

(b) 名古屋・高蔵寺ニュータウンにおける地域エネルギーシステム導入によるエネルギー効率の評価

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チ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チ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年のコーチ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[6]。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ルギー・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。

以降の本論文の構成は以下の通りである。まず、第2章では、既存の統計資料に基づき、地域エネルギーシステムの基本特性を明らかにする。事業収支を検討し社会・経済への影響を評価とともに、エネルギーフローを検討し環境影響を評価する。第3章では、モデルを

用いて分析することで、分散型エネルギー・システムのポテンシャルについて議論する。最後に第4章で総括と今後の展望を述べる。

② 地域熱供給事業の実態解析

i) 研究の目的

これまでも、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。名古田ら[7]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[8]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、佐土原ら[9]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、コーチ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、小田ら[10]ではコーチ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[11-13]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。

ii) 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ため、熱エネルギー需要量が1,000TJ/年より大きい区域、200TJ/年より大きい区域、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。

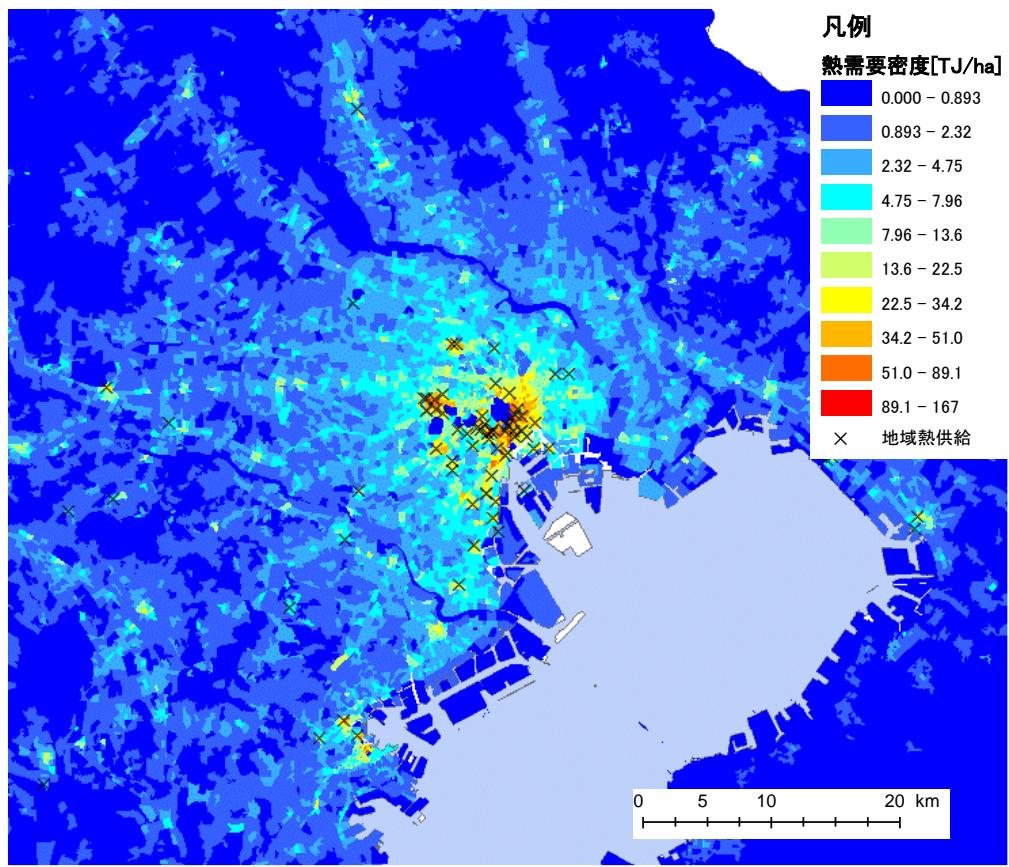


図-1 首都圏における熱供給事業の分布状況

表-1 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-2 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

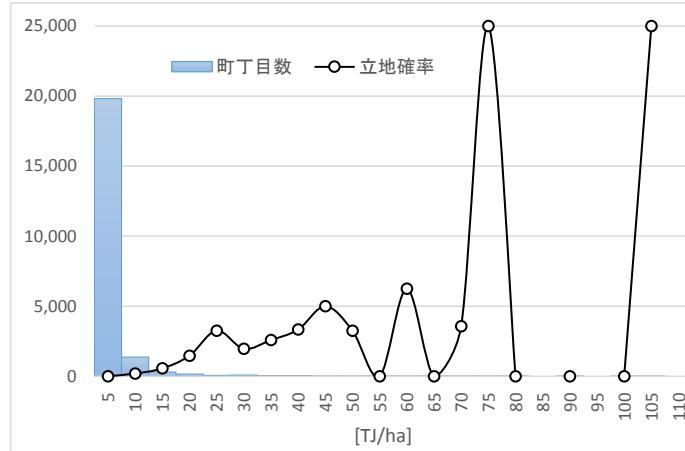


図 2 エネルギー需要密度と熱供給事業の立地率

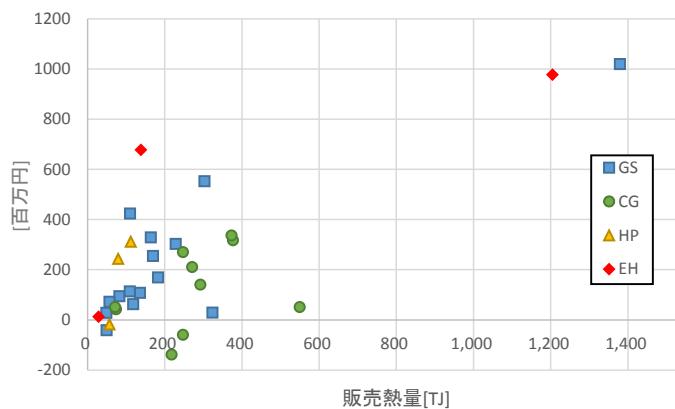


図 3 事業者収益

iii) 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事業体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、

以下のように構成される。

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

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

● (1) 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。

● (2) 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。

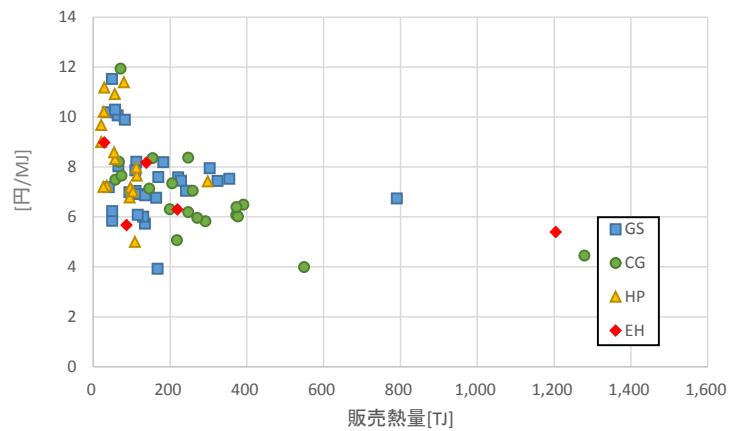


図 4 热エネルギー販売価格

表-3 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	
2.81e+02 (-)	(6.079) .	***	- 2.62e+01	(- 1.765)	.	5.43e+01 4.75e-05	(6.1) (2.2)
-2.20e-04 0.4	(1.857)	.	-6.90e-05 2.254)	(- 2.254)	*	6.99e-06 8.70e-05	(0.1) (0.8)
7.12e-04 2.84e-03	(2.409) (5.085)	*	2.98e-04 -1.81e-04	(3.6) (- 1.116)	**	0.596 0.596	
0.964			0.820				

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

表-4 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	
3.22e+02 (-)	(6.956) .	***	- 1.90e+01	(- 1.198)	.	6.55e+01 9.14e-05	(8.1) (6.1)
			1.65e-04 (-)	(9.28) .	**		
3.97e-03 (-)	(29.864) .	***					

● (3) 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。

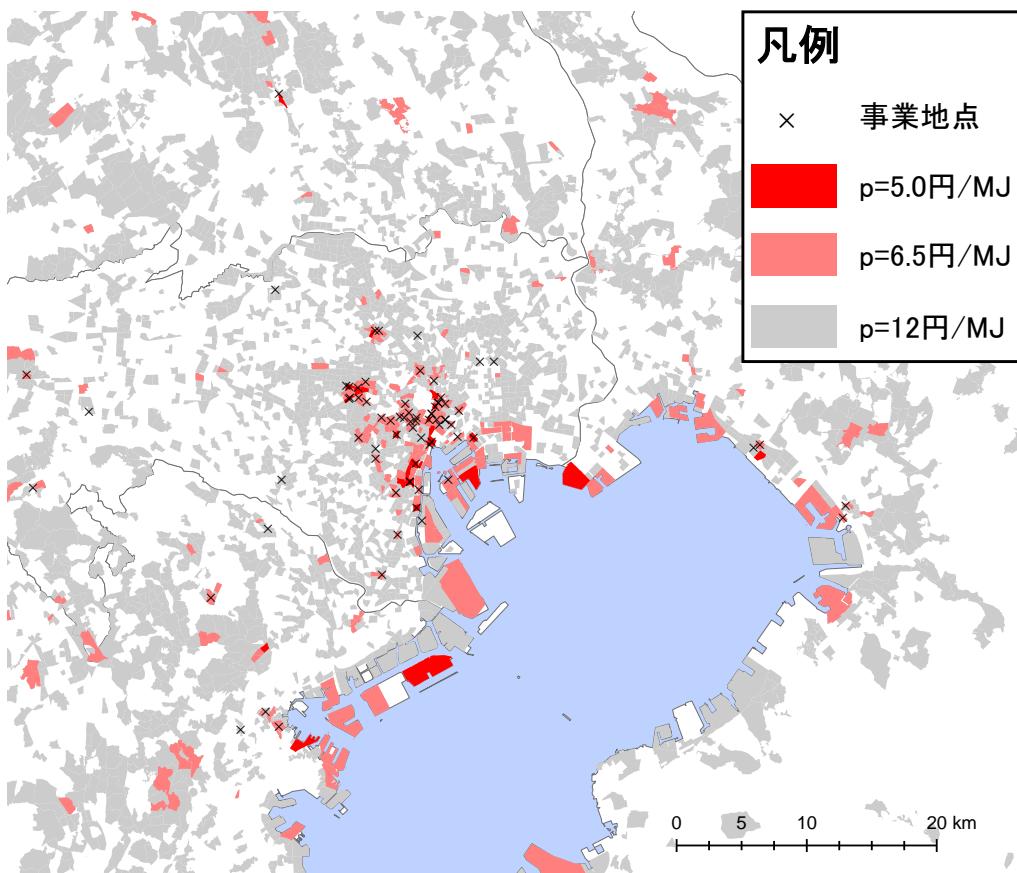


図 5 エネルギー収支構造の検討

iv) 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。

● (1) 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、コーチ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チ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チ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。コーチ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、コーチ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、外部のコーチ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チェネによるガス消費量を加算した。なお、コーチ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。

● (2) 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[7]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[14]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°Cと20°Cとした。同様に、冷房は33°Cと26°C、給湯は16°Cと40°C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、コーチェネレーション型、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。

● (3) 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[7]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ている結果であると考えられる。

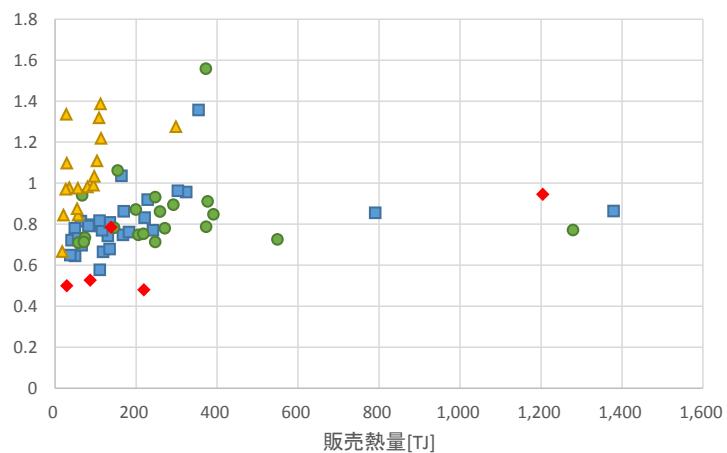


図 6 総合エネルギー効率

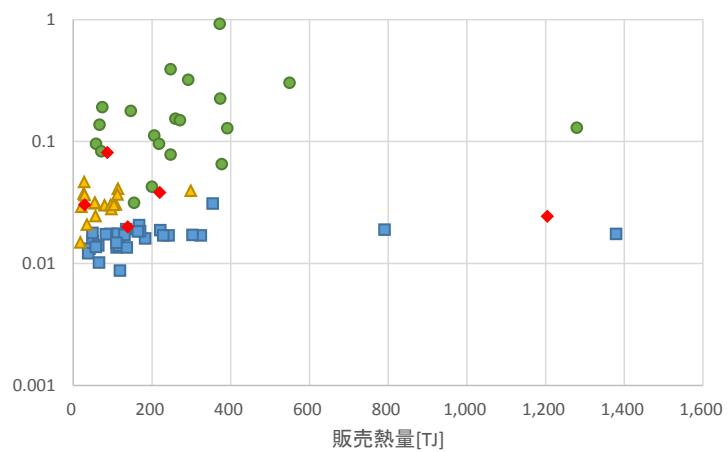


図 7 エクセルギー効率

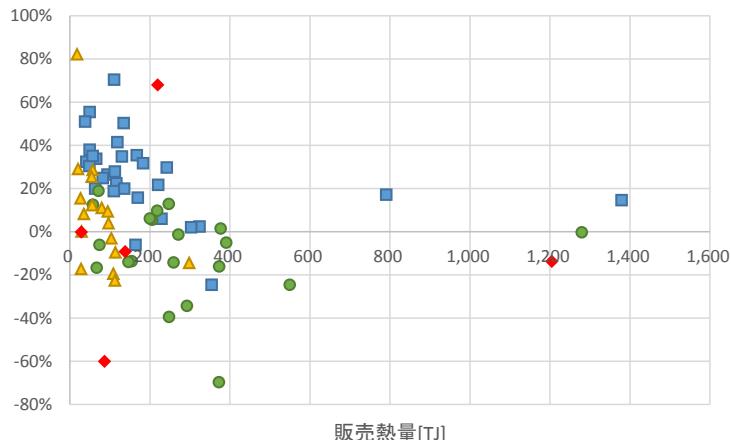


図 8 CO₂ 増減率

● (4) 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とする。

a) 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。

b) 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。

c) 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。

d) 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下となる。

v) 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。特にコーチ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。

③ 地域特性に応じた地域エネルギーシステムの計画プロセスモデルの開発

i) 研究の目的

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もに検討することを目的とする。

図-9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[15, 16]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[17]。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。

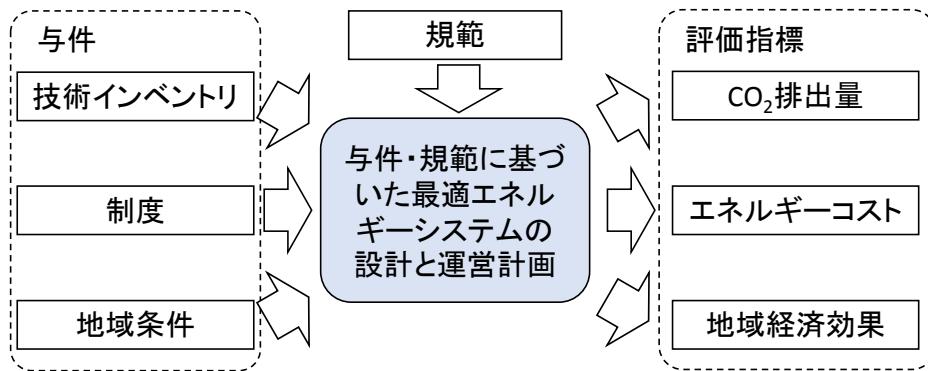


図-9 研究のフレームワーク

ii) 計画プロセスモデル

● (1) 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[15]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-10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。

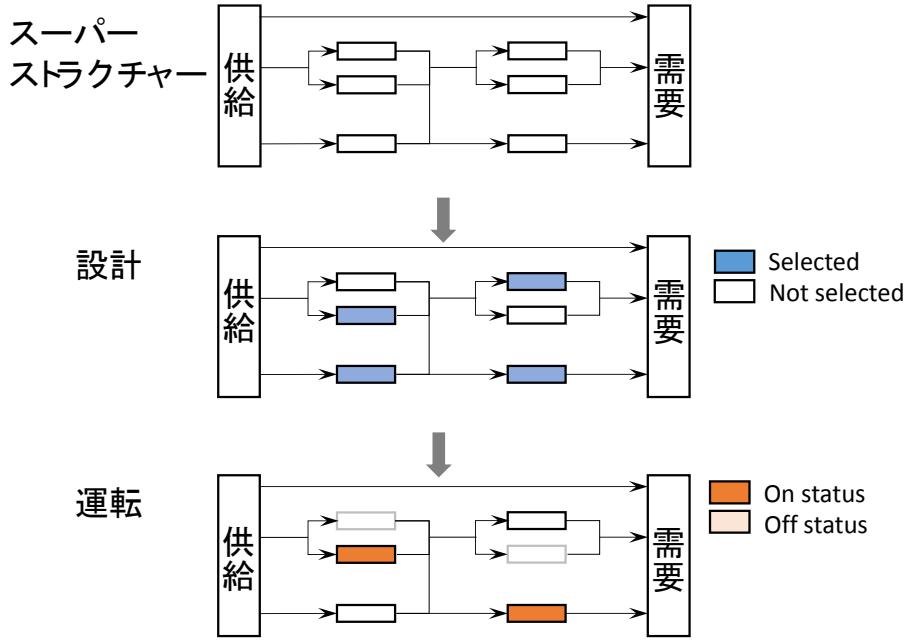


図-10 計画プロセスモデルの基本構造

● (2) 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(3)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(3)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。

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

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。

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

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

ここで、 y_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(3)の制約条件については以降で一つずつ検討する。

● (3) 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.

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

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

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

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

ここで, $\mathbf{I}_\mathbf{I}, \mathbf{I}_\mathbf{O}, \mathbf{I}_\mathbf{P_I}, \mathbf{I}_\mathbf{P_O} \subseteq \mathbf{I}$ であり, $\mathbf{I}_\mathbf{I}$ は入力側にあるサブシステムの集合, $\mathbf{I}_\mathbf{O}$ は出力側にあるサブシステムの集合, $\mathbf{I}_\mathbf{P_I}$ と $\mathbf{I}_\mathbf{P_O}$ 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.

