

第41回メソ気象研究会の報告

— 台風～発生・発達と日本への影響～ —

コンピーナー：北島尚子*

1. はじめに

2013年は台風第18号に関連する近畿地方の大雨による広域の水害や関東地方の竜巻による死者・不明計7名の人的被害があり、また台風第26号に関連しては伊豆大島の大規模土砂災害等により死者・不明計43名の大きな人的被害が生じた。さらにフィリピンに上陸した台風第30号による甚大な災害は、様々な形で日本社会に影響を与えている。このように台風への関心が高まっている状況を背景に、第41回メソ気象研究会を「台風～発生・発達と日本への影響～」をテーマとして、2014年度春季大会の前日である5月20日に気象庁講堂において開催した。

台風は過去には日本において最も大きな気象災害を引き起こす原因の1つであった。1960年ごろまでは1個の台風で数千人の犠牲者が出たことも何度か起きている。その後、進路予報が改善されることにより、防災対策が事前に可能となって人的被害は激減したが、台風に伴う暴風や大雨は依然として大きな災害の原因となっている。日本損害保険協会(2014)によれば、風水害等による過去の損害保険金支払額の高額10位までのうち9件までが台風によるもので、うち5件が2000年以降のものであり、台風による経済的損失は近年でも甚大である。

メソ気象研究会では、2004年の第23回研究会「台風とそれに伴うメソシステム」において台風に伴う多様な現象を取り上げた。その直後の2004年の台風シーズンには10個の台風が上陸し、それらを契機として研究が進んだが、まだ台風に関する課題は多い。今回のメソ気象研究会では、台風の発生・発達と中緯度におけ

る構造の変化について、前半に3名の講演をお願いし、また台風に伴って日本で発生し災害の直接的原因となりうるメソ気象現象について、後半に3名の主として若手の方に講演をお願いした。当日は150名を超える方々に参加していただいた。

2. 台風発生・発達に関わる環境場の観測

城岡竜一(海洋研究開発機構)

台風の発生が多くみられる西部熱帯太平洋では、海洋研究開発機構によるPALAU(Pacific Area Long-term Atmospheric observations for Understanding of climate change)観測プロジェクトが、パラオ共和国周辺域で実施されている。これまで、レーダー・ライダー・ディストロメータ等の通年観測を行っているパラオ共和国アイメリークの杉ノ原観測サイトを中心に、研究船「みらい」の観測航海と同期した集中観測、ミクロネシアの島嶼での独自サイトの構築や各国現業気象機関との協力による高層ゾンデ観測網展開、アルゴ型フロートによる海洋混合層観測、航空機を用いたドロップゾンデ観測等を実施し、台風の発生・発達過程の他、季節内変動の北進やモンスーンオンセット等に関する研究を行ってきた。また、集中観測時にはNICAMやCReSS等の数値モデルとの連携を積極的にすすめることで、準実時間予報実験の結果に対応した観測体制を構築することも可能となっている。

2013年6月に実施したPALAU2013集中観測では、熱帯低気圧初期渦形成過程の雲物理的構造把握を目的として、名古屋大学による二重偏波レーダーと雲粒子ゾンデHYVISを用いた詳細な雲物理観測等も行われ、3個の台風初期擾乱をとらえることができた。また、数値モデルでも台風の発生や発達が良く再現されており、これらの結果を用いた解析が進行中である。

西部熱帯太平洋域における基本場としての大気と海

* (連絡責任著者) Naoko KITABATAKE, 気象研究所. nkitabata@mri-jma.go.jp

© 2014 日本気象学会

洋の状況は年々変動が大きく、台風発生にも影響を及ぼしていると考えられる。近年のパラオ周辺海域では、高い海面水温や暖かくて厚い海洋混合層の形成が、必ずしも台風発生数の増加とは結びついていない。モンスーンや季節内変動等の大気の大規模場との関係を、より詳細に調査することが必要であろう。PALAU2013では、台風の発達が大規模な循環場の強化をもたらしたと判断できる事例もみられていた。

