

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360192

研究課題名(和文) 水文データを利用した種多様性と遺伝的多様性の関係解明と流域環境評価への適用

研究課題名(英文) EVALUATION AND APPLICATION OF RELATIONSHIP BETWEEN SPECIE DIVERSITY AND GENETIC DIVERSITY USING HYDROLOGICAL DATA

研究代表者

風間 聡 (KAZAMA, SO)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50272018

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円、(間接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：名取川流域を対象に、HSIによって求められる種多様性と観測から得たウルマーシマトビケラの遺伝的多様性を比較した結果、1) 遺伝的多様性は種多様性と相関を持つ、2) ダムは下流への遺伝子供給を減少させること、3) 上流においてはシロズシマトビケラ個体群と交雑して、遺伝的多様性増加が示唆されたこと、などを知ることができた。両多様性の関係式を用いて、流域全域の遺伝的多様性分布図を得ることができた。本研究を通じ、種多様性と遺伝的多様性の関係を求めることが可能となった。

研究成果の概要(英文)：Comparing genetic diversity of *H. orientalis* Martynov with species diversity using habitat suitability index in Natori River Basin, we obtained 1) both diversities were correlated, 2) dams prevented gene supply from upstream to downstream, 3) genetic diversity of *H. orientalis* Martynov in the upstream areas increased caused by *H. albicephala* Tanida intercrossed, as the results. That correlation can apply the distribution map of genetic diversity in the whole basin. This study provided the methodology to obtain the relationship between species and genetic diversities.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：水工学

キーワード：遺伝子解析 生息場 流出解析 数値地図 HSI

## 1. 研究開始当初の背景

流域環境の評価に、生物を指標に用いることは古くから行われてきた。鮎やクマタカ等は代表的な種である。近年では様々な生息種の調査によって流域環境を評価することが活発になりつつある。生物多様性の評価には、現在、種多様性と遺伝的多様性から評価する2つの大きな流れが存在している。「種多様性」を生息場（ハビタット）の環境から判断する考えは1990年から米国で広く用いられ、近年では数値地図情報の整備に伴って環境アセスメントにBIOGISやHEP（生息域評価）といった概念が一般的に利用されつつあり、環境情報を統計処理するPHABSIM（物理生息域モデル）が利用されるようになってきている。一方、「遺伝的多様性」については、およそ2000年以降、DNA解析が一般化されると、様々な種の遺伝子パターンを流域全体で観測し、交雑度や遺伝距離を用いて多様性を評価するようになった。しかし、これらの解析にはそれぞれ大きな問題点が存在する。第一に静的なデータのみを扱っており動的な流域環境が考慮されていない。流域の状態は流量によって大きく変化するため、動的な水の情報に加味する必要がある。第二に対象種が少なく流域全域の環境を反映していない。PHABSIMなどは魚類に多く適用されているが、河道内（リーチスケール）の生息環境評価の枠を出ていない。豊かな流域環境は、面的に多様な生物相があることを理想としており、流域全体を眺めた生物多様性を把握する必要がある。また、もっとも大きな問題として、種多様性と遺伝的多様性の関係が明らかでないため、両多様性を同時に満たす流域環境を論じることに踏み込めていない。最近では、欧州（ライプニッツ淡水生態学・内水漁業研究所(IGB)やスイス連邦工科大学チューリッヒ(ETHZ))を中心に種多様性と遺伝的多様性の関係を説明しようとする幾つかの仮説が提案されているが、問題は多く支持されていない。主な問題点として、広域のデータを扱っていないこと、「水」の動的役割が十分に生かされていないこと、が考えられる。そこで、近年、全球規模で整備されつつある数値環境情報に水文モデルによる流量の情報を加えて流域全域の生物多様性を評価する手法を確立することを目的とする。この空間情報と遺伝子解析データを加えて、流域の生物多様性について考察する。

## 2. 研究の目的

地球圏-生物圏国際共同研究計画（IGBP: International Geosphere-Biosphere Programme）によれば、生態系と水循環の関係を説明する実用的かつ予測能力を持つモデルの構築が主要な国際的研究目標とされている。また、2010年名古屋で開催された

