

□ スーパー台風研究の最前線名古屋大学宇宙地球環境研究所  
教授 坪木 和久

## 1. はじめに

台風とは北太平洋西部と南シナ海に発生する熱帯低気圧であり、北太平洋東部と北大西洋のハリケーン、インド洋と南太平洋西部のサイクロンと並んで地球大気で発生する最も激しい現象である。これらのうち台風が最も強く、最低中心気圧の記録は870hPa（1979年台風20号）である。台風などの熱帯低気圧は海洋上で発生し、そのエネルギーは海洋から与えられる水蒸気である。このため海洋の水温が高いほど、熱帯低気圧の最大強度は大きくなる。西太平洋は地球上で最も暖かい海なので、ハリケーンやサイクロンと比べて、台風は発生数が多く、しかも最大強度が大きい。そのため日本は多くの強い台風の影響を受ける。

日本だけでなく米国などの諸外国においても台風の強度階級は、最大地上風速を用いて定義される。気象庁は台風の強度階級を、10分平均の最大地上風速を用いて定義しており、最も強い階級を、「猛烈な」（105 kts 以上；1 kt = 0.5144m/s）と定義している。一方、米国の合同台風警報センター（Joint Typhoon Warning Center；JTWC）は、1分平均の最大地上風速を用いて、北太平洋西部の熱帯低気圧を階級分けしており、その最も強い階級は super-typhoon（130 kts 以上）である。そしてこの日本語訳が「スーパー台風」である。

2013年にフィリピンに上陸して甚大な被害をもたらした台風ハイエン（第30号）はスーパー台風であった。また、本特集の主題の一つ、令和元年

東日本台風（第19号）も北緯25度付近まではスーパー台風と考えられている。これまでスーパー台風が日本本土に上陸した記録はないが、沖縄本島などの南西諸島では、スーパー台風が通過することがある。2003年に宮古島を通過したスーパー台風マエミー（第14号）は、風力発電施設を倒壊させるなど大きな災害をもたらした。このようにスーパー台風は最も危険な台風であり、今後、地球温暖化による台風の強化で、本土への接近・上陸が危惧されている。

## 2. 台風研究の問題点

台風は我が国における自然災害の最も大きな要因の一つである。台風災害の規模を計る客観的指標として損害保険金の支払額は分かりやすい目安である。一般社団法人日本損害保険協会は風水害による保険金の支払額の上位10位までを公開している<sup>[1]</sup>。最新の発表では、上位10位のうち8件が台風によるもので、台風がわが国の風水害の大きな部分を占めていることが分かる。最も支払額の大きなものは、2018年台風21号に伴うもので1兆円を超えている。実際の被害額はこの数倍で数兆円に達したと推定される。

このような大きな災害をもたらす台風が地球温暖化に伴いどのように変化していくのかは、防災上の大きな問題となるので、これについては様々な研究がある。過去の台風の記録から、台風の最大強度をとる位置が北上していること<sup>[2]</sup>や、東

アジアと東南アジアに上陸する台風の強度が過去数10年の間に増大していること<sup>[3]</sup>などが示されている。また、数値モデルによる温暖化予測から、地球温暖化とともに台風の強度が増大することは多くの研究が示しており、また、今世紀後半にはスーパー台風が日本本土にも上陸する可能性が指摘されている<sup>[4]</sup>。これらは気候変動に伴い台風のリスクが日本などの中緯度地域で増大していることを意味している。

このように日本付近では台風に伴う災害リスクが増大しつつあり、なかでもスーパー台風は防災上大きな問題となる台風であるが、毎年どれくらい発生しているのは、実のところよく分かっていない。そのような非常に強い台風については、強度の推定値に大きな不確実性があるからだ。気象庁とJTWCのデータでは、年ごとのスーパー台風の数が大きく違う。1987年までは米軍が航空機観測により台風の中心気圧や最大地上風速の直接観測を行っていたが、それ以降は気象衛星の雲パターンから、ドボラック法により台風の強度が推定されるようになった。気象庁もJTWCも同じ方法で強度を推定するが、それぞれ独自の強度変換テーブルを使用しているため同じにならない。特に強い台風になるほど誤差が大きくなるという問題点がある。