台風の発生を「狙って」とらえることは難しく、継続的な観測により事例を積み重ねることが重要である。また、台風的环境場や内部構造の詳細観測には、航空機の機動的な運用が威力を発揮するが、未だに観測事例は少ない。我が国としても、大気科学研究での利用が可能な専用航空機の導入を強く推進すべきであろう。それに伴い、航空機搭載レーダー等の機器の新規開発も期待できる。これらの実現により、台風研究やメソ気象学が、より大きく進展することを期待する。

3. 数値シミュレーションによる台風発達の研究

和田章義 (気象研究所)

地球温暖化による台風強化の可能性及び台風災害の軽減を目指す上での台風予報精度向上の観点から、台風の発達については社会から強い関心を持たれている。第2種条件付き不安定理論や最大潜在強度の考え方が台風の理論的研究などから知られている。近年ではスーパーコンピュータシステム上での数値モデルを用いた数値シミュレーションにより、台風発達の研究が行われている。

数値シミュレーションにより得られる台風を模した渦 (以下“台風”と表現する) の発達には、数値予報システムに内在する不確定要素 (決定論的アプローチまたは確率論的アプローチ) や、数値モデルを構成する力学・諸物理過程や初期値・境界値・水平解像度等実験設定に起因する不確実性が内在する。また台風発達過程及び最大強度に関するレビューとして、台風内部域におけるメソ渦の生成・成長・併合過程と台風強化及び海水温低下による台風発達抑制との関連等を紹介した。

次に2013年台風第18号と第30号の非静力学大気波浪海洋モデルによる数値シミュレーション結果から、台風発達と海水温の関係を紹介した。台風第18号については、日本南方海域の低海水温場を海洋初期値として使用した感度実験結果との比較から、この海域におけ

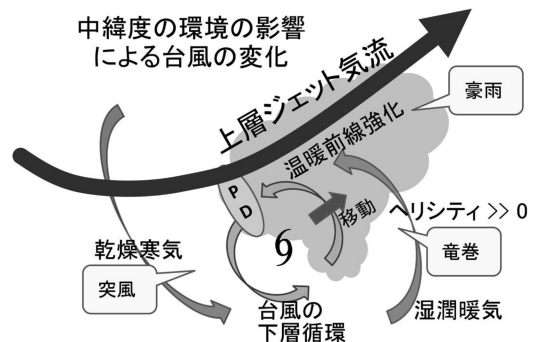
る高海水温場が台風第18号の発達に関連していた可能性が考えられる。台風第30号に関しては大気モデルのみの実験で最低中心気圧895 hPaが再現された。2つの数値シミュレーションは共に海面飛沫のパラメタリゼーションを新たに加えることにより、気象庁ベストトラック解析と整合的になった。数値モデルによる台風発達研究を推進する上で、物理過程など多くの改善点が残されており、その改善のためには事例研究を1つ1つ積み上げる必要がある。

4. 日本付近の台風の構造変化

北島尚子 (気象研究所)

日本に接近・上陸する台風は、そのあと温帯低気圧に変わる (温低化する) ものが多い。典型的な特徴とは、台風 (熱帯低気圧) は暖気核を持ち下層で軸対称性の強い低気圧性循環の風の吹く構造、温帯低気圧は水平温度傾度を伴うとともに上層でジェット気流に伴う強風の吹く寒気核・非対称構造である。前者が後者に変化する過程は単に前者の崩壊と見なされ研究対象にされにくかったが、連続的に変化する温低化の過程を熱帯低気圧と温帯低気圧に客観的に区別することも含め、最近研究が進んだ。それで明確になったのは、温低化の際には多くの事例で遷移過程として暖気核・非対称構造を持つことである。

遷移過程の台風は、下層では水平温度傾度を持ち、かつ強風が吹くので、台風の北東側では顕著な温暖前線が形成され、停滞する前線帯に沿って台風が進むと、強雨が長時間続くことになる。また台風の進行方向に対して左側は、成熟期の台風では相対的に弱風となるが、遷移過程では下層寒気が流入し広い範囲で強



第1図 中緯度の環境の影響による台風の変化と関連する諸現象の模式図。PDは pressure dip.

