及率は政府の「低炭素社会づくり行動計画」における太陽光発電の導入目標値を参考に設定した。なお、2011 年度末時点における住宅用太陽光発電システムの普及率は全国 3.6%，宮城県 3.3%，福島県 3.1% である。

発電量は NEDO の年間時別日射量データベース（METPV-11）（新エネルギー・産業技術総合開発機構）に、建物形状データに基づき GIS により算出したパネル設置可能面積、電力転換効率等の技術係数を考慮して算出した。対象地域全体における、総発電ポテンシャルは、10% 普及で 62[GWh/year]、80% 普及で 496[GWh/year] である。図 5-2(c)に 80% 普及時における太陽光発電ポテンシャルの空間分布を示す。空間分布は、本研究では屋根設置型を想定しているため、人口集積地において高い値となっている。しかしながら、戸建て住宅に対して中高層の集合住宅やオフィスビルの多い地区はエネルギー需要量当たりの供給量は低い値となっている。

図 5-3(b)に 80% 普及時における発電の時間変動パターンを示す。時間変動の特徴は 12 時がピークとなる急峻な形状を示している。季節間のピーク時の格差は比較的小さいものの冬期・中間期・夏期の順になる。また、反対に夏期は日照時間が長くなる。

③ バイオマスポテンシャル

本研究では NEDO のデータベース（新エネルギー・産業技術総合開発機構）より、対象地域におけるバイオマス・ポテンシャルを抽出する。評価対象は未利用資源系バイオマス（木質系、農業残渣、草本系）と廃棄物資源系バイオマス（木質系、家畜糞尿・汚泥、食品系）である。ここでは、データベースの構造に準拠し有効利用可能量を賦存量と区別して取り扱う。それぞれの定義は以下の通りである。賦存量はバイオマスの利用の可否に関わらず理論上 1 年間に発生・排出される量と定義され、有効利用可能量は、賦存量よりエネルギー利用・堆肥・農地還元利用等、既に利用されている量を除き、さらに収集等に関する経済性を考慮した量と定義される。

対象地域全体における、バイオマスの有効利用可能量は119[GWh/year]である。その空間分布を図5-2(d)に示す。一方、賦存量は429,505[GWh/year]である。角田市・岩沼市・相馬市では20[GWh/year]の有効利用可能量が存在しているが、新地町や大河原町では5[GWh/year]程度しか存在していない。内訳を調べると、ほとんどの自治体で未利用資源系バイオマスが廃棄物資源系バイオマスを上回っている。特に、未利用資源の農業残渣のポテンシャルが高い。岩沼市では廃棄物系資源・木質系バイオマスの割合が、相馬市では廃棄物系資源・食品系バイオマスの割合が高くなっている。

有効利用可能量の3から10倍の賦存量が存在している。特に賦存量に対して有効利用量が低下している自治体は岩沼市と丸森町である。岩沼市は廃棄物系資源・木質バイオマスの有効利用可能率が低く、丸森町は未利用資源・農業残渣の有効利用可能率低いためである。なお、本研究では既存データベースの値を援用したが、森林モデルを構築することにより、賦存量と有効活用可能量のより明確な定義のもと、施策効果を考慮したポテンシャル推計が可能となる。

(3) 需給マッチングモデルの適用

a) 需給マッチングの方向性

前節で検討した需要ポテンシャルと供給ポテンシャルに基づき、需給マッチングを実現する施策導入の方向性について検討する。単純比較では、対象地域全体のエネルギー需要量に対して、工場排熱は18%，太陽光発電システムは35%，バイオマスは9%の供給ポテンシャルを有している。森林面積割合が高い地域であるものの、バイオマスと比較して、工場排熱のポテンシャルの大きさが分かる。

図5-4に需給ポテンシャルを重ね合わせた結果を示す。工業排熱は、臨海部の工場団地がエネルギー需要集積地と比較的距離を置いて立地しているため、需給間には空間的な隔たりが存在しており、その全てが有効活用出来る訳ではない。さらに、太陽光発電に関しては時間的ミスマッチが、バイオマスに関しては質的ミスマッチがエネルギーの有効活用を阻害する要因となることが考えられる。

以上の需給ポテンシャルマップの状況に基づき、ここでは、以下のような設定により季節別・時間別の需給マッチングについて検討した。

- ・ 太陽光発電システムは80%普及を想定する。
- ・ 各自治体に関連施策を集中的に実施するエネルギー需要コアを設定する。
- ・ エネルギー需要コアのうち、排熱供給ポテンシャルの高い工場と近接しているエリア（岩沼・大河原・柴田・丸森・相馬・新地）は工場排熱を活用した地域熱供給システムを構築する。

