

論文の内容の要旨

論文題目 衛星リモートセンシングを用いた陸域可降水量の時空間変動評価に関する研究
(Evaluation of spatiotemporal variation in precipitable water over land
by satellite remote sensing)

氏 名 赤塚 慎

近年、都市部ではヒートアイランド現象が原因と考えられる集中豪雨が発生している。集中豪雨をもたらす積乱雲は対流性雲の一つであり、対流性雲の形成には大気中の水蒸気量が大きく影響していることから、大気中の水蒸気量を数 km～数十 km のスケールで観測することが必要であると考えられる。また、地球レベルでも、水蒸気は最も支配的な温室効果ガスであり、大気中の水蒸気量は温暖化の進行とともに増加していくことが明らかになって来ているため、長期間にわたる水蒸気量の変化を把握することが重要である。

大気中の水蒸気量を表す物理量の一つとして可降水量があり、従来は可降水量の計測にラジオゾンデが使用されているが、ラジオゾンデによる計測は1日2回、日本全体では20地点でしか行われておらず、時空間分解能が制限されているため、日本列島のスケールより小さなスケールの水蒸気量の局地的な動態を捉えることは困難であった。近年、地殻変動監視や測量を目的として展開されている国土地理院のGPS連続観測網のデータから可降水量を推定することが可能になり、その時間分解能は3時間、空間分解能は約25kmに向上した。しかし、GPSによる可降水量の計測は、観測期間が短いため可降水量の時間変動を把握するために利用することが難しいことが問題点として挙げられる。また、日本のGPS連続観測網は世界的に見ても希な高密度の観測網であるが、他の国々、特にアジア地域において日本のように高密度なGPS観測網を整備するのは経済的にも困難であると考えられる。そのため、GPS観測網の整備が十分ではない地域においても時空間分解能が比較的高く連続的な可降水量分布を把握することができる手法を開発することが望まれる。そこで、空間的に連続な分布を把握するのに有効で、GPS観測網の整備が十分ではない地域の可降水量計測にも適用できる方法としてリモートセンシングを用いた計測がある。リモートセンシングの特徴は、広域性・周期性・均質性にあり、ある周期で地球全域において均質なデータを得ることが可能であるため、GPS観測網が整備されていない地域の可降水量もリモートセンシングデータから推定することが可能になる。また、1日に1回以上データが取得できる衛星として、NOAA/AVHRR、Terra・Aqua/MODIS、MTSATなどが現在運用されており、これらのセンサで取得したデータを使用することで1日数回の可降水量計測が可能になる。

さらに、ある物理量の長期変動モニタリングを行う場合、データの均質性が最も重要な問題となるが、ラジオゾンデ可降水量は測器の変更や観測地の移動が頻繁に行われ、その履歴も十分整備されていないため、データの均質性に問題がある。一方、気象観測衛星NOAA/AVHRRは1970

年代から運用されており、この期間に複数の AVHRR センサが使用されているが、センサ間のデータ補正を行うことで均質なデータを確保できる。現在 NOAA-18 号までが打ち上げられているが、今後は次世代実用極軌道気象衛星 NPOESS に交代することから、将来に渡って均質なデータを確保するためには、次世代のセンサにも適用できる継続性のある計測アルゴリズムを開発することが必要である。リモートセンシングによる可降水量の計測には、中間赤外にある水蒸気の吸収バンドを用いるアルゴリズム、熱赤外の 2 つのバンドを用いるアルゴリズム (Split-window アルゴリズム)、マイクロ波を用いるアルゴリズムの 3 つがあるが、20 年以上のデータの蓄積がある NOAA/AVHRR には中間赤外の水蒸気吸収バンドに対応する波長帯とマイクロ波領域の観測バンドがなく、熱赤外の 2 バンドは NOAA/AVHRR、NPOESS/VIIRS、Terra・Aqua/MODIS、MTSAT のそれぞれに存在するため、継続性があり、かつ様々なセンサに適用できるアルゴリズムとして熱赤外の 2 つのバンドを用いるアルゴリズムが適している。

そこで、本研究では、NOAA/AVHRR の熱赤外の 2 バンドを用いた継続性のある陸域可降水量推定式の開発を行い、1984 年から 2001 年までの 18 年間の日本全域の陸域可降水量分布図の作成を行った。さらに、作成した分布図を用いて陸域可降水量の空間変動及び時間変動の評価を行った。本研究の独自性は、衛星リモートセンシングデータから Split-window アルゴリズムを用いて可降水量を推定する際、モデルに基づいた種々の補正方法を開発し、高精度の可降水量推定手法を提案した点、1984 年から 2001 年までの 18 年間の毎日のデータを処理し分布図を作成した点、さらに作成した分布図から陸域可降水量の空間分布の特徴を明らかにし、時間変動の評価を行った点である。

