

# 最盛期以降の台風に海面水温が与える影響について

島田有吾

## はじめに

私は小さいころから台風というものに興味を持っていた。2020年に九州に接近した台風は、発達度合いが予測と大きく異なり、世間でも大きな話題となった中、当時の私ももっと台風の予測精度を上げられないのだろうかと思っていた。また、セミナーで台風の専門家の講義を聞いて、台風の研究というものに興味がわいてきた。そのころから、台風についてよく調べるようになった。先行研究を見ていると、台風の発生・発達には防災の観点で非常に重要で研究がよくなされていたが、最盛期以降はあまり世間で注目されることがなかった。しかし、台風最盛期以降に被害が出ることも多く、予測は必要である。そこで、私がこの研究を通して予測精度を上げたいと思い、今回の研究に至った。

## 理論上の台風構造変化

台風には、発生から衰弱までの定まったライフサイクルがあり、次第に台風の構造は変化していく。その変化の流れには特徴があり、まわりの環境との関係性もある。

### 1 台風の一生

台風には、発生期・発達期・最盛期・衰弱期がある。一つ一つの段階によって、構造が大きく変わる。下の図のように構造が変わる。

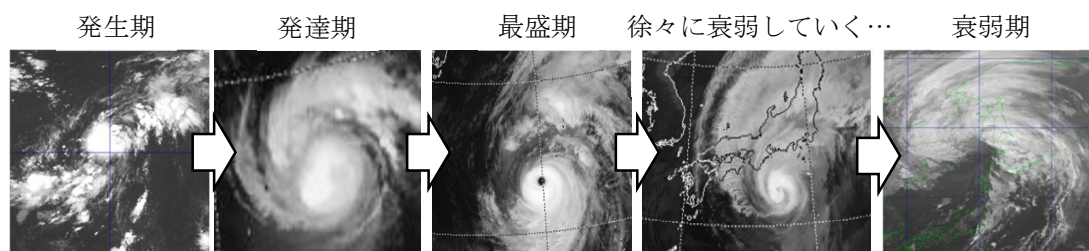


図1 台風ライフサイクルの気象衛星赤外画像（衛星画像は気象庁より引用）

台風のエネルギー源は、水の状態変化によって放出される潜熱である。そのため、海面水温が高く潜熱が豊富な南の海上で台風は発生する。台風は地球の自転の影響で北上する。中緯度域へ入ると、海面水温が低下し、台風のエネルギー源である潜熱が足りなくなるため、日本に接近するころには、衰弱傾向のことが多い。次第に熱帯低気圧の構造が崩れ始め、構造変化していく。

### 2 台風の構造変化

台風は、熱帯性の低気圧であり、おもに熱帯で発達する。一方、一年中天気図でみられる温帯低気圧は、温帯性の低気圧であり、おもに温帯で発達する。そのため、台風が温帯域に入ると、熱帯性の低気圧としての構造が崩れ、次第に温帯性の低気圧の構造に変化することがある。このように、台風の構造は次第に変化することがある。

## 2-1 熱帯低気圧と温帯低気圧

日本に影響を与える低気圧はおもに熱帯低気圧と温帯低気圧に分けられる。

熱帯低気圧は、熱帯性の低気圧であり、熱帯で発達する。台風と構造は同じで、最大風速が 17.2m/s を超えると台風と呼ばれる。エネルギー源は潜熱である。

温帯低気圧は、一年中日本に影響を与える一般的な低気圧である。台風とは構造が大きく異なる。エネルギー源は位置エネルギーで、前線を伴うことが多い。

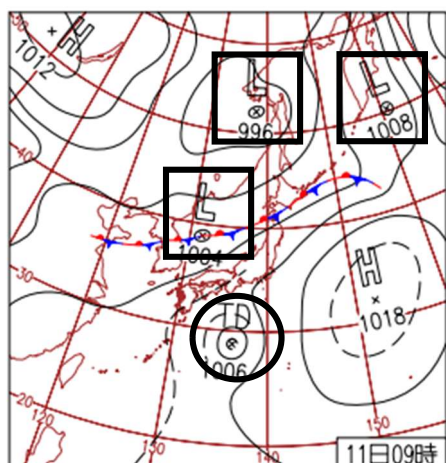


図2で○が熱帯低気圧、□が温帯低気圧を表している。温帯低気圧には、前線がついているものもある。また、熱帯側（南側）に熱帯低気圧、温帯側（北側）に温帯低気圧が多くみられる。なお、この天気図は8月の天気図であり、日本周辺の海面水温が比較的高いため日本付近に熱帯低気圧が存在するが、海面水温が低い秋後半から春にかけては、日本周辺の天気図上に熱帯低気圧が表れることはめったにない。

