

都市熱環境の解明と降雨の予測精度向上に関する研究
Elucidation of urban thermal environment and improvement of accuracy
in precipitation forecast

土木工学専攻 土屋 修一

TSUCHIYA Shuichi

1 章：はじめに

近年、温室効果ガスによる地球温暖化や都市での人間、産業活動による排熱や、アスファルトやコンクリートなどによる土地被覆の変化による、いわゆるヒートアイランド現象と呼ばれる都市の高温化が指摘されている。気象庁の報告では、地球温暖化により地球全体の平均気温が、この 100 年間で 0.6°C 上昇したといわれ、都市化によるヒートアイランド現象で、この 100 年間で東京（大手町）での平均気温は約 3°C 上昇したと言われている。この地球温暖化、都市の高温化により雨の降り方が変わってきていると言われており、気象庁は、近年の雨の降り方が降るときは多く降り、降らないときはしばらく降らないと、極端化してきていると指摘している。これにともない、洪水、渇水が世界各国で頻発しており、防災上、さらなる降雨予測の精度向上が要求されている。降雨予測には、近年の降雨特性の変化を反映したものである必要がある。降雨予測モデルの精度向上に関して、1. 詳細な陸面過程のモデル化、2. 詳細な雲物理過程のモデル化、3. 初期値、境界値となる観測データの精度向上、4. 地形、土地利用データの精度向上が課題として挙げられる。本研究では、都市域の陸面過程、エアロゾルの影響を考慮した雲、雨の生成過程に着目し、都市域の陸面過程の解明、雲物理過程に及ぼすエアロゾルの影響の面から、降雨現象の解明と降雨予測の精度向上にアプローチした。本研究の最終目的は、都市気象モデルの構築、詳細な雲物理モデルを構築し、この両モデルを組み合わせた降雨予測モデルを開発することである。本学位論文では、この目的のアプローチとして、まず 2 章において近年の降雨特性を把握するために、観測時間が異なる降雨量の分布特性、異なる観測時間の降雨量間に存在する関係として、10 分間降雨強度と 1 時間降雨量の比較、明らかになった降雨特性を工学的に応用することを目的として新記録出現理論の降雨現象への適用を行った。3 章において都市気象モデルを構築するにあたり、都市熱環境の解明として、冷源としての河川に着目し、河川による大気冷却効果が周辺熱環境に及ぼす影響を大規模現地観測から土地利用形態毎に異なることを明らかにした。また、地表面温度を散水により低下させることによる大気冷却効果の検証について、都市域における気象観測としては類を見ない高密度の大規模現地観測を行った。4 章においては、詳細な雲物理モデルを構築するにあたり、坑山の立坑を利用した実スケール雲物理実験を行った。上昇風速、エアロゾルを制御し雲生成過程に

与える影響を明らかにし、この雲物理実験の成果を基礎とするエアロゾルの存在を考慮した降雨モデルの構築を行った。

2章：降雨量分布の統計的特徴

10年以上に渡るレーダ雨量観測から、関東地方における雷雨の特性として、その移動形態から前線面を形成し、その面に対して垂直な方向に移動する前線組織型、前線面を形成し、移動方向が前線面に平行な方向へ移動する複数セル移動型、発生地点から移動はせず、その場で成長、衰退をする単一セル型の3パターンに分けられること明らかになり、関東地方で発生する雷雨の約8割は前線組織型であることがわかった。AMeDAS地上雨量データから関東地方における観測時間別の極値雨量の分布から、10分～1時間降雨量程度の短時間降雨量では、平野部で多く、山間部で少なくなる傾向を示し、6時間、12時間、日降雨量などの比較的長時間の降雨量は、山間部で多く、平野部で少なくなる傾向を示すことがわかった。これを既存気性モデル(MM5)で検証したが、降雨量及びその分布は再現されなかった。異なる観測時間での降雨量間の関係を見るために10分間降雨強度と1時間降雨量の比較を行った。10分間降雨強度は1時間降雨量に対して平均で1.5～2倍の値を示すことがわかった。これを雷雨性降雨、非雷雨性降雨の場合と分類し、さらに山間部、平野部とに分類した。その結果、雷雨性降雨において1時間降雨量が40mmを超えると平野部では降雨強度が山間部よりも強くなる地域性が得られた。非雷雨性降雨では、この地域性は見られなかった。以上までは、降雨特性の現状だが、これの結果を工学的に応用するために新記録の出現理論を降雨に対して適用し、理論とほぼ一致する結果が得られた。新記録の出現理論とは、ある観測年のうちに既往最大値が更新されることが確率的に何回あるのかを求める理論である。この理論から次に既往最大値が更新されるのが何年後かも確率的に求めることが可能である。新記録の出現理論より約100年間の降雨データの蓄積がある日本では、次に既往最大雨量を上回るのが、前回の記録更新時より平均で200年後であることがわかった。日本の主要河川における計画降雨量が200年確率降雨であるということに理論的裏付けが可能であることがわかった。この理論と降雨量の極値統計理論より、次に既往最大値が破られるのは何年後であり、その雨量はどの程度かを確率的に求めることができ、超過洪水に対する対策規模を見積もることが可能であることがわかった。