● (4) 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. 例えれば, 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ので, 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。

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

● (5) 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。

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

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

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

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

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) 高藏寺ニュータウンを対象としたケーススタディ

(1) 地域と対象施設の概要

愛知県春日井市に立地する高藏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。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-11 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-12 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。

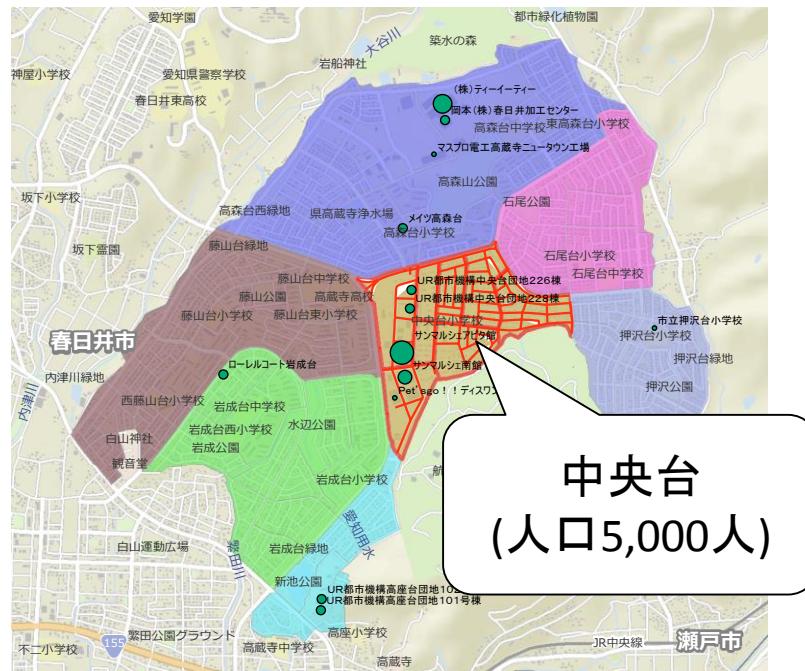


図-11 評価対象地域

表-5 評価対象地域の概要

	建物数	面積 (m ²)	延床面積 (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

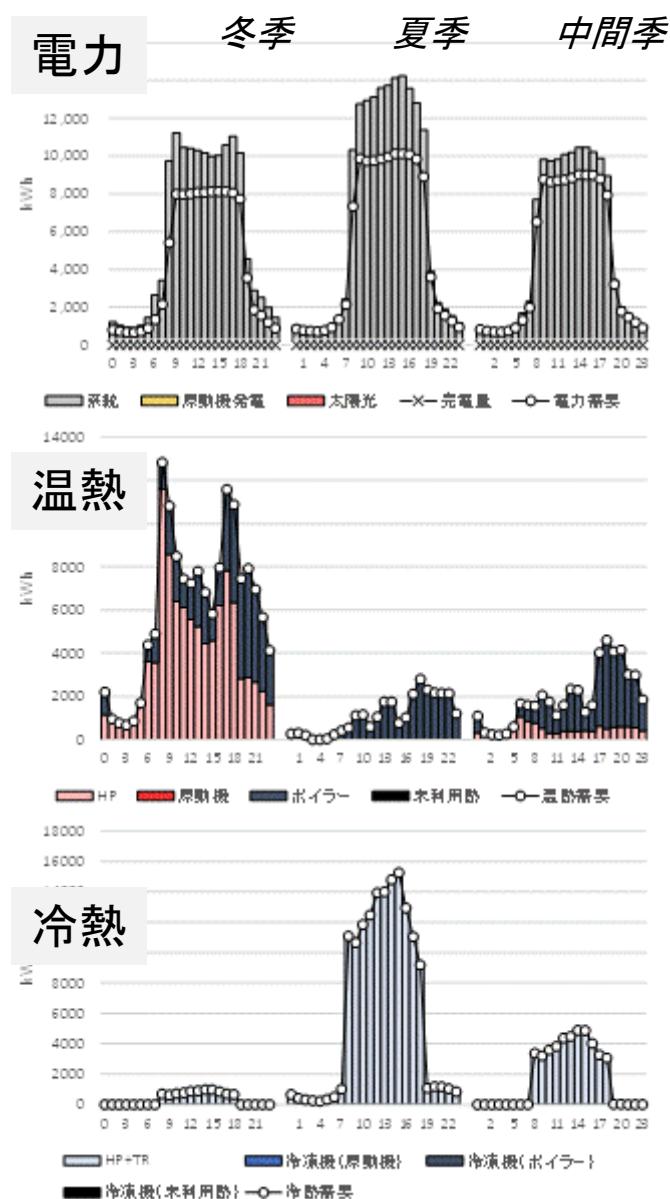


図-12 現況のエネルギー需給バランス

(2) エネルギーシステム設計の基本構想

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(3)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。

a. 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。

Minimize

$$g(\cdot) = \left(\mathbf{c}_e^T \Gamma + \sum_{s,t} \mathbf{c}_f^T \mathbf{X}^{(s,t)} \right) - \sum_{s,t} \mathbf{p}^T \mathbf{D}^{(s,t)}$$

subject to

$$\mathbf{h}(\cdot) < \underline{\mathbf{h}} \quad (19)$$

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。

b. CO₂ 最小化

現状では地域のエネルギー事業者に 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。

Minimize

$$g(\cdot) = \sum_{s,t} \mathbf{e}_f^T \mathbf{X}^{(s,t)}$$

subject to

$$\mathbf{h}(\cdot) < \underline{\mathbf{h}}$$

$$\sum_{s,t} \mathbf{p}^T \mathbf{D}^{(s,t)} - \left(\mathbf{c}_e^T \Gamma + \sum_{s,t} \mathbf{c}_f^T \mathbf{X}^{(s,t)} \right) \geq 0 \quad (20)$$

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。

(3) 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。コーディネ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。対象とする具体的な技術は、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-13 に示す。

CHP ユニットは、後述する具体的な機器を候補とし、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。

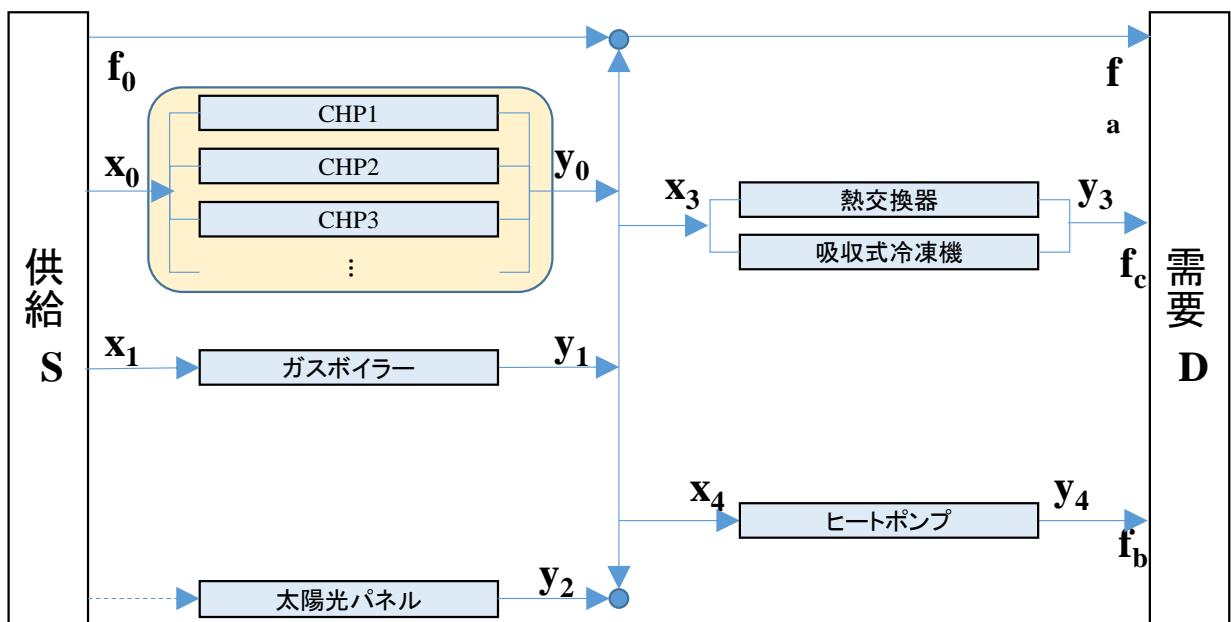


図-13 スーパーストラクチャの設定

(4) 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-6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-6 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-7と表-8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-7 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 温熱	2.8 3.7	3,500 冷凍能力基準

表-8 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	-	-

(5) 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-9 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-9 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	夏季ビ ーク	28.9	0.57
	夏季昼 間	28.9	
	夏季夜 間	10.2	
	その他の 昼間	28.9	
	その他の 夜間	10.2	
	ガス	11.81	0.18

iv) モデルの適用結果

(1) 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-14 にシステム設計の結果を、図-15～図-17 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。

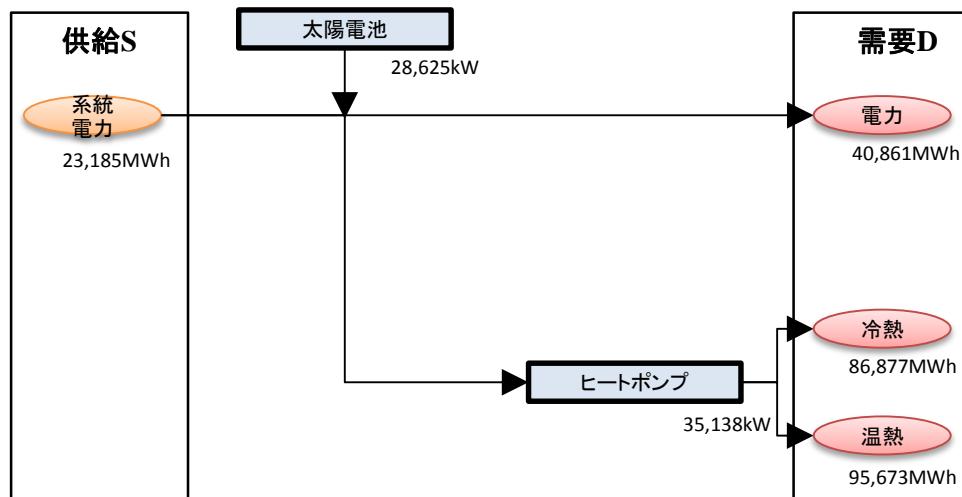
また、CHP ユニットはケースに応じて導入されるかどうかが選択されているが、太陽電池は全ケースにおいて、制約の上限値まで導入されている。

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

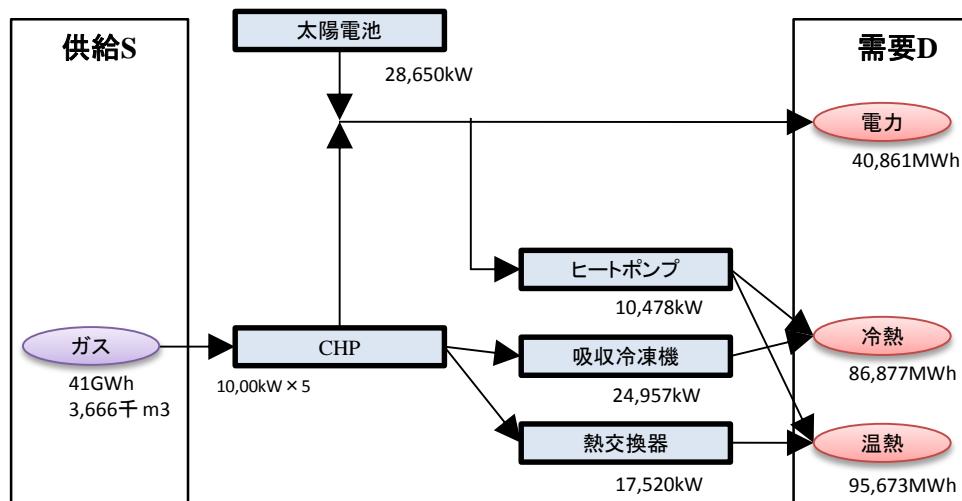
熱・冷熱の大部分はヒートポンプにより生成されている。

表-10 検討ケースの設定

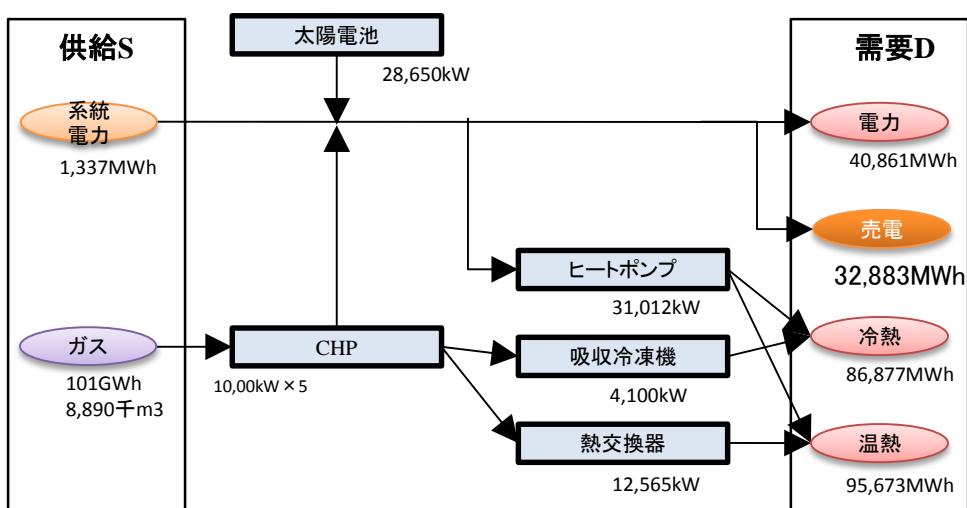
	規範	市場 売電
ケー ス 1	利潤最 大化	実施 せず
ケー ス 2	CO ₂ 最 小化	実施 せず
ケー ス 3	CO ₂ 最 小化	実施



(a) ケース 1 (コスト最小化)



(b) ケース 2 (CO₂最小化)



(c) ケース 3 (CO₂最小化-売電)

図-14 システム設計の結果

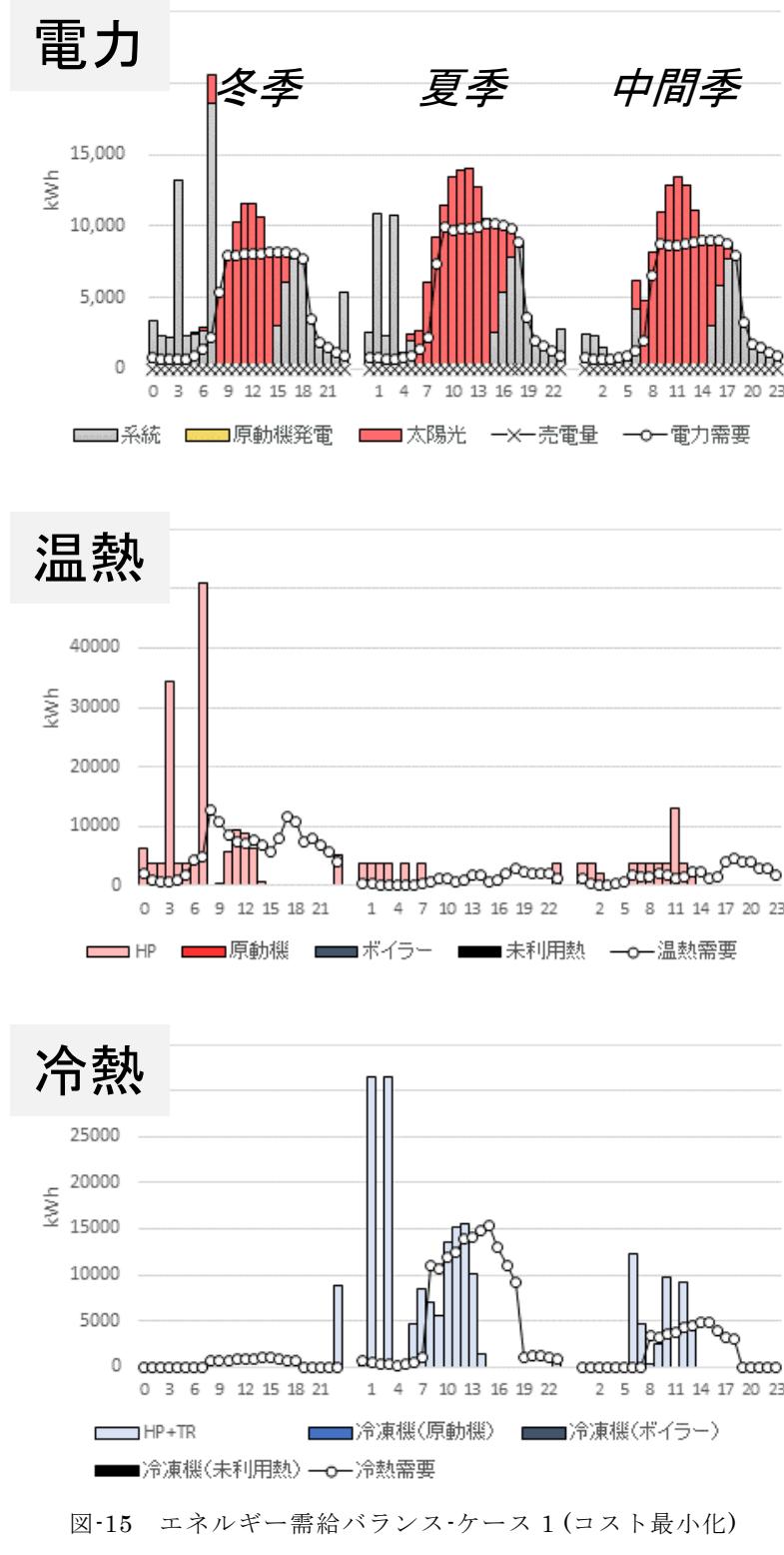


図-15 エネルギー需給バランス・ケース1(コスト最小化)

