407：*1052*：*1071*（台風；降水；気象災害）

第48回メソ気象研究会・気象災害委員会研究会の報告

コンビーナー：佐藤友徳*

1．はじめに

記憶に新しい2016年の夏には，複数の台風が北日本に接近または上陸し，東北地方や北海道地方に甚大な被害をもたらした．このうち，台風10号（Lionrock）は日本の東の太平洋上を北上したのち東北地方北部に上陸するという特徴的な経路をとり社会的な関心を集めている．またこれと前後して，同年８月には僅か数日の期間に３個の台風が北海道付近を通過し，記録的な降水量により多方面に及ぶ被害が生じた．このように2016年夏の台風はこれまでにない珍しい特徴を呈しており，観測データや過去の災害経験に基づいて計画されてきた従来の気象災害対策に対して，大きな転換の必要性を認識させるきっかけとなっている．

本研究会では，このような特徴的な台風の挙動や災害をもたらした気象場の特徴を共有し，様々な視点から現象を理解することを目標とした．さらに，北海道や東北地方に極端な降水をもたらす台風の活動に対して，地球温暖化に伴う気候変動がどのように寄与するのかについて，データ解析や数値実験の結果をもとに議論を行った．本研究会は気象災害委員会との合同で開催したことにも鑑み，気象学の研究で得られた知見を，どのように将来の災害対策へ活用すべきか議論を行った．

研究会は2017年度秋季大会前日の2017年10月29日に北海道大学学術交流会館で開催された．休日の午後にもかかわらず約120名の参加があった．各講演後の総合討論では，山田広幸氏（琉球大）が研究会直前に実施された2017年台風21号の航空機観測の様子を速報し，タイムリーな成果に聴者は盛り上がりを見せた．

*（連絡責任著者）Tomonori SATO，北海道大学大学院地球環境科学研究院．t_sato@ees.hokudai.ac.jp

© 2018　日本気象学会

2．2016年に北海道・東北を襲った台風の降水特性

山田朋人（北海道大学大学院工学研究院）

2016年８月の台風事例に関して，気象および水文シミュレーションを行い，本イベントに伴う水害が顕著となった背景について考察した．

2016年８月の台風は関東・東北沖の海上を北上し，東北や北海道に上陸したという経路が特徴的である．また，2016年の台風10号の進路および気象場の特徴は過去に石狩川流域の大規模な洪水をもたらした1981年８月の前線および同年台風12号の事例と類似していた．過去に北海道に接近した台風の経路を解析すると，1960年代から2010年頃までは，日本海を通過して北海道に接近する頻度が高かった．しかし，2011年以降は太平洋を北上するコースをとる台風の割合が増加している．このような経路をとる台風は北日本に接近するまでに勢力が衰えにくい傾向がある．さらに，気象モデル WRF を用いて北海道の山岳を除去した実験では，降水量が大きく減少した．すなわち，台風10号からの南東風が日高山脈を中心とする北海道の山脈において強制上昇することで対流が発達，維持し，記録的な降水量になった．特に同月には類似した経路で連続して台風が通過したため，土壌水分の事前貯留量が通常よりも大きかったと考えられる．台風10号による大雨は事前貯留水の流出を伴い，河川流量が急増したと考えられる．

本事例では北海道や東北地方で記録的な降水量を観測した．しかし，我々が把握することのできる降水量は観測可能な降水のみである．例えば，降水レーダーの観測範囲外の地域や，山岳域などの雨量計の空白域では正確な降水量を把握することすら容易ではない．台風10号に伴う強雨事例について詳細に解析したところ，流域内の雨量計の配置が異なるだけで，ダムへ流入する河川流量の推定値は約20％も変動することが分かった．現行の河川計画では，雨量計データに基づい

て推定された最大規模の河川流量が用いられているため，ここには観測限界に起因する不確実性が含まれていることも改めて認識すべきであると言える．

3．擬似温暖化実験による2016年台風第７号およびそれにともなう雨の将来変化予測

金田幸恵（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

ここでは，2016年に北海道へ上陸した台風の一つである台風第７号の将来変化予測に擬似温暖化（PGW）実験で取り組んだ結果を紹介する（Kanada *et al*. 2017b）．

名古屋大学で開発された大気雲解像モデルCReSS（Tsuboki and Sakakibara 2002）に海洋研究開発機構で開発された３次元海洋モデルNHOES（Aiki *et al*. 2006，2011）を結合した領域モデルCReSS-NHOES（相木ほか 2015）を用いた．水平解像度は0.04度とした．

