

平成 29 年度環境省大臣官房環境計画課委託

平成 29 年度

環境経済の政策研究事業委託業務

（国民総幸福最大化と低炭素化を両立させる都市・地域縮退戦略策定モデル
～地区詳細スケールでの評価に基づく土地利用・インフラ再編策立案手法～）

成果報告書

平成 30 年 3 月

中部大学

目次

概要.....	2
I. 研究計画・成果の概要等	3
1. 研究の背景と目的	3
2. 3年間の研究計画及び実施方法	4
3. 3年間の研究実施体制	7
4. 本研究で目指す成果.....	7
5. 研究成果による環境政策への貢献.....	7
II. 平成 29 年度の研究計画および進捗状況と成果	9
1. 平成 29 年度の研究計画	9
2. 進捗状況および成果（概要）	11
3. 対外発表等の実施状況	17
4. 平成 29 年度の進捗状況と成果（詳細）	19
4-1 序論.....	19
4-2 本論.....	20
4-2-1 平成 29 年度の研究状況.....	20
4-2-2 3年間の研究を通じて得られた成果.....	75
III. 添付資料	211
1. 参考文献	211

概要

人口減少下の日本において、「低炭素」で「サステイナブル」かつ「レジリエント」なコンパクト都市・地域構造への縮退戦略を立案支援する一連のモデルシステムを整備した。各モデルシステムは申請者らがこれまで開発してきたものをベースとしつつ、それらを改良・統合し、国民の最大幸福化の実現の観点から、対象都市・地域の特性に応じた政策パッケージを導出可能な構造とした。モデルシステムは、申請者らが既に地域との連携関係を構築している国内外の数都市でのケーススタディを通じて、人口減少・気候変動による「サステナビリティ」「レジリエンス」の変化をGISにより視覚的に明らかにするとともに、それらを向上させるための具体的な対応戦略を導出するフレームワークを検討した。さらに、各モデルシステムの利用性を高めるとともに、一連のプロセスをマニュアル化することで、自治体担当者らが縮退戦略の地域における合意形成に利用できるように整備した。具体的には「(1) 都市・地域の縮退戦略と低炭素化に関する研究・政策レビュー」、「(2) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価モデルシステム開発」を継続・高度化するとともに、「(3) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価に関する事例研究」「(4) 都市・地域縮退戦略の環境政策への貢献」を実施した。

As Japan is facing population decline, it is necessary to establish a series of model systems focusing on low carbon, sustainability and resiliency to support the planning of retreating strategies for regional area and compact city reformation. Each model system is based on what the applicants have developed and these include the topics of improvement and integration, viewpoint from maximum quality of life realization, to derive policies that suit the unique characteristic of targeted urban and regional area. The model systems are contributed by the applicants' case studies research in several cities inside and outside of Japan that has similar issue. The study of resilient and sustainability caused by population decline, climate change will be represent by GIS model for clearer understanding and devising a framework that derives concrete response strategies for further improvement. Moreover, to further increase the applicability of each model system, the process detail will be made into manual guide such that self-government body involving with retreating strategy will be able to benefit from it. In the detail, this research project conducted [1. City and regional retreat strategy and low carbon approach research and policy review], further improvement of [2. Development of co-benefit model systems for city and regional retreatment], [3. Case study review of co-benefit evaluation for city and regional retreat], and [4. Contribution of city and regional retreat strategy to environmental policy].

I. 研究計画・成果の概要等

1. 研究の背景と目的

(1) 背景

第二次大戦後の急速な経済成長を原動力に、国民に一定レベルの生活水準を提供するためのインフラ整備が完成した日本では、国土デザインの中心課題が「物的拡大」から「質的充実」へと移行している。したがってその評価も**経済便益では捉えきれない**はずであるが、都市・地域やインフラ整備に関するプロジェクトの評価は現在でも貨幣タームでの費用便益分析が軸となっている。一方で、経済成長の過程でモータリゼーション進展と緩い土地利用規制によって都市・集落域が低密に拡散した結果、CO₂排出量やインフラ維持費用が大きい**スプロール型土地利用**となるとともに、災害に対して脆弱な地域にも住宅や都市機能が広がってしまっている。

人口減少・超少子高齢時代を迎え、このような土地利用を放置すると、得られる QOL (Quality Of Life) に対して**多くのエネルギー消費・CO₂ 排出やインフラ維持費用**を要する非効率な状況が続き、低炭素社会になりえないどころか将来的には、地域そして国の破綻へつながりかねない。また**気候変動に伴う気候外力の増加**によって、災害脆弱地域ではより一層の被災リスクを抱えるようになり、現在では安全な地域であっても今後想定を超える災害に襲われる可能性がある。このような社会的・環境的变化に伴う国土衰退を回避するために、各基礎自治体は、土地利用をコンパクト化し、交通・防災・代謝等インフラシステムを適正に組み合わせることで、人口急減を防ぎ、財政健全経営を図りながら社会が絆を保って生き延びる**レジリエントな国土デザイン戦略**への転換が急務である。

この戦略で最も重要となる方向性は、災害に対して脆弱な地区や、QOL が低く CO₂ 排出量やインフラ維持費用が大きい地区を割り出して撤退し、優良な地区への集約を図ることで、低炭素・低費用で QOL の高い魅力的な地域を支える土地利用に転換する「**縮退**」である。その実現に欠かせないのが、**撤退もしくは集約地区の特定**であり、具体的には、基礎自治体の空間構造を検討できるように、内部を**詳細に分割した単位**で、上述の様々な指標を推計し「**コベネフィット**」を評価できる手法が必要である。従来は、このような地区詳細スケールでの評価手法はなく、例えば CGE をベースとした手法では都道府県レベルの解像度しか得られなかった。

そこで申請者らは、10 年にわたって縮退戦略（スマートシュリンク）の思想、評価指標としての QOL/LCCost（インフラのライフサイクルコスト）、QOL/CO₂に基づく小地区（500m メッシュ）スケールでの**長期的サステナビリティ（持続可能性）**や**災害時レジリエンス（回復力）**を評価するシステムのプロトタイプを開発し、名古屋都市圏や幾つかの地方都市に適用した。その成果を論文や著書はもとより、新聞（日本経済新聞「経済教室」等）や一般雑誌論考（「Wedge」等）でも公表してきた。

(2) 目的

「**幸福度向上・低炭素保証型の都市・地域縮退戦略**」を各自治体が見いだすために、**詳細スケールでの地区評価手法**を開発することを目的とする。具体的には 1)500m メッシュという小地区単位で将来人口やその構成を予測するモデルを構築し、それをもとに 2)CO₂ 排出量を予測するとともに、3)経済便益にとどまらない居住者の**包括的な幸福度（QOL）**の変化を計測でき、4)この値を個人・地区間

格差も考慮して地域全体で集計した**地域幸福度**を算出し、5)B/C（プロジェクト総便益／プロジェクト総費用）の B を地域幸福度に置き換え、個人ベースに disaggregate した地区ごとの住民1人の QOL/ CO₂（炭素排出あたりの QOL 向上効率：CO₂ emission based QOL sufficiency）を算出する。6) 同時に各メッシュの**水害や地震等に対する脆弱性**も評価し、気候変動に伴う変化についても検討することで、5)と合わせて、**撤退・集約すべきメッシュの順位づけ**を可能とする。

2. 3年間の研究計画及び実施方法

人口減少下の日本において必要となっている、「低炭素」で「サステイナブル」かつ「レジリエント」な**コンパクト都市・地域構造への縮退戦略**を立案支援する一連のモデルシステムを整備する。各モデルシステムは申請者らがこれまで開発してきたものをベースとしつつ、それらを改良・統合し、国民の最大幸福化の実現の観点から、**対象都市・地域の特性に応じた政策パッケージを導出可能な構造**とする。

モデルシステムは、申請者らが既に地域との連携関係を構築している国内外の数都市でのケーススタディを通じて、人口減少・気候変動による「サステナビリティ」「レジリエンス」の変化を GIS により視覚的に明らかにするとともに、それらを向上させるための具体的な対応戦略を導出するフレームワーク（下図参照）を検討する。さらに、各モデルシステムの利用性を高めるとともに、一連のプロセスをマニュアル化することで、自治体担当者が**縮退戦略の地域における合意形成**に利用できるように整備する。

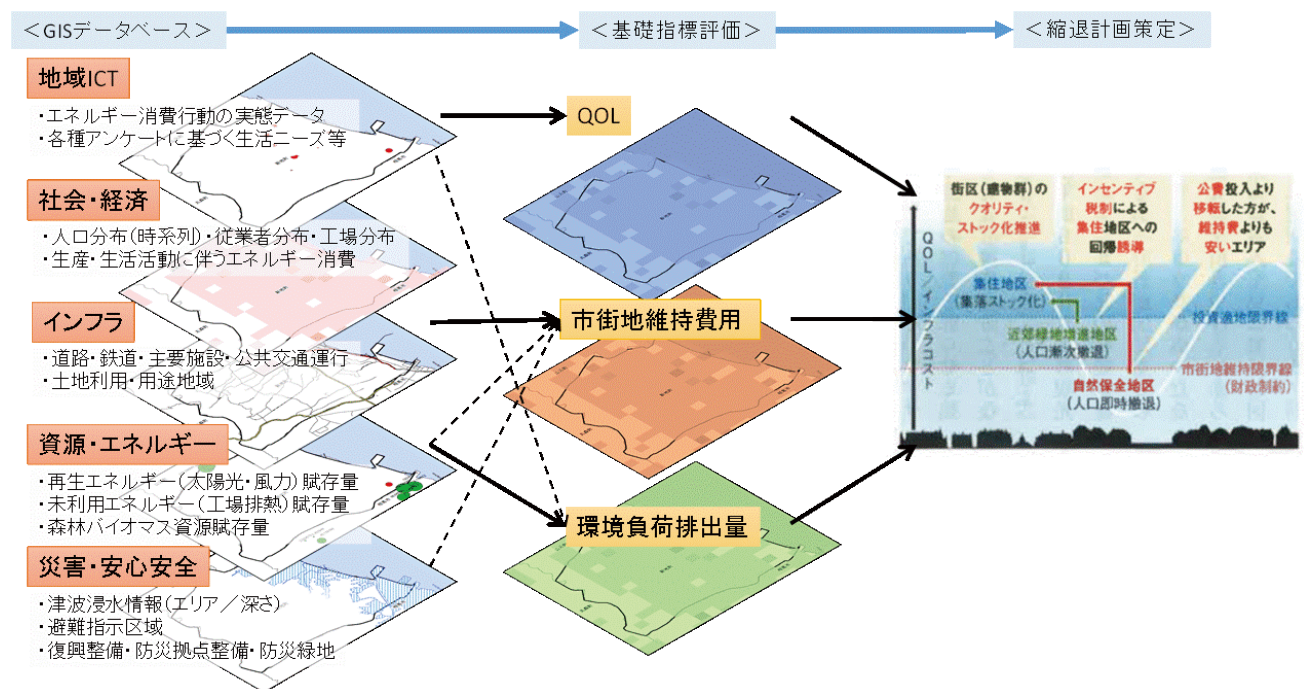


図-1 縮退戦略策定モデルのイメージ

(1) 都市・地域の縮退戦略と低炭素化に関する研究・政策レビュー（林・塚原・中村・加知）

本研究において最も根本的な評価概念となる「QOL」について、国内外の関連研究等を網羅的にレビューすることで系譜図を作成し、その定量評価手法について理論的な見直しを図るとともに、プ

ロジェクト評価への適用に配慮したモデルを再構築する。

・欧州の衰退都市における都市発展計画と環境政策の事例調査

欧州では日本に先立って経済成熟（後退）や人口減少が進んだ都市・地域が多くあり、地域政策の評価概念として QOL 向上や低炭素化を導入している例が見られる。そこで、ドイツ、イングランドの諸都市などを対象に、都市衰退に対してどのように目標を修正し都市・環境政策を変更していったかについて、合意形成プロセスや具体的な政策評価手法を中心に現地・資料調査及び自治体へのヒアリング等を通して事例調査を実施する。

・都市・地域の縮退がもたらすコベネフィットに関する研究事例調査

都市・地域縮退策については、先進国を中心に様々な提案があり、一部は実施されている。その議論の中で、この策がいかなるメリットやデメリットを発生するかについても多数の研究が行われている。本研究では特に、主な効果としての「CO₂等環境負荷の削減」「QOL の向上」「災害への対応」「費用の低減」と、それを実施する際に直面する困難としての「撤退・集約費用の負担」「撤退後の土地利用」「集約を進めるための誘導策」について、資料調査及び学会等での情報収集・議論、関連分野の研究者へのヒアリングを通して研究事例の調査を行う。それらを踏まえて、環境負荷削減に留まらない、縮退戦略のコベネフィットを体系化する。

(2) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価モデルシステム開発（林・加藤・戸川）

・詳細地区スケールでの空間～環境コベネフィットの評価指標の定式化

(1)での研究事例調査の結果を基に、都市・地域構造の変化が低炭素性その他様々な要素に及ぼす効果について定式化を行う。既に申請者らは、CO₂排出量、QOL 尺度、インフラ維持費用の 3 つの評価指標を 500m メッシュ単位で計量可能なモデルを開発しており、これを改良する。CO₂排出量は、コンパクト化に伴う移動距離や交通機関選択の変化を考慮できるよう旅客交通起源分のモデル詳細化を行う。QOL 尺度は、従来考慮してきた機会獲得性・居住快適性・安心安全性の 3 要素に加え、地域コミュニティの強さや文化的な蓄積を含めた評価を可能とするようにする。インフラ維持費用はそれも含めた包括的な住民サービスの費用を算定できるようにする。これらについて、都市・地域構造やインフラ供給状況による変化を検出可能な関数としてモデル化を行う。

・土地利用・インフラ再編を伴う縮退戦略のコベネフィット評価モデルの構築

上記で開発した各指標の評価モデルとともに、既に申請者が開発を進めている、地震災害や水害に伴う人命・財産・生活被害とその回復過程を小地区単位でシミュレートして評価するモデルシステムを用いて、GIS 上で 500m メッシュ単位での長期的「サステイナビリティ」と災害時「レジリエンス」評価を可能とするモデルシステムを整備する。前者は住民サービス新設費用あたり QOL や、CO₂排出量あたり QOL が長期的に安定して高い水準で推移するかどうかで評価できる。また、後者は各種被害を住民の総余命損失と財産・インフラ被害額の少なさとして評価できる。これらの指標を用いて、縮退戦略実施（撤退・集約地選定）や各種インフラ整備がもたらすコベネフィットが評価できるようになる。

なお、近年における集中豪雨災害等の頻発を考慮して、災害影響の地理的分布や頻度変化を組み込んだ縮退戦略の立案は必要不可欠である。そのため、気候変動影響シナリオと統合的な高解像度の災害リスク影響評価モデルを新たに開発し組み込む。これによって、例えば河川水害であれば、気候変動進展後において、堤防・ダムなどのインフラ建設策と、後背地から撤退し浸水を許す策とでのレジ

リエンスの違いを評価できるようになり、CO₂排出量等とも合わせた縮退戦略検討が可能となる。

(3) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価に関する事例研究（加藤・中村・加知・戸川）

構築した評価モデルシステムは日本全国を対象とするが、本研究では、研究参画者が実際に地域の活性化や防災・減災対応に携わっている名古屋都市圏・宮崎市・福島県浜通り北部地域等の候補地に適用し、ケーススタディを実施する。特に目指す点は、少子高齢化、巨大災害リスク増大（気候変動の考慮を含む）、そして省エネルギー・低炭素という、縮退戦略が必要とされる3つの主要因について、各対象地域で評価を行い、それを基に「サステナビリティ」「レジリエンス」の両方が向上できるような望ましい縮退プログラム（時系列）を提案することである。さらにその提案を各地域の自治体職員や住民等に見ていただき、議論することで、実行可能な戦略の実施に向けて合意形成を図るプロセスを試行する。

以下では重点的な評価対象地域として想定している、名古屋都市圏北東部の小都市である岐阜県恵那市を例に検討イメージを述べる。名古屋駅から1時間強の通勤圏外縁にある小都市で、御多分に洩れずスプロールが進み、中心市街地が衰退してきている。郊外集落では高齢化・過疎化が著しくQOL維持が困難となっている。一方、2027年には近隣にリニア新幹線駅が設置される予定で、QOLの大きな変化が見込まれる。そこで、小地区単位での将来人口や構成、および建物・インフラの更新を予測するモデルの結果も用いて、リニア新幹線を利用した首都圏などとの交通利便性改善に伴うQOL向上効果を検討するとともに、城内での二次交通整備や縮退策、および中心市街地建物群の高質・長寿命化（クオリティ・ストック化）も合わせて行った場合に、居住者のQOLがどれほど向上し、CO₂が削減できるかを分析する。

(4) 都市・地域縮退戦略の環境政策への貢献（全員）

ケーススタディを通じて導出した望ましい都市・地域構造を実現するために必要となる縮退戦略（スマート・シュリンキング）シナリオを政策立案者との協働を通して検討する。ここでは、低炭素化とともに地域幸福度向上、維持費用削減、災害への強靱性確保を合わせたコベネフィットを最大化し、人口減少下でもサステナブルでレジリエントとなるような都市・地域を幅広い合意形成によって実現することに資する方法論の提供を目指し、かつ政策立案者が利用可能なガイドラインを作成する。

日本のように都市化の過程において郊外開発が急速に進んだ国では、既に開発が進んだ郊外部のうち災害に対して脆弱であったり、QOLのわりに費用やCO₂排出が大きい地区からいかに撤退し、効率の高い地区に集結するかが課題である。そのための具体的な誘導策として、都市計画規制と税制等によるインセンティブの併用策を提示する。これについては、欧米で実施されている不動産取引の様々なテクニックの日本への導入可能性も合わせて検討する。さらに、策の実施に伴う誘導効果の発現量を評価できる計量モデルを合わせて開発し適用することで、国民幸福最大化・低炭素化の観点から見た施策の必要実施レベルをバックキャスト的に推計する。

また、日本特有の問題点として、建物の寿命が短いことが挙げられる。これは物理的耐久性よりもむしろ都市計画制度の不備による土地利用混乱が各建物の社会的・経済的寿命を減少させている側面がある。建物の寿命はCO₂排出量や資源消費量の多寡とは必ずしも関係しないが、省エネルギーやリサイクルの技術と合わせて影響を及ぼす。そこで、縮退シナリオの検討にあたっては、維持費用

等を勘案した建物・インフラストック更新投資余力も考慮し、サステナビリティをより高めることができる社会的・経済的寿命を見だし実現する「都市ストック化」施策を合わせて実施することを盛り込むこととする。

3. 3年間の研究実施体制

氏名	所属	担当
林 良嗣	中部大学・教授	統括, (1)政策・研究レビュー, (2)事例研究, (3)政策検討
加藤 博和	名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授	(2)モデルシステム開発, (3)事例研究, (4)政策検討
中村 晋一郎	名古屋大学・大学院工学研究科・講師	(1)政策・研究レビュー, (2)モデルシステム開発, (4)政策検討
塚原 健一	九州大学・大学院工学研究院・教授	(1)政策・研究レビュー, (4)政策検討
加知 範康	九州大学・大学院工学研究院・助教	(1)政策・研究レビュー, (2)モデルシステム開発, (4)政策検討
戸川 卓哉	国立環境研究所・福島支部／社会環境システム研究センター・研究員	(2)モデルシステム開発, (3)事例研究, (4)政策検討
西岡 誠治	長崎県立大学・教授	(1)政策・研究レビュー, (3)政策検討

4. 本研究で目指す成果

都市・地域全体やその内部の任意メッシュについて、QOLを向上させながらCO₂を削減していくプログラムが検討できる。また、地域経営の重要なバロメータとなる市街地維持費用もメッシュごとに計算できる。そのため、CO₂あるいは費用の削減目標を与えると、QOL/CO₂あるいはQOL/LCCostの小さいメッシュからの順次撤退、あるいはQOLを改善するインフラの改良を同時に考慮した計画の作成が可能となる。更に、地区や個人属性（年齢別、性別、居住地区別など）ごとのQOL水準も算出できるようにし、政策立案者が利用可能なガイドラインを作成する。

5. 研究成果による環境政策への貢献

地球温暖化に対する都市・地域の「緩和策」「適応策」として長期的に大きな効果が期待できる、土地利用・インフラ再編策の立案と評価が可能となる。詳細地区単位での評価による撤退・集約地区の導出による縮退施策、それを補完する交通ネットワーク整備施策、あるいは防潮堤などの防災インフラの改良などといった施策オプションを、500mメッシュ単位という従来手法にはない極めて詳細なレベルで具体的に検討できる。その際、メッシュごとにQOLの変化や、インフラ維持に必要となる公共投資の額が推計でき、CO₂削減と同時にコベネフィットとしての幸福度や財政状況の改善も一目瞭然となる。また、経済便益に代えてQOLを用いることは、経済成熟時代の都市・地域政策評価の方向性に適合するのみならず、高齢者・就業者・子供といった属性別にQOL向上を検討できるので、人口減少・高齢化時代に各属性間のバランスがとれたQOL向上を目指し

た縮退戦略への科学的根拠を提供できる。

II. 平成 29 年度の研究計画および進捗状況と成果

1. 平成 29 年度の研究計画

20 世紀の経済成長の過程で都市・集落域が低密度で拡大した日本は、CO₂ 排出量やインフラ維持費用の負荷が大きい土地利用を 21 世紀に残した。そのため、住民の幸福度（QOL）を維持するためには、多くのエネルギーやコストが必要となっている。人口減少・超少子高齢時代を迎え、このような土地利用を放置すると、得られる QOL に対して多くのエネルギー消費・CO₂ 排出やインフラ維持費用を要する非効率な状況が続き、低炭素社会になり得ないどころか将来的には、地域の破綻へつながる恐れがある。また、気候変動に伴う気候外力の増加によって、災害脆弱地域ではより一層の被災リスクを抱えるようになり、現在では安全な地域であっても今後想定を超える災害に襲われる可能性がある。このような社会的・環境的变化に伴う国土衰退を回避するために、各基礎自治体は、土地利用をコンパクト化し、交通・防災・代謝等インフラシステムを適正に組み合わせる「縮退」が戦略としてあげられるが、自治体が縮退戦略を立案支援するモデルシステムが整備されていない状況にある。

本研究では、人口減少・少子高齢化時代を迎えた日本において、都市・地域を持続可能で魅力的にするため、低炭素・低費用でかつ QOL を最大化する都市・地域縮退戦略の在り方について、政策につながる提言を行う。その目的を達成するため、欧州等の都市・地域縮退戦略に関する事例を調査した上、500mメッシュ程度の小地区単位で、将来人口及び CO₂ 排出量、経済便益にとどまらない居住者の QOL 等の算出ができる「地区評価手法」の開発を行う。また、自治体で具体的な政策に活用する等の実証を行いつつ、評価手法について、都市政策への活用方法を解説したガイドラインの作成も行う。

(1) 都市・地域の縮退戦略と低炭素化に関する研究・政策レビュー

本研究において最も根本的な評価概念となる「QOL」について、国内外の関連研究等を網羅的にレビューすることで系譜図を作成し、その定量評価手法について理論的な見直しを図るとともに、プロジェクト評価への適用に配慮したモデルを再構築する。

欧州では日本に先立って経済成熟（後退）や人口減少が進んだ都市・地域が多くあり、地域政策の評価概念として QOL 向上や低炭素化を導入している例が見られることから、平成 28 年度に引き続きドルトムント、ライプチヒ、ドレスデンといったドイツの諸都市を対象に現地及び資料調査、自治体へのヒアリング等の事例調査を実施する。また、それらの都市を対象に QOL 指標を用いて評価を行い、(2) の日本の候補地と比較を行う。加えて、学会や研究ワークショップでの情報収集や議論を行うとともに、関係分野の研究者との意見交換を実施する。その一つとして、日本地球惑星連合学会に参加し情報収集を行う。

(2) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価に関する事例研究

平成 28 年度に引き続き、事例研究として名古屋都市圏・宮崎市を対象にケーススタディを実施する。少子高齢化や巨大災害リスク増大（気候変動の考慮を含む）、そして省エネルギー・低炭素という、縮退戦略が必要とされる 3 つの主要要因について、各対象地域で評価を行い、それを基に「サス

「レジリエンス」の両方が向上できるような望ましい縮退プログラム（時系列）について、上記地域に向けた提案を検討する。さらにその提案を各地域の自治体職員や住民等と議論を行い、実行可能な戦略の実施に向けて合意形成を図るプロセスを試行する。

(3) 都市・地域縮退戦略の環境政策への貢献

(2) のケーススタディを通じて導出した望ましい都市・地域構造を実現するために、必要となる縮退戦略（スマート・シュリンキング）シナリオを政策立案者との協働を通して検討する。ここでは、低炭素化とともに地域幸福度向上、維持費用削減、災害への強靱性確保を合わせたコベネフィットを最大化し、人口減少下でも「サステイナブル」で「レジリエント」となるような都市・地域を幅広い合意形成によって実現することに資する方法論を提供する。最終的には、方法論を運用者である自治体との意見交換を通してガイドラインを策定し、政策立案者が利用可能なハンドブックを 100 部程度作成する。また、本ハンドブック及び研究成果を活用して自治体職員等を対象に講習会を開催する。さらに研究成果の一部を学会誌 *Hydrological Research Letters* 等で発表する。

2. 進捗状況および成果（概要）

(1) 平成 29 年度の研究状況及び成果（概要）

(a) 都市・地域の縮退戦略と低炭素化に関する研究・政策レビュー

本研究において最も根本的な評価概念となる「QOL」について，国内外の関連研究等を網羅的にレビューすることで系譜図を作成し，その定量評価手法について理論的な見直しを図るとともに，プロジェクト評価への適用に配慮したモデルを再構築した。

欧州では日本に先立って経済成熟（後退）や人口減少が進んだ都市・地域が多くあり，地域政策の評価概念として QOL 向上や低炭素化を導入している例が見られることから，平成 28 年度に引き続きドルトムント，ライプチヒ，ドレスデンといったドイツの諸都市を対象に現地及び資料調査，自治体へのヒアリング等の事例調査を実施した。また，それらの都市を対象に QOL 指標を用いて評価を行い，（2）の日本の候補地と比較を行った。加えて，学会や研究ワークショップでの情報収集や議論を行うとともに，関係分野の研究者との意見交換を実施した。その一つとして，日本地球惑星連合学会に参加し情報収集を行った。



(b) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価に関する事例研究

平成 28 年度に引き続き，事例研究として名古屋都市圏・宮崎市を対象にケーススタディを実施した。少子高齢化や巨大災害リスク増大（気候変動の考慮を含む），そして省エネルギー・低炭素という，縮退戦略が必要とされる 3 つの主な要因について，各対象地域で評価を行い，それを基に「サステナビリティ」「レジリエンス」の両方が向上できるような望ましい縮退プログラム（時系列）について，上記地域に向けた提案を検討した。さらにその提案を各地域の自治体職員や住民等と議論を行い，実行可能な戦略の実施に向けて合意形成を図るプロセスを試行した。

(c) 都市・地域縮退戦略の環境政策への貢献

（2）のケーススタディを通じて導出した望ましい都市・地域構造を実現するために，必要となる縮退戦略（スマート・シュリンキング）シナリオを政策立案者との協働を通して検討した。ここでは，低炭素化とともに地域幸福度向上，維持費用削減，災害への強靱性確保を合わせたコベネフィットを最大化し，人口減少下でも「サステナブル」で「レジリエント」となるような都市・地域を幅広い合意形成によって実現することに資する方法論を提供した。最終的には，方法論を運用者である自治体との意見交換を通してガイドラインを策定し，政策立案者が利用可能なハンドブックを 100 部程

度作成した。また、本ハンドブック及び研究成果を活用して自治体職員等を対象に講習会を開催した。さらに研究成果の一部を学会誌 *Hydrological Research Letters* 等で発表の予定である。

(2) 3年間の研究を通じて得られた成果（概要）

人口減少下の日本において、「低炭素」で「サステイナブル」かつ「レジリエント」なコンパクト都市・地域構造への縮退戦略を立案支援する一連のモデルシステムを整備した。各モデルシステムは申請者らがこれまで開発してきたものをベースとしつつ、それらを改良・統合し、国民の最大幸福化の実現の観点から、対象都市・地域の特性に応じた政策パッケージを導出可能な構造とした。

モデルシステムは、申請者らが既に地域との連携関係を構築している国内外の数都市でのケーススタディを通じて、人口減少・気候変動による「サステナビリティ」「レジリエンス」の変化をGISにより視覚的に明らかにするとともに、それらを向上させるための具体的な対応戦略を導出するフレームワークを検討した。さらに、各モデルシステムの利用性を高めるとともに、一連のプロセスをマニュアル化することで、自治体担当者らが縮退戦略の地域における合意形成に利用できるように整備した。

(a) 都市・地域の縮退戦略と低炭素化に関する研究・政策レビュー

本研究において最も根本的な評価概念となる「QOL」について、国内外の関連研究等を網羅的にレビューすることで系譜図を作成し、その定量評価手法について理論的な見直しを図るとともに、プロジェクト評価への適用に配慮したモデルを再構築した。

・欧州の衰退都市における都市発展計画と環境政策の事例調査

欧州では日本に先立って経済成熟（後退）や人口減少が進んだ都市・地域が多くあり、地域政策の評価概念として QOL 向上や低炭素化を導入している例が見られる。そこで、ドイツ、イングランドの諸都市などを対象に、都市衰退に対してどのように目標を修正し都市・環境政策を変更していったかについて、合意形成プロセスや具体的な政策評価手法を中心に現地・資料調査及び自治体へのヒアリング等を通して事例調査を実施した。

・都市・地域の縮退がもたらすコベネフィットに関する研究事例調査

都市・地域縮退策については、先進国を中心に様々な提案があり、一部は実施されている。その議論の中で、この策がいかなるメリットやデメリットを発生するかについても多数の研究が行われている。本研究では特に、主な効果としての「CO₂等環境負荷の削減」「QOLの向上」「災害への対応」「費用の低減」と、それを実施する際に直面する困難としての「撤退・集約費用の負担」「撤退後の土地利用」「集約を進めるための誘導策」について、資料調査及び学会等での情報収集・議論、関連分野の研究者へのヒアリングを通して研究事例の調査を行った。それらを踏まえて、環境負荷削減に留まらない、縮退戦略のコベネフィットを体系化した。

(b) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価モデルシステム開発

・詳細地区スケールでの空間～環境コベネフィットの評価指標の定式化

(1)での研究事例調査の結果を基に、都市・地域構造の変化が低炭素性その他様々な要素に及ぼす効果について定式化を行った。既に申請者らは、CO₂排出量、QOL尺度、インフラ維持費用の3つ

を評価指標を 500m メッシュ単位で計量可能なモデルを開発したり、これを改良した。CO₂ 排出量は、コンパクト化に伴う移動距離や交通機関選択の変化を考慮できるよう旅客交通起源分のモデル詳細化を行う。QOL 尺度は、従来考慮してきた機会獲得性・居住快適性・安心安全性の 3 要素に加え、地域コミュニティの強さや文化的な蓄積を含めた評価を可能とするようにした。インフラ維持費用はそれも含めた包括的な住民サービスの費用を算定できるようにした。これらについて、都市・地域構造やインフラ供給状況による変化を検出可能な関数としてモデル化を行った。

・土地利用・インフラ再編を伴う縮退戦略のコベネフィット評価モデルの構築

上記で開発した各指標の評価モデルとともに、既に申請者が開発を進めている、地震災害や水害に伴う人命・財産・生活被害とその回復過程を小地区単位でシミュレートして評価するモデルシステムを用いて、GIS 上で 500m メッシュ単位での長期的「サステナビリティ」と災害時「レジリエンス」評価を可能とするモデルシステムを整備した。前者は住民サービス新設費用当たり QOL や、CO₂ 排出量当たり QOL が長期的に安定して高い水準で推移するかどうかで評価できる。また、後者は各種被害を住民の総余命損失と財産・インフラ被害額の少なさとして評価できる。これらの指標を用いて、縮退戦略実施（撤退・集約地選定）や各種インフラ整備がもたらすコベネフィットが評価できるようになる。

なお、近年における集中豪雨災害等の頻発を考慮して、災害影響の地理的分布や頻度変化を組み込んだ縮退戦略の立案は必要不可欠である。そのため、高解像度の災害リスク影響評価モデルを新たに開発し組み込んだ。これによって、例えば河川水害であれば、気候変動進展後において、堤防・ダムなどのインフラ建設策と、後背地から撤退し浸水を許す策とでのレジリエンスの違いを評価できるようになり、CO₂ 排出量等とも合わせた縮退戦略検討が可能となった。

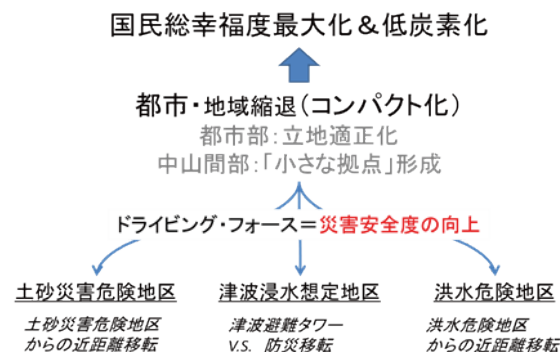


図-2 災害安全度の向上をドライビング・フォースとする都市・地域縮退

地域特性に応じたエネルギーシステム開発として、近年、分散型エネルギーシステムは環境・経済・社会にわたる多面的背景に基づいて導入されており、利用できる技術のインベントリや制度は拡大しつつある。そのため、本研究では、地域特性を考慮した上で、利用可能な技術を組み合わせた地域エネルギーシステムを地域の実情に応じた目的の下でデザインし、環境・経済・社会の面から評価するフレームワークを数理最適化手法を援用して開発する。図-3 に基本的なフレームワークを示す。

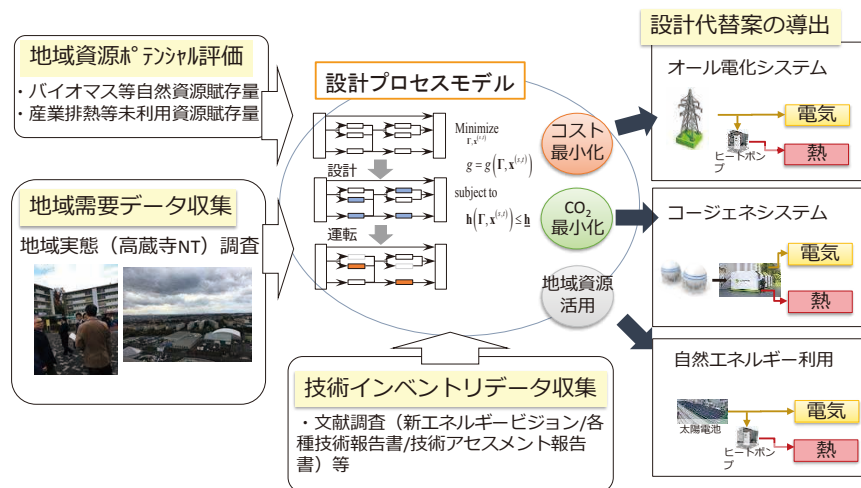


図-3 研究のフレームワーク

また災害時「レジリエンス」評価として南海トラフ巨大地震の津波避難困難者に防災集団移転の可能性を検討した。まず、津波避難困難者の詳細な立地場所や人数、将来人口を推計した。そして、津波避難困難者の対策として被災前の防災移転と津波避難タワー建設の費用便益分析を行い、それぞれの対策の有効性を検証した。この時、事防災集団移転が有利となる地域の特性を明らかにした。

都市・地域縮退（コンパクト化）の具体例として、現在進められている立地適正化計画における都市機能誘導区域、居住誘導区域の設定が、生活の質、インフラ維持費用、環境負荷に与える影響を、宮崎県宮崎市を対象として検討した。具体的には、宮崎市における立地適正化計画を検討するために、1) 都市内各地区の診断カルテの作成、2) 災害復旧費用を含めた広義の地域維持費用の推計、3) 立地適正化計画における居住誘導区域の設定と居住集約による QOL、地域維持費用、環境負荷を推計した。

(c) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価に関する事例研究

構築した評価モデルシステムは日本全国を対象とするが、本研究では、研究参画者が実際に地域の活性化や防災・減災対応に携わっている名古屋都市圏・宮崎市の候補地に適用し、ケーススタディを実施した。特に目指す点は、少子高齢化、巨大災害リスク増大（気候変動の考慮を含む）、そして省エネルギー・低炭素という、縮退戦略が必要とされる 3 つの主要要因について、各対象地域で評価を行い、それを基に「サステナビリティ」「レジリエンス」の両方が向上できるような望ましい縮退プログラム（時系列）を提案した。さらにその提案を各地域の自治体職員に見ていただき、議論することで、実行可能な戦略の実施に向けて合意形成を図るプロセスを試行した。

高蔵寺ニュータウンでは、縮退また地域特性を考慮した上で、地域縮退による環境効率の変化を評価するモデルを開発した。さらに利用可能な技術を組み合わせた地域エネルギーシステムを地域の実情に応じた目的の下でデザインし、環境・経済・社会の面から評価するフレームワークを開発した。特に高蔵寺ニュータウンにおいて、コスト最小化・CO₂最小化等のコンセプトに応じた自立分散型のエネルギーシステムの計画をその効果ともに検討した。

高蔵寺ニュータウンの中心地区を対象として、エネルギーシステムの最適デザインとその季節・時

間別の運用計画を導出した。その結果、コスト最小化を目指す場合はオール電化が、CO₂最小化を目指す場合はコージェネレーションの導入が適していること等が示された。また、既存システムに対してコストとCO₂を同時に削減し得る分散型エネルギーシステムの計画が可能であることが示唆された。

さらに、1年間を対象とし時間単位（8760時間）の解像度での地域環境データやエネルギー負荷データを利用した、より実践的な分析が可能ないようにモデルを拡張した。図-4に出力例として7月の1週間分のエネルギー需給バランスの評価結果を示す。これにより、数理モデルを用いた簡易な手法により近年蓄積されつつある詳細なデータを活用し、地域エネルギーシステムの計画検討が可能となることが示された。

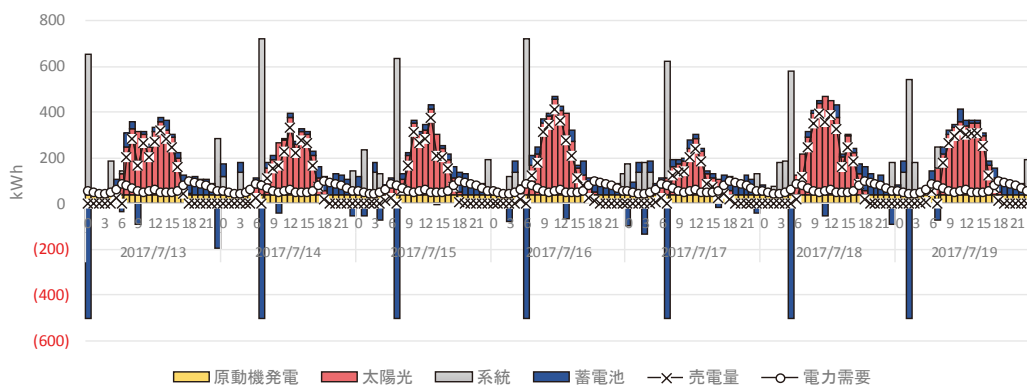


図-4 エネルギー需給バランスの評価結果

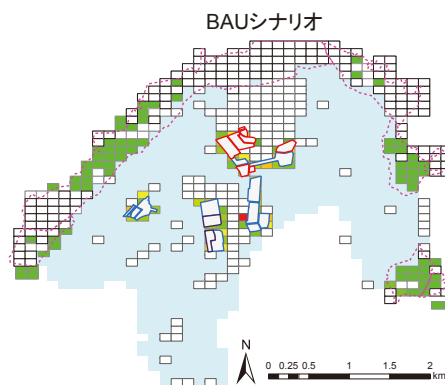


図-5 環境効率の評価システムによる縮退による変化

また国民総幸福度最大化と低炭素化を、都市・地域縮退（コンパクト化）により実現するためのドライビング・フォースとして、災害安全度の向上に着目した検討を行った。都市・地域縮退の点から災害安全度の向上を考えると、土砂災害、津波浸水想定区域、洪水危険地区などの災害危険地区からの移転が想定される。都市・地域縮退（コンパクト化）の具体例として、現在進められている立地適正化計画における都市機能誘導区域、居住誘導区域の設定が、生活の質、インフラ維持費用、環境負荷に与える影響を、宮崎県宮崎市を対象として検討した。防災対策事業の中でも防災集団移転事業を

対象とし、宮崎県宮崎市佐土原地区の南海トラフ地震津波浸水想定区域に含まれる建物の防災集団移転事業について、以下の2つの仮説を検証した。1つ目の仮説は「津波浸水想定区域における防災集団移転事業について、発災後に移転を行う、つまり被災後に仮設住宅の整備等も行いつつ移転を行う際の投資額 C_{after} と、発災前に順次移転を行う際の C_{before} に対して、社会的割引率を適用したのちも $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する」であり、地震の発生確率を考慮しつつ事業実施の時機も求めた。2つ目の仮説は「災害前後の事業投資における国庫負担率を調整したうえで災害前の防災対策事業を実施することで、災害後の復旧事業実施の場合よりも国・地方自治体ともに費用的に利がある」である。検証結果として、1つ目の仮説「津波浸水想定区域における防災集団移転事業について、発災後に移転を行う際の投資額 C_{after} と、発災前に順次移転を行う際の C_{before} に対して、社会的割引率を適用したのちも $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する」は、地震の発生年次よりも13年前より後に事前の移転を行った際には真であることが明らかになった。それ以外の時期に事前の防災集団移転を行った場合では偽という結果となった。

(d) 都市・地域縮退戦略の環境政策への貢献

ケーススタディを通じて導出した望ましい都市・地域構造を実現するために必要となる縮退戦略（スマート・シュリンキング）シナリオを政策立案者との協働を通して検討した。ここでは、低炭素化とともに地域幸福度向上、維持費用削減、災害への強靱性確保を合わせたコベネフィットを最大化し、人口減少下でもサステナブルでレジリエントとなるような都市・地域を幅広い合意形成によって実現することに資する方法論の提供を目指し、且つ政策立案者が利用可能なガイドライン（ハンドブック）を作成した。

日本のように都市化の過程において郊外開発が急速に進んだ国では、既に開発が進んだ郊外部のうち災害に対して脆弱であったり QOL のわりに費用や CO₂ 排出が大きい地区からいかに撤退し、効率の高い地区に集結するかが課題である。そのための具体的な誘導策として、都市計画規制と税制等によるインセンティブの併用策を提示した。これについては、欧米で実施されているテクニックの日本への導入可能性も合わせて検討した。さらに、策の実施に伴う誘導効果の発現量を評価できる計量モデルを合わせて開発し適用することで、国民幸福最大化・低炭素化の観点から見た施策の必要実施レベルをバックキャスト的に推計した。

また、日本特有の問題点として、建物の寿命が短いことが挙げられる。これは物理的耐久性よりもむしろ都市計画制度の不備による土地利用混乱が各建物の社会的・経済的寿命を減少させている側面がある。建物の寿命は CO₂ 排出量や資源消費量の多寡とは必ずしも関係しないが、省エネルギーやリサイクルの技術と合わせて影響を及ぼす。そこで、縮退シナリオの検討にあたっては、維持費用等を勘案した建物・インフラストック更新投資余力も考慮し、サステナビリティをより高めることができる社会的・経済的寿命を見だし実現する「都市ストック化」施策を合わせて実施することを盛り込むことだ。

3. 対外発表等の実施状況

【対外発表】

戸川卓哉：「地域の多様性を考慮した自立分散型エネルギーシステムの最適計画」第 112 回数理モデル化と問題解決(MPS)研究会，情報処理学会，2017 年 2 月 27・28 日

加知範康，梶本涼輔，塚原健一，秋山祐樹：生活の質と防災力の向上を目指した「小さな拠点」形成のための生活サービス施設・居住地集約の検討，第 54 回土木計画学研究発表会・講演集，pp.963-979，CD-ROM (133)，2016.11.4-6

豊田航太郎，加知範康，塚原健一，秋山祐樹，松尾健大：南海トラフ巨大地震による津波浸水想定区域における防災集団移転事業実施の最適時期に関する研究，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，IV-092，pp.183-184，2016.9.7-9

垣本知樹，加知範康，塚原健一：コンパクトシティ政策が地方交付税を含めた地方財政に与える影響に関する研究，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，IV-125，pp.249-250，2016.9.7-9

加知範康：ビックデータを用いた土砂災害危険地区における集落内防災移転の検討，第 1 回防災推進国民大会，スマートシュリンク・地域柔靱化研究会「スマートシュリンクと地域の柔靱化 ～安全な国土の再設計を目指して～」，2016.8.27

加知範康，豊田航太郎，塚原健一，秋山祐樹：生活質・インフラ維持費用・環境負荷の改善を目指した立地適正化のための居住誘導シナリオの分析，第 55 回土木計画学研究発表会・講演集，CD-ROM (61-09)，2017. 6. 10-11

【その他研究打合せ等】

2015 年 7 月 13 日 環境省担当者及び研究者打合せ（環境省）

2015 年 10 月 24～28 日 The 3rd PC and the 10th SSMS International Conference SSMS2015（インドネシア・バンドン）

2015 年 11 月 21～23 日 土木学会土木計画学研究発表会（秋大会）（秋田）

2015 年 12 月 2～8 日 COP21（フランス・パリ）

2016 年 1 月 6 日 研究者会議（名古屋大学）

2016 年 1 月 29 日 環境省担当者及び研究者打合せ（環境省）

2016 年 6 月 21 日 研究者会議@名古屋大学

2016 年 6 月 20 日 担当者打合せ@環境省

2016 年 11 月 2 日 研究者会議・現地視察@長崎県佐世保市内

2016 年 12 月 6 日 研究者会議・春日井市との意見交換会・高蔵寺ニュータウン視察@春日井市

2017 年 1 月 31 日 担当者打合せ@環境省

2017 年 3 月 16 日 審査会@環境省

2017 年 6 月 29 日 担当者打合せ@環境省

2017 年 6 月 30 日 春日井市との意見交換会

2017 年 7 月 1 日 研究者会議@名古屋大学

2017 年 8 月 16 日 都城市との意見交換会

2017 年 8 月 17 日 宮崎市との意見交換会

2017 年 10 月 25 日 研究者会議@中部大学
2017 年 10 月 30 日 研究者会議@中部大学
2017 年 12 月 8 日 担当者打合せ@環境省
2018 年 2 月 23 日 ハンドブック講習会@中部大学
2018 年 3 月 6 日 審査会@環境省

4. 平成 29 年度の進捗状況と成果（詳細）

4-1 序論

第二次大戦後の急速な経済成長を原動力に、国民に一定レベルの生活水準を提供するためのインフラ整備が完成した日本では、国土デザインの中心課題は「物的拡大」から「質的充実」へと移行している。したがってその評価も経済便益では捉えきれないはずであるが、都市・地域やインフラ整備に関するプロジェクトの評価は現在でも貨幣タームでの費用便益分析が軸となっている。一方で、経済成長の過程でモータリゼーション進展と緩い土地利用規制によって都市・集落域が低密に拡散した結果、CO₂ 排出量やインフラ維持費用が大きいスプロール型土地利用となるとともに、災害に対して脆弱な地域にも住宅や都市機能が広がってしまっている。

人口減少・超少子高齢時代を迎え、このような土地利用を放置すると、得られる QOL(Quality Of Life)に対して多くのエネルギー消費・CO₂ 排出やインフラ維持費用を要する非効率な状況が続き、低炭素社会になりえないどころか将来的には、地域そして国の破綻へつながりかねない。また気候変動に伴う気候外力の増加によって、災害脆弱地域ではより一層の被災リスクを抱えるようになり、現在では安全な地域であっても今後想定を超える災害に襲われる可能性がある。このような社会的・環境的变化に伴う国土衰退を回避するために、各基礎自治体は、土地利用をコンパクト化し、交通・防災・代謝等インフラシステムを適正に組み合わせることで、人口急減を防ぎ、財政健全経営を図りながら社会が絆を保って生き延びるレジリエントな国土デザイン戦略への転換が急務である。

この戦略で最も重要となる方向性は、災害に対して脆弱な地区や、QOL が低く CO₂ 排出量やインフラ維持費用が大きい地区を割り出して撤退し、優良な地区への集約を図ることで、低炭素・低費用で QOL の高い魅力的な地域を支える土地利用に転換する「縮退」である。その実現に欠かせないのが、撤退もしくは集約地区の特定であり、具体的には、基礎自治体の空間構造を検討できるように、内部を詳細に分割した単位で、上述の様々な指標を推計し「コベネフィット」を評価できる手法が必要である。従来は、このような地区詳細スケールでの評価手法はなく、例えば CGE をベースとした手法では都道府県レベルの解像度しか得られなかった。そこで申請者らは、10 年にわたって縮退戦略（スマートシュリンク）の思想、評価指標としての QOL/LCCost（インフラのライフサイクルコスト）、QOL/CO₂ に基づく小地区（500m メッシュ）スケールでの長期的サステナビリティ（持続可能性）や災害時レジリエンス（回復力）を評価するシステムのプロトタイプを開発し、名古屋都市圏や幾つかの地方都市に適用した。その成果を論文や著書はもとより、新聞（日本経済新聞「経済教室」等）や一般雑誌論考（Wedge 等）でも公表してきた。

「幸福度向上・低炭素保証型の都市・地域縮退戦略」を各自自治体が見いだすために、詳細スケールでの地区評価手法を開発することを目的とする。具体的には 1)500m メッシュという小地区単位で将来人口やその構成を予測するモデルを構築し、それをもとに 2)CO₂ 排出量を予測するとともに、3)経済便益にとどまらない居住者の包括的な幸福度（QOL）の変化を計測でき、4)この値を個人・地区間格差も考慮して地域全体で集計した地域幸福度を算出し、5)B/C（プロジェクト総便益／プロジェクト総費用）の B を地域幸福度に置き換え、個人ベースに disaggregate した地区ごとの住民 1 人の QOL/ CO₂（炭素排出あたりの QOL 向上効率：CO₂ emission based QOL sufficiency）を算出する。6)同時に各メッシュの水害や地震等に対する脆弱性も評価し、気候変動に伴う変化についても検討することで、5)と合わせて、撤退・集約すべきメッシュの順位づけを可能とする。

都市・地域全体やその内部の任意メッシュについて、QOL を向上させながら CO2 を削減していくプログラムが検討できる。また、地域経営の重要なバロメータとなる市街地維持費用もメッシュごとに計算できる。そのため、CO2 あるいは費用の削減目標を与えると、QOL/CO2 あるいは QOL/LCCost の小さいメッシュからの順次撤退、あるいは QOL を改善するインフラの改良を同時に考慮した計画の作成が可能となる。更に、地区や個人属性（年齢別、性別、居住地区別など）ごとの QOL 水準も算出できるようにし、政策立案者が利用可能なガイドラインを作成する。

地球温暖化に対する都市・地域の「緩和策」「適応策」として長期的に大きな効果が期待できる、土地利用・インフラ再編策の立案と評価が可能となる。詳細地区単位での評価による撤退・集約地区の導出による縮退施策、それを補完する交通ネットワーク整備施策、あるいは防潮堤などの防災インフラの改良などといった施策オプションを、500m メッシュ単位という従来手法にはない極めて詳細なレベルで具体的に検討できる。その際、メッシュごとに QOL の変化や、インフラ維持に必要な公共投資の額が推計でき、CO2 削減と同時にコベネフィットとしての幸福度や財政状況の改善も一目瞭然となる。また、経済便益に代えて QOL を用いることは、経済成熟時代の都市・地域政策評価の方向性に適合するのみならず、高齢者・就業者・子供といった属性別に QOL 向上を検討できるので、人口減少・高齢化時代に各属性間のバランスがとれた QOL 向上を目指した縮退戦略への科学的根拠を提供できる。

4-2 本論

4-2-1 平成 29 年度の研究状況

(1) 都市・地域の縮退戦略と低炭素化に関する研究・政策レビュー

本研究において最も根本的な評価概念となる「QOL」について、国内外の関連研究等を網羅的にレビューすることで系譜図を作成し、その定量評価手法について理論的な見直しを図るとともに、プロジェクト評価への適用に配慮したモデルを再構築した。

欧州では日本に先立って経済成熟（後退）や人口減少が進んだ都市・地域が多くあり、地域政策の評価概念として QOL 向上や低炭素化を導入している例が見られることから、平成 28 年度に引き続きドルトムント、ライプチヒ、ドレスデンといったドイツの諸都市を対象に現地及び資料調査、自治体へのヒアリング等の事例調査を実施した。また、それらの都市を対象に QOL 指標を用いて評価を行い、(2) の日本の候補地と比較を行った。加えて、学会や研究ワークショップでの情報収集や議論を行うとともに、関係分野の研究者との意見交換を実施した。その一つとして、日本地球惑星連合学会に参加し情報収集を行った。

(a) ドイツ諸都市の調査概要

日程： 2017/05/25（木）～06/03（土）

調査地：ドルトムント、ドレスデン、フライブルク

調査行程：

年月日	行程	用務先／用務内容
2017.5.2（木） 2017.5.2（金）	①ドルトムント調査（中心部） ドルトムント市内泊（2泊目）	移動日 ①ドルトムント調査 Wegener 教授の案内で中心部を調査／研究打合せ

2017.5.2 (土)	②ドルトムント調査 (その他) ドルトムント市内泊 (3泊目)	②ドルトムント調査 Wegener 教授の案内で市内各所の開発を調査
2017.5.2 (日)	鉄道: ドルトムント駅⇒ドレスデン中央駅 ③ドレスデン市内調査 ドレスデン市内泊 (4泊目)	③ドレスデン市内調査 住宅団地 (Gorbitz ほか) の調査
2017.5.2 (月)	④ライプニッツ研究所訪問 ドレスデン市内泊 (4泊目)	④ライプニッツ研究所訪問 Mueller 教授 (所長) ほかと研究打合せ
2017.5.3 (火) ～6.1 (木)	鉄道: ドレスデン中央駅⇒フライブルク駅 ⑤フライブルク市内調査 フライブルク市内泊 (5～7泊目)	⑤フライブルク市内調査 5.30 (火) Breisgau 駅周辺調査 5.31 (水) 旧市街&新市街地調査 6.1 (木) Vauban 団地調査
2017.6.2 (金) ～6.3 (土)	⑥フライブルク市内調査 鉄道: フライブルク駅⇒フランクフルト空港 機内泊 (8泊目)	⑥フライブルク市内調査 6.2 (金) Breisgau 駅周辺調査 6.3 (土) 移動日

(b) ドイツ諸都市の調査結果

i) ドルトムント市及び Wegener 教授とのワークショップ及び視察

① German Participants

1. Dr. Michael Wegener
2. Dr Ing Claudia Keidies (Official, Economic Promotion, City of Dortmund)
3. Mr Stefan Tegethoff (Official, Planning Department, City of Dortmund)

② Meeting report

Dr Wegener welcomed the Japanese delegation to the institute and the session was started with a presentation on the city of Dortmund titled “Dortmund: The End of the Industrial city”. The presentation laid the base of for the city of Dortmund and explained the evolution of the city and the Ruhr area from the middle ages to the industrial age. Dortmund was an industrial city with importance to coal mining and steel factories near to the inner city. Dr Wegener explained how with the decline of the industries and the closure of mines and large number of factories led to gradual economic and urban degradation of the city. Dr Keidies gave her presentation on

“Dortmund: Story of Success” and gave an overall view into how the city developed strategies to overcome the economic decline and make Dortmund successful. The urban renewal project to renew the city was undertaken through three main themes, namely information technology, logistics and micro and nanotechnology. She explained how the themes revolved around focus areas of innovation, skill, people, infrastructure, environment and capital. She explained how the a knowledge cluster-“Wissenskirne”, consisting of renewable energy, information technology, sport, life sciences, technology production, data mining and logistics was identified and developed to create more jobs, attract more residents and improve the city was taken up. Dr Keidies presentation on the economic strategies of the city, made way for Mr Tegethoff’s presentation on “Structural Change in Dortmund – the Spatial Dimension”. This presentation focussed on the various brownfield urban developments that was taken up the city to revitalise the disused district centres and former industrial sites. Various examples were elucidated through before and after situations. Some of the examples that were highlighted were Project Nordwarts, Project Phoenix, Horde, Westfallenhutte, Rheinische strabe, Luisengluck, etc. Most of these sites were included in the city tour that was scheduled for the next day so that a better understanding on the ongoing redevelopment process. The presentations by the German participants was followed by a presentation by Prof. Yoshitsugu Hayashi, where he presented his work on Quality of Life (QoL) in urban areas and the significance it draws for urban areas and the citizens living in these areas. The methodology and the outcomes was demonstrated through the case study of Singapore city. The last presentation was given by Ms. Sangeetha Ann on “Quality of Life comparative study between Germany and Japan” where the QoL results for the city of Dortmund was presented for remarks by the Dortmund planning experts. The workshop session ended with a question and answer session between the participants.



ii) ライプニッツ研究所とのワークショップ

① German Participants

1. Dr. Bernhard Müller (Director)

2. Dr.-Eng. habil Regine Ortlepp (Specialist in Environmental Risks in Urban and Regional Development)
3. Prof. Dr. Gerold Janssen (Specialist in Strategic Issues and Perspectives)
4. Dr. Juliane Mathey (Specialist in Landscape Change and Management)
5. Dr. Marco Neubert (Specialist in Environmental Risks in Urban and Regional Development)
6. Dr.-Eng. Georg Schiller (Specialist in Resource Efficiency of Settlement Structure)

② Meeting report

Dr Bernhard Muller gave a warm welcome to the Japanese delegates and gave a short presentation about the activities of the Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development. The floor was then opened up for the Japanese delegates to showcase their research activities to find synergy with the activities of the researchers at Leibniz Institute. Prof. Yoshitsugu Hayashi presented his research activities on Quality of Life (QoL) in urban areas and the significance it draws for urban areas and the citizens living in these areas. The next presentation was given by Ms. Sangeetha Ann on the “Quality of Life comparative study between Germany and Japan”. In the presentation, the QoL mapping results for the German cities of Dresden and Dortmund and for the city of Nagoya was exhibited. The presentation was followed by discussions around the table, where it was advised how various elements to life differed in Germany and Japan and therefore some new elements like the cultural side also need to be looked into, especially when analysing QoL in German cities. The next presentation was given by Dr. Shinichiro Nakamura on the topic “Needs of integrated water-land-network research in Asia”. The presentation elucidated the flood management strategies adopted in Japan and its evolution over time. It was very interesting to the German counterparts to know that most of the land on the banks of the rivers in Tokyo were below the average water levels and at very high risk to flooding in event of any dyke damage. The last presentation was delivered by Asst.Prof. Noriyasu Kachi on the “Consideration on disaster recovery system to improve resilience of frequent-landslide dangerous area”. The presentation focused on how relocation sites were chosen for settlements under risk located on the landslide prone areas.

The presentations were followed by discussions between the German and Japanese delegates. The German researchers commented on each of the research work presented and drew out their topics of interest. Potential links were drawn to their current research topics and the possibility of collaborative research and data sharing were deliberated. The possibility of using video conferencing facilities for continued and frequent communication between the two circles of researchers was welcomed. The workshop session was concluded on a positive note for collaborative research with remarks by Prof Hayashi and Dr Muller.



iii) フライブルク市内の調査

③ 背景

フライブルクは、ドイツ南西端のフランスとスイス国境に近い人口23万人の都市。人口の割以上2.5万人が大学生という、学園都市でもある。環境政策に先進的な取り組みが評価されて、1992年にドイツ環境協会が行った自治体コンクールで最高点を獲得し、「環境首都」として表彰された。

ヴォーバン地区はフライブルク都心から3km南に位置する面積41haに約2千世帯、6千人が暮らす住宅地。第二次世界大戦中にドイツ軍の兵舎が置かれていたが、戦後フランス軍によって接收されて基地が置かれていた。現地名は、フランス軍が基地の名前に用いたフランス人の著名な軍事戦略家 Vauban(1633-1707)にちなんでいる。

1990年に東西ドイツが再統一されると、1992年にはフランス軍が撤収し、土地はドイツ政府に返還された。1994年にフライブルク市が政府から土地を取得して、1997年から環境に配慮した街づくりが進められている。

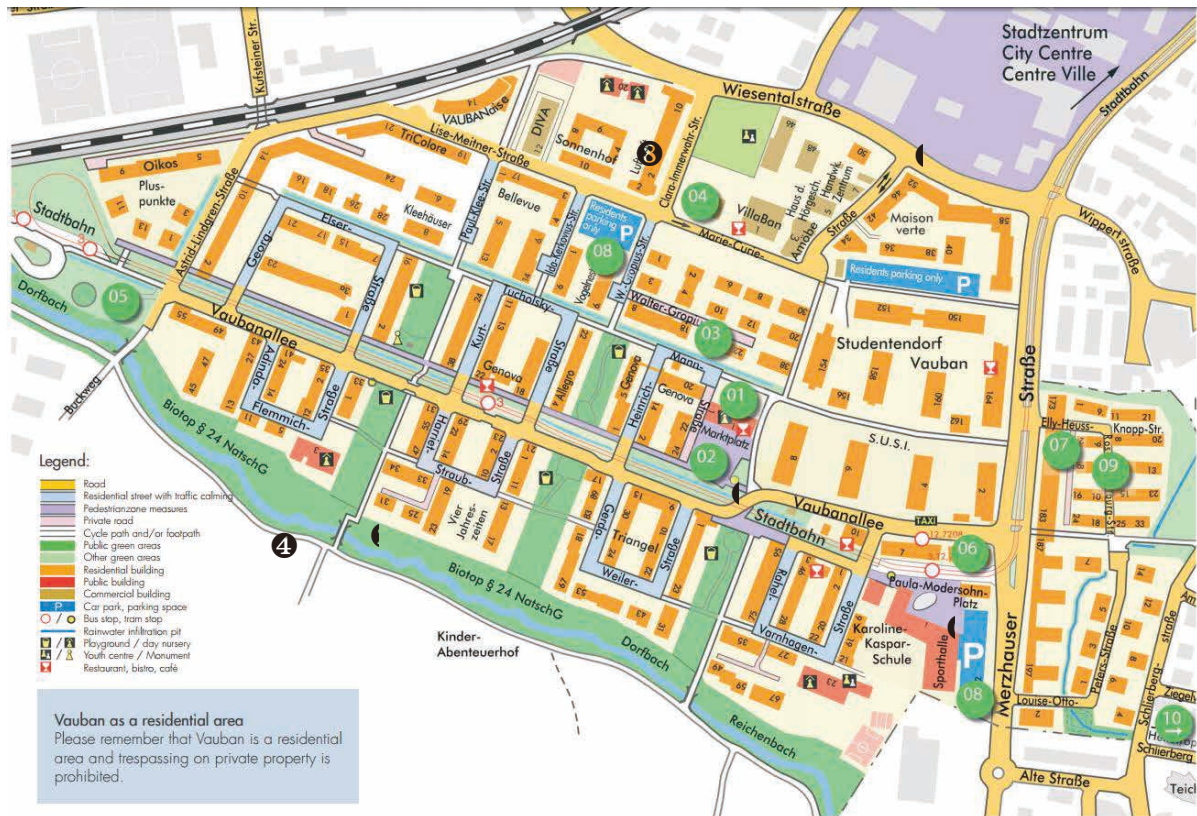


図-6 ヴォーバン地区開発図

(出所) http://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params_E-1604864046/647919/Infotafeln_Vauban_en.pdf

※ 図中①～⑧は3. コメント写真に対応。

④ 開発コンセプト

住民参加の下に構築されたヴォーバン地区の街づくり方針と、その成果は次の7点に要約される。

① 土地分譲についてはコーポラティブ方式を優先

開発会社や不動産業などによる開発では、多様性が確保されないため、様々な収入や社会的背景のある市民を呼び込むためにコーポラティブ(個人の集まりによる建築)方式を優先し、かつ人口密度を上げるために集合住宅に限定した開発が行われている。その結果、地区内の開発の7割が個人かコーポラティブ方式となり、地区内の景観の多様性や住民交流の活発化が達成された。

② 地区内に雇用の場を創出

地区内に可能な限り働く場を作ること、職住近接の街づくりを推進している。総人口の1割に相当する約 600 人分の雇用を創出することとされ、現実に北部幹線道路沿いには多くの事業所が設置されている。

③ マイカーを規制し公共交通の優位性を図る

地区周辺道路から住宅地内への侵入口を2箇所制限するとともに、地区周辺に3箇所のプリング駐車場を設置。自家用車の保有者には、入居時に共同駐車場の利用権として1台当たり 1,800 ユーロを支払うことが求められる。他方で、地区の中心軸に路面電車を延伸し、400m間隔に3箇所の停車場が設けられており、7分間隔で都心まで10分ほどで到達できる利便性が確保されている。結果、地区内のマイカー保有率は全国平均の数分の1にとどまっている。

④ 雨水の地区内浸透

雨水排水を可能な限り地区内で浸透させることによって、大雨による下流部への洪水被害の危険度の低下が目指されている。実際に年間降雨量の7割は地区内で浸透されている。

⑤ 屋上緑化・壁面緑化の推進

建築物の平屋根(勾配が10度以下)には屋上緑化がなされており、ヒートアイランド現象の緩和や降雨時の雨水排水のピーク緩和に役立てられている。また、壁面緑化は景観の向上と夏の屋内温度上昇の緩和に効果を上げている。

⑥ 省エネルギー住宅の建設

ドイツは冬が長く寒いため、温室効果ガスの3分の2は冬の暖房によるものとされる。また、フライブルクはドイツで最も年間日照時間の長い地域に位置している。これらの特性に配慮して、住戸は基本的に南向きに建設され、屋根には多くのソーラーパネルが設置されて太陽光発電が行なわれている。

⑦ コージェネレーションによる地域エネルギー供給

木質バイオマスを用いた地域暖房システムが設置されており、地区内に電力と熱を供給している。土地の売買契約書に地域暖房システムへの接続が義務付けられており、住宅地における消費電力の3分の1がコージェネレーションシステムによって賄われている。

⑤ 視察結果

以上は主にネット情報の要約であったが、実際にヴォーバン周辺を観察して気づかされた環境配慮に関する事項として以下がある。

✓ 路面電車の軌道緑化

軌道緑化の取り組みは欧州で始まり、わが国でも導入が進められているが、路面電車の名に現れるように、基本的には道路内を走行するもので、一般車両と共用することが前提であること、高温多湿のわが国ではレールの保守費用が高くなるため、あまり進んでいないのが実情である。この点、ヴォーバン地区内の軌道部分は基本的に緑化されており、ヒートアイランド防止や走行音の軽減などに効果を上げていた。

✓ 子供たちの遊ぶ様子

ヴォーバン地区の街中では子供たちの姿を多く見かけた。それだけ子供が育てやすい環境であることを意味しているように感じた。特に、地図で濃い緑に色付けされた公園や緑地等では、裸足で駆け回る様子や水辺で戯れる様子などをしばしば目にした。

右写真は地区南側のドルフ川畔の様子。



✓ 隣棟間隔の無さ

住宅の建て方の特徴として、隣接する建築物同士が接続している事例が多くみられた。当初から長屋形式(タウンハウス)に設計されたものばかりではなく、別敷地にありながら土地を有効に使うために、隣棟間隔を無くしているものも多く存在しているように見えた。その効果は、空地をつなげることによって広場や緑地を最大限に生み出すことにある。ただしこの工夫は、地震が少なく建築物の地震時の応答のずれが致命的な構造物への損傷要因にならない欧州だからこそ可能なことで、単純な日本への適応は困難かと思う。



✓ 自転車利用への配慮

公共交通の利便性の確保と共に、自転車の利便性向上策が徹底されており、自転車の利用者が多くみられた。自転車道ネットワークの整備はもとより、近郊電車には自転車に乗せるスペースが確保されている(下左写真)ほか、わが国では見られない自転車に子供を二人まで乗せて走ることのできる荷台がけん引されている様子(下右写真)も数多く見受けた。気候のよい夏ならではの光景かと思い Google Street View で市内の1月の様子を確認したところ、冬でも路面に積雪がなく、自転車が利用されていた。

✓ 冷房装置の未整備



観光情報などを参考に、日本より数度涼しいという前提で訪問したが、実際にはほとんど同じ気温で、日中の最高気温は30度を超えていた。しかし、レストランやオフィスなどドイツの施設内ではほとんど冷房の恩恵を受けることがなかった。現地で生活する日本人の生活情報によると、家の断熱がしっかりしているので、日中暑い時には部屋締め切って、窓のブラインドを下して暑さをしのぐということであった。暑さの回避策としては、北海道も同じであるが、その厳しさははるかにドイツが上回っているように感じられた。

(参照)「冷房なしドイツ家庭の、涼み方」, <http://otto33.hatenadiary.com/entry/2015/07/15/155607>

✓ 飲料容器のデポジット

スーパーで飲み物を購入すると一本ごとに 0.25 ユーロ(約30円)のデポジット(預り料金)が課金される。店の入り口に空き瓶を投入する機械が設置されており、投入本数に応じた金額を書いた紙が発行されて、その分がレジで払い戻される仕組みになっている。ガス入り飲料水 500mlは安いものでは一本 0.11 ユーロ(15円)ほどで販売されており、実際の購入金額は3倍以上になる。

なお、赤いボードの表示は「詰め替えボトル用機械は、市場の右側にあります」という意味で、ガラス瓶などは別の機械を使うように誘導する表示。



✓ マイカー規制の実際

ネット情報では、華々しい成果ばかりが謳われているが、実際にヴォーバン地区内の比較的开发が新しい部分では、路上駐車が周辺道路にあふれており、新たに建設される集合住宅の多くには、地下および敷地内に駐車場が建設されていた

(右写真はマリー・キュリー通り北端付近)。ある解説では、ヴォーバン地区の高い評価によって、不動産価格が上昇した結果、近年の新規居住者の所得階層が上がったことで、マイカー利用のニーズを押し上げているという。このように、人間の利便性を求める願望が開発理想をゆがめている様子も確認できた。



✓ 雨水浸透の運用

雨水浸透装置は、地中へ雨水を浸透させることで大雨時の洪水危険性の低減や地下水涵養を促すことが目的である。本来、写真下左のように建築物の屋根に降った雨水を建物敷地内の庭へと浸透させることがより効果的であるが、写真下右のように樋が直接下水管へ連結されている事例が多く確認された。必ずしも定型的な雨水の処理方法が採用されているわけではなく、建物によって異なる方法がとられていることが伺える。



(2) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価に関する事例研究

平成 28 年度に引き続き、事例研究として名古屋都市圏・宮崎市を対象にケーススタディを実施した。少子高齢化や巨大災害リスク増大（気候変動の考慮を含む）、そして省エネルギー・低炭素という、縮退戦略が必要とされる 3 つの主要因について、各対象地域で評価を行い、それを基に「サステナビリティ」「レジリエンス」の両方が向上できるような望ましい縮退プログラム（時系列）について、上記地域に向けた提案を検討した。さらにその提案を各地域の自治体職員や住民等と議論を行い、実行可能な戦略の実施に向けて合意形成を図るプロセスを試行した。

(a) 地域特性に応じたエネルギーシステムの計画と評価

i) 研究の背景

地球温暖化問題や福島第一原子力発電所事故等を受けて中長期のエネルギー供給に対する不透明感が増す中、持続可能な社会の実現のため、その基盤として再生可能エネルギーの利用拡大に注目が集まっている。日本でも、2012 年にスタートした固定価格買取制度（FIT: Feed-In Tariff）の下で、太陽光発電を中心に再生可能エネルギーの導入が進んできた。

しかしながら、その設置主体の多くは、地域外に大手企業等である。そのため、地域の関与が不十分となり、地域に十分な便益が帰着せず、さらに、景観問題等を初めとする様々なコンフリクトを引き起こしてきた。

この問題の背景としては、多種多様な分散型のエネルギーシステムの統合的な計画の方法論が確立されていないことが挙げられる。また、まちづくり等地域の計画との整合性を確保することが必要となるため、既存の大規模集中型のエネルギーシステムの計画の方法論をそのまま適用することは難しい。さらに、エネルギーシステムの設計や事業遂行および共同型作業のコーディネートに関するノウハウが不足しているため、自律分散型のエネルギーシステムの導入を行おうとする地域コミュニティにとって大きな障壁となっている。

