

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21254003
 研究課題名（和文）タリアメント川の原生的洪水氾濫原の生物多様性形成機構の解明と河川環境評価への適用
 研究課題名（英文）Biodiversity Mechanisms and their application to evaluation methods on river environment in pristine floodplain of the Tagliamento River
 研究代表者
 竹門 康弘（TAKEMON YASUHIRO）
 京都大学・防災研究所・准教授
 研究者番号：50222104

研究成果の概要（和文）：タリアメント川の原生的な河川生態系において、洪水氾濫原の生物多様性を形成維持するための地形条件や土砂水理条件明らかにすることを目的として、源流域の土砂生産指標ならびに流出特性の調査研究や氾濫原区間における河床地形の連続写真撮影によるモニタリング調査を実施した。これらの生息場類型ごとに底生動物の DNA 種を用いた種多様性分布様式を追究するとともに、生息場間での有機物由来や酸素消費速度の違いについて明らかにした。さらに、平面二次元河床変動計算を用いた網状流路の生息場寿命と浸透流のモデルによって、土砂移動条件や流況条件の変化による生息場の生態機能の変化を予測する手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify the mechanisms for creation and maintenance of biodiversity in the floodplain of the Tagliamento River, we conducted a series of field works on measurement of the sediment production in the basin and monitoring surveys on the geomorphological changes in the floodplain using interval cameras. Faunal biodiversity of each habitat type within the flood plain was investigated based on DNA sequence data of the community level, and at the same time, parameters of community metabolism such as organic mater origin and respiration rate were also measured for each habitat type. Methods for prediction of changes in these ecological functions under changing sediment and flow regimes have been developed using 2D flow and sediment transport model in the braided river channels.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	16,700,000	5,010,000	21,710,000
2010年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
2011年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
年度			
年度			
総計	36,700,000	11,010,000	47,710,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：河床地形，生物多様性，生息場，氾濫原，タリアメント川，河川環境評価

1. 研究開始当初の背景

河川環境管理で自然再生の重要性が高まっており、治水管理上許容できる範囲で、変動を持たせた流況や河道の再蛇行化等が試みられている。しかし、日本には自然再生の目標となる理想的な自然河川はほとんど残されておらず、参照する自然生態系のデータ収集が課題となっている。アルプスを源流とする北イタリアのタリアメント川は、扇状地から沖積平野まで広い範囲に太古河川の洪水氾濫原の姿が残されており、ヨーロッパ河川の自然再生の目標とすべきモデル生態系として注目されている (Tockner et al., *AquatSci* 65: 239-253, 2003)。本川 (年降水量=3,100 mm, 平均気温=14°C, 流域面積=2,580km²) は、土砂生産の多い日本の河川と共通した特徴をもち、日本の自然再生への活用が強く期待される河川である。この河川で生息場の構造と生物多様性の対応関係を示すことは、世界のスタンダードを示す意義がある。さらに、洪水氾濫原の蛇行河道や網状河道に付随するワンド、タマリ、二次流路などの生息場の多様性を維持する仕組みを追究することは、河川の自然再生にとって重要な課題となっている。

2. 研究の目的

タリアメント川の河床地形を生息場の視点から分類し、水生昆虫群集の種多様性との対応関係を明らかにすることを第1の目的とした。次いで、生息場類型ごとの水生昆虫群集について、従来は形態から識別できなかった種をDNAで識別し、流域の真の種多様性を解明することを第2の目的とした。また、進化系統樹を用いて流域内で将来新たな種が生まれるポテンシャル (系統学的多様度) を評価することを第3の目的とした。そして、これらの研究成果から、河川管理場の目標とすべき生息場地形を明らかにして、それらを目的変数とした河床変動予測モデルを開発することを第4の目的とした。さらに、凍結融解の土砂生産指標と流出モデルを用いて、流域環境の変化による生息場の生成消滅傾向を予測し、系統学的多様度の変化を予測することによって、新たな河川環境の評価手法を検討することを最終的な目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、タリアメント川 (図1) の流域を階層的に区分し調査地点を選定した。まず、源流河道区間、交互砂州河道区間、網状河道区間、蛇行河道区間の4流程に分類し、各区間に複数の調査地点を設けた (図2)。