まず大気・海洋それぞれ気象庁55年長期再解析データ及びJCOPE2再解析データを初期値・境界値にして再現実験（CNTL）を実施した．他にNHOESを結合しないCReSS単体の実験（CReSS実験）も実施した．PGW実験の設定及び詳細はKanada *et al*.（2017a）に準ずる．海洋の温暖化差分としては，海面水温差分が水深100 mで0になるように線形内挿して与えた．大気場にのみ温暖化差分を加え海洋は昇温させないPGW_ATM実験も実施した（第１表）．

気象庁ベストトラックによると台風第７号の最低中心気圧は980 hPaであった．CNTL実験では977 hPaとおおむね良好な再現性を示した．一方，海洋モデルを結合していないCReSS実験では，973 hPaと過大評価した．これは台風の通過に伴う海面水温低下の影響を考慮していないためである．PGW実験において台風は，よりゆるやかな進行速度で北上し，最低中心気圧は973 hPaに達した．大気のみ温暖化させたPGW_ATM実験では，台風がほとんど発達しなかった．これは，温暖化気候下，対流圏上層ほど温暖化昇温が大きいため大気場が安定化し，台風の発達が抑制されるためである．

21世紀末，北海道付近の海面水温は４～５℃上昇する．それにともない大気下層の水蒸気量が増加して，台風第７号が太平洋を北上する間，北海道東部には20 g/kg以上の潤沢な水蒸気が供給される．その結果，台風上陸時の直接雨が増加するだけでなく，台風上陸の約18時間前，北海道東部に対流性の降水システムが形成され強く集中した雨がもたらされた．このように，温暖化は既存の降水システムを強化するだけでなく，新しい降水システムを発現させる可能性を持つ．この課題に取り組むためには，豪雨現象を再現しうる数値モデルでさらに事例を重ねる必要がある．

表１　実験名，温暖化差分，及び最低中心気圧．T，Z，QVはそれぞれ気温，ジオポテンシャル高度，水蒸気混合比を表し，T_{ocean}は海水温の鉛直分布を表す．

実験名	温暖化差分	最低中心気圧
気象庁ベストトラック	N/A	980 hPa
CNTL	N/A	977
CReSS	N/A	973
PGW	T, Z, QV, SST＋T_{ocean}	973
PGW_ATM	T, Z, QV	987

4．台風通過頻度の統計解析からみた2016年台風

横井　覚（海洋研究開発機構）

「台風通過頻度」とは，ある期間内にある領域内や線分上を通過した台風の個数で定義され，上陸数や接近数がその代表例である．講演者はこれまで，台風最盛期（７－９月）における通過頻度の長期変動や将来変化を研究しており，過去50年間に東日本の通過頻度が徐々に上昇したことを報告した（Yokoi and Takayabu 2013）．この傾向が，本研究会の主題である2016年夏期の特徴とよく似ていたこともあり，講演の機会をいただいた次第である．

まず，講演者らが提案した通過頻度の長期変動・変化の解析手法を紹介した．台風経路の統計特性の観点からいえば，通過頻度の変化は次の３つの要因によってもたらされる．

①西太平洋全域での個数
②西太平洋域内の発生分布
③発生地点の関数としての，平均的な経路

講演者らは，通過頻度変化をこれら３つの影響とそれらの複合的（非線型的）な影響に分離する手法「発生地別台風統計法（ISTAGL）」を提案した．この手法の詳しい説明は，Yokoi and Takayabu（2013），Yokoi *et al*.（2013）を参照していただきたい．

次に，北海道への接近頻度（簡単のため，北緯40度東経139-146度の線分上の通過頻度で定義）の長期変動にこの手法を適用した結果を紹介した．1960年代以降，接近頻度は十年規模変動を示しながら上昇トレン

ドを示していた（平均0.64個／年のところ，0.58個／年／50年のトレンド）．解析の結果，この変動の大部分は平均的な経路の変動が原因であり，西太平洋亜熱帯域のほぼ全域で，発生した台風のうち北海道へ接近するものの割合が近年増加していることが判明した．台風の平均移動速度を調べてみると，北緯25度以北の日本の南海上で，近年は以前よりも東向きの進路をとっていることがわかった．これは接近頻度増加の一部を説明している．また，亜熱帯中部太平洋（北緯25度以南，東経140度以東）では，近年は以前よりも台風が北上しにくい傾向にあることもわかった．この地域で発生した台風の多くは日本の東海上を北東進することを考慮すると，この傾向はこの地域で発生した台風が北海道に接近する割合の増加と整合的である．