風となる。

さらに、遷移過程の構造の時は、様々なメソ気象現象も生じる。下層の強風と上層のジェット気流のため、大まかには台風の東側（東進する台風の前方）でヘリシティが大きくなり、竜巻が起きやすいことが考えられる。また西側（後方）では乾燥した寒気が流入する際に不安定が生じ突風が起こることがある。これらを第1図に模式的に示した。

台風に伴うメソ現象だけでなく、台風自体の変化に伴う警戒すべき特徴もある。台風が温低化（寒気核化）したあとに再び暖気核化することがあり、いわゆる爆弾低気圧と類似した構造になって、高緯度で再発達することがある。2012年の北大西洋のハリケーン・サンディが比較的高緯度で発達したのは、いったん寒気核化することがないまま爆弾低気圧に類似した発達プロセスに移行したことが考えられる。

日本に秋に上陸する台風は、ほとんどが遷移過程の構造を持ち（Kitabatake 2011）、また日本での損害保険金支払額の多い台風災害のほとんどが秋に起こっている（日本損害保険協会 2014）ことも考慮すると、成熟期の台風とは異なる防災対策が必要である。

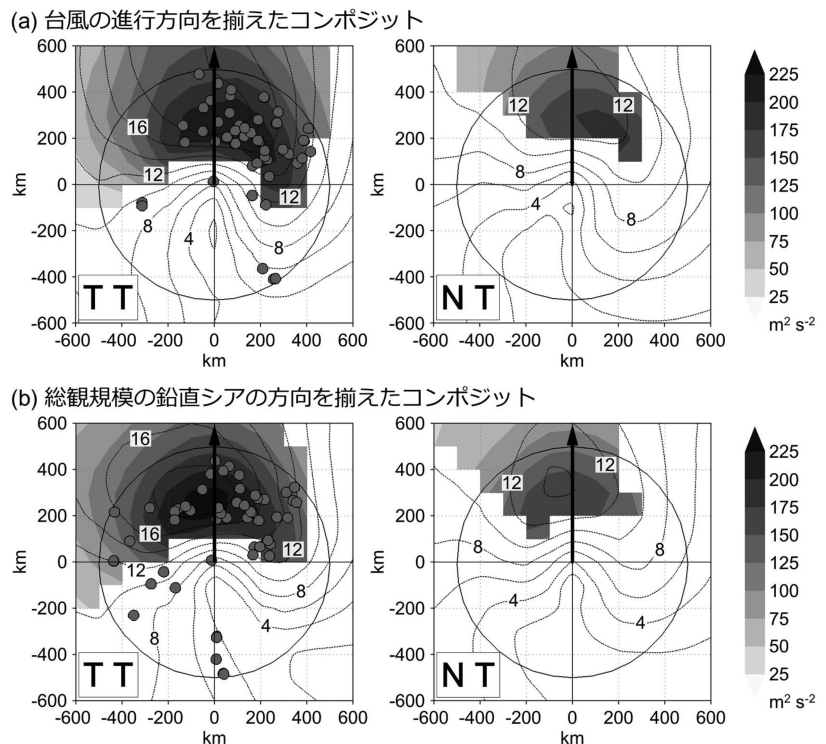
5. 日本付近の台風に伴うメソ気象現象(1) 台風に伴う竜巻

末木健太（東京大学
大気海洋研究所）

熱帯低気圧は竜巻の主要な発生環境の1つであり、日本で発生する竜巻の約20%は台風に伴う（Niino *et al.* 1997）。米国ではハリケーンの進行方向右前方で竜巻が多い傾向や（McCaul 1991）、総観規模の風の鉛直シアのダウンシア側で、竜巻を生ずる特殊な積乱雲（スーパーセル）の発生ポテンシャルが高まるという観測結果がある