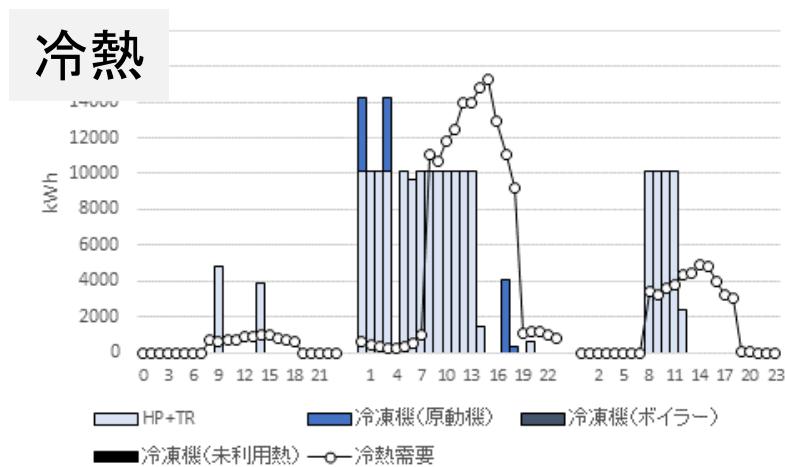
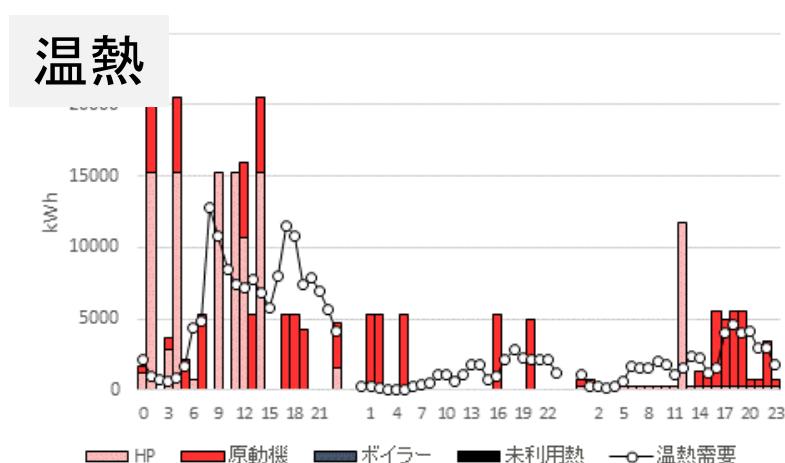
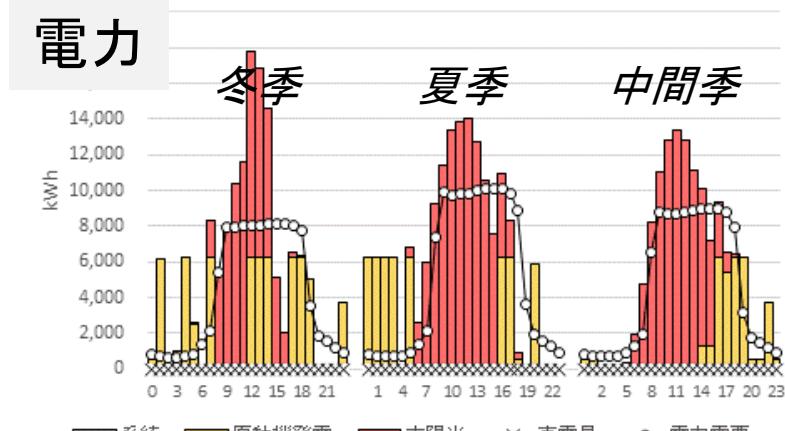


図-16 エネルギー需給バランス・ケース2(CO₂最小化)

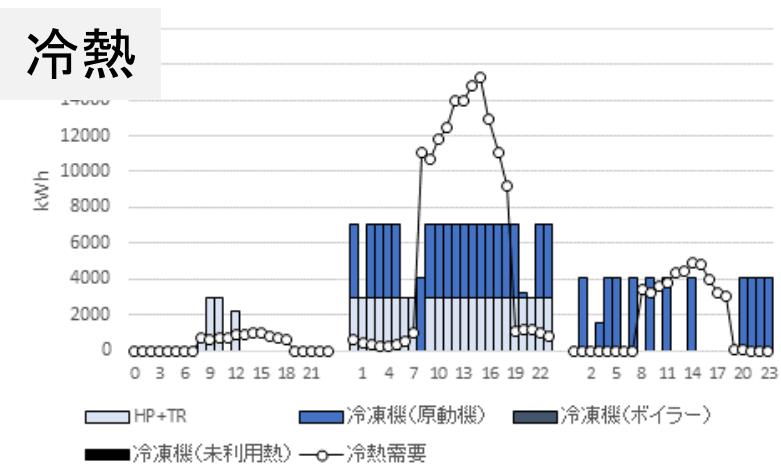
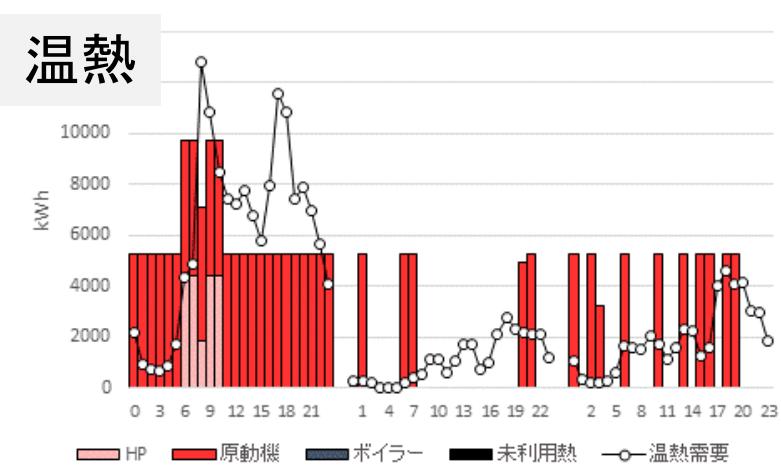
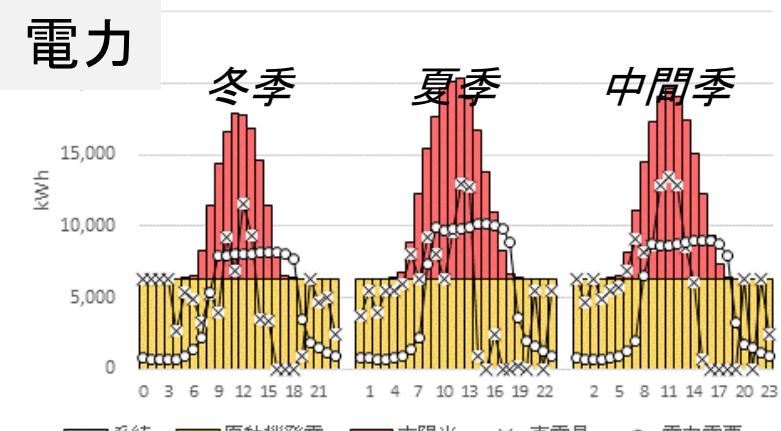


図-17 エネルギー需給バランス - ケース 3 (CO₂最小化・売電)

(2) 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-18、図-19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。

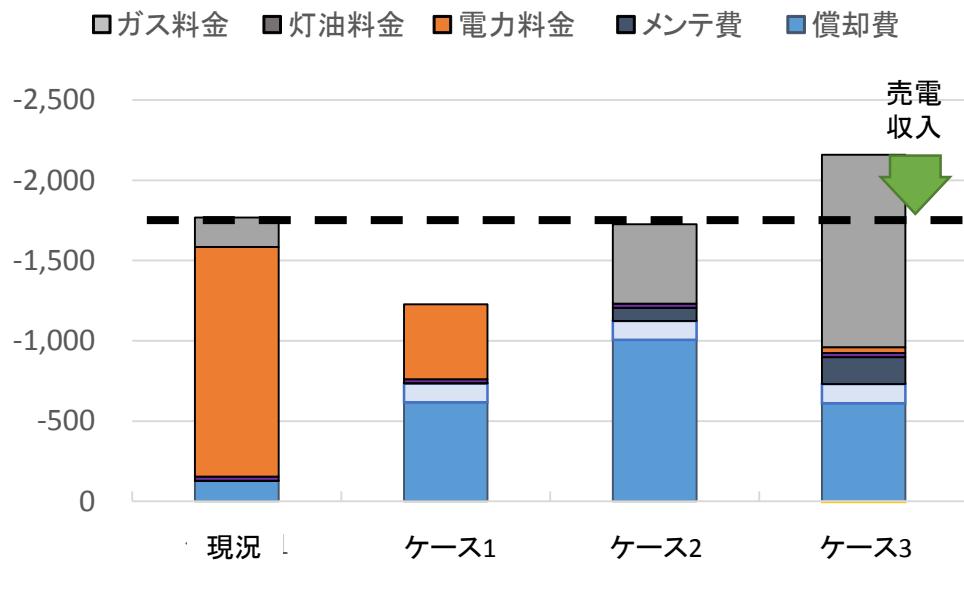


図-18 コストの評価

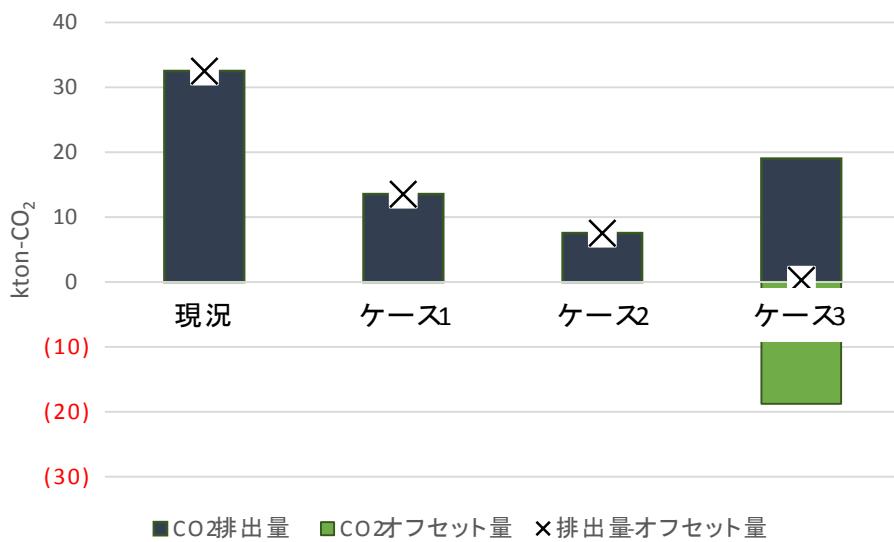


図-19 CO₂排出量の評価

v) まとめ

本研究では、分散型エネルギー・システムの導入可能性の評価を目的として、既存データに基づいた実態分析とモデルによる解析という二つのアプローチで検討を実施した。

既存の地域エネルギー供給事業の事例解析の結果、エネルギー・コストやCO₂排出量の削減効果は、エネルギー供給システムの類型や事業規模に依存していることが分かった。特に、環境的側面からみた場合、コージェネレーションシステムの有効性が示されたが、現況では25%程度の地点でしか導入されていない。今後、熱供給を単独で実施している既存地区をコージェネレーション型のシステムにリニューアルしていくことは低炭素社会実現の上で重要な課題であると考えられる。

また、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。高藏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。

また、今回得られた研究成果の精緻化等を通じて以下のような環境政策に貢献することが考えられる。

モデルを活用することにより、地域エネルギー・システムの導入効果を、太陽電池等との関連技術との代替・補完関係を考慮して推定し、市場売電等の社会的影響も含めて検討することが可能となる。今後の分散型エネルギー・関連機器の性能向上・技術進歩（小型コージェネレーションシステム、第4世代熱供給システム）やエネルギー市場の自由化等を通じた制度環境の変化も考慮した上で、CO₂削減に向けた対策メニューに地域エネルギーを位置づけるた

めの基礎情報を提供することが可能となる。

また、これまで国のマニュアル等において、自律・分散型のエネルギーシステムの基盤であるエネルギーの面的利用が可能となる条件として、ヘクタールあたりの熱負荷が 4.2TJ 以上という基準が紹介されてきた。しかしながら、このような導入基準は、例えば未利用熱の賦存量のような地域のエネルギー供給条件や電熱需要バランスなど様々な要因により影響を受けると考えられる。境界条件と導入効果の関係を検討することにより導入基準を明確化し、自治体等の土地利用計画や政策誘導の対象特定を支援することができると考えられる。

参考文献

1. 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, 2015. **44**(3).
2. 地球温暖化対策推進本部, 日本の約束草案. 2015.
3. 経済産業省, 長期エネルギー需給見通し. 2015.
4. 株式会社森のエネルギー研究所. 全国木質バイオマス発電所一覧地図. 2016 [cited 2016 9/20]; Available from: <http://www.mori-energy.jp/>.
5. 田中健人 and 吉野欣臣, 木質バイオマス発電を巡る動向について(<特集>日本のバイオマス固定価格買い取り制度の現状と展望). 日本エネルギー学会誌, 2015. **94**(11): p. 1179-1183.
6. Green, S.o., *DISTRICT ENERGY Energy Efficiency for Urban Areas Version 1.0*. 2016.
7. 名古田知志, 下田吉之, and 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, 2007. **613**: p. 87-93.
8. 曹, 鳴. and 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, 2007(620): p. 75-81.
9. 佐土原, 聰., et al., 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, 1998(510): p. 61-67.
10. 小田, 拓., 淳. 秋澤, and 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, 2013. **34**(2): p. 112.
11. Xu, J.Z., et al., *Research, development and the prospect of combined cooling, heating, and power systems*. Energy, 2010. **35**(11): p. 4361-4367.
12. Piacentino, A. and 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, 2013. **111**: p. 1222-1238.
13. Mago, P.J. and L.M. Chamra, *Analysis and optimization of CCHP systems based*

- on energy, economical, and environmental considerations.* Energy and Buildings, 2009. **41**(10): p. 1099-1106.
14. 福田, 桂., et al., エクセルギー概念に基づくコーディネ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, 2008. **87**(4): p. 285-290.
 15. 横山良平, 分散型エネルギーシステムの最適設計 一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, 2014: p. 85-98.
 16. 田中洋一 and 福島雅夫, 数理計画法によるコーディネ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, 2008. **21**(7): p. 201-210.
 17. 戸川卓哉, et al., 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), 2015. **71**(6): p. II_139-II_149.

(c) 宮崎市における縮退戦略による災害レジリエンスと QoL の向上

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.

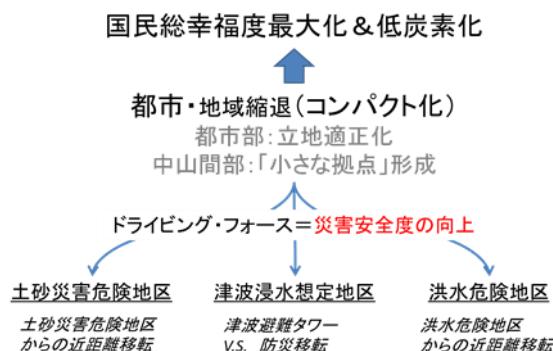


図 災害安全度の向上をドライビング・フォースとする都市・地域縮退

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. 昨年度は, 南海トラフ地震による津波浸水想定区域における防災移転の可能性を, 既に津波避難対策として進められている津波避難タワーの建設と比較しながら検討した.

本年度は, 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.

本研究は、住民をはじめとしたステークホルダーにとって、その効果の理解が難しい環境負荷の削減ではなく、ステークホルダーにとって分かりやすい災害安全度の向上に着目し、災害安全度の向上を図ることが、その相乗便益（コ・ベネフィット）としての国民総幸福度（QOL）向上や低炭素化に繋がるかを分析したものである。

① 市内各地区の診断カルテの作成

i) はじめに

今後の社会基盤に対する維持管理費の推計について図 1.1 に示す。高度経済成長期に建設された社会基盤の多くが今後一斉に更新が必要となり、今後も現存する社会基盤を維持していくためには多額の費用が必要となる。しかし、我が国では 2010 年頃から人口が減少しており、維持費用を賄うための税収入は減少することが予想されており、ますます地方の財政は厳しくなっていく。

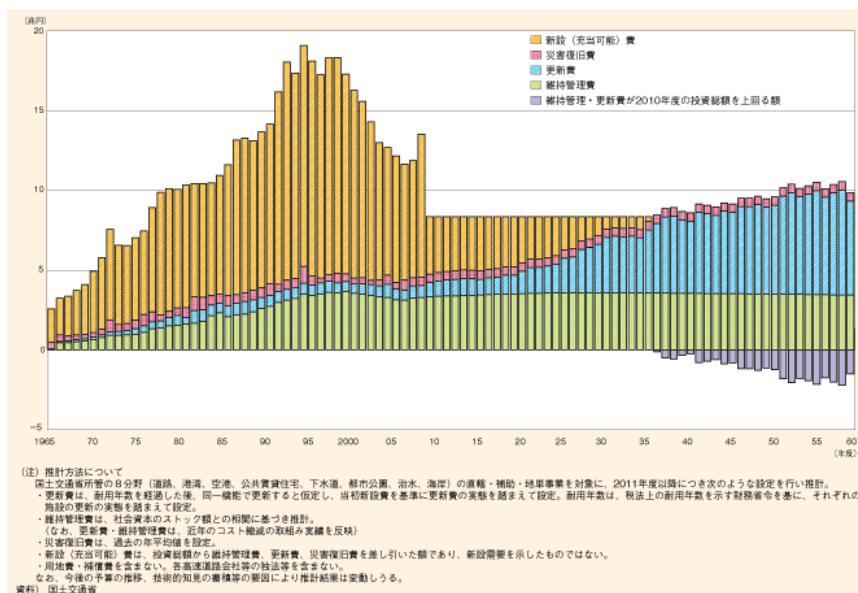


図 1.1 社会基盤施設維持管理費用の経年推移¹⁾

災害外力の増大によって、災害の規模が大きくなることが予想されている。しかしながら、住居が災害想定区域に進出してしまっている都市が見受けられる。このような都市構造であれば、平成 26 年 8 月に発生した広島市の土砂災害のように、多くの被害が生まれてしまう。厳しい地方財政のなか、災害による被害を減らすためには、これまでの様に大規模な防災施設を建設するのではなく、災害が想定される区域から撤退していくことが有効な手段であるといえる。

持続可能なまちづくりを行うためには、「選択と集中」により、都市を再構築していく必要がある。平成 26 年 8 月には都市再生特別措置法が一部改正され、自治体によって、生活に必要な施設を誘導する「都市機能誘導区域」と、居住を誘導する「居住誘導区域」を指定することが定められ、それらの区域を選定し、立地適正化をおこなう必要がある。

誘導区域を選定するためには、現状の都市がどのような脆弱性を持っていて、その脆弱性

の特徴を基に、各地域における対策を講じる必要がある。また、都市の集約化はひとつの市町村内で行われるものであるため、評価は市町村単位で行うのではなく、市町村よりも小さな単位でおこなう必要がある。

本研究では、宮崎市の地域自治区を対象として、公共交通による生活利便性や災害や犯罪に対する安全性、財政的に健全な都市経営によって、地区を評価することを目的とする。評価は他の地域自治区と比較して相対的に評価し、各地域自治区における今後のまちづくりのあり方について考察する。

ii) 先行研究のレビューと本研究の位置付け

● 国や地方自治体の動向

人口減少・少子高齢化のさらなる進展が見込まれる中、立地適正化計画制度の創設等を盛り込んだ改正都市再生特別措置法が平成26年8月に施行され、コンパクトシティ形成に向けた動きが活発化している。一方、コンパクトなまちづくりを推進に向けては、いかなる都市構造を目指すべきか、客観的かつ定量的な分析、評価を行う必要があり、各都市におけるコンパクトなまちづくりを支援する参考図書として都市構造のコンパクトさを6つの分野から多角的に評価する手法がとりまとめられた。しかし、この手法は人口規模などが類似した市町村の都市構造を相対的に評価するものであり、各自治体内の集約地域や撤退地域を定めるための評価ではない。

