超小型衛星による機動的極端気象災害監視の戦略

高橋幸弘*

Strategy for agile extreme weather disaster monitoring using micro-satellites

Yukihiro Takahashi*

Abstract: Real-time monitoring of natural disasters caused by extreme weather and understanding the broader conditions leading to them are crucial issues from a disaster mitigation perspective. However, observations from existing satellites are not always sufficient in terms of observation frequency and ground resolution. Yet, significantly increasing the number of medium-to-large satellites from the current situation is not straightforward. We must explore incorporating low-cost, high-performance satellite observation methods while maximizing the use of existing satellite data. Our group at Hokkaido University, in collaboration with Tohoku University, has developed and launched six 50kg-class micro-satellites to date, demonstrating their practical feasibility. We have particularly succeeded in developing unique methodologies not found in existing satellites, such as creating 3D cloud models through stereo imaging and observing water vapor using a high-precision spectral camera capable of multi-wavelength selection. In the future, we aim to achieve continuous monitoring of any region globally with the world's smallest number of satellites by forming a constellation of multiple units.

Keywords: extreme weather, micro-satellite, monitoring, strategy

１．はじめに

極端気象に起因する自然災害の即時性の高い監視や、そこに至る広域の状況把握は、減災の観点から重要な要素である。一方、既存衛星による観測は、観測頻度や地上解像度の点から必ずしも十分とは言えない。しかし、頻度向上のために、中型大型衛星の数を現在の状況から大幅に増やすことは予算や運用の観点から簡単ではない。既存衛星のデータを最大限活かしながら、低価格で機能の高い衛星観測の方法を取り入れることを検討しなければならない。私たち北海道大学理学研究院のグループは東北大学工学研究科とともに、50kg 級の超小型衛星をこれまでに 6 基開発、打ち上げ、その実用可能性を証明してきた。特に、ステレオ撮影による雲の 3D モデル作成や、多波長選択が可能な高精度スペクトルカメラによる水蒸気観測では、既存衛星にないユニークな手法の開発に成功している。将来的には複数機のコンステレーションを組むことで、世界最少の基数で全球の任意の地域を連続監視の実現を目指す。

１.１　極端気象に関わる観測の課題

最近多発する個々のゲリラ雷雨、線状降水帯、台風は、いずれも積乱雲活動に深くかかわるものである。しかし、個々の積乱雲の時間・空間スケールは、それぞれ数 10 分から数時間以下、数 km から数 10km と短く、小さい。このことが、状況の把握を困難にしている。また台風に関しては、強度推定を経験的な雲の水平パターンに依存する部分が大きく、この 20 年間で予測精度向上は限られている。こうした問題の解決の糸口は、積乱雲の規模や成長速度の推定精度の改善にあると予想されるが、最先端の雲レーダーのカバー範囲は限られており、その運用も安定的なものに至っていない。

極端気象現象の予測を阻んでいるもう一つの要因が、潜熱としてエネルギーを供給し、また雨粒の材料となる、低高度での水蒸気の海上からの流れの把握である。5km よりも高高度ではひまわりなど静止気象衛星の赤外線観測が有効であるが、それ以下の高度では数の限られたマイクロ波観測に頼るしかないのが現状である。ドロップゾンデなどによる直接計測や船舶による観測も行われているが、海上の観測点を大幅に増やすことは難しい。

１.２　超小型衛星の躍進

近年、重量が概ね 100kg 以下の、超小型衛星と呼ばれるカテゴリーの衛星が、実用的にも躍進している。特に、低高度の光学リモートセンシングでは、大型衛星に遜色ない性能を持つものも出てきた。私たち北海道大学のグループは、東北大学とともに、一辺が約 50cm、重量約 50kg の超小型衛星を 6 基打ち上げ、成功率ともに国内トップクラスの実績を持つ。単に、大型衛星で行ってきたことを小さな衛星でも可能にしたというだけでなく、分光撮像では世界最多の波長選択性（600 バンド）と、既存

