

世界で初めて『スーパー爆弾低気圧』の発達要因を解明 ～天気予報の改善や温暖化に伴う爆弾低気圧の変化の理解向上に～

立正大学地球環境科学部・平田 英隆助 教は、九州大学理学研究院・川村 隆一 教授、海洋研究開発機構アプリケーションラボ・野中 正見 主任研究員、名古屋大学宇宙地球環境研究所・坪木 和久 教授らとの共同研究の結果、2018年に北米に災害をもたらした「スーパー爆弾低気圧」（近年稀にみる急発達をした温帯低気圧）の発達要因を世界で初めて解き明かしました。本研究から得られた知見は、今後、天気予報の改善や温暖化に伴う爆弾低気圧^{注1)}の変化の理解向上に貢献することが期待されます。本研究成果は、6月17日に米国の学術誌「Geophysical Research Letters」にオンライン掲載されました。

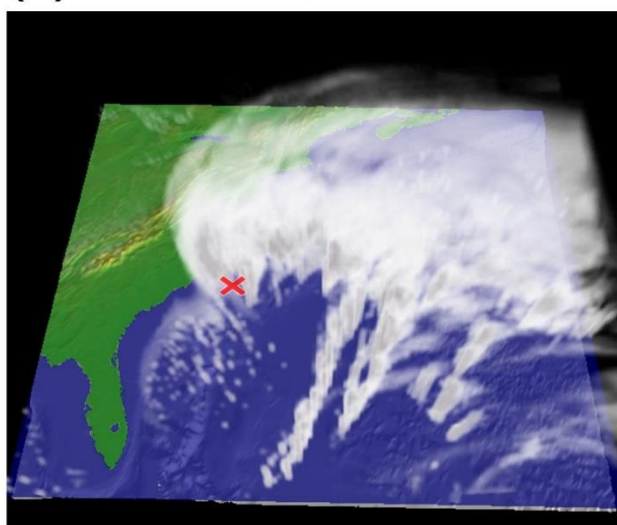
◆研究の背景と概要

今回の共同研究のきっかけとして、2018年1月4日にアメリカの東方海上で発生した「スーパー爆弾低気圧」による甚大な被害が挙げられます。この「スーパー爆弾低気圧」は、従来の低気圧発達理論では説明できないほどの急発達を遂げた低気圧で、アメリカ東岸に接近し、暴風や大雪をもたらしました。その結果、死者20人超の人的被害や約11億ドルの経済的損失が生じました。

このような現象について理解することは、学術的な意義のみならず、防災・減災の観点からも重要です。しかし、低気圧が急発達した海上は陸上よりも観測数が少なく、観測データだけで低気圧発達過程の全容を紐解くことは容易ではありません。そこで本研究チームは、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ^{注2)}」上で雲の詳細を再現できる数値モデルを用いて、海洋上で発達する低気圧の詳細な構造をシミュレーションし（図 1）、その結果を分析することで「スーパー爆弾低気圧」の急発達メカニズムの解明に取り組みました。

◆研究結果

(a) 雲の三次元構造



(b) 地上降水の分布

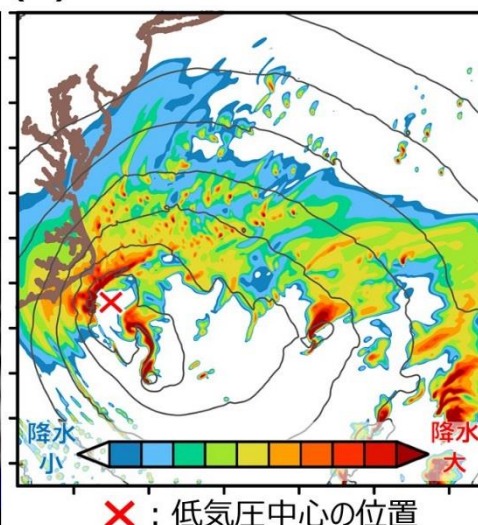


図 1. 高解像度の数値シミュレーションで再現された「スーパー爆弾低気圧」に伴う雲の三次元構造と地上における降水と気圧の分布。時刻は低気圧が最も急発達した時刻（協定世界時 2018 年 1 月 4 日 6 時）。

シミュレーション結果は、低気圧が急発達した際に、低気圧中心付近で降水が局所的に強まる様子を示しました（図 1b）。これは、降水の源である水蒸気が多量に凝結したことを意味します。分析の結果から、凝結に伴って生じた熱（凝結熱）によって引き起こされた気圧低下が、「スーパー爆弾低気圧」の発達を加速させたことがわかりました。

