

低炭素性能評価システムによる 街区群再構築デザインの検討

戸川卓哉¹・加藤博和²・林良嗣³・芹沢洋史⁴

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

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

²正会員 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))

³フェロー 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))

⁴非会員 JR東海コンサルタンツ株式会社

本研究では、都市と街区の間の空間スケールとして「街区群」を取り上げ、その低炭素性能を評価するモデルシステムを開発し、それをを用いて目指すべき具体的な街区群デザインを検討した。まず、CO₂排出費用が高まる将来において、街区群の低炭素化を実現するための基本的な考え方を整理し、評価システムが具備すべき条件について整理した。次に、用途や開発履歴に基づいて街区群を10種類に分類し、各類型ごとに特徴を整理した上で、低炭素性能向上のための街区群再構築デザインの方向性について検討した。さらに、都市・商業街区群の空間構造デザインを具体的に検討するケーススタディを通じて、低炭素性能評価システムの有効性を確認した。

Key Words : *quality of life, life cycle environmental load, infrastructure maintenance cost*

1. はじめに

低炭素社会実現のために、機器・建築・エネルギー・交通などの要素技術の研究開発が必要不可欠であることは言うまでもないが、それらを寄せ集め的に普及させていった結果として低炭素社会は実現されるのだろうか？ 本研究の根本的な問題意識はこの点にある。それに対し、各種要素技術をいかに組み合わせ、効率的に機能させるかが重要である。

各種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変化する。どの要素技術でも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証はなく、むしろ相互に矛盾している可能性も考えられる。また、低炭素技術導入がCO₂排出を増加させる別の活動を引き起こすリバウンド効果の存在も指摘される。逆に、各要素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、要素技術がシステム全体の低炭素性能を十分に高めるように機能するためのシステム設計が重要である。

今後、CO₂削減が非常に重要な課題と認識され、炭素税や排出権の導入強化が進む「炭素本位制社会」が到来し、CO₂排出費用が高騰することが予測される。

それによって、低炭素技術導入圧力も高まり、それらがうまくシステムとして機能するインセンティブも生まれるであろう。しかしながら、生産・生活活動もCO₂削減型に移行する動きが円滑に進むわけではない。なぜならば、生産・生活活動の様式は、それが展開される場である都市・地域の空間構造に規定されており、それが変化するには非常に長期間を要するからである。空間構造が低炭素社会対応型になっていない状況でCO₂削減を求めることは、生活・生産レベル低下を強いることを意味する。そのため、低炭素に向けた施策への合意形成も困難となる。すなわち、CO₂排出費用が高まっていく将来に向け、無理にではなく自然に低炭素な活動ができる空間構造へ少しずつ変更していく戦略が、日本はもとより世界全体を低炭素で持続可能とするために今まさに必要である。

本研究では、都市・地域を2050年に向けて低炭素対応型、すなわち、CO₂排出量大幅削減を達成しつつ高い生活・生産水準を持続できるような空間構造に漸次変更していくために、都市と街区の間の空間スケールとして、関連の深い複数街区をまとめて1単位として扱う「街区群」を対象に、低炭素性能を評価するモデルシステムを開発することを目的とする。それをを用いて、目指すべき具体的な街区群デザインを検討できるものとする。

2. 本研究の位置づけ

(1) 街区群スケールでのデザイン検討の必要性

日本国内及び世界各国で、環境モデル都市、エコポリス、エコシティ、低炭素都市などを標榜する都市は膨大な数にのぼる。さらに、さまざまな研究において、それらの都市の情報を集めた比較が行われてはいるが、大半は表面的なサーベイの域にとどまっている。この理由として、マクロスケールでの計画・検討であるため、要素技術が実際に導入されていく生産・生活のミクロな実態と乖離が存在することが考えられる。

他方、サブシステムや要素技術のレベルでは、かなり詳細な技術的研究が行われているが、ミクロスケールでの検討であるため、それらが全体システムの中で有効に機能する条件は十分に分析されていない。