● コンパクトシティ政策に関する先行研究のレビュー

✓ コンパクトシティ政策の効果に関する先行研究

森本²⁾は、都市のコンパクト化の効果として環境面、財政面に着目し、宇都宮市を対象として、維持費用削減率、市税増加率、CO₂削減率の各面において都市のコンパクト化の効果があることを明らかにした。中井ら³⁾は、環境面に着目し、宇都宮市を対象に、都市のコンパクト化が、家庭の電力消費量、交通のエネルギー量の削減に対して効果があることを示した。根市ら⁴⁾は都市のコンパクト化を人口密度の高度化として捉え、上下水道管路、ガス管路、道路、除雪の費用の変化より、都市のコンパクト化に財政的なメリットがあることを明らかにした。また、都市のコンパクト化によって震災リスクが増加する可能性があることを示唆している。佐藤ら⁵⁾は、小中学校、保育所、公民館、上下水道、道路橋梁の施設を対象に、宇都宮市において、郊外部の人口が完全に0となる住み替え率100%時において急激に、維持管理費用の削減効果があることを明らかにした。和田ら⁶⁾は、都市のコンパクト化によって削減されるインフラ維持管理費用とコンパクトシティ形成による建設費を比較し、長岡市において都市のコンパクト化は財政的に可能であることを示した。

✓ 都市構造の評価に関する先行研究

河村ら⁷⁾は名古屋都市圏を対象に、環境・経済・社会のトリプルボトムラインというアプローチから、500mメッシュ単位で都市構造の評価を行った。外薗ら⁸⁾は、都市機能誘導区域と居住誘導区域の設定のために、距離と運航頻度のみの情報でターミナル周りのポイントベースのアクセシビリティを簡便に算出し、つくば市を対象にアクセシビリティの特徴を明らかにした。児玉ら⁹⁾は、長岡市、松本市、高知市、上田市を対象とし、都市構造の違いに

による固定資産税収の都市間比較を行った。森田ら¹⁰⁾は、南三陸町を対象に、東日本大震災の復興計画による地域構造は防災性を高める効果があるが、生活面では問題があることを明らかにした。古田ら¹¹⁾は交通容量に着目して目指すべき都市構造のあり方に対応しているかを評価した。

● 本研究の位置付け

本研究に関する先行研究論文をレビューした結果、コンパクトシティ政策は財政面、社会面、環境面でメリットがあることが明らかになっているが、実際にコンパクトシティを行うための集約地域や撤退地域の選定を行う研究は少ないということが明らかとなった。地域を様々な指標を基に評価することで、各地域それぞれの優れている点、劣っている点がわかり、各地域においてどのように地域の構造を改善していくのが効率的であるのかを得るために基礎資料となると考えられる。

iii) 地区の評価方法

● 評価方法の枠組み

評価方法の枠組みを図 3.1 に示す。

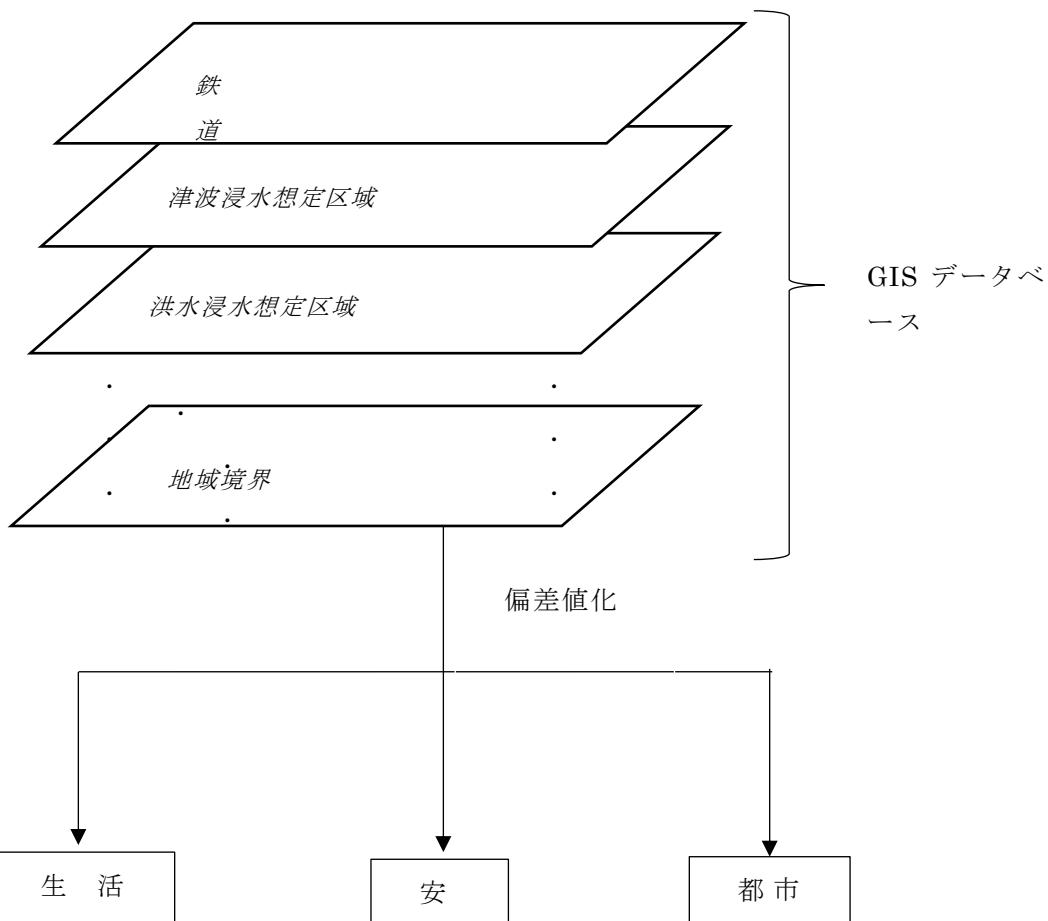


図 3.1 評価方法の枠組み

まず必要となる GIS データを収集する。収集したデータを基に GIS データベースを構築する。GIS 上にデータベースを構築することで都市施設や世帯の地域分布を把握することができ、それらのデータが各災害想定区域や公共交通空白地域に含まれるかどうかを把握できる。また、インフラの地域分布を把握することができる所以、どの地域でどれくらいのインフラの維持費用が必要になるのかを推計することができる。同様に、各地域内の地目ごとの面積から固定資産税（土地）の推計が可能になる。また、詳細な建物ポイントデータを使用することによって固定資産税（建物）を推計できるようになる。これらを用いて得られた結果を偏差値化する。偏差値化を行うことによって、地域の各評価項目を相対的に比較することができるようになり、それぞれの地域の特徴を把握することが可能になる。

● 評価項目

本研究では、都市構造の評価に関するハンドブック¹²⁾を参考に、表 3.1 の通り、3 つの分野、4 つの評価軸で地区を評価する。ここで対象とした都市施設は医療施設、福祉施設、行政施設、文化施設、学校、商業施設であり、これらは立地適正化計画において、集約すべきとされている施設である。

生活利便性は公共交通空白地域に立地する都市施設及び世帯の数をそれぞれ全都市施設及び全世帯で除したもので評価する。ここで、公共交通空白地域とは、鉄道 1km、バス停 500m の半径の範囲に入っていない地域のことである。

安全性は、災害想定区域に立地する都市施設及び世帯の数をそれぞれ全都市施設及び全世帯で除したもの、また都市の荒廃化や治安悪化の原因となる空き家の割合により評価する。

都市経営は、地域を維持していくために必要となる費用をその地域から生み出される税収入で除したものにより評価する。

表 3.1 評価の項目

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）に立地する都市施設及び世帯の数の割合	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都市施設及び世帯の数の割合	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 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 国土数値情報 宮崎市

これらの各項目を偏差値として算出して評価を行う。

● 推計に必要なデータ

表 3.2 に使用するデータ一覧を示す。

表 3.2(1) 使用するデータ一覧

名称（作成年次）	内容	出典
地域自治区境界 (2014)	宮崎市が設定している地域自治区の境界	地域自治区ごとの町名リストを基に筆者作成
旧市町村境界 (2014)	2006 年, 2010 年の市町村合併以前の市町村の境界	旧市町村ごとの町名リストを基に筆者作成
医療機関 (2010)	医療機関（病院, 診療所, 歯科診療所）の地点, 名称, 所在地, 診療科目, 開設者分類を整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス
福祉施設 (2011)	高齢者福祉, 障がい者福祉, 児童福祉に関する施設のポイントデータに, 各施設の定員や管理主体等を属性データとして付加したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス
市町村役場等及び 公的集会施設 (2010)	市役所, 及び支所, 出張所, 連絡所等, 市が主体的に管理・運営する公民館, 集会所等の公的集会施設について, 位置と名称, 住所, 施設分類コード, 行政コードを整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス

表 3.2(2) 使用するデータ一覧

文化施設 (2013)	文化的に価値のある作品や生き物を収集・保存・展示し、またそれらの文化に関する教育・普及・研究を行う施設	国土数値情報 ダウンロードサービス
学校 (2013)	学校教育法に基づく小学校、中学校、中等教育学校、高等学校、高等専門学校、短期大学、大学及び特別支援学校	国土数値情報 ダウンロードサービス
商業施設 (2015)	主に食料品や日用品を販売するスーパー・マーケット	i タウンページを基に筆者作成
鉄道 (2013)	旅客鉄道・軌道の路線や駅について、形状（線）、鉄道区分（普通鉄道、鋼索鉄道、懸垂式モノレール、跨座式モノレール等）、事業者（新幹線、JR在来線、公営鉄道、民営鉄道、第三セクター）、路線名、運営会社等を整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス
バス停留所 (2010)	全国のバス停留所の位置（点）、名称、区分（民間路線バス、公営路線バス、コミュニティバス、デマンドバス）、事業者名、バス系統について整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス
浸水想定区域 (2012)	河川管理者（国土交通大臣、都道府県知事）から提供された浸水想定区域図について、製品仕様に基づく電子化し浸水深ごとにポリゴンデータを生成し、都道府県別に整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス
津波浸水予想地域 (2014)	南海トラフ地震による津波被害を示したもの	宮崎県の津波浸水予想地域図 を基に筆者作成
土砂災害危険箇所 (2010)	都道府県が指定する土砂災害危険箇所（土石流危険渓流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所）及び雪崩危険箇所の範囲または位置、及び種別、名称等のデータ	国土数値情報 ダウンロードサービス
住居 (2009)	住居の立地する座標、世帯数、家族構成、床面積、耐火性能、木造非木造、築年代を表したもの	秋山祐樹 ¹³⁾
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
橋梁台帳 (2012)	宮崎市が管理する橋梁の名称、橋長、幅員、供用開始年、上部構造などが書かれた台帳	宮崎市
固定資産台帳 (2013)	宮崎市が所有する公共施設の名称、用途、床面積、供用開始年が書かれている台帳	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
海岸保全施設 (2012)	岸保全区域内の堤防、突堤、護岸、胸壁、離岸堤、砂浜、その他海水の侵入又は海水による侵食を防止するための施設を整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス
ダム (2005)	ダムについて、形式（アーチダム、重力式コンクリートダム等）、目的（洪水調節・農地防災、灌漑用水、発電等）、総貯水量、有効貯水量、事業者、名称等を整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス

下水道関連施設データ (2012)	下水道法にもとづく、公共下水道、流域下水道、特定公共下水道、特定環境保全公共下水道のポンプ場施設の位置、名称、計画排水量などを整備したもの	国土数値情報 ダウンロードサービス
水道メーター調査結果 (2014)	水道メーター調査により明らかになった空き家の数	宮崎市

● 生活利便性に関する評価指標の推計

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に立地する都市施設及び世帯の数を把握する。それらを各地域自治区の全都市施設数及び全世帯数でそれぞれ除して、公共交通空白地域に含まれる都市施設及び世帯の割合を算出した。

● 安全性に関する評価指標の推計

GIS データより各地域自治区における洪水浸水予想地域、津波浸水想定区域、土砂災害危険区域に立地する都市施設及び世帯の数を把握し、各地域自治区内の全都市施設数及び世帯数で除することで、災害想定区域に立地する都市施設及び世帯の割合を算出した。また、宮崎市が行った水道メーター調査より、各地域自治区の空き家率を算出した。

● 都市経営に関する評価指標の推計

✓ 地域維持費用と税収の考え方

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。インフラは、都市基盤としての道路、橋梁、上水道、下水道、公共施設、また、防災施設としてダム、防波堤、排水ポンプを対象とする。また、対象となる災害は、洪水、土砂災害、南海トラフ地震による揺れ及び津波とする。

対象とする市税は、宮崎市の税収の中で 8 割弱を占め、また今後の人口減少・少子高齢化、都市構造の変化に直接影響を受けると考えられる個人市民税と固定資産税について推計する。

✓ インフラ維持管理費用・更新費用の推計方法

GIS 上にデータベースを構築することによって、各地域自治区にどの種類のインフラがどれくらいの量で存在するかを得た。各インフラ量に、表 3.3 の毎年のメンテナンスに必要な維持管理費用及び数年ごとに必要な更新費用の原単位を乗ずることによって、今後 50 年間でインフラの維持に必要な費用を推計した。

表 3.3 インフラ維持費用の原単位

インフラ	維持管理原単位(/年)	更新原単位(/年)	更新間隔
道路	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

✓ 災害復旧費用の推計方法

GIS 上に南海トラフ地震による地震の震度分布、津波浸水深図を反映させ、それぞれの震度、浸水深ごとの被害率を基に地震と津波による災害復旧費を推計した。また、水害統計より洪水、土砂災害の年あたりの期待被害額を推計し、それを各地域自治区に含まれる洪水浸水予想地域、土砂災害危険区域の面積によって配分した。これらの推計結果を基に今後 50 年間で必要となる災害復旧費用を推計した。この場合、南海トラフ地震は 50 年間で必ず発生するものとして推計している。

表 3.4 震度別被害率

社会基盤	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
道路	127.8 万円/km	136.8 万円/km	378.0 万円/km
上水道・下水道	1.6%	4.8%	21.7%
公共施設・橋梁	7%	20%	35%

表 3.5 浸水深別被害率

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	1224.0	2106.0
上水道・下水道	5.3%	14.7%	26.6%	62.3%	100%

表 3.6 年あたりの期待被害額

洪水	土砂災害
15 億 2500 万円/年	1500 万円/年

表 3.7 洪水、土砂災害の災害復旧費の地域自治区への配分方法

地域自治区	自治区内の危険区域面積	危険区域面積に対する 自治区に含まれる 危険区域面積の割合	自治区の推計被害額
自治区 1	A1	A1/A	A1/A×C
自治区 2	A2	A2/A	A2/A×C
...
自治区 n	An	An/A	An/A×C
合計	A	1	C

✓ 個人市民税の推計方法

平成 22 年における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推計し、地域自治区内に居住する生産年齢人口を乗ずることで、地域自治区ごとに得られる個人市民税を推計した。今後 50 年間の人口推移を考慮することで、50 年で得られる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 : 66,780 円/人

$$\left(= \frac{\text{平成 22 年度の宮崎市の個人市民税収入 : } 16,972,240,000}{\text{平成 22 年度の宮崎市の生産年齢人口 : } 25,4185 \text{ 人}} \right)$$

✓ 固定資産税の推計方法

固定資産税（土地）の評価額は地目別の面積に表 3.8 の 1m²当たりの地目別評価額を乗じることで推計する。また、固定資産税（建物）の評価額は建物ポイントデータの床面積に表 3.9 の床面積 1m²当たりの住宅評価額を乗ずることで推計する。宅地面積は人口密度に比例して増減するものと仮定し、人口減少によって、人口密度が低下すると宅地面積も減少し、固定資産税も減少する。これより、今後 50 年で得られる固定資産税を推計した。

表 3.8 地目別土地評価額

地目種	地目別土地評価額 (円/m ²)
田	427
畠	767
宅地	26,821
山林	20

原野	15
雑種地	7,396

表 3.9 構造別住宅評価額

構造	住宅評価額
木造	21,811
非木造	47,864

✓ 都市経営の評価指標の算出

以上の推計により、今後 50 年で必要となるインフラの維持管理費用、更新費用、災害復旧費と得られる個人市民税と固定資産税が推計される。推計結果を基に、地域自治区ごとの税収入に対する地域維持費用の割合を算出し、それを都市経営の評価指標とする。

iv) 宮崎市を対象とした地域自治区評価の結果

● 宮崎市の概要

宮崎市は宮崎県のほぼ中央に位置している同県の県庁所在地である。2006年に田野町、佐土原町、高岡町を編入し、2010年に清武町を編入して現在の宮崎市が形成された。2014年10月における人口は402,433人であり、高齢率は24.3%である。現状でもかなり高齢化が進んでいるが、図4.1に示すように人口は減少していくが、高齢者人口は増加していく、2020年には高齢化率が30%を超えることが予想されている。しかしながら、図4.2に示すように人口集中地区の面積は増加傾向にあるが、人口集中地区の人口密度は減少傾向にあり、市街地がスプロール化していることがわかる。また、市内を一級河川である大淀川が横断しており、毎年のように洪水被害が出ている。さらに、宮崎市の沿岸部は南海トラフ地震による津波の被害を受けることが予想されており、災害に対する対策を考えた土地利用をおこなっていく必要がある。

