

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25241024

研究課題名(和文) 生息場寿命に基づく河川生態系の構造解析

研究課題名(英文) Analyses of river ecosystems structure based on habitat longevity concept

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,500,000円

研究成果の概要(和文)：河川生態系では生息場が動的な存在であることを前提に管理する必要がある。本研究では生息場寿命の視点から、天竜川、木津川、タリメント川などの地形と生態現象の関係を調査し、生息場を好適化する攪乱条件を明らかにした。その結果、アユの産卵場には軟底の瀬が必要であり、4.5年確率の大規模出水時に好適化し、1年確率以下の中小規模出水時に劣化することがわかった。一方、タナゴ類やイシガイ類の生息するたまりは、2年前の泥の堆積厚が5-10cmで冠水頻度が年3回以下(現状の冠水日数8～22日の比高)であり、このような砂州地形を維持するには、4万～6万m³/年程度の土砂移動量が適していると推定された。

研究成果の概要(英文)：River ecosystems should be managed as a dynamic habitat mosaic system. This study clarified the disturbance regimes required for creating suitable habitat structure by a series of field monitoring of riverbed geomorphology and ecological functions from the aspect of habitat longevity. Suitable spawning redds of Ayu fish were created by big floods of 4.5 year return period and degenerated by middle and small floods less than 1 year return period in the Tenryu River. Whereas flood plain ponds suitable for bitterlings and unionid mussels had the mud deposition of 5-10cm in depth and an inundation frequency less than three time per year at the moment of two years before (ponds at relative height of inundation period of 8-22days/year at present conditions). corresponded to the amount of annual mean sediment load of 40,000-60,000m³/year in the Kizu River.

研究分野：応用生態工学

キーワード：生息場寿命 生息場適性指標 攪乱体制 生態機能 土砂生産ポテンシャル 河川生態系 魚類 底生動物

1. 研究開始当初の背景

河川生態系は、火砕流、山腹崩壊、土石流、洪水氾濫などの自然災害によって生息場や生物群集の消滅・生成・発達を繰り返している。河川生物はこのような動的な環境に適応した結果、多くの種が一時的な生息場に依存している。このため、生態系影響評価や自然再生目標に生息場の時間変化の視軸を加える必要があるが、その手法は世界的にも未開拓である。

2. 研究の目的

本研究は、攪乱体制の異なる日本とイタリアの複数河川で、生息場の生成消滅履歴と生物群集の対応関係を調査し、1) 個体群存続や種多様性維持のために必要な生息場の継続時間を明らかにすること、2) 土砂移動量と流況条件とから生息場寿命の頻度分布を予測するモデルを開発すること、3) 生息場寿命を用いた新たな環境影響評価手法を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

1) 個体群存続や種多様性維持のために必要な生息場年齢

対象河川の砂州水際、早瀬、ワンド、たまりなどの水域の生息場を対象として、インターバルカメラでモニタリングを行い、生息場の生成消滅履歴と生物群集の対応関係を実証的に追究した。調査は、神通川流域の蒲田川、十津川、木津川、名取川、天竜川などで実施した。タリアメント川では、トレント大学の Walter Bertoldi の設置したインターバルカメラ、天竜川では中部電力の鉄塔上に設置したインターバルカメラによって昼間1時間ごとの生息場履歴写真を3年間撮影した(図1)。



図1. 天竜川における生息場モニタリング手法

さらに現地調査時にはドローンによって撮影した画像を併用し、履歴が既知となった生息場(生成された月日とその後の面積変化が既知のたまりなど)の生物群集について現地調査を行い、指標種個体群や種多様性などの生息場の日齢(生成されてからの時間)や寿命(その生息場が消滅するまでの時間)に

