

氏名	なかじま こう 中島 虹
所属	都市環境科学研究科 都市環境科学専攻 地理環境科学域
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	都市環境博 第242号
学位授与の日付	平成30年9月30日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	Characteristics of nocturnal urban boundary layer and its relation to distribution of surface air temperature and wind system in Tokyo metropolitan area (東京における夜間都市境界層の特徴とその地上気温分布および風系との関係)
論文審査委員	主査 教授 高橋 日出男 委員 教授 松本 淳 委員 教授 松山 洋

### 【論文の内容の要旨】

都市ヒートアイランド現象（UHI）は、都市の気温がその周囲の気温と比べて高くなる現象であり、都心と郊外との気温差（ヒートアイランド強度，HII）は一般に冬季夜間に大きくなる。UHIの発現には、人工排熱や地表面の熱・放射収支の変化とともに、下層大気鉛直混合に伴う境界層の変形が関与しており、都市では郊外と異なり夜間でも逆転層は接地しにくく、地上付近は中立に近いとされる。広域的な都市の熱環境の解明には、地上の面的な気温分布とともに都市境界層の鉛直構造を把握し、都市大気を立体的に理解する必要がある。しかしながら東京を対象とした都市境界層の調査は、短期間の観測があるものの、夜間を対象とした長期的・系統的な研究は乏しく、鉛直気温分布の現れ方や水平気温分布との関係など未解明の課題が多い。

本研究は、夜間の都心における境界層の特徴を提示した上で、特に冬季夜間の地上気温分布や風系との関係から、東京の都市大気多様性・変動性の解明を目的とする。解析に用いたデータは、東京タワー（TT）の気温観測値（2001～2010年度（5高度）と2016年度冬季（6高度））や郊外のスカイタワー西東京（ST）で独自に観測した気温（6高度，2016年度冬季）および大気汚染常時監視測定局（常監局）など多数地点の気象観測値である。

本論文は全7章で構成されている。以下に概要を示す。

第1章では、UHIや境界層に関する既往研究をレビューし、東京を対象とした本研究の背景や目的と論文構成を述べた。

第2章では、東京都心部の地表面粗度を構成する建築物群の概要や使用データを述べると

ともに、TTにおける気温観測値の妥当性を検討した。大気下層で十分な鉛直混合が期待される夜間強風時を抽出し、鉛直方向の温位の一様性を検討した結果、特定高度の温位が系統的に高いことが判明したため、これを器差とみなし、回帰式を用いた補正を施した。

第3章では、2001～2010年度のデータを用いて都心（TT）における温位鉛直分布の特徴を統計的に提示した。晴天弱風夜間における毎時刻の温位傾度（ $\partial \theta / \partial z$ ）の鉛直分布にクラスター分析を施し、5類型に分類した。冬季（11～2月）には、地上付近から250 mまで安定（ $\partial \theta / \partial z \sim 1^\circ\text{C}/100\text{m}$ ）あるいは200 mより上空で強い安定（ $\partial \theta / \partial z \sim 3^\circ\text{C}/100\text{m}$ ）を示す場合が夜半前から増加し日の出前にはそれぞれ27%と17%を占めるが、夏季（5～8月）にはまったく現れない。後者の強い安定層は都市上空の安定層の底面とみなされ、冬季夜間の混合層高度は200 mかそれ以上であり、1960年代の観測結果と比べて50 m程度高く、都市化による混合層高度の上昇が示唆された。数値モデルによる既往研究の都市大気再現結果と比較して、観測に基づく本研究で示された接地層や上空の安定層の温位傾度は大きく、従来考えられてきたよりも冬季夜間の東京都心における大気下層は安定であることが分かった。また、冬季の温位鉛直分布の時間変化には、鉛直混合の促進・抑制とともに、上空安定層底面上昇・下降の関与が考えられた。

第4章では、夜間に内陸から東京都心に向かう陸風に沿った郊外（ST）と都心（TT）における気温鉛直観測値により、風向に沿う地上気温の上昇（HII）と安定度との関係を解析した。既往研究と同様に、郊外における鉛直温位傾度や、郊外と都心との鉛直温位傾度差は、HIIと有意な正相関を示し、大気下層の気温鉛直分布の変化がHIIと密接に関わることが確認された。次に陸風によって気柱が郊外から都心に移流したと仮定し、気柱の加熱率と熱収支を推算した結果、中小都市を対象とした既往研究と同様に、東京のHIIには地表面からの顕熱よりも、鉛直混合に伴う境界層上部からの顕熱輸送（逆転層の破壊）の寄与の大きいことが示唆された。なお、都心における鉛直温位傾度も、HIIや郊外の鉛直温位傾度と有意な正相関を示す。すなわち都心においても陸風の強い安定層は十分に破壊されず、そのため都心域においても安定層が現れる（第3章）と考えられた。

第5章では、雲量や風速の条件が同一であってもHIIに差異が現れることに着目し、常監局の1分値を用いて地上の気温分布および風系の特徴を提示した。HIIが小さい場合には、都区部内外で北寄りの風が夜間を通して卓越する。一方でHIIが大きい場合には、多摩地域から都区部西部にかけて、ブラント・ヴァイサラ振動の5～10倍（20～50分）の周期を持つ風向変動と気温変動が認められた。また、本研究で得られた気温分布や安定度、都市のスケール等のパラメータを、ヒートアイランド循環（HIC）の数値モデル（Niino *et al.* 2006）にあてはめたところ、東京の冬季夜間のHICは高温な都市域と低温な非都市域との境界（気温急変域に相当）において発達するレジームに該当した。

第6章では、以上の解析をふまえて、大気下層の安定度と風・気温の変動性および都区部西部の気温急変域との関係について解析と考察を行った。上述の風向変動は北寄りの風と西寄りの風が収束する際に、西寄りの風の強い安定層内に発生した重力波と考えられた。都区部西部の気温急変域が明瞭な場合、風向変動はその都心側で不明瞭となる。この時、都心の安定度は小さいことから、西寄りの風の強い安定層を東進した重力波が、都心では拡

散されて風向変動が不明瞭となったと考えられた。一方で、都心域でも風向変動が認められる場合も少数あり、その場合には都心の安定度は大きく、都区部西部の気温急変域は不明瞭であった。すなわち、Niino *et al.* (2006) に従えば、基本的にはHICが都区部西部の気温急変域付近に局在し、都心への冷気の侵入が弱く気温急変域が明瞭となるが、安定層を伴う陸風が都心付近まで侵入する場合もあり、このような西寄りの陸風の挙動が東京の都市境界層構造や水平気温分布に影響を与えていると結論される。

第7章では、本論文で得られた結果をまとめ、今後の課題について述べた。