一方で、エネルギーシステムのモデリング手法に関する研究・開発は国内外で進められており、モデルのソースコード等、開発環境のオープン化が進む一方、それらを用い国や地域の単位において、中長期的に CO₂ 排出量を大幅に削減にするシナリオ等が提示されている。そのため、科学的な手法開発研究と実際の地域における設計・計画等の実践との間にギャップが存在している状況である。

本研究では、昨年度までに開発したモデルを拡張し、より実践的な計画支援を実現するためのツールを開発することを目的とする。具体的には、1 年間を対象として、時間単位の解像度で需要と供給のマッチングを考慮してエネルギーシステムの最適化と影響評価を実施する。

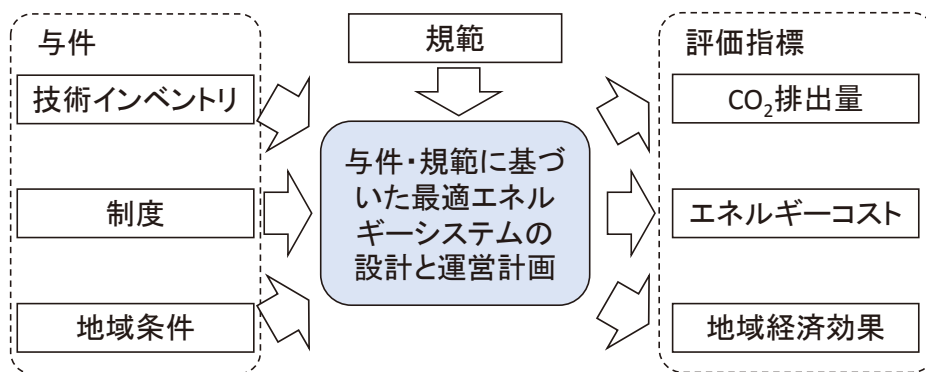


図-7 研究のフレームワーク

ii) システムの開発

⑥ システムの概要

本研究では、地域の条件を考慮したエネルギーシステムを簡易に設計できるツールを開発することを目的とする。その概要を図-8 に示す。地域のエネルギー供給条件と評価対象地区の需要規模や時間ごとの変動パターンに基づいてエネルギーシステムのデザインとその運用計画を導出する。近年、スマートメーターの普及等に基づいて詳細なデータの利用が可能となっていることを考慮して、1年間を対象とし、1時間単位（8760時間）の解像度で分析を実施する。そのため、エネルギーシステムの設計に関しては、候補となるシステムを計画案として設定し、逐次的にプランを検討するものとする。また、拠点地区の土地利用計画についても空間制約やコスト制約等を考慮して、検討するものとする。以下では、特に本年度の拡張部分を中心に説明する。

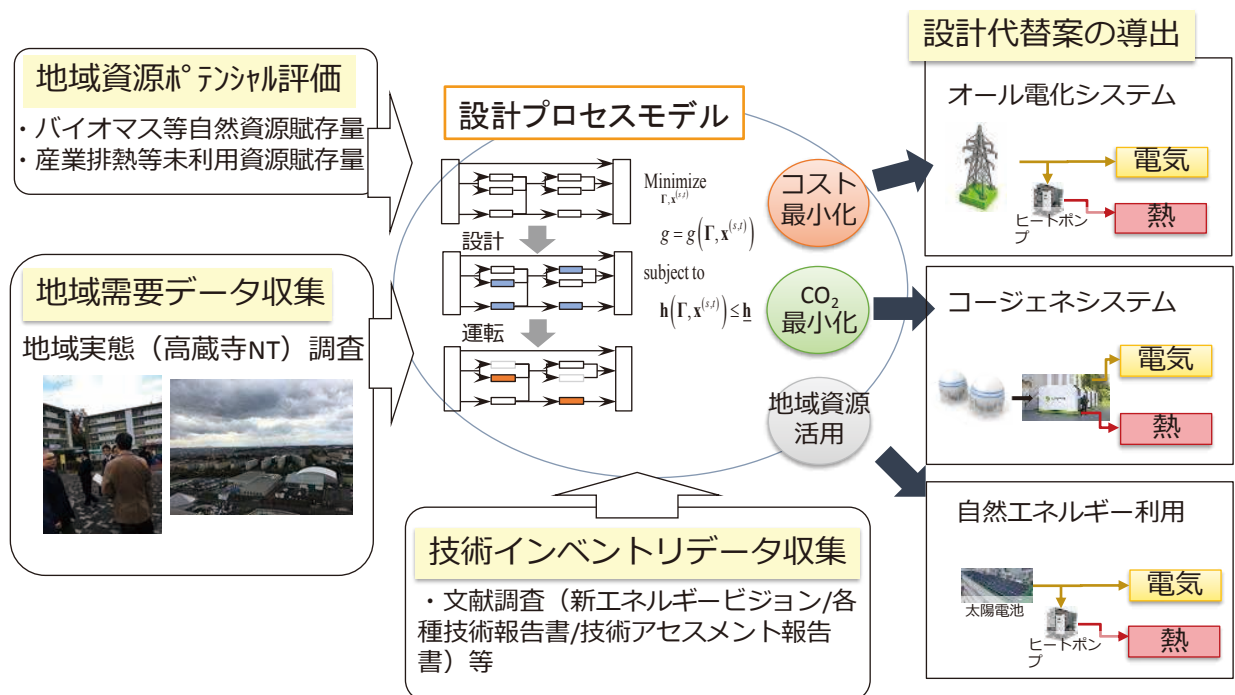


図-8 モデルの概要

⑦ 蓄電池および貯湯槽のモデル

昨年度まで開発したモデルに対して、以下の式に示すように拡張してより具体的に蓄電池および貯湯槽等を表現する。これにより、エネルギーを貯蔵し別の時間帯に利用するという時間移転を認めるものとする。

$$Y^{(t)} + s^{(t)} = D^{(t)} \quad (1)$$

$$S^{(t)} - s^{(t)} = S^{(t+1)} \quad (2)$$

$$S^{(t)} \leq S \quad (3)$$

ここで、 $Y(t)$ は時刻 t におけるエネルギーシステムによる出力、 $s(t)$ は時刻 t における蓄電池もしくは貯湯槽からの出力、 $D(t)$ は時刻 t における需要、 S は蓄電池もしくは貯湯槽の容量を表す。

なお、年間 8760 時間を連続的に表現すると定式が煩雑になり最適化計算に時間を要するため、一週間ごとに時間がループするように定式化した。これにより、週毎に独立した問題となるため、比較的短時間の計算で解を得ることができる。

⑧ 太陽光発電システムのモデル

本研究では、NEDO により公表されている日射量のデータを用いて、時刻 t における太陽光発電システムによる発電量 $p(kWh)$ は日射量に応じて以下の式で評価されるものとする。

$$p^{(t)} = \gamma \times S^{(t)} \times C / k \quad (4)$$

ここで、 $S(t)$ は水平面日射量(kWh/m^2)、 $C(kW)$ 、 γ を補正係数、 k は標準日射強度 (kW/m^2) とする。補正係数としてここでは 0.85 を用いた。

iii) 評価対象

① 評価対象の概要

愛知県春日井市に立地する高蔵寺ニュータウンを想定したケーススタディを実施する。ここでは、空き家の増加によりリノベーション等の必要性が発生している集合住宅地区を取り上げる。図-9 と表-1 に評価対象地域の特性を示す。

表-1 評価対象地区の概要

建物数	建物面積 [m ²]	延床面積 [m ²]	空家面積 [m ²]
16	5,550	27,268	16,242

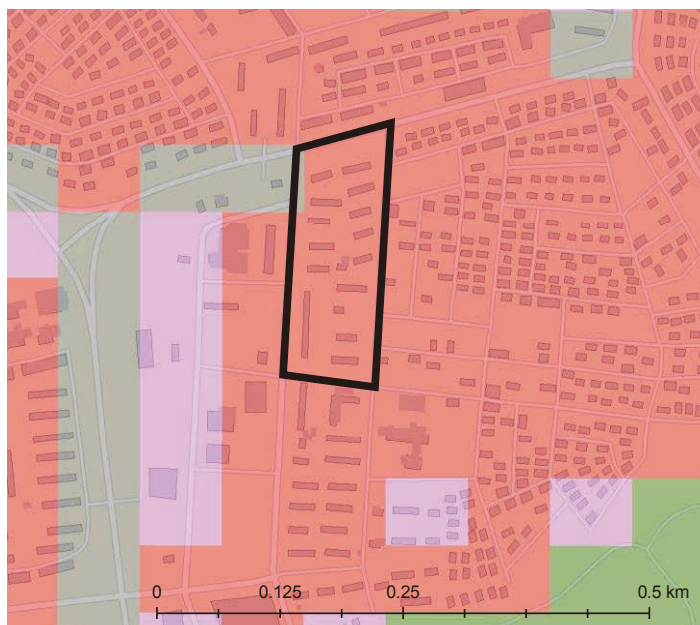


図-9 評価対象地区の概要

② エネルギー負荷データの作成

年間のエネルギー需要データを以下の様な方法により作成した。「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル」に記載されている電力、暖房、冷房、給湯ごとの年間負荷、月別エネルギー負荷割合、時間別負荷割合に基づいて年間の時間毎のエネルギー負荷を設定した。エネルギー負荷データを出力結果より、1月は暖房負荷と給湯負荷が、7月は冷房負荷が大きく季節変動が激しく、時間変動も大きく、一方、電力負荷は年間を通じて比較的、安定していること等が分かる。

③ 地域環境データの作成

NEDOの年間時別日射量データベース(METPV-11)によりデータを整備した。これは、国内837地点ごとに、20年間(1990～2009年)の日射量データベースに基づいており、その他、降水量や気温等も把握することが出来る。図-4 図-5に対象地域における1月と7月の一週間分の日射量と気温の推移を示す。特に日射量に関しては、天候の影響を受けて日間の差が大きく表れていることが分かる。

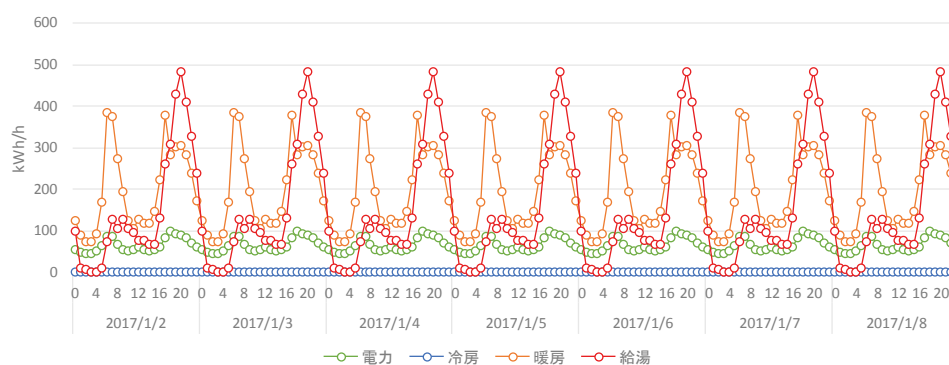


図-10 エネルギー負荷（1月）

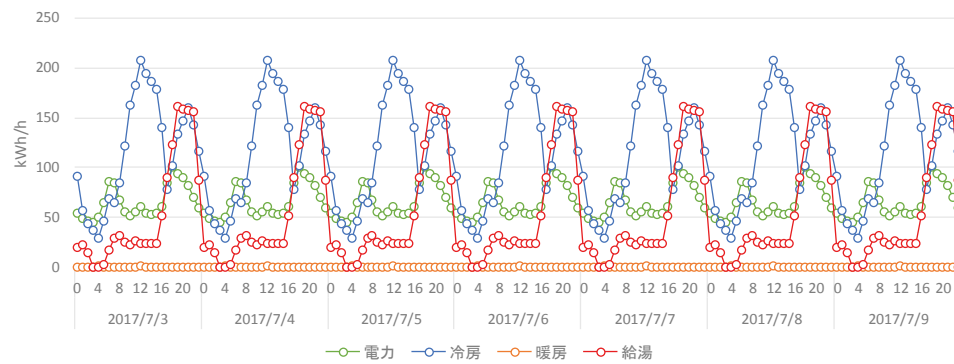


図-11 エネルギー負荷（7月）

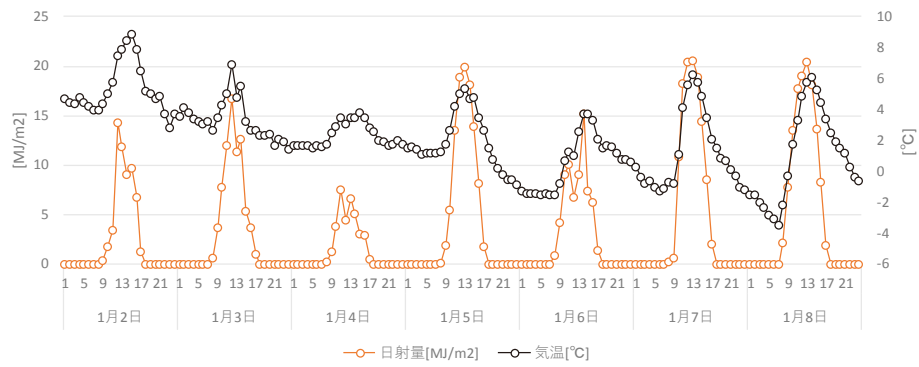


図-12 日射量と気温（1月）

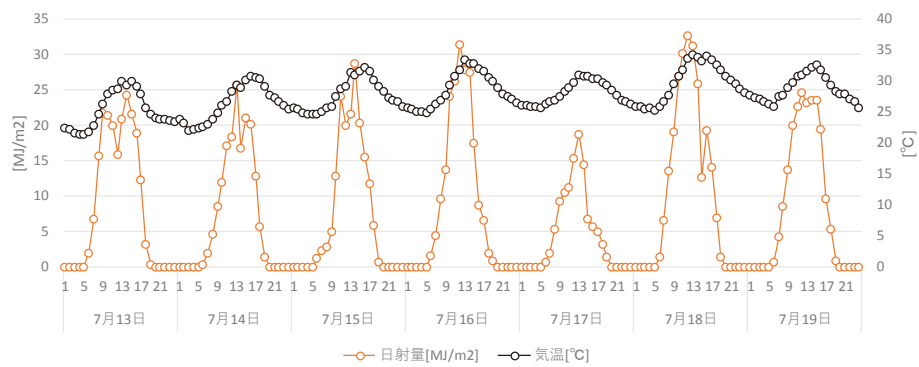


図-13 日射量と気温（7月）

iv) 地域エネルギーシステムの検討

太陽光発電システムと蓄電池の導入効果について検討した。対象地域における建物屋上に設置するものとする。建物面積が 5,550m²であるため 555kW の太陽光パネルが設置できるものとした。蓄電池の容量が 0kWh, 250kWh のケースを検討した。さらに、時間毎の余剰電力は FIT 制度に基づいて 24 円/kWh で市場に売電できる場合についても検討した。表・2 にケース設定の内容を示す。

表・2 ケース設定

	PV	蓄電池 容量	市場売 電
ケー ス 1	555kW	0kWh	なし
ケー ス 2	555kW	250kWh	なし
ケー ス 3	555kW	0kWh	有り
ケー ス 4	555kW	250kWh	有り

図・8 に年間のコスト評価の結果を示す。太陽光発電システムを導入しない場合のコストが 32 百万円（償却費 2 百万円，電力料金 30 百万円）であるため，ケース 2 以外においては，コストの削減効果が得られている。蓄電池の導入はコストを増加させており，また，FIT 制度は大幅に年間エネルギーコストを引き下げていることが分かる。また，CO₂排出量は太陽光発電システムを導入しない場合（689ton・CO₂）に対して，ケース 1 で-28%，ケース 2 で-34%，ケース 3 と 4 で 45%の削減となる。これより，FIT 制度が利用で機内状況では CO₂ 排出量の観点からは蓄電池の導入が支持されるが，FIT 制度が利用できる場合は CO₂ 排出量・コストの両面より太陽光発電システム単独が望ましいことが示唆される。

次に，図・9～16 にその需給パターンの一部（1 月と 7 月の一週間分のデータ）を示す。ケース 3（図・13，14）からは冬期においても（つまり，年間を通じて）余剰電力が発生しており，何らかの有効活用が望ましいことが分かる。蓄電池が導入された場合，売電できないケース 2（図・11，12）では昼間の余剰電力をそれ以外の時間帯で利用するために利用されているが，売電できるケース 4（図・15，16）では夜間電力貯蔵し昼間に利用することで太陽光発電分を売電する傾向が見られる。

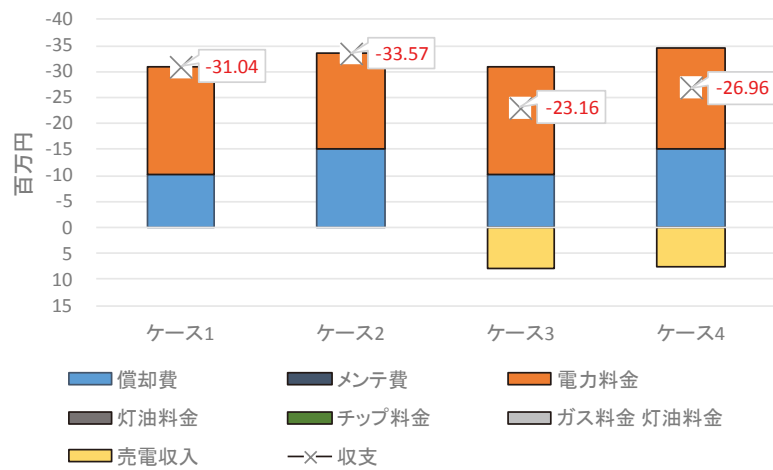


図-14 コスト評価

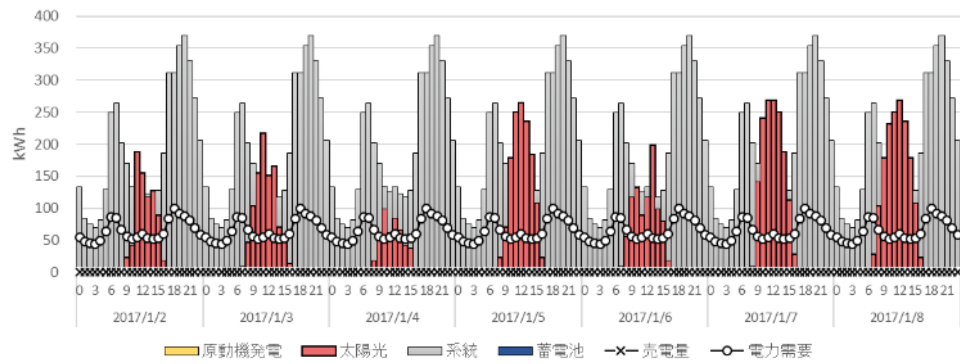


図-15 需給バランスの評価結果（1月：ケース1）

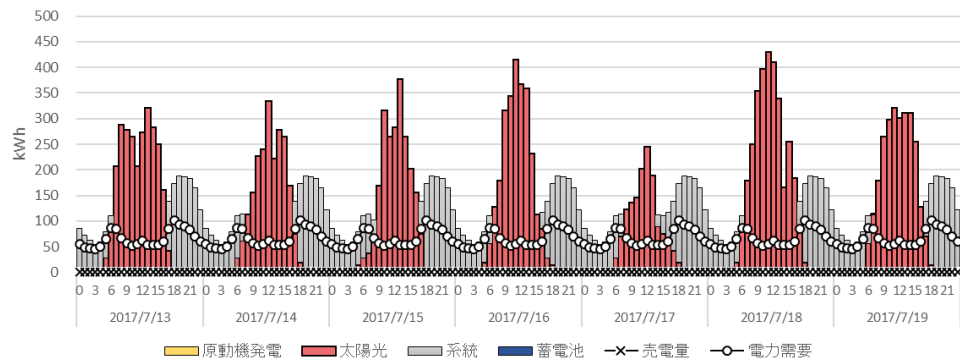


図-16 需給バランスの評価結果（7月：ケース1）

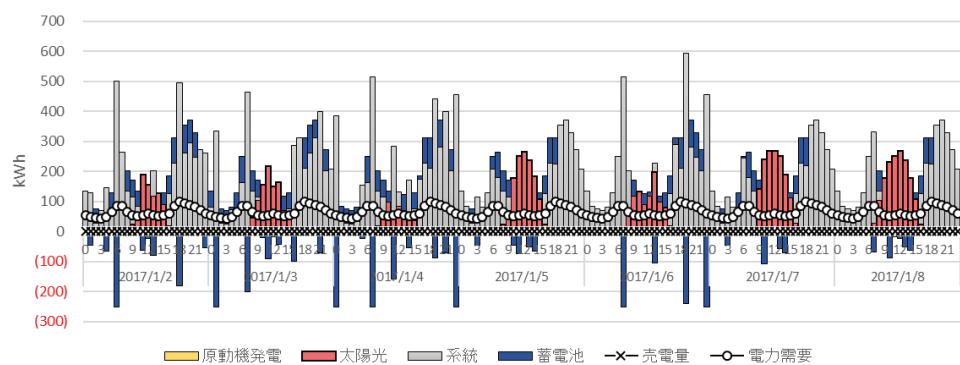


図-17 需給バランスの評価結果（1月：ケース2）

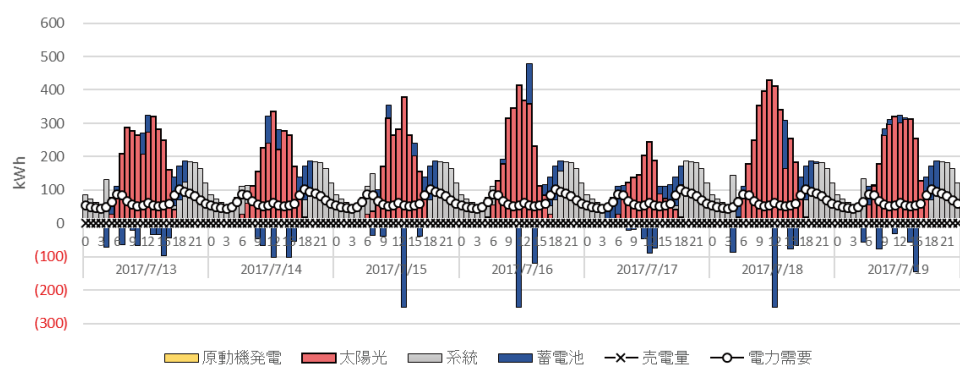


図-18 需給バランスの評価結果（7月：ケース2）

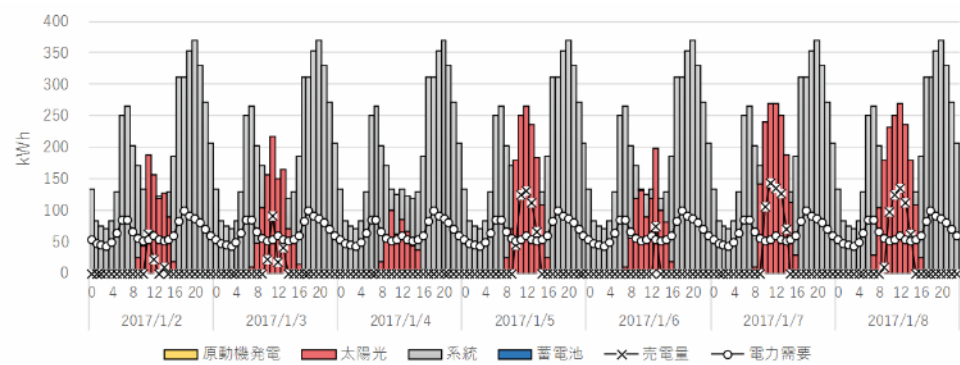


図-19 需給バランスの評価結果（1月：ケース3）

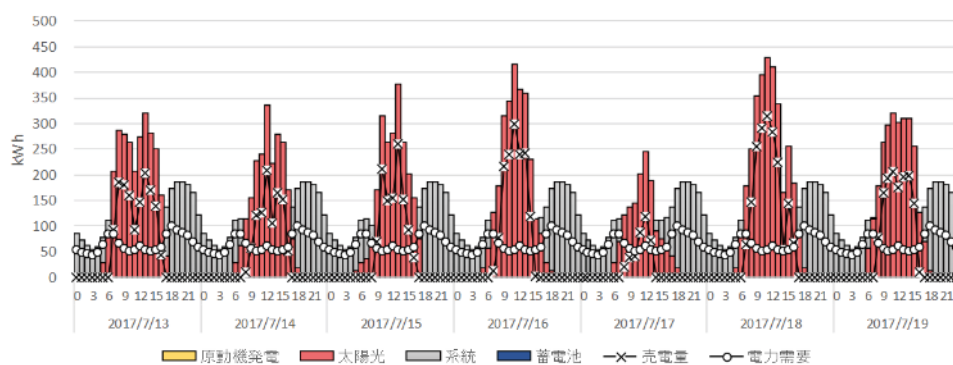


図-20 需給バランスの評価結果（7月：ケース3）

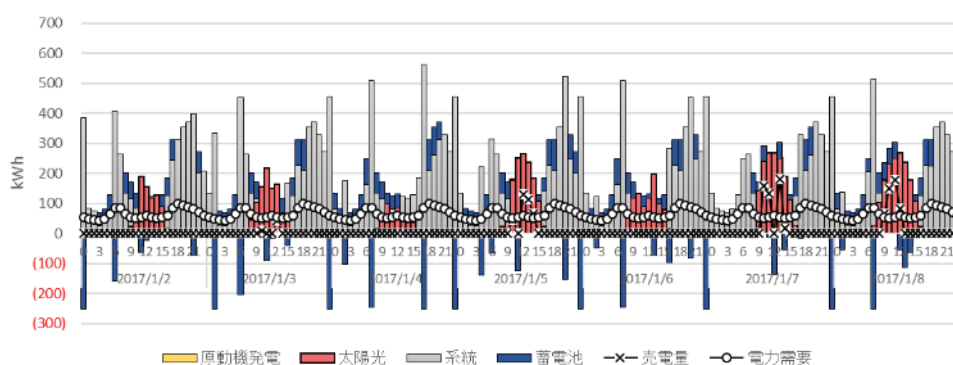


図-21 需給バランスの評価結果（1月：ケース4）

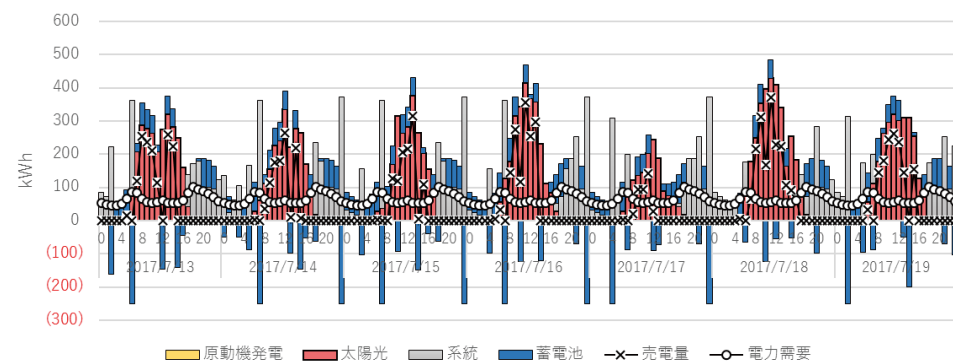


図-22 需給バランスの評価結果（7月：ケース4）

v) まとめと今後の展望

本研究では、地域特性を考慮した上で、利用可能な技術を組み合わせた分散型エネルギーシステムを地域の実情に応じた目的の下でデザインし、環境・経済・社会の面から評価するフレームワークを開発した。さらに高蔵寺ニュータウンを想定して、ケーススタディを実施した。以下にそのフレームワークの特徴をまとめる。

- ・1年間全体を対象とし、時間単位の解像度（8760時間）でエネルギー需要や日照条件の変動を考

慮して、目的に応じて適切なシステム運用計画を導出することができる。

- ・都市の拠点地区における分散型エネルギーシステムの計画を支援することを目的とし、様々なエネルギー機器（コージェネレーションシステム、吸収式冷凍機等）を組み合わせたシステムのパフォーマンスを評価することができる。

- ・エネルギーコストや CO₂ 排出量等の指標を目的関数と制約条件として設定して最適となる運用計画を導出することができる。

近年、CO₂ 排出量の削減、災害時の安全性の向上、地域経済の活性化等を背景として自立分散型エネルギーシステムの導入が日本の各地で進められている。また、コージェネレーションシステムなど機器の小型化等も進み、分散型エネルギーシステムの導入適地が地方都市にも拡大しつつあり、企業や自治体ではなく市民レベルでの研究会において検討がなされている場合も見られる。そのような背景のもと本研究では、できるだけ簡易な方法でエネルギーシステムの概略を計画できる方法論の開発を目的としている。そのため、今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- ・ユーザーインターフェース等を充実させることにより利用性を向上させる必要がある。

- ・本研究では住宅地のエネルギー計画について検討対象としたが、多様な主体が立地した状況を考慮した分析も可能である。エネルギー利用の観点から望ましい空間形態を提示することも検討可能である。

- ・本研究で開発した手法を実際の計画の場で試用することで、モデルの構造や機器データベース等を拡張するとともに、利用マニュアル等を充実させる必要がある。

(b) 災害前後の防災投資の差異と発生確率に着目した防災集団移転事業の実施時機に関する研究

i) はじめに

① 背景

2011 年に発生した東日本大震災をはじめ、近年毎年発生する自然災害を受け、政府による災害の被害想定等で被災が想定される自治体では、防災対策が直近の課題として浮上してきている。一方このような気運の中においても、実際に防災対策としてのインフラ整備・集団移転事業等の計画策定・実行に踏み切った自治体は未だそう多くない。これは、佐藤らが述べるように、自然災害に対する防災対策事業における「災害待ち（事前の防災対策事業に対する国庫補助率よりも被災後の災害復旧における国庫補助率が大きいために、災害前における減災投資や公共事業を過少にし、災害が起きるまで公共事業を待ってしまうという現象：参考文献より引用）」が地方自治体において実際に起こっているのではないかと考えられる。結果として、南海トラフ地震をはじめとする切迫した災害の被害想定地域においても、発生時期の不確実性がある災害に対して事前に多額の投資が必要となる防災対策事業は進んでいない。

しかしながら、発災後の復旧事業としての防災対策実施は地方財政のみを対象に考えると妥当であるが、地方財政と国家財政の総和を考えると、発災後の事業実施においては仮設住宅の建設維持管理や避難施設先の維持管理等、過剰な支出が発生することは明白である。そして、先に発生した東日本大震災の 5 年間でおよそ 27 兆円という復旧費用を踏まえても、南海トラフ地震等の大災害の発災後の復旧による過剰支出は国家財政に多大な影響を及ぼすことは間違いない。

上記のような現状を踏まえ、災害発生前の防災対策事業の必要性は多くの場面で述べられているが、実際に事業に取り組むケースは稀である。とりわけ、東日本大震災の被災地の事例では、震災で

津波浸水した地域ではほとんど例外なく防災集団移転事業を実施している。防災集団移転事業等を災害発生前に行えば、災害発生時の被害軽減も図られるのは明白であり、それらの事業を災害発生前に行うことによって得られる便益は、災害発生後に事業を行う場合よりかなり大きいものであるといえる。

② 目的

そこで本研究では、防災対策事業の中でも防災集団移転事業を対象とし、宮崎県宮崎市佐土原地区の南海トラフ地震津波浸水想定区域に含まれる建物の防災集団移転事業について、以下の 2 つの仮説を検証することを目的とした。

1 つ目の仮説は「津波浸水想定区域における防災集団移転事業について、発災後に移転を行う、つまり被災後に仮設住宅の整備等も行いつつ移転を行う際の投資額 C_{after} と、発災前に順次移転を行う際の C_{before} に対して、社会的割引率を適用したのちも $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する」であり、地震の発生確率を考慮しつつ事業実施の時機も求める。

2 つ目の仮説は「災害前後の事業投資における国庫負担率を調整したうえで災害前の防災対策事業を実施することで、災害後の復旧事業実施の場合よりも国・地方自治体ともに費用的に利がある」である。

以上 2 つの仮説を検証することで、災害発生前の防災対策事業実施が投資財政的には有効となること、しかし実行のためには現行制度の改革が必要であることを述べる。

③ 本論文の構成

本論文の構成を述べる。まず、i) で本論文の背景・目的を明らかにした。ii) では本論文のテーマに似た先行研究を整理し、本論文の位置付けを行う。iii) では本論文における防災投資の試算方法を述べるとともに、本論文中で用いる防災投資の評価方法を 3 つ述べる。iv) においては、iii) で示した防災投資の試算結果及び評価結果を示し、考察を行う。v) では、現行の防災投資の国庫負担率を整理した後に対象地域である宮崎市佐土原地区に適用し、その後いくつかの仮定を置きながら最適な国庫負担率について考察する。最後に、vi) において本研究で得られた結果を整理し、今後の課題を示す。上記構成に沿って本論文は議論を進める。

ii) 先行研究のレビューと本研究の位置付け

① 国や地方自治体の動向

東日本大震災以後、次に発生すると予想されている南海トラフ地震に備え、内閣府中央防災会議は平成 26 年 3 月に「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」を公表し、図-23 に示す南海トラフ地震防災対策推進地域や、図-24 に示す南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域の指定や、防災対策事業に対する国庫負担率の嵩上げ等の制度拡充を進めている。

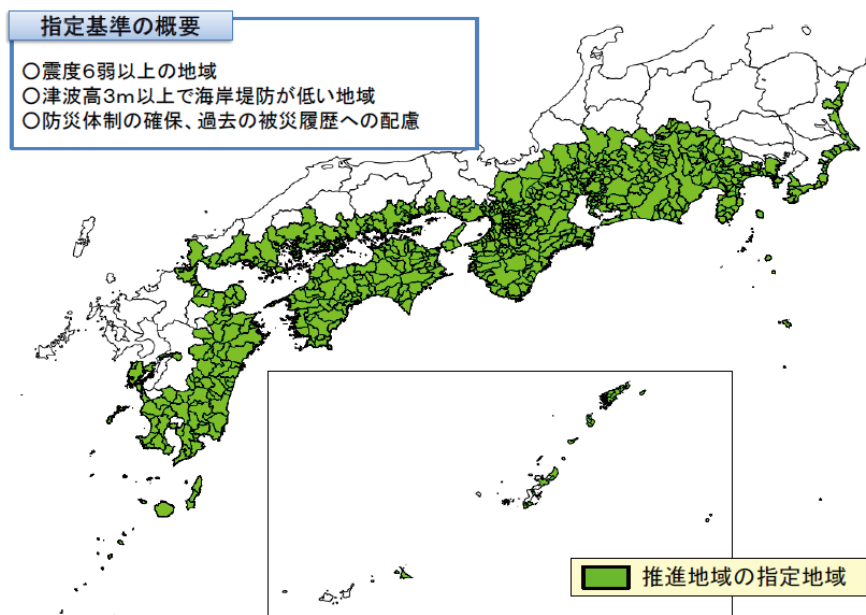


図-23 南海トラフ地震防災対策推進地域³⁾



図-24 南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域³⁾

しかし、津波避難対策としての防災集団移転促進事業を例にあげると、「南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法（平成27年9月4日改正）」において、防災集団移転促進事業に関する特例措置として、要配慮者が利用する施設の移転に関する財政補助等が盛り込まれたものの、防災集団移転促進事業の国庫負担率算定の際には合算限度が設けられており、実質的な国庫負担は低い水準にある。

このように、事前の防災対策事業に対する国庫負担率は依然低水準のものが多く、高知県や宮崎県をはじめとする津波浸水想定域の県知事会議から国に対して、補助制度拡充の政策提案書⁴⁾が提出さ

れているような状況であり、災害前の防災対策事業実施に当たり、防災投資の地方負担額の大きさが実施を妨げているのは明白である。

② 防災集団移転事業・防災投資に関する先行研究のレビュー

■防災集団移転事業に関する先行研究

武田ら⁵⁾は、高知市をケーススタディとして津波浸水想定区域内の建物の集団移転について、その事業投資とそれにより減少する被害想定額を負担主体は考慮せずに比較することで、事前の防災対策としての集団移転計画実施の有効性を述べている。森田ら⁶⁾は、東日本大震災被災地域の宮城県南三陸町を対象に、津波被害を軽減する地域構造を検討し現行の復興計画を評価している。その結果、津波被害の軽減は図れる一方で生活面に問題が生じることを明らかにしたのちに、防災集団移転時に集約型地域構造をとることによって、生活面での問題が軽減されることを述べている。

■防災投資に関する先行研究

佐藤ら⁷⁾は、東日本大震災の復興財政額を阪神淡路大震災のデータをもとに国と地方自治体の主体に分け、都道府県ごとに整理している。また、自治体ごとのオプション・バリューを求めることで、今後災害待ちが発生する可能性を示唆し、現行の防災対策・災害復旧シナリオでの国家財政の限界を述べている。高木⁷⁾は、防災投資の便益を近似的・簡便に計測できるショートカット法を提案し、防災投資について、簡易に便益を算出し事業評価できることを示した。松下ら⁸⁾は、防災事業の予算配分について、評価者の主観に配分が大きく影響されていることを示したのちに、改善方法としてポートフォリオ法で事業の期待収益率と不確実性を可視化した。

③ 先行研究の到達点と本研究の位置付け

災害発生後に復旧復興事業を実施するよりも、災害発生前に防災対策事業を実施するほうが有効であること、つまり、災害対策をいつ実施すべきかについては、いくつかの先行研究により言及されている。しかし、災害復旧事業や防災対策事業投資の負担種別を分けて評価しているものは少なく、国・地方自治体単独の投資額で災害前の事業実施を評価しているものは見当たらなかった。一方、災害発生後の復旧復興事業に関する論文においては、現行制度において大規模災害が発生した際には、災害復旧における国家財政・地方財政双方において限界に達することが述べてあった。また、防災対策事業について、災害前後における投資比較を国・地方自治体を対象として評価したもの、災害発生確率を考慮した事業実施時機を求めたものは見当たらなかった。

先行研究と比較し、本研究の特徴を挙げると次の2点となる。

本研究の特徴①：事業実施主体（国・地方自治体）が負担する投資のみに着目した評価

先行研究では、切迫した災害に対する防災対策事業の投資についての研究は多くみられた。しかし、それらは、国・地方自治体・民間が負担する投資や被害額をまとめて試算して評価しているものがほとんどであり、事業実施主体（投資の意思決定主体）となる国・地方自治体が負担する投資のみを対象として評価する点が本研究の大きな特徴である。本研究のような投資評価方法を用いることで、事業の実施主体の立場で災害前の防災対策事業実施の可否を評価できる。

本研究の特徴②：事業実施の時機の検討

先行研究では、災害発生前の事業実施の可否を評価したものでも、災害発生年は何年に発生するなどと仮定をして事業費を試算したものがほとんどであった。災害発生確率を考慮して事業実施の時機を求める手法を提案し、それを用いて対象地区において実際の事業実施の時機を求めている点は本研究の大きな特徴となっている。

一方、本研究で対象とする事業は防災集団移転事業であり、同事業は東日本大震災の実例を踏まえても、災害発生後津波浸水地域でいずれ実施される事業であると考えられるため、事業自体の実施の有無ではなく、事業投資の時期を評価する。本研究が宮崎市佐土原地区を対象として行った研究手法は、他地区にも応用できる。切迫した災害の災害発生前における防災対策事業実施の可否、また、その時期を決定する際の投資面での参考となる。

iii) 防災投資の評価方法

① 災投資の推計方法

■ 移転対象建物の設定

国土交通省が 2011 年 10 月に公表した報告書（東日本大震災の津波被災現況調査結果（第 2 次報告）⁹⁾）によると、東日本大震災における津波浸水高と建物被害状況は以下の引用図のとおりである。

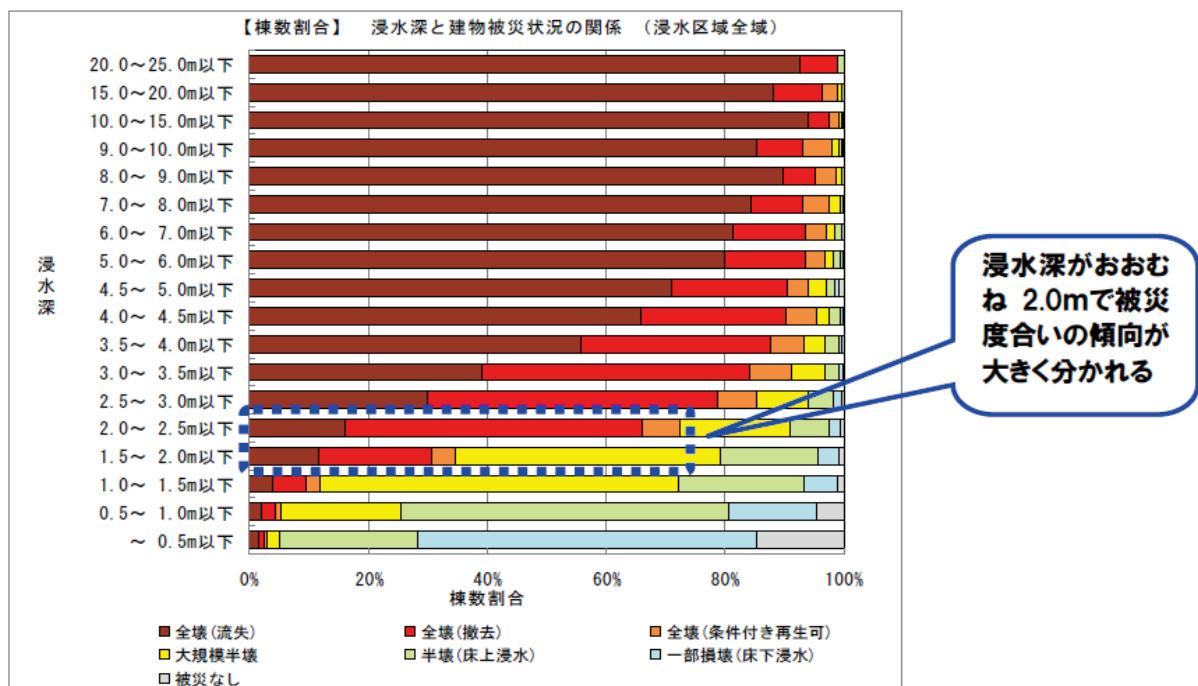


図-25 東日本大震災における津波浸水高と建物被害状況の関係（引用⁷⁾）

報告書によると、津波浸水高 2m を超えた地域では建物被害が大きく異なり、全壊等の甚大な被害が出ている。上記内容を踏まえ、対象地区における津波浸水想定高 2m 以上の区域に存在する建物に移転対象建物と設定した。

本研究では防災集団移転対象地域として、南海トラフ地震による津波被害を受けると想定されて

いる宮崎市佐土原地区を選定している。秋山ら¹⁰⁾による建物ポイントデータに津波浸水想定区域と津波浸水想定高のデータを GIS を用いて重ね、津波浸水想定高 2m 以上の区域にある建物データを抽出した。

同様に、国土数値情報ダウンロードサービスから取得した公共施設、都市公園、福祉施設、文化施設、下水道処理施設のデータも津波浸水想定区域・津波浸水想定高データと重ね合わせ、津波浸水想定高 2m 以上にある移転対象施設を抽出した。

以上の作業で抽出された建物・施設のポイントデータと津波浸水想定区域データを図-26 に示す。

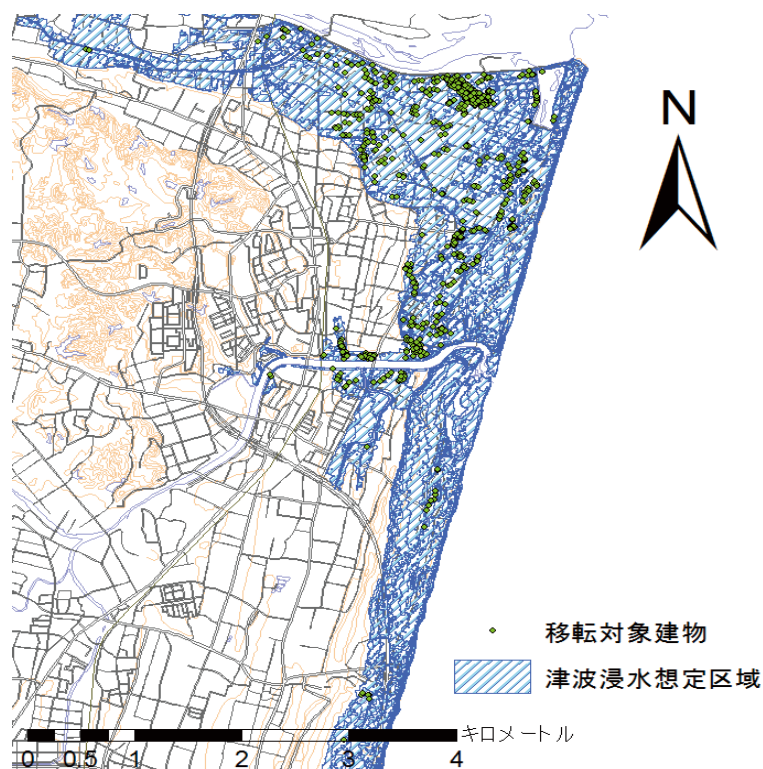


図-26 佐土原地区における防災集団移転対象建物と津波浸水想定区域

上記に示した建物データ内の属性データを用いて移転対象建物、また移転対象人口を整理すると以下の表-3 のようになる。

表-3 移転対象建物・人口

移転対象建物数	638(棟)
移転対象世帯	121(世帯)
移転対象人口	324(人)
移転対象総延床	478689.3(m ²)

また、移転対象となる津波浸水想定 2m 以上の区域にある公共施設、福祉施設、都市公園、文化施設、下水道処理施設のリストは以下の表-4 の通りである。

表-4 移転対象公共施設，福祉施設，都市公園，文化施設，下水道処理施設

大分類	施設名称	延床面積または敷地面積(m ²)	建築年(年)
公共施設 福祉施設	養護老人ホーム望洋園	6611	1997
	福島保育所	451	2002
都市公園	元村公園	1815	1990
文化施設	該当なし		
下水道処理施設	佐土原浄化センター	1682	1980

■移転先の選定

前項で設定した建物の集団移転先を選定する。選定にあたってはコンパクトシティの考え方に則り，佐土原地区の中での市街化区域内かつ中心市街地周辺を選定した。選定した地区は図-27 に示すように佐土原駅の西側地区で，5つの用途地区に分かれており，それぞれ第一種住居地域，第二種住居地域，第一種低層住居専用地域，第二種低層住居専用地域，商業地域である。

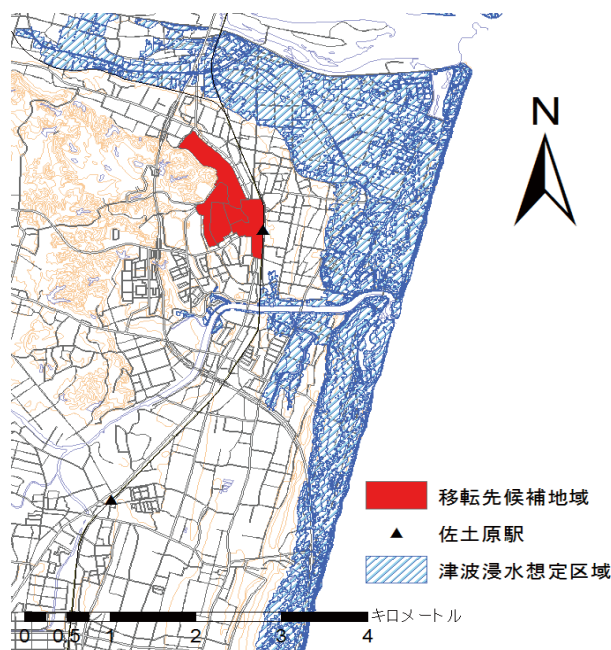


図-27 佐土原地区における防災集団移転対象建物と津波浸水想定区域

GIS を用いて，それぞれの地区区域と重なる地域に存在する秋山ら¹⁰⁾の建物ポイントデータを抽出し，それぞれの地区内の現在の総建築面積を算出した。一方，それぞれの地区面積に表-5 に掲げる建蔽率を乗じることで，各地区の最大建築面積が算出できる。その差をとることで，移転先として利用できる建築面積が算出でき，さらに，その利用可能建築面積を建蔽率で除して実面積に戻したのちに容積率を乗じることで移転先として利用可能な延床面積を算出した。

なお，最大建築面積を求める際には，それぞれの地区の面積の 15%は道路の面積として減じ，実

面積の 75%の面積で計算した。また、現在の建築面積は宮崎市の空家率 13.9%¹¹⁾を考慮し、建物ポイントデータで得られた値に 0.861 を乗じた値を用いた。

表-5 用途地区ごとの建蔽率・容積率

用途地区	建蔽率	容積率
第一種住居地域	60%	200%
第二種住居地域	60%	200%
第一種低層住居専用地域	50%	100%
第二種低層住居専用地域	60%	150%
商業地域	80%	400%

それぞれの用途地区における計算結果を表-6 に示す。

表-6 用途地区ごとの利用可能延床面積

用途地区	面積	最大建築面積	現状建築面積	利用可能延床面積
第一種住居地域	229,622	117,107	41,714	251,310
第二種住居地域	46,092	23,507	9,260	47,489
第一種低層住居専用地域	95,431	40,558	23,748	33,619
第二種低層住居専用地域	108,875	55,526	20,587	87,348
商業地域	172,753	117,472	32,156	426,578
			利用可能延床面積計	846,344

※表 3.3 の単位はすべて(m²)

前項の表-3 より、移転する総延床面積は 478,689.3(m²)であるので、設定した 5 つの用途地区のみで移転する延床面積は全て補えることがわかる。なお本研究では詳細までは扱わないが、移転の際にはなるべく現在の集落の形を崩さないよう移転事業を進めるものとする。

■対象とする投資の種類

本研究においては防災集団移転事業に係る投資について推計を行うが、国・地方自治体が負担する投資のみを対象としている。また、簡単のため移転に際して必要な投資のうち、災害前後で変わらないもの、補助金制度などは省略した。

推計を行った投資は以下の通りである。

- 1) 公共施設移転に係る投資
- 2) 災害時の災害復旧に係る投資；本研究では仮設住宅建設維持管理費用とがれき撤去費用
- 3) 移転対象地域のインフラ維持管理費用
- 4) 移転先地域のインフラ維持管理費用

なお、本研究では投資推計対象のインフラは道路、上水道、下水道、公共施設とした。

移転に際して必要となる建物移転費用や土地買い上げに必要な費用は住民個人が負担する投資として本研究では除外している。また、今回の移転先地域は航空写真等での確認により、宅地造成等は必要ない平野部に位置していると考えられたため、宅地造成費用も推計の対象外とした。

推計後の防災投資の評価対象としては、災害発生前後での防災投資の評価について、防災投資期待値を用いた評価については上記 1), 2) の投資を対象に、公共インフラの維持管理費を含めた総費用の評価については上記 1), 2), 3), 4) の投資を対象に評価を行った。

■移転対象地域人口について

表-7 で求めたように、建物ポイントデータから求めた移転対象地域内世帯数・人口は 121 世帯 324 人である。本研究では現在の移転のみならず、将来的に実施する移転事業をも対象にしているため、推計においては移転の時期に合わせた人口を用いる必要がある。なお、建物ポイントデータの世帯・人口は 2009 年時点のものである。

表-7（再掲） 移転対象建物・人口

移転対象建物数	638(棟)
移転対象世帯	121(世帯)
移転対象人口	324(人)
移転対象総延床	478689.3(m ²)

宮崎市が公表している人口、国立社会保障・人口問題研究所が公表している将来推計人口を用い、移転対象地区の人口は宮崎市全体の人口変動と同じ変動率で推移すると仮定して将来人口を推計した。データより、各年人口を前年人口で除して毎年の人口変動率を求め、それを繰り返し対象地区人口に乗じていくことで 2040 年までの移転対象地区での推計人口を求めた。2040 年以後は将来推計データがないため、2040 年の変動率でそのまま推移すると仮定した。また、世帯数については人口に比例して変化すると求めた。図-28 に求めた移転対象地区内の将来推計人口・世帯数を示す。

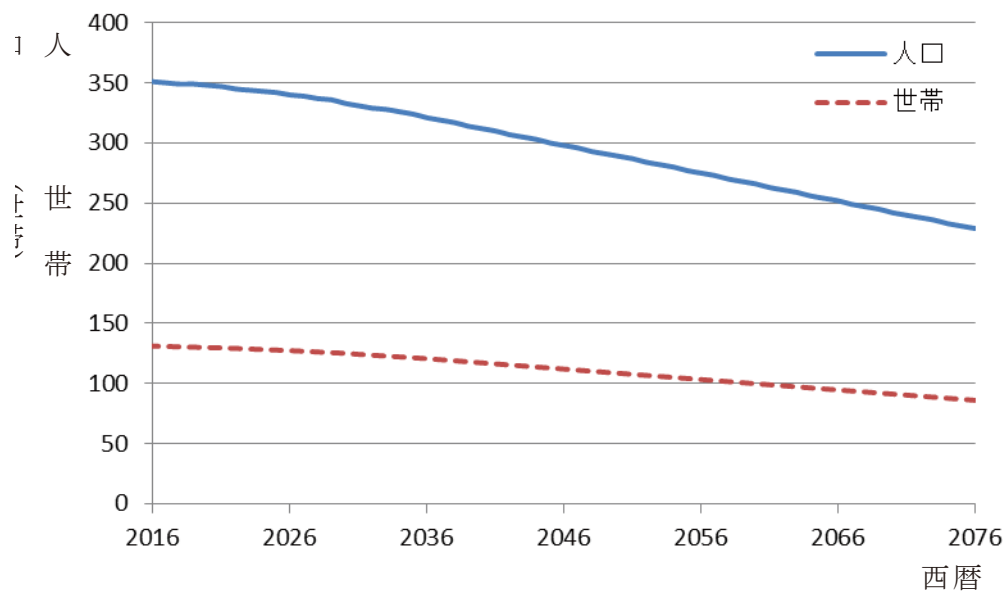


図-28 防災集団移転対象地区内人口の将来推計

図-28 より、本研究の対象としている佐土原地区においても、今後は人口減少が続くことがわかる。同様に、宮崎市が公表している人口と国立社会保障・人口問題研究所が公表している将来推計人口を用い、宮崎市佐土原地区の生産年齢人口と20歳以上人口を求めた。以下の図-29、図-30に推計結果を示す。

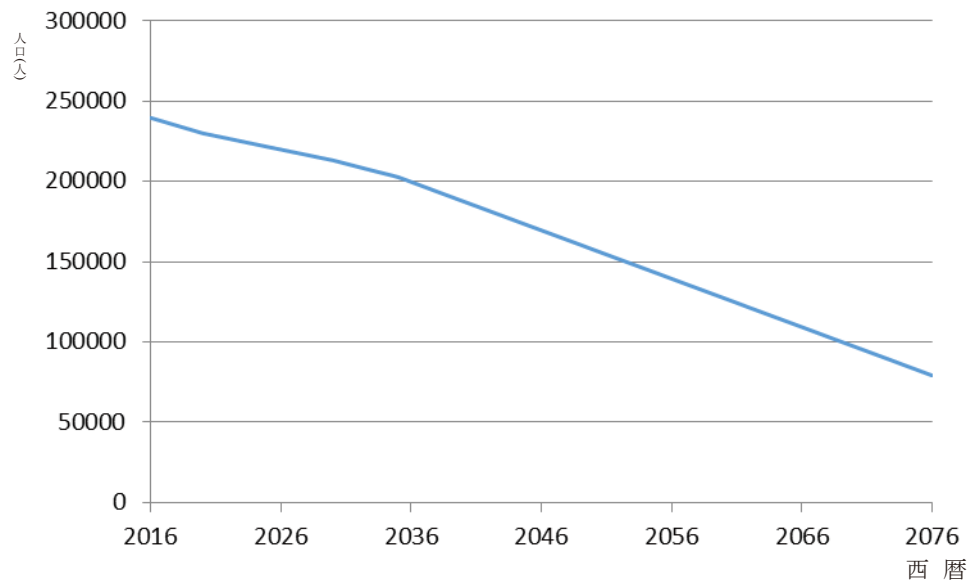


図-29 佐土原地区生産年齢人口の将来推計

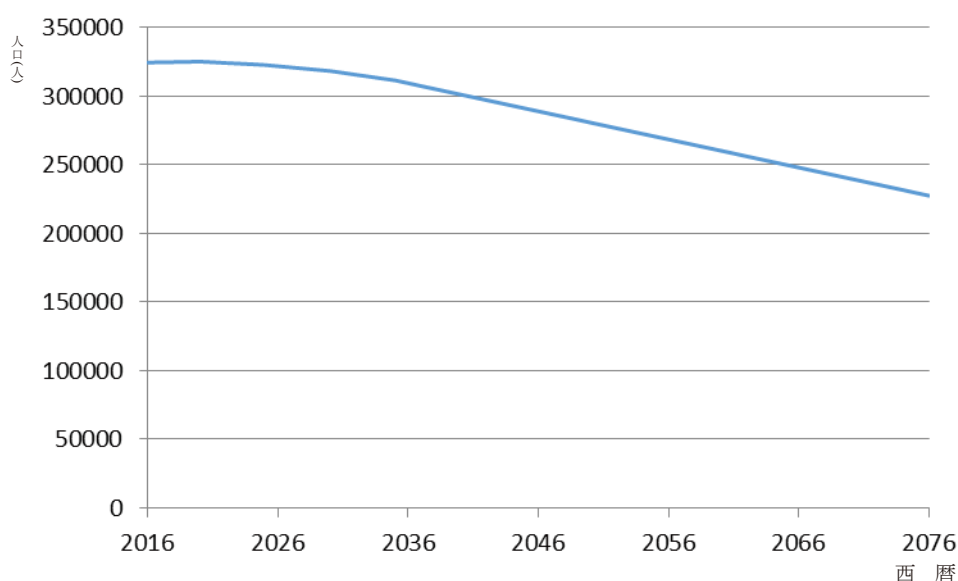


図-30 佐土原地区 20 歳以上人口の将来推計

図-29 に比べて図-30 の曲線の傾きが小さいのは、図-29 が示す生産年齢人口は 65 歳以上の老年人口を含んでおらず、図-30 で示す人口は老年人口を含んでいるからであり、この 2 つの図からも今後対象地域において少子高齢化が進んでいくことが読み取れる。

■ 公共施設移転に関する投資額推計

公共施設の移転に必要な投資は、該当公共施設の延床面積と公共施設更新費の原単位を乗じて求めた。更新原単位は公共施設等更新費用試算ソフト仕様書¹²⁾より、400 千円/m²の値を用いた。また公共施設の要移転延床面積も人口によって変わると仮定をおき、表-4 の延床面積を基本として、その値に 2016 年と公共施設移転年の移転対象地区人口の比を乗じて要移転延床面積を求めた。ただし養護老人ホーム望洋園の移転においては、今後の老年人口増加も踏まえ、将来に移転を行う際にも現状の延床面積を用いて推計を行った。

(再掲) 移転対象公共施設、福祉施設、都市公園、文化施設、下水道処理施設

大分類	施設名称	延床面積または敷地面積(m ²)	建築年(年)
公共施設	養護老人ホーム望洋園	6611	1997
福祉施設	福島保育所	451	2002
都市公園	元村公園	1815	1990
文化施設	該当なし		
下水道処理施設	佐土原浄化センター	1682	1980

それぞれの公共施設について移転に必要な投資を推計した結果、以下のようになった。

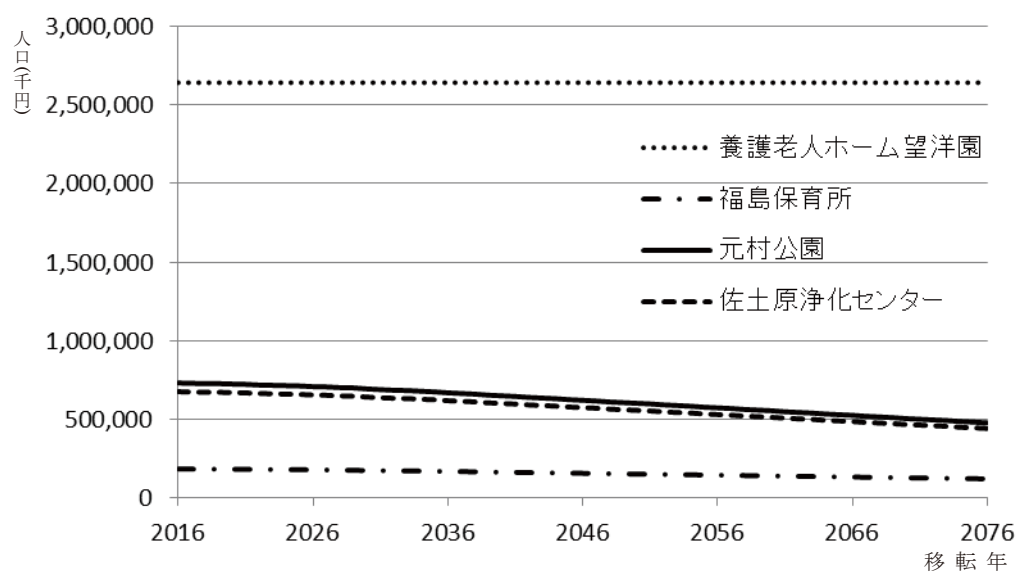


図-31 移転対象公共施設の将来移転投資推移

■インフラ維持管理に関する投資額推計

本項では、移転対象地域と移転先地域の道路、上水道、下水道、公共施設の維持管理費用を推計した。それぞれのインフラ量については表-8のデータをもとにGIS上にてデータを抽出し、表-9それぞれのインフラの維持管理原単位に乗じてインフラ維持管理投資を求めた。

表-8 インフラ維持管理費用の原単位

用いたデータ	データの説明	提供元
市道路線台帳 (2012)	宮崎市内の市道の名称, 延長, 道幅, 所在地などが書かれた台帳	宮崎市
上水道配管図データ (2013)	宮崎市の上水道の送水管や導水管, 配水管の位置, 延長などを示したもの	宮崎市
下水道施設データ (2013)	下水道の供用開始年が地域ごとに描かれているもの	宮崎市
公共施設データ (2015)	ダウンロードした公共施設の名称, 供用開始年, 管理者のデータに建物延床面積を筆者が統合したもの	国土数値情報 ダウンロードサー ビス 秋山ら ⁸⁾

表-9 インフラ維持管理費用の原単位

インフラ	維持管理原単位 (/年)	更新原単位 (/年)	更新 間隔
道路	863 千円/km	4.7 千円/m ²	15 年
上水道	26 千円/km	114 千円/m	40 年

下水道	350 千円/km	124 千円/m	50 年
公共施設	9.4 千円/m ²	400 千円 /m ²	50 年

■災害復旧に関する投資額推計

本項では、災害発生後に災害復旧事業として生じる仮設住宅建設維持管理投資とがれき撤去に要する投資の推計方法について述べる。

仮設住宅の建設維持管理投資については、必要となる仮設住宅の戸数に原単位を乗じて求めた。原単位は国土技術政策総合研究所が公表しているデータ¹³⁾より 3520 千円/戸を用い、災害発生時に必要となる仮設住宅の戸数は 3.1.4 で求めた移転対象地域内世帯の災害発生年の値を用いた。また仮設住宅を必要とする世帯 10 世帯毎に、仮設住宅付近に仮設の集会所を 1 戸設置するとして必要戸数に 1 戸を加えた。

次に、がれき処理に要する災害復旧投資については、災害発生時に対象地区内にある建物数に、建物 1 棟あたりのがれき撤去原単位を乗じて求めた。原単位は仮設住宅と同じく国土技術政策総合研究所が公表しているデータ¹³⁾より 3270 千円/戸を用い、災害発生時に撤去しなければならない建物数は、2009 年時点での移転対象区域内にある建物数 638 棟に 2009 年の人口に対する災害発生年の人口の比を乗じて求めた。

② 評価の枠組み

■災害発生前後での防災投資の評価

災害前の事前防災対策事業を行わずに災害が発生した場合には、仮設住宅の建設維持管理費用やがれき撤去費用が発生するため、災害前に防災集団移転事業を行った際の投資額 C_{before} と災害発生後に同事業を行った際に発生する投資額 C_{after} を比較した際に、 $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ となることは明白である。

一方、災害は必ずしも決まった時期に発生するというわけではない。よって、災害発生の時期によっては C_{after} が 50 年後に発生する可能性もある。また災害発生前の防災投資である C_{before} は、災害発生よりも前に事業実施するため、 C_{after} と C_{before} は同時に発生する投資として比較するのは不適当である。

そこで本研究では、それぞれの投資額に対して社会的割引率を適用し現在価値に戻して両投資の比較を行うこととする。

本研究では社会的割引率は 0.04 と設定する。 t 年後に発生する投資 $C(t)$ の現在価値 $C'(t)$ は以下の式(1)で与えられる。

$$C'(t) = \frac{1}{1.04^t} C \quad : \text{式(1)}$$

推計した災害前後の投資に対し社会的割引率を適用した後も $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立するかどうか、また災害発生前の防災投資 C_{before} が t 年後に発生した場合、それから何年後までに災害が発生すれば $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ の関係が維持できるかも求める。

■防災投資期待値を用いた評価

本研究では防災投資の最適投資時期、つまり防災集団移転事業の実施時機を求めるために防災投資期待値を用いる。

地震をはじめ、自然災害の発生は不確実性を含む現象であるため、 t 年後に事業を実施すると仮定しても様々なケースが想定される。そのため、地震の発生確率を考慮したうえでの期待値を用いて t 年後までに発生する投資を求める。なお、本研究における期待値とは、 $t-1$ 年後までに地震が発生した場合は災害発生年に災害復旧としての防災集団移転事業投資 C_{after} が発生し、地震が発生しなければ t 年後に防災対策としての防災集団移転事業投資 C_{before} が発生するとした場合の t 年間の期待発生投資である。なお、将来発生する投資に対しては社会的割引率を適用している。

地震の発生確率を考慮したうえでの t 年後までの発生投資期待値 $C(t)$ は、以下の式(2)を用いて求められる。

$$C(t) = \sum_{k=1}^{t-1} C'(k) P'(k) + C''(t)(1 - P(t)) \quad : \text{式(2)}$$

なお、各文字の定義は以下のとおりである。

$C'(t)$: $t-1$ 年後までに発災しなかった場合 t 年後に発生する投資(C_{before})に社会的割引率を適用した値

$C''(t)$: t 年後に発災したのち発生する復旧のための投資(C_{after}) に社会的割引率を適用した値

$P'(t)$: t 年後(1 年間)に地震が発生する確率

$P(t)$: t 年後までに地震が発生する確率

上記式(2)を用いて期待投資を計算した結果、最も期待発生投資の小さくなる t 年後が、対象地域における防災集団移転事業の実施時機であると考えることができる。また、その時機についての考察も行う。

■公共インフラの維持管理費を含めた総費用の評価

前述した価方法は、付随する災害復旧事業費を含む、防災集団移転事業単体の事業費を比較する方法であった。しかし、本研究の対象地域である宮崎市佐土原地区での防災集団移転事業では、町の中心部から離れた海岸線に近い住宅街を中心部に近い佐土原駅周辺へと移転しており、移転終了後は移転対象地域内にある上水道や下水道、市道を廃止することができるため、防災の観点のみならずコンパクトシティ政策の観点から見ても有効な移転であると考えられる。本項で述べる評価方法は、その影響も反映できるように、移転対象地域と移転先地域において今後 60 年間発生するインフラ維持管理のための投資も含めたものとなっている。

本項では災害発生年や移転開始年を変化させて様々な移転シナリオを設定し、それぞれについて社会的割引率を考慮した 60 年間発生する投資の総額を試算する。以下に、本項において投資総額を試算する際の仮定を整理する。

- 本研究では、武田ら⁵⁾の研究を参考に移転開始から 35 年間で全ての住民の移転が完了すると仮定しているため、移転開始 35 年後以降は移転対象地域のインフラ維持管理投資は試算の除外とした。
- 移転開始から 35 年以内、もしくは移転開始前に災害が発生するシナリオでは、災害発生後すぐに防災集団移転を行うとし、災害発生後は移転対象地域のインフラ維持管理投資は試算の除外とした。
- 移転対象地域内の公共施設については、防災集団移転事業開始後順次移転を行い、移転後は移転先地域にて維持管理投資が発生するものとする。
- 発災年、発災翌年に発生した投資については建設資材高騰の影響を加味し、東日本大震災の実績¹⁴⁾より 1.1 を乗じたものを用いる。

以上の仮定をもとに様々な移転シナリオについて試算を行い、災害発生後に比べて災害発生前の防災集団移転事業実施により 60 年間の投資総額がどのように変化するか、また事業実施開始年の違いにより投資総額にどのような影響が及ぶのかについて比較考察を行う。

③ 南海トラフ地震発生確率の算出方法

本研究での地震の発生確率は、政府の地震調査研究推進本部が主に採用している BPT 分布の分布関数により発生確率密度を算定する方法を用いて算出した。

BPT 分布における t 年後の確率密度 $p(t)$ は以下の式(3)で求められる。

$$p(t) = \left(\frac{\mu}{2\pi\alpha^3 t^3} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\left\{ \frac{(t-\mu)^2}{2\pi\alpha^2 t} \right\}} \quad : \text{式(3)}$$

なお、式(3)中の α と μ はそれぞれ対象地震におけるばらつき具合と標準的な発生間隔である。本研究では、2013 年に政府の地震調査研究推進本部が発表した「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について¹⁵⁾」を参考に、 $\alpha = 0.24$ と $\mu = 88.2$ という値を用いた。