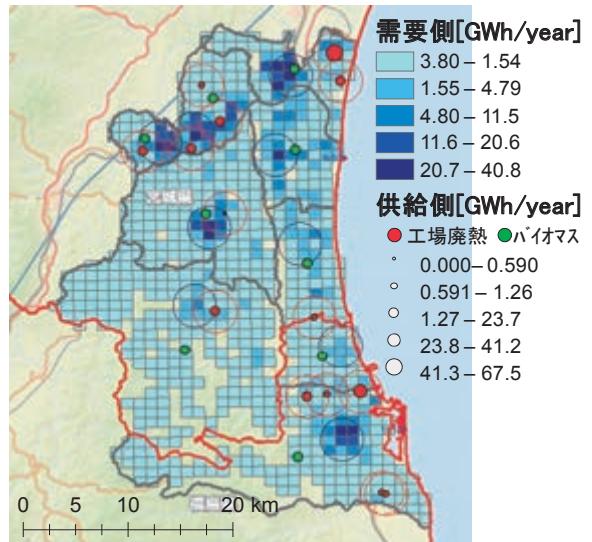


図5-4 需給マッチングマップ

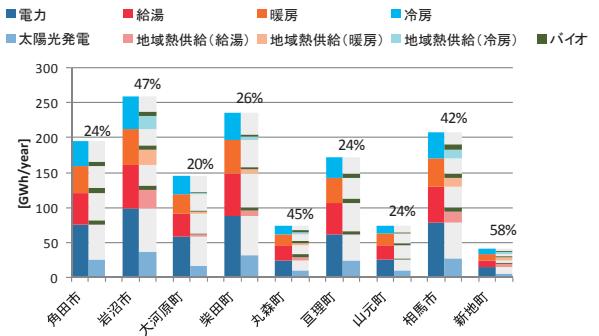


図5-5 需給マッチングチャート

- ・ バイオマス資源は有効利用可能量について各自治体内の給湯需要および冷暖房需要を賄うためのエネルギー源として活用する。

b) 技術・施策導入効果の算定

自治体ごとのエネルギー需給マッチングの結果を図5-5に示す。各自治体のエネルギー需要に対して、再生可能エネルギー・未利用エネルギーによりカバーできる割合を示している。再生可能エネルギー・未利用エネルギーのカバー率は新地町では58%に、岩沼市では47%に達する。最も低い大河原町においても20%のカバー率である。新地町のカバー率が高い理由は、周辺工業地帯の豊富な熱源が利用可能であり、需要コアに居住する人口割合が高いためである。

地域熱供給は自治体間の格差が大きい。有効活用できる自治体は限られている。一方で、バイオマスはカバー率は低いものの、多くの自治体で安定的にエネルギー供給源として活用可能である。太陽光発電の総発電量に対する有効活用量の割合は20~60%程度である。本研究の設定では建物の屋根に設置することを仮定しているため、需給の空間的パターンは一致しているものの、図5-3(a)と(b)の比較からも分かるよう

に、需給の時間変動パターンが異なるため全量を直接有効活用できる訳ではない。蓄電池の導入や需要側対策との組み合せ検討する必要がある。

以上の推計結果より、環境資源を活用した実現可能性の高い施策を実施することによって、有意な化石燃料起源エネルギー供給量の削減が可能となることが分かった。

6. おわりに

本研究では、東日本大震災の被災地域における復興のためのファクターとして環境力・グリーンイノベーションに着目し、具体的な施策の展開方策について議論した。得られた成果は以下の通りである。

- ・ 復興まちづくりについての議論の整理を行い、環境力活用型の復興に関する既存研究の整理を行った。
- ・ 環境力・グリーンイノベーションが主導する復興イメージを提示し、そのコンポーネントのインベントリを示すとともに、代替的なエネルギー関連技術選択の基準を示した。
- ・ 環境力を活用する効果を定量的に評価するためのモデルシステムについてそのフレームワークを示した。
- ・ 東日本大震災の被災地域でのケーススタディを行った結果、東北地方には民生の需要部門と比較した結果、十分な環境資源が賦存しており、循環・再生可能エネルギーの活用により、エネルギー効率の高い都市が構築出来ることが分かった。
- ・ 以上より、環境力の有効活用が、復興のためのキーファクターの一つとなり得ることが分かった。