図2 2022年8月11日の地上天気図（天気図は気象庁より引用し、○と□を加筆）

## 2-2 熱帯低気圧化と温帯低気圧化

台風は南の海上で発生し、発達しながら北上し、最盛期を迎え、やがて衰弱期に入る。台風は衰弱すると、熱帯低気圧化か温帯低気圧化をする。

熱帯低気圧化は、構造は台風のままで、最大風速が 17.2m/s を下回った場合である。単に台風が衰えて呼び名が変わったといえる。

温帯低気圧化は、最大風速は関係なく、台風の構造が温帯低気圧の構造に変化した場合である。台風中心まで前線が伸びた場合、台風中心の暖気核が消滅した場合など、明らかに台風の構造がなくなったときに温帯低気圧化したと判断する。

# 実況台風の構造変化

実際に発生した台風のデータを使って、実際の台風の構造変化の関係性を調査する。調査には気象庁の台風の詳細データを使用している。

## 3 台風構造変化の位置・海面水温・種類の関係性

構造変化が起こった位置とその位置の海面水温、温帯低気圧化したか熱帯低気圧化した

かの関係性を、2020年に発生した台風23個のデータに基づいて考察していく。

### 3-1 位置と種類の関係性

熱帯低気圧化・温帯低気圧化した位置や時刻は、気象庁が明確に定めていて、記録されている。そのデータに基づいて、台風が構造変化した位置を白地図にプロットし、変化した種類で色分けし、図3にまとめた。

