

台風之眼のサイズに関する衛星画像の解析

鳥山 菜海子 (指導教員：神山 翼)

1 はじめに

我が国の防災を考える上で、台風は大きな課題の一つである。こうした被害を減らすために台風の予報は我々の生活にとって必要不可欠である。台風の予報には「進路予報」と「強度予報」が存在している。台風の「進路予報」は、年々精度が向上しており、信頼性の高い予報が得られる。しかし、「強度予報」は台風の微細構造に敏感であり、未だに予報が外れることもある。「強度予報」が難しい理由の一つに、進路予報では低解像度のモデルでも予報スキルがあるのに対し、強度予報では高解像度のモデルが要求されることである。例えば、ハリケーン Katrina の強度予測は、解像度を約 1 km 程度まで細かくする必要があることが報告された [2]。この結果は、強度の時間変化が台風之眼などの微細構造に敏感であることを意味する。台風之眼の微細構造として中心的役割を果たす「台風之眼」を決定する物理メカニズムについては、予測向上のために理解すべきだけでなく、自然界の謎を解き明かす基礎研究としても本質的問題である。

そこで本研究では、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「台風之眼の直径」のデータを大量収集するアルゴリズムを開発した。次に本データを用いて台風之眼の直径を決定する要因を分析した。

2 関連研究

台風之眼のサイズを統計的に精査した先行研究である Bell(1974)[3] には、台風之眼の地理分布や、緯度依存性についての考察がなされている。しかし、Bell(1974)[3] 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、台風之眼のサイズ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)[3] を再訪する。その結果は Bell(1974)[3] 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。

数値計算を含む理論的アプローチによって台風之眼の物理を理解する研究は古くから提案されている。例えば [4] では、台風之眼の大きさによって下降流の様子が変化する数理モデルが詳細に調べられている。しかし、台風之眼に関する理論の検証は、近年まで高解像度の眼の観測データが存在しなかった事情から、その多くが事例研究にとどまり、観測データの統計解析によって確認される段階には至っていない。本課題では、事例解析だけでなく統計解析によって台風之眼の物理に関する先行研究の理論を検証するための基盤を創ることを目標として掲げている。

3 データセットの作成

台風之眼のデータセットは以下の手法で作成した。

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 (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>)」 [1] 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台風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 値の最大値から半分の値を閾値にし、二値化を行った。
4. 画像の中心に積乱雲が存在しない画素が存在した場合「眼を検出した」と判定し、積乱雲が存在しない画素を再帰的に探していく。
5. 積乱雲が存在しない画素を全て調べ終わったら、それまでに調査した積乱雲が存在しない画素の合計画素数を「眼の画素数」とする。
6. 上で得られた眼の画素数を面積に変換し、台風之眼の有効直径を計算する。
7. 台風之眼の有効直径を、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 1979 年から 2019 年の間で計 354 個の台風之眼についてのデータが得られた。

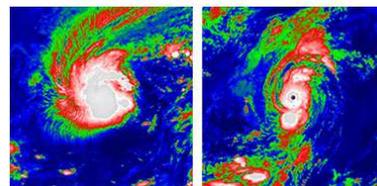


図 1: 最低気圧が実現された日時の台風画像の例。左: 台風之眼が検出されない場合の画像。右: 台風之眼が検出される場合の画像。(Web サイト「デジタル台風」では画像の中心に台風之眼を合わせた台風画像が提供されている。)

4 解析結果と考察

作成したデータを用いて、台風之眼の大きさと緯度との関係 (図 2 左) と台風之眼の大きさの年平均時系列 (図 2 右) を作成した。

台風之眼の大きさと緯度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之眼の大きさが 40km 程度である。一方緯度が上がるにつれ、わずかながら眼が大きくなる傾向もあり、これは Bell(1974)[3] と整合する。

時系列でみた台風之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、 $0.1972[\text{km}/\text{年}]$ であった。

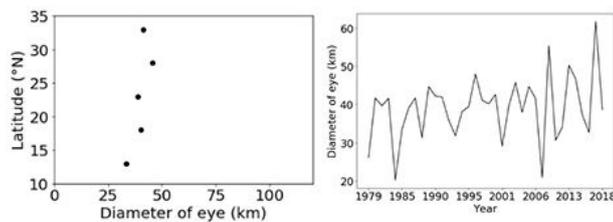


図 2: 解析結果 左: 台風眼の大きさと緯度の関係。右: 台風眼の大きさの年平均時系列。1979 年から 2019 年までのデータを緯度、年毎にソートし平均することで求めたもの。

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、 $0.02024[\text{km}/\text{年}]$ であった。また同様に海面水温を使ったトレンド計算では $0.02960[\text{km}/\text{年}]$ であった。この値は $0.1972[\text{km}/\text{年}]$ 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わかった。

台風眼と海面水温の関係については、図 3 をみると、温度が上がると台風眼の大きさが大きくなるように平均的に見える。ここでの回帰係数は 0.1353 である。しかし、この散布図の海面水温と台風眼の大きさについての相関係数は 0.2048 であり、海面水温は台風眼の大きさの決定要因にそれほど関わらないことがわかった。

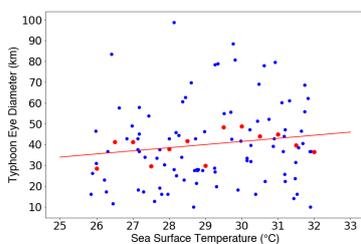


図 3: 台風眼と海面水温の関係 赤い点は海面水温が 0.5 度の範囲での台風眼の平均をとったもの。ただしデータ数が 2 以下のデータは除外している。

また、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 3 左)と、同様に 5 年までの年の画像(図 3 右)を作成した。このとき、古い年の平均画像を緑と黒に、新しい年の平赤と黒にそれぞれ二値化を行い、和をとった。緑は古い年の平均台風眼の積乱雲が存在する箇所であり、赤は同様に直近の平均台風眼の積乱雲が存在する箇所である。黄は二値化した際に RGB 値の赤と緑が合わさったものであり、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 2010-2019 年の和の画像(10 年平均の画像と呼ぶ)と 1980-1985 年と 2014-2019 年の和の画像(5 年平均の画像と呼ぶ)と比較すると、黄の画素の面積が縮小している。また、画像中心付近の台風眼に注目すると、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眼であり、黄の画素が 2 つの台風眼が重なっている画素であることから、直近の台風眼の大きさが小さくなり、台風眼が大きくなったことを意味する。

これらの現象については物理的メカニズムからも説明できると考えており、今後シミュレーションを進めていく予定である。

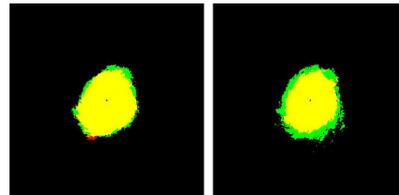


図 4: 解析結果 左: 1980-1989 年と 2010-2019 年、10 年間の台風の平均をとり、平均同士の和をとったもの。右: 左と同様。ただし、1980-1985 年と 2014-2019 年の 5 年間のもの。

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のち、気象条件と台風眼の大きさの影響を解析した。

今後はこの解析結果から台風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、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。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Sun, Jingru, and Lie-Yauw Oey. *The Influence of the Ocean on Typhoon Nuri (2008)*, Monthly Weather Review **143**, 11, 4493-4513, 2015
- [3] Bell, G. J, Observations on the size of the typhoon eye, *WMO Tech. Conf. on Typhoon Modification*, **408**, 14-18, 1974
- [4] Schubert, W., et al., On the distribution of subsidence in the hurricane eye, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **133**, 595-605, 2007