

衛星画像による台風の眼の時空間解析

理学専攻・情報科学コース 2040666 鳥山 菜海子

1 はじめに

台風の眼は台風の中心付近で風が弱く雲が少ない部分を指す。特に、台風の眼がどのようなメカニズムで決定されるのかは大きな謎であり、台風の眼を解析することは、台風の物理的な構造の理解を深め、ひいては台風の進路や強度の予測の信頼性を向上させることにつながる。

台風の眼の大きさを統計的に精査した先行研究である Bell (1974)[1] には、台風の眼の地理分布や、緯度依存性についての考察がなされている。しかし、Bell (1974)[1] は衛星観測以前のデータにも続く研究であり、データの質の信頼度が限定的である。一方、現代では高解像度の衛星観測によって、台風の眼の大きさを衛星画像から精度良く見積もることができる。

そこで本研究では、まず現代的なデータで Bell (1974)[1] を再訪する。その結果は Bell (1974)[1] の結論が正しいことが現代的データでも示されるか、異なる結論が得られるかのいずれかであるが、それはどちらにせよ有用であり、より発展的な解析にむけた基礎的な知見となることが期待される。その後、本データを用いて台風の眼の直径を決定する要因を分析し、分析結果をもとにシミュレーションを行い、台風の眼の大きさの決定要因を統計的解析と物理モデルの両方からアプローチを行う。

2 データセットの作成

本研究では、衛星画像から台風の眼のデータセットを作成した。手法については以下ようになる。

1. 国立情報学研究所（北本朝展准教授）の Web サイト「デジタル台風」[2] にアクセスする。
2. サイトのソースファイルを読み込み、各時刻における当該台風の緯度・経度・中心気圧・風速の情報をパースし、最低気圧が実現された日時の衛星画像をダウンロードする (図 1)。
3. 当該台風画像において閾値を定め、画像を二値化する。本手法では RGB 値の R170 を閾値にし、二値化を行う。
4. 眼の直径を計算するアルゴリズムを用いて台風の有効直径を計算する。
5. 台風の眼の有効直径を、日時・緯度・経度・中心気圧・風速とともに保存する。

この手法により 1981 年から 2020 年の 40 年間で計 352 個の台風の眼についてのデータが得られた。

3 解析結果

先述で作成したデータを用いて、台風の眼の大きさと緯度の関係 (図 2) を作成した。

台風の眼の大きさと緯度の関係に関しては多少のばらつきがあるものの、どの緯度についても台風の眼の大きさが 40 km 程度である。一方緯度が上がるにつれ、

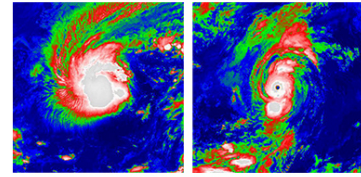


図 1: 最低気圧が実現された日時の台風画像の例。左: 台風の眼が検出されない場合の画像。右: 台風の眼が検出される場合の画像。

わずかながら眼が大きくなる傾向もあり、これは Bell (1974)[1] と整合する。

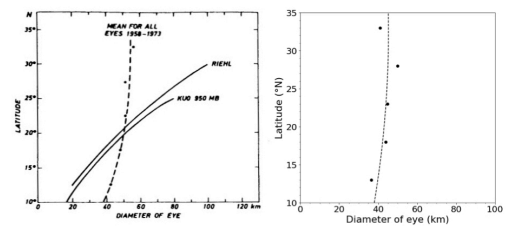


図 2: 緯度と台風の眼の大きさの関係 左: Bell (1974)[1] の緯度と台風の眼の大きさの関係。右: 台風の眼の大きさと緯度の関係。

時系列でみた台風の眼の大きさに関しては、年によって上下に振れているが、近年になるほど平均的に眼が大きくなる傾向がある。年と台風眼の大きさのトレンド計算をしたところ、213 m/年であった。これは t 検定で信頼度 95%の結果となった。

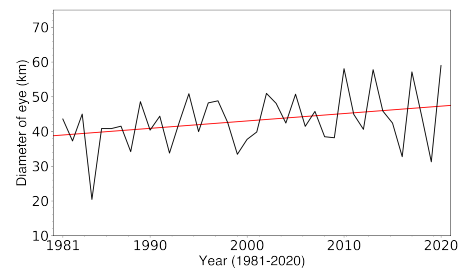


図 3: 台風の眼の大きさの年平均時系列

次に、このトレンドを説明できるようなパラメータを探すために、緯度と海面水温を用いて、台風の眼と年についてのトレンド計算を行った。緯度を用いてトレンド計算したところ、18.69 m/年であった。同様に海面水温を使ったトレンド計算では 24.03 m/年であった。この値は、213 m/年よりも十分に小さい値であることから、緯度と海面水温、二つのパラメータだけではどちらも十分にトレンドを説明できないことが判明した。

次に、最小気圧が実現された日時の衛星画像から直近 10 年と最も古い画像の年から 10 年までの画像の平

均をとり、和をとったもの(図4左)と、同様に5年までの年の画像(図4右)を作成した。このとき、古い年の平均画像を緑と黒に、新しい年の平均を赤と黒にそれぞれ二値化を行い、和をとった。黄は共通して雲が存在する箇所である。黒はどちらも雲が存在しなかった箇所である。

