

## 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 20 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510021

研究課題名（和文） ヒートアイランドの形成に対する人為起源エアロゾルの温室効果の実態解明

研究課題名（英文） Study on influence of anthropogenic aerosol on heat island structure

研究代表者 清野 直子 (SEINO NAKO)

気象庁気象研究所・予報研究部・主任研究官

研究者番号：70354503

### 研究成果の概要（和文）：

継続的な観測例の少ない都市域での下向き赤外放射量の実態を調べるため、東京都内における観測を行った。雲のない条件下の 135 時刻で観測された赤外放射量について、郊外（つくば市）における観測データとの比較を行ったところ、1 時間平均下向き赤外放射量は、東京のほうが郊外よりも平均で  $3\text{Wm}^{-2}$  ほど高く、有意な差があるといえる。数値計算を含む解析から、地点間の下向き赤外放射量の差には、気温の鉛直構造とその日変化特性が影響することと、エアロゾルの地点間の差による影響は小さいことが示唆された。

### 研究成果の概要（英文）：

Continuous measurement of downward infrared radiation has been rather limited in urban area. In this study, downward infrared radiation was observed at Tokyo area. Data were compared with those observed operationally at suburban area (Tsukuba City). One-hour mean radiation in clear sky condition at Tokyo was larger approximately  $3\text{Wm}^{-2}$  than those observed at Tsukuba and the difference was statistically significant. Additional investigation including numerical simulation showed that the difference in downward infrared radiation was related to the vertical temperature profile near land surface and its diurnal variation. Estimated influence of aerosol concentration difference between the sites was small.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	2,200,000	0	2,200,000
23 年度	500,000	0	500,000
24 年度	900,000	0	900,000
総計	3,600,000	0	3,600,000

研究分野：気象学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動・ヒートアイランド・エアロゾル・赤外放射

#### 1. 研究開始当初の背景

都市域では気候の温暖化とヒートアイランドの進展によって高温化が著しい。こうした都市の現状や温暖化の将来予測をふまえ、いっそうの緩和策と適応システムの導入が求められるなか、それらを検討する基礎となる

科学的知見の重要性は高い。

ヒートアイランドの形成をもたらす都市の高温化要因としては、

- ・ 植生地の減少、
- ・ 建物増加による都市域全体の熱容量の増大、

## ・ 人口排熱

などが挙げられる。このような、建物の存在する地上数十メートルまでの大気、「都市キャノピー層」における熱配分に関する過程は、数値計算により一定の再現ができるようになりつつある。

ヒートアイランドの成因になり得るものとしては、人為起源エアロゾルの効果も挙げられる。大気汚染に伴って生じる、硫黄酸化物やすすなどの人為起源エアロゾルは、地表に到達する日射を減少させる日傘効果と、赤外放射を吸収して気層の加熱・昇温をもたらす温室効果の双方を引き起こす。晴天時の夜間に顕著となるヒートアイランドの形成に、人為起源エアロゾルの温室効果が関与している可能性は以前から指摘されてきたが、赤外放射の実証的な研究は少ない。1990年代までに行われた先行研究によれば、東京では郊外に比べ大気からの下向き赤外放射量が大きく、これは概ね都市と郊外の気温分布の違いによるものだとしている。このような都市における下向き赤外放射量の増加が、ヒートアイランドの形成によって大気が高温化した結果として生じたもの（フィードバック効果）なのか、それとも人為起源エアロゾルの温室効果によるものなのか、特定事例にとどまらず都市の放射環境の実態とともに把握していくことが求められる。

## 2. 研究の目的

都市における放射過程と人為起源エアロゾルの温室効果の実態解明のために、

(1) 東京において放射収支の精密観測を行い都市と郊外における放射収支の違いを明らかにする。

(2) 特にこれまで知見の少ない都市境界層からの下向き赤外放射に着目し、都市と郊外における晴天時の下向き放射量の違いと、気温分布・水蒸気量・エアロゾル量との関係を観測データおよび放射伝達モデルを用いて分析する。