そこで、個別の要素技術をシステムとして統合し、実都市に実装していくためには、図-1に示すように実際の場合(建物・インフラ・技術の配置、空間構造)を意識しつつ、それらをシステムとして機能させる方法が検討可能であり、景観やコミュニティデザイン等を含む、幅広い施策の連関効果の分析が可能となる空間スケールである「街区群」(1ha~1km²程度の範囲)に着目する必要がある。

また、都市(圏)レベルや建物(世帯)レベルで施策・技術導入の意思決定が行われている現状は、要素技術がシステムとして社会実装されていく上でも障害になる可能性があると考えられる。街区群単位での意思決定をサポートする制度の実現が望まれる。

(2) 街区群と都市圏の関係

本研究では、低炭素型街区群のあり方を一般的に示すことを目指しているが、それらが実都市圏において有効に機能する必要があるため、街区群自体の低炭素性を評価するモデルの上に、街区群が属する都市圏全体でのバランスを表現するモデルを配した二段階構成とする。図-2に街区群モデルと都市圏モデルの関係を示す。

街区群モデルは、街区群自体での生活・生産活動から発生するCO₂排出はもとより、内部の活動に誘発されて外部で生じるCO₂排出、および街区群を構成するインフラ・建築物・機器等がライフサイクルにわたって生じるCO₂排出も含めて評価することを可能とし、より包括的に街区群の低炭素性を評価できるものとする。さらに、街区群が提供する生活・生産レベルをQOL指標や付加価値額で表現するモデルも構築し、CO₂排出量で除した「環境効率指標」で街区群を評価できるものとする。これによって、街区群の更新に伴

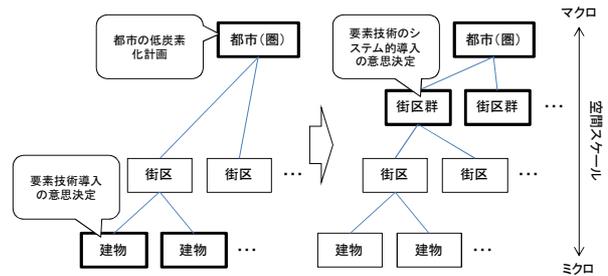


図-1 街区群スケールの位置づけ

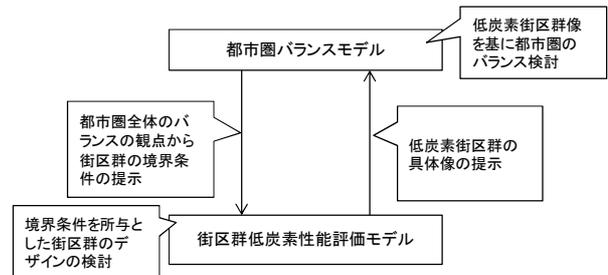


図-2 評価モデルの全体構成

う環境性能向上が、環境効率の比であるファクター値で表せる。

一方、都市圏モデルは、街区群検討のための境界条件を与えるもので、既往研究の成果を用いて構築する。エネルギー・資源(LCA(Life Cycle Assessment)やMFA(Material Flow Analysis)の活用)、経済・財政(インフラ・建築物維持費用の考慮)、生産・物流(産業連関、技術革新やIT化の考慮)、土地利用・交通(コーホートによる世代交代や建物更新の表現)の4つの「バランス」をモデル化し、それらバランスを満たしつつCO₂排出が少なくなるような都市域および人口・事業所等の空間分布を求める。

本研究は街区群モデルの提示を目的とするため、交通起源CO₂を都市圏レベルで推計するものではないが、街区群内の移動、および街区群を越える旅客・貨物交通を低炭素化するためにいかなる街区群デザインが必要かという観点から交通についても検討する。その際、IT進展の活用策も検討する。また、都市圏の空間構造に関しては筆者ら¹⁾の既往研究から、モータリゼーションに伴い低密に拡散した都市域の再編方針として、適地に集約し低炭素・低資源消費で高いQOLを提供する効率的な土地利用を進める必要性が明らかにされると見込まれる。この知見を、エネルギー・資源、インフラ、建築物の各観点からの分析結果によって補強もしくは修正しながら、広域レベルの制約条件と、建物・機器レベルの発展動向の両極から押さえられる、街区群の具体デザインの検討を行っていく。

