

# 沖縄トラフが気象津波の伝播に与える影響について

田中 健路\*

\*広島工業大学環境学部地球環境学科

## 1. はじめに

2019年3月20日から21日にかけて、九州、山陰地方から奄美大島の広い海域で全振幅50cm以上の顕著な潮位副振動が観測された。このうち、長崎では3月21日に観測史上最高潮位238cmを記録し、市内中心部や浦上川の支流などで浸水被害が発生した<sup>1)</sup>。

従来の事例では、副振動が観測された港湾付近で全振幅1.0hPa以上の顕著な気圧微変動が観測されることが数々指摘されてきた。ところが、当事例では、3月21日の夕方から夜にかけて鹿児島県枕崎や種子島で2.0 hPa前後の気圧微変動を観測し、長崎では全振幅1.0hPaを超える顕著な気圧微変動は観測されていない<sup>2)</sup>。九州南方を通過した気圧波によって発生・増幅した気象津波が進行方向に対して放射状に拡がり、その一部が長崎湾に進入したことが予想される。

東シナ海の大部分は水深200m以下の大陸棚で構成されているが、天草沖より南西側には、水深600m以上の沖縄トラフがある。沖縄トラフによる気象津波の伝播にどのように影響を与え、気圧波が通過していない長崎湾でどのように副振動が増幅するかについては、十分な研究が行われていない。そこで、本研究では、沖縄トラフの海底地形が九州の南を通過する気圧波の進行に伴う気象津波の伝播に与える影響について、平面二次元の津波解析モデルを用いて数値的検討を行った。

## 2. 解析方法

本研究の海洋長波の伝播計算には、東北大学開発の津波シミュレーションモデル TUNAMI-N2<sup>2)</sup> に、運動方程式の大気外力項として、海面気圧の水平傾度を加えたものを使用した。以下に、水平二次元の運動方程式を示す。尚、質量保存則は既存モデルと同一のため本稿では割愛する。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

ここで、 $M$ 、 $N$ は $x$ 、 $y$ 方向の流速の鉛直積分である線流量であり、 $D$ は水深、 $\eta$ は水面の鉛直変位、 $\rho_w$ は海水密度、 $p$ は海面気圧、 $g$ は重力加速度、 $n$ はマニングの粗度係数をそれぞれ表す。

気圧波は、進行方向を $\xi$ 軸、進行方向に対して直角方向左手側を正とする $\zeta$ 軸を考え、気圧波の発生点を原点とした、以下の式の形で与えた。

$$p(\xi, \zeta; t) = p_0 + A_0 p_t p_\xi p_\zeta \quad (1)$$

ただし、 $p_0$ は平均気圧、 $A_0$ は気圧波の最大振幅を表し、 $p_t$ 、 $p_\xi$ 、 $p_\zeta$ は波の時間発展を発生点からの距離に置き換えたもの、進行方向の分布関数、横断方向の分布関数をそれぞれ表し、波長 $L_\xi$ 、 $L_\zeta$ として

$$p_t = \begin{cases} 0 & (\xi \leq 0) \\ \xi/L_\xi & (0 < \xi < L_\xi) \\ 1 & (\xi \geq L_\xi) \end{cases} \quad (1)$$

$$p_\xi = \left[ a + b \left( \frac{1}{2} - \frac{\xi_0(t) - \xi}{nL_\xi} \right)^2 \right] \sin \left( 2\pi \frac{\xi_0(t) - \xi}{L_\xi} \right) \text{ for } \xi_0(t) - nL_\xi \leq \xi \leq \xi_0(t) \quad (2)$$

$$p_\zeta = \frac{1}{2} \cos \left( 1 + \frac{2\pi\zeta}{L_\zeta} \right) \text{ for } -\frac{L_\zeta}{2} \leq \zeta \leq \frac{L_\zeta}{2} \quad (3)$$

