

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01538

研究課題名(和文) 気候変動による河川から海岸への土砂供給量変化を考慮した確率海岸線変化モデルの開発

研究課題名(英文) Development of a stochastic shoreline change model considering changes in sediment supply from rivers to the coast due to climate change

研究代表者

有働 恵子(Udo, Keiko)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号：80371780

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：砂浜は海岸線と並行・垂直方向の沿岸・岸沖漂砂および飛砂に加えて、山地から海岸への一連の土砂移動による河川からの土砂供給変化の影響を受けて変形している。特に河川からの土砂供給は沿岸漂砂に多大な影響を及ぼすことがわかっている。将来の気候変動の影響も含めた包括的な海岸管理を検討するためには、これらのモデルを結合し汎用的な長期砂浜予測モデルを開発することが必須である。本研究では、これらの各土砂動態モデルを構築して汀線変化モデルに組み込み、汀線・バーム・砂丘位置の推定が可能な将来長期予測モデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

砂浜は、豊かな生態系を育み、レクリエーションの場を提供すると同時に、災害時には内陸部への水の侵入を抑制する減災機能を有する貴重な空間である。一方で、将来は気候変動による波浪特性変化や海面上昇等が予測されており、沿岸域に人口と資産が集積する我が国をはじめ世界の低平地で、海岸侵食に伴う高波や高潮等の沿岸災害の増大により重大な影響が生じると考えられる(IPCC, 2013)。現時点でも既にその兆候は顕在化しており、生態系や人間社会への影響が大きい砂浜侵食の長期予測技術を開発することはその適切な管理を行う上で重要な役割を果たす。

研究成果の概要(英文)：Sandy beaches are deformed under the influence of changes in sediment supply from mountainous areas, through rivers, to the coast, in addition to coastal and offshore drift and blown sand parallel and perpendicular to the coastline. In particular, the sediment supply from rivers is known to have a significant impact on coastal sediment transport. For effective coastal management to adapt future climate change, it is essential to integrate these models and develop a long-term shoreline change model considering the sediment supply. In this study, each of these sediment dynamics models was constructed and incorporated into a shoreline change model to develop a future long-term prediction model capable of estimating shoreline, berm, and dune locations.

研究分野：海岸工学

キーワード：土砂収支 汀線変化 土砂生産 Cross-shoreモデル

1. 研究開始当初の背景

砂浜は、豊かな生態系を育み、レクリエーションの場を提供すると同時に、災害時には内陸部への水の侵入を抑制する減災機能を有する貴重な空間である。一方で、将来は気候変動による波浪特性変化や海面上昇等が予測されており、沿岸域に人口と資産が集積する我が国をはじめ世界の低平地で、海岸侵食に伴う高波や高潮等の沿岸災害の増大により重大な影響が生じると考えられる (IPCC, 2013)。現時点でも既にその兆候は顕在化しており、生態系や人間社会への影響が大きい砂浜侵食の長期予測技術やその適切な管理技術を開発することは喫緊の課題である。

砂浜は海岸線と並行・垂直方向の沿岸・岸沖漂砂 (図 1②③) および飛砂 (同④) に加えて、山地から海岸への一連の土砂移動による河川からの土砂供給 (同①) 変化の影響を受けて変形している (図 1 矢印参照)。特に河川からの土砂供給①は沿岸漂砂②に多大な影響を及ぼすことがわかっている。将来の気候変動の影響も含めた包括的な海岸管理を検討するためには、これらのモデルを結合し汎用的な長期変形予測モデルを開発することが必須である。

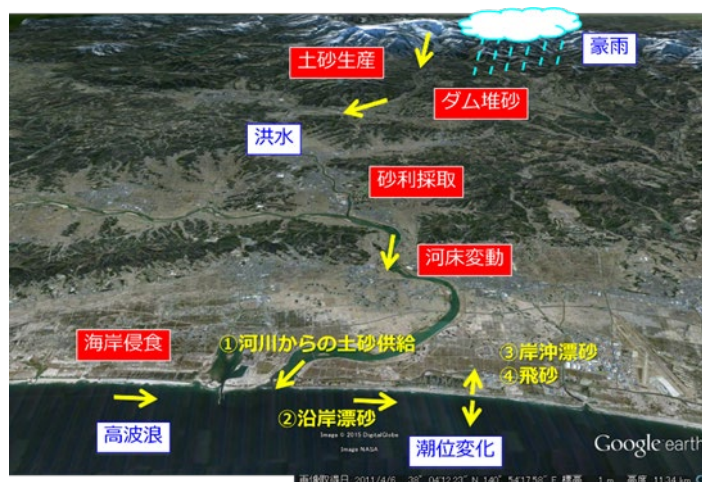


図 1 山地から海岸にかけての土砂動態およびこれに資する土砂諸量 (図中四角実線枠白字) とその外力 (同青字)。

2. 研究の目的

本研究では、上記の各土砂動態モデルを構築して汀線変化モデルに組み込み、現実的な将来長期予測が可能な汎用 1 次元汀線変化モデルを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

