

低炭素性能評価システムを用いた 街区群再編プロセスの検討

戸川卓哉^{1*}・森田紘圭²・後藤良太²・加藤博和²・林良嗣²

¹国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

²名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-2(651))

* E-mail: togawa.takuya@nies.go.jp

都市と街区の間の空間スケールである「街区群」の単位で低炭素性能を評価するモデルシステムを開発し、それを用いて目指すべき街区群デザインを具体的に提示するとともに、現況ストックからそこに向かうためのプロセスを検討するための方法論を提示した。名古屋市都心部に位置する中区錦二丁目の長者町地区を対象として詳細な空間データベースを構築し、ケーススタディを実施した結果、CO₂排出量を削減しつつQuality of Life (QOL) を高めるためには、建物単独での技術導入だけでなく、街区群全体での計画的な更新が求められることが明らかとなった。また、建物更新を先送りした場合について検討を行った結果、技術開発の進展により高性能な技術の導入が可能となる一方、古い建物が残存することで、総CO₂排出量やQOL水準は低下することを明らかにした。

Key Words : low carbon city, district planning, Quality of Life, Triple Bottom Line, dynamic update

1. はじめに

低炭素社会を実現する一つの方法として、集約型都市構造への転換が注目されている。その基本的な考え方は、費用的にも環境的にも非効率な地区から利便性の高い都心・近郊部へと移転を進めるものであるが、集約する地域をどのようにデザインするかについては、いまだ議論が十分となっていない。人口増加に伴い、居住環境の大幅な劣化が起きる可能性もあり、居住者への大幅な生活レベルの低下を強いる可能性も想定される。集約型都市構造への転換を円滑に進めるためには、居住者の生活の質を確保しながら、着実に低炭素を実現できる空間構成を目指すことが重要であり、地区レベルでの低炭素性能を、居住者から見た住みよさと、維持管理や更新にかかる費用、CO₂排出量の面からバランス良く発展させていくことが求められる。

他方、東日本大震災以降、太陽光発電や電気自動車等を中心に、エネルギーや建築、交通などの分野において、低炭素社会実現に資する要素技術の発展が進んでいる。しかし、これら要素技術の低炭素性能は、それが適用される状況に伴って大きく変化する。全ての技術が性能を十分に発揮する状況が実際の社会で成立している保障

はなく、むしろ相互に矛盾している可能性も考えられる。逆に、各技術を相性良く組み合わせることによって、単独導入の単純合計よりもはるかに大きな効果を発揮することもありうる。すなわち、各技術をどのように組み合わせることが効率的であるか、あるいは各技術がその性能を十分に発揮できるための都市構造とは何かを検討することが必要である。

以上の背景を踏まえ、本研究では、集約型都市構造等の議論が進む「都市」と、各技術の開発や導入が進められている「建築」「街区」の間の空間スケールとして、関連の深い複数街区を一体として扱う「街区群」を対象に、2050年までの建築物の更新状況を予測し、各活動におけるCO₂排出量や費用、居住者の生活の質を評価できるモデルを開発する。また、開発されたモデルを用いて名古屋市の都心地区を対象にケーススタディを実施し、将来的に人口の集約を進める街区群として目指すべきデザインや、そこに至るまでのプロセスの検討を行う。

2. 低炭素街区群の事例と既往研究のレビュー

(1) 低炭素街区群の事例

スマートグリッドの概念が紹介されて以降、日本においても街区や建築物のスマート化に関する技術開発が進

められ、それらの技術を実証するためのモデル地区が建設されている。これらの実証地域では、低炭素技術が導入された住宅やインフラの整備が進められているものの、その目的は新技術の効果実証にあり、都市の大部分を占める既存市街地への展開を視野に入れたものとはなっていない。今後も低炭素技術の導入を売り物とした市街地開発が進むことが想定されるが、現在より市街地を拡大すれば、結果として既存市街地の衰退を招き、その地区の非効率化をもたらす可能性を孕んでいる。地域の低炭素化と都市構造の集約を同時に達成していくためには、既存街区群を対象として、既存の建築物の更新に合わせた段階的な導入を検討する必要がある。

