

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25287124

研究課題名(和文) 東シナ海上における気象津波発達過程に関する海洋気象観測

研究課題名(英文) Marine weather observation relevant to meteotsunamis on the East China Sea

研究代表者

田中 健路 (Kenji, Tanaka)

広島工業大学・環境学部・准教授

研究者番号：30315288

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：東シナ海上での気象津波の発生・増幅を促す大気側のメカニズムを解明することを目的として2013年、2014年の冬季に海上気象観測を行った。冬季に日本の南側で高気圧が通過した背後に気圧の谷が形成されて、中国南岸からの暖湿空気の上昇および大陸側からの上層の乾燥空気の南下により、対流圏中下層での重力波の伝播とともに気圧微変動が持続することが洋上観測データより得られた。また、沿岸での潮位観測による解析では、下げ潮時により長周期側に振動周期ピークが移動するなど、港湾の形状や入射方向だけでなく潮汐による効果も重要であることが示された。

研究成果の概要(英文)：Marine weather observation was conducted on the East China Sea in the winter of 2013 and 2014 to investigate the atmospheric mechanisms to generate and to enhance meteotsunamis. From the observed vertical profile data, it was revealed to form the wave ducting layers that the significance of lifting the warm moist air from the South China region along the low-level trough surrounded by a couple of the high pressure systems. One was passing eastward over the south of Japan and another was stalled over the Siberia. Under the such condition, a train of the pressure waves was generated with the duration as long as several hours. According to the tide gauge data, it was revealed that the effect of the tidal motion played important role in amplifying the secondary oscillation resulted in meteotsunamis as much as the shoreline shape of the bay and incident angle of the pressure waves.

研究分野：気象学

キーワード：気象津波 東シナ海 潮位副振動 気圧微変動

## 1. 研究開始当初の背景

気象津波とは、気圧・風速などの海面における気象要素の微変動が強制力となって発生する、地震津波と同程度の海洋長波(周期数分~2時間程度)である。外洋で発生した海洋長波が伝播し、気象擾乱と海洋長波の進行が同程度である場合に共鳴効果(Proudman 共鳴)が発生することが知られている。外洋上で増幅された長波は、水深の浅い沿岸に接近するのとともに振幅が更に増大し、内湾に波が到達すると、湾の固有振動周期に応じた共鳴現象が起こり、最終的には発生初期と比べて数10倍~100倍以上に振幅が増大する。その結果として、顕著な潮位副振動が観測されるのと共に、漁船転覆、湾の沿岸低地部の浸水、堤防損壊被害をもたらすことがある。

東シナ海に面した九州西岸は、気象津波(による副振動)が頻繁に観測されている地域として知られている。これまでの統計的な研究によれば、気象津波によるものと見られる顕著な副振動が年平均4~5回観測されている。気象庁は、これまで長崎港などでの潮位観測において副振動を検知した後に、気象情報を発表して注意喚起を行っており、大気との相互作用を踏まえた予測手法の構築が急務の課題となってきている。近年のメソ気象に関する数値解析技術の発達に伴い、東シナ海上で冬季から春季にかけて発生する気象津波に関して、総観規模からメソスケールまでの一連のメカニズムが解明されつつある。

しかしながら、気象津波発生前後に関する東シナ海上の大気構造に関する実測例に乏しい。また、近年の事例観測に基づく報告では、2-3hPa程度の顕著な気圧ジャンプだけでなく、1hPa前後の微細な気圧変動が重要と考えられる例も見られている。また、潮位振幅の大きな内湾では、潮位の変化や潮流に伴い、気象津波が入射した際の内湾での振動特性の変化が生じると予想されるが、必ずしも十分な知見が得られていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、主に冬季から春季にかけて東シナ海上での気象津波に関して以下の項目を目的として実施した。

(1) 主たる作用となる海面での気圧微変動をもたらす大気構造について、東シナ海上での実観測データに基づく解明。特に、広域的な気象場との対応関係の解明。

(2) 九州西岸の中小規模の湾での連続観測データより得られた、顕著な潮位副振動発生時の海面振動メカニズムの更なる解明。

(3) 九州沿岸の気圧観測に基づく気圧微変動の伝播過程の解析と予測手法の構築。

(4) 海洋数値計算モデルを用いた、多様な気圧微変動および潮汐流動を取り入れた海洋長波の伝播増幅過程の解明。

## 3. 研究の方法

### (1) 東シナ海上での高層気象観測

研究期間のうち、2013年12月10-13日、2014年12月1-3日の2回、長崎大学水産学部練習船鶴洋丸の共同運航により、長崎県五島列島~女島沖海上でGPSゾンデを打ち上げ、東シナ海上の高層気象観測を実施し、対流圏の気象要素及び気球上昇速度を取得した。気象庁数値予報モデルGPVなどの領域客観解析データに基づく広域場の形成との対応について解析を行った。