図1. タリアメント川の洪水氾濫原の景観

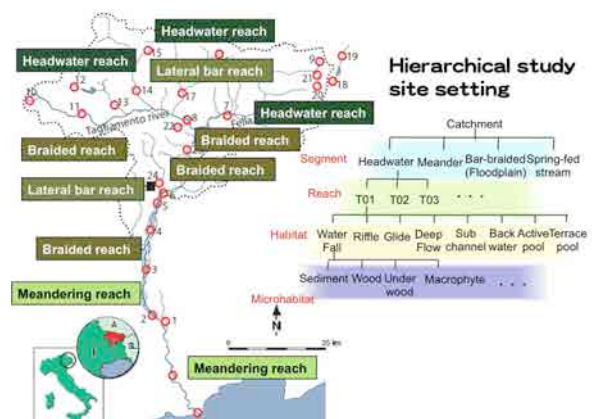


図2. タリアメント川流域の階層的区分と調査地点の選定方式

土砂生産指標を推定する課題では、凍結融解で生成された土砂が夏期の降雨によって流出するまでの土砂生産・供給プロセスをモデル化した。流域内の山地地形、地質分布、気温、水平面日射量を入力値として、土砂生産量の指標値を求めた。タリアメント川源流河道域の2地点で、山地での土砂生産量と岩盤温度分布および河道内流下土砂量を観測し、モデルパラメータのチューニングとモデルの検証を行った。

タンクモデルを用いて、気候変動下の流出量を推定した。降水量は、気温が2°C以下の場合、降雪とした。融雪量はDegree day法を用いて推定したタリアメント川流出量を推定した。将来の気候変動に関しては、10組のシナリオを用いた。

氾濫原の多様な生息場の形成・維持の仕組みを究明するために、流れ場モデルと土砂の浸食・輸送・堆積モデルを活用して河川地形の動態を再現した。氾濫原での複雑な河道地形にモデルを適応させるために、境界適応型の解析格子を用いた。モデルの対象領域は、氾濫原地形が最も良く発達したSt. 9とSt. 10の約3km×1kmとした。

水生昆虫群集や有機物動態等の生態調査では、滝、早瀬、平瀬、深瀬、副流路、砂州頭ワンド、砂州尻ワンド、低水敷タマリ、高水敷タマリの生息場を区別した。さらに各生息場では、基盤岩、飛沫帯、蘚苔マット、沈水根、流倒木、ダム型落葉落枝、浮き石、河床内間隙、はまり石、砂利、砂、泥、堆積型落葉落枝、抽水植物、水草の全 15 微生息場類型を識別し、代表的な微生息場ごとに水生昆虫の採取および環境調査を行った。

本研究では、水生昆虫群集 DNA 種の同定を行った。すなわち、採取した水生昆虫標本のうち、属・科レベルの分類群の各 10 個体から DNA を抽出し、ミトコンドリア DNA の COI 領域と核 DNA の h3 領域の塩基配列を解読し、枝長を進化時間とする遺伝系統樹の樹形をベイズ推定した。全標本の系統樹データを、進化モデルと絶滅モデルを融合した Mixed Yule-Coalescent (MYC) モデル (Pons et al, SysBiol, 55, pp. 595-609, 2006) に適用し、各種パラメータを推定して、流域全体および各河川区間の種数を評価した。

4. 研究成果

- 1) タリアメント川上流の地質条件の異なる 2 カ所に観測機器を設置し、岩盤温度分布・土砂生産量の観測を行い、地表面熱収支や凍結融解土砂生産量の推定を行った。
- 2) 中流域の氾濫原区間において、3 時間ごとの写真撮影によって河床地形変化を 2 年間半連続でモニタリングした。
- 3) この流程の河床地形条件を与えた平面二次元河床変動計算によって、網状流路の動態や止水域の生息場について寿命と浸透流の関係进行分析できるモデルを開発した (図 3)。
- 4) 連続写真による河床地形のモニタリングを行った氾濫原区間について、GPS 測量による微生息場の計測と水生昆虫群集の定量採集調査を行ない、微生息場の形成履歴と水生昆虫群集について分析を行った。その結果、氾濫原域の生物多様性に貢献する止水性種は長寿命のたまりに依存し、流水性種は日齢とともに減少することが示唆された。
- 5) 氾濫原上の水域生息場の粒状有機物の特性を比較分析した結果、高水敷たまり、低水敷たまり、砂州頭ワンド、砂州尻ワンド、一次流路、二次流路間で、陸上植物と付着藻類由来の比率ならびに酸素消費速度に大きな違いがあることを示した。
- 6) 氾濫原の生息場類型ごとに、水生昆虫の主要分類群についてミトコンドリア DNA の COI 領域と核 DNA の h3 領域の塩基配列を分析して得た系統樹データを、進化モデルと絶滅