(2) 既存の低炭素性能評価システム

都市の低炭素性能を評価する方法はこれまでも国内外で研究・開発が進められてきた。日本のCASBEE-まちづくり³⁾や北米のLEED for neighborhood development⁴⁾、英国のBREEAM⁵⁾が代表例である。これらは、地区デザインを決定する上で想定される居住性能や環境性能について、詳細なチェックリストを設けて評価・認証する仕組みであり、実際の開発計画と連動している点で大変有効である。しかし、計画・設計レベル（つまり、既に開発や施策を実施することが決定している段階）で適用されることが想定された評価システムであるため、個々の技術導入やデザイン上の配慮などのアウトプット指標を中心としており、開発の結果としてもたらされるアウトカムが把握できない。既存街区群を対象したまちづくりの構想段階においては、施策を行うべきか否か、どのような施策を組み合わせるべきか、といった判断を可能とするとともに、その結果もたらされるアウトカムによる評価を可能とするシステムが必要である。また、本研究が想定している既存市街地における導入・更新を検討する上では、一時点の開発のみにおける環境性能を評価するのではなく、時系列的な推移の把握が求められる。

以上を踏まえ、本研究では段階的な建物の更新に合わせ、時系列的にどのような施策・技術を導入していくかを検討することを可能とすることを目的に、将来の建物更新の状況を動的に予測し、それに合わせた更新プランを提示、評価できるシステムを構築する。

3. トリプルボトムラインによる低炭素性能評価システムの構築

(1) 評価システムの全体構成

低炭素性能評価システムの全体構成を図-1に示す。本研究で開発される低炭素性能評価システムは、時系列的な推移を把握するために必要な、将来の建物更新を予測

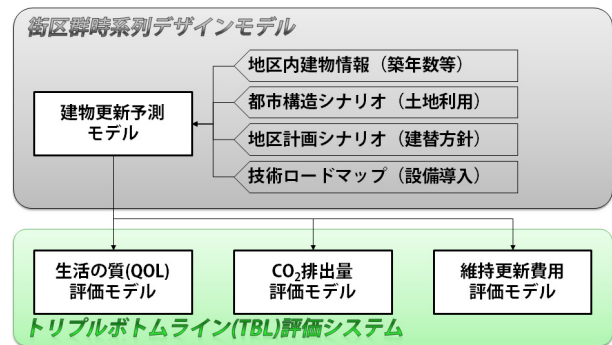


図-1 低炭素性能評価システムの全体構成

する1)街区群時系列デザインモデル、街区群の低炭素性能を、社会・経済・環境のトリプルボトムライン（TBL）⁶⁾の観点からそれぞれを評価する2)トリプルボトムライン評価システムから構成される。

(2) 建物更新予測モデル

a) 既存建物の更新予測

既存建物の更新予測には、実際の個別建築物の建替時期を予測することは困難であるため、モンテカルロ法を利用した更新予測モデルを構築した。具体的には、小松ら⁷⁾が算出した、築年数 a を説明変数とする建物構造 c の残存率関数 $R_c(t, a)$ から、 t 年において建物 i が残存している確率 $P_{i,c}(t, a)$ を式(1)のとおり算出し、1年ごとのシミュレーションを実施することで、地区内の建物更新状況を予測できるモデルとした。

$$P_{i,c}(t+1, a+1) = R_c(t, a) \cdot P_{i,c}(t, a) \quad (1)$$

b) 更新時における低炭素技術導入の考え方

新たに建設される建物においては、その建設時期に応じて導入できる低炭素技術の水準が異なる。具体的には、建物の断熱性、太陽光発電パネルの発電効率、燃料電池の発電効率等である。そのため本研究においては、今後の低炭素技術の技術革新について、国等の策定している既存計画^{8) 9) 10)}から表-1のとおり整理した上で、新たに建物が建設される場合、その時点における最新の性能を持った技術が導入されるものと想定した。

(3) 生活の質（QOL）評価モデル

本研究では、居住者が居住地から享受できる都市サービスを、「生活の質（QOL: Quality of Life）」によって評価する。QOLは居住地区における環境の物理量と、そこに居住する個人の主観的な価値観によって決定されるとし、その構成要素を加知ら¹¹⁾を参考に、空間使用性

（LU: Land Usability）、景観調和性（LS: Landscape）、自然環境性（NE: Natural Environment）、局地環境性（LE:

