

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760438

研究課題名(和文) 地方自治体による低炭素都市・地域エネルギー計画のヒートアイランド対策評価

研究課題名(英文) Evaluation of Urban Heat Island Mitigation in Low Carbon Cities and Local Energy Plans by Local Governments

研究代表者

平野 勇二郎(Hirano, Yujiro)

独立行政法人国立環境研究所・社会環境システム研究センター・主任研究員

研究者番号：70436319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化対策のために、これまでに様々な低炭素施策が提案されているが、これを実現するためには居住者の身近な生活環境との両立が必要である。そこで本研究は低炭素施策の導入により得られる省エネルギー効果とその都市熱環境への影響について明らかにすることを目的とした。本研究では、街区スケールの局所気象モデルと空調負荷計算モデルとを結びつけた都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルにより評価を行った。この結果、多くの省エネルギーによる施策では若干の気温低下が見られたが、PVパネルではわずかに気温上昇を伴うことが示された。

研究成果の概要(英文)：Various low-carbon measures have been proposed as countermeasures to global warming. However, to achieve these measures, they must be compatible with the living environment of the residents. Therefore, we evaluated the impact of the introduction of low-carbon measures on the urban thermal environment. In this research, evaluations were performed using a coupled urban canopy and building energy model. Results showed that in many CO2 reduction measures through energy conservation, a temperature-lowering effect was present. However, with photovoltaic installation, temperature increased slightly.

研究分野：土木環境システム

キーワード：低炭素社会 ヒートアイランド 冷房負荷 再生可能エネルギー 省エネルギー 都市気候モデル 都市熱環境 CO2排出削減

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化対策のために低炭素社会の構築が急務となっており、様々な CO<sub>2</sub> 削減の方策が提案されている。また、東日本大震災以降は災害時のエネルギー安定供給や原子力発電所の停止に伴う電力ピーク負荷削減も重要な政策課題となっており、地域内の分散型エネルギーネットワークの構築や自然エネルギー導入などは、ますます重要視される傾向にある。

しかしながら、これまでに種々の CO<sub>2</sub> 削減策が提案されているものの、これらを実現することは難しく、世界的金融危機や原子力発電所事故などの諸要因の影響を除けば、この数十年の CO<sub>2</sub> 排出量は概して増え続けていると言える。こうしたことから、今後は CO<sub>2</sub> 削減策を提案するだけでなく、それをどのようにして実現するかという観点からの研究が重要となる。この点について、将来的な持続可能性を維持するための地球温暖化対策はもちろん重要であるが、これを実現するためには現代の居住者にも魅力的な都市を提案することが必要であると考えている。このため、著者らは CO<sub>2</sub> 排出削減と、居住者にとっての身近な生活環境の快適性や利便性とを両立したコベネフィット型の都市設計の研究を進めている。その一環として、都市化による高温化、すなわち都市のヒートアイランド現象の対策は重要な位置を占めると考えている。ヒートアイランド現象は都市の居住快適性を損失する重要な要因となっている。これに対し、都市内の省エネルギーによる低炭素施策は人工排熱削減によるヒートアイランド緩和効果が得られる可能性が高い。これらはコベネフィット効果として積極的に都市環境の計画・管理に取り込むことは、都市の快適性を向上するだけでなく、CO<sub>2</sub> 削減策の導入・普及率を高めるという点でも重要である。こうした背景から、種々の CO<sub>2</sub> 削減策について都市気温への影響を予測し、できる限り熱環境悪化を回避し、快適な都市設計を行うことが重要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は種々の CO<sub>2</sub> 削減策を対象とし、その都市ヒートアイランドへの影響評価を行なうことである。近年、地方自治体スケールでの低炭素化や省エネルギー、再生可能エネルギー利用などの計画の事例が増えているが、こうした計画を実現するためには、生活者の身近な居住環境との両立が不可欠である。このため本研究では、まず各種の省エネルギーや再生可能エネルギー利用施策の提案事例について整理し、熱環境シミュレーションにより各施策の都市ヒートアイランドの予測評価が可能な計算モデルを構築した。また、次に代表的な CO<sub>2</sub> 削減策を対象として都市街区を対象としたシミュレーションを行い、施策導入が都市熱環境へ及ぼす影響を定量化した。

