

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：53203

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12497

研究課題名(和文) 富山湾におけるうねり性波浪の予測と長周期波に関する研究

研究課題名(英文) A study of the prediction of swells and the long period waves in Toyama Wan

研究代表者

河合 雅司 (Kawai, Masashi)

富山高等専門学校・商船学科・准教授

研究者番号：00161117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：能登半島先端海域に波浪計を設置して波浪観測を行うことにより、富山沿岸に押し寄せるうねり性波浪を数時間前に捉えて予測することがほぼ可能であることを確認した。また、富山湾沿岸の波浪データおよび造波実験により、沿岸部の浅瀬域(水深10～20m以下)にうねり性波浪が侵入することにより、浅瀬域で数分周期の固有振動が生じること、および、うねり性波浪とその固有振動が相互作用することによりうねり性波浪が固有振動の周期でビートすることを確認した。  
さらに、津波についても海底地震によって生じた水位変動が沿岸の浅瀬域に伝播し、この水位変動によって駆動された沿岸浅瀬域における固有振動であるとした。

研究成果の概要(英文)：It was verified that it is almost possible to predict swells which surge on the coast of Toyama Wan by wave observations by observing the waves off the apex of Noto peninsula, and it was verified by wave making experiments in wave tank that the proper oscillation is driven on a shallow water by swells invaded the shallow water and the swells beat with the same period as the proper oscillation.  
And furthermore, this result suggests that tsunami is proper oscillation on coastal shallow water driven by water level fluctuation due to submarine earthquake.

研究分野：航海学

キーワード：固有振動 うねり性波浪 長周期波 津波

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 富山湾におけるうねり性波浪の予測

近年、富山湾沿岸では約 10 年周期で国や自治体が災害対策本部を設置して対応しなければならないような波浪災害が発生しており、富山湾に押し寄せて災害をもたらすうねり性波浪(寄り回り波)の予測の重要性が認識されるようになった。ところが、富山湾周辺海域は、北方へ突出した能登半島や佐渡島等により複雑な地形になっており、富山湾の沖合を流れる対馬海流は複雑な地形の影響を受けて渦を生じる等複雑な流れ方をしており、北海道西方海域から南下してきた寄り回り波は、この複雑な流れの影響を受けて能登半島と佐渡島の間で右へカーブして富山湾へ侵入する特徴を持っており、波浪数値計算により寄り回り波を予測するためには、対馬海流により波向が右へ偏向することを考慮して、計算する必要がある。ところが、対馬海流の予測は困難であり波浪数値計算だけで寄り回り波を正確に予測することは困難である。そして、1981 年に伏木海上保安部、富山地方气象台、港湾関係者等が中心になって試験的に寄り回り波の観測に基づく直前予報が行われたが、波の目視観測にたよったために人的な負担が大きく、失敗に終わった。しかし、現在では複数地点の波浪のリアルタイム自動観測が可能であり、さらに、携帯電話等を利用した緊急情報リアルタイム通報システムの開発も進み、「寄り回り波の観測に基づく直前予報システム」の実現が技術的に可能な状況になってきている。

### (2) 長周期波(長周期水位変動)

1981 年に富山湾に侵入したうねり性波浪(寄り回り波)を航空機から観測中に、沿岸から沖合へ向かう寄り回り波よりもはるかに波長の長い長周期波が沿岸域に存在していることが発見された。この長周期波が、富山湾沿岸で船舶の走錨や越波および防波堤の崩壊等の災害とどのような関係があるのか、また、長周期波とうねり性波浪との関係やその発生機構等について、十分に解明されていない状況であった。

## 2. 研究の目的

(1) 富山湾沿岸における波浪災害を防止するために、富山湾に侵入するうねり性波浪(寄り回り波)を能登半島先端海域で観測により捉えて予測することの可能性について検証すること。