（Molinari and Vollaro 2010）。しかし、多数の竜巻を伴う台風と竜巻を伴わない台風の環境場や構造の違いは十分理解されていない。本研究では、竜巻を伴う台風の環境場と構造の特徴を、スーパーセルの発生ポテンシャルを表す Storm-Relative Environmental Helicity（以下 SREH；Davies-Jones *et al.* 1990）に注目して、データ解析と理想化数値実験により調べた。

データ解析では、1991-2012年の客観解析データ JRA-55 にもとづき、中心から半径500 km 以内に竜巻を伴った台風（Tornadic Typhoon；以下 TT）と、TT と同様の位置・強度であって竜巻を伴わなかった台風（Non-tornadic Typhoon；以下 NT）の平均的な構造を、2通りのコンポジットで調べた。台風の進行方向を揃えたコンポジットでは、TT・NT ともに、進行方向右前方～前方で SREH が大きくなっていった（第2図 a）。一方、総観規模の鉛直シア



第2図 TT（左側）・NT（右側）について、コンポジットした風速場から求めた SREH（シェード）と地表-高度 6 km の風速差（コンター； ms^{-1} ）。(a) は台風の進行方向を、(b) は総観規模の鉛直シアの方向を、それぞれ紙面上向きに揃えたもの。原点は台風中心。実線の円は、台風中心から半径500 km を表す。TT では、台風中心に相対的な竜巻の発生位置をプロットしてある。

の方向を揃えたコンポジットでは、TT・NTともに、SREHはダウンシア方向左側～ダウンシア側で大きくなっていった(第2図b)。いずれのコンポジットでも、SREHの値はTTの方が大きく、TTの竜巻発生位置はSREHの分布と整合的だった。さらに、Cyclone Phase Space (Hart 2003)のパラメータ B により台風を対称性で分類したところ、SREHは非対称な台風($B > 10$)の方が大きいことが分かった。

数値実験では、鉛直シアの無い西風と鉛直シアの有る西風中で台風を発達させ、台風の移動と総観規模の鉛直シアが台風構造に与える影響を調べた。その結果、シア無しの実験では、西風に伴う境界層内の南風が台風渦の風と重なることで、進行方向右前方～前方のSREHが大きくなること、シア有りの実験では、基本場のシアに加え、台風渦の軸が高度と共にダウンシア方向左側に傾く効果で、ダウンシア方向左側～ダウンシア側のSREHが大きくなることが分かった。数値実験の結果は、コンポジット解析の結果と整合的であり、台風の移動や総観規模の鉛直シアの効果で生ずる非対称構造が、竜巻の発生と深く関わっていることを示している。

6. 日本付近の台風に伴うメソ気象現象(2)

台風に伴う豪雨 —2013年台風第26号に伴う伊豆大島の大雨—

津口裕茂(気象研究所)

台風が日本列島を通過する際には、しばしば豪雨が発生する。近年でも、2011年の台風第12・15号や2013年の台風第18・26号によって日本各地で豪雨が発生し、甚大な災害をもたらされた。津口・加藤(2014)は、1995年～2009年の4月～11月の期間を対象に集中豪雨事例を客観的に抽出し、それらの集中豪雨をもたらした総観規模擾乱の統計解析を行った。その結果、台風・熱帯低気圧本体付近(中心から500 km以内)で発生した事例がもっとも多く、全体の32.4%(全386事例中、125事例)を占めていた。このように台風本体に伴う集中豪雨は頻繁に発生しているが、台風に関する他の研究テーマ(発生メカニズム、内部構造、進路・強度予報など)と比較すると、近年において、その研究はかなり少ない状況にある。しかし、台風に伴う豪雨に関してはまだまだ未解明な点が多く、防災の観点からも研究のさらなる積み重ねが必要である。本発表では、2013年の台風第26号に伴って伊豆大島で発生した豪雨の事例解析について報告した。