2016年の特徴は，亜熱帯中部太平洋で発生した台風が北海道に接近しやすかった点は長期傾向と同じであるものの，この年は発生後にそのまま北海道まで北上していた点が異なる．質疑応答において，発生後に西進せず北上するのはモンスーンジャイアに伴って発生した台風の特徴だ，というコメントをいただいた．確かに，今回の解析ではモンスーンジャイアの影響について評価できてはいない．例えばモンスーンジャイア発生年と非発生年で比較してみるなど，発生地別台風統計法を用いたさらなる解析研究の方向性についても意見交換ができ，講演者としても有意義であった．

5．台風ハザードマップ

筆保弘徳（横浜国立大学）

これまで観測されたことのないような経路を通る台風が近年頻発し，台風に対して警戒が弱い地域を中心に被害が拡大している．本研究グループでは，台風経路アンサンブルシミュレーションを行い，まだ経験したことのないような台風経路も考慮して台風ハザードマップを作成した．このハザードマップでは，日本各地においてどの地域が周囲の地形の影響を受けて台風のリスクが高まるか，また，それぞれの地域でみて最悪の暴風や豪雨となるのはどのコースか，を示すものである．

本研究の台風経路アンサンブルシミュレーションは，大気を固定して地形全体を東西にずらした地形シフトという操作を施して，800以上のシミュレーション（水平解像度5 km）を行っている（詳細は山崎ほか 2017）．そのシミュレーション結果から，台風ハザードマップは，日本全国の各地点において半径300 km 圏内に台風中心が進入した時の平均風速・降水量を示している．その結果，台風接近時の風速は山岳地域や西日本，北海道，東北地方の太平洋側などで強く，東北地方の日本海側では弱い．降水は，東北地方や山岳地域の太平洋側などで多く，北海道や東北地方の日本海側で少ない．他にも，各地点の東西南北象限で分けて台風が進入した時の平均風速を示すと，おおまかには台風が各地域の東に位置する時に風が弱く，西に位置する時に強い傾向が得られる．これは，台風の進行方向左側は可航半円，右側は危険半円であることを表している．しかし詳細をみると，山陰地方では台風が東に位置した時でも強風となることが分かった．

また，地点ごとに台風位置と風速・降水の関係を示す「台風ノモグラム」を作成した．これにより，例えば横浜では，台風が西側の静岡や山梨を通過するときに強風となり，岐阜や富山など離れた場所でも風の影響は大きくなることが示された．この各地点の台風ノモグラムは，生活の情報などモバイルコンテンツを配信している株式会社エムティーアイの協力のもと，「台風ソラグラム」として全国にスマートフォン配信をしている（第1図）．ユーザーを対象としたアンケート調査では，「自分が住んでいる所は台風が来たら危険な場所だと認識できた」など防災意識が高まっている様子がうかがえた．

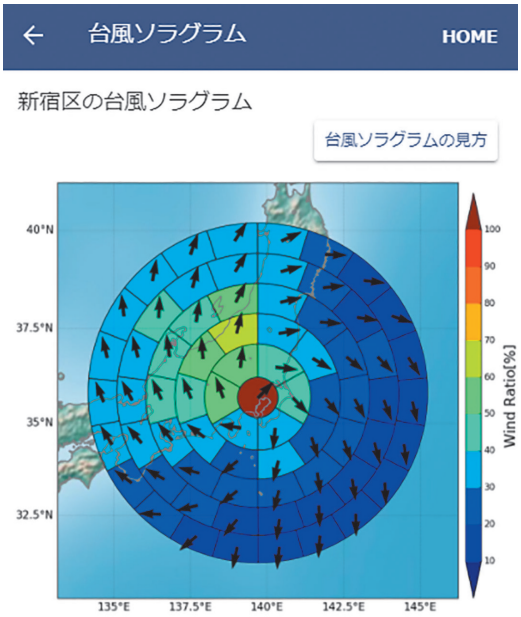
6．北海道地方における気候変動予測を踏まえた超過洪水対策の取組

時岡真治（北海道開発局）

2016年台風災害後直ちに，国土交通省北海道開発局と北海道は共同で「平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会」を設置した．同委員会は2017年3月に，「気候変動の影響が現実のものになったと認識し，北海道から先導的に気候変動の適応策に取り組むべき．過去の降雨や水害等の記録だけでなく，気候変動による将来の影響を科学的に予測し，具体的なリスク評価をもとに治水講じるべき」とする報告をとりまとめた．

報告を受け，気象学，水文学等の専門家で構成される「北海道地方における気候変動予測（水分野）技術検討委員会」を設置し，十勝川，常呂川流域をモデル流域として気候変動による影響評価に取り組んでいる．