3. 街区群低炭素性能評価システムの概要

(1) 街区群低炭素性能評価の視点

CO₂削減だけを考慮して街区群デザインを提案すれば、魅力のない空間となる可能性があり、人口・企業の流出につながる懸念される。したがって、CO₂削減目標を達成しつつ、より広く、環境・社会・経済のトリプル・ボトムラインからデザインを評価する必要がある。本研究では、それぞれについて CO₂ 排出量・QOL 尺度・維持費用を指標とする。また、将来のある一時点での目標達成の可否だけでなく、既存ストックからの更新過程で発生する CO₂・費用や更新期間中の QOL も対象とした時間累積値での評価が必要である。以上より、カーボン・サービサビリティを式(2)の CO₂ 制約下における式(1)で示される QOL/Cost の時間積分値と定義し、その最大化を達成するデザイン案探索を目的とする。

$$\sum_t (QOL_t / Cost_t) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_t CO_{2t} \leq \lambda \quad (2)$$

これより、街区群評価モデルでは QOL, Cost, CO₂ の 3 指標（トリプル・ボトムライン）を時系列で定量評価できる構造とする。

(2) システムの構造

図-3 に評価システムのフローを示す。本研究では、一時点のデザインではなく、既存ストックからの更新プロセスの評価を目的とするため、現状の街区群の建物単位のデータを収集し街区群 GIS データベースを構築する。次に、モンテカルロ法により、建物ごとに更新・存続のシミュレーションを行い、更新される場合は、再構築シナリオにより設定されている空間計画案に基づき、新規の建物が建設されるとする。さらに、技術開発状況や普及率の将来予測に基づき導入技術を設定する。

a) CO₂排出量評価方法

建物用途別に設定されたエネルギー負荷（空調・給湯・電力）・交通需要原単位をベースに、エネルギーフローを把握した上で、導入機器とその効率を考慮して CO₂ 排出量を算出する。夏季・冬季・中間期の代表日を対象として、1日を1時間間隔でシミュレートした結果より、年間の CO₂ 排出量を算出する。さらに、ストックの更新・廃棄から発生する CO₂ を加算して年間総 CO₂ 排出量とする。

b) QOL 評価方法

QOL 尺度は床面積・緑地面積・景観など街区群の就

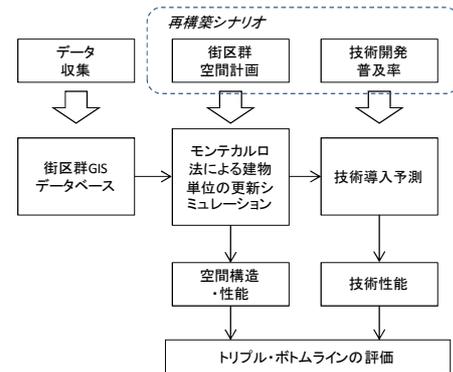


図-3 街区群低炭素性能評価のフロー

業・居住環境を表現する 10 指標の重み付きの総和として定量化する。重みパラメータは、アンケート調査結果から、コンジョイント分析により推定した値を用いる¹⁾。

なお、街区群の性質によって QOL 尺度を計測するための指標や重みが大きく異なると考えられる。そのため、街区群類型に応じた QOL 尺度の設定が本来は必要であるが、今後の課題とする。

c) 費用評価方法

評価対象は建物・インフラの建設工事費・メンテナンス費用および機器導入などの低炭素施策導入に掛かる費用とする。統計資料及びデザイン案から対象街区群の建物・インフラの存在量を設定し、それにライフサイクルを考慮した費用原単位を乗じることにより推定する。また、建物の建設工事費は既往研究の手法により建物形態を反映させる²⁾。

4. 街区群の実態分析と再構築シナリオ検討

都市圏を構成する各街区群はそれぞれ固有の役割を持っている。本章では、街区群の類型化を行うとともに、各街区群における低炭素性能向上に向けた街区群再構築デザインの方向性について検討する。