さらに、降水が局所的に強まった要因を探ったところ、アメリカ東岸の沖合を流れる暖流・メキシコ湾流から放出された熱と水蒸気が、その主要因であることを発見しました。これらの結果から、メキシコ湾流からの熱・水蒸気供給が、低気圧中心付近の凝結熱の生成を促すことで「スーパー爆弾低気圧」の急発達を導いたと結論付けました。

～研究者からのコメント～

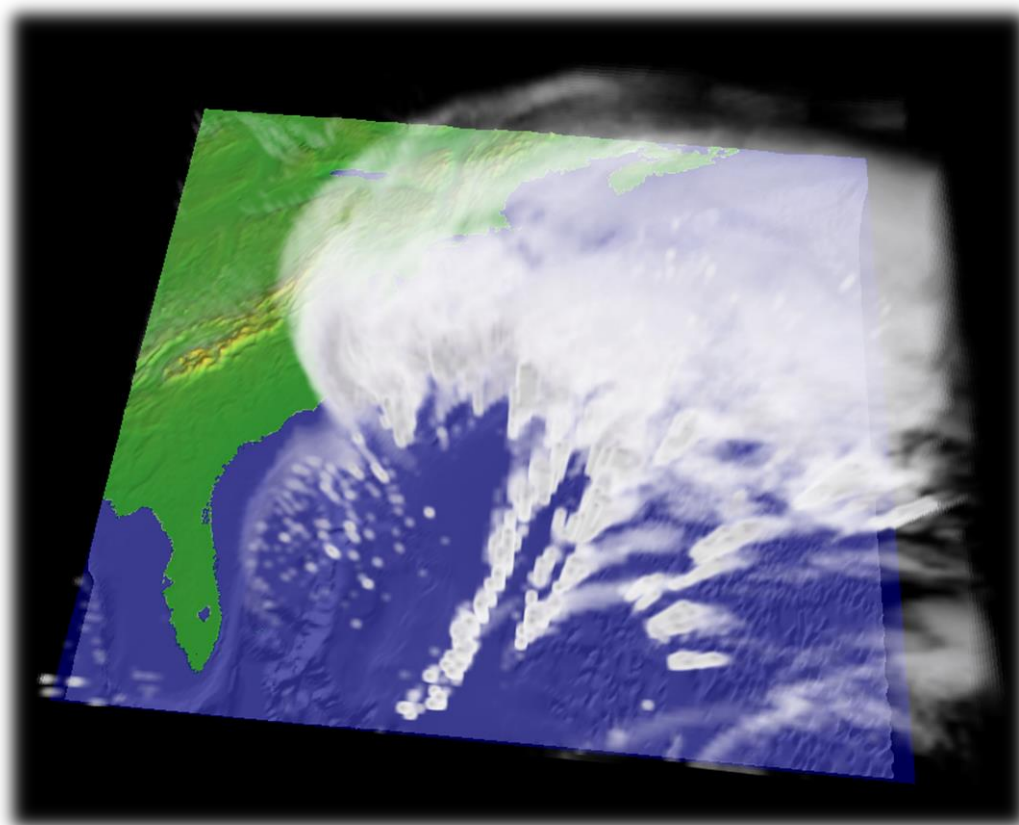
本研究の結果は、数値シミュレーションで爆弾低気圧を精度良く再現するには、低気圧中心近傍の降水の細かな構造や海からの熱・水蒸気供給を適切にシミュレートする必要がある

ることを示しています。今後、本研究から得られた知見は、天気予報の改善や地球温暖化が爆弾低気圧へ与える影響の理解向上に活用されることが期待されます。また、黒潮が流れる日本周辺でも、アメリカの東方海上と同様に爆弾低気圧が発生することから、日本付近の爆弾低気圧を理解する上でも有用な情報になると考えています。

◆今後の展望

今回の研究を通じて、局所的な降水の強化に伴って生じる凝結熱が「スーパー爆弾低気圧」の急発達に大きく寄与したことを示しました。本研究が目にしたスケールの小さな凝結熱の効果は従来の低気圧発達理論には十分に考慮されておらず、未だに不明な点が多いです。今後、爆弾低気圧研究を進展させるためには、低気圧に伴う降水や凝結熱の細かな構造に対する理解をさらに深めていく必要があると考えています。本研究グループは、今後も高解像度の数値シミュレーションや利用可能な観測データを最大限活用し、爆弾低気圧の細かな構造や発達過程に関する研究をさらに推し進めていきます。

【研究内容の詳細】



【概要】

研究グループは、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」上で雲解像モデル「Cloud Resolving Storm Simulator : CReSS^{注3)}」を用いて低気圧の詳細な構造を再現し、その結果を

