

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 28 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K06686

研究課題名(和文) モデル分析と実証分析による九州の理想的なエネルギー・社会経済・都市戦略の導出

研究課題名(英文) Desirable energy, socio-economic, and urban strategies for Kyushu derived from model and empirical analysis

研究代表者

竹下 貴之 (TAKESHITA, Takayuki)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授

研究者番号：70344075

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、九州における理想的なエネルギー・経済戦略と都市戦略の導出を試みた。

2050年までを対象とする九州のエネルギー需給・経済モデルの試作版を構築し、危険な気候変動を回避する制約の下で本モデルを計算することにより、九州の理想的なエネルギー戦略、危険な気候変動の回避が九州経済に与える影響、同制約下での九州の経済成長の具体像を導出した。九州の理想的な都市戦略に関しては、都市スケールでは環境計画と都市計画の整合を図ることが重要であること、広域スケールでは市町村間連携の枠組みを活用した都市構造再編に向けた取組みが有効であること、地区スケールでは環境政策とまちづくりの連動が求められることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

九州の理想的なエネルギー・経済戦略に関する研究は、九州において持続可能な社会経済をどのように構築すべきかという課題に対して有用な知見を提供するものである。また、危険な気候変動を回避する制約の下での九州の理想的なエネルギー需給の具体像、同制約下で九州の経済成長が悪影響を受ける度合いが小さいことを導出したことに社会的意義がある。九州の理想的な都市戦略に関する研究は、第一に、人口減少の観点から論じられることが殆どであったコンパクトシティ政策に環境政策の観点を取り入れたこと、第二に、都市戦略・環境政策を都市・広域・地区の有機的な関係の下で展開させることの重要性を指摘したことに学術的・社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：The first aim of this research is to derive desirable energy strategies in Kyushu under constraints to avoid dangerous climate change using a prototype energy-economy model for Kyushu developed by the first author. According to the preliminary results under the above climate constraints, energy conservation is promoted, and the shares of nuclear, CCS, and renewables increase over time at the expense of coal without CCS and oil. It is also shown that the negative impacts of satisfying the above climate constraints on the macroeconomy in Kyushu are very small. The second aim is to explore desirable urban strategies for cities in Kyushu. The following findings were observed. First, linking environmental and urban planning is important at the city-level. Second, using regional policy frameworks toward reorganization of urban structure is effective at the city-regional level. Third, the cooperation between environmental policies and urban development is significant at the district-level.

研究分野：総合工学

キーワード：エネルギーシステム 社会経済戦略 都市戦略 気候変動緩和 再生可能エネルギー まちづくり コンパクトシティ 広域連携

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

社会経済を持続可能な成長軌道に乗せつつ、人類が直面している様々な社会的課題の解決を図ることは、21世紀の人類に課せられた最も重要な課題の一つである。持続可能な成長を脅かす要因として、気候変動問題が挙げられる。現在、世界の温室効果ガス排出量の2/3以上はエネルギー部門によって排出されていることから、危険な気候変動を回避するとともに、最小コストでエネルギー需要を満足できるような、環境調和性と経済性の観点において望ましいエネルギー需給構造への変革が必要とされている。一方、そのようなエネルギー需給構造への変革は、エネルギー価格の上昇に伴う物価水準の上昇、それによる消費の減少、実質GDPの減少、雇用や可処分所得の減少といった形で経済に悪影響をもたらすことが懸念されている(野村, 2012)。経済成長を実現し、所得を維持していくことは持続可能な社会の前提条件であるため、「危険な気候変動を回避し得るエネルギー需給構造への変革」と「持続可能な経済成長の実現」を両立できるような、今後の理想的なエネルギー・経済戦略の具体像を提示することは大きな意義を持つものである。

我が国に目を向けると、我が国は現在、少子高齢化と人口減少という重要な問題を抱えている。特に地方では、これらの問題による影響が深刻であり、過疎化や地域経済の縮小を招いている。日本の地方都市では、人口増加時代に市街地が拡大・拡散し、低密度な都市構造が形成されており、環境負荷の小さい都市構造へと再編していくことが課題となっている。近年、市町村は低炭素まちづくり計画や、都市機能を集約する都市機能誘導区域と人口密度を維持する居住誘導区域を定めた立地適正化計画を策定できるようになった。しかし、実態としての都市空間は市町村域を超えて拡がり、一体的な都市圏を形成している。これは九州においても例外ではなく、29の都市雇用圏(10%通勤圏)の形成が確認される(2015年)。土地利用計画や交通計画は、本来的には都市圏の範囲で行うことが望ましく、都市戦略を広域的なスケールで考えることが必要である。他方で、村山(2017)は、地区スケールは、素早くイノベーションを起こすのに十分な小ささと、意味のある影響をもたらす十分な大きさを持ち、持続可能性を加速させるのに適正な規模であると指摘している。環境負荷の少ない都市構造を目指すには、広域・都市・地区スケールでの取り組みと、それらを有機的に結び付けていくことが重要である。