以下の図 10 に式(3)によって算出された、BPT 分布を確率密度関数とした場合の南海トラフ地震発生確率密度を示す。

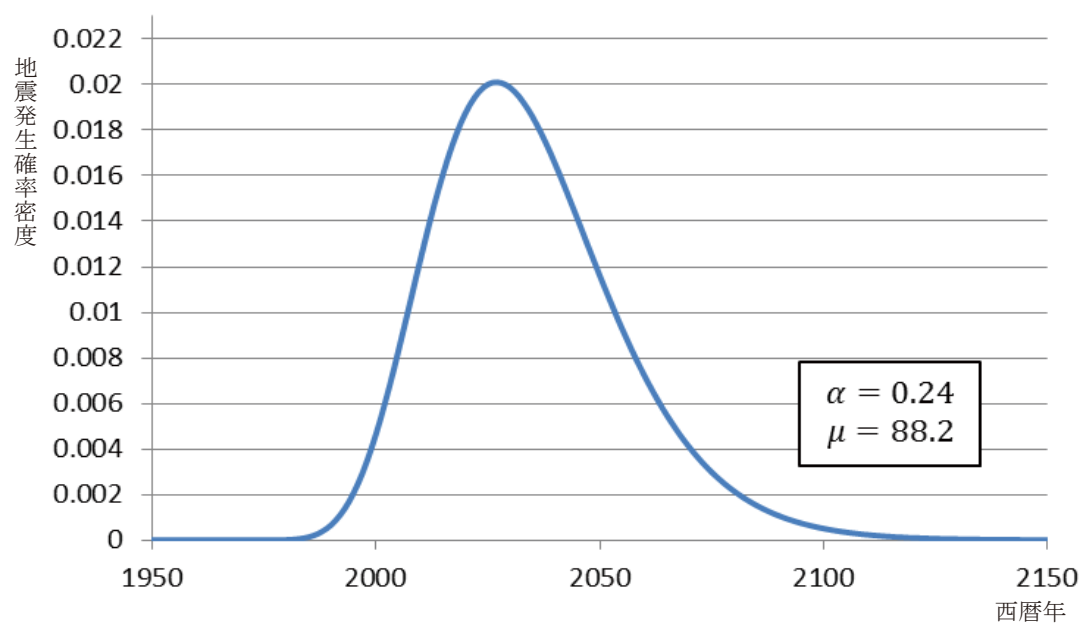


図-32 BPT 分布を用いた南海トラフ地震発生確率密度

図-32 の確率密度を用いて算出した南海トラフ地震の 1 年毎の発生確率を図-33 に、10 年以内に発生する確率を図-34 にそれぞれ示す。

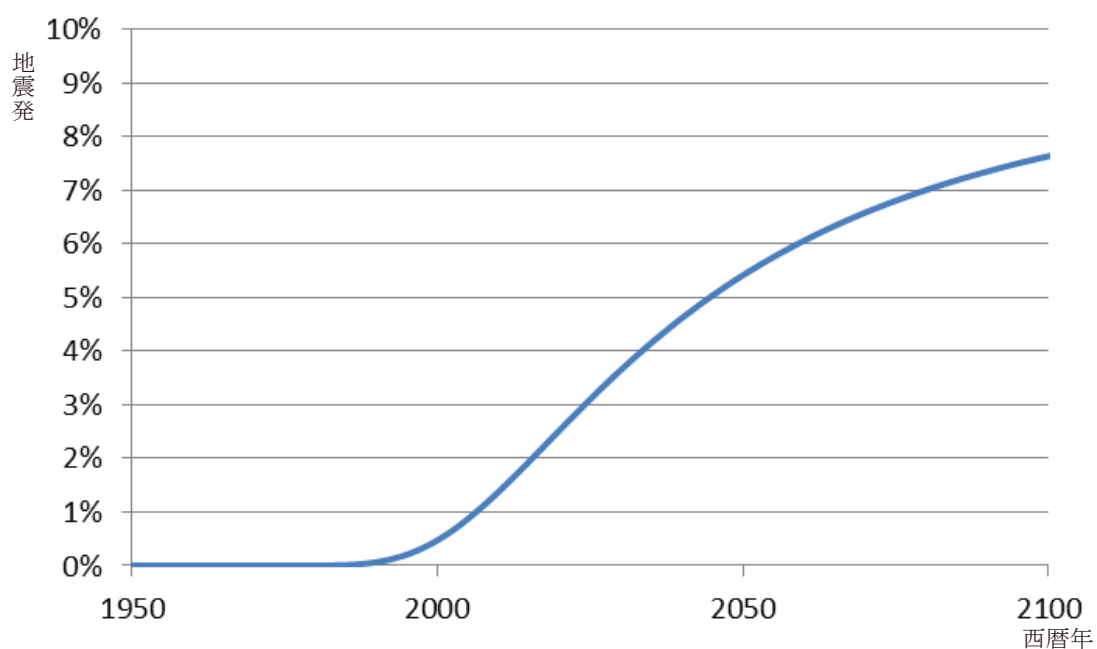


図-33 BPT 分布を用いた 1 年毎の南海トラフ地震発生確率

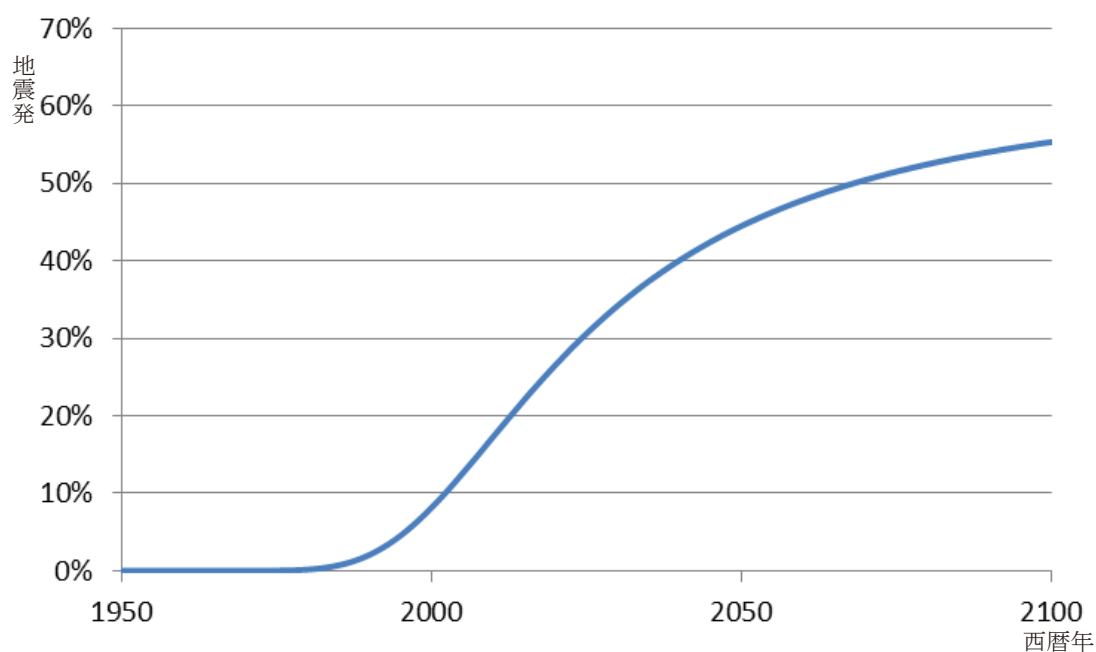


図-34 BPT 分布を用いた 10 年以内に南海トラフ地震が発生する確率

iv) 宮崎市佐土原地区における防災投資の評価結果

① 災害発生前後の防災投資の評価結果

災害発生前の防災集団移転事業実施の際の投資 C_{before} と，災害発生後の防災集団移転事業の投資 C_{after} をそれぞれ求め，事業実施年を横軸にとりグラフに示すと図-35 のようになる．

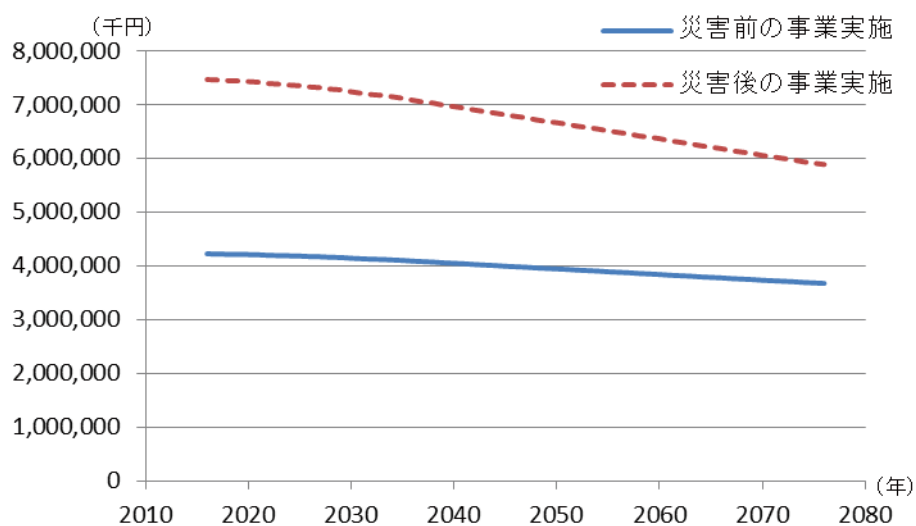


図-35 事業実施年による C_{before} と C_{after} の差異

グラフより，災害発生後の防災集団移転事業実施時の投資 C_{after} よりも災害発生前の事業実施の際の投資 C_{before} が小さくなっているが，これは災害発生後の事業投資には災害復旧としての仮設住宅

建設維持管理、がれきの撤去事業に対しての投資が含まれているため、当然の結果である。一方両曲線ともに右肩下がりのグラフになっているのは、事業実施を先延ばしにするほど移転対象地区内人口が減少し、それにより移転で必要となる公共施設の延床面積が小さくなっているからである。

次に上記の投資に社会的割引率を適用し、全ての投資を現在価値に直したものを図-36 に示す。

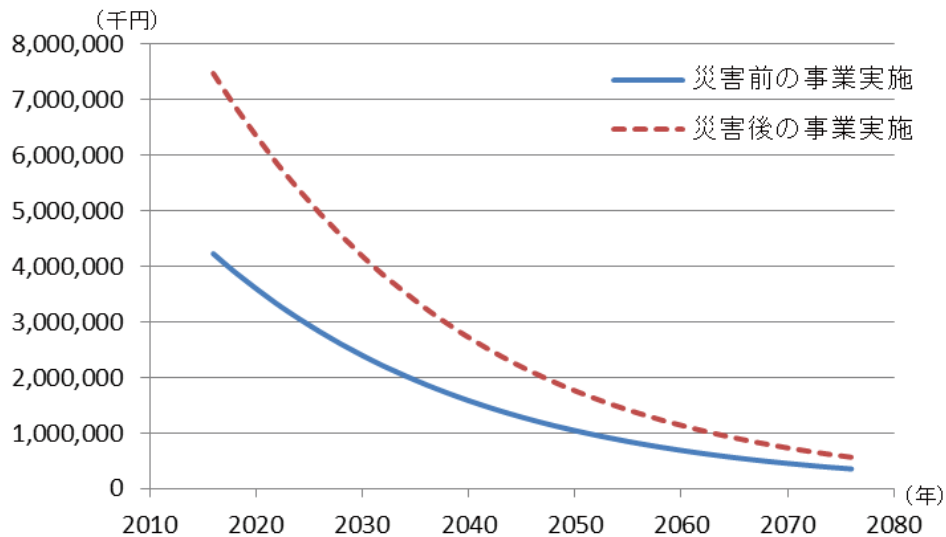


図-36 社会的割引率を適用した後の事業実施年による C_{before} と C_{after} の差異

図-36 に示されたグラフを見ると、図-35 のグラフよりもさらに大きく右肩下がりになっている。これは社会的割引率を適用することで、将来の投資の現在価値がかなり低くなっていることを示している。

一方、社会的割引率を適用した後の投資において、それぞれの災害発生年、つまり災害後の事業実施年に対し、何年前までに防災集団移転事業を実施すれば $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立するかを求めた。

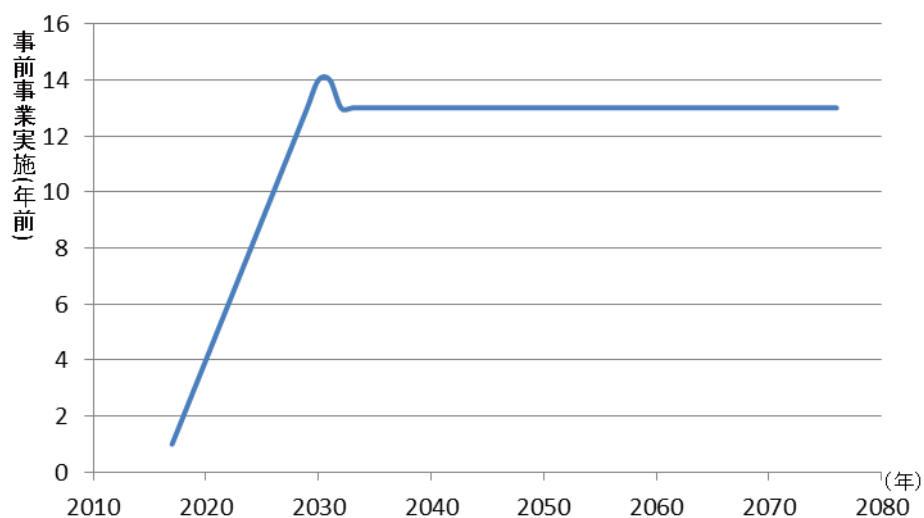


図-37 災害前(事前)事業実施により $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する年数

図-37 より，2030 年に災害が発生する場合には 14 年前，つまり 2016 年より後に防災集団移転事業を実施すれば $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する．また，2017 年以降に関しては災害発生から 13 年前より後に防災集団移転事業を実施すれば $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ は成立することがわかる．

つまり，災害発生前の防災集団移転事業を実施する場合に，事業実施から 13 年以内に災害が発生すれば，災害発生前の事前の事業実施が投資面で有効であるといえる．よって南海トラフ地震のような切迫した災害に対しては災害前の事業実施は投資面で判断すると妥当である．

しかし，実際の災害の発生には不確実性があり，現在の技術では災害発生を確実に予知することはできない．そのため次節では，災害の発生確率を考慮した投資期待値を求めることで，災害発生前の防災集団移転事業の実施時機を求める．

② 防災投資期待値を用いた評価結果

本研究で定義した防災投資期待値を用いて，防災投資期待値を求める．

投資期待値を算出する式(2)を以下に再掲する．

$$C(t) = \sum_{k=1}^{t-1} C''(k) P'(k) + C'(t)(1 - P(t)) \quad : \text{式(2)}$$

$C'(t)$: $t-1$ 年後までに発災しなかった場合 t 年後に発生する投資(C_{before})に社会的割引率を適用した値

$C''(t)$: t 年後に発災したのち発生する復旧のための投資(C_{after}) に社会的割引率を適用した値

$P'(t)$: t 年後(1 年間)に地震が発生する確率

$P(t)$: t 年後までに地震が発生する確率

南海トラフ地震の発生確率を考慮して算出した防災投資期待値は図-38 のようになった．

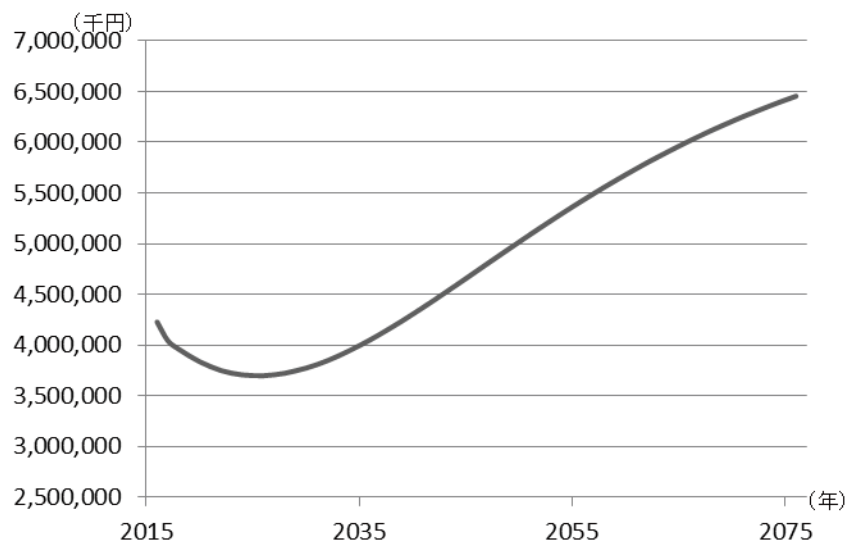


図-38 南海トラフ地震発生確率を考慮した防災投資期待値

図-38 より，防災投資期待値が最も小さくなるのは 2026 年($t=10$)に防災集団移転を行う場合である．つまり，本研究が対象としている宮崎市佐土原地区での防災集団移転事業の実施時機は 2026 年であることがわかる．

一方本研究では，南海トラフ地震のような切迫災害を対象にしているが，発生確率がそれほど高くない災害の発生確率を用いて投資期待値を算出するとどのような結果が得られるのか試算を行った．ここでは南海トラフ地震の 30 年以内発生確率 69%に対し，30 年以内発生確率 34%（標準的な発生間隔 $\mu = 120$ ）の地震の発生確率を用いて投資期待値試算を行った．以下の図-39 に試算結果を示す．

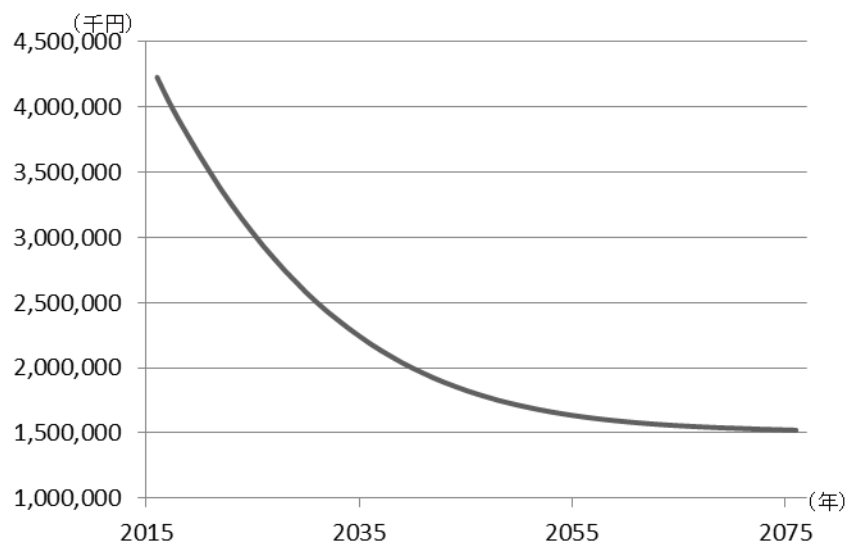


図-39 発生確率が低い災害に対する投資期待値

上記の結果では，グラフは単調減少しているため防災集団移転事業の実施時機は対象期間である

2076 年までの間では判断できず、事業実施を先延ばしにする方が投資面からみると妥当であることが分かった。逆に、南海トラフ地震のような切迫災害においては事業実施の時機が確定できるため、投資面で判断すると事業実施は実施時機より先延ばしにするべきではないこともわかった。

③ 公共インフラの維持管理費を含めた総費用の評価結果

①②で示した結果は防災集団移転事業単体の事業投資での判断を行ったが、本節では、防災集団移転による市道、上水道、下水道の廃止のような間接的な影響も加味するため、2016 年から 2076 年までの 60 年間に発生する総投資額によって防災集団移転事業を評価した。

以下に、対象地域の防災集団移転事業を行うことによって廃止できると判断した市道、上水道、下水道を図-40 に示す。

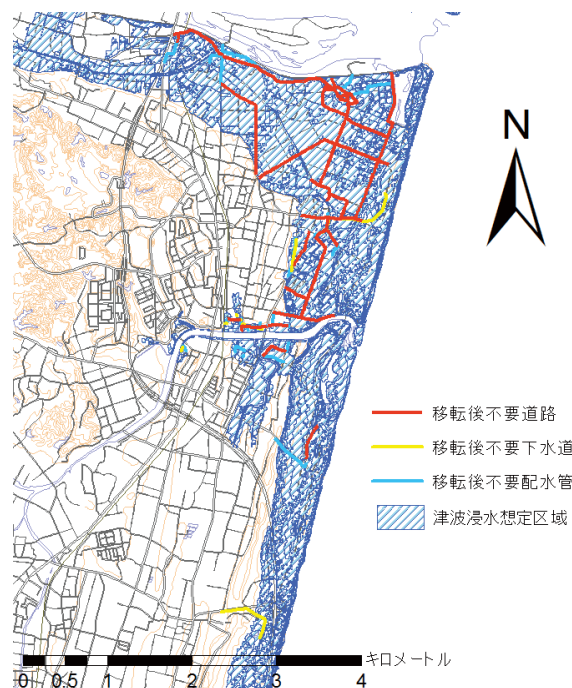


図-40 防災集団移転事業実施により廃止可能な市道、上水道、下水道

本節では、2016 年($t=0$)から 2076 年($t=60$)にそれぞれ防災集団移転事業を行うと仮定した場合において、南海トラフ地震が発生する年を 1 年ずつ変化させたシナリオで試算を行った。以下ではそれぞれのシナリオを“シナリオ $x-y$ ” (x : 防災集団移転事業実施年, y : 南海トラフ地震発生年)と表すものとする。なお、南海トラフ地震が発生した場合は同時に防災集団移転事業を行うため、 $x \leq y$ は常に成り立っている。

2016 年に防災集団移転事業を実施するシナリオ 2016- y において、南海トラフ地震発生年 y を 2016 年から 2076 年まで変化させた場合の 60 年間の総投資を表すグラフを図-41 に示す。

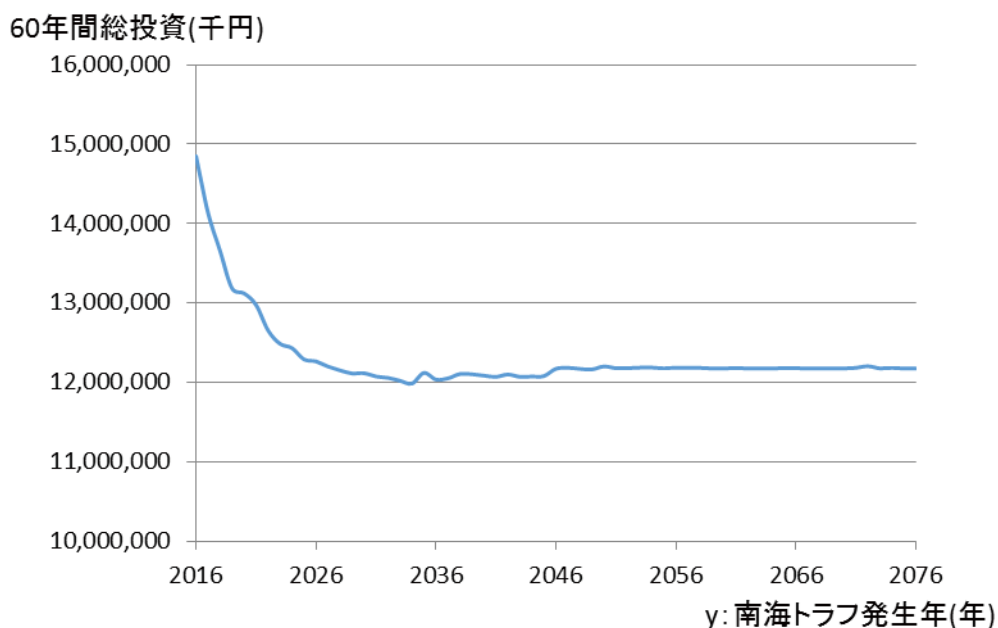


図-41 シナリオ 2016-y において $2016 \leq y \leq 2076$ の範囲で変化させた場合の総投資

図-41 において、2016 年から 2030 年ごろまでに南海トラフ地震が発生した場合の総投資が大きくなっているのは、防災集団移転事業が完全に終わる前に災害が発生したため、移転が終わっていない部分のがれき撤去のための投資や仮設住宅関連投資が発生したからである。

一方、図-41 のグラフに、それぞれの災害発生年 y に対して災害発生と同時に災害復旧事業としての防災集団移転事業を行うシナリオ $x-y(x=y)$ のグラフを追加すると、以下のようになる。

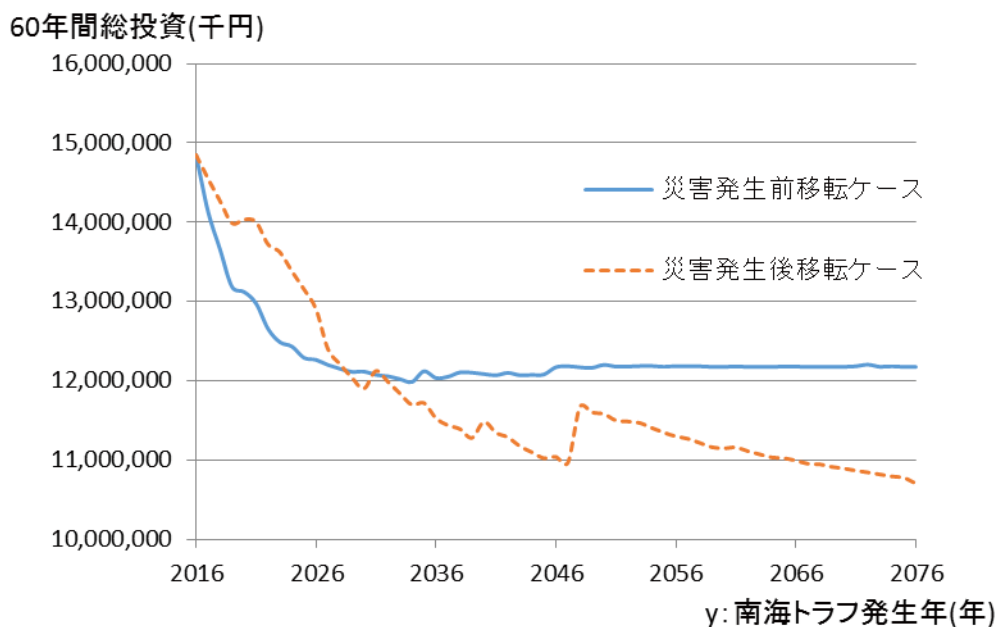


図-42 災害発生前後に防災集団移転事業を実施した際の 60 年間総投資比較

図-42 より、2016 年に防災集団移転事業を行うシナリオ 2016-y においては、2028 年までは災害

発生前移転の方が総投資は小さく災害発生前の移転の妥当性が確認できるが、2029 年以後に関しては災害発生後移転の方が総投資は小さくなっており、災害発生後に防災集団移転事業を行った方が投資面では妥当だという結果になっている。なお、災害発生前に防災集団移転事業を行うケースにおいて図-42 のグラフが横ばいになっているのは、事前の事業実施には大きな投資が必要であり、その投資に比べれば社会的割引率を適用した後の将来発生する投資は大した影響を与えないからだと思われる。

ここで、災害発生前移転実施の場合の 60 年間総投資<災害発生後移転実施の場合の 60 年間総投資となる期間、つまりは災害前の防災集団移転事業が投資面から判断して有効となる地震発生期間を“期待発生期間”と定義し、その期間に南海トラフ地震が発生する確率を求める。

本節で求める地震の条件付き発生確率 $P(t' - t)$ は以下の式(4)で定義される。

$$P(t' - t) = (1 - p(t'))p(t' - t) \quad : \text{式(4)}$$

$p(t')$: t 年後までに南海トラフ地震が発生する確率

$p(t' - t)$: t 年後から t' 年後までに南海トラフ地震が発生する確率

シナリオ 2016-y において期待発生期間は 2017 年から 2028 年となっており、その期間に南海トラフ地震が発生する確率は 31%であった。

同様に、シナリオ 2017-y からシナリオ 2075-y までについて期待発生期間を求め、期待発生期間に南海トラフ地震が発生する確率を求めた。その結果を図-43 に示す。

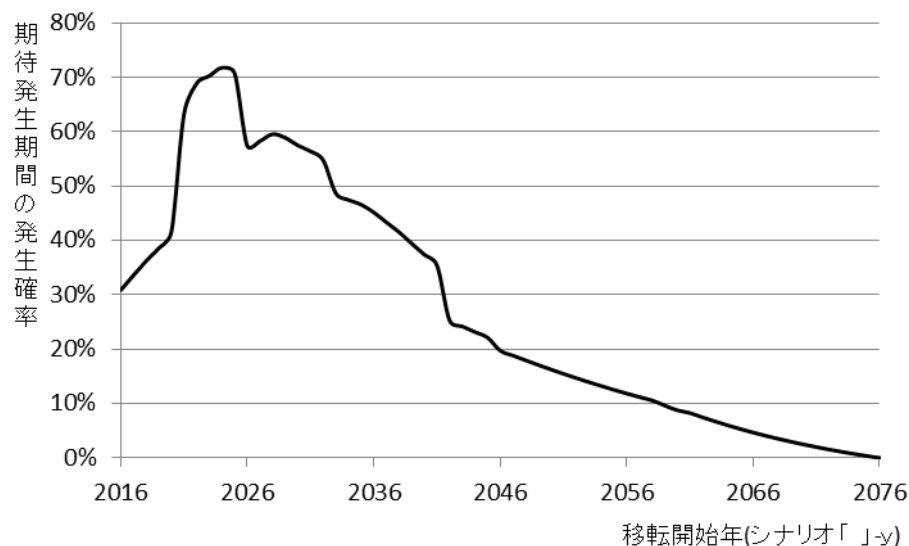


図-43 移転開始年各シナリオにおける期待発生期間の南海トラフ地震発生確率

図-43 より、2024 年に防災集団移転事業を行った場合、72%の確率で、災害発生前移転実施の場合の 60 年間総投資<災害発生後移転実施の場合の 60 年間総投資となる、つまりは災害前の防災集

団移転事業が投資面から判断して妥当となることが分かった。

また、2020年代後半から期待発生期間の発生確率が下がっているのは、式(4)における $(1 - p(t'))$ が大きく影響を与えているため、つまり防災集団移転事業を行う前に災害が発生する確率が大きくなるため、期待発生期間での条件付き確率としては小さな値になっていると考えられる。

④ 評価結果のまとめ

以上で示した結果より得られた知見を以下に整理する。

- 社会的割引率の適用後でも災害発生 13 年前より後に事前防災集団移転事業を実施した場合には $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ は成立する。
- 防災投資期待値を求めた結果、2026 年(10 年後)に防災集団移転事業を実施するとした場合が最も投資期待値は小さくなり、2026 年が防災集団移転事業の実施時機であることが分かった。
- 南海トラフ地震のような切迫災害に対しては、防災集団移転事業の実施時機を定めることができたが、発生確率がそれほど高くない地震に対しては事業の実施時機は定めることができなかった。
- 防災集団移転による管理インフラ縮小の影響等も考慮し、2016 年から 2076 年までの 60 年間発生する総投資を試算した結果、 $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ となる確率は 2024 年(8 年後)に防災集団移転事業を始めた場合に最も高くなることが分かった。

本章では防災集団移転事業の実施時機について様々な視点から評価を行ったが、いずれの評価方法においても、実施時期によっては社会的割引率適用後も $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ となり得ることがわかった。また、その事業の実施時機はおよそ 8 年後から 10 年後であることも分かった。

以上の内容で、国と地方自治体が負担する投資の総額を考えると、災害発生前の防災集団移転事業の実施が投資面では有効であることは分かったが、実際には災害前の防災対策事業は進んでいない。以下では、事業投資における国庫負担率の観点からその原因について考察していく。

v) 防災投資における最適な国庫負担率の考察

① 現行制度における国庫負担率の整理

現行の一般公共事業と災害復旧国庫補助事業における国庫負担率について主なものを以下の表にまとめた。

表-10 現行制度における一般公共事業と災害復旧国庫補助事業の国庫補助率の比較

対象施設	一般公共事業	災害復旧 国庫補助事業	激甚災害復旧事業
上水道	1/3	1/2	2/3
下水道	1/2	2/3 以上(標準税収による)	災害復旧国庫補助 後適用後の地方負

道路		5.5-7/10	2/3 以上(標準税収による)	担事業費のうち、 さらに 6 割-9 割を 国庫負担
公共 施設	社会福祉 施設	1/2	2/3	
	公立学校	1/3	2/3	
	公園	1/2	2/3 以上(標準税収による)	
	下水道施設等	1/2	2/3 以上(標準税収による)	

上記の補助に加え、地方交付税措置により一般公共事業は地方負担分のうち 20%が国費に、災害復旧国庫補助事業においては地方負担分の 95%が国庫負担となっている。よって、一般公共事業(補助率 1/2)では実質地方負担は 40%、災害復旧国庫補助事業では実質地方負担は 1.7%と国庫負担率に大きな差が生まれている。この国庫補助率の差が、佐藤ら¹⁾が述べている災害待ちにつながっていると考えられる。

一方、本研究で対象としている防災集団移転事業に対しては、防災のための集団移転促進事業に係る国の財政上の特別措置等に関する法律が制定されており、一般公共事業よりも少し高い国庫補助率が設けられている。

表-11 一般公共事業と防災集団移転促進事業の国庫補助率の比較

対象施設		一般公共事業	防災集団移転 促進事業
上水道管		1/3	補助無（一般公共事業同様）
下水道管		1/2	補助無（一般公共事業同様）
道路		5.5-7/10	補助無（一般公共事業同様）
公共 施設	社会福祉施設 (老人ホーム、 保育所)	1/2	3/4（合算限度有）
	公立学校	1/3	3/4（合算限度有）
	公園	1/2	3/4（合算限度有）
	下水道施設等	1/2	補助無（一般公共事業同様）

防災集団移転事業に対して表-11 のような国庫補助率が設定されているものの、移転戸数によって定まる合算限度額が設定されており、実質的には一般公共事業とほとんど変わらない補助率となっ

ている。実際に南海トラフ地震で甚大な被害が想定されている地方自治体では、この合算限度額によって事業実施が妨げられているため、この合算限度を廃止するよう国へ政策提案書を提出している。

② 宮崎市佐土原地区への現行制度の適用

■ 佐土原地区内での標準税収入額推計

宮崎市佐土原地区への現行制度の適用において、災害復旧国庫補助制度や激甚災害制度の国庫補助率算定の際に標準税収入額を用いるため、対象地区の標準税収入額の推計を行う。本来用いるのは対象市町村の標準税収入額であるが、本研究では佐土原地区内でのみの施設の防災集団移転事業、災害復旧事業を対象としているため、佐土原地区内での標準税収入額を用いるものとする。

標準税収入は法定普通税の基準税額に 75 分の 100 を乗じて求められるため、佐土原地区内での出の法定普通税を求める。市町村に収められる普通税は、市町村民税(個人市町村民税、法人市町村民税)、固定資産税、軽自動車税、鉦産税、市町村たばこ税であるが、宮崎市の実績より、鉦産税は推計から除外した。

以下に、それぞれの税における税収推計方法を示す。

◆ 個人市民税

平成 25 年の宮崎市全体の生産年齢人口と個人市民税より、生産年齢人口 1 人当たりの個人市民税を算出し、佐土原地区内に居住する生産年齢人口を乗ずることで、1 年毎の個人市民税を推計した。

生産年齢人口 1 人当たりの個人市民税：68,458 円/人

$$= \frac{\text{平成 25 年度の宮崎市の個人市民税収入 17,473,335,482 円}}{\text{平成 25 年度の宮崎市の生産年齢人口 255,243 人}}$$

◆ 法人市民税

平成 25 年の宮崎市全体の生産年齢人口と法人市民税より、生産年齢人口 1 人当たりの法人市民税を算出し、佐土原地区内に居住する生産年齢人口を乗ずることで、1 年毎の法人市民税を推計した。

生産年齢人口 1 人当たりの法人市民税：16,576 円/人

$$= \frac{\text{平成 25 年度の宮崎市の法人市民税収入 4,230,835,400 円}}{\text{平成 25 年度の宮崎市の生産年齢人口 255,243 人}}$$

◆ 固定資産税

平成 25 年の宮崎市全体の 20 歳以上人口と固定資産税より、20 歳以上人口 1 人当たりの固定資産税を算出し、佐土原地区内に居住する 20 歳以上人口を乗ずることで、1 年毎の固定資産税を推計した。

20 歳以上人口 1 人当たりの固定資産税：65,399 円/人

$$= \frac{\text{平成 25 年度の宮崎市の固定資産税収入 21,220,657,600 円}}{\text{平成 25 年度の宮崎市の 20 歳以上人口 324,480 人}}$$

◆ 軽自動車税

平成 25 年の宮崎市全体の生産年齢人口と軽自動車税より、生産年齢人口 1 人当たりの軽自動車税を算出し、佐土原地区内に居住する生産年齢人口を乗ずることで、1 年毎の軽自動車税を推計した。

生産年齢人口 1 人当たりの軽自動車税：3,369 円/人

$$= \frac{\text{平成 25 年度の宮崎市の軽自動車税収入 859,968,800 円}}{\text{平成 25 年度の宮崎市の生産年齢人口 255,243 人}}$$

◆ 市たばこ税

平成 25 年の宮崎市全体の 20 歳以上人口と市たばこ税より、20 歳以上人口 1 人当たりの市たばこ税を算出し、佐土原地区内に居住する 20 歳以上人口を乗ずることで、1 年毎の市たばこ税を推計した。

20 歳以上人口 1 人当たりの市たばこ税：9,651 円/人

$$= \frac{\text{平成 25 年度の宮崎市の市たばこ税収入 3,131,542,538 円}}{\text{平成 25 年度の宮崎市の 20 歳以上人口 255,243 人}}$$

上記の推計方法にて推計を行った法定普通税額に 75 分の 100 を乗じ、捕標準税収入額を求めた。2016 年から 2076 年までの佐土原地区内における標準税収入額の推移を図-44 に示す。

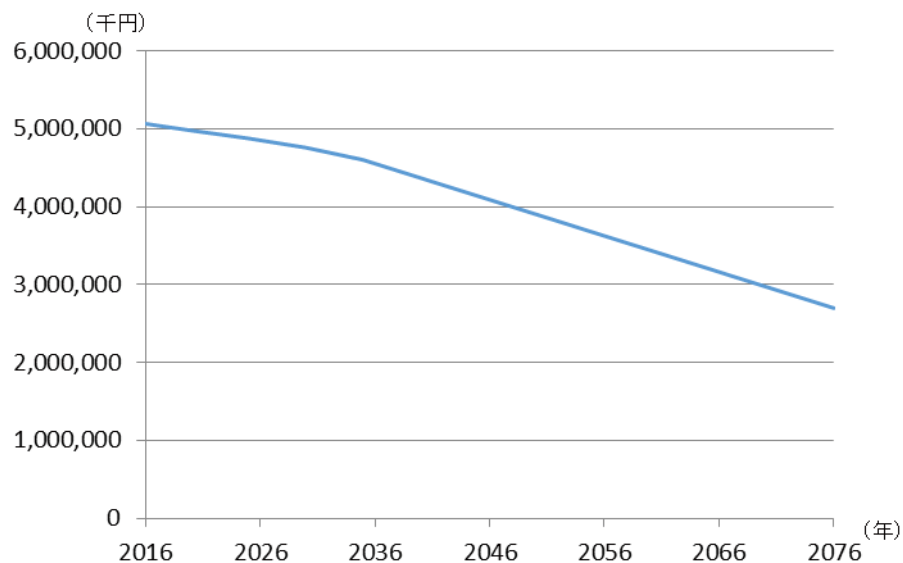


図-44 佐土原地区内における標準税収入額の推移

ここで求めた標準税収入額は、災害復旧国庫補助事業の国庫負担率算定時や激甚災害制度の適用時に用いられる。

激甚災害制度には本激・局激という 2 種類の指定制度があり、それぞれ以下に示すような指定基準がある。

○本激の査定例：公共土木施設災害復旧事業等に関する特別の財政援助の場合
公共施設災害復旧事業費等の査定見込額＞全国標準税収入×0.5%

○局激の査定例：公共土木施設災害復旧事業等に関する特別の財政援助の場合
当該市町村が負担する公共施設災害復旧事業費等の査定事業額＞当該市町村の標準税収入×50%

以上の例のような査定内容に合致した場合に激甚災害制度が適用される。
上記以外にも様々な事業に対して激甚災害制度は設定されており、大規模災害の場合はまとめて本激指定されることが多いが、局地的な土砂災害などの場合は市町村ごとの局激が指定されることも多い。

■宮崎市佐土原地区への現行国庫負担率の適用

以上求めた推計結果を用いて、宮崎市佐土原地区における防災集団移転事業における国庫負担率を災害発生前実施、災害発生後実施それぞれについて試算した。

災害発生前の事業実施に当たっては現行制度適用のうえ、特別交付税を加味し、制度適用後の地方負担額に 0.9 を乗じ、さらに 0.5 を乗じた額を国庫負担とした。

災害発生後の事業実施に関しては、復旧投資額と佐土原地区の標準税収入額より激甚災害制度が適用されると判断したため、災害復旧制度適用後の地方負担分に関しても、標準税収入額に応じて国庫負担とした。また、地方負担の残分についても 0.95 を乗じた値を交付税措置額として国庫負担に算入した。国と地方自治体の投資の負担割合と負担額をそれぞれ図-45 と表-12 に示す。

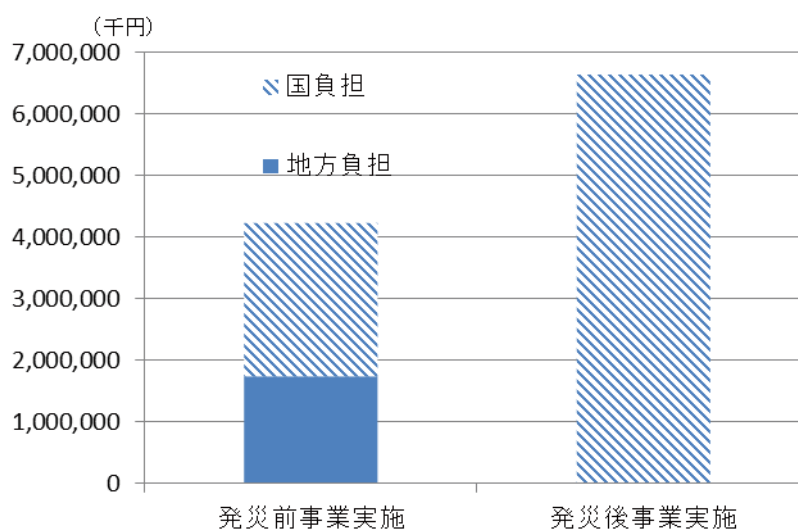


図-45 災害発生前後の防災集団移転事業の投資負担割合

表-12 災害発生前後における防災集団移転事業の投資額・投資負担割合

単位(千円)	災害発生前防災集団移転事業実施	災害発生後防災集団移転事業実施
地方自治体	1,720,073 (40.7%)	30,602 (0.5%)
国	2,508,615 (59.3%)	6,624,226 (99.5%)

図 23 と表 9 より、災害発生前後での地方自治体の負担額には大きな差があり、地方自治体としては災害発生後に災害復旧として事業を行った方が少ない投資で事業を実施できるため、この差こそが地方自治体の災害待ちを誘発していると考えられる。

③ 現行制度についての考察

■現行制度上の事業実施の実現性の検討

ii) で試算した国と地方自治体の負担割合で分かるように、地方自治体としては災害発生前に事業を実施することで多額の投資が必要となる。災害発生前の事業実施に伴う地方負担の投資額は 1,720,073 千円であるのに対し、2016 年度の宮崎市佐土原地区の標準税収入額は 5,133,624 千円である。本研究で算定している事業費は防災集団移転事業の中でもとくに公共施設の移転に要する費用が占める割合が高く、したがって、実際に移転を進めるとなるとさらに投資額は増えることが予想される。防災集団移転事業という 1 事業に対して標準税収入額の 4 割弱を投入するのは現実的に考えて不可能である。

前章までに災害発生前に防災集団移転を実施することが国と地方自治体が負担する投資総額を踏まえると妥当であることが明らかにできたが、現行制度のままでは地方自治体としては災害発生前に防災集団移転事業を実施することは非現実的である。

そこで、ここからは地方自治体の災害発生前の事業実施を促す国と地方自治体の投資負担割合について考察する。

■現行制度の問題点の整理

現行の算定基準では災害発生後の国庫負担率は 99.5%であり、一般公共事業や他の事業と比べても類を見ない値となっている。気候変動等で更なる災害増加が予期される今後において、全ての大規模災害に対して、このようなほとんど全額国費での災害復旧を実施することには限界があると考えられる。また、災害発生後の手厚い復旧制度が存在することで、地方自治体が防災対策事業の実施をためらう可能性は否定できない。しかし、災害発生前の防災対策事業において災害発生後と同水準まで国庫負担率を嵩上げすることは、それこそ国庫の現状を考えると現実的ではない。

そこで、本研究では主に災害発生後の国庫負担率を見直し、災害復旧事業での国庫負担率の引き下げを行うと仮定し、考察を行う。

一方、災害発生前の防災集団移転事業に関しては、現状の国庫負担率算定の際の合算限度の存在が国庫負担率を引き下げている要因となっている。前述したように、高知県や宮崎県をはじめとする南海トラフ地震津波浸水想定域の県知事会議から国に対して、合算限度廃止の政策提案書²⁾が提出され

ているような現状である。

そのため、本研究では防災集団移転促進事業での国庫負担率算定の際の合算限度の廃止も仮定に加え、考察を行うものとする。

考察を進めるうえでの仮定を整理する。

1. 災害発生前の事業について：防災集団移転事業での国庫負担率算定時の合算限度廃止
2. 災害発生後の事業について：災害復旧制度（激甚災害制度）での特別交付税の廃止

以上の 2 点の仮定より、災害発生前の事業に対しては国庫負担を増加させ、災害発生後の事業に対しては国庫負担を減少させることができる。これにより、地方自治体が災害発生前に事業を実施するような災害発生前後での国庫負担率が設定できるのではないかと期待される。

④ 最適な国庫負担率の考察

■災害発生前の事業についての検討

前節で述べた 1 つ目の仮定について考察する。現行の防災集団移転促進事業においては、防災のための集団移転促進事業に係る国の財政上の特別措置等に関する法律が制定されており、移転に要する費用の一部に対しての国庫補助が定められている。同法律の第七条に補助対象事業等についての記述があるが、それを抜粋して表にまとめたものを以下に示す。

表-13 防災集団移転促進事業の国庫補助の対象事業と補助率、合算限度額

条項	対象事業	補助率	合算限度額
第七条一号	用地取得・造成, 当該用地の取得・使用(造成)により生じる補償	3/4 (合算限度有)	(660(住宅に係る面積の場合 330)m ² ×戸数+要配慮者施設敷地)×20,500 円+補償費用
第七条二号	移転者の住宅の建設又は購入, 住宅用地の購入の自治体補助 ^{※1}	3/4 (合算限度有)	普通土壌地域の同号の移転者につき, 4,150,000 円(住宅 3,190,000 円 + 用地 960,000 円)
第七条三号	住宅団地に係る道路, 集会施設その他の政令で定める公共施設の整備費	3/4 (合算限度有)	3,198,000 円×戸数
第七条四号	移転促進区域内の農地等の買取りに要する経費	3/4	指定なし(対象経費は, 災害危険区域であることを勘定したうえでの地価×該当面積)
第七条五号	農林水産業に係る生産基盤の整備及びその近代化のための施設の整備で政令で定められた経費	3/4 (合算限度有)	1,243,000 円×戸数
第七条六号	移転者の住居の移転に対する補助に要する経費	3/4 (合算限度有)	802,000 円×移転者数

※合算限度額は土地区分(独立行政法人住宅金融支援機構の「マイホーム新築融資」における土地融資額の土地地域区分)に基づいて多少異なる。上記の表では宮崎市が e 地区に分類されることを踏まえ、e 地区における合算限度額を示している。

上表をみてわかるように、補助対象それぞれの経費に対して合算限度額が設けられている。その結果、制度上は 3/4 の国庫補助となっているが、筆者が行った今回の負担割合の試算においても事実上 2 割から 3 割の補助率となっている。前述した県知事会発行の政策提言書に記してある試算においても事実上 3 割程度の国庫負担になると試算されており、合算限度額が国庫負担率を大きく引き下げているのは間違いない。

そのため本項においては、合算限度額を廃止し、防災集団移転促進事業における 3/4 という補助率

そのまま試算を行った。結果が以下の図-46、表-14 である。

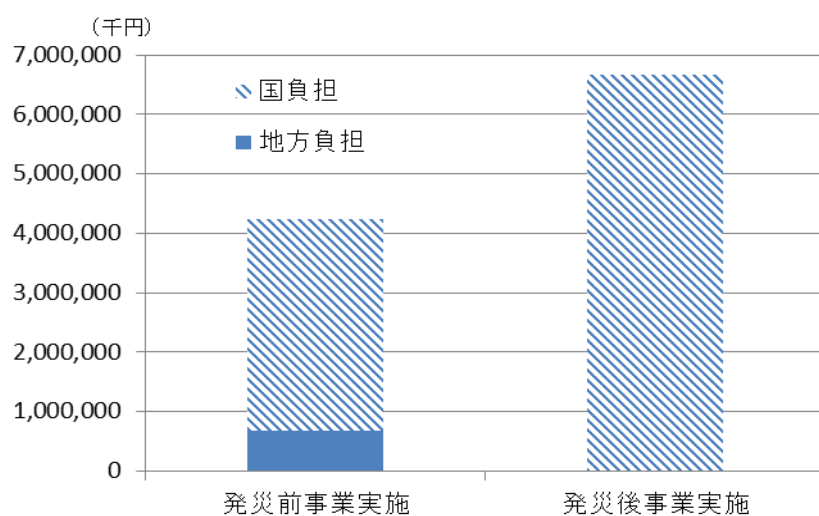


図-46 合算限度廃止後の災害前後の防災集団移転事業の投資負担割合

表-14 合算限度廃止後の災害発生前後の防災集団移転事業の投資額・投資負担割合

単位(千円)	災害発生前防災集団移転事業実施	災害発生後防災集団移転事業実施
地方自治体	674,150 (15.9%)	30,602 (0.5%)
国	3,554,538(84.1%)	6,624,226 (99.5%)

次に、合算限度の有無による災害発生前の防災集団移転事業の投資負担割合を比較した図を示す。

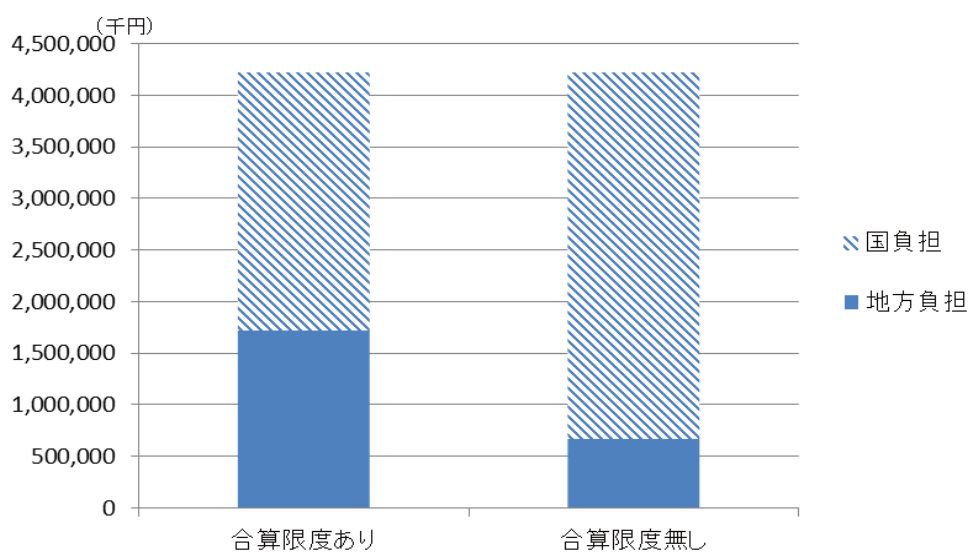


図-47 合算限度の有無による災害発生前の防災集団移転事業の投資負担割合

上表より、合算限度廃止前に比べ投資における地方自治体負担額はかなり小さくなっていることが分かる。金額にして 1,045,923 千円もの地方自治体負担が国庫負担へと移行したことになる。なお、災害発生前の国庫負担率が 3/4 よりも大きくなっているのは特別交付税によるものである。

なお、地方自治体負担が減ったぶん国庫負担は増加しているが、それでもなお災害発生後の災害復旧国庫補助事業で国が負担する投資よりかはるかに少額となるため、長い目で見ると国庫としても有益となっている。

■災害発生後の事業についての検討

現行制度では、以下の国土交通省作成の図に見られるように、災害復旧国庫補助事業においても地方自治体の実質的負担は 1.7%となっている。さらに、激甚災害に指定されるとこの 1.7%のうちほとんどが国庫負担になるため、現行制度では地方自治体はほとんど投資負担を負わずに災害復旧事業が行えるということになる。一方、国債が膨れ上がり続けている現在、東日本大震災の 5 年間の 27 兆円という災害復旧費用を踏まえても、このまま国庫負担のみで災害復旧を行っていくことには限界がある。また、災害発生前の防災対策事業実施における地方自治体負担をどれだけ減らしても、災害復旧における国庫負担が手厚すぎるのが、災害前の防災対策事業がなかなか進まない一因となっている。

そこで、本項では災害復旧制度における国庫負担率の見直しを行う。具体的には、災害復旧制度において特別交付税制度を廃止し、起債部分は全て地方負担とする。その場合に災害発生後の地方自治体負担投資、国庫負担投資がどれだけ変化するのか試算を行う。

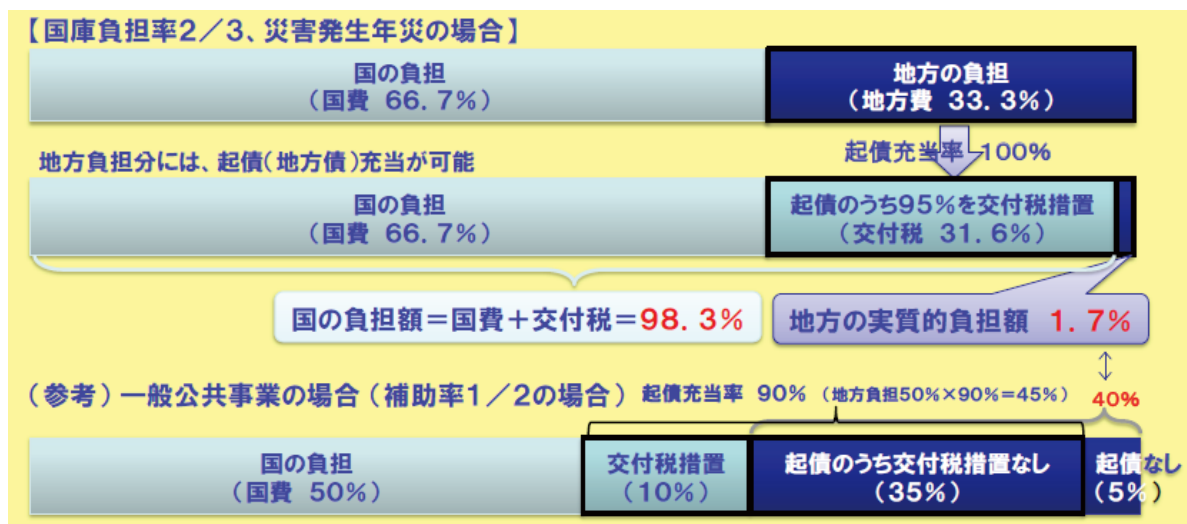


図-48 国土交通省作成¹⁶⁾災害復旧制度における事業費負担割合

災害復旧国庫補助制度における特別交付税制度を廃止した場合の試算結果が以下の図-49、表-15である。

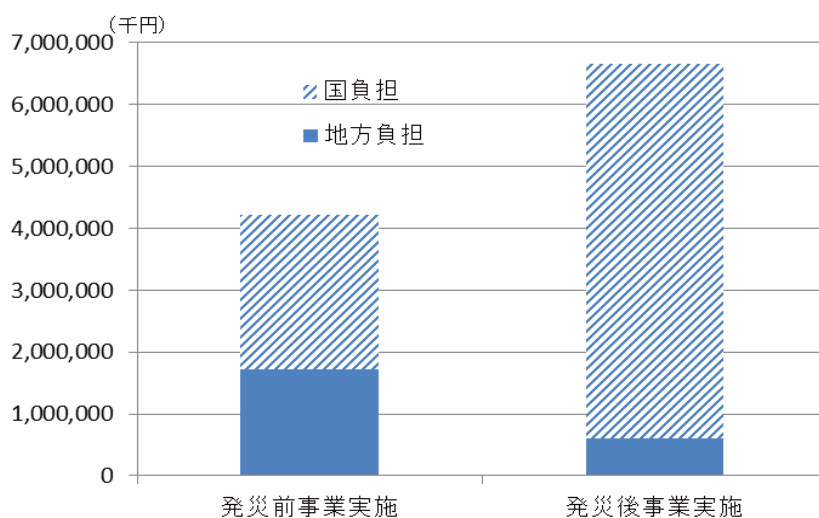


図-49 災害復旧制度の特別交付税廃止後の災害前後の防災集団移転事業の投資負担割合

表-15 災害復旧制度の特別交付税廃止後の災害発生前後の防災集団移転事業の投資額・負担割合

単位(千円)	災害発生前防災集団移転事業実施	災害発生後防災集団移転事業実施
地方自治体	1,720,073 (40.7%)	612,039 (9.2%)
国	2,508,615 (59.3%)	6,042,789 (90.8%)

次に、災害復旧制度の特別交付税の有無による災害発生前の防災集団移転事業の投資負担割合を比較した図を示す。

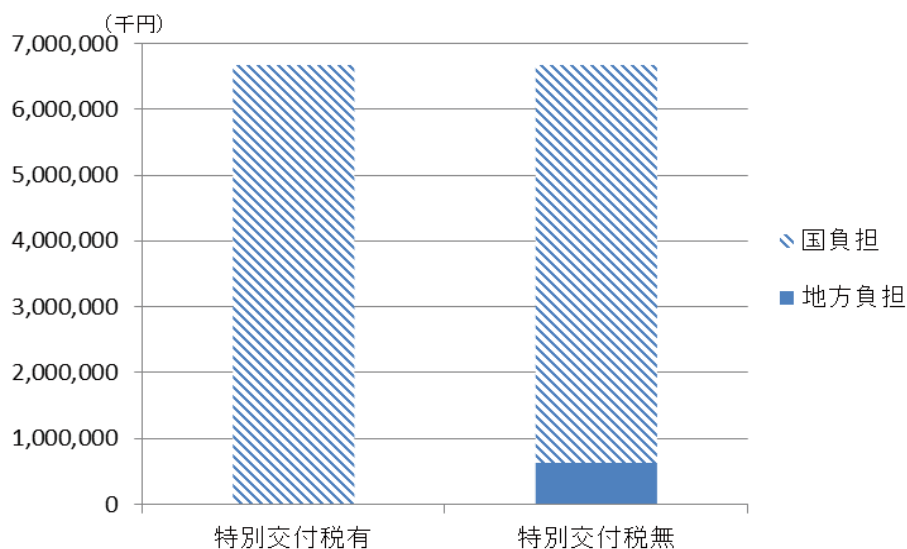


図-50 特別交付税の有無による災害発生前の防災集団移転事業の投資負担割合

示した図・表より、特別交付税を廃止することで投資の地方自治体負担を9%増加させる結果となった。割合では9%と小さいものの投資額では581,437千円となり、地方自治体としては大きな

負担を生む結果となった。災害復旧制度や激甚災害制度の国費算定方法は、対象自治体の標準税収入等を加味し、対象自治体の財力に応じた国費の配分を行っていると考えたため、本研究では地方負担の残分に対して一律交付している特別交付税を廃止した。これによって災害復旧においては、被災自治体の財力に応じた国庫負担率が定められ、国費による必要以上の手厚い支援はなされないのではないかと考えられる。

■最適な国庫負担率についてのまとめ

災害発生前後に発生する投資に関する事業者負担割合を議論してきた。本項ではそれらをまとめ、本研究における最適な国庫負担率を決定する。

防災集団移転促進事業における国費算定の際の合算限度廃止と、特別交付税の廃止について、その両方を仮定して試算した結果を以下に示す。

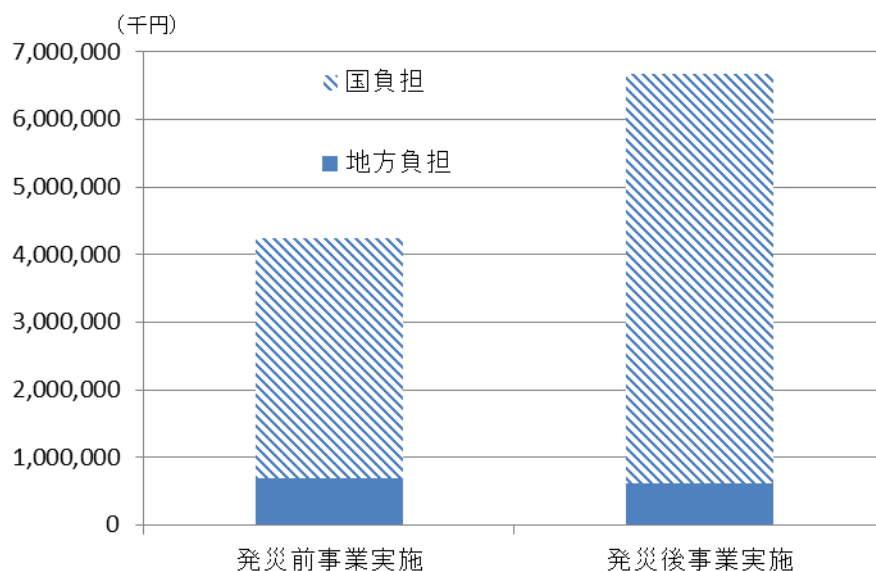


図-51 合算限度廃止・特別交付税廃止後の災害前後の防災集団移転事業の投資負担割合

表-16 合算限度廃止・特別交付税廃止後の災害発生前後の防災集団移転事業の投資額・負担割合

単位(千円)	災害発生前防災集団移転事業実施	災害発生後防災集団移転事業実施
地方自治体	674,150 (15.9%)	612,039 (9.2%)
国	3,554,538 (84.1%)	6,042,789 (90.8%)

防災集団移転即試飲事業の国費算定の際の合算限度、災害復旧国庫補助事業の際の特別交付税をそれぞれ廃止した結果、災害発生前に防災集団移転事業を実施する場合と災害発生後に実施する場合では、地方負担の投資の差はおよそ 50,000 千円になることがわかった。つまり、地方自治体としてはいずれにしろ災害発生後に事業を実施した方が投資は抑えられるという結果になった。しかし、災害発生前後での投資の差はおよそ 50,000 千円にまで抑えることができ、佐土原地区の 2016 年の標準税収入額は 5,133,624 千円であるので、この額はその 100 分の 1 という微々たる差である。災害発生前の防災集団移転事業による地震・津波被害の軽減等を踏まえると、これは地方自治体にとつ

でも十分に事業実施の妥当性があると考えられる。

よって本研究において仮定した、防災集団移転即試飲事業の国費算定の際の合算限度の廃止、災害復旧国庫補助事業の際の特別交付税の廃止という 2 つの点に基づいて国庫補助率を見直した結果、地方自治体にとって災害発生前に防災集団移転事業を行うことが妥当となる事業者負担割合が実現できたといえる。

vi) 結論

① 得られた知見

本研究では、防災対策事業の中でも防災集団移転事業を対象とし、宮崎県宮崎市佐土原地区の南海トラフ地震津波浸水想定区域に含まれる建物の防災集団移転事業について、以下の 2 つの仮説を検証した。

1つ目の仮説は「津波浸水想定区域における防災集団移転事業について、発災後に移転を行う、つまり被災後に仮設住宅の整備等も行いつつ移転を行う際の投資額 C_{after} と、発災前に順次移転を行う際の C_{before} に対して、社会的割引率を適用したのちも $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する」であり、地震の発生確率を考慮しつつ事業実施の時機も求めた。

2つ目の仮説は「災害前後の事業投資における国庫負担率を調整したうえで災害前の防災対策事業を実施することで、災害後の復旧事業実施の場合よりも国・地方自治体ともに費用的に利がある」である。

検証結果として、1つ目の仮説「津波浸水想定区域における防災集団移転事業について、発災後に移転を行う際の投資額 C_{after} と、発災前に順次移転を行う際の C_{before} に対して、社会的割引率を適用したのちも $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する」は、地震の発生年次よりも 13 年前より後に事前の移転を行った際には真であることが明らかになった。それ以外の時期に事前の防災集団移転を行った場合では偽という結果となった。

一方、南海トラフ地震の発生確率を考慮した場合の事業の実実施時機については 2 つの方法で算出した。1 つ目は投資期待値を用いる方法で、その結果、2026 年に防災集団移転事業を行う場合に最も投資期待値は小さくなる、つまり移転の実実施時機は 2026 年であることが分かった。2 つ目は 2016 年から 2076 年までの 60 年間に発生する総費用で比較を行う方法で、ある年に事業を行った際に、総投資としての $C_{\text{after}} > \text{総投資としての } C_{\text{before}}$ が成立する確率をそれぞれの事業実施年について求める方法で、その結果 2024 年に防災集団移転事業を実施した場合に最も確率が高くなることが分かった。

次に、2 つ目の仮説について「災害前後の事業投資における国庫負担率を調整したうえで災害前の防災対策事業を実施することで、災害後の復旧事業実施の場合よりも国・地方自治体ともに費用的に利がある」ことは明らかにはできなかった。しかし、「災害発生前の事業について、防災集団移転事業での国庫負担率算定時の合算限度廃止」と「災害発生後の事業について、災害復旧制度（激甚災害制度）での特別交付税の廃止」という 2 点について制度見直しを図ることで、災害発生前後での地方自治体負担の投資の差は、同地区の標準税収入額と比較しても 100 分の 1 ほどのおよそ 50,000 千円に抑えられ、地方自治体にとっても災害発生前の事業実施の妥当性が認められ得る結果が得られた。

以上 2 つの仮説の検証とそれに付随する試算を経た結果、災害発生前の防災対策事業実施が国と地方が負担する総投資としては妥当となること、特に南海トラフ地震のような切迫災害においては

事業実施の時機が迫りつつあること、しかし地方自治体にとって災害発生前の事業実施のためには現行制度の改革、特に防災集団移転促進事業では国庫負担率算定の際の合算限度額廃止、また災害発生後の災害復旧制度における国庫負担の緩和等の措置が必要であることが知見として得られた。

② 今後の課題

今後の課題として、本研究では国と地方自治体が負担する投資のみを対象として試算を行ったが、防災対策事業実施のキーパーソンである住民が負担する投資も含めた事業実施の実施時機を求めることが必要となる。また、住民にとって移転を促されるような新たな制度の見直しも必要となる。

(3) 都市・地域縮退戦略の環境政策への貢献

(2) のケーススタディを通じて導出した望ましい都市・地域構造を実現するために、必要となる縮退戦略(スマート・シュリンキング)シナリオを政策立案者との協働を通して検討した。ここでは、低炭素化とともに地域幸福度向上、維持費用削減、災害への強靱性確保を合わせたコベネフィットを最大化し、人口減少下でも「サステイナブル」で「レジリエント」となるような都市・地域を幅広い合意形成によって実現することに資する方法論を提供した。最終的には、方法論を運用者である自治体との意見交換を通してガイドラインを策定し、政策立案者が利用可能なハンドブックを100部程度作成した。また、本ハンドブック及び研究成果を活用して自治体職員等を対象に講習会を開催した。さらに研究成果の一部を学会誌 *Hydrological Research Letters* 等で発表の予定である。

4-2-2 3年間の研究を通じて得られた成果

(1) 都市・地域の縮退戦略と低炭素化に関する研究・政策レビュー

本研究において最も根本的な評価概念となる「QOL」について、国内外の関連研究等を網羅的にレビューすることで系譜図を作成し、その定量評価手法について理論的な見直しを図るとともに、プロジェクト評価への適用に配慮したモデルを再構築した。

(a) 欧州の衰退都市における都市発展計画と環境政策の事例調査

欧州では日本に先立って経済成熟(後退)や人口減少が進んだ都市・地域が多くあり、地域政策の評価概念としてQOL向上や低炭素化を導入している例が見られる。そこで、ドイツの諸都市などを対象に、都市衰退に対してどのように目標を修正し都市・環境政策を変更していったかについて、合意形成プロセスや具体的な政策評価手法を中心に現地・資料調査及び自治体へのヒアリング等を通して事例調査を実施した。

表-17 日独指標比較

	日本	ドイツ
面積（万平方キロ）	38.0 (1.0)	35.7 (0.94)
人口（百万人）	127 (1.0)	81 (0.63)
高齢化比率（％）	23.0 (1.0)	20.8 (0.90)
購買力平価換算 GDP/cap.（千\$）	36.7 (1.0)	43.5 (1.19)
年間平均総労働時間	1,745 (1.0)	1,397 (0.80)
犯罪被害者人口比 （％）	9.9 (1.0)	13.1 (1.32)
外国生まれ人口比 （％）	1.1 (1.0)	13.1 (11.9)

（出典）<http://diamond.jp/articles/-/68653>

i) 調査対象都市の概要

本調査で対象とした都市の特徴は以下の通りである。

✓ ワイマール

ワイマール市は Thuringia（東ドイツ）に位置し、面積は 84.42 km²（約 10km x 8.4km）である。Bauhaus 運動（1919）が有名で、文化的都市として知られている。1945 年には第二次世界大戦で市街地が壊滅的な被害を受け、住宅の不足、市街地の消失がすすみ、毎月 1,000 人もの人口流出があった。1990 年のドイツ統合後は、最初の財政援助を受け、都市の再生がすすんだ。近隣の 11 の村が統合され、交通、農業、旧市街地の再生が行われた。そして 1996 年にはバウハウスが、1998 年には旧市街地が UNESCO 世界遺産に選定され、1999 年にはヨーロッパ文化都市として指定されている。2015 年現在では 64,000 人の人口（学生が 5,000 人）を抱え、2005 年には 20%だった失業率が 2013 年には 8%まで回復した。人口 1 人あたりの面積は 41m²であり十分な住居面積を有しているが、近年では他のドイツ都市と同様、難民問題（13 人/週）に直面している。現在は 2030 年に向けたマスタープランが運用されている。

ワイマール市はリノベーション補助を最大 30%負担しており、住環境の保全・再生に力を入れている。西部ニュータウン地区（1960 年代に開発）には、全人口の約 33%が居住しているが、70 m²で月 6 万円という低家賃も相まって（テラスハウスエリアでは 1,200 ユーロ/月）、人気が高く新規居住は非常に困難な状況となっている（受け入れに 2～3 年）。ニュータウンの中央部は、Green space となっており、子供からお年寄りまでの癒し・コミュニティの場として機能しており、その住環境は高い。

一方、市内の高級住宅街では、固定資産税があまりかからないため日本と比較して場所の移動があまりおこっておらず、リノベーションへの対応などはオーナーに依存している。



図-52 ワイマール市内の様子（上：ニュータウン，下：高級住宅街）

✓ ドレスデン

ドレスデンは、ドイツの戦災復興の代表都市であり、1945年の連合軍による爆撃により、35,000人が亡くなり、市街地の90%が破壊された。人口のピークは1933年の649,252人だったが、1946年には450,000人まで減少し、2010年の人口は523,058人となっている。近年、旧市街地の歴史的建造物は再生が進んでいる。人口減少が少ないため、空家問題には関心が低い一方で、生活の質や緑地、生物多様性等への関心は高い。



破壊された市街地



市街地模型（白：既存，茶：計画）



改修されたプレハブ形式の集合住宅（高さは5階建まで）

✓ ライプチヒ

Leipzigは急激な人口変化を経験しており、1933年は710,000人だったものが1999年には440,000人まで減少した。しかし2010以降に急激に人口が増加し（1999年から2000年に50,000人の人口増加）、リノベーションの必要性が増加した。その背景には社会的問題として移民の流入、政策的課題として雇用の増進、都市計画的な課題として住宅の確保が挙げられ、ドレスデンとは対照的な事例であると言える。

ライプチヒに人口変動の歴史は大きく以下の5つに区分される。

① 第二次世界大戦期

北部や東部に発達した工業都市への人口流出が進む。

② 漸減期

人々がより魅力的な住環境を求めたため、住環境悪化が進む。

③ ドイツ統合期

1989年から1998年にかけて、100,000人(20%)が西ドイツへ流出した。工業の衰退によって90,000もの職が失われ、その結果出生率は0.77まで落ち込み、出生数より死亡数が20,000人超過した。

④ 再都市化期

1999年に周辺の小州が統合され、西ドイツの財政投資が行われ（表2）、民間部門の開発が進んだ。

⑤ 漸増期

低額な居住コストによって人口流入が進み、Porsche, BMW, DHL, Amazonといった主要企業が立地した。

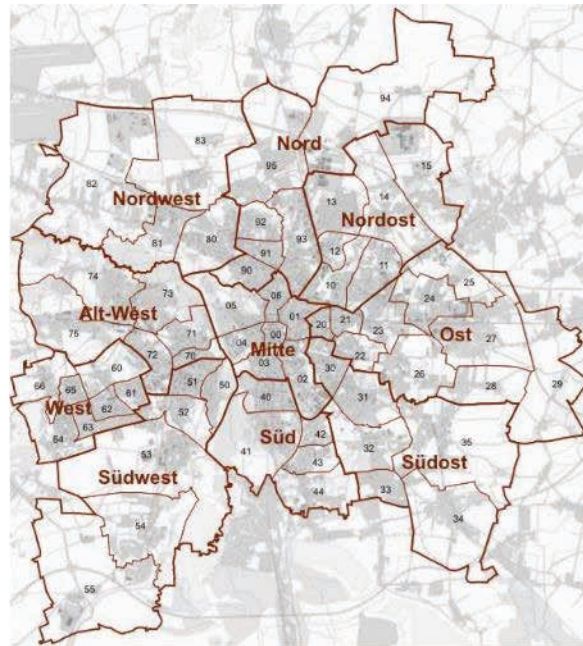


図-53 ライプチヒの地図

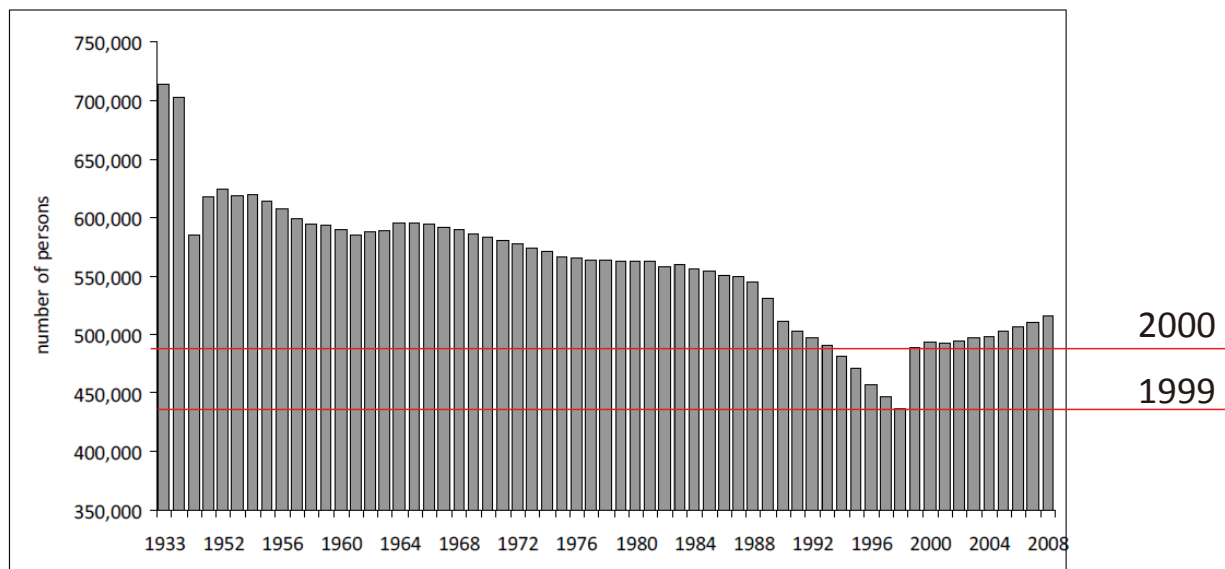


図-54 ライプチヒの人口

✓ ドルトムント

ドルトムントはドイツ西部、ルール工業地帯に位置している人口 58 万の都市である。かつての工業地帯として知られるルール地方の代表的な都市として栄えたが、産業の構造変化によって衰退し、現在はハイテク産業や第三次産業に力を入れており、都市再生事例として先進的な都市である。

✓ フライブルク

フライブルクは、ドイツ南西端のフランスとスイス国境に近い人口 23 万人の都市。人口の一割以上 2.5 万人が大学生という、学園都市でもある。環境政策に先進的な取り組みが評価されて、1992

年にドイツ環境協会が行った自治体コンクールで最高点を獲得し、「環境首都」として表彰された。

ヴォーバン地区はフライブルク都心から 3 km 南に位置する面積 41 ha に約 2 千世帯、6 千人が暮らす住宅地。第二次世界大戦中にドイツ軍の兵舎が置かれていたが、戦後フランス軍によって接収されて基地が置かれていた。現地名は、フランス軍が基地の名前に用いたフランス人の著名な軍事戦略家 Vauban (1633-1707) にちなんでいる。

1990 年に東西ドイツが再統一されると、1992 年にはフランス軍が撤収し、土地はドイツ政府に返還された。1994 年にフライブルク市が政府から土地を取得して、1997 年から環境に配慮した街づくりが進められている。

ii) 平成 27 年度 調査

① 調査概要

平成 27 年度はドイツのワイマール、ライプチヒを対象に、都市衰退に対してどのように目標を修正し都市・環境政策を変更していったかについて、合意形成プロセスや具体的な政策評価手法を中心に現地・資料調査及び自治体へのヒアリング等を通して事例調査を実施した。調査は 2015 年 10 月 10 日から 18 日の日程で実施した。調査対象地、調査行程を下に示す。

表-18 ドイツ調査行程

10 月 10 日	○名大・九大合流 ○翌日の打ち合わせに向けた準備
10 月 11 日	○ワイマール市内を視察（バウハウス博物館等） ○バウハウス大学 Uwe 先生と共に、ワイマールの住宅地・ニュータウン・歴史等の調査・ヒアリング
10 月 12 日	○バウハウス大学にて、Uwe 先生とアンケートについて打ち合わせ ○ワイマール市役所都市局の方と、都市計画、都市課題、今後について協議 ○ヘルムホルツ環境研究センター Rink 先生と、ライプチヒの変遷と都市課題について協議（第 5 章）
10 月 13 日	○ライプチヒ市内の衰退地域を視察 ○「日本の家」大谷さんと、ライプチヒの再開発の現状、再生に向けた取り組みについて協議（第 7 章）
10 月 14 日	○ライプチヒ市内の衰退地域を視察 ○アンケート内容の修正・訂正（アンケート内容は別紙参照）
10 月 15 日	○ライプチヒ市内の衰退地域を視察 ○ライプチヒ市内（駅構内・公園）で、アンケート実施
10 月 16 日	○ライプチヒからワイマールへ移動 ○ワイマール市内（駅構内・公園）で、アンケート調査 ○ワイマールからエアフルトへ移動（宿泊地）
10 月 17 日	○エアフルトからライプチヒへ移動 ○「日本の家」でアンケート調査

	○ライプチヒからエアフルトへ移動
10月18日	○エアフルトからフランクフルトへ移動 ○フランクフルト市内を視察



図-55 調査の様子

② 調査結果

✓ Rink 先生へのヒアリング

今回の視察ではヘルムホルツ環境研究センターRink 氏へヒアリングを実施した。その内容は以下の通りである。

- ・ライプチヒに再生は強固な戦略によって実施されている。
- ・ドイツ統合後、東側ドイツの発展の必要性が認識された。
- ・ライプチヒの3分の1の職業が工業関連であり、3分の1が専門性を必要としないもの、残り3分の1が一般職である。
- ・ライプチヒは高い技能を必要とする仕事が発展しないだろう。
- ・ライプチヒの住居費は手ごろで魅力的なまま維持されるだろう。
- ・人口の9%は外国人である。

また提案として下記の事項が挙げられた。

- ・ライプチヒの役割はドイツ国内の発展した都市へ工業の労働力を供給することにある。
- ・ライプチヒは難民を受け入れる役割を有している。
- ・ライプチヒ成功は明らかに資金融資によるものである。

✓ 各エリアの再生の状況

ライプチヒ市では主にグリューナウ地区（ライプチヒ南西部）とアイゼバーン通り（ライプチヒ駅より東へ2km）において都市再生の状況について調査を実施した（図）。

① グリューナウ地区（ライプチヒ南西部）

築年数が古い住宅エリアとして有名であり、高齢化率が他の地区と比較して増加傾向にある（外付けでエレベーターを付けている建物も見られた）。外観は廃れているものの、ストックや周辺環境の状況が良く、リノベーションをかけることで今後、多くの人々に受け入れられ住宅エリアになると考えられる。

② アイゼバーン通り（ライプチヒ駅より東へ2km）

建物の劣化により、居住不能になっている建物も多く見られた（落書き・ガラス割等）。一方で、リノベーションが盛んに行われており、人口が微増傾向にある（リノベーションが行われている建築物とそうでない建物が混在している状況）。ドイツ人に限らず、多種多様な国籍の方が住んでいる地域（難民の受け皿として機能）。



図-56 ライプチヒでの調査箇所



図-57 グリューナウ地区（ライプチヒ南西部）の様子



図-58 アイゼバーン通り（ライプチヒ駅より東へ 2km）の様子

✓ NPO へのヒアリング及び活動に関する調査

ライプチヒでは「日本の家」と「ハウスハルテン」という空家再生を目的とした NPO が活動しており、これらの NPO へのヒアリング及び活動内容に関する調査を実施した。

「日本の家」は空家のリノベーションのための創造的なアイデアの創出を理念としており、2011 年に設立された。このプロジェクトは地方都市であるライプチヒでの自主的なリノベーションを目指しており、空家を活用した日本食パーティーや地域祭り、日本文化ワークショップ等を開催している。その目的は“Use of the bottom-up type lots , vacant house by the citizen”の相互学習である。



図-59 「日本の家」の様子

一方“ハウスハルテン”は住居の仲介や管理を行う NPO であり、その方針は“Interim use of vacant houses”である。ユーザーがメンテナンスを行うことで、その建物のオーナーはメンテナンスコストを抑えることができるというメリットがあり、ユーザーはレンタルコスト無しにそのフリースペースを使用することができるメリットがある。ハウスハルテンはその仲介役として機能し、B-plan または f-plan の不十分なところを補う役割を担っており、かつ地域の人々のセイフティネットワークとしても機能している。リノベーションや取り壊しの費用は 50%を財団が残り 50%をオーナーが支払うことになっており、個人によるリノベーションに使用する材料費の半分は市が負担している。



図-60 「ハウスハルテン」の様子

✓ ワイマール市都市局へのヒアリング

今回の調査ではワイマール市都市局へヒアリングを実施した。

ワイマールは明確の都市開発方針を有しており、その内容は以下の通りである。

「住宅政策は、『屋根』を提供することが目的ではありません。それによって生み出される『雰囲気 (atmosphere)』こそが重要なのです。ワイマールは人々にとって美しく、文化度の高い都市です。合わせて、観光や交通、企業活動に対しても親切で健全な都市である必要があります。気候変動や社会的格差などへの速やかな対処も必要です。これらがワイマールの『都市の精神 (the Soul of this City)』です。すべての都市は『精神』を持っています。そして都市プランナーの仕事はこの『精神』

を読み取り，理解することにあります。」

“Tradition heißt nicht, die Asche zu bewahren, sondern das Feuer weiterzureichen.“

Tradition means to keep the fire burning and not preserving the ash.