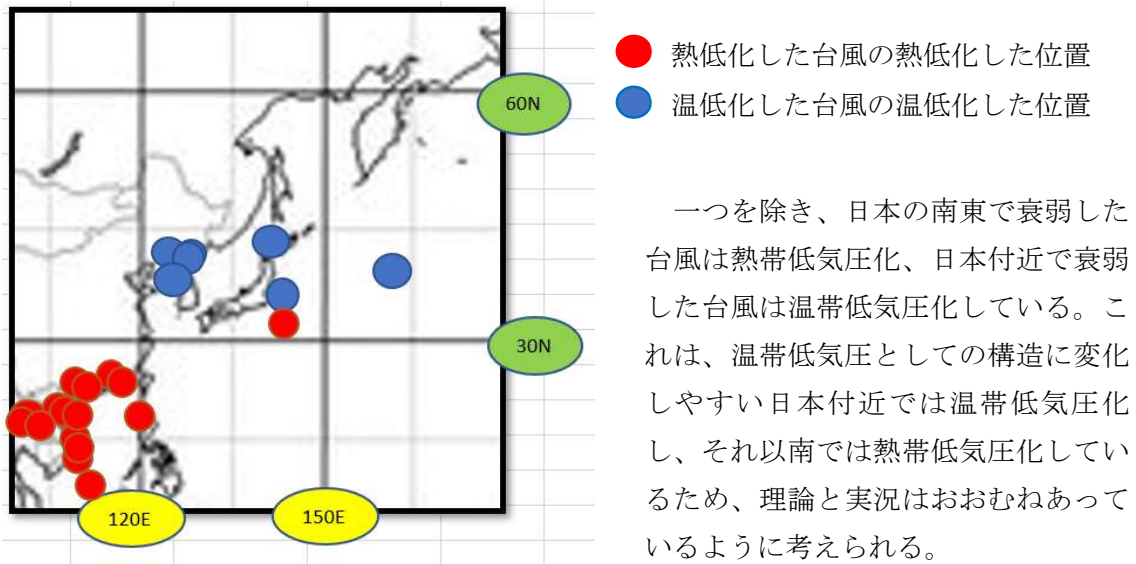


図3 熱低化・温低化した位置と種類の関係性

しかし、一つだけ日本付近で熱帯低気圧化しているものがある。2020年10月12日に熱帯低気圧化した台風14号である。これについて詳しく考察してみる。

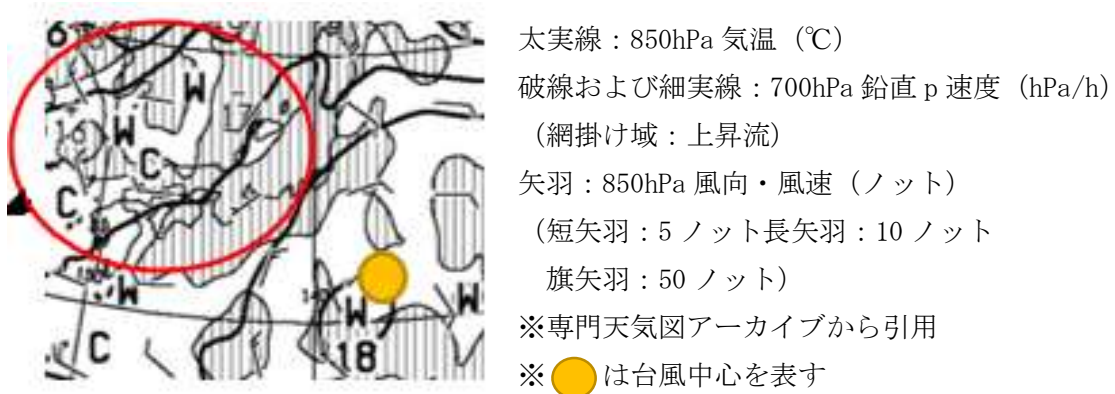


図4 2020年10月12日午前9時850hPa気温・風700hPa鉛直流解析図

図4の赤丸で囲まれた部分には、弱い寒気移流がみられる。台風は暖気核構造であり、下層に寒気移流が入ると暖気核構造が崩れて急速に衰弱する。そのため、日本付近に北上する際、温帯低気圧化が完了する前に急速に衰弱し、最大風速が17.2m/sを下回り、熱帯低気圧化したと考えた。

つまり、台風が温低化・熱低化する緯度が高いほど温帯低気圧化しやすいが、台風14号のように、緯度が高くても衰弱のスピードが速い場合、熱帯低気圧化することがある。

### 3-2 海面水温と種類の関係性

台風が温低化・熱低化した位置のその時刻の海面水温を種類ごとにまとめ平均した。そのデータが表 1 である。なお、陸上で変化した台風の温度は計算に含んでいない。

表 1 種類ごとの平均海面水温

| 熱低化した台風の平均海面水温 (°C) | 温低化した台風の平均海面水温 (°C) |
|---------------------|---------------------|
| 27.4                | 23.25               |

表 1 より熱低化した台風の平均海面水温は、温低化した台風の平均海面水温より 4 度以上高いことが読み取れる。海面水温が低いと、それだけ温帯低気圧の構造へ変化するスピードが速いが、台風発生を目安となる 26.5°C を下回っても、温帯低気圧の構造に完全に変わるのには時間を要することも分かる。

一方熱低化した台風の平均海面水温は、台風発生を目安となる温度より高い。これは、熱帯低気圧化した場所が陸上に近い台風がほとんどだということが理由に挙げられる。図 3 を見ると、大陸や大きな島のすぐ近くの海上で衰弱している台風が多い。台風のエネルギー源は潜熱であり、陸に近いほど潜熱は少なくなるため、エネルギー源が不足して衰弱したと考えられる。また、陸の摩擦も衰弱に関与したとも推定できる。

## 4 構造変化と再発達

再発達とは、中心気圧が上昇傾向だった後に下降傾向に変わることをいう。台風が再発達するケースは少なくない。実際に再発達した台風の割合を調べたものが図 5 である。調べると、3 時間ごとのデータで 4 hPa 以上気圧が上昇した後 4 hPa 以上気圧が低下した場合を再発達したとみなした時、2021 年に発生した台風 22 個のうち、4 割以上である 9 個の台風は再発達したとわかった。さらに、そのうち 2 個の台風は、別の時間帯に 2 回も再発達した。また、再発達した 9 個の台風の中で 8 割近い台風が温帯低気圧化していた。なお、すべての台風 22 個のうち温帯低気圧化したのは 14 個である。

