

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：17102  
 研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2009～2011年  
 課題番号：21360277  
 研究課題名（和文）ハビタットシステムの未来シナリオと環境負荷削減可能性に関する研究  
 研究課題名（英文）Future Scenario of Habitat System and Potential Amount of Environmental Load Reduction  
 研究代表者  
 赤司 泰義（AKASHI YASUNORI）  
 九州大学・大学院人間環境学研究院・教授  
 研究者番号：60243896

研究成果の概要（和文）：都市・建築の持続化の観点から環境負荷削減のための要素技術や社会制度の効果的な施策立案が求められている。本研究では、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、ハビタットシステムのモデル化を通じて都市のCO2排出量を長期に予測するシミュレータを開発した。そのシミュレータを活用して、CO2排出削減対策の導入と普及に応じたCO2排出量削減可能性をケーススタディにより明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The effective supports for making political measures on different technologies and social systems are requested for urban and architectural sustainability. This research defines an urban whole system with social dynamics as “Habitat System”, and develops a simulator for long-term prediction of urban CO2 emission through modeling the Habitat System. Using the simulator developed, the potential amount of CO2 emission reduction according to the introduction and prevalence of different measures are analyzed.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2010年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2011年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 ・ 建築環境・設備

キーワード：システムダイナミクス、都市環境負荷モデル構築、CO2排出削減可能性

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 2008年7月の主要国首脳会議では、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量の少なくとも50%削減を達成する目標を共有することが合意された。都市と建築が地球環境に与える影響は非常に大きく、都市・建築分野の一層の取組みが必要である。

(2) 持続可能な都市・建築の構築と運営には、トップダウン的な目標設定と技術開発だけでは限界があり、如何に技術を社会に普及させるか、普及にはどういった社会制度や経済的支援が必要なのか、などの環境負荷増加の根底にある居住（ハビタット）からの変革を

促すボトムアップ的な方法論が欠かせない。(3) そのためには、都市・建築で生じる環境負荷（エネルギー消費量やCO2排出量等）を要素技術・社会制度・経済的支援等の環境負荷削減対策の導入と普及に応じて長期に予測し、都市・建築の持続化の観点から定量的な環境負荷削減可能性を示すことができる仕組みを構築して、効果的な施策立案を支援していく必要がある。

## 2. 研究の目的

都市の人口、世帯数、住戸数、ビル延床面積、交通量、土地面積などは、都市の環境負

荷に大きく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。本研究では、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、ハビタットシステムのモデル化と社会動態を規定する多様な因子の状態量を算出することによって、都市のCO<sub>2</sub>排出量を長期(~2050年)に予測するシミュレータを開発する。また、このシミュレータを使って、CO<sub>2</sub>排出削減対策の導入と普及に応じたCO<sub>2</sub>排出削減可能量をケーススタディにより明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) ハビタットシステムをモデル化し、CO<sub>2</sub>排出量と相関の高い因子について、1975~2050年の状態量を活動量として計算する。

- ①境界条件の設定：福岡市を対象とし、環境負荷としてCO<sub>2</sub>排出量を取り上げる。都市のCO<sub>2</sub>排出量を考えた場合、消費側の需要システム、その上流側と下流側に供給システムと廃棄システムが存在するが、ここでは福岡市内で直接的に消費される需要システムのみを扱う。例えば、他都市で製材された建築材を福岡市の建設に使用した場合、製材に伴うCO<sub>2</sub>排出量は勘案しない。
- ②セクタの設定：関係性の強い因子群をセクタという概念でグループ化し、セクタモデルを統合することで全体のハビタットシステムを構築する。本研究では、人口、世帯、従業者、土地、経済、戸建・集合住宅、オフィス、卸小売業、飲食店、ホテル、病院、学校、その他サービス業、製造業、建設業、旅客交通、貨物交通の17セクタにグループ化した。
- ③セクタのモデル化：セクタ中の多様な因子間の因果関係を魅力乗数というグラフ関数によって定義する。因子によっては、他のセクタ内の因子と関係づけられる場合もある。各セクタの因子群の抽出と魅力乗数による関係づけは、都市・建築分野だけでなく、社会学や経済学の分野も含めた多様な観点からの既往調査研究・レポートおよび専門家の知見等に基づいて設定する。
- ④活動量の算出：セクタを統合したハビタットシステムのモデルを、システムダイナミクス手法によって求解するソフトウェアStella上で構築し、セクタ因子群の中でCO<sub>2</sub>排出量に相関性が高い因子の状態量を活動量として算出する。活動量には、戸建住宅ストック戸数、集合住宅ストック戸数、業務用建築物の用途別ストック延床面積(8種類：上記②の用途別業務用建築物に対応、学校は小中学校と高等学校・大学に分離)、旅客交通種別人・km(乗用車・鉄道・バス・自動二輪)、貨物交通種別トン・km(貨物車・鉄道・船舶)、製造業事業所ストック延床面積、製造品出荷額、建設着