モデルを融合した Mixed Yule-Coalescent (MYC) モデルに適用し、種分化閾値、種分化速度、絶滅補正係数等のパラメータを推定して、流域全体および各河川区間の系統的多様度を推定した。

7) 最低流量は気候変動で増加するが、流量の変動は明らかに将来に大きくなるのが GCM によって確認された。また、将来すべてのシナリオにおいて 6~12 日ほど流出のタイミングが早まることが予想された。

8) 本研究によって DNA 種分類法の妥当性が確認されることによって、生物多様性評価作業のスピードアップに貢献できると期待される。

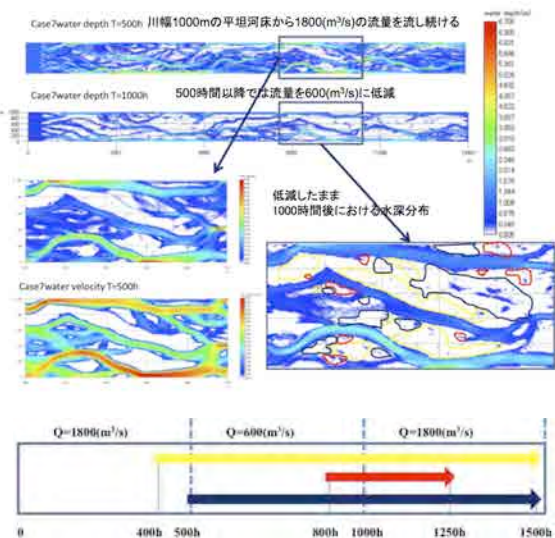


図 3. タリアメント川の氾濫原における止水性生息場の寿命予測モデルの計算例。黄の領域：平坦河床から網状流路が出来る際に出来た止水域
赤の領域：瀬切れによってできた不安定な止水域
紺の領域：瀬切れによってできた安定した止水域

本研究の成果は、2010 年 9 月 12-16 日に韓国ソウルで開催された国際生態水理学会 (ISE) の特別セッション、2011 年 6 月に京都宇治で開催された International Workshop on Habitatology for Linking Sediment Dynamism and Biodiversity, さらに 2012 年 7 月 9-12 日に大津で開催予定の ASLO 年次大会において順次公開されている。

本研究によって、洪水氾濫原の生物多様性を形成維持するための地形条件や土砂水理条件についても現状の土砂移動量に対する河床変動量の分析によって示すことができた。これらは、生息場構造に着目した新たな河川環境指標を提示するための道具となることから、掲げた研究目標の 8 割は達成されたと考えられる。しかし、生物多様性評価と

水生昆虫の進化ポテンシャルのいずれについても現状の生息場条件との対応関係が示された段階であり、環境の変動に応じた将来予測の域にまで達していない。洪水氾濫原の生物多様性を形成維持するための河川管理手法を確立するためには、供給土砂量や粒径を変えた場合の予測をする必要がある。本研究で示された河床地形と生物多様性の関係と二次元河床変動計算による生息場予測モデルとを組み合わせることで各種土砂還元対策を評価することによって、これらを実現できると期待される。また、水生昆虫の進化ポテンシャル高い生息場条件についても、両者の関係を関数化することによって河川環境指標としての実用性を高めることが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 41 件)