3.1 山地における土砂生産量の推定

山地における土砂崩壊量 SE の長期予測モデルとして、土砂流出強度に相当する効果を降雨、地形、土壌特性、ならびに土地利用条件から決定する土壌侵食モデル RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation; Renard, 1997; Benavidez ら, 2018) を用いることとした。降雨強度係数 R は Radar-AMeDAS 解析雨量 1km メッシュ 1 時間雨量データを用いた。土壌係数 K は、小原ら(2016) の 1/20 万日本土壌図を基に与えた。地形係数 LS には、国土数値情報の標高・傾斜度 3 次メッシュデータ(国交省, 2011)を用いた。作物係数 C と土地保全係数 P には Lazzari ら(2015)が提案した両者の積 CP -factor の値を採用した。

河道へ流入する土砂量 (土砂生産量 SY) は、 SE と土砂供給率 SDR の積で表され、 SDR は流域面積の累乗関数で表されるが、日本の河川流域における経験パラメータ α および β については研究が少ない。全国一級河川の各上流端ダム集水域における年平均実測土砂堆砂量を SY 、土壌侵食モデル RUSLE により算出した積算崩壊土砂量を SE として SDR 値を算出し、経験パラメータ α 、 β を決定した。

3.2 河川における土砂動態の推定

河川データが長期的に蓄積されている一級河川 (吉野川および阿武隈川) を対象に、竹林・藤田 (2011) の 1 次元混合粒径河床変動解析モデルを用いて、河川流や河床変動、流砂量を計算した。河道横断形状は一般断面とし、掃流砂量は芦田・道上の式 (1972)、浮遊砂の基準点濃度は Lane and Kalinske の式 (1941) を用いた。ここでは、吉野川の解析結果について記す。

吉野川の解析区間は、池田ダムから河口までの 77.8 km、解析期間は、1965 年から 1999 年の 35 年間である。低流量時は流砂量が小さいため、上流端流量が 1,000 m³/s 以上の場合のみ計算

を行うこととした。人為的な影響として、砂利採取およびダム堆砂を考慮した。砂利採取による河床低下量は、区間別の年砂利採取許可量を用いて与えた。1975年以降の池田ダムの下流への供給土砂の減少については、ダム上流の平衡流砂量の30%~70%をダム通過量とした場合の結果を比較して、砂利採取およびダム建設の影響を評価した。

3.3 海岸における汀線変化の推定

海岸における土砂動態の把握と長期砂浜地形モデルの高度化のため、波による漂砂および風による飛砂の両方の土砂移動機構を考慮した Larson ら (2016) の Cross-shore モデル (以下、CS モデルと示す) を用いる。CS モデルは、季節変化など短期的変動についての長期検証は行われておらず、モデルパラメータの適用性についても検討が必要とされる。長期・高頻度の現地観測データが蓄積されている茨城県の波崎海洋研究施設 (HORS) において、地形変化を表す代表的な指標となりうる汀線、バーム、ならびに砂丘の位置の再現を行い、CS モデルの適用性および最適なモデルパラメータについて評価する。

地形再現を行う解析期間は、波浪データの欠損値が少なく、かつ長期間となるように 1998年7月6日~2007年12月27日とした。最適化するモデルパラメータは5つであり、汀線位置および砂丘麓位置の観測値と計算値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) 値の和が最小となるようにパラメータ値を決定した。最適化においては、粒子群最適化法 (Particle Swarm Optimization) を用いることとした。

4. 研究成果

4.1 山地における土砂生産量の推定

使用データを基に計算した平成30年7月豪雨による土砂崩壊量の推定値を図2に示す。RUSLEを用いて推定した豪雨時の土砂崩壊量と、国土交通省により計測された土砂崩壊量を比較したところ、概ね一致することが確認された。このモデルにより、2006~2019年の長期の年平均土砂崩壊量を推定し、全国の土砂崩壊量を定量的に評価した (図3)。降水強度が大きく、地形の傾斜度が大きい地域で土砂崩壊量が大きくなっていった。