(2) うねり性波浪の侵入前および侵入中に富山湾沿岸域で生じる長周期水位変動(約 30 分周期、数分周期等の水位変動)の発生機構や長周期水位変動とうねり性波浪との関係について調べること。

## 3. 研究の方法

### (1) 富山湾におけるうねり性波浪の予測

能登半島先端海域に波浪計を設置して寄り回り波が富山湾沿岸に押し寄せる約 2 時間

前に捉えて少なくとも 1 時間前までに予報するシステムの実現可能性について調べた。波浪計設置場所、寄り回り波の伝搬距離等を図 1 に示し、能登半島先端海域に設置した波浪計(SONIC 多機能型海象観測装置 MODEL DL-3 型)を図 2 に示す。この波浪計を 2011 年 12 月～2015 年 3 月 20 日の期間において毎年 12 月から翌年 3 月まで、能登半島先端海域に設置して波浪観測を実施した。観測は 200kHz の超音波を用いて、1 時間毎に 20 分間 0.5 秒毎に海面までの距離を観測し、観測データを波浪計内臓メモリに保存する方法で行った。

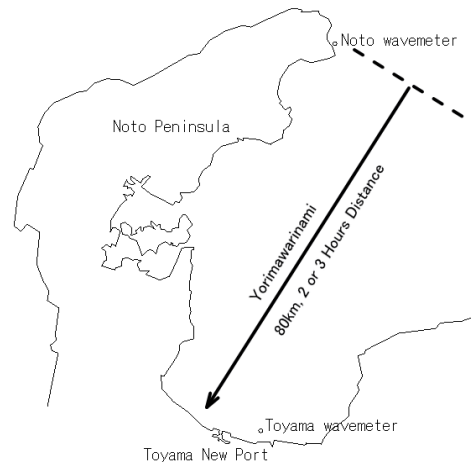


図 1 波浪計設置場所と寄り回り波伝播時間



図 2 能登半島先端海域に設置した波浪計

### (2) 長周期波発生機構等の解明

2014 年 12 月から 2015 年 1 月までの、四方沖合の NOWPHAS 富山波浪計による水位データ、岩瀬浜沖、富山新港内等で観測された水位データを用いて、うねり性波浪に伴う沿岸域の長周期水位変動について調べた。本研究で用いた NOWPHAS 富山波浪計データは、国土交通省港湾局によって観測され、港湾空港技術研究所で処理されたものである。四方沖の NOWPHAS 富山波浪計と岩瀬浜沖の波浪計は、0.5 秒毎に水圧を測定して海面までの距離を観測している。富山湾における富山波浪計、および岩瀬浜沖の波浪計の位置を図 3 に示す。