- 1) Ock, G., Takemon Y. and Sumi T., Particulate organic matter retention as an ecological indicator for riverbed management. 18th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR-APD 2012), 査読有, 2012, Jeju, Korea. (accepted)
- 2) Izumiyama H., Tsutsumi D. and Fujita M., Effect of Freeze-Thaw Action on Porosity Change and Destruction of Weathered Bedrock in Different Lithology and Development of Destruction Model. International Journal of Erosion Control Engineering, 査読有, Vol. 5, 2012, 103-112 (accepted)
- 3) Gunawardhana, L. and Kazama, S., A water availability and low-flow analysis of the Tagliamento River discharge in Italy under changing climate conditions, Hydrology and Earth System Science, 査読有, 16, 2012, 1033-1045, doi: 10.5194/hess-16-1033-2012
- 4) Gunawardhana, L. and Kazama, S. 2012. Hydrological response to future climate change in the Tagliamento River in Italian Alps, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 査読有, 56, 2012, 241-246.
- 5) Takemon, Y. River Basin Ecosystem Management under Reservoir Dam Impacts. The second JE-Hydronet Symposium on the Nile River System and the Delta of Egypt, CD-ROM, 査読無, 2012, pp. 27-35.
- 6) 竹門康弘, 河川の生息場研究の歴史・課題・展望. 水環境学会誌, 査読有, VOL. 35A, 2012, 110-113.
- 7) Soria F. and Kazama S., Monte Carlo experiments for uncertainty investigation of glacier melt discharge predictions through surface energy balance analysis, Cold regions hydrology in a changing climate, IAHS publication, 査読有, Vol. 346, 2011, 103-108.
- 8) Gunawardhana L. and Kazama S., Groundwater temperature as a tracer to estimate anthropogenic impacts: past, present and future, Conceptual and Modelling Studies of Integrated Groundwater, Surface Water, and Ecological Systems, IAHS publication, 査読有, Vol. 345, 2011, 10-16.
- 9) Ock, G. & Takemon Y., Particulate organic matter retention capacity of braided gravel bar system, Proceedings of International Workshop on Habitatology for linking sediment dynamism and biodiversity: Scientific research project on Tagliamento River (NE Italy), Kyoto, Japan, 査読無, CD-ROM, 2011, 87-96.
- 10) Itoh, M., Takemon, Y., Makabe, A., Yoshimizu, C., Kohzu, A., Ohte, N., Tumurskh, D., Tayasu, I., Yoshida, N., Nagata, T. Evaluation of wastewater nitrogen transformation in a natural wetland (Ulaanbaatar, Mongolia) using dual-isotope analysis of nitrate. Science of the Total Environment, 査読有, Vol. 409, 2011, 1932-1940. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.01.019
- 11) 糠澤桂・白岩淳一・風間聡: 河川水温を考慮した HSI モデルによる水生生物の生息環境評価, 水工学論文集, 査読有, 55 巻, 2011, 1255-1260.
- 12) 鈴木崇正・角 哲也・竹門康弘・中島佳奈, 土砂供給に伴うアユ産卵環境の変化予測. 京都大学防災研究所年報, 54B, 査読無, 2011, 711-718.
- 13) 角 哲也・中島佳奈・竹門康弘・鈴木崇正, アユの産卵に適した河床形態に関する研究. 京都大学防災研究所年報, 54B, 査読無, 2011, 719-725.
- 14) Gunawardhana, L., Kazama, S., Snow and glacier contribution from Italian Alps for seasonal river discharge in Tagliamento River. Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 査読有, 55, 2011, 82-87.
- 15) 泉山寛明, 堤大三, 藤田正治, 裸地斜面の凍結融解強度に積雪および地形特性が与える影響, 水工学論文集・査読有・第