と与えた。本研究で与えた気圧波のパラメータは表-1の通りである。

計算領域は、東シナ海を囲む第1領域（格子点間隔 810m, 東西 1500 格子×南北 1200 格子）と長崎周辺の第2領域（格子点間隔 90m, 東西 405 格子×南北 540 格子）の2つを設定し、1-way ネスト計算を行った（図-1）。地形データは、内閣府南海トラフ巨大地震モデル検討会作成の海底地形データセットより、平面直角座標第1系に座標変換されたものを使用した。計算時間間隔は1.5秒とし、気圧波発生から8時間後までの計算を行った。水位時系列は、長崎湾中部の松ヶ枝検潮所と浦上川河口付近の湾奥部の2箇所の格子点値を1.5秒間隔で出力した。沖縄トラフの地形効果は、計算領域の海底地形データにおいて水深の最大値を100mに制限したケースを追加で計算し、比較を行った。

気圧波の発生位置、進行速度、進行方向は、気象予報モデルWRFを用いて、東シナ海上の気圧微変動の空間分布を解析した結果を基に決定した。計算領域は図-2に示す通りで、南北1.5°S-52°N、東経74°-152°Eの領域を第1領域（格子点間隔約50km）とし、第3領域（格子点間隔約2.5km）が東シナ海上の気圧波解析領域となる。初期値および同化計算用の格子点値はアメリカ合衆国国立環境予測研究センター(NCEP)の全球0.25度格子点解析値(ds83.0)を用いた。雲物理はWSM-6classスキーム、積雲対流はKain(2004)の計算スキームを使用した。モデル上の計算開始時刻を2019/3/19 00UTCとし、72時間後までの気象場を計算した。

表-1 気圧波パラメータ

名称	記号	数値・単位
最大振幅	$A_0$	1.5 (hPa)
進行方向の増幅係数	$A$	1.0
	$b$	-3.0
周期	$T$	2100 (s)
進行速度	$C(=L_\zeta/T)$	31 (m/s)
進行方向		262°
横断方向の半値幅	$L_\zeta/2$	20, 40, 60, 80, 100 (km)
発生点の位置 (平面直角座標第1系)	$X_0$	-408000 (m)
	$Y_0$	-293000 (m)

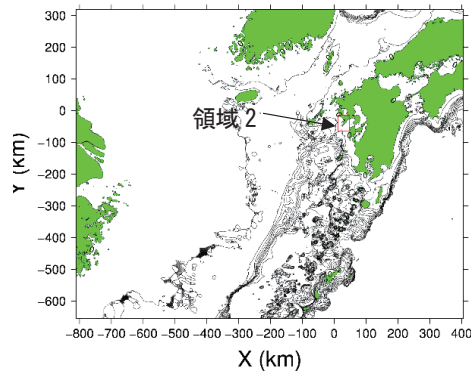


図-1 TUNAMI-N2 の計算領域

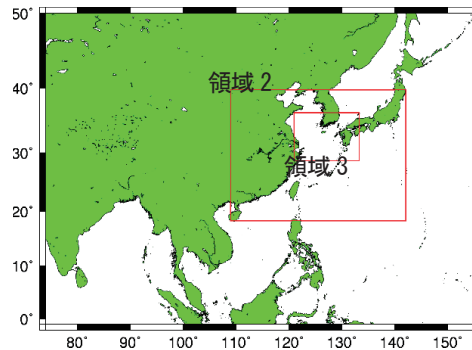


図-2 WRF の計算領域

### 3. 解析結果

#### 3.1. 東シナ海上の気圧場の発達

気象モデル WRF による気圧場の計算結果を図-3 に示す。東シナ海西部における気圧波は、北緯 30 度、東経 125-126 度の海域で発達しはじめ、約 4 時間余りで九州南部に到達する結果となった。九州南部付近に気圧波が達すると東進しながら徐々に減衰していった。東北東に時速約 110km の速さで進行した。等圧線から推察される横断方向の幅は概ね 60~100km であり、これを気圧波の横断方向の半値幅を与える目安とする。

