

平成21年 5月 21日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18780019

研究課題名（和文）リモートセンシングを活用した生物季節学図の作成と都市微気候の評価

研究課題名（英文）Visualization of Urban Climate and Evaluation of Urban Micro Climate Using Remote Sensing Data

研究代表者

村上 暁信（MURAKAMI AKINOBU）

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・講師

研究者番号：10313016

研究成果の概要：本研究では熱赤外域を含む航空機リモートセンシングデータから樹冠の表面温度を抽出し、都市の気温分布図を作成する手法を開発した。本手法により得られた気温分布図から、小都市であってもヒートアイランド現象が顕在化していることが確認できた。さらに生物季節学図として桜の開花マップを作成して都市構造に注目しつつ気温分布図と比較した結果、桜の開花は気温以外の要素にも大きく影響を受けていることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,900,000	0	1,900,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	150,000	3,750,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・園芸学・造園学

キーワード：航空機リモートセンシング、気温分布、表面温度、樹冠

## 1. 研究開始当初の背景

近年、都市における熱環境の悪化は深刻な社会問題となっている。その中でも、都市中心部の気温が郊外に比べて島状に高くなるヒートアイランド現象は、熱中症の発生増加など、都市住民に甚大な健康被害をもたらしており、都市に特有の環境問題として関心を集めている。今後、効率的なヒートアイランド対策を都市整備計画において展開していくためには、まず都市の気候分布について情報を蓄積していく必要がある。これまで、ヒートアイランド現象の実態把握をはじめとする都市気候分布の把握においては、現地での

の気候観測結果を元に議論を構築している。しかし、現地気候調査により都市気候の特徴を考察するためには、多点で観測調査を行う必要があるため多大な労力を必要とする。より広域な範囲を対象に、比較的容易にヒートアイランドの発生状況を把握できる手法の構築が必要とされているといえる。

## 2. 研究の目的

樹木（樹冠）の表面温度は夜間、日射の影響がなくなり熱的平衡状態になると周囲の気温とほぼ同等になることが知られている。従って、広域について夜間の樹冠表面温度を

測定することができれば夜間の気温分布を把握することができる。樹冠の表面状況の把握や、表面温度の把握にはリモートセンシング（以下、RS）観測が有用である。そこで、本研究ではRS観測を用いて、樹冠の表面温度を抽出することで都市の気温分布図を作成し、都市の微気候の分析を行うことを目的とした。また気温分布図や地表面温度分布図以外に気候の特性を示す図として、生物季節学図がある。この生物季節学図を、都市域を対象に詳細スケールで作成することができれば、都市における気候の違いを評価することができる。そこでRSデータから、生物季節学図を作成し、さらに上記の気温分布図と比較することで都市の気候分布について考察することとした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 樹冠の表面温度と周辺気温との関係の分析

樹木の葉は熱容量が小さいことから、樹冠の表面温度は夜間に樹冠周囲の気温とほぼ同等になることがこれまでの研究から示されている。しかし、上空から航空機で熱画像を撮影した際、葉密度が低い樹木では樹冠下の被覆面温度の影響を受けてしまい、樹冠表面の温度を正しく測定できない。また、樹冠の表面温度は周辺地物からの長波長放射の影響を受けると考えられるため、全ての樹冠表面温度が気温相当であるとはいえない。そのため、現地実測等に基づき、どのような樹冠の表面温度、及び樹冠のどの部分の表面温度を気温相当とみなすことができるかについて、その条件を整理しておく必要がある。本研究では、航空機リモートセンシングデータを用いて、樹冠域を抽出するとともに、現地での気候調査、樹冠周辺の熱収支の検討を踏まえて条件を整理した。

#### (2) 冬季夜間の航空機リモートセンシングデータの分析

(1)の検討を踏まえて、ヒートアイランド現象が最も顕著に現れる冬季晴天日の夜間に観測された、航空機リモートセンシングデータ（熱赤外域センサによる）を用いて、気温相当とみなすことができる樹冠と詳細な部位についてだけ表面温度を抽出し、気温分布図を作成した。本研究では、富山県砺波平野に位置する砺波市街地とその周辺を分析対象地とした。砺波平野は、富山県西部の庄川扇状地の扇央部に位置している。砺波平野では、水田が平野一面に広がる中に、屋敷林に囲まれた農家住宅が散在しており、散村景観と呼ばれる美しい伝統的田園景観を形成している。農家住宅の屋敷林の構成樹木はスギとヒノキを主体としており、樹高が20mを超える大きいものもある。市街地外にある農家住宅の多くは散在しているため、四方を

水田に囲まれている。また、同様な屋敷林を有する住宅は市街地内部にも存在している地域である。周辺地物からの長波長放射が樹冠表面温度に与える影響を除くために、最適な分析対象地であると考えられたため本研究で取り上げた。分析においては2006年2月に観測されたリモートセンシングデータを用いた。観測波長帯域は、地表面の各種土地被覆面からの放射を観測するための熱赤外域（10,960~12,670nm）およびその他の土地被覆面情報を得るための可視域・近赤外域・中間赤外域の波長帯域を含んでいる。航空機MSSの熱赤外域データは、被覆面からの放射輝度をDN（Digital Number）値として取得している。しかし、DN値のままでは表面温度の分析ができないため、航空機MSSの熱赤外域データのDN値を表面温度に変換する必要がある。冬季においては大気が乾燥して水蒸気による吸収や散乱が少ないため、本研究においては観測時に機上で記録されたデータを用いて熱赤外域データのDN値を黒体温度に変換し、解析に用いた。

#### (3) 気温分布図の分析と桜の開花マップとの比較

得られた気温分布図を用いて、対象市街地の空間構造を踏まえつつ、分布の特徴を分析した。また都市気候の特徴を表す生物季節学図の一つとして桜の開花マップを取り上げて、対象地区における桜の開花時期に撮影された衛星画像を入手し、桜だけを抽出した上で、可視域の情報から桜の開花度合いを分類して桜の開花マップを作成した。その上で、上記の気温分布図と桜の開花マップを比較し、都市気候の分布特性について考察した。

### 4. 研究成果

分析に先立ち、樹木樹冠部分の表面温度と樹冠周辺の気温の関係について検討した。樹木の樹冠表面（葉面）の温度は、次式に従う。

$$\begin{aligned}
 -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} &= a_{su}(I_{DR} + \phi_{sky} I_{SR} + I_{RR}) && \text{受熱日射量} \\
 &+ L && \text{大気放射量} \\
 &+ \epsilon_s \sum_{i=1}^n \epsilon_i \phi_i \sigma T^4 && \text{周辺地物からの長波長放射量} \\
 &- \epsilon_s \sigma T_s^4 && \text{樹冠表面からの長波長放射量} \\
 &+ H && \text{顕熱輸送量} \\
 &+ LE && \text{蒸発潜熱量}
 \end{aligned}$$

$\lambda$ : 熱伝導率(W/mK),  $T$ : 温度(K),  $x$ : 一次元断面方向の距離(m),  $a_{su}$ : 日射反射率,  $I_{DR}$ : 直達日射量(W/m<sup>2</sup>),  $\phi$ : 形態係数(sky: 天空率),  $I_{SR}$ : 天空日射量(W/m<sup>2</sup>),  $I_{RR}$ : 周辺地物からの放射日射量(W/m<sup>2</sup>),  $L$ : 大気放射量(W/m<sup>2</sup>),  $\epsilon$ : 長波長放射率,  $\sigma$ : ステファンボルツマン定数(w/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>), 下付s: 表面, 下付a: 空気,  $H$ : 顕熱輸送量(W/m<sup>2</sup>),  $LE$ : 蒸発潜熱量(W/m<sup>2</sup>)

樹冠を構成している葉は非常に薄く、熱容量も小さいため葉の断面方向の温度分布はないものと考えられる。従って左辺

は0になる。

夜間においては、受熱日射量は無視でき、夜間は光合成が行われなため潜熱量も無視できる。そのため、夜間の樹冠表面温度は、大気放射量、周辺地物からの長波長放射量、樹冠表面からの長波長放射量、顕熱輸送量によって決定される。

砺波平野の屋敷林に注目した場合には、屋敷林樹木の樹高は10mを超えるものが多い一方で、農家住宅は主に二階建て以下であり、樹木よりも建物の方が低い。市街地の建築物もほとんどのものが三階建て以下（高さ10m以下）である。従って、樹高10m以上の屋敷林樹木の上部においては、周辺地物からの長波長放射の影響を無視することができる。従って、砺波平野の屋敷林樹木の上部における熱収支式は次式のように表せる。

$$L - \varepsilon_s \sigma T_s^4 + H = 0$$

空気が乾燥した夜間には一般に、

$$L < \varepsilon_s \sigma T_s^4$$

が成り立つ。そのため、顕熱輸送量Hは正となる。またHは次式のように表すことができる。

$$H = \alpha_c (T_a - T_s) \quad \alpha_c: \text{対流熱伝達率}$$

よって、 $T_a > T_s$  となり  $T_s$  の最高値は周辺の気温となる。対流熱伝達率  $\alpha_c$  は風速の関数であり、風速が増すほど顕熱輸送量は大きくなる。さらに、葉面の熱容量は極めて小さいため、弱い風であってもすぐに気温相当になる。特に、樹冠表面において最も風速が強くなると予想される樹冠天頂部付近では、その表面温度は周辺の気温に非常に近い値となっていると考えられる。このとき、樹冠天頂部付近の表面温度と周辺の気温とのわずかな差は、風速によって決まるといえる。

また一般的に、市街地の内部では、複雑な土地被覆面の影響を受けて特有の気候が生じている。ヒートアイランド現象は、日射によって熱せられた人工被覆面との顕熱交換や、人工排熱などにより温度が上昇した空気が都市キャノピー層に滞る事で生じる。

キャノピー層に接する領域を通過する風は、市街地において温度が上昇した空気を風下に運び、風下の気候に影響を与えていると考えられる。すなわち、都市キャノピーに接する高度における気温の水平分布を把握すれば、市街地で発生した高温の大気が流れていく様子を観測する事ができる。砺波平野の場合、市街地の建築物も概ね高さ10m未満であるため、都市キャノピーの高度は10m強程度であるといえる。加えて屋敷林が多く存在し、その構成樹木はキャノピーに丁度接する高さを有している。また、キャノピー層に接する高度における風速は一樣と考えること

ができるため、屋敷林天頂部の表面温度と周辺気温との差は一樣であり、かつ表面温度の値は気温に非常に近い値である。従って、砺波平野に存在する屋敷林樹木の樹冠天頂部付近における表面温度の空間分布図を、表面温度観測時の気温分布図として扱うことができることが示唆された。

以上の検討を踏まえて、リモートセンシング観測の対象地から全ての屋敷林を抽出し、屋敷林樹木の樹冠天頂部付近における表面温度を抽出した。

しかし、樹冠天頂部の温度はそれぞれの点の情報でしかない。そこで、点データから面的な気温分布を予測するために内挿補間を行った。

上記の作業を通じて得た屋敷林周辺の気温データを用いて、内挿補間を行って作成した観測コース内の気温分布図を図1に示す。尚、気温分布図は数値地図25000の上に表示している。また同じく数値地図25000の上には、冬季夜間の表面温度分布図（高高度）と低高度観測コース（気温分布図の範囲）を示す。表面温度分布図から、砺波駅付近においては建築物やアスファルト舗装面の蓄熱により、表面温度が高くなっているのがわかる。砺波駅から離れたところに、表面温度が0°C付近となっているのは水田上の積雪面である。表面温度分布図と気温分布図の比較から、表面温度が高い区域の分布範囲よりも、気温の高い区域は南東側に広がっているのがわかる。

図2は、気温分布図を用いて、砺波駅以北（風上側）と以南（風下側）の領域に分けた上で、砺波駅からの距離毎（100m毎）に集計して気温及び表面温度の平均値を取り、その分布を示したものである。冬季夜間のリモートセンシング観測時刻の前後は、風向が北東、東北東で安定していた。観測コース外において、砺波駅の東北側には市街地が広がっている。従って、観測コース内の砺波駅以南の地域は、風上側に市街地が広がっているといえる。一方、観測コース内の砺波駅以北の地域は、風上側に市街地はなく、市街地は風下側にあるといえる。グラフで、砺波駅北側約0.5kmの地域から砺波駅南側約2.0kmの地域においては、砺波駅から離れた地域に比べて平均表面温度が2°C~4°C高くなっている。この範囲を市街地地域とみなすと、平均気温に関しては市街地の方が、砺波駅から離れた地域に比べて0.5°C~1°C高くなっている。砺波市のような小都市においても、ヒートアイランド現象が発生していることを示しているといえる。また、砺波駅の北側と南側で比較した場合、北側では砺波駅約0.5kmの地域から、平均表面温度が低下するのに合わせて平均気温も低下しており、すぐに北側4.0~5.0kmの地域の平均気温と変わらない値を示している。これに対して、南側では、砺波駅

南側約 2.0km の地域から平均表面温度が低下し、南側 3.0~4.0km における平均表面温度と変わらない値となっているのに対して、平均気温の低下は限定的であり、南側 3.0km 程の地点までは外側の値よりも 0.5℃程高い値を維持している。これは市街地で暖められた空気が風下側に運ばれたことによる影響といえる。

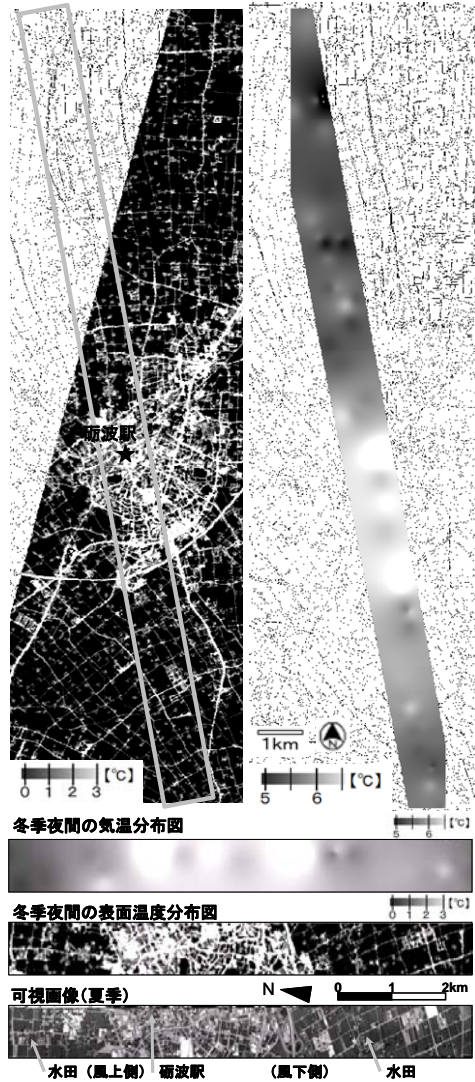


図1 冬季夜間における表面温度分布図(左)と気温分布図(右)

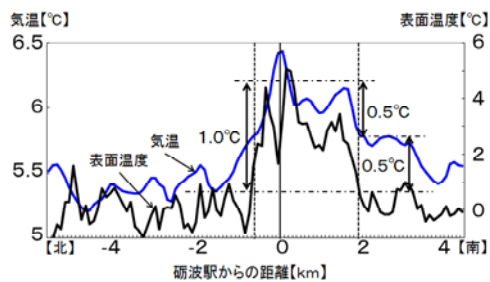


図2 表面温度と気温の空間変化

次に得られた気温分布図を、衛星画像から作成した桜の開花マップと比較分析した。この比較においては、東京の市街地を対象として同様の手法で作成した気温分布図と、同じく桜の開花マップを作成して比較した。その結果、市街地中心部付近で桜の開花が早くなっている傾向がみとれる一方で、桜の開花は気温分布の特性と異なる傾向を示している箇所が多く観察された。詳細なスケールでは、桜の開花状況がごく近い範囲内でも異なっている箇所も観察された。このことから、生物季節には周辺地物からの放射といった気温以外の影響を受けたり、風の状況により市街地内部と周辺の気温の分布が変化することによる影響を受けていることが示唆された。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. Murakami, A, Hoyano, A. : Study on the Seasonal Change of Urban Heat Island Phenomenon Using Airborne Thermal Image. 2009 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, (in print), 2009 (査読有)
2. 村上暁信, 梅干野晁: 樹冠の表面温度に着目した小都市におけるヒートアイランド現象の分析—航空機熱赤外面像を用いた砺波市街地周辺の気温分布図の作成—. 日本都市計画学会学術研究論文集, 43, 691-696, 2008 (査読有)
3. Murakami, A, Hoyano, A. : Study on Urban Heat Island Phenomenon in a Local Heat Island Phenomenon in a Local Small City of Japan Multi-temporal Airborne MSS. 2008 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, (included in Proceeding CD-ROM), 2008 (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

1. 村上暁信, 梅干野晁, 山川道広: マルチテンポラル航空機熱画像を用いた人工排熱が建物屋上面の表面温度に与える影響分析. 日本リモートセンシング学会第44回学術講演会, 2008年5月23日, 東京工業大学(神奈川県)
2. 加賀英資, 村上暁信, 梅干野晁: 航空機MSS画像を用いた屋敷林の樹冠温度による砺波平野の気温分布図の作成. 日本リモートセンシング学会第44回学術講演会, 2008年5月23日, 東京工業大学(神奈川県)
3. 高木直樹, 梅干野晁, 村上暁信, 松永恒雄: 航空機及び衛星熱赤外面像によるヒートアイランド・マップの試作. 日本リモートセンシング学会第42回学術講演

会, 2007年5月10日, 日本大学(東京都)

4. 梅干野晁, 村上暁信, 山川道広: 航空機熱画像を用いた人工排熱の都市表面温度に及ぼす影響に関する解析. 日本リモートセンシング学会第42回学術講演会, 2007年5月10日, 日本大学(東京都)
5. 中川貴美子, 小松義典, 村上暁信, 梅干野晁, 笹川正: 立地環境と都市域植生の分光反射特性との関係. 日本リモートセンシング学会第41回学術講演会, 2006年11月30日, 沖縄県青年会館(沖縄県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村上 暁信 (MURAKAMI AKINOBU)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・  
講師

研究者番号: 10313016