再発達した原因はいろいろ考えられるが、そのなかに、「温帯低気圧としての再発達」というものが考えられる。これは、温帯低気圧化のしくみによって説明できる。そもそも温帯低気圧化は、台風の構造が崩れ温帯低気圧の構造に変化した場合である。すなわちその時の最大風速は関係ない。台風の構造が崩れているため、若干衰弱はしていると考えられる。しかし、まだ低気圧としての勢力は保っていて、温帯低気圧の構造に変わった後、再発達して温帯低気圧の構造で発達していき、発達した温帯低気圧になることがある。このようなケースは多く、実際には台風だった頃より発達している温帯低気圧もある。これは、台風の構造変化予測をするという本研究の目的でもある。温帯低気圧化するという予測ができれば、温帯低気圧化した場合に再発達するかをまわりの環境から推測し対策するということができる。構造変化予測は、このようなことに役立てることができるのである。

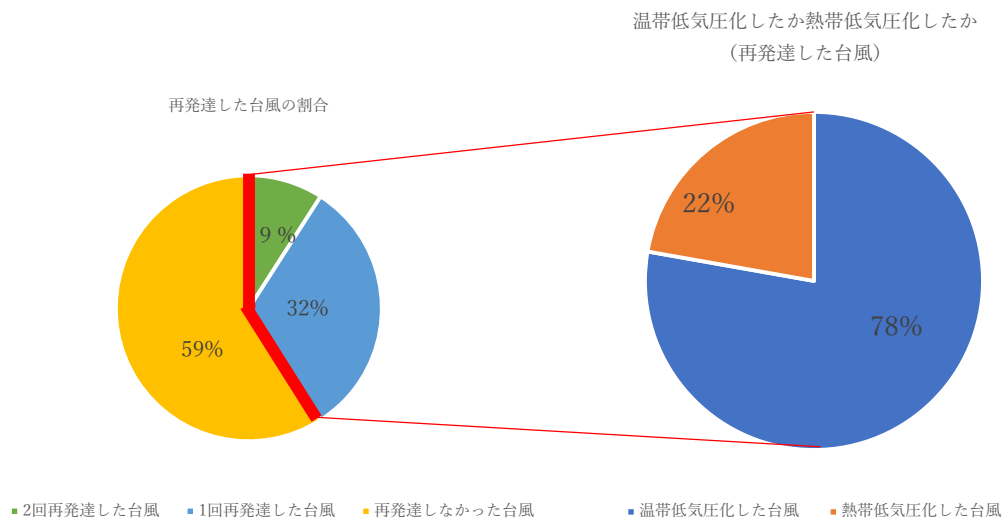


図5 再発達した台風の割合と構造変化別割合

## 模擬台風の構造変化

実況データでは、あらかじめ定まった条件で発達する台風の構造変化を調べたが、ここでは実際の台風をもとに条件を自由に変え、数値シミュレーションを使って作成した模擬台風の構造変化について調べる。

### 5 数値シミュレーション

数値シミュレーションの研究手法や詳細について説明する。

#### 5-1 数値シミュレーションとは

数値シミュレーションとは、ある実況データをもとにして、データの中のある条件を自由に変えることで、実際にはない仮想の空間や物体を作り出すことである。台風の場合は、実際にあった台風をもとのデータとして、進路上の海面水温などの条件を変えた時にできる台風をコンピュータ上で再現するものである。

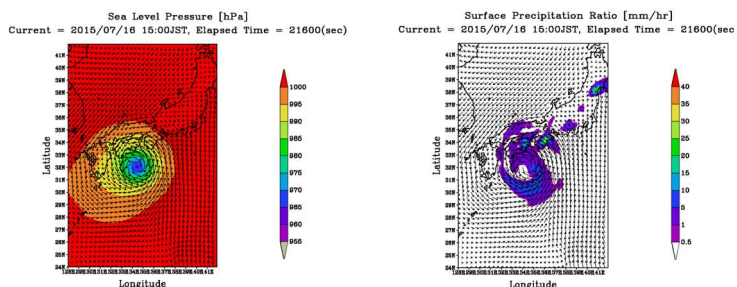


図6 シミュレーション結果の例

図6は、シミュレーション結果の例である。図6の左の図からは、気圧分布や風が読み取れる。色が気圧、矢羽が風を表している。図6の右の図は降水量分布と風が読み取れる。色が降水量、矢羽が風である。



