

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02256

研究課題名(和文) 海浜システムを構成する動的平衡系の海面上昇・波向き変化に対する応答特性の予測推定

研究課題名(英文) Characteristics of response of coastal morphological system in dynamic equilibrium to the change of sea level and wave direction

研究代表者

由比 政年 (Yuhi, Masatoshi)

金沢大学・地球社会基盤学系・教授

研究者番号：20262553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地球温暖化に伴う海象変動(海水面、波向き等)の影響に着目し、石川県加越海岸を主な対象として、海浜地形の応答特性の推定や将来の海岸保全に関わる基礎検討を実施して、以下に示す一連の成果を得た。(1)過去の相対海面変化(海底面低下)に対する海浜地形の応答特性についてその特徴を明らかにした。(2)二方向漂砂機構や組織的砂州移動で特徴づけられる海浜システムに対して、予想される将来海象変化が、波浪伝達、海浜流、漂砂輸送に及ぼす影響に関する推定結果を得た。(3)将来の海面上昇、波浪変化に伴う、背後域への波浪遡上変化を推定するためのモデルを構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、世界各地の海岸において、主に人為的影響により土砂移動のバランスが崩壊した。さらに、地球温暖化に伴う海象変化が長期的に予想されており、順応的海岸管理に資する検討が求められている。本研究の内容は、多段砂州の大規模移動や漂砂方向の反転を伴う複雑な海浜システムにおいて、将来の海面上昇や波向き変化に対する応答を推定し、海象変動とそれに伴う地形変化が背後域の波浪災害に及ぼす影響を予測する上で有用な知見、モデルを提示するものである。

研究成果の概要(英文)：This study examined the influences of future sea-level rise and changes in wave climate induced by global warming. A series of analyses were conducted for the Kaetsu Coast, Ishikawa, Japan, to investigate the characteristics of the large-scale and long-term response of coastal morphology to the relative sea level rise (coastal erosion) and to estimate the influence of the change in wave direction and sea level on the wave transmission, coastal currents, and sediment transport. A series of results were obtained as shown below; (1) The characteristics of the morphological response of a multiple-bar coast to relative sea level change were clarified; (2) The effects of expected future sea-level changes on wave transmission, longshore currents, and sediment transport were estimated in a littoral cell with variations in dominant transport directions; (3) A model was developed that can efficiently estimate the change in wave run-up due to future sea level rise and the change in wave climate.

研究分野：海岸工学

キーワード：海浜変形 多段砂州 漂砂循環系 海面上昇 波向き変化

1. 研究開始当初の背景

過去において、地質学的な時間スケールに渡り、波浪・海浜地形間の相互作用が累積した結果、漂砂移動の流入出が長期的にバランスした動的平衡状態が確立され、地域固有の地質性情や海象特性に適合する海浜地形が発達した。これに対し、近年、世界各地の海岸において、主に広域流砂系の人為的改変(土砂移動の遮断等)により、漂砂の流入出バランスが崩壊し、過去に形成された動的平衡状態が失われて、深刻な海岸侵食が発現・進行した。海岸侵食が末期的状態に達している地域も存在するが、対策の多くは膠着状態にある。

こうした危機的状況に重畳して、将来の海浜システムに広域的・長期的なインパクトを与え得るもう1つの要因が、地球温暖化に伴う海象変化である。地球温暖化に伴う海象外力変動として最も注目を集めているものは海面上昇であり、高潮・高波災害、海岸侵食への影響が指摘されている。また、平均海面の上昇と併せて波浪特性も将来的に変化することが予測されている。波浪特性の将来変化では、高波災害に直結する波高変化が注目を集めやすいが、漂砂移動の面からは波向きの変動も重要である。長期海浜変形を支配する沿岸方向の漂砂輸送バランスは、汀線直交方向と波浪入射方向の相対関係に規定されるため、気候変動の影響下で波向きがわずかに変化することで、沿岸方向漂砂輸送の均衡が失われ(あるいは不均衡状態が悪化し)、海岸侵食が加速するリスクが懸念される。この種の長期海象変動に対する海浜システムの応答はその兆候が観察され始めた初期段階であることから、継続的注視を行って解明の糸口を模索し、順応的海岸管理手法の構築へ向けた検討に着手する必要がある。