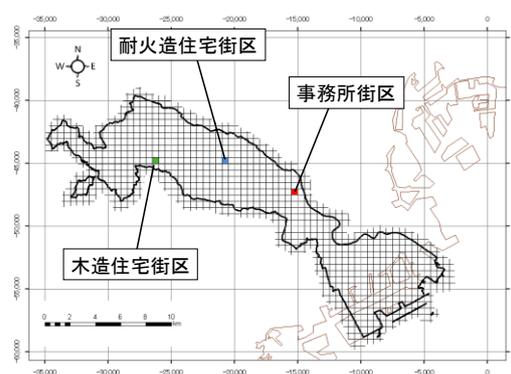


図1 本研究の対象地域と計算グリッド

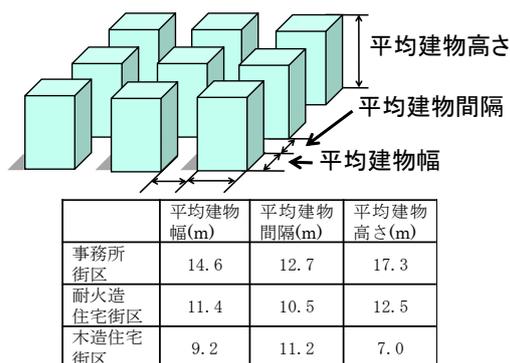


図2 各街区タイプの建物パラメータ

### 3. 研究の方法

本研究では、街区スケールの局所気象モデルと空調負荷計算モデルとを結びつけた都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデルを用いて評価を行った。このモデルに含まれる都市キャノピーモデルは鉛直一次元の多層の局地気象モデルであり、街区内に複数の建物が存在している状況を平均建物間隔、平均建物幅、各高度における建物存在割合等でパラメタライズし、建物による直達光の遮蔽や多重反射を考慮した方位別の表面熱収支や鉛直方向の乱流拡散、街区内の気温変動等を計算する。ビルエネルギーモデルは空調負荷計算モデルであり、都市キャノピーモデルとの連成計算により外気とのインタラクションを考慮した建物の熱負荷や冷房用エネルギー消費量、人工排熱等の計算が可能である。本研究では自治体スケールの対策を扱うために多グリッド対応に拡張したモデルを用いた。

本研究では代表事例として川崎市を評価対象地域とした(図1)。この対象地域は種々の自治体における低炭素施策事例を調査した上で、計算対象地域は気候条件や市街地形態を踏まえて典型的な事例として選択した。また、各施策導入ケースについて詳細を評価するため、対象地域から典型的な事務所街区、耐火造住宅街区、木造住宅街区と見なせる街区を選択した(図2)。解析対象日は概ね平均的な夏季の晴天日であった2002年7月29日を選択し、2日分の助走計算を行った。