台風10号では地形性降雨による影響が顕著であったことから，発生頻度の低い極端現象について統計的な

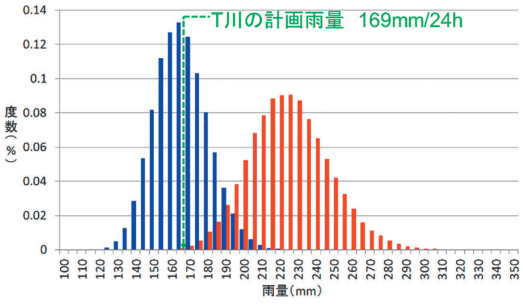


第1図　台風ソラグラムの画面イメージ．スマートフォン限定サービス『ライフレンジャー』内に掲載．

議論が行えるようにd4PDFを用いて，解像度5 kmへのダウンスケーリングを進めている．

d4PDF（ダウンスケーリング未実施）について年最大流域平均雨量を抽出し，100年に1回の生起頻度の24時間降雨量について統計的な処理を行った結果，気候変動により，第2図に示す左側の分布から右側の山の分布に変化し，治水施設整備の基準となっている計画雨量を超過する降雨の発生頻度が増加することが明らかになった．

また，治水施設の整備手法の違いにより被害軽減効果が異なる事例を報告した．引き続き，気象学の最新の知見を活かし，防災対策に反映できるように検討を進めていくこととしている．



第2図　100年に1回の頻度で発生する降雨量の頻度分布．青は現在気候，赤は将来気候を表す．

略語一覧

CReSS：Cloud Resolving Storm Simulator　名古屋大学で開発された雲解像モデル

d4PDF：database for Policy Decision making for Future climate change　地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース

ISTAGL：Integration of Statistics on TC Activity by Genesis Location　Yokoi and Takayabu（2013）で提案された台風解析手法

JCOPE2：Japan Coastal Ocean Predictability Experiment　海洋研究開発機構で開発された日本近海の海洋変動予測システム及びそのデータ

NHOES：Non-Hydrostatic Ocean model for the Earth Simulator　名古屋大学で開発された大気雲解像モデルに海洋研究開発機構で開発された3次元海洋モデルを結合した領域モデル

PGW：Pseudo Global Warming　擬似温暖化

WRF：Weather Research and Forecasting model　NCARにより維持管理されている米国の天気研究・予測モデル

参　考　文　献

Aiki, H., K. Takahashi and T. Yamagata, 2006: The Red Sea outflow regulated by the Indian monsoon. Cont. Shelf Res., **26**, 1448-1468.

Aiki, H., J. P. Matthews and K. G. Lamb, 2011: Modeling and energetics of tidally generated wave trains in the Lombok Strait: Impact of the Indonesian Throughflow. J. Geophys. Res., **116**, C03023, doi:10.1029/2010JC006589.

相木秀則，吉岡真由美，加藤雅也，森本昭彦，篠田太郎，坪木和久，2015：大気海洋波浪結合モデルの開発と台風実験への応用．沿岸海洋研究，**52**，139-148.

Kanada, S., T. Takemi, M. Kato, S. Yamasaki, H. Fudeyasu, K. Tsuboki, O. Arakawa and I. Takayabu,

2017a: A multimodel intercomparison of an intense typhoon in future, warmer climates by four 5-km-mesh models. J. Climate, **24**, 6017–6036.

Kanada, S., K. Tsuboki, H. Aiki, S. Tsujino and I. Takayabu, 2017b: Future enhancement of heavy rainfall events associated with a typhoon in the mid-latitude regions. SOLA, **13**, 246–251.

Tsuboki, K. and A. Sakakibara, 2002: Large-scale parallel computing of Cloud Resolving Storm Simulator. High Performance Computing (H. P. Zima *et al*. ed.), Springer, New York, 243–259.

山崎聖太，筆保弘徳，加藤雅也，竹見哲也，清原康友，2017：台風による強風ハザードの評価：台風ノモグラムの開発．日本風工学会論文集，**42**，121–133.

Yokoi, S. and Y. N. Takayabu, 2013: Attribution of decadal variability in tropical cyclone passage frequency over the western North Pacific: A new approach emphasizing the genesis location of cyclones. J. Climate, **26**, 973–987.

Yokoi, S., Y. N. Takayabu and H. Murakami, 2013: Attribution of projected future changes in tropical cyclone passage frequency over the western North Pacific. J. Climate, **26**, 4096–4111.