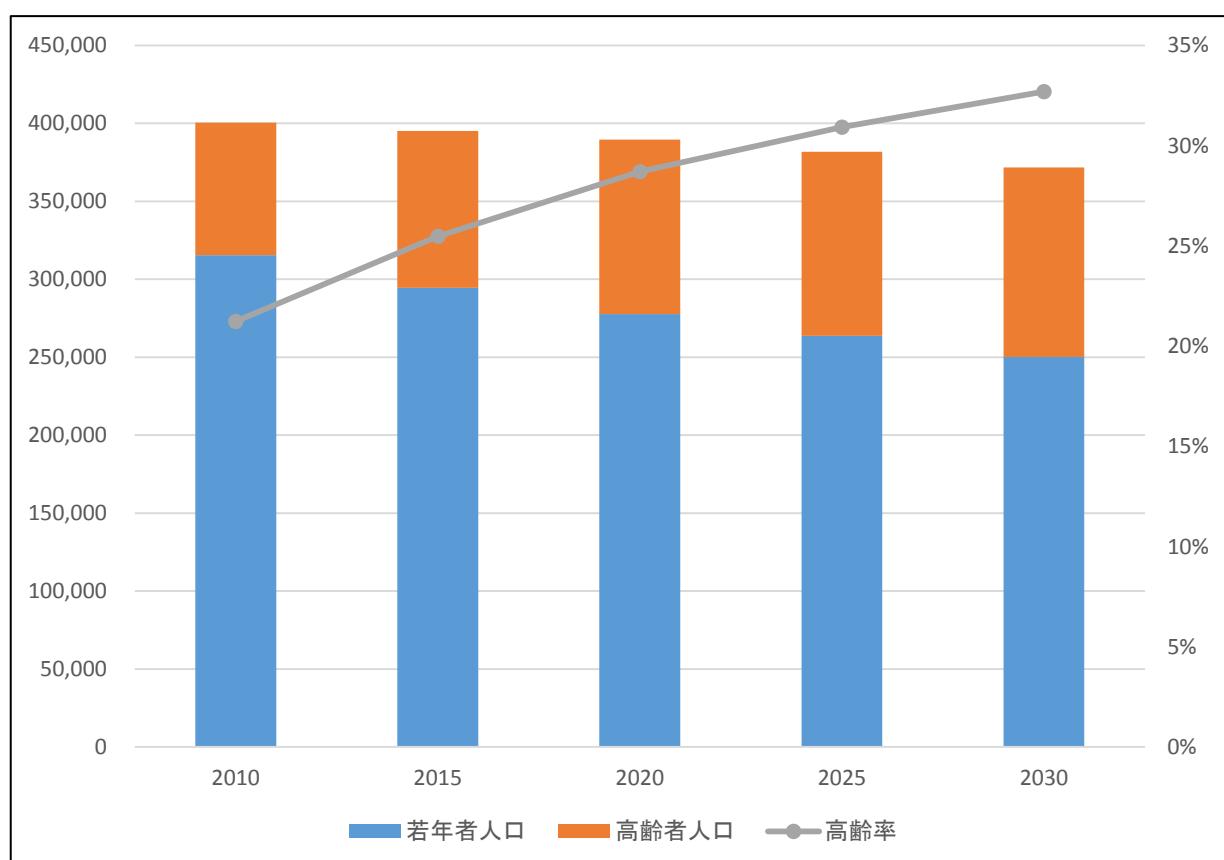


図4.1 宮崎市の人口推計

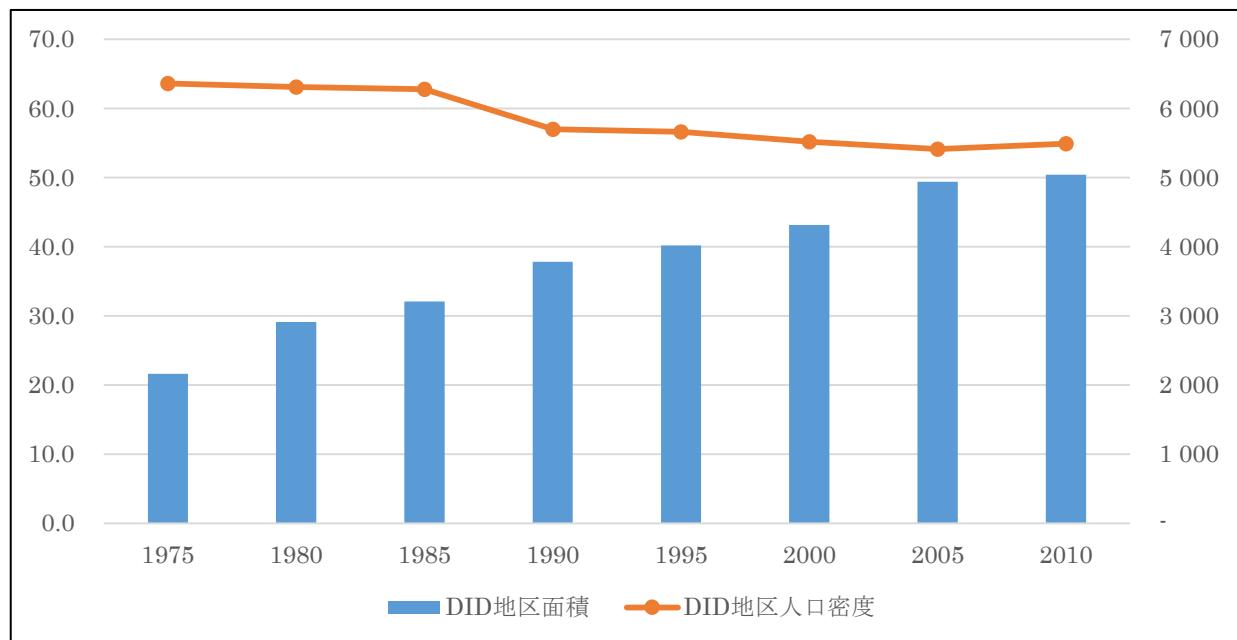


図 4.2 宮崎市の DID 地区

都市構造の脆弱性の評価対象の単位は宮崎市が設定している 21 個の地域自治区とする。
(図 4.3)

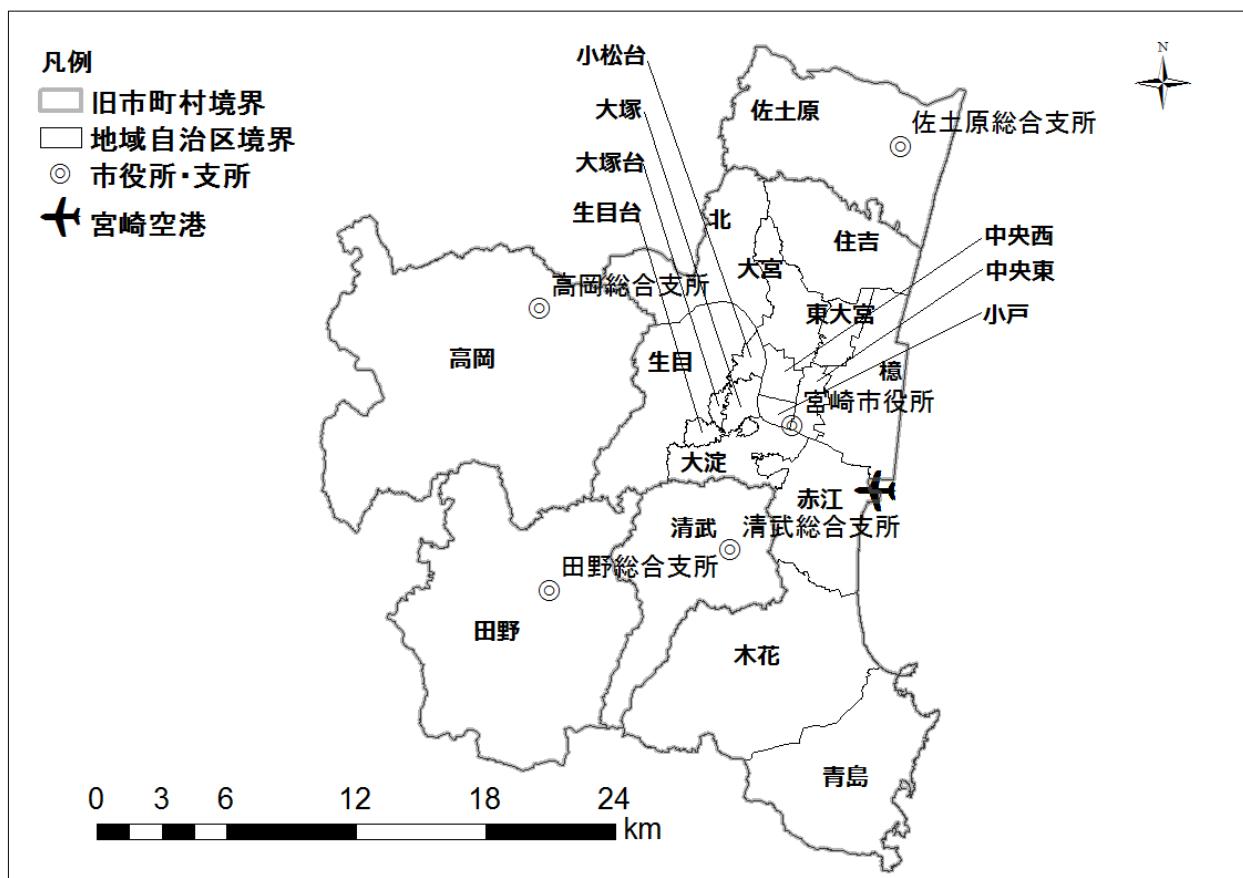


図 4.3 宮崎市の地域自治区

● 評価指標の推計結果

✓

✓ 医療施設の立地状況

表 4.1 に医療施設の立地状況を示す。また、公共交通空白地域に立地する医療施設の分布を図 4.4 に、災害想定区域に立地する医療施設の分布を図 4.5 に示す。

表 4.1 医療施設の立地状況

自治 区	公共交通空白地域	災害想定区域	総数
高岡	1(11.1%)	8(88.9%)	9
佐土 原	2 (5.3%)	7(18.4%)	38
住吉	3(10.3%)	0 (0%)	29
小戸	0 (0%)	23(100%)	23
小松 台	0 (0%)	5(83.3%)	6
清武	0 (0%)	1 (3.3%)	30
生目 台	0 (0%)	0 (0%)	3
生目	0 (0%)	3(20.0%)	15
青島	0 (0%)	3 (100%)	3
赤江	0 (0%)	16(25.0%)	64
大宮	0 (0%)	1 (2.4%)	41
大塚 台	0 (0%)	0 (0%)	4
大塚	0 (0%)	11(39.3%)	28
大淀	0 (0%)	18(34.6%)	52
中央 西	0 (0%)	48(77.4%)	62
中央 東	0 (0%)	76(83.5%)	91
田野	0 (0%)	0 (0%)	10
東大 宮	0 (0%)	0 (0%)	25
北	0 (0%)	5(62.5%)	8
木花	0 (0%)	6(41.2%)	13
檍	1 (1.8%)	42(76.4%)	55

全体	7 (1.1%)	273(44.8%)	609
----	----------	------------	-----

宮崎市全体でみると、98.9%(602 施設/609 施設)の医療施設が鉄道駅 1km、バス停 500m の駅勢圏内に立地している。一方、災害想定区域内に立地している医療施設は 44.8%(273 施設/609 施設)と半数近くが、災害想定区域内に立地している。これは、医療施設が宮崎市の中心部に多く立地しており、その多くが洪水浸水想定地域に入っているからだと考えられる。

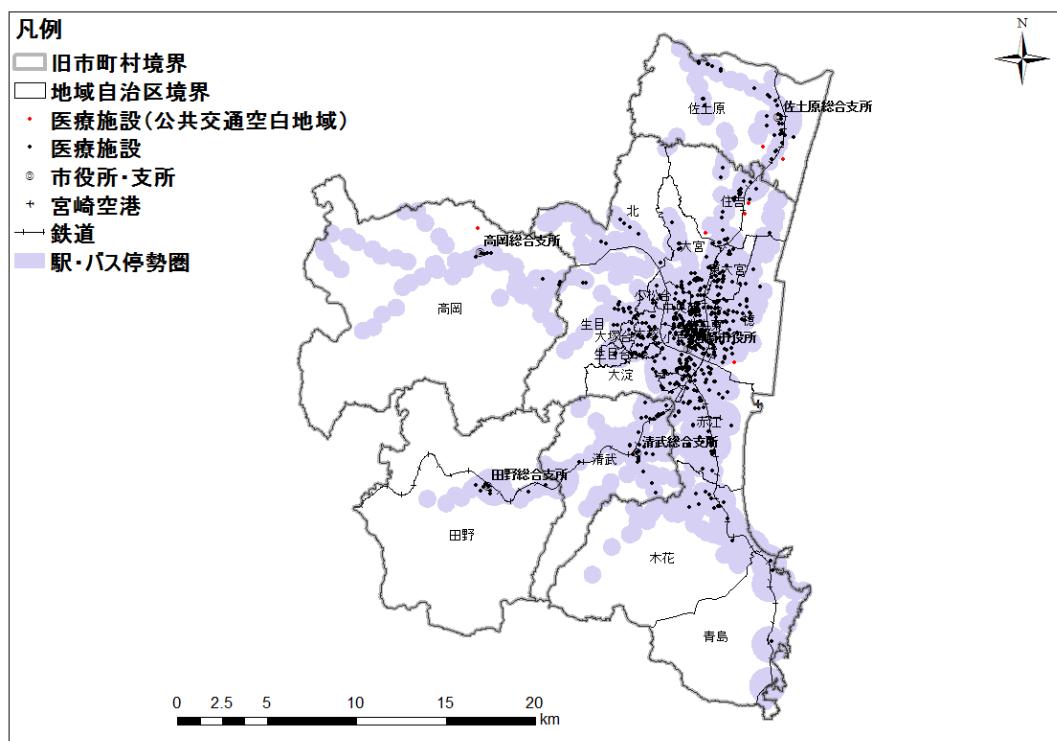


図 4.4 公共交通空白地域に立地する医療施設

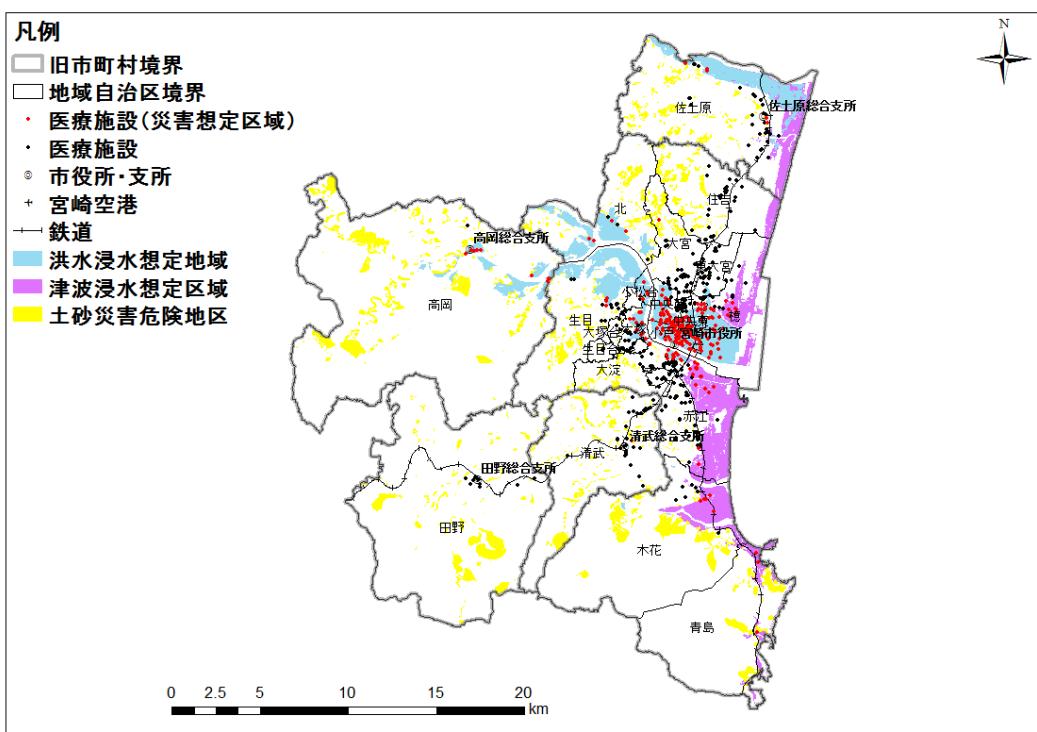


図 4.5 災害想定区域に立地する医療施設

✓ 福祉施設の立地状況

表 4.2 に福祉施設の立地状況を示す。また、公共交通空白地域に立地する福祉施設の分布を図 4.6 に、災害想定区域に立地する福祉施設の分布を図 4.7 に示す。

表 4.2 福祉施設の立地状況

自治 区	公共交通空白地域	災害想定区域	総数
高岡	4(16.7%)	10(41.7%)	24
佐土 原	8(22.9%)	9(25.7%)	35
住吉	2(10.0%)	2(10.0%)	20
小戸	0 (0%)	12 (100%)	12
小松 台	0 (0%)	4(80.0%)	5
清武	1 (3.6%)	0 (0%)	28
生目 台	0 (0%)	0 (0%)	7
生目	1 (5.3%)	10(52.6%)	19
青島	0 (0%)	6 (100%)	6

赤江	1 (2.0%)	12(24.5%)	49
大宮	0 (0%)	0 (0%)	21
大塚 台	0 (0%)	0 (0%)	4
大塚	0 (0%)	6(33.3%)	18
大淀	4(16.7%)	7(29.2%)	24
中央 西	0 (0%)	18(85.7%)	21
中央 東	0 (0%)	12(63.2%)	19
田野	1 (7.1%)	1 (7.1%)	14
東大 宮	0 (0%)	0 (0%)	20
北	4(33.3%)	4(33.3%)	12
木花	0 (0%)	6(42.9%)	14
櫻	0 (0%)	29(61.7%)	47
全体	26 (6.2%)	148(35.3%)	419

宮崎市全体では公共交通空白地域に立地している福祉施設は 6.2%(26 施設/419 施設)であり、多いとはいえないが、福祉施設を主に利用する高齢者や障がい者は、自動車などによる移動が困難であり、北地域自治区(33.3%)、佐土原地域自治区(22.9%)などの比較的割合が大きい地域自治区は、高齢者や障がい者にとって利便性が低い。また、大淀川周辺に立地している福祉施設が多いため、宮崎市の中心部では、災害想定区域に立地する割合が大きくなっている。

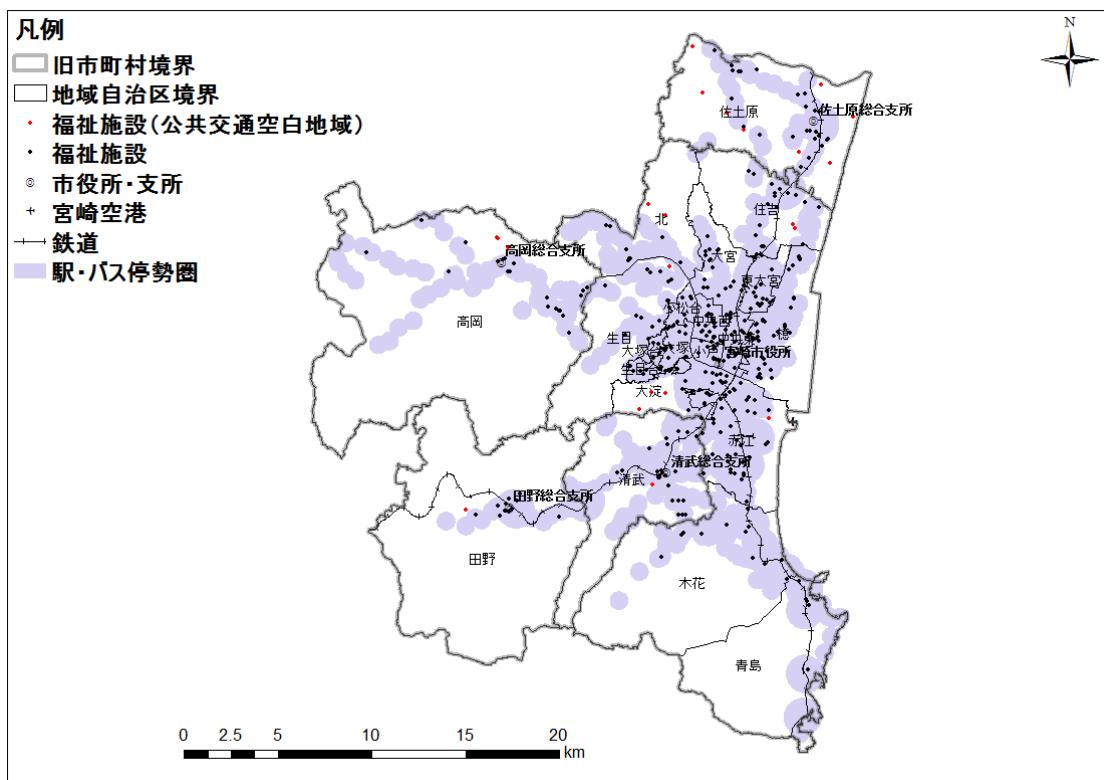


図 4.6 公共交通空白地域に立地する福祉施設

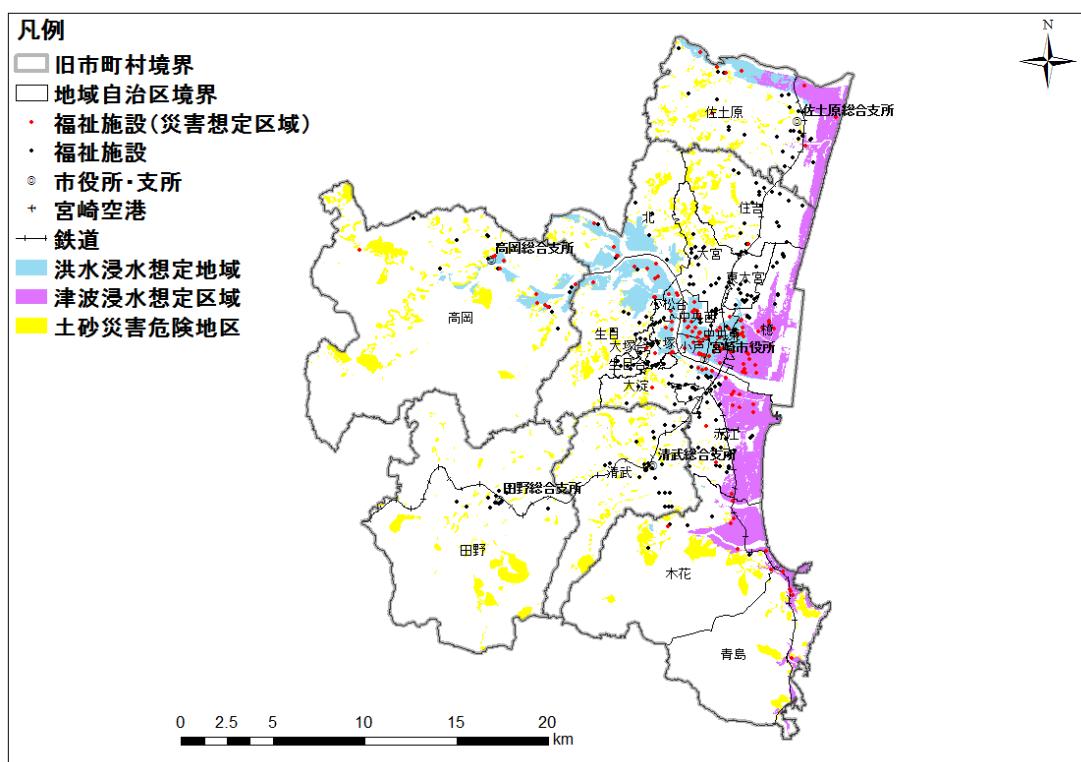


図 4.7 災害想定区域に立地する福祉施設

✓ 行政施設の立地状況

表 4.3 に行政施設の立地状況を示す。また、公共交通空白地域に立地する行政施設の分布を図 4.8 に、災害想定区域に立地する行政施設の分布を図 4.9 に示す。