また，将来人口に関する方針として，「現在の人口は 64,000 人でありこれは適切な人口サイズである．私たちはこれ以上の増加は望まない．都市再生のアプローチは財政の増加よりも QoL（特に個人の住居面積）を都市の価値として捉えて実施している」とのことだった．また均一的な建物スタイルを維持するための規制としては「Regulation includes concept, colours, lines, material, etc. The main decision will be competition between professional architectures to get the rights in building or refurnishing the stock in Weimar's city center.」と述べ，一定の規制を設けながら建築家の競争を促す方針を持っている．税制優遇，財産税，所得税に関しては「Owner will definitely get supports upon request for assistance. If the scale is big, there will be subsidies from Germany government and the city will provide minimum of 30% as well. The figures for the former one are not disclosed.」との回答であった．さらに都市再生の資金に関しては，「Weimar receive a huge portion directly from the government (West Germany)」と，その多くを政府からの融資に頼っているとのことであった．



図-61 ワイマール市都市局でのヒアリングの様子

✓ 本調査による得られた QoL モデルの改良方針

以上のように，都市再生に向けてはただ単に住居そのものの供給を行うのではなく，住居とそれを取り囲む住環境（atmosphere）の再生が重要であり，かつその実施に向けては市民参加を行うことでのコミュニティ強化など，空間的・社会的コベネフィットを戦略的に生み出すことが重要であると言える．

現在の QoL モデルは交通利便性，住居快適性，災害安全性の 3 要素からなる「生活環境質向上機会（Life Prospects: LPs）」を定義し，この LPs に居住者の価値観を表す重みを乗じたものとして計測されている．しかし今回の調査を通して，既存のモデルに対して，主に緑地，街区の統一性，建物の高さ，色彩，建物の配列，そしてリノベーションを考慮する必要があることが示唆され，さらにリノベーションについては経時的な積分値としてコストと QoL を評価する必要があることが示されたと言える．（図 14）

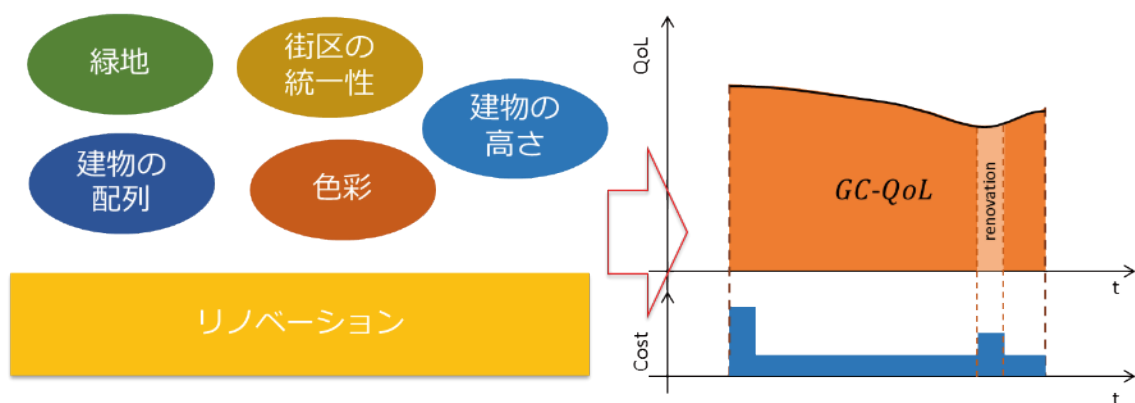


図-62 QoL モデルの改良方針

iii) 平成 28 年度 調査

① 調査概要

- ・調査都市：ドレスデン、ライプチヒ
- ・調査日程：2016 年 5 月 14 日～24 日
- ・調査スケジュール：

2016 年 5 月

14 日(土)日本発，①ベルリン着

15 日(日)①ベルリン調査，

①ドレスデンに移動②

16 日(月)②ドレスデン調査

17 日(火)②ライプニッツ研究所訪問

18 日(水)②ライプチヒに移動③

③ホルムヘルツ研究所訪問

19 日(木)③OECD の ITF に出席

20 日(金)③ライプチヒ調査

21 日(土)③ライプチヒ発①ベルリン経由

22 日(日)日本着



図-63 調査箇所



ライプニッツ研究所でのワークショップの様子（１７日、ドレスデン）



ホルムヘルツ研究所での研究打合せの様子（１８日、ライプチヒ）

② 調査結果

✓ ドレスデン郊外の住宅団地再生

- ・ 東独時代の住宅団地が再生され、魅力的な街に変化
- － デザイナブル、バルコニー・エレベーターを新しく設置
- ・ 利便性、自然環境、多世代のライフスタイルそして持続性の確保に成功
- － 老人ケア施設を団地の１階に設置
- － 新たな幼稚園を設置→若い世代の家族にとって魅力的
- 一方、中心街では幼稚園が不足（老朽化が進む）
- － 若者向けのセンター施設を設置
- 映画館、学習施設、スポーツ施設など
- － その他の施設でもユニバーサルデザインが普及



新設された幼稚園



高齢者向け施設



再生された団地

✓ ライプチヒ郊外の住宅団地再生

- ライプチヒの郊外グリユナウ
 - 都心から西方約 10km.
 - 電車(s-bahn) , 路面電車, バスの三種類の公共交通手段.
 - グリユナウ北部
 - 昨年訪問したグリユナウ南部とは違い, 再生事業が順調に進んで概ね完成.
 - ドレスデンのニュータウンと同様に, カラフルな外装, 幼稚園, エレベータ, 緑に特徴.
 - ライプチヒ中心部への高いアクセシビリティ (10 分毎の列車便)
 - 高度に持続可能な都市づくりへの取組み
- 病院, ショッピングセンター, 学校が環状バスで結ばれていた.



カラフルな外装とエレベータ



リノベーション前後の対比



バルコニー新設工事中

✓ ライプチヒ新湖沼開発

1981 -1992 年，過度な露天掘りによる褐炭採掘

1990 年，共産主義政権の終焉による市民主権の復活

1991 年，炭坑跡に水を溜めてレジャー・スポーツの場に再生する計画が策定される

2000 年 6 月，初の炭坑跡湖となるコスプーデン湖が完成

現在では最も人気のあるライプチヒ・ノイゼーンラントの湖には，年間約 5 0 万人の訪問客がある

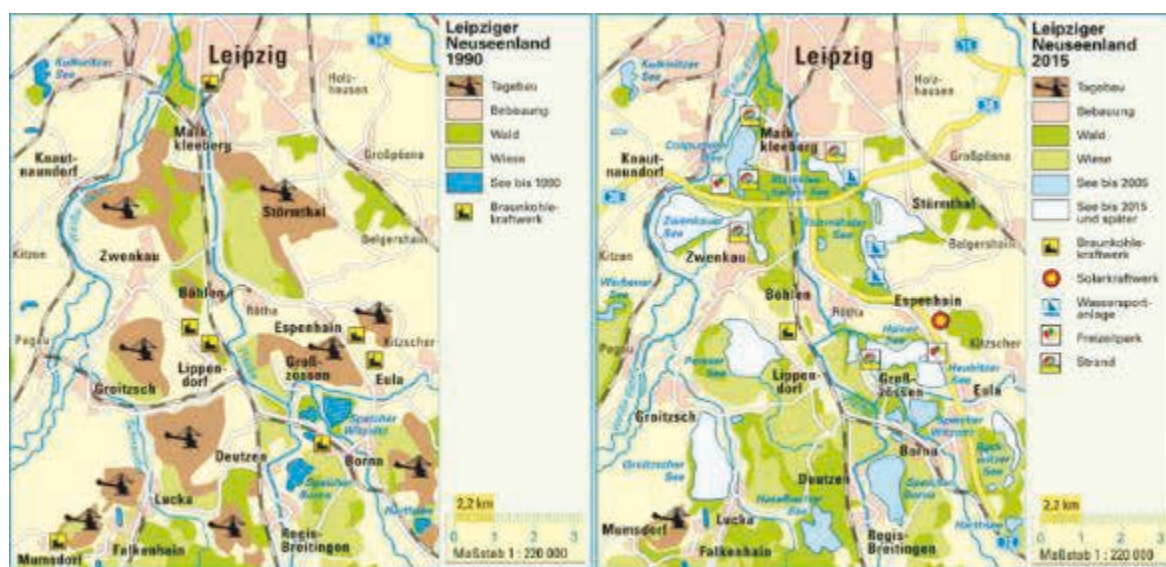


図-64 炭坑跡と再生前後の地図

iv) 平成 29 年度調査

① 調査概要

日程： 2017/05/25 (木) ～06/03 (土)

調査地：ドルトムント，ドレスデン，フライブルク

調査行程：

年月日	行程	用務先／用務内容
2017.5.2 (木)		移動日

2017.5.2 (金)	①ドルトムント調査 (中心部) ドルトムント市内泊 (2泊目)	①ドルトムント調査 Wegener 教授の案内で中心部を調査／研究打合せ
2017.5.2 (土)	②ドルトムント調査 (その他) ドルトムント市内泊 (3泊目)	②ドルトムント調査 Wegener 教授の案内で市内各所の開発を調査
2017.5.2 (日)	鉄道：ドルトムント駅⇒ドレスデン中央駅 ③ドレスデン市内調査 ドレスデン市内泊 (4泊目)	③ドレスデン市内調査 住宅団地 (Gorbitz ほか) の調査
2017.5.2 (月)	④ライプニッツ研究所訪問 ドレスデン市内泊 (4泊目)	④ライプニッツ研究所訪問 Mueller 教授 (所長) ほかと研究打合せ
2017.5.3 (火) ～6.1 (木)	鉄道：ドレスデン中央駅⇒フライブルク駅 ⑤フライブルク市内調査 フライブルク市内泊 (5～7泊目)	⑤フライブルク市内調査 5.30 (火) Breisgau 駅周辺調査 5.31 (水) 旧市街&新市街地調査 6.1 (木) Vauban 団地調査
2017.6.2 (金) ～6.3 (土)	⑥フライブルク市内調査 鉄道：フライブルク駅⇒フランクフルト空港 機内泊 (8泊目)	⑥フライブルク市内調査 6.2 (金) Breisgau 駅周辺調査 6.3 (土) 移動日

② ドイツ諸都市の調査結果

- ✓ ドルトムント市及び Wegener 教授とのワークショップ及び視察

German Participants

Dr. Michael Wegener, Dr Ing Claudia Keidies (Official, Economic Promotion, City of Dortmund),

Mr Stefan Tegethoff (Official, Planning Department, City of Dortmund)

Meeting report

Dr Wegener welcomed the Japanese delegation to the institute and the session was started with a presentation on the city of Dortmund titled “Dortmund: The End of the Industrial city”. The presentation laid the base of for the city of Dortmund and explained the evolution of the city and the Ruhr area from the middle ages to the industrial age. Dortmund was an industrial city with importance to coal mining and steel factories near to the inner city. Dr Wegener explained how with the decline of the industries and the closure of mines and large number of factories led to

gradual economic and urban degradation of the city. Dr Keidies gave her presentation on “Dortmund: Story of Success” and gave an overall view into how the city developed strategies to overcome the economic decline and make Dortmund successful. The urban renewal project to renew the city was undertaken through three main themes, namely information technology, logistics and micro and nanotechnology. She explained how the themes revolved around focus areas of innovation, skill, people, infrastructure, environment and capital. She explained how the a knowledge cluster-“Wissenskirne”, consisting of renewable energy, information technology, sport, life sciences, technology production, data mining and logistics was identified and developed to create more jobs, attract more residents and improve the city was taken up. Dr Keidies presentation on the economic strategies of the city, made way for Mr Tegethoff’s presentation on “Structural Change in Dortmund – the Spatial Dimension”. This presentation focussed on the various brownfield urban developments that was taken up the city to revitalise the disused district centres and former industrial sites. Various examples were elucidated through before and after situations. Some of the examples that were highlighted were Project Nordwarts, Project Phoenix, Horde, Westfallenhutte, Rheinische strabe, Luisengluck, etc. Most of these sites were included in the city tour that was scheduled for the next day so that a better understanding on the ongoing redevelopment process. The presentations by the German participants was followed by a presentation by Prof. Yoshitsugu Hayashi, where he presented his work on Quality of Life (QoL) in urban areas and the significance it draws for urban areas and the citizens living in these areas. The methodology and the outcomes was demonstrated through the case study of Singapore city. The last presentation was given by Ms. Sangeetha Ann on “Quality of Life comparative study between Germany and Japan” where the QoL results for the city of Dortmund was presented for remarks by the Dortmund planning experts. The workshop session ended with a question and answer session between the participants.



✓ ライプニッツ研究所とのワークショップ

German Participants

Dr. Bernhard Müller (Director), Dr.-Eng. habil Regine Ortlepp (Specialist in Environmental Risks in Urban and Regional Development), Prof. Dr. Gerold Janssen (Specialist in Strategic Issues and Perspectives), Dr. Juliane Mathey (Specialist in Landscape Change and Management), Dr. Marco Neubert (Specialist in Environmental Risks in Urban and Regional Development), Dr.-Eng. Georg Schiller (Specialist in Resource Efficiency of Settlement Structure)

Meeting report

Dr Bernhard Muller gave a warm welcome to the Japanese delegates and gave a short presentation about the activities of the Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development. The floor was then opened up for the Japanese delegates to showcase their research activities to find synergy with the activities of the researchers at Leibniz Institute. Prof. Yoshitsugu Hayashi presented his research activities on Quality of Life (QoL) in urban areas and the significance it draws for urban areas and the citizens living in these areas. The next presentation was given was given by Ms. Sangeetha Ann on the “Quality of Life comparative study between Germany and Japan”. In the presentation, the QoL mapping results for the German cities of Dresden and Dortmund and for the city of Nagoya was exhibited. The presentation was followed by discussions around the table, where it was advised how various elements to life differed in Germany and Japan and therefore some new elements like the cultural side also need to looked into, especially when analysing QoL in German cities. The next presentation was given by Dr. Shinichiro Nakamura on the topic “Needs of integrated water-land-network research in Asia”. The presentation elucidated the flood management strategies adopted in Japan and its evolution over time. It was very interesting to the German counterparts to know that most of the land on the banks of the rivers in Tokyo were below the average water levels and at very high risk to flooding in event of any dyke damage. The last presentation was delivered by Asst.Prof. Noriyasu Kachi on the “Consideration on disaster recovery system to improve resilience of frequent-landslide dangerous area”. The presentation focused on how relocation sites were chosen for settlements under risk located on the landslide prone areas.

The presentations were followed by discussions between the German and Japanese delegates. The German researchers commented on each of the research work presented and drew out their topics of interest. Potential links were drawn to their current research topics and the possibility of collaborative research and data sharing were deliberated. The possibility of using video conferencing facilities for continued and frequent communication between the two circles of researchers was welcomed. The workshop session was concluded on a positive note for collaborative research with remarks by Prof Hayashi and Dr Muller.



③ フライブルク市内の調査

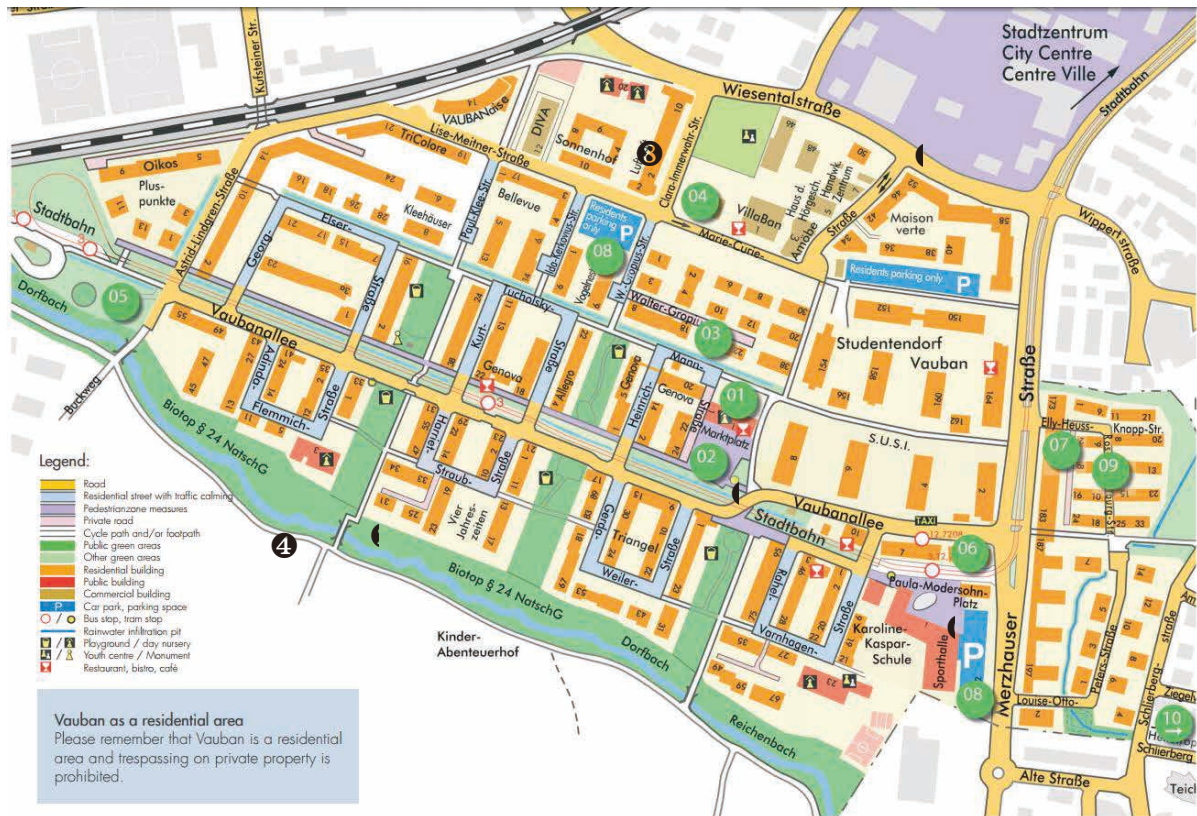
✓ 背景

フライブルクは、ドイツ南西端のフランスとスイス国境に近い人口23万人の都市。人口の割以上2.5万人が大学生という、学園都市でもある。環境政策に先進的な取り組みが評価されて、1992年にドイツ環境協会が行った自治体コンクールで最高点を獲得し、「環境首都」として表彰された。

ヴォーバン地区はフライブルク都心から3km南に位置する面積41haに約2千世帯、6千人が暮らす住宅地。第二次世界大戦中にドイツ軍の兵舎が置かれていたが、戦後フランス軍によって接收されて基地が置かれていた。現地名は、フランス軍が基地の名前に用いたフランス人の著名な軍事戦略家 Vauban(1633-1707)にちなんでいる。

1990年に東西ドイツが再統一されると、1992年にはフランス軍が撤収し、土地はドイツ政府に返還された。1994年にフライブルク市が政府から土地を取得して、1997年から環境に配慮した街づくりが進められている。

図-65 ヴォーバン地区開発図



(出所) http://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params_E-1604864046/647919/Infotafeln_Vauban_en.pdf

※ 図中①～⑧は3. コメント写真に対応.

✓ 開発コンセプト

住民参加の下に構築されたヴォーバン地区の街づくり方針と、その成果は次の7点に要約される。
土地分譲についてはコーポラティブ方式を優先

開発会社や不動産業などによる開発では、多様性が確保されないため、様々な収入や社会的背景のある市民を呼び込むためにコーポラティブ(個人の集まりによる建築)方式を優先し、かつ人口密度を上げるために集合住宅に限定した開発が行われている。その結果、地区内の開発の7割が個人かコーポラティブ方式となり、地区内の景観の多様性や住民交流の活発化が達成された。

地区内に雇用の場を創出

地区内に可能な限り働く場を作ること、職住近接の街づくりを推進している。総人口の1割に相当する約 600 人分の雇用を創出することとされ、現実には北部幹線道路沿いには多くの事業所が設置されている。

マイカーを規制し公共交通の優位性を図る

地区周辺道路から住宅地内への侵入口を2箇所に制限するとともに、地区周辺に3箇所のプリング駐車場を設置。自家用車の所有者には、入居時に共同駐車場の利用権として1台当たり 1,800 ユーロを支払うことが求められる。他方で、地区の中心軸に路面電車を延伸し、400m間隔に3箇所の駐車場が設けられており、7分間隔で都心まで10分ほどで到達できる利便性が確保されている。結果、地区内のマイカー保有率は全国平均の数分の1にとどまっている。

雨水の地区内浸透

雨水排水を可能な限り地区内で浸透させることによって、大雨による下流部への洪水被害の危険度の低下が目指されている。実際に年間降雨量の7割は地区内で浸透されている。

屋上緑化・壁面緑化の推進

建築物の平屋根(勾配が10度以下)には屋上緑化がなされており、ヒートアイランド現象の緩和や降雨時の雨水排水のピーク緩和に役立てられている。また、壁面緑化は景観の向上と夏の屋内温度上昇の緩和に効果を上げている。

省エネルギー住宅の建設

ドイツは冬が長く寒いため、温室効果ガスの3分の2は冬の暖房によるものとされる。また、フライブルクはドイツで最も年間日照時間の長い地域に位置している。これらの特性に配慮して、住戸は基本的に南向きに建設され、屋根には多くのソーラーパネルが設置されて太陽光発電が行なわれている。

コジェネレーションによる地域エネルギー供給

木質バイオマスを用いた地域暖房システムが設置されており、地区内に電力と熱を供給している。土地の売買契約書に地域暖房システムへの接続が義務付けられており、住宅地における消費電力の3分の1がコジェネレーションシステムによって賄われている。

✓ 視察結果

以上は主にネット情報の要約であったが、実際にヴォーバン周辺を観察して気づかされた環境配慮に関する事項として以下がある。

路面電車の軌道緑化

軌道緑化の取り組みは欧州で始まり、わが国でも導入が進められているが、路面電車の名に現れるように、基本的には道路内を走行するもので、一般車両と共用することが前提であること、高温多湿のわが国ではレールの保守費用が高くなるため、あまり進んでいないのが実情である。この点、ヴォーバン地区内の軌道部分は基本的に緑化されており、ヒートアイランド防止や走行音の軽減などに効果を上げていた。



子供たちの遊ぶ様子

ヴォーバン地区の街中では子供たちの姿を多く見かけた。それだけ子供が育てやすい環境であることを意味しているように感じた。特に、地図で濃い緑に色付けされた公園や緑地等では、裸足で駆け回る様子や水辺で戯れる様子などをしばしば目にした。

右写真は地区南側のドルフ川畔の様子。



隣棟間隔の無さ

住宅の建て方の特徴として、隣接する建築物同士が接続している事例が多くみられた。当初から長屋形式（タウンハウス）に設計されたものばかりではなく、別敷地にありながら土地を有効に使うために、隣棟間隔を無くしているものも多く存在しているように見えた。その効果は、空地をつなげることによって広場や緑地を最大限に生み出すことにある。

ただしこの工夫は、地震が少なく建築物の地震時の応答のずれが致命的な構造物への損傷要因にならない欧州だからこそ可能なことで、単純な日本への適応は困難かと思う。



自転車利用への配慮

公共交通の利便性の確保と共に、自転車の利便性向上策が徹底されており、自転車の利用者が多くみられた。自転車道ネットワークの整備はもとより、近郊電車には自転車を乗せるスペースが確保されている(下左写真)ほか、わが国では見られない自転車に子供を二人まで乗せて走ることのできる荷台がけん引されている様子(下右写真)も数多く見受けた。気候のよい夏ならではの光景かと思い Google Street View で市内の1月の様子を確認したところ、冬でも路面に積雪がなく、自転車が利用されていた。



冷房装置の未整備

観光情報などを参考に、日本より数度涼しいという前提で訪問したが、実際にはほとんど同じ気温で、日中の最高気温は30度を超えていた。しかし、レストランやオフィスなどドイツの施設内ではほとんど冷房の恩恵を受けることがなかった。現地で生活する日本人の生活情報によると、家の断熱がしっかりしているので、日中暑い時には部屋締め切って、窓のブラインドを下して暑さをしのぐということであった。暑さの回避策としては、北海道も同じであるが、その厳しさははるかにドイツが上回っているように感じられた。(参照)「冷房なしドイツ家庭の、涼み方」, <http://otto33.hatenadiary.com/entry/2015/07/15/155607>

飲料容器のデポジット

スーパーで飲み物を購入すると一本ごとに 0.25 ユーロ(約30円)のデポジット(預り料金)が課金される。店の入り口に空き瓶を投入する機械が設置されており、投入本数に応じた金額を書いた紙が発行されて、その分がレジで払い戻される仕組みになっている。ガス入り飲料水 500mlは安いものでは一本 0.11 ユーロ(15円)ほどで販売されており、実際の購入金額は3倍以上になる。



なお、赤いボードの表示は「詰め替えボトル用機械は、市場の右側にあります」という意味で、

ガラス瓶などは別の機械を使うように誘導する表示。

マイカー規制の実際

ネット情報では、華々しい成果ばかりが謳われているが、実際にヴォーバン地区内の比較的开发が新しい部分では、路上駐車が周辺道路にあふれており、新たに建設される集合住宅の多くには、地下および敷地内に駐車場が建設されていた（右写真はマリー・キュリー通り北端付近）。ある解説では、ヴォーバン地区の高い評価によって、不動産価格が上昇した結果、近年の新規居住者の所得階層が上がったことで、マイカー利用のニーズを押し上げているという。このように、人間の利便性を求める願望が開発理想をゆがめている様子も確認できた。



雨水浸透の運用

雨水浸透装置は、地中へ雨水を浸透させることで大雨時の洪水危険性の低減や地下水涵養を促すことが目的である。本来、写真下左のように建築物の屋根に降った雨水を建物敷地内の庭へと浸透させることがより効果的であるが、写真下右のように樋が直接下水管へ連結されている事例が多く確認された。必ずしも定型的な雨水の処理方法が採用されているわけではなく、建物によって異なる方法がとられていることが伺える。



v) ニュータウンの比較

今回の調査を踏まえて、高蔵寺ニュータウンとドレスデン、ライプチヒのニュータウンとの比較を行った。その結果を下表に示す。

表-19 高蔵寺，ドレスデン，ライプチヒのニュータウンの比較

	高蔵寺	ドレスデン	ライプチヒ
人 口	減少・高齢化	一定～微増 年齢バランス	2010年以降急増 若者が多い
緑 地	小	大	中
市街地までの距離	遠い	近い	中
リノベーション	未	済み	進行中
手 法	—	エレベータ 幼稚園 バルコニー 高齢者支援 若者センター	エレベータ 幼稚園 バルコニー
自転車親和性	無	有	有
コミュニティー サービス	管理者	地方政府	地方政府

(b) ・都市・地域の縮退がもたらすコベネフィットに関する研究事例調査

都市・地域縮退策については、先進国を中心に様々な提案があり、一部は実施されている。その議論の中で、この策がいかなるメリットやデメリットを発生するかについても多数の研究が行われている。本研究では特に、主な効果としての「CO₂等環境負荷の削減」「QOLの向上」「災害への対応」「費用の低減」と、それを実施する際に直面する困難としての「撤退・集約費用の負担」「撤退後の土地利用」「集約を進めるための誘導策」について、資料調査及び学会等での情報収集・議論、関連分野の研究者へのヒアリングを通して研究事例の調査を行った。それらを踏まえて、環境負荷削減に留まらない、縮退戦略のコベネフィットを体系化した。

① 災害リスク最小化

気候変動による災害リスク変化に関する研究は、主にグローバルスケールで実施されており、例えば、Y. Hirabayashi et.al(2013)は、11の最新気候モデル出力と最先端の河川・氾濫モデルを用いることによって、2100年までの世界の洪水リスクの変化を推計し、地球温暖化の進展に伴う洪水リスクの増大は、アジア・アフリカの湿潤地域において顕著であることを明らかにしている。一方、日本スケールでは、例えば佐藤ら(2009)が挙げられ、河川域を対象に日本全土において整備された現在気候と将来気候の降雨極値データを用い、河川の外水氾濫による被害の定量化を行っている。一方で、堤防破堤の考慮や気候外力そのもの持つバイアスの計画論的解釈など、実際の適応策立案に耐えうる気候変動下での災害リスク評価は現在も発展途上であると言える。

池永ら¹²⁾は、地震・洪水・土砂災害の3つを対象として、全国を俯瞰した視点から災害リスク曝露人口の分布状況の分析を行っている。その上で、災害リスクと将来人口の減少率の関係性の地域特性を分析している。災害リスク及び人口減少率がともに高い地域は、安全な土地への土地利用の集約などの選択と集中という効率的な防災対策へのニーズが高い地域であると考えられるとしている。

大原ら¹³⁾は、今後人口が減少する我が国の防災政策として、災害危険度の低い安全な地域へと長期的な人口誘導を図ることが重要であると考え、全国の活断層型地震に着目し、活断層近傍の土地利

用誘導策に関する研究を行っている。活断層タイプ等に応じた人口・建物の分布傾向を分析し、活断層情報の周知や土地利用規制などの土地利用誘導策によって影響を受ける人口の将来推計を行い、施策の効果を検討している。

陳ら¹⁴⁾は、南海・東南海・東海地震の防災対策立案のための基礎的資料の構築を行うため、将来人口の推計と重要社会基盤施設により地域暴露特性を明らかにしている。震度 6 以上の揺れに見舞われる紀伊半島と四国圏では、2030 年には消滅集落と限界集落が多く存在することになり、救援活動に困難をきたす可能性があることや中部圏で将来曝露人口の増加が継続し、発電施設の停止など社会に大きな影響を与えることが予想されると指摘している。

森田ら¹⁵⁾は、東北地方太平洋沖地震・津波により甚大な被害を受けた宮城県南三陸町を対象に、復興計画の地域構造について生活面と防災性の視点から評価を行っている。その結果、現状の復興計画の地域構造は防災性を高めるが、生活面で問題があることを示している。また、集約型の地域構造にすることによって、生活面の問題が軽減する可能性を示している。

武田ら¹⁶⁾は、甚大な津波被害が想定されている高知市を対象に、震災前の移転に対する浸水地域に居住する住民の意識を明らかにし、約 75%の回答者が地震前かつ個別の移住に関心を見せていることを示している。また、被災前の移転は被災額よりも低費用になることを明らかにしている。

井若ら¹⁷⁾は、持続が危ぶまれている地域での事前復興まちづくり計画立案に資する資料とすることを目的に、徳島県美波町を対象に、計画立案初動期の課題と対策や地域敬称意欲の現状と課題を明らかにしている。

② コンパクト化・治水安全度向上

都市のコンパクト化（コンパクトシティ）に関する政策的な議論は、2007 年の社会資本整備審議会第二次答申、2012 年の都市の低炭素化の促進に関する法律、2014 年の都市再生特別措置法の改正などを通じて行われてきている。また、富山市などいくつかの自治体ではコンパクトシティを基調として都市構造の再編についての取組みも行われている（富山市は、経済協力開発機構（Organization for Economic Co-operation and Development : OECD）の報告書「Green Growth Studies Compact City Policies (2012)」でも紹介されている）。一方、コンパクトシティに関する学術的な研究は、土木学会、日本都市計画学会など多くの学会において、環境負荷やインフラ維持費用などとの関係について多数の報告されている。一方、浸水被害を考慮した住宅の再配置については、水野ら(2015)があり、神奈川県の下町・字等を対象に、2050 年までの人口や世帯数、また住宅のライフサイクルと空間配置の推計をすることによって、浸水が予想される地域の人々や住宅を安全な地域へ移動させたとき、どの程度浸水被害額が軽減されるのかを推計している。

一方で我が国の治水安全度の向上については、平成 9 年の河川法改正後に全水系において河川整備基本方針が立案され、多くの河川では河川整備計画が策定され、1 級河川ではおおむね 200 年～100 年の安全度を目指して整備が進んでいる状況である。

✓ 生活サービス機能の維持に関する国の政策

現在、国や地方自治体において、どのようなコンパクトシティ政策が進められているのかについて、「都市部」「中山間部」という 2 つの観点から整理した。

○都市部における生活サービス機能の維持のための施策

現在、国土交通省は、地方都市においては、「多極ネットワーク型コンパクトシティ」を目指す方

針^③を打ち出している。これは、以下の3つを満たす都市形態である。

- 1) 医療施設・福祉施設、商業施設や住居等がまとまって立地している。
- 2) 高齢者をはじめとする住民が自家用車に過度に頼ることなく公共交通により医療・福祉施設や商業施設等にアクセス可能である。
- 3) 日常生活に必要なサービスや行政サービスが住まいなどの身近に存在する。

このような「多極ネットワーク型コンパクトシティ」の形成を推進するために、都市再生特別措置法が、平成26年2月に改正された。これは、図31に示すように市町村が、住宅及び都市施設（医療施設、福祉施設、商業施設その他の都市の居住者の共同の福祉又は利便のため必要な施設）の立地の適正化を図るため、立地適正化計画を作成することができるというものである。

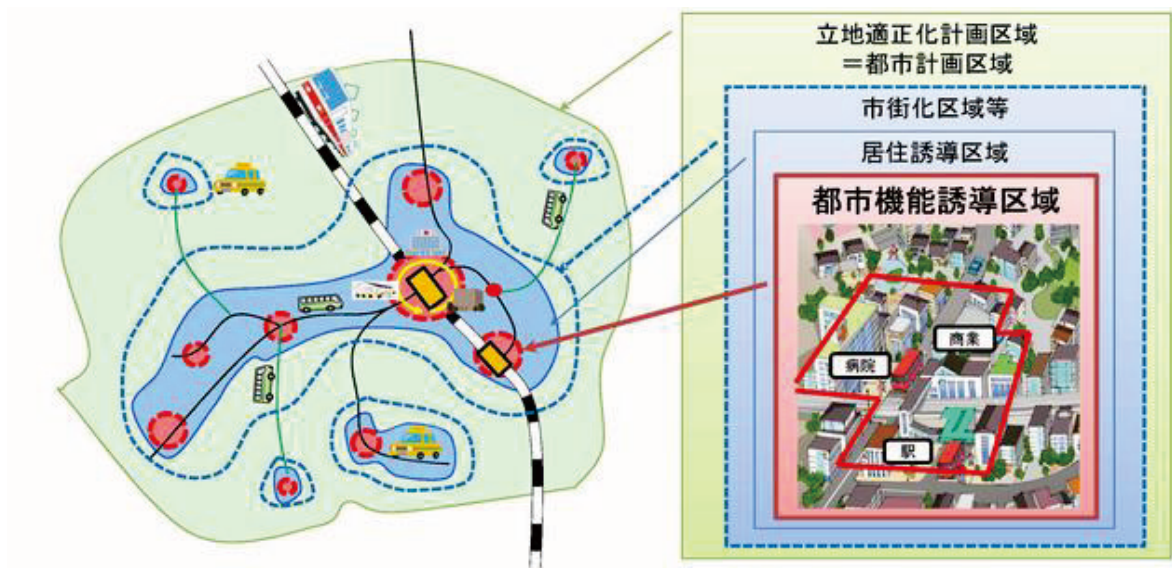


図-66 立地適正化計画概要図

立地適正計画では、都市機能誘導区域、居住誘導区域を定めることができる。都市機能誘導区域、居住誘導区域については図32の通りである。また、都市機能誘導区域に誘導すべき都市施設の目安として表8のように高齢化・行政サービス・子育て集客に関するものが挙げられている。

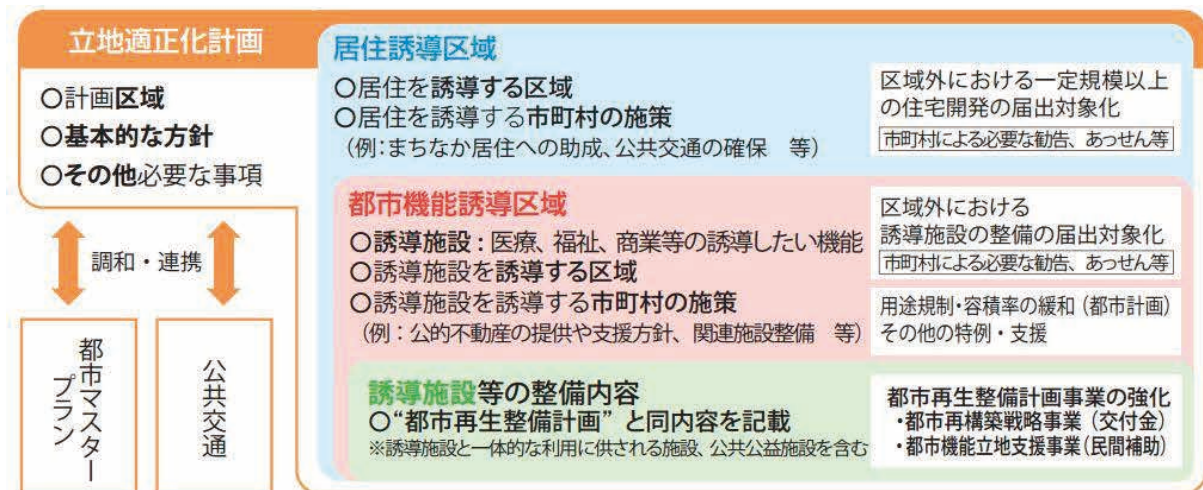


図-67 居住誘導区域と都市機能誘導区域について ⁴⁾

表-20 中心拠点誘導施設についての詳細

	機能	都市施設
誘導施設	高齢化	病院・診療所・老人デイサービス
	行政サービス	市役所・支所、公民館等
	子育て	幼稚園・保育所・小学校
	集客	図書館・博物館・スーパーマーケット

○中山間地域・離島におけるコンパクトシティ政策

中山間部の集落でも地方都市と同様に、多極ネットワーク型拠点を形成する「小さな拠点」づくり²⁾が始まっている。中山間部の中でも過疎地域は、都市部に比べて、人口減少や高齢化が急速に進み、食料品や日用品を扱う商店や診療所が閉鎖するなど、日常生活に必要なサービスを受けることが困難になるとともに、コミュニティ機能が低下している。

こういった状況を防ぐために、「小さな拠点づくり」が推進されている。これは図 33 に示すように、小学校区など複数の集落が集まる地域（集落地域）において、買い物や医療・福祉など複数の生活サービスを歩いて動ける範囲に集め、各集落との交通手段を確保することによって、車が運転できない高齢者などであっても一度に用事を済ませられる生活拠点をづくり、地域の生活サービスを維持していこうという取組みである。



図-68 小さな拠点の取り組みの例²⁾

③ 生活質の向上及び防災力の向上のための都市構造の集約に関する先行研究のレビュー

生活質の向上及び防災力の向上のための都市構造の集約に関する先行研究論文と「小さな拠点」に関する先行研究論文をレビューした。学術雑誌に掲載されている先行研究論文をレビューした結果を「生活質の向上または防災力の向上」、及び、「小さな拠点」の2つの視点で関連ある論文の整理を行った。

○生活質の向上または防災力の向上のための都市構造の集約に関する先行研究論文

戸川ら⁵⁾は、環境・経済・社会のトリプルボトムライン（TBL）の観点から、環境、経済、社会の各要素の定量指標をCO₂排出量、市街地維持費用、QOLとして都市・地域の持続可能性を評価するシステムを用いて、名古屋都市圏を対象に小学校区単位での分析を行っている。その結果、今後2050年にかけてTBL各指標の都市圏全体平均値はいずれも悪化する方向に推移することが明らかとしている。また、TBL各指標の空間分布を定量的に明らかにすることで都市圏全体の持続可能性を損なうリスク要因を分析している。分析結果からは、特に団塊の世代が多く居住する郊外住宅地区や農業地区・山林地区において経済・環境指標に顕著な悪化が生じ非効率化していくことを示し、経済・環境指標の小学校区間格差は拡大する方向に推移することを明らかとしている。さらに、都市構造改変に関するシナリオ（BAU、集約シナリオ、合併シナリオ）を設定し、TBL各指標への影響を分析した結果、全体の4%程度の人口を移転させることで、市街地維持費用を1割以上削減できる可能性があることを明らかとしている。

長尾ら⁶⁾は、都市的利用を中止する地区および集結する地区の選定を、QOL（Quality Of Life）指標および市街地維持費を評価値として選定し、遺伝的アルゴリズムを用いて最適化を行っている。新

潟県旧上越市に適用した結果、QOL 最大化の場合、郊外から郊外へ移転し、特に大型病院のある地区や緑地の豊富な地区への集結が最適であることが示している。一方、市街地維持費最小化の場合、地価が低く築年数が経過している住宅の多い地区から消滅し、鉄道駅周辺や商業施設の充実した幹線道路沿線へ集結することが最適であることが示している。さらに、QOL と市街地維持費を共に考慮する両立モデルでは、市街地維持費削減効果の大きい地区から先に消滅し、その後 QOL の向上につながる移転を行うことが最適であることが明らかとしている。

水野ら⁷⁾は、人口減少下で集落・居住地の持続可能性を高めるためには空間的な集約が必要であるとし、利用を中止（消滅）する地区と促進（集結）する地区の選定を多目的遺伝的アルゴリズムにより最適化を行っている。地域の QOL（Quality Of Life）向上と市街地維持費の削減を目的とし、中山間地域と都市地域を分けた最適化（部分最適）と全地域を一括で対象とした最適化（全体最適）している。三重県松阪市・多気町に適用した結果、QOL 向上には災害安全性の低い地区からの消滅が、市街地維持費削減には地価が低く人口あたりインフラ設備が過剰な地区からの消滅が効果的であることを明らかとしている。また、中山間地域において老朽化した公共施設の設置を仮定し最適化した結果、市街地維持費を削減しながら地域の QOL を向上させることができることを明らかとしている。

宮田ら⁸⁾は、過疎化の進む日本の中山間地域においては、持続が可能もしくは必要な集落に住民を集約することが迫られているとし、各集落をインフラ維持費用と得られる QOL（Quality Of Life）の観点から定量評価し、集約すべき集落を選定する方法を構築している。ケーススタディとして三重県松阪市・多気町の中 山間地域を対象に、各集落の QOL 値とインフラ維持費用を算出している。その結果、全体として QOL は都市地 域に比べて中山間地域が低いものの、中山間地域より低い都市地域も沿岸部に存在していることが明らかとなっている。また、インフラ維持費用は、総額では松阪市中心部などで高いが、人口 1 人あたりに換算すると中山間地域において高く、特に末端に向かうにつれて高くなる傾向が把握している。

加知ら⁹⁾は、生活環境質(QOL)が高い都市空間構造を実現するための居住地立地誘導の方向性を見いだす指標として、都市内各地区における居住から得られる生活環境質の評価指標を「余命」を尺度として定義している。定義した指標を用いて財政的持続性および社会的公平性制約下での都市全体の生活環境質最大化問題を定式化し、さらに、これを都市の居住地立地施策に適用するために、生活環境質を市街地維持費用で除した社会的費用効率(S 値)を用いた消滅・再集結地区選定の枠組みに展開した。本手法を実際の地方都市に適用した結果、生活環境質自体は中心部より郊外部の方が高いものの、S 値は市街地が拡大する前の既存集落部で高くなり、分散集中型への誘導が望ましいことが示した。

谷口ら¹⁰⁾は、人口減少などに伴う各種都市サービスの消滅によって居住者に生活上の負担が発生することを懸念し、都市圏の中でどのような特性を有する地区において、このような都市構造リスクが顕在化する可能性について、定量的な検討を行っている。地方中心都市である岡山県倉敷市を対象に、まずはアンケート調査により居住者の実際の居住パターンおよび交通行動を配慮して、地区を 10 個の分類に分けている。次に「鉄道駅徒歩圏外のスーパーが全て消滅した」という状況を仮定し、地区内において交通行動の変化が必要となる人の割合を都市構造集約化によって居住者にかかる負荷として、都市構造リスクの発生パターンを分析している。分析の結果、商業施設の消滅が進むことによって、都市構造リスクが深まる地区は駅から最も遠い地区ではなく、その地区よりも駅に近く自

自動車への依存が低い場所で都市構造リスクが高くなることを明らかにしている。

安立ら¹¹⁾は、都市サービスが消滅する都市構造リスクに着目してどのような都市サービスで構成される地区において、このリスクが顕在化する可能性が高いかの考察を行っている。その結果、快速停車駅のような都心部から少し離れた地区の自動車に依存していない人に多く負荷がかかるという、従来の郊外からの消滅という考え方からは外れた地区・人においてリスクが高いことを示している。

清水ら¹²⁾は、都市郊外部における高齢化および人口減少が進展しつつある住宅団地からの消滅の考え方、消滅に伴う様々な費用（例えば、引っ越しに伴う金銭的・非金銭的費用に対する住民への補償金）と便益（例えば、消滅団地の住宅やインフラの維持管理費用および建て替え・大規模更新費の節約）を整理し、消滅の条件および消滅の最適タイミングの算出方法を提案している。提案した方法を千葉県船橋市の 2 つの郊外住宅団地に適用したケーススタディの結果、一方の住宅団地の住宅建て替えのタイミングに、当該団地の全住民がもう一方の住宅団地に移住することが社会的に望ましいこと等が示している。

谷口ら¹³⁾は、都市のコンパクト化による防災上の諸課題への影響について、整備・政策メニューを検討するためのシステムである SLIM CITY を実際の都市に適用し、水害軽減のシナリオを盛り込むことで、都市コンパクト化政策と水害軽減方策の連携可能性について検討し、その有効性を明らかにしている。

中原ら¹⁴⁾は、地域の QOL の維持・向上を目的とし、将来の人口減少による生活サービス施設の消滅を考慮しながら、居住地の集約先の選定と集約を行うタイミングの算出を行っている。熊本県山都町のケーススタディの結果、基本的には QOL の低い郊外部から移転すべきとなるが、QOL が比較的高い地域であっても、生活サービス施設消滅に伴う QOL 低下が大きければ移転すべきと結論付けている。

■「小さな拠点」に関する先行研究論文

「小さな拠点」に関する論文としては、以下の 2 つの論文が挙げられる。

森尾ら¹⁵⁾は、今後の「小さな拠点」の検討における示唆を得るために、全国を対象に現状の施設配置で「小さな拠点」の数とその分布、「小さな拠点」が成立する人口規模等を把握するとともに、「小さな拠点」及び周辺地域の人口動態と人口維持機能について分析を行っている。また、「小さな拠点」とバス路線や「道の駅」との位置関係、バス路線がある地域の人口動態についても分析を行っている。谷口ら¹⁶⁾は、「小さな拠点」の事例である地域が、生活サービス施設の種類等からどのような特徴があるかを整理している。谷口らの結果では、「小さな拠点」の類型化で全体の 6 割を占めた F. 公的施設型拠点や G. 低集積拠点では生活利便性施設数が少なく、これらの拠点が将来的にも拠点と呼べるだけの客観的妥当性を有しているかは改めて吟味すべきであると結論付けており、拠点に必要な生活利便施設を確保できるように拠点を形成すべきだと考えられる。

④ ライフスタイル変革

ライフスタイル変革に関する具体的な取り組みは、公共交通の利用促進、エコ通勤などのように、1 人 1 人のモビリティ（移動）を、社会的にも個人的にも望ましい方向（過度な自動車利用から公共交通等を適切に利用する等）に変化することを促す、コミュニケーションを中心とした交通政策であ

るモビリティ・マネジメントを中心に行われている。国土交通省では、モビリティ・マネジメントの基本的な考え方や各地での取組事例を紹介するパンフレットを作成している。また、一方、ライフスタイル変革に関する学術的な研究は、土木学会、日本都市計画学会、日本モビリティ・マネジメント会議（Japanese Conference On Mobility Management : JCOMM）など多くの学会において多数報告されている。例えば、土木学会からは書籍「モビリティ・マネジメントの手引き」、日本モビリティ・マネジメント会議では、モビリティ・マネジメントの「実務発展」と「技術発展」を目指して、国内の様々な取り組みや研究を JCOMM 賞として毎年表彰している。

⑤ CO₂削減

CO₂ 削減（気候変動の緩和）に関する政策的な議論は、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC）の第 3 作業部会の評価報告書（最新の報告書は、第 5 次評価報告書（Fifth Assessment Report : AR5）「気候変動 2014－気候変動の緩和（Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change）」）、低炭素まちづくりを促進するために 2012 年度に成立した「都市の低炭素化の促進に関する法律（エコまち法）」などを通じて行われている。また、低炭素まちづくり計画の作成を支援するツールとして「二酸化炭素削減効果シミュレーション・ツール（CO₂-Reduction Effect Simulation Tool : CREST）などが、国交省から自治体向けに配布されている。しかし、エコまち法による低炭素まちづくり計画を作成した自治体は、2016 年 1 月 1 日現在 21 自治体（2014 年 11 月 1 日現在 16 自治体）にとどまっており、現時点では大きな広がりを見せていない。一方、CO₂削減（気候変動の緩和）に関する学術的な研究は、土木学会、日本都市計画学会など多くの学会において、交通行動・都市構造の変化、技術革新といった視点から多数報告されている。

参考文献

- 1) Yukiko Hirabayashi, Roobavannan Mahendran, Sujan Koirala, Lisako Konoshima, Dai Yamazaki, Satoshi Watanabe, Hyungjun Kim & Shinjiro Kanae, Global flood risk under climate change, Nature Climate Change 3, 816–821, 2013.
- 2) 佐藤歩, 川越清樹, 風間聡, 森杉壽芳, 気候モデルを利用した日本列島洪水リスク評価, 水工学論文集, 53, 847-852, 2009.
- 3) 社会資本整備審議会, 新しい時代の都市計画はいかにあるべきか. (第二次答申), 2007.
- 4) 国土交通省, 2012 年の都市の低炭素化の促進に関する法律, http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/eco-machi.html (参照 : 2016 年 3 月 26 日)
- 5) OECD, Green Growth Studies Compact City Policies, 2012.
- 6) 水野伶那, 佐尾博志, 大西 暁生, 神奈川県における浸水発生に適応した住宅の再配置による被害額の軽減効果, 水文・水資源学会誌 28(5), 245-260, 2015.
- 7) 国土交通省, モビリティ・マネジメント, <http://www.mlit.go.jp/common/000234997.pdf>, (参照 : 2016 年 3 月 26 日)
- 8) 土木学会土木計画学研究委員会土木計画のための態度・行動変容研究小委員会, モビリティ・マネジメントの手引き, 土木学会, 2005.
- 9) IPCC, Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change, 2014.

10) 国土交通省 都市局 都市計画課, 二酸化炭素削減効果シミュレーション・ツール利用マニュアル, 2014.

⑥ コベネフィットモデル

気候変動の適応策 - 緩和策の実施を都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの駆動力としてとらえ, 図のようなコベネフィットモデルを考案し, 各アローが示す「災害リスク最小化」, 「コンパクト化・治水安全度向上」, 「ライフスタイル変革」, 「CO₂削減」という 4 要素について研究事例の調査を実施した.

(1) 災害リスク最小化 (洪水/土砂災害)

現在, グローバルスケールでの気候変動の洪水・渇水リスクの変化を推定する研究が進んでいるものの, 日本スケールでの推定は未だ精度上の課題が残り, 特に洪水に関しては, 堤防破堤の考慮等, 技術的課題も残っており, 適応策立案に耐えうる計画論的な外力設定は大きな課題である.

(2) コンパクト化・治水安全度向上

都市のコンパクト化 (コンパクトシティ) に関する政策的な議論は, 各種答申や法律を通じて行われてきている. 一方, コンパクトシティに関する学術的な研究は多数報告されており, 一部の都市では既に都市構造再編の取り組みも始まっている. 一方治水安全度の向上については, 平成 9 年以降, 各水系での河川整備基本方針, 整備計画の立案がすすみ, 現在治水安全度の向上の取り組みが進行中である.

(3) ライフスタイル変革

心理学的アプローチによる交通・居住地選択行動の変容を促す研究が多く実施されてきている. 例えば, 書籍「モビリティ・マネジメントの手引き」(土木学会), 日本モビリティ・マネジメント会議などでの研究報告, 活動など.

(4) CO₂削減

CO₂削減に関する政策的な議論は, 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第 3 作業部会の評価報告書, 「都市の低炭素化の促進に関する法律 (エコまち法)」などを通じて行われている. また, 土木学会, 日本都市計画学会など多くの学会で, 交通行動・都市構造の変化, 技術革新に関する研究が多数報告されている.