(1) 分析対象地域の概要

本研究では、図-3 に示す名古屋駅を中心とする半径 20km 圏内に概ね含まれる市町村（2012 年 5 月現在で 31 市町村）を対象とし、街区群の実態調査を行う。2005 年の国勢調査によると圏域の総人口は 464 万人、そのうち生産年齢（15～64 歳）人口比率は 67%、高齢化率は 18%である。また、生産年齢人口の 74%が就業しており、そのうち農林漁業就業者の割合は 1.3%である。対象地域の空間構造の特徴として、都市圏の西部一帯に標高 0m 以下の水害危険地帯が広がっていること、北東部に桃花台や高蔵寺といった大規模ニュータウンが立地して

いることが挙げられる。

なお、本章では街区群類型を判別する単位として、以降の分析の実行可能性を考慮し、データ入手が容易である小学校区を採用する。

(2) 街区群の類型化²⁾

街区群を分類する場合の一般的な軸として、都心部からの距離帯・人口密度・用途・機能が考えられる。また、街区群再編策には大規模なインフラ・住宅の更新を伴うものもある。日本の都市域の特徴として、高度経済成長期に一斉整備された地区が多数存在し、それらが一斉更新を迎える一方で、段階的に更新を迎えると考えられる地区も存在することから、開発履歴の観点からも類型化する必要がある。

そこで、クラスター分析を用いて各軸に基づいて類型化を行った結果をマトリクスとしてまとめ、さらに、この各詳細類型を地理的な観点から統合した結果、表-1の第1列に示す1)~10)のような分類となった。地区分類の空間分布を図-4に示す。都心部から周辺部に向かって、商業地区、住居地区、農業地区・山林地区と分類され、臨港部では工業地区と分類される街区群が存在する結果となった。

(3) 類型別街区群の現況

都市計画基礎調査・パーソントリップ調査等を基に、低炭素性能を検討する上で鍵となる民生部門のエネルギー需要、自動車交通需要を類型ごとにまとめたものを図-5・図-6に示す。

これにより、CO₂を排出する活動が商業系の街区群を中心に偏在している傾向が分かる。特に、電力需要は商業街区群において突出して高い値を示している。これは、住居系用途と比較して業務系用途での電力需要が大きく、商業街区群には業務系用途の建物が集積しているためである。熱需要は、電力需要と比較して、各類型でおおむね一様に分布している。近郊住宅・郊外住宅街区群で高い値を示す。

商業系街区群では通勤目的の自動車交通需要は少なく、業務・私事目的の需要が大きい。一方、住居系街区群では通勤目的の自動車交通需要が大きく、私事・業務目的の需要が小さい。

また、郊外住居・農業街区群では電力需要に対する太陽光発電ポテンシャルの比率が高い。

図-7に本研究で取り上げた、商業街区群、郊外住居街区群、農業街区群の建物配置と土地利用の状況を示す。商業街区群ではほぼ建物により土地が覆われており、郊外住宅街区群、農業街区群ほどオープンスペースが多く建物間に余裕がある。また、農業街区群では比較的まとまった集落が農用地に散在している。

