

学位審査報告書

新制

人

110

(ふりがな) 氏 名	いいざわ いさお 飯澤 功
学 位 (専 攻 分 野)	博士 (人間・環境学)
学 位 記 番 号	人博 第 448 号
学 位 授 与 の 日 付	平成21年3月23日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当
研 究 科 ・ 専 攻	人間・環境学研究科 環境相関研究専攻
(学位論文題目)	
Urban Heat Island Circulation (ヒートアイランド循環)	
論 文 調 査 委 員	主査 准教授 酒井 敏 副査 教授 鎌田 浩毅 副査 教授 石川 尚人

人間・環境学研究科

(論文内容の要旨)

都市ヒートアイランドは都市部と郊外の放射フラックスに対する熱応答の違いや人工廃熱量の違いによって引き起こされるとされているが、それらの影響を直接見積もることは難しく、間接的な方法によって研究されてきた。その観測手法の主なものは、人工衛星による観測と、地上での移動観測方法であるが、人工衛星による観測では基本的に1日2回の観測しか行えず、地上移動観測でも1-2時間間隔と時間分解能が低い。そのため、詳細な力学的考察まで踏み込めず、地理学的な記述にとどまっていた。一方、力学的な理論研究は非常に単純な条件での基礎研究にとどまり、実際のヒートアイランドの原因を特定することはできなかった。このような現状に対し、本論文では力学的考察に耐える時間、空間ともに高分解能の地上観測を行い、理論的研究の結果を適用して、ヒートアイランドの実態を力学的に考察したものである。

本論文は全4章からなる。第1章では、上記のようなヒートアイランド研究の現状と問題点の分析を行い、着目すべき点の絞り込みを行った。都市ヒートアイランドにより大気に水平方向の温度差が生じると、水平方向に圧力勾配が生じる。その結果、ヒートアイランド循環と呼ばれる水平対流が引き起こされ、これによって水平方向の温度差は緩和されるが、従来の観測では時間分解能が低いためにヒートアイランド循環による緩和の効果を分離できていなかった。したがって、まず、ヒートアイランド循環の影響を受けない基本的な熱応答特性を求め、それをもとにヒートアイランド循環による緩和を議論することが重要であることを論じている。

第2章は、京都市街地において2004年から2006年にかけて行った高密度な気温ならびに長波放射の観測結果を論じたものである。観測点数は気温に関して最大36点で、その約半数の観測点で長波放射の観測を行った。時間分解能は1分ないし2分である。これだけの高密度観測は気温に関しても例がなく、特に長波放射に関してはこれまで測定すること自体、ほとんど行われていなかった。これだけの観測が可能になったのは、測定装置をすべて自作したためである。この観測結果の概要から、京都の都市ヒートアイランドが、先行研究で見られたような普遍的な特徴を持つことがわかった。また、京都の都市ヒートアイランドに与える人工廃熱の影響は、放射に対する応答が与える影響の半分以下であることがわかった。

第3章では、ヒートアイランド循環からの緩和の効果や大気による熱輸送の効果を除いた局所的な大気の放射に対する応答を直接表現する量として、気温を用いた熱応答（以下、局所実効熱慣性）を導入し、その見積もりを行った。従来の方法では、時間分解能が低く、このような局所的な熱特性を求めることが困難であったが、上記の高分解能の気温と放射の観測から、晴れた夜に突発的に雲が出現したイベントを抽出し、雲が出現してから30分間の気温変動を解析することで、局所実効熱慣性を求めた。その結果、都市部が $4.3\text{--}7.9 \times 10^3 \text{ W/Ks}^{1/2}$ 、郊外が $1.7\text{--}3.4 \times 10^3 \text{ W/Ks}^{1/2}$ であり、都市部は郊外の2-4倍冷却しづらいことがわかった。この郊外の値は従来の研究から求められていた値に比較的近いが、都市部の値は従来の値に比べてはるかに大きい。また、コンクリートやアスファルトといった都市部を特徴的に構成する素材の熱慣性と比べても2倍以上大きい。これは、大きな熱慣性をもつ素材が建物の側壁などに使われている結果、それらが大気に接する面積は建物が建っている土地自体の面積よりも

かなり大きいということに起因するものと思われる。

第4章では、水平対流の時間発展に関する非線形理論を実際の都市ヒートアイランドに応用した。この理論は成層強度の異なる2つの領域が接するとき、どのような流れが生じるかということを論じたもので、パラメータにより拡散レジーム、重力波レジームと重力流レジームの3つが存在することを示したものである。この理論を都市ヒートアイランドの問題に適用し、現実に近い条件での解析を行った結果、都市部が郊外に比べ倍以上の熱慣性を有する際、必ず水平対流は重力流レジームに移行し、水平対流を引き起こす原因となる気温の不均一は緩和されることがわかった。上記の観測値から求めたパラメータは重力流レジームに属するので、京都の都市部に郊外から重力流が流れ込んでいることが理論的に予想される。実際、各観測点の気温変化を詳細に分析した結果、フロントを伴う重力流が北から南に流れていることが確認できた。

