

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289201

研究課題名(和文)都市環境負荷削減の施策立案支援に向けたハビタットシステム汎用モデルの構築

研究課題名(英文)Construction of habitat system general-purpose model towards measure planning support for urban environmental load reduction

研究代表者

赤司 泰義 (AKASHI, YASUNORI)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60243896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：社会動態を包含した都市の全体系をハビタットシステムと定義し、多都市に適用できるハビタットシステム汎用モデルの構築を通じて、環境負荷削減方策の導入と普及に応じて都市環境負荷を長期に予測し、実効的な施策立案支援を可能にすることができるシミュレータ開発を行った。そのシミュレータの主な特徴は、1)都市規模に左右されない汎用性、2)内部パラメータを自動同定する利便性、3)多様な施策シナリオを比較的簡易に反映できる応用性、4)施策シナリオによる複数都市間の波及効果を定量化する拡張性を有することである。このシミュレータを多都市に適用して、様々な施策シナリオによる長期的なCO2排出削減効果を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This research defines an urban whole system with social dynamics as “Habitat System”, and has constructed the general-purpose model of Habitat System applicable to different cities. Through constructing the model, a simulator, that enables to predict long-term urban environmental loads according to introduction and spread of the reduction measures and to support the effective policy planning, has been developed. The main features of the simulator are 1) versatility not dependent on city size, 2) convenience of automatically identifying internal parameters, 3) applicability that can relatively easily reflect various policy scenarios and 4) expandability that quantify the ripple effect among multiple cities by policy scenarios. By applying this simulator to different cities, we have clarified long-term CO2 emission reduction through various policy scenarios.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：地球・都市環境 都市環境負荷削減 ハビタットシステム 汎用モデル 未来シナリオ

1. 研究開始当初の背景

(1)都市におけるCO₂排出量の大幅削減には、省エネ技術や社会制度、経済支援などの導入と普及に応じてCO₂排出量を長期予測し、その削減可能量に基づいて効果的な施策立案を支援していくことが必要である。

(2)これまでの筆者ら研究においては、都市の社会動態を表す様々な活動量(世帯数、ビルストック延床面積など)がCO₂排出量に影響を及ぼしながら相互に作用し、時間経過に伴って変動していくものと捉え、この社会動態を包含した都市の全体系を“ハビタットシステム”と定義した。そして、各活動量とその活動量を説明する変数群からなる複数のセクタを組合わせてハビタットシステムの全体モデルを構築した。

(3)具体的には、システムダイナミクス手法により求解するモデル構築支援ソフトウェア Stella 上で福岡市を対象とするハビタットシステムモデルを構築し、過去から未来に亘って算出される各活動量に単位活動量当たりのCO₂排出原単位を乗じることで、種々のシナリオにおけるCO₂排出量削減可能量をケーススタディにより検討してきた。

(4)しかしながら、オーダーメイドの特殊モデルを構築するだけでは他都市のモデル構築の際には再び多大な労力や時間が必要になり、広く施策立案の支援に寄与することが難しいことに加え、例えば、人口の減少と集中が進む日本のような成熟都市への施策が産業構造も異なる周辺都市にどのような影響を与えるのかなどの検討も困難であるという課題があった。

2. 研究の目的

本研究は、これまでの研究をより発展させるもので、ある特定の都市(福岡市)のみを対象に開発したハビタットシステムの特殊モデルを汎用的なモデルに再構築することである。すなわち、都市の独自性や複数都市間の関係性などを反映できる形でモデル構築を一般化し、多様な都市への適用性をより一層高めることによって、実効的な施策立案支援を可能にすることである。

3. 研究の方法

(1)【モデル構造の一般化と洗練化】

任意の都市への適用性を高めるために、従来セクタ修正や新セクタ追加によってモデル構造を一般化する。同時に、セクタ変数の感度解析や因果関係分析を実施し、変数の取捨選択を行うことによってモデルの洗練化を進める。

従来の福岡モデルの課題整理：従来の福岡モデルによるCO₂排出量の長期予測に関するプロセスについて、モデル構築支援ソフトウェア Stella を使ってトレースし、汎用モデル構築に向けた課題整理を行う。

対象都市の特性分析：対象都市(福岡県福岡市(大規模都市)、千葉県柏市(中規模都

市)、三重県熊野市(小規模都市))の特性を分析し、従来セクタの修正内容や追加すべき新セクタ内容を明確にする。

統計データ調査と利用データ特定：様々な都市で比較的容易に入手でき、継続的に整備される統計データを調査し(例えば国勢調査など)、汎用モデルに利用できるデータ(変数や活動量)を特定する。