CBD（生物多様性条約）/COP10では、生物多様性の国際的保全・持続的利用を主要な目標としている。IPCC第4次評価報告書によれば、気温や降水量など気象条件の将来的な変化が予想されている。このため、陸水の水文過程が変遷した場合に河川生物の生息環境や生物多様性が受けるインパクトを定量的に把握する必要がある。生息環境を定量的に評価する手法として、HEP（Habitat Evaluation Procedure）がしばしば用いられている。HEPは、流水の生物は各々の環境条件に適した生息域に分布していると仮定する評価手法である。河川の環境条件において、水温は、水生生物の呼吸・生長・繁殖（増殖）に著しい影響を持つ。気候変動に伴い河川水温の変化が予測されるため、今後の環境影響評価やミティゲーションのため、河川水温の変動に伴う水生生物の応答を把握しておく必要がある。また、緯度や標高等の広域地理情報と遺伝的多様性の関係性から生物の環境適応・移住を論ずる学問分野である景観遺伝学（Landscape genetics）の研究が近年行われつつある。しかし、遺伝的多様性の広域分布や気候変動に伴う変化を予測する手法はほとんど開発されていないのが現状である。加えて、生物多様性科学国際共同研究計画（DIVERSITAS: International Programme of Biodiversity Science）により、生物多様性の国際的な保全・利用活動に貢献するために、様々な時空間スケールにおいて種・遺伝的多様性の変化パターンを理解することが今後の国際的な最優先研究事項の一つに設定されている。本研究では、宮城県の名取川流域における分布型流出・水温モデルと数値地図情報、土地被覆データを用いて水生生物の生息環境及び生物多様性を評価することを目的とする。

## 3. 研究の方法

淡水魚や水生昆虫を含む15分類群の生息場適性指数（HSI: Habitat Suitability Index）モデルを構築し、生息環境を定量的に評価した。構築されたHSIに関しては、実際の生息確認情報との整合性を検証した。加えて、一部の分類群において年間における生息場適性度の変動を、流域全域の適性面積の割合を表すWUR（Weighted Usable Ratio）により示し、水生生物の生活史と比較して考察した（図1）。水生昆虫9分類群のHSIに関しては、形態学的生活様式による分類である生活型を考慮して考察した。

4種水生昆虫の流域全域における環境適応パターンを評価した。水生昆虫の環境選択性遺伝マーカー（non-neutral loci）ごとに算出した対立遺伝子頻度を目的変数、流出・水温シミュレーションから計算された水理・水温データと数値的地理データおよび土地利

用データを説明変数として、重回帰モデルを構築した。有意な重回帰式において選択された環境指標から、水生昆虫の遺伝的変動と環境との関係性を論じ、環境適応を評価した。環境選択性遺伝マーカーは統計的シミュレーションにより中立のプロセスによる遺伝的変動が無いと定義されているため、当マーカーにおける遺伝的変動は、地理・地形的要因の代わりに、局地的環境の影響により生じると仮定出来る。このため、本研究の環境選択性遺伝マーカーを用いた広域シミュレーション手法により、環境適応プロセスから生じた遺伝的変動を正確に予測出来ると考えた。最終的に、有意な重回帰モデルに基づいて推定された対立遺伝子頻度を用いて、遺伝的多様性と遺伝集団 (UPGMA クラスタ) の流域内空間分布を图示した (図 2)。

最後に水生生物の種多様性と遺伝的多様性の関係性を評価した。種多様性は 6 分類群の HSI モデルを使用して算出した種多様性 (以下、HSI 種多様性) を使用した。HSI 種多様性と 4 種水生昆虫の遺伝的多様性の関係性を評価した。その後、目的変数を遺伝的多様性、説明変数を HSI 種多様性とする有意な線形回帰モデルを構築した。この線形回帰モデルに基づき、流域内の遺伝的多様性空間分布を示した。

