

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 11 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560535

研究課題名（和文）流砂系内における港湾建設の長期的・広域的影響の解明と新しい港湾設計手法の開発

研究課題名（英文）Long-term influence of port construction on coastal watershed and development of a new design method for port entrance

研究代表者

由比 政年（YUHI MASATOSHI）

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：20262553

研究成果の概要（和文）：手取川広域流砂系を対象に、長期地形変動に対する統計解析を実施し、港湾・海岸構造物建造前後の変遷を比較対照して、人為的影響下における適応過程を示した。また、海底掘削により、屈折作用に基づいて波向きを制御し、港内を静穏化する手法を提示して、期待される効果や適用限界を明らかにした。合わせて、ネットワークカメラを活用した海浜地形の自動観測システムを開発し、低コストの長期連続観測手法を確立した。

研究成果の概要（英文）：We clarified the strong influences of anthropogenic modification including port construction on the morphological variations in an integrated watershed composed of the Tedoru River and the Kaetsu Coast on decadal scales. Additionally, we proposed a new wave-control method to attenuate the incident waves to port entrance by deeply dredging a navigation channel. Furthermore, we developed a local remote sensing system to measure the coastal morphology on sandy beaches in a cost efficient way.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：海岸工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：流砂系、港湾、人為的影響、海浜変形、波浪制御、モニタリング、海岸侵食

## 1. 研究開始当初の背景

海岸侵食の悪化による沿岸域の防災・環境機能の低下は、多くの先進国、発展途上国に共通の懸案課題である。一般に、海岸侵食の進展は、土砂移動の流入・流出のアンバランスから生じ、自然外力の変化（気象・海象条件）や人為的なインパクト（人工構造物の建

造や土地利用形態の変化等）など複雑な要因に支配される。

人為的インパクトが沿岸域における地形変動に及ぼす影響は、1980年代以降、国内外で検討されてきた。しかしながら、問題の複雑さおよび観測データの不足などの要因により、未解明の点が多く残されているのが現状である。国外では米国カリフォルニア州、

国内では天竜川水系などで、先駆的な取り組みが開始されているが、従来の研究の大部分は、局所的な領域における、数年程度までの短期・中期的変動を対象としており、広域流砂系を考慮した長期スケールの検討や報告例は、国内外ともにいまだ希少である。

海岸侵食に対する人為的インパクトの影響は、20世紀後半以降、加速的に拡大している。こうした人為的なインパクトの代表的なものとして、以下の点を挙ることができる。

- (1)ダム等の水理構造物の建造や河川における砂利採取による供給土砂の減少、
- (2)港湾・海岸構造物建設による漂砂系の遮断と土砂収支のアンバランス、
- (3)港湾等における浚渫土砂の流砂系外への持ち出しによる土砂量の減少。

研究代表者らは、これまでに、上記(1)に着目して、河川からの土砂供給の量と質の変化が周辺海岸の侵食過程に及ぼす影響について、複合的視点から検討を進めてきた。合わせて、海底地形を改変することで、港湾周辺の波浪を制御し、港湾へ侵入する土砂量を軽減することで、浚渫による土砂の持ち出しや構造物による土砂移動の遮断を未然に防ぐための基礎的検討を水理実験・数値計算の両面から進めてきた。

研究代表者らは、このような研究成果の蓄積をベースに、上記(2)、(3)に着目して、従来の流砂系研究をさらに多角的、広域的に発展させること、さらに、検討の良否を左右する継続的なデータ取得のための連続観測法や効果的な対策技術を確立することが重要であると着想するに至った。

## 2. 研究の目的

研究代表者らは、これまでに、日本海沿岸に位置する手取川―加越海岸の広域流砂系における土砂移動形態とその収支を、長期的・広域的視点から検討する一連の研究を実施してきた。こうした一連の研究の総合目的は、砂防・河川・海岸・港湾といった、従来の学問体系を越えた検討を実施し、長期かつ広域の土砂移動および地形変動特性を明らかにすることである。