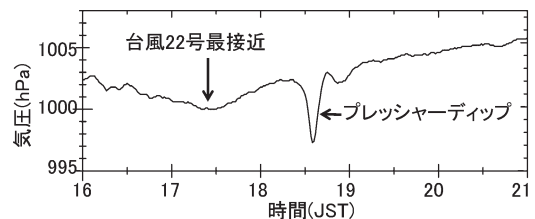
2013年10月15日から16日にかけて、台風第26号が関東地方の南岸を通過した。このとき、伊豆大島では記録的な豪雨が発生し、大島(アメダス)では最大24時間降水量で824.0 mmを観測した。この豪雨に起因する土砂災害によって、伊豆大島だけで死者・行方不明者は43名に達した。豪雨発生時のメソスケールの環境場を解析すると、関東平野の内陸部の寒気と台風の周囲から流入してくる暖気との間には、明瞭な「沿岸前線」が形成されていた。伊豆大島に豪雨をもたらした降水系は沿岸前線上で発生していたことから、本事例においては、この沿岸前線が重要な要因であると考えられる。観測データ、客観解析データ、気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)による再現実験の結果の解析から、沿岸前線の形成・強化・維持には、内陸部での降水粒子の蒸発による大気下層の冷却、内陸部からの寒気の移流、前線付近での凝結熱による大気中層の加熱など、さまざまな物理プロセスが寄与していたことがわかった。また、伊豆大島では過去に台風の通過に伴って豪雨が発生している(1982年9月の台風第18号、1958年9月の台風第22号(狩野川台風))。今後、これらの過去事例についても詳細に解析し、本事例と比較することで本事例の特徴をより明瞭化できると考えている。

7. 日本付近の台風に伴うメソ気象現象(3)

台風に伴う pressure dip

筆保弘徳(横浜国立大学)

台風通過時に1分程度の高時間分解能で気圧を測定すると、まれに興味深いメソスケール現象が観測される。第3図は、2004年台風第22号通過時に熊谷地方気象台で観測された地上気圧である。台風の通過にともなう気圧変化の上に、台風最接近から約1時間後、約10分間で5 hPaも急低下してすぐにもとの変化にもどっている。このくぼみ状の気圧急低下は、Pressure



第3図 2004年10月9日に熊谷地方気象台で観測された気圧時系列。

dip (プレッシャーディップ; 以後PDと記す) と呼ばれている。PDは、1952年に藤田哲也博士が名付けて以来、数例の研究や報告があるが、その現象の発生メカニズムや構造は十分に理解されていない。PDは突風や局地的大雨をとまなっており、PD発生域周辺で特に大きな被害がでていいることから、現象の理解は防災の立場からも重要である。

本講演では、まずFudeyasu *et al.* (2007) の研究を紹介した。統計的な調査によると、日本へ接近した台風のうち約10%でPDが観測されていた。合成解析の結果から、PDは台風北西象限で台風中心から50~200 km離れた場所に、150~200 kmのバンド状で発生していた。数値シミュレーションの結果では、再現されたPD上層は台風循環場と偏西風の合流域となっており、その境界で強い下降流域が発生していた。この下降流により、上層の乾燥気塊が下層へ運ばれて断熱昇温することで、周囲よりも高温位の領域が発生し、低圧部が形成される。局地的に発生した低圧部が台風にとまなって移動することで、地上では気圧の急低下として観測される、という仮説を立てた。近年の観測研究から、この仮説は立証されつつある。井上ほか(2013)は、ウィンドプロファイラーの観測結果より、2012年台風第17号にとまなって発生したPDの上空では、上層風やエコー域の分布が仮説とよく対応していたことを報告している。

講演後の質疑では、気象庁は気圧最低値を観測した時間を台風最接近時としていることから、台風位置を算出する上でもPDの認識は必要になるとのコメントを頂いた。

8. 総合討論

総合討論では、議論の糸口として、津口氏が大雨に関する講演で提示した問題点をまず示した。彼が指摘したのは、日本での台風関連の大雨の研究の論文・報文数は多くないが、日本気象学会の大会での台風関連の研究発表数は多く、特に(1)台風の発生メカニズム、(2)台風の構造及びその変化、(3)進路予報・強度予報がテーマとしてよく取り上げられることである。これらがよく取り上げられる背景として考えられるのは、(1)は活発な研究コミュニティのある熱帯気象研究分野との関連、(2)は軸対称的な構造の台風の研究が若手を中心として人気があること、(3)は気象庁の現業業務からの要請がある。そして、なぜ台風に伴う大雨の研究が少ないのかという疑問に対しては、台風