このようなことから、都市部全体の熱慣性は従来考えられていた値よりもかなり大きく、都市は夜間の局所的な放射冷却だけでは冷却できないが、周囲の郊外から冷たい空気が重力流として流れ込むことで冷却されていることが明らかになった。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、都市ヒートアイランドの原因とそのメカニズムを、実際の観測結果をもとに論じたものである。この問題は古くから研究され100年以上の歴史があるが、力学的見地から本格的に研究されたのは1970年代前後である。近年、この問題が社会問題化してきたために詳細なシミュレーションも数多く行われているが、研究の中心は対策技術におかれ、根本的な原因及びメカニズムに関する認識は基本的に1970年代と変わっていない。しかしながら、当時の観測は現代から見れば非常に粗いものであり、また理論的なバックグラウンドも貧弱であったため、その認識も多くの矛盾を含んだままである。本論文は、このような問題を解決するため、原点に立ち戻って詳細な観測を行い、それをもとに都市ヒートアイランドのメカニズムを論じたものである。

本論文は全4章からなる。第1章では、上記のようなヒートアイランド研究の現状と問題点の分析を行い、着目すべき点の絞り込みを行った。申請者はこれまでの観測の問題点として、観測の時間分解能が低いために、ヒートアイランド循環によるヒートアイランド強度の緩和されていることが見逃されてきた可能性を指摘した。この問題を解決するため、ヒートアイランド循環の影響を受けない方法で、基本的な熱応答特性を求めることが、この論文の主要な課題であると論じている。この点に着目したことは達見であり、これまでの常識を覆す糸口をつかんでいる。

第2章は、京都市街地において2004年から2006年にかけて行った高密度な気温ならびに長波放射の観測結果を論じたものである。このような観測は過去に例がなく、この記録自体極めて貴重なものであるが、この章においては京都のヒートアイランドが過去に研究された他の都市のヒートアイランドと整合的であることを強調している。これは後の章の議論が京都特有のものではなく、普遍性をもつものであることを示すための布石である。なお、この観測およびその測定機器の開発は、申請者の研究室の後輩を含め多くの研究者と共同で行ったものであるが、申請者は常にその観測計画の企画立案を主導してきており、その貢献は高く評価できる。

第3章では、ヒートアイランド循環からの緩和の効果や大気による熱輸送の効果を除いた局所的な大気の放射に対する応答を直接表現する量として、局所実効熱慣性を導入し、前章の観測結果からその量の見積もりを行った。これが可能になったのは、上記の観測で、これまで都市部ではほとんど行われたことがない長波放射観測を導入したためである。本章ではこの長波放射の記録から、晴れた夜に突発的に雲が出現したイベントを抽出し、雲が出現してから30分間の気温変動を解析することで、局所実効熱慣性を求めた。その結果、都市部ではこれまで考えられていた熱慣性よりもはるかに大きな熱慣性をもつことを明らかにした。これまでの手法が1日周期の熱強制に対する応答を調べるものであったのに対し、この手法は短い期間の応答を調べるため、移流などの影響を排除しより正確な値が求められると考えられる。このような方法で、これまでと大きく異なる結果を得た意義は大きい。

氏 名	飯澤 功
-----	------

第4章では、水平対流の時間発展に関する非線形理論を実際の都市ヒートアイランドに応用した。この理論はヒートアイランド問題を念頭においてはいるものの、問題を単純にするために、現実のヒートアイランドとは若干異なる状態での解析を行っている。そこで、実際の都市ヒートアイランドの条件をこの理論が適用できる形に変換して解析した結果、都市部が郊外に比べて十分大きな熱慣性を持てば、必ず循環が生じて都市部と郊外の温度差を緩和することがわかった。この章はヒートアイランド循環のメカニズムを理論的に論じると同時に、これまでなぜ都市の熱慣性を正しく評価できなかったのかということに対する説明でもある。

この論文は全体として、従来の大気境界層モデルが実態と異なる計算をしていることを示している。すなわち、モデルでは実際の気温変動が再現できるように様々なパラメータを調整して計算をしているが、その基礎となる熱慣性の見積もりが現実と大きく異なっているため、気温変動は現実に近い値が計算できても、大気の流れに関しては実際の流れを正しく表現できていない可能性が高い。さらに、熱慣性の見積もり誤差は、蒸散量など他の熱収支パラメータの見積もり誤差に直結する。したがって、本論文はこれらのモデルおよびヒートアイランドに関する知識の再構築を迫るものであり、そのインパクトは非常に大きい。

本研究科は、従来の学問体系の再構築を目的としており、本申請者が所属する関連環境学専攻自然環境動態論講座地球環境動態論分野は、従来の定型的な研究とは異なる発想、手法で地球上の現象を再解析することを目的としている。本研究はこの目的に合致したものである。

よって本論文は博士（人間・環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年2月2日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。