

## 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 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22340141

研究課題名(和文)日本の温暖化率の算定に関わる都市バイアスの評価と微気候的影響の解明

研究課題名(英文)Evaluation of urban bias and microclimate effects for climate change monitoring in Japan

研究代表者

藤部 文昭 (FUJIBE FUMIAKI)

気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・室長

研究者番号：60343886

研究成果の概要(和文): 気象観測所周辺の都市化やミクロな環境変化が長期間の温暖化率の算定に及ぼす影響を、データ解析、野外観測および数値シミュレーションによって評価した。日本では中小都市でも過去1世紀の気温上昇率に都市化による正偏差が存在すること、林や遮蔽物による気温偏差も無視できない大きさを持つことが見出された。また、都市やミクロな環境条件による気温への影響を表現するための数値モデルを開発し、それらを首都圏の気候変化やアスファルト道路周辺の気温分布に適用した。

研究成果の概要(英文): The effects of urbanization and microscale environmental changes on the monitoring of long-term warming trends were examined by way of data analysis, field experiments, and numerical simulations. It was found that centennial-scale warming trends are affected by positive urban bias, even for stations in middle to small cities in Japan, whereas the presence of nearby forests and obstacles was found to cause unnegligible bias on temperature observation. A series of numerical models was developed in order to express the influence of urbanization and microscale environmental changes, and was applied for evaluating the climate changes in the Tokyo metropolitan area and the temperature distribution near an asphalt road.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
23年度	3,200,000	960,000	4,160,000
24年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：気候変動，都市気候，微気候

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に対する的確な対策を進めていくためには、その正確な実態把握が不可欠である。IPCCの第4次評価報告書(2007)によると、過去100年間の全球平均気温の上昇率は0.74となっている(以下、長期的な気温上昇率を「温暖化率」と言う)。この数字は一見すると小さいが、これに付随して海面

上昇、大雨の増加、生態系の変化など社会に大きなインパクトを与える諸問題への懸念が高まっていることは周知の通りである。このように、温暖化の議論においてはわずかな気温変化も重要であり、それだけ精密な評価が求められる。

日本の温暖化率は、気象庁によると全国平均で100年当たり1.11(統計期間：1898

～2008年)である。しかし、歴史の古い気象官署の多くは都市にあり、その気温の長期変動には都市化に伴う局所的な変化(都市バイアス)が混入する。上述の温暖化率の算定においても、県庁所在地など都市の地点のデータが一部含まれ、そのため「都市化の影響は完全には除去できていない」ことを容認せざるを得ない状況にある(気象庁「気候変動監視レポート2008」)。言い替えると、都市から離れた農村地帯や山野の温暖化率は正確には評価できていない状況であり、このことは、農作物や生態系に対する気候変動の影響を考えていく上で見逃せない問題であった。

研究開始に当たり、日本の都市バイアスの評価に使える高密度の観測データはアメダスに限られ、その年数は30年にとどまっていた。このデータを利用した研究結果によると、都市化の程度が小さい地点(人口密度100～300人/km<sup>2</sup>)でも有意な高温化バイアスが存在する(Fujibe, 2009)。このことは、100年間にわたる長期的な気温変化にも都市バイアスが含まれる可能性を示している。また、気候変動を表現する数値モデルの進歩により、空間分解能が数kmのモデル(メソモデル)によるきめ細かい気候再現が試みられるようになったが、ここでもデータの制約によって計算結果の検証に限界が生じていた。こうした実態把握やモデル検証において、より長期間の高密度データの活用が求められるところであった。

そのようなデータとしては、明治時代から全国1000ヶ所を超える地点(役場、学校など)で行われてきた「区内観測」の気温データが存在する。しかし、このデータはほとんどデジタル化されていないため、気候研究への利用例は少なかった。また、気象庁の観測資料に比べて品質にも検討の余地があるが、高密度かつ長期間の気候データとして潜在的な価値は高く、その整備が期待されていた。

一方、都市内・都市外という大枠にとどまらず、観測所の周囲の建物や樹木の増加・生長などごく狭い範囲の環境変化が、長期間の気候データに及ぼす影響も議論されている。近藤純正・東北大名誉教授はこうした微気候的影響を「陽だまり効果」と呼び、地点によってはこの効果によって0.5以上の気温バイアスが生ずるとしている。しかし、「陽だまり効果」の詳しい実態は明らかでなく、そのメカニズムについても、熱拡散率の変化だけでなく大気放射の変化(日射、赤外線)も考えられる等、解明すべき点が多く残されている(Fujibe, 2009)。他方、建築など工学の分野では、都市空間のミクロな大気状態を数m～10mの格子間隔で表現する「街区CFD(計算流体力学)モデル」が開発されており、理想化された環境場(夏の晴天時など)を対