工床面積、建設解体床面積があげられる。

- ⑤活動量の計算値と実績値との比較：ハビタットシステムモデルの計算結果を検証するために活動量の計算値と実績値の比較を行う。1975~2005年の各年実績値を用い、同期間の計算値と実績値ができるだけ一致するよう因子の取捨選択および因子間の因果関係を表す魅力乗数を調整する。一部の魅力乗数の確からしさを検証するために市民へのアンケート調査を実施する。
- (2) 各活動量に対応した1975~2005年の各年のCO<sub>2</sub>排出原単位を算定する。CO<sub>2</sub>排出原単位とは単位活動量あたりのCO<sub>2</sub>排出量で、エネルギー消費原単位(単位活動量あたりのエネルギー消費量)にCO<sub>2</sub>排出係数を乗じて求められる。エネルギー消費原単位は既存のシミュレーションプログラムや燃料消費の統計データを用いて算定する。CO<sub>2</sub>排出係数はエネルギー供給会社や環境省等からの公表データを用いて設定する。
- (3) ハビタットシステムのCO<sub>2</sub>排出量を、各年の活動量にCO<sub>2</sub>排出原単位を乗じて算出する。ハビタットシステムは、時間経過とともに変動する動作システムの内部構造をモデル化しているため、初年の1975年のみ因子状態量に実績値を入力し、それ以降は各年ごとに順次計算され、2050年までの将来にわたる活動量が求められる。それによって、1975~2050年までのハビタットシステムのCO<sub>2</sub>排出量が予測される。ただし、以下(4)で述べるBAUケースのCO<sub>2</sub>排出原単位については、2005年の算定値がそれ以降も維持されるものと仮定する。
- (4) CO<sub>2</sub>排出削減対策を考慮しないBAUケース(Business As Usual)の2050年までのCO<sub>2</sub>排出量を示すとともに、いくつかのCO<sub>2</sub>排出削減対策の導入・普及を考慮した場合の2050年までのCO<sub>2</sub>排出量を計算し、CO<sub>2</sub>排出削減可能量を定量的に明らかにする。

### 4. 研究成果

- (1) ハビタットシステムにおけるセクタモデルの例を図1(人口セクタ)、図2(オフィスセクタ)に、ハビタットシステム全体のモデルを図3に示す。
- (2) 活動量の計算結果の例として、人口と業務用建築物の用途別ストック延床面積を図4、図5に示す。1975~2005年までの実績値と比較したところ、比較的確度の高い計算結果であることがわかった。他の活動量についても、概ね実績値と一致する結果が得られている。
- (3) 図6にCO<sub>2</sub>排出削減対策をとらないBAUケース(現状維持)の2050年までのCO<sub>2</sub>排出量予測結果を示す。2005年までの実績値との比較においては、1990年前後で計算値が若干大きめに計算されているが、全体としては将来を予測する際の精度上の問題はないと