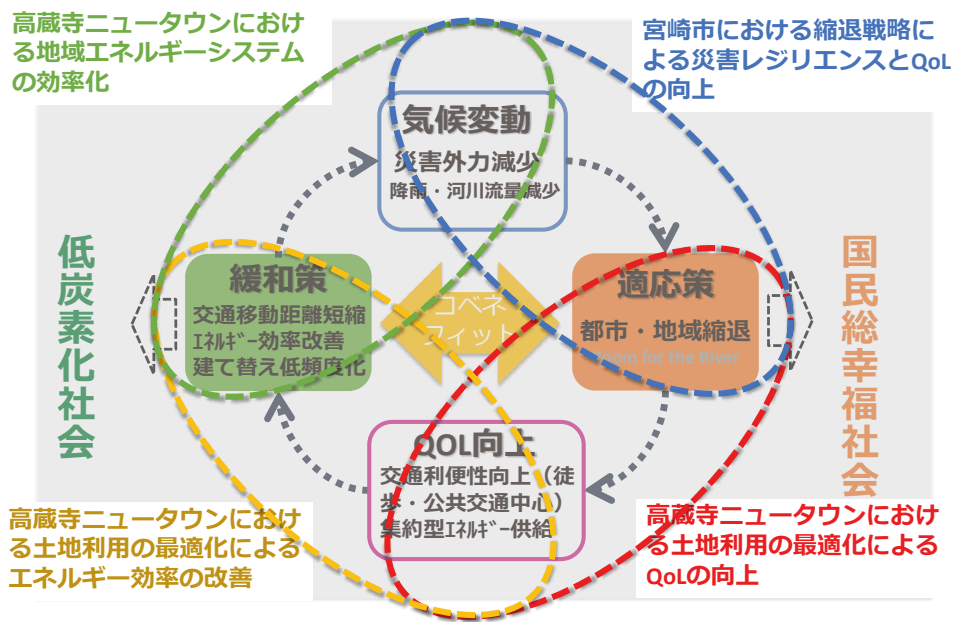


図-69 QoL と環境効率の向上を介した適応策・緩和策評価のフレームワーク

(2) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価モデルシステム開発

(a) 詳細地区スケールでの空間～環境コベネフィットの評価指標の定式化

(1)での研究事例調査の結果を基に、都市・地域構造の変化が低炭素性その他様々な要素に及ぼす効果について定式化を行った。既に申請者らは、CO₂排出量、QOL尺度、インフラ維持費用の3つを評価指標を500mメッシュ単位で計量可能なモデルを開発しており、これを改良した。CO₂排出量は、コンパクト化に伴う移動距離や交通機関選択の変化を考慮できるよう旅客交通起源分のモデル詳細化を行う。QOL尺度は、従来考慮してきた機会獲得性・居住快適性・安心安全性の3要素に加え、地域コミュニティの強さや文化的な蓄積を含めた評価を可能とするようにした。インフラ維持費用はそれも含めた包括的な住民サービスの費用を算定できるようにした。これらについて、都市・地域構造やインフラ供給状況による変化を検出可能な関数としてモデル化を行った。

i) QOL 評価システム

近年様々な政策を「生活の質」や「豊かさ」を表す指標で評価する試みが多数行われている。日本における先駆けとして、1974年に国民生活審議会から「社会指標—よりよい暮らしへのものさし」が公表された。その後、1985年には、経済企画庁(現内閣府)から「国民生活指標」が、1992年には「新国民生活指標(PLI)」が策定された。この指標は活動領域に「住む」、「費やす」、「働く」、「育てる」、「癒す」、「学ぶ」、「交わる」の8項目を、生活評価領域に「安全・安心」、「公正」、「自由」、「快適」の4項目を設定し、人々の生活の豊かさを評価した。これらは項目間の統合がされていないため、項目間のトレードオフの関係や、施策代替案による効果の優劣の評価を行うことが困難である。

都市の空間的環境から生活の質を定量的に計測する研究も多数現れた。例として、吉田ら(1992)は、環境特性、個人属性などの客観的変数から、生活の質を評価する方法を提示した。加知ら(2006)は、生活環境質を居住者の価値観によって重み付けしつつ、人間の余命に換算することで、生活環境を小地区単位で定量的に評価する手法を構築した。また、社会資本整備について生活の質から評価する研究も存在する。その例として、林ら(2004)はPLIを参考にして生活質に基づく評価方法で、仮想の社会資本整備による効果を計測した。土井ら(2006)は、海岸整備をQOL概念に基づいて評価した。しかし、これら生活の質に基づく評価手法では、道路整備の実事業を評価するに至っていない。

本研究では、Myers(1998)および加知ら(2006)に従い、生活環境質(Quality Of Life : QOL)が、施設の充実度などの居住環境の物理量を表す生活環境質向上機会(Life Prospects : LPs)と、住民の主観的な価値観から決定されるものとする。

以上で定義した生活環境質の評価式を、加知らを参考に式(2.1)のように定義する。

$$QOL_{ig} = \mathbf{w}_g^T \cdot \mathbf{LPs}_i \quad (2.1)$$

ここで、 QOL_{ig} は個人属性グループ g の地区 i での QOL 値、 $\mathbf{w}_g$ は個人の主観的な価値観、 $\mathbf{LPs}_i$ は地区 i での生活環境質向上機会とした。

生活環境質向上機会の評価要素は既往研究を参考に表 9 のように設定できる。

表-21 生活環境質向上機会の評価項目

構成要素		評価項目
I	経済・雇用機会	通勤利便性
		雇用継続機会
		住宅資産価値
II	生活・文化機会	医療機会
		余暇機会
		買物機会
III	居住・移動快適性	居住快適性
		走行快適性
		周辺快適性
IV	安心安全性	ネットワーク信頼性
		災害危険性
		事故危険性
V	環境負荷性	景観調和
		大気環境
		音環境

アンケートより、価値観 w の重みを表すパラメータの推定を行う。居住地の選択確率は、二項ロジットモデルで表現できるものとし、構成式を式(2.3)、(2.4)に示す。

$$P_k^X(m) = \frac{\exp(\boldsymbol{\beta}^X \cdot \mathbf{x}_m^X)}{\exp(\boldsymbol{\beta}^X \cdot \mathbf{x}_m^X) + \exp(\boldsymbol{\beta}^X \cdot \mathbf{x}_n^X)} \quad (2.3)$$

$$U_{ik}^X = \boldsymbol{\beta}^X \cdot \mathbf{x}_i^X + \varepsilon_{ik} = \beta_1^X x_{i1}^X + \beta_2^X x_{i2}^X + \beta_3^X x_{i3}^X + \varepsilon_{ik} \quad (2.4)$$

ここで、 $P_k^X(m)$ は個人 k が構成要素 X によって居住地 $i(m$ または $n)$ に m を選択する確率、 $\boldsymbol{\beta}^X$ は構成要素 X の評価指標の係数ベクトル、 $\mathbf{x}_i^X$ は構成要素 X の評価指標ベクトル、 U_{ik}^X は個人 k の構成要素 X による居住地 i に対する好ましきである。式(2.4)におけるパラメータ $\boldsymbol{\beta}$ は居住地選択に関する部分効用であり、生活環境に対する価値意識を示す。このパラメータを最尤推定法を用いて推定する。

重みパラメータは LPs 各要素のパラメータと、基準とした計測指標のパラメータの相対的な重みとして換算される。住宅賃料を基準とした際の評価項目 j の重みパラメータ w_{mj} と、地震による損失余命を基準とした際の評価項目 j の重みパラメータ w_{lj} を算出する式を、それぞれ式(2.5)、(2.6)とする。

$$w_{mj} = \frac{\beta^j}{\beta^{money}} \quad (2.5)$$

$$w_{Lj} = \frac{\beta^j}{\beta^{LLE}} \quad (2.6)$$

ここで、 β^j を評価項目 j のパラメータとし、 $money$ は住宅賃料、 LLE は災害危険性による損失余命とする。

本年度は、福島県沿岸域を対象に住民の生活環境の定量的評価のための基礎となる GIS データベースを構築するとともに QOL 構成要素の算定を実施した。ここでは、住民の QOL を定量的に評価するため、先行研究で作成した QOL 評価システムを援用する。このシステムは、QOL 値を社会資本や公共・民間施設へのアクセス性を表す交通利便性 (AC)、居住性や景観の良好度を表す居住快適性 (AM)、および災害や事故・犯罪に対する災害安全性 (SS) の 3 分類からなる、居住地区における環境を左右する物理量 LPs 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する。表 10 にその概要を示す。

また、小地区単位でのエネルギー利用特性の把握を目的として、再生可能エネルギーや未利用エネルギーの GIS データベースを整備した。今後は、バイオマス等も含めて評価対象を拡張し、既存の QOL 評価との統合を目指す予定である。

さらに、対象地域における将来の人口分布に関するシナリオ構築に着手した。コーホートモデルを用いた自治体単位でのマクロ推計からは、津波被災者の高台移転・再定住化が完了後も新地町・相馬市・南相馬市の 3 市町で約 14,000 人が避難生活を続けることとなる共に、定住人口に対して急速な高齢化が進展する可能性があることが明らかになった。次年度は、自治体が公表している復興計画に関する情報収集や避難者の中長期的な居住地選択傾向の分析に基づき、マクロ推計値をダウンスケールし人口分布に関する中長期シナリオを設計する。その上で、代替的なシナリオ間を QOL の観点から比較評価することにより、中長期の復興プロセスに対する計画支援情報を提供することを目指す。

表-22 QOL 各評価要素

分類	評価要素	LPs 算出の考え方
交通 利便性 Accessi- bility (AC)	就業利便性	就業地までの所要時間で評価。今回は各メッシュから最寄の駅までの所要時間(徒歩(4km/時)と自動車(20km/時)の平均速度(12km/時)での移動を想定)で評価。交通行動モデルのアウトプットである通勤にかかる期待最小費用を時間価値(40 円/分)で割戻すことにより算出。
	教育・文化利便性	最寄の小学校と中学校までの平均所要時間(徒歩(4km/時)での移動を仮定)で評価。また、通学路の特性を考慮して道路ネットワークを考慮せず、目的地まで直線での移動するものと仮定。
	健康・医療利便性	最寄の一般病院までの所要時間(徒歩(4km/時)と自動車(20km/時)の平均速度(12km/時)での移動を想定)で評価。
	買物・サービス利便性	最寄の商業施設までの所要時間(自動車(20km/時)での移動を仮定)で評価。道路ネットワークを考慮せず、目的地まで直線で移動するものと仮定。交通行動モデルのアウトプットである私事交通にかかる期待最小費用を時間価値(40 円/分)で割戻すことにより算出。
居住 快適性 Amenity (AM)	居住空間使用性	国勢調査 H22 から市町村毎で人口 1 人あたり居住延床面積を算出。世帯の平均延床面積を推計し、平均世帯人数で除算した。
	建物景観調和性	周辺の建物の統一感で評価する。対応するデータが存在しないため基本的には 0.5 と設定。シナリオ分析ではオプションとして変化した場合を分析。

災害 安全性 Safety & Security (SS)	周辺自然環境性	徒歩圏内に緑地が存在しているかどうかで評価。800m 圏内に 1 ヘクタール程度のまとまりがある森林がある場合 1, 農地(田畑)がある場合 0.5 と設定。森林・農地は国土数値情報の土地利用細分メッシュより作成。
	局地環境負荷性	交通騒音レベルで評価する。対応するデータが存在しないため基本的には 0.5 と設定。シナリオ分析ではオプションとして変化した場合を分析。
	地震危険性	地震によるリスク。耐震設計基準にもとづいて、表層地盤における地震の主要動(S 波)の伝わる速度が 0~200m(沖積層・軟弱地盤相当)で 1, 200~400m で 0.5, 400m 以上(洪積層相当)で 0 とする。データソースは地震ハザードステーション。
	洪水危険性	ハザードマップより得られるデータに基づき、100 年に 1 度の確率で発生する豪雨により床上浸水のリスクがある場合 1, 床下浸水のリスクがある場合 0.5, 洪水リスクが全くない場合は 0 と設定。
	犯罪危険性	年間街頭・侵入犯罪件数。対応するデータが存在しないため基本的には 0.5 と設定。シナリオ分析ではオプションとして変化した場合を分析。
	交通事故危険性	年間人身事故発生件数。対応するデータが存在しないため基本的には 0.5 と設定。シナリオ分析ではオプションとして変化した場合を分析。

ii) 地域エネルギー事業の実態解析

① はじめに

地球温暖化問題や福島第一原子力発電所事故等を受けて中長期エネルギー需給の見通しに対する不透明感が増す中、持続可能な社会の実現のため、その基盤として地域資源を活用した分散型エネルギーの利用拡大に注目が集まっている。得に、東日本大震災を契機として、大規模集中型のエネルギーシステムへ大きく依存してきた状況を見直し、電熱の併給や地域の未利用資源活用が可能となる分散型システムを導入する取り組みがより活発になっている。分散型のエネルギーシステムは低炭素・省エネルギーに加えて、災害耐性、エネルギー地産地消を通じた地域活性化等の観点からその有効性が指摘されている¹⁾。また、地方の自治体においては、地域資源を有効活用した分散エネルギーシステムの導入に伴い、住民や企業の支払うエネルギー料金が地域で環流することによる経済活性化への期待も大きい。

また、日本のエネルギーフローを俯瞰して考えた場合、発電時発生する排熱や、民生部門の熱利用部門が非効率であることが指摘されている。このような状況を改善する方法の一つとして発電排熱を有効活用するコージェネレーションシステムが考えられる。しかしながら、既存の発電方法に対して高コストとなる等の理由によりコージェネは発電設備全体の 3%に留まり、現時点では十分に普及していない。日本の 2030 年の CO₂ 排出量削減目標を定めた「約束草案」²⁾においてエネルギーの面的利用が対策としてリストアップされるとともに、その前提となっている「長期エネルギー需給見通し」³⁾においては、2030 年のコージェネレーション導入量の数値目標(1190 億 kWh 程度)が設定され、それを支える燃料供給体制を整備していく旨が明記されている。

一方で以下のように技術進歩も報告されている。近年、デンマーク等の欧州では、第 4 世代熱供給(4th Generation District Heating, 4GDH)と呼ばれる 55℃程度の低温の温水を媒体として利用するシステムの導入が進んでいる。供給温度を下げることにより、電熱併給ユニットを高い効率で運転することを可能とし、多様な未利用熱源の熱供給ネットワークへの接続が可能となる。また、媒体と環境温度との温度差が小さくなるため、熱供給ネットワークからの熱損失を削減できる。このようなメリットのため、地域熱供給のコストが低下し、適用範囲が拡大している⁴⁾。日本においても、北海道・下川町において 4GDH の技術を活用した地域熱供給システムの社会実装が進みつつある。

以上のように、分散型システムのデザインには、エネルギー需要密度や地域特有の再生可能エネ

ギー・未利用エネルギーのポテンシャル等の地域条件を考慮して多様なエネルギー変換機器の中から適切なものを選択し組み上げることが必要不可欠であるため、その導入ポテンシャルは不透明であり、定性的な議論に留まっている。そのため、導入適地の特定や今後の普及状況の予測等のポテンシャルの把握および、その社会・環境・経済への影響の評価は急務である。

② 目的

これまででも、実データに基づき地域エネルギーシステムの実態研究が実施されてきた。名古屋⁵⁾では、全国 123 プラントを対象として、省エネルギー性に影響を与える要因を分析している。また、曹・尾島⁶⁾では東京都心部におけるプラントの稼働実態を明らかにしている。これらの研究はエネルギー効率の観点から、地域エネルギーシステムの実態を明らかにしているが、コスト面での検討や今後の普及可能性に関する議論は十分ではない。一方、佐土原⁷⁾では、今後のポテンシャルに関する議論が展開されているが、未利用エネルギーを中心とした既存技術に基づく検討が実施されており、コージェネレーション等の技術に関しては検討されていない。また、小田⁸⁾ではコージェネレーションの都市規模別の導入ポテンシャルが評価されているが、都市構造を概略化しているため、実体的な事業性を考慮した検討とはなっていない。

また、地域エネルギーシステムの個別事例に関する調査研究⁹⁻¹¹⁾は実施されており、その設計手法に関する一定の知見が蓄積されつつある。しかしながら、これらの検討は、実データやマクロ的な枠組みとの関係が十分に議論されてこなかった。

そこで本研究では、実データに基づき既存の地域エネルギーシステムの事業構造やエネルギー需給バランスの実態を検討し、社会経済および環境への影響を評価する。その上で、モデルを用いた数理最適化計算との比較を通じて、境界条件とシステムとの関係を精査することで、既設のシステムの有効活用の方法や新たな地域への普及展開の可能性について議論する。

③ データと基本特性

既存のデータを活用して、既存事例が豊富な首都圏における地域エネルギーシステムの導入状況を検討する。なお、首都圏とは東京都およびその周辺の埼玉県、千葉県、神奈川県を一体とした広域とし、本研究ではこの圏域を空間データを用いた分析を実施とする。ただし、熱供給事業の情報に関してはサンプル数をできるだけ多くするため、上記の首都圏に茨城県と群馬県のデータを加えて分析する。

✓ エネルギー需要の空間分布

首都圏におけるエネルギー需要の空間分布に関するデータを作成する。ここでは、地区スケールでの熱供給事業の実現可能性を検討するため、幹線道路、河川等で分断される可能性が低く、事業実施の検討が可能なまとまりである町長目の単位でデータを整備する。エネルギー需要の推計方法は国勢調査と経済センサスより得られる町長目単位の世帯数と従業員数に排出原単位を乗じることにより算出する。家庭部門の排出原単位は「家庭用エネルギーハンドブック」の報告値(27.7GJ/世帯/年)を用い、業務部門については「総合エネルギー統計」と「経済センサス」より対象地区全体での従業者一人あたりを算出し需要原単位(26.2GJ/人/年)として利用した。評価結果を図-1に示す。(同図には後述する、地域熱供給事業の実施地点についても示している。) エネルギー需要分布は東京都心部と放射状に延びる幹線鉄道の周辺部で高い値を示している。

✓ 地域熱供給事業に関する整理

地域熱供給事業の情報が網羅的にまとめられている「地域熱供給事業便覧」を活用して分析する。ここでは、平成 26 年度版のデータを用いる。

まず、エネルギー製造方法の差異に基づいて以下のように分類する。コージェネレーションシステムを持つ区域もしくはコージェネ施設より排熱を購入する地区を「コージェネレーション (CG) 型」、清掃工場等より排熱を購入する区域を「工場排熱利用 (EH) 型」とし、残った区域のうちヒートポンプによる熱供給能力が全体の 50%以上の区域を「ヒートポンプ (HP) 型」、それ以外を「一般システム (GS) 型」とした。また、規模に関してはべき乗則に従っており平均値に意味を見いだしにくいため、熱エネルギー需要量が 1,000TJ/年より大きい区域、200TJ/年のより大きい区域、それ以下の区域の 3 つ区分し、それぞれを対象として分析を実施する。

表-1 にそのクロス集計結果を表-2 に規模分類別の概要を示す。ヒートポンプ型のシステムが採用されている区域は小規模地区が多く、CGS 型はやや中規模区域に偏る傾向がある。また、図-1 に地図上にプロットした結果を示す。首都圏において、域熱供給事業は 81 区域で実施されている。地理的な分布をみると、東京の都心部にその大部分が集中している。全体の供給区域の面積は 17km²で、これは山手線の内側の面積 (63km²) の約 1/3 に相当する。また、供給対象の建物延床面積は 36km²である。熱導管の総延長は 325km で、区域あたりの平均は約 4km となっている。販売熱量の地域全体での合計は 15PJ であり、業務での利用が大半を占める。また、冷熱需要が温熱需要に比べて多く、これも冷房需要が多い業務利用が主体であるためであると考えられる。また、事業認可および事業開始の時期は 1990 年代前半に集中している。

また、熱エネルギー製造システムの平均的な加熱能力と冷却能力はほぼ同等であるが、GP 型では加熱能力の方が大きく、HP 型では冷却能力が比較的に大きくなる傾向がある。

✓ エネルギー需要密度と熱供給事業の関係

エネルギー需要密度ごとの町丁目の度数分布と、地域熱供給事業の立地状況をまとめた結果を図-2 に示す。町丁目のエネルギー需要密度が高まるにつれて、地域熱供給事業が実施されている可能性が高まっている。しかしながら、町丁目の需要密度はべき乗分布の特性を示し 5TJ/ha 以下の町長目が大半しめており、このようなエネルギー需要密度が低い地区においては、地域熱供給事業の立地確率は 0 に近い値となる。また、20TJ/ha 以上の地区においても、地域熱供給事業が実施される確率は 10%前後の確率に留まっている。また、密度の高い町丁目はサンプル数が少ないため、グラフ上は安定した値を得ることができないが、需要密度が 80TJ/ha の地区では 9 地区のうち 2 地区で事業実施されており、22%の確率となる。

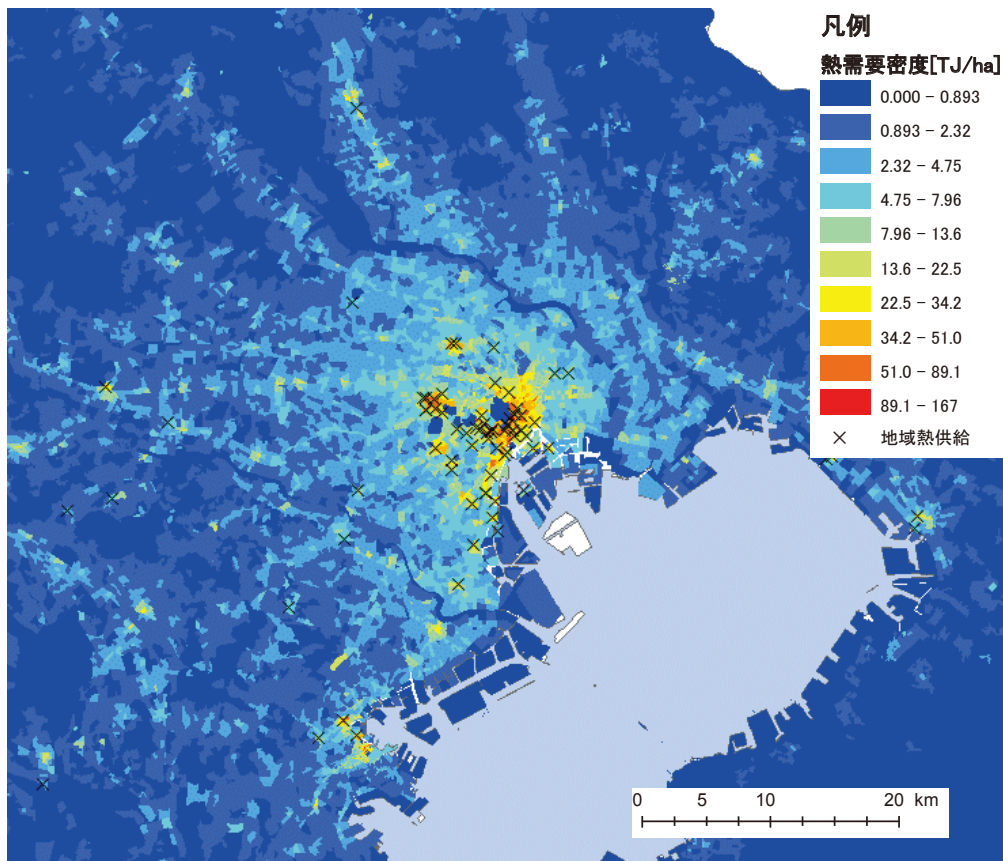


図-70 首都圏における熱供給事業の分布状況

表-23 地域エネルギーシステムの分類

	G S	C G	H P	E H	合 計
大規模	1	1	0	1	3
中規模	7	12	1	1	21
小規模	29	8	17	3	57
合計	37	21	18	5	81

表-24 地域エネルギーシステムの平均特性

	従 業 員 数	区域面積 (m ²)	延床面積 (m ²)	販売熱量 (GJ)
大規模	70	1,447,667	2,596,508	1,287,918
中規模	28	265,298	743,199	323,372
小規模	12	124,879	225,434	89,776
全体	18	210,276	447,487	207,831

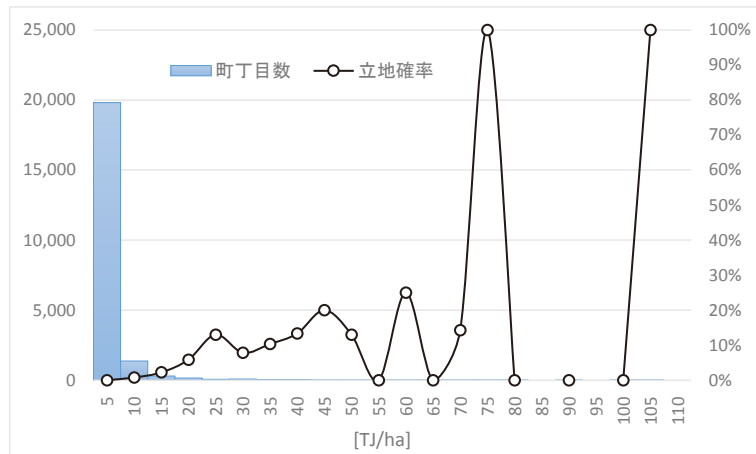


図-71 エネルギー需要密度と熱供給事業の立地率

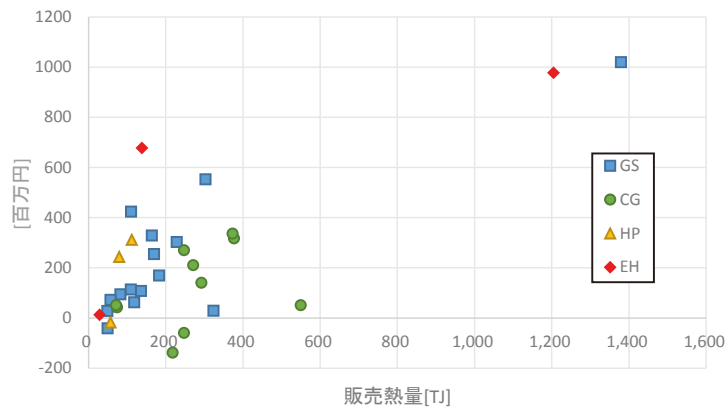


図-72 事業者収益

④ 収支構造の解析

熱供給事業便覧には、事業者ごとにのみ収支に関する情報が記載されている。一つの事業者が複数の地区において事業を展開している場合があり、全ての地区において事業収支に関するデータが存在していない。このため、ここでは、単一の地区での事業を実施している 38 サンプルについて分析する。

まず、地区ごとの事業収支を検討する。図-3 は縦軸に経常収支、横軸に事業規模を代表する値として年間の販売熱量を取った散布図である。事業規模が拡大するに従って収益は大きくなる傾向がある。ほぼ全ての地区において黒字となっているものの、中規模の区域を含めて 4 事業者では収支がマイナスとなっている。

次に収益の内部構造について検討する。事業収益 Π は収入から費用を差し引いたもので、以下のよう構成される。

$$\Pi = R - (C_1 + C_2 + C_3) \quad (1)$$

ここで R は収入を、 C_1 、 C_2 、 C_3 は熱供給事業の費用を表し、具体的な定義は以下の通りである。

- ・製造費 C_1 : 「製造設備」の維持及び運転に関する費用
- ・供給販売費 C_2 : 温水、冷水又は蒸気の供給販売に直接又は間接に要した費用
- ・一般管理費 C_3 : 業務管理のために直接又は間接に要した営業費用であって、製造費及び供給販売費以外の費用

✓ 費用構造の検討

全サンプル合計における営業費用の内訳は、製造費が 89% とその大半を占め、供給販売費が 5%、一般管理費が 6% 程度である。

各費用項目の決定要因について分析することを目的として、地区の面積および販売熱量を説明変数として回帰分析を実施した。全ての説明変数を採用した Model1 の結果を表-3 に示す。製造費用は販売熱量により規定され、また、供給販売費や一般管理費に関しては、販売熱量との関係は有意ではなく、供給区域の面積に依存している。

ただし、説明変数として採用した、販売熱量、延床面積、区域面積は相関関係があり、パラメータの値については多重共線性のため信頼できる値が得られないと考えられる。そこで、Model1 の推定結果および、各費用項目の定義を考慮して、関連の深い要因のみを説明変数として採用した Model2 の結果を表-4 に示す。これより販売熱量 1MJ 増加するにつれて、製造費が約 3.97 円増加し、延床面積が 1m² 増加すると供給販売費が 165 円、区域面積が 1m² 増加すると一般管理費が 91 円増加することになる。

✓ 事業収入の検討

「便覧」より地区ごとの売上高と販売熱量に関する情報が得られる。そこで、売上高を販売熱量で除することによりエネルギー価格を求めた、販売熱量とエネルギー価格の関係を図-4 に示す。規模の大きさに応じて販売価格が低下していく傾向を示し、最大で 12 円/MJ 程度、最小で 4 円/MJ 程度であり、地区ごとに大きな差があることが分かる。なお、供給システムの類型ごとの差は見られない。建物ごとの個別熱源装置により熱供給を実施した場合、設備投資費用も含めて 5.7 円/MJ 程度での供給が可能となる。したがって、規模の小さい区域においては、地域エネルギー供給システムの導入により、需要家側にコストメリットが発生していない。このことより、事業者の利潤は確保されているが、エネルギー製造の非効率性に起因するコスト上昇分が需要家へと転嫁されている可能性があることが分かった。これより、分散型の地域エネルギーシステムには、災害時においても継続的な利用が可能なる等のメリットがある一方で、コストの観点からは消費者の便益が損なわれている可能性がある。

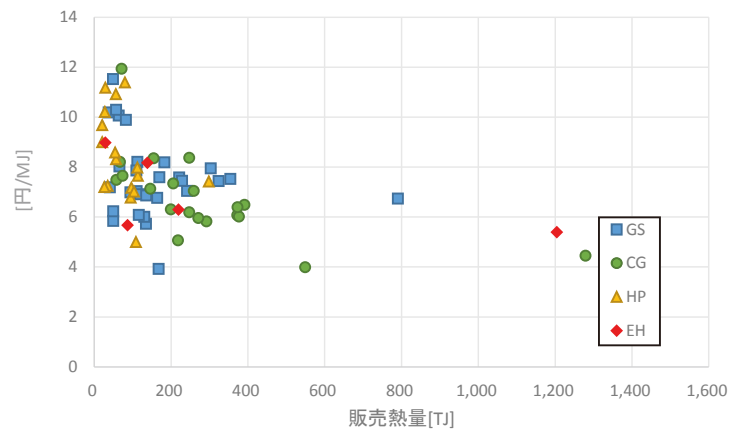


図-73 熱エネルギー販売価格

✓ 事業収支構造の検討

Model2 におけるパラメータの推定値に基づいて、事業収支が黒字化する境界を推計しその結果を図-4 に示している。ここでは、対象地区の平均値に基づいて、容積率を 213%と仮定し、熱エネルギー販売価格の設定値として需要家がエネルギーコスト削減を実現できる 4.5 円/MJ の場合と実データで観察された最大値である 12 円/MJ の場合を示す。図-2 に示したように多くの地区では事業収支はプラスとなっているが、これは、エネルギー価格が高く設定されているためである。熱エネルギー販売価格が 4.5 円/MJ の場合、2 地区を除いて経常収益がマイナスに転じることになる。

次に、町長目単位で熱エネルギー需要を推定し、同様の推計式に基づき分散型システムの導入により経常収益がプラスになる領域を選定した結果を図-5 に示す。このような地区は、全体の約 1.5%の地区に相当する。地理的な分布を見ると、東京都心部に集中している。既存の事業実施拠点とも整合する分布状況を示している。しかしながら、多くの既存拠点では立地している町長目の熱エネルギー需要の一部のみを供給対象としており、需要不足となっている。これより、現況の熱供給事業実施地点においても、より効率化できるポテンシャルを有することが示唆される。

表-25 パラメータ推定結果(Model1)

	製造費 C_1 (百万円)			供給販売費 C_2 (百万円)			一般管理費 C_3 (百万円)		
切片	2.81	(6.	*	-	(-	.	5.43	(6.	*
	e+02	079	*	2.62	1.7		e+01	557	*
		)	*	e+01	65)			)	*
区域	-	(-	.	-	(-	*	4.75	(2.	*
面積	2.20	1.8		6.90	2.2		e-05	246	
(m ²)	e-04	57)		e-05	54)			)	
延床	7.12	(2.	*	2.98	(3.	*	6.99	(0.	
面積	e-04	409		e-04	6)	*	e-06	132	
(m ²)		)						)	

販売 熱量 (GJ)	2.84 e-03 (5.085) *	- 1.81 e-04 (-1.116) *	8.70 e-05 (0.872) *
Adjusted R ²	0.964	0.820	0.596

括弧内の数値は t 値, Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

表-26 パラメータ推定結果(Model2)

	製造費 C_1 (百万円)	供給販売費 C_2 (百万円)	一般管理費 C_3 (百万円)
切片	3.22 e+02 (6.956) *	- 1.90 e+01 (-1.198) *	6.55 e+01 (8.704) *
区域 面積 (m ²)			9.14 e-05 (6.524) *
延床 面積 (m ²)		1.65 e-04 (9.28) *	
販売 熱量 (GJ)	3.97 e-03 (29.864) *		
Adjusted R ²	0.959	0.787	0.522

括弧内の数値は t 値, Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

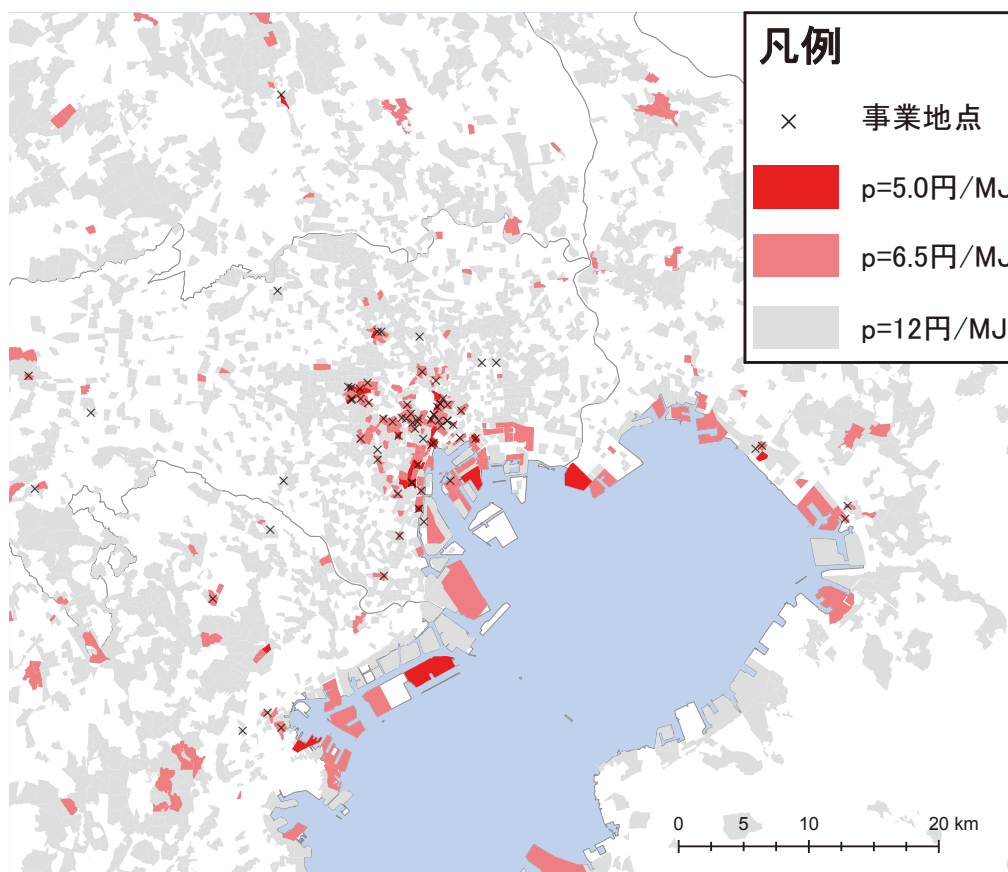


図-74 エネルギー収支構造の検討

⑤ エネルギーフロー解析

地域エネルギーシステムにおける、原燃料の利用から需要家への電気と熱の供給へと至るエネルギーの転換プロセスを解析する。その上で、個別熱源システムと比較を通じて地域エネルギーシステムの導入効果を環境的側面から検討する。

✓ エネルギーフローの設定

システムへの入力に相当する区域ごとの原燃料使用量は「便覧」に掲載されているため、そのデータを活用する。一方、出力に相当する需要家への供給量に関しては、「便覧」には熱エネルギーの情報は記載されているものの、電力については記載されていない。しかしながら、コージェネレーションに関する情報についても間接的ながら二通りの方法で記載されている。内部の設備の一部としてコージェネレーションの発電電力容量 (kW) が排熱利用量 (MJ/h) とともに記載されている場合と外部のコージェネレーションからの購入排熱量が記載されている場合である。したがって、発電電力量に関しては、これらの情報を用いて、以下のように補完した。コージェネレーションシステムの設備の発電電力容量 (kW) が記載されているものに関しては、稼働率 70%と想定してガス消費量および電気と熱の生成量を推定した。ここでは、総合効率 75%, 発電効率 35%, 熱利用率 40%としている。その上で、コージェネレーションで利用しきれないガスがボイラーで利用されると想定した。また、外部のコージェネよりの排熱購入として計上されている場合は、購入した排熱と同時に発電され

る電力量とそれらを生成するために必要となるガス消費量を算定した。その上で、原燃料使用量にコージェネによるガス消費量を加算した。なお、コージェネレーションシステムの総合効率、発電効率、熱利用率は上記と同等である。

✓ システム効率の評価

総合エネルギー効率を地区ごとに評価した結果を図-4 に示す。なお、電力の一次エネルギー換算係数を 9.28 MJ/kWh としている。規模が大きくなるに従い効率が改善していく傾向を示す。ヒートポンプ型のシステムが効率が高く、その他のシステムでは 0.5 から 1.0 程度の値となっている。既往研究⁵⁾と比較して整合した結果となっている。

しかしながら、総合エネルギー効率では、エネルギー投入量については一次エネルギー消費量として統一的に評価できるが、出力に相当するエネルギー生成量に関しては、電力と熱の質の違いや熱の温度差を考慮できない。このため、既往研究¹²⁾に従い、エクセルギー効率の観点から地域エネルギーシステムを評価する。まず、熱エネルギーのエクセルギー率の算定方法は式(2)の通りである。

$$\varepsilon = 1 - \frac{T_s \times \ln\left(\frac{T}{T_s}\right)}{T - T_s} \quad (2)$$

ここで、 T は環境温度を、 T_s は対象とする熱エネルギーの温度を表す。以上より、区域ごとにエクセルギー効率を評価した結果を図-5 に示す。暖房は環境温度と設定温度をそれぞれ 0℃と 20℃とした。同様に、冷房は 33℃と 26℃、給湯は 16℃と 40℃と仮定した。また、都市ガスのエクセルギー率は 0.92 とした。図では縦軸に対数目盛を採用しており、区域間や類型間において大きな差がある。類型ごとに見ると、コージェネレーション型、ヒートポンプ型、排熱利用型、一般システム型の順で効率が良いことが分かる。規模が大きくなるに従って効率が改善していくが、販売熱量 600TJ 以上の中規模以上の区域においては効率が低下する傾向を示している。

✓ CO₂削減効果

建物単位で個別熱源を持った場合を比較対象として、CO₂排出量の削減効果を評価する。ここでは、個別熱源として、系統電力を用いヒートポンプを利用するシステムを想定した。区域ごとに評価した結果を図-6 に示す。GS型とHP型の多くの区域においてCO₂が増加するという結果となった。ただし、事業規模が大きくなるに従って、CO₂の増加量は緩和されていく。また、CGSタイプの区域ではCO₂削減率が大きく、HPタイプの区域がそれに続く。

既往研究⁵⁾で想定されているように、比較対象となるエネルギー供給方法が従来型のシステムである場合は、ボイラーを主体としたGS型においても、一定のCO₂削減効果が見込まれたと考えられるが、ヒートポンプ等の技術が進歩したため、CO₂削減効果が相対的に見込めなくなった結果であると考えられる。

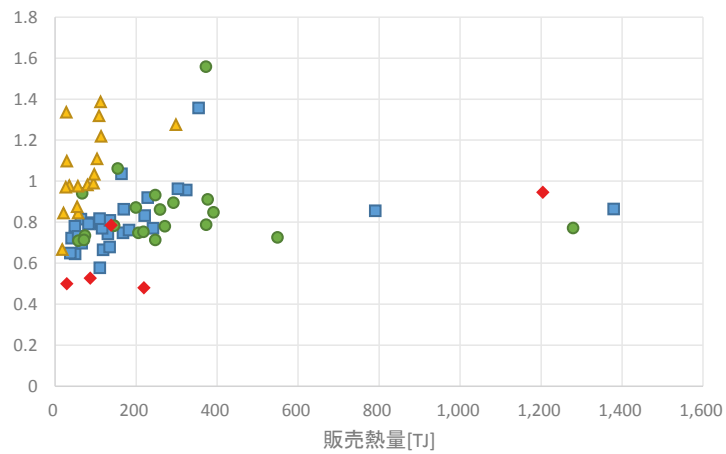


図-75 総合エネルギー効率

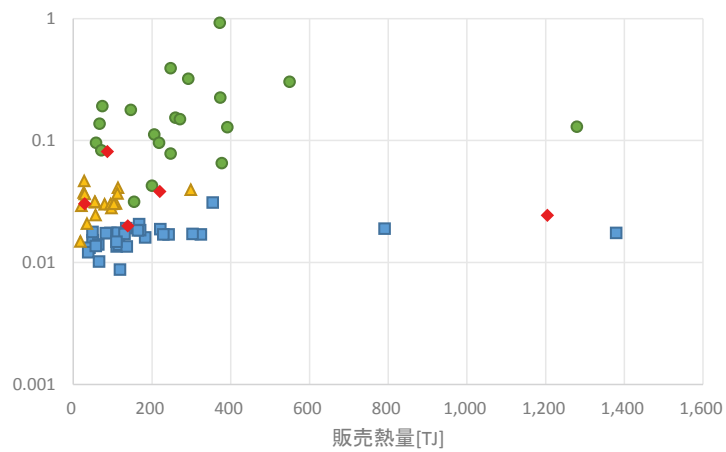


図-76 エクセルギー効率

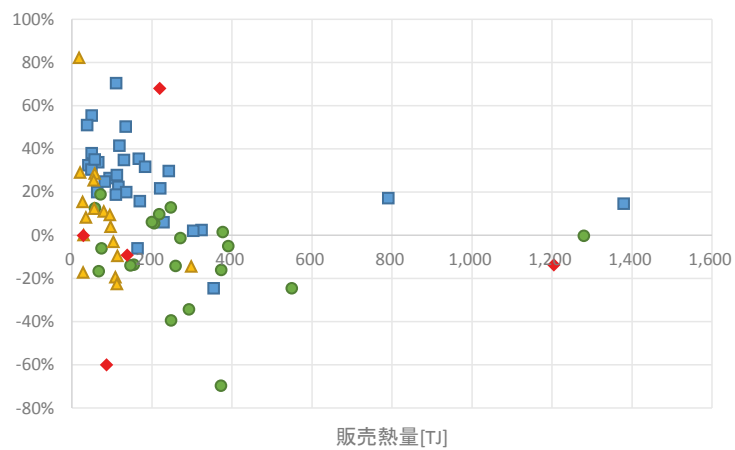


図-77 CO₂ 増減率

✓ エネルギーフローの評価

以上の検討に基づいて、システム類型ごとにエネルギーフローを解析した。以下にその結果をまとめる。

○ 一般システム型

ガスを原燃料とし温水・蒸気を生成し、温熱需要を充当するとともに、夏季は温水・蒸気を冷凍機に投入することで冷熱需要を充当するシステムである。ヒートポンプも設置されているがボイラーの容量に対して微小である。そのため、購入された系統電力の大半は、熱媒体の輸送動力等に利用されていると考えられる。

○ コージェネレーション型

ガスを原燃料とし、電気と熱を生成するシステムである。ただし、ガスエンジン等の電熱併給機器により賄われる熱需要の 1/3 程度であり、残りは併置されているボイラーにより生成されることになる。その結果、原燃料であるガスの 1/3 程度はボイラーに投入されている。また、一般システム型と同様に電力のヒートポンプでの利用は限定的で、熱媒体の搬送等に利用されていると考えられる。

○ ヒートポンプ型

電力を原燃料とし、温熱および冷熱を生成するシステムである。他の類型と比較して、需要家の規模が小さいこと、温熱需要に対して冷熱需要が 3 倍程度大きくアンバランスである。

○ 工場排熱利用型

基本的には工場もしくは清掃工場の排熱を利用して温熱と冷熱を供給するシステムであるが、排熱のみに依存するのではなく、ガスボイラーやヒートポンプが併置されている。これは、季節時間別の需給バランスの補正が必要であるためであると考えられる。したがって、年間に使用する原燃料全体における購入排熱の利用割合は半分以上となる。

⑥ まとめ

本章では、地区レベルのエネルギー供給事業について、その実態を解明することを目的として、データ解析を実施した。データ解析より以下の点が明らかになった。

- ・首都圏において、81 区域で稼働中の熱供給事業は大半が利益を上げる構造となっており、事業規模が大きくなるにしたがって収益も大きくなる。
- ・地域熱供給事業のエネルギー価格の設定は代替的なシステムと比較して、必ずしも安価な価格設定とはなっていない。したがって、需要家に対してコストメリットを提供できていない可能性がある。
- ・エネルギーフローに基づいて地域エネルギーシステムの効率性を評価した結果、熱エネルギーの製造方法により大きな差異があることが分かった。特にコージェネレーションを用いたシステムは効率が高く、ボイラーにより熱供給のみを行うシステムの効率が低く評価された。
- ・CO₂ 排出量を算定し、代替的なエネルギー供給方法と比較することで CO₂ 排出量の削減効果を評価した。その結果、小規模地区の多くにおいて CO₂ 排出量の削減効果が得られないという結果になった。

iii) 防災集団移転の実現可能性の定式化

① はじめに

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災は未曾有の被害をもたらした。現在、4 県 28 市町村 135 地区¹⁾において復興の高台移転事業が計画・実施されている。また震災後、国が発表した南海トラフ地震の想定²⁾によると死者数 32 万 3 千人という東日本大震災をかるかに上回る被害想定となっている。国は南海トラフ巨大地震の対策として、高台移転も含めた安全な都市立地の重要性を指摘している。

また、甚大な被害が想定されている 9 県³⁾は、国に対し高台移転の補助として東日本大震災被災地と同等の特例措置の適用、もしくは国庫負担の拡充を要請している。このように、津波対策として事前の防災移転を希望する自治体もあるが、被災前に防災移転を実施した例は未だ存在しない。

災害と土地利用に関する先行研究として、森田ら⁴⁾は、東日本大震災の被災地の高台移転事業を対象に集約型の都市構造を提案している。また、大原ら⁵⁾は南海トラフ沿岸域において将来的な人口減少を見据えたうえで人口誘導や土地利用規制といった対策の必要性を指摘している。武田ら⁶⁾は、高知市を対象に多くの住民が移住に関心があることや移転費用が地震による被害額よりも低いことを示している。

しかし、南海トラフ巨大地震の津波避難困難者の対策として、全国を対象に防災集団移転を地域ごとに検討・比較した研究はない。

そこで、本研究は、南海トラフ巨大地震の津波避難困難者に防災集団移転の可能性を検討する。まず、津波避難困難者の詳細な立地場所や人数、将来人口を推計する。そして、津波避難困難者の対策として被災前の防災移転と津波避難タワー建設の費用便益分析を行い、それぞれの対策の有効性を検証する。この時、事防防災集団移転が有利となる地域の特性を明らかにする。

② 津波避難困難者の推計

まずは、津波避難困難者を推計する。推計対象者は、全国の南海トラフ巨大地震の津波浸水想定区域内の住民とし、12 県 114 市町村を対象とする。対象の津波浸水ケース⁷⁾は各地域の津波到達時間が最短となるケースとした。推計手法を表-27 に示す。推計は 2 段階に別けて行った。

1 段階目は、避難先を既存の避難施設または津波浸水想定区域外とした。この時、避難可能時間よりも避難時間(=避難距離/避難速度)が長い場合、または、避難先到着時に避難先が収容可能人数を超えている場合は、その避難者は避難困難者とし、1 次避難困難者とする。次に、1 次避難困難者を対象に、避難先を津波浸水想定区域内の避難可能建物(非木造で 80 年代以降建築の 3 階以上の建物)および津波浸水想定区域外として、避難可能性を推計した。避難困難の基準は 1 次推計と同様であり、この推計を 2 次推計とし、この時の避難困難者を 2 次避難困難者(以下、避難困難者)とする。

表-27 津波避難困難者の推計方法

		本研究	行政(例) ⁸⁾
避難可能時間		避難先津波到達時間 T-300 秒	T-300 秒, T-900 秒
避難先	1 次推計	避難施設 浸水域外	避難施設 浸水域外
	2 次推計	避難可能施設 浸水域外	
避難距離	人口	建物の居住人 ⁹⁾	メッシュ

	道路	道路距離 (Open Street Map)	直線距離×1.5
	勾配	標高差	未考慮
	階段	避難先の津波浸水深	未考慮
避難速度	徒歩	0.62m/秒 ¹⁰⁾	0.74m/秒
		0.46m/秒 ¹⁰⁾ (乳幼児や高齢者同伴時)	
	階段	0.21m/秒 ¹¹⁾	未考慮
避難困難者の判断	時間	避難可能時間<避難時間	避難可能時間 < 避難時間
	収容可能	到達時に収容可能人数以上	避難施設周りの面積外

津波避難困難者の推計結果を内閣府の避難困難者数²⁾と比較して表-28に示す。

表-28 津波避難困難者の推計結果(人)

	1次推計	2次推計	内閣府
神奈川県	6	6	2,900
静岡県	101,243	44,658	95,000
愛知県	5,145	920	6,400
三重県	85,375	25,773	32,000
兵庫県	1,248	439	4,100
和歌山県	49,385	19,563	72,000
徳島県	71,052	21,418	25,000
愛媛県	2,819	221	4,400
高知県	41,652	7,576	37,000
大分県	26,725	5,415	17,000
宮崎県	57,612	13,448	39,000
鹿児島県	584	453	1,200

合計	442,846	139,890	336,000
----	---------	---------	---------

1次推計では内閣府と比較して、避難困難者数が多い県も少ない県も示された。これは、個人属性によって避難速度が異なることや実際の道路ネットワークを用いたことにより地域の特性が表れたためである。また、2次推計では全ての県で内閣府よりも少なく推計された。これは、内閣府が住民の避難先を既存の避難施設および津波浸水想定区域外のみとし、避難可能施設を考慮していないためである。

③ 津波避難困難者対策の費用便益分析

推計された2次避難困難者の対策として、防災集団移転と津波避難タワー建設の2つの対策を検討する。各対策のステイクホルダーおよび費用・便益項目を表-29に示す。表の○で示す項目が各対策の評価項目である。

表-29 避難困難者対策の費用便益項目

項目		防災集団移転			避難タワー建設		
		国	自治体	住民	国	自治体	住民
便益	人命保持			○			○
	被災削減	○	○	○			
	QOL 向上			○			
費用	建設費	○	○	○	○	○	
	維持管理費	○	○			○	

各対策の事業開始年は2016年とし、評価期間は事業整備完了後50年とする。避難タワーは2016年に建設し、評価期間は2066年までである。防災集団移転は事業年数を5年間とし、2071年までを評価期間とする。

津波避難困難者を地域別に分けて将来人口推計を行う。地域別けの基準は後述する。2040年までの将来人口推計は人口問題研究所の仮定値¹²⁾を用いコーホート要因法を、2041～2071年の将来人口はコーホート変化率法を用いた。

✓ 津波避難タワー建設

津波避難タワー建設の対策において、津波避難困難者が避難可能かつ、より多くの避難困難者が利用可能な場所に立地させるため、表-30の条件のもと集合被覆問題を解き、立地場所を選定した。立地候補地は、公有地とするため既存の公共施設の場所とする。ただし、避難可能時間がマイナス(津波到達時間が300秒未満)の避難困難者に関しては、今回考慮していない。

表-30 津波避難タワー建設の立地条件

対象者	2 次避難困難者
道路	道路(Open Street Map)
勾配	標高差
立地候補地	既存の公共施設地
避難可能時間	自宅の津波到達時間-300 秒
避難速度	徒歩：0.62m/秒
	徒歩：0.46m/秒 (乳幼児や高齢者同伴時)
避難可能距離	避難可能時間/避難速度
立地条件	避難タワーに避難可能な 対象者数の最大化

津波避難タワーの立地場所推計の結果、全国で 335 カ所となった。将来人口推計の地域は、共通の津波避難タワーを使用する避難困難者を同じ地域住民として、地域を別けた。

✓ 防災集団移転

防災集団移転の対策に関して、地域住民全員で移転とする。防災集団移転促進事業¹³⁾では、住宅団地の規模が 10 戸以上という事業要件があるが、今回推計する移転対象の地域は全ての地域とし、世帯数の制限を設けないものとする。

移転先として、各地域の最寄りの市区町村の本庁または支所、出張所、連絡所とした。これは、コンパクトシティ実現のため地域の拠点である市区町村役場が集約の拠点として適切であると考えたためである。

QOL の評価として、交通利便性(AC)・居住快適性(AM)・災害安全性(SS)が挙げられる¹⁴⁾。今回、移転先が最寄りの市区町村役場であることから、居住快適性(AM)は移転の前後で変わらないものとする。また、災害安全性(SS)は移転により向上するが、移転の便益評価項目として被害軽減を貨幣換算しているため、QOL の評価では再度計算しないこととした。すなわち、今回の QOL 評価は移転に伴う交通利便性(AC)のみに着目した。交通利便性の QOL 評価として西野らの研究¹⁵⁾を参考に貨幣換算する。式は(1)で、評価要素を表-31 に示す。

表-31 QOL の評価項目および貨幣換算

評価要素	教育・文化利便性	健康・医療利便性
対象施設	図書館，博物館，学校，幼稚園など	病院，診療所，保育所，老人ホームなど
算出方法 LPs	最寄りの対象施設までの距離/速度	最寄りの対象施設までの距離/速度
速度	4km/h	12km/h
支払い意思額 w	¥820/min	¥779/min

$$QOL_t = qol \cdot pop = (LPs - LPs_0) \cdot w \cdot pop \quad \text{--- (1)}$$

QOL_t：各地域における QOL，pop：地域の人口，w：個人の価値観

LPs：移転後の環境による物理量，LPs₀：移転前の環境による物理量

また，住民の被災軽減額は治水経済調査マニュアル¹⁶⁾を参考に表-32 の評価項目で式(2)とした。

表-32 住民の被災額の評価項目と単価

項目	評価額(万円)	単位
家屋 Wh	県別	/m ²
家庭用品 Wg	1,400	/世帯
清掃労働対価 Wc	1.043	/日

$$W = Wh \cdot \text{Area} + Wg + Wc \cdot 30 \quad \text{--- (2)}$$

W：1世帯の被災額，Area：1世帯の家屋床面積

その他の評価額については，表-33 に示す。ただし，便益の人命と被災の軽減額は，表の評価額に南海トラフ地震の各年1年間の生起確率を乗じた期待値を用いて計算する。

表-33 対策項目の評価額

			評価額（万円）	単位
便益	人命 ¹⁷⁾	住民	24,452	/人
		行政	総額-住民	/人
	被災	住民	式(2)	/世帯
		総額 ¹⁸⁾	3,600	/人
	QOL	住民	式(1)	/地域
費用	建設費	移転	国 ¹⁹⁾	/世帯
			自治体	/世帯
			住民	/世帯
			総額 ³⁾	/世帯
		タワー	国 ²⁰⁾	/棟
			自治体 ²⁰⁾	/棟
			総額 ²¹⁾	/棟
	維持管理費 ¹⁶⁾	移転	行政	/世帯・年
		タワー	自治体	/棟・年

便益の人命と被害額において、南海トラフ地震の生起確率式を乗ずることにより軽減期待額を算出する。地震発生が生起確率は地震調査研究推進本部²²⁾の評価手法を参考に、BPT 分布の確率密度関数 $f(t; \mu, \alpha)$ 式より、2015 年まで発災していない条件のもと各年 1 年間の生起確率 $P(T)$ を算出した。

$$f(t; \mu, \alpha) = \left\{ \frac{\mu}{2\pi\alpha^2 t^3} \right\}^{\frac{1}{2}} \exp \left\{ - \left(\frac{(t-\mu)^2}{2\mu\alpha^2 t} \right) \right\} \quad \text{--- (3)}$$

T ：西暦年， $\mu=90.1$ ：地震発生間隔（時間予測モデル）， $\alpha=0.24$ ：活動間隔のばらつき
 $t=T-1946$ ：1946 年からの経過年数

$$P(T) = \frac{f(t)}{\sum_{t'=1}^{300} f(t')} \quad \text{--- (4)}$$

$t'=T-2015$ ：2015 年からの経過年数

生起確率 $P(T)(\%)$ の計算結果を図-78 に示す。

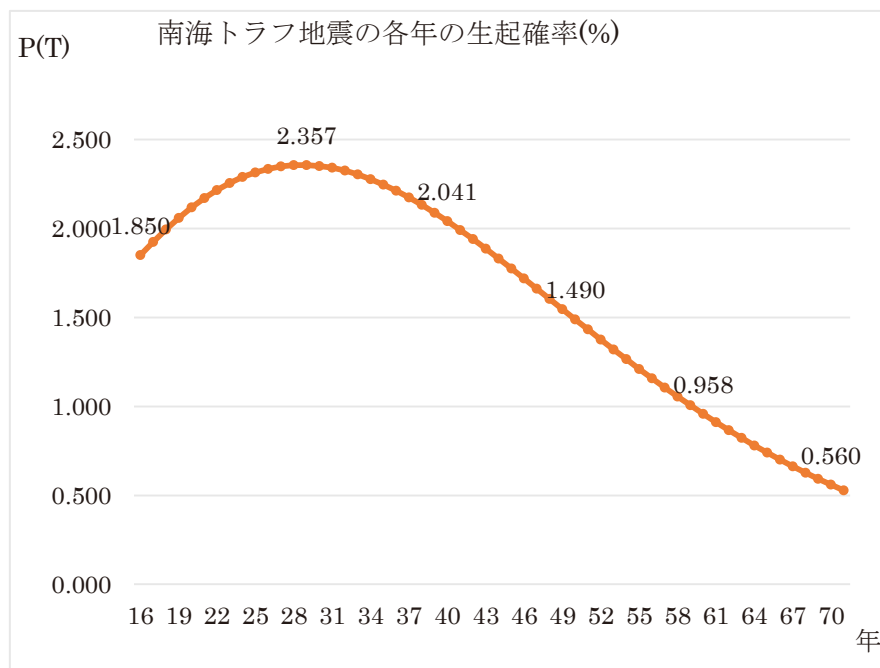


図-78 南海トラフ地震の各年の生起確率

✓ 費用便益分析の結果

■ 全国評価

費用便益分析は、社会的割引率を 4%として純現在価値 NPV と費用便益比 CBR を算出した。全国 335 地域の合計の計算結果を表-34 と表-35 に示す。

表-34 津波避難タワー建設における CBA（億円）

		国	自治 体	住民	合計	
便益	人命			108,014	108,014	
費用	建設費	0.53	0.26		0.79	0.88
	維持管理費		0.09		0.09	
NPV		-0.88		108,014	108,013	
CBR					12.3	

表-35 防災移転における CBA（億円）

		国	自治体	住民	合計	
便益	人命			83,466	83,466	97,372
	被災削減	10,920		1,368	12,289	
	QOL 向上			1,618	1,618	
費	建設費	4,813	6,839	2,788	14,440	15,659

用	維持管理費	1,219		1,219	
NPV		-1,951	82,296	81,713	
CBR		0.85	30.52	6.22	

津波避難タワー建設においても防災移転においても国と自治体の行政における NPV はマイナス値となった。しかし、住民を含めた全体の NPV はどちらもプラス値となった。また、タワーの方が移転に比べて全体の NPV も CBR も大きく、事業効果も効率も高いことが分かる。また、移転の住民の便益において、住民の全体便益に対し、被災額軽減額は 1.58%、QOL 向上は 1.87%となる。

■地域分類評価

次に地域ごとに見る。表 10 に各対策において合計 NPV がマイナス値、プラス値となる地域に分類し、その地域の各年の平均人口を示した。表-36 の－はマイナス値を、＋はプラス値を表す。

表-36 各対策の NPV 別の地域の将来人口

		NPV			
タワー		－	＋	－	＋
移転		－	－	＋	＋
地域数		1	0	4	330
分類		①	②	③	④
平均人口 (人)	‘10 年	2.00		2.50	357.60
	‘15 年	1.46		1.67	344.38
	‘20 年	0.80		1.10	331.99
	‘25 年	0.35		0.67	317.96
	‘30 年	0.15		0.43	303.04
	‘35 年	0.07		0.29	288.18
	‘40 年	0.03		0.18	273.20

表-36 より、タワー建設と移転の NPV が共にマイナス値となる地域は 1 カ所である。この地域①は 2010 年には 2 人であり、2040 年には 0.03 人となり、人がいなくなることが分かる。現在、人がほとんどおらず、将来人がいなくなる人口構成の地域は避難タワー建設も移転も有効ではないことが分かる。また、タワーの NPV 値はマイナスだが、移転はプラスである地域③は 4 カ所ある。これらの地域は、2010 年は 2.5 人と地域①と同様に少ないが、2040 年は 0.18 人と地域①よりも多く、将来の存続可能性が高い人口構成である。すなわち、現在人口が少ない地域でも将来、存続の可能性がある地域は、タワー建設よりも移転が有効であると言える。また地域④はその他の地域に比べて人口が多い地域は避難タワー建設も移転も有効であることが、表-34、表-35 の比較より避難タワー建設の方が有効であることが分かる。

次に、地域ごとに避難タワー建設と防災移転の NPV と CBR を比較、地域を分類する。表-37 の NPV と CBR では値が大きい対策、すなわち有効な対策を示している。平均人口(人)は 2015 年の地域

の平均人口を、平均人口密度(人/km²)は、面積はタワーより最大距離の住民の道路距離を半径として円面積をその地域の面積として 2015 年人口を除し、各地域の人口密度の平均より算出した。

表-37 タワーと移転の地域比較

分類	NPV	CBR	地域	人口	人口密度
I	移転	移転	18	2.7	5.55
II	タワー	移転	15	6.9	20.54
III	タワー	タワー	302	377.0	279.54

地域Ⅰは NPV も CBR も移転が有効な地域であり、地域Ⅲは NPV も CBR も避難タワー建設が有効な地域である。地域Ⅱは、NPV は避難タワー建設であるが、CBR は移転が有効である。すなわち、事業効果としては避難タワー建設が有効であるが、事業効率としては移転が有効であることを示している。地域Ⅰが最も人口が少なく人口密度が低い。地域Ⅲは人口が多く人口密度が高い。つまり、人口密度が低い地域ほど移転が有効であり、人口密度が高い地域ほど避難タワー建設が有効であることが分かる。

④ おわりに

全国の南海トラフ巨大地震の津波浸水想定区域において、実際の道路ネットワークや個人属性ごとの避難速度などを用いて、より詳細に津波避難困難者を推計することができた。また、避難施設に指定されていないが津波避難可能な建物も避難先とすることで、より現実には即した避難困難者を推計できた。

津波避難困難者に対して、地域の将来人口を推計した上で、避難可能になる対策として避難タワー建設と集団移転の費用便益分析を行った。結果として、現在人口が少ない地域でも、将来人口存続の可能性がないような地域はタワーも移転も NPV がマイナスとなり有効でないが、将来人口存続の可能性のあるような地域は、タワーは有効ではないが移転が有効であることを示した。また、人口密度の低い地域は移転が、高い地域は避難タワー建設が有効であることを示した。

現行制度の防災集団移転促進事業では、事業要件として 10 世帯以上の地域に限定されている。しかし、本研究で示したように将来、人口が存続し人口密度が低い地域ほど、防災移転の方が有効であることが示された。10 戸以上の条件を「南海トラフ地震による超全国災害への備えを強力に進める 9 県知事会議³⁾」が要請している東日本大震災特例措置の 5 戸以上²³⁾のように緩和することも検討すべきだと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：東日本大震災の被災地における集団移転促進事業計画の策定済み地区, 2015.3
- 2) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）, 2012.8.29

- 3) 南海トラフ地震による超全国災害への備えを強力に進める 9 県知事会議：政策提言書, 2015.4.21
- 4) 森田哲夫・細川良美・塚田伸也・湯沢昭・森本章倫：津波被害を考慮した地域構造に関する研究, 社会技術研究論文集 Vol.1, 2014.4, pp.1-11
- 5) 大原美保：南海トラフ沿岸域における将来的な人口変動を考慮した津波減災戦略に関する検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol. 70 (2014) No. 4 p. I_710-I_717
- 6) 武田裕之・津田泰介：南海トラフ地震による津波被害地域における震災前都市移転の可能性の検討-高知県高知市をケーススタディとして-, 都市計画論文集 Vol.50, No.3, 2015.10, pp.594-601
- 7) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data_teikyou.html, 2016/01/20 アクセス
- 8) 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の概要, 2012.8.29
- 9) 秋山祐樹・小川芳樹・仙石裕明・柴崎亮介・加藤孝明：大規模地震における国土スケールの災害リスク・地方災害対応力評価のためのミクロな空間データの基盤整備, 第 47 回土木計画学研究発表会・講演集, pp.1-19, 2013.6
- 10) 国交省：津波避難を想定した避難路, 避難施設の配置及び避難誘導について (第 3 版), 2013
- 11) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン(案), 2005.2.7
- 12) 国立社会保障・人口問題研究所：将来の生残率, 純移動率, 子ども女性比と 0-4 歳性比--『日本の地域別将来推計人口』(平成 25 年 3 月推計)
- 13) 国土交通省：防災集団移転促進事業及び都市防災総合推進事業について, 2012.6
- 14) 加知範康, 加藤博和, 林良嗣, 森杉雅史：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, 土木学会論文 D, Vol.62, No.4, pp.558-573, 2006.
- 15) 西野慧ら：郊外居住者の価値観を考慮した大都市圏における都市コンパクト化の評価, 第 43 回土木計画学研究発表会, 2011.
- 16) 国土交通省：治水経済調査マニュアル (案), 2015.2
- 17) 内閣府：平成 23 年度交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査報告書, 2012.3
- 18) 内閣府：東日本大震災における被害額の推計について, 2011.6.24
- 19) 国土交通省：防災集団移転促進事業及び都市防災総合推進事業について, 2012.6
- 20) 中央防災会議：南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法概要, 2014.3.28
- 21) 朝日新聞 DIGITAL：「宮崎」宮崎市に津波避難タワー完成 200 人収容可能, 2015.4.8, <http://www.asahi.com/articles/ASH4746M6H47TNAB00F.html>, 2016/02/01 アクセス
- 22) 地震調査研究推進本部：長期的な地震発生確率の評価手法について, 2001.6
- 23) 国土交通省 HP, 2016/02/08 アクセス http://www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/tobou/g7_1.html

(b) 土地利用・インフラ再編を伴う縮退戦略のコベネフィット評価モデルの構築

上記で開発した各指標の評価モデルとともに、既に申請者が開発を進めている、地震災害や水害に伴う人命・財産・生活被害とその回復過程を小地区単位でシミュレートして評価するモデルシステムを用いて、GIS 上で 500m メッシュ単位での長期的「サステナビリティ」と災害時「レジリエンス」評価を可能とするモデルシステムを整備した。前者は住民サービス新設費用当たり QOL や、CO2 排出量当たり QOL が長期的に安定して高い水準で推移するかどうかで評価できる。また、後

者は各種被害を住民の総余命損失と財産・インフラ被害額の少なさとして評価できる。これらの指標を用いて、縮退戦略実施（撤退・集約地選定）や各種インフラ整備がもたらすコベネフィットが評価できるようになる。

なお、近年における集中豪雨災害等の頻発を考慮して、災害影響の地理的分布や頻度変化を組み込んだ縮退戦略の立案は必要不可欠である。そのため、気候変動影響シナリオと統合的な高解像度の災害リスク影響評価モデルを新たに開発し組み込んだ。これによって、例えば河川水害であれば、気候変動進展後において、堤防・ダムなどのインフラ建設策と、後背地から撤退し浸水を許す策とでのレジリエンスの違いを評価できるようになり、CO₂ 排出量等とも合わせた縮退戦略検討が可能となった。

i) QoL 評価モデルの構築

① システムの基本的な考え方

本研究では、まず空間データを用いてニュータウンにおける現状の都市環境評価を行い、その特徴を明らかにする。次に、そこから得られた結果とニュータウンの整備方針に基づき、将来シナリオの検討と作成を行い、住宅・土地利用変化の推定を行う。これらの結果を用いて、建物費用と居住者の生活の質（QOL）を算出することで、対象地域におけるニュータウン再生に向けた基礎的知見を得る。

研究の全体フローを図-3.1 に示し、以下、各項目について説明する。

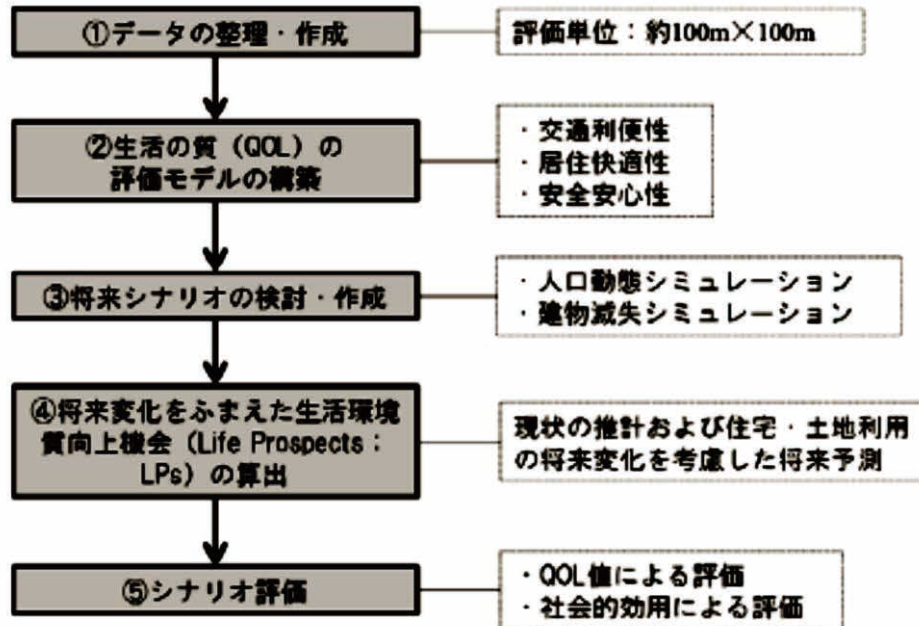


図-79 研究の全体フロー

② 評価単位および使用データ

ニュータウン内の詳細な居住環境の把握のためには、地理的分布を把握することが重要である。既往研究では、市区町村単位や第3次標準地域メッシュで評価したものが多いが、本研究では分析

評価単位として、将来どのように変化していくかを詳細に把握することができる、約 100mX100m メッシュに分割した地区単位を使用する。

評価・算出に当たっては、まず GIS を用いて既存空間データより、土地利用・建物・公共施設・インフラなど属性毎に必要な情報を抽出および整理する。本研究で使用する既存空間データ及び統計資料を表-3.1 に示す。なお、100mX100m メッシュでの集計が困難な指標については、市区町村単位データを用いる。

詳細建物ポイントデータは、秋山ら（2013）により、住宅地図（Zmap・Town II）を加工することで、建物の「国勢調査メッシュデータ（2005）」や「国勢調査（2005）」の属性テーブルと結合しており、建物の用途を詳細に観察できるデータを整備したものをを用いる。具体的には、2008～2009 年の全国約 6,000 万棟を対象に、建物 1 戸ごとに 1)市区町村、2)建物用途、3)建築面積・階数、4)経度・緯度、5)構造、6)築年代、7)居住者情報、計 7 点の情報と結合している。また、結果の可視化には ESRI 社の ArcGIS Desktop を使用した。

表-38 使用データ一覧

データ仕様	空間データ・統計資料	発行者	データ仕様	空間データ・統計資料	発行者
小地区詳細データ	国土数値情報	国土交通省	市区町村データ	出生率、生残率、純移動率	国立社会保障・人口問題研究所
	国勢調査地域メッシュ統計	総務省統計局		交通事故統計年報	交通事故総合分析センター
	詳細建物ポイントデータ	東京大学地球観測データ統融合連携研究機構		犯罪情勢	警察庁
	確率的振動予測地図	防災科学技術研究所		全国パーソントリップ調査	国土交通省
	気象統計情報	気象庁		住宅・土地統計調査	総務省
	全国デジタル道路地図	ESRIジャパン		建築物工統計調査・滅失統計調査	国土交通省
	商業統計	経済産業省			
	細密数値情報	国土地理院			

③ 生活の質の評価方法

本研究では、都市環境政策検討にあたっての「生活の質」の定義として、前章に挙げた Myers および加知らによる定義を用いて定量化する。具体的には、構成指標を交通利便性（AC）、居住快適性（AM）、安全安心性（SS）とし、「居住地区における環境物理量 LPs」と、そこに居住する「個人の主観的な価値観 TkW」によって決定されるものと定義する。

✓ 生活の質の評価方法

QOL 値を式(3.1)～式(3.3)のように定式化する。

$$QOL_k = w_i^T LPs \quad (3.1)$$

$$w_i^T = [w_i^{AC} \ w_i^{AM} \ w_i^{SS}] \quad (3.2)$$

$$LPs_i = [AC_i \ AM_i \ SS_i] \quad (3.3)$$

ここで、 QOL_{ki} は個人属性グループ k の地区 i での QOL、 AC_i は交通利便性、 AM_i は居住快適性、 SS_i は安全安心性であり、この3指標を生活環境質向上機会と定義する。

さらに各要素を4つの評価項目で構成する。各評価項目は既往研究を参考に、指標間の独立性と住宅・土地利用との関係に留意しながら表-3.2 のとおり設定した。

表-39 各評価指標の評価要素および項目の整理

評価指標	評価要素	評価項目
交通利便性 AC	企業施設利便性 AC_1	就業場所までの交通利便性
	文化施設利便性 AC_2	公共文化施設までの交通利便性
	医療施設利便性 AC_3	医療施設までの交通利便性
	買物施設利便性 AC_4	商業施設までの交通利便性
居住快適性 AM	空間使用性 AM_1	住民一人当たり居住床面積(m^2 /人)
	周辺調和性 AM_2	空家率(%)
	自然環境性 AM_3	緑地面積割合(%)
	空間快適性 AM_4	体感温度(スコア換算値)
安全安心性 SS	地震危険性 SS_1	地震による損失余命(year)
	洪水危険性 SS_2	河川浸水による損失余命(year)
	犯罪危険性 SS_3	年間刑法犯遭遇率(件/1000人)
	交通事故危険性 SS_4	年間人身事故遭遇率(件/1000人)

式(3.1)は QOL を無次元量として評価するものであり、評価結果について価値判断を行うことが難しい。本研究では QOL 値を「質的に調整された生存年数 (Quality Adjusted Life Year : QALY)」で表現する。QALY は医療分野において費用効果分析のために開発された尺度であり、健康な人の1年を1.0 (year/year) としている。従来の住環境評価では、点数付けや貨幣換算などが用いられていたが、前者は点数の価値づけが説明できず、後者は非経済的側面を分析する際に問題が生じる。したがって、本研究では、QOL によって居住者が過ごす時間の効用が異なると仮定し、式(3.4)のとおりに、価値観を表す重みを余命換算値へと換算した W^L を用いる。

$$QALY = f(w^L, LPs) \\ = \sum_j w_j^L \cdot LPs_j \quad (3.4)$$

住民の価値観を表す余命換算値 W^L を、コンジョイント分析により推計する。本研究では戸川ら(2012)が平成22年10月に名古屋都市圏で実施したアンケートを用いて算出する。

アンケートは住民に評価項目からなる2つの属性プロファイルを有する居住地を示し、どちらがより好ましいか選んでもらう形式である。アンケートの概要を表-3.3に示す。得られた結果を用

い、式(3.5)、式(3.6)に示す 2 項ロジットモデルのパラメータを、最尤推定法を用いることによって、属性間の重みパラメータを特定する。

$$P(m) = \frac{\exp(\beta \cdot \mathbf{x}_m)}{\exp(\beta \cdot \mathbf{x}_m) + \exp(\beta \cdot \mathbf{x}_n)} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} U_m &= \beta \cdot \mathbf{x}_m + \varepsilon_m \\ &= \sum_j \beta_j \cdot x_{j,m} + \varepsilon_m \end{aligned} \quad (3.6)$$

ここで、 $x_{j,m}$ は、ロジットモデルにおける各変数 ($=LP_{sj}$)、 β_j は各測定指標に対するパラメータである。さらに居住地属性プロファイルの中に地震による損失余命量 (SS1) を合わせて提示し、余命損失量に対するパラメータ β_L を得ることで、各要素と生存年数との相対的な重みを式(3.7)により推定する。この値を式(3.4)に用いることで、QOL 値を算出することができる。

$$w_j^L = \frac{\beta_j}{\beta_L} \quad (3.7)$$

表-40 アンケートの実施概要

調査期間	2010年10月
実施対象	名古屋20キロ圏に在住の20～70代の住民
配布・回収方法	Webアンケート
回答者数	400人
質問項目	①生活環境の構成要素 (LPs) を示した居住地プロファイルに対する居住選好 ②個人属性

✓ 将来シナリオ

将来の住宅立地と土地利用の変化を予測するためには、居住者の「属性」と「将来居住地選好」との関係の詳細に分析する必要がある。戸川ら (2008) は、将来の世帯構成変化予測を前提として、居住地選択・住宅市場モデルを構築するとともに、世帯を世帯主の年齢別に 7 区分、世帯タイプ別に 4 区分の合計 28 タイプに細分化し、行動を分析している。しかし、市区町村を分析単位としているため、本研究の小地区単位での評価に適応することが難しい。山崎 (2011) は、第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査付帯調査「都市交通と暮らし方についてのアンケート調査」の個票データを用いて、将来居住地選好を形成する住み替え以降の有無と、居住地選択意向について基礎分析と選択モデルの構築を行い、選好を決定する要因の分析を行っている。本研究でも同様の手法により、居住者属性別の居住地選好を推計することが望ましいが、そのためのデータを入手することができなかった。そこで本研究では、福田らの構築したモデルを参考に、将来予測モデルの全体構成を図-3.2 のとおり定めた。

対象住宅を戸建住宅と集合住宅とし、人口移動シミュレーションからそれぞれの将来世帯数を算出し、5 年毎に必要な住宅立地量を算出する。住宅残存量は、建物減失シミュレーションを用いて既

存住宅の寿命から算出する。算出された必要住宅立地量と残存量の差から住宅新築量を算出し、戸建住宅と集合住宅の世帯数を決定する。対象期間は、使用データの性質上5年毎の将来推計を2040年まで行う。また、本研究での将来予測では、住宅と土地利用の変化による都市環境が居住者に与える影響について評価することを目的としているため、交通インフラ等は変化しないものと仮定する。

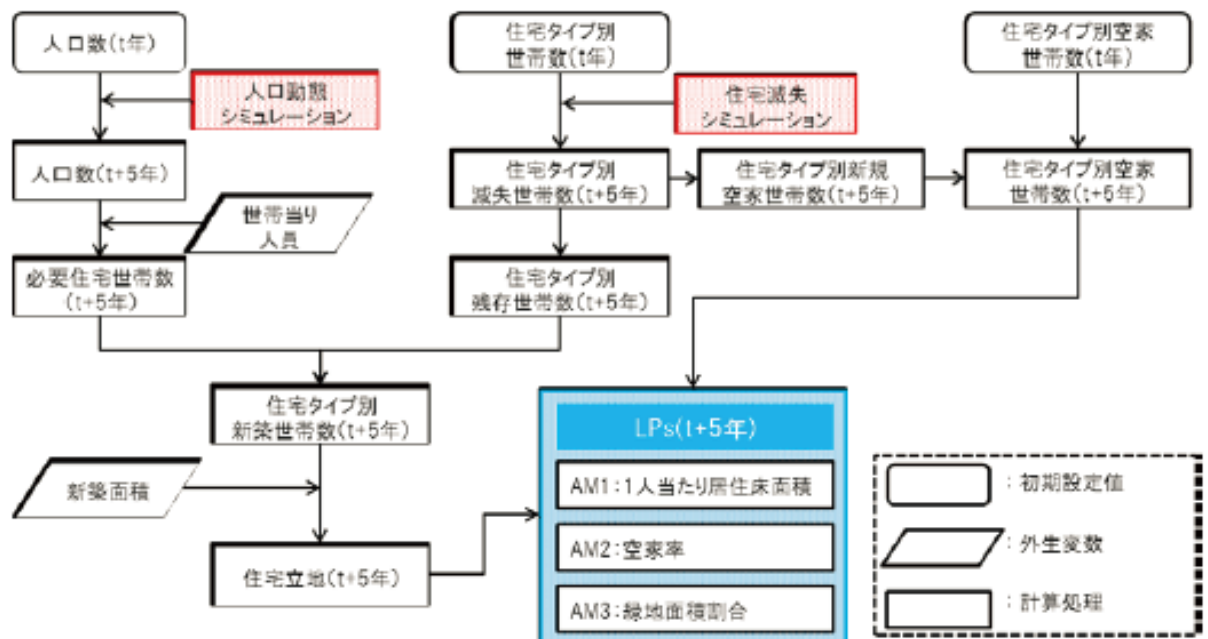


図-80 将来予測モデルの全体構成

✓ 人口動態シミュレーション

BAU 人口

BAU 人口は人口が現在のトレンドで変化していくと仮定したときの人口と定義し、対象地域における将来人口推計は、国立社会保障・人口問題研究所が提供している「日本の市区町村別将来人口」の方法に従い、100m×100m メッシュ毎にコーホート要因法を適用する。将来人口の算出フローを図-3.3 に示す。コーホート要因法に使用する、出生率、生残率、純移動率、出生比率は、対象地域が位置する町の値を用い、2040 年まで5年おきに推計する。

