

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

再生可能都市への転換戦略
－気候変動と巨大自然災害にしなやかに対応するために－
(2-1706)
平成29年度～令和元年度

Transition Strategies to the Renewable City

- To Resiliently Cope with Climate Change and Large-scale Natural Disasters -

〈研究代表機関〉

名古屋大学

〈研究分担機関〉

関西大学

徳島大学

〈研究協力機関〉

大日本コンサルタント株式会社

令和2年5月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	1
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発の方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた主な成果		
6. 研究成果の主な発表状況		
7. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 再生可能都市のインフラ・土地利用戦略に関する研究 （名古屋大学）	・・・・・・・・・・	13
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた成果		
6. 国際共同研究等の状況		
7. 研究成果の発表状況		
8. 引用文献		
II-2 再生可能都市の低炭素・エネルギー戦略に関する研究 （関西大学）	・・・・・・・・・・	33
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた成果		
6. 国際共同研究等の状況		
7. 研究成果の発表状況		
8. 引用文献		
II-3 再生可能都市の気候変動適応・減災戦略に関する研究 （徳島大学）	・・・・・・・・・・	49
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発方法		

- 4. 結果及び考察
- 5. 本研究により得られた成果
- 6. 国際共同研究等の状況
- 7. 研究成果の発表状況
- 8. 引用文献

III. 英文Abstract

..... 69

I. 成果の概要

課題名 2-1706 再生可能都市への転換戦略—気候変動と巨大自然災害にシナヤカに対応するため—

課題代表者名 加藤 博和 (名古屋大学大学院環境学研究科 教授)

研究実施期間 平成29～令和元年度

研究経費(累計額) 91,034千円

(平成29年度：30,859千円、平成30年度：29,316千円、令和元年度：30,859千円)

本研究のキーワード 気候変動の緩和策、気候変動の適応策、サステナビリティ、レジリエンス、QOL、低炭素、エネルギー安定供給

研究体制

- (1) 再生可能都市のインフラ・土地利用戦略に関する研究(名古屋大学)
- (2) 再生可能都市の低炭素・エネルギー戦略に関する研究(関西大学)
- (3) 再生可能都市の気候変動適応・減災戦略に関する研究(徳島大学)

研究協力機関

大日本コンサルタント株式会社

1. はじめに(研究背景等)

日本では人口減少・超高齢化が既に急速に進んでおり、今後も継続することで、国全体で生活基盤をトップダウン的に維持・充実していくことが困難となる。その中で持続性を確保するためには、革新技術の導入や社会システム・生活様式の変更だけでは不十分であり、それらを下支えする国土・都市の空間構造自体の見直しが急務である。特に今後も市街地・集落の低密度化が止まらなければ、市街地維持費用や移動に係る環境負荷が増大し、持続可能性が環境／社会／経済の3側面(Triple Bottom Line、以後:TBL)いずれにおいても低下し、諸施策の効果を減殺してしまうことが強く懸念される。そこで、費用がかからず安全・安心かつ高いQuality Of Life(以後、QOL)を享受でき、エネルギー消費や環境負荷も少ない、すなわちwell-beingを確保できる都市域を長期間にわたって維持できるような土地利用への転換と、インフラの活用・再配置が求められる。また、長期的には脱炭素を目指しつつ、非常時には安定的にエネルギーが供給できる政策と技術、持続可能な都市・地域のための必須要件であるといえる。

一方、日本は巨大自然災害のリスクが高く、それへの備えも急を要する。東日本大震災や熊本地震などが極めて甚大な被害をもたらし、復興にも多大な時間と費用を要している。また、2018年の西日本を中心とした豪雨、2019年の台風15号・19号による豪雨など、極端気象による災害も頻発している。これらにおいて、都市部が災害に対して極めて脆弱であることが明らかとなった。さらに今後は温室効果ガス等による気候変動が進展し、巨大自然災害の激甚化が懸念されるにもかかわらず、国土・都市の空間構造がこのまま放置されれば、とても対応できず、巨大自然災害によって日本が一気に衰退してしまうことさえ考えられる。巨大自然災害を念頭におき、都市域はリスクの大きい場所を避け、なるべく生活や交通利便性の高い地域にコンパクトにまとめた上で災害対策を十分行うことが必要である。

このように、長期にわたって持続可能な都市を実現していくためには、平常時のTBL確保はもとより、巨大自然災害発生への備えも重要であり、さらにそれが気候変動によって激甚化することも念頭において、国土・都市の空間構造を変えていくことが必要である。関連する政策として、環境省は「地球温暖化対策計画」において、低炭素型の都市・地域づくりの推進を掲げている。また国土交通省は「国土のグランドデザイン2050」において、多様な生活サービスを集約した拠点を形成し、拠点間を交通網で結ぶ「コンパクト+ネットワーク」を目指すべき都市空間構造として掲げている。その推進に向けたマスタープランに当たる「立地適正化計画」を策定する自治体が増えつつある。しかし、これらに災害対策

や気候変動適応策も含めたより広い視野での政策はない。これは縦割りによる部分もあるが、根本的な問題として、これらを包括的に評価し政策を検討するためのツールが存在しないことが挙げられる。

以上のことから、平常時（長期）を念頭に置いた持続可能性（以後：Sustainability）と災害時（短期）を念頭に置いたレジリエンス（以後：Resilience）の両面を同時に評価できるシステムの開発が不可欠である。そしてその中には、気候変動緩和策（低炭素化）と適応策が含まれている必要がある。さらに、低炭素化を進める際に重要となるエネルギー施策については、東日本大震災後の計画停電や、2019年台風15号での強風による長期間停電によって、非常時供給確保に関する地域単位での取組の必要性が注目されており、それも検討できるようにしなければならない。これらの評価が可能なシステムを構築し、自治体の都市空間構造更新戦略の立案・実施の支援に適用できるようにすることが求められる。

2. 研究開発目的

日本の既存都市が今後の人口減少・超高齢化を乗り越えて持続可能となる形である「再生可能都市」となるための更新戦略を見出せるようにし、それが全国の都市で行われるようにすることが我々の最終目的である。そのため、都市を構成する建物・インフラが徐々に更新されていくタイミングに働きかけて漸次的に都市空間構造を変えていき、中長期で「再生可能都市」へと転換していくための戦略を地域主体で立案し実施する際の支援ツール（評価システムなど）を整備することが本研究の目標である。そして、構築したツールを実際の都市へ適用・評価し、「再生可能都市」への転換戦略の基礎的知見を得る。

「再生可能都市」とは、気候変動（緩和・適応）・エネルギー危機・巨大自然災害という「3つの脅威」に対して、人口減少や超高齢化、インフラ・建築物の劣化進展を踏まえ、ハード面だけでなくソフト面も合わせて、脅威をうまく受け流して「しなやかに」対応できる空間構造を有するとともに、ResilienceとSustainabilityを両立した都市のことと定義している。これまで3つの脅威は、別個に対応が検討されてきたが、本研究は総合的に対応することが必要であり、そのために都市空間構造を変更していく必要があるという認識に立つ。

そこで、実際の都市を対象に、環境／社会／経済のTBLの各側面からなる長期的な持続可能性のSustainabilityと、巨大自然災害発災後のダメージの少なさや回復過程の速さから成る短期的なResilienceの両要素を同時に評価できるシステムを開発する。

別途「再生可能都市実現に資する施策メニュー」として、立地・交通施策とエネルギー・環境施策を整理したものを作成しておき、このシステムを用いて、都市の建築物・インフラの更新進展に合わせて施策群をメニューの中から選択して導入することの評価を行い、中長期的に都市のSustainabilityやResilience向上につながるようにしていくための施策ロードマップを見出せるようにする。結果を地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）や地域気候変動適応計画、その他関連計画の策定・実施に活用できるようにするため、実際の都市への適用を通じて、評価システムの出力を政策立案・合意形成に利用することで社会実装を進める。

3. 研究開発の方法

（1）再生可能都市のインフラ・土地利用戦略に関する研究

① SDGs評価チェックリスト・データベースの作成および持続可能性評価システムの構築

以降で使用する評価システムを適用する前段として、都市あるいはその内部の地区単位での持続性評価を簡易に行う方法を構築した。これを用いることで、具体的にどの地区や対象分野が問題になっているかを概括することができ、②で開発したシステムを用いて自治体・地域が「再生可能都市」への転換戦略を考える糸口にもなる。

② 都市・街区のSustainabilityとResilienceを同時に考慮できる評価システムの開発

都市が「気候変動」（緩和／適応）「巨大自然災害」（地震・津波／洪水・高潮等）「エネルギー危機」（脱炭素化・安定供給）という持続性への3つの脅威に対し、人口減少・超高齢化局面



図3.0.1 再生可能都市実現の枠組み

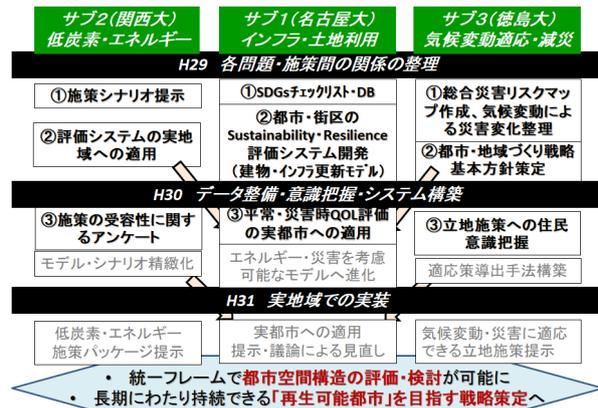


図3.0.2 各チームの役割

であっても対応できる都市空間構造を有する「再生可能都市」へ転換していくために、平常時の持続可能性のSustainabilityと災害時のResilienceの両方を同時に評価できるシステムを開発した。

平常時に関しては、TBLの各側面として、環境「GHG排出量」、社会「生活の質(QOL)」、経済「市街地維持更新費用」を代表的な評価指標とし、各側面についてさらに詳細な指標を評価して、その値と統合評価値のいずれも活用できるようにした。QOL統合評価値は余命指標(生活の質の向上/低下を、命<余命>の延長/短縮として表現)を用いた。さらに、QOL向上を環境面・費用面それぞれの効率性で表現する環境効率・費用効率値を定義し、評価に用いた。このうちCO₂排出量については、排出の原因となるもののうち交通・民生家庭・インフラの各要素の量にライフサイクルCO₂原単位を乗じて推計した。

災害時に関しては、巨大自然災害(本研究では、地震・津波、水害・土砂災害・高潮を取り上げる)に伴う人的被害と経済的被害(建物・インフラへの被害)を評価した。前者は生命・健康への被害(死亡も含む)と生活環境への被害の2つを取り上げた。いずれも「平常時の健康な人に比べ、災害に伴ってどの程度生活の質(QOL)が低下したか」で評価し、余命指標を用いることで平常時QOL評価と整合をとる。ただし災害時は生命維持や衛生確保が困難な状態までQOLが落ち込む可能性があり、平常時の評価体系とは全く異なるものとなる。特に住宅・インフラが使用不能となることによるQOL低下とその後の回復を1日刻みで評価するモデルを構築し、Resilienceを定量把握することを可能とした。

本システムのうちエネルギー・低炭素性に関する部分は、サブテーマ(2)と協力し、平常時の低炭素性と災害時のエネルギー安定供給に関する検討が可能なモデルを組み込んだ。

③ 実都市・地域への適用

本研究では対象地域として三重県松阪市と徳島県東部都市圏を選定した。いずれも中心市街地の拡散によって低密度化が進んできた、日本の典型的な地方都市圏である。低炭素化促進や気候変動適応に関わる施策検討を考慮しており、一方で津波・洪水などの巨大自然災害の危険性が高く、本研究によって可能となる都市の評価や施策検討に適している。

ケーススタディーにあたって、サブテーマ(3)と共同で、平常時QOL算出のために対象地域を含む6県(徳島、三重、和歌山、高知、宮崎、鹿児島)の居住者を対象としてWebアンケート調査を実施し、QOLを構成する各要素間の重みを推定して評価に利用した。

分析する期間は、2015年(現状)から2050年までの35年間とし、5年ごとの推計・評価を行うものとした。まず人口・世帯フレームを将来推計した上で、それらがどのように分布するかについて、なりゆき(Business As Usual: BAU)に加え、コンパクト化を進める立地誘導シナリオ(更新時に漸次実施)をいくつか設定した。さらに交通施策やエネルギー・環境施策を更新に合わせて導入・普及していくことも含むシナリオとして設定し、これらの組み合わせに基づく将来推計・予測を行って、各評価指標の試算結果を比較し、より望ましい施策シナリオを見出した。この際、

平常時のTBL評価と災害時のQOL低下・回復及びエネルギー確保状況の評価を同時に算出し提示できるようにすることで、本研究が包含する「3つの脅威」を乗り越えられる「再生可能都市」を実現する都市構造案を検討できるものとした。

(2) 再生可能都市の低炭素・エネルギー戦略に関する研究

① 都市に関わる低炭素・エネルギーマネジメント施策シナリオの提示

本研究が主にターゲットとする都市・交通政策は、再生可能都市への転換戦略を進めるための都市・地域空間構造変更策に大きな影響を与える「立地適正化計画」と「地域公共交通網形成計画」である。これらと低炭素・エネルギー施策との関係を明確にするため、まず、既存研究や参考文献およびエネルギー関連会社へのヒアリング等を行い、今後予想される再生可能都市関連の施策を整理した。また、技術動向については新築・既築、戸建・集合住宅別に整理した。エネルギーマネジメント施策は、環境省および経済産業省資源エネルギー庁の報告を踏まえつつ新聞検索で最新動向を補足するとともに、特にエネルギーマネジメント上重要となるアグリゲータ等へのヒアリングなどを行って整理した。

② 施策の受容性に関するアンケート調査

各都市の住民の生活パターンや環境・エネルギー技術への意識および居住地変更意向などを把握するために、関西地域を中心に幅広い特徴を持った都市の市民を対象としてWebアンケートを実施した。調査結果をもとに、生活行動と環境意識に基づき生活パターンを分類した。その分類ごとに、転居を考えるとときの立地行動や、それに立地誘導施策が与える影響、そして環境負荷への影響を分析した。立地適正化計画における拠点形成区域や居住誘導区域の指定を意識して、世帯単位での所有形態や住居形態別の住居変動パターンを分析し、特に環境への影響を大きく左右するスマートハウスの採用意向を検討した。

③ 評価システムの実地域への適用

以上の分析を踏まえて、立地誘導地区に転居するタイミングで、各世帯が住居形態や所有形態に応じてどのような生活パターンをベースに環境・エネルギー技術に対応し、それが有効に低炭素・エネルギーマネジメント施策の有効化につながるかを分析した。そして、特に技術動向に応じてどのように進めるべきかについて提案を行い、それをサブテーマ（1）が開発した評価システムにおけるエネルギーシナリオとして利用し、シナリオ導入による低炭素性向上効果の検討に結びつけた。

また本サブテーマでは、都市の低炭素性に大きな影響のある交通部門のCO₂排出量の推計手法開発を行った。地方都市では立地施策を考慮できる推計手法を構築することはデータ制約等により難しい。そこで、道路交通センサスや国勢調査といった限られた利用可能データを用いて簡易に推計や施策評価ができる方法を開発した。これは、将来人口推移や、立地誘導施策、交通機関への環境エネルギー施策の実施に対応したものである。このモデルはサブテーマ（1）の評価システムの一部を成し、全体評価に寄与する。

(3) 再生可能都市の気候変動適応・減災戦略に関する研究

① 総合災害リスクマップの作成と気候変動による災害変化想定

ハザードマップ等の公表データをもとに、研究の対象地域において地震・津波、洪水、土砂災害に関する総合災害リスクマップを整備した。さらに、気候変動やその適応策に関する関連既往研究や指針を整理・考察し、気候変動による災害変化シナリオを想定した。

② 立地施策への住民意識把握

近居家族が同時被災しない『リスク分散型近居』が災害後生活再建期間を短縮するという既往研究成果をもとに、地震・津波、洪水、土砂災害の経験者を対象にWebアンケート調査を実施し、生活再建短縮効果をモデル分析した。この成果および気候変動による災害変化を考慮した災害時レジリエンスの評価指標を開発した。

次に、サブテーマ（1）で開発した災害後のQOL低下および回復傾向の推計手法を用いて、徳島地域での立地選好の意識調査とモデル分析の結果を組み込んで分析を行った。QOLは、交通便利性（職場・学校・買物・医療施設までのアクセシビリティ）、居住快適性（居住床面積・空家率・緑地面積）、安全安心性（地震・洪水被害の死亡確率・損失余命）といった生活居住環境を左右する物理量と、そこに居住する住民の主観的な価値観を表す重みとの積和によって決定される。本研究では、転居経験者および転居予定者を対象としたアンケート調査を実施し、各項目の評価要素の重視度（ウエイト）を年齢別に推定し、現状（2015年）および将来（2050年）の評価値を算定することができた。

③ 都市・地域づくり戦略基本方針策定と実装可能性検討

徳島県内で立地適正化計画・地域公共交通網形成計画を検討している市町村および徳島県都市計画担当者との研究会、沿岸集落地域での事前復興計画策定への参与分析を進め、都市・地域づくり施策に資する情報を収集し、減災・持続可能性・地域継承の視点から都市・地域の土地利用施策を中心とした適応策を検討した。これに基づき、気候変動適応・減災を意識した都市・地域づくり戦略の基本的な方向性を設定した。なお、評価対象地域の地域づくりシナリオを整理し、上記で開発したレジリエンスおよび総合的なQOLの2つの視点からの指標での評価を行った。さらにCO₂排出量推計モデルを構築・適用し、低炭素性の面からも検討を行った。これらの評価の結果に、地域の受容性や社会実装性を念頭に置いた施策展開を行うべく、政策担当者との討議を行った。

上記の検討をもとに、評価対象地域の立地変更戦略として、自然災害の高リスク地域からの撤退（高リスク地域撤退策）、立地適正化計画や都市計画マスタープランで想定される利便地域への人口誘導策（交通便利性・居住快適性向上）を設定し、評価システムを用いて指標を算出し、その結果を用いて政策担当者との討議を行い、リスクコミュニケーションへの適用を試行した。

4. 結果及び考察

（1）再生可能都市のインフラ・土地利用戦略に関する研究

対象地域のSustainabilityとResilienceを簡易に評価するため、国連のSDGs（Sustainable Development Goals）、特に目標11「住み続けられるまちづくりを」に対応した評価指標群として「住宅」「交通」「都市計画」「地域資源」「災害脆弱性」「環境汚染」「公共空間」を特定し、公開データを用いて各指標を評価する手法を構築する。これらの指標は地方自治体の諸計画との関係をあらかじめ整理しており、評価結果から各計画のどこを見直せばよいかを理解できるようにした。これを用いて地方自治体などの施策適用を想定したケーススタディーを行った。対象地域は、三重県松阪市・徳島県都市計画区域を対象にした。得られた結果は、いずれも評価指標ごとの空間分布（都市部・中山間地域・海岸部など）と小学校区単位の総合評価の結果を通じて、それぞれの地区に応じた課題が一覧でき、各地域での取り組み目標が確認できた。

これを踏まえ、平常時の社会／環境／経済のTBL各側面でのSustainabilityと、巨大災害に対するResilienceを同時に評価できるモデルシステムを構築した。このシステムを用いて三重県の松阪市と徳島県の都市計画区域を対象にケーススタディーを行った。まず、コーホート要因法による人口将来推計予測と、この結果を用いた建物・インフラ更新モデルや空家発生のシミュレーションモデルを結びつけ、各地区の更新や撤退・集約のあり方を検討する方法論を構築した。解析単位は500mメッシュを中心に行っているが、地域計画の用途などにより、町丁目（小学校区など）単位での解析も可能にした。

これらの評価に必要なデータは、1)建物・インフラといった空間構造のデータ、2)その上で活動する人口・世帯やその交通行動・生活様式といった活動のデータ、3)それらから各指標値を算出するためのパラメータ（QOLの余命換算値やCO₂排出量原単位など）である。特別な調査を行わずとも入手できるデータを用いても推計ができるようにしており、さらに対象地域に関する詳細データが得られれば、より精度を高められるように考えている。また、1)についてはコーホートモデルによって将来の更新プ

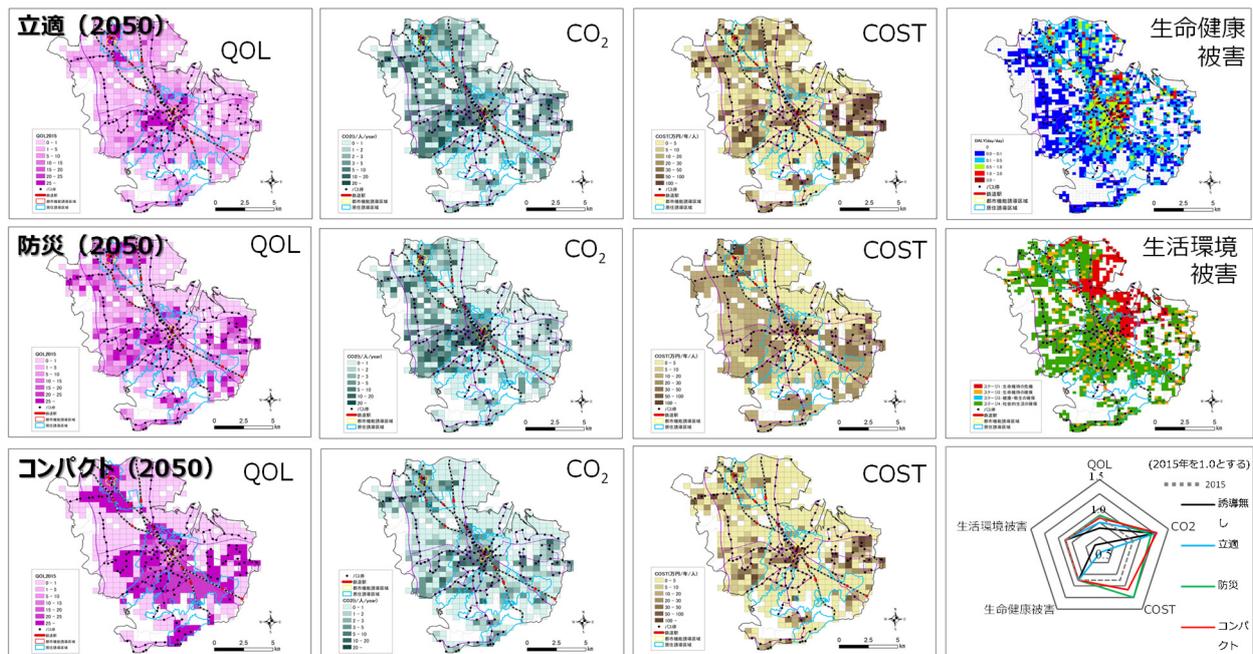


図4.1.1 立地誘導シナリオ評価（平常時・災害時・総合評価）

プロセスを追跡できるようにしており、それに応じて2)も変化することで、将来にわたる評価と施策検討を可能とした。

適用結果とその考察について、ここでは紙幅の制約上、三重県松阪市のみについて述べる。

平常時について、環境効率（QOL/CO₂）と費用効率（QOL/費用）は同様な傾向がみられる。両方とも鉄道沿線を中心とした人口の多い住宅地が比較的高くなっている。一方、人口密度が低い東西の農村地域や海岸部の郊外地域においては、特に、1人当たりのCO₂排出量や市街地維持・更新費用が非常に高く、環境効率・費用効率とも低いことが明らかになった。また、なりゆき（BAU）と立地集約シナリオについて将来予測を行ったところ、現状の立地適正化計画やハザードマップ型の撤退・立地誘導だけでは、低密度化している東西側の郊外地域における長期的な持続可能性には課題があることが示唆された。

災害時においては、地震動・津波による直接の死傷者数は津波による死亡者数は少ないものの、都心部を中心に地震動による被害が多い。生命健康被害と生活環境被害はともに郊外地域において1次被害が少ないものの、回復スピードが遅いことが問題である。さらなる2次被害が懸念され、事前対策として、復旧支援のための道路網・ライフラインやインフラなどの冗長性確保重複整備、住宅、医療・福祉施設、避難所などの耐震化、事後対策としては発災後の20～30日間の物資支援や救援活動、病院・福祉施設などの対処がResilienceの向上に、特に2次被害を防ぐために非常に重要となっていることが示された。

平常時の低炭素化と災害時のエネルギー安定供給を両立させる施策の導入を検討すべく、サブテーマ（2）と共同し、既成市街地における立地誘導とエネルギーシステム導入を同時かつ漸次的に実行するプロセスを組み込んだ市街地更新を評価できるモデルを開発し、松阪市の都市計画区域に適用した。導入したシナリオについて、施策メニューとしては、「誘導無し：BAU」、「立適（立地適正化計画型誘導）」、「防災（ハザードマップ型撤退策）」、「コンパクト（立地適正化計画とハザードマップを合わせた撤退・集約）」の4種類を、技術メニューとしては、現状方式の「集中型」から「オール電化」、建物個別単位の「分散型・建物」と街区単位の面的利用の「分散型・街区」を組み合わせ、16のシナリオを設定した。その結果、立地誘導がCO₂排出量と非常時エネルギー供給率に与える効果は、片方が改善すれば、もう片方が悪化するというトレードオフの関係にあることが明らかになった。特に、環境負荷という観点で、「分散型（建物）」は「オール電化」と効果はほぼ同等であるが、非常時のエネルギー供給力に大きな差があることが確認できた。また、「分散型（街区）」は、住宅地において高い効果を発揮する一方で、中心市街地では効果が低くなるため、立地誘導の際は適切な用途混合を考慮すると、非常時エネルギー供給率およびCO₂排出量への効果がより高まることが明らかになった。

(2) 再生可能都市の低炭素・エネルギー戦略に関する研究

低炭素・エネルギーマネジメント施策においては、拠点地区や立地誘導地区が基本的に公共交通拠点周辺であるため、人口密度の低い地方都市を除けば集合住宅が配置される可能性が高く、新築だけでなく既築住宅への導入も考える必要がある。そのためには、既築戸建でも導入可能な太陽光、既築・集合住宅に導入可能なエネファームなどをベースとした普及を考慮しつつ、他の技術を飛躍的に導入可能な転居時新築ZEHに期待が寄せられる。これを踏まえて、市民アンケートで導入意向を聞いたところ、促進のためには低炭素・エネルギーマネジメント施策のパッケージ化の必要性と導入プロセスへの配慮が必要であることがわかった。

アンケートから、環境意識の高い人は全体の3割弱、経済的メリット層においては約4割であり、エネルギー技術の価格や補助金によって導入率が変わってくる可能性が高いことが示された。また、環境意識と平均外出時間割合などの調査結果より、生活パターンが大きく4つに分類できたので、それぞれの特徴を整理した。戸建居住世帯は環境意識が高い傾向があり、スマートハウスへの転居意向も高いが、全員外出率が低いことが多く、その場合は電気使用量が高くなることが分かった。一方、どの分類でも都心・駅勢圏への転居意向が高いことが確認できた。このことから、環境意識の高い層をスマートハウス等の導入の先駆けとなる層と位置付け、短期転居層の転居行動タイミングを逃さずに施策を展開することで、潜在的に存在する都心・駅勢圏への転居意向を顕在化させる工夫を行うことで、立地集約と低炭素化を同時に進展できることが示唆された。

次に、実際の都市（滋賀県長浜市と兵庫県西宮市）を対象に、立地行動による環境への影響を調査・分析した。長浜市は立地適正化計画を採用しない方針である。西宮市は立地適正化計画を2019年7月に公表しコンパクトな都市構造を設定しているが、環境・エネルギー施策との関連付けは不明確である。節電に関する市民の取組意向や、新しい環境・エネルギー技術の導入意向の評価を行ったところ、両都市の相違は大きくなかった。一方で技術導入意向については、長浜市民は自身の判断で導入する傾向が見られるのに対し、西宮市民は同じマンションや町内会の導入に影響を受ける傾向があった。よって、コンパクトな地区形成においては地域コミュニティの状況などを勘案して政策をデザインしマネジメントしていく必要性を確認できた。また、西宮市においては2030年までの期間でも地域拠点形成区域への転居意向が高く、必ずしも集合住宅のみではなく戸建住宅も視野に入れていることが確認できた。住宅タイプ別に違いはあるもののスマートハウスの選択意向も認められる。したがって、直近での立地誘導施策が効果的であり、長期的な立地集約を後押しできる可能性があることが確認できた。

以上をはじめとした諸分析を踏まえ、低炭素・エネルギーマネジメント施策パッケージの導入プロセスを提案した。施策の中核となるスマートハウス導入について、経済負担によっては約7割の負担削減が必要となるため、十分な負担削減を実施するか、さらなる技術開発を待つ必要があることが確認された。住宅をベースとした環境・エネルギー機器の導入時期は建替などの更新タイミングが効果的であり、密度が低い地域においては対象市民の動向を探りつつ、環境意識の高い層での先導的普及と、周辺コミュニティでの導入に追随して全体に普及していくことを、明確にした政策プロセスが求められる。省エネ技術の導入においては、環境意識の高い人による先導にその周りの人が追随する普及では限定的な部分でしか普及が進まないと考えられる。また、低費用の開発が早めに進めば、環境意識の高い人と経済負担によって導入を見込める。高い環境意識がある人々や高収入な人々を高環境意識グループとし、居住誘導地区での既存居住・新築立地によるコミュニティで新環境技術（製品）の導入の先駆けになることが示唆され、低所得者を経済的メリットグループにおいては、普及状況を観察・追随し、経済的メリットを踏まえた追随層になるための働きかけが必要であることが示唆された。

また、本サブテーマではサブテーマ（1）と連携し、都市の低炭素性に大きな影響のある交通部門のCO₂排出量の推計手法開発を行った。三重県松阪市を対象にCO₂排出量の推移を推計したところ、全車ガソリン車と仮定した場合、2050年には人口減少等で約17%の削減（2015年比）となるが、立地集約施策を導入した場合はさらに約3~7%削減される結果となった。ただし、公共交通等への移行はほとんど現れていない。もともと自動車依存が非常に強い地方都市では立地誘導だけでは不十分であり、交通施策との

連携によってCO₂排出量削減効果が大きくなることが示された。

(3) 再生可能都市の気候変動適応・減災戦略に関する研究

サブテーマ(1)と共同で開発した評価システムを徳島東部都市圏に適用し、評価を試みるとともに、災害後の生活再建年数に着目したレジリエンス評価および居住環境評価に基づき、地域づくり戦略の有効性を検証した。

まず、総合災害リスクマップの作成のために、公表されている災害別のハザードマップを用いて総合化した災害リスクの評価方法および気候変動に伴う変化を簡便に想定する方法を考案した。徳島県における津波浸水予測(L1・L2)、洪水浸水予測(浸水域、家屋倒壊等氾濫想定区域)、土砂災害警戒区域(イエローゾーン)、土砂災害特別警戒区域(レッドゾーン)に関するデータを収集・整理した。その後、総合災害リスクの算定は、既往研究などをもとに津波、洪水、土砂災害の災害発生確率を設定した。被災率については、被害が想定されるエリアに外水氾濫が発生する場合、ハザードマップをもとに想定浸水域内の建物数と実際の浸水域内の建物数の割合を求め、津波による被災率は1.0、洪水と土砂災害による被災率は予測浸水域、レッドゾーン、イエローゾーンの10%が被災すると想定して0.1と設定した。

次いで、今後の気候変動による災害変化を想定した。IPCC第5次評価報告書によると、0.25m海面が上昇した場合、L1津波浸水域、L2津波浸水域がどのように変化するかをGIS上で確認し、L1・L2津波浸水深に0.25mを加えた。降雨量の変化については既往研究を参考し、2000年に対して2050年は1.2倍、2100年は1.4倍に増加することが示され、2050年までの土砂災害と洪水災害の発生確率の想定値が0.7から1.0に上昇すると考えた。

一方、津波、洪水、土砂、地震災害の経験者を対象にWebアンケート調査を実施し、生活再建短縮効果を分析した。その結果、災害種別に限らず、被災住民にとって、被災が軽い別居家族が近くに居住することで支援が得られることに期待していることが分かった。災害別の生活再建年数を被説明変数とするモデルを同定したところ、自宅から30分以内に近居する家族がいる場合、生活再建年数が短くなっていた。この結果をもとに、リスク分散型近居の有無や近居家族までの時間距離によって説明される生活再建年数のモデルを作成し、災害リスクに対するレジリエンス評価指標の開発に採用した。

その上で、評価対象地域におけるまちづくり戦略を検討するために、「BAU」「高リスク地域撤退」「交通アクセス向上による立地誘導」「高QOL向上地域への集約」の4シナリオに、災害を考慮した「近居促進」「インフラ整備による防御」の2シナリオを組み合わせ、それらによる災害リスク低下の効果を検討した。結果、L1津波、計画降雨、レッドゾーンの土砂災害によるリスクは、インフラ整備により大幅に低下することが分かったが、気候変動による災害激甚化後のL2津波や最大降雨による洪水などでは、リスクはほとんど低減できないことが明らかになった。このとき、近居促進策によって約5%程度のリスク低減が見られ、インフラ整備と組み合わせれば約17%程度の低減が見込まれる。心理的な安心感などの副次的な効果も含めると、リスク分散型近居とインフラ整備を組み合わせることで戦略に組み込むことの重要性が示唆された。

徳島県の場合、QOLを左右する交通利便性や居住快適性が高い人口集中地域はほぼ災害危険地域であり、そこから撤退するのは現実的ではない。高リスク地域撤退策ではリスク低減効果が非常に大きい反面、高台等への移転によって平常時QOLが低くなる結果となった。交通利便性向上による立地誘導はQOL向上もリスク低減も効果が小さく、他施策との組み合わせによってはじめて効果を高めることが示唆された。高QOL地域への誘導策は約2.4%の低減効果が見られるが、インフラ整備と近居施策を加えることで約20%に向上した。これらの結果を踏まえ、QOLが高い地域に人口を集約させることで市街地のコンパクト化を図り、かつ、インフラ整備と近居促進も合わせて行うことで、災害リスクの減少とQOL向上を両立させた市街地形成を目指すことが重要であると示唆された。集約先地域は、徳島市中心部だけでなく、概ね各市町の拠点が含まれている区域であることが分かった。