## 5-2 シミュレーションソフト CReSS について

数値シミュレーション研究には、気象シミュレーションソフト CReSS を使用している。CReSS は、岩手大学が開発した教育用気象シミュレーションソフトで、台風、温帯低気圧、積乱雲など様々な気象要素をシミュレーションすることができる。台風のシミュレーションでは、台風進路上の海面水温、日本の標高、日本の陸地の特性を自由に変えることができる。CReSS の計算式は以下の通りである。

○標高・海面データ→実数データ

```
real, dimension(1:nid,1:njd) :: xxdat siz = nid * njd * 4
open(io, file=' data.xxx.bin' ,access=' direct' ,recl=siz) read(io,rec=1)
((xxdat(id, jd), id=1, nid), jd=1, njd) close(io)
```

○陸地データ→整数データ

```
integer, dimension(1:nid,1:njd) :: landdat siz = nid * njd * 4
open(io, file=' data.land.bin' ,access=' direct' ,recl=siz) read(io,rec=1)
((landdat(id, jd), id=1, nid), jd=1, njd) close(io)
```

CReSS では、2015 年台風 11 号のデータを使用している。

## 6-3 2015 年台風 11 号について

CReSS で使用している 2015 年台風 11 号についての詳細は以下のとおりである。

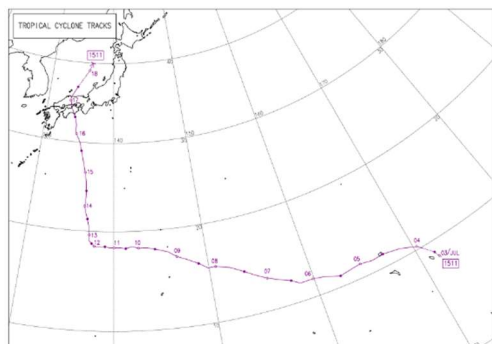


図 7 2015 年台風 11 号の台風進路図

表 2 2015 年台風 11 号台風位置表 (一部)

| 月日時          | 中心位置 |       | 中心気圧<br>hPa | 最大風速<br>m/s | 暴風域半径<br>km | 強風域半径  |        | 大きさ・強さ等 |           |    |
|--------------|------|-------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|---------|-----------|----|
|              | 緯度   | 経度    |             |             |             | km     |        | 大きさ     | 強さ        |    |
| 15 03        | 25.5 | 136.5 | 945         | 45          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 非常に強い     |    |
| 09 26.5      | 26.5 | 136.3 | 945         | 45          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 非常に強い     |    |
| 15 27.6      | 27.6 | 136.0 | 945         | 45          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 非常に強い     |    |
| 21 29.0      | 29.0 | 135.6 | 945         | 45          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 非常に強い     |    |
| 16 03 30.0   | 30.0 | 135.3 | 950         | 40          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 強い        |    |
| 09 31.0      | 31.0 | 134.7 | 955         | 40          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 強い        |    |
| 12 31.4      | 31.4 | 134.6 | 955         | 40          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 強い        |    |
| 15 32.0      | 32.0 | 134.6 | 960         | 35          | 190         | E: 700 | W: 500 | 大型      | 強い        |    |
| 7 16 18 32.5 | N    | 134.5 | E           | 960         | 35          | 190    | E: 700 | W: 500  | 大型        | 強い |
| 21 33.0      |      | 134.3 |             | 960         | 35          | 190    |        | 560     | 大型        | 強い |
| 23 33.4      |      | 134.1 |             | 965         | 35          | 190    |        | 560     | 大型        | 強い |
| 17 00 33.6   |      | 134.0 |             | 970         | 35          | 170    |        | 560     | 大型        | 強い |
| 03 34.1      |      | 133.7 |             | 975         | 30          | 170    |        | 500     | 大型        | —  |
| 06 34.5      |      | 133.6 |             | 985         | 30          | 150    |        | 500     | 大型        | —  |
| 09 35.0      |      | 133.4 |             | 990         | 25          | ---    |        | 440     | —         | —  |
| 12 35.3      |      | 133.4 |             | 992         | 23          | ---    |        | 390     | —         | —  |
| 15 35.7      |      | 133.6 |             | 994         | 18          | ---    |        | 330     | —         | —  |
| 21 36.8      |      | 134.3 |             | 998         | ---         | ---    |        | ---     | 熱帯低気圧に変わる | —  |