将来の課題としては推計精度の操作的な選択性の確保によって、地方自治体にとっての利用しやすさを改善することが必要となる。推計手法は、計画の局面に応じた推計精度を選択することを可能とするとともに、求められる推計精度に応じて、用いる客観的な指標や情報の精度を変更できるようとする。また、自治体が地域の特性を生かした地区・街区単位の対策導入効果を自ら算定し、計画策定に反映できるように、入手が容易なデータを活用し算定できる推計手法が求められる。ある程度類型化された対策メニューを提示するなどの利便性を高める情報が必要となる。

参考文献

- 1) 平山 修久, 河田 恵昭, 奥村 与志弘: 東日本大震災における災害廃棄物量の推定と災害対応 (震災廃棄物処理特集(1)), 23, 1, 3-9 (2012)
- 2) 浅利 美鈴, 吉岡 敏明, 酒井 伸一: 災害廃棄物分別・処理戦略マニュアルの概要と今後の課題 (震災廃棄物処理特集(1)), 23, 1, 10-21 (2012)

- 3) 佐々木 秀幸: 岩手県の災害廃棄物の状況とこれまでの経緯について (特集 東日本大震災で発生した災害廃棄物等について(その1)), 65, 306, 139-143 (2012)
- 4) 佐々木 秀幸, 鳩田 尚哉, 東條 安匡: 岩手県における災害廃棄物処理 : 処理計画を中心に (震災廃棄物処理特集(1)), 23, 1, 40-46 (2012)
- 5) 森口 祐一: 放射性物質汚染の現状把握と除染 (特集 東日本大震災復興), 41, 1, 43-49 (2012)
- 6) 村上 處直: これまでの震災被害の経験は生かされたか (特集 東日本大震災復興), 41, 1, 10-16 (2012)
- 7) 野々村 邦夫, 田中 圭: 大震災における地理空間情報の取得と活用 (特集 東日本大震災復興), 41, 1, 17-22 (2012)
- 8) 盛岡 通: リスクガバナンス論からみた震災復興過程のリスク評価の方向 (特集 東日本大震災復興), 41, 1, 50-62 (2012)
- 9) 河田 恵昭: 東日本大震災の災害エスノグラフィーから見えること : とくに, 防災教育をどのように進めるのか (特集 東日本大震災復興), 41, 1, 4-9 (2012)
- 10) 石川 幹子: 復興の視点と原則 : 流域自然共生都市 (特集 東日本大震災復興), 41, 1, 23-29 (2012)
- 11) 中野 裕司, 平吹 喜彦: 震災瓦礫の土壤資源化による震災復興と海岸エコトーンの再生 (特集 災害復興と自然共生--持続可能な発展を目指すグリーン復興), 56, 9, 15-19 (2011)
- 12) 広井 良典: 低炭素都市と医療・福祉・コミュニティ : 「持続可能な福祉都市」に向けて (特集 低炭素都市づくり)--(都市における低炭素化の意義など), 66, 5, 12-18 (2012)
- 13) 広田 純一: 震災復興計画の現状と課題 : 震災後 10 カ月を経過して, 岩手・宮城県を中心に (特集 東日本大震災復興), 41, 1, 36-42 (2012)
- 14) 三船 康道: 三陸地域の復興計画 : 土地利用計画からの検証 : 東北地方太平洋沖地震の被災地を訪ねて(第 5 報) (震災レポート 復興まちづくりの試みと課題), 35, 96-101 (2012)
- 15) 小林 久: 特集論考 自然エネルギーを供給する農山村の可能性と課題 (復興再生の課題と展望), 30, 4, 573-577 (2012)
- 16) 萩本 和彦: 震災影響を踏まえた 2030 年に向けた電力需給, 33, 2, 74-79 (2012)
- 17) 森山 亮, 都筑 和泰, 石本 祐樹, 時松 宏治, 萩原 直人: 中長期観点からの国内エネルギー需給構造のあり方と太陽光発電の役割, 33, 2, 80-84 (2012)
- 18) 環境省: 「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定マニュアルに関する低炭素化手法の検討」, (2012)
- 19) 柏木孝夫, 日本エネルギー学会: 「天然ガスコーチェネレーション計画・設計マニュアル 2008」, (2008)

- 20) 吉田 聰, 渡辺 健一郎, 佐土原 聰, 村上 處直: 工場排熱の地域冷暖房への利用可能性に関する調査研究 : 工場排熱原単位の作成と神奈川県におけるケーススタディー, 497, 53-58 (1997)
- 21) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 日射量データベース, <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>, (accessed on 30th Sep. 2012)
- 22) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計, <http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/>, (accessed on 30th Sep. 2012)