セクタ変数の取捨選択：(1)- の結果やセクタ変数の感度解析結果、高度統計解析ソフトウェア SPSS/Amos による変数間の因果関係分析結果に基づいて、セクタ変数の取捨選択を行う。

従来セクタ修正と新セクタ作成：(1)- ~ に基づいて、汎用モデルに必要な従来セクタの修正と新しいセクタの作成を行う。

(2)【CO₂排出量原単位セクタのモデル化と汎用モデルの構築】

より確度の高いCO₂排出量予測のために、CO₂排出量削減方策の導入と普及に応じてCO₂排出量原単位を計算・更新する新セクタをモデル化し、汎用モデルを完成させる。

CO₂排出量削減方策のリストアップ：過去の方策と将来考えられる方策を文献調査などでリストアップし、特にCO₂排出量原単位を低減させる方策を抽出する。

CO₂排出量削減方策によるCO₂排出量低減効果の把握：住宅、ビル、交通機関などの単体のCO₂排出量原単位が方策によってどれほど低減するのか、既往研究やシミュレーション、実験などにより把握する。

CO₂排出量削減方策とセクタ変数・活動量等との関連付け：社会動態の中で方策がどのように波及するのかを検討し、方策とセクタ変数・活動量等を関連付ける。必要に応じて(1)- を見直す。

CO₂排出量原単位セクタのモデル化：(2)- ~ に基づいてCO₂排出量原単位セクタをモデル化する。

汎用モデルの構築：(1)- と(2)- を併せて汎用モデルを完成させる。

(3)【ハビタットシステム汎用モデルの利便化】

汎用モデルの活用を容易にするために、セクタ変数の実績値を収集し、データベース化する。また、変数間の因果関係を規定するグラフ関数(魅力乗数)の型(一次・二次関数、指数関数、ロジスティック関数など)を実績値やアンケート調査により定義し、その関数パラメータを自動同定する手法を開発する。

セクタ変数のデータベース構築：対象都市だけでなく他の都市でもデータを入力すればスムーズに汎用モデルが活用されるよう、(1)- や(2)- に基づいてセクタ変数のデータベースを構築する。

グラフ関数の型の定義：グラフ関数の型を変数の実績値と SPSS/Amos により定義する。また、定量化が難しい変数間の因果関係につ

いては、広くアンケート調査を実施して推定する。

グラフ関数パラメータ自動同定手法の開発：グラフ関数のパラメータを遺伝的アルゴリズムにより自動同定する手法を開発する。Stella上でその手法をモデル化せず、汎用モデルの外部入力とする。

(4)【ハビタットシステム汎用モデルの妥当性検証】

複数の異なる特性をもつ都市を対象に、世帯数やビルストック延床面積といった活動量や部門別のCO₂排出量について、汎用モデルによる過去の計算値と統計データ（実績値）を比較して、汎用モデルの再現性や予測精度を確認する。

汎用モデルの再現性の確認：活動量やCO₂排出量について、例えば1975～2000年の実績値でグラフ関数のパラメータを自動同定し、汎用モデルの計算値と実績値を比較してその再現性を確認する。

汎用モデルの予測精度の確認：例えば2000年以降の実績値と汎用モデルによる計算値を比較して予測精度を確認する。必要に応じてセクタ単位の詳細検証や(1)の見直しを行う。

(5)【環境負荷削減シナリオ提案と削減可能量】

汎用モデルの適用性や、ある都市のCO₂排出量削減方策の周辺都市への波及効果などを明らかにした上で、多様な都市CO₂排出量削減シナリオを提案し、その削減可能量を明らかにする。また、施策立案に関わる実務者との情報交換により、汎用モデルの今後の活用方法や課題を明らかにする。

汎用モデルの複数連成活用の可能性：汎用モデルを複数連成させ、ある都市のCO₂排出量削減方策が周辺都市にどのように波及するのかを事例的に明らかにする。

CO₂排出量削減シナリオの提案とその削減可能量：例えば様々な方策を組合わせて2050年までの多様なCO₂排出量削減シナリオを生成し、その際の削減可能量を明らかにする。

汎用モデルの有用性評価：東京都や地方都市の施策立案に関わる実務者との情報交換を通して、施策立案支援ツールとしての汎用モデルの有用性を評価し、今後の活用方法や課題などを協議する。