動的平衡状態を喪失した海浜システムは、長い緩和時間を経た後に、当初とは異なる新しい動的平衡状態へ遷移・収束すると考えられる。この遷移応答過程に的確に対処し、許容可能な範囲にその変化を収束させるためには、基礎検討として、既存の(あるいはかつて存在した)海浜システムの動的平衡系の特性や、過去の人為的インパクトへの応答履歴、顕在化しつつある海象変動への応答の兆候について、代表的特徴を有する海岸を対象にその様相を見極めて比較対照し、工学的な知見を蓄積して、将来予測・適応への活用を図ることが有効である。上記の観点から、本研究では、顕著な人為的改変による長期侵食の影響下にあり、波向き変動の兆候も観察されることに加え、海浜応答解析の基礎となる長期・広域観測データが豊富に蓄積されている石川県加越海岸を対象として選定し、多角的視点から将来海象変化の影響に関する一連の解析を行う。

2. 研究の目的

本研究では、地球温暖化に伴う海象変動として、海面上昇と波向きの変化に着目して、海浜システムの応答特性の解析、および、対応する波浪伝達、海浜流、漂砂移動特性への影響推定を行う。合わせて、海浜システムや周辺域への将来影響評価に活用可能なツールの開発に関わる基礎検討を実施する。対象海岸として石川県加越海岸を選定し、その海浜地形システムを特徴付ける2つの要素、即ち、組織的移動を行う多段砂州システムおよび漂砂移動方向の反転を伴う二方向漂砂機構に着目して一連の解析を行う。その主な目的は、(1)過去の人為的インパクトによる相対的海面上昇(海底面低下)に関するアナロジーや海象変動の初期影響解析等に基づいて海浜地形システムの特徴的応答特性を明らかにし、将来予測・適応に資する知見を獲得すること、(2)未解明な点が多く残存する二方向漂砂場や砂州の組織的移動の内部機構に関する知見を深めるとともに、予想される将来海象変化が、波浪伝達、海浜流、漂砂輸送に及ぼす影響を体系的な数値解析により推定すること、(3)将来の海面上昇、波浪変化が背後域への波浪遡上に及ぼす影響を効果的に推定することが可能なモデルを構築し、その特性を推定することである。

3. 研究の方法

(1)相対海面変化に対する海浜地形システムの応答特性

近年の流砂系の人為的改変により、多くの海岸で急速な侵食が進行し、海底地盤高が低下した。海底地盤高の低下は海面上昇と相対的に等価と考えると、過去に進行した海底面低下に対する海浜応答のアナロジーとして将来的な海面上昇の影響を推定できる。こうした観点から、長期広域現地観測データの多角的解析を行うこととし、海底地形を基準地形(時間に関する移動平均地形)と組織的な砂州変動成分とに分解して、個々の特性の変化や両者の相関を解析した。

海浜地形システムの応答特性解析にあたっては、相対海面変化の規模(土砂供給河川からの距離により異なる)や相対位置(河口両岸において沿岸漂砂の上手側・下手側いずれに位置するか)に応じて、適応変動の規模や速度、応答変化の開始・収束のタイミング、緩和時間等の特徴がどのように影響を受けるかを解析した。また、海浜地形変動を土砂供給河川に関する対称成分と反対称成分に分解することで、土砂供給減少(相対海面変化)と沿岸漂砂方向の影響を分離して推定することを試みた。まず、過去の海岸侵食(相対海面変化)に伴う海浜土砂量の変化特性を把握し、その影響下における基準地形(等深線位置)および多段砂州の形成・移動形態の変化、さらにはそれらの相互関係に着目して解析を行い、その特徴を明らかにした。