計算した土砂崩壊量 SE と実測ダム堆砂量 SY より求めた SDR 値を用いて、モデル係数を求めたところ $\alpha=0.478$, $\beta=-0.506$ (決定係数 $R^2=0.255$) が得られた。得られた係数を用いて、RUSLE値と SDR 式より 57 流域における土砂生産量を算出した。算出した土砂生産量とダム堆砂量との比較を図4に示す。全流域においてオーダーでは一致していたものの、今後より詳細な検討が必要とされる。

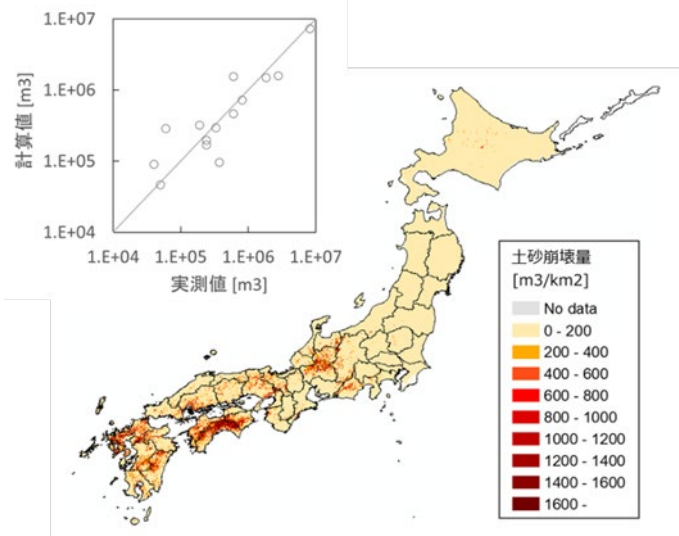


図2 平成30年7月豪雨による土砂崩壊量の推定結果

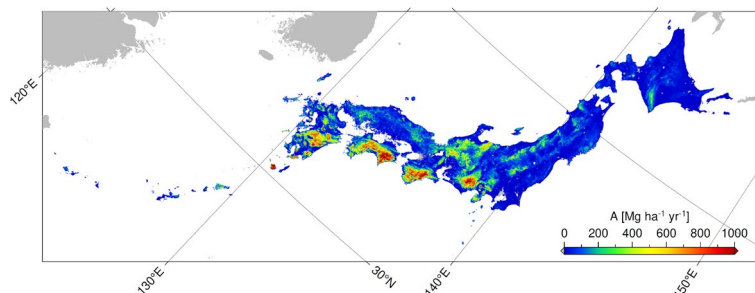


図3 2006~2019年の年平均土砂崩壊量の推定結果

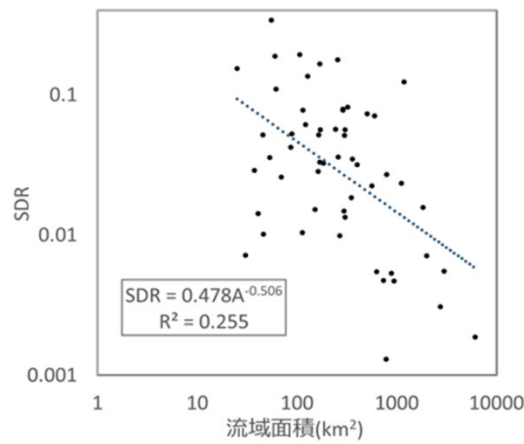


図4 SDR と流域面積の関係

4.2 河川における土砂動態の推定

高度成長期の人為的なダム建設や大規模砂利採取は、数十年という長期にわたり海岸への土砂供給に影響を及ぼすことが示唆された（竹林，2020；中原・有働，2022）。阿武隈川流域を対象として同モデルを用いて算定した過去20年間の海岸への土砂供給量は現地データと整合する結果となり（小林ら，2021），モデルの妥当性を確認した。また，吉野川および阿武隈川における河川から海岸への長期土砂流出量を解析し，出水時に数十万 m^3 の土砂が流出していることが明らかとなった。