4. 研究成果

【平成26年度】

(1)ハビタットシステム汎用モデルによる予測値の確からしさを向上させるために、これまで一定値で与えていたCO₂排出量原単位をその都市の特性や社会情勢にあわせて算出できる手法を開発し、CO₂排出量原単位のこれまでの実績値と計算値を比較することによってその手法の妥当性を検証して、CO₂排出量削減に向けたシナリオ検討を行った。

(2)ハビタットシステム汎用モデルの利便性を高める手法として、シミュレータを構成する多変数間の因果関係を表す多くのグラフ関数のパラメータを遺伝的アルゴリズムによって自動同定する手法を開発し、実績値との比較を通してその手法の妥当性を検証した。

(3)都市CO₂排出量に大きな影響を及ぼす都市間人口移動に関して、地方都市の埼玉県本庄市、三重県熊野市を対象としたハビタットシステムモデルを構築し、福岡モデルと仮想的に連成することで全国モデルの構築に結び付け、人口移動シナリオに基づくCO₂排出量の将来予測を評価した。

【平成27年度】

(1)初年度に残された課題、すなわち、様々な都市で比較的容易に入手でき、継続的に整備される統計データに基づいて、汎用モデルに利用できるセクタの変数や活動量を選定し、ストック平均のCO₂排出量原単位の経時変化も内蔵したハビタットシステム汎用モデルを完成させた。

(2)大規模都市（福岡県福岡市）、中規模都市（千葉県柏市）、小規模都市（三重県熊野市）を対象に、都市の活動量に関する1990～2010年のハビタット汎用モデルによる計算値と実績値を比較し、その計算精度を検証した。

(3)対象都市においてCO₂排出削減の施策に関する共通シナリオ（省エネ基準義務化、ZEB普及、次世代自動車導入）および独自シナリオ（福岡市：高断熱改修普及、柏市：太陽光発電普及、熊野市：人口維持）を設定し、シナリオ別のCO₂排出削減効果、および総合施策によるCO₂排出削減効果を定量的に明らかにした。

(4)初年度にも検討した、ハビタットシステム汎用モデルにおける多変数間のグラフ関数パラメータを遺伝的アルゴリズムによって自動同定する手法について、妥当性と利便性の観点からその手法の改良を進めた。

【平成28年度】

(1)ハビタットシステム汎用モデルの妥当性と利便性を一層高める改良を行った。具体的には、小規模な都市であっても入手可能な統計データを用いて短期間でのモデル構築を可能にしたこと、モデルにおける説明変数と目的変数の関係性を表すグラフ関数について遺伝的アルゴリズムによる自動生成を可能にしたこと、シナリオのモデル導入を簡易化する手法を開発し、シナリオ検討の幅を広げたこと、複数都市に関するモデル連成手法を開発し、シナリオによる都市間波及効果を検討可能にしたこと、があげられる。

(2)ハビタットシステム汎用モデルを大規模都市（福岡市）、中規模都市（柏市）、小規模都市（熊野市）に適用し、各都市における計算精度を再検証した。また、省エネ基準義務化、ZEB普及、次世代自動車導入という共通

シナリオに、高断熱改修（福岡市）、PV普及（柏市）、人口維持政策（熊野市）という、その都市特性に応じた個別シナリオを組み合わせたCO2排出量削減効果を予測した。さらに、環境モデル都市の京都市と尼崎市についてもモデルを適用し、その計算精度から十分な汎用性が確保されていることを明らかにした。

(3)本研究によって開発したシミュレータをCO2排出量削減の施策立案支援ツールと位置づけ、施策立案に関わる地方自治体等の実務者にそのツールをわかりやすく説明し、有用性を理解してもらうためのパンフレットを作成した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計1件)

(1)上野貴広, 仁科裕貴, 住吉大輔, 赤司泰義, 高口洋人: 都市環境負荷予測シミュレータの開発 - CO2排出原単位モデルの構築とモデルの汎用化に向けた改良 -, 都市・建築学研究, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 査読有, 第28号, pp.47-56, 2015年

〔学会発表〕(計27件)

(1)上野貴広, 住吉大輔, 赤司泰義, 高口洋人, 林鍾衍: 都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と部門別CO2排出量予測 その17政策検討のための共通モデル作成, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2017年3月4日, 長崎大学(長崎県長崎市)

(2)K.Maruyama, Y.Baba, H.Takaguchi, Y.Akashi, D.Sumiyoshi, J.Lim, J.Lee and T.Ueno: Long-term Prediction System of Urban CO2 Emission for Supporting the Reduction Policies - Part1 Study on CO2 Emission Reduction Effects by Zero Energy Building and Next-generation Vehicles, Proceedings of Asim 2016, The 3rd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, November, 27-29, 2016, Cheju(Korea)