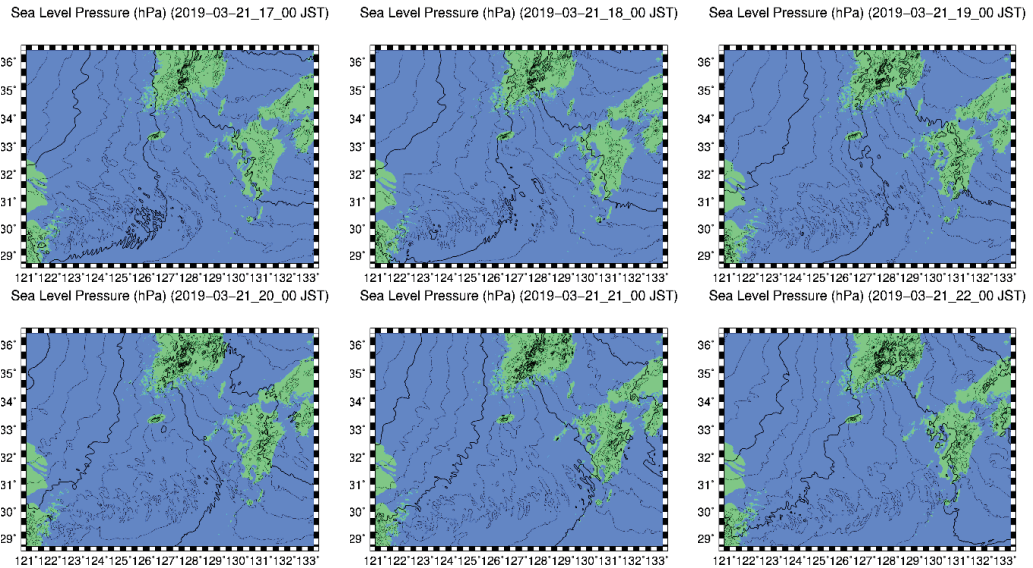


図-3 気圧場の発達状況 (等圧線間隔：細実線 1hPa, 太実線 4hPa)。

#### 3.2. 東シナ海上の気象津波の伝播

東シナ海上での気象津波伝播の例として、横断方向の半値幅 100km、周期 35 分の気圧波を 3 波与えた事例を図-4 に示す。沖縄トラフの西側の大陸棚で増幅した気象津波は、計算開始から 9600 秒後より沖縄トラフの西斜面に沿って北側に拡がりはじめ、計算開始から 12000 秒後には、第 1 波の峰が沖縄トラフ北端に達する。一方、沖縄トラフを除去した地形条件での計算では、気圧波の進行と共に気象津波が徐々に南北方向にも拡がっていき、気象津波の北端部が長崎湾に直接的に入射する。沖縄トラフを除去すると、洋上での共鳴しながら進行する距離が延びるため、気圧波の通過領域内での振幅は沖縄トラフを考慮に入れた場合よりも大きくなる。

長崎湾での水位時系列 (図-5) を比べると、沖縄トラフを除去した場合、気圧波の横断方向の半値幅が 40km (全幅 80km) 以上の場合には、全体的に幅の大きさに対する振幅の依存性は希薄となる。沖縄トラフを考慮に入れた条件では、第 3 波までは、気圧波の横断方向の幅にほぼ比例して副振動の振幅が増大する結果が得られた。また、沖縄トラフ上を伝播することにより、沖縄トラフがない場合と比べて約 1 時間到達が速くなる。