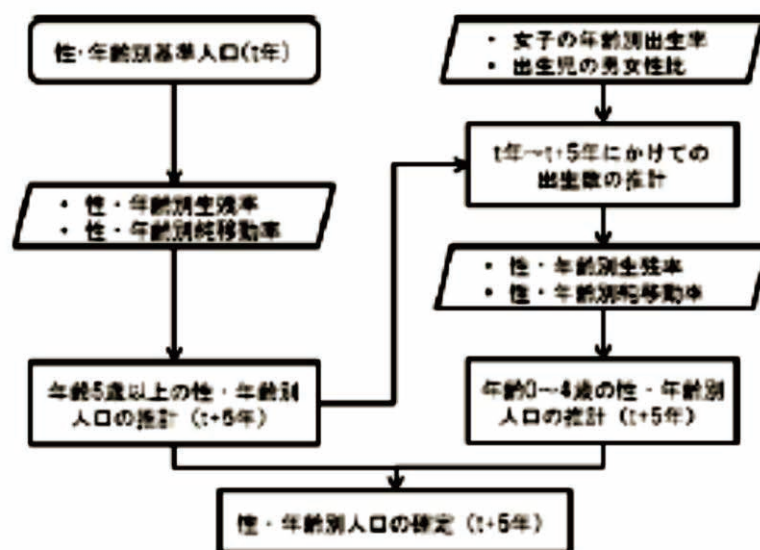


図-81 将来人口算出フロー

シナリオ設定人口

将来のシナリオ人口を算出する際、地域内だけでなく地域間での人の動きも考慮する必要があるが、そのためのデータを得ることができなかった。そこで本研究では、対象とするニュータウン内に、人口の流入地区と流出地区を定める。

図-3.4 に示すように、人口を集約する地区（以下、「流入地区」とする）は、居住者が優先する都市の魅力値が高い地区（魅力値は4章で詳述）とし、流入地区以外の地区を「流出地区」とする。次に、各年における流出地区のBAU人口の最大10%を、5年おきに「流入地区」へ集約を行う。流入地区への人口配分は、流出人口の合計値を一律に均等配分する。したがって、各年におけるBAU人口の合計値と、シナリオ設定に基づいた人口の合計値は一致し、図-3.4の実線と点線で示すよう、各地区において人口の割り振りが行われる。

人口の流出・流入地区の決定方法および各流出地区の流出人口の決定方法に用いた数値は、人口移転を考慮したシナリオ分析を行った鈴木ら（2011）を参考に設定した。

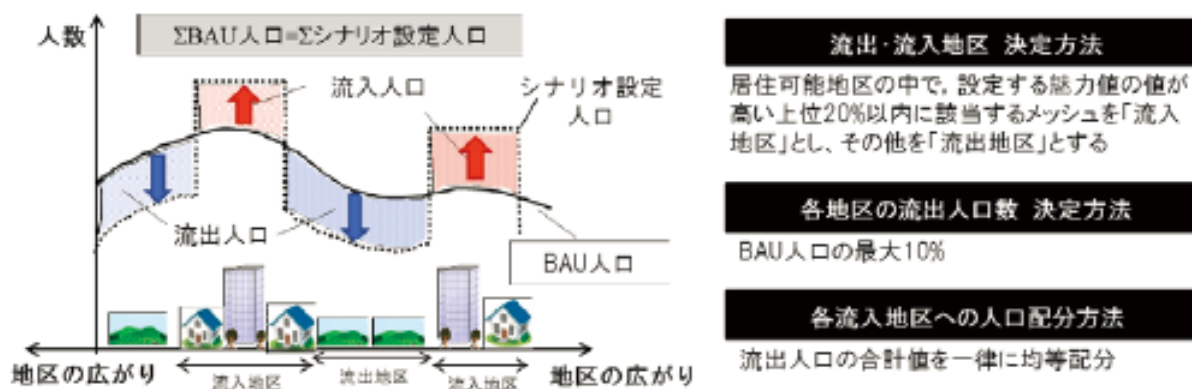


図-82 シナリオ設定人口のイメージ図

✓ 建物滅失シミュレーション

住宅は一般的に、老朽化などの理由によって、建設されてから時間経過によって徐々に滅失する。個別に建物の滅失時期を特定することは困難であるため、本研究では小松（2008）の式を用いて、用途別に5年単位で推計する。住宅残存量の算出式を式(3.8)に示す。

$$S_c^{t+5} = S_c^t \cdot (1 - P_c^t) \quad (3.8)$$

ここで、 S_c は t 年の住宅タイプ c の残存量、 P_c^t は小松らが算出した住宅の滅失確率である。

✓ 各生活環境質向上機会の算出

○交通利便性（AC）

交通利便性は就業、文化、医療、買物・サービスの各施設への近接性により構成されると定義する。各施設への近接性を評価する指標を式(3.9)のように定式化する。また、交通利便性は公共交通アクセシビリティと自動車交通アクセシビリティから構成する。

$$AC_i = \sum_j \{AT_j \exp(-\alpha c_{ij})\} \quad (3.9)$$

ここで、 AC_i は評価対象地区 i のアクセシビリティ、 AT_j は目的地区 j の魅力値、 α は距離低減パラメータ、 c_{ij} は地区 i から j へ移動する際の一般化費用である。

式(3.9)における距離低減パラメータ α は正の定数であり、一般化費用の大小に応じてアクセシビリティがどの程度減少するかを決定するパラメータである。距離低減パラメータ α の推定は、対象地域の分布交通量を重力モデル式(3.10)で表現できると仮定し、パーソントリップの調査から得られたOD表を用いて推定することで得られる距離低減パラメータを利用する。今回パーソントリップデータには、全国都市パーソントリップ調査（平成22年）のうち、自動車の平日調査と休日調査のODデータ及び所要時間データを利用する。

一般化費用 c については、国土交通省（2008）の「時間価値原単位および走行経費原単位」を参照し算出する。また一般道路と有料高速道路を区別するため、有料高速道路利用時には利用距離に応じた料金を合計した値を一般化費用 c として用いる。詳細設定を表-3.4に示す。

$$T_{ij} = \beta G_i^\gamma A_j^\delta \exp(-\alpha c_{ij}) \quad (3.10)$$

表-41 設定値

α 推定結果 [1/円]	7.20×10^{-4} (t値:-15.3)
時間価値	2,100(円/時)
徒歩速度設定	5(km/時)
大都市近郊区間	29.52(円/km)
高速自動車国道	24.6(円/km)

ここで、 T_{ij} は地区 i 、 j 間の分布交通量、 G_i は地区 i の発生交通量、 A_j は地区 j の集中交通量、

$\delta, \gamma, \beta, \alpha$ はパラメータである。

魅力値 AT の対象範囲は、対象地域の自治体および対象地域と隣接する自治体とし、計算は、GIS ソフトウェア（ArcGIS for Desktop）を用いて行う。評価項目で用いる魅力値 AT を表-3.5 に示す。

表-42 評価項目と魅力値 AT

評価項目	魅力値 AT
就業場所までの交通利便性	全産業事業所数
公共文化施設までの交通利便性	図書館・美術館・博物館・小中学校の合計施設数
医療施設までの交通利便性	医療診療科目数
商業施設までの交通利便性	小売床面積

また将来値を算出するにあたっては、人口分布の変化のみ影響を受けるとし、交通インフラや魅力値に係る施設立地は変化しないと仮定する。

○居住快適性（AM）

(1) 住民 1 人あたりの居住床面積

住民 1 人あたりの居住床面積は、地区内の総延べ床面積を総夜間人口で除することで算出する。算出式を式(3.11)と式(3.12)に示す。現状値については建物ポイントデータの「建物建築面積・建物階数」と「居住者情報」の属性データを 100m メッシュ単位で集計した。

$$AM_{it} = \frac{FS_i}{POP_i} \quad (3.11)$$

$$FS_i = CA_i \times BF_i \quad (3.12)$$

ここで、 AM_{it} は地区 i の空間使用性、 FS_i は総居住床面積、 POP_i は総人口、 CA_i は建築面積、 BF_i は建物階数である。

また将来においては、式(3.12)に示した建築建物面積と建物階数の予測が困難であるため、現状における世帯あたり居住床面積は将来においても一定であると仮定し、将来の 1 人あたり居住床面積 AM_{it}^f を算出する。算出式を式(3.13)～式(3.15)に示す。

$$AM_{it}^f = \frac{FS_i^f}{POP_i^f} \quad (3.13)$$

$$FS_i^f = RH_i^f \times CA_i \quad (3.14)$$

$$\Delta RH_i = \alpha \cdot P_i - \beta \cdot (1 + \gamma) \cdot RH_i \quad (3.15)$$

ここで、 FS_i^f は将来の総居住床面積、 RH_i^f は将来世帯数、 ΔRH_i は新規発生世帯数、 α は人口あたり世帯数、 β は残存率、 γ は更新率である。

(2) 空家率

平成 20 年住宅・土地統計調査（総務省統計局）によると、空家とは、「居住世帯のない住宅のうち、一時現在者のみの住宅と建設中の住宅を除いたもの」と定義し、空家戸数は今後も増加していくと指摘している。また、空家による周辺の悪影響は多岐にわたると報告されている。

一方、本研究が対象とするニュータウンなどの住宅団地では、居住者が一斉に高齢化するなど、大量に整備された集合住宅で空家世帯数が増加している。そこで本研究では、集合住宅の空家世帯数の増加を評価するため、建物ポイントデータの「建物用途」が、「個人の家屋」と「共同住宅」となっている建物の合計世帯数を住宅数とし、その中に居住者情報が入っていない世帯を空家と再定義する。空家率は、現状値・将来値ともに、地区内の空家数を住宅数で除することで算出する。算出式を式(3.16)に示す。

$$AM_{2i} = \frac{EH_i}{HF_i} \times 100 \quad (3.16)$$

$$\Delta EH_i = (1 - \beta) \cdot (1 - \gamma) \cdot (1 - \lambda) \quad (3.17)$$

ここで、 AM_{2i} は周辺調和性、 EH_i は空家世帯数、 HF_i は総世帯数、 λ は除却率である。

(3) 緑地面積割合

緑地面積は、国土地理院が整備している「細密数値情報（10m メッシュ土地単位）」の属性が、「山林・農地等」および「公園・緑地」に該当する面積の合計値とする。本データは、土地利用分類データと空中写真を用いて判読していることから精度が高い。現状値については、緑地面積を地区内の面積で除することで算出する。算出式を式(3.18)に示す。ただし、地区内の総面積は、河川・湖沼・海水域を除く。

$$AM_{3i} = \frac{GS_i}{AS_i} \times 100 \quad (3.18)$$

ここで、 AM_{3i} は自然環境性、 GS_i は総緑地面積、 AS_i は総面積である。

また、将来においては式(3.18)に示した総緑地面積の予測が困難であるため、将来の総緑地面積は新たに建設される戸建住宅の開発により減少すると仮定する。新たに建設される戸建て住宅の新築面積は、平成 22 年国勢調査「住宅種別と世帯人員毎の住宅延床面積」を用いる。

将来の自然環境性を式(3.19)、式(3.20)を用いて算出する。

$$AM_{3i}^f = AM_{3i} - \Delta AM_{3i}^f \quad (3.19)$$

$$\Delta AM_{3i}^f = \Delta RH_i \times CA_i \quad (3.20)$$

ここで、 ΔAM_{3i}^f は自然環境性変化量である。

(4) 体感温度（スコア値）

人が感じる暑さ寒さの感覚を指標化したものとして、有効温度・体感温度・不快指数など数多くの指標があるが、本研究では、体感温度を採用する。体感温度を指標化するにあたっては以下の 3 点により判断を行った。

- 1)不快指数は夏場を想定した指標であるのに対し、体感温度は通年で評価可能であること。
 2)日本天気協会で毎日予報されるなど、知名度が高いこと。
 現状と将来におけるミスナール体感温度の算出式を式(3.21)に示す。

$$T_e = T_s + \Delta T_s - \left(\frac{1}{2.3} \right) \times (T_s + \Delta T_s - 10) \times \left(0.8 - \frac{H}{100} \right) \quad (3.21)$$

ここで、 T_e は体感温度、 T_s は乾球温度、 H は想定湿度、 ΔT_s は将来気温変化である。

将来気温変化 ΔT_s は、気象庁が平成 25 年 3 月に刊行した「地球温暖化予測情報第 8 巻」の気温の将来予測を参照した。

体感温度で快適と判定されるのは、行楽日和と呼ばれるような状況であり、 30°C を超える暑い日や、 0°C を下回る日は一般的には不快とされる。そこで本研究では松田ら（2013）を参考に、快適な体感温度帯を $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ と設定し、その温度帯から外れると得点が低くなるよう、スコア化を行った。またスコア化に際して、快適な体感温度帯より 1°C 体感温度が上がるとスコア 1 点下がるのに対し、快適な体感温度帯より 5°C 体感温度が下がるとスコア 1 点下がる変換をおこなった。算出式を式(3.22)に示す。

$$AM_{4i} = SC_i \quad (3.22)$$

ここで、 AM_{4i} は空間快適性、 SC_i は体感温度のスコア換算値である。

○安全安心性（SS）

(1) 地震による損失余命

地震による想定死亡確率は、内閣府中央防災会議の南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループの推計方法に沿って算出した。想定される地震として、防災科学技術研究所による、今後 30 年における 6%確率計測震度の領域図を用いた。木造・非木造割合は、マイクロ建物ポイントデータをを用いて、市区町村ごとに算出した。現状値および将来値の地震による損失余命算出式を式(3.23)に示す。

$$LLE_e(i, p) = LE(p) \times P(e) \times MG(i, e) \times Vr(MG) \times P_{death}(Vr) \quad (3.23)$$

ここで、 $LLE_e(i, p)$ は想定地震 e に対する個人 p の損失余命、 $LE(p)$ は期待余命、 $P(e)$ は年発生確率、 $MG(i, e)$ は最大震度、 $Vr(MG)$ は建物被害率、 $P_{death}(Vr)$ は死亡確率である。

個人の期待余命の値は、厚生労働省作成の簡易生命表における 1 歳単位での平均余命をもとに計算した。

(2) 河川浸水による損失余命

河川浸水による想定死亡確率は、国土交通省の水害リスク評価方法を参照し、想定浸水深と居住者の年齢を考慮する、「LIFESim モデル」を用いて算出した。想定浸水深は、国土交通省が公開している浸水想定区域データを用いた。現状値および将来値の河川による損失余命算出式を式(3.24)に示す。

$$LLE_r(i, p) = LE(p) \times P(r) \times D(i, r) \times P_{death}(p, D) \quad (3.24)$$

ここで、 $LLE_i(i,p)$ は想定河川浸水 r に対する個人 p の損失余命、 $LE(p)$ は期待余命、 $P(r)$ は年発生確率、 $D(i,r)$ は最大浸水深、 $P_{death}(p,D)$ は死亡確率である。

(3) 年間刑法犯犯罪率

年間刑法犯遭遇率は、警察庁犯罪情勢と総務省統計により、市区町村ごとに刑法犯認知件数を集計し、人口 1000 人で除して算出する。現状値の算出式を式(3.25)に示す。また将来においては現状値のまま推移すると仮定する。

$$SS_{3i} = \frac{CN_i}{POP_i} \times 1000 \quad (3.25)$$

ここで、 SS_{3i} は年間刑法犯遭遇率、 CN_i は年間刑法犯認知件数、 POP_i は総人口である。

(4) 年間事故遭遇率

年間人身事故遭遇率は、交通事故統計年報により、市区町村ごとに交通事故数を集計し、人口 1,000 人で除して算出する。現状値の算出式を式(3.26)に示す。また将来においては現状値のまま推移すると仮定する。

$$SS_{4i} = \frac{AN_i}{POP_i} \times 1000 \quad (3.26)$$

ここで、 SS_{4i} は交通事故危険性、 AN_i は年間交通事故数、 POP_i は総人口である。

○建物費用の算出方法

建物費用は、建設・更新から修繕、廃棄に至るライフサイクル全体で発生する費用を評価対象とする。使用する原単位を表-3.6 のように整理し、建物種別の x の段階 I (建設、維持管理、廃棄) における各建物の存在量を $X_{x,I}$ 、単位建設・存在量あたりの費用を $c_{x,I}^b$ とおいて式(3.27)のように表す。

$$C^b = \sum_x \sum_I c_{x,I}^b \cdot X_{x,I} \quad (3.27)$$

ここで、建設と廃棄は 1 回あたりの費用であり、修繕は 1 年あたりの費用である。

表-43 コスト原単位

分類	対象	区分	原単位	費用原単位の出典
建物起源	戸建住宅(千円/m ²)	建設	70.56	日本建築学会(2006) 国土交通省(2011) 経済産業省(2013) 環境省(2007)
		修繕	0.25	
		廃棄	8.34	
	集合住宅(千円/m ²)	建設	256.47	
		修繕	1.92	
		廃棄	36.61	
土地起源	地価(千円/m ²)	-	68.33	国土交通省地価公示(2013)

ii) 地域特性に応じたエネルギーシステムの計画と評価

① 研究計画

分散型エネルギーシステムは環境・経済・社会にわたる多面的背景に基づいて導入されており、利用できる技術のインベントリは拡大しつつある。一方で、全体を望ましい方向に導くための制度設計は十分に確立されていない状況にある。そのため、本研究では、地域特性を考慮した上で、利用可能な技術を組み合わせた地域エネルギーシステムを地域の実情に応じた目的の下でデザインし、環境・経済・社会の面から評価するフレームワークを開発する。特に拠点地区における自立分散型のエネルギーシステムの導入可能性をその効果とともに検討することを目的とする。

図-1 に基本的なフレームワークを示す。地域エネルギーシステムは多種多様であるため、導入効果を評価するためには、与件や規範に基づいた最適な設計・運営計画の下での比較が必要である。そのために、計画プロセスを最適化計算の枠組みの下でモデル化する。筆者らは既往研究^{13, 14)}に基づいて分散型エネルギーシステムに関する設計支援フレームワークの開発を進めてきた¹⁵⁾。本研究では、この枠組みを踏襲し、地域条件・技術条件の下でのエネルギーシステムの設計と運用を具体化する手法を開発し、ケーススタディ地区における導入効果を定量的に評価する。

さらに、機器効率等の技術条件や燃料調達価格・需要規模等の地域条件と地域エネルギーシステムの計画と導入効果に与える影響を検証する。以上を通じて、地域エネルギーシステムの導入基準とその効果について明らかにし、必要となる技術開発の方向性や施策等について議論する。

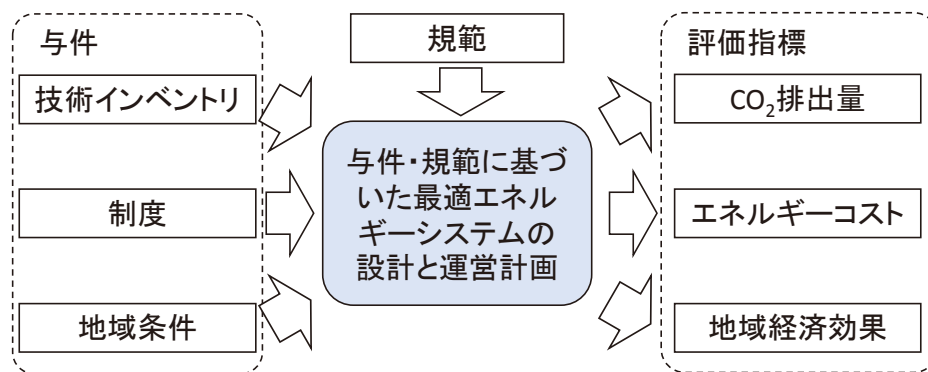


図-83 研究のフレームワーク

② 計画プロセスモデル

✓ モデルの概要

エネルギーシステムはその外部から供給されるエネルギー（系統電力、ガス、灯油、バイオマス系資源等）を需要側で利用可能な形態（電力、温熱、冷熱）に変換するシステムであり、それは技術特性を反映した効率に基づいてエネルギー形態を変換する個別機器の組み合わせより設計される物理的な実体とその運用計画から構成される。本研究では、この地域エネルギーシステムの計画プロセスを設計と運用の階層的関係に基づいて捉えており、その具体的な流れを以下に述べる。

まず、検討のフレームとなる地域エネルギーシステムのストラクチャーを定義する。これは候補となり得る全てのエネルギーシステムを部分として潜在的に含んだ全体の一般構造を示すもので、ここでは既往研究¹³⁾に従い「スーパーストラクチャ」と呼ぶこととする。スーパーストラクチャでは、システムを構成する機器をサブシステムとし、その間のエネルギーの流れは考慮する全ての形態を要素とするベクトルで表現する。

その上で、地域条件や技術情報を反映した様々な制約条件の下で、燃料消費量などフローの値と設備容量などのストックの値を組み合わせた目的関数を最小化（最大化）するシステム構成とその季節・時間別の運用計画を同時に特定する。以上の計画プロセスの概要を図-2に示す。目的に応じて、スーパーストラクチャの中から、サブシステムを選択するとともに、選択された機器の中から季節・時間ごとに、運用する機器や運用する入出力レベルを決定する。したがって、ある季節・時間において一度でも運用する必要のある機器は、設計段階で選択されている必要があり、機器の容量は年間最大値以上である必要がある。

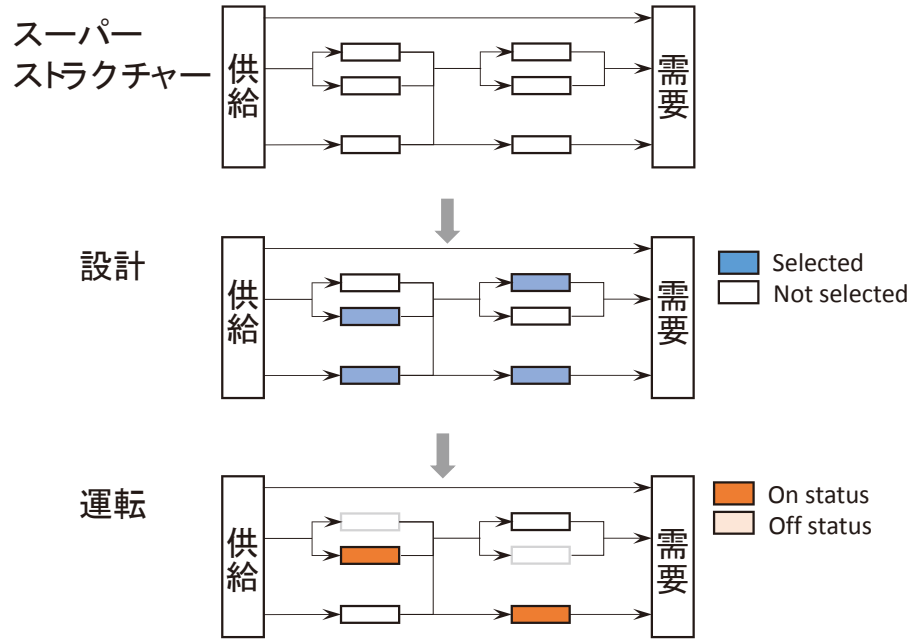


図-84 計画プロセスモデルの基本構造

✓ 基本問題の定式化

計画プロセスを，設計を表現する変数のベクトル Γ とエネルギーフローを表現する変数のベクトル $\mathbf{x}^{(s,t)}$ について定義された関数 g を，それら変数間の制約条件の下で最適化する問題として式に示すように定式化する．ここで， s は季節， t は時刻を表し， $\mathbf{x}^{(s,t)}$ は季節別・時間別の変数ベクトルである．なお，式(1)では最小化問題としているが，問題の特定化の方針によっては最大化問題となることもあり得る．

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} \\
 & \Gamma, \mathbf{x}^{(s,t)} : (s,t) \in \mathbf{S} \times \mathbf{T} \\
 & g = g(\Gamma, \mathbf{x}^{(s,t)} : (s,t) \in \mathbf{S} \times \mathbf{T}) \\
 & \text{subject to} \\
 & \mathbf{h}(\Gamma, \mathbf{x}^{(s,t)} : (s,t) \in \mathbf{S} \times \mathbf{T}) \leq \underline{\mathbf{h}}
 \end{aligned} \tag{3}$$

また，計画の対象となる変数ベクトルは以下の要素から構成される．

$$\Gamma = (\gamma_i : i \in \mathbf{I}) \tag{4}$$

$$\mathbf{x}^{(s,t)} = (\mathbf{x}_i^{(s,t)} : i \in \mathbf{I}) \tag{5}$$

ここで， γ_i は設置候補機器 i に設置した場合は 1，設置しない場合は 0 となるバイナリー変数であり， $\mathbf{x}_i^{(s,t)}$ は設置候補機器 i への季節 s ，時刻 t における入力エネルギーのベクトルを表す．基本問題の制約条件については以降で一つずつ検討する．

✓ エネルギーフロー

システム全体への入力を $\mathbf{X}^{(s,t)}$, 出力を $\mathbf{Y}^{(s,t)}$ とする. また, 設置候補機器 i により構成されるサブシステムへの入力を $\mathbf{x}_i^{(s,t)}$, 出力を $\mathbf{y}_i^{(s,t)}$ とする. さらに, システムのエネルギーフローに関して式(6)-(9)が成立する.

$$\mathbf{X}^{(s,t)} = \sum_{i \in \mathbf{I}_I} \mathbf{x}_i^{(s,t)} \quad (6)$$

$$\mathbf{Y}^{(s,t)} = \sum_{i \in \mathbf{I}_O} \mathbf{y}_i^{(s,t)} \quad (7)$$

$$\mathbf{y}_i^{(s,t)} = f\left(\mathbf{x}_i^{(s,t)}\right), \quad \forall i \in \mathbf{I} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in \mathbf{I}_0^p} \mathbf{x}_i^{(s,t)} = \sum_{i \in \mathbf{I}_1^p} \mathbf{y}_i^{(s,t)}, \quad \forall p \in \mathbf{P} \quad (9)$$

ここで, $\mathbf{I}_I, \mathbf{I}_O, \mathbf{I}_1, \mathbf{I}_0 \subseteq \mathbf{I}$ であり, $\mathbf{I}_I$ は入力側にあるサブシステムの集合, $\mathbf{I}_O$ は出力側にあるサブシステムの集合, $\mathbf{I}_1$ と $\mathbf{I}_0$ は任意の合流点 p における入出力のサブシステムの集合を表す. また, $\mathbf{P}$ はシステム内部の合流点の集合である.

✓ エネルギー変換

入力エネルギーに対して, 機器特性に基づいた形態と量の変換を行うシステムをエネルギー変換機器と呼ぶ. 例えば, バイオマス CHP ユニットは木質チップが入力され, 電力と温水を出力する. 入力エネルギーを $\mathbf{x}_i$, 出力エネルギーを $\mathbf{y}_i$ として, 式(10)(11)に示すように機器の効率を表す行列 $\mathbf{A}_i$ と固定的に係るエネルギー消費量ベクトル $\mathbf{a}_i$ を用いた転換式として表現する.

$$\mathbf{y}_i^{(s,t)} \geq \mathbf{A}_i \mathbf{x}_i^{(s,t)} + \mathbf{a}_i z_i^{(s,t)} \quad (10)$$

$$\underline{\mathbf{x}}_i z_i^{(s,t)} \leq \mathbf{x}_i^{(s,t)} \leq \bar{\mathbf{x}}_i z_i^{(s,t)} \quad (11)$$

$$z_i^{(s,t)} \leq \gamma_i \quad (12)$$

$$z_i^{(s,t)}, \gamma_i \in (0, 1) \quad (13)$$

ここで, z_i は機器 i が運用状況にあるとき 1 となる, γ_i は機器が設置されているときに 1 となるバイナリー変数である. 従って, 運用状況にあるためには, 必ず設置されている必要がある. 式を満たす必要がある. また, $\underline{\mathbf{x}}_i, \bar{\mathbf{x}}_i$ はそれぞれ, 入力エネルギーの下限と上限を表しており, 式(11)は機器が運転されているときは, 入力エネルギーがこの範囲にある必要があり, 運転されていないときは 0 となる必要があることを示している. また, システム全体の規模に対して設備容量が十分に小さい機器が実在するものについては, 連続的な容量設定ができるものとし, 整数条件を示す制約式

(13)を式(14)のように緩和する.

$$0 \leq z_i^{(s,t)}, \gamma_i \leq 1 \quad (14)$$

エネルギー需要の充足

エネルギー貯蔵装置の利用を考慮して、時間ごとの需要と供給がバランスする必要はなくなる. 季節ごとの日間での供給量は、需要を上回る必要がある. しかしながら、時刻別には、必ずしも需要が供給を上回る必要はないものとする. 以下の式(15)～(18)に示すように、蓄熱槽や蓄電池の容量以内であれば、供給と需要のアンバランスを認めるものとする.

$$\sum_{t \in T} Y^{(s,t)} - \sum_{t \in T} D^{(s,t)} \geq 0, \quad \forall s \in S \quad (15)$$

$$\sum_{t=0}^{\tau} Y^{(s,t)} - \sum_{t=0}^{\tau} D^{(s,t)} \geq \bar{\mu}_s, \quad \forall \tau \in T \quad (16)$$

$$\sum_{t=0}^{\tau} D^{(s,t)} - \sum_{t=0}^{\tau} Y^{(s,t)} \leq \underline{\mu}_s, \quad \forall \tau \in T \quad (17)$$

$$\bar{\mu}_s - \underline{\mu}_s \leq \mu, \quad \forall s \in S \quad (18)$$

ここで、 $\bar{\mu}_s$ は任意の基準時間から考えて累積需要が累積供給を上回る量の上限、 $\underline{\mu}_s$ は反対に累積需要が累積供給下回る下限を、 μ は蓄エネルギー装置の容量を表す. 式(16)は 0 時から 23 時までのエネルギー供給の合計がエネルギー需要の合計を上回る制約を表現しており、式(17)は 0 時から任意の時刻 τ までの間のエネルギー需給バランスの超過を表現している.

iii) 市内各地区の診断カルテの作成

① はじめに

今後、人口減少・少子高齢化による税収の減少や老朽化したインフラ維持費用の増大によって、地方財政が圧迫されることが予想されている. また、災害外力の増大により、災害が多発することが予想されているが、現在の都市では、災害危険区域内に進出している住居が見受けられる. このような状況の中、平成 26 年 8 月に都市再生特別措置法¹⁾が一部改正され、コンパクトなまちづくりのために立地の適正化をおこなうことが定められ、それを実行する為には、現在の地区の構造を評価する必要がある.

そこで本研究では、宮崎市を対象とし、災害危険性だけではなく、交通利便性や税収入に対する地域維持費用の割合といった指標を用いて、地区を評価し、地区の特徴を把握することを目的とする.

② 生活利便性，安全性，都市経営の 3 つの観点からの地区評価の方法

✓ 地区評価の指標設定

本研究では，表-44 の項目に従って，生活利便性，安全性，都市経営の 3 つの観点から，地区を評価する．評価対象の単位は宮崎市が設定している 21 個の地域自治区とした．また，評価は各項目を偏差値として算出して行った．

表-44 都市構造の脆弱性評価項目

評価分野	評価軸	評価指標	出典
生活利便性	公共交通	公共交通空白地域（鉄道駅 1km，バス停 500m 半径の範囲外）に立地する医療施設，福祉施設，行政施設，文化施設，学校，商業施設及び世帯の数の割合（施設/交通）	国土数値情報
安全性	災害危険性	洪水，土砂災害，南海トラフ地震による津波の被害が想定されている地域に立地する医療施設，福祉施設，行政施設，文化施設，学校，商業施設及び世帯の数の割合（施設/災害）	国土数値情報
	空き家率	荒廃化や治安悪化の原因となる空き家の割合（空き家率）	宮崎市
都市経営	地域の維持費と税収の関係	地域を維持していくために必要な費用と，地域から生み出される税収入の割合（維持/税収）	国土数値情報 宮崎市

✓ 生活利便性と安全性に関する評価指標の推計方法

GIS データを用いて宮崎市の各地域自治区内における公共交通空白地域，災害想定区域に存在する世帯及び都市施設の数把握する．それらを各地域自治区の全世帯数及び全都市施設数でそれぞれ除して，公共交通空白地域及び災害想定区域に立地する世帯及び都市施設の割合を推計する．本研究で対象とした都市施設は立地適正化計画を参考に設定する．また，宮崎市の水道メータ調査より空き家率を求める．

✓ 都市経営に関する評価指標の推計方法

本研究では，地域維持費用は毎年のメンテナンスに必要なインフラの維持管理費用，一定間隔ごとに必要となる更新費用，突発的に発生する災害復旧費用を合計したものである．推計方法は，対象とするインフラデータを GIS 上に示して，各地域自治区に存在するインフラ量を把握し，表-45 の維

持管理費用及び更新費用の原単位を乗ずることによって各地域自治区で必要となるインフラの維持管理費用及び更新費用を推計する。災害は、洪水、土砂災害、南海トラフ地震による揺れ及び津波を対象とする。地震と津波は、国土交通省²⁾より各インフラが受ける被害率を基に推計する。また、洪水、土砂災害は、水害統計³⁾より年あたりの期待被害額を推計する。

表-45 インフラの維持費用原単位

インフラ	維持管理原単位(/年)	更新原単位(/年)	更新間隔
道路	86.3 万円/km	0.47 万円/m ²	15 年
橋梁	362.5 万円/km	44.8 万円/m ²	50 年
上水道	2.6 万円/km	11.4 万円/m	40 年
下水道	35.0 万円/km	12.4 万円/m	50 年
公共施設	0.94 万円/m ²	40.0 万円/m ²	50 年
ダム	273.7 円/m ³	1959.2 円/m ³	80 年
防潮堤	18.8 万円/m	871.5 万円/m	50 年
排水ポンプ	94.4 万円 /(m ³ /s)	7520 万円/(m ³ /s)	50 年

次に、税収入を推計する。本研究では宮崎市における税収入の 8 割弱を占める個人市民税と固定資産税を対象とする。個人市民税は宮崎市における生産年齢人口と個人市民税の総額により生産年齢人口 1 人当たりの個人市民税を推計し、それを各地域自治区内の生産年齢人口に乗ずることで推計する。固定資産税（土地）は 1m²当たりの地目別評価額に GIS データで得られた地目別面積を乗ずることで推計する。地目別の評価額は、田 427 円/m²、畑 767 円/m²、宅地 26,821 円/m²、山林 20 円/m²、原野 15 円/m²、雑種地 7,396 円/m²である。また、固定資産税（建物）に関しては、建物ポイントデータ⁴⁾の床面積に床面積 1m²当たりの宅地評価額（木造：21,811 円/m²、非木造：47,864 円/m²）を乗ずることで推計する。単位面積当たりの地目別評価額及び住宅評価額は宮崎市⁵⁾より推計する。

これらの推計より現在の都市が趨勢で推移した場合の今後 50 年で必要となる地域維持費用及び得られる税収入を推計し、地域維持費用の税収入に対する割合を推計する。

③ 地域自治区の評価結果

以上の結果を基に、宮崎市の各地域自治区（図-85）を評価した。各地域自治区の公共交通空白地域や災害想定区域に含まれる都市施設数及び世帯数の割合、住宅の空き家率、税収入に対する地域維持費用の割合を、全地域自治区の平均と比較する。ここでは 50 が平均値であり、50 より大きな値を持つところがその地域自治区の改善点であるといえる。例えば、表-46 は中央西地域自治区の評価結果を示している。これをみると、中央西地域自治区は公共交通が発達しているため、公共交通に関する生活利便性の値は小さくなっている。しかし、地域自治区の西側に大淀川が流れているため、地域自治区のほとんどが洪水浸水想定区域に含まれており、また都市のスプロール化が進んだため、空き

家率も高くなっており，安全性の値は総じて大きくなっている．このように他の地域自治区と比較して，各地域自治区の長所や短所が把握でき，各地域自治区でどのようなまちづくりを目指していくべきなのかを考察することが可能となった．

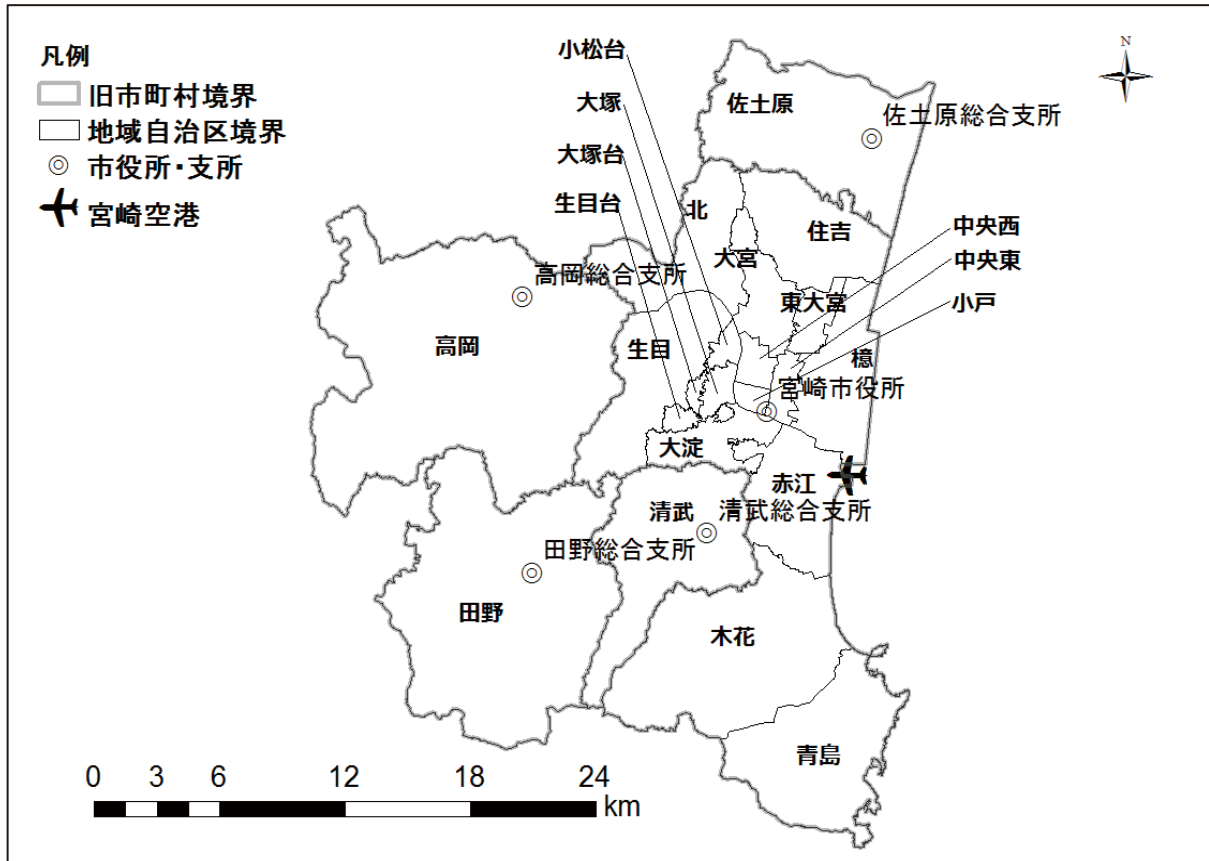


図-85 宮崎市の地域自治区

表-46 中央西地域自治区の評価

評価項目	割合	評価項目	割合
医療/交通	45.8	医療/災害	59.9
福祉/交通	43.8	福祉/災害	64.7
行政/交通	44.0	行政/災害	65.8
文化/交通	44.3	文化/災害	56.0
学校/交通	46.1	学校/災害	62.8
商業/交通	50.0	商業/災害	62.8
世帯/交通	43.2	世帯/災害	61.1
維持/税収	45.0	空き家率	56.3

④ d) おわりに

本研究では、公共交通空白地域及び災害想定区域に立地する都市施設数、住居数の割合、住居の空き家率、地域維持費用の税収入に対する割合といった観点から、地区を評価した。その結果、中心部では生活利便性は良いが、安全性を改善する必要があることがわかった。また、南海トラフ地震による津波の被害を受けると予想される地域自治区は、防潮堤の維持費用や災害復旧費用が多くかかるため、都市経営に関する値が大きくなっていることがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省：都市再生特別措置法に基づく立地石製化計画制度，2014
- 2) 内閣府：東海地震及び東南海・南海地震に係る被害想定手法について，2013
- 3) 国土交通省河川局：水害統計，1986-2005
- 4) 秋山祐樹，仙石裕明，柴崎亮介：大規模地震時における国土スケールの災害リスク・地域災害対応力評価のためのミクロな空間データの基盤整備，第47回土木計画学研究発表会・講演集，2013
- 5) 宮崎市平成22年度版統計書：
<http://www.city.miyazaki.miyazaki.jp/www/contents/1308547065128/index.html>，2015.2 閲覧

iv) 災害復旧費用を含めた小地域単位での実質的な社会資本維持費用の推計手法

① はじめに

東日本大震災に見るように、地震による被害は甚大なものである。特に海岸沿岸部の都市は、地震による津波浸水被害を考慮した安全な土地利用を行っていく必要がある。しかし、実際の都市では、津波浸水の危険性がある地域への住居が進出した箇所が見受けられる。

社会資本の維持管理費用¹⁾は、年々増加していく傾向にある。社会資本の維持管理費用は、社会資本の供用開始から一定年数を経た時点で発生する。高度経済成長期に作られた社会資本は、21世紀に入り、一斉に更新が必要となっている。また、都市の無秩序な拡大により、維持管理が必要となった社会資本が多数ある。加えて、少子高齢化、人口減少を考えると、ますます財政的に社会資本の維持管理を行っていくことが難しくなる。

国土交通省²⁾では、少子高齢化や人口減少を踏まえた今後の土地利用についての方向性を示している。現況の都市においては、郊外に住居が拡散している地域が多く、その地域については移転を行い、都市の拡散をなくし、集約を行っていく必要がある。名古屋都市センター³⁾は、名古屋都市圏をメッシュで区切り、市街地維持費用の推計等を行っている。

地域の維持管理にかかる費用は、社会資本維持管理の費用だけではない。災害復旧費用は、一時的に発生するものであると考えられがちであるが、地域の特性を考え、毎年のように災害復旧費用が必要な場所は、災害復旧費用も地域を維持する費用として計上すべきである。特に、九州のように水害が頻発に発生する地域においては、災害復旧費用は地域の財政に大きな影響を及ぼす。

2012年の九州北部豪雨では、社会資本に甚大な被害が出た。福岡財務局⁴⁾によれば、福岡、長崎、佐賀3県の災害復旧費用は352億円であり、2013年までの10年間では、最高額である。しかし、

平成 15 年から平成 24 年までの 10 年間の平均は 145 億円/年であり、九州北部豪雨クラスの規模の災害が襲来した際の 4 割程度の災害復旧費用が毎年かかっているという計算になる（図-86）。

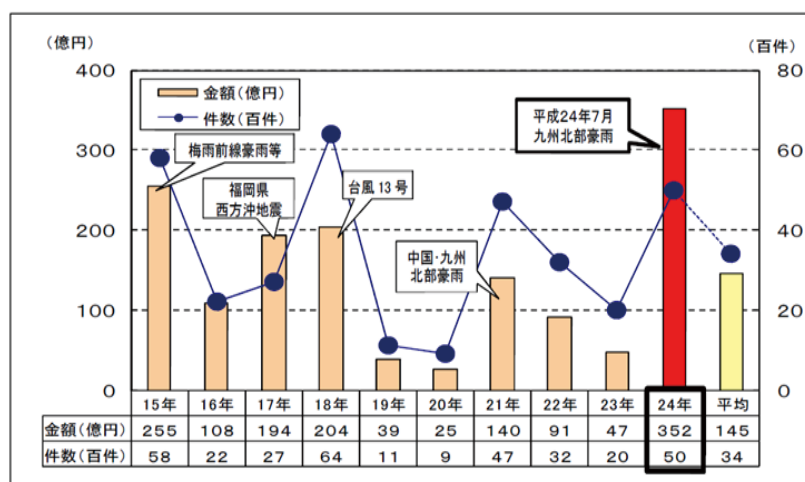


図-86 社会資本維持管理費用の経年推移⁴⁾

災害復旧により社会資本にかかる費用は大きく、地域を維持していく費用として計上すべきである。九州東沿岸部では、南海トラフ地震での津波浸水被害が甚大であるとの予測がなされている。九州のように災害復旧費用が高い地域においては、災害復旧費用も地域の維持管理の費用に含めると、社会資本の維持管理にかかる費用のみを考えた場合と比べ、推計結果に大きな相違が生じると考えられる。

社会資本の維持管理にかかる費用と、場所的な偏りを考慮するため小地域に配分した災害復旧費用とを合わせることで、広義の小地域維持の費用を推計する必要がある。そこで本研究では、災害復旧費用を含めた広義の地域維持費用の推計方法を提案し、宮崎市を対象としたケーススタディを行い、宮崎市の町丁目における地域維持費用を推計することを目的とする。

② 先行研究と本研究の位置づけ

✓ 社会資本老朽化と社会資本維持費用に関する先行研究

荒井ら⁹⁾は、高度経済成長期に建設された社会資本の維持管理が課題となることを受け、インフラ会計の構築により社会資本のストックの量や状態を適切に評価できるとした。また、事務所等で管理する台帳等を元にインフラ会計を実際に構築し、一部の社会資本施設についてストック評価額の推計を行い、今後の課題を明らかにしている。江尻ら¹⁰⁾は、荒井らと同じくインフラ会計についての考察を行っている。江尻らは、インフラ会計の構築の手法について詳しく述べている。さらに、インフラ会計の適用事例として納税者会計、インフラ生産性の計測、アセットマネジメントをとりあげている。半澤¹¹⁾は、福島市において、100haあたりの社会資本維持管理の費用から、人口が少ない地域においては社会資本の維持管理が難しくなることを説明している。森本¹²⁾は都市のコンパクト化の評価指標として財政面と環境面に着目し、地域の現状をできるだけ反映した推計モデルの構築を行なっている。宇都宮市をケーススタディとし、環境面のみならず、都市構造の変化の影響を受けやすい財政面における効果は大きいことを明らかにしている。木村ら¹³⁾は、社会資本整備をフローではなくス

ストック形成として捉え、社会資本の生産力効果の推移を分析した。行政投資額に占める用地費や維持補修費、更新費等の割合を明らかにし、2025年以降の社会資本の新規投資が難しいことを指摘している。

✓ 都市構造と社会資本維持費用に関する先行研究

長谷川¹⁰⁾は、人口・世帯分布の空間構造の変化に伴う都市全域における将来行政コストの推計を行った。長谷川は、道路や下水道といった、都市構造の改変による行政コスト変化にも着目して推計を行っている。大柳ら¹¹⁾は北海道をケーススタディとし、郊外における住宅開発より、既成市街地における土地利用転換・高度化が、都市経営的視点から有利であることを定量的に明らかにしている。戸川ら¹²⁾は、環境・経済・社会のトリプルボトムライン（TBL）の観点から都市・地域の持続可能性を評価するシステムを用いて、名古屋都市圏を対象に小学校区単位での分析を行っている。牛島¹³⁾は、社会資本ストックを有効に活用する新たなマネジメント手法の策定の必要性を指摘した。また、維持管理におけるアセットマネジメントの導入の背景とその課題および構造物の維持管理の課題を説明している。清水ら¹⁴⁾は、都市郊外部における高齢化および人口減少が進展しつつある住宅団地からの撤退の考え方、撤退に伴う様々な費用と便益を整理し、撤退の条件および撤退の最適タイミングの算出方法を提案している。ここでの便益には、撤退に伴う社会資本維持管理費用の削減も含めている。

✓ 災害復旧費用の推計に関する先行研究

豊田ら¹⁵⁾は、地震長期評価を組み入れた津波防災事業の定量的評価に関する研究を行っている。現状での津波被害に対して、被害額だけではなく、地域別の被害率や資産別の被害率を分析することが重要であり、津波防災事業の効果を定量的に評価するためには、対象津波に対する精度の高い被害推定手法の確立に加えて、津波の発生確率を評価することが必要であることを述べている。しかし、このように津波の発生確率を考慮した上で詳細な被害分析を行い、その結果を防災計画の構築に応用させる考え方はこれまで十分ではなかったことを指摘している。小林ら¹⁶⁾は、災害リスクマネジメントと経済評価を行っている。高度化した災害リスクに対処するためには、リスク・コントロール手法とリスク・ファイナンス手法を組み合わせた効果的なリスク管理体系を構築していく必要があることを指摘している。また、費用便益分析の枠組みの高度化を図る必要があり、災害リスクのカタストロフ性を考慮した費用便益分析の重要性を論じている。

✓ 本研究の位置づけ

地域の維持費用として、社会資本の維持管理費用を扱った研究はあるが、しかしながら、災害復旧費用を地域の維持の費用とし推計を行った研究はない。九州の東沿岸部のように、水害上周知であり、南海トラフ地震での地震動・津波による予想災害被害額が大きい地域では、災害復旧費用を地域の維持の費用に含めなければ、実質的な維持の費用の推計は行えないと考えられる。つまり、地域の維持に必要な費用として、社会資本の維持管理にかかる費用と、災害復旧にかかる費用を合わせることで、実質的な地域の維持に必要な費用が推計できると考える。

③ 社会資本維持管理費用と災害復旧費用を合わせた広義の地域維持費用推計方法の提案

本研究では、社会資本維持管理費用と災害復旧費用を合わせた広義の地域維持費用推計方法を提案し、宮崎市をケーススタディとして推計を行った。社会資本から発生する費用は、老朽化による更新費用と、災害による災害復旧費用の2種類がある。本研究では、この2種類について推計する。

✓ 維持費用推計の流れ

本研究での維持費用推計の流れを図-87 に示す。

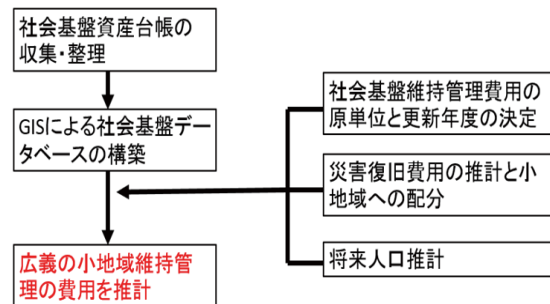


図-87 維持費用推計の流れ

本研究での推計では、社会資本の量の地域的偏在に加え、社会資本の更新年度を加え、データベースを構築することで、いつ、どこで、どの社会資本から、どの金額の更新費用が発生するかを把握できるようにする。さらに、このデータベースを GIS により構築することで、小地域単位のほか、自治区単位、旧町村単位など、異なる大きさの地域の枠組みで推計を行うことが可能になる。また、災害復旧費用を、地域的な偏りを考慮して推計を行う際には、GIS の機能が不可欠である。加えて、将来人口推計を行うことで、人口当たりの投資額を算出し、投資効率を比較することも可能になる。

✓ 社会資本維持管理費用の推計手法

本研究における推計では道路、上水道、下水道、橋梁台帳、公共施設を対象とする。まず、社会資本資産台帳の収集・整理を行う。社会資本資産台帳の収集・整理では、自治体が管理している社会資本資産台帳を収集し、推計に必要な項目を整理する。次に、GIS による社会資本データベースを構築する。図-88 に GIS 道路データベースの一例を示す。

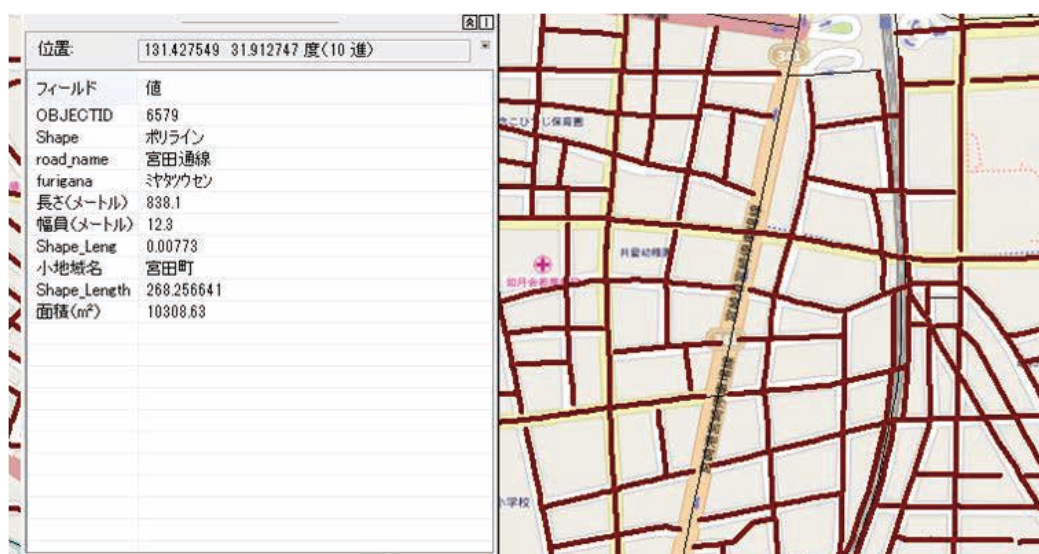


図-88 GIS 道路データベースの一例

社会資本維持管理費用の原単位と更新年度（表-47）の決定では，社会資本 GIS データベースの構築により，社会資本の量と，場所を対応させる．これに，供用開始年の情報を加える．これにより，いつ，どこで，どの社会資本から，いくら額の維持更新費用が発生するかを推計できる．更新年度を決定するためには，供用開始年が必要となる．本研究で対象とする宮崎市では，道路に関しては，更新年度が把握できなかったため，道路の供用開始年を宮崎市の現地調査により決定する．

表-47 インフラ維持費用の原単位と更新間隔

インフラ	原単位	更新間隔 (年)
道路	0.47 万円 /m ²	15
橋梁	44.8 万円 /m ²	50
上水道	11.4 万円 /m	40
下水道	12.4 万円 /m	50
公共施設	40.0 万円 /m ²	50

✓ 災害復旧費用の推計手法

本研究では，津波，地震動，洪水，土砂災害を対象として，道路，上水道，下水道，橋梁，公共施設が災害により被災すると想定して推計する．災害復旧費用は，南海トラフ地震の揺れおよび津波による被害，洪水被害，土砂災害を扱う．推計に用いた資料と，推計と配分の方法を表-48 に示す．

表-48 対象とする災害と推計の方法

災害	推計と配分の方法	推計に用いた資料
津波	浸水深別の被害率により，各社会資本の被害額を算出し，社会資本の量に応じて小地域に配分	被害想定項目及び手法の概要 ¹⁷⁾
地震	震度別の被害率により，各社会資本の被害額を算出し，社会資本の量に応じて小地域に配分	被害想定項目及び手法の概要 ¹⁷⁾
洪水	年あたりの期待洪水被害額を算出し，洪水危険区域の面積に応じて小地域に配分	水害統計 ¹⁸⁾

土砂災害	年あたりの期待土砂災害被害額を算出し、土砂災害危険箇所の面積に応じて小地域に配分	水害統計 ¹⁸⁾
------	--	---------------------

■地震動による被害

地震動による社会資本への被害は、震度別によりその被害率が異なる。宮崎市における南海トラフ地震による震度分布は、震度 6 弱、震度 6 強、震度 7 のいずれかである。宮崎市における震度分布図を図-89 に示す。

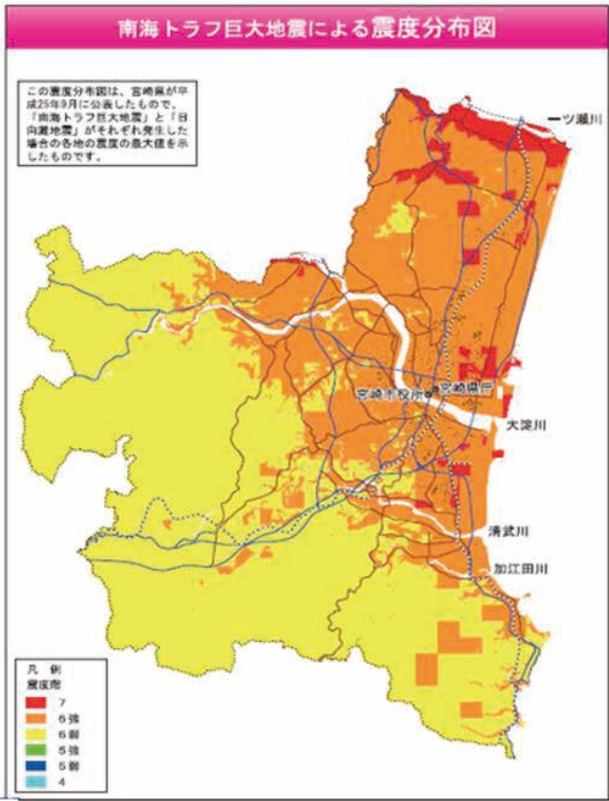


図-89 宮崎市における震度分布図¹⁹⁾

宮崎市における南海トラフ地震による震度分布は、震度 6 弱、震度 6 強、震度 7 のいずれかであるため、表-49 に示す被害率を用いて社会資本への被害を推計する。なお、被害率の設定の参考にした資料を表-50 に示す。

表-49 地震動による社会資本の被害率

社会資本	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
道路	106.5 万円/k m	114.0 万円/k m	325.5 万円/k m

上水道・下水道	1.6%	4.8%	21.7%
公共施設橋梁	15%	25%	35%

表-50 地震動による社会資本の被害率推計に用いた資料

社会資本	参考資料
道路	被害想定項目及び手法の概要 ¹⁷⁾
上水道・下水道	管路施設の被害予測手法について ²⁰⁾
非木造建物・橋梁	東海地震及び東南海・南海地震に係る被害想定手法について ²¹⁾

宮崎市における震度分布図を参照し、宮崎市における小地域の震度を決定する。そこで、小地域に含まれる社会資本に、表3に示す被害率を乗じることで、被害を受ける社会資本を推計する。被害を受けた社会資本は、更新を行うこととする。

■津波による被害

津波による被害は、津波の浸水深により、被害が変わる。本研究では、津波による被害は、南海トラフ地震における津波浸水図を用い推計する。まず、津波浸水図を基に浸水深を5段階（1m未満、1～3m、3～5m、5～10m、10m以上）に分類する。津波浸水深さによる社会資本の被害率は、実例が少なく、原単位を算出したものは少ない。内閣府が公表している道路の浸水深別被害率（表-51）は次のようである。

表-51 津波浸水深別の道路被害率

津波浸水深	1m 未満	1～3m	3～5m	5 ～ 10m	10m 以上
道路(万円/km)	104.4	288.0	522.0	1,224.0	2,106.0

この数値を元に、他の社会資本についても被害率を算出する。道路に関しては、揺れによる被害率に対する津波の浸水による被害率との関係により、上水道・下水道における被害率を表-52のように設定する。

表-52 津波浸水深別の管路被害率

津波浸水深	1m 未満	1～3m	3～5m	5 ～ 10m	10m 以上
-------	-------	------	------	------------	--------

上水道・下水道	5.3%	14.7%	26.6%	62.3%	100.0%
---------	------	-------	-------	-------	--------

公共施設については「東海地震及び東南海・南海地震に係る被害想定手法について」を参照すると、非木造であれば、津波による倒壊はないとしている。今回の推計では、公共施設と橋梁は除き、道路、上水道、下水道の推計のみとする。

■洪水による被害

洪水被害に関しては、洪水の発生確率と、洪水の規模ごとの期待被害額を加味し、推計を行わなければならない。しかし、この方法による推計には、発生確率の異なる規模の洪水被害と期待被害額との、複数のデータが必要になる。本研究では、実データを用いることにより、推計の手間を省いた。具体的には、過去の洪水被害のデータから、年平均の被害額を求め、年あたりの期待被害額とする。本研究で対象とする宮崎市では、年あたりの公共土木施設の期待被害額は 16 億 3250 万円/年となる。

また、洪水被害の配分方法について述べる。水害統計では、市町村単位の水害被害額は求まる。しかし、洪水被害は、河川周辺の地域で大きくなり、市町村の中でも、被害額に偏りがある。そのため、洪水危険区域図（図-90）を用い、洪水危険区域の面積に応じて水害被害額が配分する。

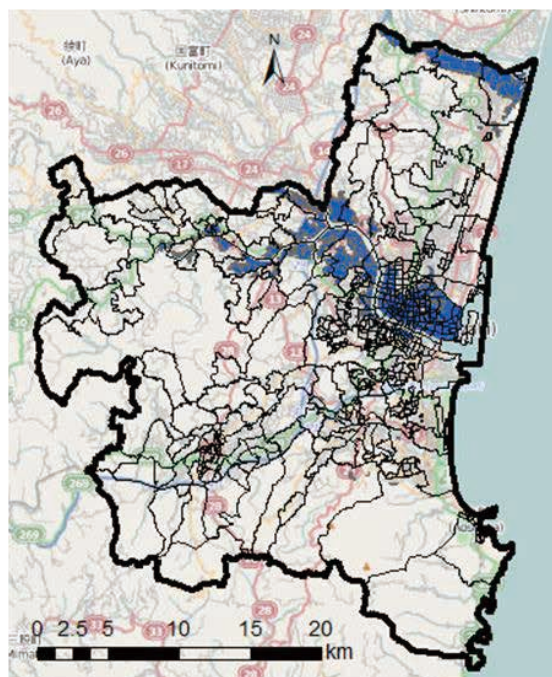


図-90 宮崎市における洪水危険区域図（青色）

■土砂災害による被害

土砂災害についても、洪水被害を算出した手法と同様の手法を用いる。本研究で対象とする宮崎市では、水害統計から算出した公共土木施設の年あたり期待被害額は 1260 万円/年となる。この期待土

砂災害被害額を，小地域が有する土砂災害危険箇所の面積に応じて，土砂災害の期待被害額を配分する．宮崎市における土砂災害危険箇所を図-91 に示す．

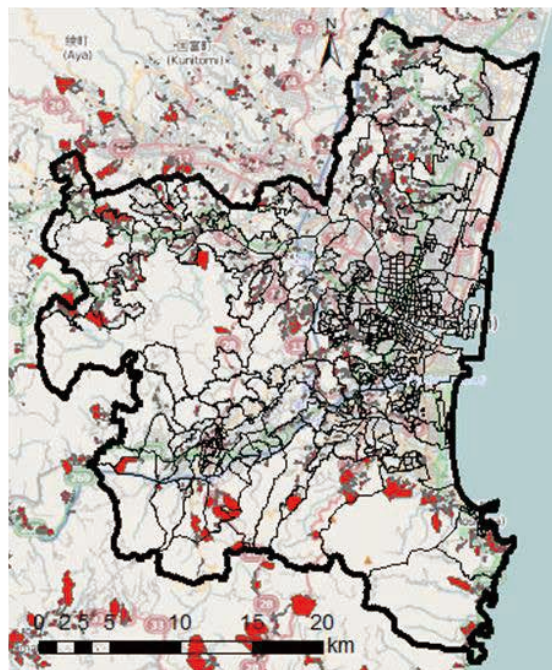


図-91 宮崎市における土砂災害危険箇所図（赤色）

■将来人口推計と投資効率の指標

将来人口推計には，宮崎市から提供して頂いたパラメータを使用し，コーホート要因法を用いて推計を行う．地域の維持にかかる費用の投資効率の指標は，人口 1 人当たりの負担額とする．つまり，総費用を人口で除した値を用いるものとする．

④ 宮崎市を対象としたケーススタディ

宮崎市は人口約 40 万人，老年人口比率 21.2%（いずれも 2010 年時点）の都市であり，南海トラフ地震での到達最大津波高 16m，宮崎県全体での予想死者数は 4 万 2 千人と推定されている．ここでは，宮崎市全域の小地域について推計を行った．宮崎市の社会資本資産台帳および GIS データを入手し，これを元に GIS を基盤とするデータベースを構築した．さらに，災害復旧費用を推計した結果と足し合わせることで，災害復旧費用を含めた広義の小地域社会資本維持管理費用を推計した．

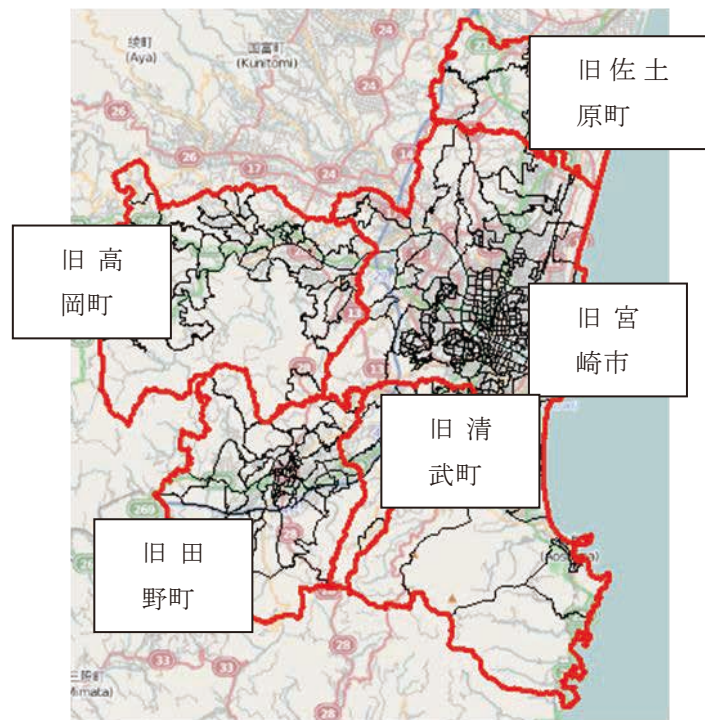


図-92 宮崎市区域図

✓ 社会資本維持管理費用 j の推計結果

本研究での推計は、社会資本の更新年が 50 年であるため、推計は 50 年で行った。2013 年から 2062 年までの 50 年間で社会資本の維持管理にかかる費用を、2062 年までの将来人口を考慮し、町丁目ごとの 1 人あたりの投資額を推計した。社会資本の維持管理費用のみによる結果を図-93 に示す。人口あたりの社会資本維持管理費用を推計することにより、小地域における維持費用の投資効率を把握することができる。宮崎市役所を中心とする宮崎市中心部では、地域の維持費用は低いという推計結果となり、旧田野町や旧高岡町では、人口当たりの小地域の維持費用が高く推計される結果となった。

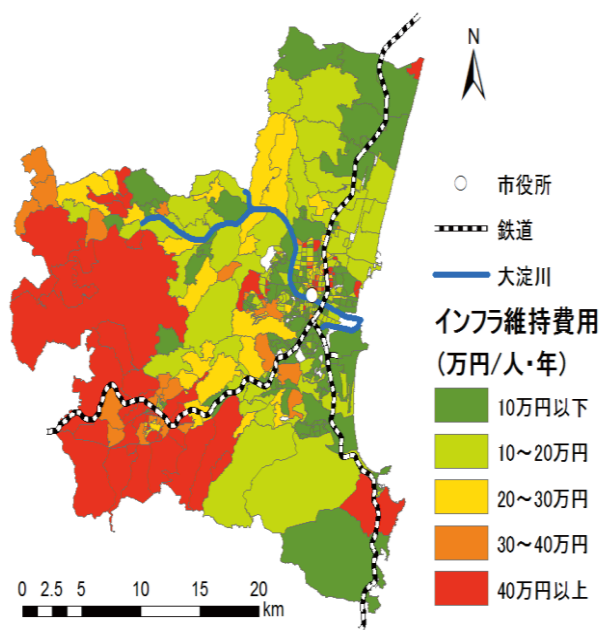


図-93 小地域の社会資本の維持管理にかかる費用

✓ 災害復旧費用の推計結果

図-94 小地域における災害復旧費用を示す。旧田野町の土砂災害危険箇所での土砂災害被害額が大きく影響している。また、宮崎港周辺の津波浸水が予想される地域においても、1人あたりの災害復旧費用が高く推計された。宮崎市全体の年あたり土砂災害復旧費用は1260万円/年であるが、旧田野町においては、土砂災害危険箇所が多いため、旧田野町の小地域に土砂災害復旧費用が多く配分された。また、旧田野町の小地域においては、小地域の人口が少ないため、1人あたりの土砂災害復旧費用に換算したところ、他の小地域よりも高い結果となった。宮崎港周辺の小地域においても、人口が少ない割に災害復旧費用が多く必要となる傾向にあり、他の小地域に比べて災害復旧費用が多くかかる推計結果となった。

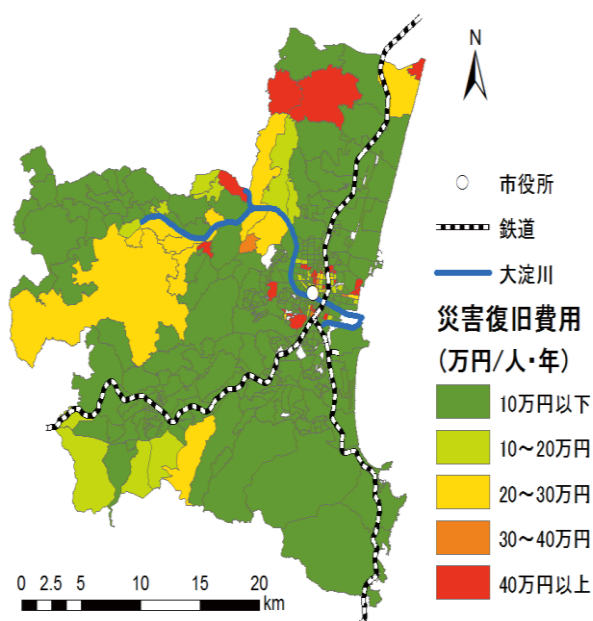


図-94 小地域における災害復旧の費用

✓ 社会資本維持管理費用と災害復旧費用を合わせた広義の地域維持費用の推計結果

図-95 小地域における広義の維持管理（社会資本維持管理費用と災害復旧費用）の費用を示す。小地域における広義の維持管理の費用が推計され、宮崎市全域の小地域についての維持にかかる費用が把握できた。この結果から、宮崎市役所を中心とする宮崎市中心部においては、小地域の維持の費用が低く推計され、宮崎市の中心部から離れるにつれて小地域の維持の費用が高く推計される傾向にあることが見て取れる。旧田野町においては、宮崎市中心部から離れてはいるが、旧田野町中心部において地域の維持費用が少なくなっている。

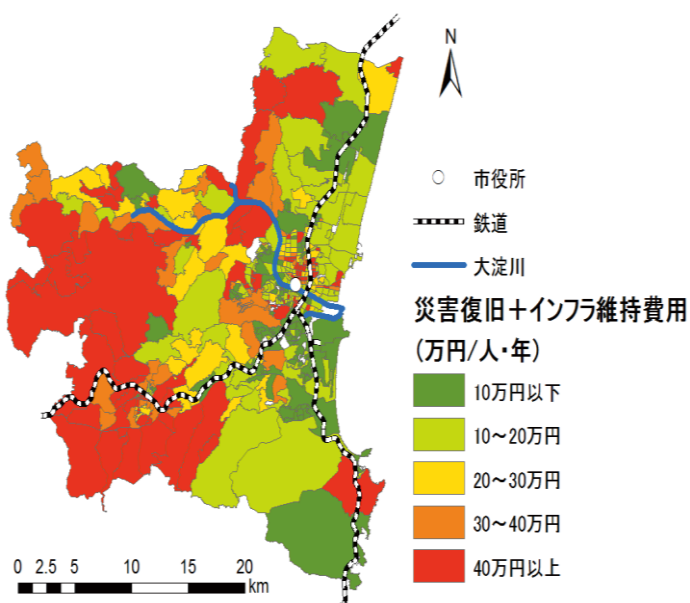


図-95 小地域における広義の維持管理の費用

本研究による推計により、小地域における社会資本維持管理費用に、災害復旧費用を加えることで、真に地域の維持にかかる費用が高い地域を推定することができた。旧佐土原町における小地域は、人口当たりの社会資本維持管理の費用は、他の小地域に比べて少ないものの、広義の維持の費用となると、高い値を示している。これは、旧佐土原町には、洪水危険区域の面積が大きく、さらに、南海トラフ地震における津波浸水での被害も大きいからであると考えられる。加えて、宮崎市においては、宮崎市北部が南海トラフ地震での震度が高い傾向を示すことから、地震動での被害も大きく推計されたと考えられる。

旧宮崎市南部の沿岸部の小地域では、社会資本の維持管理費用のみでも高い数値を示し、災害復旧費用を含めると、さらに高い数値を示した。これは、宮崎市南部の小地域が、人口が少なく、社会資本の量が多いことに加え、津波浸水で被害を受ける面積が大きかったためと考えられる。

宮崎市役所周辺の宮崎市市街地においては、社会資本維持管理費用のみの推計では、人口当たりの小地域の維持の費用は少ない。都市のコンパクト化の観点から考えると、この場所に都市の機能を集約することは合理的である。さらに、広義の小地域の維持費用で見ても、人口当たりの小地域の維持の費用は少ない。しかしながら、大淀川があることによる水害被害が大きいと予想されるため、広義の小地域の維持の費用に占める災害復旧費用の割合では高く推計される結果となった。つまり、宮崎市の中心部においては、小地域の維持の費用は、社会資本の維持管理費用ではなく、災害復旧費用に左右されるということになる。