本研究は、以上述べたような全体構想の一部として、港湾の建設や維持管理が広域流砂系の変動に及ぼす影響を、長期時間スケール・広域空間スケールにわたる視点から検討し、人為的なインパクトが流砂系に及ぼす影響に関する一連の研究をさらに発展させることを目指すものである。同時に、将来の健全な土砂管理に向けて、港湾建設に起因する土砂収支問題に対する新しい対策手法を提示し、広域・長期解析の精度向上に必要なデータ取得技術を発展させることを試みる。

申請期間内における本研究の目標は、以下

のようにまとめられる。

- (1)従来、40年間に渡って蓄積されてきた現地観測データを有効活用し、沿岸地形の長期変動の特性とその変化を解析して、港湾建設による影響が、どのように周辺地域へ波及し、広域的・長期的変化をもたらしたかを明らかにする。
- (2)港湾建設が流砂系に及ぼすインパクトを軽減するために、人工構造物に過度に依存しない新しい港湾開発手法を構築する。ここでは、海底地盤を局所的に掘削して海底地形を改変することで、凹レンズ型の屈折効果により波浪・底質制御を行う手法を開発する。また、本手法を補完し得る対策技術として、浮体型消波堤を用いた港内静穏化および土砂制御技術の開発を合わせて試みる。
- (3)IT技術を援用し、沿岸地形の長期変動に対する簡易な現地観測手法を確立することで、長期的な変動解析を継続的に行うための基盤を充実させる。このための手法として、近年発展が著しいネットワークカメラと高速回線を利用し、きめ細かな制御を行って、地形変化の連続観測を安価かつ自動的に実施するためのシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

上述の研究目標を達成するために、本科学研究費の申請期間中に、以下の3つの研究課題を設定して研究を行った。

- (1)港湾建設が広域流砂系へ及ぼすインパクトに対する周辺海岸の特徴的応答、すなわち、人的影響下における新しい平衡状態への遷移・適応過程を長期的、広域的視点から解析すること。
- (2)海底地盤を局所的に掘削し、凹レンズ型の屈折効果により波向きを制御すること、および、ダブルバリア型の浮消波堤を有効活用することで、港湾、航路への波浪および土砂の侵入を軽減するための新しい手法を開発すること。
- (3)IT技術（ネットワークカメラ＋高速回線）を活用した、簡易かつ安価・安定な海浜地形の連続自動観測技術を確立すること。

上記(1)については、40年以上の長期間蓄積されてきた海岸深淺測量の結果（加越海岸）を活用して、地形変動に対する統計解析を実施した。ここでは、経験的固有関数法（EOF）等を用いて、広域的・長期的変化を解析し、基本となるモードとその特徴の解析を行うとともに、解析結果と港湾・海岸構造物の建設に関わる人為的インパクトとの相関を検討した。解析にあたっては、汀線位置・土砂量変動等の指標に加えて、外浜地形

の変動を特徴付ける沿岸砂州の挙動に着目して、人為的干渉による新しい平衡モードへの適応・遷移過程を解析した。

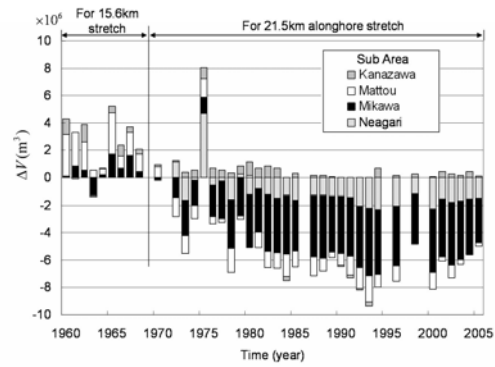
上記(2)に関しては、まず、船舶航路を対称型(V字断面型)に掘削して地形を改変し、波浪制御を行う手法(V字型航路掘削)、および、非対称型に掘削する手法(フレネルレンズ型掘削)の2種類を想定し、掘削位置や形状による波浪・底質の制御効果を明らかにすることで、最適な掘削法を探求することを試みた。検討にあたっては、実験的検討に加えて、緩勾配方程式および拡張型ビジネス方程式を活用した体系的な数値解析を行った。続いて、港湾防波堤の開口部あるいは背後域を局所的にトレンチ掘削する場合の波浪制御の有効性について検討を行った。ここでは、先と同様な数値解析により、規則波・不規則波それぞれに対する静穏化効果や有効適用範囲を明らかにした。並行して、浮消波堤を用いた港内の静穏化効果について、平面的な波高減衰特性および消波堤周辺の流動特性を実験および数値解析から検討した。