表 4.3 行政施設の立地状況

自治 区	公共交通空白地域	災害想定区域	総数
高岡	2(12.5%)	9(56.3%)	16
佐土 原	2(22.2%)	1(11.1%)	9
住吉	0 (0%)	0 (0%)	6
小戸	0 (0%)	1 (100%)	1
小松 台	0 (0%)	0 (0%)	0
清武	0 (0%)	0 (0%)	4
生目 台	0 (0%)	0 (0%)	0
生目	1(20.0%)	1(20.0%)	5
青島	0 (0%)	5 (100%)	5
赤江	1(10.0%)	3(30.0%)	10
大宮	0 (0%)	0 (0%)	2
大塚 台	0 (0%)	0 (0%)	3
大塚	0 (0%)	0 (0%)	3
大淀	1(16.7%)	0 (0%)	6
中央 西	0 (0%)	2 (100%)	2
中央 東	0 (0%)	8 (100%)	8
田野	2(20.0%)	1(10.0%)	10
東大 宮	0 (0%)	0 (0%)	2
北	0 (0%)	5 (100%)	5
木花	0 (0%)	3(75.0%)	4
櫻	0 (0%)	2(33.3%)	6
全体	9 (8.4%)	41(38.3%)	107

宮崎市全体で 8.4%(9 施設/107 施設)が公共交通空白地域に立地しているが、その 9 施設は

公民館や集落センターといった集落内での集会所であり、公共交通を利用して行くところではないため、あまり問題はないと考えられる。しかし、洪水浸水予想地域内には、宮崎市役所、高岡総合支所が立地しており、大雨に見舞われると、中心的な行政機関がマヒしてしまうことが予想される。

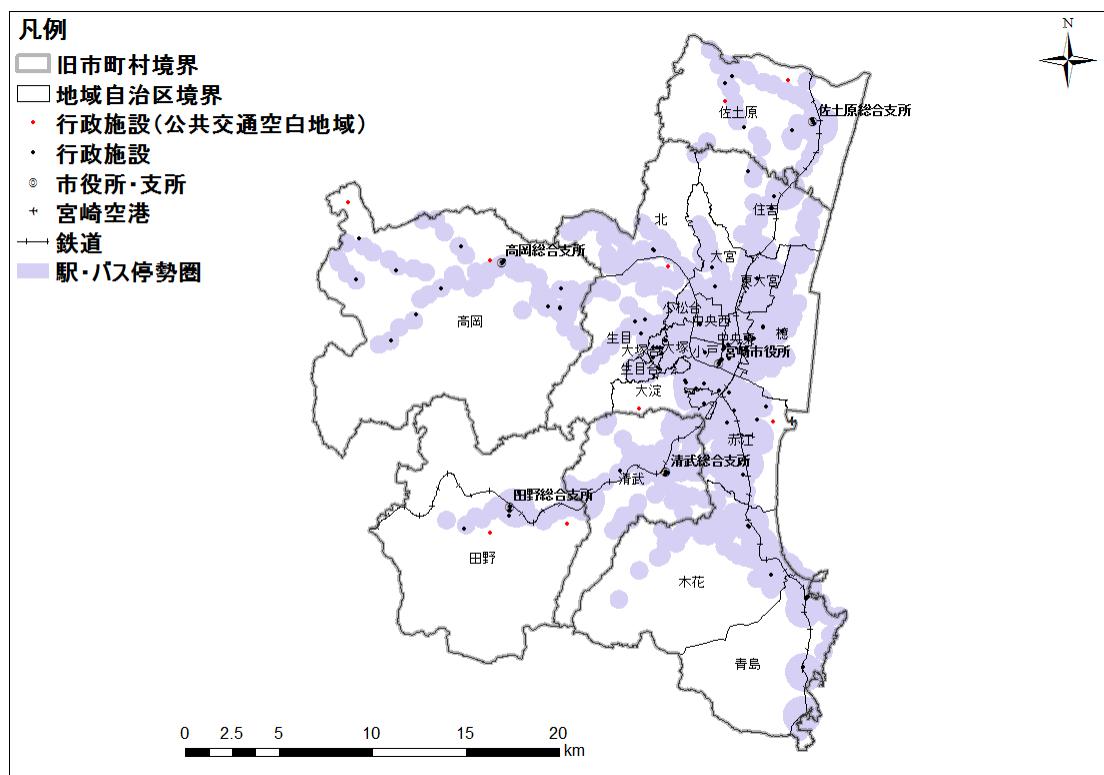


図 4.8 公共交通空白地域に立地する行政施設

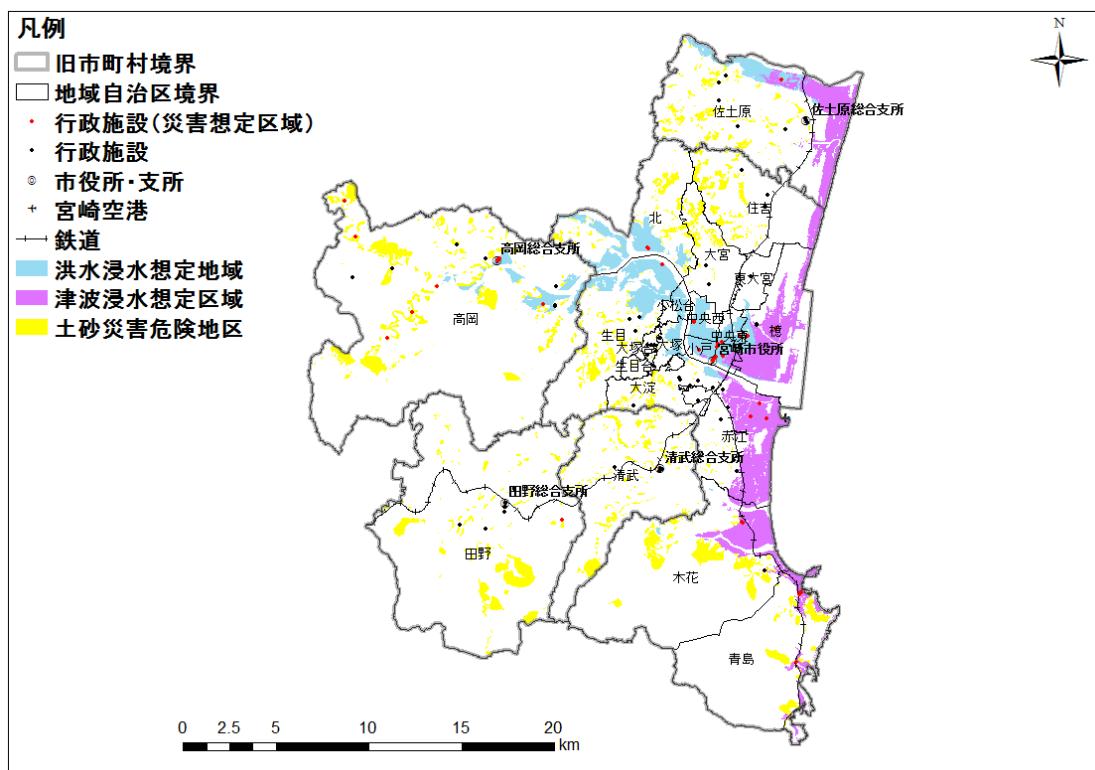


図 4.9 災害想定区域に立地する行政施設

✓ 文化施設の立地状況

表 4.4 に文化施設の立地状況を示す。また、公共交通空白地域に立地する文化施設の分布を図 4.10 に、災害想定区域に立地する文化施設の分布を図 4.11 に示す。

表 4.4 文化施設の立地状況

自治 区	公共交通空白地域	災害想定区域	総数
高岡	4(11.4%)	27(77.1%)	35
佐土 原	2(11.8%)	2(11.8%)	17
住吉	0 (0%)	1(25.0%)	4
小戸	0 (0%)	0 (0%)	0
小松 台	0 (0%)	0 (0%)	0
清武	8(50.0%)	1 (6.3%)	16
生目 台	0 (0%)	0 (0%)	1
生目	0 (0%)	0 (0%)	6
青島	0 (0%)	4(57.1%)	7

赤江	2(40.0%)	2(40.0%)	5
大宮	0 (0%)	0 (0%)	2
大塚 台	0 (0%)	0 (0%)	0
大塚	0 (0%)	0 (0%)	0
大淀	0 (0%)	0 (0%)	2
中央 西	0 (0%)	5(62.5%)	8
中央 東	0 (0%)	36(97.3%)	37
田野	2(15.4%)	2(15.4%)	13
東大 宮	0 (0%)	0 (0%)	0
北	0 (0%)	0 (0%)	5
木花	3(11.5%)	21(80.8%)	26
櫻	3(50.0%)	2(33.3%)	6
全体	24(12.6%)	103(53.9%)	191

公共交通空白地域に立地している文化施設は 12.6%(24 施設/191 施設)あるが、その多くは総合運動公園などのレクリエーション施設であり、家族連れにより自動車での利用が多いと考えられる。また、中心部に多くある図書館や美術館は洪水浸水想定区域内に立地しており、また海岸沿いではレクリエーション施設が津波浸水想定区域に立地しているため、全体の半分以上の文化施設が災害想定区域内に立地している。

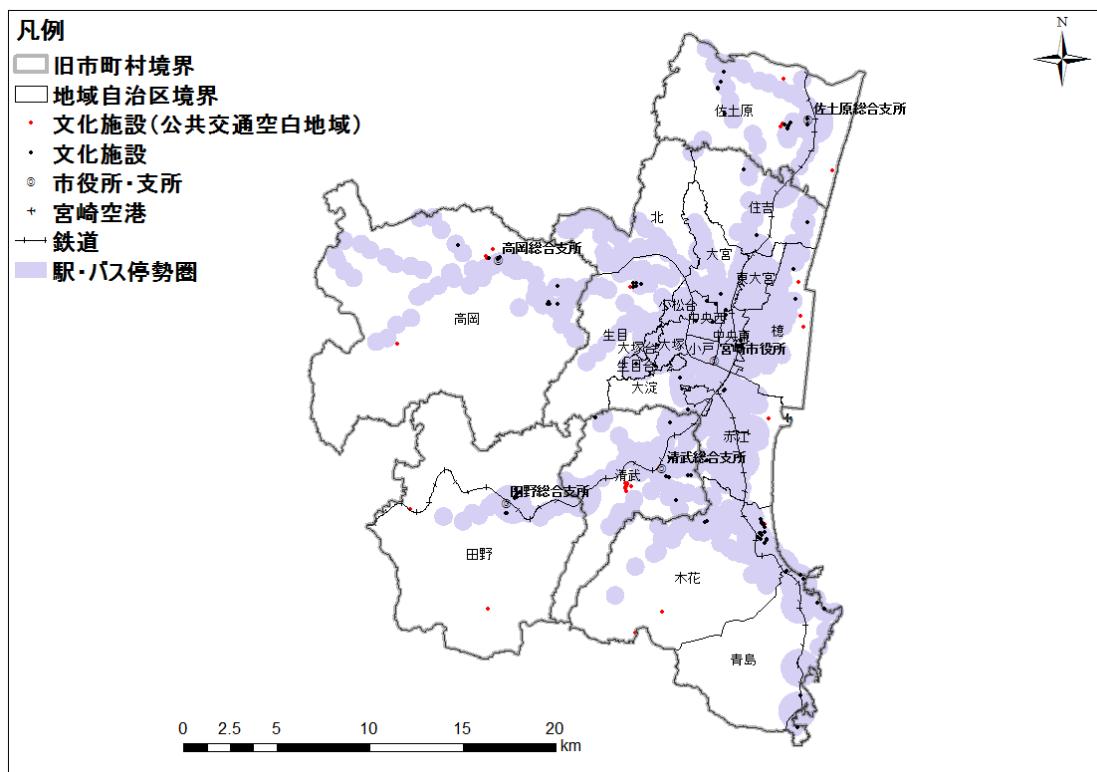


図 4.10 公共交通空白地域に立地する文化施設

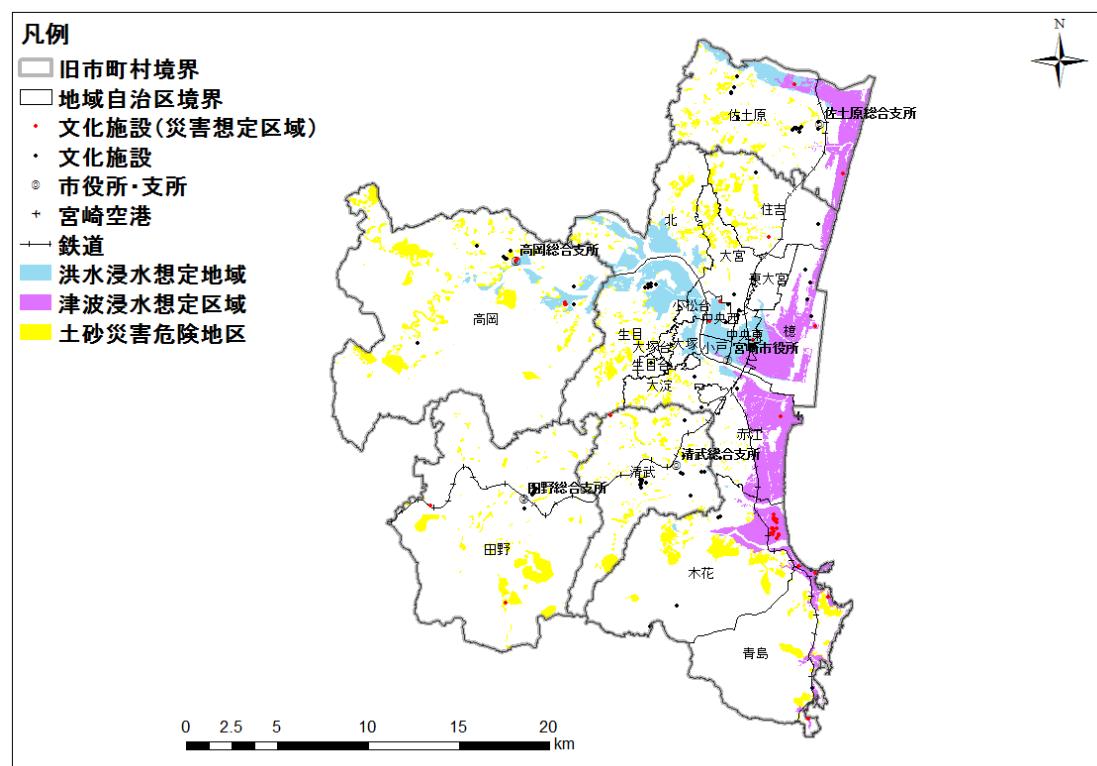


図 4.11 災害想定区域に立地する文化施設

✓ 学校の立地状況

表 4.5 に学校の立地状況を示す。また、公共交通空白地域に立地する学校の分布を図 4.12 に、災害想定区域に立地する学校の分布を図 4.13 に示す。

表 4.5 学校の立地状況

自治区	公共交通空白地域	災害想定区域	総数
高岡	1(25.0%)	3(75.0%)	4
佐土原	1(11.1%)	1(11.1%)	9
住吉	0 (0%)	0 (0%)	10
小戸	0 (0%)	1(100%)	1
小松台	0 (0%)	0 (0%)	1
清武	0 (0%)	0 (0%)	10
生目台	0 (0%)	0 (0%)	3
生目	0 (0%)	1(33.3%)	3
青島	0 (0%)	3 (100%)	3
赤江	0 (0%)	2(13.3%)	15
大宮	0 (0%)	0 (0%)	5
大塚台	0 (0%)	0 (0%)	1
大塚	0 (0%)	0 (0%)	5
大淀	1(16.7%)	1(16.7%)	6
中央西	0 (0%)	4(50.0%)	8
中央東	0 (0%)	3(60.0%)	5
田野	0 (0%)	0 (0%)	4
東大宮	0 (0%)	0 (0%)	2
北	0 (0%)	2(66.7%)	3
木花	0 (0%)	1(20.0%)	5
櫛	0 (0%)	7(70.0%)	10
全体	3 (2.7%)	29(25.7%)	113

公共交通空白地域に立地する学校は宮崎市全体で 3 校であり、それらは全て公立小学校及び中学校であるため、徒歩で通学するものであるため、問題はないと思われる。また、洪水や津波の際の避難所に指定されている学校であっても、洪水浸水予想地域や津波浸水予想地域に立地しているところもあることがわかった。