もう一つの問題点として、台風などの熱帯低気圧の進路予測については年々改善されているが、強度予測が過去数10年間にわたってほとんど改善されていないという問題が、世界のどの気象機関にも共通してみられる。台風については未解明な点が多く、特に強度の予測には大きな不確実性が残されている。海上で発生・発達する台風については観測データが限られていることが原因の一つである。

### 3. 航空機観測

近年の台風による激甚災害が示すように、台風

による災害は依然として日本の災害の大きな部分を占めている。上記の問題を解決するためには、台風の強度について直接観測による正確なデータが不可欠である。特にスーパー台風などの非常に強い台風について、正確なデータに基づく、強度の現況を知ると共に、それを初期値とする予報により、台風の進路だけでなく強度についても予報の高精度化が強く求められている。

台風のような変動の激しい現象について、しかも陸から遠く離れた海洋上で発生・発達する台風については、機動的な観測が必要である。そのためにはジェット機を用いた航空機観測が唯一の手段となる。広大な西太平洋の陸から遠く離れたところで発生・発達する台風を観測するためには、長距離を飛行できるジェット機が不可欠である。さらに台風は10数キロメートルの高度まで発達するので、その高度まで上れる航空機が必要である。

そこで名古屋大学、琉球大学、気象研究所のグループは、台風の直接観測により、精度よく強度（中心気圧や最大地上風速）を測定するプロジェクトを2016年より開始した。これはT-PARCII（Tropical cyclones-Pacific Asian Research Campaign for Improvement of Intensity estimations/forecasts）と名付けられ、科研費基盤研究(S)「豪雨と暴風をもたらす台風の力学的・熱力学的・雲物理学的構造の量的解析」（研究代表者：坪木和久）の主課題として実施しているものである。

T-PARCIIでは、愛知県にあるダイヤモンドエアサービス株式会社のガルフストリームII(G-II)というジェット機(図1)を使用しており、ドロップゾンデ投下装置と受信機を搭載することができる。本研究では沖縄地方の南または東海上を通過する台風を対象として航空機観測を実施する。台風の航空機観測の概念図を図2に示す。G-IIを那覇空港や鹿児島空港から飛ばして、台風周辺に新しく開発したドロップゾンデ(図3)と呼ばれる測定器を多数投下する。ドロップゾンデは大気中を落下しながら、上空10数キロメートルから海面



図1 台風の航空機観測に使用するジェット機、ガルフストリームⅡ。主翼付け根付近にドロップゾンデの投下装置がつきだしているのが見える。ダイヤモンドエアサービス株式会社所有。県営名古屋空港にて著者撮影。

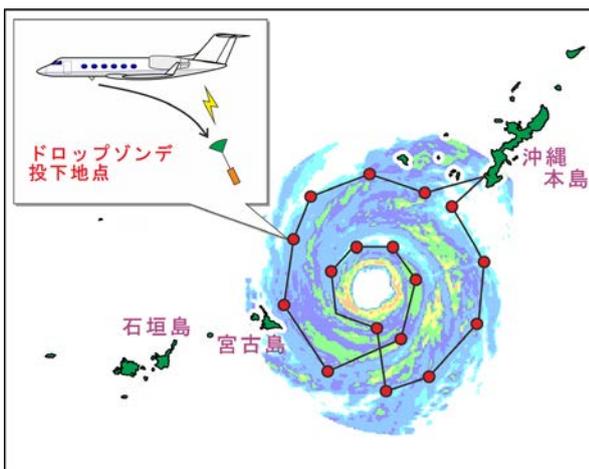


図2 航空機を用いた台風のドロップゾンデ観測の概念図（琉球大学山田広幸先生作成）。



図3 名古屋大学宇宙地球環境研究所と明星電気株式会社で新しく開発したドロップゾンデ (IMDS-17) の本体。小型軽量でパラシュートを使用しない点の特長である。本体はトウモロコシを原料とする生分解性素材でできている。