判断した。2005年以降、予測結果が滑らかな曲線を描いているのは、前述したとおり、CO2排出原単位を2005年の値で固定しているためである。

(4) 図6のCO2排出量予測結果から、2025

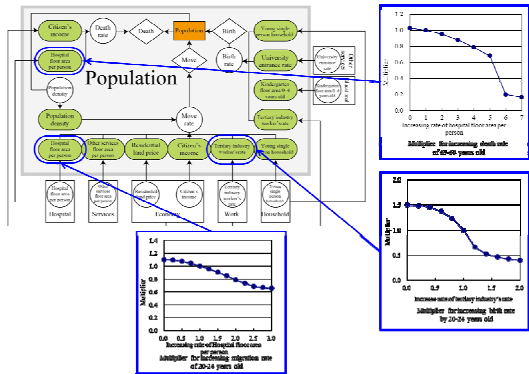


図1 人口セクタのモデル

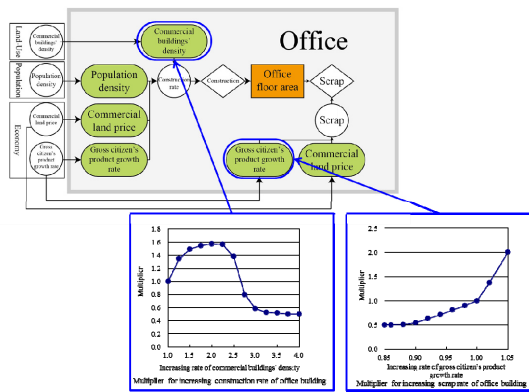


図2 オフィスセクタのモデル

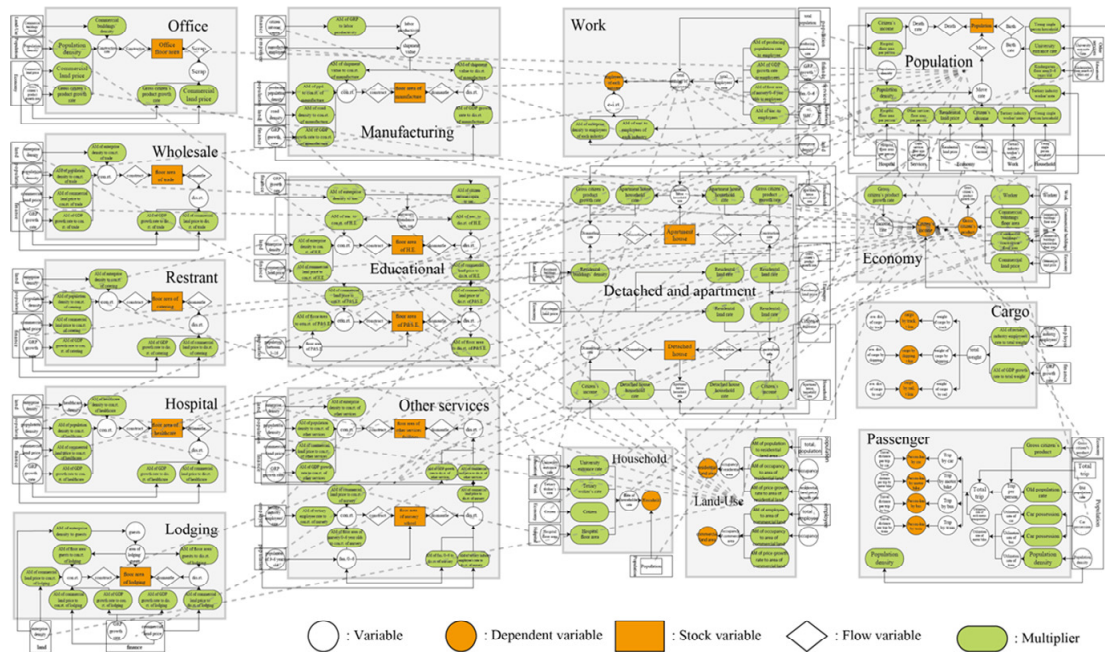


図3 ハビタットシステムの全体モデル

年ごろをピークに減少傾向に転じ、2050年の段階で約5.3百万t-CO2になる。これは対1990年比で23%の増加、対2005年比で2.5%の増加である。

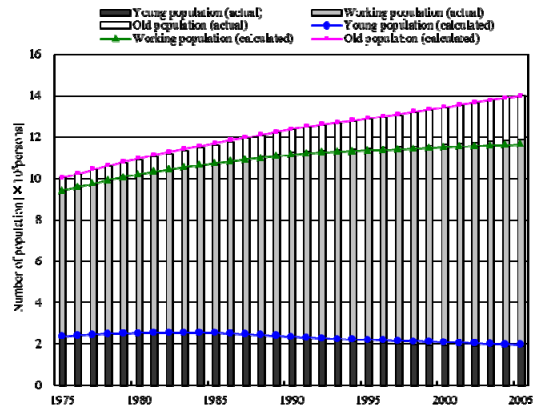


図4 人口の計算値と実績値の比較

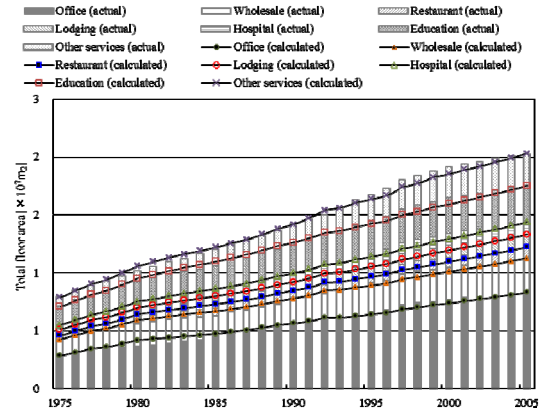


図5 業務用建築物の用途別ストック延床面積の計算値と実績値の比較

(5) 以下のCO2 排出削減対策を想定し、それぞれのCO2 排出量削減可能量を明らかにした。

①ZEH (Zero Energy House) 対策ケース：2015 年以降の新築住戸の ZEH を義務化する。2050 年の ZEH 普及率 (以下 A) は戸建住戸で 24%、集合住戸で 32% になり、CO2 排出削減量 (以下 B) は対 BAU ケースで約 0.55 百万 t-CO2 (約 10%) である。

②ZEB (Zero Energy Building) 対策ケース：2015 年以降の新築のオフィス、卸小売業、学校の ZEB を義務化する。(図 7)

(A) オフィス 42%、卸小売業 53%、学校 66%  
(B) 約 0.49 百万 t-CO2 (約 9%)

③ZEH+長寿命対策ケース：2015 年以降の新築住戸 ZEH を義務化すると同時に、新築建替え数を毎年 20% 減少させる。