また、同じく大淀川が流れる旧高岡町北部でも、大淀川があることによる水害被害の予測により、広義の小地域の維持費用に占める災害復旧費用の割合が高くなっている。

旧田野町では、旧田野町中心部では、人口当たりの社会資本維持管理の費用が少なく、旧田野町中心部以外では、人口当たり社会資本維持管理費用が高く推計されている。加えて、旧田野町の中心部以外では、土砂災害危険箇所が多く存在し、そのため、災害復旧費用が高く推計された。広義の小地域の維持費用では、もともと維持費用の高い小地域に災害復旧費用が配分されたため、より一層の維持費用がかかる推計となった。

⑤ おわりに

本研究により、GISによる社会資本維持管理データベース作成された。これにより、いつ、どこで、どの社会資本からどの量の更新が必要となり、更新費用が必要となるかの推計が可能になった。自治体の管理する社会資本台帳を、GISをもとに整理することで、台帳と地図が対応し、社会資本の状態を把握することを可能とした。本研究で構築したこのデータベースと合わせ、災害発生場所の偏りを考慮して災害復旧費用を小地域単位で推計したものを加えることで、広義の小地域の維持の費用を推計した。さらに、広義の小地域の維持費用の地理的特性を把握することを可能にした。災害復旧費用は市町村単位でも発生場所にも偏りがあるため、地域の維持管理費用を推計するにあたって、災害復旧費を小さな地域単位に配分する必要がある。本研究では、津波、地震動、洪水、土砂災害の4つの災害を対象として推計を行った。津波は津波浸水予想図、地震は震度分布図、洪水は洪水危険区域図、土砂災害は土砂災害危険箇所図をもとに、これらの面積の割合によって小地域に配分することにより、災害発生場所の特性を反映させた。災害復旧費用を小地域の維持の費用に含めることで、災害被害額が多くかかる地域は財政面から維持が難しく、今後住んでいくには適さないという結果

となった。

今後の課題としては、より地域特性を反映させることが挙げられる。本研究では自治体が保有する資産のみを対象としたが、一般資産への災害被害も考慮しての推計を行うと、本研究で得られた結果とは異なる結果が得られると予想される。また、詳細な建物データを用い、建物の形状から固定資産税を推計し、小地域における税収も考慮することにより、人口のみでなく、税収での負担力も考えることができる。

参考文献

- 1) 国土交通省：持続可能で活力ある国土・地域づくりをめぐる現状と課題，
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h23/hakusho/h24/html/n1216000.html>，2013.2 閲覧
- 2) 国土交通省：国土の長期展望に向けた検討の方向性について，2010.
- 3) 名古屋都市センター：名古屋都市圏におけるエコ・コンパクトな市街地形成，2010.
- 4) 福岡財務局：平成 24 年の災害復旧事業費の状況，2013.
- 5) 荒井俊之，溝口宏樹，竹内恭一：インフラ会計の構築と今後の社会資本ストックデータ整備の課題，2003.
- 6) 江尻良，西口志浩，小林潔司：インフラストラクチャ会計の課題と展望，2004.
- 7) 半澤浩司：インフラ維持・更新費用に着目した持続可能な市街地整備のあり方に関する考察—地方郊外部ニュータウンをモデルケースとして—，2009.
- 8) 森本章倫：都市のコンパクト化が財政及び環境に与える影響に関する研究，2011.
- 9) 木村康博，竹内佐和子，吉田恒昭：我が国における社会資本の限界生産性と社会資本ストックの将来予測，1999.
- 10) 長谷川洋：社会コストの観点からみた郊外住宅地の再生効果の評価手法の開発 都市のコンパクト化と郊外住宅地の再生の意義の確立に向けて，2008.
- 11) 大柳佳紀，菅原誠：北海道における市街地開発による市街地集積と都市施設維持管理の関連による都市の拡大抑制に関する研究，2010.
- 12) 戸川卓哉，加藤博和，林良嗣：トリプルボトムライン指標に基づく小学校単位の地域持続性評価，2012.
- 13) 牛島栄：構造物の維持管理におけるアセットマネジメントの概要とその展開，2004.
- 14) 清水健太，佐藤徹治：都市郊外部における人口減少地区からの撤退のタイミング，2011.
- 15) 豊田泰晴，今村文彦，佐藤健一，佐々木洋之：地震長期評価を組み入れた津波防災事業の定量的評価に関する研究，2003.
- 16) 小林潔司，横松宗太：災害リスクマネジメントと経済評価，2002.
- 17) 中央防災会議：被害想定項目及び手法の概要，2013.
- 18) 国土交通省河川局：水害統計，H21～H17
- 19) 宮崎市：宮崎市ハザードマップ，2013.
- 20) 国土交通省：管路施設の被害予測手法について，2013.
- 21) 中央防災会議：東海地震及び東南海・南海地震に係る被害想定手法について，2013.

v) 居住誘導区域の設定と居住集約による QOL，インフラ，環境負荷の推計

① はじめに

国土交通省は 2014 年に都市改正特別措置法を改正し，都市施設の誘導を図る都市機能誘導区域や居住の誘導を図る居住誘導区域の設定を通じて，土地利用の高密度化や一定規模の人口密度の維持を図る仕組みを整えた¹⁾．基本的に居住の誘導は居住誘導区域外での一定規模以上の開発行為の届け出により図るものであるが，この方法では居住誘導区域外から虫食い状に居住地が撤退していくと考えられる．このような状況下では自治体の費用支出であるインフラ維持費用は変わらないばかりか，人口減少に伴うサービス施設撤退が住民の生活の質(Quality Of Life:QOL)を低下させる可能性が考えられる．人口減少による税収の減少や地域の持続性を考えると，居住地集約は自然の撤退を待つのではなく，自治体がまとまった規模での移転を促すことで，自治体にはインフラ維持費用の削減等，住民には QOL 向上，社会全体としては環境負荷低減の効果が得られると考えられる．既存研究ではこれらの項目を貨幣価値に換算し，居住誘導方法による便益の違いを評価したものは見当たらない．

そこで，本研究では居住誘導方法の違いによる QOL やインフラ維持費用，環境負荷を，便益帰着構成表を用いて整理し，集約シナリオ別の効果を分析する．

② 居住地集約の効果の分析手法の整理

✓ 分析シナリオの設定

本研究の対象地は 2016 年時点で立地適正化計画が策定されていない宮崎県宮崎市（図-96）とし，対象期間は 2010 年から 2040 年とする．

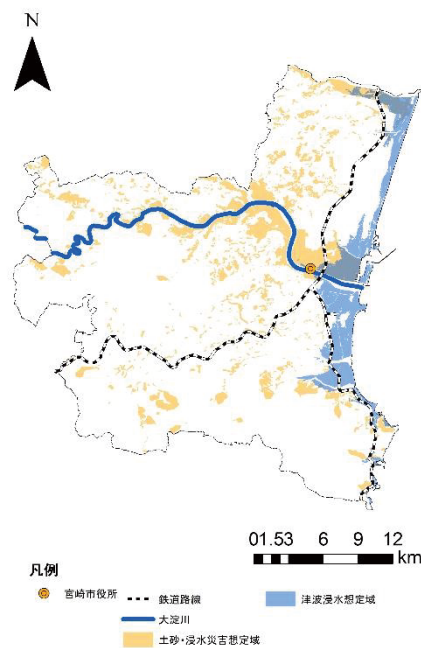


図-96 宮崎市の災害想定域

表-53 に示す 3 つのシナリオ間の QOL の比較と、インフラ維持費用の削減等の便益や移転に関する事業費等の費用との間の費用便益分析を行う。

表-53 シナリオの内容

シナリオ名	内容
無策	2040 年まで住居が移転しない (趨勢)
自然移転	耐用年数(築 40 年)を迎えた住居 から居住誘導区域に移転
強制移転	自然移転に加え、将来のインフラ 維持費用等が、その地域の移 転にかかる費用を上回った地域 (メッシュ単位)から居住誘導区 域に移転

築 40 年が経過した住居から移転させるのは国税庁資料²⁾と鎌谷ら³⁾より、住宅向け建物の耐用年数は約 40 年だと考えられるためである。各シナリオにおいて住居の耐用年数が来れば住居が建て替えられ、建設費の支出や新設・廃棄に伴う環境負荷が発生するものとする。また、生活環境の変化が起きないように、移転の制約距離を 6 km と設定する。

✓ 各誘導区域の設定

2016 年 12 月時点で宮崎市では立地適正化計画の策定が行われていないため、本研究を進めるにあたり宮崎市での都市機能・居住誘導区域設定する必要がある。この設定に際しての条件を表-54 に示す。なお、距離についてはネットワーク距離を使用する。

表-54 誘導区域の設定条件

項目	設定条件
居住誘導区域 (全てを満たす)	○下記条件をすべて満たす ・鉄道駅 800m, バス停 300m 圏内 ・農用地区域/工業専用区域以外 ・土砂災害危険区域でない/1m 以上の津波が想定されていない ・市街化区域またはその他用途地域である
都市機能 誘導区域	○居住誘導区域の条件に加えて以下の条件の いずれかを満たす ・宮崎市中心市街地

	・ DID 地区 ・ 宮崎市都市マスタープランで 中核/地域拠点に指定
--	--

✓ QOL の計算手法

QOL は名古屋都市センター⁴⁾を参考に、QOL の単位を月当たりの支払い意志額(貨幣単位)に換算する。式(1)中の LPS 値の平均値は 2010 年の値を用いる。これは各時点での QOL が 2010 年と比べてどのように変化するかを考えるためである。また、計算に必要な施設のうち、病院・診療所と商業施設については 2010 年時点の宮崎市の 1 人当たりの施設数を考慮した上で施設の増設・撤退を考慮する。計算に必要な 2010 年から 2040 年の人口のデータについては、社人研の方法に従いコーホート要因法を用いて推計する。

$$QOL = \sum_i (w_i (LPS_i - LPS_{2010ave})) : \text{式(1)}$$

✓ インフラ維持費用の計算手法

インフラはスプロールの影響を受けやすいネットワーク系インフラである市町村道、上下水道を対象とし、維持費用はその時点でのインフラ存在量に原単位を乗ずることで算出する。市街地への移転のため、新設を行わないと仮定し、各インフラの維持費用原単位は先行研究⁵⁾⁶⁾を参考に、維持・更新と廃棄を考慮する。表-55 に各インフラの原単位を示す。

表-55 各インフラ維持・更新費と廃棄費(円/㎡, 円/m)

項目	維持・更新費 (1 年ごと)	廃棄費
市町村道	313	3,524
上水道	2,500	2,734
下水道	250	7,021

✓ 環境負荷の計算手法

環境負荷は各施設維持・更新や廃棄で生まれる環境負荷を算出し、貨幣価値に換算する。算出はインフラ維持費用と同様にインフラ存在量や住宅の建設面積に応じて表-56 に示す原単位⁶⁾を乗ずることで行う。

表-56 各施設の環境負荷(kg・CO2/㎡, kg・CO2/m)

項目	新設	維持・更新 (1 年ごと)	廃棄
市町村道	—	0.151	14.41
上水道	—	3.382	12.66
下水道	—	1.770	27.31

住宅新設 (木造)	434.2	64.50	88.00
住宅新設 (非木造)	673.6	31.70	87.20
貨幣価値換算		5.461(円/kg-CO ₂) ⁷⁾	

✓ 移転にかかる費用の算出方法

移転にかかる費用としては想定される項目とその原単位を表-57 に示す。原単位の推計には宮崎市⁸⁾と復興庁⁹⁾、清水¹⁰⁾、環境省¹¹⁾の資料を用いた。移転支出について、自然移転では1人当たり定額の補助を、強制移転では自治体は移転する住居の残存価値に応じて住居建設費や解体・更地化費を支払うとする。

表-57 住居の移転にかかる費用の原単位

項目	原単位
建設費	6,124,120(円/人)
引っ越し費	33,286(円/人)
解体・更地化費	10,000(円/m ²)

✓ 災害復旧費用の推計手法

居住地の移転による便益として災害復旧費用の削減も考えられる。本研究では災害復旧費用として土砂・浸水災害からの復旧費用と津波の被災による復旧費用を推計する。原単位は国総研資料¹²⁾から推計した。なお、津波については発生確率を考慮し、復旧投資期待値を用いる。

表-58 各期間の地震の発生確率

期間	発生確率 (%)	地震本部 ¹³⁾ の式を用いて計算
2021年から2040年	36.3	
2026年から2040年	26.5	
2031年から2040年	16.5	
2036年から2040年	7.0	
2040年	1.6	

✓ 居住地集約の効果の評価

本研究では表-59 に示す便益と費用について分析を行い、2040年時点での各シナリオの純便益の大きさを計算することで、居住地集約の効果を検証する。

表-59 本研究における費用・便益とその主体

	主体	項目
便 益	住民	QOL の変化(貨幣換算)
	自治体	インフラ維持費用の削減
		土砂・洪水災害復旧費用の削減
		津波復旧費用(がれき撤去費)の削減
	社会	環境負荷の削減(貨幣換算)
費 用	住民	住居の建て替え・引っ越し費用
	自治体	移転事業費用
割引率		4%

③ 居住地集約効果の分析結果

✓ 基本集計の結果

表-54 の手法に従い設定した居住誘導区域と市街化区域について、2010 年と 2040 年の面積・人口・人口密度をシナリオごとに計算した結果を表-60 に示す。

表-60 面積・人口・人口密度変化の計算結果

シナリオ (年)	項目	人口:人	面積:km ²	人口密度:人/ km ²
共通 (2010)	市街化区域	345,875	63.17	5,475.47
	居住誘導区域	273,730	46.89	5,837.71
無策 (2040)	市街化区域	276,665	63.17	4,379.69
	居住誘導区域	234,817	46.89	5,007.83
自然移転 (2040)	市街化区域	317,049	63.17	5,018.98
	居住誘導区域	318,326	46.89	6,788.80
強制移転 (2040)	市街化区域	319,479	63.17	5,057.45
	居住誘導区域	323,536	46.89	6899.89

表-60 より、各移転シナリオでは人口減少下でも、居住誘導区域内の人口密度を一定水準維持する役割を果たしていることが分かる。なお、2040 年各移転シナリオにおける居住誘導区

域内人口が市街化区域人口を上回っているが、これは田野地区に設定された居住誘導区域が市街化区域に含まれていないためである。

✓ QOL の変化の分析結果

次に各シナリオの 2010 年から 2040 年まで 5 年ごとの住民 1 人当たりの月当たりの QOL(円/人/月)の推移を図-97 に示す。これより、無策の場合は 2010 年から 2040 年までの QOL 値がほぼ-17000(円/人/月)ほどで推移するのに対し、各移転シナリオでは QOL 改善効果が見られる。これは交通利便性(AC)の高いエリアである居住誘導区域への居住移転のほかに、災害危険区域から移転したことによる災害安全性(SS)の向上によると考えられ、各シナリオ共に移転建物数の多く、居住環境の変化が大きい 2020 年での QOL の改善が大きくなった。

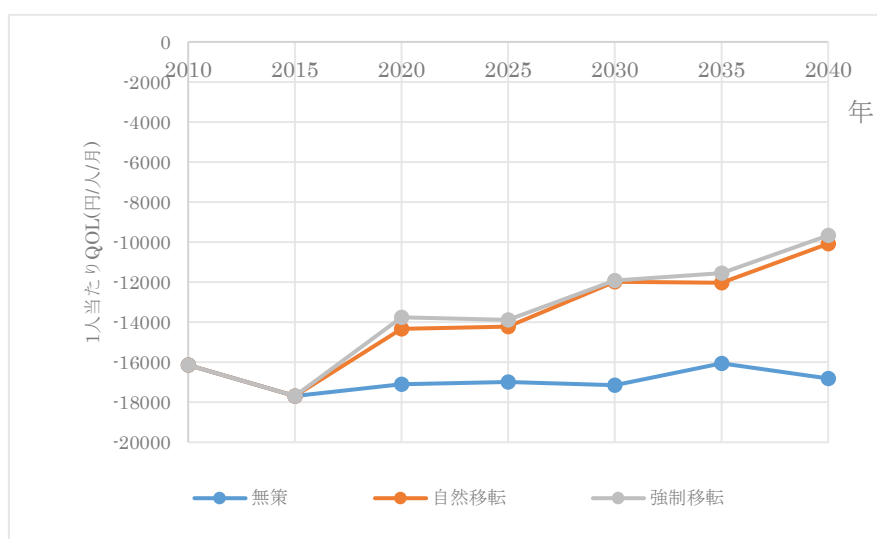


図-97 各シナリオの 1 人当たり獲得 QOL 変化

✓ インフラ維持費用の変化の分析結果

各シナリオの各時点での 1 年あたりのインフラ維持費用を図-98 に示す。強制移転を組み合わせた場合には自然移転の場合よりも削減できるインフラ費用が大きいことが分かる。また、移転によるインフラ削減効果が最も大きかった強制移転では、道路面積が約 38%、上水道・下水道延長がそれぞれ 50%程に削減されるなど、大きな削減効果が見られた。

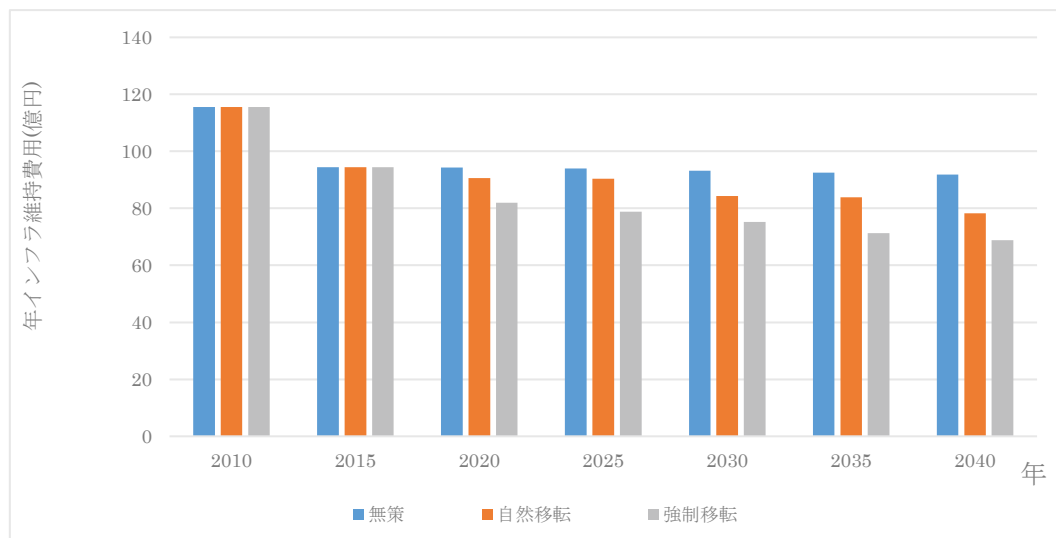


図-98 各シナリオの年あたりインフラ維持費用

✓ 環境負荷の変化の分析結果

各シナリオの各時点での 1 年あたりの環境負荷を図-99 に示す。どちらのシナリオも無策の場合と比較して環境負荷が小さくなった。また、強制移転と自然移転との間での環境負荷に大きな差は見られなかった。これは強制移転では移転事業での施設の新設・廃棄の環境負荷が大きく、移転による環境負荷低減の効果を相殺するためである。

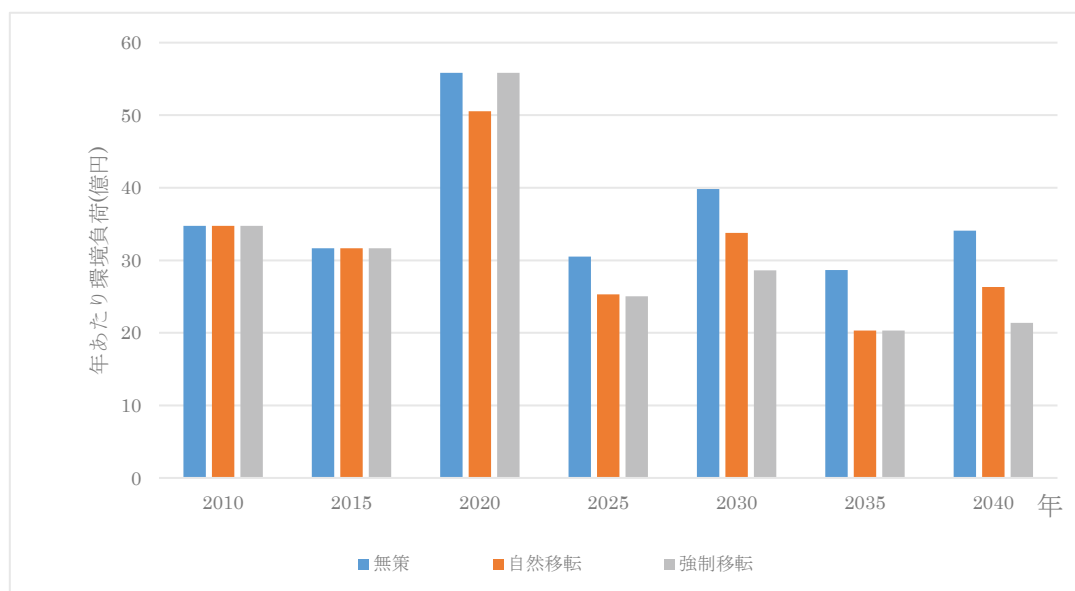


図-99 各シナリオの年あたり環境負荷費用換算

✓ 費用便益分析による居住誘導効果の分析

自然移転・強制移転の便益・費用の 30 年間累計値を無策と比較した結果を以下の表-61 に示す。表-61 より、いずれのシナリオも無策の場合と比較して大幅な純便益をもたらすことが分かる。強制移転において住居建て替え費の便益は、本来自然移転に際して住民が負担する

はずの費用を自治体が強制移転に伴う費用として肩代わりしたものである。また、強制移転では、QOL やインフラ維持費削減等の便益項目の全てで自然移転の場合よりも有利である。自治体単体の純便益は自然移転の場合は-42 億円、強制移転の場合は-56 億円であり、宮崎市単独での移転事業の実施は困難であると考えられる。

表-61 費用便益分析結果（割引率 4%）

30 年間の累計			自然移転 シナリオ	強制移転 シナリオ
便 益	住民	QOL の変化	1,574	1,727
	自治 体	インフラ維持費用削減	58	160
		土砂・洪水災害復旧費用 削減	5	17
		津波災害復旧費用削減	24	40
	社会	環境負荷低減	68	86
費 用	住民	住居建て替え・引っ越し 費用	43	-91
	自治 体	移転事業費用	-129	-226
純便益			1,642	1,667

単位：億円

✓ 各地域における移転方法・移転時期

図-100 は強制移転シナリオにより得られた結果を基に、宮崎市内各居住地メッシュを強制的に移転させるべきか自然移転をすべきかを示したものである。居住誘導区域外に存在する 2174 メッシュ(250m×250m)の内、強制移転すべきとなったのは 931 メッシュであった。さらにそのうちの 70%以上(931 メッシュ中 677 メッシュ)が 2020 年・2025 年に強制移転すべきである(図-100 内の赤色・橙色メッシュ)という結果となったが、これらの地区は多くが土砂災害等の災害危険エリアに含まれる(677 メッシュ中 457 メッシュ)。つまり、削減できる復旧費用が大きい災害危険区域ほど早期に移転を図るべきであると言える。

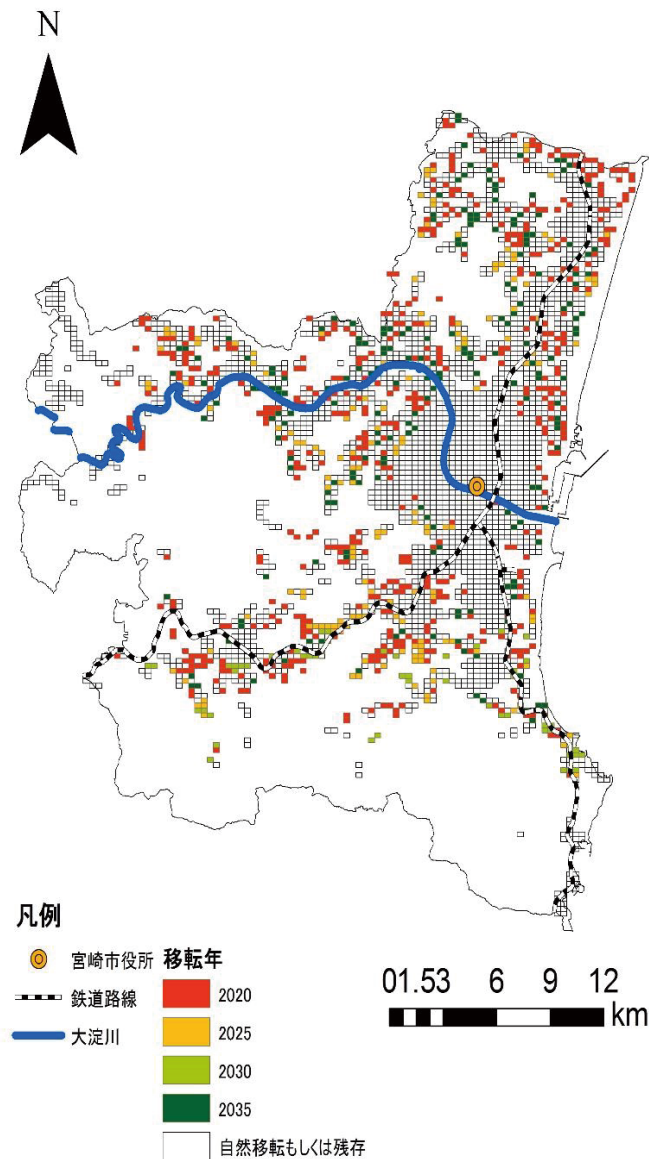


図-100 各地域の移転方法と移転時期

④ おわりに

本研究より以下の知見を得た。

- ・強制移転は QOL・インフラ維持費用削減・環境負荷の点では自然移転よりも効果が大きく，住民移転に関わる便益も大きくなった。また，事業費を支出してでもなるべく早期に撤退すべき地域は，災害危険区域に含まれる地域が多い。
- ・自治体にとっては両シナリオで純便益が負となり単独での事業実施は困難である。

参考文献

- 1) 国土交通省:みんなで進める,コンパクトなまちづくり~いつまでも暮らしやすいまちへ~, 2014
- 2) 国 税 庁 HP : 耐 用 年 数 (建 物 ・ 建 物 付 属 設 備) , https://www.keisan.nta.go.jp/survey/publish/34255/faq/34311/faq_34354.php, 2017 年 1 月 9 日最終閲覧
- 3) 鎌谷直毅:建築寿命に関する研究~2011 年における我が国の住宅平均寿命の推計~, 建築生産系建築生産演習報告, pp.1-4, 2011
- 4) 名古屋都市センター:名古屋都市圏におけるエココンパクトな市街地形成, 名古屋都市センター研究報告書, No.91, p.138, 2011
- 5) 一般財団法人地域総合整備財団:公共施設更新費用ソフト仕様書 Ver.2.10(平成 28 年版), 2016
- 6) 和田夏子:CO2 排出量と建設コストによる都市再編成政策の評価手法に関する研究—長岡市のコンパクト化を事例として—, 2012
- 7) 国土交通省:CO2 貨幣価値原単位について,2007
- 8) 宮崎市:平成 26 年度版統計書, 2015
- 9) 復興庁:平成 27 年度における住宅局所管事業に係る標準建設費等について, 2015
- 10) 清水健太:都市郊外部の人口減少地区における団地集約のあり方, 2011
- 11) 環境省:建築物の解体现場における現状と課題等について, 2012
- 12) 国土技術政策総合研究所:地区整備における費用・便益算定手法, 2003
- 13) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会:南海トラフの地震活動の活動評価(第二版)について, 16p, 2013

(3) 都市・地域縮退がもたらすコベネフィットの評価に関する事例研究

構築した評価モデルシステムは日本全国を対象とするが,本研究では,研究参画者が実際に地域の活性化や防災・減災対応に携わっている名古屋都市圏・宮崎市の候補地に適用し,ケーススタディを実施した.特に目指す点は,少子高齢化,巨大災害リスク増大(気候変動の考慮を含む),そして省エネルギー・低炭素という,縮退戦略が必要とされる 3 つの主要因について,各対象地域で評価を行い,それを基に「サステナビリティ」「レジリエンス」の両方が向上できるような望ましい縮退プログラム(時系列)を提案した.さらにその提案を各地域の自治体職員に見ていただき,議論することで,実行可能な戦略の実施に向けて合意形成を図るプロセスを試行した.

日本のように都市化の過程において郊外開発が急速に進んだ国では,既に開発が進んだ郊外部のうち災害に対して脆弱であったり QOL のわりに費用や CO₂ 排出が大きい地区からいかに撤退し,効率の高い地区に集結するかが課題である.そのための具体的な誘導策として,都市計画規制と税制等によるインセンティブの併用策を提示した.これについては,欧米で実施されているテクニックの日本への導入可能性も合わせて検討した.さらに,策の実施に伴う誘導効果の発現量を評価できる計量モデルを合わせて開発し適用することで,国民幸福最大化・低炭素化の観点から見た施策の必要実施レベルをバックキャスト的に推計した.

また、日本特有の問題点として、建物の寿命が短いことが挙げられる。これは物理的耐久性よりもむしろ都市計画制度の不備による土地利用混乱が各建物の社会的・経済的寿命を減少させている側面がある。建物の寿命は CO₂ 排出量や資源消費量の多寡とは必ずしも関係しないが、省エネルギーやリサイクルの技術と合わせて影響を及ぼす。そこで、縮退シナリオの検討にあたっては、維持費用等を勘案した建物・インフラストック更新投資余力も考慮し、サステナビリティをより高めることができる社会的・経済的寿命を見だし実現する「都市ストック化」施策を合わせて実施することを盛り込むことだ。

高蔵寺ニュータウンでは、縮退また地域特性を考慮した上で、地域縮退による環境効率の変化を評価するモデルを開発した。さらに利用可能な技術を組み合わせた地域エネルギーシステムを地域の実情に応じた目的の下でデザインし、環境・経済・社会の面から評価するフレームワークを開発した。特に高蔵寺ニュータウンにおいて、コスト最小化・CO₂最小化等のコンセプトに応じた自立分散型のエネルギーシステムの計画をその効果ともに検討した。

また国民総幸福度最大化と低炭素化を、都市・地域縮退（コンパクト化）により実現するためのドライビング・フォースとして、災害安全度の向上に着目した検討を行う（図 1）。都市・地域縮退の点から災害安全度の向上を考えると、土砂災害、津波浸水想定区域、洪水危険地区などの災害危険地区からの移転が想定される。

都市・地域縮退（コンパクト化）の具体例として、現在進められている立地適正化計画における都市機能誘導区域、居住誘導区域の設定が、生活の質、インフラ維持費用、環境負荷に与える影響を、宮崎県宮崎市を対象として検討した。具体的には、宮崎市における立地適正化計画を検討するために、1) 都市内各地区の診断カルテの作成、2) 災害復旧費用を含めた広義の地域維持費用の推計、3) 立地適正化計画における居住誘導区域の設定と居住集約による QOL、地域維持費用、環境負荷を推計した。

(a) 高蔵寺ニュータウンを対象とした事例研究

i) 地域と対象施設の概要

愛知県春日井市に立地する高蔵寺ニュータウンを対象としたケーススタディを実施する。本研究では、愛知県春日井市の東部に位置する「高蔵寺ニュータウン」を対象とする。1968 年から入居開始した中部地区最大のニュータウンで、最寄りの JR 中央線の高蔵寺駅から名古屋駅まで快速で 26 分とアクセス性は良く、名古屋市のベッドタウンとして発展してきた。しかし、近年進む人口減少に伴い、集合住宅を中心に老朽化や空家率の上昇といったオールドニュータウン化が問題となっている。ニュータウン全体での空家率は 9.2%と全国平均よりも低いですが、集合住宅では 16.9%と高い水準となっている。

また、高蔵寺ニュータウンは土地区画整理事業により計画的に開発されたが、ニュータウンの周辺地域には都市計画区域外の土地もあり、人口密度が低く、インフラや土地利用が非効率なスプロールした地区が広がっている。

以上のように、高蔵寺ニュータウンは、一体的に開発された大規模住宅団地において生じる問題に、他地域に比べ先行的にかつ顕著に直面している。ゆえに、本研究により得られた知見は、他の住宅団地に有用な示唆を与えることが期待できる。

今回は対象地域において、特に集中的にエネルギー消費がされている中央台を評価対象と

して、分散型エネルギーシステムの導入可能性を評価する。図-3 対象地域の概要を示す。建物数としては集合住宅を中心とした地域であるが、大型の商業施設が複数立地しており、商業と住宅が混在した地域である。

また、得られたデータに基づいて、季節・時間別のエネルギー需要を推計した。その結果を図-4 に示す。それより推計される系統電力の消費量は 52,150MWh/年、都市ガス消費量は 1,355 千 m³/年であり、中央台全体の年間エネルギーコスト（設備費用は含まない）は約 17 億円と推計された。

なお、ここでは給湯需要はガス給湯器、冷暖房需要はエアコンにより供給されるものと想定し、燃料単価は電力・ガス会社の料金表を参考に、昼間電力 29(円/kWh)、夜間電力 10(円/kWh)、都市ガス 12(円/kWh)と仮定している。

表-62 高蔵寺ニュータウンの居住情報

(出典：春日井市、総務省)

人口（2015 年）		45,217 (人)
世帯数（2015 年）		19,853（世帯）
高齢化率（2015 年）		30.0（％）
空家率	戸建住宅 (2014 年)	3.2（％）
	集合住宅 (2014 年)	16.9（％）
	ニュータウン全体 (2014 年)	9.2（％）
	全国平均 (2013 年)	13.5（％）

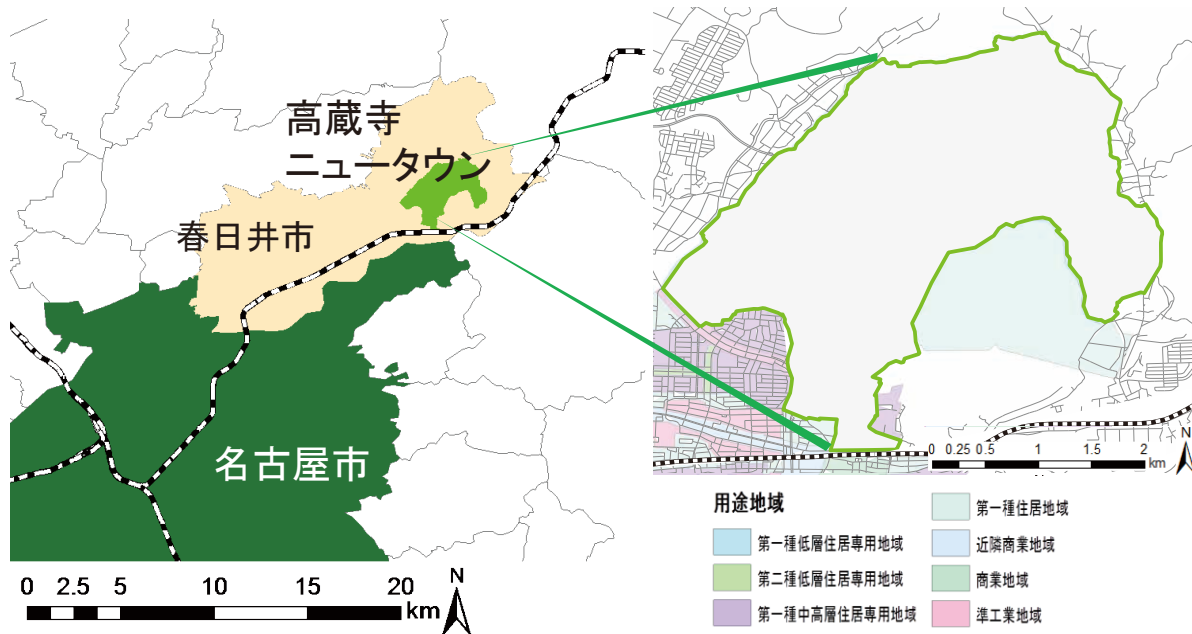


図-101 対象地域の位置と周辺の土地利用

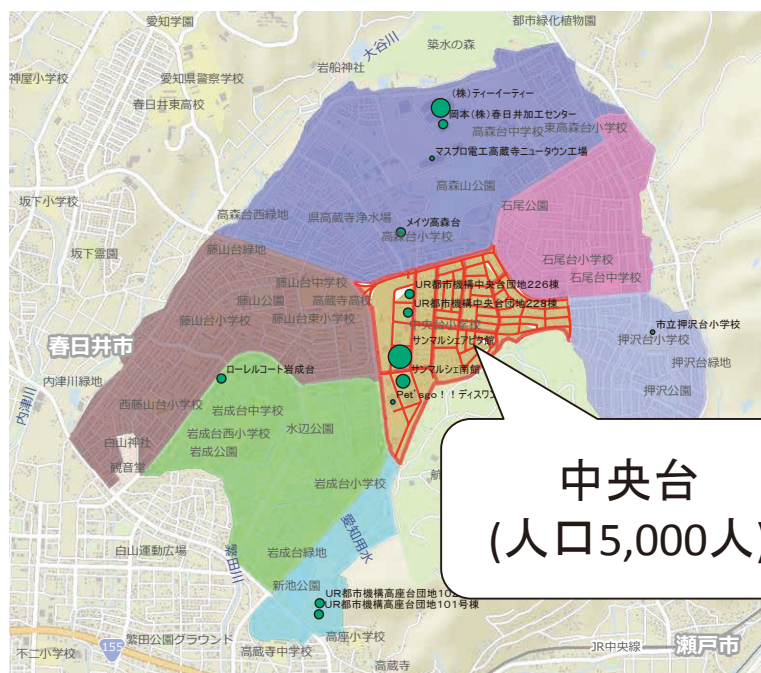


図-102 評価対象地域

表-63 評価対象地域の概要

	建物数	面積	延床面積

		(m ²)	(m ²)
住居	758	93,790	282,538
事務所	62	21,590	48,771
商業施設	23	29,371	120,916

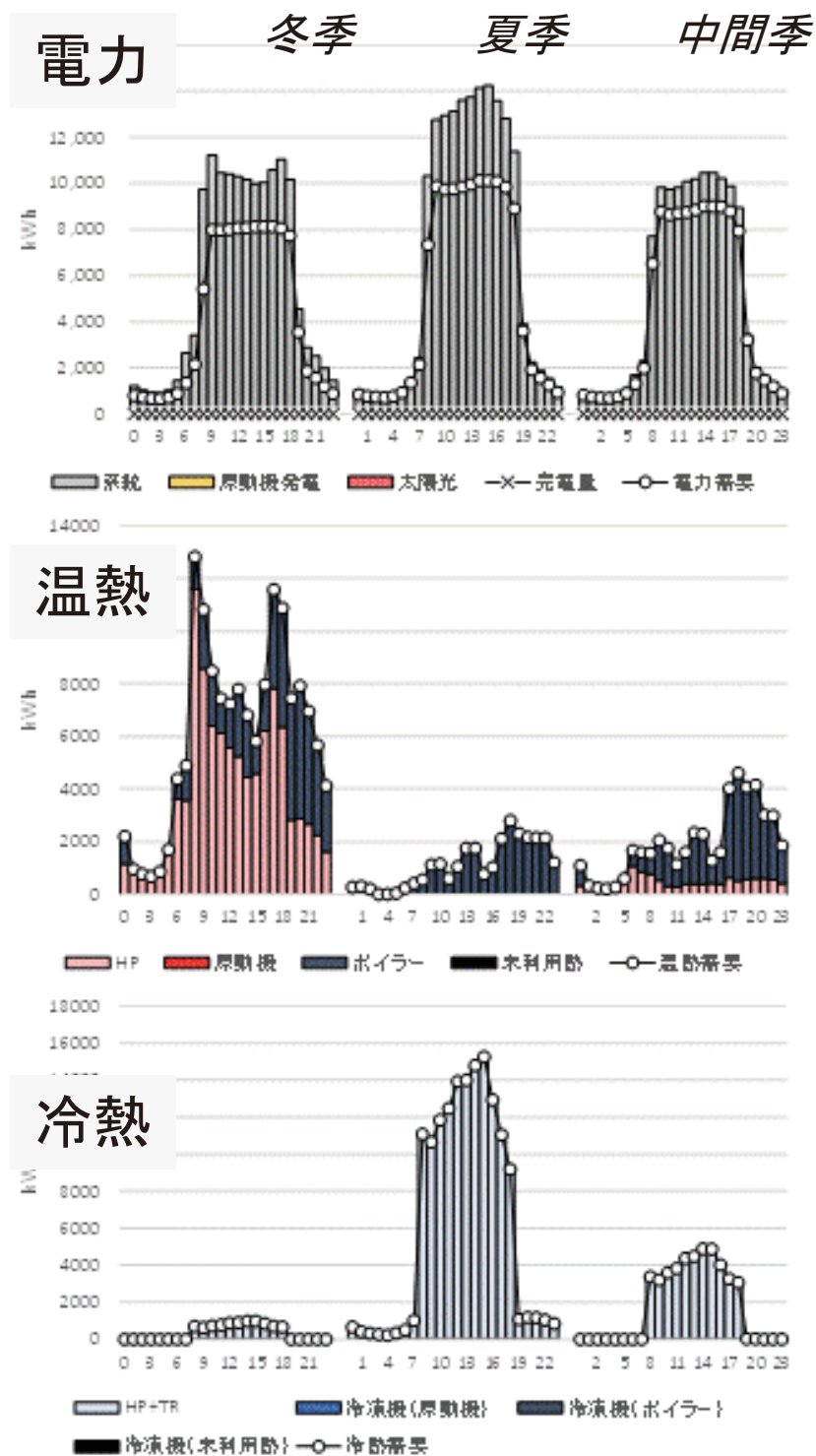


図-103 現況のエネルギー需給バランス

ii) QoL シナリオ評価

① 対象地域の概要

対象地域として、愛知県春日井市の東部丘陵地に位置する「高蔵寺ニュータウン」を設定

する。名古屋市の中心部から北東約 17km、最寄り駅である JR 高蔵寺駅までバスで 3～17 分、JR 高蔵寺駅から JR 名古屋駅まで快速電車で 26 分と名古屋へのアクセスは比較的容易な位置にある。同ニュータウンは、7つの住区に分類されており、住区によって住宅形式が大きく異なる（図-4.1）。

高蔵寺ニュータウンは日本の三大ニュータウンの一つであるが、千里ニュータウン・多摩ニュータウンとは異なりすでに人口が減少しており、また現時点では再開発等の具体的な将来計画は検討されていないため、本研究によりニュータウン再生に向けた有益な基礎的知見を得る。

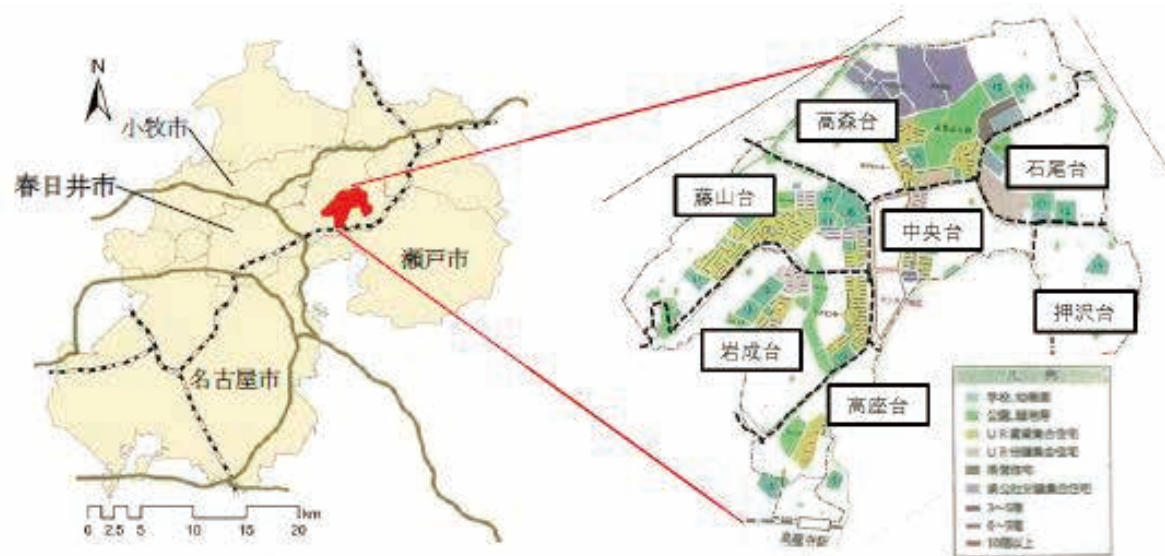


図-104 対象地域の位置（出典：高蔵寺ニュータウン住宅流通促進協議会）

表-64 高蔵寺ニュータウンの現況

人口(2015 年)	44,543 人
世帯数(2015 年)	19,853 世帯
高齢化率(2015 年)	30.12%

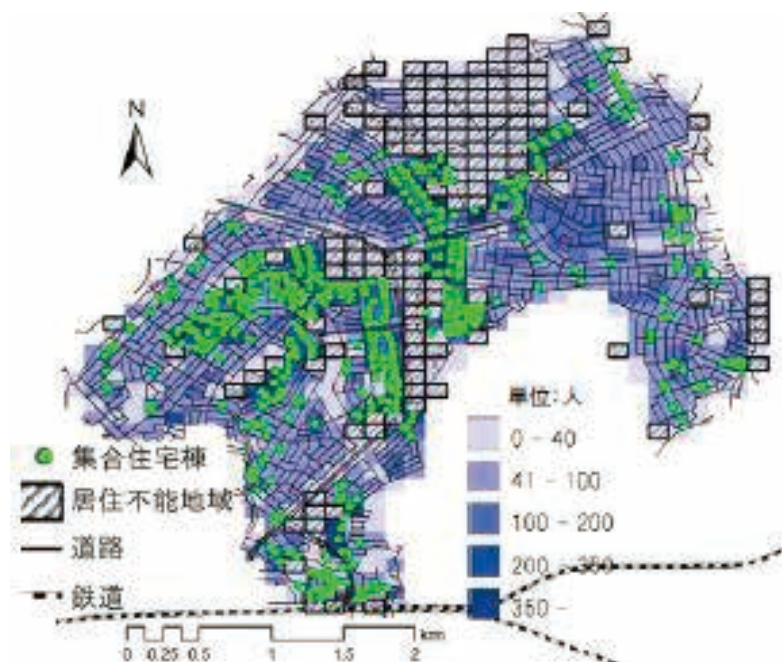


図-105 高蔵寺ニュータウンの人口分布

高蔵寺ニュータウンの基本指標と人口分布を表-4.1、図-4.2 にそれぞれ示す。

住宅の構成は、戸建住宅が 42%，都市再生機構（以下 UR）賃貸住宅が 36%，UR 分譲住宅が 11%であり，UR 住宅が多い．そのため，集合住宅が密集している，藤山台・中央台・岩成台に人口が多く分布している．

人口は，戸建地区では横ばい，団地地区では減少傾向となっている．また，同時期に同種の世帯が集中して入居したことから少子高齢化の進行が早く，近年では日本全国の平均値を上回った．

一方で，高齢者単身世帯は UR 住宅で，世帯数，割合ともに高いが，エレベーターが未設置といったバリアフリー整備の遅れがみられ，今後対応を求められている．

② 将来シナリオの設定条件

✓ 居住者アンケート

高蔵寺ニュータウン居住者の居留意向や定留意向，リフォーム意識，ニュータウンの課題や空家問題についての意見を把握することを目的として，2014 年 9 月に高蔵寺ニュータウン住宅流通促進協議会が実施した「高蔵寺ニュータウン住まいの意向調査」の結果の中で，本研究に関連する結果を図-4.3，図-4.4，表-4.2 に示す．

アンケートによると，30 年以上継続して居住している方が 64%を占め，高蔵寺ニュータウン開発当初からの居住者の割合が非常に高いと指摘している．また，継続居住を 75%が希望する一方で，21%が住み替えを検討しており，将来住み替える可能性があることを示唆している．「住み替える理由」については，ニュータウンの利便性や医療・介護への不安と，住宅設備への不満の割合が大きく，「住宅立地」と「住宅設備」の 2 つのキーワードに分けることができる．「住み替えにあたっての希望」の設問に対し，若年層（50 歳未満）と高齢層（50 歳

以上)では、利便性確保、希望する物件種類、物件の広さへのニーズが異なっており、一律なニュータウン再生施策では、ニュータウン全体の住環境を改善することができない可能性がある。

「空家に対する意識」の設問では、半数以上が管理不適切を指摘している一方で、老朽化を指摘している人は13%と多くはなく、景観支障(22%)や治安面(26%)を指摘している人の方が多い。

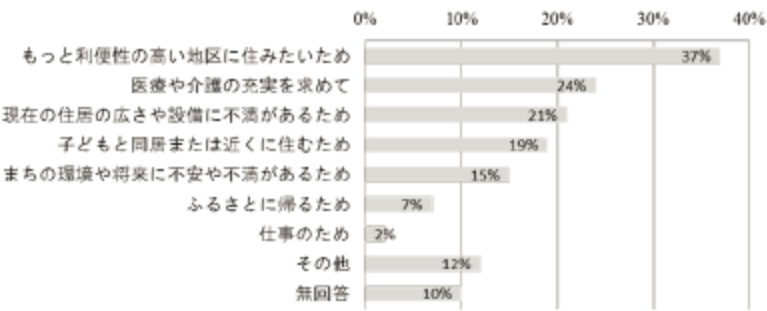


図-4.3 住み替えの理由について

表-4.2 住み替えにあたっての希望

	交通利便性へのニーズ	希望する物件へのニーズ	物件広さへのニーズ
若年層(50歳未満)	通勤・通学へのAC	戸建て住宅	現在より居住床面積拡大
高齢層(50歳以上)	医療・商業施設へのAC	シニア住宅	現在より居住床面積縮小

(高蔵寺ニュータウン住まいの意向調査)をもとに集計

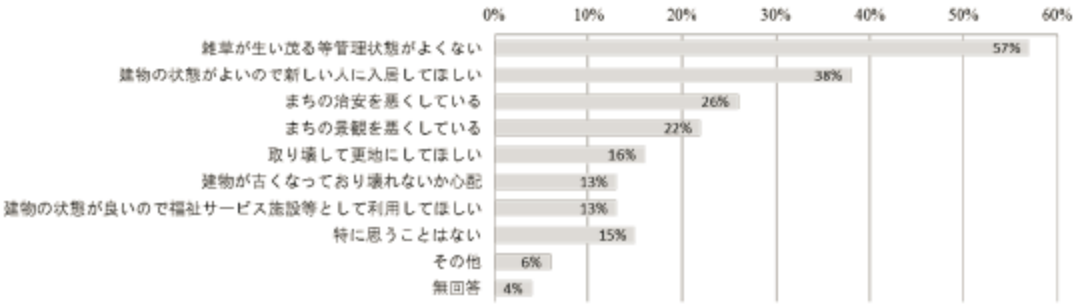


図-4.4 空家に対する意識

✓ 国内外におけるニュータウン再生事例

高蔵寺ニュータウンにおける住宅・土地再編の将来のシナリオ分析を行うにあたり、従来の国内外でのニュータウン再生事例の代表例として、(1)多摩ニュータウン、(2)ドイツのニュータウンについて、レビューを行う。

多摩ニュータウン

多摩ニュータウンは、約 20 万人が住む日本最大のニュータウンである。高蔵寺ニュータウンと同様に、初期入居地区を中心として人口減少や高齢化が進行しており、住宅や設備の老朽化、バリアフリーへの要請などの課題が顕在化しつつある。

② 再生に向けた取り組み

大規模分譲住宅団地において、良好な住環境の維持のために、多摩市諏訪2丁目で日本最大規模の一括建替えを実施した。図-4.5に諏訪2丁目の建て替え前後の写真と表-4.3に事業の概要を示す。容積率制限の変更なしに、戸数の増加を実現している。

また、戸建てについても今後懸念される空家増加などの対応として、住替え促進など含め検討を行っている。

多摩ニュータウン周辺の状況として、2015年に圏央道の開通や2027年のリニア中央新幹線の橋本新駅の開業など、隣接地域での広域的なインフラ整備が進むことによる人の増加を見込み、建て替え前後で戸数を増加（640戸→1249戸）している。一方、高蔵寺ニュータウンでは人やモノの流れの大きな変化は想定されておらず、戸数を増やす建て替えは高蔵寺ニュータウンのニーズにマッチしていないと考える。



図-4.5 建て替え前後（多摩ニュータウン） 出典：山崎（2014）

表-4.3 事業の概要

	建て替え前	建て替え後
分譲・参加組員	日本住宅公団	東京建物
戸数	640戸	1,249戸
階数/棟数	地上5階建/23棟	地上11～14階建/7棟
敷地面積	約64,390㎡	約64,390㎡
延床面積	約34,050㎡	約124,900㎡
用途地域等 (建ぺい率/容積率)	・第一種中高層住居専用地域 (60/200%) ・一団地の住宅施設(10/50%)	・第一種中高層住居専用地域 (60/200%) ・多摩市諏訪地区 地区計画 (60/150%)

ドイツのニュータウン

日本とドイツでは、1960年代前半の同時期に大規模ニュータウンの建設が行われている。また、ドイツ再統一以降、東ドイツ地域では急激な人口減少による空家が発生している。大村（2013）はドイツのニュータウンでは、高齢化と人口減少による世帯構造の変容という点において、日本と同様の課題を抱えている、と指摘している。

Chrisら（2005）や Henningら（2005）によると、東西ドイツ統合後急激に空家が増加した東ドイツの団地地区では、単なる住戸数の削減を意味する減築ではなく、少なくした住宅

の質も改善して魅力ある住宅への転換や、高齢者世帯の増大という新たな需要を見越して、全面撤去された住棟部分にバリアフリー住宅を新設するなど、量は減らすが質の充実・向上を目指すという形で団地の再生を実施したと述べている。ドイツ国内で比較的早くから再生に取り組んだことで有名な Schillerpark においても、高層棟の撤去跡地に、居住環境向上を目指して、環境に配慮したオープンスペースを確保した緑地計画などを展開している。Schillerpark における減築計画の前後の変化を図-4.6 に示す。



全ての住宅ストックを保全、改修するのではなく、物理的、社会的、経済的にも維持することが困難なストックについては解体・撤去する一方で、住宅まわりの住環境を時代のニーズに合わせてニュータウン再生を行っているドイツの事例は、高蔵寺ニュータウンの状況にマッチしていると考ええる。

✓ 将来シナリオの設定

前項で詳述した「高蔵寺ニュータウン住まいの意向調査」のうち、居住者の住み替えに関する意見を整理すると、居住者の世代によって「住宅設備への不満」と「住宅立地への不安」に分類することができる。本研究では、住宅と土地利用の再編が居住者に与える影響を分析することを目的としていることから、将来シナリオは a)BAU（なりゆき）、b)LU（交通利便性を確保した立地誘導）、c)LU+HS（交通利便性を確保した立地誘導、住宅設備と居住ニーズがマッチした立地誘導）の3種類とする。

上で述べた人口移動シミュレーションにおける流入地区は、表-4.2 を参照し、表-4.4 のとおり設定する。本研究では、「高蔵寺ニュータウン住まいの意向調査」における集計方法に従い、50歳未満を若年層、50歳以上を高年齢層と定義する。

ドイツでの団地再生事例を参照に、物理的にも社会的にも維持困難な集合住宅は撤去する施策を導入し、導入前後における変化を QOL 値と建物費用の観点から評価する。撤去実施年は 2025 年とし、対象面積は、多摩市諏訪 2 丁目の事例を参考に、多摩ニュータウンと高蔵寺ニュータウンの敷地面積を比較した上で、4 メッシュとする。撤去後は、ドイツの事例を参考に、居住環境の向上を目的として、ゆったりとした芝生を主体とした緑地を展開する。集合住宅の撤去を行う際には、物理的、社会的な観点のみだけでなく、居住者の合意、ラン

ドスケープへの配慮も重要である。しかしながら、本研究ではそのためのデータを得ることができなかったため、居住者からの賛同を得ていると仮定し、将来シナリオ分析を行う。ここで、撤去を考慮したシナリオをそれぞれ、BAU+R, LU+R, LU+HS+R とし、BAU, LU, LU+HS シナリオの推計後、撤去を行う集合住宅の決定を行う。

撤去を行う集合住宅の設定条件は表-4.5 に示すように、物理的な観点から築年数，社会的な観点から QOL 値をそれぞれ設定する。各シナリオにおける都市環境の変化の中で、表-4.5 に該当するメッシュの集合住宅の撤去を行う。

次に、将来シナリオにおける費用の対象となる住宅の設定方法を表-4.6 に示す。集合住宅の新規建設は行わないと仮定する。また、地価は地域によって異なるため、本研究では国土交通省地価公示（2013）に基づく、高蔵寺ニュータウン内の地価を平均した 68.33（千円/m²）円を用いる。

表-4.4 流入地区の設定

シナリオ	若年層(50歳未満)	高齢層(50歳以上)
BAU	—	—
LU	AC1(就業場所)とAC2(文化公共施設)の合計値が高い地区へ流入	AC3(医療施設)とAC4(商業施設)の合計値が高い地区へ流入
LU+HS	AC1(就業場所)とAC2(文化公共施設)の合計値が高い地区。かつ、戸建住宅の空家世帯が多い地区へ流入(戸建住宅は修繕を行う)	AC3(医療施設)とAC4(商業施設)の合計値が高い地区。かつ、集合住宅の空家世帯が多い地区へ流入(集合住宅は修繕を行う)

表-4.5 撤去する集合住宅の設定

築年数(物理的)	2025年時点で、築40年以上
立地状況(社会的)	2040年時点で、空家率が80%以上、かつ QOL値が最も低い
対象メッシュ数	藤山台、高森台、岩成台、中央台 1メッシュずつ 計4メッシュ

表-4.6 費用の対象となる住宅の設定

シナリオ	戸建住宅			集合住宅		
	建設	修繕	廃棄	建設	修繕	廃棄
BAU	—	—	—	—	—	—
LU	新規住宅 (土地代+建物代)	—	滅失住宅	—	—	—
LU+HS	新規住宅 (土地代+建物代)	流入地区の住宅 (2010年～2040年)	滅失住宅	—	流入地区の住宅 (2010年～2040年)	撤去する 場合のみ

③ 住宅・土地利用再編が居住者の QOL に与える影響評価

✓ 現状における QOL 値

生活環境質向上機会（LPs）の算出方法を用いて、現状の交通利便性・居住快適性・安全安心性と QOL 値の推計結果を図-5.1～図-5.4 に示す。

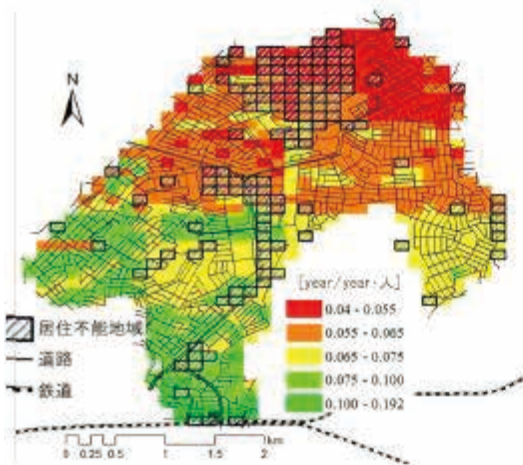


図-5.1 2010 年の交通利便性の推計結果

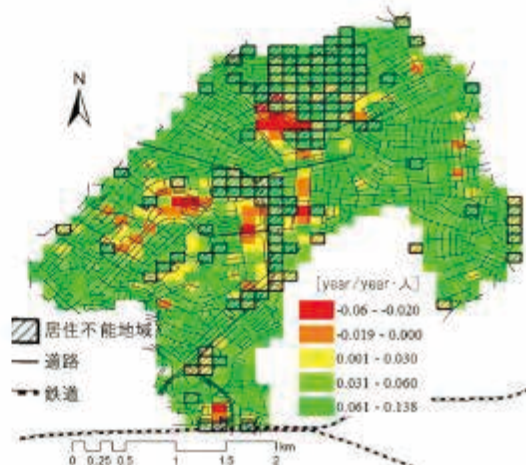


図-5.2 2010 年の居住快適性の推計結果

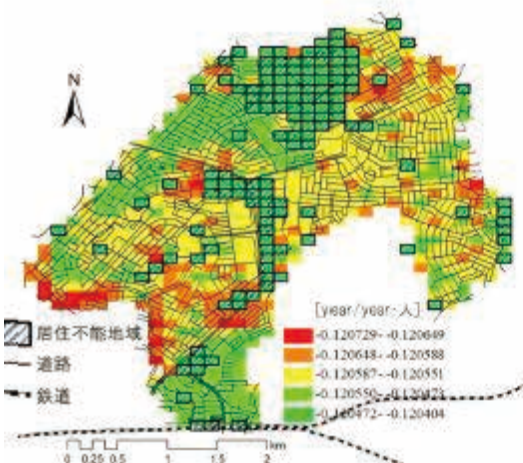


図-5.3 2010 年の安全安心性の推計結果

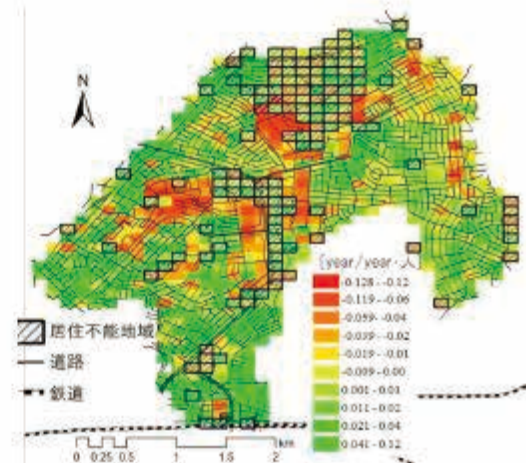


図-5.4 2010 年の QOL 値分布

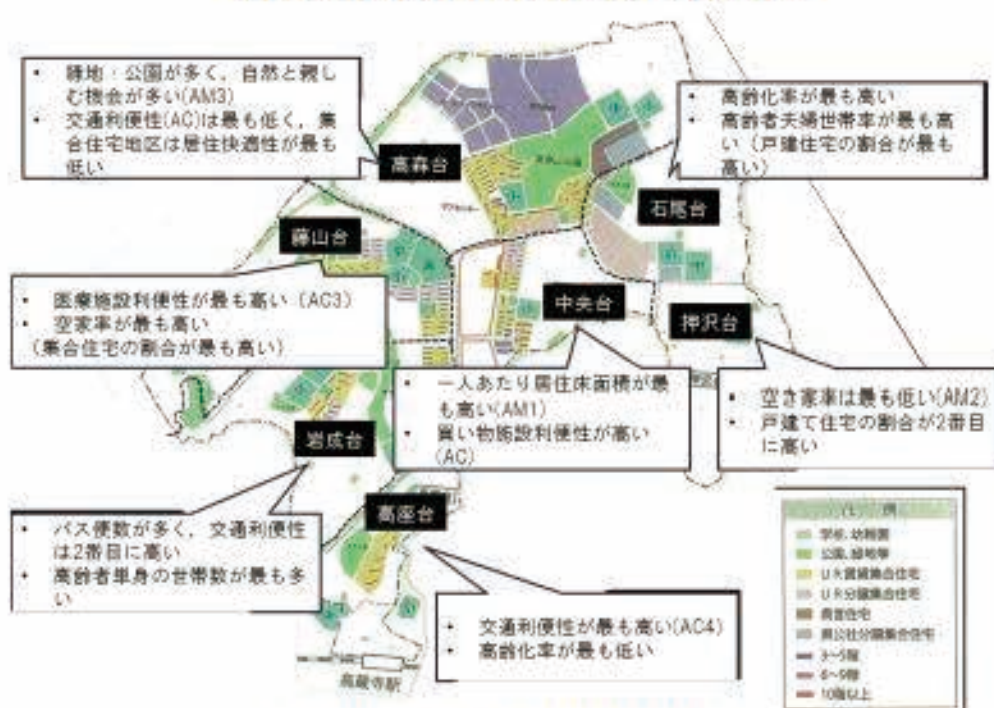
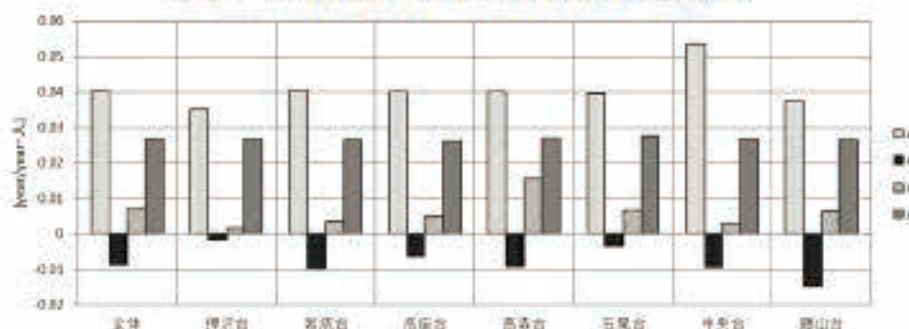
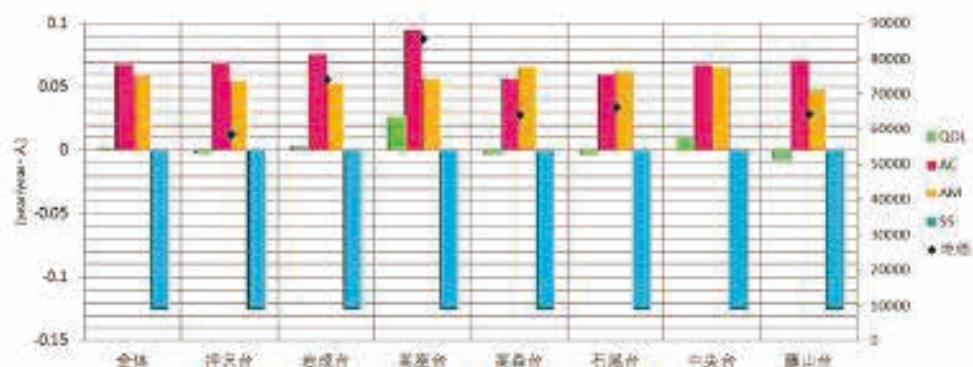
図-5.4 より、駅に近い南部の高座台で最も高い QOL 値をとる結果となった。理由として、鉄道徒歩圏内かつ路線バス本数が多く、交通利便性が高い（図-5.1）ことが挙げられる。一方、藤山台では交通利便性が比較的高いにも関わらず、集合住宅が多く立地し、人口 1 人あたり居住床面積が小さいことに加えて、空家率が高いために、居住快適性の値が低くなり（図-5.2）、全体としての QOL 値は低い結果となった。特に、高森台の集合住宅が密集している地区では、低い居住快適性を示しており、住環境改善策を検討する際に、一戸ごとの対策でなく面的に対応を行っていく必要がある。

次に、住区別の QOL 値の構成要素と AM 値の構成要素の結果を図-5.5 と図-5.6 に示す。高蔵寺ニュータウンでは、住区によって住宅形式が大きく異なり、QOL 値構成要素の AM

値に住区の特徴が現れている。全世帯数の半数以上が UR 賃貸住宅である岩成台、高森台、中央台、藤山台では、空家率が高く AM2 値が低い。また、広域に緑地公園が整備されている高森台では、緑地面積割合が高く AM3 値が高い。

本研究では、地価と QOL の関係性についての詳細な分析は行わないが、図-5.5 の QOL 値と地価公示価格を比較すると、住区毎の QOL 値と地価との間の相関があることを確認できた一方で、地価に反映されやすい土地固有のリスクを今後 QOL 値評価で考慮していく必要性も明らかとなった。

また、図-5.1～図-5.6 を踏まえた、現状における住区別の特徴を整理した結果を図-5.7 に示す。



✓ シナリオ間の比較

○将来人口予測

表-5.1 に、コーホート要因法を用いて算出した将来人口と高齢化率の推移を示す。高蔵寺ニュータウンの人口は、1995 年を境に減少傾向にあり、今後も人口が減少していく結果と

なった。特に、高蔵寺ニュータウンに 1960 年代後半から 1970 年代前半に入居した「第一世代」の居住者の高齢化により、2025 年以降急激に人口が減少することが想定されている。また、2015 年以降、高齢化率は内閣府が想定している日本全体の推計値を上回る結果となっている。

表-5.1 将来人口および高齢化率の推移

	1995年	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
人口[人]	51,312	48,353	46,911	45,605	44,543	40,557	36,994	33,338	29,771	26,010
高齢化率[%]	7.06	10.29	15.34	22.26	30.12	30.85	31.34	35.91	39.29	38.79
全国の高齢化率[%]	14.6	17.4	20.2	23.0	25.1	29.1	30.3	31.6	33.4	26.1

○将来世帯数予測

図-5.8～図-5.10 に、2010 年の空家率分布、シナリオ毎における住宅タイプ別世帯数の推移、シナリオ毎における 2040 年の空家率の予測分布を示す。

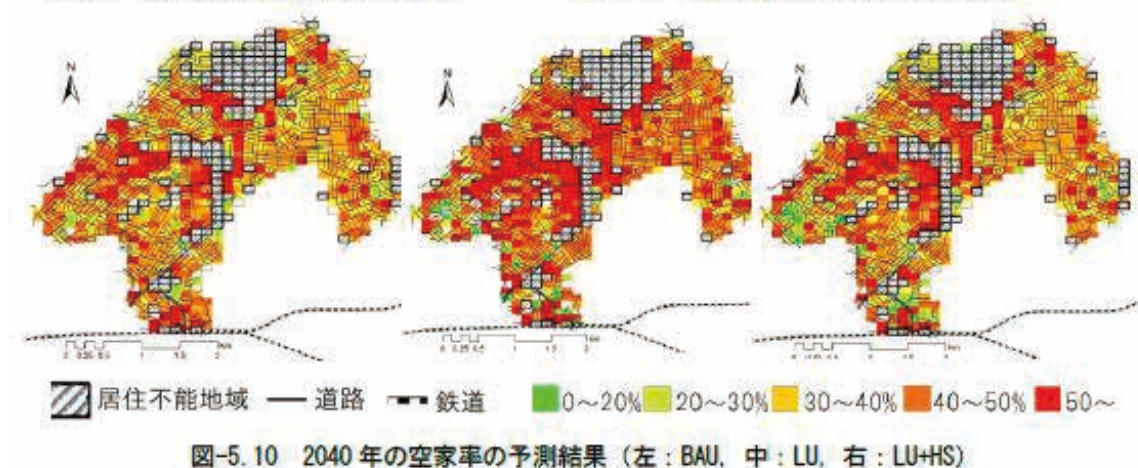
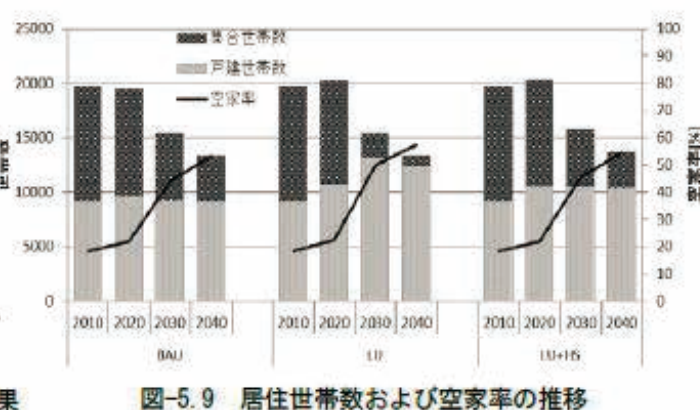
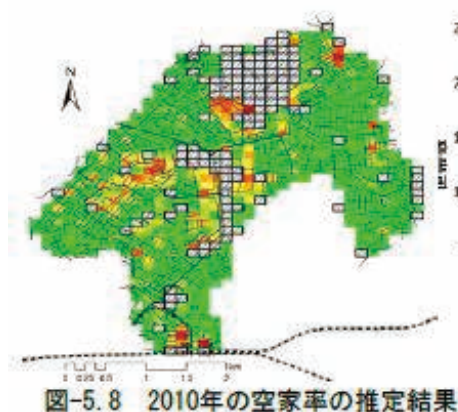