分析することで、低気圧中心付近で局所的に降水が強まる際に生じる凝結熱が低気圧発達の一因であり、メキシコ湾流からの熱・水蒸気供給がその降水の強まりの原因であることを発見しました。

【背景と研究内容】

2018年1月4日に、アメリカの東方海上で「スーパー爆弾低気圧」（従来の低気圧発達理論では説明できないほどの近年稀に見る急発達を遂げた温帯低気圧）が発生しました。この低気圧はアメリカ東岸に接近し、暴風や大雪をもたらしました。その結果、死者20人超の人的被害や約11億ドルの経済的損失が生じました。このような顕著現象について適切に理解することは、学術的な意義のみならず、防災・減災の観点からも重要です。そこで本研究グループは、「スーパー爆弾低気圧」の急発達メカニズムの解明に着手しました。

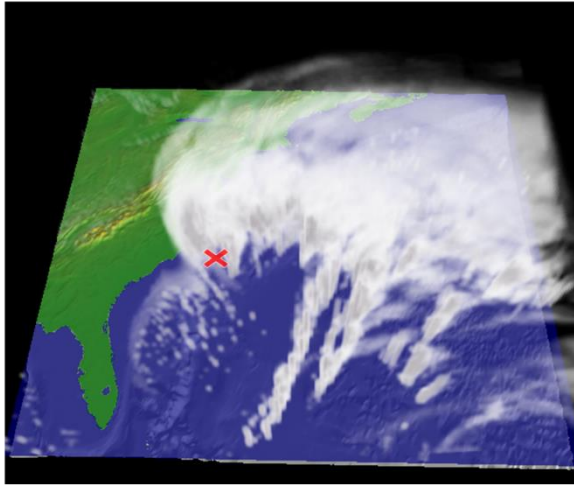
しかしながら、低気圧が急発達した海上は陸上と比べて観測数が少なく、観測データだけでは低気圧発達過程の全容を紐解くことは容易ではありません。そこで、海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」上で名古屋大学宇宙地球環境研究所が開発した雲解像モデル「CReSS」を用いて、海洋上で発達する低気圧の詳細な構造を再現する高解像度の数値シミュレーションを実施しました。

【成果】

数値シミュレーションでは、現実と良く似た低気圧に伴う雲構造を再現しました（図1a）。低気圧の発達や降水分布についても精度良くシミュレートされていることを確認しました。

降水分布に注目すると（図1b）、低気圧中心付近で局所的に降水が強まっている様子がわかります。これは低気圧中心付近で、降水の源である水蒸気が多量に凝結していることを意味します。水蒸気が凝結する際には、凝結熱が生じるため大気が加熱されます。大気の加熱には、低気圧中心気圧を低下させ、低気圧発達を促す効果があります。分析の結果、低気圧中心付近で局所的に降水が強まる際に生じた、多量の凝結熱が「スーパー爆弾低気圧」の急発達を促進したことが明らかになりました。

(a) 雲の三次元構造



(b) 地上降水の分布

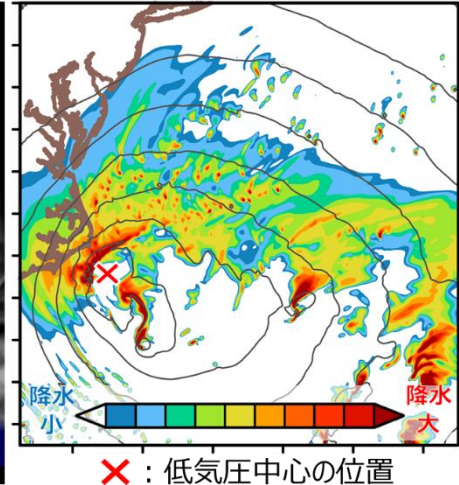
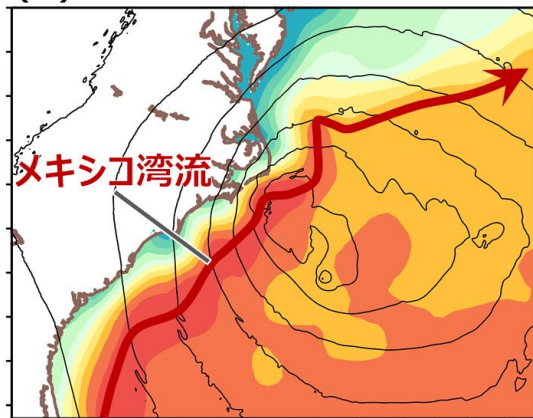