上記(3)に関しては、ネットワークカメラを海岸近傍の高層建築物屋上に設置し、高速回線を経由した自動連続観測の試行を行った。最初に、カメラによる汀線位置の推定に関して、トータルステーション測量やGPS測量の結果と比較した定量的検討を行い、観測手法の精度および定量的有効性を検証した。続いて、構築したシステムを漁港建設の影響を受ける石川県鉢ヶ崎海岸に適用して、沿岸地形や碎波、海浜流に関する連続観測を実施し、汀線位置の中期的変動、および、ビーチカスプや沿岸砂州の時空間変動特性の解析を行った。

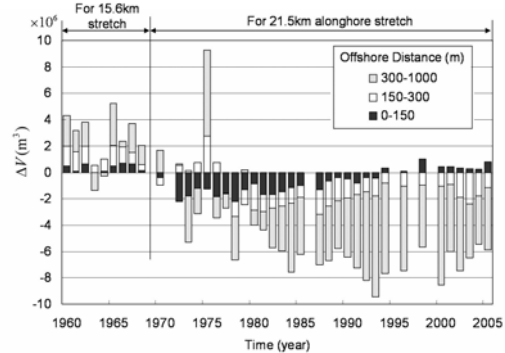
#### 4. 研究成果

##### (1) 長期観測データに対する統計解析に基づく海岸地形変化の広域的解析

石川県手取川流砂系を対象に、長期間蓄積されてきた海岸深淺測量の結果(加越・石川海岸)を活用して、地形変動に対する統計解析を実施した。図-1は、金沢港の南西側に位置する石川海岸(沿岸方向21.5km範囲)を沿岸方向(a)および岸沖方向(b)に区分して、1969年を基準とした海浜土砂量の変動を解析した例である。河口付近の地区(美川)で著しい侵食が進む一方、沖合いの北向き漂砂が金沢港西防波堤で遮断される金沢工区では、安定・堆積的な傾向が見られるなど、港湾建設が長期間に渡って影響を及ぼし続けていることが確認できる。岸沖方向では、海岸構造物背後の領域で侵食傾向から堆積傾向への転換が見られ、構造物設置の局所的効果が確認されるが、一方で、構造物沖合では、



(a) 沿岸方向領域の比較



(b) 岸沖方向領域の比較

図-1. 1969年を基準とした海浜土砂量の変化

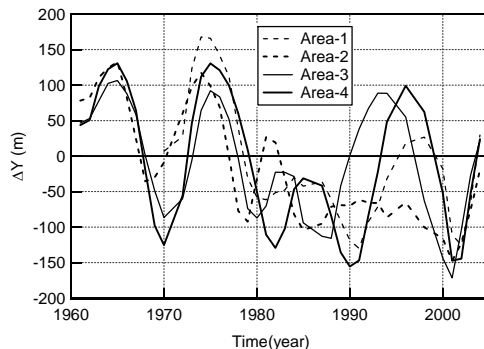


図-2. 沿岸方向4領域の砂州頂部位置変動

侵食が継続していることがわかる。このような検討に加えて、長期汀線変化および地盤高変化速度の解析を行い、港湾・海岸構造物建造前後の変遷を比較対照して類型化を行った。さらに、加越・石川海岸で大規模に発達し、外浜の地形変動を特徴付けている沿岸砂州に着目して、構造物建造や土砂量の減少による影響など、人為的影響下における新しい平衡モードへの適応・遷移過程について解析を行った。その結果、石川海岸における外浜地形変動は、10年スケールで繰り返される組織的な沿岸砂州の周期的移動により特徴付けられること、また、河川・海岸・港湾構造

物等の人為的インパクトの影響は、1980年代に最も顕著となり、2000年代にかけて、新しい変動レジームへと適応・遷移しつつあることを明らかにした。図-2は、沿岸砂州頂部位置の経年変化を解析した例であり、前後のサイクルに比較して、1980年代の乱れが顕著に現れている。