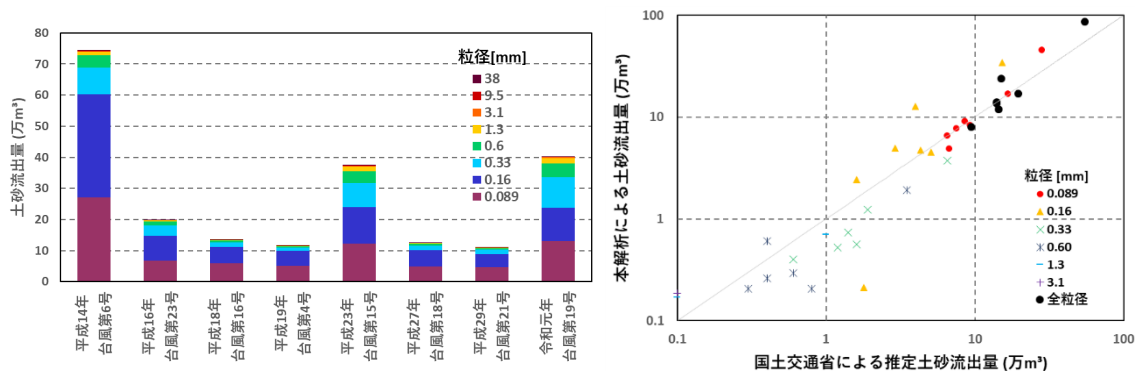


図5 阿武隈川における粒径別土砂流出量の解析結果と国土交通省（2011）のそれとの比較

4.3 海岸における汀線変化の推定

CSモデルの最適パラメータを与えた場合の汀線再現結果について図6に示す。砂丘麓，バーム頂と汀線の位置を概ね良好に再現することができ，2006年10月に発生した高波による砂浜侵食に伴う砂丘麓や汀線位置の変化も良好に表現可能であった。一方で，1998～2002年頃に安定的にバームが形成されたことで汀線の後退が抑制されており，地形形状を一定としバーム形成・侵食機構を考慮していないCSモデルではバーム発達時のバーム頂位置の変化の再現が困難であった。

波崎海岸の地形データに適用して得られた最適パラメータと他地域のそれを比較した結果，波崎海岸では他国での海岸と比べて，バーム・バーム間の土砂移動の影響が支配的であった。各パラメータ値が再現結果に及ぼす影響を調べるために感度分析を行ったところ，バーム・バーム間の土砂移動に関する係数の感度が比較的高かった。

5. まとめ

本研究では，山地から海岸への一連の土砂移動による河川からの土砂供給を推定し，これを考慮した汀線変化モデルを開発することを試みた。流域における土砂生産，河床変化，汀線変化の各モデルの再現性について確認し，適切な境界条件および最適なパラメータの設定により良好な精度で再現可能であることが確認された。一方で，河道への流入土砂量を推定するためのSDR値やダムからダム下流への土砂流出割合の推定方法に課題が残されており，流域一貫モデルの検証には至らなかった。今後，各モデルの結合部分の課題解決が必要とされる。