さらに、まちづくり戦略シナリオの低炭素性についても確認した。対象地域でのCO₂排出量推計モデルを構築し適用した結果から、BAUと比較して、撤退シナリオでは9%の排出量が増加し、誘導シナリオではほぼ同程度となるのに対して、集約シナリオでは6%の排出量の削減と推計された。QOL向上のための集約

により、CO₂排出量の削減も可能となった。この結果より、高QOL地域への集約策が評価対象としたシナリオの中では比較的望ましい地域づくり戦略であり、このシナリオによって利便性の高い地域に人口が移動するため、CO₂排出量を削減する効果もみられる点が評価できる。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

- 従来、都市・地域の低炭素性を含む Sustainability 評価と、巨大自然災害に対する Resilience の評価は、全く別個の研究として行われてきた。しかし、気候変動の緩和と適応を同時に考慮でき、かつ人口減少・超高齢化に対応するための施策を検討するには、両方を同時に評価できるフレームワークが必要である。本研究で初めてそれを実現できた点は画期的である。
- さらに、これらの評価検討を実都市について小地区単位の解像度で行うことを可能とし、さらに建物・インフラの更新に合わせて立地変更や新技術導入といった施策を漸次進めて中長期的に都市を転換させていく過程をモデル化した研究は存在しない。転換のプロセスを経年的に追うことができ、長期間の合計で CO₂ 排出量を最小化することも検討可能な方法論である。
- 建物・街区スケールでの環境配慮・創蓄省エネルギー技術導入方策と、建替などの都市更新タイミングとの組み合わせによる CO₂ 削減・費用低減効果が評価できる。さらに、エネルギー施策を低炭素性と非常時安定供給の両面から検討できる方法論を構築できた点が画期的と考える。
- 構築した評価システムを用いて、地域の特性に応じ、平常時 Sustainability 評価と、巨大自然災害 Resilience 評価を同時に高めるための長期都市戦略を導き出す方法論が確立できた。例えば三重県松阪市への適用から、「災害危険地域撤退」「鉄道沿線への集約と災害防御策実施」「集約地域への集中的なエネルギー技術導入」を組み合わせることで、Sustainability・Resilience 評価のいずれも大きく向上できることが見出せた。徳島東部都市圏では、気候変動を考慮した災害時レジリエンス評価および平常時 QOL 評価の手法が既存データを用いて適用可能となり、リスク分散型近居による Resilience 向上効果と、その際に懸念される QOL・CO₂ の悪化を緩和する施策の検討が可能となった。また、地方部に典型的な、密度が低いため集約が必要な都市周辺地域においては、環境意識の高い市民への先導的普及を契機に、周辺コミュニティでの導入に追随するという意識を活用して、立地集約と低炭素化を同時に進めていくための施策実施プロセスの有効性を明らかにすることができた。以上のように、脱炭素を目指した環境・エネルギー施策を都市コンパクト化のための建物・インフラ更新過程で絶え間なく行うことによって、既存都市であっても Sustainability と Resilience 評価の着実な改善に進めていけるという政策ロードマップが定量的に描けるようになったことに科学的意義がある。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- 徳島東部都市圏でのケーススタディーにおいては、徳島大学と徳島県・徳島市ほか自治体で「再生可能まちづくり研究会」をつくり、定期的な会合で意見・情報の交換を進めながら行った。その過程で、名古屋大学・関西大学の研究者も入り、データ収集・モデルシステム構築を進め、結果を提供し意見をいただいた。その結果、コミュニティ強化による減災や人口減少回避の効果を明らかにし、地域のまちづくり計画に反映されたり、公共交通網整備に伴う効果の計測結果を踏まえたサービス改善策推進に活かされたりするなどの具体的な成果につながった。さらに次期立地適正化計画改定に向け、都市計画部局と防災など他部局との連携が必要であることが認識され、本研究の評価システムがそれに有用であることも理解された。徳島県は 2020 年度に気候変動の適応戦略を策定する中で、まちづくり・都市計画と協議しつつ環境部局が危機管理部と一緒に取り組む体制が確立し、本研究の成果を活用し施策立案に活用していく予定となった。
- 松阪市についても、市の全面協力でモデルシステムの構築と計画評価への適用が可能となった。市

役所職員との意見交換を経て、本研究成果の次期計画への反映の道筋がたった。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 本研究で開発した評価システムは、大半のデータがWeb公開されている既存データを用いるため、全国の都市・地域へ適用可能であり、独自調査によってより詳細な分析も可能である。平常時のSustainability（環境／社会／経済の3側面）と巨大自然災害時のResilience（QOL低下抑制・早期回復とエネルギーセキュリティ）を同時に定量評価できる。これによって、既成市街地を対象として、立地・交通施策やエネルギー・環境施策全般の効果を多面的に検討できる。この中には、気候変動緩和・適応策検討、巨大自然災害対応、エネルギー施策検討が含まれる。
- ・ 環境・エネルギー施策と立地・交通施策をうまく組み合わせることによるコベネフィットが評価できる。実際の分析例では、立地誘導のみではCO₂排出量と非常時エネルギー供給率に与える効果が相反するところがある一方、市街地集約を進めつつ小地区ごとにエネルギーシステムを分散導入し、余剰エネルギーを有効活用することで両効果を同時に得られ、エネルギーの地産地消、歩いて暮らせる住環境整備を通じた住民のQOL向上や地域維持費用の軽減につながるなどの副次効果も生じるような代替案を見出すことができた。
- ・ 本研究で開発したシステムを用いると、立地適正化計画・都市計画マスタープランおよび地域公共交通網形成計画の策定や見直し検討、地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）や地域気候変動適応計画、地域エネルギー計画、そして地域防災計画の検討・評価に適用可能である。さらに多面的な評価が同時に可能であるため、多数の部局が本システムを活用し、そのアウトプットを共有することで、部局間の認識共有や諸計画・施策の整合性担保、縦割りを打破した総合的な対応を実現することが見込まれる。

6. 研究成果の主な発表状況

（1）主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) 戸川卓哉、加藤博和、林良嗣、森田紘圭、河村幸宏：地球環境(Vol. 22, No. 2, 121-130) (2017)
CO₂排出量・市街地維持費用・QOLの3指標による集約型都市構造の評価
- 2) 秋山孝正、井ノ口弘昭：地球環境(Vol. 22, No. 2, 145-152) (2017)
エージェントモデルを用いた地方都市における環境対応型の交通政策評価
- 3) 奥嶋政嗣、山中英生、渡辺公次郎：地球環境(Vol. 22, No. 2, 121-130) (2017)
津波災害リスクを考慮した都市構造の持続可能性についての分析
- 4) 程飛、山中英生、黒田慎也、尾野薫：土木学会論文集D3, 土木計画学(Vol. 74, No. 5, 475-482) (2018)
家族の空間構造と交流・支援・継承意識の関係分析
- 5) 井若和久、山中英生、浜大吾郎、奥嶋政嗣、渡辺公次郎：環境共生(Vol. 33, 5-12) (2018)
津波脅威下にある沿岸集落におけるリスク分散型近居に向けた実践とその展望（日本環境共生学会論文賞受賞 2019年9月）
- 6) 河合一輝、加藤博和、朴秀日、清水大夢、秋山祐樹：土木学会論文集D3, 土木計画学(Vol. 75, No. 5, 213-222) (2019)
低炭素性と災害時エネルギー供給確保を考慮した街区群更新の評価手法の検討
- 7) 山中英生、奥嶋政嗣、井若和久、渡辺公次郎：土木学会論文集D3, 土木計画学(Vol. 75, No. 5, 45-52) (2019)
リスク分散型近居による災害からの生活再建への寄与
- 8) K. WATANABE, H. Yamanaka and M. Okushima: Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management and Environmental Sustainability (573-578) (2019)
Disaster Risk Evaluation Considering Climate Change for Land Use Planning

- 9) 奥嶋政嗣、豊田晃太郎、渡辺公次郎、山中英生：土木学会論文集D3, 土木計画学(Vol. 75, No. 6, 171-180) (2020)
徳島都市圏での新築戸建住宅立地における災害リスク・近居・まちへの想いの影響分析
- 10) 奥嶋政嗣、山中英生、渡辺公次郎：環境共生(Vol. 36, No. 1, 32-43) (2020)
世帯特性を考慮した居住地選好の分析-津波リスクを有する地方圏を対象として-

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 朴秀日、加藤博和、石川佳治、山中英生、奥嶋政嗣、渡辺公次郎：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
地域のサステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる評価システムの開発
- 2) 河合一輝、加藤博和、長尾和哉、清水大夢、秋山祐樹：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
環境負荷とエネルギーセキュリティを考慮した地区更新過程の評価手法の検討
- 3) 森田紘圭、松山亜季、加藤博和：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
ESGの視点からみた都市交通政策の課題と評価のあり方に関する考察
- 4) 清水大夢、加藤博和、山本通寛、河合一輝、秋山祐樹：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
巨大自然災害による生活環境悪化と生命・健康被害の経時変化に着目した地域のレジリエンス評価
- 5) 井ノ口弘昭、北詰恵一：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 57, (2018)
再生可能都市における土地利用と交通行動に関する分析
- 6) 奥嶋政嗣、渡辺公次郎、山中英生、豊田晃太郎：土木計画学研究・講演集, Vol. 57, (2018)
世帯異質性を考慮した地方都市圏における居住地環境の評価構造に関する分析
- 7) 山中英生、程飛、奥嶋政嗣、渡辺公次郎：土木計画学研究・講演集, Vol. 57, (2018)
リスク分散型近居による災害からの生活再建への寄与
- 8) 渡辺公次郎、山中英生、奥嶋政嗣：土木計画学研究・講演集, Vol. 57, (2018)
徳島都市圏における総合的な災害リスク評価に関する研究
- 9) 朴秀日、加藤博和、清水大夢、大野悠貴、石川佳治、山中英生、奥嶋政嗣、渡辺公次郎、井若和久、秋山祐樹：土木計画学研究・講演集, vol. 58, (2018)
気候変動に対応した地域のサステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる評価手法
- 10) 加藤博和、朴秀日、大野悠貴、山中英生、北詰恵一、奥嶋政嗣、渡辺公次郎、井ノ口弘昭、井若和久：環境科学会 2018 年会口頭発表、IC-1030, (2018)
再生可能都市の実現に向けた空間構造変更策の検討手法
- 11) 加藤博和：第 13 回日本 LCA 学会研究発表会 (2018)
サステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる都市評価モデルの提案
- 12) 河合一輝、加藤博和、長尾和哉：第 13 回日本 LCA 学会研究発表会 (2018)
環境負荷削減とエネルギーセキュリティをともに担保できる地域施策評価手法の検討
- 13) 加藤博和、朴秀日、大野悠貴、山中英生、北詰恵一、奥嶋政嗣、渡辺公次郎、井ノ口弘昭、井若和久：環境科学会 2018 年会 (2018)
再生可能都市の実現に向けた空間構造変更策の検討手法
- 14) 奥嶋政嗣、豊田晃太郎、渡辺公次郎、山中英生：土木計画学研究・講演集, Vol. 59, (2019)
徳島都市圏での新築戸建住宅立地における災害リスク・近居・まちへの想いの影響分析
- 15) 加藤博和、朴秀日、大野悠貴：環境共生学会 2019 年会 (2019)
巨大自然災害に伴う地域住民の健康・生活環境被害の空間分布推計—余命指標の適用—
- 16) 奥嶋政嗣、山中英生、渡辺公次郎：環境共生学会 2019 年会 (2019)
災害リスクを有する地方都市圏における居住地環境の評価構造に関する分析
- 17) 朴秀日、長尾和哉、大野悠貴、加藤博和：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 60, (2019)
低炭素化と非常時エネルギー供給を両立できる既成市街地更新モデルの評価

- 18) 朴秀日、山本通寛、橋本拓実、大野悠貴、加藤博和、石川佳治、秋山祐樹：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 60, (2019)
気候変動による洪水リスク増加を考慮した地域のレジリエンス評価
- 19) 森田紘圭、松山亜季、加藤博和：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 60, (2019)
SDGs11 に対応したコミュニティ持続可能性評価システムの構築
- 20) 本多夏芽、北詰恵一、井ノ口弘昭：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 60, (2019)
都市における世帯のエネルギー需要パターンからみた政策プロセスの在り方
- 21) 渡辺公次郎、山中英生、奥嶋政嗣：土木計画学研究・講演集, Vol. 60, (2019)
徳島都市圏における気候変動を考慮した災害リスク評価とその対策に関する研究
- 22) 奥嶋政嗣、渡辺公次郎、山中英生：ファジィシステムシンポジウム講演論文集, Vol. 35, 482-486 (2019)
世帯の異質性を考慮した地方都市圏における居住地環境の評価モデリング
- 23) 朴秀日、加藤博和、大野悠貴、石川佳治、北詰恵一、井ノ口弘昭、秋山祐樹：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 61, (2020)
気候変動に対応した地域のサステナビリティとレジリエンスの評価手法と実都市適用への試み
- 24) 橋本拓実、朴秀日、大野悠貴、加藤博和：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 61, (2020)
気候変動に伴う高潮リスク増大への都市域の適応策の評価枠組—災害後の QOL 低下と回復に着目して—

7. 研究者略歴

研究代表者

加藤 博和

名古屋大学大学院工学研究科修了（博士・工学）、現在、名古屋大学大学院環境学研究科教授

北詰 恵一

東北大学大学院工学研究科修了（博士・工学）、現在、関西大学環境都市工学部都市システム工学
科教授

山中 英生

京都大学大学院工学研究科修了（博士・工学）、現在、徳島大学大学院社会産業理工学研究部教授

II. 成果の詳細

II-1 再生可能都市のインフラ・土地利用戦略に関する研究

名古屋大学

大学院環境学研究科 加藤 博和

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：43,350千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：14,609千円、平成30年度：14,002千円、令和元年度：14,739千円）

【要旨】

急激な人口減少や超高齢化が進む中、気候変動（緩和・適応）、巨大自然災害（地震・津波・洪水等）、エネルギー危機（再生可能エネルギー確保・非常時対応）といった都市の持続可能性への脅威に対応できる空間構造を有する都市を「再生可能都市」と本研究では定義する。その実現が本研究の最終目的である。それに向けた長期的かつ漸次的な都市空間構造変更の必要性を地域が納得し、転換戦略を主体的に立案・実施することを支援する統合評価システムの開発を目標とする。構築したシステムを実際の都市へ適用し、評価結果の妥当性や有用性を検証した上で、転換戦略策定への反映手法を提案する。

開発したシステムは、都市域の小地区単位で、平常時における環境／社会／経済のTriple Bottom Line（TBL）各側面に着目したSustainabilityと、巨大自然災害発生時における生命・健康被害と生活環境被害の低減・早期回復に着目したResilienceの2つを同時に評価できる。このシステムを用いて、再生可能都市への転換に向けた集約拠点形成および立地誘導といった施策を、環境・エネルギー施策とともに推進することによる効果の評価を可能とした。さらに、それを用いた地域主体での施策検討方法について、実地域での評価試行と現地担当者との意見交換によって検討した。

本システムは特別の調査をせずとも全国の都市に適用できるものとしている。実都市として三重県松阪市の都市計画区域へ適用した結果からは、災害時Resilienceを改善するため災害危険性が高い地区から安全な地区へ誘導した場合、QOLが低下し環境・費用効率も悪化するため、都市機能施設を利用しやすい生活利便性の高い地域で災害防止策を講じ、漸次的に立地を誘導することが求められる。このとき、エネルギー利用特性や職住近接などの観点から用途混合を進めることで、分散型エネルギーシステムの創・蓄・省エネルギー効果および非常時エネルギー供給を費用効率的に改善できることが示された。結果として、災害に強く、QOL向上や費用逡減のみならずCO₂排出量も削減できた。このようにして示された「再生可能都市」への漸次的な転換を後押しする戦略として、「土地利用・インフラ」「気候変動の適応」「低炭素・エネルギーセキュリティ」の各施策を一体的に進めることで、平常時のSustainabilityと災害時のResilienceが同時に向上できることが示された。

【キーワード】 都市空間構造、気候変動緩和策・適応策、持続可能性、レジリエンス、
低炭素・エネルギーセキュリティ

1. はじめに

日本の都市・地域の大半で人口減少・超高齢化が急速に進展し、国全体で生活基盤をトップダウン的に維持・充実していくことが困難となる中、人間社会の持続性への脅威に対応できるような国土・都市に転換していくための戦略立案・実行が急務である。特に、地方部では今よりさらに市街地の低密度化が進行すると、市街地維持コストや移動に係る環境負荷が増大し、都市の持続可能性が大きく低下してしまうことが懸念される。このことを念頭に、環境省は「地球温暖化対策計画」において低炭素型の都市・地域づくりの推進を掲げている。また国土交通省も「国土のグランドデザイン2050～対流促進型国土の形成～」において、多様な生活サービスを集約した拠点を形成し、拠点間を交通網で結ぶ「コンパ

クト+ネットワーク」を、目指すべき都市構造として掲げている。しかし、このような都市空間構造によって支えられた持続可能な都市・地域を形成していくためには、具体的な効果影響や必要な施策などを関係者に理解して頂けるような形で提示できていない現状を打破する必要がある。そもそも、上記で示された都市構造が、低炭素性だけでなく経済・社会面、そして近年重要性が増している巨大自然災害への対応の面からも、目指すべき方向として妥当なのかどうかの検証は不十分である。

低炭素都市に関する従来の調査研究や実証は、新しく開発された都市・市街地を対象に、最先端の要素技術を集中的に導入する施策・事業が多く行われてきた。しかし既存都市では、現状からの転換が可能かどうかはまず問題であり、可能であっても長い時間がかかるため、その途中経過も合わせて考えることが必要である。そのため、単なる前後比較、with/without比較でなく、転換の過程から実現までを通した時系列評価を行うことが求められるが、これまで行われてこなかった。そこで、都市の建物やインフラが更新されるタイミングで立地施策や環境・エネルギー施策の実施と、時間をかけて転換していく過程のモデル化を行い、それらを組み込んだ評価システムの構築が必要である。

そして持続可能な都市には、低炭素性のもとより、安全・安心で快適かつ利便性の高い居住環境を支える、建物やインフラからなる空間構造が低費用・低環境負荷（エネルギー）で維持できることが必要である。そして、気候変動によってさらに激甚化することが懸念される自然災害の被害を低減することも考慮しなければならない。このような多面的な検討が可能な評価システムの開発こそ、既存都市を持続可能とするためのトリガーである。

2. 研究開発目的

本研究では、急激な人口減少や超高齢化が進む中、気候変動（緩和・適応）、巨大自然災害（地震・津波・洪水等）、エネルギー危機（再生可能エネルギー確保・非常時対応）といった都市の持続可能性への3つの脅威に対応できる空間構造を有する都市を「再生可能都市」と定義する。その実現が本研究の最終目的である。そして、既存都市が再生可能都市に転換していくため、建物・インフラ更新のタイミングに働きかける施策を漸次実施することで中長期に実現するための戦略と、地域が主体的に立案・実施することを支援する都市評価システムの開発を目標としている。そして、構築したシステムを実際の都市へ適用・評価し、「再生可能都市」への転換戦略および施策検討手法の提案を試みる。

これまで3つの脅威は別個に対応が検討されてきたが、今後はこれらの脅威に対して総合的に対応することが望まれる。そのために本研究では、環境／社会／経済のトリプルボトムライン（Triple Bottom Line：TBL）の各側面から評価するSustainabilityと、巨大自然災害発災後のダメージ軽減と早期回復の側面から評価するResilienceの両側面を評価できるシステムを開発する。また、評価システムを用いて立地・交通関係施策とエネルギー・環境関係施策を都市更新の進展に合わせて同時に行うことで、中長期的に都市のSustainabilityやResilience向上に資する施策実施ロードマップを見出せるようにする。これらは、地球温暖化対策計画の地方公共団体実行計画（区域施策編）や地域気候変動適応計画、そして関連する諸計画の策定・実施にかかる合意形成にも活用できるものとする。

3. 研究開発方法

（1）SDGs評価チェックリスト・データベースの作成および持続可能性評価システムの構築

本研究で開発するシステムをいきなり自治体や地域が活用することはハードルが高く、高い意識と充実した体制・資金等が前提となると考えられる。その前に簡易診断を行えるようにすることで、より詳細な検討に進むためのきっかけづくりができ、本研究の成果を適用していただく裾野も広げることができる。このような認識から、都市および地区単位の持続可能性の簡易評価手法を構築した。

国連のSDGs（Sustainable Development Goals）に対応し、特に目標11「住み続けられるまちづくりを」の評価指標群を特定するとともに、都市・地域のSustainabilityとResilienceを簡易に評価・実施するためのデータベースを構築した。目標11を「住宅」「交通」「都市計画」「地域資源」「災害脆弱性」「環境汚染」「公共空間」の各側面に分解し、それらに対応した都市SDGs診断評価指標を提案した。さらに、地方自治体の施策への適用を意識し、関連計画をリストアップし、それらと各指標との対応関係

を整理した。以上からなる評価システムは、地域・地区別の環境・経済・社会・防災などの部門別の状況を簡易に把握でき、都市政策のどこに問題があるかを浮き彫りにすることができる。むろん、地区間や都市間の比較評価も可能である。さらに結果を踏まえて、より具体的な分析・評価や施策導入・検証などを行うために、次項（2）の統合評価システムを用いて「再生可能都市」への転換戦略を考える糸口にもなる。

（2）SustainabilityとResilienceを同時に考慮できる評価システムの開発

「再生可能都市」への転換に向けて、地域が主体となって戦略を立案・実施するための支援ツールとして、平常時のSustainabilityと災害時のResilienceの両方を評価できるシステムを開発した。

平常時のSustainabilityの評価は、TBLのうち、環境側面についてはCO₂排出量を、社会側面についてはQOL（Quality Of Life：生活の質）を、経済側面については市街地のインフラ・公共施設の維持・更新費用を指標として選定した。

このうちQOLは、施設や職場へのアクセス性を表す交通利便性（Accessibility：AC）、居住建物の広さや周辺環境・景観の良好度を表す居住快適性（Amenity：AM）、自然災害や事故・犯罪率などに対する安全度を表す安全安心性（Safety & Security：SS）の3分類からなる。各項目の物理量と対象地域の居住者を対象に実施したアンケート調査などの結果を用いて主観的な価値観の重みを乗じて、定量指標としてのQOL値を推計した。このとき、QOL統合評価値として余命指標（生活の質の向上／低下を、命＜余命＞の延長／短縮として表現）を用いた。さらに、QOL向上を環境面・費用面それぞれの効率性で表現する環境効率・費用効率値を定義し評価に用いた。

CO₂排出量については、交通（ガソリン・電気自動車＜地方都市の場合＞）・民生家庭（住宅・商業・業務・学校・宿泊・医療施設）・インフラ（道路・電気・水道・ガスなど）各部門の活動量、およびインフラの存在量や毎年の新築・消失量を求め、それにライフサイクルCO₂原単位を乗じて推計した。

費用は、インフラ・公共施設の築年数・維持理更・更新費用などのデータを入手し、コーホート要因法を用いてシミュレーションし、存在量や新設・除却量に費用原単位を乗じて推計を行うことを基本とした。ただし対象地域にデータがない場合は、公共施設等総合管理計画などを参考として費用を推計した。

災害時におけるResilienceの評価に関しては、巨大自然災害（本研究では、地震・津波、水害・土砂災害・高潮）に伴う人的被害と経済的被害（建物・インフラへの被害）を評価した。前者は生命・健康への被害（死亡も含む。被災者の免疫力低下、傷病発生率増加、持病悪化など）と生活環境への被害（建物・インフラ使用不能による不便や避難生活の不安・ストレスなど）の2つを取り上げる。いずれも「平常時の健康な人に比べ、災害に伴ってどの程度生活の質（QOL）が低下したか」で評価し、余命指標を用いることで平常時QOL評価と整合をとった。ただし災害時は生命維持や衛生確保が困難な状態までQOLが落ち込む可能性があり、平常時の評価体系とは全く異なるものとなる。特に住宅・インフラが使用不能となることによるQOL低下とその後の回復を1日刻みで評価するモデルを構築し、Resilienceを定量把握することを可能とした。

以上のようにして評価した、平常時のTBLと災害時のQOL低下・回復及びエネルギー供給状況を同時に提示することで、本研究が包含する「3つの脅威」を乗り越えられる「再生可能都市」を実現する都市構造案を検討できるものとした。

（3）実都市・地域への適用およびシナリオ評価・検証

（2）で構築した評価システムを実際の都市（三重県松阪市および徳島東部都市圏）に適用した。いずれも中心市街地の拡散によって低密度化が進んできた、日本の典型的な地方都市圏である。低炭素化促進や気候変動適応に関わる施策検討を考えており、一方で津波・洪水などの巨大自然災害の危険性が高く、本研究によって可能となる都市の評価や施策検討に適している。本稿ではこのうち三重県松阪市についての結果を例として述べる。徳島東部都市圏の結果の一部はサブテーマ（3）でも扱われている。

ケーススタディーにあたって、サブテーマ（3）と共同で、平常時QOL算出のために対象地域を含む6

県（徳島、三重、和歌山、高知、宮崎、鹿児島）の居住者を対象としてWEBアンケート調査を実施し、QOLを構成する各要素間の重みを推定して評価に利用した。

分析する期間は、2015年（現状）から2050年までの35年間とし、5年ごとの推計・評価を行うものとした。まず人口・世帯フレームを将来推計した上で、それらがどのように分布するかについて、なりゆき（Business As Usual : BAU）に加え、コンパクト化を進める立地誘導シナリオ（更新時に漸次実施）をいくつか設定した。さらに交通施策やエネルギー・環境施策を更新に合わせて導入・普及していくことも合わせてシナリオとして設定し、これらの組み合わせに基づく将来推計・予測を行って、平常時の環境／社会／経済各側面を合わせたTBL推計結果や、そこから算出できる環境効率（QOL/CO₂）と費用効率（QOL/費用）、そして災害時における生命・健康被害と生活環境被害の余命評価値の発災後の推移を用いたResilience評価の各試算結果を比較検討し、より望ましい施策シナリオを見出した。

システムを適用するため、対象地域の建物・インフラやその上での活動に関する様々な空間データを整備した。どの都市でも活用できることをシステム構築の念頭に置いたことから、住宅地図・建物ポイントデータを除き、一般に使用できるデータベースから引用したが、一部データについてはより詳細な検討を行うため、自治体の協力を得て調査を行って整備した。

4. 結果及び考察

（1）SDGs評価チェックリスト・データベースの作成

作成した評価指標群を表4.1.1に示す。評価指標は、目標11の各ターゲットに対応し、かつ地球温暖化対策実行計画、立地適正化計画、地域防災計画など、地方自治体の計画目標に用いられている指標を参考に横断的に設定を行っている。また、SDGsの最重要理念に基づく「誰ひとり取り残さない」を念頭に、

表4.1.1 コミュニティSDGs 評価システムの評価指標（案）

SDGs		想定リスクにおける指標	算出方法
1住宅	1-1 1-2	・住宅入手可能性 ・住宅安全性	・①最低居住面積水準（単身：25㎡、2人以上の世帯10㎡×世帯人数+10㎡）に満たない世帯の人口②国民生活基礎調査より世帯人員ごとの所得分布と、不動産情報より地区別の家賃分布を整理し、住居費が所得の30%を超える世帯の人口を算出 ・Akiyama et al.によるマイクロジオデータ ²⁾ の推定築年代より、1980年以降に建てられた住宅に住む人口を算出
2交通	2-1 2-2 2-3 2-4 2-5	・公共交通に10分以内にアクセスできない人口割合 ・日常的な買い物に30分以内にアクセスできない人口割合 ・小中学校に徒歩・自転車アクセスできない人口割合 ・保育園や子育て施設に30分以内にアクセスできない人口割合 ・身近な病院に30分以内にアクセスできない人口割合	・国土数値情報の鉄道駅位置から、徒歩または自転車、自動車で10分以内にアクセスできない人口を算出 ・国土数値情報のバス停留位置から、徒歩で10分以内にアクセスできない人口を算出 ・電話帳の買物施設（デパート、スーパー、食料品店）から、徒歩・バス・自動車30分以内にアクセスできない人口を算出 ・国土数値情報の小学校・中学校の位置から、通学距離の上限（小学校：4km、中学校：6km）を超える人口を算出 ・電話帳の保育施設（幼稚園、保育園）から、徒歩・バス・自動車30分以内にアクセスできない人口を算出 ・電話帳の医療施設（総合病院、一般診療所、内科等）から、徒歩・バス・自動車30分以内にアクセスできない人口を算出
3都市計画	3-1 3-2	・立地計画 ・施設更新計画	・1人あたりインフラ投資コスト（人口割合） ・築50年以上の公共施設にしかアクセスできない人口割合 ・500mメッシュごとの市道延長割合と、500mメッシュごとの下水道区域面積割合を算出し、一般会計の道路・下水道事業費を按分し、市平均所得の1%（阪阪市の例：29,392円）を超える事業費となるメッシュ内の人口を算出 ・最寄りの庁舎または振興局舎が築50年以上経過している人口を算出
4地域資源	4-1 4-2 4-3	・文化施設 ・観光・史跡 ・コミュニティ	・文化施設にアクセスできない人口割合 ・地域固有の文化・自然資源にアクセスできない人口割合 ・町内会など地縁組織でカバーされていない人口割合 ・国土数値情報の文化施設の位置から、徒歩・バス・自動車30分以内にアクセスできない人口を算出 ・国土数値情報の観光施設及び史跡の位置から、徒歩またはバス、自動車30分以内にアクセスできない人口を算出 ・自治会別の広報配布数から非自治会加入世帯数を算出
5災害脆弱性	5-1 5-2	・災害危険性 ・減災可能性	・洪水、高潮・津波の浸水予定地域に居住する人口割合 ・避難生活に十分なエネルギーが供給されない人口割合 ・国土数値情報の浸水想定区域、津波想定区域から木造建築物が全壊となる割合が高くなる浸水深2.0m以上の区域に居住する人口を算出 ・土砂災害危険区域内に居住する人口を算出 ・Electrical Japanが公表している太陽光発電所（メガソーラー）一覧より、発電所位置及び最大出力を整理 ・太陽光発電所および家庭太陽光普及率（5.37%）を考慮し、災害時1人あたり電力消費量（9.25kW）を賄えない人口を算出
6環境汚染	6-1 6-2	・地球環境 ・資源投入	・1人あたり家庭・交通起源の二酸化炭素排出量（人口割合） ・1人あたり建物・インフラ投入物質量（人口割合） ・家庭部門のCO ₂ 排出実態統計調査より建て方別・世帯人数別のCO ₂ 排出量を算出し、日本の約束草案における温室効果ガス排出削減目標（1,024kg-CO ₂ ）を達成できていない人口を算出 ・青柳 ³⁾ の建物構造別資材原単位、長岡 ⁴⁾ の道路及び下水道資材投入原単位を用い、500mメッシュごと資材投入量を算出 ・田中 ⁵⁾ で整備された都道府県別・施設別の資材投入量から三重県の建築物・道路・下水道1人あたりの資材投入量を算出し、500mメッシュごとの資材投入量がそれを上回る人口を算出
7公共空間	7-1 7-2	・緑地公園 ・半自然資本	・公園に徒歩10分以内にアクセスできない人口割合 ・居住地周辺の緑地率（閾値未満の人口割合） ・国土数値情報の都市公園の位置から、徒歩で10分以内にアクセスできない人口を算出 ・環境省植生調査より居住地周辺（500m圏域内）の緑被率を算出し、20%を下回る人口を算出

すべての指標単位を「未達人口割合」とし、どの施策がどの程度不十分であることを示す指標としている。なお、この指標群は、各自治体のニーズによって変更してもよいと考えており、一般的な指標構成の確定は今後の課題であると認識している。各指標の算出にあたっては、自治体の調査費用や労力を追加しなくとも対応できるよう、全国的に整備されている汎用データや各自治体が基本的に有している情報をもとに算出できるものとし、合わせて地域地区単位で議論ができるよう評価単位も小学校区を想定した算出方法としている。

設定した評価指標を用いて、三重県松阪市を対象にケーススタディーを実施した。その結果の一部を図4.1.1と図4.1.2に示す。「住宅入手可能性」をみると、「都市部の住居費が高い」「住宅規模が過剰な世帯が多い」傾向がみられる。また、都心部の地価が比較的高いため、住居費が大きくなっている。一方、「買物アクセス」「教育アクセス」については、中山間地域のほうがアクセスできない人口の割合が高い。これは公共交通にアクセスしにくい世帯が増加するためである。一方で、「教育アクセス」は中山間地域が低いのに対し、「買物アクセス」はより都心に近い郊外地域で悪化が見られる点が特徴的である。「インフラ費用」では、中山間地域よりもむしろ郊外地域で高い。都市的インフラが整備されているわりに人口密度が低いためと想定される。その他の指標においても、「文化施設」のアクセスは中山間地域、「災害危険性」では土砂災害危険性の高い郊外地域や津波被害が想定される沿岸部などで悪くなっており、それぞれの地域課題が概観できる評価結果となっている。