象にしたシミュレーションに利用されているが、長期的な気候変動の研究との接点は乏しい状況にあった。

## 2. 研究の目的

日本の温暖化率を精度良く算定するためには、観測データに含まれる都市化の影響(都市バイアス)を評価し、また、観測所周囲の環境変化による微気候的影響(いわゆる「陽だまり効果」)を明らかにする必要がある。本研究は、(1)20世紀初頭から蓄積されてきた「区内観測」データを活用して都市バイアスの実態を解明するとともに、数値モデル(メソモデル)による長期間の気温分布変動のシミュレーションによってそのメカニズムを解明し、また、(2)観測所の周囲における高精度の継続観測による実態把握と、微細格子の「街区CFD(計算流体力学)モデル」を改良したシミュレーションや感度実験を通じて、微気候的影響の解明を目指すものである。

### (1) バックグラウンドの温暖化率の算定と都市バイアスの評価

過去1世紀にわたる日本のバックグラウンド(都市化の影響を受けない広域環境場)の温暖化率を算定するとともに、市街地の観測点における都市バイアスを定量的に評価し、その要因を明らかにする。これらを達成するため、区内観測データのデジタル化と品質チェック、アメダスとの接続性評価を経て、時系列的・統計的解析を行う。また、メソモデルの境界条件を設定した上で、データ解析結果による検証を行い、気候シミュレーションと感度実験により都市バイアスの形成過程を調べる。

### (2) 気候値に対する微気候的影響の解明

観測所周囲の平均気温の微細分布の実態を把握するとともに、気温分布を作り出す微気候的效果のメカニズムを解明する。これらを達成するため、都市域の気象観測所を選んでその周囲(数十m範囲)に高精度の温度計を配置し、継続的に(2年程度)データを取得する。また、街区CFDモデル(CFDとしては高精度の予測が可能となるLES(Large eddy simulation)を利用)に放射過程を組み入れた後、観測結果による検証を経てシミュレーションを進め、気温の長期平均値に与える微気候的影響のメカニズムを明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) バックグラウンドの温暖化率の算定と都市バイアスの評価

区内観測データによる長期気温変動の実態と都市バイアスの評価

都市バイアスの実態解明に必要なデータ

セットの整備を行うため、全国の 1910 年代以降の区内観測による気温データをデジタル化し、品質や欠測状況のチェックを行った。また、人口分布等に関するデータに基づき、各地点の都市化因子（観測点周辺の人口密度など）を定量化した。その上で、上記のデータセットを利用し、都市化の進んでいない地点を対象として過去 100 年間の気温変化率を算定することにより、バックグラウンドの温暖化率を求め、気温の長期変化率と都市化因子との関係を定量的に評価した。

#### メソモデルによる都市気温分布の長期変動のシミュレーション

メソモデル（気象庁非静力学モデル）による長期間の都市気温分布変動のシミュレーションのため、気象庁客観解析データから計算の初期値・境界値を作成した。また、関東域をカバーする通年のシミュレーションが可能なように、モデル内の都市キャノピスキームについて、降水・降雪時の熱収支表現を改良し、夏季・冬季の予備実験結果を行った。その結果をもとに、都市化が水蒸気場や地上風系に与える影響を見積もり、過去 30 年間の観測データから得られるトレンドと比較し、また地上気温変化と地上風速変化の相関について解析した。

#### (2) 気候値に対する微気候的影響の解明

##### 都市観測点周辺における気温の微細分布の長期観測

平均気温の微細分布を把握するため、東京（大手町）の気象庁構内 2 か所（露場端の植栽に囲まれた場所、および本庁舎屋上観測塔）に、地上気象観測業務で使われている温湿度計と同等の機器を設置し、気温・湿度の継続観測を行った。設置に先立ち、気象測器検定試験センターにおいて機器の器差試験と比較観測を行った。これらの温湿度計により連続観測を行い、気温および湿度の微細構造の特徴を調べた。

人工的な熱源（アスファルト道路）が周辺の気温観測へ及ぼす影響について、気象研究所・高層気象台構内の幅 10m の道路沿いに計 15 個の温度計を設置し、連続観測を行った。また、周辺の林や遮蔽物が気温観測値に及ぼす影響についても、同様の野外観測を行った。