はじめに、リモートセンシングの特徴である、広域性・周期性・均質性を活かし、次世代のセンサにも適用可能な、熱赤外の 2 バンドを利用した陸域可降水量推定手法の開発を行った。本手法は、NOAA/AVHRR の 2 つの熱赤外バンドに対する大気中の水蒸気の影響の違い、つまり AVHRR のチャンネル 4 と 5 の輝度温度値の差が大気中の水蒸気量に比例するという関係を利用した手法である。輝度温度値の差には水蒸気量の他に衛星の走査角や地表面温度が影響すると考えられたため、放射伝達プログラム GLI Signal Simulator を用いて、その影響について検討し、補正を行った。その後、GPS 可降水量との関係を回帰分析により検討し、可降水量分布推定式の導出を行った。この推定式の二乗平均平方根誤差は約 6mm であり、これは解析に用いた全 GPS 可降水量の平均値の約 30% の誤差であった。また、この推定式を用いて推定した可降水量とラジオゾンデで計測した可降水量の 18 年間の時間変動について比較検討したところ、この推定式を用いて AVHRR データから推定した可降水量は大気中の水蒸気量の時間変動を把握することに有効であることが明らかになった。また、韓国浦項の高層気象観測所でも日本の高層気象観測所と同程度の精度で推定できており、時間変動も捉えることが可能であった。したがって、導出した陸域可降水量推定式は日本の周辺地域に対しても適用可能であり、GPS による可降水量の計測が行われていない地域の可降水量を推定することも可能であると考えられる。

次に、導出した陸域可降水量推定式を用いて 1984 年から 2001 年までの 18 年間の陸域可降水量分布図を作成し、正規化植生指数 (NDVI)、気温、降水量の空間分布との比較により、陸域

可降水量の空間分布の特徴を検討した。その結果、NDVI の値が低い都市域において可降水量が多い傾向にあり、NDVI 値が高い植生域などでは可降水量が少ない傾向にあるということが明らかになった。また、気温が高いエリアでは可降水量が多く、気温が低いエリアでは可降水量が少ない傾向にあり、陸域可降水量の空間分布には大気の温度が大きな影響を与えていることが示唆された。さらに、可降水量と日積算降水量との間にはほとんど相関が無く、可降水量が多くとも降水が起きるとは限らず、その量も可降水量に関係がないことが示唆された。また、可降水量に対する NDVI、気温、日積算降水量、海岸からの距離、標高の相互作用を定量化するために重回帰分析を行ったところ、NDVI が低く、気温が高く、降水量が多く、海に近く、標高が低いほど可降水量が多くなる傾向にあり、特に気温の影響が大きいことが明らかになった。

最後に、1984 年から 2001 年までの 18 年間の 4 月と 10 月の可降水量の時間変動、土地被覆別の時間変動、可降水量の時間変動と気温及び降水量の時間変動との関係について検討した。その結果、4 月と 10 月の可降水量は日本全域で増加傾向にあり、土地被覆別でも同様の傾向にあることが明らかになった。また、気温との関係では、多くの場所で気温の上昇とともに可降水量も増加している傾向にあったが、場所によってその傾向には違いが見られた。さらに、可降水量の時間変動と日積算降水量の時間変動の間には明確な関連性は見られないということが明らかになった。

本研究で開発した陸域可降水量推定手法は、AVHRR と共通した 2 つの熱赤外観測波長帯を持つ Terra・Aqua/MODIS、NPOESS/VIIRS、MTSAT にも適用可能であるため、継続性のある可降水量計測を行うことが期待できる。さらに、これによって計測の時間分解能も向上するため、可降水量と降水量の関係が明らかになる可能性があり、集中豪雨の予測が可能になることも期待できる。また、本手法により日本付近の可降水量の推定が可能であることが明らかになったが、さらに中国やモンゴルにおけるラジオゾンデ可降水量などと比較することで推定式の適用可能範囲を検討する必要がある。中国やモンゴルにも適用可能であれば、本手法を用いて GPS 可降水量が計測されていない地域の可降水量を推定することも可能になり、さらに大規模な土地被覆改変や沙漠化が起こっている地域の可降水量の変化を考察することも可能になると考えられる。