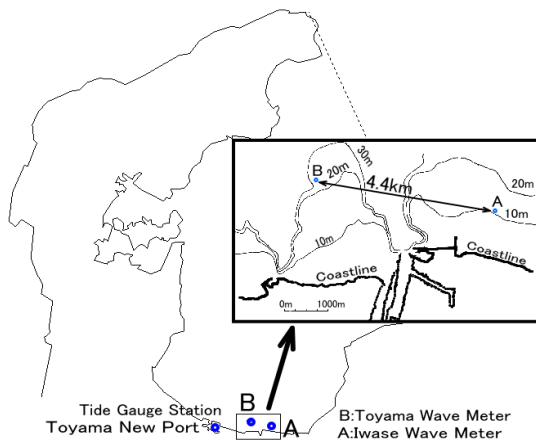


図3 富山沿岸における水位観測地点

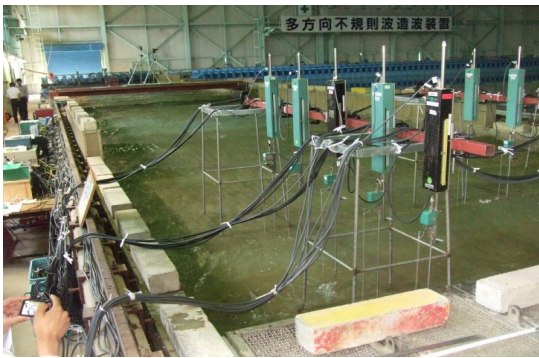


図4 造波実験で使用した平面水槽と水位観測システム

さらに、2015年6月と9月に新潟港湾空港技術調査事務所の平面水槽(56.5m×6.3m)を用いて、造波実験を行った。この平面水槽には、緩勾配(1/50と1/100)の斜面を有する水平浅瀬域が設置されており、さらに側面は消波構造になっている。岩瀬浜沖(図3のA点参照)は緩勾配の地形であり、この平面水槽の地形は、これに相当している。そして、水深0.21mの水平浅瀬域に規則波を入射し、浅瀬域で固有振動が生じるかどうか検証した。規則波(沖(ch3, ch4)で周期1.48秒(波長3m)、波高5cm、7cm、9cm、11cm、13cm、15cm)を16分間造波し、0.05秒毎に波高計で水位を観測した。使用した造波水槽を図4に示す。

#### 4. 研究成果

##### (1) 富山湾におけるうねり性波浪の予測

2011年12月～2015年3月までの期間において、富山湾沿岸のNOWPHAS富山波浪計で有義周期10秒以上、有義波高2m以上のうねり性波浪(寄り回り波)が観測されたケースを表1に示す。

2011年12月から2015年3月までの期間に能登半島先端海域と富山沿岸沖で超音波式波浪計により観測された波浪データを用いて、富山沿岸に押し寄せる寄り回り波を能登半島先端海域で事前に捉えることが可能かどうかについて検証を行った。検証は、富山沿岸に有義周期10秒以上、有義波高2m以上

表1 2011年12月～2015年3月における寄り回り波侵入期間

No	寄り回り波侵入期間 (年月日)	最大有義波		
		月日時	H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>1/3</sub> [s]
1	2011年1月24日-27日	12月27日04時	3.4	13.5
2	2012年02月02日	02月02日20時	2.3	10.6
3	2012年11月09日-11日	11月10日20時	3.8	11.1
4	2012年11月16日	11月16日04時	3.0	10.8
5	2012年12月11日	12月11日07時	2.1	12.3
6	2013年01月27日-28日	01月27日11時	3.3	12.9
7	2013年02月08日-09日	02月09日01時	3.1	13.9
8	2013年03月02日-04日	03月03日08時	4.7	14.5
9	2014年12月18日-19日	12月19日01時	5.8	13.3
10	2015年01月08日-09日	01月08日13時	4.0	13.7
11	2015年02月28日	02月28日13時	4.1	13.6
12	2015年03月11日-12日	03月12日07時	2.6	12.5
13	2015年03月25日	03月25日04時	3.5	12.5

の寄り回り波が押し寄せた13ケースについて、能登半島先端海域と富山沿岸で観測された有義波を時系列で比較することにより行った。

その結果、有義波高が数時間で急に2m以上になる特徴を持った典型的な寄り回り波については、ほぼ能登半島先端海域で数時間前に捉えることが可能であることが分かった。そして、有義波高または有義周期が徐々に大きくなる場合については、能登半島先端海域で数時間前にこれを捉えることは困難であり、半日前または1日前に捉える傾向がある。また、数日間に渡って継続的に寄り回り波が押し寄せる場合、寄り回り波の波高が急にさらに増大しても、それを能登半島先端海域で捉えることができない場合があることが分かった。

以上の結果から、能登半島先端海域に波浪計を設置して波浪観測を行うことにより、富山沿岸に押し寄せる寄り回り波を数時間前

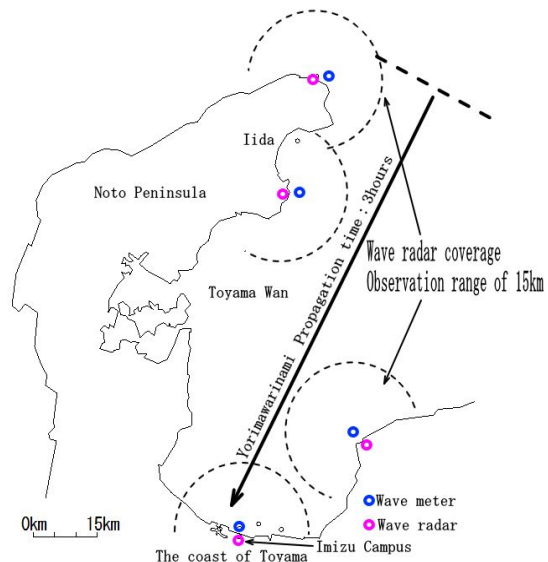


図5 波浪レーダと波浪計による観測に基づく寄り回り波予測システム



までにほぼ捉えることができるが、失敗する場合もあることが分かった。寄り回り波の観測に基づく直前予測の信頼性をより向上させるためには、海底に設置した波浪計による観測に加えて、能登半島先端(禄剛崎)等に波浪レーダを設置して富山湾に侵入する寄り回り波をリアルタイムで平面的に捉えて予測するシステム(図5参照)の構築が必要であると考えられる。海底に設置された波浪計に加えて、能登半島先端等に波浪レーダを設置して、富山湾に侵入する寄り回り波をリアルタイムで平面的に捉えて予測するシステムの構築については、今後の課題である。

### (2) 長周期波発生機構等の解明(波浪観測)

四方沖合の NOWPHAS 富山波浪計(B点)と岩瀬浜沖波浪計(A点)の水位データから(図3参照)、気象庁が公開している富山の潮汐定数を用いて天文潮汐を除去した約145.6時間分の観測データをスペクトル解析して、数分周期の水位変動とうねり性波浪の関係について調べた結果、次のことが確認できた。

(a)岩瀬浜沖における2015年1月7日~12日と1月13日~18日の波を比較すると、うねり性波浪のスペクトルの形が異なっているが、数分周期の波のスペクトルの形はほぼ同じである。

(b)周期10数秒のうねり性波浪の波高と周期数分の波の波高は、ほぼ比例している。

(c)4.4km離れた四方沖(B点)と岩瀬浜沖(A点)において、うねり性波浪のスペクトル値はB点の方が大きい、数分周期の波のスペクトル値はA点の方が大きい。

(d)四方沖(B点)と岩瀬浜沖(A点)の数分周期の波のスペクトルの形は異なっている。

これらの結果から、沿岸部における数分周期の波はうねり性波浪が沿岸部のなだらかな水平浅瀬域に侵入し変形、砕波する過程で、浅瀬域に生じた固有振動であると考えられることができる。

### (3) 長周期波発生機構等の解明(造波実験)

造波実験データの解析は、造波装置を動かした16分間(960秒間)19200個のデータのうち、214=16384個(819.2秒間)のデータを使用した。データ解析は、次の時間について行った。

(a)時間A(Time A) : 30~849.2秒まで

(b)時間B(Time B) : 85~904.2秒まで

(c)時間C(Time C) : 140.8~960秒まで

造波実験は、平面水槽内に仕切りを設け、幅5.6m、長さ2m、水深0.21mの水平床を設置し、規則波(周期1.48秒、波高5cm~15cm)を水平床に入射した。この波の水平床上の波長は1.99mとなる。また、本実験で想定する縮尺は1/100であり、造波実験における水槽内の仕切と波高計設置位置を図6に示す。