図1. 高解像度の数値シミュレーションで再現された「スーパー爆弾低気圧」に伴う雲の三次元構造と地上における降水と気圧の分布。時刻は低気圧が最も急発達した時刻（協定世界時 2018 年 1 月 4 日 6 時）。

では、この局所的な降水の強まりの原因は为什么呢？調査の結果、アメリカ東岸の沖合を流れる世界最大規模の暖流であるメキシコ湾流が重要な働きをしていることを発見しました。メキシコ湾流は、熱帯から暖かい海水を中緯度へ運びます（図 2a）。低気圧が急達したときには、低気圧中心付近において湾流から大気へ熱と水蒸気の供給が非常に強まりました（図 2b）。解析結果から、このメキシコ湾流からの活発な熱・水蒸気供給が、低気圧中心付近に降水が強まりやすい環境を作り出すことがわかりました。これらの結果から、メキシコ湾流からの熱・水蒸気供給が、低気圧中心付近の凝結熱の生成を促すことで「スーパー爆弾低気圧」の急発達を導いたと結論付けました。

(a) 海面水温の分布



(b) 海からの熱・水蒸気供給

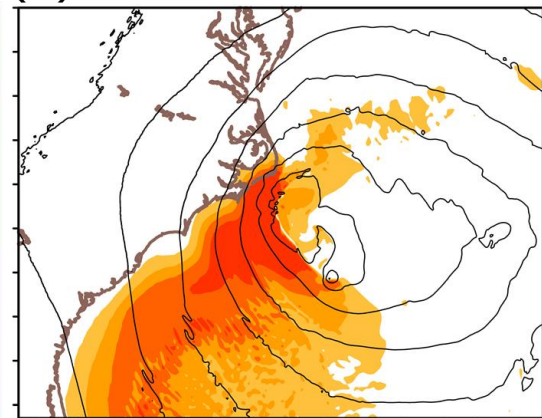


図2. 低気圧が最も急発達した時刻（協定世界時 2018 年 1 月 4 日 6 時）の海面水温と海から大気への熱・水蒸気供給量の分布。地上における気圧も示している。

本研究の結果は、数値シミュレーションで爆弾低気圧を精度良く再現するには、低気圧中心近傍の降水の細かな構造や海からの熱・水蒸気供給を適切にシミュレートする必要があることを示しています。今後、本研究から得られた知見は、天気予報の改善や地球温暖化が爆弾低気圧へ与える影響の理解向上に活用されることが期待されます。また、黒潮が流れる日本周辺でも、アメリカの東方海上と同様に爆弾低気圧が発生することから、日本付近の爆弾低気圧を理解する上でも有用な情報となります。

【今後の展望】

今回の研究を通じて、局所的な降水の強化に伴って生じる凝結熱が「スーパー爆弾低気圧」の急発達に大きく寄与したことを示しました。本研究が注目したスケールの小さな凝結熱の効果は従来の低気圧発達理論には十分に考慮されておらず、未だに不明な点が多いです。今後、爆弾低気圧研究を進展させるためには、低気圧に伴う降水や凝結熱の細かな構造に対する理解をさらに深めていく必要があると考えています。本研究グループは、今後も高解像度の数値シミュレーションや利用可能な観測データを最大限活用し、爆弾低気圧の細かな構造や発達過程に関する研究をさらに推し進めていきます。

【用語説明】

- 注1) **爆弾低気圧**：急発達する温帯低気圧の呼称（気象学界では慣例的に使用されている）。非常に急激に発達した事例は、海外ではしばしば「スーパー爆弾低気圧」と呼ばれる。
- 注2) **地球シミュレータ**：海洋研究開発機構が運用するスーパーコンピュータ。海洋地球科学分野をはじめ様々な研究分野で利用されている。
- 注3) **雲解像モデル Cloud Resolving Storm Simulator (CReSS)**：名古屋大学宇宙地球環境研究所が開発を進めている大気現象のシミュレートプログラム。水蒸気から雲・降水が形成される間の複雑な雲物理過程を計算し、個々の積乱雲の時間発展を表現する。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業特別研究員奨励費 JP17J04041、基盤研究(A) JP16H01846 の助成を受けたものです。

【論文情報】

雑誌名：Geophysical Research Letters

論文タイトル：Significant impact of heat supply from the Gulf Stream on a “super bomb” cyclone in January 2018

著者：Hidetaka Hirata, Ryuichi Kawamura, Masami Nonaka, and Kazuhisa Tsuboki

DOI：[10.1029/2019GL082995](https://doi.org/10.1029/2019GL082995)