対する応答について知見をえた。

2) 土砂移動量と流況条件とから生息場寿命の頻度分布を予測するモデルを開発

タナゴ・イシガイ類の生息に適した比高のたまりは、低水路が平坦で横断的に凹型の砂州や、河床侵食により高水敷化が進んだ凸型の砂州ではなく、緩やかな斜面を持つ砂州で形成されると考えられる。このような比高の砂州地形は、中規模河床形態の形成条件である、川幅、勾配、流量、河床材粒径、そして土砂供給量によって規定される。これらのうち、木津川下流域の川幅、勾配、流量、河床材粒径は1960年代以降変化していないと仮定して、砂州の比高分布と土砂移動量との関係を検討した。

4. 研究成果

1) 個体群存続や種多様性維持のために必要な生息場年齢

天竜川の河床では次の過程が繰り返されることがわかった。すなわち、①大規模出水時に軟らかい瀬頭が形成されること、②中小規模出水時に瀬が浸食されて瀬頭の粗粒化・固化的なことが起こること、③渇水時に目詰まりにより間隙水の溶存酸素濃度が低下することがわかった(図2)。天竜川の場合には、アユの産卵床に適した河床地形は生起確率4.5年クラスの7,000 m³/s以上の大出水時に形成され、生起確率1-2年以下のクラスの中小規模の出水では、瀬の上流側で土砂が削られて硬くなり、下流側で軟らかくなること示された。つまり、4-5年確率の出水が定期的に発生することによって、アユの好適な繁殖に必要な条件が繰り返し再生されていると考えられた(図3)。

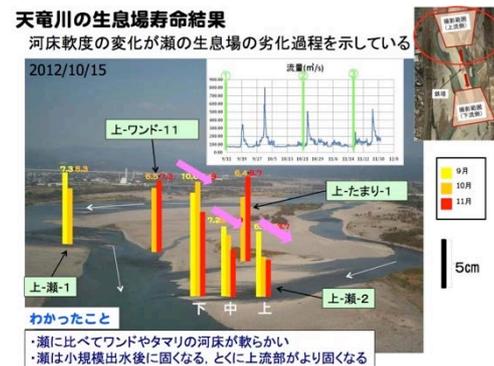


図2. 天竜川における生息場寿命の調査結果の例

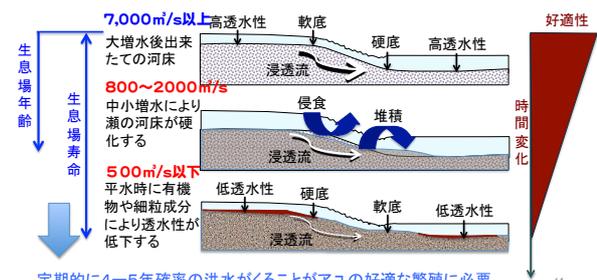


図3. アユ産卵床となる瀬の生息場寿命の概念図

木津川のタナゴ類については生息数とたまりの比高との関係から、生息に適したたまり比高が 0.7-1.5m の範囲であることが知られている。これを冠水頻度に換算した結果、タナゴ類で冠水日数 8~16 日、イシガイ類で比高冠水日数 8~22 日の比高条件が好ましいことが分かった (図 4)。このようなたまり条件は、過去の環境変化の履歴を反映しているため、モニタリングデータを用いて、4 年前まで遡った過去の環境条件とタナゴ類やイシガイ類の生息種数との関係を分析した。その結果、生息するたまり条件として、2 年前の泥の堆積厚が 5-10cm で冠水頻度が年 3 回以下という過去の環境条件が有意に効いていることが分かった (図 5)。