- 55 卷・2011・715-720
- 16) Ock G., Muto Y., Sumi T. and Takemon Y., Roles of riffle and pool structure in Particulate Organic Matter Dynamics in the Downstream Reaches of Dam Reservoirs. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, 査読無, 53B, 2011, 773-782.
 - 17) Ock, G. and Takemon Y., Relation of Hydrogeomorphology of Gravel Bar to Particulate Organic Matter Dynamics in Braided Alpine River. *Disaster Prevention Research Institute annuals*, 査読無, 54(B) (2011) 727-733.
 - 18) 伊藤潤, 吉村千洋, 大谷絵利佳, 洪水氾濫原における物理生息場と有機物の関係, *河川技術論文集*, 査読有, 16 巻, 2010 年, 頁 213-218.
 - 19) Chihiro Yoshimura, Manabu Fujii, Tasuo Omura, and Klement Tockner, Instream release of dissolved organic matter from coarse and fine particulate organic matter of different origins, *Biogeochemistry*, 査読有, 100 巻, 2010 年, 頁 151-165
 - 20) Ock, G. and Takemon Y. Estimation of Transport Distance of Fine Particulate Organic Matter in relation to Channel morphology in Tailwaters of the Lake Biwa and Reservoir Dams. *Landscape and Ecological Engineering*, 査読有, Vol. 6, 2010, 161-169. DOI:10.1007/s11355-009-0099-y
 - 21) Kobayashi S., Gomi T., Sidle R. C. and Takemon Y. Disturbances structuring macroinvertebrate communities in steep headwater streams: relative importance of forest clearcutting and debris flow occurrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 査読有, 67, 2010, 427-444.
 - 22) Giyoung Ock, Yasunori Muto, Ichiro Tayasu, Tetsuya Sumi and Yasuhiro Takemon, Roles of riffle and pool structure for increasing retention lentic plankton in dam tailwater reaches, 8th International Symposium on Ecohydraulics, 査読無, CD-ROM, 2010.
 - 23) Watanabe, K., X.F. Garcia, Y. Takemon, K. Tockner. M.T. Monaghan, High Sediment Load and High Biodiversity: DNA Sequence-based Assessment of Chironomidae (Diptera) in the Tagliamento River, Italy. *Proceedings of 8th International Symposium on Ecohydraulics*, 査読無, CD-ROM, 2010, 812-816.
 - 24) Takemon, Y. Habitatology for linking sediment dynamism and ecology. *International Symposium on Sediment Disasters and River Environment in Mountain Area. JSPS Asia-Africa Science Platform Program*, 査読無, CD-ROM, 2010, pp. 25-32.
 - 25) Tsujino R., Fujita N., Katayama M., Kawase D., Matsui K., Seo A., Shimamura T., Takemon Y., Tsujimura N., Yumoto T. and Ushimaru A. Restoration of floating mat bog vegetation after eutrophication damages by improving water quality in a small pond, 査読有, *Limnology*, Vol. 11, 2010, 289-297. DOI:10.1007/s10201-010-0312-6.
 - 26) Watanabe, K., Monaghan, M. T., Takemon, Y. and Omura, T. Dispersal ability determines the genetic effects of habitat fragmentation caused by reservoirs in three species of aquatic insect. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 査読有, 20, 2010, 574&8211;579. DOI: 10.1002/aqc.1124
- [学会発表] (計 31 件)
- 1) Gunawardhana, HYDROLOGICAL RESPONSE TO FUTURE CLIMATE CHANGE IN THE TAGLIAMENTO RIVER IN ITALIAN ALPS, JSCE conference of Hydraulic Engineering, 2012 年 3 月 8 日, Matsuyama, Japan
 - 2) 糠澤桂, 流域内の HSI 種多様性と水生昆虫遺伝的多様性の関係性, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2012 年 3 月 3 日秋田
 - 3) 泉山 寛明, 地質を考慮した凍結融解土砂生産の推定法・京都大学防災研究所. 研究発表講演会, 2012 年 2 月 21 日, 宇治.
 - 4) Jun Ito, Chihiro Yoshimura, Manabu Fujii, Takaaki Masuyama. Sediment Property and Dissolved Oxygen Consumption in Aquatic Habitats of a Temperate Floodplain, 4th AUN/SEED-Net Regional Conference on Global Environment and Seminar of NRCT-JSPS Asian Core Program, 2012 年 1 月 10 日, バンコク, タイ.
 - 5) Jun Ito, Chihiro Yoshimura, Manabu Fujii, Takaaki Masuyama. Relationship Between Sediment Property and Dissolved Oxygen Consumption Rate in Different Aquatic Habitats of an Intact Floodplain, 応用生態学会第 15 回研究発表会, 2011 年 9 月 16 日, 金沢.
 - 6) 風間 聡, 気象および地理的要因が融雪係数に与える影響, 水文・水資源学会 2011 年度総会・研究発表会, 2011 年 8 月 31 日, 宇治.