並行する形で、金沢港北東側に位置し、港湾建設の影響を強く受ける北部加越海岸を対象に沿岸方向位置による変化に着目して海底地形、汀線位置、土砂量変動等の解析を行った。その結果、港湾建設による顕著な影響が確認された。対象領域の南側では汀線が回転する形で変動しており、金沢港隣接地域で局所的な堆積、その北側では顕著な汀線後退が確認された(図-9)。港湾防波堤により漂砂上手側からの供給が減じられた領域北部においても加速的な汀線後退が見られた。また、こうした人為的影響下にある海浜の変動は複雑な様相を呈することも確認され、海浜土砂量変化の分布は全体に汀線位置変化と対応するが、領域北側にかけては、汀線が後退しているにもかかわらず、土砂量は微増・安定傾向を示すなど、汀線近傍と沖側で地盤高変動の傾向に相違が見られた。

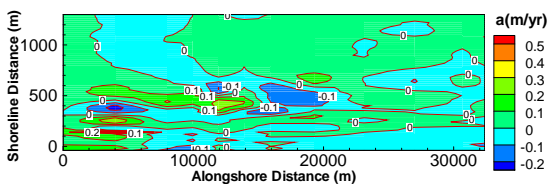


図-3. 北部加越海岸における地盤高変化速度の空間分布

(2)掘削型地形改変を活用した波浪制御による港内静穏化手法の開発

海底地形をV字状に掘削して地形を改変し、屈折作用を発生させることで波浪制御を行って港内を静穏化する手法(図-4)の有効性について検討し、広い範囲の入射波条件(周期、波向)に対して、緩勾配方程式を用いた体系的な数値解析を行って(図-5)、期待される効果や適用限界等を明らかにした。その主要な成果は以下のようにまとめられる。入射波周期5~7s付近を境界に、V字型掘削航路の波高低減効果は大きく変化する(図-6)。周期7s以上の入射波に対しては、顕著な波高低減効果が認められる。一方、周期6s以下の入射波に対する効果は小さい。入射角0~30度の範囲では安定して波高減衰効果が認められる。一方、入射角が30度を超えると減衰効果は急減する。本研究で対象とした

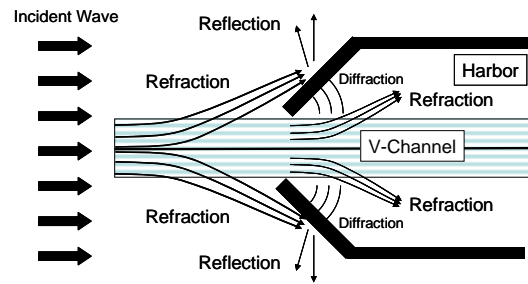


図-4 V字型航路掘削による波浪制御の概念

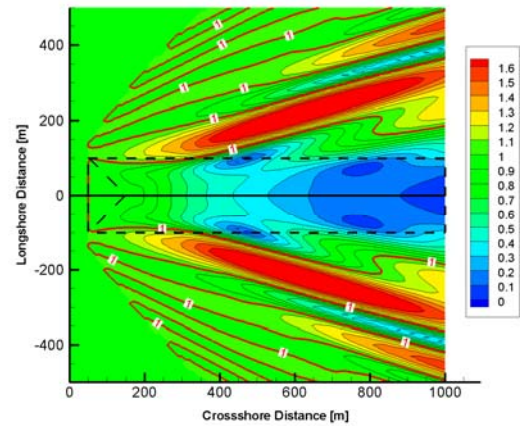


図-5 入射角0度での波高分布図(航路位置は破線で表示)(周期8s)

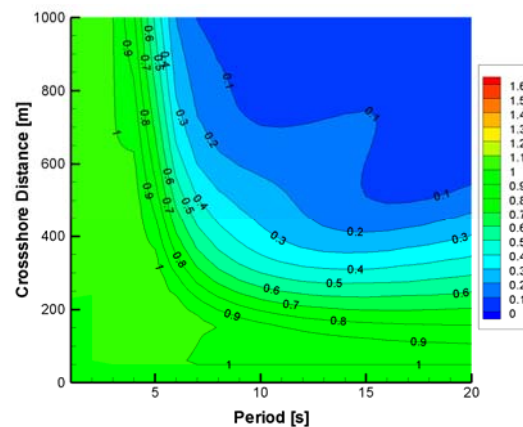


図-6 入射波周期、航路中心線上距離と波高の関係図(入射角0度)