### (2) 熊本県天草崎津湾での潮位気圧観測

2009年2月25日の気象津波に伴う潮位副振動により浸水被害を受けた熊本県天草市崎津湾で2011年より気圧・潮位連続観測を実施している。本研究課題期間中の2013年に気圧観測システムを移転し、潮位観測システムと統合して、連続観測を実施した。観測によって得られた副振動の増幅過程に関して、非定常緩勾配方程式を用いて、気圧波の入射方向や周期の違いによる副振動特性の解析を行った。

### (3) 気象数値モデルに基づく東シナ海上の気圧微変動および広域大気場に関する解析

数値気象予報モデルWRFを用いて、これまで全振幅1m以上の潮位副振動をもたらした顕著事例について、海面上の気圧微変動の生成過程に関する検証計算を実施した。それと共に、気象津波発生時の東シナ海上上空の空気塊を後方粒子追跡解析を行い、数千kmスケールの広域場からの大気構造の形成過程の特徴について調べた。

### (4) ニューラルネットワークによる気圧微変動の解析

発生要因の特定が難しい副振動について、客観的・帰納的にその予測を行うためのニューラルネットワークを応用した予測モデルの開発に着手した。実測の気圧、潮位やその変化率等の信号を用いて解析を行った。

### (5) 仮想気圧波による副振動伝播特性の解析

従来の研究では十分に着手されていない、潮汐変動との相互作用、あるいは進行方向および横断方向の波長数10km程度の気圧波列を与えた場合の海洋長波の伝播過程に関して、海洋数値モデルによる計算を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 2014年12月上旬の海上観測

2014年12月1日~3日の期間で実施した観測では、前半は大陸側からの寒気の流れ込みが顕著で、東シナ海上の波浪が発達しやすい条件であった。この時には、上空3km以下の対流圏下層で弱不安定となり、下層雲が発達したものの、気圧微変動を伴う大気重力波の発生には至らなかった。期間後半の12月2日昼以降に、大陸側の高気圧から切り離され

た太平洋上の高気圧との間に気圧の谷が発生した。その際、中国大陸側から乾燥した南風が流れ込むことで上空5km付近に不安定層が生じ(図-1)、気象津波の外力となる気圧波が形成、維持された。最終的には、12月3日午前1時に鹿児島県枕崎港で、最大全振幅80cmを超える顕著な潮位副振動を観測した。本観測で得られた事例は、1hPa前後の気圧波の持続に伴う気象津波の発生事例の一つとして重要な結果として位置づけられる。

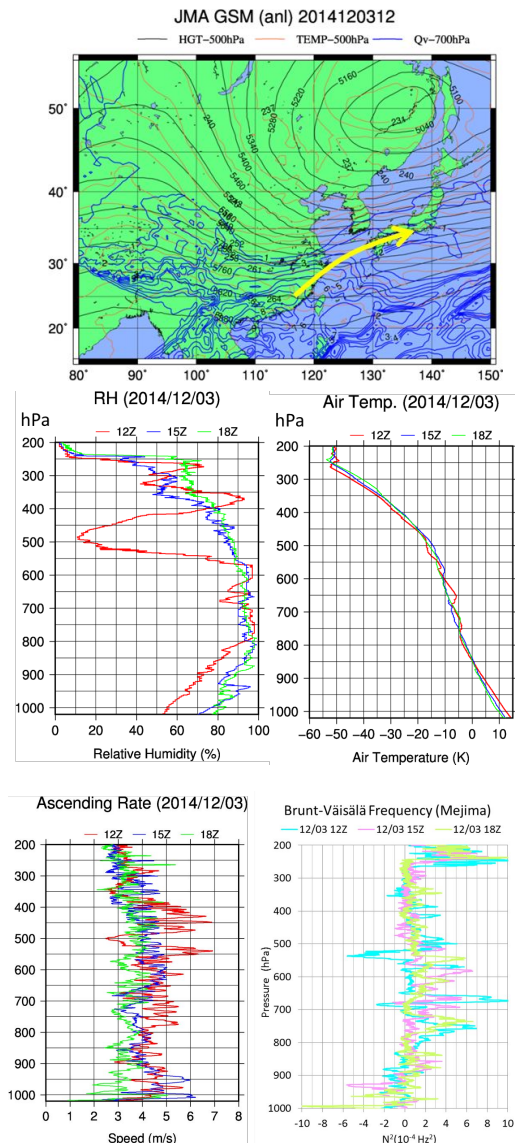


図-1 2014年冬季観測期間中の総観気象場の状況(上)及び高層気象観測による相対湿度(中段左)・気温(中段右)・気球上層速度(下段左)・プラント-バイサラ振動数(下段右)