(A) 戸建住戸 21%、集合住戸 28%  
(B) 約 0.48 百万 t-CO2 (約 9%)

ケース①と比べて CO2 排出削減量は減少するが、これは長寿命化により ZEH 普及率が減少するためである。住宅の長寿命化によって建材の製造段階の CO2 排出量は減少するはずだが、福岡市の場合、他の都市で製造されることが多く、その分は本研究の境界条件として考慮されない。

④PV1 対策ケース：2015 年以降の新築住戸に太陽光発電 (PV) の導入を義務化する。戸建住戸には 3kW/戸、集合住戸には 1.5kW/戸の PV が設置されるとし、これにより系統から賄う年間エネルギー消費量が戸建住戸で 8.9GJ/戸・年、集合住戸で 4.2GJ/戸・年だけ減少すると仮定する。

(A) 戸建住戸 24%、集合住戸 32%  
(B) 約 0.09 百万 t-CO2 (約 2%)

⑤PV2 対策ケース：2015 年以降の新築および改修の住戸に PV 導入を義務化する。PV 装置容量等は④と同じ。改修は 15 年に 1 回の頻度で行われると仮定する。(図 8)

(A) 戸建住戸 92%、集合住戸 93%  
(B) 約 0.3 百万 t-CO2 (約 6%)

⑥FC1 対策ケース：2015 年以降、新築住戸に燃料電池 (FC) を導入する割合が 2015~2025 年にかけて 10% ずつ増加していく。これにより系統から賄う年間エネルギー消費量が戸建・集合住戸で 4.6GJ/戸・年だけ減少すると仮定する。

(A) 戸建住戸 20%、集合住戸 27%  
(B) 約 0.05 百万 t-CO2 (約 1%)

⑦FC2 対策ケース：2015 年以降、新築および改修の住戸に燃料電池 (FC) を導入する割合が 2015~2025 年にかけて 10% ずつ増加していく。系統から賄う年間エネルギー消費量の減少量は⑥と同じ。改修は 15 年に 1 回の頻度で行われると仮定する。

(A) 戸建住戸 89%、集合住戸 90%  
(B) 約 0.19 百万 t-CO2 (約 4%)