図-5.8 と図-5.10 を比較すると、全体的に空家率が増加している。地区別では、藤山台・高森台・岩成台・中央台において空家率が高い。その理由として、UR 賃貸集合住宅が多く

密集し、空家世帯が多く存在していることが考えられる。一方、石尾台・押沢台は、戸建に住む世帯数が8割以上を占めていることから、空家率は低いと考えられる。

LU+HS シナリオでは、住み替え居住者が空家に優先的に入居しているため、LU シナリオと比較して空家率の増加が抑えられ（図-5.9）、特に交通利便性が良い鉄道駅に近い地区では、集合住宅の空家の有効活用により、空家率が改善している地区もある（図-5.10）。

○現状と将来シナリオにおける比較考察

現状と BAU, LU, LU+HS シナリオにおいて、典型的な結果の違いが現れている地域を取り上げて考察を行う。本項では、将来シナリオを代表して BAU シナリオの QOL 値予測結果と人口・住宅の状況を、エリア毎に整理した結果を図-5.11 に示す。LU シナリオ、LU+HS シナリオの QOL 値予測結果については 5.2.4 項で詳述する。

エリア（1）では、現状・将来ともに QOL 値は低い。理由として、集合住宅が密集している地区のため人口1人あたり居住床面積が小さく、空家率が高いことが挙げられる。

エリア（2）では、現状と比較して QOL 値低下量が大きい。理由として、2010 年時点で高齢化率が既に約 40%と非常に高く、更に将来空家化が進行することが挙げられる。また、戸建住宅の新規住宅開発に伴う緑地面積の減少が QOL 値低下に寄与するためである。

エリア（3）では、現状と比較して QOL 値低下量が少ない。理由として、本研究では交通インフラは変化しないため、将来においても高い交通利便性を享受することが挙げられる。また、2010 年時点で高齢化率が約 20%であり、他の地区と比較して空家化の進行が遅いためでもある。

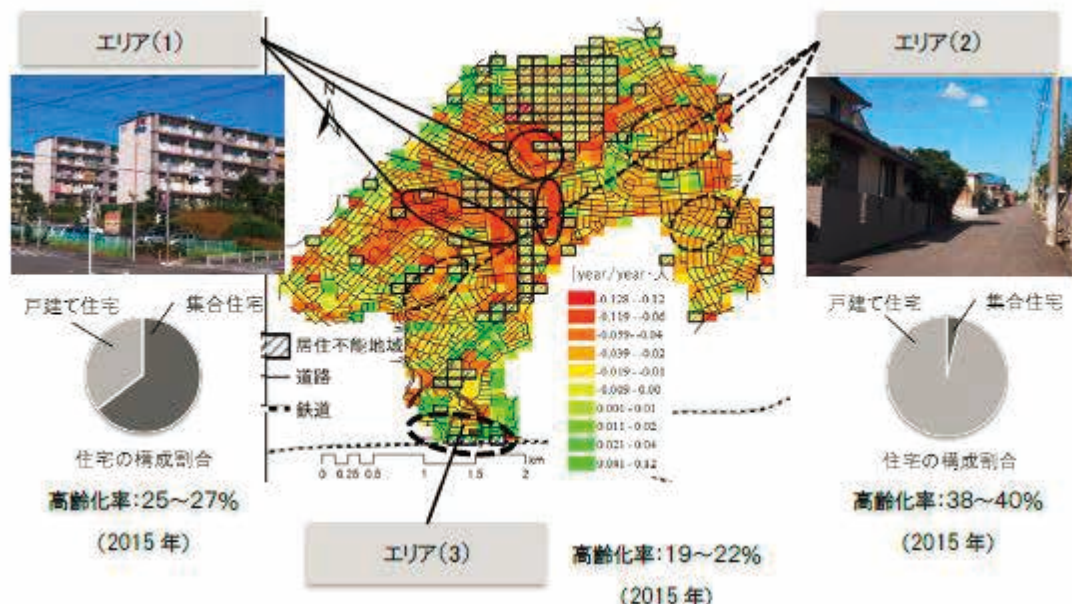


図-106 BAU シナリオにおける 2040 年の QOL 値予測結果

○将来シナリオにおける QOL 値分布

将来の LU, LU+HS シナリオの QOL 値予測結果を図-5.12 と図-5.13 に示す。

LU, LU+HS シナリオともに現状の QOL 値分布と比較すると、BAU シナリオと同様に集合住宅が密集している地区では QOL 値が低下し、交通利便性が高い駅徒歩圏内では QOL 値の低下量は少ない。

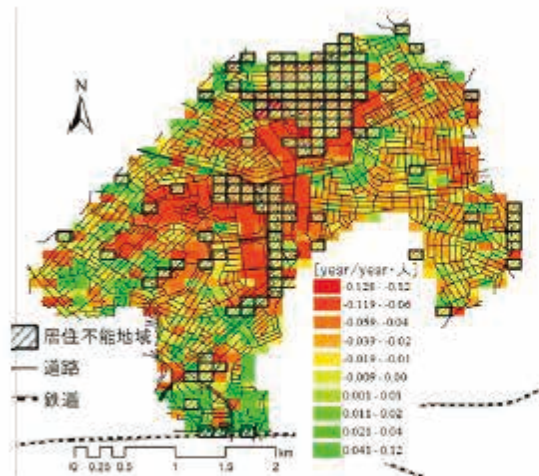


図-5.12 LUシナリオにおける2040年のQOL値予測結果

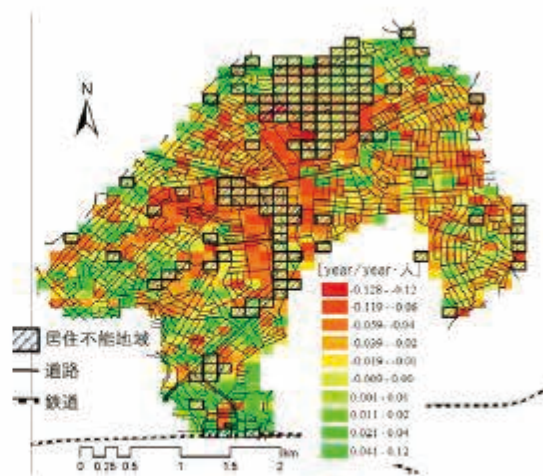


図-5.13 LU+HSシナリオにおける2040年のQOL値予測結果

○人口動態と住宅立地の状況の違いが QOL 値に与える影響分析

設定した人口動態と住宅立地に関する将来シナリオが、QOL 値に与える影響を明らかにするため、各シナリオ間で行った分析結果をⅠ～Ⅳに示す。

Ⅰ. 流入、流出地区における空家世帯数の変化

流入、流出地区における、住宅タイプ別の空家世帯数の推移について、流入地区を図-5.14 に、流出地区を図-5.15 に示す。

流入地区において、LU, BAU シナリオを比較すると、戸建住宅・集合住宅ともに LU シナリオで空家世帯数が多い結果となった。理由として、LU シナリオでは、空家に入居するよりも新規に戸建住宅を建設する傾向が他のシナリオと比較して強いことが挙げられる。その結果、LU シナリオでは、戸建住宅数、空家世帯数とも多くなる住宅立地が行われていることがわかる（図-5.9 参照）。一方、LU+HS シナリオでは、最も空家世帯数が少ない結果となり、理由として優先的に空家を利用していることが挙げられる。

また、流出地区においては、LU, LU+HS シナリオともに BAU シナリオよりも空家世帯数が多い。このことから、人口、住宅の移転を行う場合、流出地区で移転後に発生する空家を除却するなどの対策を同時に行わなければ、地区全体として BAU シナリオよりも空家が増加する危険性があることが明らかとなった。

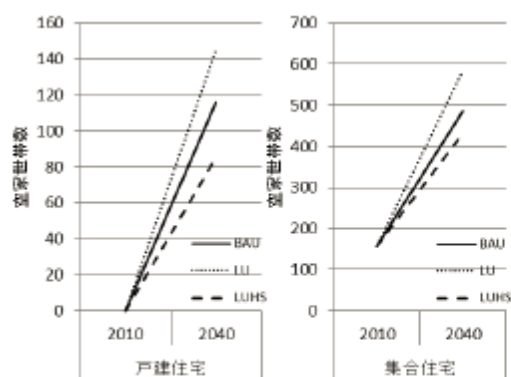


図-5.14 流入地区における空家世帯数の推移

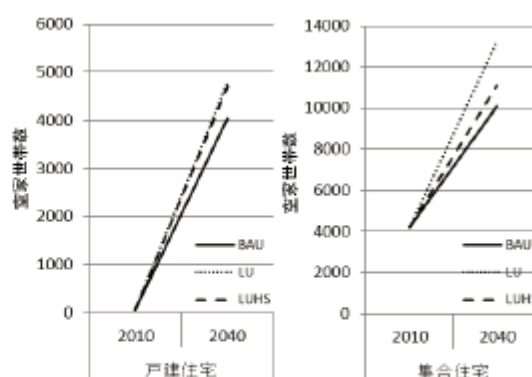


図-5.15 流出地区における空家世帯数の推移

✓ シナリオによる QOL 値構成要素の変化および年齢層による QOL 値推移

シナリオによる QOL 値の構成要素の推移を図-5.16 に示す。

LU+HS シナリオを導入した場合、将来における QOL 値が最も改善することが明らかとなった。その理由として、AC 値が高い地区へ将来人口が流入したことによる AC 値の向上が挙げられる。加えて、流入地区で空家に優先的に入居したことによる空家の増加抑制と、新規建設住宅減少に伴う緑地面積減少の抑制が AM 値の向上に寄与したと考えられる。

また、全シナリオにおいて SS 値が増加している理由として、安全安心性を重視する居住者の人口構成の変化と、高齢化による期待余命の減少が損失余命に直接反映していることが挙げられる。

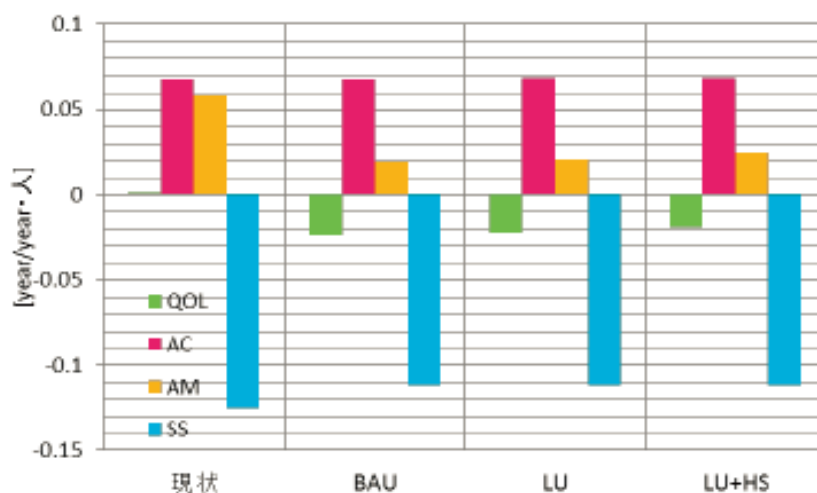


図-5.16 シナリオによる QOL 値構成要素の推移

次に、年齢層による QOL 値の変化を明らかにするために、年齢層毎に算出した価値観を用いて、シナリオ毎の QOL 値の推移を図-5.17 に示す。

若年層と高齢層を比較すると、全てのシナリオにおいて高齢層の QOL 値が高い結果とな

った。また、QOL 値の低下量も若年層よりも小さい結果となった。このことから、高蔵寺ニュータウンは若年層と比較すると、高齢層の方が生活の質が高い都市環境であることが明らかとなった。

一方で、シナリオ導入による将来変化が与える影響は、高齢層よりも若年層に強いことが明らかとなった。その理由として、LU+HS シナリオを導入することで、若年層が重視している、企業施設利便性（AC1）と周辺調和性（AM2）の項目を重点的に改善できたことが挙げられる。今後、高蔵寺ニュータウン再生を検討する際に、本研究のモデルを適用することで、年齢層別に持つ価値観に合わせた立地誘導施策の評価・検討が可能である。

また、高蔵寺ニュータウンで実施された、住まいの意向調査の「高蔵寺ニュータウンの再生・活性化に関する意見」においても、「若い人たちが住める魅力的なまちづくりを目指してほしい」という意見が最も多く、高蔵寺ニュータウン居住者がもつ主観的な実感を QOL 値で反映することができた。

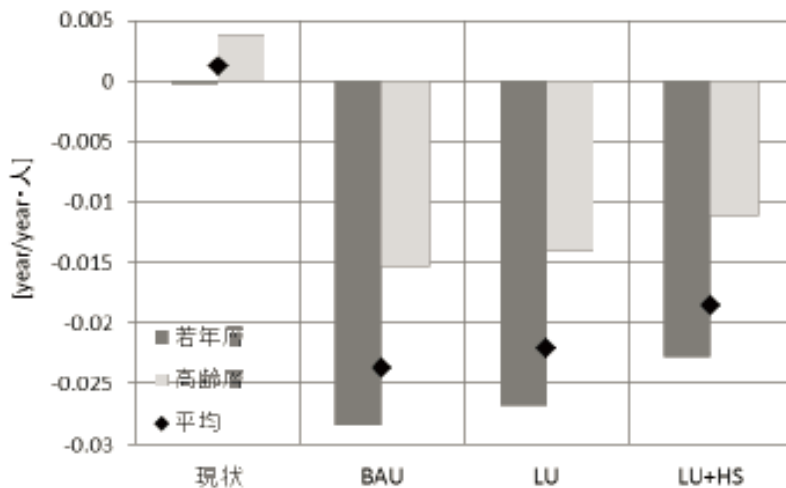


図-5.17 年齢層によるシナリオ毎の QOL 値推移

✓ 撤去を考慮した建物費用コストの算出

建物費用算出方法を用いて、将来シナリオにおける建物費用を算出した結果を表-5.2 に示す。なお、対象期間は 2010 年～2040 年であり、撤退費用等の補償費用は考慮していない。

表-5.2 より、LU シナリオで最も建物費用が高い結果となった。その理由として、将来の新規戸建住宅が多く、建設費用と建設に伴う土地代が高いためである。また、世帯あたりの建物費用は、LU+HS シナリオで LU シナリオの約 0.4 倍という結果となった。その理由として、LU+HS シナリオでは空家住宅に優先的に入居していることによる、戸建ての新規建設費用が少ない点と、世帯数の多い集合住宅を対象に修繕を行うことで、世帯あたりの負担を軽減できている点が挙げられる。

一方、本研究で建物費用の対象としている世帯は、将来シナリオに関連するものだけであり、高蔵寺ニュータウン全体の施策費用ではない。また、表-3.6 の原単位を一律で用いてい

るため、今後はより正確な原単位を算出することが課題として挙げられる。

表-5.2 シナリオによる建物費用

シナリオ	戸建住宅 [百万円]	集合住宅 [百万円]	合計 [百万円]	対象世帯数
BAU+R	0	810	810	1,284
LU	28,422	0	28,422	6,197
LU+R	28,422	815	29,237	6,693
LU+HS	11,392	13,840	25,233	13,685
LU+HS+R	11,392	14,601	25,994	14,202

✓ 費用効率指標を用いたシナリオ評価

次に、シナリオにおける施策費用が QOL 値向上に与える影響について分析を行う。施策費用 1 単位で得られる QOL 値を式(5.1)を用いて算出し、その結果を図-5.18 に示す。施策費用、QOL 値ともに、BAU シナリオとの増減差を用いて評価を行うことで、シナリオ導入による費用効率を算定する。

$$CE = \frac{\sum QOL_i - \sum QOL_{BAU}}{COST_i - COST_{BAU}} \quad (5.1)$$

ここで、CE は費用効率[年/百万円・年]、 $\sum QOL_i$ はシナリオ i における高蔵寺全体の QOL 値、 $\sum QOL_{BAU}$ は BAU シナリオにおける高蔵寺全体の QOL 値、 $COST_i$ はシナリオ i における施策費用、 $COST_{BAU}$ は BAU シナリオにおける施策費用である。

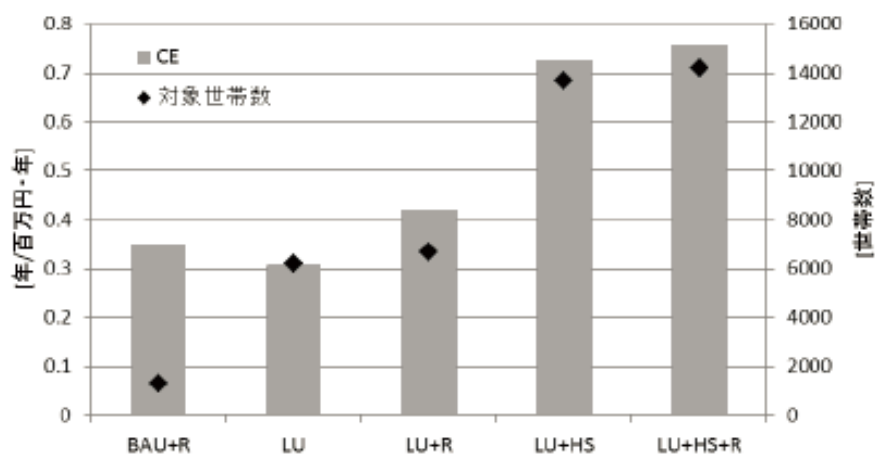


図-5.18 シナリオによる CE 評価

図-5.18 より、LU+HS+R シナリオで最も高い CE 値を得る結果となった。このことから、交通利便性の高い地域に順次移転を行い、空家の有効活用を図り、集合住宅を撤去する施策

を実施することで、単位費用あたり最も高い QOL 値を得られることが明らかとなった。一方で、交通利便性の高い地区へ移転する LU シナリオよりも、集合住宅を撤去するシナリオの方が、CE 値が大きい。したがって、交通利便性の高い地区へ移転するだけでなく、集合住宅を撤去するなど、流入・流出両地区において施策を導入することで、高い CE 値を得ることが可能となる。

また、国土交通省では老朽マンション対策として、マンション建て替えに必要な法的手続きの基準緩和を行うと発表している。本研究で得られた、BAU+R シナリオの結果の通り、集合住宅の撤去を行う将来シナリオでは対象世帯が最も少ないことから、他のシナリオと比較して住民の合意形成を得やすく、現時点では最も導入しやすいのではないかと考える。今後、撤去を行う集合住宅の選定や撤去前後での居住者・地区全体が得られる効用について、本研究の開発したモデルの適用によって評価できると考える。

④ ケーススタディのまとめ

高蔵寺ニュータウンを対象としたケーススタディの結果、全体では以下のようなことが示された。

まず、現状と BAU シナリオの QOL 値を比較すると、現状・将来ともに鉄道駅徒歩圏内で高い QOL 値を示した。その理由として、交通利便性が高いことが挙げられる。一方、その他の地区では、将来の QOL 値の減少も非常に大きく、その主因が人口減少と、ニュータウン特有の集合住宅の空家世帯の増加であることが明らかとなった。

さらに、交通利便性を確保した立地誘導を行うことで、人口 1 人あたり QOL 値は微増するが、流出地区で空家世帯が増加する問題を抱えている。また、交通利便性を確保した立地誘導に加え、住宅設備と居住者のニーズがマッチした立地誘導を行った結果、人口 1 人あたり QOL 値が最も増加した。したがって、交通利便性を確保した住宅配置だけでなく、居住ニーズにも配慮した立地誘導と同時に流出地区での新規に発生する空家問題への対策が必要であることが明らかとなった。

加えて、QOL 値の低い地区にある集合住宅の撤去を行うことによって、効率的な立地誘導施策を行うことができ、QOL 値の増加量が大きいことが示された。

iii) エネルギーシステム計画の検討

① エネルギーシステムの設計

エネルギー事業では設備投資を行い、原燃料費、メンテナンス費、人件費等のコストを負担し、地域に電力と熱を供給することで収益を得る。ただし、地域エネルギー事業は経済的な効率性の追求のみではなく、環境・社会を含めた複合的なコンテキストの中で実施されている。したがって、「コスト最小化」、「CO₂最小化」という 2 つ規範に基づいたシステム計画を検討する。各規範は基本問題の目的関数の特定化と制約条件の追加により以下のように具体的に表現する。

コスト最小化

基本的なケースとして、年間のエネルギー供給コストを最小化するケースを考える。市場への売電による収入も考慮するものとする。制約条件に関しては基本形を踏襲する。

$$\begin{aligned}
& \text{Minimize} \\
& g(\cdot) = \left(\mathbf{c}_e^T \Gamma + \sum_{s,t} \mathbf{c}_f^T \mathbf{X}^{(s,t)} \right) - \sum_{s,t} \mathbf{p}^T \mathbf{D}^{(s,t)} \\
& \text{subject to} \\
& \mathbf{h}(\cdot) < \underline{\mathbf{h}}
\end{aligned} \tag{19}$$

ここで、 $\mathbf{c}_e$ は候補機器ごとの設置コストのベクトル、 $\mathbf{c}_f$ はエネルギー形態ごとの燃料費のベクトル、 $\mathbf{p}$ はエネルギー形態ごとの販売価格のベクトルである。

CO₂ 最小化

現状では地域のエネルギー事業者は CO₂ を最小化するメリットはないが、地域エネルギー事業には地方自治体や国が様々な形で関与している場合も多く、事業計画の目的として考慮されることも考えられる。ただし、基本条件として事業を継続することと両立する必要があるため事業収支が正となる制約を加える。

$$\begin{aligned}
& \text{Minimize} \\
& g(\cdot) = \sum_{s,t} \mathbf{e}_f^T \mathbf{X}^{(s,t)} \\
& \text{subject to} \\
& \mathbf{h}(\cdot) < \underline{\mathbf{h}} \\
& \sum_{s,t} \mathbf{p}^T \mathbf{D}^{(s,t)} - \left(\mathbf{c}_e^T \Gamma + \sum_{s,t} \mathbf{c}_f^T \mathbf{X}^{(s,t)} \right) \geq 0
\end{aligned} \tag{20}$$

ここで、 $\mathbf{e}_f$ はエネルギー形態ごとの CO₂ 排出係数（原単位）を要素とするベクトルを表す。

② スーパーストラクチャの設定

エネルギーシステムの計画は、系統電力や灯油を利用する従来型のものを含む関連するシステムとの補完・競合関係を考慮した検討が必要である。コージェネレーションシステムに対して、太陽電池や系統電力（特に夜間）を活用したオール電化もオプションの一つと考えられる。したがって、それらをサブシステムとして含む一般構造をスーパーストラクチャとして設定する。対象とする具体の技術は、CHP ユニット、ボイラー、太陽電池、および生成される温排水を冷熱・温熱に変換する吸収式冷凍機、熱交換器と電力を用いて熱を生成するヒートポンプとし、これらの機器を包含する構造として検討したスーパーストラクチャを図-5 に示す。

CHP ユニットは、後述する具体の機器を候補とし、対象施設の需要規模を考慮して最大 5 基まで設置可能とする。それ以外のサブシステムに関しては、必要となる容量の機器が入手可能であると考えられるため容量自体を選定するものとする。また、エネルギー形態のベクトルは電力、ガス、灯油、温排水、冷熱、温熱の 7 要素より構成されるものとする。

電力は系統電力からの購入と CHP ユニットと太陽電池による発電分が充当される。さら

に、ヒートポンプにより電力を冷熱と温熱に変換することができる。また、CHPユニットは発電とともに熱が温排水として出力される。ボイラーからも出力可能な温排水と併せて、熱交換機を経て温熱を充当するために供給されるとともに、温水は吸収式冷凍機を経て冷熱需要に充当されるものとする。

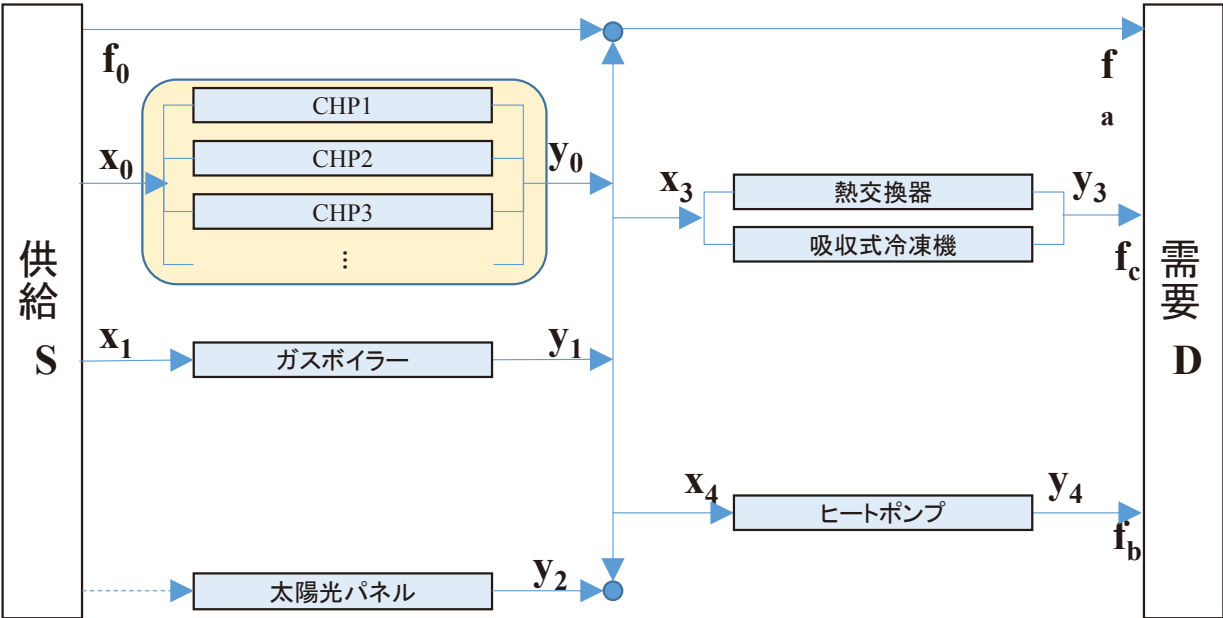


図-107 スーパーストラクチャの設定

③ 機器の技術情報の設定

中小規模の地域エネルギー事業の実現可能性の検討を主目的としているため、タービン方式ではなく、柔軟な運転が可能となるエンジン方式を用いるものを検討対象とする。近年、CHPユニットの小型化と高効率化が進んでいる。CHPユニットの発電効率等を設定した結果を表-2に示す。

また、関連する設計事例での情報に基づき、CHPユニットに関しては発電量（kWh）あたり 3.5 円のメンテナンス費用と、初期投資費用に対して毎年 3.0%の保守点検費用が掛かるものとする。

表-65 CHPユニットの設定値

発電出力 [kW]	定格発電 効率	定格排熱 回収 効率	最小 入力 値 [kW]	最大 入力 値 [kW]	設置コ スト[円/ 年]
500	0.41	0.328	668	1469	4000000
1,000	0.425	0.377	1,336	2,939	8000000

その他の機器に関しては、カタログ等の情報に基づき効率やコストの情報を収集した。表

-3と表-4にその結果をまとめる。また、太陽電池の設置は建物の屋上部分が利用できるものと想定し、モジュールパネルの変換効率は15%程度なので、単位面積あたりに設置可能なパネル容量を0.15kW/m²となる。建物面積（屋根面積）の50%まで設置可能と想定し最大値は28,625kWとする。また、損失係数を0.85として発電電力量を計算する。

なお、ボイラーはCHPと同様に初期投資費用に対して毎年3.0%の保守点検費用が掛かるものとする。

表-66 エネルギー転換機器の設定値

	入力	出力	効率	年価 (円/kW/年)
ボイラー	灯油	温水	0.90	200
太陽電池	-	電力	0.85*	15,000
吸収式冷凍機	温水	冷熱	0.74	3,500
熱交換機	温水	温熱	0.95	400
ヒートポンプ	電力	冷熱	2.8	3,500
		温熱	3.7	冷凍能力基準

表-67 表-4 エネルギー貯蔵装置の設定値

	年価 (円/kW/年)	耐用 年数	価格 (円/m ³)	温度差 (K)
温熱	71	15	100,000	65
冷熱	575	15	120,000	12
電気	20,000	10	-	-

④ 系統電力と燃料に関する設定

系統電力および燃料の単価とCO₂排出係数をまとめた結果を表-5に示す。電力単価は電力会社料金表をガス単価は都市ガスの料金表を参考に時間帯別の値を設定する。これらのCO₂排出係数は環境省マニュアル等の値を用いる。

表-68 表-5 エネルギー購入単価およびCO₂排出係数

		JPY/kWh	kg- CO ₂ /kWh
系統電力	夏季ピーク	28.9	0.57
	夏季昼間	28.9	
	夏季夜間	10.2	
	その他昼間	28.9	

	その他夜間	10.2	
ガス		11.81	0.18

⑤ モデルの適用結果

✓ システム設計と運転

ここでは、利潤最大化、CO₂最小化の各規範と市場売電の有無を組み合わせた3ケースについて検討した。

表-10 に検討ケースの設定を、図-6 にシステム設計の結果を、図-7～図-9 にシステムの運用状況を示す季節・時間別のエネルギー需給のパターンの一部を示す。

市場売電を実施しない場合、コスト最小化を目指すケース1では、夜間電力や太陽電池による発電電力とヒートポンプを主体としたシステムが採用され、CO₂最小化を目指すケース2とケース3では、CHPを中心としたシステムが採用されている。

また、CHPユニットはケースに応じて導入されるかどうかを選択されているが、太陽電池は全ケースにおいて、制約の上限値まで導入されている。

市場売電を実施するケース3では、CHPユニットは季節時間を通じて定格で運転されており、地域内需要の約80%に相当する32,883MWhの電力を市場に売電する結果となっている。このため、CHPユニットからの排熱量も多くなることから、冷熱・温熱の大部分はこの排熱により供給されている。一方、ケース2では、CHPの運転は太陽電池による発電ができない夜間を中心とした時間帯に限定されている。そのため、排熱も少なくなることから、温熱・冷熱の大部分はヒートポンプにより生成されている。

表-69 表-6 検討ケースの設定

	規範	市場売電
ケース1	利潤最大化	実施せず
ケース2	CO ₂ 最小化	実施せず
ケース3	CO ₂ 最小化	実施

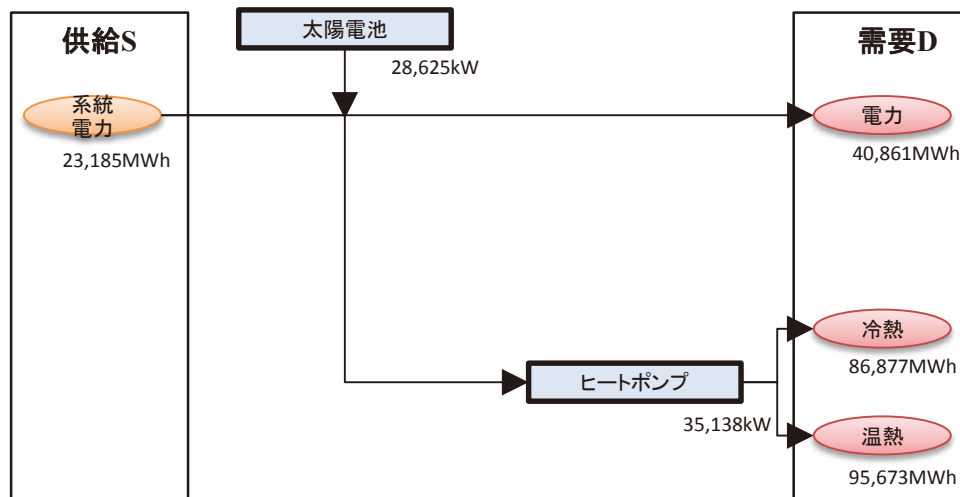


図-108 (a) ケース 1 (コスト最小化)

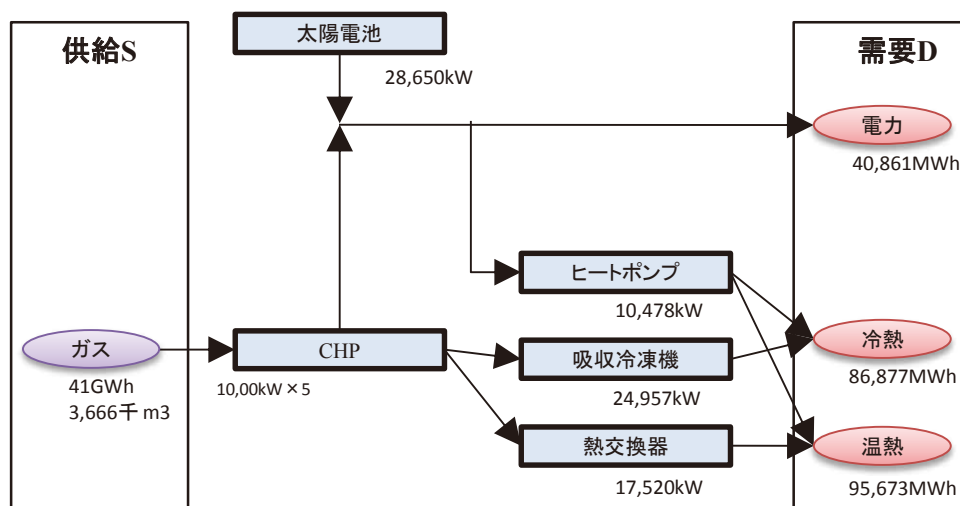


図-109 (b) ケース 2 (CO₂ 最小化)

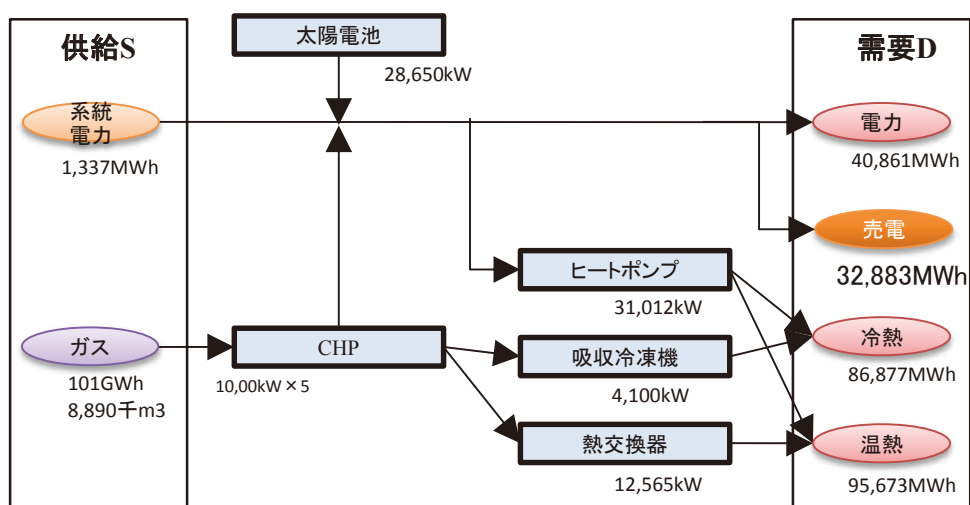
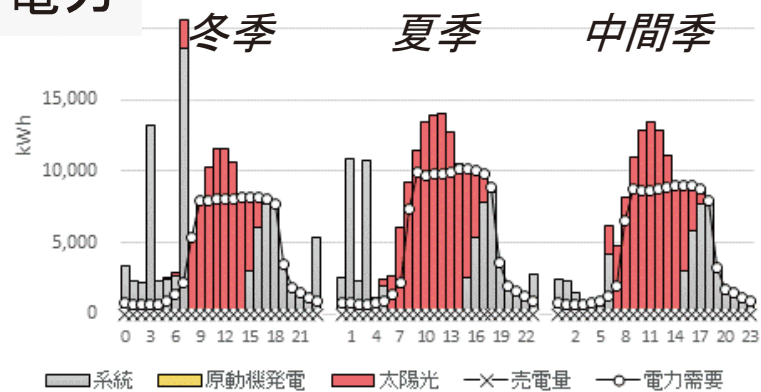


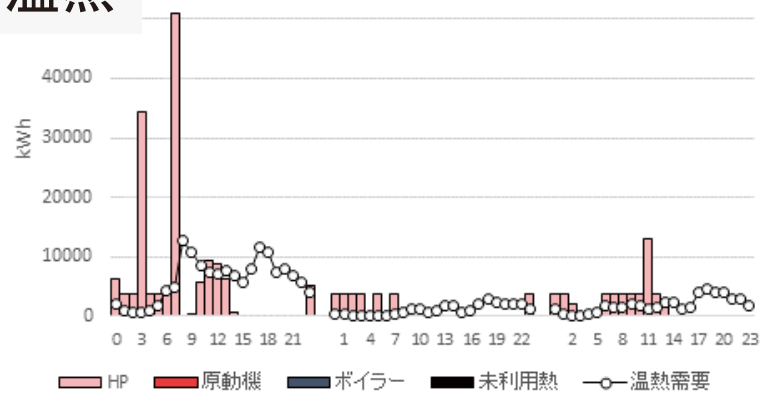
図-110 (c) ケース 3 (CO₂ 最小化-売電)

図-111 システム設計の結果

電力



温熱



冷熱

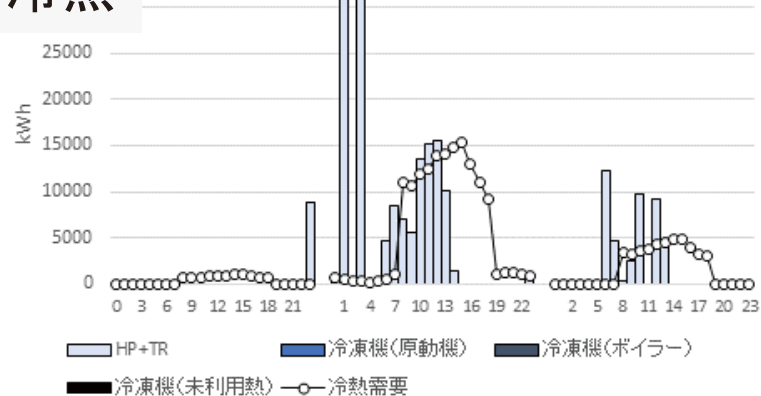
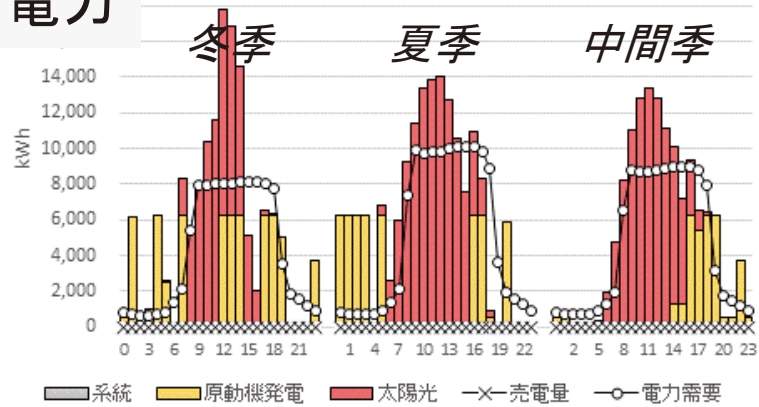
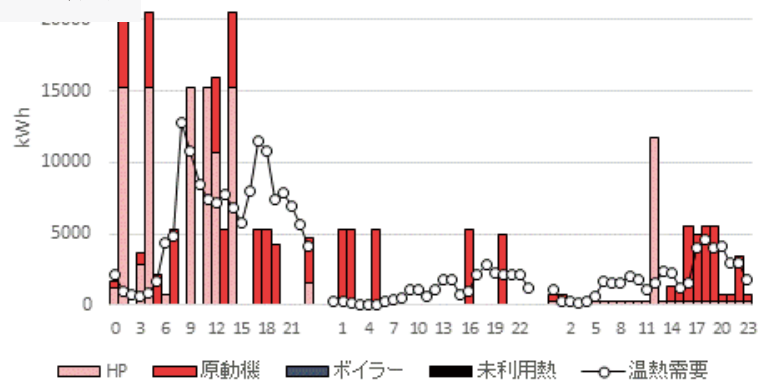


図-112 エネルギー需給バランス-ケース 1 (コスト最小化)

電力



温熱



冷熱

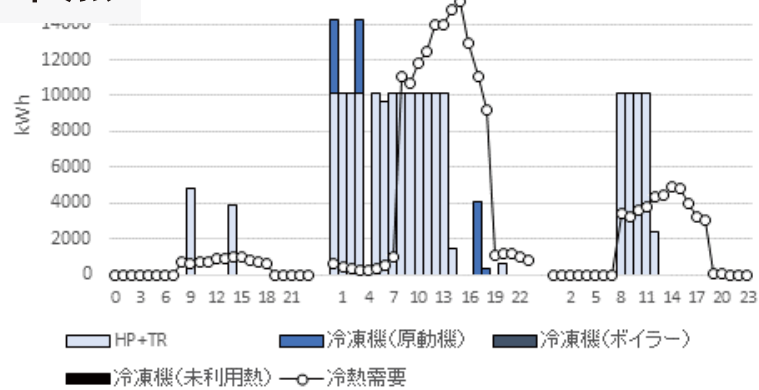


図-113 エネルギー需給バランス-ケース 2 (CO₂ 最小化)

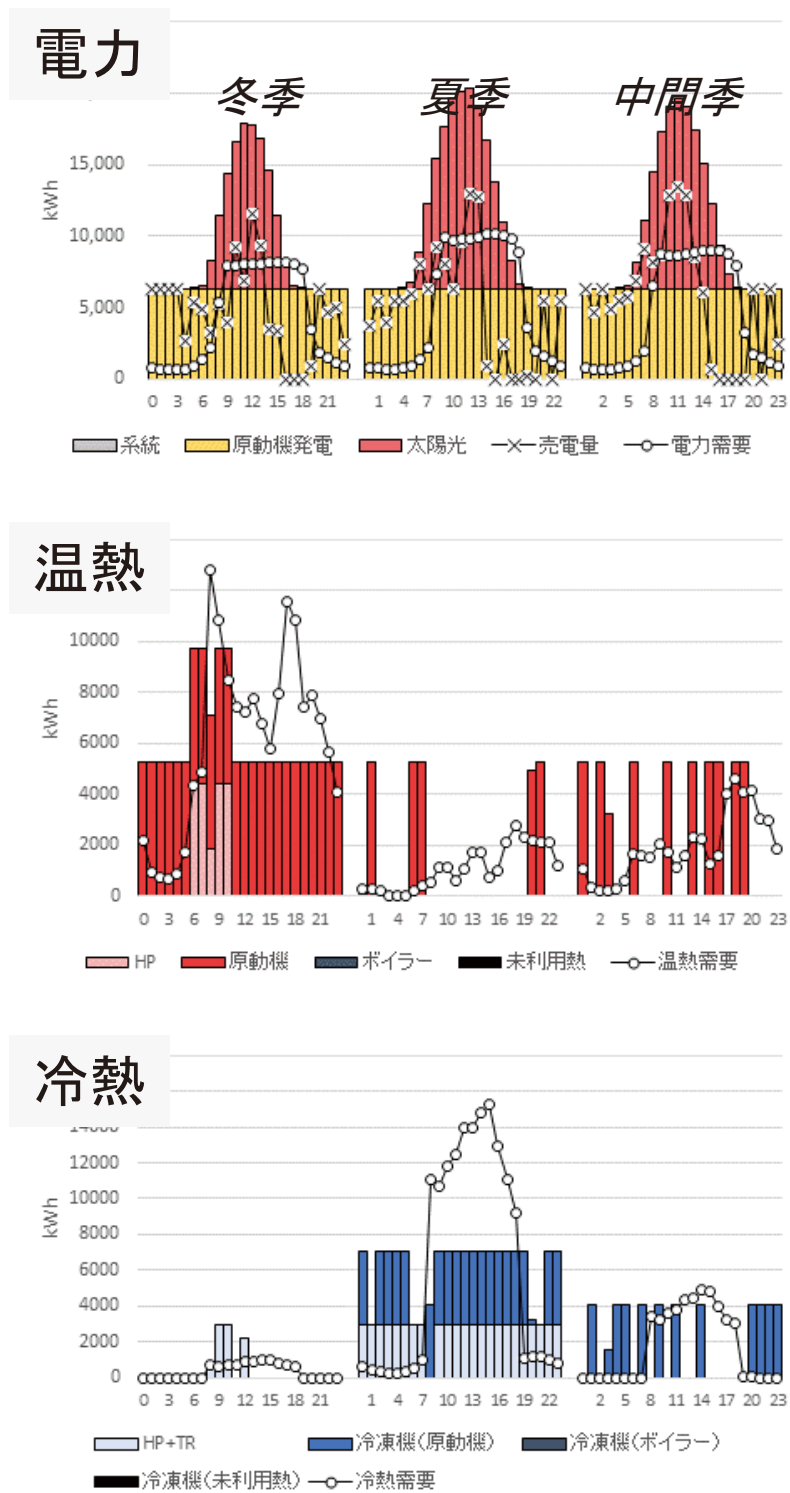


図-114 エネルギー需給バランス- ケース 3 (CO₂ 最小化-売電)

✓ コスト・CO₂排出量等の推計結果

地域エネルギー事業の収支、CO₂排出量をそれぞれ図-10、図-11 に示す。実績では電気代・灯油代の合計で約 17[億円/年]のコストがかかっている。それに対して、ケース 1 では 12[億円/年]と推計され 44%の削減が可能となり、同時に達成される CO₂削減効果は 58%と計測された。さらに、CO₂最小化を目指すケース 2 では 77%の CO₂削減効果に達する。また、ケース 4 では市場売電が発生するため、そのオフセット分を含めて評価した場合、現況における CO₂ 排出量をほぼキャンセルできる効果が期待できることが分かった。ただし、本研究では設備の製造/廃棄に係る CO₂排出を評価対象としていない。そのため、今回の推計では過大な CO₂削減効果が示されている。今後、ライフサイクルでの評価に拡張していく必要がある。

以上より、コスト最小化を目指す場合、太陽電池を中心とした電化システムが推奨され、CO₂削減にもバランスの取れた効果が期待でき、CO₂削減を目指す場合は CHP の導入が推奨され、大幅な CO₂削減も期待できることが分かった。今後は、地域の意向を反映した複合案の検討が必要である。

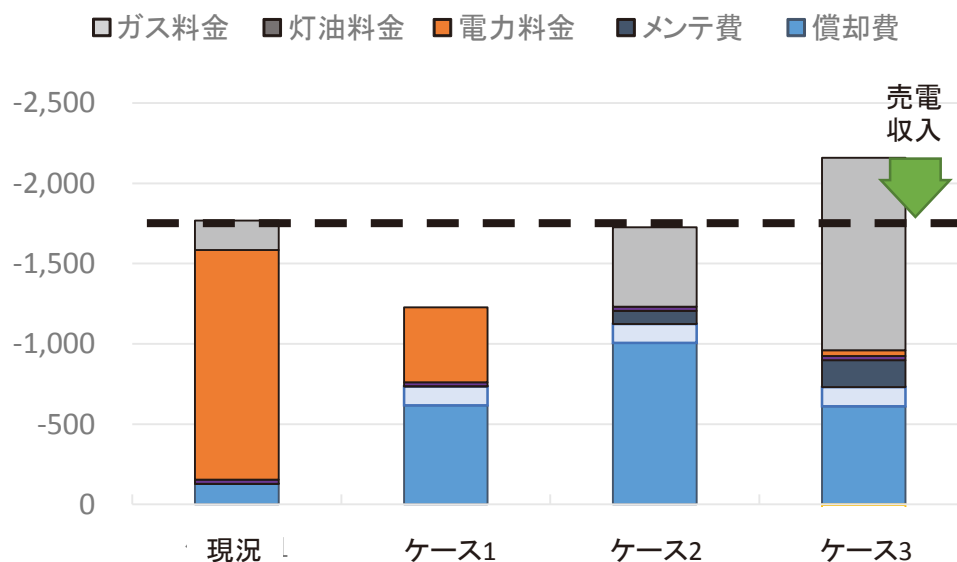


図-115 コストの評価

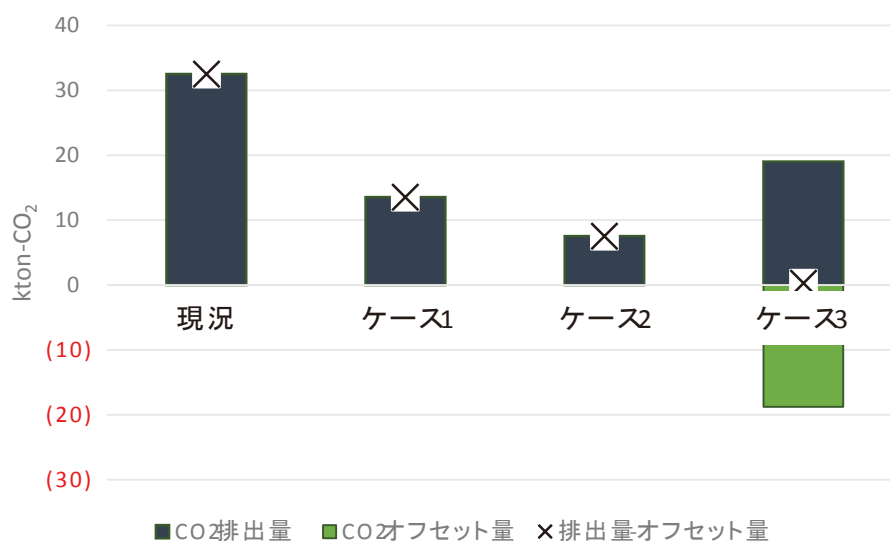


図-116 CO₂排出量の評価

⑥ まとめ

分散型エネルギーシステムの導入効果を様々な地域条件や技術条件および規範に基づいて評価できる計画プロセスモデルの開発と関連するデータベースの整備を行った。モデルは数理最適化手法を援用し、様々な境界条件に基づいた最適デザインとその季節・時間別の運用計画を導出することができる。高蔵寺ニュータウンの中心地区に適用した結果、コスト最小化を目指す場合はオール電化の方針が、CO₂最小化を目指す場合はコージェネレーションの導入が適していること等が示された。また、既存システムに対してコストとCO₂を同時に削減し得る分散型エネルギーシステムの計画が可能であることが示唆された。

(b) 宮崎市での災害前後の防災投資の差異と発生確率に着目した防災集団移転事業の実施時機

平成 29 年度成果については、4-2-1 において詳述しているため、ここでは概要のみを示す。

本研究では、防災対策事業の中でも防災集団移転事業を対象とし、宮崎県宮崎市佐土原地区の南海トラフ地震津波浸水想定区域に含まれる建物の防災集団移転事業について、以下の 2 つの仮説を検証した。

1 つ目の仮説は「津波浸水想定区域における防災集団移転事業について、発災後に移転を行う、つまり被災後に仮設住宅の整備等も行いつつ移転を行う際の投資額 C_{after} と、発災前に順次移転を行う際の C_{before} に対して、社会的割引率を適用したのちも $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する」であり、地震の発生確率を考慮しつつ事業実施の時機も求めた。

2 つ目の仮説は「災害前後の事業投資における国庫負担率を調整したうえで災害前の防災対策事業を実施することで、災害後の復旧事業実施の場合よりも国・地方自治体ともに費用的に利がある」である。

検証結果として、1 つ目の仮説「津波浸水想定区域における防災集団移転事業について、

発災後に移転を行う際の投資額 C_{after} と、発災前に順次移転を行う際の C_{before} に対して、社会的割引率を適用したのちも $C_{\text{after}} > C_{\text{before}}$ が成立する」は、地震の発生年次よりも 13 年前より後に事前の移転を行った際には真であることが明らかになった。それ以外の時期に事前の防災集団移転を行った場合では偽という結果となった。

一方、南海トラフ地震の発生確率を考慮した場合の事業の実施時機については 2 つの方法で算出した。1 つ目は投資期待値を用いる方法で、その結果、2026 年に防災集団移転事業を行う場合に最も投資期待値は小さくなる、つまり移転の実施時機は 2026 年であることが分かった。2 つ目は 2016 年から 2076 年までの 60 年間に発生する総費用で比較を行う方法で、ある年に事業を行った際に、総投資としての $C_{\text{after}} >$ 総投資としての C_{before} が成立する確率をそれぞれの事業実施年について求める方法で、その結果 2024 年に防災集団移転事業を実施した場合に最も確率が高くなることが分かった。

次に、2 つ目の仮説について「災害前後の事業投資における国庫負担率を調整したうえで災害前の防災対策事業を実施することで、災害後の復旧事業実施の場合よりも国・地方自治体ともに費用的に利がある」ことは明らかにはできなかった。しかし、「災害発生前の事業について、防災集団移転事業での国庫負担率算定時の合算限度廃止」と「災害発生後の事業について、災害復旧制度（激甚災害制度）での特別交付税の廃止」という 2 点について制度見直しを図ることで、災害発生前後での地方自治体負担の投資の差は、同地区の標準税収入額と比較しても 100 分の 1 ほどのおよそ 50,000 千円に抑えられ、地方自治体にとっても災害発生前の事業実施の妥当性が認められ得る結果が得られた。

以上 2 つの仮説の検証とそれに付随する試算を経た結果、災害発生前の防災対策事業実施が国と地方が負担する総投資としては妥当となること、特に南海トラフ地震のような切迫災害においては事業実施の時機が迫りつつあること、しかし地方自治体にとって災害発生前の事業実施のためには現行制度の改革、特に防災集団移転促進事業では国庫負担率算定の際の合算限度額廃止、また災害発生後の災害復旧制度における国庫負担の緩和等の措置が必要であることが知見として得られた。

(4) 都市・地域縮退戦略の環境政策への貢献

ケーススタディを通じて導出した望ましい都市・地域構造を実現するために必要となる縮退戦略（スマート・シュリンキング）シナリオを政策立案者との協働を通して検討した。ここでは、低炭素化とともに地域幸福度向上，維持費用削減，災害への強靱性確保を合わせたコベネフィットを最大化し，人口減少下でもサステイナブルでレジリエントとなるような都市・地域を幅広い合意形成によって実現することに資する方法論の提供を目指し，且つ政策立案者が利用可能なガイドライン（ハンドブック）「人と場所からみた都市の持続性評価ハンドブック～SDGs達成に向けて～」を作成した。ハンドブックの構成は以下の通り。

【目次】

はじめに

ハンドブックの背景と目的

ハンドブックの使い方と構成

1 章 都市・地域評価の考え方

都市と地域が直面している課題

なぜ QOL と環境負荷なのか？

2 章 QOL と環境効率のはかり方

2-1 QOL のはかり方

2-2 環境効率のはかり方

コラム ドイツにおける都市再生の事例

3 章 QOL と環境効率を用いて 都市を評価する

対象とする地区について

主に使用したデータ

QOL 値の算出結果

CO2 排出量の算出方法

CO2 排出量の算出結果

本システムで分析可能な技術・政策メニューの例

おわりに

さらに，ハンドブックを用いて自治体職員を対象に講習会を実施し，東海三県内自治体の都市政策担当者 67 名が出席した。

【講習会の実施概要】

「人と場所からみた都市の持続性評価ハンドブック～SDGs達成に向けて～」講習会

日時：2018 年 2 月 23 日(金) 14 時 00 分～17 時 00 分

会場：中部大学リサーチセンター2 階大会議室

参加者：東海三県内自治体の都市政策担当者 67 名

プログラム：

進行（中村）

14:00-14:10 開催挨拶（西岡）

14:10-15:15 講演

「人と場所からみた都市の持続性評価がなぜ必要か？」

（林）

15:15-15:30 休憩

15:30-16:30 ハンドブックの解説と応用

（加知、加藤、戸川）

16:30-16:50 質疑・討論（全員）

16:50-17:00 閉会挨拶（塚原）



III. 添付資料

1. 参考文献

Yukiko Hirabayashi, Roobavannan Mahendran, Sujan Koirala, Lisako Konoshima, Dai Yamazaki, Satoshi Watanabe, Hyungjun Kim & Shinjiro Kanae, Global flood risk under climate change, *Nature Climate Change* 3, 816–821, 2013.

佐藤歩, 川越清樹, 風間聡, 森杉壽芳, 気候モデルを利用した日本列島洪水リスク評価, 水工学論文集, 53, 847-852, 2009.

社会資本整備審議会, 新しい時代の都市計画はいかにあるべきか. (第二次答申), 2007.

国土交通省, 都市の低炭素化の促進に関する法律, http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/eco-machi.html (参照: 2016年3月26日)

OECD, *Green Growth Studies Compact City Policies*, 2012.

水野伶那, 佐尾博志, 大西 暁生, 神奈川県における浸水発生に適応した住宅の再配置による被害額の軽減効果, 水文・水資源学会誌 28(5), 245-260, 2015.

国土交通省, モビリティ・マネジメント, <http://www.mlit.go.jp/common/000234997.pdf>, (参照: 2016年3月26日)

土木学会土木計画学研究委員会土木計画のための態度・行動変容研究小委員会, モビリティ・マネジメントの手引き, 土木学会, 2005.

IPCC, *Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change*, 2014.

国土交通省 都市局 都市計画課, 二酸化炭素削減効果シミュレーション・ツール利用マニュアル, 2014.

秋山祐樹, 小川芳樹, 仙石裕明, 柴崎亮介, 加藤孝明 (2013): 大規模地震時における国土スケールの災害リスク・地域災害対応力評価のためのミクロな空間データの基盤整備, 第47回土木計画学研究・講演集 (CD-ROM. 392)

浅見泰司 (2001): 住環境・評価方法と理論-, 東京大学出版会

石田千香, 森田紘圭, 杉本賢二, 加藤博和, 林良嗣 (2015): 建物の立地誘導による街区群の低炭素化効果の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM(139), 2015.6

石原一彦(1985): 千里ニュータウンの持続的改善過程に関する考察ー千里ニュータウン公営住宅1室増築のケーススタディー, 日本建築学会近畿支部研究報告集, p697-700

伊藤義浩, 納村信之, 恒川和久, 太幡英亮, 谷口元, 村上心 (2012): 高蔵寺ニュータウンにおける住宅ストック及び施設分布の実態からみた再生手法に関する考察, 建築計画, 2012年度大会(東海)学術講演会・建築デザイン発表会

大村謙二郎(2013): ドイツにおける縮小対応型都市計画・団地再生を中心に-, 土地総合研究, 2013年冬号

加知範康, 加藤博和, 林良嗣, 森杉雅史 (2006): 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, 土木学会論文集 D Vol.62, No.4, pp.558-573

黄大田, 竹嶋祥夫, 紙野桂人(1991): ニュータウンの成熟過程に関する研究-千里ニュータウンにおける住宅の変容について-, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 273-276

国土交通省 (2009): ニュータウン再生について, 第5回国土審議会土地政策分科会企画部

会中長期ビジョン策定検討小委員会資料

国土交通省国土政策研究会（2014）：「国土のグランドデザイン 2050」が描くこの国の未来，大成出版社，105p

国土交通省土地・水資源局（2009）：地域に著しい迷惑（外部不経済）をもたらす土地利用の実態把握アンケート結果，

[http://tochi.mlit.go.jp/wp-](http://tochi.mlit.go.jp/wp-content/uploads/2015/07/9fd5e7d0af1a3defbe2ede83371578d3.pdf)

[content/uploads/2015/07/9fd5e7d0af1a3defbe2ede83371578d3.pdf](http://tochi.mlit.go.jp/wp-content/uploads/2015/07/9fd5e7d0af1a3defbe2ede83371578d3.pdf)（2016年2月5日最終閲覧）

国土交通省住宅局（2008）：平成20年住生活総合調査，<http://www.mlit.go.jp/common/000119833.pdf>（2016年2月5日最終閲覧）

国土交通省（2008）：時間価値原単位および走行経費原単位（平成20年価格）の算出方法，<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s1.pdf>（2016年2月5日最終閲覧）

柴田建，菊池成朋，松村秀一，脇山善夫（2001）：高度成長期に開発された郊外戸建て住宅地の変容プロセスに関する研究

清水一大，戸川卓哉，加藤博和，林良嗣（2007）：人口減少・少子高齢化に伴う都市部の空き家増加メカニズムのモデリング，平成18年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，CD-ROM

杉山郁夫（2003）：クオリティ・オブ・ライフの分析に基づく社会資本整備評価に関する研究，名古屋大学博士学位論文

鈴木智也，柳沢究（2013）：高蔵寺ニュータウンにおける空き地・空き家の利用状況からみた戸建住宅地に関する考察，2013年度日本建築学会大会(北海道)学術講演会・建築デザイン発表会

鈴木祐大，戸川卓哉，加藤博和，林良嗣（2011）：持続可能性からみた都市圏空間構成再構築案の評価システム，土木計画学研究，講演集，Vol.43，CD-ROM(216)

33

妹尾康志（2013）：住宅団地で進む大都市圏型の高齢化，UFJ 総合研究所，vol006，http://www.murc.jp/uploads/2013/01/006_03.pdf（2016年2月5日最終閲覧）

多摩ニュータウン再生検討会議（2014）：多摩ニュータウン再生シナリオ，https://www.city.tama.lg.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/019/468/saiseisinario.pdf（2016年2月5日最終閲覧）

土堤内昭雄（1996）：転換期を迎えている大都市圏のニュータウン開発，ニッセイ基礎研究所
戸川卓哉：環境・経済・社会のトリプルボトムラインに基づく都市持続性評価システム・都市域集約政策への適用-，名古屋大学博士学位論文

戸川卓哉，加藤博和，林良嗣（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，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.68，No.5（土木計画学研究・論文集第29巻），pp.383-396

戸川卓哉，林良嗣，加藤博和，清水一大：需給ミスマッチに着目した少子高齢化時代の住宅供給方策の検討（2008），土木計画学研究・論文集，Vol25，no.2

中西仁美, 土井健司, 柴田久, 杉山郁夫, 寺部慎太郎 (2005) : イギリスの政策評価における QOL インディケーターの役割と我が国への示唆, 土木学会論文集, No.793/IV-68, pp.73-83
原田陽子 (2007) : 高蔵寺ニュータウンにおける住宅ストック, 居住世帯と住み替えとの関係性－郊外大規模団地の再異性に関する研究－, 日本建築学会計画系論文集, 第 618 号, 9-16
林直人 (2010) : 少子高齢化及び人口減少時代に対応した大規模住宅団地の再生, 国土技術研究 センター 報告 レポート ,
http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/act/21st/nikkan2010_06.pdf (2016 年 2 月 5 日最終閲覧)

福田紗央, 杉本賢二, 加藤博和, 林良嗣 (2015) : 詳細建物データを用いた空家予測モデルの構築, 平成 26 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.337-338, 2015.3

松田恵, 井上剛, 文屋信太郎, 木根原良樹, 関根秀真, 久保川陽呂鎮, 佐藤正樹 (2013) : 地域スケールの気候変動予測と観光快適指標を用いた影響評価, 三菱総合研究所所報, 56, pp.30-45

毛利一貴 (2014) : ニュータウンは「新たな郊外まちづくり」を牽引し得るか, NRI パブリックマネジメントレビュー, vol.128

森田紘圭, 杉本賢二, 加藤博和, 村山顕人, 飯塚悟, 柴原尚希, 林良嗣 (2013) : 4D-GIS を用いた地区統合環境性能評価モデルの構築, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5(土木計画学研究・論文集第 30 巻), pp.I-297-308.

山崎敦広 (2011) : 個人のライフスタイルと将来居住地選好に関する基礎的研究－集約型都市構造を目指して－, 東京大学工学部都市工学科, http://www.ut.t.u-tokyo.ac.jp/hp/thesis/2011/10_yamasaki.pdf (2016 年 2 月 5 日最終閲覧)

山崎弘人 (2014) : 東京における住宅団地の状況と再生に向けた取組みについて, 東京都都市背日局, 民間住宅施策推進本部長, <http://www.mlit.go.jp/common/001063429.pdf> (2016 年 2 月 5 日最終閲覧)

横山俊祐 (1995) : 公営住宅における住み手の自主的増改築の考察－住み手主体の集住環境生成に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 471 号, p47-56

Andrews, Frank M. (1991) : Stability and change in levels and structure of subjective well-being-USA 1972 and 1988. Social Indicators Research 25, 1-30.

Chris Couch, Jay Karecha, Henning Nuissl, Dieter Rink (2005) : Decline and Sprawl : An Evolving Type of Urban Development - Observed in Liverpool and Leipzig, European Planning Studies, Vol.13, No.1

34

Hayashi Yoshitsugu (2003) : Regeneration and Social Capitalization of Cities for Higher Quality of Life and Sustainable of Environment and Economy, Diagnosis, Treatment and Regeneration for Sustainable Urban System, pp.13-14, http://www.urban.env.nagoya-u.ac.jp/sustain/paper/2002/kokusai/02k_hayashi1.pdf (2016 年 2 月 5 日最終閲覧)

Henning Nuissl, Dieter Rink (2003) : Urban sprawl and post-socialist transformation - The case of Leipzig(Germany) , UFZ-Bericht ,
http://m.ufz.eu/export/data/1/29263_ufzbericht4_03.pdf (2016 年 2 月 5 日最終閲覧)

Myers, D (1998) : Building Knowledge about Quality of Life for Urban Planning, APA journal, pp79-106

World Health Organization (1948) : World Health Organization. Constitution in basic documents, World Health Organization.

Wheeler, Robert J. (1991) : The oriental and empirical structure of general well-being. Social Indicators Research 24, 71-79

佐藤 主光, 宮崎 毅 : 政府間リスク分担と東日本大震災の復興財政, 財務省財務総合政策研究所「フィナンシャル・レビュー」平成 24 年第 1 号, pp. 30-53, 2012.3

復興庁 : 集中復興期間の総括及び平成 28 年度以降の復旧・復興事業のあり方, 2015.5

内閣府防災担当ホームページ : 南海トラフ地震に係る地域指定, 南海トラフ地震防災対策推進地域・南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域, <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>, 2016 年 2 月閲覧

南海トラフ地震による超広域災害への備えを強力に進める 9 県知事会議 : 政策提言書, 静岡県・愛知県・三重県・和歌山県・徳島県・愛媛県・高知県・大分県・宮崎県, 第 18 回会議, <http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/9ken-chizikaigi.html>, 2015.12

武田 裕之 : 人口減少社会に向けた適正な都市規模の検討, 平成 26 年度 国土政策関係研究支援事業 研究成果報告書, 67 p., 2014

森田 哲夫, 細川 良美, 塚田 伸也, 湯沢 昭, 森本 章倫 : 津波被害を考慮した地域構造に関する研究, 社会技術研究論文集, Vol.11, pp.1-11, 2014

宮入 興一 : 自然災害における被災者災害保障と財源問題 -雲仙火山災害と阪神淡路大震災との比較視点から-, 経営と経済 79(2), pp.115-166, 1999.9

宮入 興一 : 災害対策と地方財政運営 -雲仙火山災害と県レベルの財政運営の対応-, 経営と経済 74(3), pp.1-65, 1994.12

国土交通省 : 報道発表資料 “東日本大震災の津波被災現況調査結果 (第 2 次報告)”, http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi07_hh_000056.html, 2016 年 1 月閲覧

秋山 祐樹, 仙石 裕明, 柴崎 亮介 : 大規模地震時における国土スケールの災害リスク・地域災害対応力評価のためのミクロな空間データの基盤整備, 第 47 回土木計画学研究発表会・講演集, 2013

都道府県別統計とランキング別県民性 : 空家率, <http://todo-ran.com/t/kiji/11971>, 2015 年 12 月閲覧

一般財団法人地域総合整備財団 : 公共施設更新費用試算ソフト, 公共施設マネジメント info, 2015 年 10 月閲覧

国土技術政策総合研究所 : 地区整備における費用・便益算定手法, まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発 報告書, pp.427-429, 2003

(一財)建設物価調査会 経済研究部長 橋本 真一 : 復興 2 年間の建設資材・工事費単価の推移と今後の動向, 建築コスト研究 No.81, pp.34-41, 2013.4

地震調査研究推進本部 地震調査委員会 : 南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について, 16p., 2013.5

国土交通省 水管理・国土保全局 防災課 : 災害復旧事務の流れ②, 2015.

中田俊彦：被災地域における自律・分散型エネルギーシステムの構築：地域社会をデザインするには（特集 東日本大震災と原発事故(シリーズ 15)被災地域コミュニティの復興と再生). 環境と公害, Vol. 44, No. 3, 2015.

地球温暖化対策推進本部：日本の約束草案. 2015.

経済産業省：長期エネルギー需給見通し. 2015.

Green, S.o.: DISTRICT ENERGY Energy Efficiency for Urban Areas Version 1.0. 2016.

名古屋田知志, 下田吉之, 水野稔：地域熱供給システムの省エネルギー性評価に関する研究 全国 123 プラントのデータを基にした要因分析と CGS 評価手法の検討. 日本建築学会環境系論文集, Vol. 613, No., pp. 87-93, 2007.

曹, 鳴., 俊. 尾島：東京都心部における地域冷暖房の稼働実態調査研究. 日本建築学会環境系論文集, Vol., No. 620, pp. 75-81, 2007.

佐土原, 聡., 克. 長野, 昌. 三浦, 公. 村上, 正. 森山, 吉. 下田, 忠. 片山, 浩. 依田, 広. 北山：日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究. 日本建築学会計画系論文集, Vol., No. 510, pp. 61-67, 1998.

小田, 拓., 淳. 秋澤, 孝. 柏木：コージェネレーションの都市規模別導入ポテンシャル：系統電源と民生部門のエネルギーシステム最適化. エネルギー・資源 = Energy and resources, Vol. 34, No. 2, pp. 112, 2013.

Xu, J.Z., J. Sui, B.Y. Li, M.L. Yang: Research, development and the prospect of combined cooling, heating, and power systems. Energy, Vol. 35, No. 11, pp. 4361-4367, 2010.

Piacentino, A.,C. Barbaro: A comprehensive tool for efficient design and operation of polygeneration-based energy mu grids serving a cluster of buildings. Part II: Analysis of the applicative potential. Applied Energy, Vol. 111, No., pp. 1222-1238, 2013.

Mago, P.J.,L.M. Chamra: Analysis and optimization of CCHP systems based on energy, economical, and environmental considerations. Energy and Buildings, Vol. 41, No. 10, pp. 1099-1106, 2009.

福田, 桂., 貴. 井上, 博. 山本, 康. 藤井, 憲. 山地：エクセルギー概念に基づくコージェネレーションシステムの総合効率評価. 日本エネルギー学会誌, Vol. 87, No. 4, pp. 285-290, 2008.

横山良平：分散型エネルギーシステムの最適設計 ―設計と運用の階層的関係を考慮したアプローチを中心として―. Proceedings of the Twenty-Sixth RAMP Symposium, Vol., No., pp. 85-98, 2014.

田中洋一, 福島雅夫：数理計画法によるコージェネレーションシステムの最適設計. システム制御情報学会論文誌, Vol. 21, No. 7, pp. 201-210, 2008.

戸川卓哉, 藤田壮, 芦名秀一, 藤井実, D. Liang: 地域特性に応じた分散型エネルギーシステムの設計支援フレームワーク. 土木学会論文集 G(環境), Vol. 71, No. 6, pp. II_139-II_149, 2015.

クラブヴォーバン「クラブヴォーバンの考える家・まちづくり」, <https://www.club-vauban.net/>

村上敦「フライブルクとまちづくり ― ソーシャル・エコロジー住宅地ヴォーバン」,
https://www.murakamiatsushi.net/app/download/3700938115/vauban_resume.pdf?t=1434396114
長谷川三雄「ヴォーバン地区の持続可能な街づくり」, https://kokushikan.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=9428&item_no=1&attribute_id=189&file_no=1
都市と建築のブログ「ドイツ：フライブルクとゴスラー」, <http://www.forum8.co.jp/topic/toshi-blog26.htm>
Wikipedia「Vauban」, [https://de.wikipedia.org/wiki/Vauban_\(Freiburg_im_Breisgau\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Vauban_(Freiburg_im_Breisgau))
都市の間研究所「フライブルクの社会環境住宅地ヴォーバン」, <http://www.urban-ma.de/?p=536>

リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます。
この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。