(2) 熊本県天草崎津湾での副振動特性の解析

2011年の観測開始以降に取得された潮位観測データに基づき周波数特性の解析を行ったところ、周期約10.8分、約12分、約22分のピークが顕著であり、周期10分~60分の気圧波が数時間にわたり持続的に入射す

る際に、うなりを伴いながら増幅する特徴が見られた。非定常緩勾配方程式を用いた数値解析を、外洋側から一定振幅の海面振動を持続的に与えた場合について行ったところ、湾の中部から湾奥部にかけて、最初は周期約12分の振動が卓越していたが、50波以上連続して入射波を与えると、気圧波進入開始から約10時間後に周期約24分の振動成分が重なり、外海からの入射波に対する増幅率が40倍以上に及ぶ。また、入射方向は真西より約10度南側から崎津湾に向かって入るときに増幅率が最大となった。崎津湾は、羊角湾内部の小規模湾であり、南南西から北北西側へと湾軸が湾曲している特徴を持っている。長波の入射方向に対する増幅率の影響は、崎津湾の外側の羊角湾の湾口から崎津湾までの最深部を結んだ軸方向との関係が強い(図-2)。

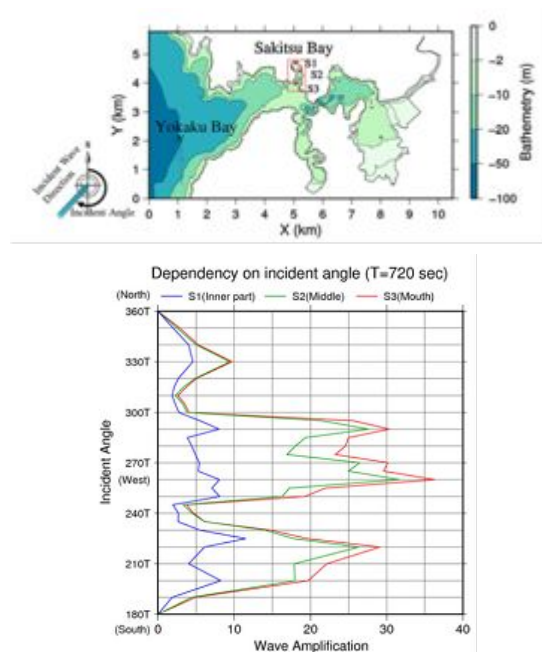


図-2 熊本市天草崎津湾の海底地形分布(上)と入射波方向に対する湾内での副振動増幅率との関係(Tanaka et al. 2014)

(3) 気象予報モデルによる気圧波および気流流入経路の解析

過去の顕著事例の一つである1979年3月31日の長崎港での事例について、数値予報モデルWRFを用いて、中国大陸側からの気圧ジャンプ発生に関する数値解析を行った。南シナ海側から中国内陸部にかけて夏季モンスーンの最盛期に匹敵する大量の下層の湿潤空気の供給により、中国内陸部の乾燥空気との間に明瞭な水蒸気前線が形成された。この水蒸気前線の東進と共に、東シナ海の対流圏中層に取り残された乾燥空気塊との間で不安定層が形成された。暖気の上昇と乾燥冷気の下降により、最大7hPaの気圧差を伴う気圧ジャンプが生じた(図-3)。気圧ジャンプの進行速度は時速約110kmと算定され、日比谷・梶浦(1982)の気圧波の移動に関する仮定

を支持する結果となった。

また、東シナ海上の空気塊に対する後方粒子追跡により、最も発生事例の多い2月から3月の期間でのグループでは、北緯20度付近の太平洋上の高気圧西側の縁に沿って、南シナ海の下層暖湿気が中国南岸に流れ込み、中国大陸南部の1000~1500m前後の山地による強制上昇により対流圏中層まで上昇する特徴が見られた。中国南部からの下層暖湿気の上層と内陸部の対流圏中上層の乾燥空気の下層により、東シナ海上空で重力波のダクト型伝播を生じる大気構造が形成されることが確かめられた。

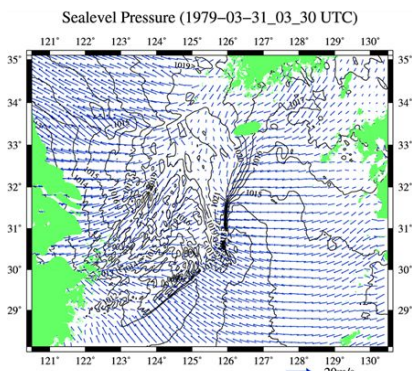


図-3 気象予報モデルWRFによる東シナ海上での海面気圧分布の解析例(1979.3.31の発生事例)。等値線は海面気圧(1hPa間隔)を表す。

#### (4)ニューラルネットワークによる気圧微変動の解析

解析の際に設定する中間層数や学習回数などの感度解析と、現在気象庁により観測が行われている定点の観測値を入力値とする際の入力変数の適切な組み合わせを検討した。現状として設定可能なリードタイムは数時間程度であることが示された。