* 正会員　北海道大学（Hokkaido University）
〒001-0021　北海道札幌市北区　Tel：012-345-6789 または E-mail：spriteselves@gmail.com

のハイパースペクトル衛星をはるかに上回る地上解像度（4m/画素以下）を達成するなど、部分的には大型衛星を上回る性能を有する。また、ターゲットにカメラの視野を向ける時間は、1-2 分程度と高速で、指向精度は最高で 0.05 度と世界的にもトップクラスである。価格は数億円から 10 億円程度と、従来の小型～大型の衛星の数 10 分の 1 から 1/100 程度と低価格で、開発期間は 1-3 年と従来の宇宙機関の典型的なプロジェクトの 10 年前後よりも大幅に短い。

２．超小型衛星による減災への貢献の可能性

上記のような超小型衛星の活用は、従来衛星のみの観測のイメージを大きく書き換える可能性を秘めている。

２.１　高頻度観測

精度の高いカメラ指向性能は、通常の衛星直下だけでなく、対象となる災害地域に高解像度カメラを向けることを可能にする。その結果、低軌道極軌道衛星でも、1 日に昼 2 回、夜 2 回程度の観測が可能となり、計算上は 24 基のコンステレーションでオンディマンド運用（ターゲットポインティング）すれば、世界中の任意の地点を連続観測できることになる。実際には冗長性を確保した 48 基くらいが現実的な数になるだろう。即時性を確保するためには、衛星数だけでなく、地上局の充実も必須である。そのために、国内だけでなく、近隣諸国や極域の観測点を持つ各国との連携が重要である。

２.２　雲の 3D モデル作成

ターゲットポインティング技術を応用して、特定の地点を複数の異なる角度から撮像することも可能になっている。私たちのグループは、航空機や自分たちの開発した衛星を使った、雲の 3D モデル作成に成功している（参考文献）。解像度は 100-200 m から最高で約 10m と、レーダーと比べても遜色のない結果となっている。観測自体は、1 回 10 秒間くらいで、1 回の衛星通過で複数回の 3D モデルを作成し、雲の成長速度の推定まで可能になると考えている。このモデルから、積乱雲・線状降水帯による降水量予測や、台風強度推定において、大幅な精度向上が期待される。

２.３　水蒸気観測

これまで、衛星による水蒸気観測は主として受動的マイクロ波サウンダが用いられてきた。しかしその衛星の数は限られており、十分な観測頻度を確保できていない。私たちのグループは、CCD/CMOS センサーの感度範囲の近赤外戦の水蒸気吸収バンドを使うことで、低コストのカメラで海上のカラム水蒸気量を推定する技術の開発を進めている。高性能スペクトルカメラを使った実験で、すでにその目処が立っている。太陽光を利用するため夜間の観測は難しく、また濃い雲があると観測できないが、広域を高解像度でカバーできるため、今後多くの超小型衛星に搭載することで、線状降水帯や台風の発達に関わる重要な情報源となることが期待される。

２.３　雷放電発光観測

雷放電活動は豪雨に高い相関があり、台風の 1 日前予測や線状降水帯の数時間前予測に有効である可能性が見出されている。しかし、気象衛星ひまわりには、現時点で雷観測装置の搭載予定はなく、欧米中に大きな遅れをとっている。近年、小型の過渡発光検出に適した素子が開発され、世界の雷放電研究者の間で利用が進んでいる。こうしたカメラであれば、超小型衛星から、昼間も含めた雷発光観測の可能性があり、世界的に雷利用のトップを担うことも夢ではないと考える。

参考文献

Algodon, M.R., Takahashi, Y., Kubota, H. *et al.* 3D reconstruction of typhoon Trami 2018 eye and eyewall clouds from airborne imaging. *Sci Rep* **15**, 23721 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-07510-8