気象衛星ひまわり8号の大気追跡風を用いて捉えた台風の強化

○ 小山 亮（台風研究部）

1. はじめに

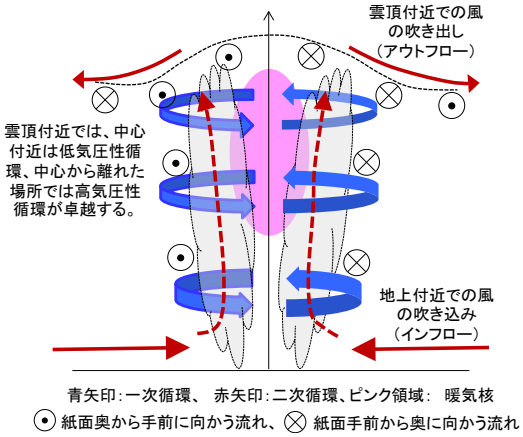
台風は、暖かい海面からの水蒸気及び熱をエネルギー源として発達し、その暴風・大雨により甚大な被害をもたらす。台風の発達、すなわち低気圧性循環（一次循環）の強化には、対流によって水蒸気が凝結することで解放される潜熱と、これに伴って強まる鉛直循環（二次循環）（第１図）が重要であることが、理論的、数値的研究によって知られている。一方、ゾンデ観測をはじめとした現場観測では、時間・空間的に密な観測に基づく台風の発達過程の検証は難しい。このような背景もあり、気象庁他の予報センターの熱帯低気圧強度解析は、主に衛星で観測された雲の形状（眼の明瞭さなど）にもとづいたドボラック法による強度推定に頼っている。

大気追跡風（Atmospheric Motion Vectors: AMV）は、連続する衛星画像から雲及び水蒸気パターンの移動量を算出し、雲の雲頂温度から数値予報モデルの気温プロファイルを参照して高度を求めて得られる風データである。AMVは、現場観測データの少ない海上を含め、広い範囲で定常的に得られる利点があるが、静止気象衛星MTSAT（ひまわり6、7号）、及び2015年7月7日に運用が開始された次世代静止気象衛星ひまわり8号（第２図）の高頻度観測（2.5～15分間隔）を用いると、風の変化が大きな台風領域内でも、時間・空間的に密にデータを得ることができる（小山 2015）。

本研究の目的は、巻雲等の上層雲を追跡して算出されるAMV（第３図）を使用して、台風の雲頂高度付近の一次循環と二次循環を捉え、これらと台風発達との関係を定量的に明らかにすることである。上層AMVを用いた台風への新しいアプローチによって、台風の発達プロセスに関する新たな知見が得られるとともに、台風解析業務への貢献も期待される。

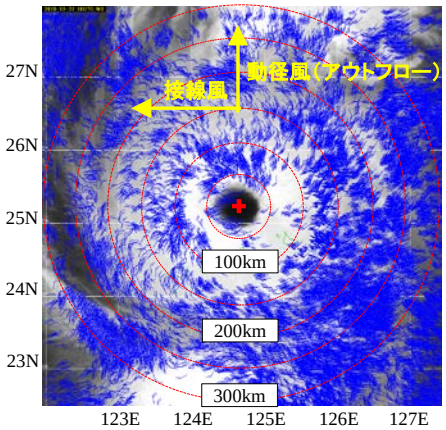
2. データ・手法

MTSATの北半球領域画像から6時間毎に算出したMTSAT AMVと、ひまわり8号ターゲット観測（2.5分間隔、1000km×1000kmの領域）から10分毎に算出したひまわり8号AMV（Shimoji 2014）を使用した。AMVの高度は100～300hPa面である。一次循環、二次循環の強さは、半径300km内の各半径で求めた上層AMVの接線風、動径風（アウトフロー）の最大値として、それぞれ定義した（第３図）。台風の最大風速（地上）は、気象庁ベストトラックデータを使用した。



第１図：台風内部の風の模式図

第２図：2015年7月7日に運用が開始された次世代静止気象衛星ひまわり8号（気象庁HP）

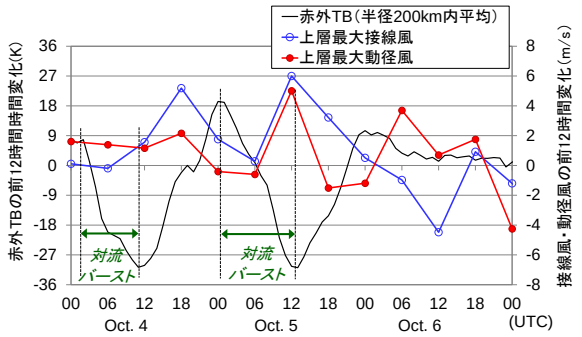


第３図：2015年台風第15号（Goni）の8月23日18UTCのひまわり8号ターゲット観測の水蒸気画像（バンド10）から算出した上層AMV（青矢羽、高度は100～300hPa面）。