### 2. 研究の目的

上述の背景に基づき、本研究では、九州において持続可能な社会経済を確立するにあたって、その中核となる九州における理想的なエネルギー・経済戦略、及び、九州における理想的な都市戦略を導出することを目的とした。

具体的には、まず、危険な気候変動を回避する制約の下で、最小コストで最終エネルギー需要を満足できるような、理想的な九州のエネルギー需給の具体像、そのようなエネルギー需給構造の変革・確立が九州の経済に与える影響、そのような制約の下で九州の経済成長をどのように実現できるか、について定量的に導出・検討することを目指した。次に、九州における都市・広域(都市圏)・地区スケールでの低炭素都市政策の実態と課題を明らかにし、今後の都市戦略のあり方を導出することを目指した。

### 3. 研究の方法

九州の理想的なエネルギー・経済戦略を導出するため、九州を対象地域とし、2050年までを対象期間とするエネルギー需給モデルと経済モデルの試作版を構築し、これらの試作版のモデルを統合した、九州のエネルギー需給・経済モデルの試作版を構築した。そして、本モデルを用いて、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと危険な気候変動を回避するケースを計算し、両ケースの計算結果の比較・検討を行うことにより、九州におけるエネルギー需給構造を望ましいものにするための戦略、それが九州の経済にどのような影響を与えるか、危険な気候変動を回避する制約の下においてどのようにして九州の経済成長を実現し得るのかを導出した。

九州の理想的な都市戦略を導出するため、以下のように、都市スケール、広域スケール、地区スケールに分けてケーススタディ、及び、実態分析を行った。

- (1) 都市スケール：市町村レベルにおける都市構造再編の目標設定と低炭素施策との関係を明らかにするため、北九州市のケーススタディを行った。
- (2) 広域スケール：立地適正化計画における近隣市町村との都市機能の連携・分担に関する記述分析、広域連携施策における土地利用、交通、公共施設分野での取り組みの実態分析の結果から、九州でのコンパクトシティ政策における市町村間の広域調整・連携の実態を明らかにした。
- (3) 地区スケール：地区レベルでの低炭素の取り組みの実態と課題を把握するため、環境配慮型都市の先進事例である北九州市の都心地区(既成市街地)における低炭素まちづくり、及び、城野地区ゼロ・カーボン推進街区(新規開発型スマートシティ)のケーススタディを行った。

### 4. 研究成果

まず、九州における理想的なエネルギー・経済戦略に関する研究成果(モデル試算結果)について説明する。

危険な気候変動を回避するケースでは、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと比較して、省エネルギーが進展する。具体的には、危険な気候変動を回避するケースにおける九州の最終エネルギー消費の対象期間全体(2010年 - 2050年)の総量は、温室効果ガス排出量に制約

を課さないケースと比較して6.0%減少するという試算結果が得られた。また、2050年では、危険な気候変動を回避するケースにおける九州の最終エネルギー消費量は、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと比較して11.0%減少するという試算結果が得られた。

危険な気候変動を回避するケースと温室効果ガス排出量に制約を課さないケースの間の九州の一次エネルギー供給の内訳の相違は経年的に大きくなる。危険な気候変動を回避するケースでは、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースとは対照的に、九州の総一次エネルギー供給に占める、原子力、CO<sub>2</sub>回収・貯留（CCS）、再生可能エネルギーのシェアが経年的に大きくなる一方、CCSと組み合わせない石炭と石油のシェアは大きく減少する。具体的には、危険な気候変動を回避するケースでの九州における一次エネルギーの種別供給量の対象期間全体の総量から、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースでの九州における一次エネルギーの種別供給量の対象期間全体の総量を減じた差分を計算すると、原子力の増加量が最も大きく、次いで、CCSと組み合わせた石炭、CCSと組み合わせた天然ガス、CCSと組み合わせたバイオマス、風力、CCSと組み合わせない天然ガス、太陽光、CCSと組み合わせないバイオマス、地熱の増加量の順に大きい一方、CCSと組み合わせない石炭の減少量が最も大きく、次いで、石油の減少量が大きいという試算結果が得られた。