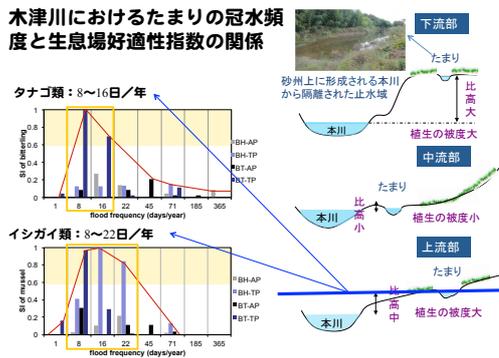


図 4. タナゴ・イシガイ類に好適な冠水頻度。

たまりの各種環境要因を用いた一般線形モデルの分析結果

	Model		n	Year	Wald χ^2	P-value
	Statistic data	Field survey data				
richness of bitterling	Location + age	transparency + mean grain size + DO	5	2011	1.81	.177
				2010	3.83	.050
				2009	1.84	.174
				2007	3.15	.076
				2011	0.56	.454
richness of mussel	Flooding frequency	depth of mud	2	2010	1.99	.157
				2009	12.18	.000
				2007	5.90	.015



図 5. タナゴ・イシガイ類の種数への履歴効果

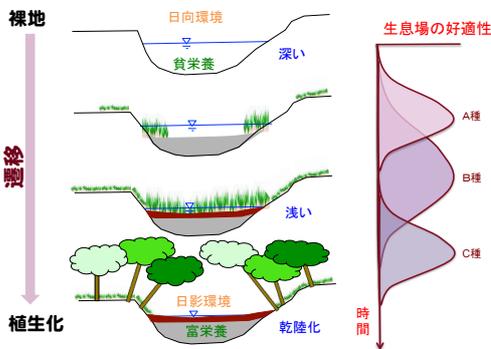


図 6. タナゴ・イシガイ類にとって好適な生息場齢

いっぽう、たまりの遷移系列におけるタナゴ、イシガイ類に適した生息場齢 (生息場が形成されてからの時間) (図 6) については、今回の調査期間中に該当する比高にたまり

が生成される規模の出水がなかったため、実証データは得られなかった。しかし、木津川では、泥の堆積厚が 5-10cm になってから 2 年間の期間が必要であるため、たまりが新規に形成されてから数年以上が必要と考えられ、図 6 を定量的に示すためには、10-20 年程度のモニタリングが必要と考えられる。

2) 土砂移動量と流況条件とから生息場寿命の頻度分布を予測するモデルを開発

木津川下流域の 4 区間について、砂州の水面からの比高頻度分布の経年変化を分析した結果、図 7 のような変遷が示された。ここでは、曲線の傾きが急な部分ほど、対応する比高域の面積が少ないことを示している。4 区間で経年変化パターンは多少異なるものの、年とともに低比高の面積が少なくなり、近年は上に凸の形状に変化したことが分かる。また、木津川の低水路が侵食されて年々狭くなり、低水路から離れた場所に堆積が進むことで、砂州の高低差が増大したことを示している。