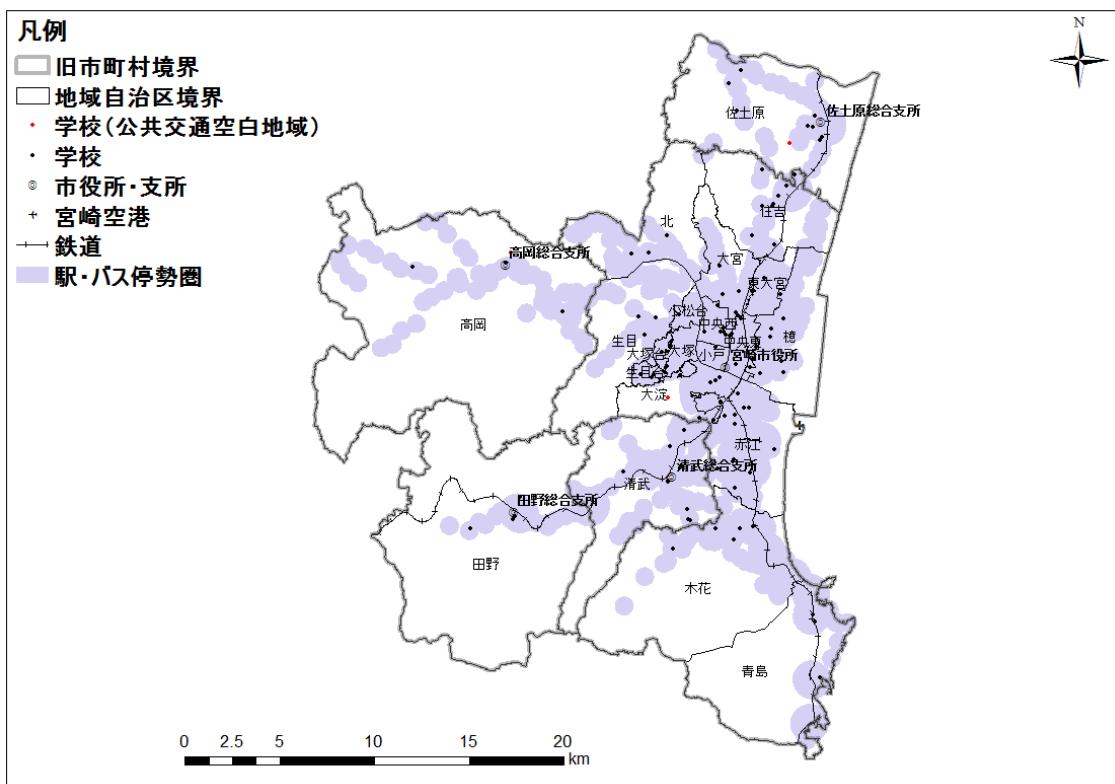


図 4.12 公共交通空白地域に立地する学校

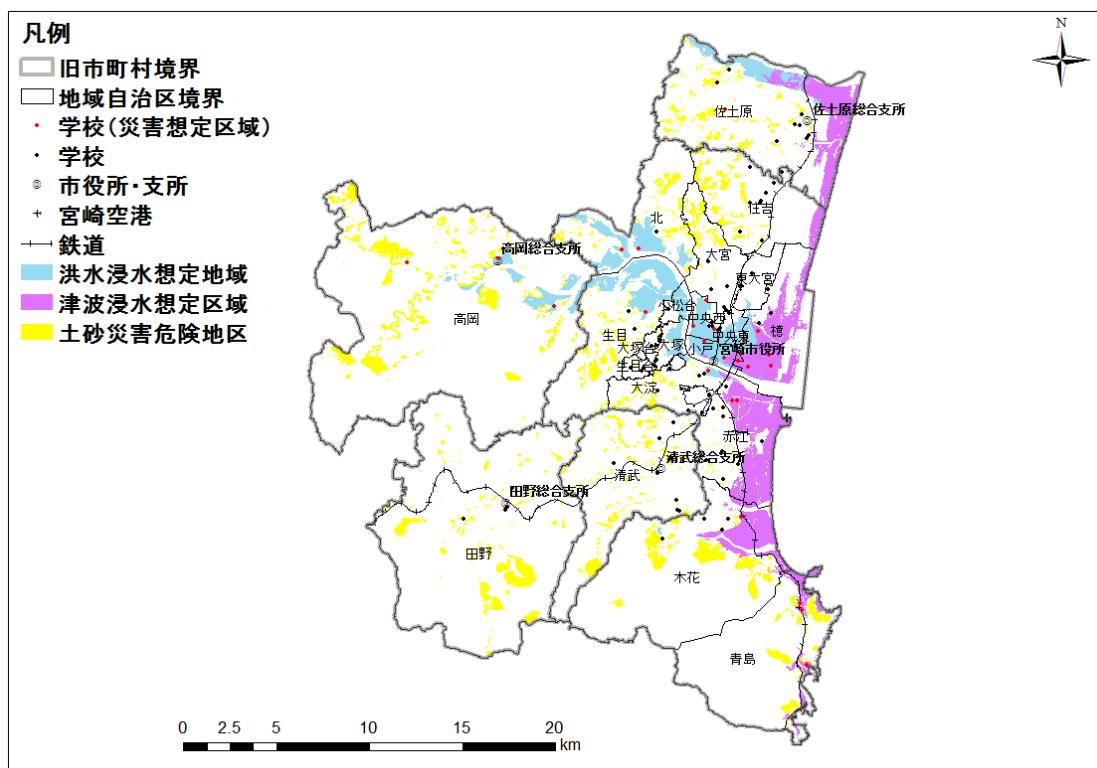


図 4.13 災害想定区域に立地する学校

✓ 商業施設の立地状況

表 4.6 に商業施設の立地状況を示す。また、公共交通空白地域に立地する商業施設の分布を図 4.14 に、災害想定区域に立地する商業施設の分布を図 4.15 に示す。

表 4.6 商業施設の立地状況

自治区	公共交通空白地域	災害想定区域	総数
高岡	0 (0%)	0 (0%)	1
佐土原	0 (0%)	2(28.6%)	7
住吉	0 (0%)	0 (0%)	8
小戸	0 (0%)	4 (100%)	4
小松台	0 (0%)	0 (0%)	2
清武	0 (0%)	1(20.0%)	5
生目台	0 (0%)	0 (0%)	1
生目	0 (0%)	0 (0%)	2
青島	0 (0%)	2 (100%)	2
赤江	0 (0%)	2(18.2%)	11
大宮	0 (0%)	0 (0%)	5
大塚台	0 (0%)	0 (0%)	2
大塚	0 (0%)	1(20.0%)	5
大淀	0 (0%)	0 (0%)	6
中央西	0 (0%)	5(83.3%)	6
中央東	0 (0%)	11(91.7%)	12
田野	0 (0%)	0 (0%)	4
東大宮	0 (0%)	0 (0%)	2
北	0 (0%)	3(75.0%)	4
木花	0 (0%)	1(50.0%)	2
櫛	0 (0%)	7 (100%)	7
全体	0 (0%)	39(39.8%)	98

すべての商業施設が公共交通の駅勢圏内に立地している。また、洪水浸水想定地域を多く含んでいる宮崎市の中心部に立地している商業施設が多いため、災害想定地域に含まれる商業施設の割合が高くなっている。

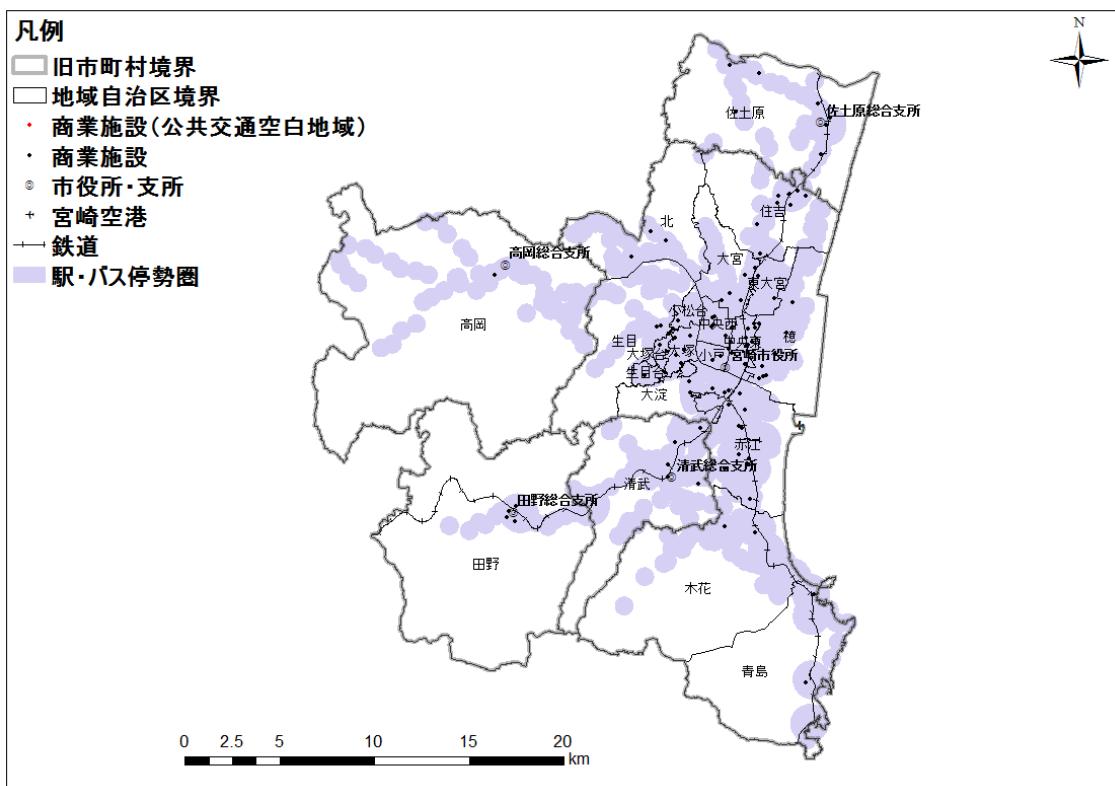


図 4.14 公共交通空白地域に立地する商業施設

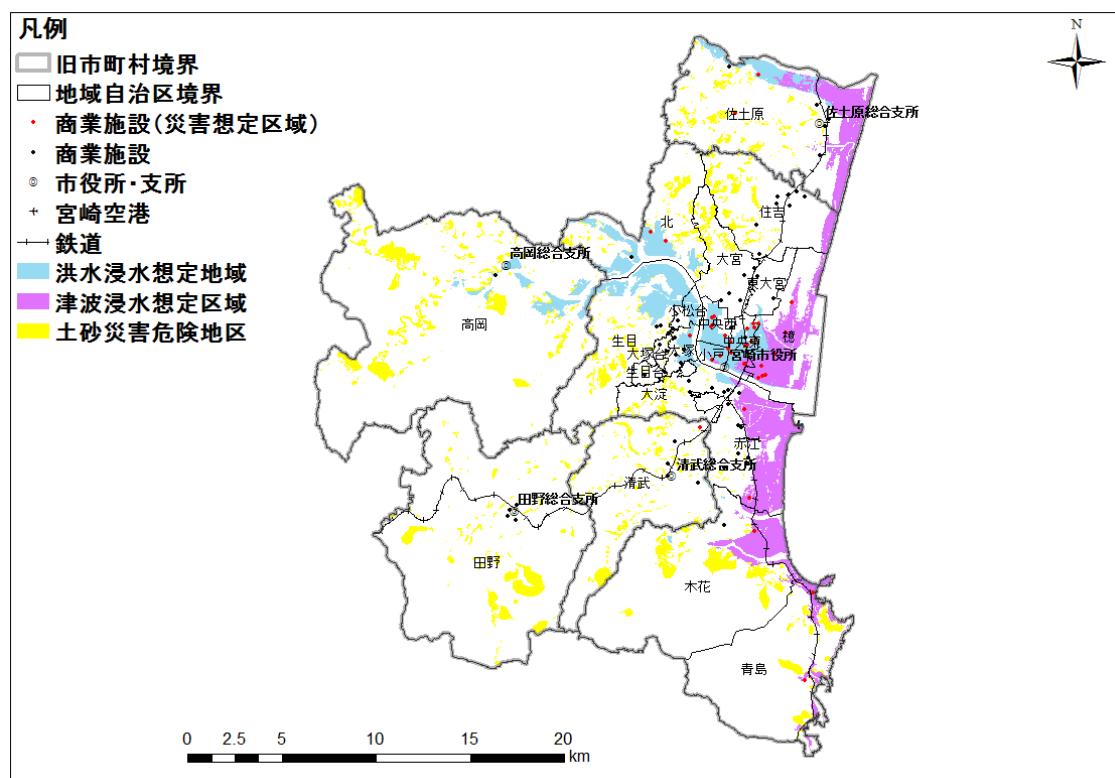


図 4.15 災害想定区域に立地する商業施設

✓ 世帯の立地状況

表 4.7 に世帯の立地状況を示す。また、公共交通空白地域に立地する世帯の分布を図 4.16 に、災害想定区域に立地する世帯の分布を図 4.17 に示す。

表 4.7 世帯の立地状況

自治区	公共交通空白地域	災害想定区域	総数
高岡	958(21.1%)	2,087(52.6%)	3,971
佐土原	2,173(20.3%)	1,425(13.3%)	10,720
住吉	633(10.3%)	312 (5.1%)	6,143
小戸	0 (0%)	3,692 (100%)	3,692
小松台	0 (0%)	964(33.1%)	2,910
清武	154 (1.7%)	433 (4.7%)	9,255
生目台	4 (0.2%)	30 (1.2%)	2,450
生目	625(20.6%)	1686(55.6%)	3,032
青島	5 (0.3%)	1,417(93.5%)	1,516
赤江	324 (1.7%)	4,839(25.4%)	19,052
大宮	126 (1.6%)	326 (4.1%)	7,961
大塚台	0 (0%)	47 (2.3%)	2,047
大塚	0 (0%)	2,481(36.3%)	6,830
大淀	239 (3.0%)	1,666(20.8%)	7,994
中央西	0 (0%)	4,512(71.3%)	6,330
中央東	0 (0%)	4,935(73.3%)	6,733
田野	1,141(29.9%)	99 (2.6%)	3,822
東大宮	12 (0.2%)	32 (0.7%)	4,834
北	460(21.6%)	1,159(54.4%)	2,131
木花	18 (0.4%)	1,445(28.7%)	5,034
櫛	361 (2.7%)	10,463(76.9%)	13,602
全体	7,233 (5.6%)	34,710(26.7%)	130,059

公共交通空白地域に立地する世帯は宮崎市全体では 5.6%(7,233 世帯/130,059 世帯)であるが、面積が大きく、集落が点在している地域自治区では比較的大きな割合をもっている。また、宮崎市中心部は洪水浸水想定区域に含まれるため、災害想定区域に含まれる世帯の割合は比較的大きくなっている。

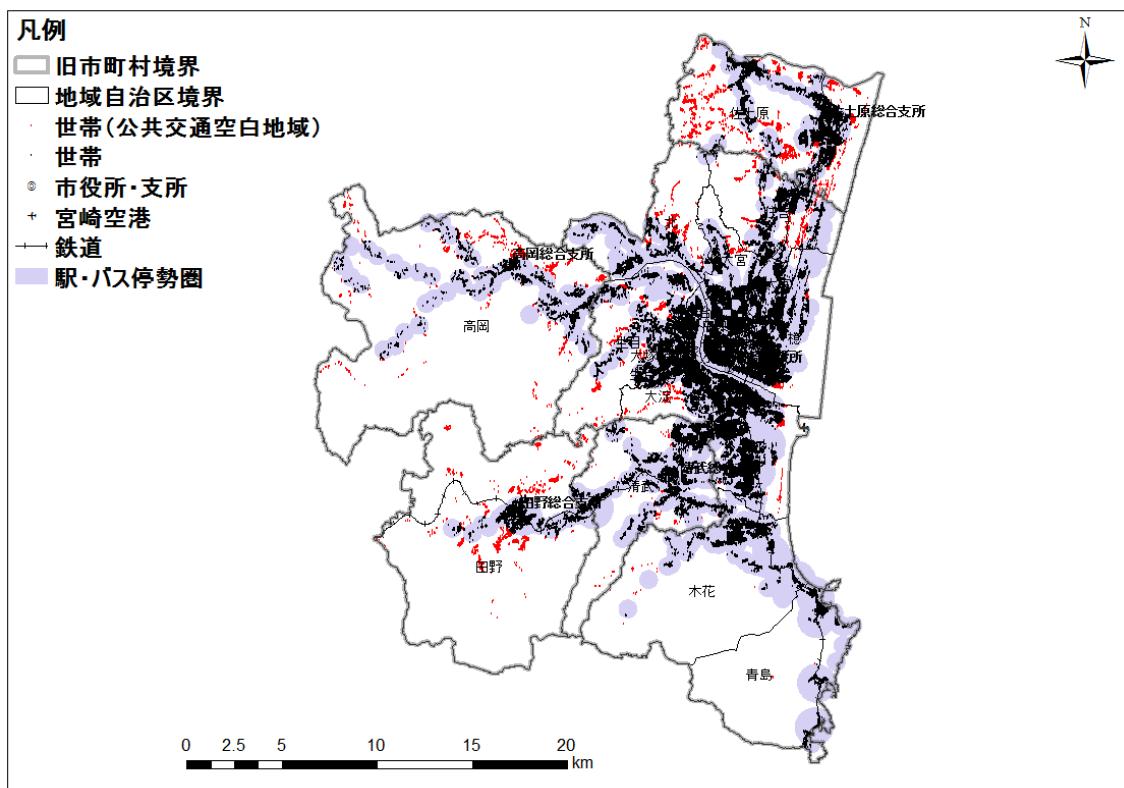


図 4.16 公共交通空白地域に居住する世帯

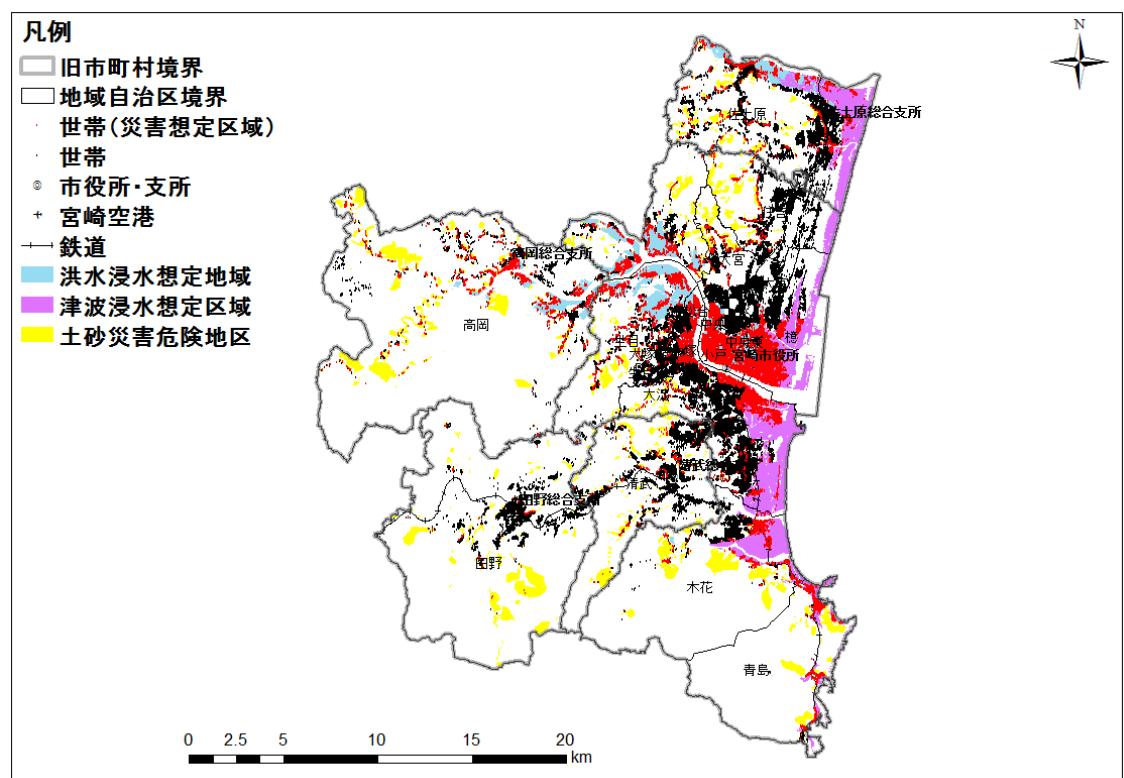


図 4.17 災害想定区域に居住する世帯

✓ 空き家率

各地域自治区の空き家の状況を表 4.8 に示す.