(3)J.Lee, Y.Akashi, H.Takaguchi, D.Sumiyoshi, J.Lim, T.Ueno, K.Maruyama and Y.Baba: Long-term Prediction System of Urban CO2 Emission for Supporting the Reduction Policies - Part2 Reductions by Supporting Policies on PV, Proceedings of Asim 2016, The 3rd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, November, 27-29, 2016, Cheju(Korea)

(4)T.Ueno, D.Sumiyoshi, Y.Akashi, H.Takaguchi, J.Lim, J.Lee, K.Maruyama and Y.Baba: Long-term Prediction System of Urban CO2 Emission for Supporting the Reduction Policies - Part3 Coupling of Multiple City Models, Proceedings of Asim 2016, The 3rd Asia Conference of

International Building Performance Simulation Association, November, 27-29, 2016, Cheju(Korea)

(5)Y.Baba, H.Takaguchi, Y.Akashi, D.Sumiyoshi, J.Lim, K.Maruyama, J.Lee and T.Ueno: Construction of Long-term Prediction System for Urban Environmental Loads and Study of Scenario for CO2 Emission Reduction Measures, Proceedings of International Conference of Asia Institute of Urban Environment, October, 8, 2016, Changchun(China)

(6)T.Ueno and D.Sumiyoshi: Long Term Prediction System of Urban CO2 Emission for Supporting the Reduction Policies, Proceedings of the 1st Joint Workshop of Architectural Engineering, Kyushu Univ-GNU, September, 23, 2016, Jinju(Korea)

(7)住吉大輔, 赤司泰義, 高口洋人, 林鍾衍, 上野貴広, 李知殷, 丸山賢人, 馬場芳樹: 都市環境負荷長期予測のためのハビタットモデルの構築と複数都市への適用 その1 汎用モデルの構築, 日本建築学会大会学術講演会, 2016年8月24日~26日, 福岡大学(福岡県福岡市)

(8)丸山賢人, 赤司泰義, 高口洋人, 住吉大輔, 林鍾衍, 李知殷, 上野貴広, 馬場芳樹: 都市環境負荷長期予測のためのハビタットモデルの構築と複数都市への適用 その2 CO2排出量削減共通シナリオの検討, 日本建築学会大会学術講演会, 2016年8月24日~26日, 福岡大学(福岡県福岡市)

(9)上野貴広, 住吉大輔, 赤司泰義, 高口洋人, 林鍾衍, 李知殷, 丸山賢人, 馬場芳樹: 都市環境負荷長期予測のためのハビタットモデルの構築と複数都市への適用 その3 大規模都市への適用とCO2排出量削減シナリオの検討, 日本建築学会大会学術講演会, 2016年8月24日~26日, 福岡大学(福岡県福岡市)

(10)李知殷, 赤司泰義, 高口洋人, 住吉大輔, 林鍾衍, 上野貴広, 丸山賢人, 馬場芳樹: 都市環境負荷長期予測のためのハビタットモデルの構築と複数都市への適用 その4 中規模都市への適用とCO2排出量削減シナリオの検討, 日本建築学会大会学術講演会, 2016年8月24日~26日, 福岡大学(福岡県福岡市)

(11)馬場芳樹, 高口洋人, 赤司泰義, 住吉大輔, 林鍾衍, 李知殷, 上野貴広, 丸山賢人: 都市環境負荷長期予測のためのハビタットモデルの構築と複数都市への適用 その5 小規模都市への適用とCO2排出量削減シナリオの検討, 日本建築学会大会学術講演会, 2016年8月24日~26日, 福岡大学(福岡県福岡市)

(12)上野貴広, 住吉大輔, 赤司泰義, 高口洋人: 都市環境負荷長期予測シミュレータの開発と部門別CO2排出量予測 - 複数都市連成に

向けた春日市モデルの開発，空気調和・衛生工学会九州支部研究報告会，2016年5月20日，福岡商工会議所ビル（福岡県福岡市）

(13)上野貴広，住吉大輔，赤司泰義，高口洋人：都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と部門別CO2排出量 その16 グラフ関数パラメータ同定手法の修正と建設モデルの改良，日本建築学会九州支部研究報告，2016年3月6日，琉球大学（沖縄県中頭部）