#### 4. 研究成果

ヤマメの HSI は上流端や支流において高く表現された。これは、ヤマメが冷水性の淡水魚であり、溪流などの流れの速い環境にも対応出来ることから理解出来る。平成 14 年の河川水辺の国勢調査においては、アユの生息が頻繁に確認された中流河川において HSI が増加していた。コイの HSI は、集水面積の大きい主流において適性が小さく表現された。対象とした 6 分類群の検証の結果、ヤマメ、アユ、コイは高い正答率  $T$  の値を示した ( $T=0.90 \sim 0.95$ ) が、ゲンジボタル、ヘイケボタル、カエル類の値は相対的に低く示された ( $T=0.62 \sim 0.80$ )。ヤマメの WUR は 9 月から上昇し始め、11~翌年 5 月にピークを迎えた (図 1)。ヤマメが産卵を行う時期の 9~11 月は WUR が増加傾向を示す時期と一致する。アユとコイは似た傾向を示した。10~翌年 3 月の期間において WUR が減少し、4 月から増加、6~9 月にピークを迎えた。アユの実際の生活史は、9~10 月に産卵を行い、孵化後直ちに海に下る。河川への遡上が始まるのは翌年 4~6 月である。この結果は、説明変数に水温を加味したことによって、アユの両側回遊が WUR の変動により予測され得ることを示している。カエル類の WUR は 11~翌年 3 月に減少している。ニホンアカガエルとトウキョウダルマガエルは冬期に冬眠する。冬眠期は対象種の生息適性は減少すると考えられ、水

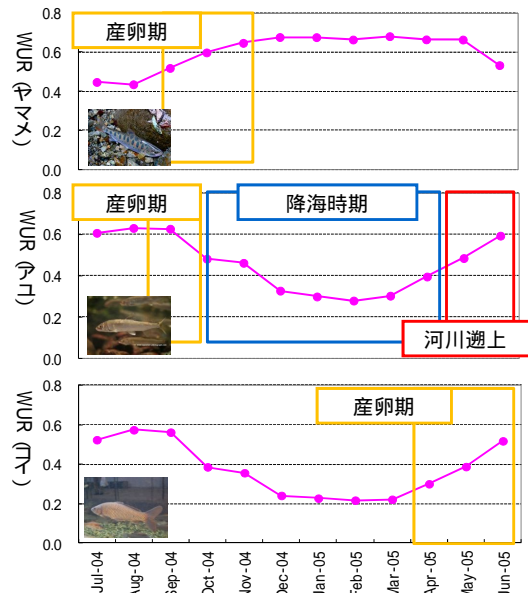


図1 ヤマメ、アユ、コイのWUR年間変動。WURは流域スケールでの生息適性を表す。

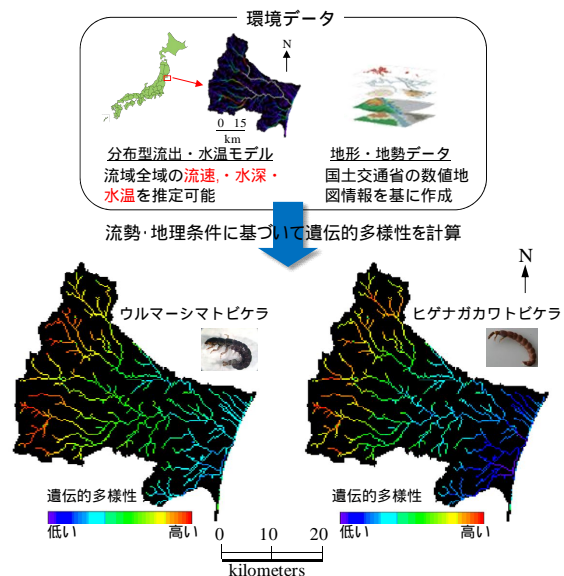


図2 名取川流域における水生昆虫の遺伝的多様性空間分布図。河川部のみ多様性が表現されている。

温を加味した WUR の年間変動によりこの傾向を表現可能と考える。9 分類群の水生昆虫に関して、説明変数に HSI、目的変数に個体群密度とする単回帰分析を行い、決定係数  $R^2$  および統計的有意性 ( $p$  値) に基づいて HSI を検証した。決定係数が高く、統計的有意性を示した ( $P < 0.05$ ) 6 分類群について、HSI 空間分布パターンを表現して生息環境を評価した。造網型に属するウルマーシマトビケラ (以下、ウルマー) とヒゲナガカワトビケラ (以下、ヒゲナガ) において、共に高い HSI を示すエリアが流域の広範囲に分布し、HSI の空間分布パターンに類似性が確認された。しかし、掘潜型について、フタスジモンカゲロウ (以下、フタスジ) とユスリカ科の HSI において異なる空間分布パターンを示した。

生活型が同じ分類群間における HSI の空間分布パターンや WUR に差異が生じる理由として、局所地形や水理条件以外の、水温環境、餌環境、種間競争など他の要因が生息適性度に影響していることが考えられる。