までの気温、気圧、高度、湿度、風向・風速を測定し、データを電波で航空機に送信する。機内ではリアルタイムでデータを確認することができ、さらにそのデータを地上に送ることができる。このドロップゾンデ観測システムは、受信機も本体も名古屋大学宇宙地球環境研究所と明星電気株式会社で2016年に一から開発したものである。ドロップゾンデ本体はトウモロコシを原料とする生分解性素材で、環境負荷を大きく軽減している。1回の台風観測では20~60個のドロップゾンデを投下するので、生分解性素材を用いることは重要である。

2017年10月中旬にスーパー台風ラン（第21号）が発生し、この年の最強の台風となった。この台風は気象庁の区分では超大型で非常に強い台風であった。この台風ランについての航空機観測を台湾の中央気象局と共同で行うことができた。台風ランの発生する前に台湾の研究者と観測の実施方法について打ち合わせを行い、10月21日に沖縄本島の南東を北上するランの観測を、北緯23度付近で日本時間15時を中心として実施した。高度43000フィート（約13.8km）で飛行し、台風の西側から眼の壁雲を通過し眼内部に入る貫入観測を行った

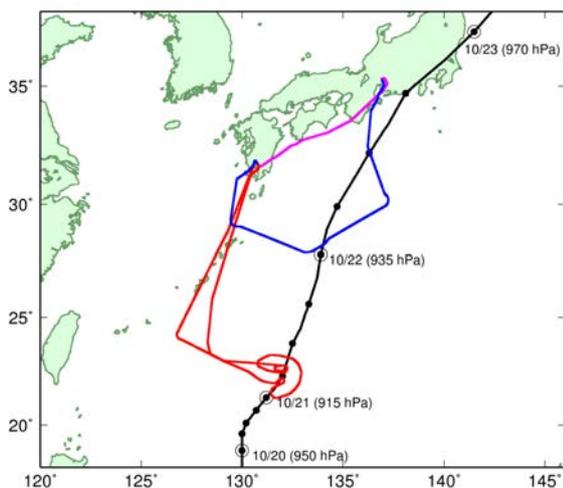


図4 2017年の台風ランの航空機観測の飛行経路（ピンク実線10月20日、赤21日、青22日）と台風の経路（黒実線）。中心位置と中心気圧は気象庁ベストトラックの値。

（図4）。眼の中心と眼の壁雲でドロップゾンデを投下し、台風の眼の暖気核構造と中心気圧の直接観測に成功した。図5は気象衛星ひまわり8号から見た台風ランの全体像と、眼のなかでのドロップゾンデ観測の位置である。眼のまさに中心でドロップゾンデを投下して、中心気圧を直接測定している。眼内部では航空機から壁雲や下層雲、また眼内部のメソ渦などが観測された（図6）。さらに眼の周辺を飛行しドロップゾンデ観測を実施した。翌日22日、北緯28度まで北上した台風に飛行し、再度、眼の貫入観測を実施し、ドロップゾンデを投下し台風の中心気圧の直接観測に成功した。さらに台風の東側の水蒸気の北向き輸送量が大きい地域でもドロップゾンデ観測を行った。

台風やハリケーンの航空機観測は、米国と台湾が行っているが、台湾は台風周辺の飛行観測を行うだけで、眼には入らない。米国では米軍のハリケーンハンターが特殊な航空機で3kmほどの低高度での貫入観測を行っているが、それ以外では、中程度の強度以上のハリケーンの眼には入らない規則となっている。今回のスーパー台風ランのような強い台風への高高度での貫入観測は世界的に

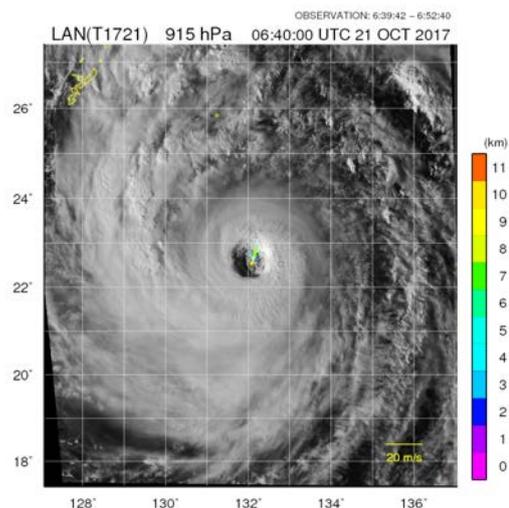


図5 2017年10月21日06:40UTCのひまわり8号により観測された台風ランの可視画像。星印はドロップゾンデ投下地点。そこからのびる線分は風速で、その色が高度（右のカラーバー）を表す。



