

令和 6 年 4 月 23 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06585

研究課題名（和文）東シナ海における長周期波の発生メカニズムの解明と予測手法の開発

研究課題名（英文）Generation mechanisms of long-period waves in the East China Sea and development of methods for predicting meteotsunamis

研究代表者

柿沼 太郎（Kakinuma, Taro）

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：70371755

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：あびき発生のメカニズムを解明し、あびき発生の予測システムを開発することを目的として、次の研究を実施した。まず、(1) 大陸・海洋から、沿岸域に至る、大気・海洋・沿岸を対象とした数値モデルを開発した。次に、(2) 気圧配置等を含む幾つかの気象条件を仮定し、あびきを伴う気圧波から、あびきを発生させる気象・海象要因を推定した。そして、あびき発生をシミュレートした。更に、(3) 現場でも適用可能な、あびき発生の予測システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

まず、中国大陸、南シナ海及び東シナ海の気象状況・海面温度の初期条件から、特定の湾内で発生するあびきの振幅が算定できる数値モデルを構築した。次に、東シナ海に海洋長周期波を発生させる、中国大陸、南シナ海及び東シナ海の気象状況及び海面温度のパターンを検出した。そして、上記モデルをリアルタイム予測に適用できるよう改良した。これらの気象・海象要因と、気象庁が提供する数値予報データや気象衛星画像との比較や、あびき振幅の簡易予測式により、あびきの発生予測が容易にできるシステムを開発した。大陸上の気象とあびきの関連に関して不明な点があるものの、簡易予測に関しては、実用的な予測式を組み立てることができた。

研究成果の概要（英文）：First, we developed a numerical model for the atmospheric and water motion from the continent to the coastal areas. Second, assuming several meteorological conditions including atmospheric pressure distributions, the meteorological and marine factors that caused meteotsunamis were estimated based on the numerical results with the atmospheric pressure waves. Third, we numerically simulated meteotsunami generation. Furthermore, we have developed a system for predicting the occurrence of meteotsunamis that can be applied in the field.

研究分野：海岸工学

キーワード：気象津波 東シナ海 あびき 気圧波 長周期波 内部波 噴火

1. 研究開始当初の背景

東シナ海に面した、九州西岸に位置する湾内では、2月～3月を中心として、数十分の周期を有する顕著な海面振動が年に数回程度発生する。この現象は、あびき（網引き）と呼ばれ、古文書にも記述がある。大きなあびきは、大振幅の潮位変動と、急潮を伴うため、係留船舶の転覆及び流失や、荷役作業の障害、港湾・水産施設の損壊を引き起こしてきた。2009年2月24日～25日には、鹿児島県甬（こしき）島の浦内湾において、最大全振幅3.1mのあびきが発生した。このあびきの調査結果は、柿沼ら（土木学会論文集B2（海岸工学），2009）により報告されている。図-1は、このときの漁船の転覆・破損と、自動車の浸水の状況を示している。18隻の漁船が転覆・沈没し、また、突堤の破損や、海岸堤防被覆石の崩落も起きている。

あびきの調査は、長崎海洋気象台によって、1947年の創設以来実施されており、集中観測や模型実験が行なわれたが（寺田ら、長崎海洋気象台報告、1953）、あびき発生メカニズムの解明には、至らなかった。1979年3月、長崎検潮所で全振幅2.78mの大振幅のあびきが観測されたのを契機として、より活発な研究が開始され、Hibiya・Kajiura（J. Oceanogr. Soc. Japan, 1981）は、東シナ海上を気圧波が通過することに伴い生成された海洋長波が、共鳴効果（Proudman, Geophys. Suppl. MNRAS, 1929）によって増幅されることで、あびき発生を説明した。柿沼ら（土木学会論文集B2（海岸工学），2010）は、東シナ海上を気圧波が通過する状況をシミュレートし、Kakinuma・Fukita（Coastal Eng. 2013, 2013）は、上述した2009年2月24日～25日に発生した最大全振幅3.1mのあびきが、この発生・増幅メカニズムによることを数値解析により確かめた。そして、沖縄トラフと九州本土間での反射が、湾水振動を増幅させることを見出した。また、Tanaka（Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2010）は、あびき発生時の大気の数値解析を実施し、中国大陸部の不安定気層が、あびき発生時の東シナ海上の気象に影響したことを示した。更に、Asanoら（Nat. Hazards, 2012）は、東シナ海の離島、大陸棚域及び浦内湾内に、水位計及び気圧計を設置し、あびきの生成・伝播過程の観測に成功した。

