

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01684

研究課題名(和文) 南九州西岸地域の副振動発生予測に向けた海洋長波監視システムとハザードマップの構築

研究課題名(英文) Ocean long wave monitoring system and hazard map related to the occurrence of secondary undulation in the western coast of Southern Kyushu

研究代表者

山城 徹 (Yamashiro, Toru)

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：20158174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鹿児島県の小島漁港および枕崎漁港における大きな副振動の発生は、長崎県の女島で海洋長波を監視することにより、ほぼ50%の確度で予測可能であることを示唆した。また、副振動および海洋長波をリアルタイムで監視可能なシステムのプロトタイプモデルを完成することもできた。大潮の満潮時に、上甕島浦内湾において、大きな副振動が発生したときの家屋や道路の浸水発生エリアを特定することができた。さらに、副振動発生時の小型船舶の避難場所や副振動の影響が少なくマグロ養殖生け簀の設置に適した場所を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

副振動は周期数分から数10分の海水面の上下動であり、南九州西岸域では冬から春先にかけて頻繁に発生する。そして、波高が2mを超えるような大きな副振動は、発生時期によっては家屋浸水や道路冠水、小型船舶の転覆、養殖生簀破損と養殖魚の逃げ出し等の被害を及ぼす。本研究成果として小島漁港と枕崎漁港における大きな副振動の発生予測の実現性を明らかにできたことや、上甕島浦内湾の副振動ハザードマップに資するデータを作成できたことは、漁港利用者の船舶、積み荷等の財産、マグロ養殖の生産活動を副振動災害から防ぎ、安心・安全な地域づくりに貢献するという点で社会的な意義が深いと言える。

研究成果の概要(英文)：In this study, it was suggested that the occurrence of large secondary undulation at Oshima fishing port and Makurazaki fishing port in Kagoshima prefecture can be predicted with almost 50% accuracy by monitoring ocean long waves in Meshima Island, Nagasaki prefecture. We were also able to complete a prototype model that can monitor the secondary undulation and long ocean waves in real time. It was possible to identify the flooded areas of houses and roads when a large secondary undulation occurs in Urauchi Bay of Kamikoshiki Island at the time of high tide. Furthermore, we clarified the evacuation place of small boats when the secondary undulation occurs and the suitable place for the installation of the tuna farming cage because the influence of the seiche is small.

研究分野：海洋物理学

キーワード：副振動 海洋長波 自動監視システム 小島漁港 枕崎漁港 ハザードマップ 上甕島浦内湾

1. 研究開始当初の背景

副振動は湾や港湾で起こる周期数分～数十分の海面の振動現象で、南九州西岸地域では冬から春先にかけて頻繁に発生し周囲に甚大な被害を与えている。例えば、2009年2月25日には日本観測史上最大の副振動（最大全振幅300cm）が鹿児島県上甕町（上甕島浦内湾）で発生し、家屋8棟の浸水、船舶18隻の転覆、養殖生簀4基の破損と養殖マグロの逃げ出しなどの被害が起きている¹⁾。同じ時期に、熊本県天草市では最大全振幅160cmの副振動が発生し、発生時刻が満潮時刻と重なったため、家屋8棟の浸水と道路冠水が活性している²⁾。東シナ海上では、前線や低気圧の通過に伴う気象擾乱に起因する大気の振動（気圧波）が海洋に長波を発生させる。気圧波と海洋長波の東方への伝搬速度がおよそ一致すると、共鳴的カップリング作用で海洋長波の振幅が増大する³⁾。これに湾内での浅水増幅や湾水との共鳴作用が加わり、「気象津波」と呼ばれる巨大な副振動が上甕島浦内湾で発生している。

したがって、副振動の発生予測には東シナ海上を伝搬する海洋長波の監視が不可欠である。気象庁⁴⁾は数値モデルによる九州西岸地域の副振動発生予測をめざすが、東シナ海広範囲での海洋長波の大容量計算は計算機への負荷が大きいことから、現時点は断念している。一方、我々は、過去10年間に渡って、上甕島（図-1）で発生する副振動の特徴（周期、波高・流速分布）や海洋長波と副振動との位相関係を研究した結果、南九州西岸地域の副振動発生予測には、海洋長波を外洋で監視することが現実的であるという結論に至っている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、東シナ海から南九州西岸地域へ伝播してくる海洋長波の監視を実施し南九州西岸地域における副振動発生予測の実現可能性を明らかにすること、そして南九州西岸地域で発生する副振動ハザードマップを構築することである。これらの目的を達成するため、具体的には、以下の3点を研究する。

