

【学位論文審査の要旨】

都市域における高温は、人工的な地表面の卓越や地表面粗度の増大、人工排熱の増加などに起因するが、これらの地表面条件の程度は都市内部においても局所的（数十m～数kmスケール）なパッチ状を呈する。一方で晴天弱風の夜間を典型として現れる都市ヒートアイランド（UHI）は、都心を高温の中心とし、周辺に向かって気温が低下する都市スケールの広がりをもつ。UHIの程度（ヒートアイランド強度：HII）やその変動性、都市スケールの気温分布構造などを解明するためには、都市上空を覆う都市境界層との関係を系統的に調べる必要がある。しかしながら東京における都市境界層の観測的研究はゾンデ観測に基づく事例解析がほとんどで、しかも夜間の観測はきわめて限定的である。

本研究は、夜間の東京都心における境界層の特徴を、長期間の観測データから気候学的に提示した上で、特に冬季夜間の地上気温分布や局地風系との関係から、東京の都市大気の高多様性・変動性の解明を目的としている。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））、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）ならびに大気汚染常時監視測定局（常監局）や気象庁アメダスなど多数地点における地上気象観測値である。

本論文で得られた主要な成果は以下のように要約される。

- (1) 東京タワー（TT）における気温観測値の妥当性については、これまで十分な吟味がなされてこなかった。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て鉛直方向の温位の一様性を検討した結果、特定高度における $0.2\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 程度の器差の検出に成功し、観測値に対する線形の補正式を導出した。
- (2) 都心（TT）における温位鉛直分布の特徴を、10年間の晴天弱風夜間毎時刻の温位傾度（ $\partial\theta/\partial z$ ）鉛直分布にクラスター分析を施すことにより統計的に提示した。冬季（11～2月）には、地上付近から250mまで安定（ $\partial\theta/\partial z\sim 1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）あるいは200m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て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200mもしくはそれ以上であり、1960年代の観測結果と比べて都市化による混合層高度の上昇が指摘された。また、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得られた接地層や上空の安定層の温位傾度は大きく、冬季夜間の東京都心における大気下層は従来の想定よりも安定であることが分かった。
- (3) 夜間に東京西郊から東京都心に向かう陸風に沿った郊外（ST）と都心（TT）の気温鉛直観測値により、地上気温の上昇（HII）と安定度との関係を解析した。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の寄与の大きいことが指摘された。また、都心における鉛直温位傾度も、郊外の鉛直温位傾度と有意な正相関を示し、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(2)のように都心域でも安定層が現れると考えられた。
- (4) 雲量や風速の条件が同等であっても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と風系の多様性・変動性を解析した。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

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)に局在して発達するレジームに該当した。

(5) 以上の解析をふまえ、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加えた。上述の風向変動は北寄りの風と西寄りの風系が収束する際に、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た。

以上のように、本論文では、東京都心における都市境界層の気候学的特徴を長期間の観測データから明らかにし、稠密地上気象観測から知られる東京の気温・風系分布構造と都市境界層の安定度との関係を、郊外域における鉛直気温観測結果の解析を含む大気立体構造の把握により明らかにしている。得られた成果は都市気候学研究の進展に大きく貢献するものであり、本論文は博士(理学)の学位を授与するのに十分な内容を有していると判断できる。