- 7) Jun Ito, Takaaki Masuyama, Chihiro Yoshimura, Relationship between environmental condition of habitat and dissolved oxygen consumption in river floodplain, International Symposium on River Environmental Management, 2011年6月8日, 東京.
- 13) Ock G, Takemon Y., Relation of Hydrogeomorphology of Gravel Bar to Particulate Organic Matter Dynamics in Braided Alpine River, DPRI Annual Conference, 2011年2月23日, Uji.
- 8) Ock G., Muto Y., Tayasu I., Sumi T. and Yasuhiro Takemon, Roles of riffle and pool structure for increasing retention lentic plankton in dam tailwater reaches, 8th International Symposium on Ecohydraulics, 2010年9月14日, Seoul.
- 9) Erika Otani, Chihiro Yoshimura, Hurumai Furumai, and Klement Tockner, Longitudinal shift of source and molecular structure of particulate organic matter along the Tagliamento River, Italy, 8th International Symposium on Ecohydraulics, 2010年9月14日, Seoul.
- 11) June Ito, Erika Otani, Chihiro Yoshimura, and Yuichi Iwasaki, Relationship between organic matter dynamics and aquatic habitat type in an intact river floodplain, 8th International Symposium on Ecohydraulics, 2010年9月14日, Seoul.
- 12) 泉山 寛明, 凍結融解による土砂生産現象に地形・地質特性が与える影響, 砂防学研究会発表会, 2010年5月27日, 長野市若里市民文化ホール.
- 13) 吉村千洋, 中下流部における粒状有機物の流下特性と水生生物との相互作用, 日本生態学会第57回全国大会, 2010年3月18日, 東京.
- 14) 加藤義和, 嶋村鉄也, 竹門康弘, 堀道雄, 暖温帯高層湿原のミズゴケ属およびミツガシワの分解に生息場所が及ぼす影響. 第57回日本生態学会, P3-303, 2010年3月18日, 東京.
- 15) Kato Y., Okuda N., Tayasu I., Takemon Y. and Hori H., Spatial heterogeneity of trophic pathways in the invertebrate community of a temperate wetland. Symposium "The Role of Littoral Processes in Lake Ecology", 2010年1月30日, Hegne, Germany.

[図書] (計13件)

- 1) 竹門康弘 (分担執筆) 第10章, 日本生態学会編 [生態学入門第2版] 東京化学同人, 2012, 287pp.

- 2) 竹門康弘 (分担執筆) 5.2.5 生態系の保全と防災, p.214-216. [自然災害と防災の事典] 京都大学防災研究所 (監修) 寶 馨・戸田圭一・橋本 学 (編) 2011, 丸善出版, 306pp.
- 3) 風間 聡 (著) [水文学] コロナ社, 2011, 165pp, ISBN978-4-339-05628-0
- 4) Kazama S. (Chapter 3) [Climate change and global sustainability: A holistic approach] Sumi A., Mimura N. and Masui T. (eds.), United Nations University Press, 2011, 316pp. ISBN978-92-808-1181-0
- 4) 竹門康弘 (分担執筆) 賀茂川, 屋久島の川, [図説日本の河川] 小倉 紀雄/谷田 一三/島谷 幸宏編集, 朝倉書店, 2010, 173pp.
- 5) 竹門康弘 (分担執筆) 河床地形の生態機能とダム影響の軽減対策のあり方, [ダム湖・ダム河川の生態系と管理-日本における特性・動態・評価-] 谷田一三・村上哲生編, 名古屋大学出版会, 2010, 323pp.
- 6) 日本生態学会 (編), 矢原徹一・松田裕之・竹門康弘・西廣淳 (監修) [自然再生ハンドブック] 2010, 264pp. 地人書館
- 7) 竹門康弘 (分担執筆) 第6, 7章 [ダムと環境の科学 I-ダム下流生態系-] 池淵周一編著, 京都大学学術出版会, 2009, 285pp.

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹門康弘 (TAKEMON YASUHIRO)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 50222104

(2) 研究分担者

大村達夫 (OOMURA TATSUO)
東北大学・工学研究科・教授
研究者番号: 30111248

風間 聡 (KAZAMA SATOSHI)
東北大学・環境科学研究科・教授
研究者番号: 50272018

吉村千洋 (YOSHIMURA CHIHIRO)
東京工業大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 10402091

藤田正治 (FUJITA MASA HARU)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 60181369

竹林洋史 (TAKEBAYASHI HIROSHI)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 70325249

堤 大三 (TSUTSUMI DAIZO)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 40372552