四国・本州に上陸した台風である。台風は日本の南東海上で発生し、西に進んだ後北へ進んだ。台風北上時、台風の近くに前線が位置していたが、前線が中心まで伸びる前に衰弱し、熱帯低気圧化して衰弱した。

## 6 模擬台風のシミュレーション

実際にシミュレーションによって模擬台風の構造変化を調べる。

### 6-1 初期条件

初期条件は以下のとおりとする。

水平方向の格子幅：10km

標高設定：あり

陸地の特性：陸地

計算時刻：2015年7月16日午前9時～午後3時

時間間隔：60分

海面水温：21°C・33°Cに設定

X方向格子数：140

Y方向格子数：180

時間刻み：6秒

標高設定や陸地の特性は、実際の日本と特徴を合わせ、台風進路上の海面水温のみを変えてシミュレーションを行った。海面水温は、台風発生の目安となる温度が26.5°Cなので、その温度よりかなり低めの21°Cと、かなり高めだが今後地球温暖化によって起こりうる海面水温33°Cに設定した。なお、実際の海面水温は約28°Cと推定され、シミュレーション結果と実際のデータを使って、21°C・28°C・33°Cで比べて考察した。

### 6-2 シミュレーション結果 (21°C)

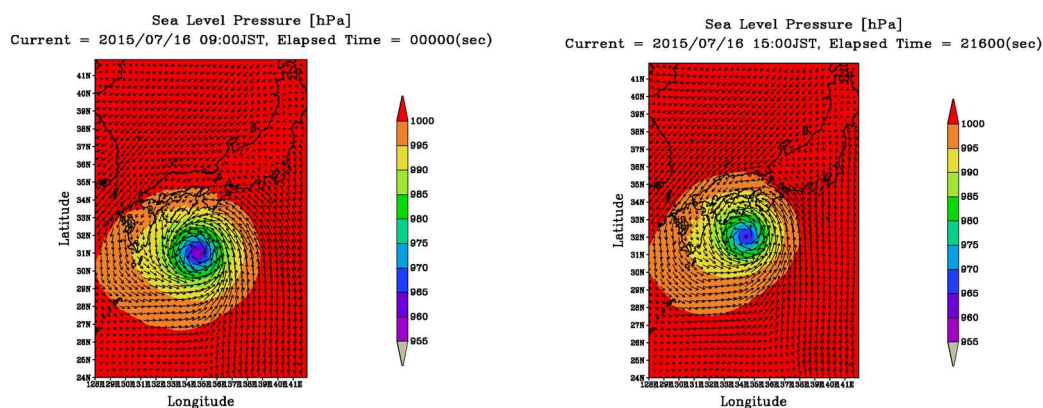


図8 21°Cの場合の風・気圧分布のシミュレーション結果 (左：9時 右：15時)

21°Cの場合の風・気圧分布のシミュレーション結果は図8のとおりである。15時は9時と比べると、中心気圧が高くなっており、衰弱傾向にある。また、台風中心から見て1000hPa以下の領域は、南西側に広がっている。

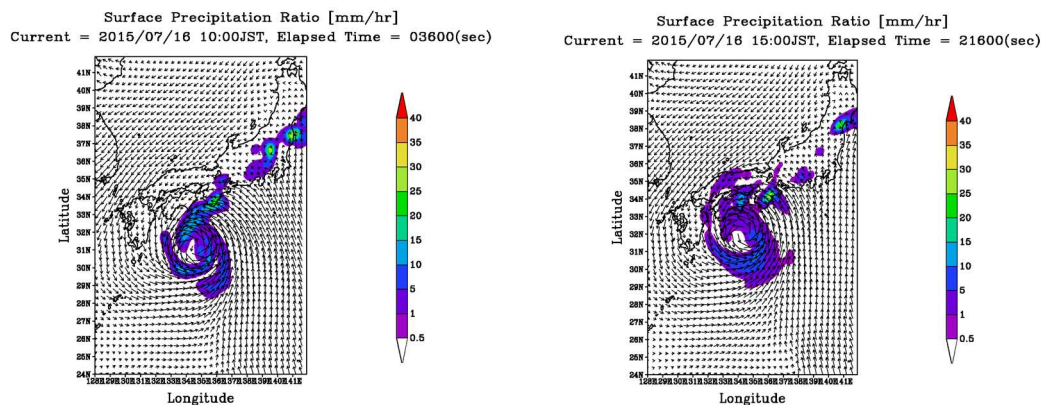


図9 21°Cの場合の風・降水量分布のシミュレーション結果 (左：10時 右：15時)