条件下では、航路長が概ね300m以上あれば、入射波周期7s以上、入射角30度以内の範囲において、50%程度の波高減衰効果が期待できる。V字型断面の航路掘削は、台形断面の場合と比較して、入射波周期・入射角に関する有効適用範囲を拡大するために有効であり、特に、入射角に対する制約条件を緩和する上で大きな効果を発揮することを示した。

同様に、港湾防波堤の開口部あるいは背後域を局所的にトレンチ掘削し、屈折作用を発生させて港内を静穏化する手法について数



值的検討を行った。モデル地形に入射する規則波を対象とした解析から、トレンチ背後域において航路掘削と同様な波高低減効果が認められた。一方、中小規模のトレンチでは、屈折波の重合により波高が増大する領域に注意が必要なことも確認された。また、不規則波に対する波高低減率は規則波に比べ平均的に小さくなることも確認された。現地地形を対象とした解析では、入射波向きにより効果は限定的となり、広範な入射角に対応するためには、今後、掘削規模や形状についてさらなる検討が必要とされる。

海底掘削による波浪制御は比較的周期の長い風波を対象としているため、この手法を補完する意味で、短周期波浪に有効な、浮消波堤を用いた港内の静穏化効果について検討を行った。杭係留式の浮消波堤としてダブルバリア型浮消波堤を取り上げ、平面模型実験を行って、入射波向きおよび回折波の影響による平面的消波特性を検討した。その結果、波向きに関わらず、浮体可動条件と比べて固定条件の方が、反射率が大きく背後域が静穏化されることがわかった。また、斜め入射の場合には、可動条件で波高低減効果の改善が見られた。平面的な波高低減効果をより詳細に解析するために、エネルギー平衡方程式およびブジネスク方程式に基づいた数値モデルを開発しており、予察的な結果は定性的に良好な結果を与えている。今後、この数値モデルを活用して浮消波堤の港内最適配置に向けた検討を進める予定である。

### (3) ネットワークカメラを用いた海浜地形変化の連続自動観測技術の確立

ネットワークカメラを用いた海浜地形の観測システムを構築し、石川県珠洲市鉢ヶ崎海岸に適用して高速回線を経由した自動連続観測の試行を進めた。現在、ネットワークカメラ1台を珠洲ビーチホテル屋上に設置し、約2 kmの範囲の汀線付近を連続撮影して、海面の様子や海浜地形変動に対する長期自動観測を継続実施している。ネットワークカメラは、汀線より水平距離約160 m、高度約36 mの地点に、ノート型PCおよびネットワーク周辺機器とともに設置されている(図-7)。本システムは基本的にメンテナンスフリーである。観測カメラは10分毎に撮影角度を変更し、1時間で6方向の画像を取得する。撮影は日の出から日没まで行われる。カメラの自動制御は Visual Basic および開発用のソフトウェアを用いて行われている。画像はVGA規格(640×480画素)で保存される。撮影画像をオルソ画像に変換する際に生じる位置推定誤差は観測距離に対して0.11~0.24%であり、画像解析により抽出された汀

線とトータルステーションによる観測も定量的に良く一致した(図-8)。これらにより、ネットワークカメラを利用した画像観測手法は、汀線変動の解析に対して十分な精度を有することを示した。さらに、構築したシステムを活用し、汀線位置の中期的変動、ビーチカuspおよび沿岸砂州について時空間変動特性の解析を行った(図-9)。その結果、これまでの観測および解析により、1台のカメラを用いた手法でも、複数台のカメラを活用した従来のARGUSビデオモニタリングシステムと同様に短期的・中期的な汀線変動や海底地形変動、および、入射波・海浜流特性を観測・解析できることを明らかにした。本手法は、従来の深淺測量と比較して低コスト・高頻度で、汀線や海底地形の変化等を観測可能となることから、今後の広範な活用が期待される。