つくば市において、地上 2.5m の気温分布観測を 1 年間実施した。

##### 街区 CFD モデルによる平均気温の微細分布のシミュレーション

アスファルト道路が周辺の気温に対して及ぼす影響を LES (Large-Eddy Simulation) を用いて評価した。入力風速 0.5, 1, 2, 3, 4, 5m/s の 6 ケースのシミュレーションを行い、風速と風下側の気温との関係を試算した。

建物や樹木による街区内の熱収支変化の計算精度を向上させるため、名古屋大学グループがこれまでに開発してきた、一般曲線座標系ベースの複雑地形上大気境界層解析用の LES モデルを建物解像 LES モデルへと改良を行った。また、建物解像のために、0-1 マスキング方式（流体部：0，建物部：1）を導入した。さらに、建物解像 LES モデルへ放射過程を組み込み、対流・放射連成 LES モデルを開発した。開発した対流・放射連成 LES モデルを用いて、様々な気象条件、建物配置条件、地表面被覆条件を変更したケーススタディを行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) バックグラウンドの温暖化率の算定と都市バイアスの評価

1916～1975 年の区内観測データをアメダスと接続し、気温変化率を評価した結果、1916～2010 年のバックグラウンドの気温上昇率は  $0.88 / (100 \text{ 年})$  と算定された。一方、人口密度  $300 \sim 1000 \text{ 人}/\text{km}^2$  の地点でも周辺の非都市地点に比べて有意に昇温率が大きく、中小都市でも都市化による高温化バイアスが存在することが認められた。

##### メソモデルによる都市気温分布の長期変動のシミュレーション

都市キャノピスキームを導入した非静力学モデルを用い、1976 年度版と 2006 年度版の国土数値情報に基づき、関東甲信越地方を対象として夏季と冬季それぞれ 2 か月間のシミュレーションを行った。その結果、都市域の広がりや人工排熱の増大、建築物の高層化に伴って、夏季・冬季ともに平均気温が上昇する可能性が示された。都市化と大気最下層の気温変化・風速変化との関係に関しては、数 km 格子規模の平均場でみた場合、都市化による粗度の増大の影響は平均風速の変化（一般には風速を減少）への影響は大きいですが、平均気温への影響は非常に小さいこと、地表面における人工排熱の増大は、大気安定度を弱体化させ、上空の運動量が大气下層に効率的に運ばれることによって地上風速を強める影響を持つことが明らかとなった。

##### (2) 気候値に対する微気候的影響の解明

##### 都市観測点周辺における気温の微細分布の長期観測

気象庁構内の観測により、露場の端の観測値は暖候期の午後を中心として露場の中央にある現業用の温湿度計による観測値よりも高く、その差は 8 月の 15 時には月平均で約 0.6 であることが見出された。屋上と露場を比較すると、最高・最低気温出現時にそれぞれやや不安定・安定な成層になる傾向が認められたが、その気温差は概ね 1 以内だ

った。

アスファルト道路の風下側では、風上側に比べ、高さ 0.5m の気温に 0.2~0.4 の高温偏差が認められた。しかし、高さ 1.5m の気温偏差は平均すれば 0.1 程度がそれ以下であった。一方、林の影響は樹高の 2 倍程度の距離まで現れ、日最高気温のほうが日最低気温よりも影響が大きかった。また、日射がある場合、防風ネットなど遮蔽物の風下側ではその高さの 1~2 倍の範囲で気温が高くなるのが認められた。

つくば市中心部の土地利用・観測環境の違いによる気温の非一様性は、中心部と郊外の気温差から推定された都市規模のヒートアイランド強度(0.78)の半分程度と見積もられた。都市規模のヒートアイランド強度と中心部の気温の非一様性の間には、明瞭な日変化の違いが認められた。

街区 CFD モデルによる平均気温の微細分布のシミュレーション

開発した対流・放射連成 LES モデルを用いて、露場における日だまり効果の感度解析を行った。気象条件は名古屋の夏季快晴日、露場条件は芝被覆の同一条件として、露場周辺の建物状況や地表面被覆状況を変化させ(建物に関しては建物数や建物高さの変化、地表面に関しては芝生 アスファルトへの変化)、それに伴う露場内の気温変化を定量的に算定した。その結果、露場の周囲のアスファルト化によって気温が高くなることが認められた。

#### 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 5 件)

1. Kumamoto, M., M. Otsuka, T. Sakai, T. Hamagami, H. Kawamura, T. Aoshima and F. Fujibe, Field experiment on the effects of a nearby asphalt road on temperature measurement, SOLA, 査読有, Vol. 9, 2013, pp.56 - 59, DOI:10.2151/sola.2013-013.
2. Fujibe, F., Evaluation of background and urban warming trends based on centennial temperature data in Japan, Papers in Meteorology and Geophysics, 査読有, Vol. 63, 2012, pp.43-56, DOI: 10.2467/mripapers.63.43.
3. Fujibe, F., Dependence of long-term temperature trends on wind and precipitation at urban stations in Japan, Journal of the Meteorological Society of Japan, 査読有, Vol. 90, 2012, pp.525-534, DOI:

10.2151/jmsj.2012-406.