21°Cの場合の風・降水量分布のシミュレーション結果は図9のとおりである。なお、9時のデータは降水量分布が表されないため、10時と15時を比較する。15時は10時と比べて降水域が南東側に広く分布しているように見える。

### 6-3 シミュレーション結果 (33°C)

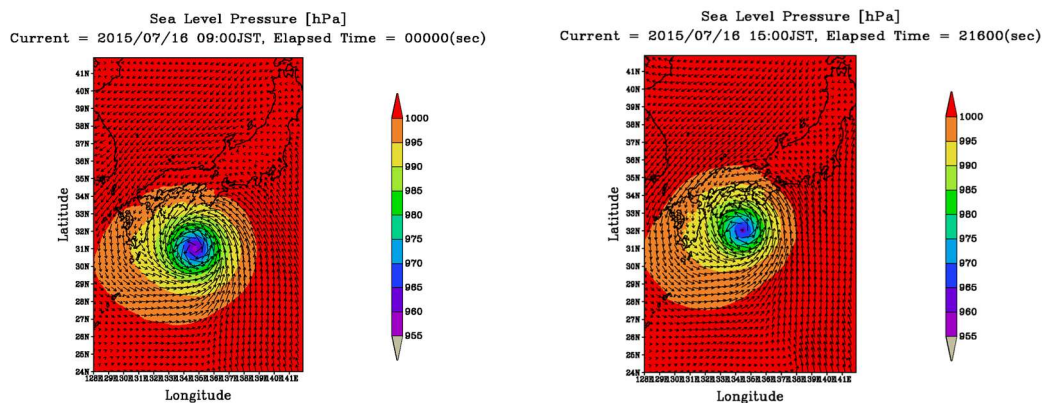


図10 33°Cの場合の風・気圧分布のシミュレーション結果 (左: 9時 右: 15時)

33°Cの場合の風・気圧分布のシミュレーション結果は図10のとおりである。こちらも15時は9時と比べると中心気圧が高く衰弱傾向で、1000hPa以下の領域は南西側に広がっている。台風中心の位置は、21°Cや実況とほぼ変わらない。

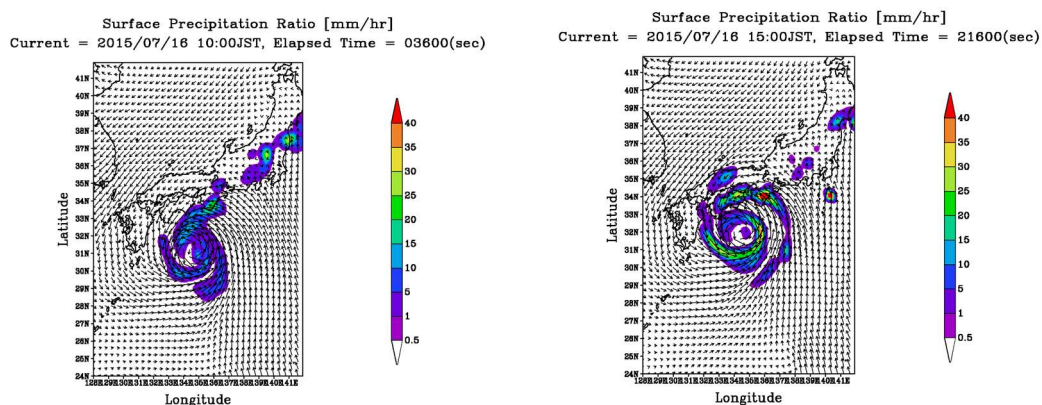


図11 33°Cの場合の風・降水量分布のシミュレーション結果 (左: 10時 右: 15時)

33°Cの場合の風・降水量分布のシミュレーション結果は図11のとおりである。33°Cの場合の15時は、降水域が中心から見てほぼ偏りがなく、円状に分布している。また、スパイラルバンドが明瞭である。降水量はかなり増えている。

### 6-4 考察

気圧が低い範囲 (ここでは1000hPa以下の範囲とする) は、どちらの台風も、東側に狭く西側に広がっている。等圧線が中心に対して非対称になるのは温帯低気圧の特徴なので、どちらも温帯低気圧の構造に近づいている。