Local Environment) の4つの機能からなる「居住環境向上機会 (AM: Amenity)」と定義した (表-2)。

このAMに、居住者のQOLに対する価値観を表す重み w を乗じたものをQOL値と定義し、式(2)に示すように定式化した。

$$QOL = f(w, AM) \quad (2)$$

また、居住者の価値観を表す重みパラメータは、コンジョイント分析により推定した。住民アンケート調査によって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の選好結果を取得した上で、ロジットモデルを仮定してパラメータの最尤推定により w を特定した。なお、アンケート調査において各居住地の地震による死亡リスクを合わせて提示することで、AMの各要素と生存年数との相対的な重みを推定した。これによって、QOL値を医療分野において多くの適用事例がある「生活の質により調整された生存年数(Quality Adjusted Life Year: QALY)」¹²⁾の単位に統合して用いた。

(4) CO₂排出量評価モデル

環境面では、対象地区内で生活・維持管理する上で必要な活動を行う上で発生するライフサイクル全体でのCO₂排出量を評価の対象とする。具体的には、インフラ

や建物の建設から廃棄までの各段階におけるCO₂排出量 $E_{CO_2}^b$ 、民生(家庭、業務)におけるCO₂排出量 $E_{CO_2}^e$ 、交通活動におけるCO₂排出量 $E_{CO_2}^t$ を対象とし、標準的な設計や統計データを用いて、表-3に示すスケールベースを1単位として、それぞれの原単位を整理した¹³⁾¹⁴⁾。また、建築物・インフラのライフサイクル各段階の活動年次にそのまま環境負荷が発生するものとし、式(3)を用いて算出できるものとした。

$$E_{CO_2} = E_{CO_2}^b + E_{CO_2}^e + E_{CO_2}^t \\ = \sum_x \sum_l e_{x,l}^b \cdot X_{x,l} + \sum_y e_y^e \cdot A_y + \sum_z e_z^t \cdot L_z \quad (3)$$

ここで、 $e_{x,l}^b$ ：インフラ・建物種別 x の段階 l (建設、維持管理、廃棄) における単位量あたりCO₂排出量、 e_y^e ：民生におけるエネルギー種別 y の単位量あたりCO₂排出量、 e_z^t ：交通機関 z のトリップ1kmあたりCO₂排出量、 $X_{x,l}$ ：各インフラ・建物の段階 l の存在量、 A_y ：エネルギー種別ごとの使用量、 L_z ：対象地区内において発生する交通機関別年間トリップ長。

このうち、エネルギー消費量については、各建物における低炭素技術の内容によって、値が大きく変わることが想定されるため、建物用途(業務・商業・住宅等)とエネルギー需要用途(冷暖房、給湯、電力)ごとのエネルギー需要特性¹⁵⁾から、建物別に時間別月別エネルギーシミュレーションを実施することで A_y を算出した。

表-1 本研究で想定する低炭素技術の将来値の例

技術	性能指標	2010年	2050年
太陽光発電	発電効率	16%	40%
燃料電池CGS	発電効率	32%	40%
建物断熱性	Q値	1.9	1.0
電気自動車	電費	10km/kWh	12km/kWh
LED	発光効率	100 lm/W	200 lm/W
エアコン	COP(冷/暖)	4.0/6.0	8.0/12.0

表-3 インフラ・建物、民生、交通の検討スケール

分類	検討対象	スケール
インフラ	道路	道路面積(m ²)
	上水道	管路延長(m)
	下水道	管路延長(m)
建物	木造	延床面積(m ²)
	非木造	延床面積(m ²)
エネルギー	電力	電力消費量(kWh)
	都市ガス	ガス消費量(m ³)
交通		トリップ長(km)

表-2 各AM要素の概要と算出方法

機能	環境要素	評価内容	測定指標	概要及び算出方法
空間 使用性	私的空間	住宅のゆとり	1人あたり 占有延べ床面積	1人あたりが私的に占有できる面積であり、各住宅延床面積から1世帯に必要な住宅設備面積(15m ² と仮定)を減じたのち、世帯人員で除したものの。
	公的空間	街路の柔軟性	ln(飲食店・商店数)	街区群内(歩いて通える範囲)に存在する飲食店数、商店数。
景観 調和性	公的空間	街並みの連続性	第一建築タイプ 面積割合	街区群内で最も多い建築物タイプ(形式および用途)が占める敷地面積を、街区群全体の面積で除したものの。
自然 環境性	私的空間	敷地内の緑	緑地占有性	個人が管理・利用できる屋外空間の有無。一戸建てなど独占的な領域の場合は1、共有庭の場合は0.5、全く敷地内に緑がない場合は0としている。
	公的空間	屋外の開放感	オープンスペース率	街区群におけるオープンスペース(広場、歩道、中庭など人が入れる屋外スペース)が占める面積を、街区群内全体の面積で除したものの。
局地 環境性	私的空間	日あたりのよさ	平均日照時間	居住用途の建築物が日照を確保できる平均時間数。春分における各建物の日照時間を3Dシミュレーションにより算出。
	公的空間	外の過ごしやすさ	8月の外気温	8月における平均最高気温。気候値メッシュ統計より算出。