周期1.48秒、波高11cmの規則波を水平床に入射して得られた時間Cの水位データとそれをスペクトル解析した結果を図7と図8に示す。

図8と図7より、水位に約18秒周期のビ

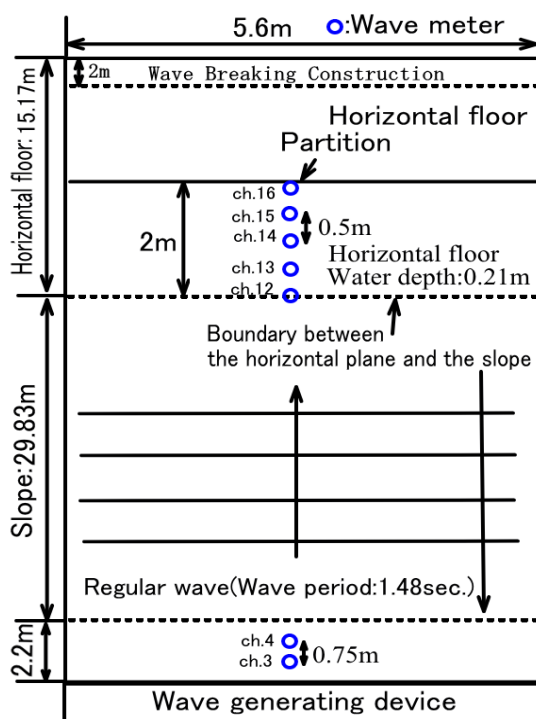


図6 造波実験における仕切り板と水位計の位置

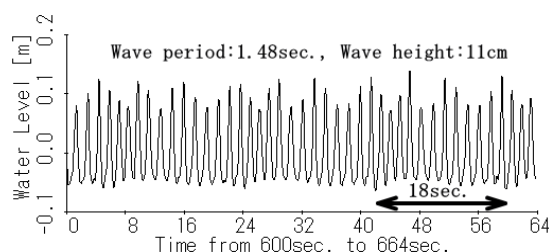


図7 造波実験におけるch.14(水平床中央)の水位変動

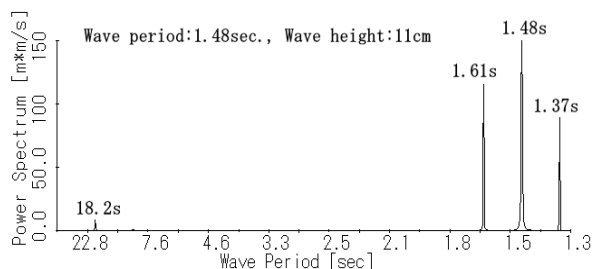


図8 ch.14における水位変動のスペクトル

ート現象(図7参照)が生じていることが分かる。このビート現象は、1.48秒周期の波と1.61秒、1.37秒周期の波(図8参照)が合成された結果であり、1.61秒と1.37秒周期の波は、1.48秒周期の波と18.2秒周期の固有振動の相互作用により生じたものと思われる。

### (4) 長周期波発生機構等の解明(津波等)

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の前後の天文潮汐を取り除いた富山新港内の水位を図9に示す。また、地震の発生後の2011年3月11日14時30分から3月17日16時8分8秒(JST)までの天文潮汐