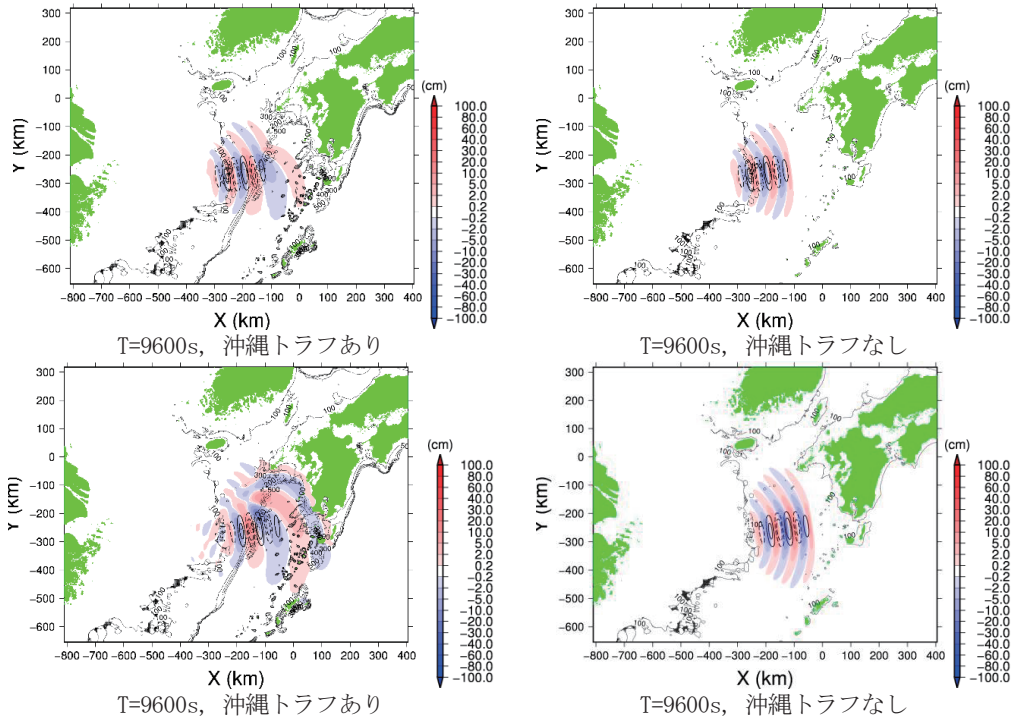


図-4 気圧波の進行に伴う気象津波の伝播。太線は気圧偏差 (0.5hPa 間隔) 細実線は等深線。

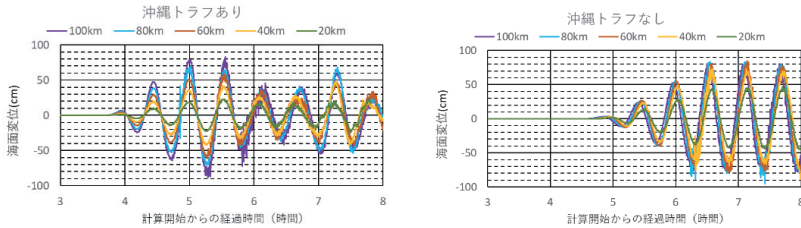


図-5 長崎松ヶ枝における水位変動。凡例は横断方向の半値幅を示す。

#### 4. まとめ

九州南部近海の沖縄トラフにより、気象津波の北向きの伝播が早まることで、沖縄トラフがない場合と比べて1時間程度早くなる。沖縄トラフがない浅い海域と仮定した結果では、海上の気圧波と海洋波の共鳴による振幅の増大が持続し、長崎に到達する波の振幅は沖縄トラフがない場合の方が高くなる。ただし、いずれの結果においても、対象港湾付近から100km以上離れた地点で気圧波が検出される場合でも、気象津波が放射状に伝播し、顕著な副振動を観測する可能性があることが示された。

#### 参考文献

- 1) 田中健路：2019年3月21日長崎市で発生した潮位副振動（あびき）による浸水被害について，自然災害科学，vol.38，pp.433-447（2020）。
- 2) UNESCO: IUGG Time project, IOC manuals and guidelines, No. 35. 126 pp. (1997)
- 3) Kain, J.S., 2004: The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update. J. Appl. Meteor., 43, 170-181