

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02263

研究課題名（和文）富山湾・寄り回り波の力学特性の解明と将来気候における動態予測

研究課題名（英文）Understanding the Dynamics and Future Climate Predictions of YM-wave events in Toyama Bay

研究代表者

田村 仁（Tamura, Hitoshi）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・上席研究官

研究者番号：80419895

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：富山湾の「寄り回り波」は江戸時代後期の古文書に記載があるなど古くから知られている異常波浪現象であり、これまでに何度もうねり性の高波が富山湾沿岸に被害をもたらしてきた。本研究では富山湾に襲来するうねりがどのようにして沿岸部で巨大化するのか波浪力学的な観点から解明し、さらに2008年事例がどのようにして過去最大の沿岸災害を引き起こしたのか大気力学的な観点から解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで未解明であった寄り回り波の力学過程や2008年の極端現象を説明し得るものであり新規性が極めて高く、また本解析で得られた知見から寄り回り波に対応した防波堤等の海岸構造物設計などが可能となることから、実務的な観点からも極めて重要な研究成果である位置づけられる。

研究成果の概要（英文）：Yorimawari-wave in Toyama Bay is an anomalous wave phenomenon that has been known for a long time, and has been described in documents from the Edo period. In this study, it is elucidated from the viewpoint of wave dynamics how the swell attacking Toyama Bay becomes huge in the coastal area, and from the viewpoint of atmospheric dynamics, how the 2008 case caused the largest coastal disaster in history.

研究分野：海岸工学

キーワード：寄り回り波 富山湾 2008年事例

## 1. 研究開始当初の背景

富山湾の「寄り回り波」は古くから知られたうねり性の異常波浪現象であり、これまでに何度も富山湾沿岸域に甚大な被害をもたらしてきた。なかでも2008年2月に襲来した寄り回り波は、18名の死傷者と家屋全半壊・浸水棟数が200件超となる大規模な沿岸災害を引き起こした。2008年事例は科学的な波浪観測記録が残されたなかで最悪の沿岸災害であることから、多くの研究者が第三世代波浪モデルにより、その再現計算と発生メカニズムの解明を試みてきた。しかしながらその再現に成功した解析事例はなく、被災以降10年以上を経っても異常波浪の発生原因は未解明のままであった。今後起こりうる沿岸被害を減らすためには、寄り回り波現象の実態を解明することが第一義的に重要であり、さらに数値波浪モデルによりその襲来を高精度に予報することが求められていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、富山湾においてうねり性波浪が巨大化する波浪力学的メカニズムを現地観測および数値解析により明らかにし、それに基づき寄り回り波を励起する気象擾乱場を特定することで、将来気候における寄り回り波の発生動態を理解することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 1) 波浪観測による寄り回り波の異常波浪化メカニズムの解明

富山湾内でのうねり性波浪の伝搬特性と陸棚・海底谷上での振幅増幅メカニズムを解明するために現地波浪観測を行った。観測では湾沖合でのうねり性波浪の特性(能登半島による遮蔽効果)を把握するためにGPS波浪ブイを配置するとともに、沿岸部では波浪エネルギーの収斂と位相干渉現象を把握するために4Kネットワークカメラによる定点監視、およびドローン空撮などを行った。これらの手法により、うねりの入射波特性と寄り回り波の時空間発展を捉え、それに基づいて巨大化メカニズムの実態解明を試みた。さらに衛星搭載型合成開口レーダー(ALOS-2)によるSAR画像のアーカイブデータから寄り回り波襲来時の画像を解析した。

### 2) 結合波浪モデル開発による寄り回り波現象の再現と力学特性解析

寄り回り波を数値シミュレーションにより再現し、その力学特性の解析を行うために数値波浪モデルを構築した。日本海での風波発生と富山湾へのうねりの伝搬などの力学過程に関しては第三世代波浪モデルの一つであるWAVEWATCH-III(位相平均モデル)を用いてシミュレートした。一方、富山湾沿岸部の陸棚・海底谷上では準単色入射波による位相干渉を再現することが最も重要なポイントとなることから、非線形分散性波浪モデルSWASH(位相分解モデル)を適用した。WAVEWATCH-IIIによって得られる湾奥沖合での波浪スペクトルをSWASHの境界条件として与える結合波浪モデルを構築し数値実験を行うことで、発生から巨大化までの力学メカニズム解析を行った。

### 3) 大気再解析・波浪観測データを用いた大気擾乱場に対する寄り回り波の応答解析

寄り回り波を発生させる大気擾乱条件を特定するために、米国国立環境予測センター作成のCFSRや気象庁作成のJMA/MSMなどの大気解析データおよびNOWPHAS波浪観測データの統計解析を行った。国交省港湾局が維持管理するNOWPHAS波浪観測網(富山および伏木)の20年間の観測記録から、高波基準およびSwell Index(田村, 2018)を用いて寄り回り波を検出した。2008年の寄り回り波がなぜ過去最大級の高波となり沿岸災害を引き起こしたのか、大気外力との関係から明らかにした。