(14)馬場芳樹，丸山賢人，高口洋人，赤司泰義，住吉大輔：ハビタットシステムモデルにおける地方中小都市モデルの構築，日本建築学会関東支部研究報告集，2016年3月1日～2日，日本大学（東京都千代田区）

(15)李知殷，赤司泰義，林鍾衍，住吉大輔，高口洋人：家庭部門の太陽光発電システム普及による都市CO2排出削減効果の長期予測，日本建築学会関東支部研究報告集，2016年3月1日～2日，日本大学（東京都千代田区）

(16)T.Ueno, D.Sumiyoshi, Y.Akashi and H.Takaguchi: Development of General-purpose Habitat System Model to Calculate Reduction Effect of Environment Loads by Policies, Proceedings of the 5th IAEE (International Association for Energy Economics) Asian Conference, February, 14-17, 2016, Perth(Australia)

(17)上野貴広，仁科裕貴，住吉大輔，赤司泰義，高口洋人：都市環境負荷削減の施策立案支援に向けたハビタットシステム汎用モデルの構築 その1 グラフ関数パラメータ同定手法の開発，日本建築学会大会学術講演会梗概集，2015年9月4日～6日，東海大学（神奈川県平塚市）

(18)仁科裕貴，上野貴広，住吉大輔，赤司泰義，高口洋人：都市環境負荷削減の施策立案支援に向けたハビタットシステム汎用モデルの構築 その2 モデルの汎用化に向けた改良と精度検証，日本建築学会大会学術講演会梗概集，2015年9月4日～6日，東海大学（神奈川県平塚市）

(19)丸山賢人，内田俊平，高口洋人，赤司泰義，住吉大輔：都市環境負荷削減の施策立案支援に向けたハビタットシステム汎用モデルの構築 その3 都市間人口移動時によるCO2排出量の評価，日本建築学会大会学術講演会梗概集，2015年9月4日～6日，東海大学（神奈川県平塚市）

(20)上野貴広，住吉大輔，赤司泰義，高口洋人：都市における環境負荷長期予測シミュレータの開発と部門別CO2排出量予測 - シミュレータの汎用化に向けたグラフ関数同定手法の開発とモデルの改良，空気調和・衛生工学会九州支部研究報告，2015年5月21日，福岡商工会議所ビル（福岡県福岡市）

(21)赤司泰義：地域をシステムとして見る - ハビタットシステムによる政策提言，シンポジウム「地域資源・資産のマネジメント - 人口減少と環境問題にどう備えるか」，2015年4月18日，三重県熊野庁舎（三重県熊野市）

(22)住吉大輔：東京・福岡・熊野モデルにみる地域の未来，シンポジウム「地域資源・資産のマネジメント - 人口減少と環境問題にどう備えるか」，2015年4月18日，三重県熊野庁舎（三重県熊野市）

(23)上野貴広，仁科裕貴，住吉大輔，赤司泰義，高口洋人：都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と部門別CO2排出量 その14 グラフ関数パラメータ同定手法の開発，日本建築学会九州支部研究報告，2015年3月1日，熊本県立大学（熊本県熊本市）

(24)仁科裕貴，上野貴広，住吉大輔，赤司泰義，高口洋人：都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と部門別CO2排出量 その15 モデル汎用化に向けた人口セクタと民生業務セクタ，日本建築学会九州支部研究報告，2015年3月1日，熊本県立大学（熊本県熊本市）

(25)Y.Nishina, D.Sumiyoshi, Y.Akashi: Development of A Simulator for Long-term Prediction of Urban Environmental Loads - Development of CO2 Unit Model and Trial of Scenario, Proceedings of Asim 2014, The 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, November, 28-29, 2014, Nagoya(Japan)

(26)仁科裕貴，住吉大輔，赤司泰義：都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と民生・産業部門 その9 CO2排出原単位モデルの開発とシナリオ検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2014年9月12日～14日，神戸大学（兵庫県神戸市）

(27)仁科裕貴，住吉大輔，赤司泰義：都市における環境負荷長期予測シミュレータの開発と部門別CO2排出量予測 シミュレータの改良とシナリオ別CO2排出量予測，空気調和・衛生工学会九州支部研究報告，2014年5月23日，福岡商工会議所（福岡県福岡市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

・赤司泰義（AKASHI YASUNORI）
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：60243896

(2) 研究分担者

・高口洋人（TAKAGUCHI HIROTO）
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：90318775

・住吉大輔（SUMIYOSHI DAISUKE）
九州大学・大学院人間環境学研究院・
准教授
研究者番号：60432829

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし