

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24780148

研究課題名(和文)都市域における大気熱環境への緑地の影響

研究課題名(英文)Effect of vegetation on urban atmosphere environment

## 研究代表者

小谷 亜由美(Kotani, Ayumi)

名古屋大学・生命農学研究科・助教

研究者番号：80447242

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、都市の大気熱環境における緑地の影響を評価するため、緑地での大気加熱量の観測と、衛星観測データを用いた緑地温度と土地被覆の関係についての時間変化の特徴を調べた。一般に緑地が植生を含まない都市的土地被覆よりも低温であるが、冬季の農地では都市より高温となり、林地では夏季でも都市と匹敵する大気加熱がみられた。このため、季節性や緑地内の植物構成を考慮しないと緑地の冷却効果を過大評価するおそれがある。さまざまな都市緑地における植物活動に関するデータが得られれば、有用な緑地効果を評価する指標を提案できると期待される。

研究成果の概要(英文)：Field observation data of heat flux to atmosphere from vegetation and satellite data of land surface is used in order to evaluate effect of vegetation on urban atmospheric heat environment. Temperature difference between urban surface (without vegetation) and various urban vegetation such as park, agriculture field, and suburban forest is investigated with focus on multi-scale temporal variation (daily, seasonal, and inter-annual). Although vegetation field is generally cooler than urban surface, some exception is observed as follows; surface temperature is warmer in agriculture field during wintertime and occasionally heat flux from forest surface is compatible to those of urban surface even in summertime. If we miss to consider vegetation types and composites of urban vegetation field, we should overestimate cooling effect of vegetation.

研究分野：森林気象

キーワード：地表面熱収支 緑地 都市熱環境

1. 研究開始当初の背景

都市化に伴う建造物の集積立地，人工地表面被覆（コンクリートなど）面積の拡大や人工排熱により都市域の気温が周辺地域よりも高くなるヒートアイランド現象は，都市環境問題のひとつである．この現象の緩和に対して，都市内の緑地の効果が期待されている．

都市-郊外の 10-100km スケールでの温度コントラストは，大気加熱の空間非一様性によって熱的局地循環を駆動する．このような循環場の中における都市の熱環境を評価するためには，まず都市域スケールでの大気加熱量が重要になる．図 1 に示すように地表面による大気加熱は，一般に地表面状態の不均一性すなわち大気加熱の空間不均一性のスケールが 1-10km 以下の場合には，各地点の地表面から大気への顕熱輸送量の積算によって決まる (Shuttleworth, 1988)．この点を利用して，都市内の地表面被覆分布とそれら被覆ごとの輸送量がわかれば面積加重平均として計算可能であり，陸面モデル等で応用されている．

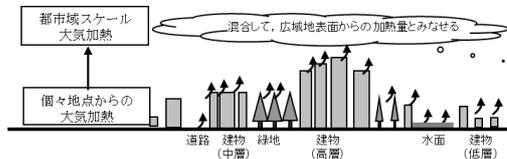


図 1 都市内の各地点からの大気加熱と都市スケールの大気加熱．下層大気内のある高さ (blending height) 以上では個々の土地被覆からの大気加熱が混合される．

しかし，都市においては上述のような多種多様な熱源あるいは緑地や水面のように相対的に冷源となる地表面被覆が混在して分布しているため，これらの間での相互作用により面積加重平均からのずれを生じさせる可能性がある．すなわち，都市内の緑地や水面からの冷氣移流により周辺市街地（数 101-102m）の気温が低下するクールアイランド効果（成田ほか 2004，菅原ほか 2006 など）や，この冷氣移流の補償流として周辺街区から高温で乾燥した大気が緑地・水面の上空に流入し，蒸発が促進されるオアシス効果（Spronken-Smith et al. 2000, Hagishima et al. 2007 など）が周辺市街地からの大気加熱を変化させる．面積加重平均による大気加熱の評価をする際に，これらの緑地の影響は「被覆面積率」または「個々の被覆での大気加熱特性」に影響を及ぼすと考えられる（図 2）．

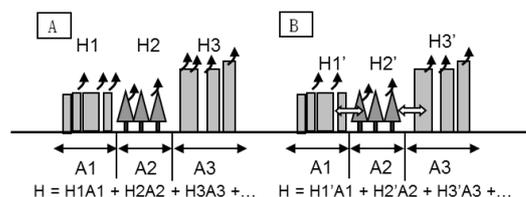


図 2 都市域スケールの大気加熱への緑地の

影響．H は都市域スケールの大気加熱（顕熱輸送量）， $A_X(X=1,2,3)$  は面積率， $H_X(X=1,2,3)$  は各地点での大気加熱．A) 緑地の周辺への影響がない場合，B) 各地点での大気加熱に影響が及ぶ場合．

また実際の都市においては，緑地公園，庭木，街路樹など様々な規模の緑地が様々なパターンで分布している．このような緑地の規模・分布パターンにより周辺への冷却範囲と強度が異なることは，移流拡散過程で説明される（本篠・高倉 2000 など）．このような個々の土地被覆の分布パターン（個々の地表面被覆がまとまって存在，あるいはパッチ状に散在するなど）は  $10^3m$  スケール以上では，面積加重平均による輸送量評価において考慮すべきものである（田中ほか 1995）．

地表面と大気との間での熱や物質（水蒸気や二酸化炭素ガス）の交換量を直接評価する方法として，渦相関法が広く実施され，森林など植生地での適用例が多い．渦相関法とは，地表面の凸凹の影響が及ばない程度に高いところで風速と気温，ガス濃度を計測したデータを用いて，輸送量を計算する方法である．都市域では図 1 のようにある高さより上で，風上側地表面からの放出量が混合した（または積算した）量が計測できると考えられ，近年は渦相関法が都市域での輸送量評価にも用いられている（Grimmond et al., 2002 など）．このように計測した輸送量について，その放出源は風上側のある面積（ソースエリア）と考えられるが，測定高度や大気条件からその面積を見積もるモデルが考案され，測定値の解釈に利用されている（Schmid, 2002 など）．

2. 研究の目的

都市域スケール熱収支の時間変化の特徴と緑地の影響を評価するために，本研究では緑地の大気加熱量とその影響因子の日変化，季節変化，年変化といった異なるスケールでの変動を明らかにすることを目的とする．

3. 研究の方法

1) 乱流変動法による大気加熱量の測定．

高層建築物の屋上に超音波風速温度計を設置し，渦相関法を用いて鉛直方向の熱輸送量を計測する．あわせて放射計，温度計，水蒸気ガス測定器を用いて，日射量，気温，水蒸気輸送量（潜熱輸送量）を計測して，都市域スケールの熱収支を測定するシステムを作成したが（図 3），都市域スケール測定のための適切な設置場所が得られず，実測データの取得は草地で行った（図 4）．これに加えて，都市近郊林での測定値も比較に用いた．

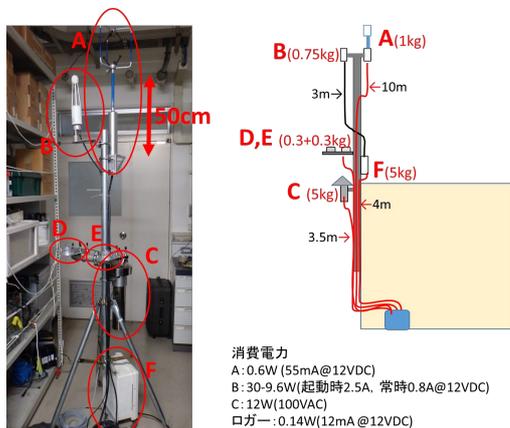


図3 熱収支測定システム



図4 緑地での測定

## 2) 都市域スケールでの熱環境への緑地の影響評価

都市と緑地の熱環境を比較するために、衛星観測データを用いた解析を行った。MODIS Land Product Subsets project により提供されている地表面温度と EVI (Enhanced Vegetation Index) のデータセット (MOD11A2, MOD13Q1) から、中・大規模緑地の温度と緑地特性 (植物指標) の関係とその季節変化および年変動から、都市域スケールの緑地効果を検討した。このデータセットにより解析可能な 2001-2014 年を対象として、季節変化の特徴と 14 年間の変化傾向を調べた。

## 4. 研究成果

### 1) 都市と緑地の大気加熱量

草地と林地での大気加熱量計測値と、都市的都市被覆の推測値を比較した。日中は林地で草地よりも大気加熱が大きく、それぞれ日射量の 10%, 6% となった。都市的土地被覆での観測が実施できなかったが、既往文献による日射量と正味放射量、顕熱輸送量との関係 (Oak, 1987 など) から推定した値 (顕熱輸送量 = 日射量の 0.25) を比較に示した (図 5)。実測値でみると、林地では都市的土地被覆に匹敵する大気加熱がみられる時間帯があったが、これはアルベドの小さい森林では正味放射量が大きいためである。顕熱輸送の点からは、緑地では必ずしも大気加熱が弱いとはいえず、緑地内の植物構成に配慮する必要がある。

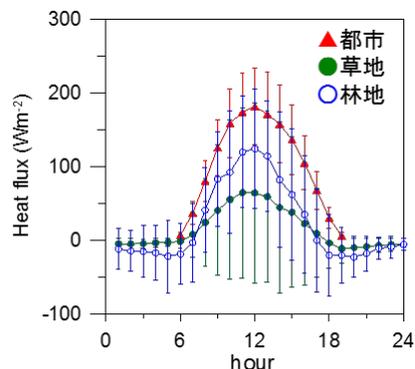


図5 都市的土地被覆, 草地, 林地における夏季大気加熱量の日変化 (都市は日中のみ). 2015 年 7 月 25 日-8 月 22 日. 各時刻平均値と標準偏差を示す。

### 2) 都市域スケールでの熱環境への緑地の影響評価

表面温度は大気加熱量を決定する要因であり、対象地域内の都市内緑地と農地、都市近郊林地をそれぞれ 1ヶ所ずつ選択し、緑地を含まない都心部との表面温度との差を緑地の冷却効果の指標として比較した。都市内緑地と農地の温度は、冬季の日中を除くと都心よりも低く、都市大気のを抑制すると考えられる。日中は都心との温度差が約 3 度の季節変化を示すが、夜間は 0.5-1 度と比較的安定していた (図 6)。2001-2014 年の年平均値の年変動をみると、都心との温度差の年平均値は都市によって変動し、その変動幅は日中のほうが夜間よりも大きい。2004-2005 年はいずれの土地被覆においても前後年と比べて日中では温度差が小さかったが、夜間ではそのような傾向は見られない (図 7)。植物指数 EVI について、表面温度と EVI の関係は不明瞭だが、都心との温度差には EVI との関係がみられた。とくに土地被覆間の温度差の違いは EVI で説明された (図 8)。しかし降水や気象環境との明確な関係は不明瞭で、緑地よりも都心の地表面温度との弱い相関がみられたことから、緑地環境だけでなく都心環境の年変動を調べる必要がある。地表面温度の年変動は気温の変動に比べて大きく相関も小さいことから、気象条件以外の影響が考えられる。

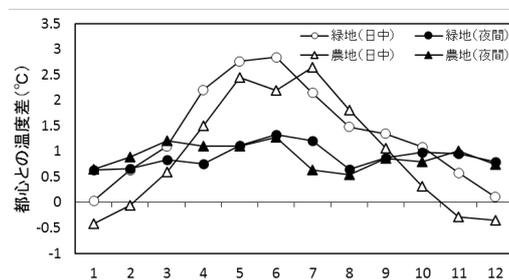


図6 緑地および農地と都心との温度差の季節変化。日中と夜間の月平均値を示す。

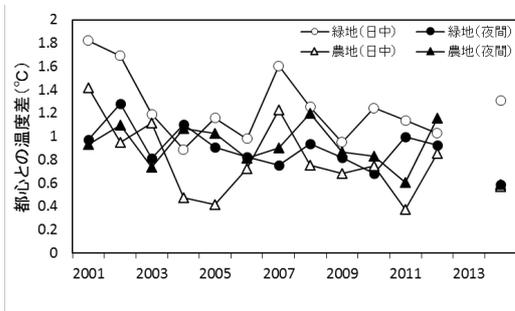


図7 緑地および農地と都心との温度差の年変化．日中と夜間の年平均値を示す．

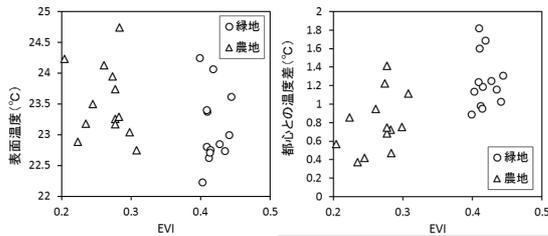


図8 緑地および農地の EVI と表面温度（左図），都心との温度差（右図）との関係．日中の年平均値を示す．

通年で大気加熱量（顕熱輸送量）を観測している都市近郊林では，都心との温度差と大気加熱量の季節変化のピークが，それぞれ5-7月と3-4月であった（図9）．森林では5-7月には潜熱輸送量が増加し顕熱輸送量を減少させているが，表面温度や温度差季節変化にはその影響は明示的に現れない．しかし緑地は蒸散を通して大気加熱を抑制しており，その蒸散量の季節変化は気温や日射等大気環境と地表面の乾湿（地中水分）の季節変化に加えて，植物の生長期間によって決まる植物活動の指標として，都市近郊林における年正味CO<sub>2</sub>吸収量や成長期間の年変化をみると，吸収量は増加し（図10）生長期間は長期化する傾向があり，とくに12月から3月にかけて森林群落のCO<sub>2</sub>吸収が増加した．このような炭素循環に関する植物活動指数は，表面温度との傾向とは必ずしも一致しなかったが，EVIの年変動とは相関があった．今後は，都市内の緑地や農地についても大気加熱や緑地の影響を調べるさいに，植物活動の時間変動を表すデータを用いた影響評価の指標の検討が必要と考えられる．

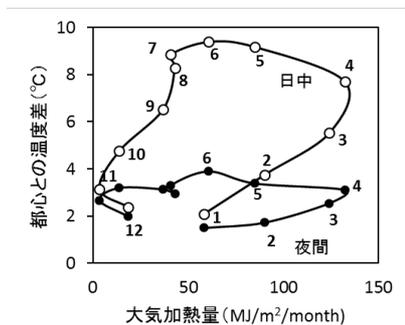


図9 都市近郊林での大気加熱量と都心との温度差の関係．月平均値を示す．

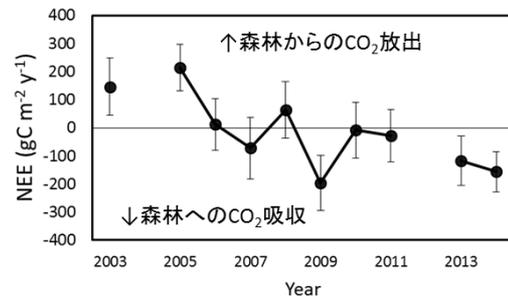


図10 都市近郊林での森林炭素収支．年積算値と積算の伝播誤差を示す．

以上のように本研究では，都市の大気熱環境における緑地の影響を評価するため，緑地での大気加熱量の観測と，衛星観測データを用いた緑地温度と土地被覆の関係についての時間変化の特徴を調べた．一般に緑地が植生を含まない都市的土地被覆よりも低温であるが，冬季の農地では都市より高温となり，林地では夏季でも都市と匹敵する大気加熱がみられた．このため，季節性や緑地内の植物構成を考慮しないと緑地の冷却効果を過大評価するおそれがある．さまざまな都市緑地における植物活動に関するデータが得られれば，有用な緑地効果を評価する指標を提案できると期待される．

#### 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 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

小谷・太田，常緑落葉混交林における二酸化炭素交換量と吸収期間の年変動．日本気象学会秋季大会，福岡，2014/10/23．

小谷，常緑落葉混交林におけるCO<sub>2</sub>吸収期間の年変動．日本農業気象学会研究発表会，つくば，2015/3/17．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

小谷亜由美 (KOTANI, Ayumi)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・助教

研究者番号：80447242

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

なし