以上のように、本手法を用いて、市内の各地区に応じた課題を一覧でき、優先して取り組むべき目標を確認することができた。

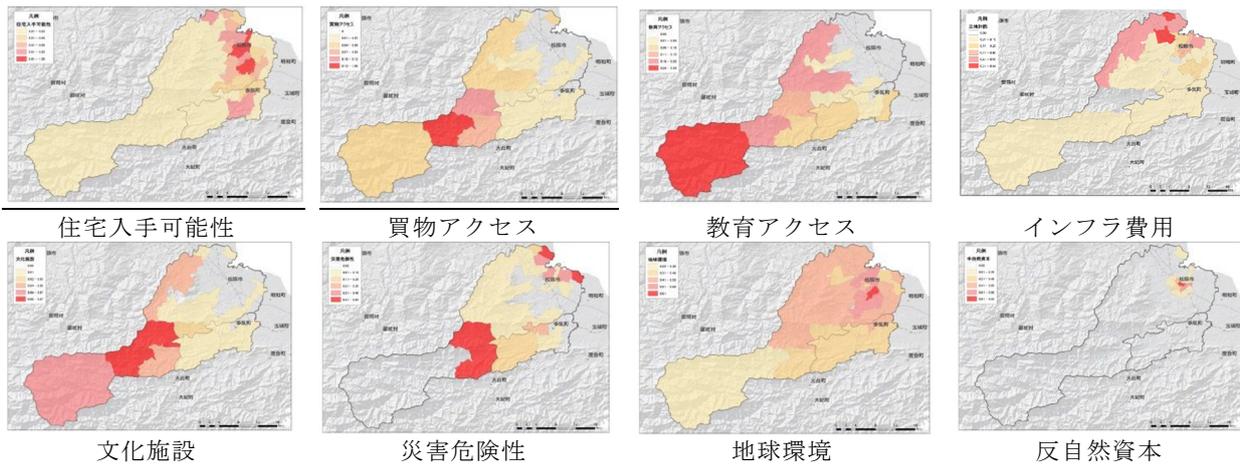


図4.1.1 評価指標ごとの評価結果の空間分布（抜粋）

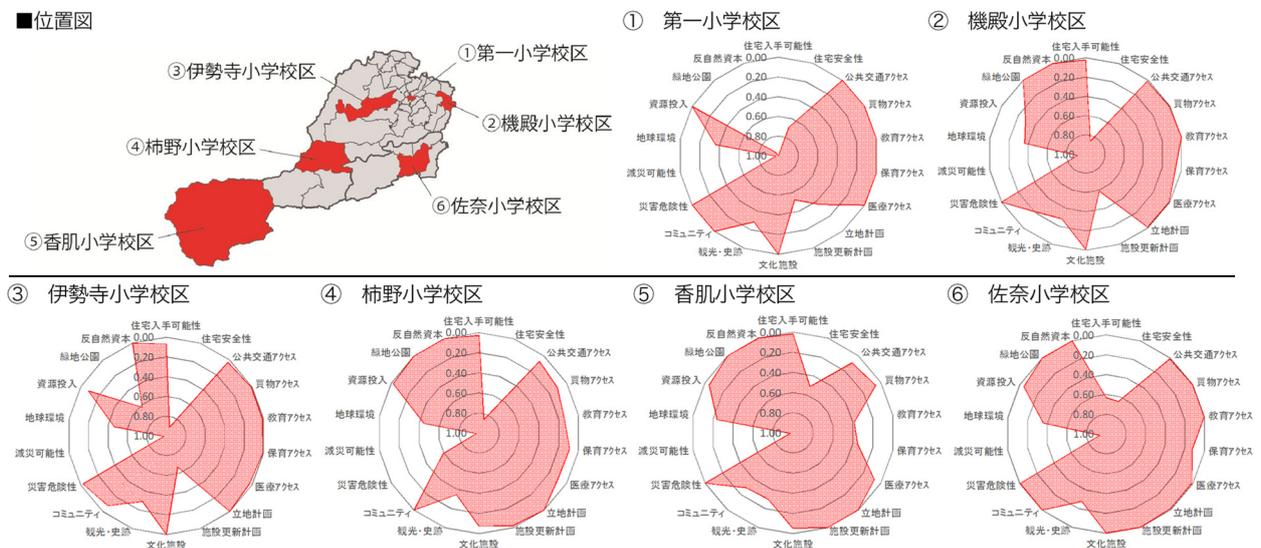


図4.1.2 松阪市における小学校区ごとの算出結果

(2) SustainabilityとResilienceを同時に考慮できる評価システムの開発

a) SustainabilityとResilienceの評価システムの構築

4. (1) で開発したSDGs 評価指標群および評価結果を踏まえ、より詳細に、かつ将来にわたる評価を行うことができるよう、平常時のSustainabilityと巨大自然災害時のResilienceを同時に評価できるシステムを開発した。

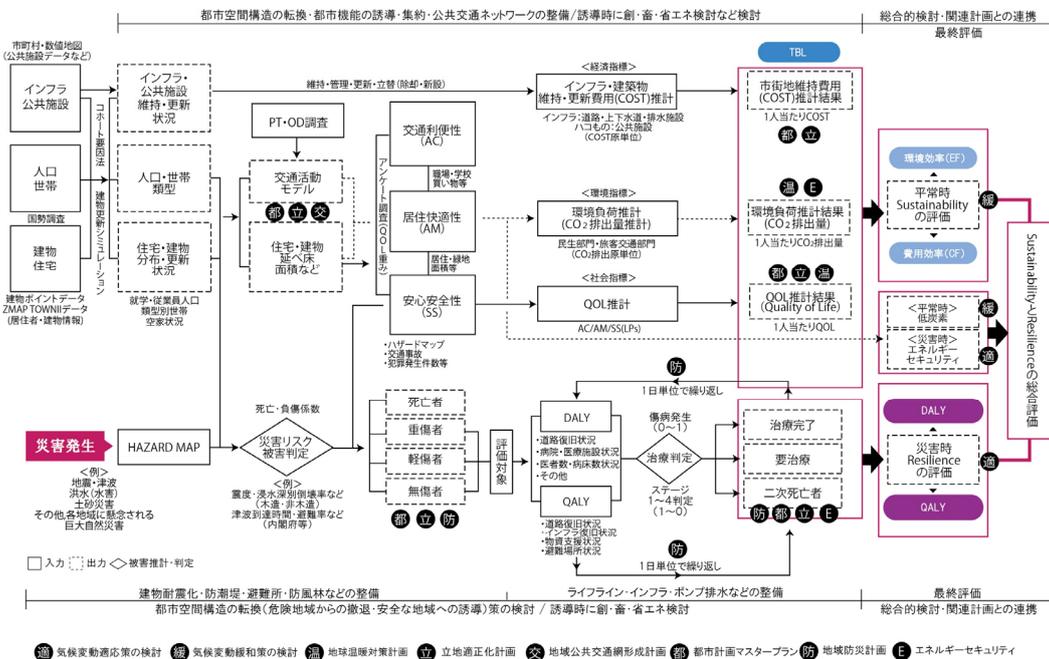


図4.1.3 評価システムの全体構成

システムの全体構成を図4.1.3に示す。左側のコーホート要因法による将来人口・建物・インフラ推計に基づき、平常時における環境(CO₂排出量)・社会(Quality of life: QOL)¹⁾・経済(社会維持費用)のTBL⁶⁾各側面と、巨大自然災害発災後の「生命・健康被害」と「生活環境被害」の推移(発生と回復過程)で表されるResilienceを評価できるようになっている。そして、気候変動の緩和策・適応策の検討に適用できることを意識し、小地区レベルでの更新・撤退タイミングや都市域の空間的な再編の方向性、そして再編時の新たな環境・エネルギー技術導入を検討できるようになっている。

本評価システムは主に4次メッシュ(約500mMESH)単位で解析しているが、各自治体の目的に応じて、より詳細なメッシュ単位や、町丁目および小学校区単位といったレベルでも対応可能である。災害時における空間分布の解析では、より詳細な被害の空間分布を把握・分析するニーズがあるため、5次メッシュ(約250mMESH)で行うこともできる。以上のように海岸部や中山間地域をはじめ、都市・地域間の境界を越えた空間的な対応および再編の方向性を検討できるようにする。

b) 将来人口・建物(延床面積)の推計

評価システムの入力データとして、一般に入手可能な国勢調査の人口や交通データ、各市町村のホームページに公開されているインフラ・公共施設に関するデータなどを用いて、現状分析および将来推計ができる。将来推計においては、コーホート要因法によるインフラ・建築物や人口・年齢・世帯構成の推計を通じて将来の学生・従業員数などを予測・推計し、立地変更策や交通網整備による影響を推計するモデルを加えることで、建物更新と空家発生状況を経年的・空間的に予測できるようにした。

c) 長期的なSustainabilityの評価

Sustainabilityの評価は、環境/社会/経済のTBL各側面からなる。環境指標のうち、民生部門(住

表4.1.2 QOLのLPs算出の考え方

分類	評価要素	指標
交通利便性 (AC :ACcessibility)	就業施設利便性	就業施設までの所要時間
	文化施設利便性	文化施設までの所要時間
	医療施設利便性	医療施設までの所要時間
	買物施設利便性	商業施設までの所要時間
居住快適性 (AM :AMenity)	居住空間使用性	1人あたり居住延床面積
	周辺調和性	空家数
	周辺自然環境	1人あたり緑地面積
	空間快適性	体感温度
安全安心性 (SS : Safety & Security)	地震危険	地震による期待損失余命
	洪水危険	洪水による期待浸水深
	犯罪危険	年間認知犯罪件数
	交通事故危険	年間人身事故発生件数
災害危険性	津波リスク	津波想定浸水深
	洪水リスク	洪水想定浸水深
	土砂災害リスク	土砂災害想定

$$QOL(g,i) = w^t(g)LPs(i) \quad (1)$$

$$w^t = [w(g,AC)w(g,AM)w(g,SS)]^t \quad (2)$$

$$LPs^t(i) = [AC(i)AM(i)SS(i)] \quad (3)$$

ここで、 $QOL(g, i)$: 個人属性グループ g のメッシュ i での QOL (1 人あたり), $w(g)$: LPs 各要素に対する価値観 (重み) ベクトル, $LPs(i)$: 生活環境質向上機会ベクトル, $AC(i)$: 交通利便性, $AM(i)$: 居住快適性, $SS(i)$: 災害安全性. QOLの尺度は、医療・環境リスクの分野のQALY値. 単位は「日数」.

$$CE_{consumer} = EP \cdot U_{power} + EG \cdot U_{gas} \quad (4)$$

ここで、 U_{power} : 電力のCO₂排出係数, U_{gas} : 都市ガスのCO₂排出係数である. 排出係数は対象地域に供給している電力会社およびガス会社が公表している値.

$$CE_{infra} = \sum_{type} R \cdot C_{type} \quad (5)$$

$$c_{ij} = e(v_{ij}) \times x_{ij} \times l_{ij} \quad (6)$$

c_{ij} はリンク二酸化炭素排出量、 l_{ij} はリンク長 (km) v_{ij} はリンク平均速度、 x_{ij} はリンク交通量 $e = 973.22v^{-0.503}$ (二酸化炭素排出原単位)

$$C_i = \sum_a \sum_k C_{ka} I_{ak} \quad (7)$$

ここで、 C_{ka} : インフラ・施設 a の維持管理 k による費用原単位, I_{ak} : 各地区の段階 k を迎えたインフラ・施設 a の存在量.

宅・商業・業務・学校・宿泊・医療施設)のCO₂排出量は、Zmap-TOWN IIの建物ポリゴンデータを用い、天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル(2008)⁷⁾に基づき用途別延床面積を推計し、用途別負荷原単位および月・時間帯別負荷パターンを乗じてエネルギー需要量を算出した。また、需要量を各機器効率で除し、エネルギーシステムごとに需給シミュレーションを行い、エネルギー消費量を算出した。また、エネルギー種別CO₂排出原単位⁷⁾を乗じてCO₂排出量を算出した。民生部門CO₂排出量の算出式を式(4)に示す。

インフラ部門においては、インフラ工事(新設・維持・除却)の際に排出されるCO₂排出量を考慮し、石田ら⁸⁾の手法を用いて、インフラ存在量とCO₂排出原単位 C_{type} を乗じて5年ごとに推計した。インフラ部門CO₂排出量 CE_{infra} は式(5)に示す。

交通部門のCO₂排出量の推計はサブテーマ(2)と共同で行った。各市町村のパーソントリップ(PT)調査有無によって推計方法が異なる。松阪市においてはPT調査が対象地域外となるため、道路交通センサス起終点調査データを用いて推計した。ガソリン自動車および電気自動車を対象に、松阪市の道路交通センサス調査ゾーンに各道路区間の交通量、所要時間、リンク長およびリンク所要時間より平均速度を算定し、二酸化炭素排出原単位と乗じて推計した。算定式を式(6)に示す。電気自動車の場合は2050年でのEV保有比率は41.1%(EV普及の動向と展望:自然エネルギー財団)と想定し、発電時のCO₂排出量を考慮し走行による電力消費量は走行速度によらず一律の電力消費原単位0.155kWh/kmを用いて算定した。これに、中部電力の発電によるCO₂排出原単位0.457kg-CO₂/kWhを乗じてCO₂排出量を推計した。

社会指標のQOLは、先行研究の加知らの手法¹⁾を用い、居住地区における環境を左右する物理量LPs(表4.1.2)と、そこに居住する住民の主観的な価値観を表す重み(w)との積和によって決定されると定義

し、式(1)～式(3)のように定式化した。重みは松阪市を対象に実施したアンケート調査結果を基に推計した。ただし、既にいくつかの都市での調査結果から重みを特定しており、その結果を援用することもできる。

経済指標の市街地維持・更新費用の推計は、インフラの整備に関するデータ制約のため、各インフラ情報データを入手し、更新期間を30～50年程度と考慮し、2050年までに1回ずつ更新されると想定し、毎年の維持・管理費用に積み上げ算出することで対処した。費用原単位は環境省⁹⁾、建設物価調査会¹⁰⁾などが公表している値を用いた。式(7)にその基本推計式を示す。

d) 災害時における Resilience の評価

Resilienceの評価は研究方法で示したとおり、生命・健康被害と生活環境被害について余命指標を用いて推計した。

「生命・健康被害」は障害調整生存年数 (Disability adjusted life years : DALY) を用いて余命換算する。これは、外的要因によって失われた健康な1年を基準に、集団の健康状態を死亡損失および障害損失として、余命尺度で定量的に捉える指標である。個人の生命・健康被害の定義式を式(8)に示す。推定したインフラ状況から、病院機能や避難所環境の状況を推定し、それによって上下する死傷者数を算出し、DALYの推計に用いる。障害による重み付けは杉本ら¹¹⁾が設定した値を用いる。これをインフラの復旧シナリオを用いて1日ごとに繰り返し、各日の被害の余命評価値を算出した。

$$DALY = \int_0^L DC^{-\beta t} e^{-r(t-a)} dt \quad (8)$$

ここで、 D : 障害による重み付け、 $C^{-\beta t}$: 年齢による重み付け ($C = 0.1658$, $\beta = 0.04$)、 $e^{-r(t-a)}$: 時間割引率 ($r = 0.03$)、 a : 障害発生時点または死亡時点、 L : 障害の持続期間または死亡時点での期待寿命、 t : 発災からの時間。

「生活環境被害」は質調整生存年数 (Quality-adjusted life year : QALY) を用いて余命換算する。これは、健康状態に関連した生活の質 (Health Related QOL : HRQOL) で調整される生存年数のことである。平常時の生活1年を基準とし、そこから低下した生活環境下ではその価値が基準に比べて低いと考え、1年より小さい値として表現するために、QOLを表す余命評価値で重み付けしたものである。式(9)に示すように、災害が発生しなかった場合のQALYから、災害が発生した場合のQALYを差し引いた損失余命LLE (Loss of Life Expectancy) で評価した。

$$LLE = \int_0^{\hat{t}} \{1 - w(t)\} dt \quad (9)$$

ここで、 LLE : 災害影響による健康な個人の損失余命、 \hat{t} : 発災から復旧・復興までの期間、 w : 健康な t 日目に居住することで得られるQALY値、 t : 発災からの時間。

LLE値を定量評価するため、災害についての報道や先行研究¹²⁾からまとめた被災者ニーズの時系列変化をもとに、図4.1.4に示すようにQOLの構成要素と階層構造、重みを設定している。QOL構成要素は、その充足に必要なインフラ・建物・サービス等が全て機能している場合は充足、それ以外の場合は非充足とする。各構成要素の充足に必要なインフラ等をまとめた充足対応表を表4.1.3に示す。そして、各ステージについて、全てのQOL構成要素が充足された場合にのみ上位のステージへ移行するものとした。その上で、各ステージに示す余命換算値を用いてQALYを算出した。

災害時のResilienceの解析単位においては、約250m四方に細分化した5次メッシュ単位で推計を行った。これは、なるべく詳細な単位で各指標を推計して積み上げることにより、都市空間構造との関係をミクロレベルで分析するためである。最後に、推計された直接被害と生活環境および生命健康悪化による時系列変化の被害状況に基づき、地域におけるResilienceの評価を行った。

松阪市東部地域の都市計画区域を対象にした2015年現状の平常時におけるTBL分析結果の空間分布（図4.1.5）と各部門別推移（図4.1.6）を示す。このうち空間分布についてみると、QOLは、特に鉄道・バス路線沿いや、延床面積の広い一部の郊外居住地は高くなっている。路線沿いの地域においては、交通便利性が1人当たりの延床面積の高い郊外居住地においては居住快適性などの影響が大きく、それが反映されているためと考えられる。CO₂排出量は、松阪駅周辺の商業・業務地をはじめ、工業地区および西部の延床面積の広い郊外地域の居住地において高くなっている。市街地維持・更新費用は、人口の少ない東・西部の低密度の郊外住宅地域においても高くなっている。要因を解釈すると、QOL向上には交通便利性向上、CO₂排出量削減には人口が多い住宅地域における効果的なエネルギー技術・施策導入、市街地維持更新費用には低密度地域における削減策が主に求められる。

b) 災害時の短期的な回復過程における Resilience 評価結果

巨大自然災害については、南海トラフ巨大地震で甚大な被害を受ける東海3県のうち、内閣府¹³⁾が作成した南海トラフ巨大地震の被害想定データ（ケース①「駿河湾から紀伊半島沖に大すべり域+超大すべり域を設定したケース」）を用いて、三重県全域を対象に地震・津波による人的被害の経時変化を1次被害とともに、約30～60日間の生命健康被害と生活環境被害における回復過程を推計した。地震発生時刻は早朝5時とし、建物滞留率が100%と仮定して被害量を算出した。

地震動と津波による1次被害を推計したところ、津波による被害は少なかったが、東部の海岸部の一部住宅地が津波浸水深の2～5m地域に分布しているため被害が予想される。

発災直後から30日後までの生命・健康被害の推計結果を図4.1.7に、生活環境被害の推計結果を図4.1.8に示す。生命・健康被害は、中心部と海岸部の津波浸水地域が多くなっており、大半は死亡によるものである。発災1日後の被害状況をみると、中心部のDALY値が過半数以上を示しており、郊外地域においては低くなっている。しかし、中心市街地においては次第にDALY値が回復する一方で、郊外地域は発災30日後までの間において回復スピードが遅くなっているのが分かる。生活環境被害は、発災7日後にも一部地域を除いて、発災後30日以後は社会生活の確保のステージ4に回復する一方、東の海岸低地帯の津波浸水地域においてはステージ1からステージ2にとどまっている。アクセスが困難な郊外地域において生命・健康の2次被害が、東側海岸部の浸水地域において生活環境悪化による2次被害が大きくなっている。

c) 立地誘導シナリオの適用

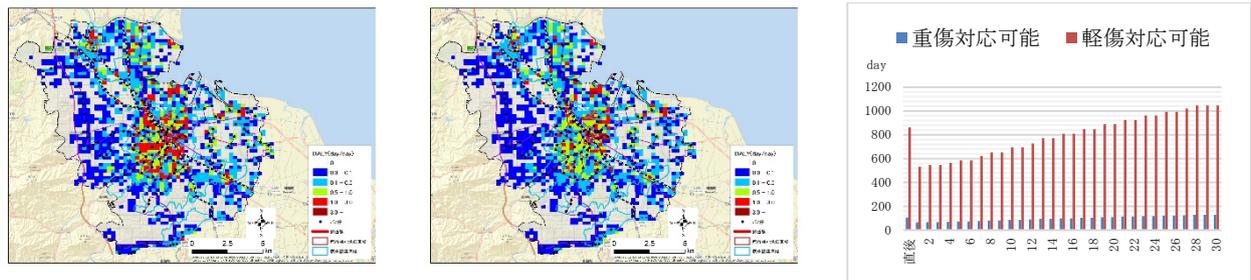


図4.1.7 松阪市都市計画区域における災害時QOL（生命・健康被害）の推計結果

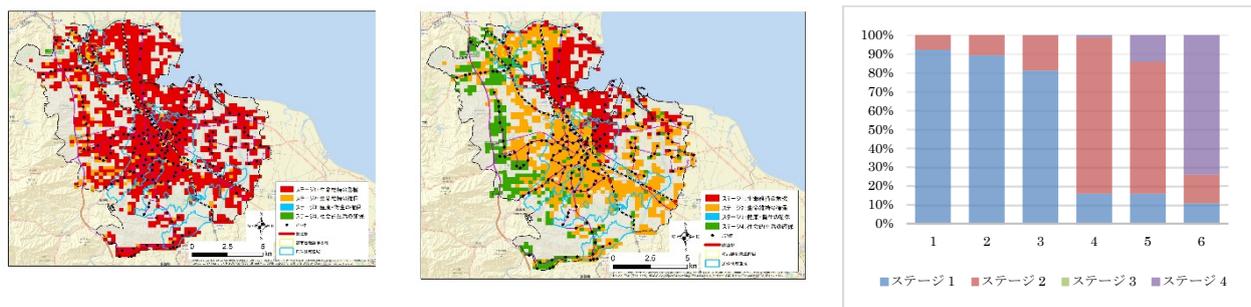


図4.1.8 松阪市都市計画区域における災害時QOL（生活環境被害）の推計結果

① 人口将来推計

前項で行った分析を踏まえ、松阪市都市計画区域の現状把握および課題や今後の市街地状況を予測し、将来の人口誘導シナリオ設定を行った。市街地状況の予測を将来人口推計と将来延床面積、インフラの推計などから行った。平成22年国勢調査の性・年齢階級別人口データをもとに、国立社会保障・人口問題研究所¹⁴⁾が発行する「日本の地域別将来推計人口」の推計方法に従い、2010年人口データを用いてコーホート要因法に基づき、5年おきに2015年から2050年まで将来予測を行った。

② 将来延床面積およびインフラの推計結果

人口減少の影響により2050年までに2015年比で22%減少し、2015年以前の建物は43%しか残存しておらず、57%は新築されることから、立地誘導を順次行っていないと郊外に低密度に建物が立地する恐れがある。市街地更新シナリオの低炭素化効果を評価するには、インフラ工事（新設・維持・除却）の際に排出されるCO₂排出量や費用を考慮し、道路、水道、電気、ガスなどを対象に5年ごとの延長推計を実施し、5年後の方が長い場合、現在との差分を「新設」、短い場合は差分を「除却」とした。なお、居住誘導区域および都市機能誘導区域では既に十分にインフラが整備されているため、新設は行われないものとした。

③ シナリオ設定方法および考え方

現状分析と今後の市街地状況の予測などを踏まえ、将来目指すべき都市構造改編のシナリオを設定し、定量的評価・検証を行った。適用するシナリオは、2015年現状評価で行った平常時のTBLの解析結果と災害時の1・2次被害を踏まえつつ対象地の現状分析と課題を設定し、市町村の都市計画における施策検討に資することを目指して、現在策定されている計画を適用するものとした。

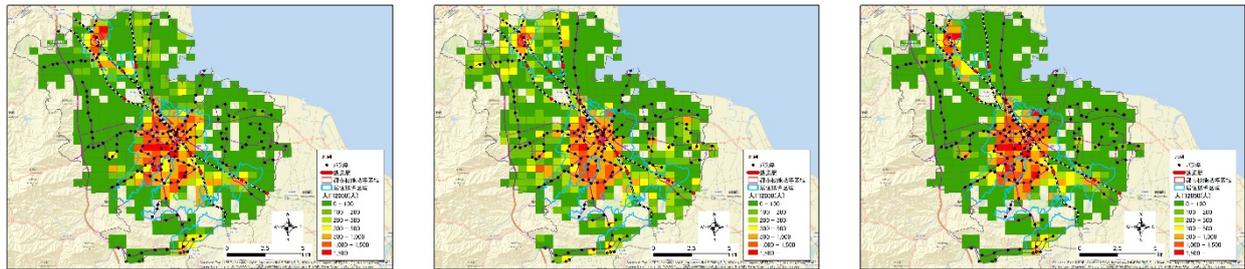
- ・ **立地誘導なし**：特別な立地誘導は行わず、現在のトレンドのまま立地する。
- ・ **立地適正化計画に応じた撤退・集約（以後「立適」）**：コンパクト＋ネットワークを推進するためのマスタープランである「立地適正化計画」に従って立地誘導を行う。研究対象地域の立地適正化計画案を基に、居住誘導区域と都市機能誘導区域を設定する。誘導区域の意図に従い、居住誘導区域には「住宅・学校」を、都市機能誘導区域には「商業・業務・宿泊・医療」を誘導する。
- ・ **ハザードマップに応じた撤退・集約（以後「防災」）**：被災想定区域から防災・減災の撤退策として、津波や洪水等の大きな被害が予想される浸水深2m以上のエリアから順次撤退し、その他の地域に誘導する。
- ・ **両者を合わせた撤退・集約（以後「コンパクト」）**：立地適正化計画とハザードマップの両方を考慮した統合シナリオとして、安全・安心を最優先とし、災害危険地域からは完全に撤退する。また、松阪市の都市計画マスタープランや立地適正化計画などの現施策に基づき、都心域と地域拠点間の連携を公共交通ネットワークで図りつつ、多様な都市機能が集積した駅そば集約を想定し、歩いて暮らせる住環境を目指す。

表4.1.4 立地誘導方法および割合

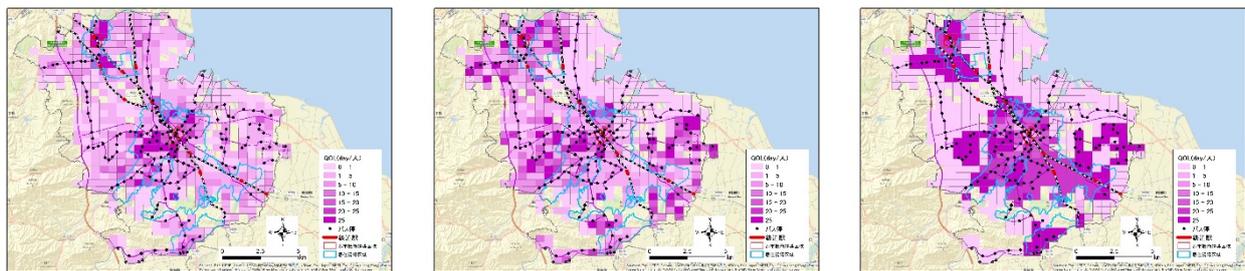
誘導パターン	区域	誘導率[%]
立適： 立地適正化計画 に基づく誘導	■居住誘導区域	
	■都市機能誘導区域	
	■その他の区域	
防災： ハザード マップに基づく誘導	■浸水区域	100% (津波2.0m以上)
コンパクト： 立地適正化計画より 広い地区へ誘導 (本研究独自案)	■居住誘導区域 ■都市機能誘導区域 ■駅・バス停800m圏域 (網計画・公共交通ネットワークを踏まえた区域) ■その他の区域	■浸→■居・■駅・バス800m圏 (100%) ■都→■居・■駅・バス800m圏 (20%) ■他→■他・■駅・バス800m圏 (100%) (上記の半分+徒歩圏優先)

シナリオ設定および誘導方法および割合を表4.1.4に示す。なお、区域ごとに誘導比率（新築時に誘導する割合）を設定するとともに、誘導する建物は、密度の低い区域に容積率を考慮し配分した。

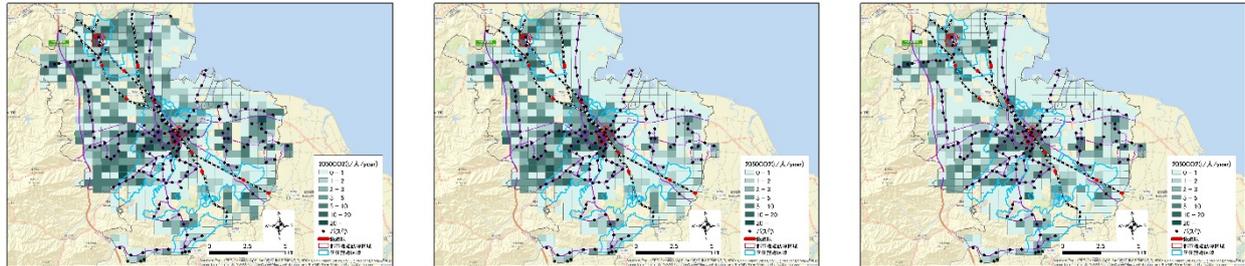
④ 各シナリオの推移の変化および評価



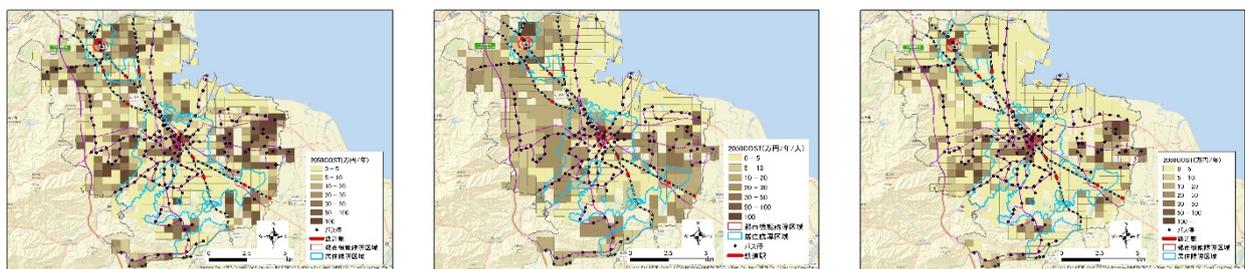
立適 防災 コンパクト
図4.1.9 松阪市都市計画区域における立地誘導後の人口の空間分布（2050年）



立適 防災 コンパクト
図4.1.10 立地誘導後のQOLの空間分布（2050年）



立適 防災 コンパクト
図4.1.11 立地誘導後のCO₂排出量（人口1人当たり）の空間分布（2050年）



立適 防災 コンパクト
図4.1.12 立地誘導後の市街地維持・更新費用（人口1人当たり）の空間分布（2050年）

シナリオ導入後のコーホート要因法による2050年の将来人口分布の推計結果を図4.1.9に示す。人口減少により誘導後の人口密度も低下するが、容積率を考慮して、密度の低い区域に優先に建物・人口を誘導した。その結果、「立適」は居住誘導区域を中心に人口が集中し、浸水地域にも居住している。一方、「防災」「コンパクト」は、津波浸水地域（2m以上）から完全に撤退するシナリオであり、「防災」

ではその他の地域に、「コンパクト」ではバス停・鉄道駅の徒歩圏内（800m）に誘導されている。

シナリオ導入後の将来QOLの分布を図4.1.10に示す。「立適」、「コンパクト」の場合、QOL値は2015年に比べて減少し、「防災」は増加している。これは松阪市のアンケート調査結果による重みが居住快適性を非常に重視する傾向にあったことの結果である。安全安心性（SS）が非常に低く、「コンパクト」と「防災」のように安全な地域へ撤退し、人口1人当たりの延床面積や緑地面積などの大きい地域ではQOLが向上している。「立適」では居住誘導区域へ集約していくため、逆に居住快適性が低くなる結果があらわれた。さらに安全安心性は、洪水浸水地域（0.5m以上）の地域にも居住者が住んでいるため低くなっている。

CO₂排出量（人口1人当たり）の分布を図4.1.11に示す。シナリオ別の立地誘導の結果、「立適」と「コンパクト」が低く、次いで「防災」の順となっている。「立適」は撤退と誘導によるインフラ部門は少なく、民生（住宅・商業・業務・宿泊・医療・学校）と交通部門が比較的少ない。一方、「コンパクト」の場合は、撤退・集約時のインフラ部門のCO₂排出量は大きくなっているが、立地誘導が進むことにより次第に減っており、さらに、民生部門と交通部門の排出量も少ない結果となった。しかし、「防災」の場合は郊外地域などの安全な地域へ誘導されるため、長期的にはインフラ部門の排出量は減っていくものの、民生部門と交通部門の排出量は大きくなっていると考えられる。

市街地維持更新費用（人口1人当たり）の分布を図4.1.12に示す。「立適」が最も高くなっており、「コンパクト」「防災」の順となった。「防災」は浸水地域の全人口がその他の地域（低密度地域）に誘導されるため、浸水地域の維持・更新費用は一番低くなる。「コンパクト」も費用が比較的低くなっているが、バス停・駅周辺に誘導しているためインフラなどの費用が「防災」よりは少し高くなる。一方、「立適」は、西部の中山間・農村地域や東部の海岸部の低密度な一部地域において非常に高くなっており、居住誘導・都市機能誘導区域との差が大きく、将来はこの地域における維持・管理が課題になると言える。

d) 気候変動の適応（減災）策の適用及び評価

気候変動に伴う自然災害リスク増大のシナリオを想定し、本研究のシステムを用いて松阪市での適応策を検討した。本研究ではシナリオとして、気候変動に伴って発生が増える強い台風による高潮被害を想定したが、洪水や土砂災害、および海面上昇による津波被害増大も評価可能である。