木津川の砂州比高分布の経年変化

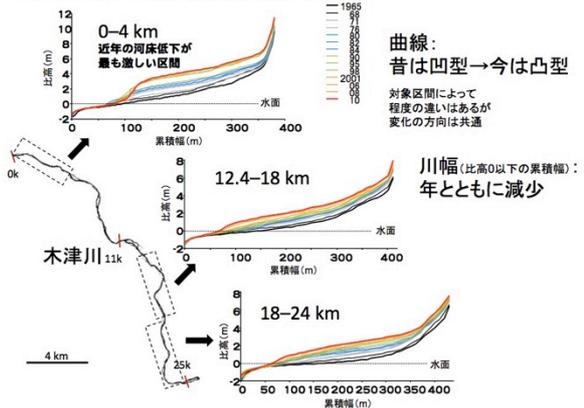


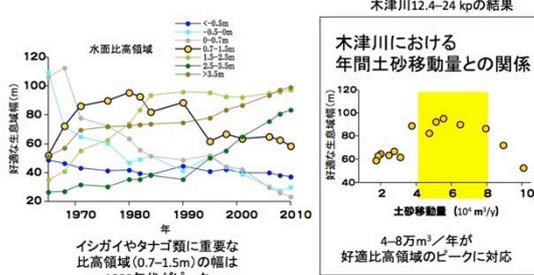
図 7. 木津川 4 区間の比高分布の経年変化図。

いっぽう、比高域の頻度 (断面あたりの幅に相当する) を水中、水面近傍域 (0-0.7m)、タナゴ類の好適域 (0.7-1.5m) 1.5-2.5m, 2.5m 以上の範囲ごとに集計し、経年変化を分析した (図 8)。その結果、いずれの区間においても全体的に低比高域の頻度が減少し高比高域の頻度が増加していた。各種動植物の生息場として重要な水辺移行帯を指す領域 (0-0.7m) は激しく減少したことがわかった。また、タナゴ類にとって好適な 0.7-1.5m 域の比高域は、1970 年代後半から 1990 年代前半をピークとする一山型の変化を示した。これは、タナゴの生息場としては 1970 年代から 90 年初頭の状態が最も良く、河床が平たかった 60 年代以前の状態は必ずしも良くなかったことを示している。ただし、0-3.8kp 区間では、滞筋低下が著しいため、1970 年代をピークに以後減少したことがわかった。

さらに、生息場選好指数が 0.4 を超える比

高0.7~1.5m域を河床地形の好適性指標として、12.4-17.8kp区間と18-23.8kp区間におけるこの比高頻度の平均値と、横断形状に最も影響する要因の1つである土砂移動量との関係を分析した。各年の土砂移動量は、図9の青線の回帰式から求めた。その結果、比高0.7~1.5m域の頻度は土砂量が4~8万m³/年のときにピークとなる一山形の関係が示された(図8の右図)

砂州地形の変化と年間土砂移動量の関係



タナゴ類の生息環境を形成維持するためには年間4-8万m³の土砂移動量が適正であると考えられる

この成果を将来予測のための関数として使用する

図8. 木津川の水面からの各比高域量の経年変化

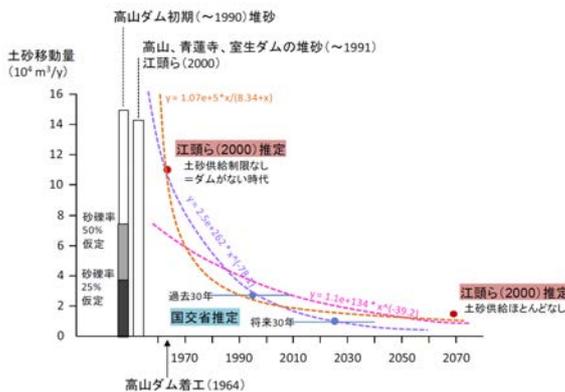


図9. 木津川の流送土砂量の変遷

江頭ら(2000)は、木津川下流においてダムがない時代に相当する土砂供給制限が全くないときの流送土砂量を河床変動計算に基づき11万m³前後と推測した。また、土砂供給がほとんどない状況での流送土砂量を1.4万m³と推測した。いっぽう、国土交通省近畿地方整備局による土砂収支の再現計算では、2010年から過去30年平均としての加茂地点における流送土砂量を2.8万m³、将来30年平均としての流送土砂量を1万m³と推定しており、2010年代の平均はこの中間の流送土砂量であることが予想される。仮に江頭(2000)と国土交通省の推定値を基に累乗の曲線回帰を行うと図9の青線のような回帰式が得られ、これによる現時点の平均流送土砂量は2万m³弱ということになる。粒径をどの範囲を対象にするかによっても流送土砂量は大きく変わってくるが、木津川では1960年代から90年代までの間に流送土砂量が大きく減少し、2000年以降

は減少率が小さくなったものの減少が続いていると推測される。

本研究により、好適なたまりを河川生態系の指標とした場合、河川環境保全に必要な土砂量の目安として4~8万m³/年が妥当であると推定される。このように、横断形状を数値化することは、環境要因との関係を理解する上で、あるいは環境の目標値を定める上で役に立つと考えられる。過去の流送土砂量と比高頻度の関係から、木津川生態系にとって好適な流送土砂量は40,000~80,000m³/年と推定された。