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

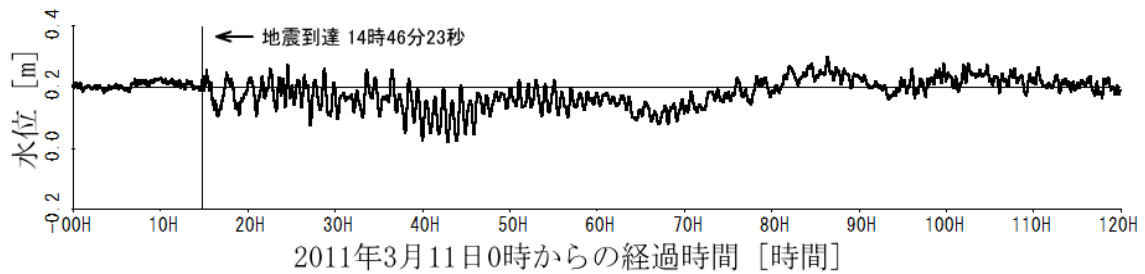
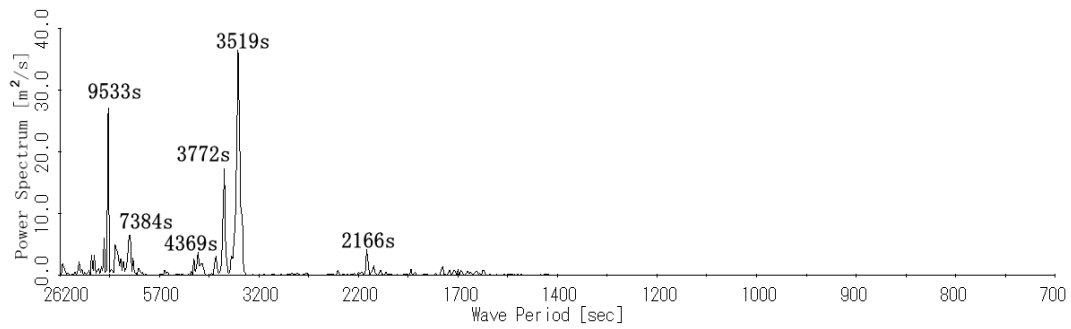
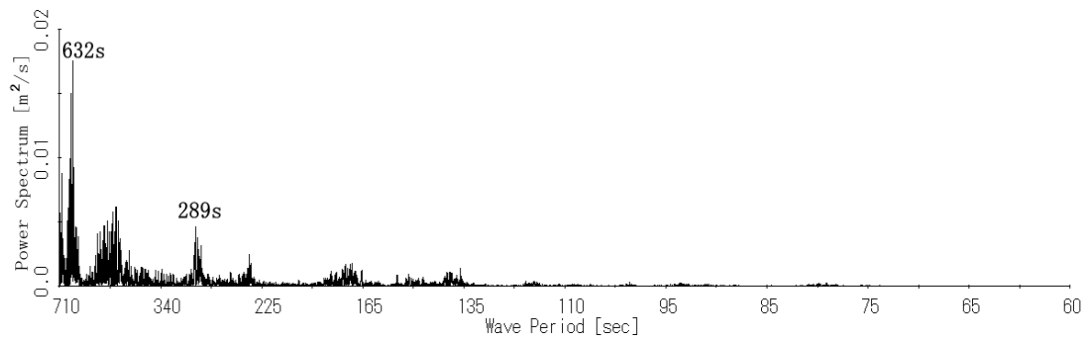


図9 富山新港内で観測された2011年3月11日0時から120時間後までの水位  
(天文潮汐を除去した水位)