「水害被害指標分析の手引き」¹⁵⁾に示されるライフラインの支障による影響人口などの算出方法を準用した。想定する高潮について、避難行動を基に死者・負傷者数とインフラの被災状況を推計した。高潮災害に対して有効と考えられる適応策にはハード・ソフト面の色々な対策が挙げられるが、本研究では、主にQOLの低下量を軽減する施策とQOLの回復速度を上げる施策に分類し、それぞれについて現地の特性に留意して評価を行った。QOL低下量を軽減する施策として「海岸防災林」などを、QOL回復速度を上げる施策として「ポンプ排水」「避難所の整備」などを適用した。松阪市で30日間、各施策によるQOL低下抑制と回復速度向上について施策毎の効果に大きな差は見られなかった。一方、ひとたび止まったインフラが長期間使えなくなるとQOLの回復が遅れること、特定のインフラの開通で飛躍的にQOLが改善されることが示唆された。

e) 低炭素・非常時エネルギーセキュリティの評価結果

サブテーマ（2）と共同で、立地誘導シナリオとエネルギー技術を組み合わせた地域更新施策の導入効果を評価した。立地誘導シナリオは前述の「立適」「防災」「コンパクト」の3つ、エネルギー技術のメニューは、大規模発電所からの供給のみに依存する従来の「集中型」、建物単位で個別に太陽光発電を運用する「オール電化」、地域内で再生可能エネルギーやコージェネレーションなどの多様な供給力を組み合わせてエネルギーを生産する「分散型」（個別単位の「建物」と面的利用の「街区」単位の2パターン）の4つを設定した。

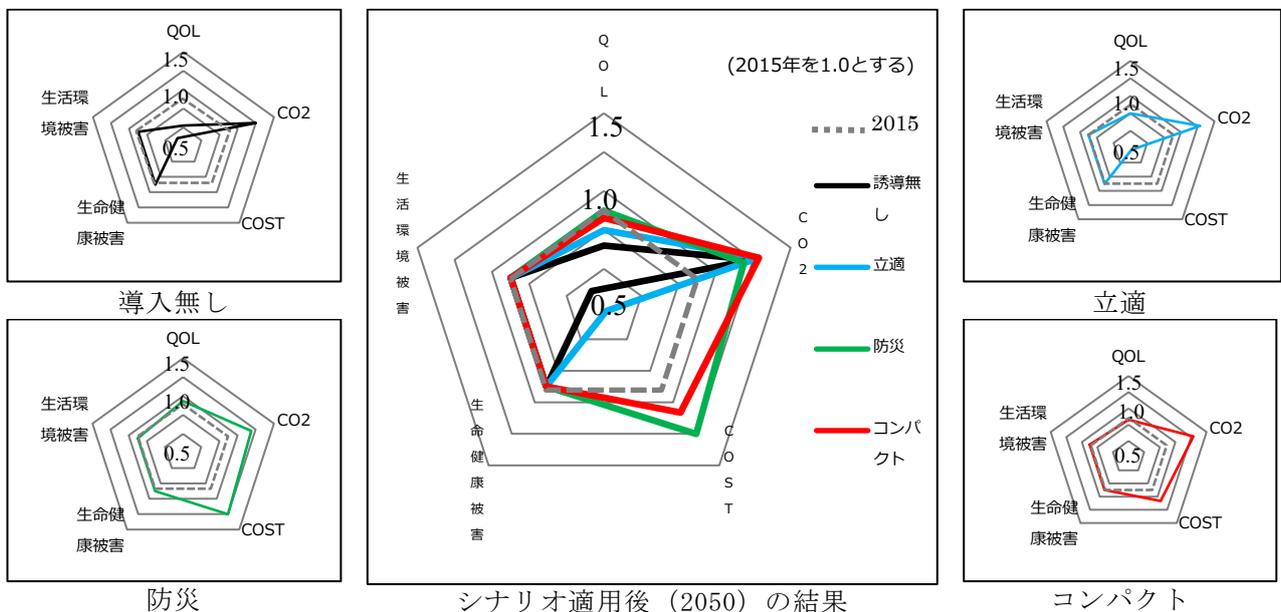
評価の結果、立地誘導がCO₂排出量と非常時エネルギー供給率に与える効果は、片方が改善すれば、もう片方が悪化するというトレードオフの関係にあることがわかった。「立適」は、ある程度災害危険性

を考慮した地区設定をしているものの、非常時エネルギー供給率向上は十分ではない。「防災」に従って誘導すると大きく向上する。居住誘導区域や都市機能誘導区域においてインフラが十分に整備されているとすると、「立適」に従って立地誘導することにより、除却工事が進むことで一時的にCO₂排出量が増大する可能性があるが、将来的には集約が進むにつれて排出量は少なくなる。「防災」と「コンパクト」は、非常時エネルギー供給率の向上には寄与する一方で、インフラの新設によるCO₂排出量が増大する可能性がある。環境負荷という観点で「オール電化」と「分散型（建物）」を比較すると効果はほぼ同等であるが、非常時のエネルギー供給力に大きな差があることが確認できた。「分散型（街区）」は、街区内の建物の用途混合比率によって排熱の活用度が異なるため、省エネルギー効果に差が出る。

一方、2020年から2050年までの30年間の立替・立地誘導による新規建物を対象に建築費用およびエネルギー導入を算出した。その結果、16シナリオ別の都市計画区域全体の費用は、「防災>誘導なし>中間>立適」の順で高かった。特に、分散型エネルギーの場合、熱導管や自営線、エネルギーセンターなどの費用が非常に高いため、新規建物全体に導入するのは現実的ではないと考えられる。次に、中心市街地域（京町）と郊外地域（小阿坂町）を対象にシナリオ別の導入費用を比較した。その結果、中心市街地域（京町）の場合は「立適>中間>防災>誘導なし」の順に高かった。「立適型」のように、非浸水地域の一部中心市街地や都市機能誘導区域における建物および分散型エネルギー導入は効率的ではない。一方、郊外地域（小阿坂町）の場合は、「防災>中間>誘導なし>立適」の順に高かった。「防災型」も同様に、非浸水地域における立地誘導による建築・エネルギー導入は費用効率的でない。

以上を踏まえ、巨大災害が懸念される地域においては安全な地域へ撤退・誘導し、地域的事情などにより撤退が混乱な地域においては、大規模立替時のコンパクト集約による分散型エネルギーの導入が効率的であると考えられる。なお、本研究で示すように、熱の用途を給湯に限定する場合、住宅地において高い効果を発揮する一方で、中心市街地では効果が低くなる。用途に偏りができるような立地誘導を行うと効果が低くなる恐れがあるため、立地誘導の際はコンパクト集約と用途混合を同時に考慮することが重要である。

f) 松阪市都市計画区域における立地誘導シナリオ適用後の総合評価



松阪市都市計画区域の、2015年と比較した立地誘導シナリオ別の2050年における平常時Sustainabilityと災害時Resilienceの総合評価を行った(図4.1.13)。指標別に見ると、QOLは「防災」・「コンパクト」・「立適」の都市誘導順に高くなっている。この結果は、人口1人当たりの延床および緑地面積などの居住快適性を重視する松阪市の調査結果の影響と考えられる。「立適」は郊外の低密度地

域の1人当たりのCO₂排出量と市街地維持更新費用が高くなっている。「コンパクト」はCO₂排出量および市街地維持・更新費用が少なく、環境・経済のバランスがよい。以上より、「立適」と「防災」を適切に組み合わせて徒歩圏に集約した「コンパクト」型の立地誘導シナリオが効果的であると考えられる。

得られた結果を踏まえ、三重県松阪市における再生可能都市実現のための目指すべき戦略案の概要を図4.1.14にまとめた。

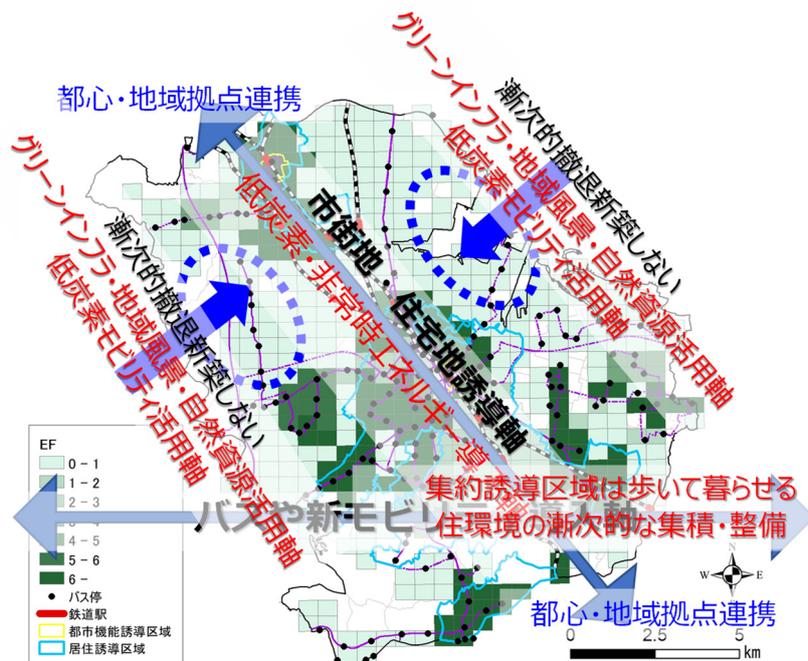


図4.1.14 松阪市都市計画区域における再生可能都市に向けた都市空間構造転換の提案

(4) まとめ

「土地利用・インフラ戦略」「気候変動の適応・減災戦略」「低炭素・非常時エネルギー戦略」を考慮した再生可能都市への転換を検討する際に、本研究で開発した評価システムの活用方法をまとめる。

- ・ 土地利用・インフラ戦略においては、コーホートモデル・建物更新シミュレーションを用いて、人口・世帯別（世代・年齢・性別・従業員・学生数など）の将来推計を行い、建築物・インフラ更新と交通活動や家庭・業務活動の変化が予測でき、それに起因するCO₂排出量はもとより、市街地維持・更新コストも推計できる。各部門におけるCO₂排出量の推計や低炭素計画の立案・検討に活用できるだけでなく、各地区の更新・集積・撤退のタイミングや都市域の空間的な再編の方向性を検討できる。これらは、都市計画マスタープランや立地適正化計画、地域公共交通網形成計画等に活用できる。
- ・ 巨大自然災害によるQOL低下と回復の評価も行うことができる。さらにこれを利用して、気候変動による海面上昇や津波、水害、土砂災害等の災害リスク増大の予測をすることによって、インフラ・建築物の整備等の防護策、立地変更策および危険地域からの撤退や安全な場所への誘導や親族への近居策、自然災害に対する被害率を予測した撤退・集約といった立地誘導を通じた適応策の検討が可能となる。これらは地域防災計画や気候変動の適応策として、QOLの低下および回復速度向上のためのハード、ソフトの事前・事後対策やインフラ・ライフラインなどの整備に活用できる。
- ・ 低炭素・エネルギーセキュリティでは、災害時にのみならず、都市空間構造の変化や居住者のライフスタイルも考慮した平常時の低・脱炭素戦略を検討することができる。最近災害に強い分散型エネルギーシステムや環境にやさしい創・蓄・省エネルギーなどの要素技術を含め、災害に弱い地域や人口減少・少子超高齢化が進んでいる地域においては、上記の土地利用戦略と災害地域などを踏まえつつ、集約の場所・方法などを政策メニューとして設定ができる。それにより、集約した地域

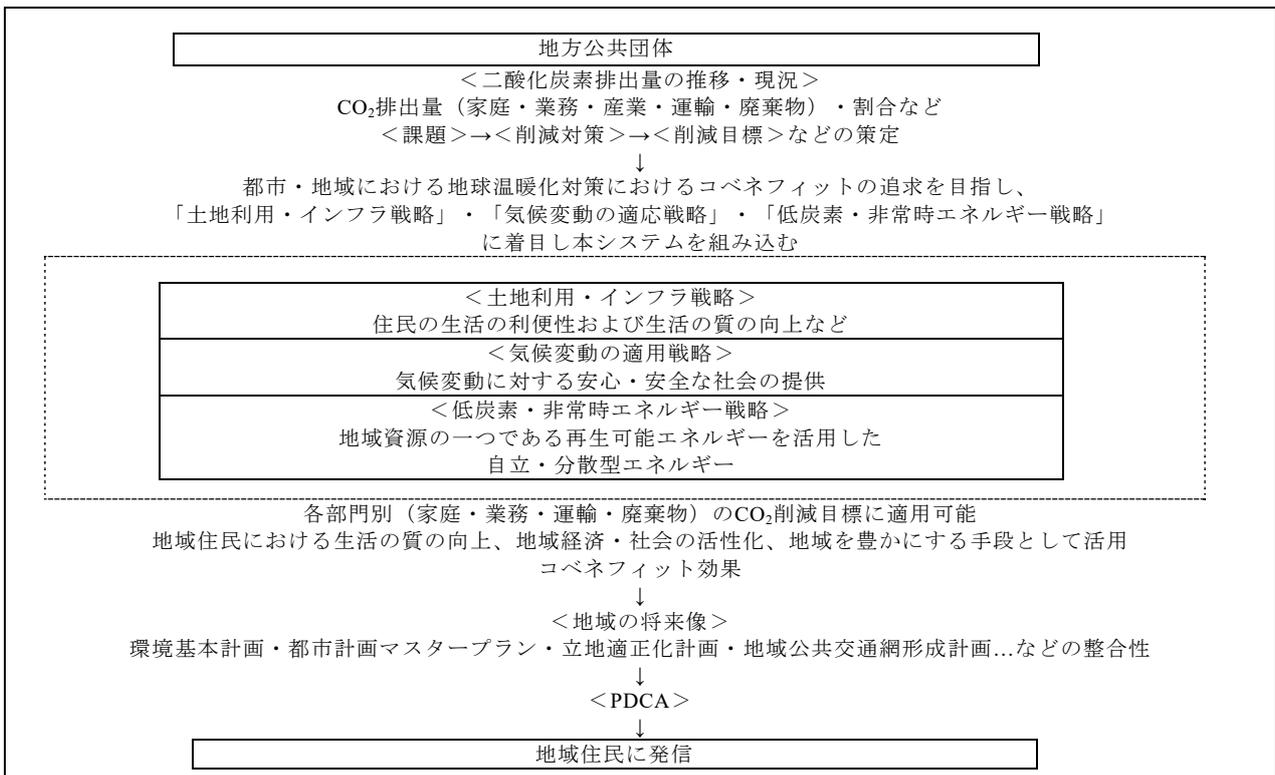


図4.1.15 地球温暖化対策実行計画（区域施策編）における本システムの適用・検討手法の例

には電力供給の阻害等を防ぐ施策の検討を低炭素・エネルギー施策と並行して行うことができ、これは、広くは環境基本計画をはじめとして、地球温暖化対策実行計画（区域施策編）、低炭素まちづくりなどに活用できる。

- 地方自治体における地球温暖化対策実行計画（区域施策編）適用の例を図4.1.15に示す。本研究の戦略を用いると、地方自治体の地球温暖化対策に伴うコベネフィットを同時に追求した戦略検討が可能となり、これは各計画への適用や整合性を図る上で、「地域の将来像」の設定に貢献できるものとして期待される。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 従来、都市・地域を対象とした Sustainability 評価と巨大自然災害に対する Resilience 評価は全く別個に行われてきた。しかし、再生可能都市へ転換していくためには両方とも考慮が必要であることや、気候変動の緩和策と適応策を同時に検討する場合には必須であることから、本研究では、それを可能とする評価システムを構築できた。住宅情報以外の全データはオープンデータを用いることで、全国の都市・地域へ適用可能としている。施策シナリオ別の将来推計が可能で、目指すべき持続可能な都市空間構造の検討手法を構築できたことに科学的意義があると言える。
- 低炭素・非常時エネルギー安定供給部門において、主に市街地の低炭素化に資する新たなエネルギーシステム導入に関する研究は新規街区の開発を対象としており、既成市街地を対象とする研究は少ない。さらに、既存市街地で低炭素化を進めるための有効な施策である「エネルギーシステム導入」と「市街地集約」を一体的に検討・評価し、これらの施策を漸次的に導入していく場合を検証できるモデルを開発した。また、これを実都市へ適用し、人口将来推計およびシナリオ別の建物の将来建て替えシミュレーションを実施し、その有用性などの検証を行った点に新規性がある。実都市へ適用した結果、立地誘導が CO₂ 排出量と非常時エネルギー供給率に与える効果は、片方が改善すれば、もう片方が悪化するというトレードオフの関係にある点、エネルギー供給システムを「分散型（面的利用の街区単位）」にした場合は排熱の活用が重要であり、熱の用途を給湯に限定する場合は立地誘導の際に住宅地を含めた用途混合が効率的で、電気に転換できるようにすることで業

務・商業地の集約した中心市街地においても省エネルギー効果が高くなる点、などを明らかにしたことに科学的意義があるといえる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- 対象地域の1つである徳島東部都市圏では、徳島大学と徳島県・徳島市ほか自治体で「再生可能まちづくり研究会」をつくり、定期的な会合で意見・情報の交換を進めながら行った。その過程で、名古屋大学・関西大学の研究者も入り、データ収集・モデルシステム構築を進め、結果を提供し意見をいただいた。その結果、コミュニティ強化による減災や人口減少回避の効果を明らかにし、地域のまちづくり計画に反映されたり、公共交通網整備に伴う効果の計測結果を踏まえサービス改善策推進に活かされたりするなどの具体的な成果につながった。さらに次期立地適正化計画改定に向け、都市計画部局と防災など他部局との連携が必要であることが認識され、本研究の評価システムがそれに有用であることも理解された。徳島県は2020年度に気候変動の適応戦略を策定する中で、まちづくり・都市計画と協議しつつ環境部局が危機管理部と一緒にになって取り組む体制が確立し、本研究の成果を活用し施策立案に活用していく予定となった。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 本稿で評価事例として紹介した松阪市については、市の全面協力でモデルシステムの構築と計画評価への適用が可能となった。2020年3月14日に松阪市産業振興センターにて、松阪市の都市計画・防災・環境の担当者を対象に、研究代表者および各サブテーマの担当者から本研究の成果結果を説明し、戦略の受容性・実装可能性などについて意見交換会を行い、現行都市計画の問題点が認識され、行政による研究計画活用の道筋がついたところである。
- SDGs評価チェックリスト・データベースと持続可能性評価システムは、自治体が自らの取組や行政計画においてSDGsをどれだけ考慮し、また地域でどの程度実現できているかを簡易に検討できるものとなっており、自治体・地域での広範な活用が期待できる。
- 本研究で開発した評価システムは、大半のデータがweb公開されている既存データを用いるため、全国の都市・地域へ適用可能であり、独自調査によってより詳細な分析も可能である。平常時のSustainability（環境／社会／経済の3側面）と巨大自然災害時のResilience（QOL低下抑制・早期回復とエネルギーセキュリティ）を同時に定量評価できる。これによって、既成市街地を対象として、立地・交通施策やエネルギー・環境施策全般の効果を多面的に検討できる。この中には、気候変動緩和・適応策検討、巨大自然災害対応、エネルギー施策検討が含まれる。
- 本研究で開発したシステムを用いると、立地適正化計画・都市計画マスタープランおよび地域公共交通網形成計画の策定や見直し検討、地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）や地域気候変動適応計画、地域エネルギー計画、そして地域防災計画の検討・評価に適用可能である。さらに多面的な評価が同時に可能であるため、多数の部局が本システムを活用し、そのアウトプットを共有することで、部局間の認識共有や諸計画・施策の整合性担保、縦割りを打破した総合的な対応を実現することが見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 戸川卓哉、加藤博和、林良嗣、森田紘圭、河村幸宏：地球環境 (Vol. 22, No. 2, 121-130) (2017)
CO₂排出量・市街地維持費用・QOL の 3 指標による集約型都市構造の評価
- 2) 河合一輝、加藤博和、朴秀日、清水大夢、秋山祐樹：土木学会論文集 D3, 土木計画学 (Vol. 75, No. 5, 213-222) (2019)
低炭素性と災害時エネルギー供給確保を考慮した街区群更新の評価手法の検討

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 加藤博和、朴秀日、大野悠貴、山中英生、北詰恵一、奥嶋政嗣、渡辺公次郎、井ノ口弘昭、井若和久：環境科学会 2018 年会高等発表、IC-1030 (2018)
再生可能都市の実現に向けた空間構造変更策の検討手法
- 2) 加藤博和：第 13 回日本 LCA 学会研究発表会 (2018)
サステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる都市評価モデルの提案
- 3) 河合一輝、加藤博和、長尾和哉：第 13 回日本 LCA 学会研究発表会 (2018)
環境負荷削減とエネルギーセキュリティをともに担保できる地域施策評価手法の検討
- 4) 清水大夢、加藤博和：平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会 (2018)
大規模災害発生後の生活環境悪化と死亡・傷病被害に着目した地域のレジリエンス評価
- 5) 河合一輝：平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会 (2018)
環境負荷とエネルギーセキュリティを考慮した地域更新過程の評価手法の検討
- 6) 加藤博和、朴秀日、大野悠貴、山中英生、北詰恵一、奥嶋政嗣、渡辺公次郎、井ノ口弘昭、井若和久：環境科学会 2018 年会 (2018)
再生可能都市の実現に向けた空間構造変更策の検討手法
- 7) 加藤博和：2018 年度建築学会大会研究集会 (2018)
自然災害に伴う生命・健康・生活へのダメージの余命指標を用いた評価
- 8) 朴秀日、加藤博和、石川佳治、山中英生、奥嶋政嗣、渡辺公次郎：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
地域のサステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる評価システムの開発
- 9) 河合一輝、加藤博和、長尾和哉、清水大夢、秋山祐樹：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
環境負荷とエネルギーセキュリティを考慮した地区更新過程の評価手法の検討
- 10) 森田紘圭、松山亜季、加藤博和：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
ESGの視点からみた都市交通政策の課題と評価のあり方に関する考察
- 11) 清水大夢、加藤博和、山本通寛、河合一輝、秋山祐樹：土木計画学研究・講演集, vol. 57, (2018)
巨大自然災害による生活環境悪化と生命・健康被害の経時変化に着目した地域のレジリエンス評価
- 12) 朴秀日、加藤博和、清水大夢、大野悠貴、石川佳治、山中英生、奥嶋政嗣、渡辺公次郎、井若和久、秋山祐樹：土木計画学研究・講演集, vol. 58, (2018)
気候変動に対応した地域のサステナビリティとレジリエンスを同時に考慮できる評価手法
- 13) 加藤博和、朴秀日、大野悠貴：環境共生学会 2019 年会 (2019)
巨大自然災害に伴う地域住民の健康・生活環境被害の空間分布推計—余命指標の適用—
- 14) 朴秀日、長尾和哉、大野悠貴、加藤博和：土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 60, (2019)
低炭素化と非常時エネルギー供給を両立できる既成市街地更新モデルの評価

- 15) 朴秀日、山本通寛、橋本拓実、大野悠貴、加藤博和、石川佳治、秋山祐樹：土木計画学研究発表会・講演集，Vol. 60，(2019)
気候変動による洪水リスク増加を考慮した地域のレジリエンス評価
- 16) 森田紘圭、松山亜季、加藤博和：土木計画学研究発表会・講演集，Vol. 60，(2019)
SDGs11に対応したコミュニティ持続可能性評価システムの構築
- 17) 山本通寛、加藤博和、朴秀日、大野悠貴：平成30年度土木学会中部支部研究発表会 (2019)
気候変動による洪水被害拡大が住民のQOL低下に及ぼす影響の評価手法
- 18) 長尾和哉、加藤博和、朴秀日、大野悠貴：平成30年度土木学会中部支部研究発表会 (2019)
低炭素と非常時エネルギー供給を両立できる既成市街地更新シナリオの評価
- 19) 田中美紀、大野悠貴、加藤博和、朴秀日：平成30年度土木学会中部支部研究発表会 (2019)
気候変動による洪水被害拡大が住民のQOL低下に及ぼす影響の評価手法
- 20) 朴秀日、加藤博和、大野悠貴、石川佳治、北詰恵一、井ノ口弘昭、秋山祐樹：土木計画学研究発表会・講演集，Vol. 61，(2020)
気候変動に対応した地域のサステナビリティとレジリエンスの評価手法と実都市適用への試み
- 21) 橋本拓実、朴秀日、大野悠貴、加藤博和：土木計画学研究発表会・講演集，Vol. 61，(2020)
気候変動に伴う高潮リスク増大への都市域の適応策の評価枠組—災害後のQOL低下と回復に着目して—

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境共生学会公開シンポジウム「気候変動への適応策と緩和策—地域からの統合的展開—」(主催：日本環境共生学会、2017年9月23日、高知工科大学永国寺キャンパス、観客約70名)にて「気候変動時代を見越した都市・交通戦略の検討手法」と題して講演
- 2) 都市環境部会シンポジウム「持続可能な関西の街づくりを考える」(主催：地球環境関西フォーラム、2017年11月29日、リーガロイヤルNCB、観客約200名)にて「持続可能なまちを支える土地利用・交通戦略～『だらしのない拡散』から『かしこい凝集』へ～」と題して講演
- 3) 一般公開セミナー「公共交通を活用した再生可能まちづくりセミナー」(主催：徳島大学、2018年3月17日、徳島大学、観客約60名)にて講演
- 4) 環境科学シンポジウム2019「シンポジウム-3」(主催：公益社団法人環境科学会、2019年9月13日、名古屋大学IB電子情報館、観客約50名)にて「気候変動の適応・適応策としての都市・地域空間構造変更策の検討手法」と題してプロジェクト概要および成果などを紹介
- 5) 松阪市主催シンポジウム「『まとまり』『つながる』まちと公共交通を市民みんなで作るために」(主催：松阪市、2017年12月3日、松阪市産業振興センター、観客約100名)にて市長はじめ市職員、市民、交通事業者などを対象に講演と、まちと交通の将来像を検討するグループディスカッションを実施
- 6) 徳島県と県内自治体職員との再生可能都市づくり研究会(主催：徳島大学、2020年3月6日、徳島大学、参加者約15名)にてプロジェクト成果の紹介と、地域まちづくり戦略の受容性・実装性の検討を行った。本来は同日にフォーラムを開催し、80名余の参加予定者とのワークショップによる検討を予定していたが、新型コロナウイルス感染症への対応として少人数の会合となった。フォーラムは今後改めて行う予定である
- 7) 松阪市役所職員との意見交換会(主催：名古屋大学、2020年3月14日、松阪市産業振興センター、参加者約15名)にてプロジェクト概要および成果などを紹介し、地域まちづくり戦略の受容性・実装性の検討を行った。本来は同日にフォーラムを開催し、80名余の観客に向けた講演

を予定していたが、新型コロナウイルス感染症への対応として少人数での意見交換となった。
フォーラムは今後改めて行う予定である

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 加知範康、加藤博和、林良嗣、森杉雅史：土木学会論文集 D (Vol. 62, No. 4, 558-573) (2007)
余命指標を用いた生活環境質 (QOL) 評価と市街地拡大抑制策検討への適用
- 2) Y. Akiyama, T. Takada, R. Shibasaki : CUPUM2013 conference papers (110) (2013)
Development of Micropopulation Census through Disaggregation of National Population Census
- 3) 青柳淳之介、杉本賢二、奥岡桂次郎、谷川寛樹：土木学会論文集 G (環境) (Vol. 71, No. 6, II_467-II_474) (2015)
名古屋市中心部における 4D-GIS を用いた都市の経年変化による MSFA に関する研究
- 4) 長岡耕平、谷川寛樹、吉田登、東修、大西暁生、石峰、井村秀文：環境情報科学論文集 (Vol. 23, 83-88) (2009)
全国都道府県・政令都市における建設資材ストックの集積・分布傾向に関する研究
- 5) 田中健介、早川容平、奥岡桂次郎、杉本賢二、谷川寛樹：土木学会論文集 G (環境) (Vol. 69, No. 6, II_25-II_34) (2013)
都道府県における建築物・社会基盤施設の経年マテリアルストック推計に関する研究
- 6) 戸川卓哉、加藤博和、林良嗣：土木学会論文集 D3, 土木計画学 (Vol. 68, No. 5, 383-396) (2012)
トリプルボトムライン指標に基づく小学校区単位の地域持続性評価
- 7) 日本エネルギー学会、柏木孝夫：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008, p. 339, 日本工業出版 (2008)
- 8) 石田千香、森田紘圭、杉本賢二、加藤博和、林良嗣：土木計画学研究・講演集 (Vol. 51, CD-ROM) (2015)
建物の立地誘導による 街区群の低炭素化効果の検討
- 9) 環境省：生活排水処理施設整備計画策定マニュアル (2002)
- 10) 財団法人建設物価調査会：建設統計月報 (2009)
- 11) 杉本賢二、橘竜瞳、森田紘圭、加藤博和、林良嗣：土木学会論文集 D3 (Vol. 71, No. 5, 121-128) (2015)
大規模自然災害に伴う生命・健康へのダメージの余命指標を用いた評価
- 12) 高野剛志、森田紘圭、戸川卓哉、福本雅之、三室碧人、加藤博和、林良嗣：土木学会論文集 D3 (Vol. 69, No. 5, 125-135) (2013)
東日本大震災における被災者生活環境の時間的変化の評価
- 13) 内閣府中央防災会議：南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法，南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ (2012)
- 14) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口 (2018)
- 15) 国土交通省水管理・国土保全局：「水害被害指標分析の手引き」 (2013)

Ⅱ－２ 再生可能都市の低炭素・エネルギー戦略に関する研究

関西大学

環境都市工学部 北詰 恵一

環境都市工学部 井ノ口 弘昭

平成29～令和元年度研究経費（累計額）：20,839千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：7,150千円、平成30年度：6,669千円、令和元年度：7,020千円）

【要旨】

再生可能都市への再編に向けて、住宅や都市施設を立地誘導していくタイミングを、新しいエネルギー技術を盛り込んだり脱炭素につながる生活パターンを可能にしたりする住宅整備・交通手段導入の好機と捉え、低炭素・エネルギーマネジメント技術施策に対する住民意向を踏まえた政策導入プロセス立案に繋げていく考え方を提案することを目的とした。

都市政策に関わる低炭素・エネルギーマネジメント政策を整理し、住民の環境意識や外出行動などの生活パターンを考慮したそれらの政策技術への対応をアンケートによって明らかにした。また、外出行動のうち道路交通に特に着目し、交通配分モデルを用いて環境負荷量を計算している。これらの情報から、低炭素・エネルギーマネジメント施策パッケージの導入プロセスの提案を行った。

この結果、都心や公共交通拠点周辺を広く想定した誘導策により集合住宅だけでなく戸建住宅エリアにまで拡大し、新築だけでなく既築住宅も視野に入れられる各種機器の特徴に応じた導入方針を整理した。また、各立地誘導政策を想定した道路交通の環境負荷量の計算により、電気自動車の普及を想定した場合、立地誘導を行ったケースで二酸化炭素排出量の排出量が最も少なくなる一方、被災想定区域からの撤退策では防災上は効果的であるものの道路交通の環境負荷量はやや増加することがわかった。さらに、立地誘導に応じる住民の比率については、先導役としての環境意識層は25～37%に留まる一方、経済的メリット層と合わせると25～40%いることから、引き続き低価格化技術が要求されることを確認した。そのうえで、高環境意識層と経済的メリット層だけでは導入が一定数にとどまるので、省エネ技術の開発スピードが速い場合と遅い場合に分けて政策プロセスを考慮する必要性を示した。

【キーワード】

低炭素戦略、エネルギー戦略、都市構造再編、再生可能都市

1. はじめに

少子高齢化が深刻化する時代においても低（脱）炭素社会を持続的に実現するためには、再生可能エネルギー利用や省エネルギーを継続的に実現する生活が可能となる基盤としての都市構造の再編が必要である。その再編の有効なタイミングは、コンパクト+ネットワークをコンセプトとして目指す地域公共交通網形成計画と立地適正化計画に基づく、住宅および都市施設の誘導地域への誘導政策による人々の転居であると考えられる¹⁾。そして、それは同時に、新しいエネルギー技術を盛り込んだり脱炭素につながる生活パターンを可能にしたりする住宅整備・交通手段導入のタイミングでもある。スマートシティのような先進的な地区での諸研究は進んでいるが、実際の個々の都市や市民に対して、どのような意向に基づく効果が期待できるかを検討する必要がある。

都市構造を変えることによって、日常生活を支障なく送ることができ、環境負荷につながらない生活を可能にする政策を考える必要があるが、新しい政策そのものの実証研究は進んでいるものの、集約的な都市構造の傾向とそこに立地する住民世帯の特性に沿った政策プロセスをみているものが少ないのが現状である^{2),3)}。このため、立地行動および交通行動を規定する世帯を分析単位として着目し、世帯の環境意識や生活パターンとエネルギー需要パターンとの関係性を分析し、新しい環境技術への動きを集約的な都市構造再編と関連づけながら知ることで、都市構造の再編とタイミングを合わせながら低炭素・

(3) 都市における立地行動による環境への影響

(2)におけるアンケート結果を用いて、立地誘導のタイミングで転居を考えるとときの立地行動とそれによる環境への影響を分析する。立地適正化計画における拠点形成区域や居住誘導区域を意識して、世帯単位での所有形態や住居形態別の住居変動パターンを分析し、特に環境への影響を大きく左右するスマートハウスの採用意向を検討した。これらの分析は、具体的な都市における状況を踏まえる必要があるため、立地適正化計画を持たない長浜市を比較対象として、同計画を有する西宮市を分析対象として検討を行った。また、他のサブテーマと共同の対象地域で行うため、関連する分析を松阪市において行っている。

(4) 市町村の道路交通に対する環境負荷量の推計

市町村が立地適正化計画などを進めていくと、各地区の人口構成が変化する。この時の、将来の環境負荷量の推計方法を考える。民生部門の排出量推計では、世帯の場所が移動したとしても、使用する電気などのエネルギー量はそれほど変化しない。しかしながら、運輸部門では、①世帯の場所が変われば通勤距離、買い物に行く距離なども変化すること、②道路混雑により、エネルギー消費量が変わることから、立地場所による影響が大きい。このため、運輸部門の環境負荷量の推計は、道路ネットワークを考慮して行っていく必要がある。ここでは、将来人口推計、各種の土地利用政策・環境政策の実施に対応した道路交通の環境負荷量の推計方法を提案する。