3章：大規模現地観測に基づく都市熱環境の解明

複雑に建物、家屋が建ち並び、また、排熱源がいたるところに存在する熱環境として定量化が難しい都市域において、類を見ない広大な地域を対象として、高密度かつ長期に渡る気象観測を行った。都市熱環境の解明として、冷源としての河川に着目し、河川による大気冷却効果が周辺熱環境に及ぼす影響と地表面温度を散水により低下させる

ことによる大気冷却効果の検証について行った。

冷源としての河川が周辺熱環境に及ぼす影響を解明することを目的として、河川周辺部において現地気象観測を行った。河川周辺部の公園、高層住宅地域、低層密集住宅地域と異なる土地利用形態毎に温湿度計を設置した。高層住宅地域と低層密集住宅地域の地表面状態はアスファルト、コンクリートで同じであるが、建物面積比率が高層住宅地域では 25%、低層密集住宅地域では 45%となっている。日中の気温について、公園、高層住宅地域の気温は河川敷の気温とほぼ一致しており、低層密集住宅地域は河川敷より約 2~3°C 高い。夜間は、低層住宅地域、高層住宅地域の気温はほぼ一致しており、河川敷より約 1°C 高い。夜間の公園の気温は河川敷の気温とほぼ一致している。河川周辺地域の気温は、河川からの冷涼な空気の流入と地表面による影響により決まると考えられる。高層住宅地域、低層密集住宅地域は地表面状態が同じであるが、夜間と比較して風速が強くなる日中において建物面積率が低層密集住宅地域と比較して低い高層住宅地域は河川敷とほぼ同じ気温になっている。これは、建物面積率が低く、河川からの流入空気が侵入し易くなっていることを示している。冷源が周辺熱環境に及ぼす影響として、建物面積率により大きく異なることがわかる。

地表面温度を散水により低下させることによる大気冷却効果について、高密度に温湿度計を設置した大規模現地観測を行った。打ち水は気温を低下させる効果と共に地表面を冷却することにより地面からの輻射（長波放射）を抑制する効果もあることがわかった。観測対象地域の 2% を散水することにより気温低下及び長波放射の抑制を含めて約 0.5°C 低下させる効果があることがわかった。

4 章：実スケール雲物理実験に基づく雲物理過程の解明

雲の生成過程は、水蒸気から水粒子への相変化であり、相変化による水蒸気量の変化や周囲の大気場へ潜熱を解放するために非常に複雑な現象である。従来から行われてきた雲の微物理過程に関する研究の多くは室内における小さな装置を用いた実験であり、実大気において、ガスやエアロゾルが雲の生成過程に与える影響は十分に解明されていない。雲の微物理過程は、野外での観測の技術的な困難さや、現象の一過性の問題が存在するため実スケールの実験施設による検証を必要とされている。本研究では、実スケール雲物理実験施設において、上昇風速、施設内に散布するエアロゾル数濃度を制御し、上昇風速及びエアロゾルが雲生成に与える影響を明らかにした。雲の生成量と上昇風速には線形関係があり、エアロゾル数濃度と雲の生成量については、エアロゾル数が過剰になると生成量は一定値となり、この一定値となるエアロゾル数の閾値は上昇風速によらずある値を取ることがわかった。この実験成果を基礎として、エアロゾルが雲粒生成に及ぼす影響を考慮した雲物理モデルを構築した。雲生成の凝結過程に、エアロゾルが曲率を持つ球形であることから、曲率による飽和水蒸気圧の変化、雲粒が化学組成を持

つ粒子が溶解したものと扱い溶液面における飽和水蒸気圧の変化をエアロゾルの効果として取り入れた。雲物理実験の1次元による再現計算により、観測結果を再現することができた。都市域を想定した上昇流を与えた2次元計算においてもの観測成果と同様な結果を得ることができた。現在、エアロゾルの存在を考慮した降雨モデルを実地形に適用するため3次元非静力学気象モデルに組み込んでいる。

5章：結論

以上、近年の熱環境の変化を背景として、降水現象の解明と降雨予測精度を向上させるために、都市熱環境の解明と雲物理過程の解明を2章から4章において述べた。以下に、本論文で得られた結果を述べる。

降雨量分布の統計的特徴について、観測時間が異なる雨量分布の特性として、短時間では、平野部で強く、長時間では山間部で多くなる。この降雨量分布特性を再現する降雨モデルを構築することを目的として、都市気象、雲物理に着目して観測、実験を行った。河川を冷源とする周辺地域における熱環境緩和効果が土地利用形態により異なることが明らかになった。地表面を散水することによる大気への面的な冷却効果について、輻射の変化を含めて明らかにした。雲の生成過程に与える上昇風速の影響について、雲水生成量と風速は線形関係にある。エアロゾルと雲水量の関係は、エアロゾルが過多となると生成量は一定となり、一定となる閾値は風速によらず一定値である。