

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐藤 大樹

本論文は、「数値気象解析を応用した熱収支と運動エネルギー収支評価に基づく都市気候特性の分析」と題し、都市気候の形成メカニズムを定量的に評価する手法を提案し、東京首都圏の気候特性を分析することを目的としている。そのために、都市の気温、絶対湿度、風速の日変化の原因を、それぞれ顕熱、潜熱、平均運動エネルギーの視点から定量的に評価する概念を提案すると共に、具体的な計算方法を、数値気象解析技術を基本として構築し、夏季晴天日の東京首都圏に適用している。

第1章では、研究の背景として、公開されている気象観測データを編集し、都市高温化の現状と特徴を考察している。また、都市気候を熱収支、運動エネルギー収支の視点から分析することの重要性と、数あるヒートアイランド研究の中での本研究の位置付けについてまとめている。

第2章では、本研究で利用した気象モデルとその数値解法、ならびに、境界条件、建物や土地利用情報などの入力条件について概説している。メインとなる数値モデルは、気象分野で利用されてきた静力学近似を利用したメソスケールモデルを基にしているが、地表面境界条件として都市キャノピーモデルを用い、そこに建物の空調排熱計算を連成することで、建築物と都市気象の相互影響を考慮している。

第3章では、本論文で提案する都市気候の評価手法の体系についてまとめている。都市空間に熱収支評価の対象領域を設定し、その領域へ流入する熱、領域内での発熱・蓄熱の収支を定量的に記述するモデルを、「都市の熱収支モデル」としている。数値シミュレーションの利点を生かし、都市を構造体と大気部に分離し、各々で熱収支の評価を可能としている特徴がある。さらに、「都市の熱収支モデル」の考え方を、地表面の摩擦、建物の抵抗等による低減量が評価可能な平均運動エネルギーに拡張し、「都市の運動エネルギー収支モデル」として提案している。

第4章では、湾岸に立地する業務地区として大手町、大手町の内陸側に立地する住宅地区として練馬に評価領域を設定し、「都市の熱収支モデル」による分析を行っている。

数値予測では、大手町の方が、練馬に比べて人工的な被覆が多く人工排熱も多いにも関わらず、日中の気温が低いという結果を得ている。その理由として、大手町では東京湾からの移流により冷熱が流入すること等により、練馬よりも大気部の顕熱蓄熱量が小さくなるためであることを定量的に示している。一方、大手町では、建物の蓄熱量が非常に大きく、午前中の都市全体の蓄熱量が練馬の約1.5倍程度となるという分析結果を得ている。これは、午後から夜間にかけての放熱の増加を引き起こし、夜間気温の増加につながる可能性があることを指摘している。

第5章では、まず、都市スケールでの流れ場に対する数値予測の精度検証を行った上で、大手町、板橋、さいたま、上尾を中心とする4地域に評価領域を設定し、「都市の運動エネルギー収支モデル」による分析を行っている。一般的な傾向として、各地域とも、海風の到達と同時に、都市キャノピーの抵抗とレイノルズ応力による平均運動エネルギーの損失量が増加し、それを補う形で乱流

粘性による流入量が増加することを定量的に示している。

また、東京 23 区部の建物高さ、建物幅を変更させるケーススタディも行っており、東京 23 区部の建物高さ倍増等の建物の抵抗を増加させた場合を想定した解析では、都市キャノピーの抵抗による運動エネルギーの損失が大きくなる、つまり海風阻害が大きくなる結果を得ている。さらに、この損失量の増加が、上空から地表付近へ輸送される運動エネルギー量の増加につながることを指摘している。

第 6 章では、海風と都市の相互影響への理解をさらに深めることを目的に、海風の進入経路に沿って移動する大気領域を評価領域と想定し、「都市の熱収支モデル」と「都市の運動エネルギー収支モデル」を適用している。これにより、海風の内陸部進入に伴う気温、湿度、移動速度の時間変化の原因を、顕熱、潜熱、平均運動エネルギー収支の視点から明らかにしている。

顕熱収支では、湾岸部から埼玉県南部付近までは、地盤面と建物表面からの対流顕熱による顕熱の流入により、移動領域の顕熱蓄熱量は増加(気温上昇)し、これが各地の都市構造体の放熱を促進することにつながっているが、内陸部では、既に移動領域の気温が高くなっており、各地の都市構造体の顕熱を放熱させる効果は小さくなっていることを指摘している。

潜熱収支では、海風の進入過程全域にわたり、移動領域への潜熱の流入量に比べ流出量が大きく、潜熱蓄熱量は、海風は内陸部に進入するにつれて減少(絶対湿度低下)するという結果を得ている。

運動エネルギー収支では、東京 23 区部では、海風と同じ向きの圧力勾配(順圧力勾配)により平均運動エネルギーが生産(海風の発生要因)され、都市キャノピーの抵抗やレイノルズ応力により損失(海風の阻害要因)されることを定量的に示している。また、この損失分を補うために上空から乱流粘性により平均運動エネルギーが流入していると分析している。さらに、内陸部では、圧力勾配が海風とは逆向きになることで、海風を阻害していることを明らかにしている。

第 5 章同様のケーススタディも実施しており、東京 23 区部の街区形状の変更が、海風の熱収支、平均運動エネルギー収支を変化させ、東京 23 区部に加えて、内陸部での海風の性状にも影響を及ぼすとの指摘している。

第 7 章では本研究の全体のまとめを行っており、本研究の成果と今後の課題が総括されている。

以上を総括すると、本論文にて提案された評価手法は、都市気候の形成メカニズムを定量的に分析することを可能としており、この手法の適用事例を通じて、東京首都圏のヒートアイランド現象の地域特性が明らかにされている。本論文で得られた知見は、地域毎の気候特性を理解した上での実効性のあるヒートアイランド緩和方策につながるものであると考えられる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。