(5) 市街地維持更新費用評価モデル

経済面では、対象地区内で活動を行うにあたりライフサイクル全体で発生する費用を評価の対象とする。CO₂排出量と同様に、インフラや建物の建設から廃棄までの各段階における費用 C^b 、民生（家庭、業務）における費用 C^e を対象とし、原単位を整理したうえで¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、式(4)を用いて算出できるものとした。

$$C = C^b + C^e$$

$$= \sum_x \sum_l c_{x,l}^b \cdot X_{x,l} + \sum_y c_y^e \cdot A_y \quad (4)$$

ここで、 $c_{x,l}^b$ ：インフラ・建物種別 x の段階 l （建設、維持管理、廃棄）における単位建設・存在量あたり費用、 c_y^e ：民生におけるエネルギー種別 y の単位活動量あたり費用。

3. 名古屋都市圏を対象としたケーススタディ

(1) ケーススタディ地区の概要

構築したモデルを用いて、名古屋市の都心地域である長者町地区（中区錦二丁目）を対象に、ケーススタディを実施した。長者町地区は、古くは繊維問屋として栄えた地区である一方、近年においてはスモールビジネスや飲食店、マンションが増加している地域である。しかし、小さな敷地に建物がひしめき合っていることから、現状においては居住地域として必ずしも望ましい状態とはなっていない。今後、名古屋市が集約型都市構造を目指していく上では、居住地としても望ましい状態への転換が求められている。

(2) 分析シナリオの設定

分析を行う上では、2050年まで現在の建物がそれぞれ自由に建替を行う「なりゆきシナリオ」と、建築年数が近い建物同士の更新を街区単位でまとめて実施する「共同更新シナリオ」の2ケースを設定した（表-4）。また、更新時期をコントロールすることで、低炭素性能への影響がどの程度期待できるかの感度分析を実施するため、共同更新シナリオにおいては、建替が10年早く発生する場合と、10年遅くなる場合とを合わせて分析した。

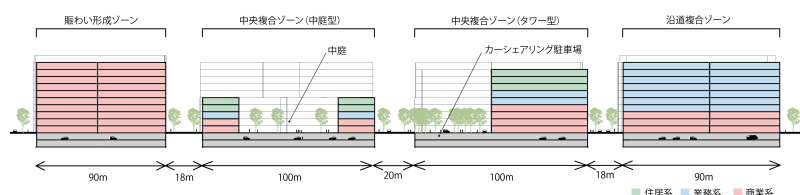
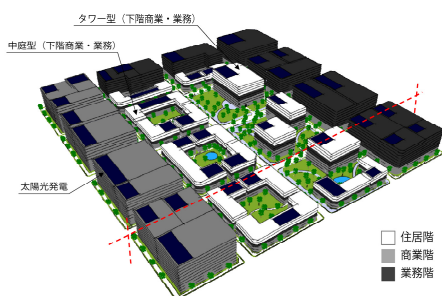


図-2 共同更新シナリオの計画イメージ（俯瞰図及び立面図）

全てのケースにおいて、2050年までの名古屋市の目指す集約型都市構造への目標設定を踏まえ、世帯数変化は2010年比で1.8倍、就業者人口は1.4倍とした。

その他、共同更新シナリオの作成にあたっては、以下の観点を考慮した（図-2）。

- ・居住世帯あたり、就業者あたりに占める延床面積の割合はなりゆきシナリオと同様とした。
- ・対象地域のまちづくり方針に従い、外側街区に商業・業務用途、中心部に住商混在の用途を配した。
- ・住商混在地域において、容積率300%以下を中層型、300%を超える建物をタワー型として計画した。
- ・新たな建物に居住する住民はカーシェアリングシステムを利用するものと仮定した。
- ・従来の建築物の過半数が建て替わると同時に新たな建物への更新が発生するものとした。
- ・世帯構成を単独世帯中心から、2〜3人世帯を増加させた。