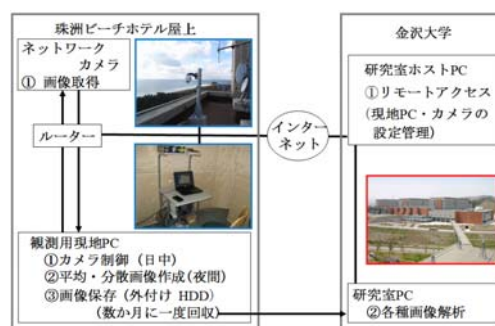


図-7 観測システムの概要

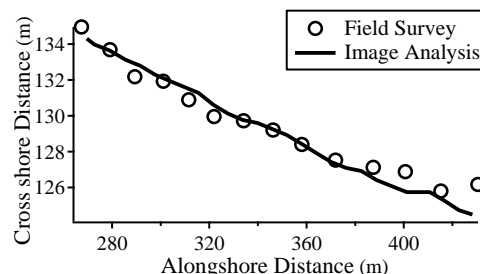


図-8 画像解析による汀線位置および測量による汀線位置の比較例

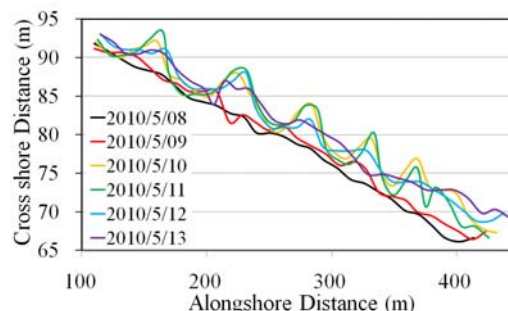


図-9 メガカuspの発達観察例

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① M. Matsuyama and M. Yuhi, Characteristics of Coastal Erosion on the Northern Kaetsu Coast, Ishikawa, Japan, Proceedings of the International Conference on Disaster Management, 査読有, in press.
- ② 黒崎弘司, 由比政年, 石田 啓, ネットワークカメラを活用した海浜観測システムの構築と石川県鉢ヶ崎海岸におけるカスプ地形解析への適用, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 査読有, 68(4), 印刷中.
- ③ 松山正之, 由比政年, 石田 啓, 北部加越海岸における海浜変動の沿岸方向変化に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 査読有, 68(4), 印刷中.
- ④ M. Yuhi and M. Okada, Long-term field observations of multiple bar properties on an eroding coast, Journal of Coastal Research, 査読有, 2011, SI64, 860-864.
- ⑤ 沖 和哉, 平野宗治, 四辻拓哉, 柿木哲哉, 由比政年, 山田文彦, 辻本剛三, ダブルバリア型浮消波堤における Cd 値および Cm 値の計測と平面波浪特性についての考察, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 査読有, 2010, .66(1), 726-730.
- ⑥ 印牧史人, 由比政年, 国田 治, 石田 啓, V 字型航路掘削による波浪制御とその有効適用範囲に関する基礎的研究, 海洋開発論文集, 査読有, 2009, 25, 725-730.
- ⑦ M. Yuhi, S. Umeda, and K. Hayakawa, Regional analysis on the decadal variation of sediment volume in an integrated watershed composed of the Tedoru River and the Ishikawa Coast, JAPAN, Journal of Coastal Research, 査読有, 2009, SI56(2), 1701-1705.

[学会発表] (計 8 件)

- ① 松山正之, 石川県河北・千里浜海岸における海浜変動特性に関する基礎的研究, 平成 23 年度土木学会中部支部研究発表会, 2012 年 3 月 8 日, 信州大学, 長野県.
- ② 平野宗治, ダブルバリア型浮消波堤の消波性能に関する数値計算, 平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会, 2011 年 3 月 4 日, 中部大学, 愛知県.

- ③ 黒崎弘司, 平成 21 年度土木学会中部支部研究発表会, 2010 年 3 月 1 日, 金沢工業大学, 石川県.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

由比 政年 (YUHI MASATOSHI)  
金沢大学・環境デザイン学系・教授  
研究者番号: 20262553

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

山田 文彦 (YAMADA FUMIHIKO)  
熊本大学・自然科学研究科・教授  
研究者番号: 60264280

榎田 真也 (UMEDA SHINYA)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号: 30313688