(2) 海浜システムの応答遷移による波浪伝達特性の変化

海浜応答による地形変化により、入射波浪の伝達特性がどのように変化するかを明らかにするために、砂州システムが有するエネルギー減衰効果の長期的変遷を数値解析により算定し、応答前後の砂州が有する減衰効果の違いを推定した。また、相対海面変化の規模の異なる領域において波浪伝達解析を実施し、両者の特性を比較することで、後背海浜への影響の違いを検討した。

(3) 特徴的地形変化の内部機構

空間的、時間的に漂砂主方向が反転する、対象海岸の二方向漂砂特性については、沖合海岸流や広域土砂動態を含めて、未解明の点が多く残されている。そこで、近年の観測値および長期海洋再解析データを活用して、加越海岸の海岸流特性と季節変化、年々変動解析を実施した。また、二方向漂砂場の内部機構に関して、数値解析および現地調査データに基づいて、近年の土砂動態や土砂収支を推定し、砕波帯および沖合における漂砂方向の逆転や土砂循環等について、その特性を検討した。合わせて、砂州変動と岸沖漂砂機構との関連についても理論的検討を行った。

(4) 将来海象変動と漂砂移動に及ぼす影響の推定および気象変動との相関解析

将来予想される海象変動の特性解明の一環として、当該海岸を対象とした波浪に関する将来予測数値計算結果に基づいて、現在気候(2000-2010年)および将来気候(2060-2070年)の2つの状況下における波高・周期・波向き の出現特性および気候変化に伴う将来変化解析を行って、その特性を整理し、予想される波向き変化が漂砂輸送にどのような影響を及ぼしうるかの推定を行った。また、長期波浪推算及び気象予測計算結果の相関解析を行って、冬季高波浪の波浪特性(波高、波向き、継続時間等)の変化と海上風特性との関連について検討した。

(5) 海象変動・地形変化の影響推定に関する基礎的検討

海象変動の将来影響予測の一環として、多段砂州の発達規模や配置が異なる地形を対象に、入射波高や海面水位を体系的に変化させて波浪伝達特性の変化を解析し、漂砂移動への影響を合わせて検討した。また、海底地形の将来応答に伴う変化特性を推定するために、2種類のモデル地形変化(海底勾配の急峻化および砂州移動域の縮小)を想定して同様の解析を行った。

(6) 周辺地域へ及ぼす影響に関する試行検討

将来の海面上昇、波浪変化に伴って、周辺地域にも各種の影響が及ぶことが懸念される。本研究では、背後域への波浪遡上・越波災害への影響に着目することとし、海面水位や入射波浪諸元、海浜断面形状特性が将来変化した場合の不規則波の遡上高変動を評価するための予測推定モデルを構築し、海面水位、入射波浪、海底地形を特徴づける各種パラメータの影響を解析した。

4. 研究成果

(1) 相対海面変化に対する海浜地形システムの応答特性

加越海岸の土砂供給源である手取川周辺に位置する石川海岸を対象に、長期・広域深浅測量データに基づいて、土砂供給源からの距離や相対位置(沿岸漂砂主方向との関係)に着目して海底地形の長期・中期変化の解析を実施した。土砂量変動については、長期的には、全体に侵食・安定・回復の形で推移しており、侵食強度は河口からの距離で規定されること、トレンド変化のタイミングの違いは相対位置と関係することが明らかとなった。土砂供給減の影響は河口域付近で速やかに発現し、回復への変化は漂砂上手側で先行する傾向が見られた(図1)。等深線位置の変化トレンドの変遷はおよそ土砂量変動と対応し、河口付近では侵食期に、遠方では回復期に左右両岸の差が表出した。また、砂州移動範囲の変遷は河口からの距離により異なり、河口近傍で乱れが強く継続していた。最沖砂州峯位置の移動範囲は、沖合等深線(-5m、-7m)の長期的な変遷と良く対応することが示された(図2)。相対海面変化への応答では、その規模に応じて地形変化の応答規模も大きく変化すること、砂州配置については、等深線位置の後退と連動して移動範囲が岸寄りに移動するが、頂部水深については維持される傾向を有することが推定された。また、基準地形の等深線の変遷により砂州移動範囲の変遷を推定できることが示唆された。