4. 藤部文昭, 観測データから見た日本の都市気候, 気象研究ノート, 査読無, 224号, 2012, pp.1-23.
5. 青柳暁典, 清野直子, メソ気象モデルと都市, 気象研究ノート, 査読無, 224号, 2012, pp.273-301.

〔学会発表〕(計 12 件)

1. 青柳暁典, 清野直子, 2012: 都市温暖化と地上風速変化の相関 - 関東甲信地方の土地利用変化に伴う気候変化シミュレーション -, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3 日, 札幌.
2. 熊本真理子, 濱上崇史, 吉田昌弘, 川村裕志, 河野沙恵子, 青嶋忠好, 小池仁治, 大塚道子, 2012: 周辺樹木が気温観測に及ぼす影響の屋外測定による評価, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012 年 10 月 3 日, 札幌.
3. T. Aoyagi and N. Seino, 2012: Relationship between urban warming and wind acceleration/deceleration estimated from a simulation on local climate change during recent 30 years in the Tokyo metropolitan area, 8th International Conference on Urban Climates, 2012 年 8 月 7 日, ダブリン (アイルランド).
4. T. Aoyagi and N. Seino, Relationship between urban warming and surface wind speed A numerical study on climatic changes induced by land surface modifications, 92nd American Meteorological Society Annual Meeting, 2012 年 1 月 25 日, ニューオーリンズ(米国).
5. T. Hamagami, M. Kumamoto, T. Sakai, H. Kawamura, S. Kawano, T. Aoyagi, M. Otsuka and T. Aoshima, Field experiment on the effects of a nearby asphalt road on temperature measurement, 92nd American Meteorological Society Annual Meeting, 2012 年 1 月 25 日, ニューオーリンズ(米国).
6. 藤部文昭, 長期観測データから見た日本の気候変動と異常気象, 地球観測連携拠点平成 23 年度ワークショップ, 2011 年 12 月 2 日, 東京.
7. 藤部文昭, 日本の気温経年変化における都市バイアスの評価 区内観測データを利用した過去 1 世紀の解析, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 16 日, 名古屋.
8. 熊本真理子, 酒井 武, 濱上崇史, 川村裕志, 河野沙恵子, 青嶋忠好, アス

ファルト道路が気温観測に及ぼす影響の屋外測定による評価, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 16 日, 名古屋.

9. 高橋佑輔, 飯塚 悟, N. Jacques, 吉田伸治, LES による建物周辺の日だまり効果の推定, 日本流体力学会年会, 2011 年 9 月 9 日, 東京.
10. T. Aoyagi, N. Kayaba and N. Seino, A simulation of climatic change on summer induced by land use modification from 1976 to 2006 over Tokyo metropolitan area, Japan, 91st American Meteorological Society Annual Meeting, 2011 年 1 月 26 日, シアトル (米国).
11. 石原幸司, 藤部文昭, 日本の気候監視地点における気象庁データと GHCN データとの比較, 日本気象学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 京都.
12. K. Ishihara, Comparison of GHCN temperature data with JMA data at 17 climatological stations in Japan, Workshop on Land-surface temperature data sets for the 21st Century, 2010 年 9 月 7~9 日, エクセター (イギリス).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤部 文昭 (FUJIBE FUMIAKI)  
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・室長  
研究者番号: 60343886

### (2) 研究分担者

清野 直子 (SEINO NAOKO)  
気象庁気象研究所・予報研究部・主任研究官  
研究者番号: 70354503

日下 博幸 (KUSAKA HIROYUKI)  
筑波大学・生命環境科学研究科・准教授  
研究者番号: 10371478

飯塚 悟 (IIZUKA SATORU)  
名古屋大学・環境学研究科・准教授  
研究者番号: 40356407

### (3) 連携研究者

木村 富士男 (KIMURA FUJIO)  
海洋研究開発機構・地球環境変動領域・上席研究員  
研究者番号: 10225055

青柳 暁典 (AOYAGI TOSHINORI)  
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・研究官  
研究者番号: 10442740

石原 幸司 (ISHIHARA KOJI) (22 年度)  
気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官  
研究者番号: 40442735