(1) 海洋長波監視網の構築

海洋長波が東シナ海上を東方伝播する場合は女島（図-1）が最適な監視地点であるが、波向を考慮すると⁵⁾、福江島、宇治島、草垣島、中之島も監視地点候補に挙げられる。これらの島々の中から、海洋長波を効率的に捕らえられる地点を選定し、南九州西岸地域に到達する海洋長波の監視網を構築する。さらに、観測網に構築される海洋長波監視システムの適用区域を調べる。

(2) 副振動・海洋長波監視システムの構築

監視網で自動観測された水位データを観測局装置からリアルタイムで中央監視局データ処理装置に通信し、統合・一元化したデータから検出された海洋長波が副振動を発生させる危険度の高いものか否かを判断する、副振動・海洋長波監視装置のプロトタイプ・モデルを開発する。

(3) 上甕町副振動ハザードマップの構築

さまざまな副振動の波高・流速分布から想定される船舶や養殖生簀の避難場所、高潮や越波、道路・家屋浸水の区域や避難の情報を掲載した副振動ハザードマップを構築する。

3. 研究の方法

海洋長波監視網及び海洋長波監視システム、上甕町副振動ハザードマップの構築をめざし、平成30年度～R3年度の4年間で研究を実施する。

(1) 海洋長波監視網の構築

副振動発生地点の上甕島、枕崎、天草、海洋長波監視地点候補の福江島、女島、宇治島、草垣島、中之島の8地点で同時水位観測を実施する。ウェーブレット解析、相互相関解析など様々なデータ解析法を駆使して海洋長波を効率的に捕らえる地点の絞り込みを行って、監視網を完成する。さらに、南九州西岸地域の中で監視システムの適用できる区域を明らかにする。

(2) 副振動・海洋長波監視システムの構築

水位、海面気圧を計測し中央監視局へ自動通信する観測局の設計と製作、及び監視局データ処理装置に導入する海洋長波監視プログラム（水位データから副振動を発生させる危険度の高い周期帯の海洋長波のパワーを自動監視するプログラム）の開発を行う。副振動発生地点の上甕島、枕崎に観測局、大学に中央監視局を設置し、システムの現地実証実験を実施する。動作検証後は改良を行い、プロトタイプ・モデルを完成する。

(3) 上甕町副振動ハザードマップの構築

船舶の転覆は副振動の上下動に原因するので、振動の腹付近（最大波高地点）から避難することで転覆の危険度は減少する。また、養殖生簀の破損は副振動に伴って発生した強い流れに原因するので、生簀を振動の節付近（最大流速地点）から移動することで、破損の危険度は減少する。非構造格子有限体積法海洋モデル（FVCOM）⁶⁾を用いた数値計算を実施し、浦内湾の副振動と同

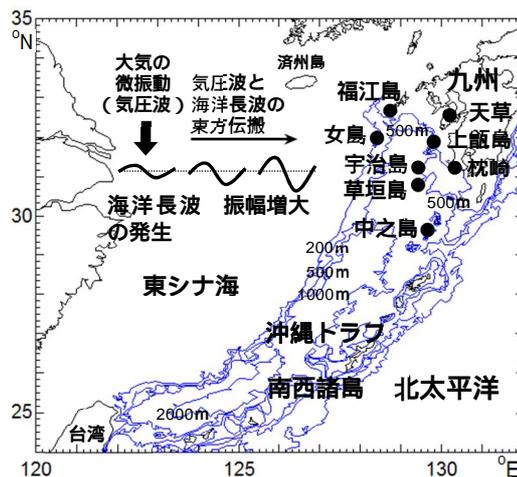


図-1 島の位置と海底地形

じ周期をもつ海洋長波が様々な波向、振幅を持って湾内へ進入した場合に起こり得る副振動の最大波高、最大流速分布を算定して、船舶の避難場所や養殖生簀の安全な設置場所を提案する。また、FVCOMは冠水・干出を扱えることから、海域での副振動と陸域の浸水を同時に計算可能である。そこで上甕島の浦内湾周辺の海域と小島漁港周辺の陸域において、高潮や越波、道路・家屋浸水の恐れのある区域等に関する情報を掲載したハザードマップを作成・公表する。