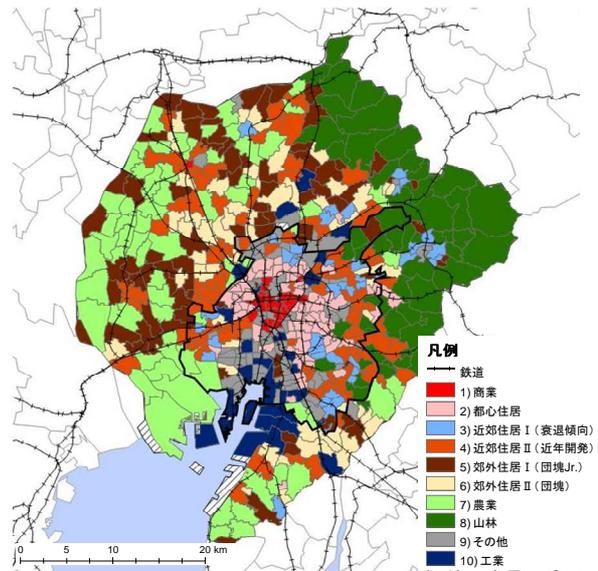


図-4 対象地域の概要と街区群類型化

表-1 類型別街区群の概要

	街区群数 (比率)	平均面積 [km ²]	平均人口	平均 従業者数
1)商業	23(4%)	0.68	6,110	16,126
2)都心住居	70(12%)	1.01	9,609	4,861
3)近郊住居 I	40(7%)	1.25	9,082	2,172
4)近郊住居 II	95(16%)	1.96	9,862	3,441
5)郊外住居 I	82(14%)	2.47	6,914	2,618
6)郊外住居 II	56(10%)	2.24	8,039	3,668
7)農業	69(12%)	4.38	7,042	3,024
8)山林	54(9%)	5.71	6,759	2,560
9)その他	64(11%)	1.19	7,308	5,661
10)工業	26(5%)	2.71	7,302	8,564

(4) 類型ごとの街区群再構築デザインの方向性

以上を踏まえて、各類型における低炭素性能向上に向けた施策実施の方向性について考察する。表-2に既往研究及び自治体の低炭素計画に関する報告書を参考にまとめた検討対象施策を示す。

- ・ 商業系街区群：エネルギー需要密度の高さを考慮すると、オンサイト型発電システムの導入が考えられる。また、建物や駐車場に占有されている土地の比率が高く種地となる土地が少ないため、効率的に建物の更新が進まない可能性がある。しかしながら、通勤目的と比較して、自動車の利用時間が短い私事・業務目的の交通量が多いことから、カーシェアリングシステムを導入することにより、駐車場を削減しオープンスペースを生み出すことで、更新プロセスを効率化させることが考えられる。
- ・ 住居系街区群：ストックの建設年代に偏りがみられることが特徴である。郊外住居街区群 I では、今後、

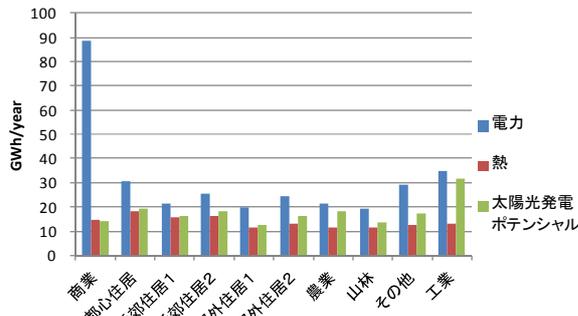


図-5 街区群類型ごとのエネルギー需要

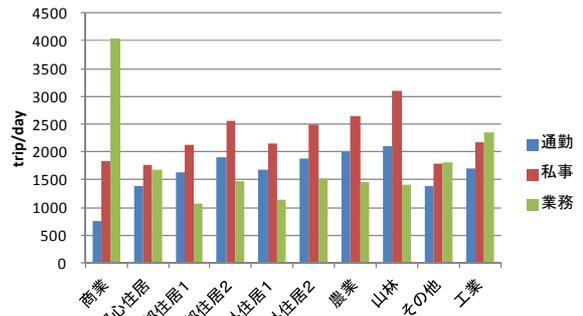
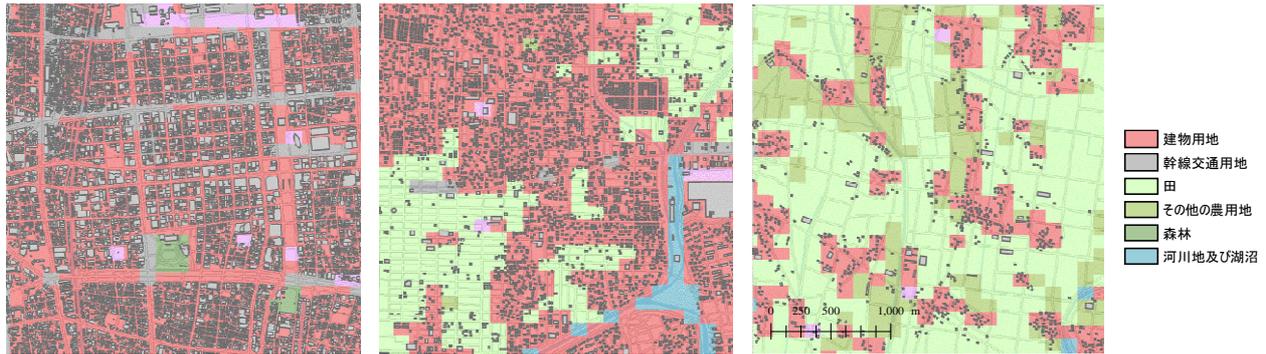