降水域は、21°Cは中心に対して非対称 (温帯低気圧の特徴) だが、33°Cはほぼ円状 (台風



の特徴) である。つまり、21℃の方が温帯低気圧化のスピードが速いことが分かる。

#### 6-5 シアーラインの考察

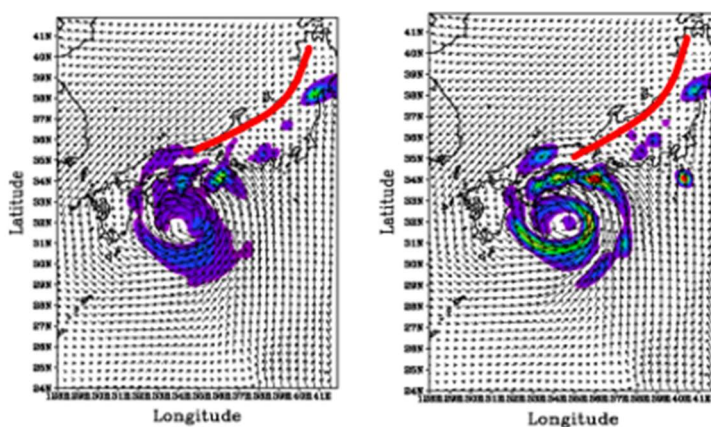


図12 16日15時の風・降水量分布図 (左:21℃ 右:33℃)

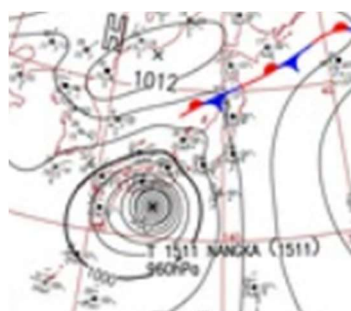


図13 16日15時の実況天気図

台風の北側には、図12の赤線で示してあるところに明瞭なシアーラインが存在している。図13の実況天気図から、このシアーラインは前線によるものと推測する。台風中心と前線の位置関係は21℃と33℃でほとんど同じだが、前線の先端と台風中心の距離が近いので、台風中心が前線と繋がると温帯低気圧化完了とみなされることから、どちらの場合も、温帯低気圧化が近いと考えられる。

## 現段階のまとめ

現段階のまとめとして、次のことが挙げられる。

- ・台風の勢力は、21℃よりも33℃の方が強くなっていた。これは、台風のエネルギー源である潜熱が、海面水温が高いほどたくさん供給されるからだと考えられる。
- ・21℃でも33℃でも徐々に温帯低気圧の構造に変化しつつあるが、21℃の方が速く温帯低気圧化が進んでいる。
- ・今後の台風と前線の動向によって、台風の構造変化に違いが表れる可能性がある。
- ・台風進路上の海面水温は最盛期以降の台風に影響し、海面水温が低いほど温帯低気圧の構造に変化しやすい。

## おわりに

本研究を通して、台風が最盛期以降、海面水温の高低によってどのような影響が及ぼされるのか、シミュレーションによって知ることができた。今後は、シミュレーション時間の延長・格子間隔の縮小・構造変化の割合の数値化などをして、周りの環境と台風の構造変化のより深い関係性を導きたい。

## 謝辞

N/S 高等学校研究部事務局の皆様には、研究の支援やサポートをしていただき、本当にありがとうございました。アドバイザーの佐々木先生には、研究や発表のアドバイスをいただき、本当にありがとうございました。気象ビジネスコンソーシアム・岩手大学・名古屋大学の皆様には、シミュレーションソフト CReSS を提供していただき、本当にありがとうございました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

気象庁 [気象庁 Japan Meteorological Agency \(jma.go.jp\)](http://jma.go.jp)

地球水循環研究センター [CReSS 気象シミュレーション \(nagoya-u.ac.jp\)](http://nagoya-u.ac.jp)

岩手大学 [【研究紹介】科学教育用気象数値実験ソフト「WEB-CReSS SE \(Science Education\)」の開発 - 国立大学法人 岩手大学 \(iwate-u.ac.jp\)](http://iwate-u.ac.jp)

デジタル台風 [デジタル台風：レーダー動画アーカイブ \(日本全域\) \(nii.ac.jp\)](http://nii.ac.jp)