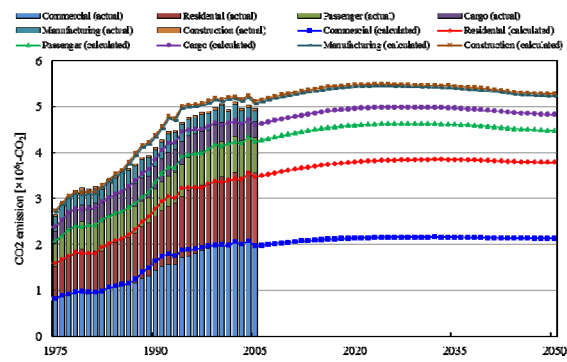


図 6 BAU ケースの CO2 排出量予測結果

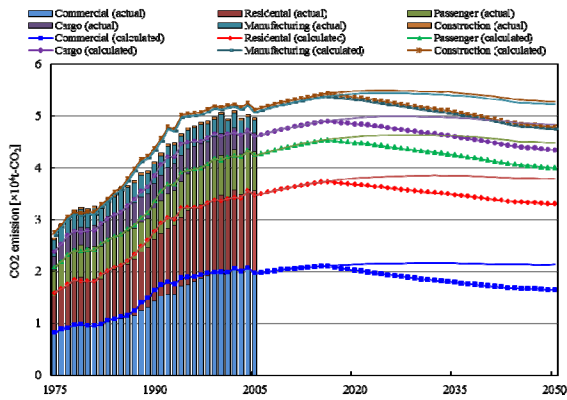


図 7 ZEB 対策ケースの CO2 排出量予測結果

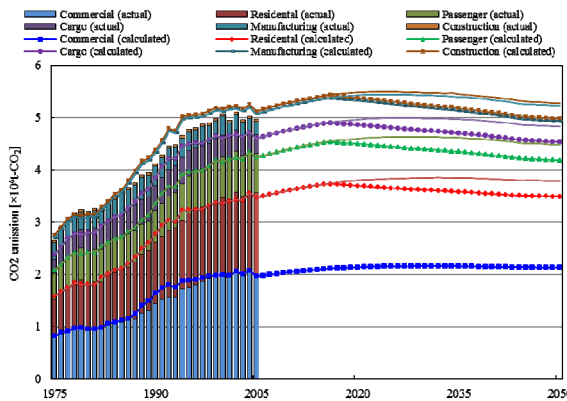


図 8 PV 対策ケースの CO2 排出量予測結果

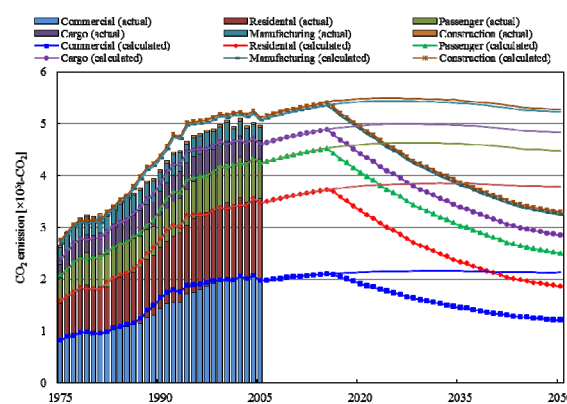


図 9 複合対策ケースの CO2 排出量予測結果

- ⑧コミッシュンング対策ケース：2015年以降、業務用建築物の新築50%、改修（1回/15年）50%がコミッシュンングを実施する。コミッシュンングによってCO<sub>2</sub>排出量は10%削減すると仮定する。  
 (A) オフィス35%、卸小売業39%、飲食業39%、ホテル34%、病院36%、学校43%、その他サービス業36%  
 (B) 約0.14百万t-CO<sub>2</sub>（約3%）
- ⑨エコカー対策ケース：2015年以降、ハイブリッドカーが2015～2025年にかけて5%ずつ導入が進み、2025年以降は50%の普及率を保持する。  
 (A) ハイブリッドカー50%  
 (B) 約0.1百万t-CO<sub>2</sub>（約2%）
- ⑩交通手段対策ケース：2015年以降、バスの利用が10%増加し、乗用車の利用が10%減少する。  
 (A) -  
 (B) 約0.06百万t-CO<sub>2</sub>（約1%）
- ⑪複合対策ケース：上記の①⑤⑦⑧⑨⑩が複合して対策される。（図9）  
 (A) -  
 (B) 約2.0百万t-CO<sub>2</sub>（約38%）
- (6) CO<sub>2</sub>排出削減対策の組み合わせによって、2050年の段階で約38%の削減が可能であることが明らかになった。この数値は、「温室効果ガス80%削減ビジョン」（2009年8月）において環境省が想定した需要サイドのCO<sub>2</sub>排出削減40%に近い。
- (7) ただし、本研究で得られたCO<sub>2</sub>排出削減量約38%には、ZEH・ZEBの義務化といったハードルの高い対策が含まれており、現実的には過大な見込みとなっている。また、2011年3月の東日本大震災を受けて、供給サイドのCO<sub>2</sub>排出削減が当初の見込みよりも厳しい状況におかれていることを考えれば、より効果的な需要サイドのCO<sub>2</sub>排出削減対策を導入・普及していく必要がある。
- (8) 今後の課題を下記に示す。
- ①ハビタットシステムモデルの改善：本研究で開発したシミュレータを有効に活用するには、ハビタットシステムのモデルをより洗練化し、産業構造の異なる他の都市への適用性を高める必要がある。
- ②供給サイド・廃棄サイドへのモデル拡張：エネルギー需給やリユース・リサイクルの検討を行うには、需要サイドのみのモデルではなく、供給サイドや廃棄サイドのモデルを組込む必要がある。
- ③複数都市モデルの接合：ある都市のCO<sub>2</sub>排出量はその都市内で直接的に排出されるものだけでなく、他の都市で間接的に排出されるものもある。CO<sub>2</sub>排出量の評価方法も含めて複数都市モデルの接合を考える必要がある。
- ④CO<sub>2</sub>排出削減対策の多様化：例えば、環境

税が導入された場合の政策的効果などが未検討である。モデル拡充を通して、多様なシナリオ検討を可能にする必要がある。

## 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5件）

(1) T. Yamamoto, Y. Akashi, 他8名：Development of a Simulator for Long-term Prediction of Urban Environmental Loads and Prediction of CO<sub>2</sub> Emission from Civilian and Industrial Sectors, Proceedings of the 5th The Yellow Sea Rim International Exchange Meeting on Building Environment and Energy, 査読無, 2011(CD)