の進路や強度の予報を向上させる方が先である(言い換えれば、台風の進路や強度の予報精度が低ければ降水分布の予報精度も低いと考えられるので後者は優先度が下がる)こと(上記の(3)関連)、また台風の構造が非対称性を増したときの研究が少なく研究の仕方がわからないこと(上記の(2)関連)が理由としてありそうだ。同じことは大雨だけでなく台風に伴うメソ気象現象全般に言えそうである。近年の日本の台風関連の大雨の論文には、2004年に台風が日本本土に10個上陸した際の事例研究が複数含まれ、同年の事例に関しては台風に伴う突風の論文もある。研究の機運が盛り上がったならそれを継続させる方策が必要であろう。

日本の台風研究全般の課題としては、まず、城岡氏が指摘したように、台風が海上で発生・発達するので観測データの取得が困難ということがある。これまで熱帯気象の研究者の努力により熱帯海域での観測的研究が行われ、意図せず台風の発生を捉えることができ、研究が進んだということがあった。それには単なる幸運ではなく、幅広い知見に基づく臨機応変な対応と、それを可能にする多くの研究者の連携が非常に有効に働いている。数値シミュレーションに関しては、各種の物理過程や海洋等の要素を加えることにより、メソ構造や台風発達プロセスの再現の点でより現実的になった半面、要素が増えたことで不確実性も増大しているとの指摘が和田氏からあった。さらに中緯度での環境の変化による台風の構造変化については、寄与する要素が非常に多く、一般化が難しいということがある。特に学位を取得するための研究には一般化が求められるので、そのしにくい研究には特に若手は取り組みづらいつの指摘があった。しかし筆保氏のpressure dipの研究や末木氏の竜巻の研究のように、過去に事例研究がいくつか行われている現象についてはそれを手掛かりに一般化を試みるのが可能になる。今後も、発現した事例について地道に事例研究を積み重ねることも必要と考えられる。

謝辞

今回のメソ気象研究会を開催するに当たって、会場の準備・運営をしていただいた防災科学技術研究所、東京大学大気海洋研究所、京都大学防災研究所、気象研究所予報研究部・台風研究部の有志の方々ならびに筑波大学連携大学院(気象研究所)の学生のみなさまに感謝します。

参 考 文 献

- Davies-Jones, R. P., D. Burgess and M. Foster, 1990: Test of helicity as a tornado forecast parameter. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB, Canada, Amer. Meteor. Soc., 588-592.
- Fudeyasu, H., S. Iizuka and T. Hayashi, 2007: Meso- β -scale pressure dips associated with typhoons. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 1225-1250.
- Hart, R. E., 2003: A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 585-616.
- 井上創介, 平澤朋美, 岸 隆幸, 2013: 2012年台風第17号通過時に観測された潮位変動を伴った Pressure Dip について. *測候時報*, **80**, 33-42.
- Kitabatake, N., 2011: Climatology of extratropical transition of tropical cyclones in the western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, **89**, 309-325.
- McCaul, E. W. Jr., 1991: Buoyancy and shear characteristics of hurricane-tornado environments. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1954-1978.
- Molinari, J. and D. Vollaro, 2010: Distribution of helicity, CAPE, and shear in tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 274-284.
- 日本損害保険協会, 2014: 日本損害保険協会ホームページ. <http://sonpo.or.jp/> (2014.5.19閲覧).
- Niino, H., T. Fujitani and N. Watanabe, 1997: A statistical study of tornadoes and waterspouts in Japan from 1961 to 1993. *J. Climate*, **10**, 1730-1752.
- 津口裕茂, 加藤輝之, 2014: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析. *天気*, **61**, 455-469.
-