他方、海外においても、地中海や北海沿岸等における、あびきに類似した気象擾乱を起因とする副振動の発生事例が報告されている。これらは、meteotsunami, すなわち、気象津波と呼ばれ、その増幅メカニズムに関して、Monserratら（Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2006）やRenaultら（Geophys. Res. Lett., 2011）等によって研究が行なわれている。

2. 研究の目的

本研究は、数値解析に基づき、あびき発生メカニズムを解明し、あびき発生の予測システムを開発することを目的とする。研究内容は、次の三つのステージに大別される。

- (1) 大陸・海洋から、沿岸域に至る、大気・海洋・沿岸を対象とした数値モデルを開発する。
- (2) 気圧配置等を含む幾つかの気象条件を仮定し、あびきを伴う気圧波から、あびきを発生させる気象・海象要因を推定する。そして、あびき発生をシミュレートする。
- (3) 現場でも適用可能な、あびき発生の予測システムを開発する。

3. 研究の方法

特許申請の予定があり、研究の手法に関しては、後日、報告する予定である。

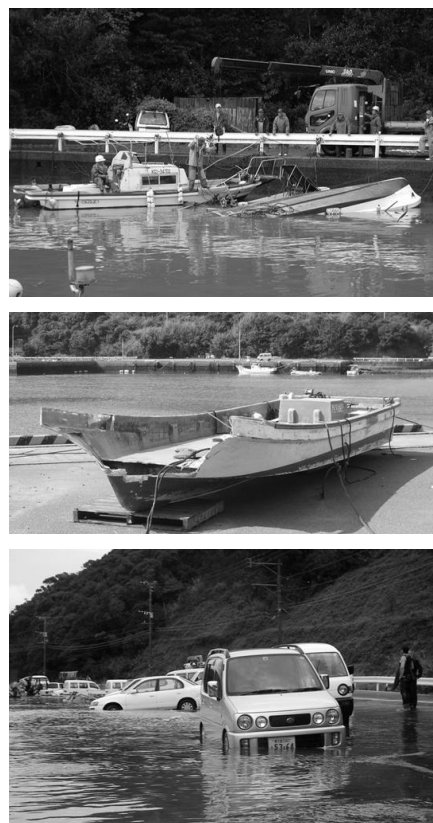


図-1 2009年2月に鹿児島県甬島浦内湾で発生したあびきの被害状況（第1図及び第3図は、薩摩仙台市により提供された。）

4. 研究成果

まず、中国大陸、南シナ海及び東シナ海の気象状況・海面温度の初期条件から、特定の湾内で発生するあびきの振幅が算定できる数値モデルを構築した。次に、東シナ海に海洋長周期波を発生させる、中国大陸、南シナ海及び東シナ海の気象状況及び海面温度のパターンを検出した。そして、それらの各条件に対して、あびきが生成されるメカニズムを考察した。更に、上記のモデルをリアルタイム予測に適用できるよう改良した。そして、これらの気象・海象要因と、気象庁が提供する数値予報データ（GPV）及び気象衛星画像との比較や、あびき振幅の簡易予測式により、あびきの発生予測が容易に可能となるシステムを開発した。特に、内部波も考慮可能な非線形モデルは、本研究のオリジナルモデルである。依然として、あびきと大陸の関連に関して不明な点があるものの、特に、簡易予測に関しては、本研究において、実用的な予測式を組み立てることができた。今後、より広範囲の気象・海象現象を対象として、検証する必要がある。

上記の研究は、応用的な面が強いが、ここで開発したモデルの一部を適用し、気圧波が気象津波を生成するメカニズムに関する基礎的研究も実施した。従来、世界の様々な海岸に現れた気象津波に対して Proudman 共鳴が調べられた際に、多くの場合、その発生源として、1 波の気圧波が考えられた。そのため、複数の気圧波による気象津波の生成・増幅機構は、解明されていない。そこで、本研究では、定常波として一定速度で進行する気圧波列を与えて数値解析を行なった。その際に、水深急変部や、一様勾配斜面のある海底地形をモデル地形として設定し、こうした地形が、気圧波列による津波の生成・増幅過程に与える影響を調べた。そして、次のような特性が得られた。なお、これらの結果は、火山噴火に起因する気圧波列によって生成・増幅される津波に対しても、認められる性質であると考えられる。