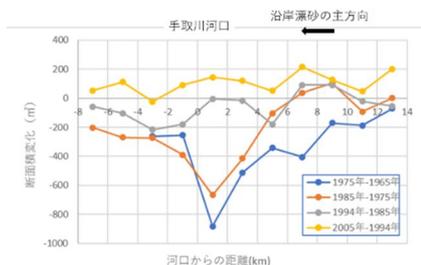


図1 沿岸長2kmごとに区分した領域における海浜土砂量変化と沿岸位置の関係

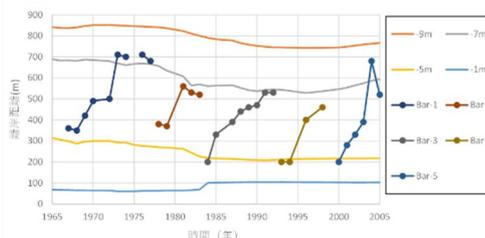


図2 砂州峰移動と基準地形等深線変化との関係例

(2) 海浜システムの応答遷移による波浪伝達特性の変化

多段砂州の組織的変動と波浪伝達特性の相互関係解明のための基礎検討として、長期地形観測データを対象にビジネス数値モデルを用いた体系的数値解析を行い、砂州配置変化が波浪伝達特性に及ぼす影響を検討した。まず、同一波高の波が異なる砂州地形に入射した場合、岸沖方向波高分布に顕著な変動が生じることを示した(図3, 4)。さらに、年最大規模の入射波浪を考えた場合、その波高が年によらず一定と仮定しても、最沖砂州背後域への伝達波高は、砂州配置の組織的変動に規定される形で周期的に変化し得ることを明らかにした。これより、将来的な海象変化により、砂州配置等に代表される海底地形の顕著な変動が誘起された場合、波浪伝達特性は強く影響を受けることが推定された。

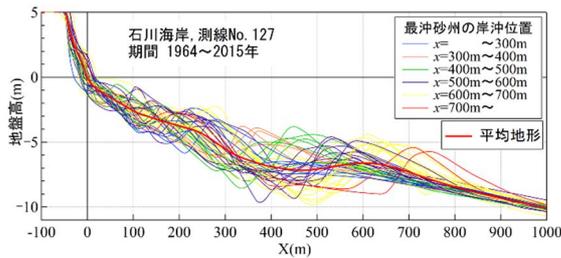


図3 1960～2015年の海底地形変動例

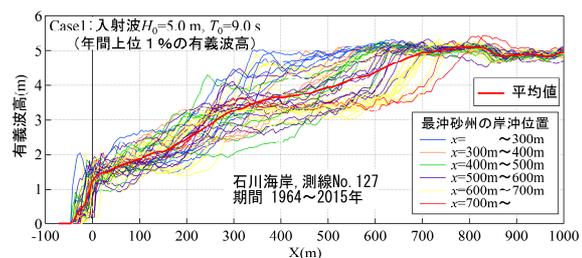


図4 対応する有義波高分布の変動例

(3) 特徴的地形変化の内部機構

加越沿岸の広域流況の基本特性把握の一環として、碎波帯沖の沿岸方向流れの変化特性を明らかにするために、長期海洋再解析値と定点観測記録を用いて解析を行った。その結果、海岸線に沿った北東方向の流れが陸棚上を流心として発達することを明らかにした。また、碎波帯沖(水深15m)では、岸沖方向に比べて沿岸方向の流れが卓越し、その変化は、波エネルギー、風速、陸棚上流れの影響を受けることが確認されたことから、これら諸量の将来変化特性を注視することの重要性が示唆された。また、数値解析および現地調査データに基づいて、当該海岸における近年の土砂動態や土砂収支を推定し、碎波帯および沖合における漂砂方向の逆転や土砂循環等についてその特性を推定した(図5)。