ここでは、各市町村が実施する立地政策・環境政策が道路交通の環境負荷量に与える影響を検討するための方法を提案する。全体の推計手順を図3.2.1に示す。

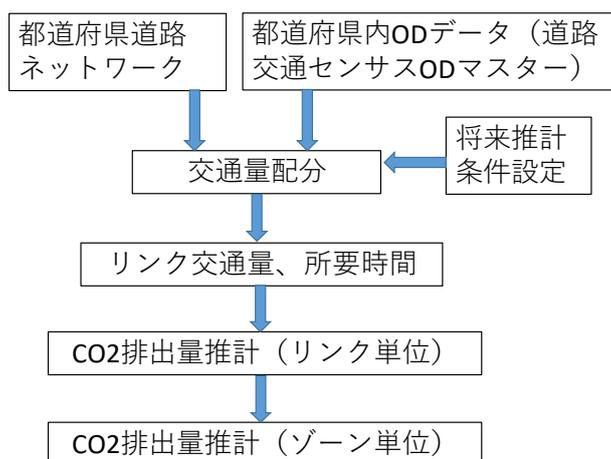


図 3.2.1 環境負荷量の推計手順

各市町村が実施する政策の検討であるが、道路交通では、通勤を含めて市町村を越えた移動が多く存在する。このため、日常生活圏域の範囲での推計が必要となる。ここでは、都道府県の範囲の道路ネットワークを対象として検討する。ただし、都道府県境界の近くに位置する市町村などで、隣接する都道府県との往来が多い場合は、隣接地域を含めた推計が必要となる。

道路ネットワークデータは、高速道路を含む幹線道路をデータ化したものである。各リンクの接続関係およびリンク長・規制速度・交通容量などが含まれる。また、ODデータは全国規模で調査が行われている道路交通センサスのODマスターデータを集計して用いる。ODマスターデータでは、出発ゾーン、到着ゾーン、車種、トリップ目的などが記録されている。今回は、将来の変化を推計する必要があるため、トリップ目的ごとにゾーン間のOD交通量を集計する。将来推計の際は、各ゾーンの将来推計人口を基に、発生・集中交通量を推計し、それを基にOD交通量を算定する。

各リンクの交通量を推計する交通量配分モデルとして、利用者均衡配分モデルを用いる。これは、Wardropの第1原則に従う均衡解を算定するものであり、次式で示される等価な数理最適化問題を解く。

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - Q^{rs} = 0 \quad \forall rs \in \Omega \\ & x_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad \forall a \in A \\ & f_k^{rs} \geq 0, \quad x_a \geq 0 \end{aligned}$$

ここで、リンク交通量とリンク所要時間の関係を表すリンクパフォーマンス $t_a(x_a)$ として、BPR 関数を用いる

つぎに、交通量配分の計算で得られたリンク交通量を用いて、リンク単位で環境負荷量を算定する。ここでは、環境負荷量として二酸化炭素の排出量を考える。はじめに、リンクパフォーマンスで算定されるリンク所要時間は、1日の定常的な状態を仮定した値となっているが、この所要時間を用いて各リンクの走行速度を算定する。つぎに、走行速度別・車種別の二酸化炭素排出係数を用いて、二酸化炭素排出量を推計する。この排出量は、リンク単位で求められるため、ゾーン単位で集約する。また、電気自動車の場合は、電気消費量の推計モデルを用いて、電気消費量を算定し、発電時の二酸化炭素排出係数を乗じて環境負荷量を算定する。さらに、充電ピーク時の電力量を推計することで、発電所インフラ整備の必要性の検討を行う。

これらの手順を用いて、各種の土地利用政策・環境政策を行った時の環境影響を推計し、道路交通の環境負荷量の観点から望ましい政策を検討する。

(5) 低炭素・エネルギーマネジメント施策パッケージの導入プロセスの提案

これまでの分析を踏まえて、立地誘導地区に転居するタイミングで、各世帯が住居形態や所有形態に応じてどのような生活パターンをベースに環境技術に対応し、それが有効に低炭素・エネルギーマネジメント施策の導入につながるかを分析し、特に技術動向に応じて、どのように進めるべきかについて提案を行う。

4. 結果及び考察

(1) 都市政策に関わる低炭素・エネルギーマネジメント施策

本研究では、行政報告及び関係機関の報告書として、基本的なものとして、資源エネルギー庁『省エネルギー技術戦略2016』(2016)、『長期エネルギー需給見通し』(2015)、『エネルギー基本計画』(2018)、中央環境審議会地球環境部会『長期低炭素ビジョン』(2017)、環境省『長期大幅削減に向けた基本的考え方』(2018)などを参照し、既存文献整理およびエネルギー関連会社へのヒアリング等から、今後予想される再生可能都市に関わる環境・エネルギーの動向の中で特に取り上げるべき環境政策を整理した。基本的な目標像としては、国民生活の居住および移動に関する炭素排出をほぼゼロとし、9割以上の電源を脱炭素化するとしたとき、再生可能都市の構築と関連して、以下のように整理した。

- ・ 住宅全体に導入する新技術に関しては、新築住宅を中心に導入を基本とする。既存住宅への導入可能な新技術については、それを含めた普及率を高める。
- ・ 次世代自動車は、普及を目指すものの、新車販売でも50~70%程度、既存自動車も含めると、全8,200万台から比較すれば高い比率ではない。
- ・ 再生可能エネルギー起源の電力、蓄電池等は、爆発的に普及が進むほどの価格低下とはならない。また、これをふまえて、立地誘導に合わせた環境技術を導入した転居を想定して市民に意向を問うとき、より分かりやすい現存する具体技術をもとに調査することが適切と考えたことから、図4.2.1に示す8つの技術動向を新築・既築、戸建・集合住宅別に整理し、その動向を検討した。拠点地区や立地誘導

地区は公共交通拠点周辺であるため、人口密度の低い地方都市を除けば集合住宅となる可能性が高く、新築だけでなく既築住宅への導入も考える必要がある。このため、既築戸建でも導入可能な太陽光、既築・集合住宅に導入可能エネファームなどをベースとした普及を考えつつ、他の技術が飛躍的に導入可能な転居時新築ZEHに期待が寄せられるとした。これを踏まえて、市民アンケートでの意向を聞き、低炭素・エネルギーマネジメント施策のパッケージ化の必要性和導入プロセスへの配慮が必要であることがわかった。

電気温水器

- ・主に、既築住宅への技術
- ・エコキュートへシフト
- ・集合住宅更新需要ワンルームマンション



エコキュート

- ・新築・既築ともに導入可能戸建住宅への導入が一般的
- ・エコキュート更新、オール電化セット
- ・太陽光発電連携への期待
- ・ZEH補助金活用での新築向け



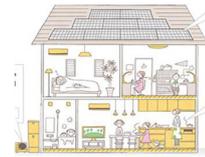
エネファーム

- ・新築・既築ともに導入可能戸建への導入技術
- ・新築だけでなく、既築・集合住宅へ
- ・太陽光発電とW発電



オール電化

- ・新築住宅への導入技術
- ・LPGエリアはオール電化
- ・新築のZEH化、PV連携型への期待



太陽光

- ・新築・既築可能だが既築に多い戸建住宅への導入技術
- ・引き続き戸建中心、ZEHで追い風



太陽熱

- ・減少傾向(インシヤルコスト低減要)



ハイブリッド車

- ・導入実績が一般化



電気自動車

- ・導入に向けて要展開



図4.2.1 環境技術（導入機器）と普及動向

(2) 生活パターンを考慮した低炭素・エネルギーマネジメント技術への対応

まず、Webアンケートデータをもとに、生活行動と環境意識に基づき生活パターンを分類した。

図4.2.2に示す通り、環境意識層（環境意識の高い人々）は全体の25(19+6)%程度であった。経済的メリット層（家計のメリットになる）選択肢の割合が42(26+16)%と高くなり、エネルギー技術の価格低減や補助金によって導入率が変わってくる可能性があることを示した。また、各住宅のタイプで住居に誰もいない全員外出時間の平均外出時間の割合をとったものが図4.2.3である。

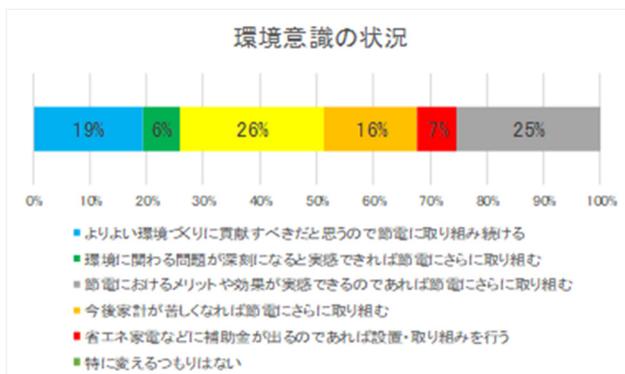


図4.2.2 環境意識の状況

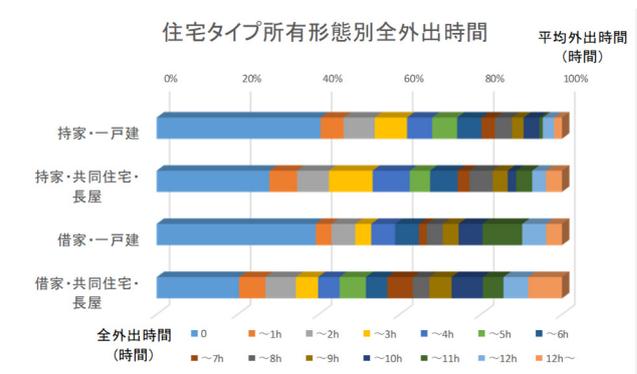


図4.2.3 住宅携帯所有形態別全外出時間

これらを踏まえ、図4.2.4に示す通り、生活パターンは次の4つに分類でき、それぞれの動向を整理した。戸建に住んでいる世帯の0時間外出率が高い値になっており、環境意識が高くても、全員外出率が低ければ電気使用量が高くなるのが分かる。

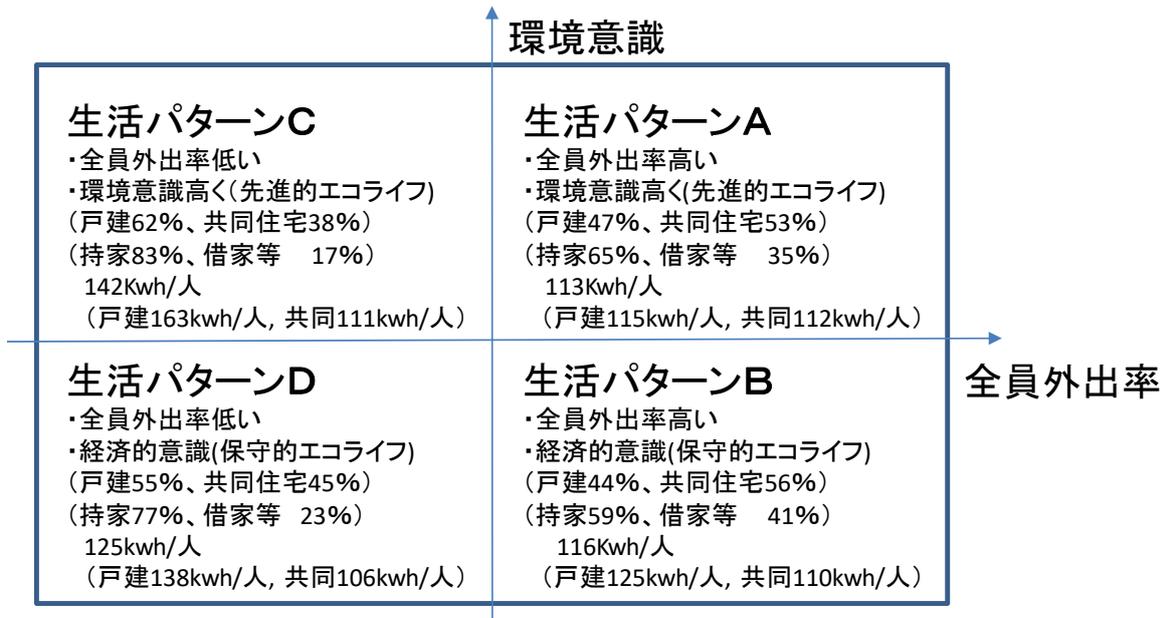


図4.2.4 生活パターン分類

これらの生活パターンごとの転居意向を尋ねた結果が、図4.2.5～図4.2.7である。

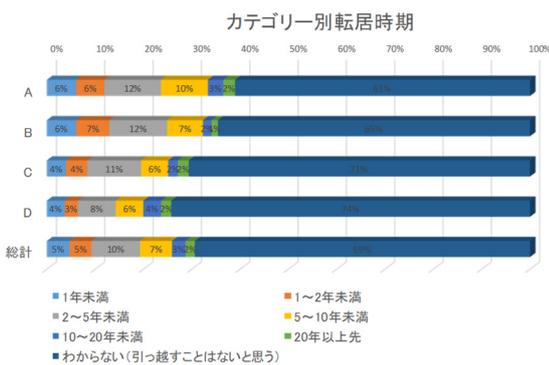


図4.2.5 生活パターン分類別転居時期

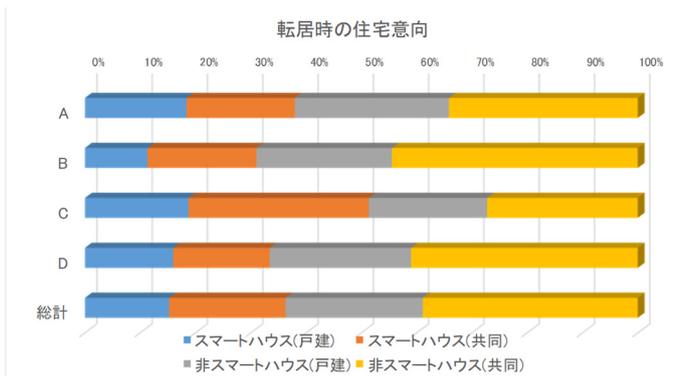


図4.2.6 生活パターン分類別転居時の住宅意向

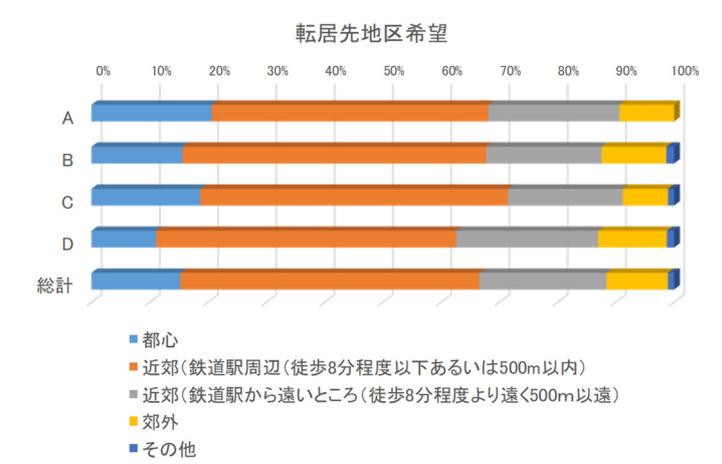


図4.2.7 生活パターン分類別転居先地区希望

全員外出率が高い世帯は、世帯人員の少ない世帯を多く含むこともあり、1～2年未満の短期転居意向が高く、全員外出率の低い環境意識の高い層はスマートハウスへの転居意向が高く、どの分類であって

も都心・駅勢圏への転居意向が高いことが確認できた。全員外出率で示される生活パターンを踏まえつつ、環境意識の高い層をスマートハウス等の導入の先駆けとなる層として考え、短期転居層の転居行動タイミングを逃さずに施策を展開することで、ある程度潜在的に存在する都心・駅勢圏への転居意向を顕在化させる工夫が必要であることを示唆している。

(3) 都市における立地行動による環境への影響

具体的な都市として、関西電力の管轄下でDID面積の相対的に低い長浜市と高い西宮市を選択した。表4.2.1は、各市の基本情報である。

各市へのヒアリングによれば、長浜市は、立地適正化計画に基づく都市構造の形成手法を採用しない方針を打ち出している。一定の集約は行うが、現在の地域に住み続けたい住民の考えを優先すると立地適正化計画の条件や手法があっていないことや住民の不满、メリットが少ないことが原因と考えられる。しかし、都市計画マスタープランによって都市構造の再編は行う方針で、旧長浜市と木之本町を中心とした街づくりを進める。ただし、明示的にエネルギー政策と関連づけたものではない。

表4.2.1 対象市の概要

	長浜市	西宮市
人口(人)	83,669	487,850
面積(km ²)	539.6	100.18
人口密度(人/km ²)	155.1	487.2
DID面積(km ²)	7.0	39.8
DID面積の割合(%)	1.3	39.8
都市計画区域の面積(km ²)	198.5	100.3
鉄道ネットワーク	9	23
平均気温(°C)	13.9	14.7
最高気温(°C)	31.5	27.0
最低気温(°C)	-0.7	3.6

西宮市は、立地適正化計画を2019年7月に公表しており、現状においても多くの地区でコンパクトな都市構造となっているとしているものの、人口減少・密度の低下、少子高齢化の進行、公共施設等の老朽化などを主要課題とした計画となっている。医療・福祉や教育文化などの関連計画としての位置づけはあるが、エネルギー政策との関連付けは必ずしも明確ではない。

節電に関する取り組み意向について尋ねた結果が、図4.2.8である。選択肢は、①よりよい環境づくりに貢献すべきだと思うので節電に取り組み続ける、②環境に関わる問題が深刻になると実感できれば節電にさらに取り組む、③節電におけるメリットや効果が実感できるのであれば節電にさらに取り組む、④今後家計が苦しくなれば節電にさらに取り組む、⑤省エネ家電などの補助金が出るのであれば設置・取り組みを行う、⑥特に変えるつもりはない、の6つである。「よりよい環境づくりへの貢献」に関する比率が西宮市で26.8%と多くなった点以外は、両市で大きな相違は見られなかった。

新しい環境・エネルギー技術の導入意向について、各人の意向の自己評価について尋ねた結果が図4.2.9である。選択肢は、①率先して新しい仕組みを導入するタイプ、②同じマンションや町内会で導入するなら導入するタイプ、③友人や知り合いが導入するなら導入するタイプ、④市町村で多くの人が導入しているらしいという情報があると導入するタイプ、⑤都道府県や日本全国で多くの人が導入しているらしいという情報があると導入するタイプ、⑥最後まで導入を躊躇するタイプ、の6つである。最後まで導入を躊躇するタイプがともに19.7~19.9%と同程度いるとともに、地縁コミュニティ以外の導入実績から影響を受ける傾向は共通している。一方で、長浜市民が自身の判断で導入する傾向が見られるのに対し、西宮市民は同じマンションや町内会の導入に影響を受ける傾向が伺える。

立地適正化計画等による誘導により新たな立地を進めるときをひとつの機会とするスマートハウスの

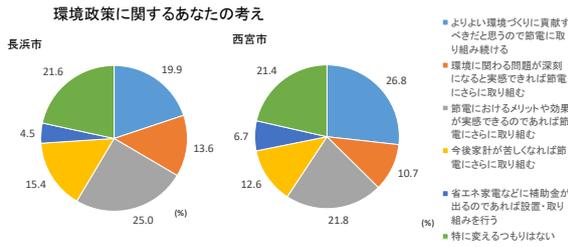


図4.2.8 環境意識と節電意向

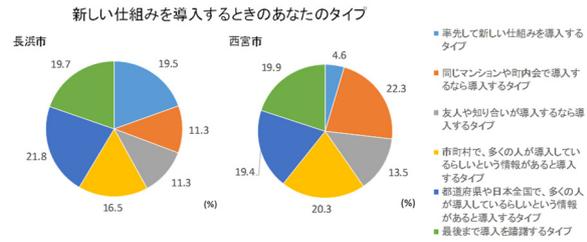


図4.2.9 新しい仕組み導入時のタイプ

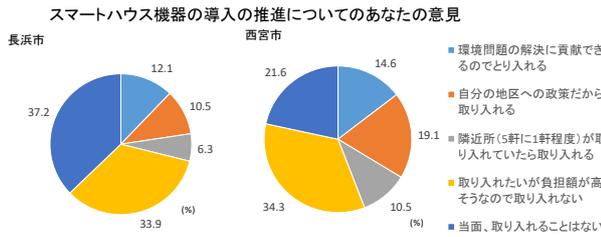


図4.2.10 スマートハウス導入意向

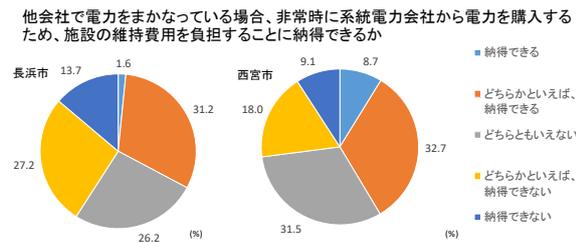


図4.2.11 系統電力会社への維持費用負担の納得性

導入について、その意向を尋ねた結果が図4.2.10である。長浜市の71.1%、西宮市の55.9%は導入することに消極的である。また、近隣20%（5軒に1軒程度）導入により導入を考える層は6.3%、10.5%であり、近隣コミュニティにおける誘導も必ずしも十分ではない。環境問題そのものへの貢献や地区政策としての貢献に導入のきっかけを伺うことができる。

電力自由化により、特に再生可能エネルギー比率の高い電力供給会社からの電力購入も可能になった。現段階では、必ずしも急激に普及が進んでいるわけではないが、価格面での変化や手続きの簡素化・情報の普及によっては浸透することも考えられる。一方で、何らかの理由で供給が止まったときのために系統電力からの購入を併用する形を想定した場合、大きな固定施設の維持費の負担を求めるような費用負担構造も考えられる。その費用負担構造への納得度を訪ねた結果が図4.2.11である。「納得できる」と「どちらかといえば納得できる」を加えた比率は、長浜市では32.8%であるのに対し、西宮市では41.4%と高い。逆に納得できない層の比率は、長浜市で40.9%であるのに対し、西宮市では27.1%と低く、系統電力への維持費負担意向は相対的に高いことがわかった。

環境意識そのものは、両市で大きく変化はないものの、立地適正化の誘導政策におけるコミュニティ単位での立地変化を想定した技術導入傾向は、両市で異なる点も見られ、コンパクトな地区形成に依じて政策をデザインし、マネジメントしていく必要性を確認することができた。

また、立地適正化計画を有する西宮市において、現居住地から、転居時期別の転居先住宅タイプの選択率を計算した結果が図4.2.12である。2030年までの地域拠点形成区域への転居意向は高く、必ずしも集合住宅のみではなく戸建住宅も視野に入れていることが確認できる。住宅タイプ別に違いはあるもののスマートハウスの選択意向が認められる。本研究は、長期的な立地誘導を想定しているが、2030年までの時期においても、立地誘導的な施策プロセスが必要であることが確認できる。

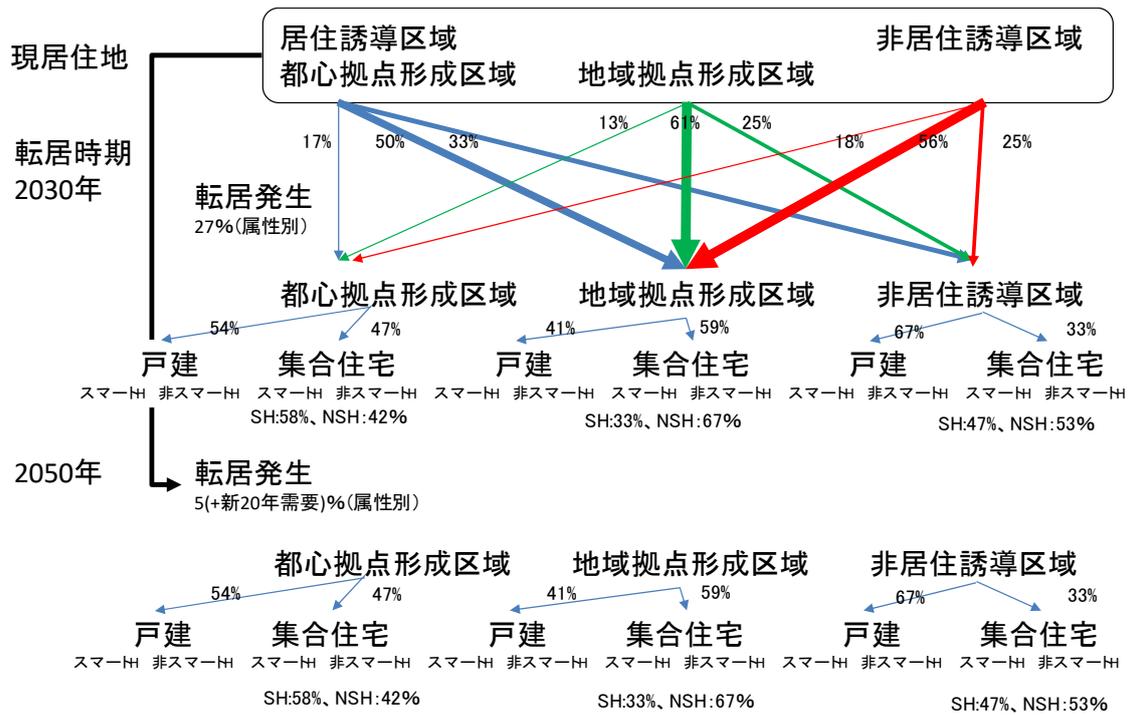


図4. 2. 12 住居変動パターン

(4) 市町村の道路交通に対する環境負荷量の推計

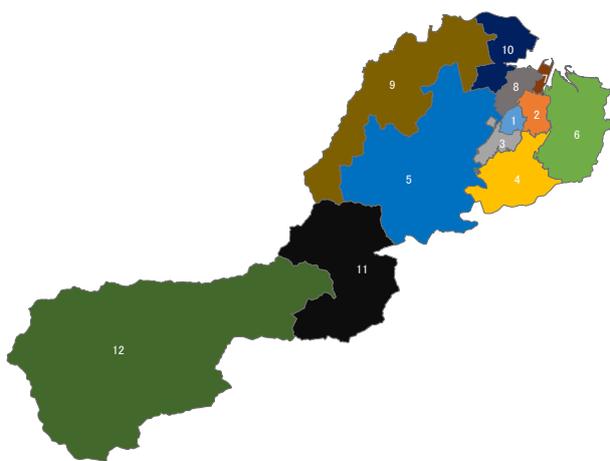


図4. 2. 13 松阪市のゾーン設定

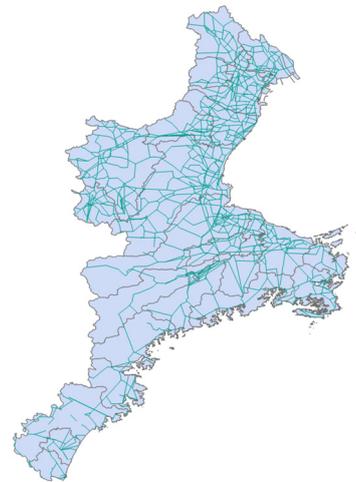


図4. 2. 14 交通量配分道路ネットワーク

ここでは、一例として三重県松阪市を対象に検討した結果を示す。道路交通センサスで設定されているゾーン区分を基に、図4. 2. 13に示すように松阪市を12ゾーンに分ける。また、道路ネットワークデータは図4. 2. 14に示すように三重県全体を対象に構築する。リンク数は1997、ゾーン数は144である。

土地利用・環境政策のケース設定として、つぎの3種類を考える。

- ・ 立適（立地適正化計画）：立地適正化計画による居住・都市機能を考慮した立地誘導策
- ・ 防災（ハザードマップ）：被災想定区域からの撤退策
- ・ コンパクト（撤退・集約策）：立地適正化計画とハザードマップの中間策として、居住誘導区域への人口集約政策

これらの政策による環境改善効果を5年単位で推計する。

ここでは、三重県松阪市を対象として各種の政策に対する道路交通の環境負荷量削減効果を検討する。はじめに、2050年までの将来人口推計結果を用いて、「誘導無し」の環境負荷量を推計する。人口デー

タは、図4.2.15に示すように町丁目単位で5年ごとに推計された結果を図4.2.13に示したゾーン単位で集計して用いる。

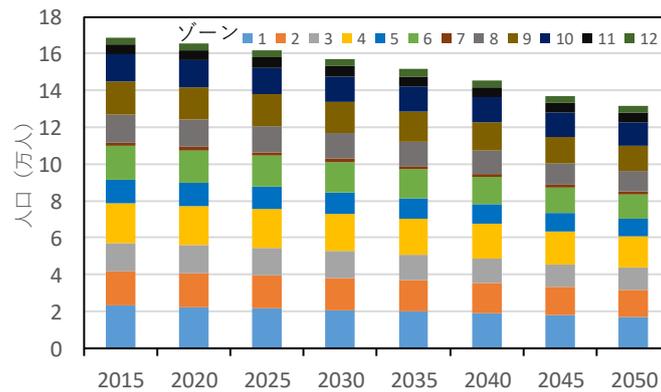


図4.2.15 松阪市の将来人口変化

この将来人口を用いて、OD交通量データを作成し、交通量配分の計算を行った。走行車両を全てガソリン自動車と仮定した時のガソリン消費量を図4.2.16に示す。

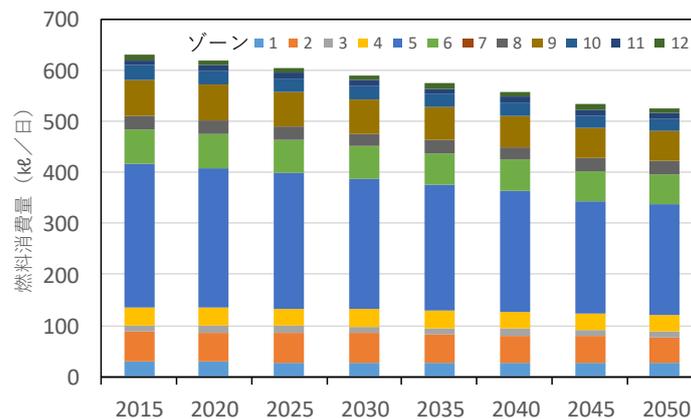


図4.2.16 誘導無し時のガソリン自動車燃料消費量の推移

2015年と2050年を比較すると、人口が減少する影響があり、松阪市で17%の削減が見込まれる。特に減少が大きなゾーンはゾーン5であり、23%の削減となる。

つぎに、この時の二酸化炭素排出量を比較する。走行車両が全てガソリン自動車と仮定した時の、自動車の走行による二酸化炭素排出量を図4.2.17に示す。

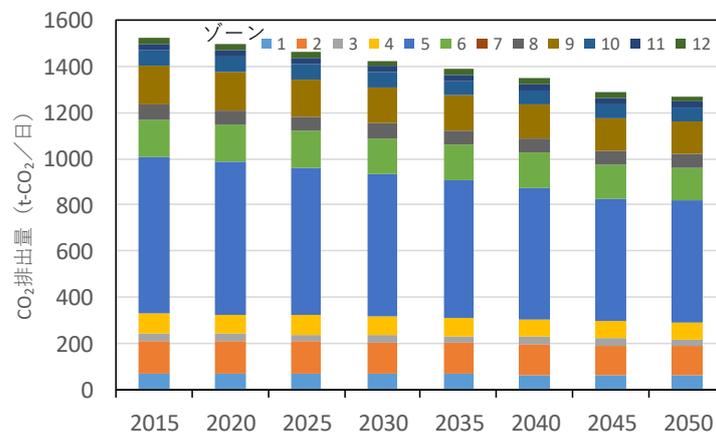


図4.2.17 誘導無し時の二酸化炭素排出量の推移

ガソリン自動車の走行による二酸化炭素排出量は、燃料消費量に比例するため、燃料消費量の推移と同様の傾向となる。2015年1,524t-CO₂/日に対して、2050年1,272t-CO₂/日であり、17%の削減量である。

つぎに、全ての車両が電気自動車の場合の電力消費量を検討する。図4.2.18に電力消費量の推計結果を示す。

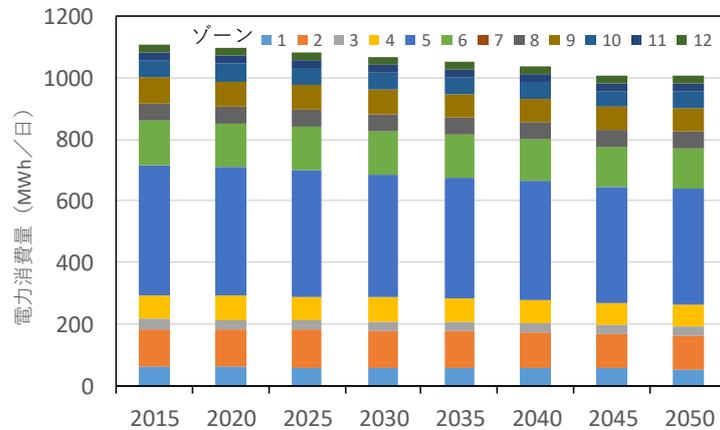


図4.2.18 誘導無しの電力消費量の推移 (電気自動車の場合)

2015年と2050年を比較すると、松阪市全体で9%の削減と算定された。特に、ガソリン自動車での削減が大きかったゾーン5 (23%減) の削減量は10%となっている。電気自動車は、減速時に発電して電気を貯めること、低速走行でもエネルギーのロスが少ない。このことから、2015年に道路混雑が発生し、2050年には交通需要の削減により混雑が緩和された地域では、ガソリン自動車の場合は削減量が大きくなるが、電気自動車の場合は、それ程大きくならない。ここで、発電所での発電による二酸化炭素排出量を考える。中部電力の二酸化炭素排出量原単位は0.457kg-CO₂/kWhであるため、2015年の排出量：507 t-CO₂/日、2050年の排出量：460 t-CO₂/日となる。したがって、全ての車両が電気自動車の場合はガソリン自動車と比較して、64~67%の削減となる。