3) 生息場寿命概念とこれを用いた環境影響評価手法の可能性

本研究の結果、生息場の形成からの時間経過に伴う好適性の変化様式として3つの類型が想定された(図10)。すなわち、(a)単調衰退型、(b)成長衰退型、そして(c)単調成長型である。

本研究における、アユ産卵床となる瀬の生息場は、(a)単調衰退型の代表例といえる。アユの産卵床条件としては、7,000 m³/sクラスの大出水で形成された時点が最適であり、その後の中小規模出水で衰退することになる。

いっぽう、木津川におけるタナゴ類やイシガイ類に適したたまりの生息場齢の事例は、(b)成長衰退型の好例と考えられる。すなわち、たまりの形成された時点では好適性は低く、底泥の堆積やプランクトンの生育が期待される少なくとも数年の間を経て最適化すると考えられるが、本研究の期間ではタナゴ類やイシガイ類にとって最適となる生息場齢やそれが劣化ないし消滅するまでの寿命期間の定量化には至らなかった。

さらに、(c)単調成長型の事例としては、神通川流域の蒲田川で調査した、コケマットに生息する底生動物群集の研究例が当てはまる。コケマットの成長とともに生息場の量や質が高まると考えられるものの、詳細については未だ論文化できていないため、ここでは割愛する。

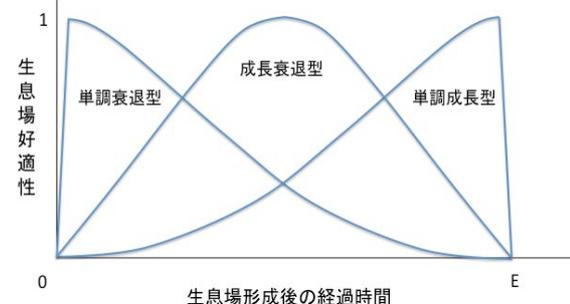


図10. 生息場変化の3類型仮説。生息場形成からの時間経過による環境好適性の変化パターンには3つのパターンが予想される。0は生息場の創出時点、Eは寿命を表す。

また、タリアメント川の河道ならびに氾濫原における底生動物群集の研究では、底生動

物群集にとってのハビタットとしてのタリアメント川本河道と側流たまりやワンドについて底生動物群集構造を、2010年以後の定点観測写真と空撮写真による変化履歴と併せて解析した結果、河道の不安定な移動性と高い河床攪乱性が本河道の底生動物群集を貧弱化・小型化させていると考えられた。いっぽう、側流たまりやワンド内の底生動物群集の多様性や個体数密度が高いことから、タリアメント川では、側流たまりやワンドが、攪乱を受けてからの安定した時間に対応した生息場適性を持っていることが考えられた。ただし、調査期間中にタリアメント川のインターバルカメラが窃盗されたために、調査した各生息場の履歴と生息場齢を追跡することができなかった。

本研究の成果として、河川環境の現状や人為的な変更の影響を評価する際に、図10の生息場寿命モデルによる基づいて、保全対象となる生息場の特性をあらかじめ想定しておくことは、モニタリング等による影響評価を行う上できわめて有用である。現状の各種事業における環境影響評価では、事前調査や事後モニタリングの期間は短く最長でも5年であることがほとんどであるが、生息場の生成消滅周期に基づくならば、実数値としての年数よりも、生息場の生成に寄与する攪乱が起きた時点からの変化を見ることが求められる。

いっぽう、図10の概念を定量化するためには、多くの生息場の生息場寿命のデータに基づいて度数分布や平均値の議論をする必要がある。本研究では調査期間が4年間であったことから、度数分布を描くにはサンプル数不足している。今後、同種のモニタリングを継続することによって事例を増やすことが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計37件)