(3) 建物更新の予測結果

各シナリオにおける10年間隔での更新予測結果の例を図-3に示す。なりゆきシナリオでは、更新後も同一の場所に建物が建設されるため、40年を通じて段階的に建替が発生する。また、限られた敷地で現在以上に延床面積を確保することが必要であるため、現在以上に建物のボリュームにばらつきが発生し、凹凸の大きい空間構成となる可能性が懸念される。一方、共同更新シナリオでは、まとまった敷地を確保するために一定の時期を要することから、2020年までの10年間においては建物の滅失のみ

表-4 各シナリオで導入を検討する施策

分野	なりゆきシナリオ	共同更新シナリオ
建築設備	○断熱性、通風性能 ○コージェネレーション ○太陽光発電 ○蓄電池、蓄熱槽	同左
土地利用	—	○街区群内土地利用のゾーニング ○平均世帯人員の増加（2〜3人世帯割合増加）
空間構成	—	○街区単位での共同更新 ○北側建物の高層化 ○オープンスペース等の確保（中層型、タワー型建築）
交通	○電気自動車	○電気自動車 ○カーシェアリング

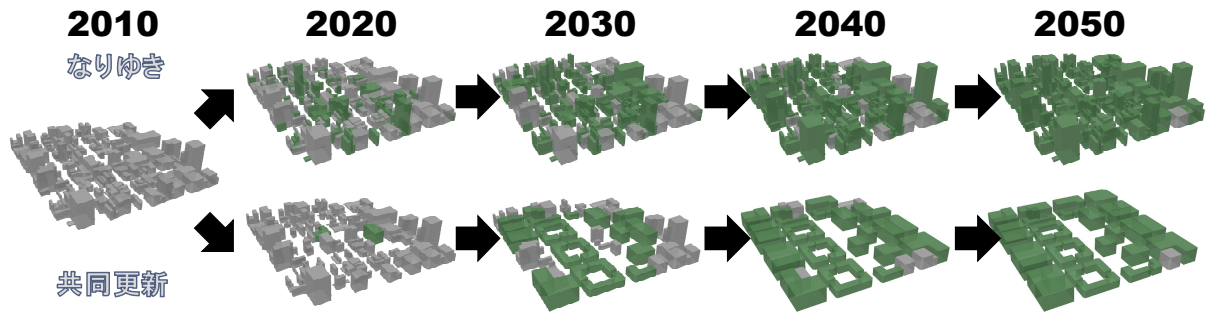


図-3 建物更新の予測結果(10年単位)

が発生し、2020年から2030年頃にかけて建物の更新が集中することが予測される。

(4) 低炭素性能の評価結果

a) 生活の質（QOL）の算出結果

なりゆきシナリオ、共同更新シナリオのQOL算出結果を図-4に示す。なりゆきシナリオでは、現状から徐々にQOLが低下し、2010年の1.00から2050年には0.97となる一方、共同更新シナリオでは、2020年頃からQOLが大幅に向上し2050年には1.26となる。

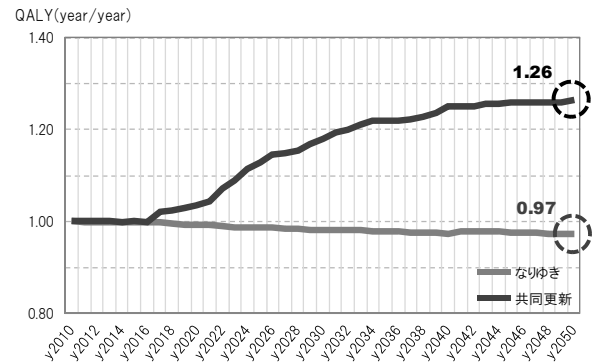


図-4 QOLの推移(2010年～2050年)

2050年におけるQOL増減の内訳を図-5に示す。なりゆきシナリオにおけるQOL低下は、特に街区景観の連続性、日照時間による影響が大きく、無秩序な更新が、街区群全体の住みよさを損なうことに大きく影響している。一方、共同更新シナリオでは、計画的な空間構成によりオープンスペースや緑の確保、景観、日照時間が向上した。