つぎに、電気自動車の普及が進んだ場合、発電所の増設の検討が必要となる。ここでは、時間帯別の電力量を検討する。1日の最終トリップの目的地で1日の走行で消費した電力を200Vの普通充電で充電すると仮定し、各車両の充電時間を算定する。2015年の道路交通センサスのデータを用いて、全てが電気自動車の場合の、松阪市の充電電力量を算定した。図4.2.19に充電電力量の時系列変化を示す。

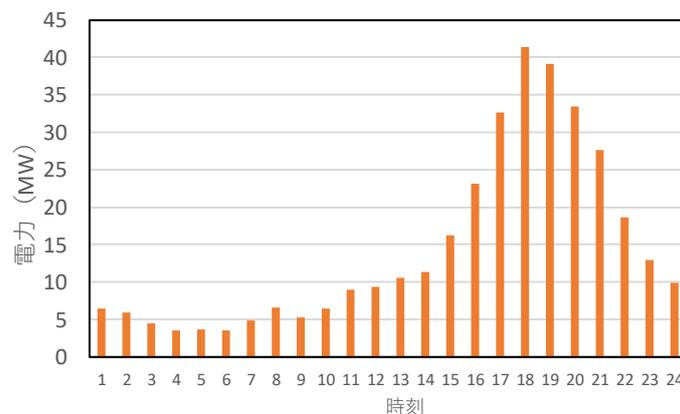


図4.2.19 電気自動車の充電電力量 (松阪市)

充電電力のピークは、夕方の18時台である。この時間帯は、家庭での電力需要が比較的大きいことから、深夜の時間帯を活用した充電の仕組みが必要となる。

つぎに、各政策を実施した時の環境負荷量を検討する。図4.2.20に、全ての車両をガソリン自動車と

した場合の「誘導無し」および3種類の政策実施時の二酸化炭素排出量の推移を示す。

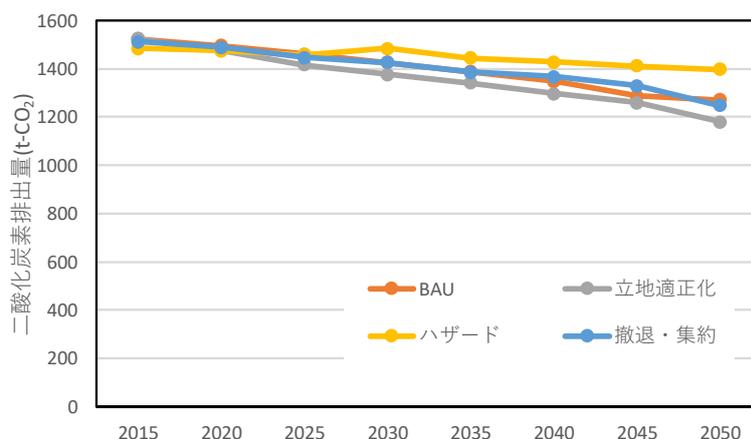


図4.2.20 政策実施時の二酸化炭素排出量の推移 (ガソリン自動車)

「立適」による立地誘導を行ったケースで、二酸化炭素排出量が最も少ない。2050年時点では「誘導無し」と比較して7.2%の削減量となる。また、被災想定区域からの「防災」のケースでは、2050年時点で「誘導無し」と比べて10%の増加となっている。

つぎに、電気自動車の普及を想定した推計を行う。北欧を中心とした各国では、ガソリン車・ディーゼル車の販売を禁止し、他の車種に転換する方針を示している。たとえば、ドイツは2030年、イギリスは2035年、フランスは2040年にガソリン車・ディーゼル車の新車販売の禁止を発表している。日本でも、2050年までに世界で販売する日本車全てを電動車 (HVを含む) にする目標を示している。ここでは、「EV普及の動向と展望」(自然エネルギー財団) に示されている「世界平均気温の上昇を2度で抑えるシナリオ」の世界のEV普及予測を用いる。このとき、2050年でのEV保有比率は41.1%である。このEV普及を考慮した各種政策実施時の二酸化炭素排出量の推移を図4.2.21に示す。

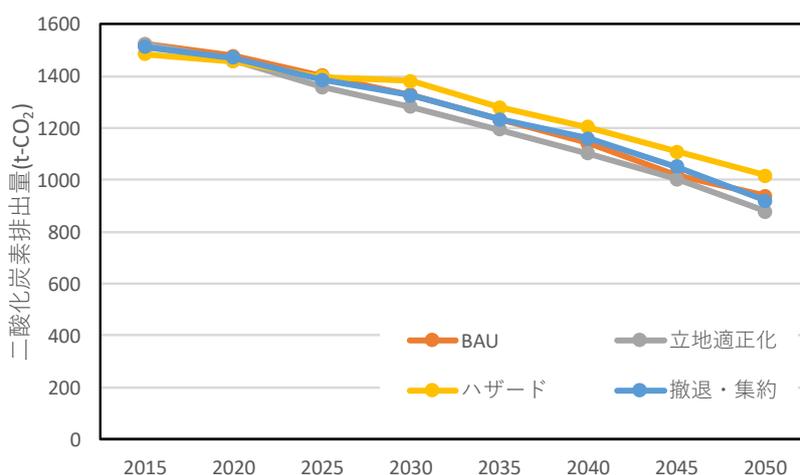


図4.2.21 政策実施時の二酸化炭素排出量の推移 (EV普及)

この時も、「立適」を行ったケースで、二酸化炭素排出量の排出量が最も少ない。2050年時点では2015年と比較して42%の削減量となる。また、「コンパクト」の誘導政策が次に効果的である。被災想定区域からの撤退策である「防災」は、防災上は効果的であるが、道路交通の環境負荷量はやや増加する。

これらの結果より、適切な立地適正化計画による立地誘導は、道路交通の二酸化炭素排出量の削減につながることで、その効果を定量的に示すことが可能であることが分かった。

(5) 低炭素・エネルギーマネジメント施策パッケージの導入プロセスの提案

図4.2.22～図4.2.24は、エネルギーマネジメント施策に向けて中核となるスマートハウス導入について、導入意向、同意する普及率、同意する負担削減率を尋ねた結果である。

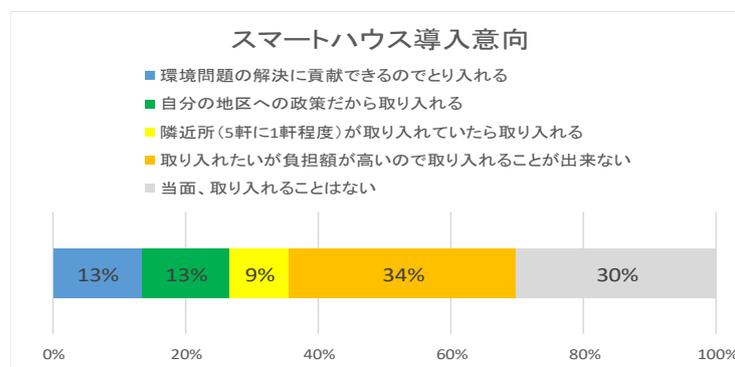


図4.2.22 スマートハウス導入意向

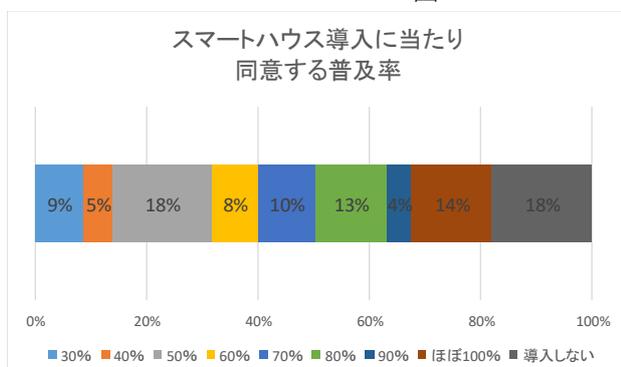


図4.2.23 スマートハウス導入に同意する普及率

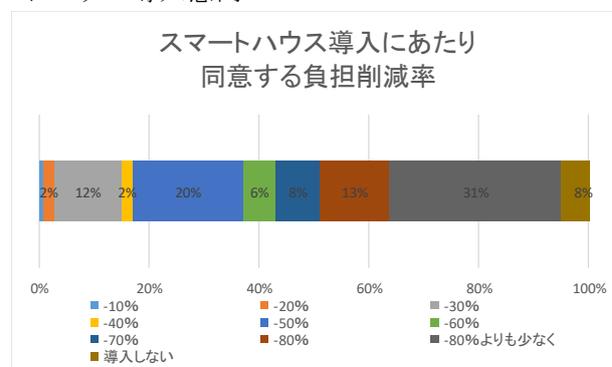


図4.2.24 スマートハウス導入に同意する負担削減率

この結果、経済的負担に拘わらず導入する可能性は13%であり、政策による上載せに期待がかかるものの、合わせて26%であるとしても、その導入率で追従する層は9%であり、30%の導入率で期待できる普及はわずかであることがわかった。経済負担によっては導入する可能性34%のうち半数導入するには70%負担削減が必要であることから、十分な負担削減を実施するか、さらなる技術開発を待つ必要があることが確認された。

住宅をベースとした環境・エネルギー機器の導入は、立地誘導のタイミングが効果的である。コンパクトがある程度進んだ都市における既存コミュニティへの誘導と、都市機能密度が比較的低い都市における誘導地区への誘導に当たり、個々の対象市民の動向を探り、環境意識の高い先進的導入者への先導的普及と周辺コミュニティでの導入に追従する市民を明確に捉えた政策プロセスが求められる。

ところで、環境意識の高い人による先導にその周りの人が追従する普及では限定的な部分でしか普及が進まないと考えられる。重要になってくるのは、経済負担によって導入を考える人々による普及とそれによる追従に期待される。コスト低減した省エネ技術の開発が早めに進めば、環境意識の高い人と経済負担によって導入を見込めるが、コスト低減の省エネ技術の開発が遅かった場合には、環境意識の高い人にしか導入の期待はできない。高い環境意識がある人々や高収入な人々を高環境意識Gとし、居住誘導地区での既存居住・新築立地によるコミュニティで新環境技術（製品）の導入の先駆けになる。割合としては、25%程度で戸建住宅の購入やリフォームに導入の機会がある。また、経済的メリットによって新環境技術の導入を考える人々や借家などに住む相対的に低所得者を経済的メリットGとし、居住誘導区域コミュニティで、新環境技術（製品）の普及状況を観察し追従したり、価格の低下を待つて導入したりすると考えられる。大半が経済的メリット重視Gで、追従層になるため働きかける必要がある。

図4.2.25より省エネ導入の価格低減スピードについて、省エネ技術の開発が早く、利用者の費用負担の削減が進む場合には、負担額に懸念を示す層への転居や新築を建てる機会に合わせて低価格技術導入を重点的に推進していく必要がある。また、追随層のうち周辺コミュニティの普及率が低くても導入する層への働きかけが導入率に拘わってくるということが分かった。一方、省エネ技術の開発が遅く、利用者の費用負担の削減を施策に頼る必要がある場合は、負担額に懸念を示す層への導入の補助を行い、併せて導入可能な技術で代替して推進していく必要がある。技術の推移を待って、負担額に懸念を示す層へは既築リフォームで対応していく必要がある。

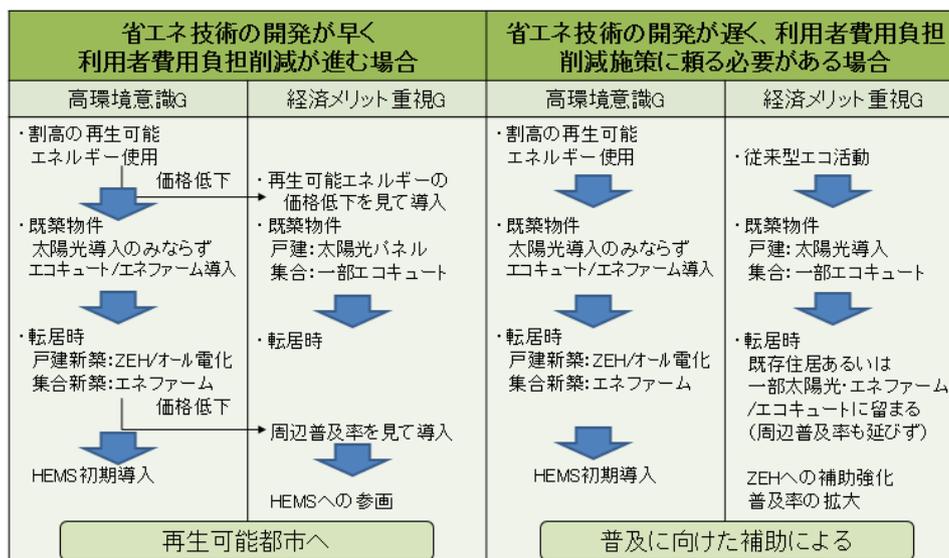


図 4.2.25 省エネ導入の価格低減スピード

脱炭素とエネルギー施策を長期戦略・持続可能なものとするために、コンパクトシティ形成のタイミングを活かした住宅への環境技術導入の政策プロセスを考える必要がある目的のもと、研究を行った。エネルギー環境への技術を環境政策ととらえて、技術の動向を整理したうえで、それに基づくアンケートを行った結果、以下の特徴が出た。

- ・ 検討の対象とした省エネ機器による技術を8つ設定し、住居形態や所有形態別の動向を整理した。都心や公共交通拠点周辺を立地誘導先と考えたときに、集合住宅がイメージされるが駅勢圏を広くとって戸建住宅エリアにまで拡大し、新築だけでなく既築住宅も視野に入れられる機器導入方針が整理できた。
- ・ 立地適正化計画による居住・都市機能を考慮した立地誘導策のほか、ハザードマップに示される被災想定区域からの撤退策、居住誘導区域への人口集約政策などによる道路交通の環境負荷量を計算した。電気自動車の普及を想定した場合、立地誘導を行ったケースで二酸化炭素排出量の排出量が最も少なく、2050年時点では2015年と比較して42%の削減量となった。また、居住誘導区域への誘導政策が次に効果的であり、被災想定区域からの撤退策は、防災上は効果的であるものの、道路交通の環境負荷量はやや増加することがわかった。
- ・ 比較的高価格でも導入が期待できる環境意識層は25～37%に留まり、一方で、経済的メリット層と合わせると25～40%いることを確認した。このため、多くの普及率を高めるためには低価格化技術が要求されることが分かった。
- ・ 環境意識そのものの違いは少ないが、都市による政策の違いの重要性が確認できた。それを踏まえ、環境技術の導入シナリオを定めた。省エネ技術の導入を進めていくためには環境意識の高い人々と経済的メリットのある追随者が必要になるが、市民の意向調査から高環境意識の人と経済的メリットにより行動する人だけでは導入が一定数にとどまるので、省エネ技術の開発スピードが速い場合と遅い場合の政策プロセスを提案した。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで都市構造の再編のタイミングを捉えつつ、住民の環境意識だけでなく生活パターンを住居形態・保有形態などに対応させたうえで、低炭素・省エネルギー技術の普及効果を計測することは必ずしも十分ではなかったが、本研究により、その動向を知ることができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

令和元年度第1回 西宮市環境計画推進パートナーシップ会議 地球温暖化対策部会（西宮市、令和元年10月17日）にて成果を紹介し、議論がなされた。西宮市の地球温暖化対策関連事業の検討等に活かされている。（令和元年度第1回 西宮市地球温暖化対策部会議事録に記載されている）

<行政が活用することが見込まれる成果>

住宅および交通手段に対する低炭素・省エネ技術において、都市政策である立地適正化計画および公共交通網形成計画による立地誘導に合わせて、その普及を図る際に、省エネ技術の開発スピードに合わせた政策プロセスを展開することができる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 秋山孝正、井ノ口弘昭：地球環境（Vol.22, No.2, 145-152）（2017）
エージェントモデルを用いた地方都市における環境対応型の交通政策評価

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 井ノ口弘昭、北詰恵一：土木計画学研究発表会・講演集（Vol.57）（2018）
再生可能都市における土地利用と交通行動に関する分析
- 2) 本多夏芽、北詰恵一、井ノ口弘昭：土木計画学研究発表会・講演集（Vol.60）（2019）
都市における世帯のエネルギー需要パターンからみた政策プロセスの在り方
- 3) 朴秀日、加藤博和、大野悠貴、石川佳治、北詰恵一、井ノ口弘昭、秋山祐樹：土木計画学研究発表会・講演集（Vol.61）（2020）
気候変動に対応した地域のサステナビリティとレジリエンスの評価手法と実都市適用への試み

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 北詰恵一、井ノ口弘昭：土木計画学研究発表会・講演集（Vol.57）（2018）
再生可能都市における土地利用と交通行動に関する分析

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境科学シンポジウム 2019, シンポジウム-3, 気候変動の適応・適応策としての都市・地域空間構造変更策の検討手法, (主催: 公益社団法人環境科学会), 2019年9月13日, 名古屋大学 IB 電子情報館, 観客約 50 名
本研究の成果紹介
- 2) 令和元年度第 1 回西宮市環境計画推進パートナーシップ会議 地球温暖化対策部会, (主催: 西宮市), 2020年10月17日, 西宮市役所本庁舎 681 会議室, 参加者 15 名
本研究の成果紹介と行政担当者との意見交換、議論への成果活用

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 中村圭吾、村木美貴：公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集 (Vol. 51, No. 3, 532-537) (2016)
地域交流拠点における面的エネルギー導入の可能性とそのあり方に関する研究 —札幌市立地適正化計画に着目して—
- 2) 森田紘圭、村山顕人、稲永哲、藤森幹人、延藤安弘：公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集 (Vol. 51, No. 3, 444-451) (2016)
地域主導型低炭素まちづくりにおける発展的循環プロセス —錦二丁目低炭素地区まちづくりプロジェクトの事例分析—
- 3) 尾崎平、野田圭祐、盛岡通：土木学会論文集G (環境) (Vol. 71, No. 6, 環境システム研究論文集第43巻, II_53-I_64) (2015)
長寿社会の福祉サービスと連携した集住化に応じた街区のエネルギーマネジメントの評価—神戸市東灘区を対象として—

Ⅱ－3 再生可能都市の気候変動適応・減災戦略に関する研究

徳島大学

大学院社会産業理工学研究部	山中 英生
大学院社会産業理工学研究部	奥嶋 正嗣
地域創生センター	井若 和久

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：26,845千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：9,100千円、平成30年度：8,645千円、令和元年度：9,100千円）

〔要旨〕

持続可能性に関する総合評価方法を徳島東部都市圏に適用し、居住環境評価に基づいて地域づくり戦略の有効性を検証した。その結果として、高リスク地域から高台などへの撤退は生活質の低下を招くことが明確となった。このため、災害リスクに加えて総合的な居住環境（QOL）の高い地域へ人口を集約する施策が地域の受容性や実装性に面からも現実的であることが明らかになった。

〔キーワード〕

災害リスク、QOL、近居、地域づくり戦略、都市構造

1. はじめに

地方都市圏では人口減少が進行しており、居住環境を持続可能とするためには、適正な都市構造へ誘導する必要がある。都市構造の持続可能性は、多面的な観点から総合的に評価される必要がある。特に、巨大災害が想定される地域では、災害リスクの低減を含めた評価が欠かせない。

2. 研究開発目的

持続可能性に関する総合評価方法を徳島東部都市圏に適用し、災害後の生活再建年数に着目したレジリエンス評価および居住環境評価に基づいて地域づくり戦略の有効性を検証する。これにより、居住環境評価に基づいて再生可能まちづくり戦略を見出すことを目的とする。

3. 研究開発方法

（1）総合災害リスクマップの作成と気候変動による災害変化想定

ハザードマップ等の公表データをもとに、地震、津波、洪水、土砂災害の総合災害リスクマップを整備する。さらに、既往研究や指針を整理し考察し気候変動による災害変化を想定する。

（2）災害時レジリエンス評価指標の開発

近居家族が同時被災しない『リスク分散型近居』が災害後生活再建期間を短縮するという既往研究成果をもとに、津波、洪水、土砂、地震災害の経験者を対象にWebアンケート調査を実施し、生活再建短縮効果をモデル分析する。この成果および気候変動による災害変化を考慮した災害時レジリエンスの評価指標を開発する。

（3）総合的な居住環境の質の評価指標の開発

名古屋大学で開発した居住環境の質の総合評価指標の手法と、徳島地域での立地選好の意識調査・モデル分析をもとに、開発する。

（4）都市・地域づくり戦略の検討

徳島県内で立地適正化計画・地域公共交通網形成計画を検討している市町村および徳島県都市計画担当者との研究会、及び沿岸集落地域での事前復興計画策定への参与分析を進め、都市・地域づくり施策に資する情報を収集し、減災・持続可能性・地域継承の視点から都市・地域の土地利用施策を中心とし

た適応策を検討する。

(5) 都市・地域づくり戦略の評価結果と実装可能性検討

上記の検討をもとに、評価対象の戦略として、自然災害の高リスク地域からの撤退（高リスク地域撤退策）、立地適正化計画や都市マスタープランで想定される利便地域への人口誘導策（交通利便性誘導策、および生活利便性地域誘導策）を策定し、上記の2つの視点からの指標での評価を行う。その上で地域の受容性、社会実装性を旨とした施策展開を検討するため、政策担当者との討議を通じリスクコミュニケーションを検討する。

4. 結果及び考察

(1) 総合災害リスクマップの作成と気候変動による災害変化想定

公表されている災害別のハザードマップを用いて、それらを総合化した災害リスクの評価方法、及び気候変動に伴う変化を簡便に想定する方法を考案した。

a) ハザードマップの収集、データ整備

徳島県においてデータ整備や調査を行った。巨大自然災害ハザードとして、津波浸水予測（L1・L2）、洪水浸水予測（浸水域、家屋倒壊等氾濫想定区域）、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）、土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）の GIS データを収集、整理した。

b) 総合災害リスクの算定

はじめに、ハザードの総合評価を行うため、津波、洪水、土砂災害の災害発生確率について、既往研究をもとに設定した（表4.3.1）。

次に、災害による被害が想定されるエリア（ハザードマップ）のうち、1回の災害で被災する割合を被災率として設定した。外水氾濫が発生する場合、通常、河川のどの部分で決壊するかは、災害時にならないと分からない場合が多い。外水氾濫が想定されるエリアは、河岸を複数地点に分け、各地点で破堤した場合の浸水域を内包する形で作成されている。そのため、一度の洪水で、外水氾濫が想定されるエリア全てで被災する可能性は極めて低い。よって、被災率を設定することで、より現実に即した評価とする。津波、土砂災害も、ハザードマップを基に、実際の被災状況を反映させるために、この値を設定している。津波の場合、予測浸水域では全て被災すると考えられるため1.0とし、洪水と土砂災害の場合、予測浸水域、レッドゾーン、イエローゾーンの10%が被災すると想定し0.1とした。なお、この値の設定に際し、平成30年7月豪雨により被災した小田川・高梁川のデータを基に、被災率の推計を試み、妥当性を確認した。

c) 気候変動シナリオによる災害変化の考察

今後の気候変動による災害変化を以下のように想定した。IPCC第5次評価報告書によると、今世紀末までの世界平均海面水位は0.26～0.82m上昇すると予測されている。仮に、0.25m海面が上昇した場合、対象地域のL1津波浸水域、L2津波浸水域がどのように変化するかを GIS 上で確認した（図4.3.1）。

表4.3.1 災害発生確率の想定

		2050年まで	2100年まで
南海トラフ巨大地震	津波L1レベル	0.7	1.0
	津波L2レベル	0.1	0.1
洪水災害	想定浸水レベル	0.7	1.0
土砂災害		0.7	1.0

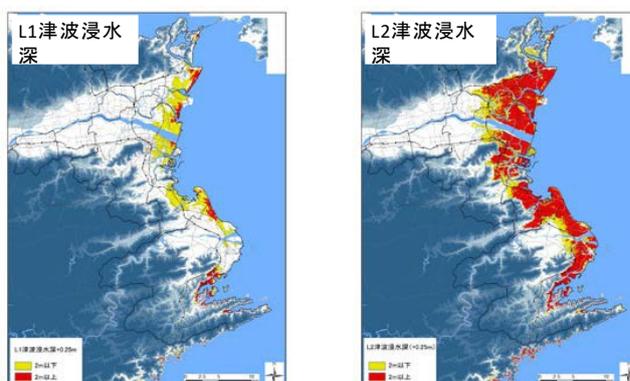


図4.3.1 0.25m海面上昇した場合の津波浸水域

なお、この図はL1津波、L2津波浸水深に0.25mを加えた値であり、津波シミュレーション値ではない。降雨量の変化については、風間ほか（2009）が行った再現期間100年の極値降雨量推計によると、2000年に対して2050年は1.2倍、2100年は1.4倍に増加することが示されている。以上より、表4.3.1で示した2050年までの土砂災害と洪水災害の発生確率の想定値が0.7から1.0に上昇すると考えた。土砂災害について、災害が激甚化する前は、レッドゾーンで発生するとし、激甚化後は、加えてイエローゾーンでも発生するように設定した。

（2）災害時レジリエンス評価指標の開発

近居家族が同時被災しない『リスク分散型近居』が災害後生活再建期間を短縮するという既往研究成果をもとに、津波、洪水、土砂、地震災害の経験者を対象にWebアンケート調査を実施し、生活再建短縮効果をモデル分析した。以上をもとに災害時レジリエンスの評価指標を開発した。

a) リスク分散型近居による生活再建短縮効果と推計指標

本研究では津波、水害、土砂、地震災害で自宅に住めなくなった経験をもつ世帯を調査対象とし、ネット調査（楽天インサイト社へ委託）を行った。対象世帯を抽出するため、過去の災害発生状況を考慮して、調査の対象都道府県を抽出してスクリーニングを行った。地震災害は兵庫4,000サンプル、福岡3,000サンプル、津波災害は岩手、宮城、福島で各3,000サンプル、洪水災害は熊本、三重、静岡、徳島、福井で各4,000サンプル、土砂災害は新潟、鹿児島、島根、神奈川、山口で各5,000サンプル、合計6万サンプルでスクリーニング調査を実施し、1983年以後の災害で自宅に一時住めなくなった経験をもつ世帯を抽出した。また、虚偽回答を少なくするため住所および被災年月を回答させた。実施は2018年11月28～30日で、地震、土砂災害、津波災害は各150票、洪水災害は129票、合計579票回収となった。

生活再建年数を集計し、災害・近居形態別の生活再建年数の平均値と上下限95%値を比較した（図4.3.2）。調査では生活再建の状況について、「生活が再建できたと感じた時、あるいは再建できたと考えるのは」という設問から、災後半、1年、2年、3年、5年、7年、10年、15年、20年、わからないから選択させた。「わからない」を30年（次世代になる）と仮定し、他はカテゴリーの最大値として数値化し、平均値を求めている。比較結果から、リスク分散型となっている近居が、他の形態より再建期間が短くなっている。津波災害に限らず、他の災害でも、被災した住民にとって被災が軽い別居家族が近くに存在することにより、被災後は家族からの支援や生活再建への寄与に期待しており、また生活再建にかかる期間も短縮していることが示唆される。

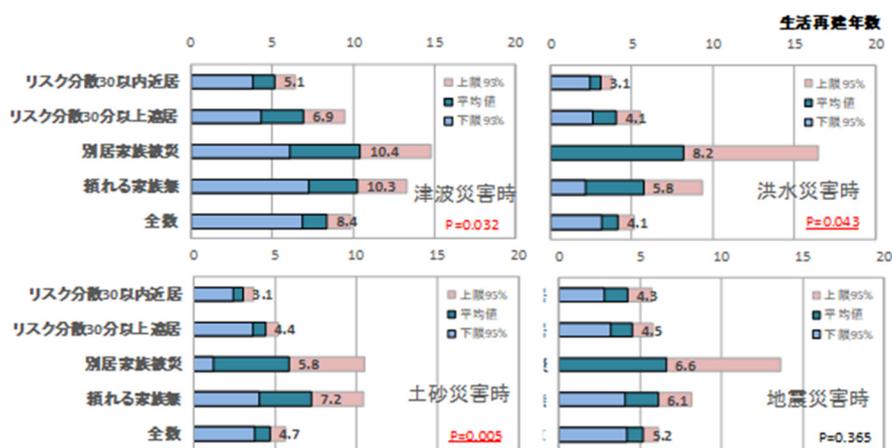


図4.3.2 近居形態と生活再建年数

以上の分析結果を考慮して、災害別に生活再建年数を被説明変数として、近居形態、自宅の損傷度、被災時の貯蓄状況、ローン残額、保険・補助金・見舞金の状況を説明変数とするモデルを同定して、近居形態の生活再建への貢献について、定量的に検証した。用いたモデルは、被説明変数となる生活再建年数が正の整数をとることから、一般化線形モデル(GLM)を用いて、応答変数の確率分布としてTweedie分布を採用し、リンク関数として式(1)を用いた。

$$\log(Y) = \sum B_i X_i + B_0 \quad \dots \dots (1)$$

Y : 生活再建年数 Xi : 説明変数値 Bo , Bi : パラメータ

表4.3.2にモデル推定結果を示す。ここでは、各変数の生活再建年数への寄与の大きさを見るため、全変数を投入した場合の結果のみを示している。4つの災害のモデルはどれも、オムニバス検定では全て有意となっており、モデルパラメータが全て0であるという帰無仮説は棄却できる。各パラメータの有意性についてはWald カイ 2 乗検定による有意確率を表示しており、5%以上となる有意とは言えない場合を赤字で示している。そのうち20%を越える場合は斜体下線付きで示している。

また、オッズ比とは、各変数の推定されたパラメータの指数値であり、式(1)のlog関数のリンク式となっていることから、当該要因が該当する場合または単位値「1」の場合に、切片（全変数が「0」の場合）での生活再建年数に対する比率を示すことになる。例えば、津波災害で近居30分以内の場合、切片値12.285年の生活再建年数が平均して0.492倍になるということを示している。

これらの結果によると、30分以内のリスク分散型の家族構造は生活再建年数を縮減する効果が、津波災害、洪水災害、土砂災害について有意で、地震災害でも弱いながら傾向が見られ、その大きさは土砂、津波、洪水の順に大きくなっている。30分以上の遠居でもリスク分散家族がある場合は、洪水、土砂災害で有意な効果が見られ、津波でも弱いながら効果が見られる。

災害経験者について、被災が軽くなる、比較的近くに住む家族が存在している場合に、災害時の同居・経済・生活物資などの支援が得られ、生活再建年数が縮減するという寄与が生じていることが明らかになった。この結果をもとに、表4.3.3に災害別、リスク分散型近居の有無、時間距離別の生活再建年数のモデルによる推計値を示す。他の要因は上記のサンプルの平均値が用いられている。この数値を評価モデルに採用している。

表4.3.2 生活再建年数モデルの推計結果

生活再建年数	津波災害時		洪水災害時		土砂災害時		地震災害時	
	B	標準誤差	B	標準誤差	B	標準誤差	B	標準誤差
(切片)	2.508 12.285	0.159 0.000	2.395 10.973	0.270 0.000	2.656 14.236	0.158 0.000	2.330 10.282	0.148 0.000
リスク分散30分以内	-0.710	0.222	-0.549	0.154	-0.842	0.171	-0.312	0.185
近居	0.492	0.001	0.578	0.000	0.431	0.000	0.732	0.091
リスク分散30分以上	-0.388	0.212	-0.453	0.202	-0.466	0.177	-0.204	0.161
遠居	0.678	0.067	0.636	0.025	0.627	0.008	0.816	0.207
別居家族被災	-0.053 0.949	0.214 0.805	-0.413 0.661	0.308 0.180	-0.413 0.662	0.271 0.128	-0.256 0.774	0.339 0.450
自宅全壊	-0.348 0.706	0.246 0.158	-1.417 0.242	0.240 0.000	-1.068 0.344	0.170 0.000	-1.073 0.342	0.213 0.000
自宅半壊	-0.119 0.888	0.165 0.470	-0.551 0.577	0.211 0.009	-0.653 0.520	0.164 0.000	-0.333 0.717	0.156 0.033
被災時世帯貯蓄 新築費用率	-0.106 0.899	0.225 0.636	-0.579 0.561	0.214 0.007	-0.317 0.729	0.212 0.136	-0.491 0.612	0.203 0.016
被災時ローン残額 新築費用率	0.378 1.459	0.286 0.186	1.030 2.801	0.275 0.000	-0.203 0.816	0.258 0.431	-0.291 0.747	0.258 0.259
保険補助見舞金 新築費用率	-0.496 0.609	0.295 0.093	-0.063 0.939	0.304 0.836	0.241 1.273	0.326 0.460	-0.685 0.504	0.364 0.060
オムニバス検定 (尤度比カイ2乗検)	0.019		0.000		0.000		0.000	

表4.3.3 生活再建年数の推計値

災害	リスク分散 近居家族	生活再建 年数平均 (推計値)	サンプ ル数	標準偏 差
津波 被災	有30分以内	5.13	32	1.01
	有60分以内	6.68	36	1.11
	なし	10.43	82	1.68
洪水 被災	有30分以内	3.41	63	2.46
	有60分以内	3.96	20	2.76
	なし	5.59	39	3.78
土砂 被災	有30分以内	3.06	61	1.21
	有60分以内	4.51	37	1.63
	なし	6.64	52	3.36
地震 被災	有30分以内	4.38	35	1.72
	有60分以内	4.62	48	1.95
	なし	6.29	67	2.45
全数	有30分以内	3.77	191	1.93
	有60分以内	5.02	141	2.07
	なし	7.67	240	3.37

b) 災害リスク（レジリエンス）評価指標の開発

気候変動等による災害激甚化を考慮した災害リスクを評価する手法を開発した。

評価手法の視点は次の3点である。第1に、甚大な被害をもたらす可能性が高い災害として津波、洪水、土砂災害を想定し、これらを統合した災害リスクを評価する。第2に、統合化する指標として、被災後の生活再建期間を用いる。第3に、自治体の計画策定担当者の利用を想定し、オープンデータや公的に公開されているデータを用いて評価が可能な手法とする。