このように九州の一次エネルギー供給の内訳に変化が生じることに伴い、危険な気候変動を回避するケースでは、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと比較して、九州の化石燃料依存度（九州の一次エネルギー総生産量に占める化石燃料のシェア）が低下する。具体的には、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースにおける2050年の九州の化石燃料依存度は71.3%であるのに対し、危険な気候変動を回避するケースにおける2050年の九州の化石燃料依存度は53.3%に減少するという試算結果が得られた。このことは、低炭素化を図ることがエネルギー供給安定性の向上につながることを意味する。

九州の運輸部門に着目すると、危険な気候変動を回避するケースでは、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと比較して、石油製品を燃料とする自動車のシェアが減少し、電気自動車、水素燃料電池自動車、バイオ燃料を燃料とする自動車のシェアが増加するという試算結果が得られた。また、九州の発電部門に着目すると、危険な気候変動を回避するケースの2050年においては、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと比較して、原子力、CCS、風力、太陽光が大きなシェアを占めるという試算結果が得られた。

危険な気候変動を回避するという制約が課されることにより、九州の経済成長は悪影響を受けるが、その規模は極めて微小である。具体的には、危険な気候変動を回避するケースにおける九州の域内総生産の対象期間全体の総額は、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと比較して0.4%減少するという試算結果が得られた。危険な気候変動を回避するという制約が課されることにより、九州では、物価水準の上昇と消費の減少が見られるが、これらの減少は、特にエネルギー部門における設備投資の増加によって補われ、結果的に、危険な気候変動を回避するケースにおける九州の域内総生産の、温室効果ガス排出量に制約を課さないケースと比較した減少分が微小にとどまるという試算結果が得られた。

ただし、危険な気候変動を回避するケースにおいて、九州の一次エネルギー供給の内訳、及び、九州の電源構成の中で原子力が大きなシェアを占めるようになるという試算結果の解釈については留意が必要である。上述の試算結果は、種々の制約条件の下、コスト面で優れたエネルギーが多く導入されるという原理に基づくモデルから導出されたものであるが、同モデルでは、社会的受容性の観点に伴う原子力の導入上限については明示的に考慮していない。2011年に発生した福島第一原発事故以降、国民が原子力に対して抱く不安感は増大しており、最新の日本のエネルギー基本計画（平成30年7月公表）においても、「2050年のエネルギー選択に際して、原子力については安全を最優先し、再生可能エネルギーの拡大を図る中で、可能な限り原発依存度を低減する。」と述べられている。したがって、九州で原子力が大きなシェアを占めるようになるという試算結果は、あくまで経済性の観点での解釈であり、この知見自体は有用な政策的含意を持つものであるが、現実的に見て原子力がこれほどの規模で導入拡大されるかは別問題であることに注意を要する。

次に、九州の理想的な都市戦略に関するケーススタディの結果について説明する。

#### (1) 都市スケールでの都市戦略

まず、九州において2019年7月時点で立地適正化計画を策定済みの15都市について、居住誘導区域が市街化区域もしくは用途地域に占める面積比率を算出したところ、70%以上が5都市、70%未満が10都市であった。既往研究では全国的には70%以上の都市が6割を超えており（西井ら、2019）九州の都市ではよりコンパクトな都市構造を目指していることが見て取れる。

次に、都市スケールでのコンパクトシティ政策に「低炭素」がどのように反映されているのかを検討するため、立地適正化計画と低炭素まちづくり計画の両方に取り組んでいる北九州市のケーススタディを行った。

北九州市では、2014年3月に低炭素まちづくり計画を策定している。本計画は、北九州市基本構想・基本計画、都市・交通分野の計画、環境分野の計画を上位計画として策定されたものであり、計画目標として、CO<sub>2</sub>排出削減率を2020年までに8%（126万トン）、2030年までに30%（530万トン）、2050年までに50%（830万トン）と設定している。この目標を達成するため、市街化区域を計画区域とし、市内12か所の拠点を設定して都市機能の集約を図るとしている。

北九州市は、2016年9月に立地適正化計画を策定した。本計画で、低炭素まちづくり計画では示されていない拠点の階層性や交通軸の形成を示し、低炭素まちづくり計画の拠点とほぼ同じ位置に都市機能誘導区域を定めており、低炭素まちづくり計画で示した都市機能の集約について、より具体的にその方策を示したものと言える。他方で、居住誘導区域は、鉄道駅・バス路線からの距離や土地整備の有無から設定されており、CO<sub>2</sub>排出削減については本文中で言及はない。すなわち都市レベルで見れば、都市機能の集約という考え方及び方策は整合的と言えるが、低炭素の目標達成との関係は区域設定の考え方からは読み取れない。