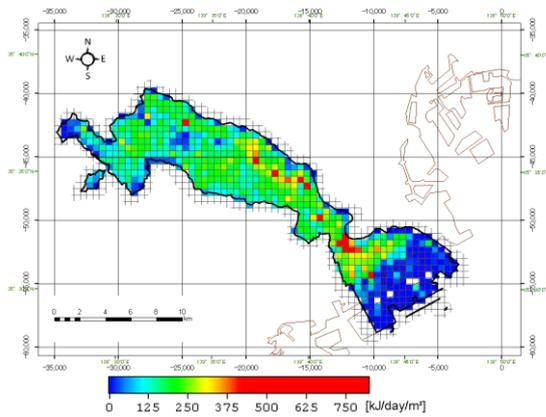


図3 川崎市における計算結果（現状ケースの冷房用エネルギー消費の例）

本研究では、窓面の日射遮蔽ケース、太陽光発電(PV)パネル導入ケース、高断熱化ケース、室内機器更新ケース、冷房温度変更ケースの5つの低炭素施策を対象として評価を行った。窓面の日射遮蔽ケースでは、窓面の日射遮蔽ブラインドやカーテンの利用を想定し、日射総合透過率を標準ケースの0.3から0.1へ変更した。PVパネル導入ケースでは、屋上の60%にPVパネルの導入を想定した。PVパネル自体の設定は既往研究に従い、本研究では発電された熱量分だけ表面熱収支から熱が除去される効果や、パネルによる日射遮蔽のために冷房負荷が減少し、冷房用エネルギー消費による人工排熱が削減される効果なども含めて計算した。高断熱化ケースでは建物の壁面・屋根において次世代省エネ基準相当の高断熱化を想定し、体積熱容量、熱伝導率のパラメータを既往研究と同様に設定した。室内機器更新ケースでは、空調を除く機器・照明発熱を省エネルギー性能の高い設備へ更新することを想定し、室内の機器発熱の20%を削減する想定とした。その際、室内の発熱量の減少と、冷房用エネルギー削減による人工排熱減少の両者を計算に含めた。冷房温度変更ケースでは、冷房の設定温度を1℃高めることを想定した。

#### 4. 研究成果

本研究では川崎市を500mグリッドに分割して、各グリッドに対してシミュレーションを行った。現状ケースにおける冷房用エネルギーの計算結果の例を図3に示す。また事務所街区における室内熱収支の計算結果の例を図4に示す。

各街区について、施策導入ケースと現状ケースのエネルギー消費量の差を算出した(図5)。この結果、本研究の対策導入シナリオでは、事務所街区では室内機器更新ケース、住宅街区ではPVパネル導入ケースの省エネルギー効果が大きいという結果になった。ただし、本研究では各施策を対等に比較できるシナリオ設定を行っていないため、施策間での効果の大きさを比較することはできない。