- ・ **災害リスク評価値モデル**：式(2)に、津波、洪水、土砂災害による再建年数を統合した、総合リスク評価値 *Risk* を示す。空間単位は4次メッシュである。

$$Risk = Pop * Wood * \sum \{Pr_k * Hzd_k * Hisai_k * (Knkyo30 * Saiken_k30 + Knkyo60 * Saiken_k60 + Kinky0 * Saiken_k0)\} \dots\dots (2)$$

Pop は人口、 $Wood$ は木造率、 Pr_k は災害 k の発生確率、 Hzd_k は災害 k の危険度、 $Hisai_k$ は災害 k の被災率、 $Knkyo$ は30分以内、60分以内、それ以上(0)の距離に近居家族がいる人の割合、 $Saiken_k$ は30分以内、60分以内、それ以上(0)の距離に近居家族がいる人が災害 k で被災した際の再建年数

- ・ **木造率のデータ**：木造率 $Wood$ は、津波・洪水・土砂災害に対する脆弱性の指標として用いた。まず、基盤地図情報（国土地理院）から建築物の外周線を取り出し、面積を算出する。次に、固定資産の価格等の概要調書（総務省）から市町村別の木造建築物の総面積を取り出す。一般的に、鉄骨・RCの建築物に比べて木造建築物は面積が小さいと考えられるため、対象地域の市町村別に、基盤地図情報から作成した建築物を面積の小さい順に並び替え、調書に示されている木造建築物の総面積と一致するまで、順番に木造建築物と指定し、これ以外を非木造建築物と考えた。
- ・ **災害の危険度**：災害 k の危険度 Hzd_k は、2m以上の津波浸水域の割合、2m以上の洪水浸水域の割合、土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）と土砂災害警戒区域（イエローゾーン）の割合とした。東日本大震災の被災調査（国土交通省）から津波浸水深2m以上で戸建て住宅の多くが倒壊していたこと、一般的な戸建て住宅の場合、その規模から考えると、2m以上の洪水により床上まで浸かる可能性が考えられるため、津波と洪水の危険度は、浸水深2mをしきい値とした。
- ・ **災害の被災率、発生確率**：災害 k の被災率 $Hisai_k$ は前述の想定値を用いている。人口は、2050年の推計値、災害 k の発生確率 Pr_k は表4.3.1の値を用いる。災害 k の危険度 Hzd_k の設定では、津波は、徳島県が作成したL1およびL2津波の想定浸水域を、洪水は、国土数値情報で公開されている計画降雨（50～150年降雨）および、徳島県が作成した最大降雨（1000年降雨）による想定浸水域を、土砂災害は、国土数値情報で提供されているレッドゾーンとイエローゾーンを用いた。
- ・ **近居率**：近居家族別割合は、研究分担者らが2014年に新築住宅に住む徳島都市圏の住民に行ったアンケート調査結果より設定した。近い家族が車で30分以内に近居家族がいる割合は66.3%、車で60分以内は20.4%、それ以上は13.3%であった。生活再建年数 $Saiken_k$ は表4.3.3である。

c) 総合的な居住環境の質（平常時QOL）の評価指標の開発

名古屋大学¹⁾で開発している居住環境の質の総合評価指標の手法をもとに、徳島地域での立地選好の意識調査とモデル分析をもとに開発した。

表4.3.4に示すとおり、交通便利性、居住快適性、安全安心性の評価軸に対して、それぞれ4種類の評価要素と評価項目を用いた。各評価要素は、徳島東部都市圏において500mメッシュ単位で計測した。

各評価要素の重視度については、南海トラフ巨大地震の災害リスクが想定されている徳島県、三重県、和歌山県、高知県、宮崎県、鹿児島県の6県の居住者を対象として2017年12月にWebアンケート調査を実施した。スクリーニング調査では、8,834サンプルから災害リスク有無、転居経験、転居予定についての回答を得た。この回答結果により、「転居予定者」として今後10年間に転居予定のあるサンプル、「転居経験者」として転居予定なく過去23年間に転居したサンプルを抽出した。また、現住所に津波、洪水、土砂災害の危険性のあるサンプルは6割程度であったため、この比率以上のサンプルを確保することとした。抽出サンプルを対象とした本調査では、35項目の質問に対して、転居経験者415サンプルおよび転居予定者180サンプルより回答を得た。このなかで、居住地環境の評価軸（交通便利性、居住快適性、安全安心性）と転居時における重要度、評価軸ごとの4項目間における転居時における重要度、津波最大浸水深・洪水最大浸水深・土砂災害の危険性の重要度について、それぞれ一対比較法による回答を得ている。この回答結果に基づいて階層化意思決定法（AHP法）を適用して評価ウエイトを算定した。表4.3.5より総合評価に関わる重視度は、安全安心性、居住快適性、交通便利性の順となっている。また、交通便利性に関しては、買物施設への利便性の重視度が高いことがわかる。

表4.3.4 総合的な居住環境質(QOL)の評価要素

評価軸	評価要素	評価項目
交通便利性 AC	AC1	企業施設利便性 就業場所までのAC
	AC2	文化施設利便性 公共文化施設までのAC
	AC3	医療施設利便性 医療施設までのAC
	AC4	買物施設利便性 商業施設までのAC
居住快適性 AM	AM1	空間使用性 一人当たり居住床面積
	AM2	周辺調和性 空家率
	AM3	自然環境性 緑地面積割合
	AM4	空間快適性 体感温度
安全安心性 SS	SS1	地震危険性 地震・津波による損失余命
	SS2	洪水危険性 河川浸水による損失余命
	SS3	犯罪危険性 年間刑法犯遭遇率
	SS4	交通事故危険性 年間人身事故遭遇率

表4.3.5 QOLの評価ウエイト

評価要素	20-39歳	40-59歳	60歳-
AC1 企業施設利便性	0.083	0.080	0.045
AC2 文化施設利便性	0.018	0.026	0.020
AC3 医療施設利便性	0.046	0.064	0.068
AC4 買物施設利便性	0.088	0.109	0.080
AM1 空間使用性	0.084	0.097	0.131
AM2 周辺調和性	0.064	0.071	0.090
AM3 自然環境性	0.064	0.070	0.095
AM4 空間快適性	0.113	0.112	0.089
SS1 地震危険性	0.118	0.098	0.108
SS2 洪水危険性	0.078	0.075	0.100
SS3 犯罪危険性	0.131	0.106	0.103
SS4 交通事故危険性	0.113	0.094	0.071

以上より、QOLの評価要素について、現状(2015年)および将来(2050年)の評価値を算定する。現状の人口については、2015年国勢調査結果データより500mメッシュ単位での性別年齢5歳階級別人口を用いる。将来におけるBAUシナリオによる性別年齢5歳階級別人口については、現状の人口に基づいて、コーホート要因法により推計する。

(4) 都市・地域づくり戦略の検討

a) 都市計画担当者との研究会

都市・地域づくり戦略のケーススタディエリアとして、徳島東部都市計画区域(5市3町)を選定して、再生可能都市づくりをコンセプトに行政計画への実装の方向を議論するため、研究会を組織した。研究会は本サブテーマ担当者(3名)および研究協力者(徳島大学教員5名)に加えて、当該地域での都市計画区域マスタープランを策定中の徳島県都市計画課、平成30年度に立地適正化計画策定を計画している徳島市、阿南市、平成29年度に地域公共交通網形成計画を策定する小松島市の都市計画担当者で構成した。表4.3.6に示す11回の研究会を開催し、外部有識者の講演と討論会を行って、当該エリアでのコンパクト+ネットワーク型都市づくりと災害対応の強靱化施策の方針について議論を行った。

表4.3.6 都市計画担当者との研究会開催状況

回	月日	テーマ	講演者
第1回	平成29年5月25日	鉄道を活用したまちづくり	中川 大(富山大学・教授)
第2回	平成29年7月27日	立地適正化計画について	徳島県, 徳島市, 阿南市
第3回	平成29年8月31日	コンパクトなまちづくり再考	谷口 守(筑波大学・教授)
第4回	平成29年10月20日	公共交通再生とまちづくり	加藤博和(名古屋大学・教授)
第5回	平成30年1月23日	水防災意識社会, 温暖化適用策等の動向	武藤裕則(徳島大学・教授)
第6回	平成29年3月17日	公共交通を活用した再生可能まちづくり	中川 大(富山大学・教授) 村尾俊直(京都府・推進監) 加藤博和(名古屋大学・教授)
第7回	平成30年8月30日	コンパクトシティ, 立地適正化計画の実際と展望	森本章倫(早稲田大学・教授)
第8回	平成30年10月18日	パターンダイヤ化による鉄道再生効果 鉄道再生とまちづくり	松中亮治(京都大学・准教授) 中川 大(富山大学・教授)
第9回	平成31年3月20日	再生可能都市への転換戦略ー都市計画・交通計画への活用を踏まえてー コミュニティ持続可能性簡易確認ツール 徳島都市圏の地域づくり戦略の評価	加藤博和(名古屋大学・教授) 森田紘圭(大日本コンサルタント) 奥嶋, 渡辺(徳島大学)
第10回	令和2年1月10日	公共交通の再生と再生可能まちづくり パターンダイヤ施行報告 次世代公共交通ビジョン 公共交通強化に向けて MaaSへの展開	J R 四国総合企画本部 徳島県次世代交通課 中川大(富山大学・教授)
第11回	令和2年3月6日	徳島都市圏の地域づくり戦略について 評価と実装性ヒアリング	加藤博和(名古屋大学・教授) 徳島県都市計画課, 環境首都課, 徳島市都市計画課, 徳島大学

b) 沿岸集落地域事前復興計画の参与分析

徳島県美波町由岐湾内地区（人口1,198人、世帯数600世帯、高齢化率53%）をケーススタディとして沿岸集落地域で参与分析を行った。当地区は、徳島県の南海トラフ巨大地震の被害想定において、最大震度7、液状化の危険度が極めて高く、津波影響開始時間12分、最大津波水位12.3mの被害が想定されている。そうした中、2012年1月から徳島大学支援のもと、由岐湾内3地区の自主防災会が連携して、人口減少、少子高齢化、過疎化といった「社会リスク」と南海トラフ巨大地震・津波といった「自然災害リスク」の両リスクを解決するために、住民主体による事前復興まちづくりに取り組んでいる。

短期的な取組みとしては、“震災前過疎”の防止を目的に、高台開発候補地の簡易評価および開発プランの作成を行い、開発対象地について住宅・住宅地計画コンペティションを進めてきた。現在も住宅・住宅地実現に向けて、民間・行政の両方から検討を進めており、町は高台開発に伴う水理検討業務（平成30年度）、ボーリング調査業務（令和元年度）が予算化・実施された。

中長期的な取組みとしては、町の地区別事前復興まちづくり計画への提言を行っている。平成29年度には、自主防災会役員らと当地区の自然災害リスクについて、本研究で提案しているリスク分散型の世帯間支援構造、関係人口の醸成といったコミュニティ強化型戦略、地区外の内陸・山間地区との海山連携を基本的方針として進めている。リスク分散型の家族間支援構造、関係人口の醸成といったコミュニティ強化型戦略については、「美波町事前復興まちづくりに関する住民意向調査」（図4.3.3）や「由岐湾内地区T型集落点検調査」（図4.3.4）を行い、その結果を地域内で共有し、家族間支援および関係人口を織り込んだ地域づくり戦略の検討を進めている。地区外の内陸・山間地区との海山連携については、自主防災会同士で意見交換や防災訓練を重ねた結果、美波町・阿南市の両市町の間で県内初となる自治体の枠を越えた「大規模災害発生時における相互協力に関する協定」締結に至った。

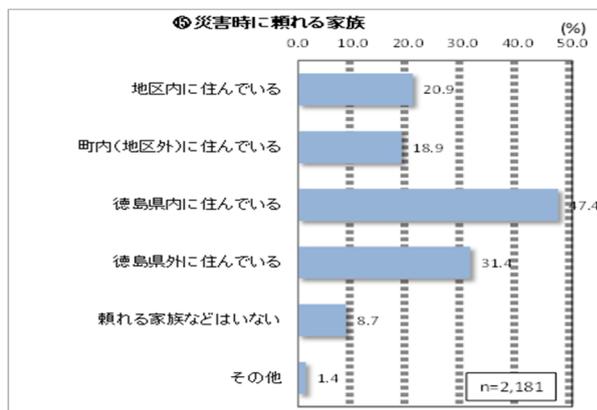


図4.3.3 美波町事前復興まちづくりに関する住民意向調査結果（災害時に頼れる家族）

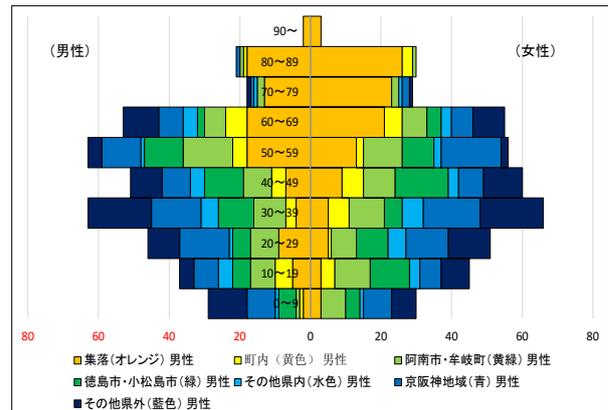


図4.3.4 由岐湾内地区T型集落点検調査結果（家族の所在地・西由岐地区）

c) 都市・地域づくり戦略の基本的方向

以上の検討をもとに、気候変動適応・減災を意識した都市・地域づくり戦略の基本的方向として、表4.3.7の4つのオプションを設定した。

表4.3.7 気候変動適応・減災を意識した都市・地域づくり戦略の基本的方向

インフラ防御策	<ul style="list-style-type: none"> 既存のインフラ整備計画（津波防潮堤、河川整備計画、砂防整備計画）を2050年までに完了させる施策 現在のところ10年～30年確率で生起するハザードを対象としており、気候変動を考慮しなければ想定されている被災軽減が達成されるが、気候変動を考慮した場合には一部の被災が残存すると想定
規制・誘導型	<ul style="list-style-type: none"> 立地適正化計画＋公共交通網形成計画、都市マスタープラン、災害関係の法律に基づき、コンパクトシティ促進、高地・内陸の開発規制緩和、市街化区域内の建物強靱化、耐浪建物建築への補助を行う これによって、居住人口の一定割合が計画区域に誘導されると想定する
家族・コミュニティ・公助による再生支援策	<ul style="list-style-type: none"> 災害時支援可能な家族関係の確認、関係人口の拡大を進める施策 沿岸部での高地開発や頑強建物建築によって、若年者層の一定割合の居住人口が被災を免れ、その別居家族の生活再建迅速化が生じる。また、非被災地域との関係人口の増加に伴う支援による生活再建迅速化を想定する
高リスク地域撤退策	<ul style="list-style-type: none"> 津波災害は、木造住宅の流出が懸念される津波浸水深2m以上の想定地域からの住宅移転を図る 洪水について、家屋倒壊等氾濫想定区域からの住宅移転、土砂災害についてはレッドゾーンからの移住を想定

(5) 都市・地域づくり戦略の評価結果と実装可能性検討

上記の検討をもとに、評価対象の地域づくりのシナリオを整理し、開発したレジリエンスおよび総合的な居住環境の質の2つの視点からの指標での評価を行った。その上で地域の受容性、社会実装性を目指した施策展開を検討するため、政策担当者との討議を行った。

a) 評価対象とする地域づくりシナリオの策定

① 地域づくり戦略の基本シナリオ

評価対象の地域づくりのシナリオを以下のとおり設定した。

- ・ 現状維持BAUシナリオ
- ・ 高リスク地域撤退シナリオ
- ・ 交通アクセス向上による誘導シナリオ
- ・ QOL向上地域への集約シナリオ

現状維持BAUシナリオでは、2050年までの人口減少を考慮した人口分布を想定する。

高リスク地域撤退シナリオでは、長期間をかけた災害リスクの高い地域からの転居を想定する。このため、L2津波での想定浸水深2m以上の地域、洪水に対する家屋倒壊等氾濫想定区域、土砂災害のレッドゾーン区域を撤退対象地域とする。一方、移転先地域としては、高台開発地域、市街化区域外のリスク・ハザードが低い地域を検討する。

交通アクセス向上による誘導シナリオでは、土地利用に関して都市計画的な規制・誘導策を適用する。都市マスタープランに基づく立地適正化計画および公共交通網形成計画による交通利便性などの向上、市街化区域内の建物強靱化による安全安心性の向上とともに、居住人口の一定割合が居住促進区域に誘導されると想定する。具体的には、人口集中地区内における公共交通サービスの向上を図ることとする。このため、現状のDID地区において、BRT整備（専用車線＋優先信号）、端末乗換待ち時間短縮、鉄道乗換待ち時間短縮が実現したと仮定して、公共交通ネットワークの対象リンクの設定を更新し、全メッシュ間の公共交通利用におけるサービス水準を算定する。

QOL向上のための集約シナリオでは、長期間をかけた居住環境の質（QOL）の低い地域からの転居と質の高い居住地域への集約を組み合わせる。このため、総合的に居住環境の質（QOL）の低い区域を撤退対象地域とする。一方、移転先地域としては、現況で一定以上の人口が居住している地域であり、かつ、QOLが比較的高い地域とする。これにより、居住地集約の方向性を見出すこととする。

② レジリエンス評価における追加シナリオ

①で設定した政策に、それぞれ、近居促進シナリオ、インフラ整備による防御シナリオを組み合わせた。これらはレジリエンス評価に用いる。

近居促進シナリオは、近居する住民の割合が増える場合とし、近い家族が車で30分以内に86.7%、それ以上に13.3%が居住する場合を想定している。

インフラ整備による防御シナリオは、防災のためのインフラ整備により災害による被災率の減少を想定した。津波について、インフラ整備によりL1津波は完全に防御されるが、L2津波はインフラでは防御できないとした。洪水について、計画降雨による洪水はインフラ整備により被災率が1/10に低減するとし。最大降雨による洪水はインフラ整備により8割に低減、土砂災害についても同様に、インフラ整備により8割に低減すると想定した。

b) 交通アクセス向上シナリオにおける誘導人口推計

交通アクセス向上による人口誘導効果を推計するために、南海トラフ巨大地震による甚大な被害の想定される徳島県、三重県、和歌山県、高知県、宮崎県、鹿児島県の転居予定者を対象としてWebアンケート調査を実施して、居住地環境の選好を把握した。スクリーニング調査では、現住地での災害リスク、今後の転居予定、世帯年収の3つについて質問する。この回答結果から、転居予定者（今後10年間に転居予定のあるサンプル）を本調査の対象として抽出する。本調査では、居住地環境の選好に関わる項目として、世帯属性、現住居、交通状況、災害リスク、転居意向などに関する表4.3.8に示す17項目の質問に

対して回答を得ることとする。

居住促進地域への立地誘導については、主要な政策として公共交通サービス水準の向上を検討する。そのため、将来の公共交通サービス水準および都市中心部までの時間を選好要因として考慮した。選好要因は8要因として、それぞれ2水準あるいは3水準の組み合わせにより、実験計画法に基づいて直交表により18通りの選択肢を構成する。この中から、それぞれの質問について6種類の選択肢を組み合わせ、6問の質問を構成している。ここで、将来の公共交通の「向上」についての説明として、前半の3問では「新型路面電車（LRT）が近隣に導入されることを表します。」と説明し、後半3問では「専用車線を走行するバス（BRT）が近隣に導入されることを表します。」と説明する。被験者からは、6問の質問に対して、それぞれ最上位と次点の回答を得ることとする。

居住地選好に関わる要因に対して、世帯による異質性を考慮して影響の差異を把握するため、世帯特性に応じた居住地選好モデルを構築する。具体的には、説明変数とその要因の影響に関わる対象属性についてのダミー変数を乗じた説明変数を設定することで、対象属性で区分した説明変数の係数パラメータ値を推定することとする。試行錯誤により設定した説明変数により、世帯の異質性を考慮したモデルを構成する。対象地域において構築した居住地選好モデルを適用することで、交通アクセス向上による誘導効果を推計する。

表4.3.8 誘導効果計測のための意向調査項目

世帯属性		交通状況
1	世帯主の年齢層	10 利用交通手段
2	世帯主の職業	11 主利用施設までの時間
3	世帯主の通勤交通手段	災害リスク
4	職場までの通勤時間	12 最大想定浸水深の認識
5	同居家族の構成	13 災害への備え有無
6	自動車保有台数	転居意向
現住居		14 転居時の重視項目
7	現住居の居住開始時期	15 転居先の住宅形式
8	住宅形式	16 堅牢建物による効果
9	地域環境への満足度	17 居住地選択(SP調査)

表4.3.9 誘導効果計測のための居住地選好モデル

説明変数	対象属性	対象割合	推定値	t値
職場への時間(分)	通勤者	92%	-0.027	-24.48 **
	非通勤者	8%	-0.013	-3.65 **
	自転車通勤者	10%	-0.013	-3.81 **
買物施設への時間(分)	全対象者	100%	-0.028	-17.39 **
	戸建所有意向	42%	-0.007	-2.92 **
医療施設への時間(分)	戸建所有意向	42%	-0.013	-5.89 **
都市中心部への時間(分)	都心部自動車非利用	32%	-0.003	-1.80 .
	自動車保有1台以下	58%	-0.004	-2.45 *
周辺環境(静穏ダミー)	戸建所有意向	42%	0.095	2.59 **
最大想定浸水深(m)	全対象者	100%	-0.061	-4.63 **
	戸建所有意向	42%	-0.108	-6.53 **
	世帯主60歳以上	12%	-0.034	-1.99 *
	ハザードマップ認知	46%	-0.174	-10.78 **
LRT導入	都心部自動二輪利用	2%	0.759	3.88 **
	鉄道駅30分以上	3%	0.414	2.36 *
BRT導入	戸建所有意向自動車保有	40%	-0.224	-4.09 **
	鉄道駅20分以上	10%	0.261	2.41 *
公共交通維持	世帯主60歳以上	12%	0.090	2.48 *
地価(万円/m ²)	全対象者	100%	-0.025	-3.81 **
	世帯年収400万円未満	33%	-0.041	-4.33 **
	世帯年収400-600万円	31%	-0.033	-3.40 **

**：1%有意、*：5%有意、.：10%有意

世帯の異質性を考慮した居住地選好モデルの推定結果を表4.3.9に示す。誘導策としての将来の公共交通サービス水準の維持または向上による居住地選好への影響について把握する。「公共交通維持」に関しては、世帯主60歳以上の世帯において有意となり、高年齢層の世帯では公共交通サービス水準が維持されている地域への転居意向があるといえる。BRT導入に関しては、鉄道駅から20分以上のアクセス時間が必要な世帯で効果がある。一方、戸建所有意向があり、かつ自動車保有世帯では、BRT導入は負の影響を与える結果となっている。

交通利便性に関しては、通勤者は職場への時間の影響を受け、特に自転車通勤者はその他の通勤者の1.5倍程度の影響を受けることがわかる。非通勤者についても、職場への時間が有意となっており、事業所に近接した居住地を選好することがわかる。買物施設への時間については、戸建所有意向ありの場合に影響がより大きく付加され、買物施設に近接した立地を選好する傾向が高まる結果となっている。医療施設への時間については、戸建所有意向ありの場合にのみ有意となり、医療施設へのアクセス性が重視されることがわかる。都市中心部への時間については、都市中心部へのアクセスに自動車を利用しない場合に影響を受ける傾向がみられる。また、自動車保有台数が1台以下の世帯では、都市中心部へのア

クセス性を重視することがわかる。周辺環境に関しては、戸建所有意向ありの世帯のみで有意となり、戸建所有意向がある場合には静穏な周辺環境の指向があることがわかる。災害リスクに関しては、最大想定浸水深が居住地選択要因として、全対象者について負の影響を及ぼすことがわかる。特に、ハザードマップ認知のある世帯では、大きな影響が付加される。また、戸建所有意向がある場合に最大想定浸水深の影響が明確に大きくなる。世帯主60歳以上の世帯においても影響があることがわかる。

c) 災害リスク（レジリエンス）の評価結果

災害リスク（レジリエンス）の評価においては、災害激甚化前を、L1津波、計画降雨による洪水、レッドゾーンで土砂災害が発生する場合、災害激甚化後を、L2津波、最大降雨による洪水、イエローゾーンとレッドゾーンで土砂災害が発生する場合として、各々のハザードを統合したリスク評価値を算定して比較に用いた。災害激甚化前の評価比較を図4.3.5、災害激甚化後の評価比較を図4.3.6に示す。ここで「追加施策なし」はインフラ整備・近居促進を行わない場合、「両方」はインフラ整備・近居促進の両方の政策を行った場合である。比較のため、現状維持（BAU）に対する変化率について、災害激甚化前（表4.3.10）と、災害激甚化後（表4.3.11）に示す。

図4.3.5より災害激甚化前は、L1津波、計画降雨、レッドゾーンの土砂災害によるリスクは、インフラ整備により大幅に低下する。しかし、図4.3.6より災害激甚化後のリスクは、ほとんど低減できていない。これは、インフラ整備だけでは、L2津波を防御できないことが大きい。リスクを分散させるための近居促進策は、BAUに対する変化率を見ると、近居促進のみで5%程度の低減が見られる。インフラ整備と組み合わせれば、17%程度の低減となる。今回の手法では、近居により生活再建年数が短くなるが、平時における心理的な安心感など、副次的な効果も考えられるため、インフラ整備と合わせて再生まちづくり戦略に反映させることが望ましい。

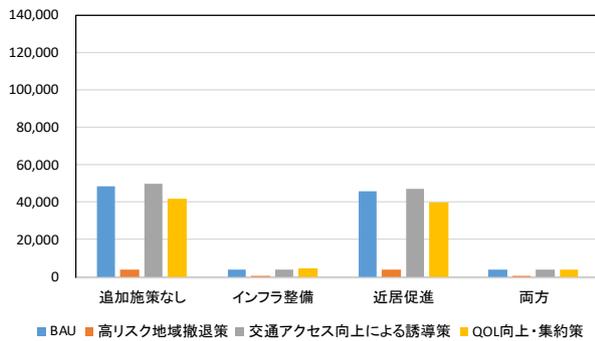


図4.3.5 激甚化前のリスク評価値

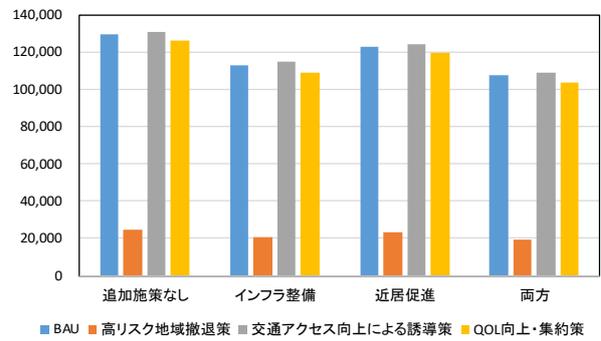


図4.3.6 激甚化後のリスク評価値

表4.3.10 災害激甚化前・BAUに対する変化率（%）

激甚化前(L1津波、計画洪水、レッドゾーン)	追加施策なし	インフラ整備	近居促進	両方
BAU		-91.5	-5.1	-92.0
高リスク地域撤退策	-91.1	-98.0	-91.6	-98.1
交通アクセス向上による誘導策	3.6	-91.4	-1.8	-91.8
QOL向上・集約策	-12.9	-90.8	-17.4	-91.3

表4.3.11 災害激甚化後・BAUに対する変化率（%）

激甚化後(L2津波、最大洪水、イエローゾーン)	追加施策なし	インフラ整備	近居促進	両方
BAU		-12.5	-5.1	-17.0
高リスク地域撤退策	-80.9	-84.0	-81.9	-84.8
交通アクセス向上による誘導策	1.4	-11.2	-3.8	-15.8
QOL向上・集約策	-2.4	-15.6	-7.4	-20.0

次に、高リスク地域撤退策の影響を見ると、他の政策に比べて、リスク低減効果が非常に大きい。リスクが高い地域から撤退するため当然の結果ではあるが、逆にQOLが低くなるため、現実的ではない面もある。表4.3.10より、交通利便性向上による誘導策は、この施策のみでは効果がない。公共交通の利用促進を図るためにも重要な施策であるが、他との組み合わせが必要となる。

QOL向上地域への誘導策は、表4.3.11によると、この施策のみでは2.4%程度の低減であるが、インフラ整備、近居施策と組み合わせると20%程度まで低減効果が向上する。BAU（図4.3.7）とQOL向上・集約策（図4.3.8）で比較すると、QOL向上・集約策の方ではリスク評価値が高いメッシュが減少している。よって、QOLが高い地域に人口を集約させることで市街地のコンパクト化を図り、かつ、インフラ整備と近居促進も合わせて行うことで、災害リスクの減少とQOL向上を両立させた市街地形成を目指す必要があると言える。

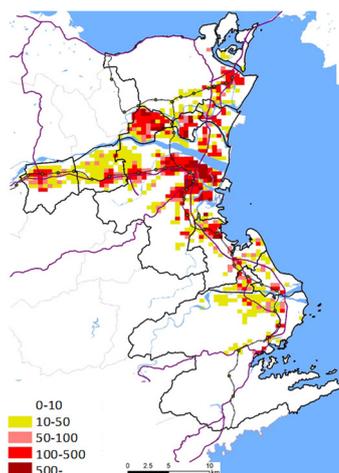


図4.3.7 激甚化後・BAUによるリスク評価値の分布（+インフラ・近居）

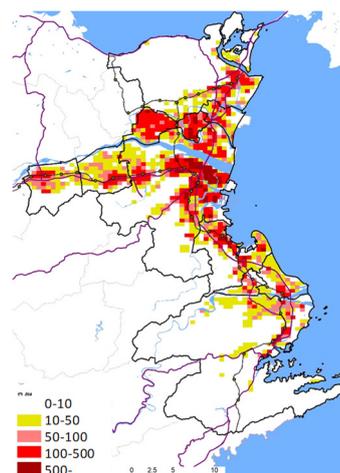


図4.3.8 激甚化後・QOL向上・集約策のリスク評価値の分布（+インフラ・近居）

d) 総合的な居住環境の質（平常時QOL）の評価結果

徳島東部都市圏において高リスク地域撤退シナリオ、交通アクセス向上による誘導シナリオおよびQOL向上のための集約シナリオをそれぞれ適用して、将来(2050年)の人口分布を推計し、各シナリオにおける将来人口分布に対して、圏域全体でのQOL評価値を算定するとともに、自動車交通による二酸化炭素排出量を推計する。これらの推計結果に基づいて、地域づくり戦略の有効性を比較検証した。

① 居住環境の質の項目別BAU評価値

徳島東部都市圏を対象として、交通利便性、居住快適性および安全安心性に関する評価指標を計測した。それぞれの評価要素についての評価結果を空間分布図に示す。交通利便性に関して、企業施設利便性(AC1)の評価結果（図4.3.9）から、事業所が集積している徳島市中心部の期待到達時間は短く、徳島市中心部との道路距離に概ね対応して企業施設利便性が低下する傾向にあることがわかる。ただし、二輪利用を考慮した結果として、周辺部においても周囲より利便性の比較的高い区画もみられる。居住快適性に関して、空間使用性(AM1)の評価結果（図4.3.10）から、郊外部で空間使用性は高くなる傾向もみられるが、特に高い区画は点在している。居住者数の多い区画は一人あたり居住床面積50m²付近に多い。安全安心性に関して、地震危険性(SS1)の評価結果（図4.3.11）から、L2クラスの巨大地震発生時に想定される津波被害リスクにより、沿岸部の地震危険性が顕著に高いことがわかる。

これらの結果から、交通利便性に関しては、人口密度に応じて交通利便性が高くなる傾向の都市構造となっている。一方、安全安心性については、津波災害のリスクの高い沿岸部で低くなっている。安全安心性が高いエリアは交通利便性が低いエリアとほぼ重なっており、トレードオフの関係になっている。

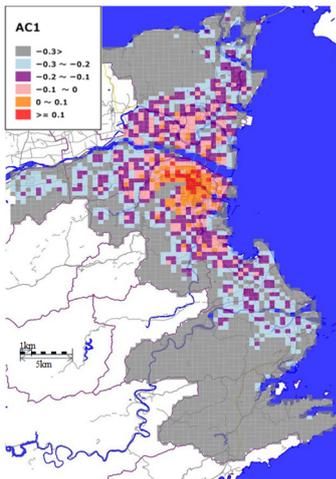


図4.3.9 企業施設利便性の評価

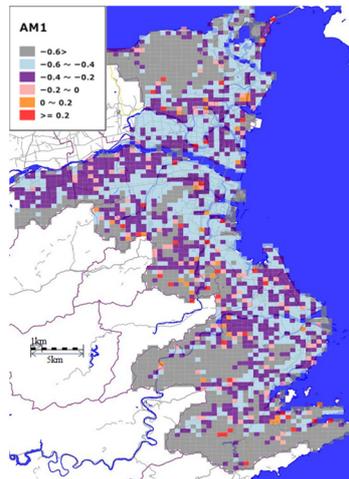


図4.3.10 空間使用性の評価

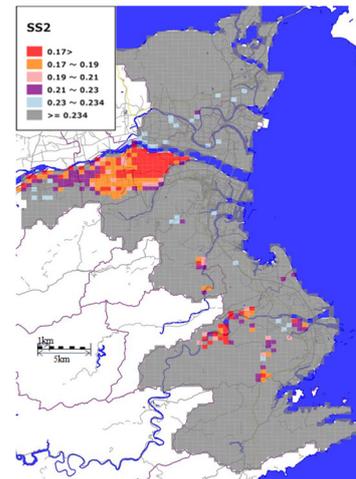


図4.3.11 洪水危険性の評価

② 居住環境の質のBAU総合評価値

つぎに、徳島東部都市圏における500mメッシュ単位で、各評価項目についての指標値を測定し、それぞれの項目に対応した重視度による加重平均により、交通便利性、居住快適性、安全安心性について総合化できる。平常時におけるQOL評価結果を図4.3.12に示す。