1. Shiroyama R., Yoshimura C. Assessing bluegill (*Lepomis macrochirus*) habitat suitability using partial dependence function combined with classification approaches. *Ecological Informatics*, 35, 2016, 9-18.
DOI: 10.1016/j.ecoinf.2016.06.005

2. Ateia M., Nasr M., Ikeda A., Okada H., Fujii M., Natsuike M., Yoshimura C. Nonlinear relationship between near-bed velocity and growth of riverbed periphyton. *Water*, 8, 2016, 461.
doi:10.3390/w8100461

3. 松前大樹, 吉村千洋, 梁政寛, 陸域観測技術衛星 (ALOS) を活用した相模川低地部の河道形状変化の推定. 応用生態工学, 査読有り, 2017, 印刷中.

4. 渡邊健吾, 風間聡, 分布型栄養塩流出モデルを用いた名取川流域の付着藻類量推定, 土木学会論文集 B1(水工学), 73, 2017, 11153-11158

5. Takebayashi, H. Modelling braided channels under unsteady flow and the effect of spatiotemporal change of vegetation on bed and channel geometry, *Gravel Bed River*, Vol. 8, 2016.

6. Ryosuke Arai, Kei Nukazawa, So Kazama, Yasuhiro Takemon, Variation in benthic invertebrate abundance along thermal gradients within headwater streams of a temperate basin in Japan, *Hydrobiologia*, 762, pp.55-63, 2015.5.19
DOI 10.1007/s10750-015-2336-8

7. 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, 水文モデルと底生動物の生息場モデルを用いた河川健全度パターンの評価, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.72, No.4, pp.433-438, 2016.3.15.

8. Titlyanov EA, Titlyanova TV & Tokeshi M. Coral-algal relations in reef systems: on the positive roles of algae in reef recovery processes. *Coastal Ecosystems*, 2, 1-20., 2015.

9. Susanto HA, Suraji & Tokeshi M. Management of coral reef ecosystems in Indonesia: past, present and the future. *Coastal Ecosystems*, 2, 21-41. 2015.

10. Arakaki S, Kawabata Y & Tokeshi M. Assessing the feasibility of bio-logging research in adult temperate bass, *Lateolabrax latius*, in subtropical-temperate coastal waters of southwestern Japan. *Coastal Ecosystems*, 2, 42-52. 2015.

11. Arakaki S, Tsuchiya M & Tokeshi M. Testing latitudinal patterns of tidepool fish assemblages: local substrate characteristics affect regional-scale trends. *Hydrobiologia*, 733: 45-62. 2014.

12. Yoko-o M & Tokeshi M. Pronounced difference in community structure between the edge and the interior: analysing small-scale variability of a maritime woodland. *Coastal Ecosystems*, 1, 54-65. 2014.

13. Yoko-o M & Tokeshi M. Pronounced difference in community structure between the edge and the interior: analysing small-scale variability of a maritime woodland. *Coastal Ecosystems*, 1, 54-65. 2014.

14. 梁政寛, 吉村千洋, 岩崎雄一, 河川魚類の個体数に影響を及ぼす多様な環境要因の相対的重要度の評価: 繁殖時期に着目して, 土木学会論文集, 査読有り, Ser. B1, 72(4), 2016, 1455-1450.

15. Shiroyama R, Yoshimura C. Classification technique of machine learning as species distribution model for exotic fish in rivers, 土木学会論文集, 査読有り, Ser. B1, 72(4), 2016, 11153-11158.

16. Ryo M, Iwasaki Y, Yoshimura C, Saavedra OCV, Evaluation of spatial pattern of altered flow regimes on a river network using a distributed hydrological model. *PLOS ONE* 10(7), 2015, e0133833.

17. Bin Li, Kozo Watanabe, Dong-Hwan Kim, Sang-Bin Lee, Muyoung Heo, Heui-Soo Kim and Tae-Soo Chon, Identification of Outlier Loci Responding to Anthropogenic and Natural Selection Pressure in Stream Insects Based on Self-Organizing Map. Water: in press. 2016.