4. 研究成果

(1) 海洋長波監視網の構築^{7),8)}

九州西方沖における海洋長波監視網の構築に向けて、2019年2~3月に副振動発生地点の上甕島(小島漁港)、枕崎(枕崎漁港)、天草(崎津漁港)、海洋長波監視地点候補の福江島、女島、宇治島、中之島で水位の同時観測を実施した。これらの地点の水位データをスペクトル解析した結果、小島漁港では周期24.3分と12.0分、枕崎漁港では周期16.8分と12.3分の副振動が卓越していることが分かった。また、女島、宇治島周辺海域を伝搬する海洋長波のスペクトル強度が大きくなると、小島漁港、枕崎漁港における副振動のスペクトル強度も大きくなることや、海洋長波が九州西方海域を伝搬する段階では、小島漁港、枕崎漁港で発生する副振動の周期のスペクトル強度だけが特別に大きい訳ではないことも分かった。水位データをウェーブレット解析し、周期8~32分の水位変動の30分間平均強度を調べると、小島漁港における副振動の水位変動は女島の海洋長波の水位変動と、枕崎漁港における副振動の水位変動は宇治島、中之島の海洋長波の水位変動と密接にしていることが分かった。したがって、女島は小島漁港で大きな副振動を発生させる危険度の高い海洋長波の監視地点に最も適していることが示唆された。また、宇治島と中之島は枕崎漁港で大きな副振動を発生させる海洋長波の監視地点に適していることが確認された。崎津漁港は、副振動に関連する海洋長波の監視地点候補をみつけられなかった。

そこで、2019年2~4月に収集した小島漁港、枕崎漁港、女島、宇治島、中之島の5地点、2020年2~4月に収集した小島漁港、枕崎漁港、女島、中之島の4地点の水位データを用いて、女島、宇治島、中之島で海洋長波の変動強度が大きいつきに、小島漁港、枕崎漁港で発生する副振動の振幅が大きくなる確度を調べた。その結果、女島(中之島)で周期8~32分の水位変動強度が5(6)cm²を超えると、およそ49%(47%)の確度で、小島(枕崎)漁港において全振幅100(80)cm以上の副振動が起きることを明らかにできた(図-2)。

2020年3月29日に小島漁港で気象庁の観測記録を大きく上回る、日本観測史上最大の全振幅352cmの副振動を観測した。この副振動の発生は、女島で波高43cm、周期10分の海洋長波が九州西方沖をおよそ北東方向に伝播しながら浦内湾に入射したことによって起因しており、小島漁港における海洋長波の増幅率は8.2であったことを示した(図-3)。

(2) 副振動・海洋長波監視システムの構築⁹⁾

副振動・海洋長波監視システム概念を図-4に示す。小島漁港と枕崎漁港に副振動の観測局を設置した(図-5)。計測ボックスには、水位計と気圧計を接続したデータロガーと通信モジュールを置く。データロガーは、専用言語でのプロ

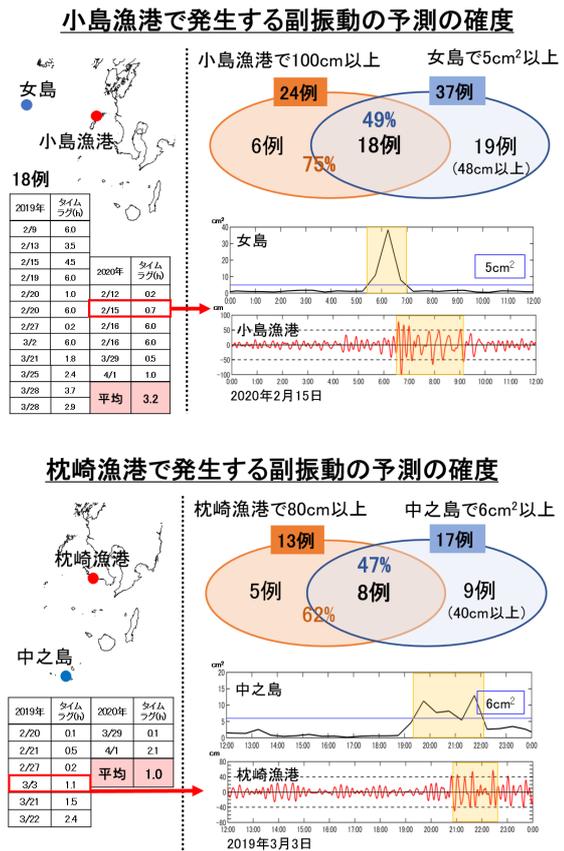


図-2 小島漁港と枕崎漁港で発生する副振動の予測確度

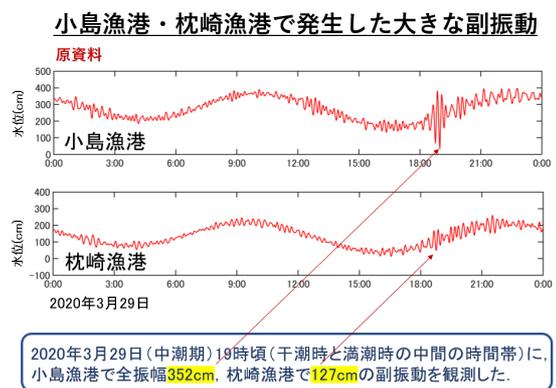


図-3 2020年3月29日に小島漁港と枕崎漁港で発生した、観測史上最大の副振動の時系列

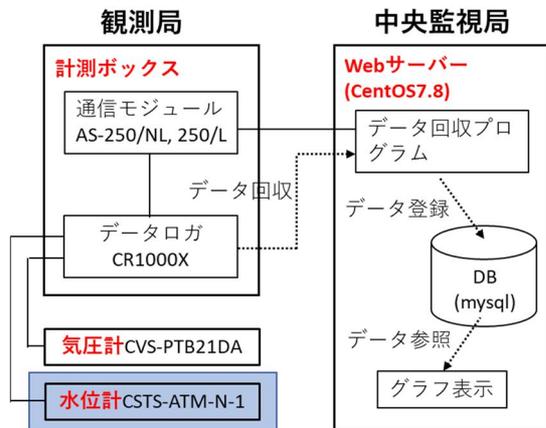


図-4 副振動・海洋長波監視システムの概念



図-5 副振動・海洋長波の監視局

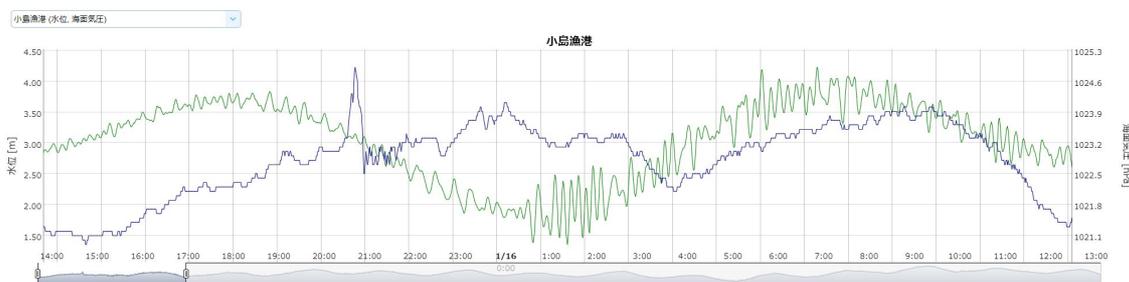


図-6 2022年1月15～16日に小島漁港においてリアルタイムで観測できた気圧変動と水位変動の時系列

グラミングが可能であり、またデータ収集用に HTTP インタフェースが提供されている CR1000X を利用している。副振動が数分から数 10 分の周期を持つ海水面の上下動であることから、データロガーでは、毎分 59 秒に水位と気圧のそれぞれ 0～59 秒の平均値を記録するようにした。通信モジュールは NTT ドコモの回線を使用してインターネットに接続する。大学内に設置した中央監視局の Web サーバでは、1 分ごとにデータ回収プログラムが起動し、インターネットを介して計測ボックス内の LAN へ接続する。データロガーから計測データを回収し、サーバ内のデータベースへ保存する。このデータを参照して Web ブラウザ上にグラフ表示が可能である。本システムでは、2022 年 1 月 15 日に発生したトンガ沖海底火山噴火による大気擾乱をモニターしている。小島漁港において 20:30～21:00 に約 2.5hPa の微気圧変動（図-6 中の青線）がみられ、その後の 1 月 16 日 1:00 以降に波高 100cm を持つ副振動（図-6 中の緑線）が発生している状況をリアルタイムで精度良く観測できている。