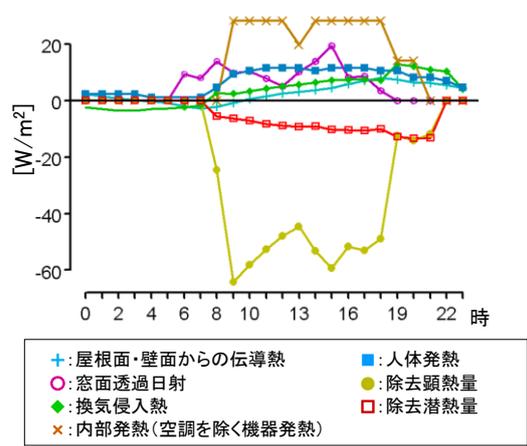


図4 室内熱収支の計算結果（事務所街区、現状ケースの例）

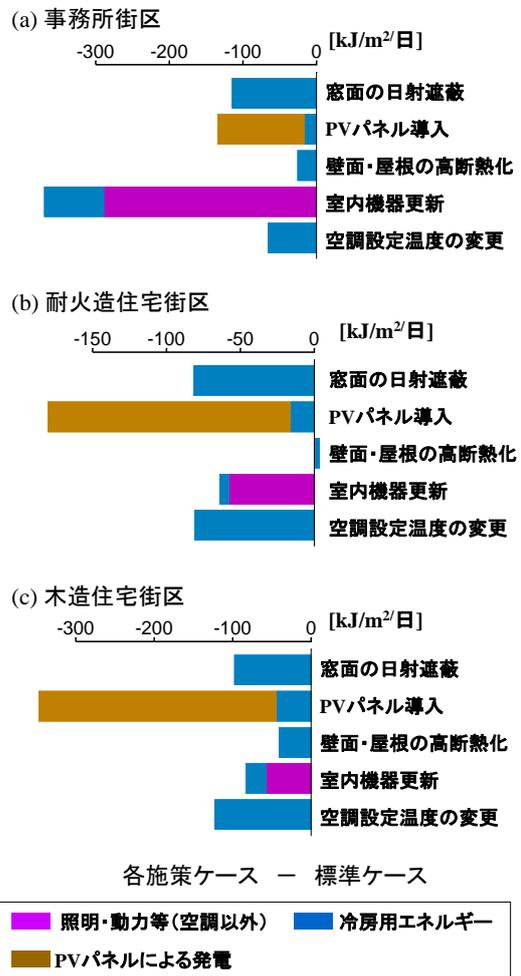


図5 各施策ケースと標準ケースのエネルギー消費量の差

次に各施策の外気温への影響について評価した。まず標準ケースおよび各CO<sub>2</sub>削減策導入ケースにおける気温の計算結果の例を図6に示す。この図から、気象条件などによるばらつきが大きい、窓面の日射遮蔽ケース、室内機器更新ケース、冷房温度変更ケースにおいて、対策導入により気温が若干低下していることが分かる。一方、PVパネル導

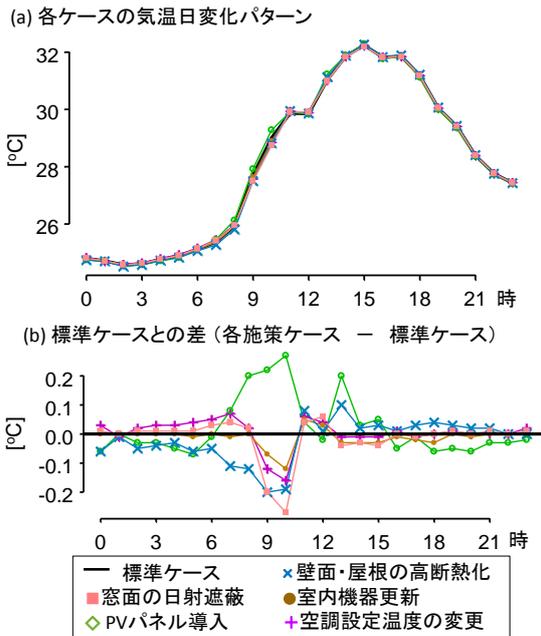


図6 地上気温の計算結果（事務所街区の例）

入ケースでは若干気温が上昇するという結果となった。他の街区タイプについても同様に計算を行ったが、変動幅は同程度であり煩雑であったため、次に省エネルギー効果と気温変化の関係を散布図で示す（図7）。この結果、やはり諸条件によるばらつきは大きいものの、気温低下効果が生じているケースが多い。これらはいずれも省エネルギーにより化石燃料起源のCO<sub>2</sub>排出量を削減する方策であるため、省エネルギー効果により人工排熱が減少したことがその主な要因である。一方、いずれの街区タイプでもやはりPV導入ケースでは気温が上昇しているというけっかとなった。これは、発電や日射遮蔽の効果は気温を下げる方向に作用するが、PVパネル表面のアルベドが低いことの影響がそれを上回ったためである。また、高断熱化ケースでは建物表面の熱容量が小さくなるため、表面温度の変化幅が大きく、影響の生じ方が諸条件により異なる結果となった。ただし、本研究において評価対象とした低炭素施策はいずれも気温への影響は日平均値では0.1°C以下であり、気温への影響は大きいとは言えない。

実際には大量の工場廃熱を都市内に搬送する未利用エネルギー利用、都市内で発電排熱が発生する分散型電源やコジェネレーション型熱供給など、これまでに提案されているCO<sub>2</sub>削減策の中には都市ヒートアイランドの深刻化が危惧される施策も少なくはない。また、人口集中と建物の密集化を伴うコンパクトシティ化などは、生活者がその影響を受けやすくする要因となる。こうしたことから、今後は供給側の対策や都市構造の改変を伴う対策などにも同様の評価を行う必要がある。