(2) H. Takeda, Y. Nakai and T. Arima: Attitude to Public Transportation and Factors Influenced to Traffic Mode Choice for Promoting TOD, Journal of Habitat Engineering, 査読有, Vol.2, No.1, pp.11-22, 2010

(3) K. Ryu and S. Zhao: A Study on Relation with Attraction Degree and Net Migration by New Cities Development in South Korean Capital Region, Proceedings the 7th International Symposium on City Planning and Environmental Management in Asian Countries, 査読有, pp.31-40, 2010

(4) 寺地愛優, 赤司泰義, 他8名：都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と住宅・事務所セクタにおける2050年までのCO<sub>2</sub>排出量予測, 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17号, pp.63-74, 2010

(5) T. Takai, Y. Akashi, 他4名：Development of an Urban Simulator for Constructing Sustainable City, Proceedings of the 11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition, the Building Simulation 2009, 査読有, pp.1413-1420, 2009

〔学会発表〕（計16件）

(1) Y. Akashi: Development of Simulator using System Dynamics for Long-term Prediction of Urban Environmental Loads, Proceedings of International Seminar 2012, Green Process for Realization of Low-Carbon City, March, 16, 2012, Busan (Korea)

(2) 原祐介, 赤司泰義, 他7名：都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と部門別CO<sub>2</sub>排出量予測（その9）旅客交通セクタ・貨物交通セクタ・財政セクタのモデル化, 日本建

築学会九州支部研究報告 2012 年 3 月 4 日，  
西日本工業大学（北九州市）

(3) 山本高広，赤司泰義，他 7 名：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 10）セクタの統合と部  
門別 CO2 排出量推計，日本建築学会九州支部  
研究報告，2012 年 3 月 4 日，西日本工業大学  
（北九州市）

(4) 萩尾達哉，志賀勉，他 8 名：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 11）シミュレータを用いた  
住宅由来 CO2 排出量削減施策の検討，日本建  
築学会九州支部研究報告，2012 年 3 月 4 日，  
西日本工業大学（北九州市）

(5) 村田潤一，趙世晨：ネットワーク解析を  
用いた都市形態の変化に関する研究-福岡を  
事例として-，日本建築学会大会学術講演梗概  
集，2011 年 8 月 23-25 日，早稲田大学（東  
京都）