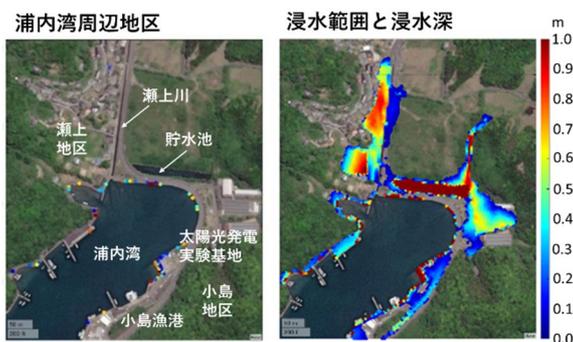


図-7 浦内湾周辺で想定される浸水範囲と浸水深

(3) 上甕町副振動ハザードマップの構築

2020 年 3 月 29 日に観測された最大全振幅 350cm、周期 12 分の副振動が大潮期の満潮時に発生したと想定したケースにおける、浦内湾周辺で発生する浸水分布を図-7 に示す。瀬上地区では、副振動が瀬上川を遡上し河口から最大約 295m の地点まで河川氾濫が発生している。瀬上川周辺の陸域の広い範囲で浸水がみられ、場所によっては最大浸水深 105cm に達している。瀬上地区の湾岸に沿った道路では 100cm 以上の冠水がみられる。小島地区では貯水池の氾濫が発生し、小学校跡地に建設された太陽光発電実験基地や北上する道路に沿って氾濫が広がっている様子を見ることが出来る。また、小島漁港周辺でも湾岸に沿って広い範囲で道路冠水が起きている。このように、上甕町の小島地区および瀬上地区における副振動による浸水想定域を示唆することができた。

FVCOM を用いて、浦内湾における周期 12 分の副振動のモード特性を調べた結果、湾分岐部では水位変動が小さく、小島側湾奥部と湾口部で水位変動が大きいことが示された (図-8)。この結果は、副振動対策として湾分岐部に小型船舶の係留基地を準備しておくか、あるいは副振動発生時には桑之浦側漁港へ移動させておくことが良いことを明らかにした。また、マグロ養殖生簀の設置点について、副振動発生時に大きな流速が発生している、浦内湾西側海域よりも、流速が小さい浦内湾東側海域 (中甕町側) の地点を推薦できることを示した (図-9)。

参考文献

- 1) 南日本新聞：2009 年 2 月 26 日朝刊。
- 2) 長崎海洋気象台、熊本地方気象台、鹿児島地方気象台：災害調査報告 平成 21 年 (2009 年) 2 月 24 日から 28 日にかけて九州西岸を中心に発生した潮位の副振動に関する現地調査，21p., 2009。
- 3) Hibiya, T. and Kajiura, K.: Origin of the Abiki Phenomenon (a kind of Seiche) in Nagasaki Bay, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol.38, No.3, pp.172-182, 1982.
- 4) 坂本圭, 山中吾郎, 辻野博之, 中野英之, 平原幹俊：次世代日本近海予測モデル MRI.COM-JPN によるあびきの予測可能性, 海と空, Vol.88, No.3, pp.85-98, 2013。
- 5) 齋田倫範, 早田政博, 山城徹：東シナ海上における気圧波の伝搬経路と九州西岸で生じる水位変動の関係, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.L175-L180, 2017。
- 6) Chen, C., Liu, H. and Beardsley, R. C.: An unstructured grid, finite-volume, three-dimensional, primitive equations ocean model: application to coastal ocean and estuaries, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol.20, pp. 159-186, 2003.
- 7) 山城徹, 齋田倫範, 中村大志, 鶴田拓也, 城本和義, 吉野広大：九州西方沖における海洋長波監視網の構築に向けた 2019 年冬季の水位の現地観測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.76, No. 2, pp.L61-L66, 2020。
- 8) 山城徹, 鎌田真希, 齋田倫範, 城本一義, 吉野広大, 中村大志：南九州西岸域における副振動と海洋長波の現地観測, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.77, No. 2, pp.L757-L762, 2021。
- 9) 松元明子, 城本一義, 吉野広大, 山城徹：海洋長波モニタリングシステムの構築, 九州地区 / 総合技術研究報告会 2022 佐賀大学, 2022。