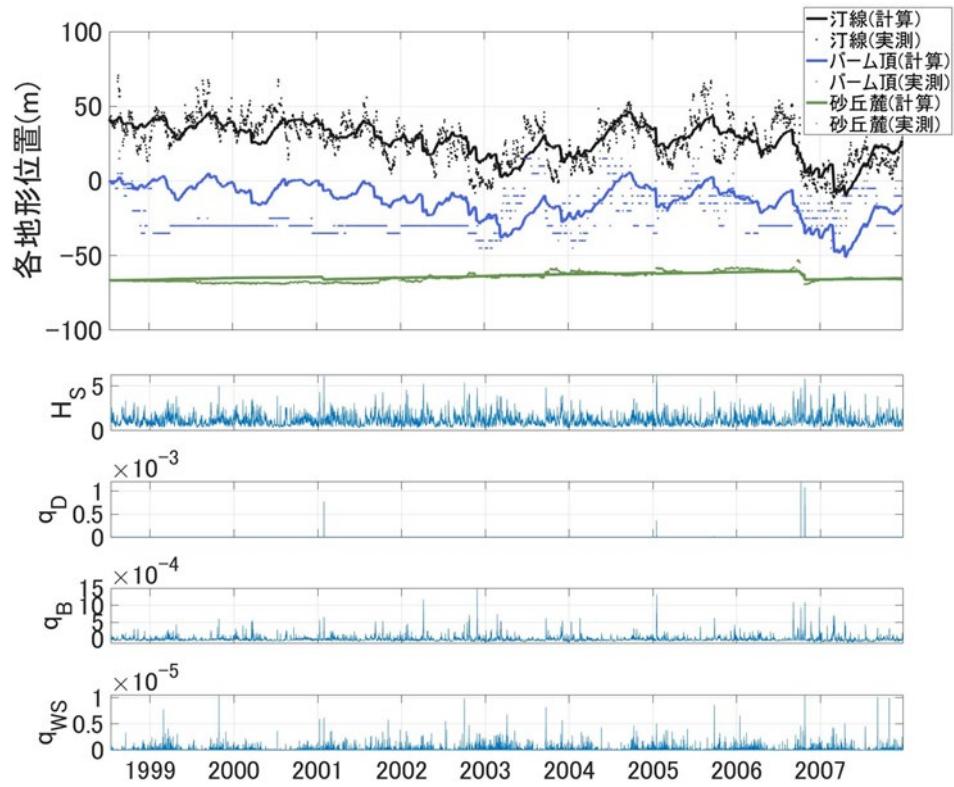


図6 1998年7月13日から2007年12月27日までの波崎海岸の地形変化再現結果，有義波高 H_s ，ならびに各土砂輸送量（砂丘表面より発生する土砂輸送量 q_D ，飛砂による土砂移動 q_{ws} ，バー・バーム間の土砂移動量 q_B ）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 寺中吉輝・有働恵子・竹林洋史	4. 巻 75
2. 論文標題 吉野川流域における長期の土砂収支の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 I_829-I_834
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejhe.75.2_I_829	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 Keiko Udo, Roshanka Ranasinghe & Yuriko Takeda	4. 巻 10
2. 論文標題 An assessment of measured and computed depth of closure around Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SCIENTIFIC REPORTS	6. 最初と最後の頁 2987
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-59718-5	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 加藤考志・有働恵子	4. 巻 77
2. 論文標題 半経験的Cross-shore モデルの波崎海岸への適用に関する研究	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_613-I_618
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_613	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 有働恵子	4. 巻 No. 888
2. 論文標題 気候変動と日本の砂浜	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 河川	6. 最初と最後の頁 24-28
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 無
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Dastgheib, A., Martinez, C., Udo, K. & Ranasinghe, R.	4. 巻 172
2. 論文標題 Climate change driven shoreline change at Hasaki Beach Japan: A novel application of the Probabilistic Coastline Recession (PCR) model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Coastal Engineering	6. 最初と最後の頁 104079
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coastaleng.2021.104079	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 有働恵子
2. 発表標題 河川から海岸への土砂供給を考慮した砂浜消失予測に向けて
3. 学会等名 第28回海洋工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koshi Kato and Keiko Udo
2. 発表標題 CROSS-SHORE MODEL APPLICATION TO HASAKI BEACH, JAPAN:EVALUATION OF PARAMETER SETTINGS
3. 学会等名 Virtual International Conference on Coastal Engineering (VICCE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤考志・有働恵子
2. 発表標題 CROSS -SHOREモデルの波崎海岸への適用およびパラメータ設定の評価
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林誠・有働恵子
2. 発表標題 令和元年台風第19号による阿武隈川から海岸への土砂流出解析
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古谷仁・有働恵子
2. 発表標題 日本における崖海岸の侵食モデルの構築
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹林洋史
2. 発表標題 将来の河川から海岸までの土砂移動特性の変化
3. 学会等名 第28回海洋工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 峠嘉哉・有働恵子・風間聡
2. 発表標題 将来気候における降雨特性の変化と土砂生産量への影響推定
3. 学会等名 第28回海洋工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林誠, 中原大輔, 有働恵子, 竹林洋史
2. 発表標題 令和元年台風第19号による阿武隈川から海岸への土砂流出解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤考志, 有働恵子
2. 発表標題 半経験的Cross-shoreモデルの波崎海岸への適用に関する研究
3. 学会等名 第68回海岸工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古谷仁, 有働恵子, 的場慧人
2. 発表標題 日本における崖海岸侵食モデルの構築
3. 学会等名 第68回海岸工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 的場慧人, 有働恵子
2. 発表標題 日本国内における崖海岸侵食推定モデルの構築と精度の向上
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中原大輔, 有働恵子
2. 発表標題 吉野川での砂利採取およびダム建設が河川の土砂動態に与える影響
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葛城遥佳, 有働恵子
2. 発表標題 RUSLEモデルとSDR式を用いた土砂生産量に関する研究
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
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	竹林 洋史 (Takebayashi Hiroshi) (70325249)	京都大学・防災研究所・准教授 (14301)	
研究 分担者	峠 嘉哉 (Touge Yoshiya) (90761536)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	

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			
オランダ	IHE Delft			