1980-1989年と2011-2020年の和の画像(10年平均画像と呼ぶ)と1980-1985年と2015-2020年の和の画像(5年平均画像と呼ぶ)ではどちらも、画像中心付近の台風の眼に注眼すると、黄色の円の内側に緑の画素があることがわかる。これは緑の画素が古い年の平均台風であり、黄の画素が2つの台風が重なっている画素であることから、台風の眼が大きくなったことを意味する。また、同様のことが台風の外周についても言え、台風自体の大きさが小さくなっていることも示唆する。これらの結果から台風を構成する雲の面積が縮小傾向にあることがわかる。

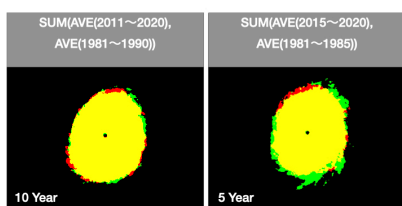


図4: 平均画像の解析 左: 1981-1990年と2011-2020年の眼の画像の平均をとり、和をとったもの。右: 左と同様。期間が1981-1985年と2016-2020年のもの。

4 シミュレーション

本研究では理化学研究所のSCALE-5.3.6[3]をシミュレーションツールとして用いた。本実験に用いた台風は2014年10月9日頃の台風19号を利用し、シミュレーションの領域については、北緯21度、東経129度を中心にシミュレーションを行なった。

4.1 ネスティング実験

台風の眼の変化を理解しやすくするため、ネスティング実験を行なった。ネスティングとは、親領域のシミュレーション結果を引き継ぎ、子領域でより細かく表現できるようにする手法である。本実験には親領域、子領域、子領域ネスティングした孫領域を用いた。ネスティングには、2014年10月9日の18時から12時間シミュレーションを行なった。

用意した親領域は、1つの格子の大きさは20kmで、北緯21度、東経129度を中心に緯度方向に3000km、経度方向が2800kmの領域を用意して実験を行なった。同様に1つの格子の大きさが4kmの子領域、2kmの孫領域を作成した。

4.2 寒冷化・温暖化実験

次に、先述のネスティング実験と合わせ、寒冷化・温暖化実験を行った。寒冷化・温暖化はシミュレーションの際に与える海面水温の情報に対して、4K下げたもの、上げたものを用意した。左の図が4K寒冷化させたもの、中央が現在の海面水温でシミュレーションしたもの、右の図が4K温暖化させたものがある。図5の上の3つが親領域でシミュレーションしたもの、下

の3つがネスティングして孫領域でシミュレーションしたものとなる。

図5の親領域を見ると、温度が低い方が台風全体の大きさが小さくなり、温度が高いと台風全体の大きが大きくなるように見える。孫領域の方をみると、温度が上がるほど、台風の眼が大きくなる。しかし、この結果は同時刻でのシミュレーションであり、今後最低気圧同士での比較のシミュレーションを行っていきたい。

5 まとめと今後の課題

本研究では、高解像度衛星画像を情報科学的手法で自動解析し、高精度な「台風の眼の直径」のデータを大量収集するアルゴリズムを開発した。その後、気象条件と台風の眼の大きさの影響を解析し、ネスティング実験によるシミュレーションと寒冷化・温暖化のシミュレーションを行なった。

今後はこの解析結果から台風の眼の大きさを決定する要因を引き続き精査するとともに、輝度温度による眼の大きさの変化の実験、コリオリ力によるシミュレーションによる物理メカニズムの検証を進め、統計的手法と数値計算の両方から検証をする予定である。

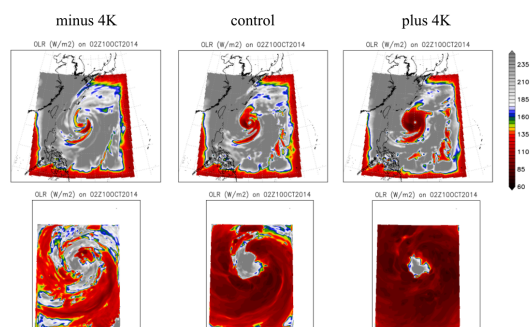


図5: 寒冷化・温暖化実験 現在の海面水温(中)からマイナス4K(左)、プラス4K(右)し、長波放射を可視化したもの。上段が親領域、下段が孫領域でシミュレーションしたものとなる。

参考文献

- [1] Bell, G. J, Observations on the size of the typhoon eye, *WMO Tech. Conf. on Typhoon Modification*, **408**, 14-18, 1974
- [2] 北本朝展 (2019), デジタル台風: 台風ビッグデータを対象とした状況認識のための検索技術, 情報の科学と技術, **69(5)**, 194-199.
- [3] Nishizawa, S., et al. "Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations." *Geoscientific Model Development* 8.10 (2015): 3393-3419.
- [4] NCEP, FNL. "operational model global tropospheric analyses, continuing from July 1999." Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory 10 (2000): D6M043C6.