なお、建物更新を全体的に10年遅めた場合においては、2050年時には古い建物が残存し、それがQOL低下に影響している。

b) CO₂排出量の算出結果

2010年時の状況、なりゆきシナリオ、共同更新シナリオの2050年時の1人あたりCO₂排出量算出結果（業務・建設部門を除く）を図-6に示す。民生や交通では低炭素技術の導入により、なりゆきシナリオにおいても大幅なCO₂排出量の減少が期待でき、2010年と比較して民生で約56%、交通においては約85%が削減できる。さらに、共同更新することで、用途混在と共同更新によるエネルギー需要の平準化・効率化、カーシェアリングの導入などにより、なりゆきシナリオから更に約8%（両部門計）削減できる。インフラや住宅建設、維持管理により発生するCO₂排出量は、地区内人口の増加と土地利用の効率化（延床面積あたり人口の増加）により、1人あたりCO₂排出量が減少している。全体で、2010年からなりゆきシナリオで60%、共同更新シナリオで65%の削減が期待できる。

次に、2010年から2050年にかけての1人あたりCO₂排出量の推移を図-7に示す。なりゆきシナリオにおいては、2050年に向かってなだらかにCO₂排出量が減少傾向となっている一方、共同更新シナリオでは、建物の減失が先

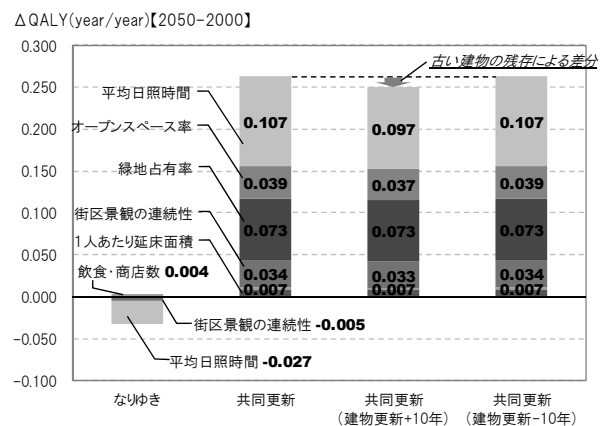
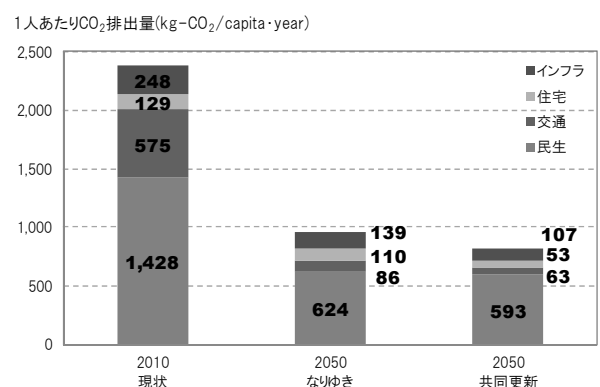


図-5 QOLの内訳(2050年、各シナリオ)

図-6 シナリオ別の1人あたりCO₂排出量比較結果

行する2020年まではCO₂排出量が増加し、その後急激にCO₂排出量が減少する。そのため、40年間の総CO₂排出量では共同更新のほうが大きくなっている。

また、更新時期を10年早めた場合と遅めた場合では、共同更新シナリオの推移を10年間スライドさせた傾向となっている。しかし、地区の土地利用配置状況が同等と

なる10年単位でそれぞれのCO₂排出量を比較すると、更新を遅めた場合の方が新しい技術導入が進み、他のシナリオよりもCO₂排出量が小さい。

c) 維持更新費用の算出結果

シナリオ別の維持更新費用（業務・建設部門を除く）算出結果を図-8に示す。CO₂排出量と同様の傾向で推移しているが、各シナリオ間での2050年次の費用のばらつきは大きく、なりゆきシナリオと共同更新シナリオとで1万円近くの差がみられる。また、建物更新を10年早めた場合、現在と同水準の建物では、築年数に応じて維持管理費用が大きくなることから、共同更新を実施した場合においても、2050年ではなりゆきシナリオと同程度の費用が生じる。

4. おわりに

本研究では、既存街区群に対して、築年数などの実データから建物更新を1年間隔で予測し、TBLの観点から評価するモデルを構築した。これにより、既存街区群を計画的に低炭素化していくために必要な時系列でのデザインを計画することが可能となった。また、ケーススタディにより得られた知見は以下のとおりである。