図-6 街区群類型ごとの自動車交通需要



(a) 商業街区群

(b) 郊外住居街区群

(c) 農業街区群

図-7 街区群の建物配置と土地利用状況

一斉更新が行われる可能性があり、それを考慮した施策実施計画を立てることが考えられる。また、近郊住居街区群Ⅱでは利便性が高いにも関わらず慢性的な衰退傾向を示していることから郊外地区からの人口を誘導することが望まれる。一方、近郊住居街区群では、近年開発された履歴があり、短期的なストック更新は見込めないため、既存建物に導入可能な技術およびライフスタイル誘導などのソフト施策による低炭素性能向上策の検討が必要である。

- ・ 農業街区群・山林街区群・工業街区群：周辺にバイオマス資源や工場排熱などの未利用エネルギーが存在していることから、それらのポテンシャルを評価して、その有効活用に向けた施策検討が必要である。図-7に示すように、農業街区群におけるミクロレベルでの住居・施設の集約化の検討も重要である。

表-2 評価対象施策

	A空間系	B交通系
①ストックデザイン系	空間デザイン(建物配置など)	道路空間再配分、幹線公共交通整備、交通流整流
②ライフスタイル系		カーシェアリング、モビリティハブ、少量集合輸送システム
③性能向上系	断熱性能向上、機器性能向上(空調機器、照明機器など)、BEMS、HEMS	低炭素自動車(ガソリン自動車、LPG自動車)
④エネルギーフロー転換系	太陽光発電、太陽熱温水器、コージェネレーション、セントラル空調機器、地域冷暖房システム、廃棄物発電など	低炭素自動車(ガソリンハイブリッド自動車、電気自動車など)
⑤マテリアルフロー転換系	都市ストックの木質化、森林管理、建設部材リユース・リサイクル	

としてケーススタディを実施する。評価対象期間は2010年から2050年までとする。

評価シナリオについては、a)現在の建物配置を維持した場合(単純更新シナリオ)と、b)建物を整形した上でロの字型に配置し各街区に中庭を確保した場合(中庭型更新シナリオ)の2パターンを設定する。b)中庭型更新シナリオにおける建物更新のタイミングは、建設予定地に存在する既存建物の過半数が統計上の寿命を迎えた時点とする。建物寿命は既往研究より設定し、RC造事務所ビルで45年程度となっている。建物更新に伴い、中庭型更新シナリオでは表-3の下線で示される要素