居住人口とQOL値の相関係数は0.39であり、やや相関はみられるものの、明確な関連性があるとはいえない。したがって、適切な居住誘導が実現できれば、都市圏全体での生活質を向上できる可能性があることがわかる。

③ まちづくり戦略シナリオでの人口移動

徳島東部都市圏における地域づくりの基本戦略の4つのシナリオをそれぞれ適用した。

高リスク地域撤退シナリオにおける撤退対象地域の人口分布を図4.3.13に示す。撤退対象地域の居住人口は約25万人全員が移転先地域に転居したと仮定する。移転先地域としては、居住人口のない地区でQOL評価の高い地区(100メッシュ)を選定した。高リスク地域撤退シナリオによる人口分布を図4.3.14に示す。現在居住人口のない地区に人口集中することになり、都市構造は大きく変貌することとなる。

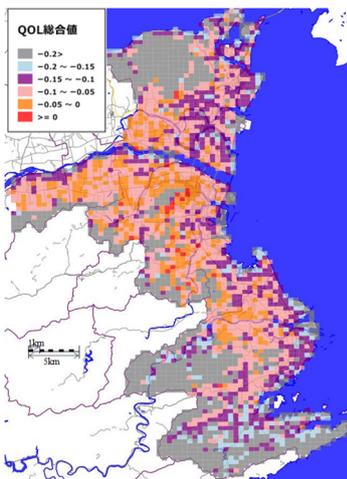


図4.3.12 居住環境(QOL)の評価

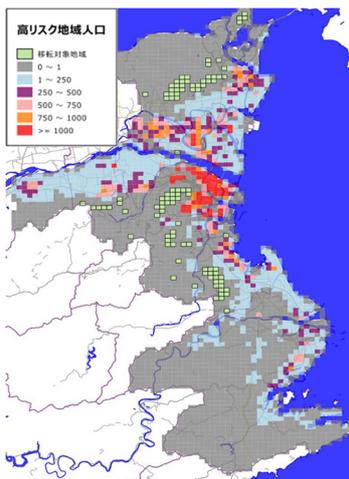


図4.3.13 高リスク地域の人口分布

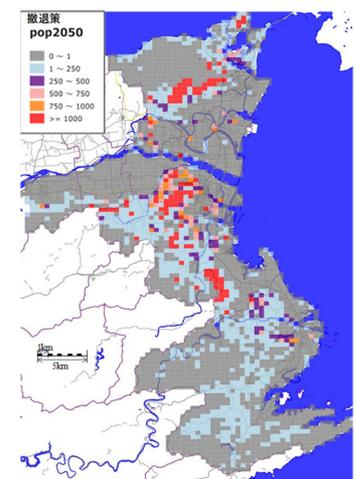


図4.3.14 撤退策による人口分布

つぎに、居住地選好モデルを適用して、DID地区における公共交通サービス水準向上による誘導効果を推計する。交通アクセス向上による誘導シナリオによる人口分布の推計結果を図4.3.15に示す。DID地区以外での居住人口が減少しているものの、人口密度が1000人/km²(=250人/mesh)未満の地域が広く分布する状況は継続する。したがって、BAUシナリオにおける人口分布との明確な差異があるとはいえない。

居住地集約の方向性を見出すために、QOL向上のための集約シナリオでの人口分布を推計する。撤退対象地域とするQOLの低い区域として、QOLのしきい値を高年齢層では-0.15未満、若年層および中年層では-0.09未満の区域とした。その結果、将来人口の2割が撤退対象として、移転先地域に転居したと仮定する。移転先地域としては、現住人口密度2000人/km²以上の地区であり、QOL評価の高い地区（100メッシュ）を選定した。移転先地域のQOL評価は、高年齢層では-0.07以上、若年層および中年層では-0.03以上となった。QOL向上のための集約シナリオの移転先地域を図4.3.16に示す。集約対象の移転先地域は、徳島市の中心部だけでなく、概ね各市町の拠点が含まれている区域であることがわかる。

集約シナリオによる人口分布をBAUシナリオにおける人口分布との差として図4.3.17に示す。撤退対象地域は広範囲に及んでいることがわかる。

それぞれのシナリオにおける人口分布について、BAUシナリオにおける人口分布と比較して、市街化区域と非市街化区域に区分して図4.3.18に示す。撤退シナリオでは市街化地域の人口が激減することが明確である。一方、誘導シナリオおよび集約シナリオでは市街化地域の人口が微増することがわかる。

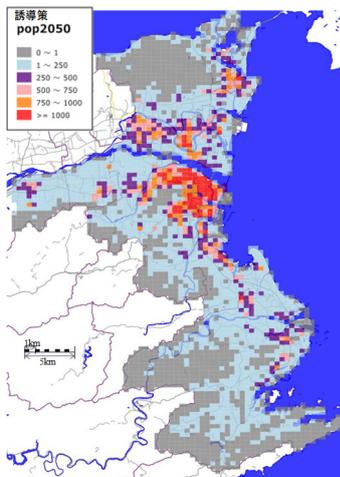


図4.3.15 誘導策による人口分布

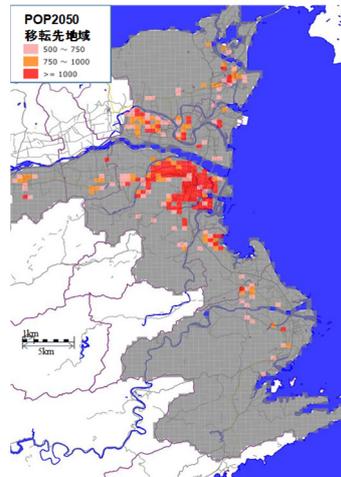


図4.3.16 QOL向上のための集約シナリオの対象地域

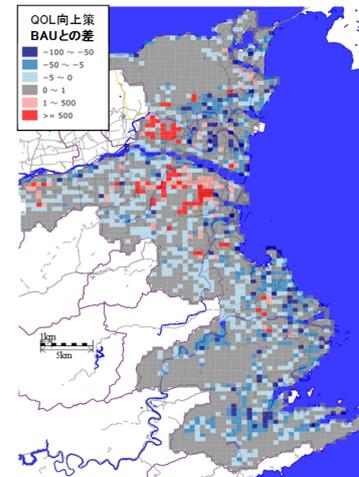


図4.3.17 集約策による人口分布変化

④ まちづくり戦略シナリオのQOL指標分布

対象圏域全体における一人当たりの居住環境の質（QOL）評価推計値について、年齢階層で区分して図4.3.19に示す。この結果から、高リスク地域から高台などへの撤退は生活質の低下を招くことが明確である。また、交通利便性向上による誘導策のみではQOL向上は大きくない結果となっている。

一方、集約シナリオの方向性により人口集約を実現できればQOL向上は顕著となることがわかる。つぎに、集約シナリオにおける項目別評価結果を図4.3.20に示す。集約シナリオの実現により交通利便性は大きく向上することがわかる。また、居住快適性および安全性も向上することがわかる。

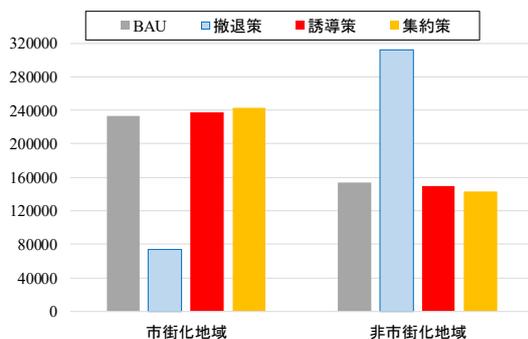


図4.3.18 地域づくり戦略による人口分布変化

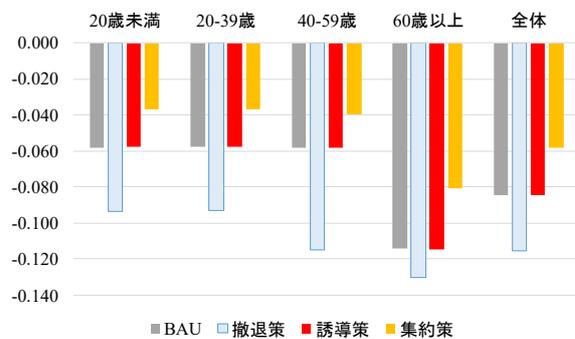


図4.3.19 一人当たりのQOL評価推計値

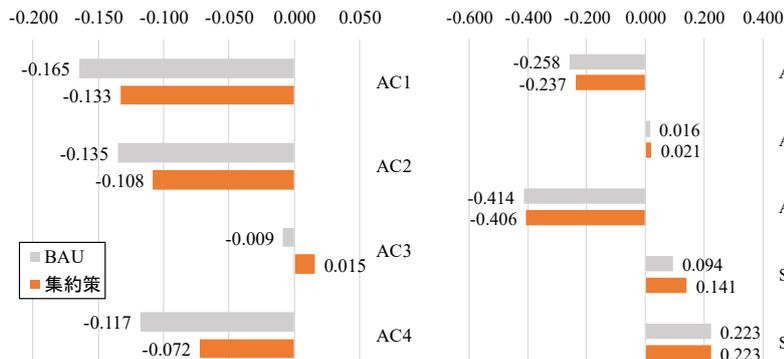


図4.3.20 居住環境 (QOL) の要素別評価

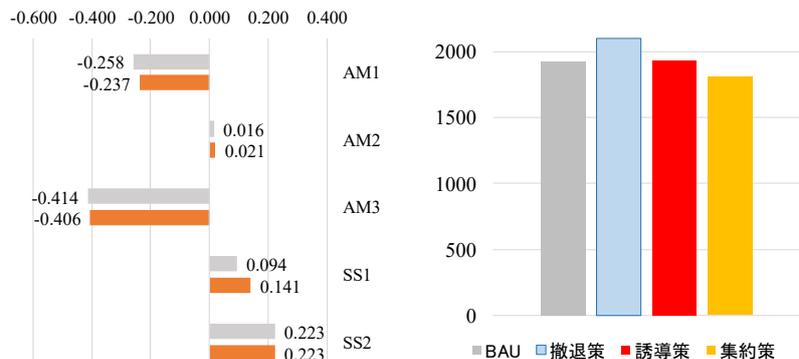


図4.3.21 二酸化炭素排出量推計値

⑤ まちづくり戦略シナリオでのCO₂排出量

交通部門からの温室効果ガス排出量として、2015年道路交通センサス調査結果により自動車の使用本拠ゾーンに基づいて推計した排出原単位に基づいて推計する。各シナリオにおけるメッシュ別人口とメッシュ別排出原単位により二酸化炭素排出量を推計した。各シナリオにおける二酸化炭素排出量の推計値の図4.3.21に示す。なお、電気自動車の普及などによる排出削減効果は考慮していない。BAUシナリオと比較して、撤退シナリオでは9%の排出量増加、誘導シナリオではほぼ同程度となるのに対して、集約シナリオでは6%の排出量削減と推計された。QOL向上のための集約により二酸化炭素排出量削減も可能となる。

e) 地域まちづくり戦略の評価結果と受容性・実装性に関する検討

① 地域まちづくり戦略の評価結果のまとめ

2050年温暖化による海面上昇、降雨強度確率の増加を想定して被災後の生活再建の迅速さからレジリエンスを評価する簡便な手法を開発するとともに、総合的な居住環境（平常時QOL）による評価手法を開発し、再生可能まちづくり戦略を評価した。

- ・ 家族が同時被災しない形で近居をするリスク分散型近居の促進はコミュニティ施策として災害後の生活再建期間の短縮につながる。特に被災しない世帯の増加が被災世帯の生活再建に寄与する点が重要な視点といえる。
- ・ インフラ整備はL1レベルのリスクは防御できるが、温暖化考慮時はリスク低減が期待できない。
- ・ 30分圏内のリスク分散型近居の率を66%→86%に向上させると生活再建年数のトータルで5%程度低減が想定できる。
- ・ 高リスク地域からの人口の撤退は大幅なリスク低減が可能であるが、同時に居住環境のQOLの低下を招く。
- ・ 交通利便性向上による人口誘導策は、レジリエンス、QOLともに向上効果は微小にとどまった。ただし、近居施策と組み合わせるとレジリエンスは2%程度向上する。
- ・ 高QOL地域への集約策は、実際に沿岸部、洪水時倒壊危険区域などの災害リスクの高い地域から現状の人口密度の高い地域、市街化区域内の低リスク地域、利便性の高い調整区域の一部へ集約ことになり、生活利便性、総合QOLの向上、安全安心も向上している。この施策のみでレジリエンスが16.7%向上し、インフラ整備、近居施策と組み合わせると21%向上する。

以上のことから、高QOL地域への集約策が評価対象としたシナリオの中では比較的望ましい地域づくり戦略といえる。特にこのシナリオによって、利便性の高い地域に人口が移動することで移動距離が短くなりCO₂が削減されるコンパクトシティの効果もみられる点も評価できる。

② 地域まちづくり戦略の受容性・実装性の検討

2020年3月6日徳島大学において、徳島県都市計画課、徳島県首都環境課、徳島市都市計画課の担当者、研究代表者および徳島大学サブテーマ担当者から上記の結果を説明し、戦略の受容性・実装性について

検討を行った。本来は同日にフォーラムを開催して、80名余の参加予定者とのワークショップによる検討を予定していたが、新型コロナウイルス感染症への対応として徳島大学主催行事が中止となったことから、少人数の会合での検討となった。この会合で明らかになった視点は以下のとおりである。

- ・ 高QOL地域への集約シナリオを実装するには、利便性向上の人口誘導だけでなく、低QOL地域からの撤退を促すことが必要と言える。徳島市の立地適正化計画の居住誘導地域の設定では、災害危険区域を外す検討をしている。しかし、この計画で実際に人口誘導することは難しい。次回の都市計画マスタープランの見直しでは、高QOL地域への誘導の計画を取り入れてみたい。ただし、今回提案されている高QOL地域の中に実際の洪水の懸念のある地域や、インフラの現状からみて考え直す必要のある場所もあるので現場検討が必要といえる。
- ・ 徳島県は2020年度、気候変動への適応戦略を策定する中でまちづくり、都市計画と協議したい。来年度、徳島県は環境部局が危機管理部と一緒にあって、温暖化等も危機管理の一環として取り組む。今回のように、温暖化と都市計画と一緒に考えている研究成果は少ないので、施策立案に活用したい。
- ・ 徳島県の都市計画については、都市計画区域マスタープランの見直しを進める予定である。人口フレームからみて市街化区域の縮小は避けられない。ゆるやかな導入を進めるため、災害危険区域などで、市街化区域からの将来的な除外を前提とした区域の導入などを考えてきたい。調整区域での居住系地区計画が災害対応で要望されており、現法制度では認めにくい、考えていく必要もでてくる。ただし、今回の都市計画法改正では、調整区域内で危険なエリアから選定したエリアに集約する方向と、線引き内で居住誘導の集約という考え方になっている。
- ・ 市街化調整区域での開発規制制度として、徳島県の大規模既存集落制度を見直して、災害に弱い地域などを都市計画的に規制していく方法が考えられる。開発規制で津波基準水位2m超の大規模既存集落の規制が前回都市区域マスタープランで導入されている。今後、災害危険性の高い地域、利便性の低い地域を除外してくなど、都市計画法の改正を踏まえて、市街化調整区域内でのメリハリをつける考え方を進めることが考えられる。

以上のように、徳島市都市計画マスタープラン、徳島県の気候変動適応戦略、都市計画区域マスタープラン、開発規制制度における実装化の可能性が指摘されており、成果の有用性が確認された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

徳島東部都市圏の気候変動を考慮したレジリエンス評価、および平常期の居住環境(QOL)評価において、既存データをもとに簡易に推計する手法を開発した。特に、従来の施策として考慮されていなかった家族の支援機構を考慮したリスク分散型近居によりレジリエンス向上効果を計測する手法を提案している点で新規性がある。

また、この手法を用いて、地域づくり戦略シナリオを評価した結果、人口密度に応じて交通利便性が高くなる一方で、安全安心性が高いエリアは交通利便性が低いエリアとほぼ重なり基本的にはトレードオフの関係にあることが明確になったこと。また、QOL向上のための集約策により交通利便性だけでなく居住快適性、安全安心性も向上し二酸化炭素排出量も削減可能であることが明らかになった点も科学的意義のある結果といえる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

・ 都市計画施策への活用

徳島県・徳島市との議論で指摘されているように、都市計画区域マスタープラン、都市計画マスタ

ープラン、さらには開発規制制度においては、従来、気候変動で増大する災害リスクは十分に考慮されていなかったが、津波災害に加えて、災害増大が顕著となっている河川災害のリスクを考慮した土地利用規制、開発規制、建築規制の見直しの必要性が認知されつつある。今回、土地利用・人口制御の方向性を提案しただけでなく、具体的なゾーニングを検討するための基礎データのデータベース、抽出アルゴリズムを活用して、施策の具体化への寄与が可能であり、施策への成果の活用が見込まれる。

・ **気候変動対策推進計画・適用策への活用**

徳島県で令和2年度に策定予定の徳島県気候変動対策推進計画（適応編）においても、上記の都市計画的手法の導入を進めることが期待できる。

・ **コミュニティ施策への活用**

従来の都市計画、社会施策として検討の少なかった、家族の支援機構に着目した近居増進施策については、新たな施策展開への創意が必要といえる。例えば、まちなか居住を目的とした富山市の精度に倣い、リスク分散型近居を進めるための住宅の新築・転居への助成制度の施行や、開発規制において実施されている農家の世帯分離住宅への規制緩和制度に倣った、リスク分散型近居を促進するための市街化調整区域での宅地開発の緩和、賃貸住宅建築の緩和などの施策展開が想定できる。ただし、こうした規制緩和施策は、コンパクトシティ・持続可能性・地域継承などの都市戦略的視点でのマスタープランの下で進めることが肝要といえる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 奥嶋政嗣、山中英生、渡辺公次郎：地球環境（Vol. 22, No. 2, 121-130）（2017）
津波災害リスクを考慮した都市構造の持続可能性についての分析
- 2) 程飛、山中英生、黒田慎也、尾野薫：土木学会論文集 D3, 土木計画学（Vol. 74, No. 5, 475-482）（2018）
家族の空間構造と交流・支援・継承意識の関係分析
- 3) 井若和久、山中英生、浜大吾郎、奥嶋政嗣、渡辺公次郎：環境共生（Vol. 33. 5-12）（2018）
津波脅威下にある沿岸集落におけるリスク分散型近居に向けた実践とその展望（日本環境共生学会論文賞受賞 2019年9月）
- 4) 山中英生、奥嶋政嗣、井若和久、渡辺公次郎：土木学会論文集 D3, 土木計画学（Vol. 75, No. 5, 45-52）（2019）
リスク分散型近居による災害からの生活再建への寄与
- 5) K. WATANABE, H. Yamanaka and M. Okushima: Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management and Environmental Sustainability（573-578）（2019）
Disaster Risk Evaluation Considering Climate Change for Land Use Planning
- 6) 奥嶋政嗣、豊田晃太郎、渡辺公次郎、山中英生：土木学会論文集D3, 土木計画学（Vol. 75, No. 6, 171-180）（2020）
徳島都市圏での新築戸建住宅立地における災害リスク・近居・まちへの想いの影響分析
- 7) 奥嶋政嗣、山中英生、渡辺公次郎：環境共生（Vol. 36, No. 1, 32-43）（2020）
世帯特性を考慮した居住地選好の分析-津波リスクを有する地方圏を対象として-（掲載決定）

＜査読付論文に準ずる成果発表＞

特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

特に記載すべき事項はない。

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 井若和久、山中英生、上月康則、浜大吾郎、近藤和人、堀井秀知、宮定章：第42回地域安全学会研究発表会（春季）（2018）
住民主体の海山連携による自治体枠を超えた避難所利用について
- 2) 山中英生：徳島県議会南海地震対策議員連盟（2018）
持続可能な津波防災・地域継承について--事前復興まちづくりの取り組み--
- 3) 山中英生、程飛、奥嶋政嗣、渡辺公次郎：土木計画学研究・講演集（Vol. 57）（2018）
リスク分散型近居による災害からの生活再建への寄与
- 4) 奥嶋政嗣、渡辺公次郎、山中英生、豊田晃太郎：土木計画学研究・講演集（Vol. 57）（2018）
世帯異質性を考慮した地方都市圏における居住地環境の評価構造に関する分析
- 5) 渡辺公次郎、山中英生、奥嶋政嗣：土木計画学研究・講演集（Vol. 57）（2018）
徳島都市圏における総合的な災害リスク評価に関する研究
- 6) 渡辺公次郎：日本建築学会大会学術講演梗概集F-1（371-372）（2019）
災害の激甚化を想定した災害リスク評価に関する研究
- 7) 渡辺公次郎、栗川智成、山中英生、奥嶋政嗣：日本建築学会四国支部研究報告集（No. 19, 89-90）（2019）
災害の激甚化を想定した災害リスク評価と土地利用の方向性に関する研究・その1 評価の考え方
- 8) 栗川智成、渡辺公次郎、山中英生、奥嶋政嗣：日本建築学会四国支部研究報告集（No. 19, 91-92）（2019）
災害の激甚化を想定した災害リスク評価と土地利用の方向性に関する研究・その2 徳島都市圏における評価
- 9) 奥嶋政嗣、森川剛圭、山中英生、渡辺公次郎：土木計画学研究・講演集（Vol. 60）（2019）
災害リスクを有する地方都市圏における立地誘導政策の効果分析
- 10) 井若和久、山中英生：日本環境共生学会学術大会論文集（Vol. 22, 92-100）（2019）
徳島県美波町における事前復興まちづくりに関する住民意向調査（日本環境共生学会優秀発表賞受賞2020年5月決定）
- 11) 山中英生、奥嶋政嗣、渡辺公次郎、井若和久：日本環境共生学会学術大会論文集（Vol. 22, 1-7）（2019）
家族の近居構造と多様な災害時における生活再建実態
- 12) 奥嶋政嗣、山中英生、渡辺公次郎：日本環境共生学会学術大会論文集（Vol. 22, 8-16）（2019）
災害リスクを有する地方都市圏における居住地環境の評価構造に関する分析
- 13) 奥嶋政嗣、渡辺公次郎、山中英生：ファジィシステムシンポジウム講演論文集（Vol. 35, 482-486）（2019）
世帯の異質性を考慮した地方都市圏における居住地環境の評価モデリング
- 14) 奥嶋政嗣、豊田晃太郎、渡辺公次郎、山中英生：土木計画学研究・講演集（Vol. 59）（2019）
徳島都市圏での新築戸建住宅立地における災害リスク・近居・まちへの想いの影響分析
- 15) 渡辺公次郎、山中英生、奥嶋政嗣：土木計画学研究・講演集（Vol. 60）（2019）
徳島都市圏における気候変動を考慮した災害リスク評価とその対策に関する研究

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 一般公開セミナー 再生可能まちづくりセミナー 公共交通を活用した再生可能まちづくり（主催：徳島大学）、2018年3月17日、徳島大学大セミナー室、観客約60名
プロジェクト概要を講演
- 2) 公益財団法人ひょうご震災記念21世紀研究機構研究成果報告会「～大阪北部地震を経験して～大災害時代の災後・災前を生きる～南海トラフ地震に備えて～」（主催：公益財団法人ひょうご震災記念21世紀研究機構）、2018年07月30日、兵庫県公館、観客200名
美波町由岐湾内地区の事前復興まちづくりの取組みについて講演
- 3) 一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所第12回調査研究成果発表会「今から始める復興まちづくり ～漁業地域における事前復興計画～」（主催：一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所）、2018年12月17日、大手町フィナンシャルシティカンファレンスセンター、観客250名
美波町由岐湾内地区の事前復興まちづくりの取組みについて講演
- 4) 一般公開セミナー 再生可能まちづくりセミナー 公共交通の再生と再生可能まちづくり（主催：徳島大学）、2019年1月10日、徳島大学フューチャーセンター、観客70名余
公共交通ビジョンと公共交通強化によるコンパクトシティ戦略の発表と討議を行った
- 5) 2019年復興・減災フォーラム「東北」から未災地への伝言」～南海トラフ地震に備えて～全国被災地交流集会「円卓会議」（主催：関西学院大学災害復興制度研究所）、2019年01月12日、関西学院会館レセプションホール、観客100名
美波町由岐湾内地区の事前復興まちづくりの取組みについて講演
- 6) 津波のあいだ、生きられた村出版記念連続イベント第二弾「事前復興まちづくりサミット2020in美波町」（主催：綾里地区研究会、美波町、美波町自主防災会連合会、徳島大学・美波町地域づくりセンター）、2019年1月12日-13日、美波町立由岐公民館、観客2日間延べ130名
美波町の事前復興まちづくりについて討論
- 7) 令和元年度徳島大学地域交流シンポジウム「徳島県の災害ケースマネジメントをどう進めていくか？」（主催：徳島大学人と地域共創センター、徳島大学環境防災研究センター）、2019年2月15日、徳島大学地域連携プラザ「地域連携大ホール」、観客120名
徳島での事前復興まちづくりについて討論
- 8) 一般公開セミナー 再生可能まちづくりセミナー 再生可能都市への転換戦略～都市計画・交通計画への活用を踏まえて～（主催：徳島大学）、2019年3月20日、徳島大学フューチャーセンター、観客60名
徳島地域における研究成果の中間報告、コミュニティ持続可能性簡易確認ツールの紹介
- 9) 日本災害情報学会20周年記念シンポジウム「防災における”住民の主体性”」（主催：日本災害情報学会）、2019年5月11日、東京大学福武ホール、観客200名
美波町由岐湾内地区の事前復興まちづくりの取組みについて講演
- 10) 「地域継続シンポジウム ～大災害からの早期復旧・復興を考える～」（主催：徳島県地域継続推進協議会、徳島県、土木学会四国支部徳島地区、徳島大学環境防災研究センター）、2019年11月11日、徳島県教育会館、観客80名
美波町由岐湾内地区の事前復興まちづくりの取組みについて講演
- 11) 第34回近畿弁護士会連合会大会シンポジウム「事前復興と持続可能なまちづくり～南海トラフ地震を見据えて～」（主催：近畿弁護士会連合会）、2019年11月29日、ホテル日航奈良、観客200名
美波町由岐湾内地区の事前復興まちづくりの取組みについて講演

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 徳島新聞朝刊、2017年4月29日、美波・由岐湾内地区の住民 津波時阿南の避難所へ
- 2) 徳島新聞朝刊、2017年6月30日、津波避難住民受け入れ 阿南と美波 協定締結
- 3) 徳島新聞朝刊、2017年9月1日、美波・由岐湾内地区 被災前提にまちづくり 「事前復興」の取り組み進む
- 4) 日本経済新聞朝刊、2017年10月16日、災害考 津波後の我が町描く 住民ら「事前復興計画」
- 5) 読売新聞朝刊（徳島版）、2018年3月10日、震災7年 復興備え 災害前から
- 6) 読売新聞朝刊（徳島版）、2018年3月12日、事前復興学び 減災の街を
- 7) 徳島新聞朝刊、2018年4月30日 地域総合（15）面、住民交流し津波避難訓練 美波
- 8) 読売新聞朝刊、2018年9月13日 地域（33）面、特集ふるさとあしたへ 南海トラフ地震見据えまちづくり
- 9) 読売新聞朝刊、2019年1月17日 社説、次代の脅威に教訓を活かそう 阪神大震災24年
- 10) 徳島新聞朝刊、2019年3月2日、南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応ワークショップ(2/22)
- 11) 徳島新聞朝刊、2019年3月11日 地域総合（9）面、復興構想ジオラマで表現 由岐小児童 津波による被害を考慮 校舎や住宅高台移転
- 12) 徳島新聞朝刊、2019年4月5日 地域・NIE（18）面、復興ジオラマ住民に発表 由岐小児童
- 13) 徳島新聞朝刊、2019年6月9日 （25）面、特集備える 津波の後どう対応 美波町由岐湾内地区「事前復興」の取り組み
- 14) 徳島新聞朝刊、2019年5月22日 地域・NIE（18）面、避難訓練通じ住民同士交流 美波と阿南
- 15) 河北新報朝刊、2019年6月23日 総合（3）面、特集「安住の灯」―災害列島に生きる―第9部明日を見据えて⑥完 事前復興未来を描く
- 16) 徳島新聞朝刊、2019年9月1日 特集（20）面、事前避難 見えた課題、由岐地区住民取り組み模索 収容施設が高台になし地域存続を懸念する声
- 17) 徳島新聞朝刊、2019年11月12日 国際・総合（4）面、事前復興先進例学ぶ 大規模災害に備えシンポ
- 18) 徳島新聞朝刊、2020年1月13日 地域総合（15）面、「事前復興」学ぼう 美波専門家参加しサミット
- 19) 徳島新聞朝刊、2020年2月16日 地域総合（29）面、被災者の生活再建学ぶ 徳島大でシンポ120人参加
- 20) Yahoo! JAPAN THEPAGE、2020年3月2日、災害前から備える「事前復興」 行政支援をあきらめた100人集落にヒントを求めて
- 21) NHK 盛岡放送局、2018年1月12日、クローズアップ東北 災害復興 新しい町は問いかける～三陸津波被災地からの報告～
- 22) NHK 徳島放送局、2018年3月15日、とく6 徳島 住民主役の“事前復興”成果と課題は
- 23) NHK 徳島放送局、2018年3月16日、とく6 徳島 “事前復興”の大切さ 若い世代へ
- 24) NHK 徳島放送局、2018年3月16日、阿波スペシャル 町を残していくために～“事前復興”巨大地震に備える～
- 25) テレビ朝日報道ステーション特集、2018年5月11日、『3.11から伝えたい』“事前復興”に挑戦する町
- 26) NHK徳島放送局、2018年6月29日、とく6 徳島 自治体の枠を越え避難所の協定
- 27) NHK徳島放送局とく6徳島、2018年9月3日、「事前復興」県が初の指針策定へ
- 28) NHK徳島放送局とく6徳島、2018年11月20日、美波町から阿南へ避難生活体験訓練
- 29) 四国放送フォーカス徳島、2018年12月21日、美波町由岐の“事前復興計画”は今
- 30) NHK徳島放送局おはよう徳島、2019年3月4日、地震に備え住民が行動計画作り
- 31) NHK徳島放送局とく6徳島、2019年3月11日、徳島美波町“事前復興”ジオラマが完成
- 32) 四国放送フォーカス徳島、2019年3月12日、津波被害予測地域⑤ 美波町由岐地区

- 33) 仙台放送、2019年6月29日、特番『防潮堤と街づくり』
- 34) テレビ朝日、2020年3月8日、番組テレメンターリー「“3.11”を忘れない80 高台はできたけど～復興事業の誤算～」

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 戸川卓哉、加藤博和、林良嗣：土木学会論文集D3 (Vol. 68, No. 5, 383-396) (2012)
トリプルボトムライン指標に基づく小学校区単位の地域持続性評価
- 2) 渡辺公次郎、近藤光男：日本建築学会計画系論文集 (Vol. 81, 2713-2721) (2016)
徳島都市圏における津波危険性を考慮した住宅立地傾向の分析

III. 英文Abstract

**Transition Strategies to the Renewable City
-To Resiliently Cope with Climate Change and Large-scale Natural Disasters-**

Principal Investigator: Hirokazu KATO

Institution: Environmental Studies Nagoya University
 Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601, Japan
 TEL: +81-(0)52-789-2772 / Fax: +81-29-850-1454
 E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

Cooperated by: Kansai University, Tokushima University

[Abstract]

Key Words: Renewable city, Climate change Mitigation and Adaptation,
 Sustainability, Resilience, Low carbon and Energy security

The purpose of this study is to examine methods to transform cities into sustainable cities that can respond flexibly to threats such as rapid population decline due to the fast-aging society, climate change, natural disasters, and energy shortages. In this study, the support system for local governments was developed to formulate urban planning to mitigate and adopt climate change. This study also presents the evaluation methods both for long-term sustainability in the pre-disaster period (Triple Bottom Line: TBL) and for disaster resilience after a major natural disaster (Disability-Adjusted Life Year: DALY, Quality-Adjusted Life Year: QALY). Finally, this study proposes the formation of compact urban areas in local cities, government-planned guidance, examination methods and policies for local governments to convert their cities into renewable cities.

After applying this system to cities (Matsusaka and Tokushima City Planning Area), it was found that the levels of environmental efficiency, cost efficiency, and QOL could decrease when an urban area within a high risk disaster zone is moved to a safer zone. Therefore, it is advisable to implement measures firstly to consolidate the population into areas with high QOL and then to gradually guide the relocation. This includes considering the convenience of transportation and creating the area which hosts necessary social facilities and supports walkable lifestyle. Mixing the land use types appropriately is also important. The evacuated areas also need to take advantages of local natural and historical resources, industries, and low carbon mobility. In high disaster risk areas and their surroundings, setting up the post-disaster safety measures which covers 20-30 days after a disaster is essential to raise the recovery speed of QOL just after the incident. Furthermore, when guiding the relocation of the areas, it is important to apply the "pioneering introduction" and "follow-up introduction methods" of the new environmental technologies which take into consideration of residents'

environmental awareness and economic situations. High-income residents will lead the use of new environmental technologies, and middle-income earners will follow. In this way, they can form a local community which embraces new environmental energies.

Another point to consider is the decentralization of the energy system and a appropriate emergency energy supply rate, with efficient energy generation, storage, and conservation.

As a result of this research, it was confirmed that the introduction of the regional development strategy scenario can improve QOL and reduce CO₂ emissions.

It was found that it is advisable to include land use/infrastructure, climate change adaptations, and low carbon energy security into local governments' plans in an integrated and comprehensive manner. It is expected that the "co-benefits" will be achieved in the community by utilizing local resources and integrating environment, society, economy, and disaster prevention policies.