- ・水深急変部上を自由波として伝播している既存の津波に気圧波が追い付くと、増幅された津波が浅い水域に伝播する。また、一様勾配斜面上を自由波として伝播している既存の津波も、気圧波の追い越しによって増幅される。ただし、気圧波の個数が増加すると、気圧波の個数の増加に伴う振幅の増加量が低減する。
- ・水深が急変する水域上を気圧波列が進行する場合、浅い水域における津波の波形は、気圧波の間隔と、生成・増幅過程の位相に依存する。また、浅い水域の水深がより浅く、Proudman 共鳴の効果がより低下する場合に、浅い水域における津波の振幅がより増加する。
- ・気圧波列が一様勾配斜面上を進行する場合、自由波として伝播する津波の峰の増幅が抑制される。他方、自由波として伝播する津波の谷の最低水位は、大きく低下する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kakinuma, T.	4. 巻 12
2. 論文標題 Tsunamis generated and amplified by atmospheric pressure waves due to an eruption over seabed topography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geosciences	6. 最初と最後の頁 232-1, 232-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/geosciences12060232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Kakinuma, T. and Yamashita, K.	4. 巻 Vol. 20, Issue 3
2. 論文標題 A numerical solution for the coexisting field of surface and internal solitary waves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global J. Res. Eng. E	6. 最初と最後の頁 1, 11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Kakinuma, T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Long-wave generation due to atmospheric-pressure variation and harbor oscillation in harbors of various shapes and countermeasures against meteotsunamis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Natural Hazards	6. 最初と最後の頁 205, 224
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5772/intechopen.85483	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 柿沼太郎, 越智直人, 山下 啓, 中山恵介	4. 巻 2076
2. 論文標題 水深が変化する水域を伝播する内部波の数値解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録「非線形波動現象の数理とその応用」	6. 最初と最後の頁 67, 75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1．著者名 越智直人，柿沼太郎，中山恵介	4．巻 74
2．論文標題 水深が変化する水域を伝播する内部波の数値解析	5．発行年 2018年
3．雑誌名 土木学会論文集B2（海岸工学）	6．最初と最後の頁 I_25, I_30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.74.I_25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1．著者名 Kakinuma, T., Ochi, N., Yamashita, K. and Nakayama, K.	4．巻 36
2．論文標題 A numerical calculation for internal waves over topography	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Coastal Eng. 2018	6．最初と最後の頁 64-1, 64-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件）

1．発表者名 柿沼太郎
2．発表標題 気象や火山噴火がもたらす微気圧変動に伴う津波
3．学会等名 国際火山噴火史情報研究集会 2021-2（招待講演）
4．発表年 2022年

1．発表者名 柿沼太郎
2．発表標題 噴火に伴う複数の気圧波によって生成・増幅される津波に対する海底地形の影響
3．学会等名 第77回土木学会年次学術講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 Kakinuma, T.
2．発表標題 Numerical solutions for the coexisting fields of surface and internal solitary waves
3．学会等名 Online Seminar on Nonlinear Water Waves and Related Topics, JSPS Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (招待講演) (国際学会)
4．発表年 2022年

1．発表者名 柿沼太郎, 山下 啓
2．発表標題 表面波・内部波共存場における孤立波
3．学会等名 第68回海岸工学講演会
4．発表年 2021年

1．発表者名 柿沼太郎
2．発表標題 噴火に伴う複数の気圧波によって生成・増幅される津波に対する海底地形の影響
3．学会等名 土木学会年次学術講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 柿沼太郎
2．発表標題 環境基盤をまもるための外力の把握～津波・高潮を例として～
3．学会等名 令和2年度九州本部青年技術士交流委員会公開講演会, 公益社団法人日本技術士会九州本部 (招待講演)
4．発表年 2020年

1．発表者名 柿沼太郎
2．発表標題 大陸斜面上を伝播する非線形内部波
3．学会等名 科研費研究会
4．発表年 2018年

1．発表者名 柿沼太郎
2．発表標題 様々な種類の津波を対象とした数値解析
3．学会等名 AIMaP異分野連携ワークショップ「海岸・海洋における非線形問題に対する数学的手法の展開 - モデリング, 解析, 数値計算 - 」(招待講演)
4．発表年 2018年

1．発表者名 Kakinuma, T.
2．発表標題 A numerical calculation for internal waves over topography
3．学会等名 36th Int. Conf. on Coastal Eng. (国際学会)
4．発表年 2018年

1．発表者名 Kakinuma, T.
2．発表標題 A numerical calculation for internal waves over a slope or a mound
3．学会等名 Workshop on Nonlinear Water Waves In honor of Professor Mitsuhiro Tanaka on the occasion of his retirement (国際学会)
4．発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1．著者名 Kakinuma, T.	4．発行年 2019年
2．出版社 InTech	5．総ページ数 29
3．書名 Natural Hazards	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	安田 誠宏 (Yasuda Tomohiro) (60378916)	関西大学・環境都市工学部・准教授 (34416)	
研究 分担者	加古 真一郎 (Kako Shinichiro) (60709624)	鹿児島大学・理工学域工学系・准教授 (17701)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------