## 4. 研究成果

1) NOWPHAS観測のデータ解析、波浪モデルによる過去再現計算と数値実験、および任意水深球面座標系でのRay方程式などいくつかの解析手法を用いて寄り回り波の力学機構の解明を試みた。観測結果およびスペクトル波浪モデルから得られた寄り回り波解析の結果は下記の通りである。(1) 寄り回り波は有義波高の短時間変動と波群構造によって特徴づけられ、またこれらの出現はうねり周期に依存する。(2) 既往の研究結果と同様に第三世代波浪モデル(スペクトルモデル)では有義波高を再現できない。(3) 寄り回り波発生時には入射波として狭帯スペクトルが形成されている。(4) 寄り回り波が出現する沿岸部ではエネルギー収束帯に重合波浪場(双峰スペクトル)が形成される。以上のことから寄り回り波は「準単色波の位相干渉機構」であると仮説を立て、これを位相分解モデルで確認した。本研究では、寄り回り波は「少数の成分波が特定の位相関係を持って干渉増幅」する力学過程(coherent interference, 可干渉性)である可能性が極めて高いことを示した。このことは19世紀初頭に行われたヤングの「二重スリッ

ト」実験と力学的に相似であり、その対比からうねり性波浪の巨大化メカニズムが解釈できる。  
以上の結果は下記の論文で発表している。

Hitoshi Tamura, Koji Kawaguchi, Takashi Fujiki, Phase-Coherent Amplification of Ocean Swells Over Submarine Canyons, JGR-Oceans, <https://doi.org/10.1029/2019JC015301>

田村 仁・川口 浩二・藤木 峻, 富山湾・寄り回り波の力学機構, 港湾空港技術研究所報告 60-1-3 2021年06月, <https://pari-y8sv.movabletype.biz/2021/06/20210714162846.html>

2) 観測史上最大かつ沿岸域に甚大な被害をもたらした2008年の寄り回り波事例を対象に、なぜ過去最大級の高波となり沿岸災害を引き起こしたのかを解明するため、大気外力との関係からデータ解析を行った。領域大気解析データと低気圧トラッキングデータを併せた解析から、2008年事例は日本海を通過する2つの低気圧に伴う北海道西岸・東北沖の持続的な北風によって引き起こされたことが明らかになった。最初の低気圧は北海道北西に風強制を形成し、2つ目の低気圧に伴う北風は日本海を東進した。2つ目の低気圧が1つ目に追いつくと、両低気圧に伴う北風強制の領域が延伸し、北海道西岸から東北沖の広範囲に展開した。1つ目の低気圧で生成された風波はうねりとして南下するが、エネルギー輸送速度である群速度と2つ目の低気圧の南下速度が一致し、Trapped Fetch (もしくは Dynamic Fetch) と呼ばれる条件下での風波発達が成立した。このことにより日本海の波浪伝播経路上で、風波成分が従来の寄り回り波事例よりも支配的であり、例外的に持続的な風による強制が起きたことが示唆される。このようにして2つの低気圧が連続して24時間以上続く強い北風持続に寄与した。この北風持続の重要性は第3世代波浪モデル(ww3)による仮想的な大気風場を用いた感度実験によっても確認された。

以上の結果は下記の論文で発表している。

Shohei Nomura, Bunmei Taguchi, Hitoshi Tamura, Satoru Okajima, Forcing Mechanisms Associated With the Destructive Record-High 2008 Ocean Wave in Toyama Bay, Earth and Space Science, <https://doi.org/10.1029/2022EA002750>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>田村 仁・川口 浩二・加島 寛章             | 4. 巻<br>77            |
| 2. 論文標題<br>2019年台風15号による横浜港での 波浪外力     | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集. B2, 海岸工学            | 6. 最初と最後の頁<br>271-276 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし         | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>-             |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Shohei Nomura, Bunmei Taguchi, Hitoshi Tamura, Satoru Okajima                                 | 4. 巻<br>10                  |
| 2. 論文標題<br>Forcing Mechanisms Associated With the Destructive Record-High 2008 Ocean Wave in Toyama Bay | 5. 発行年<br>2022年             |
| 3. 雑誌名<br>Earth and Space Science   | 6. 最初と最後の頁<br>e2022EA002750 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1029/2022EA002750  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 2件/うち国際学会 0件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田村仁                             |
| 2. 発表標題<br>2019年台風15号による沿岸被害はなぜ横浜港に集中したのか？ |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2021年大会 (招待講演)        |
| 4. 発表年<br>2021年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田村仁   |
| 2. 発表標題<br>Phase-coherent amplification of ocean swells over submarine canyons |
| 3. 学会等名<br>海岸工学講演会   |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>田村仁   |
| 2. 発表標題<br>Coastal destruction in Tokyo Bay induced by Typhoon Faxai in 2019 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2022年大会（招待講演）   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| 富山湾・寄り回り波の力学機構（港湾空港技術研究所報告）<br><a href="https://www.pari.go.jp/report_search/detail.php?id=%2020210714162846">https://www.pari.go.jp/report_search/detail.php?id=%2020210714162846</a> |
|--|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                        | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 田口 文明<br><br>(Taguchi Bunmei)<br><br>(80435841) | 富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授<br><br><br><br>(13201) |    |

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 |
|---------|---------|