観測値である 4 種水生昆虫の環境選択性遺伝マーカーにおける遺伝子頻度と、20 項目の環境変数の関係性を調べた結果、ウルマーとヒゲナガにおいて年間最高水温と、フタスジにおいて水理要素との間に強い相関関係が確認された。ウルマーとヒゲナガの多くの環境選択性遺伝マーカーにおいて確認された年間最高水温の遺伝子頻度との強い相関は、高水温環境がこれら 2 種の局所環境適応に寄与する割合の高い事実を示唆した。既往研究において、高水温域における飼育時にヒゲナガの生残率の減少が報告されている。従って、水生昆虫の羽化や致死に影響を及ぼす極端な水温条件下において、その環境に適応可能な遺伝子型を有する個体のみが生息出来ることが仮説として考えられる。ウルマーとヒゲナガにおいて、水温の高い下流域にて、上流域と異なる遺伝子型を有する遺伝集団が分布することおよび、遺伝的多様性の低い（図 2）ことをこの仮説により説明出来る。フタスジの重回帰モデルは高い重決定係数により構築された ( $R^2=0.32 \sim 0.98$ )。モデルにおいて、水理要素が多くの環境選択性遺伝マーカーにて説明変数として選択された。この結果は、局所的な流勢の空間的変動が、本種における流域スケールの環境適応パターンを決定づけている事実を示唆する。フタスジの遺伝集団は、本流集団と支流集団に分類された。規模の大きい出水は、しばしば河川底生生物を生息場である河床ごと剥離、流下させるかく乱作用を有する (Catastrophic drift)。一般的に、集水面積の大きい主流河川において、支流と比べて出水による流量の増加は大きい。このため、支流において洪水が起きた際に、本種のかく乱および流下が本流と比べて発生しにくいと推測される。このため、主流において出水による淘汰が個体群を減少させ、遺伝子プールが減少した結果、遺伝的多様性が低下したと考える。

HSI 種多様性とウルマーの遺伝的多様性は、既往文献における最も一般的な両多様性の相関パターンと同様に正の相関を示した。これは、HSI を算定した 6 種水生生物に適した生息環境において、ウルマーは多様な遺伝子を有している事実を示す。正の相関が導かれた要因として、HSI 種多様性の高い場所における種の移入・定着ポテンシャルの高さが考えられる。HSI 種多様性の高い場所は、止水性・流水性トンボやホタルなど異なる環境を選好する種の HSI の高い環境であるため、多様な水生生物種の移入・定着ポテンシャルの高い地点と推測される。この場所において、

ウルマー個体群の入れ替わりが活発になると考えられるため、遺伝子流動が増加する。これにより、最終的に対象種の遺伝的多様性の増加した事実が示唆される。HSI 種多様性と遺伝的多様性指標の単回帰式について、2 地点において統計的に有意な外れ値（残差）が確認された。これは、観測された遺伝的多様性が単回帰モデルによる予測値に比べて有意に低い（地点 A）もしくは高い（地点 B）ことを示している。地点 A において、上流に位置する大倉ダムの河川分断効果により、上流からの対象種の移住が困難である場合、遺伝子の供給効果が小さいと推測される。このため、対象種のダム下流個体群が世代を通じて上流の個体群と交流する機会が減少し、同一個体群内における近親交配が進行したため、遺伝的多様性の低下した事実が示唆される。地点 B において、ウルマー生息範囲の最上流端かつその上流に近縁種であるシロズシマトビケラが生息している。これら 2 種は河道において縦断的に棲み分けすることが知られている。このため、上流に生息するウルマー個体群において、そのさらに上流に棲むシロズシマトビケラ個体群と交雑して、遺伝的多様性の増加した可能性がある。以上より、これら 2 地点は、既往研究における種多様性と遺伝的多様性に独立して影響する要因（ie., 環境異質性、移入・定着ポテンシャル）とは別の HSI 種多様性と関連付けることが出来ない外因的要素による変動の影響があると仮定し、単回帰モデルから除外した外れ値を除外した単回帰モデルより、遺伝的多様性空間分布を推定した。推定された遺伝的多様性空間分布図において、流域全体としてみると中流域と支流において遺伝的多様性が高く表現されている。これは、既往研究における観測データの縦断分布と同様の傾向である。しかし、作成された分布図は、環境選択性遺伝マーカーを用いて重回帰モデルにより確定されたものと上流域において異なる傾向を示した。これは、HSI 種多様性の算定に使用した分類群の中に源流～上流を選好して生息する分類群が存在しないことが要因と考える。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 17 件)