合わせて、砂州地形と岸沖漂砂フラックスの相互関係が局所地形の時間発展に及ぼす影響について理論解析を行い、砂州峯(谷)周辺の局所地形の時間発展特性(移動方向、発達・減衰)の変化を予測する上で、地形変動と漂砂フラックス分布それぞれのピーク地点における2階微分値の大小関係や符号の組合せ、両地点の相対岸沖位置を推定することが重要となることを示した。

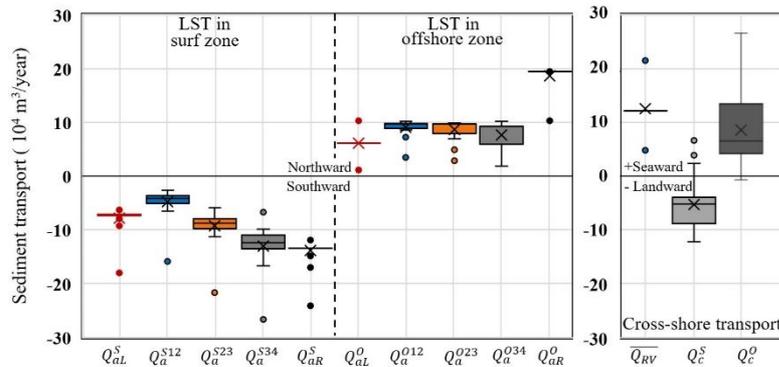


図5 碎波帯および沖合における沿岸漂砂量の推定結果および岸沖漂砂の推定例

(4) 将来海象変動と漂砂移動に及ぼす影響の推定および気象変動との相関解析

海象変動特性の将来変動予測の一環として、加越海岸を対象とした長期波浪推算及び気象予測計算結果を解析し、現在および将来気候下で予想される冬季高波浪の波浪特性(波高、波向き、継続時間等)の変化や海上風特性との関連について解析を行った。冬季波浪の推算値について、観測値とのバイアス補正を行った後に、波高・波向・周期について将来変化特性を解析した結果、将来気候では、多くのモデル予測結果において、波向きが現在より西寄りに変化することが推定された。沿岸波浪エネルギーにおいても、現在気候と比較すると増加傾向が見られた。沿岸流速については、3つのモデルにおいて、将来的に沿岸流速や漂砂移動の増加が推定された。ただし、波向きの変化によっては、沿岸漂砂量は大きく減少しうることも示された(図6)。また、金沢沖の波浪諸元と日本海域の海上風データの相互相関解析を行って、高相関地点の経時変化を解析し(図7)、現在気候および将来気候における波浪発達特性に影響を及ぼす海上風吹送領域の変化を推定することができた。