(3) 都市におけるエアロゾルの詳細な光学特性を取得するために強化観測を行い、人為起源エアロゾルの光学特性等を調べる。

以上から、都市と郊外における下向き赤外放射の違いと成因、エアロゾルの加熱による温室効果を定量的に評価する。

## 3. 研究の方法

### (1) 東京における放射量の観測と解析

都市域の観測点として、東京都内の空間代表性の高い下向き放射が観測できる場所に高精度の放射計を設置し、継続観測を行う。

#### ① 赤外放射計の設置

周辺の地物の影響がなく、空間代表性の高い大気からの下向き放射が観測できる場所を検討し、東京家政大学のご協力により、同大

学（板橋キャンパス）構内に赤外放射計を設置した。高精度の観測が可能な赤外放射計(Kipp&Zonen社製CGR4、計測波長範囲4.5～42 $\mu$ m)を採用し、2011年2月末より計測を開始した。周辺の高層建築物からは十分離れ、また高い位置（11階建てビル屋上）にあるため、ほぼ天空からの放射量を測っているとみなされる(図1)。



図1 赤外放射計の設置状況

#### ② 赤外放射計の事前校正

赤外放射計の東京への設置に先立ち、2011年1月から2月にかけて、気象庁高層気象台（つくば市）において校正観測を行った。WMOの世界赤外放射計準器群（WISG）とトレーサビリティの確保された、気象庁の赤外放射計準器群による下向き放射照度の平均値と、校正対象測器の下向き放射照度との1分平均値による比較を行い、最小二乗法により感度定数を決定した。

校正に使用したデータは、太陽直射光による長波長放射への影響のない夜間における、晴天時および曇天時のデータである。測器の感度に、特定の気象条件下のデータの重みが付かないように、測器の出力電圧値の大きさによって、データ数が均等になるようデータ選択を行った。なお、測器には通風ファンが設置され、感部が常時通風された状態でデータ取得を行った。

このデータを用い、郊外との放射収支の違いや、その季節変動、気象条件への依存性を解析する。

#### (2) 放射伝達モデルによる下向き赤外放射の定量評価

人為起源エアロゾルによる赤外領域での吸収・散乱過程を含めた鉛直1次元放射伝達モデルを用いて、都市境界層における下向き赤外放射に、気温・水蒸気量・エアロゾル等が及ぼす影響を評価するとともに、エアロゾルの加熱による温室効果を見積もる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 東京における放射量の観測と解析

###### ① 東京と郊外の赤外放射量の比較

東京家政大学サイト（以下、東京）において2年間の継続的な放射観測を行い、雲の影響を受けない快晴条件下で観測された下向き赤外放射量について、郊外の観測点である高層気象台（以下、館野）の観測データとの比較を行った。東京と館野における雲量として、東京管区気象台（大手町、00JSTを除く3時間毎の目視観測）と、高層気象台（09JST、15JSTの地上気象目視観測、および21JSTの高層気象観測時の目視観測）のデータを用い、両地点とも雲量が1/10未満だった快晴時刻を抽出した。なお、09JST、15JSTについては前1時間の日照時間が1（hr）であることも条件とした。一時的な雲の通過による影響も除くため、東京における赤外放射量の前1時間内の変動が小さいことを条件に加えた雲なし条件下の135時刻を抽出した。これらの時刻での東京と館野での前1時間平均下向き赤外放射量は、東京のほうが館野よりも平均で $3\text{Wm}^{-2}$ ほど高く、有意な差があるといえる（図2）。

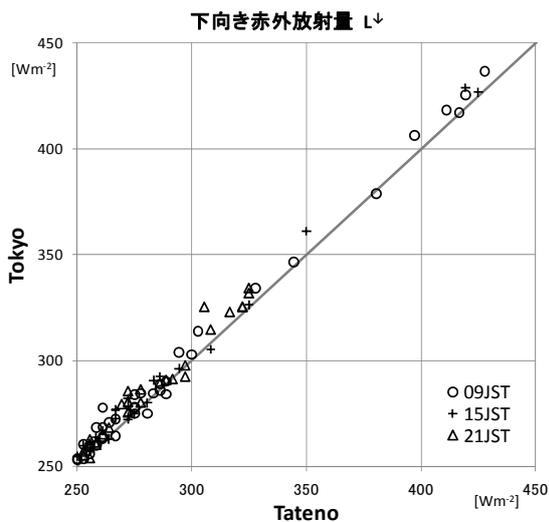


図2 快晴時の東京および館野における下向き赤外放射量

この差の原因として、まず大気下層の気温の違いが挙げられるが、両地点の下向き赤外放射量の差と地上気温差との相関は時刻によって異なっていた。09JSTにおいては、両者に弱い正相関の傾向が見られたが、15JSTと21JSTでは明らかな相関は認められなかった。また、時刻別では15JSTの下向き赤外放射量の差がやや大きく、21JST、09JSTの順となっていた。これは、地上気温だけでなく、気温の鉛直構造とその日変化特性が地点間