表 4.8 空き家状況

自治区	空き家数	総数	空き家率
高岡	585	5,275	11.1%
佐土原	1,114	14,352	7.8%
住吉	643	9,641	6.7%
小戸	1,737	10,074	17.2%
小松台	84	2,236	3.8%
清武	1,454	14,886	9.8%
生目台	158	3,340	4.7%
生目	404	5,900	6.8%
青島	285	2,148	13.3%
赤江	2,576	28,256	9.1%
大宮	1,804	20,567	8.8%
大塚台	298	3,422	8.7%
大塚	753	10,105	7.5%
大淀	1,448	13,462	10.8%
中央西	1,473	13,183	11.2%
中央東	2,650	17,140	15.5%
田野	510	5,264	9.7%
東大宮	---	---	---
北	204	2,801	7.3%
木花	483	7,760	6.2%
櫻	2,134	22,441	9.5%
全体	20,797	212,253	9.8%

宮崎市の中心部である地域自治区の空き家率が高くなっている. これは高齢化や人口減少だけでなく, 世帯数の増加などが原因と考えられる.

東大宮地域自治区に関してはデータがなかった.

✓ 都市経営に関する評価指標の推計結果

地域維持費用と税収入の推計結果及び都市経営に関する評価指標の結果を表 4.9 に示す。

表 4.9 都市経営に関する評価指標の推計結果

自治区	地域維持費用	税収入	地域維持費用/税収入
高岡	9,839.9	73,066.5	0.135
佐土原	34,600.2	177,216.5	0.195
住吉	16,811.1	99,165.8	0.170
小戸	3,562.5	33,900.6	0.105
小松台	3,753.7	33,392.2	0.112
清武	10,199.7	156,307.6	0.065
生目台	2,224.5	33,521.7	0.066
生目	7,519.0	55,268.3	0.136
青島	8,092.1	21,510.3	0.376
赤江	89,503.2	230,113.0	0.389
大宮	6,021.2	93,644.4	0.064
大塚台	1,593.1	23,479.5	0.068
大塚	4,924.6	77,552.1	0.064
大淀	7,232.2	96,413.9	0.075
中央西	6,580.4	68,277.5	0.096
中央東	10,189.3	85,194.9	0.120
田野	9,261.6	79,508.8	0.116
東大宮	4,805.7	60,202.3	0.080
北	4,947.7	42,128.4	0.117
木花	42,577.2	75,153.8	0.567
櫛	103,023.3	161,550.9	0.638
全体	387,262.2	1,776,568.9	0.218

単位は百万円

津波浸水予想地域を多く含んでいる海岸沿いの地域自治区の地域維持費用が高くなっている。これは、南海トラフ地震による津波の被害を大きく受け、また沿岸部に防潮堤を整備しているためであると考えられる。また、世帯数が多く、宅地面積が広い地域自治区の税収入が大きくなっている。

● 評価指標の地域自治区間比較

各項目において平均 μ , 標準偏差 σ を算出, 各項目の値 x_i を用いて

$$\text{偏差値 } T = 50 + 10 \times \frac{(x_i - \mu)}{\sigma}$$

より各地域自治区の各項目の偏差値を算出した.

ただし, 公共交通空白地域に立地する商業施設はなかったので, すべての地域自治区の偏差値を 50 とした. その結果を次ページ表 4.10 に示す. また, 表において
○○/交通は交通空白地域に含まれる○○施設の割合
○○/災害は災害想定区域に含まれる○○施設の割合
維持/税収は地域自治区の地域維持費用を税収入で除したもの
である.

この結果より, 他の地域自治区と比較した際に, 各地域自治区においてどの分野の指標が高くなっているかが得られ, 各地域自治区の特徴を把握することができた.

表 4.10 地域自治区間の比

自治		高岡	佐土	住吉	小松	戸	小戸	清武	生目	生目	赤江	大宮	大塙	大塙	大塙	中央	中央	東大	北	木花	穂	
医 療	79 .9	62 .0	77 .6	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .8	45 .4		
福 祉	62 .2	69 .0	54 .9	43 .8	43 .8	47 .8	43 .8	49 .6	46 .1	43 .8	43 .8	43 .8	62 .2	43 .8	43 .8	51 .7	43 .8	43 .8	43 .8	43 .8		
行 政	59 .6	71 .8	44 .0	44 .0	44 .0	44 .0	44 .0	69 .0	44 .0	44 .5	44 .0	44 .0	64 .8	44 .0	44 .0	69 .0	44 .0	44 .0	44 .0	44 .0		
文 化	52 .6	52 .8	44 .3	44 .3	44 .3	44 .3	44 .3	80 .3	44 .3	73 .3	44 .3	44 .3	44 .3	44 .3	44 .3	55 .4	44 .3	44 .3	52 .6	46 .3		
学 校	84 .5	63 .2	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	71 .7	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1	46 .1		
商 業	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0	50 .0		
世 帯	68 .0	64 .0	53 .8	43 .2	43 .2	44 .9	43 .9	43 .4	64 .6	43 .6	44 .6	43 .6	43 .6	43 .6	43 .6	43 .6	73 .9	43 .5	65 .4	43 .6	46 .0	
医 療	63 .0	43 .9	38 .0	66 .5	61 .0	39 .8	38 .8	44 .3	66 .0	45 .7	39 .5	38 .5	49 .9	48 .5	48 .5	61 .9	38 .9	38 .9	55 .5	51 .9	59 .6	
福 祉	51 .2	46 .4	41 .6	69 .0	62 .9	38 .5	38 .5	54 .0	69 .0	46 .0	38 .5	38 .5	48 .7	47 .4	64 .7	57 .8	40 .7	38 .7	48 .5	51 .7	57 .3	
行 政	55 .1	44 .2	41 .5	65 .8	50 .5	41 .5	41 .5	46 .4	65 .8	48 .8	41 .5	41 .5	41 .5	41 .5	41 .5	65 .8	43 .9	41 .5	65 .8	59 .7	49 .6	
文 化	67 .2	46 .3	46 .5	50 .6	42 .6	44 .6	42 .6	42 .6	60 .6	55 .3	42 .6	42 .6	42 .6	42 .6	42 .6	73 .6	47 .6	42 .6	42 .6	68 .6	47 .9	
学 校	63 .2	44 .7	41 .5	70 .4	41 .5	41 .5	41 .5	51 .2	70 .4	45 .4	41 .5	41 .5	46 .3	46 .3	46 .3	56 .0	41 .9	41 .5	60 .8	47 .3	61 .8	
商 業	41 .7	49 .0	41 .7	67 .0	41 .1	46 .7	41 .7	67 .0	46 .3	46 .7	41 .7	41 .7	46 .8	46 .8	46 .8	64 .7	41 .7	41 .7	60 .7	54 .7	67 .0	
世 帯	55 .2	42 .9	40 .3	70 .1	49 .1	40 .2	39 .1	56 .2	68 .1	46 .0	39 .0	50 .1	45 .2	61 .1	61 .1	61 .1	39 .0	38 .9	38 .8	55 .7	47 .7	62 .9
空 き	56 .1	44 .2	44 .3	72 .4	36 .5	52 .6	38 .6	44 .9	62 .0	50 .7	49 .9	46 .6	55 .3	56 .3	56 .3	67 .4	50 .0	45 .9	42 .9	51 .8	58 .1	
維 持	47 .3	49 .0	45 .4	45 .5	43 .9	43 .1	43 .1	47 .4	62 .1	43 .1	43 .2	43 .2	46 .0	46 .0								

● 各地域自治区の評価指標

各地域自治区の評価結果は添付資料 X に掲載する。

v) まとめ

本研究により、GIS データを用いて、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及び世帯数の割合が算出された。また、宮崎市水道メーター調査より空き家率が明らかになった。GIS 上のインフラデータを用いることで、どれくらいの量の地域維持費が必要となるのかが推計された。また、地目別面積によって、各地域自治区で生み出される固定資産税と個人市民税を推計した。これらの結果を基に各地域自治区の特徴を把握することができた。その結果、以下のことが明らかになった。中心部では、公共交通網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総じて低くなっているが、大淀川が通っているため、災害に関する安全性の値が高くなっている。また、都市が郊外に進出していったため、空き家の数が多くなり、空き家率に関する安全性の値も高くなっているということがわかった。中心部を全面移転させることは現実的でないため、一部の地域に施設や世帯を集約させ、河川堤防や排水ポンプの整備などによって、集約地域のみを守っていくことが望ましいと考えられる。中山間地域では、それぞれの地域自治区ごとに特徴があることが分かった。田野地域自治区などの面積が大きく集約が点在している地域自治区は、公共交通に対する生活利便性の値が高くなっているため、公共交通空白地域に立地する施設を公共交通の駅勢圏に集約することが望ましいと考えられる。また、青島地域自治区や木花地域自治区といった海岸沿いにある地域自治区では、ほとんどの施設及び世帯が南海トラフ地震による津波浸水想定区域に立地している。そのため、大規模な防潮堤を整備することと津波浸水想定区域から徹底することが考えられるが、今後の厳しい財政では、整備した防潮堤を維持していくことは難しいと考えられるため、施設及び世帯を安全な地域へ集約させることが望ましいと考えられる。また、中心地から比較的近いところにあって、ベッドタウンとして比較的、洪水浸水想定区域をほとんど含まない、生目台地域自治区、大塚台地域自治区、大宮地域自治区、東大宮地域自治区はすべての項目において低い値をとっていることがわかった。

今後の課題としては、他の評価項目を考慮することが挙げられる。本研究では、生活利便性、安全性、都市経営の 3 つに着目したが、エネルギー効率といった環境面や、事務所や工場などの職場の数といった地域の経済面などを考慮することでより細かく地域を評価することができると予想される。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成 23 年度国土交通白書，2006
- 2) 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, 都市計画論文集, Vol.46, No.3, pp.315-320, 2011
- 3) 中井秀信, 森本章倫 : コンパクトシティ政策が民生・交通部門のエネルギー消費量に与える影響に関する研究, 土木学会論文集 D, Vol.64, No.1, pp.1-10, 2008
- 4) 根市政明, 土屋貴佳, 室町泰徳 : 都市のコンパクト化による都市施設マネジメント費用の変化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, No.1, pp.217-222, 2007

- 5) 佐藤晃, 森本章倫 : 都市のコンパクト化の度合が維持管理費に与える影響に関する研究, 都市計画論文集, No.44-3, pp.535-540, 2009
- 6) 和田夏子, 大野秀敏 : 都市のコンパクト化の費用評価－長岡市を事例とした都市のコンパクト化の評価に関する研究 その 2－, 日本建築学会環境系論文集, 第 78 卷, 第 687 号, pp.419-425, 2013
- 7) 河村幸宏 : 名古屋都市圏におけるエコ・コンパクトな市街地形成, 平成 22 年度名古屋都市センター研究報告書, No.91, 2011
- 8) 外薗宏介, 富永透見, 谷口守 : 簡易なポイントアクセシビリティ指標の開発－都市機能遊蕩区域と居住誘導区域の設定検討に向けて－, 第 34 回交通工学研究発表会論文集, pp.637-641, 2014
- 9) 児玉寛貴, 樋口秀, 中出文平, 松川寿也 : 地方都市における固定資産税収の空間的把握と都市間比較に関する研究－長岡市・松本市・高知市・上田市を対象としたケーススタディー, 都市計画論文集, Vol.46, No.3, pp.505-510, 2011
- 10) 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
- 11) 古田真紀, 森本章倫, 古池弘隆 : 道路容量からみた東京都区部の都市構造の事後評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.287-293, 2000
- 12) 国土交通省 : 都市構造の評価に関するハンドブック, 2014
- 13) 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

② 災害復旧費用を含めた広義の地域維持費用の推計

i) 都市構造データベースの構築

宮崎県宮崎市を対象として、建物ポイントデータ（建物構造、建築年、世帯属性）、生活関連インフラ（道路、橋梁、上水道、下水道、各種公共施設などの整備量、整備年）、防災関連インフラ（堤防、砂防ダムなどの整備量）、災害危険性（砂災害、洪水、地震、津波など）などを含む GIS データベースのプロトタイプを構築する。

表-1 都市構造データベースの項目と内容

項目	内容
1) 人口動態	現在及び将来の世帯・個人属性別、地区別人口
2) 生活関連インフラ	道路、橋梁、上水道、下水道、各種公共施設などの整備量、更新時期
3) 防災関連インフラ	堤防、砂防ダムなどの整備量、更新時期
4) 災害危険性	土砂災害、洪水、地震、津波などのハザードマップ
5) インフラ維持管理・更新費用の原単位	表-2 を参照
6) 商業施設	大型小売店 スーパー・マーケット

表-2 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

ii) 都市構造データベースを用いた社会資本（インフラ）維持費用と災害復旧費用を合わせた広義の地域維持費用の試算例

ここでは、都市構造データベースを用いた、インフラ維持費用と災害復旧費用を合わせた広義の地域維持費用の試算例を示す。インフラ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 種類があり、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-9に示す。

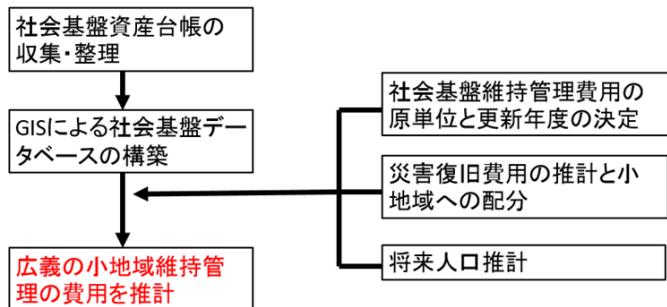


図-9 維持費用推計の流れ

本研究では、インフラ整備量の地域的偏在に加え、インフラの更新年度を加え、構築した都市構造データベースを活用することにより、いつ、どこで、どのインフラから、どの金額の更新費用が発生するかを把握できる。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。

● インフラ維持費用の推計手法

本研究の推計では道路、上水道、下水道、橋梁台帳、公共施設を対象とする。都市構造データベースのうち、道路に関する GIS データベースの例を図-10 に示す。

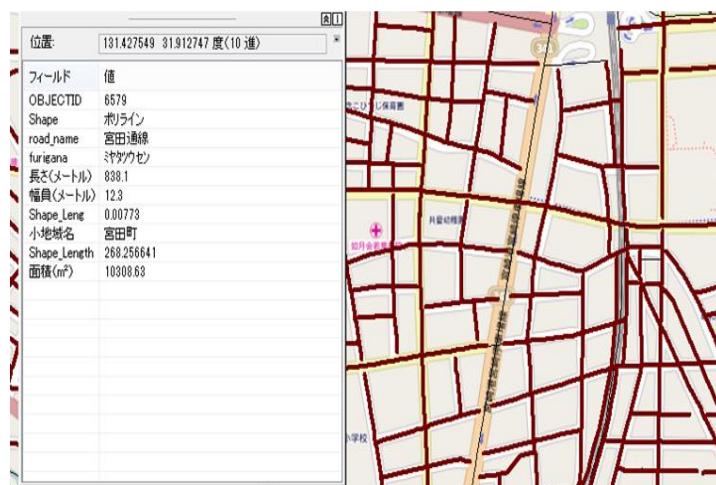


図-10 GIS 道路データベースの一例

インフラ維持費用の原単位と更新年度（表-1）の決定では、構築した都市構造データベースにより、インフラ整備量と、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、どのインフラから、いくらの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。

● 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-3に示す。

表-3 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 ¹⁾
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 ¹⁾
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 ²⁾
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 ²⁾

a) 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-11に示す。

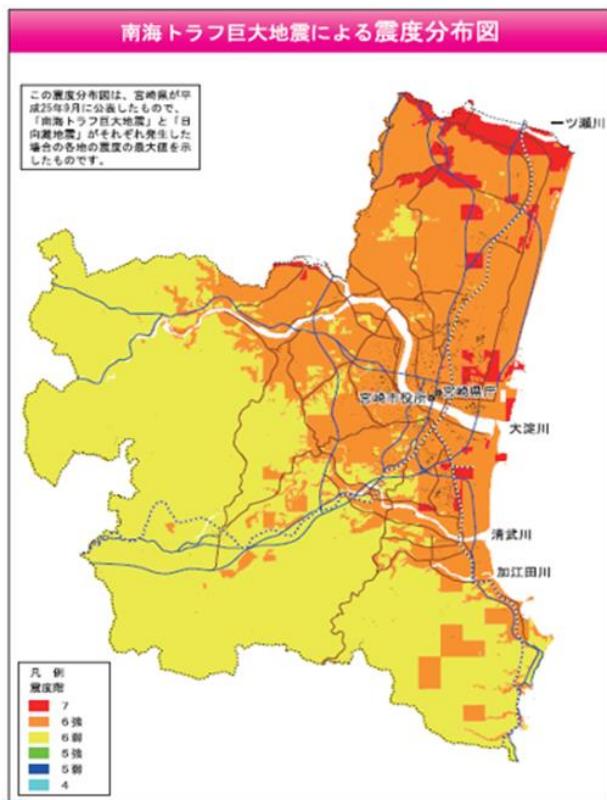


図-11 宮崎市における震度分布図³⁾

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-4 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-5 に示す。

表-4 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/km	114.0 万円/km	325.5 万円/km
上水道 下水道	1.6%	4.8%	21.7%
公共施設橋梁	15%	25%	35%

表-5 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 ¹⁾
上水道・下水道	管路施設の被害予測手法について ⁴⁾
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 ⁵⁾

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-4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。

b) 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-6）は次のようである。

表-6 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-7のように設定する。

表-7 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」を参考すると、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。

c) 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。