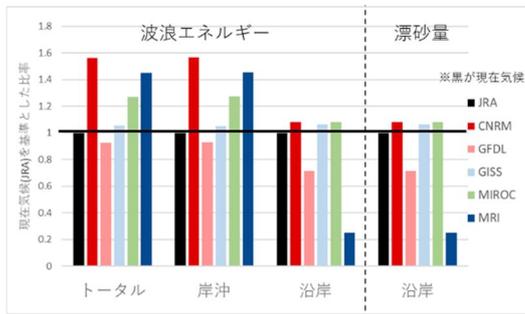


図6 将来および現在気候の比較例

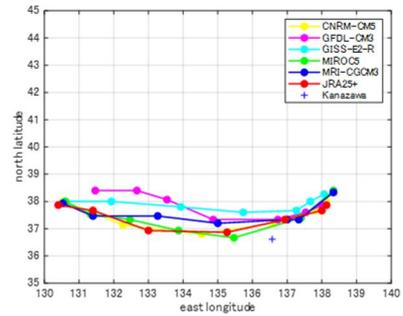


図7 海上風・波高の相関極値軌跡

(5) 海象変動・地形変化の影響推定に関する基礎的検討

将来予想される波高変化や海面上昇が波浪伝達や漂砂特性に及ぼす影響に関して、体系的な数値解析を行ってその特性を検討した。まず、異なる波高の波が同一砂州地形に入射した場合を比較し、多段砂州の存在が入射波高の影響を緩和する形で波浪伝達に作用することを示した(図8)。これより、将来的な入射波高の変化は、砂州海岸においては(その地形変化が顕著でなければ)伝達過程でその影響が軽減されることが推定された。また、砂州周辺での波高減衰率は、頂部水深と入射波高の比で良く整理できることを示した(図9)。これにより、海面上昇による砂州頂部水深の変化が波高減衰に及ぼす影響を推定できる。海面上昇の影響に関しては、水位上昇量に比例する形で砕波後の波高が増加することが、海底地形形状によらず推定された。

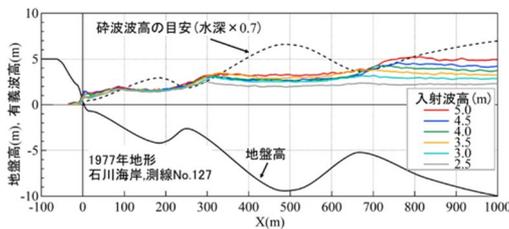


図8 砂州地形の有する波浪制御効果の例

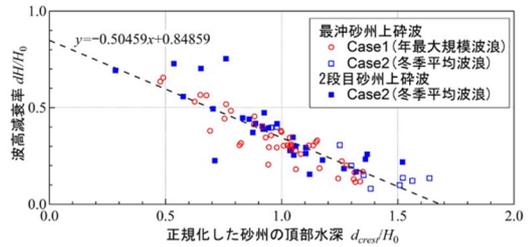


図9 砂州頂部水深と波高減衰の関係

(6) 周辺地域へ及ぼす影響に関する試行検討

将来予想される海面上昇、海浜地形、波浪特性の変化に伴う、海浜背後域への波浪遡上特性の変化の推定に活用可能な予測モデルの構築を行った。前面に砂浜を有する砂丘・海岸構造物への不規則波の遡上を対象として、まず、砂浜の有する遡上低減効果について経験的なモデル化を行った。既往の数値実験結果を体系的に再解析することにより、無次元化された遡上高、砂浜(バーム)幅、海面水位、沖波波高勾配の関係を詳細に検討した。一連の回帰分析の組み合わせにより、経験的な遡上低減モデルを作成し(図10)、その適用性を検証した。さらに、このモデルを打上げ・越波統合推定モデルに実装し、広い範囲に渡って精度よく遡上高を推定できることを検証した。このモデルにより、将来の海面水位上昇や地形変化、波浪変化が背後域への波浪遡上に及ぼす影響を効率的に推定可能である。