の下向き赤外放射量の差に影響することを示唆する結果といえる。

下向き赤外放射量は水蒸気量にも依存するが、快晴時の平均としては、東京の地上水蒸気圧が館野よりも低く、地上の水蒸気量からは、都市の下向き赤外放射が平均として多いことは説明が難しいといえる。また、両地点の下向き赤外放射量の差の地上水蒸気圧差に対する依存性は明瞭ではなかった。

###### ② 分光観測の実施

モデル計算時の参考情報として、赤外放射の分光スペクトルから都市におけるエアロゾルの詳細な光学特性を取得するために東京家政大学板橋キャンパスにおいてフーリエ変換赤外分光器（FTIR）による特別観測を2011年の秋季と冬季におこなった。

##### (2) 放射伝達モデルによる下向き赤外放射の定量評価

###### ① 放射伝達モデルの改良

気象研究所で開発された、中程度の波長分解能を持ち、赤外領域での吸収・散乱過程を含めた鉛直1次元放射伝達モデルにおいて、観測に基づく気温および水蒸気鉛直プロファイルを用いた計算が可能となるようプログラムの改良を行った。

###### ② 放射伝達モデルによる下向き赤外放射の定量評価

上記の鉛直1次元放射伝達モデルにより、東京とつくばでもとも快晴だった2011年および2012年の約100事例について放射伝達計算をおこなった。気温および水蒸気の鉛直分布にはつくばにおいて観測されたデータを入力条件として与えた。エアロゾル特性モデルOPACにおける都市に相当するエアロゾルの光学特性を与えて計算した場合、エアロゾルの影響がないと仮定して計算された下向き赤外放射量に比べ、 $3\text{Wm}^{-2}$ 程度地上における放射量が多くなるという結果が得られた。いっぽう、大気汚染常時監視データから、東京と館野における地表付近のエアロゾル濃度の違いは小さかった。そこで、両地点のエアロゾル量の差に起因する下向き赤外放射量の違いは、上述の計算結果よりも小さいと考えられる。ただし、この点については、今後、エアロゾルの鉛直分布や事例毎の違いも含めて検討していく必要がある。

#### 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）

〔学会発表〕（計2件）

1. 清野直子・青柳曉典・大河原望・居島修・宮内正厚、2011：東京における赤外放射観測、日本気象学会 2011年度秋季大会、

2011年11月18日、名古屋。

2. 清野直子・青柳暁典・大河原望・居島修・宮内正厚、2013：都市における下向き赤外放射量の観測、日本気象学会2013年度春季大会、2013年5月15日、東京。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

### (2) 研究分担者

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

山崎 明宏 (YAMAZAKI AKIHIRO)

気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官

研究者番号：40278106

内山 明博 (UCHIYAMA AKIHIRO)

気象庁気象研究所・気候研究部・室長

研究者番号：50354460

### (3) 連携研究者

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

中島 英彰 (NAKAJIMA HIDEAKI)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・地球環境データベース推進室長

研究者番号：20217722

坂見 智法 (SAKAMI TOMONORI) (22-23年度)

気象庁気象研究所・気候研究部・研究官

研究者番号：00391227

工藤 玲 (KUDOU REI)

気象庁気象研究所・気候研究部・研究官

研究者番号：00414508

### (4) 研究協力者

大河原 望 (OHKAWARA NOZOMU)

気象庁地球環境・海洋部・調査官

居島 修 (IJIMA OSAMU)

気象庁・高層気象台観測第三課・主任研究官

宮内 正厚 (MIYAUCHI MASAATSU)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・高度技能専門員

菅原 広史 (SUGAWARA HIROFUMI)

防衛大学校・地球海洋学科・准教授

松木 孝幸 (MATSUKI TAKAYUKI)

東京家政大学・環境教育学科・教授