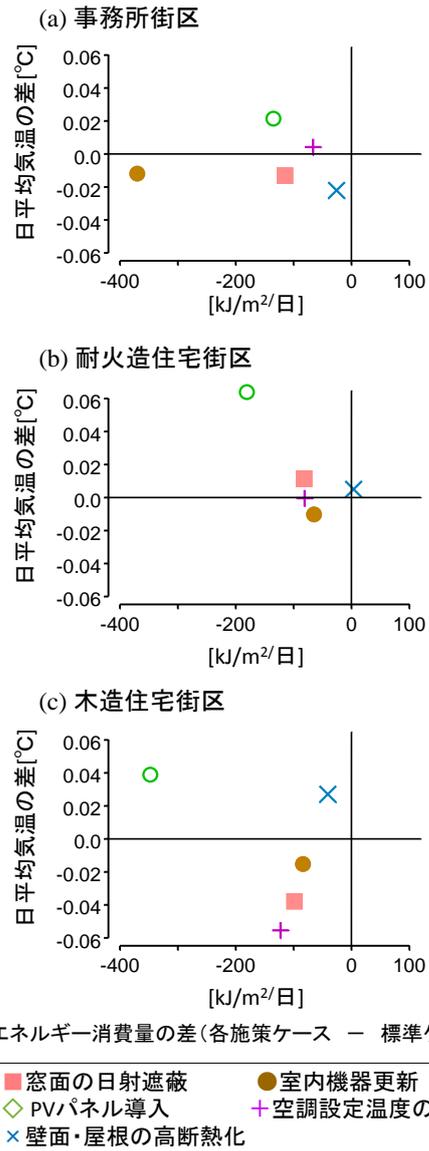


図7 エネルギー消費量の差(各施策ケース - 標準ケース)と日平均気温の差(各施策ケース - 標準ケース)の散布図

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 平野勇二郎、谷川寛樹、藤田壮、屋上緑化建築における屋根面蒸発散量とCO<sub>2</sub>削減効果の数値シミュレーション、土木学会論文集B1(水工学)、査読有、Vol. 71、2015、pp. I\_439-I\_444
- ② 平野勇二郎、藤井実、藤田壮、エネルギー利用効率のポテンシャル評価に関する考察と事務所ビルにおける評価事例、環境科学会誌、査読有、Vol. 26、2013、pp. 388-396
- ③ 平野勇二郎、稲葉陸太、酒井広平、早渕百合子、大迫政浩、民生業務部門における業種別エネルギー消費量の詳細推計、環境科学会誌、査読有、Vol. 26、2013、pp. 430-439

〔学会発表〕（計18件）

- ① 平野勇二郎、吉田友紀子、川崎市における低炭素施策導入の省エネルギー効果と都市熱環境への影響、第42回土木学会関東支部技術研究発表会、2015年3月5日、東海大学湘南キャンパス（神奈川県・平塚市）
- ② 平野勇二郎、吉田友紀子、都市街区におけるCO<sub>2</sub>削減策の温熱環境評価、平成26年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会、2014年11月13日、いわき市文化センター（福島県・いわき市）
- ③ Hirano Y., Fujita T., Simulating CO<sub>2</sub> reduction effects of measures for reducing air-conditioning load in urban districts. Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 2014年10月14日, Venice (Italy)
- ④ Hirano Y., Ohashi Y., Fujita T., Simulation-based evaluation of evapotranspiration of rooftop greening and its effect in mitigating heat island conditions, The 14th EMS Annual Meeting, 2014年10月9日, Prague (Czech)
- ⑤ 平野勇二郎、谷川寛樹、戸川卓哉、藤田壮、孫穎、事務所ビル街区における屋上緑化の蒸発散量とそのヒートアイランド緩和効果およびCO<sub>2</sub>削減効果のシミュレーション評価、環境システム研究論文発表会、2013年10月19日、九州大学伊都キャンパス（福岡県・福岡市）
- ⑥ Hirano Y., Ohashi Y., Ihara T., Fujita T., Kikegawa Y., Kondo H., Evaluation of Urban Heat Island Mitigation and CO<sub>2</sub> Reduction Effects, 8th International Conference on Urban Climates, 2012年8月9日, Dublin (Ireland)
- ⑦ 平野勇二郎、藤田壮、都市街区スケールでの冷房エネルギー削減によるCO<sub>2</sub>削減効果の数値シミュレーション、第20回地球環境シンポジウム、2012年9月14日、京都大学桂キャンパス（京都府・京都市）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平野勇二郎 (HIRANO, Yujiro)

独立行政法人国立環境研究所・社会環境システム研究センター・主任研究員

研究者番号：70436319