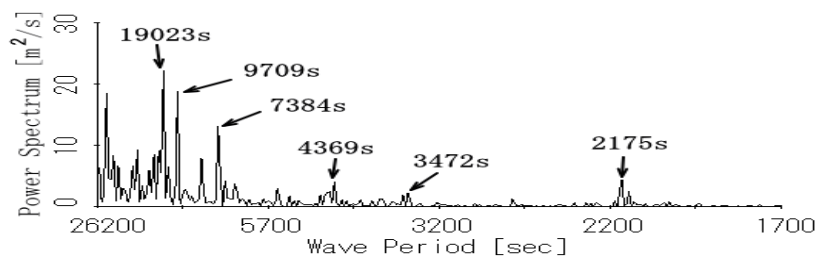


(a) 周期700秒～26200秒までの水位変動スペクトル

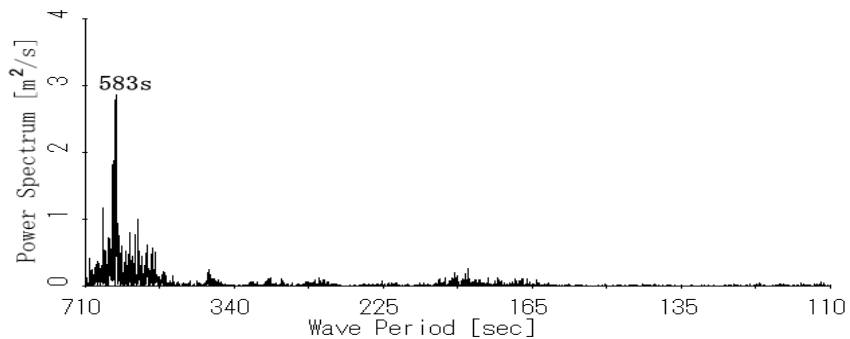


(b) 周期60秒～710秒までの水位変動スペクトル

図10 地震発生後約145.6時間の富山新港内水位のスペクトル



(a) 周期1379秒～26214秒までの水位変動スペクトル



(b) 周期110.7秒～710.4秒までの水位変動スペクトル

図11 2014年12月1日0時10分から約145.6時間分の富山波浪計(B地点)による天文潮汐を除去した水位のスペクトル

による水位変動を取り除いた富山新港内の水位データ(145.6 時間分)をスペクトル解析した結果を図 10 に示す。

これらの図から、地震により富山湾沿岸で周期 2166 秒(約 36 分)、3519 秒、3772 秒(約 1 時間)、7384 秒(約 2 時間)、9533 秒(約 2.6 時間)等の水位変動が生じていることが分かる。そして、富山湾沿岸の岩瀬浜沖に設置した波浪計で、2014 年 12 月 1 日から観測した約 145.6 時間分の水位データのスペクトルを図 11 に示す。図 11 より発達した低気圧が日本海を通過した時には、地震がなくても約 2 時間(7384 秒)周期、約 1 時間(4369 秒、3472 秒)周期等の水位変動が生じていることが確認できる。

これらの結果から、約 10 分～数時間の周期的水位変動は、移動性低気圧や地震等による水位変動が沿岸の浅瀬域に伝播し、この水位変動によって駆動された沿岸浅瀬域における固有振動であると考えられることができる。

<引用文献>

吉田清三、必読北陸の海難に学ぶ、海難防止研修読本、1999

河合雅司、笹谷敬二、千葉元、西井典子、富山湾における波浪災害に関する一考察、日本航海学会論文集、第 120 号、2009、137-143

河合雅司、門村英城、寄り回り波・津波の予報に関する基礎研究、日本航海学会論文集、第 125 号、2011、129-135

Masashi KAWAI、Yasushi KITAMURA and Kiyoshi KAWAGUCHI、On the Prediction of Large Swells in Toyama Wan、Proceedings of Asia Navigation Conference 2015 in KITAKYUSHU、2015、1-8

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

河合雅司、平山克也、北村康司、川口清司、うねり性波浪に伴う富山湾沿岸の水位変動について、日本航海学会論文集、査読有、第 132 巻、2015、pp.28-35、

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jin/132/0/132\\_28/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jin/132/0/132_28/_pdf)

河合雅司、後藤佑介、北村康司、川口清司、沿岸におけるうねり性波浪による水位変動の検証、日本航海学会論文集、査読有、第 134 巻、2016、pp.44-51、

河合雅司、北村康司、後藤佑介、川口清司、富山湾沿岸における長周期水位変動について、日本航海学会論文集、査読有、第 135 巻、2016、pp.19-26、

〔学会発表〕(計 1 件)

河合雅司、潮汐発生メカニズムに関する新しい解釈、日本航海学会第 135 回講演会、2016 年 10 月 29 日、呉市生涯学習センター(広島県・呉市)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

河合 雅司 (KAWAI Masashi)

富山高等専門学校・商船学科・准教授

研究者番号：00161117