北九州市のように同じ自治体で双方の計画を策定している例は少ない。九州地方において、立地適正化計画に取り組んでいる市町村は19市町村（2019年7月時点）あるのに対して、低炭素まちづくり計画は2市に留まっており、立地適正化計画の計画目標にCO<sub>2</sub>排出削減を盛り込んでいる例も見られず、都市レベルでの都市計画と低炭素との関係は明示的ではない。

## (2) 広域スケールでの都市戦略

2018年4月6日時点で立地適正化計画を策定済みの九州の13市町のうち、3市（飯塚市、行橋市、宗像市）で具体的な圏域において具体的な機能分担について記述している。この割合は、全国（160都市中16都市）に比べて高い。宗像市は福岡市、行橋市は北九州市と大都市の高次都市機能の活用が意図されており、中心都市の中心性が極めて高い圏域では機能連携・分担が進みやすいことが示唆されるが、飯塚市は嘉麻市・桂川町との福祉・医療の連携、公共施設の利活用を図るとしている。

九州では、8圏域で連携中枢都市圏に、14圏域で定住自立圏に取り組んでいる。13の大都市雇用圏（中心都市のDID人口が5万人以上）のうち5圏域は広域連携の枠組みに包含されている。これらの圏域では地域公共交通、公共施設のマネジメントに取り組む事例が多い一方、土地利用分野での取り組みは少ないのが全国的傾向であるが、宮崎都市圏では立地適正化計画の策定検討、長崎都市圏では都市計画の広域調整を連携事業に挙げており、特徴がみられる。

## (3) 地区スケールでの都市戦略

既成市街地：北九州市小倉都心部の事例

- 1) 北九州市では、小倉都心部（2010年～）及び黒崎副都心（2011年～）において、低炭素まちづくり推進プランの策定とそれに基づく取り組みが行われた。これらの既成市街地における低炭素都市政策は、「北九州市環境モデル都市行動計画」の中で「市街地モデル」として位置づけられたことがきっかけであり（行政によるきっかけづくり）、行政、商業・企業、市民まちづくり団体等の関係者が参加する懇談会が設置されて計画検討が進められた。
- 2) 小倉都心部での低炭素都市政策は、市の中心市街地活性化基本計画と連動して進められた。
- 3) 北九州市の既成市街地における低炭素都市政策は主に行政主導によるハード整備が中心であったが、プロジェクトの実施をきっかけに、商店街独自でエコ活動を行う機運が上昇した。しかし、その後の持続的な活動にはつながらなかった。その理由として、取り組んだことによる環境面での効果が測りにくいこと、収益につながらなかったことが指摘された。市民や関係事業者にも効果的なPRができていない、新たな関係者を巻き込みづらい課題が明らかになった。

新規開発型：城野地区ゼロ・カーボン先進街区の事例

- 1) 城野地区では、CEMS、HEMS、戸建て・集合住宅のCO<sub>2</sub>排出削減のための住宅性能向上等の環境技術の導入が行われているが、タウンマネジメントを当初から計画・実践している点に特徴がある。また、まちづくり基本計画では、基本的方向としてゼロ・カーボン、子育て支援・高齢者対応、次世代に継承し続ける持続可能なまちづくりが挙げられており、ゼロ・カーボンについては建築、モビリティ、環境学習の推進が挙げられていた。
- 2) TMOへのヒアリングによれば、城野地区におけるゼロ・カーボンは、理論値としては戸建てで120%、集合住宅で60%削減を目指しており、年間を通してはオール電化等により達成しているという。一方で、住民の意識・活動に関わる部分では、「ゼロ・カーボンのまちづくりを感じるみち」としてのエコモールや、遮熱性舗装等による道路といった環境活動の「見える化」、菜園活動やSDGs講演会等が行われている。しかし、これらの活動は行政や大学の提案から始まっており、住民による企画や参加は限定的であることがわかった。また、当初想定されていたモビリティの取り組みは、カーシェアは導入されているものの、電気自動車の普及は進んでいない。新規開発型スマートシティでの環境まちづくり活動を促進するためには、大学がまちづくりに参入し、住民と行政、事業者の連携をとりやすくすることが重要と考えられる。

## (4) 持続可能な低炭素社会に向けた都市環境政策のあり方

都市政策の主体となるのは市町村であるが、本研究から、省エネルギー・低炭素社会における都市政策を考える上で、都市スケールでの取り組みだけでは十分でない点が明らかになった。