5. 街区群再構築デザインの検討

前章までの分析結果を踏まえ、低炭素性能評価システムを用いて、商業街区群を対象としたケーススタディを通じて具体的な再構築デザインの検討を行う。

(1) 評価の概要

名古屋市中心部に位置する中区錦二丁目(長者町地区:面積2,340ha,人口300人,従業者数900人)を対象

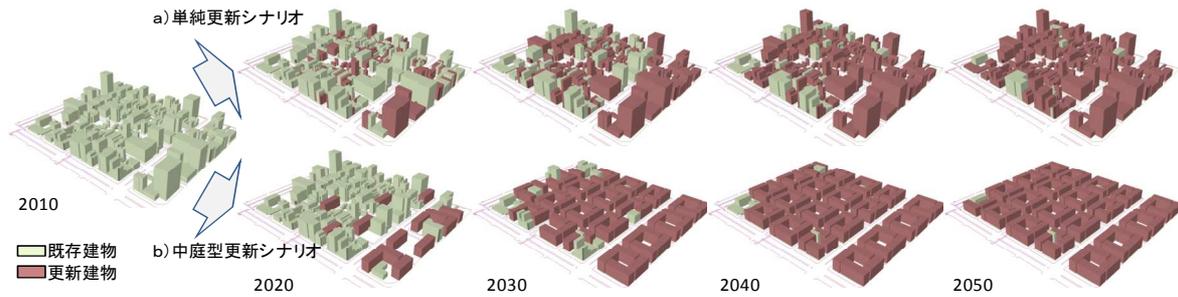


図-8 建物ストックの更新プロセス

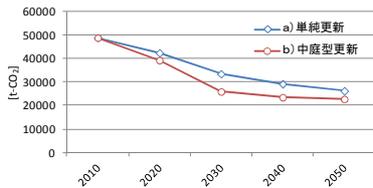


図-9 CO₂排出量推計結果

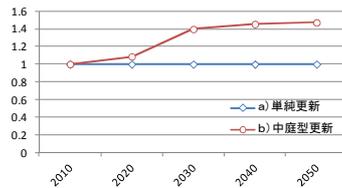


図-10 QOL値推計結果

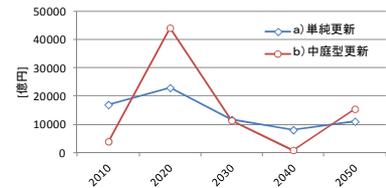


図-11 Cost推計結果

技術の全てが、単純更新シナリオでは表-3の二重下線の技術のみが導入される設定とする。

(2) 分析結果

図-8に、2050年までの街区群の建物更新過程を示す。各建物ごとに年齢を考慮した残存率曲線を設定し、モンテカルロ法により廃棄・更新シミュレーションを実施した。1981年以前に建設された建物が多い南部（図-8の手前側）から順に更新が行われる。建物単純更新では一定のペースで更新が行われるが、b) 中庭型更新では2020年から2030年にかけて集中的な更新が起こる。中庭型更新では建物の共同化を行うため、一部建物の解体・更新に合わせた連鎖的な解体が生じるためである。

図-9～11に各指標の推計結果を示す。CO₂排出量は、b)ではa)と比較して累積で14%削減される。また、QOL評価については、b)では緑地・オープンスペースの導入効果により、大幅な改善がみられた。費用は、両シナリオでほぼ同等の結果となったが、b)では2020年あたりで集中的に増加する結果となった。

6. まとめ

本研究では、都市と街区の間の空間スケールとして「街区群」を取り上げ、その低炭素化を実現するための

基本的な考え方を整理し、低炭素性能評価システムが具備すべき条件を明らかにした。それに基づき、街区群の低炭素性能評価システムを構築した。次に、用途や開発履歴に基づいて街区群を10種類に分類し、類型ごとに特徴を整理した上で、低炭素性能向上のための再構築デザインの方向性を検討した。さらに、評価システムを各街区群類型のケーススタディに適用し、その有効性を確認した。

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) 戸川卓哉, 小瀬木祐二, 鈴木祐大, 加藤博和, 林良嗣: 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, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, CD-ROM(27), 2010.
- 2) 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, 2008
- 3) C.D.ブローニング著, 長倉康彦 [ほか] 訳: コストプランニング入門, 彰国社, 1968.
- 4) 戸川卓哉, 杉本賢二, 加藤博和, 林良嗣: 低炭素技術・施策のシステムの導入可能性の検討を目的とした街区群類型化, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.509-510, 2011.

(2012.5.7 受付)

A Study in Reconstruction Design of a City Blocks with Low-carbon Performance Evaluation System

Takuya TOGAWA, Hirokazu KATO, Yoshitsugu HAYASHI and Hirofumi SERIZAWA