(6) 武田裕之，伊藤潤司，有馬隆文：居住地・  
勤務地の立地が通勤時の交通手段選択に及  
ぼす影響に関する研究，日本建築学会大会学  
術講演梗概集，2011 年 8 月 23-25 日，早稲  
田大学（東京都）

(7) 赤司泰義：システムダイナミクスによる  
福岡市の環境負荷長期予測，日本建築学会地  
球温暖化対策アクション策定特別調査委員  
会，建築・都市の低炭素化実現に向けた連続  
シンポジウム（第 1 回），2011 年 3 月 12 日，  
福岡大学（福岡市）

(8) 赤司泰義：持続型社会の都市エネルギー  
システム～システムダイナミクスによる都  
市環境負荷の長期予測～，せんだいスク  
ール・オブ・デザイン，2010 年 12 月 11 日，東  
北大学（仙台市）

(9) 山本高広，赤司泰義，他 8 名：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 CO2 排出量予測（その 1）福岡市にお  
ける 1975～2004 年までの部門別 CO2 排出量  
の推計，日本建築学会大会学術講演梗概集，  
環境工学 I，2010 年 9 月 9-11 日，富山大学  
（富山市）

(10) 杉田匡英，赤司泰義，他 8 名：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 CO2 排出量予測（その 2）シミュレ  
ータの開発方法と人口・世帯・従業者セクタの  
モデル化，日本建築学会大会学術講演梗概集，  
環境工学 I，2010 年 9 月 9-11 日，富山大学  
（富山市）

(11) 寺地愛優，赤司泰義，他 8 名：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 CO2 排出量予測（その 3）民生・産  
業部門に関するセクタのモデル化と民生・産  
業部門 CO2 排出量予測，日本建築学会大会学  
術講演梗概集，環境工学 I，2010 年 9 月 9-11  
日，富山大学（富山市）

(12) 柳基憲，山本高広，趙世晨：福岡市にお

ける大気汚染物質の推計からみた環境関連  
計画のあり方—旅客交通部門を中心として—  
，日本建築学会大会学術講演梗概集，都市  
計画，2010 年 9 月 9-11 日，富山大学（富  
山市）

(13) 中井康嗣，武田裕之，有馬隆文：TOD 推  
進に向けた自動車利用者の交通手段転換に  
関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概  
集，都市計画，2010 年 9 月 9-11 日，富山  
大学（富山市）

(14) 寺地愛優，赤司泰義，他 4 名：福岡市に  
おける 1975 年から 2004 年までの民生部門の  
CO2 排出量の推計，日本建築学会大会学術講  
演梗概集，環境工学 I，2009 年 8 月 26-29 日，  
東北学院大学（仙台市）

(15) 杉田匡英，赤司泰義，他 4 名：都市環境  
負荷予測シミュレータの開発（その 1）シ  
ミュレータの開発方法，日本建築学会大会学  
術講演梗概集，環境工学 I，2009 年 8 月  
26-29 日，東北学院大学（仙台市）

(16) 高井智広，赤司泰義，他 4 名：都市環境  
負荷予測シミュレータの開発（その 2）個  
別セクタのモデル化，日本建築学会大会学  
術講演梗概集，環境工学 I，2009 年 8 月 26-29  
日，東北学院大学（仙台市）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

・赤司 泰義 (AKASHI YASUNORI)  
九州大学・大学院人間環境学研究院・教授  
研究者番号：60243896

### (2) 研究分担者

・有馬 隆文 (ARIMA TAKAFUMI)  
九州大学・大学院人間環境学研究院・  
准教授

研究者番号：00232067

・趙 世晨 (ZHAO SHICHEN)  
九州大学・大学院人間環境学研究院・  
准教授

研究者番号：80304848

・山口 謙太郎 (YAMAGUCHI KENTARO)  
九州大学・大学院人間環境学研究院・  
准教授

研究者番号：10274490

・志賀 勉 (SHIGA TSUTOMU)  
九州大学・大学院人間環境学研究院・  
講師

研究者番号：00206070

・鶴崎 直樹 (TSURUSAKI NAOKI)  
九州大学・大学院人間環境学研究院・  
准教授

研究者番号：20264096

### (3) 連携研究者

なし