18. 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三. 水文モデルと底生動物の生息場モデルを用いた河川健全度パターンの評価. 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 72, No. 4 I_433-I_438, 2016.

19. Wakimura K, Takemon Y, Takayanagi A, Ishiwata S, Watanabe K, Tanida K, Shimizu N and Kato M. Characterization of Genes Coding for Histone H3, 18S rRNA, and Cytochrome oxidase subunit I of East Asian Mayflies (Ephemeroptera). DNA Barcodes, in press. 2016,

20. 八重樫咲子, 不破直人, 山崎久美子, 三宅洋, 渡辺幸三. ダムおよび瀬切れによる河川分断化がエルモンヒラタカゲロウの地域間交流に及ぼす影響の遺伝的評価. 土木学会論文集 G (環境) Vol. 71, No. 7, III_115-III_122, 2015.

21. 小林草平・野崎隆夫・竹門康弘 琵琶湖の流出河川、瀬田-宇治川の下ビケラ群集. 日本生態学会誌 67:13-29. 2017.

22. Nakagawa H. and Takemon Y. Length-mass relationships of macro-invertebrates in a freshwater stream in Japan. Aquatic Insects, 36(1): 53-61. 2015.

23. 堤大三・藤田正治・竹門康弘・角 哲也・泉山寛明 (2014) 木津川流域の土砂生産ポテンシャルの推定. 砂防学会誌, Vol. 66: 13-22.

他 (省略)

[学会発表] (計 25 件)

1. K. Watanabe, K. nukazawa, S. kazama, Estimating periphyton dynamics in a temperate catchment using a hydrological simulation, IUGG-3015, IUGG,2015.6.25.Prague.

2. 渡邊健吾, 糠澤桂, 風間聡, 会田俊介, 分布型流出モデルを用いた名取川水系の付着藻類量推定, 土木学会年次講演会, VII-044, pp.87-88, 2014.9.18, 岡山.

3. 糠澤桂・風間聡・渡辺幸三, 分布型水文モデルと生息場モデルを用いた河川健全度評価, 土木学会東北支部技術研究発表会, VII-41, 盛岡.

4. 渡邊健吾・糠澤桂・会田俊介・風間聡, 分布型栄養塩流出モデルを用いた名取川流域の付着藻類量推定, 土木学会東北支部技術研究発表会, VII-39, 盛岡.

5. Siev S, Suif Z, Yoshimura C, Paringit EC, Hul S., Potential Impacts of Climate Change on Inundation and Sediment Dynamics in the

Floodplain of Tonle Sap River, 7th Regional Symposium on Infrastructure Development, 2015 年 11 月, Bangkok (Thailand).

6. 梁政寛, 吉村千洋, 岩崎雄一, 河川魚類の個体数に影響を及ぼす多様な環境要因の相対的重要度の評価:繁殖時期に着目して, 第 60 回水工学講演会, 2016 年 3 月, 仙台.

7. Shiroyama R, Yoshimura C., Classification technique of machine learning as species distribution model for exotic fish in rivers, 第 60 回水工学講演会, 2016 年 3 月, 仙台.

他 (省略)

[図書] (計 3 件)

竹門康弘 (分担) 4.5 水資源環境システムの管理計画, p384-386. 『土木計画学ハンドブック』土木学会土木計画学ハンドブック編集委員会 (編), 2017, コロナ社, 796pp.

他 (省略)

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

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

渡慶次 睦範 (TOKESHI Mutsunori)
九州大学・理学研究院・教授
研究者番号: 30291983

角 哲也 (SUMI Tetsuya)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 40311732

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

風間 聡 (KAZAMA Sou)
東北大学・工学研究科・教授
研究者番号: 50272018

藤田正治 (FUJITA Masaharu)
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

渡辺幸三 (WATANABE Kozo)
愛媛大学・理工学研究科・教授
研究者番号: 80634435