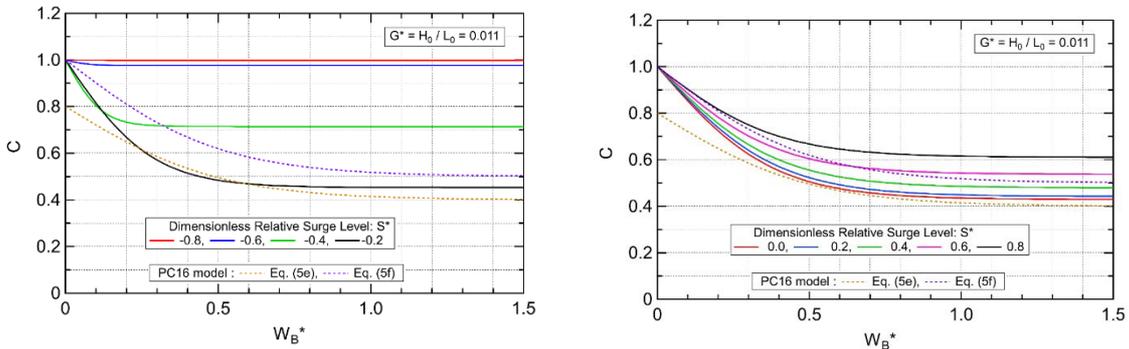


図10 砂丘・構造物前面地形および海面水位による打上げ高低減率の変動モデル

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 3件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 M. Yuhi, H. Mase, D.T. Cox, and H. Park	4. 巻 176
2. 論文標題 Improvement of empirical formulas to estimate the reduction effects by berms on irregular wave runup over a dune-berm coast	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Coastal Engineering	6. 最初と最後の頁 104166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coastaleng.2022.104166	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 T. Thunyaphun, S. Umeda, and M. Yuhi	4. 巻 11
2. 論文標題 Sediment Budget and Net Sediment Transport on a Coast Dominated by Waves and Offshore Currents: A Case Study on the Ishikawa Coast and Its Surrounding Areas in Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jmse11030621	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 榎田真也, 有田守, T.Thunyaphun, D.G.Nhu, 由比政年	4. 巻 78
2. 論文標題 石川海岸における海底表層土砂の粒度組成の空間変化と沖合地形変化	5. 発行年 2022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_583-I_588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.78.2_i_583	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 由比政年, 徳永紗彩子, 榎田真也	4. 巻 77
2. 論文標題 砂州地形と岸沖漂砂フラックスの関係が砂州の移動・発達特性に及ぼす影響	5. 発行年 2021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_607-I_612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_607	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 榎田真也, 二宮順一, 有田 守, 由比政年	4. 巻 77
2. 論文標題 石川海岸における砕波帯沖の流れの季節変化と風・波・海流との関係性	5. 発行年 2021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_355-I_360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_355	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 村田祐太, 由比政年, 榎田真也	4. 巻 76
2. 論文標題 多段砂州の組織的移動が波浪伝達特性に及ぼす影響に関する基礎的研究	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_649-I_654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.76.2_I_649	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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 由比政年, 山崎真志, 榎田真也
2. 発表標題 石川海岸の長期・中期地形変化と土砂供給源との位置関係に関する基礎的研究
3. 学会等名 第69回海岸工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北村 健, 由比政年, 谷口健司
2. 発表標題 金沢沖に來襲する冬季高波浪と海上風との関連に関する研究
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井田岳志, 由比政年, 榎田 真也
2. 発表標題 波向きの季節変動を伴う海岸における地形変動・漂砂 移動特性に関する基礎的研究
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Do Quynh Nhu, 榎田 真也, 有田 守
2. 発表標題 Study on Spatial Variation of Grain Size of Seafloor Sediments around Ishikawa Coast
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大屋寛人, 由比政年
2. 発表標題 石川海岸の中・長期的地形変化が波浪伝達特性に及ぼす影響に関する基礎的研究
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎真志, 由比政年
2. 発表標題 石川海岸における海底地盤高の長期変動と多段砂州移動の基本特性
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 帯刀大樹, 佐々木健太, 榎田真也, 二宮順一
2. 発表標題 石川海岸の砕波帯沖の流れの発達と外力との関係性
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木健太, 帯刀大樹, 榎田真也, 二宮順一
2. 発表標題 FORP長期海洋再解析データを用いた加越沿岸の広域流況の季節変動特性
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022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	榎田 真也 (Umeda Shinya) (30313688)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授 (13301)	
研究分担者	谷口 健司 (Taniguchi Kenji) (20422321)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授 (13301)	
研究分担者	二宮 順一 (Ninomiya Junichi) (20748892)	金沢大学・地球社会基盤学系・助教 (13301)	

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			
米国	オレゴン州立大学	ハワイ大学		