- ・高度利用地区においては、敷地ごとの建替よりも、街区単位での建替のほうが住民のQOL向上に寄与し、CO₂排出量や費用削減も可能となる。
- ・共同更新を実施する場合、一時的な未利用地の増加、建替時期の集中が予想され、街区全体での計画的な更新プロセスの立案が重要となる。
- ・更新時期を早めた場合のほうが、遅らせた場合よりもCO₂排出量や費用の削減が早期に実現する。

謝辞：本研究は、環境省地球環境研究推進費E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1)北九州市環境局環境未来都市推進室 HP,
http://www.city.kitakyushu.lg.jp/kankyou/file_0359.html
- 2)豊田市低炭素社会システム実証推進協議会 HP,
<http://www.teitanso-toyota-city.com/index.html>
- 3)日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム（建築物の総合環境評価研究委員会）：CASBEE-まちづくり評価マニュアル，建築環境・省エネルギー機構，2007。
- 4)The U.S Green Building Council Inc.：LEED 2009 for Neighborhood Development，2011。
- 5)BRE Global Ltd.：BREEAM Refurbishment Domestic Buildings Technical Manual SD5072-1.0，2012。
- 6)John E.：Cannibals with Forks，New Society Publishers

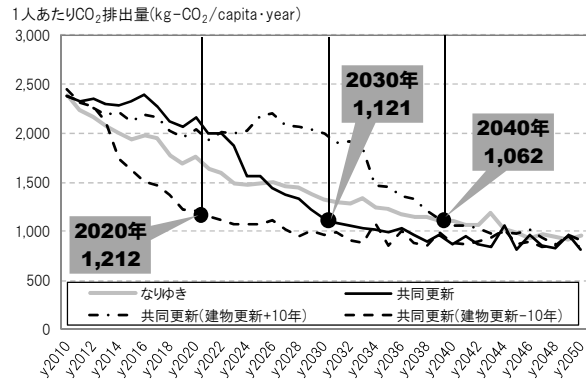


図-7 1人あたりCO₂排出量の推移

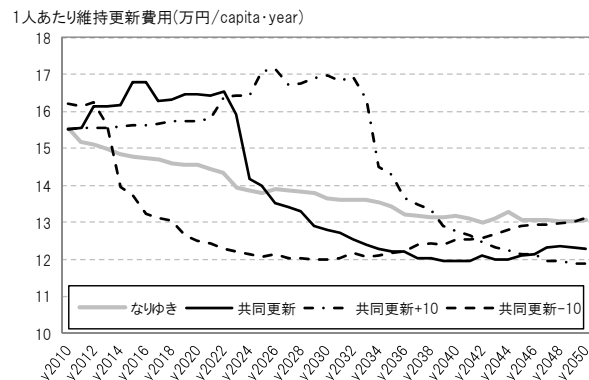


図-8 1人あたり維持更新費用の推移

7)小松幸夫，加藤裕久，吉田倬郎，野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告，日本建築学会計画系論文報告集，No.439，p.101-110，1992。

8)経済産業省：Cool-Earth エネルギー革新技術計画，2008

9)新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO 次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ 2008，2009

10)新エネルギー・産業技術総合開発機構：太陽光発電ロードマップ（PV2030+），2009

11)加知範康，加藤博和，林良嗣：汎用空間データを用いて居住環境レベルの空間分布を QOL 指標で評価するシステムの開発，都市計画論文集，Vol.43-3，pp.19-24，2008。

12)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，土木学会論文集 D，Vol.62 No.4，pp.558-573，2006。

13)産業環境管理協会：JLCA-LCA データベース，2007。

14)後藤直紀，柴原尚希，加知範康，加藤博和：都市域縮退策による環境負荷削減可能性検討のための推計システム，第 16 回地球環境シンポジウム講演集，pp.97-102，2008。

15)柏木孝夫，日本エネルギー学会：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008，日本工業出版，2008。

16)国土交通省建築着工統計調査（2011），

http://www.mlit.go.jp/statistics/details/jutaku_list.html

17)国土交通省不動産市場データベース，

http://tochi.mlit.go.jp/tochi/fudousan_db/index_03300.html

18)環境省：生活排水処理施設整備計画策定マニュアル，2007。