市町村は、都市の低炭素化に向けた計画や、コンパクトシティ計画の策定主体（単位）である。九州地方の都市はよりコンパクトな市街地として人口密度を維持しようとする特徴があるが、立地適正化計画の誘導区域設定及び評価指標に低炭素の試算や指標を盛り込むことや、市町村レベルでの環境計画と都市計画の明示的な整合性が求められる。同時に、市町村は広域スケールでの取り組みの協働主体であり、実行主体であり、地区レベルの取り組みを広域的観点から位置付ける役割も持つ。広域スケールから地区スケールまでの取り組みを整合させ結びつける機

能を都市戦略にも取り入れることや、モデル地区の取組を展開することが必要である。

都市構造の再編には都市圏レベルでの取組みが必要である。九州の都市圏は県庁所在都市等の中心性の高い都市を中心に形成されている。その多くで広域連携施策に取り組んでおり、この広域的枠組みを活用した地域戦略が求められるだろう。日本のコンパクトシティ政策は人口減少や高齢化への対応という面が強いが、これに、例えば気候変動と自然災害という視点を加えることで、災害リスクの高い土地には住まない等、安全な都市構造に変えていく契機とすることも重要であろう。そのための都市圏計画制度や広域連携・調整の制度の構築も望まれる。

都市圏・都市全体の戦略を具体化・詳細化するのには地区レベルである。地区レベルでは、スマートシティのような環境配慮型都市の建設が可能である反面、大規模な用地を要するため、都市の大部分を占める既成市街地で展開できる都市戦略が必要である。北九州市の事例からは、省エネのためのハードの導入はできても、「環境」「低炭素」は効果が見えにくく、行動に繋がりにくいことから、中心市街地活性化等の他のまちづくり施策と組み合わせた取組みが求められる。新規開発型のスマートシティにおいても、環境技術による省エネ・低炭素の取組みの効果はみられるが、住民の意識醸成が必要であり、自然災害等の身近な問題と関連付けた環境学習が、子どもだけでなく大人に対しても必要であると考えられる。そのためには多様な主体の関わりが重要であり、特に大学の果たす役割は大きい。

#### < 引用文献 >

野村 浩二、2030年における電源構成とCO<sub>2</sub>制約 - 多部門一般均衡モデルによる経済評価、総合エネルギー調査会基本問題委員会資料、2012

村山 顕人、エコな街をつくる新しい枠組みの探究、都市計画、327、2017、10-13

西井 成志、真鍋 陸太郎、村山 顕人、立地適正化計画における居住誘導区域設定の考え方とその背景、都市計画論文集、54-3、2019、532-538

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 宮原弘成・片山健介	4. 巻 No.17-4
2. 論文標題 立地適正化計画と都市計画区域マスタープランの関係性に関する分析 - 拠点の地理的・機能的整合性に着目して -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 都市計画報告集	6. 最初と最後の頁 382-387
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 片山健介	4. 巻 No.17-1
2. 論文標題 コンパクトシティ政策と広域連携施策の連携に関する基礎的分析-都市機能の連携・分担に着目して-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 都市計画報告集	6. 最初と最後の頁 58-63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 竹下貴之
2. 発表標題 IIASAが作成した世界エネルギー需給シナリオの比較・検討
3. 学会等名 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹下貴之
2. 発表標題 九州における地熱発電のコスト競争力に関するモデル分析
3. 学会等名 第33回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹下貴之
2. 発表標題 九州における最適電源構成に関するモデル分析
3. 学会等名 第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹下貴之
2. 発表標題 原発再稼働の有無が九州の電源構成に与える影響に関するモデル分析
3. 学会等名 第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 梶秀樹, 和泉潤, 山本佳世子, 朝倉はるみ, 浅野聡, 阿部宏史, 氏原岳人, 押谷一, 片山健介, 鎌田裕美, 川崎興太, 木谷忍, 苦瀬博仁, 近藤光男, 瀬田史彦, 高尾克樹, 堂免隆浩, 徳永幸之, 秀島栄三, 若井郁次郎	4. 発行年 2017年
2. 出版社 技報堂	5. 総ページ数 332
3. 書名 自然災害 - 減災・防災と復旧・復興への提言	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	片山 健介  (KATAYAMA Kensuke)  (00376659)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科(環境)・准教授    (17301)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	時松 宏治  (TOKIMATSU Koji)  (50415717)	東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・准教授   (12608)	削除
連携 研究者	加藤 久明  (KATO Hisaaki)  (50536109)	大阪大学・産業科学研究所・特任助教   (14401)	