#### (5) 仮想気圧波の伝播による気象津波発達過程の解析

仮想気圧波を伝播させた際の長波伝播について数値計算を行い、潮汐変化が及びき波形に及ぼす影響を調べた。その結果、潮汐変動を考慮した場合は考慮しなかった場合よりも早期に変動が収束すること、潮汐位相や振幅の差が及びき影響は比較的小さいことなどが示された。

また、横断方向スケールが数10km程度の小規模な気圧波が九州西岸に到達すると仮定して計算を行ったところ、沖縄トラフ通過時の海洋長波の伝播速度の増加に伴い、気圧波の進行方向北側への伝播が顕著にみられた(図-4)。特に、五島灘に向かって海底地形が東西に収束することで、気圧波から150km前後北に離れた長崎県沿岸部で、気圧波の増幅率換算で約20~30倍程度の顕著な潮位副振動が発生する計算結果が得られた。

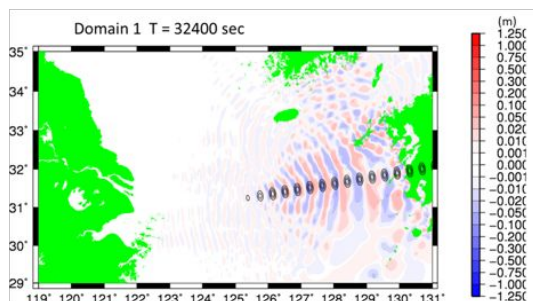


図-4 気圧波列の東進に伴う東シナ海上での海水位の変化に関する計算例。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

田中健路、森井康宏、原大祐、橋本賢太郎、冬季東シナ海上における気象津波発生に関する船上観測、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 71, No. 2, 査読有、2015年、I\_131-I\_135. DOI. 10.2208/kaigan.71.I\_451

山口龍太、田中健路、中條壯大、山田文彦他2名、九州西岸域における副振動の増幅要因に関する一考察、土木学会論文集 B2(海岸工学)、vol. 70, No.2, 査読有、2014年、I\_131-I\_135. DOI. 10.2208/kaigan.70.I\_131

浅野敏之、山城徹、齋田倫範、田中健路、九州東シナ海沿岸で副振動災害を引き起こす気象津波の発生機構に関する研究、土木が甲斐論文集 B2(海岸工学)、vol. 70, No. 1, 査読有、2014年、79-96 DOI. 10.2208/kaigan.70.79

Tanaka, K., S. Gohara, F. Yamada 他2名, Abiki oscillations in Sakitsu Bay, west Kyushu, Japan, Natural Hazards, 査読有, vol. 74, 2014, 233-250 Doi. 10.1007/s11069-013-0959-5 (他・査読付論文1件)

〔学会発表〕(計13件)

田中健路、気象が原因で発生する潮位副振動(meteotsunami:気象津波)のメカニズム、日本気象学会関西支部中国地区ブロック例会(招待講演)2016年1月16日、岡山大学(岡山県岡山市)

田中健路、他12名、九州西岸の潮位副振動発生時における東シナ海上での大気場に関する観測、日本気象学会2015年度春季大会、2015年5月21日~5月24日、つくば国際会議場(茨城県つくば市)

Tanaka, K., D. Ito, F. Yamada, The structure of pressure anomalies generating 1979 meteotsunami in Nagasaki Japan, 95<sup>th</sup> AMS Annual Meeting, J4.6, 2015年1月5日, Phoenix, Arizona, USA.

高山隼斗、中條壯大、山田文彦、田中健

路、他、九州周辺海域での副振動と潮汐運動に関する検討、平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会、2014 年 3 月 8 日、福岡大学（福岡県福岡市）  
（他 9 件）

〔図書〕（計 1 件）

Tanaka, K., D. Ito: Multiscale Meteorological Systems Resulted in Meteorological Tsunamis, in Tsunami, In Tech publishers, ISBN 978-953-51-4836-4, 1-20 (2016 年 7 月刊行予定)

〔その他〕

Web ニュース記事：フィリピン襲った恐怖の「気象津波」「吸い上げ」と「吹き寄せ」で 4、5 メートル高波, J-cast ニュース, 2013/11/11,  
<http://www.j-cast.com/2013/11/111188658.html?p=2> (2016 年 6 月 3 日確認)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 健路 (TANAKA, Kenji)  
広島工業大学・環境学部・准教授  
研究者番号：30315288

### (2) 研究分担者

中條 壮大 (NAKAJO, Sota )  
熊本大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号：20590871  
(平成 26 年度より研究分担者)

山田 文彦 (YAMADA, Fumihiko )  
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：60264280  
(平成 25 年 4 月～平成 26 年 10 月)