図6 台風ランの眼の中の高度43,000フィートからの風景。そそり立つ眼の壁雲とその手前に眼の中のメソ渦、さらにそのなかの海面が見える。

もほとんど行われておらず、台風の眼内部で直接観測を行い、中心気圧と暖気核の貴重なデータを得ることができた。さらに13.8kmの高度で台風の眼に貫入することで、特殊な軍用機ではなく民間航空機でも安全に観測できることを示したことで、今後の台風の航空機観測に新しい道を開いた。この台風の航空機観測についての詳細は、新潮選書「激甚気象はなぜ起こる」<sup>[5]</sup>に記述した。

#### 4. おわりに

2019年の台風19号は、本土に上陸したときはスーパー台風の強度ではなかったが、台風の運び込む水蒸気は広域の豪雨と洪水をもたらした。このような台風に伴う豪雨では、大気中に大規模な水蒸気の流れがあることが分かってきた。これは大気の河（atmospheric river）とよばれ、これまでは温帯低気圧に伴って形成されることが知られている。たとえば、2015年の鬼怒川決壊をもたらした豪雨では、2つの台風の間で大気の河が形成されていた。それを流れる水蒸気の量は毎秒数十万トンにおよび、世界最大河川のアマゾン川の流量の数倍であった。台風に伴う豪雨災害を防ぐ

ためには、このような水蒸気の流れの量を、航空機観測により正確に測定し、それをもとにした雨の量的予測の高精度化が不可欠である。

日本には平均で11個の台風が接近し2～3個が上陸し、毎年のように災害がもたらされている。それにもかかわらず日本は現業観測として台風の航空機観測を行っておらず、米国や台湾に大きく立ち後れている。もし日本に接近するすべての台風について航空機観測ができるようになれば、台風防災に大きく寄与することは間違いなく、観測用航空機の早急な導入が望まれる。

航空機観測では1回のフライトに約1千万円かかるので、高額のように思われるが、例えば2018年の台風21号の被害額が数兆円であったことを考えると、航空機観測は十分コストに見合うのである。より正確な台風の予測ができれば、事前に対策を立てることができ、効果的な防災が可能になる。また、適切な避難につながることで、少なくとも人的被害を限りなくゼロに近づけることが可能である。

このような航空機を用いた台風の直接観測は、日本ではやっと始まったばかりで、まだ2つの台風を観測しただけである。しかし、今後このよう

な観測を積み重ねていくことで、台風の構造や強度をあきらかにし、台風の進路や強度の予報精度を向上させることで、台風災害の軽減を目指したい。さらに地球温暖化に伴って、台風がどのように変わっていくのかという大きな問題に答えたいと考えている。そして台風で誰ひとり命を落とすことがない社会となることを期待する。本稿で紹介した T-PARCI プロジェクトはその第一歩と位置づけられる。

#### 参考文献

- [1] 一般財団法人日本損害保険協会, 2020 : 風水害等による保険金の支払い. <https://www.sonpo.or.jp/report/statistics/disaster/index.html>
- [2] Kossin, J. P., Emanuel, K. A. & Vecchi, G. A., 2014: The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity. *Nature* **509**, 349-352, DOI: 10.1038/nature13278.
- [3] Mei, W., and S.-P. Xie, 2016: Intensification of landfalling typhoons over the northwest Pacific since the late 1970s, *Nature Geoscience*, DOI: 10.1038/NGEO2792.
- [4] Tsuboki, K., M. K. Yoshioka, T. Shinoda, M. Kato, S. Kanada, and A. Kitoh, 2015: Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 646-652, doi:10.1002/2014GL061793.
- [5] 坪木和久, 2020 : 「激甚気象はなぜ起こる」, 新潮選書, 399pp.