3. 上層AMVが捉えた2013年台風第24号の強化

第４図に、MTSAT AMVを使用して行なった、2013年台風第24号（Danas）の発達期の上層の風の場の解析結果を示す。Danasは、最大12.8ms^{-1}day^{-1}の発達率（最大風速の前24時間変化）で、最大風速46ms^{-1}まで発達した。発達期において、

MTSATの赤外輝度温度の低下によって示唆される対流の強まり（対流バースト）が2回起こっていたが、これらの対流バーストの終了頃～6時間後にかけて、接線風と動径風の顕著な強化が起こっていた。この上層の風の場にみられた特徴的な変化は、強い対流によって地上付近の大きな角運動量が上層まで運ばれたこと、対流に伴う潜熱解放によって、台風中心付近に周囲より気温が高い領域（暖気核）が形成され、構造が軸対称化したことを示唆している（Oyama et al. 2016）。



第4図：2013年台風第24号（Danas）の発達期の上層最大接線風（青線）、上層最大動径風（赤線）、及びMTSAT赤外輝度温度（TB）の半径200km内平均（黒線）の前12時間変化。

4. 台風の発達率と上層アウトフローの強さの関係

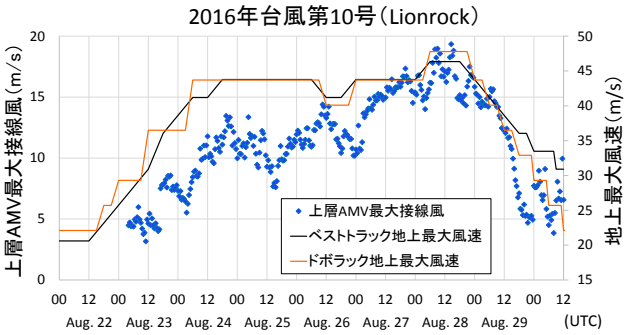
台風の発達率と上層アウトフローが反映する二次循環の強さの関係を定量的に明らかにするため、2011～2014年の44個の台風を対象とした統計調査を、MTSAT AMVを使用して行なった。結果、AMVから求めた上層アウトフローの強さは、発達率が大きな台風ほど強い傾向があることが分かった。また、発達率が大きな台風ほど、台風中心付近に背が高く発達した対流雲を伴う傾向もみいだされ、上層アウトフローの強化が主に台風中心付近の対流の活発化によってもたらされていたことが示唆された。

以上の結果は、軸対称台風モデルを用いた診断的研究、数値シミュレーションを用いた研究とも整合しており、台風中心付近の活発な対流活動が、台風発達に大きく寄与していることを裏付ける結果である。

5. 上層AMVの台風強度診断への活用

台風の雲頂高度付近の一次循環の強さは地上付近に比べて弱いが、大気境界層内（地表～およそ高度1km）での一次循環の強化、二次循環による角運動量の鉛直輸送を介して強化される。2011～2014年の44個の台風を対象として行なった統計調査では、地上最大風速とMTSAT AMVから求めた上層最大接線風の間には、比較的明瞭な正相関（0.72）がみられた。この結果は、AMVから求めた上層最大接線風から、地上最大風速の強化を診断できる可能性を示している。

上層最大接線風の時間変化の特徴をより詳しく調べるため、10分毎のひまわり8号AMVを用いた事例解析を行なった。第5図に、2016年台風第10号（Lionrock）の解析例を示す。上層最大接線風の時間変化には、雲の形状に基づくドボラック法で推定した最大風速とベストトラック最大風速からは解析されない、一日以下の時間スケールの変化が明瞭に解析されている。この上層最大接線風強化のタイミングは、極軌道衛星NOAA及びMetOpのマイクロ波探査計AMSU-Aで観測された上層暖気核の発達のタイミングとおよそ一致していることが分かっており、今後、高分解能非静力学モデルを用いた数値シミュレーションとの比較等を行なって、このメカニズムを明らかにしていきたいと考えている。



第5図：2016年台風第10号の、ひまわり8号AMVから求めた上層最大接線風（青プロット）、ベストトラック最大風速（黒線）、ドボラック法による最大風速（橙線）の時系列。

6. まとめ

近年の静止気象衛星観測の高頻度化によって、時間・空間的に密に得られるようになったAMVは、台風の発達において重要なプロセスである一次循環及び二次循環の強化の解析において、有用な風データであることが示された。また、ひまわり8号の10分毎のAMVデータを用いることによって、従来の観測では捉えることが困難な、一日以下の時間スケールの台風の強度・構造変化を捉える可能性も示唆された。今後は、これまでの調査結果をもとに、台風解析業務への貢献ための台風強度診断手法の開発等を進めていく予定である。

参考文献

(1) Oyama, R., A. Wada, and M. Sawada, 2016: Intensification of Typhoon Danas (1324) captured by MTSAT upper tropospheric Atmospheric Motion Vectors. SOLA, 12, 135–139.

(2) 小山亮, 2015: MTSATラピッドスキャン観測データを用いて算出された台風領域の上層大気追跡風の特性. 天気, 62, 881–894.

(3) Shimoji, K., 2014: Motion tracking and cloud height assignment methods for Himawari-8 AMV, Proceedings of 12th International Winds Workshop.