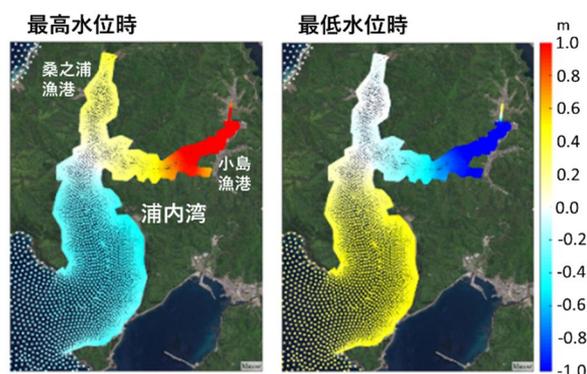


図-8 浦内湾において周期 12 分で発生する副振動の最高水位と最低水位の水平分布

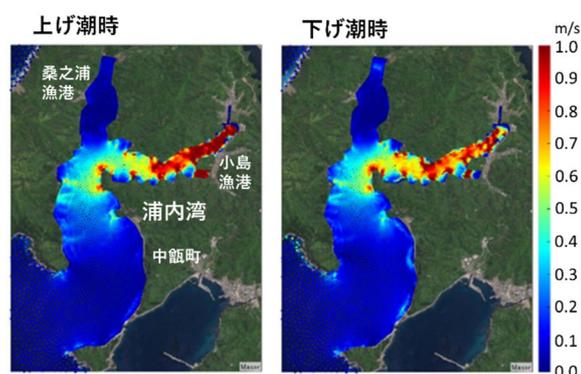


図-9 浦内湾における上げ潮時と下げ潮時の最大絶対流速の水平分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 山城 徹, 鎌田 真希, 齋田 倫範, 城本 一義, 吉野 広大, 中村 大志	4. 巻 77
2. 論文標題 南九州西岸域における副振動と海洋長波の現地観測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_757-I_762
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_1_757	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 山城 徹, 鎌田 真希, 齋田 倫範, 城本 一義, 吉野 広大, 中村 大志	4. 巻 77
2. 論文標題 南九州西岸域における副振動と海洋長波の現地観測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_757-I_762
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_1_757	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 T. Saita, T. Yamashiro	4. 巻 -
2. 論文標題 The Relation between Propagation Paths of Barometric Waves over the East China Sea and Sea-Level Fluctuations off the West Coast of Kyushu, Japan.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress 2020	6. 最初と最後の頁 -
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 -

1. 著者名 山城徹, 齋田倫範, 中村大志, 鶴田拓也, 城本一義, 吉野広大	4. 巻 76
2. 論文標題 九州西方沖における海洋長波監視網の構築に向けた2019年冬季の水位の現地観測	5. 発行年 2020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_61 - I_66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_1_61	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 山城 徹, 深田 茉莉, 齋田 倫範, 浅野 敏之, 城本 一義	4. 巻 75
2. 論文標題 海洋長波の監視網構築に向けた九州西方海域での水位の現地観測	5. 発行年 2019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_169-I_174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_169	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 齋田倫範, 澤井拓朗, 田井明, 橋本彰博	4. 巻 75
2. 論文標題 今津干潟における長周期水位変動と博多湾の振動特性の関係	5. 発行年 2019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_157-I_162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.75.I_157	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 -

[学会発表] 計4件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 松元明子, 城本一義, 吉野広大, 山城徹:
2. 発表標題 海洋長波モニタリングシステムの構築
3. 学会等名 九州地区 / 総合技術研究報告会2022佐賀大学, 2022.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山城 徹, 鎌田真希, 齋田倫範, 城本一義, 吉野広大, 中村大志
2. 発表標題 南九州西岸域における副振動と海洋長波の現地観測
3. 学会等名 第46回海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山城 徹, 深田 茉莉, 齋田 倫範, 浅野 敏之, 城本 一義
2. 発表標題 海洋長波の監視網構築に向けた九州西方海域での水位の現地観測
3. 学会等名 第66回海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋田倫範, 澤井拓朗, 田井明, 橋本彰博
2. 発表標題 今津干潟における長周期水位変動と博多湾の振動特性の関係
3. 学会等名 第66回海岸工学講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	加古 真一郎 (Kako Shin'ichiro) (60709624)	鹿児島大学・理工学域工学系・准教授 (17701)	
研究 分担者	齋田 倫範 (Saita Tomonori) (80432863)	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
---------	---------