【以下全て全文査読有】

1. 糠澤桂, 風間聡, 高瀬陽彦, 渡辺幸三, 水生生物の生息場適性度と遺伝的多様性の関係, 土木学会論文集 B1(水工学), 第 70 巻, 2014.(印刷中)
2. 新井涼允, 糠澤桂, 風間聡, 竹門康弘, 水温環境の変化に伴う源流域における底生動物群集の将来変化, 土木学会論文集 B1(水工学), 第 70 巻, 2014.(印刷中)
3. 高瀬陽彦, 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, 分

- 布型水文モデルと確率密度関数を用いた底生動物の生息環境および種多様性評価, 土木学会論文集 B1(水工学), 第 70 巻, 2014.(印刷中)
4. Ji Hyun Kang and So Kazama, Development and application of hydrological and geomorphic diversity measures for mountain streams with check and slit-check dams, Journal of Hydro-environment Research, 2014.(印刷中)
  5. Ji Hyun Kang and So Kazama, Short-term river response and restoration of biological diversity following slit construction, Journal of Hydro-environment Research, Vol.7, Iss.3, pp.161-173, 2013.9. DOI: 10.1016/j.jher.2013.05.003
  6. 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, HSI 種多様性に基づく流域の遺伝的多様性空間分布の予測, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, No.4, pp. I\_1303-I\_1308, 2013.3.6.
  7. 新井涼允, 糠澤桂, 風間聡, 竹門康弘, 水温が源流域の水生昆虫に与える影響, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, No.4, pp. I\_1279-I\_1284, 2013.3.6.
  8. 高瀬陽彦, 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, 分布型流出・水温モデルを使用した水生昆虫の生息環境評価, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, No.4, pp. I\_1255-I\_1260, 2013.3.5.
  9. 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, 河川生物の HSI 種多様性と遺伝的多様性の関係性について, 土木学会論文集 G(環境), Vol.68, No.7, pp.III\_603-III\_610, 2012.11.29.
  10. Ji Hyun Kang, So Kazama, An ecological assessment of a dammed pool formed by a slit dam, International Journal of River Basin Management, Vol.10, No.4, pp.331-340, 2012.11.16. DOI: 10.1080/15715124.2012.727826
  11. Kei Nukazawa, Jun-ichi Shiraiwa, So Kazama, Evaluation of seasonal habitat variations of freshwater fishes, fireflies, and frogs using a habitat suitability index model that includes river water temperature, Ecological Modelling, Vol.222, No.20-22, pp.3718-3726, 2011.10. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.09.005
  12. K. Nukazawa, S.Kazama, K. Watanabe & J. Kang, Benthic communities and genetic structure of caddisfly *Stenopsyche marmorata* along a mountain stream fragmented by slit and unslit sabo dams, River Basin Management VI, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 146, pp.263-274, 2011.5.
  13. 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, 第 55 巻, pp.S1255-S1260, 2011.3.
  14. 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, Ji Hyun Kang, スリット型砂防ダムの存在する溪流河川の底生動物の種多様性と遺伝的多様性, 環境工学研究論文集, Vol.47, pp.433-440, 2010.11.
  15. Kei Nukazawa, So Kazama, Kozo Watanabe, Species diversity of benthic faunal communities along a mountain stream fragmented by slit and unslit dam, Proceedings of the 5th conference of Asia Pasific Association of Hydrology and Water Resources(APHW), pp.48-55, 2010.11.
  16. Ji Hyun Kang, So Kazama, Assessment on the Physical Habitat and Species Diversity of Benthos by Influence of Structure in Mountain Stream, Proceedings of 8th international symposium on Ecohydraulics 2010, pp.1193-199, 2010. 9.
  17. J.H. Kang, S. Kazama, Assessment on physical habitat diversity and species diversity of invertebrate in mountain stream, Environmental Hydraulics, Vol.2, pp.17-22, 2010.6.
  18. 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, 透過型・不透過型砂防ダムの存在する山地溪流における底生動物群集の種多様性, 水工学論文集, 第 54 巻, pp.1285-1290, 2010.3.
- [学会発表](計 7 件)
1. 新井涼允, 糠澤桂, 風間聡, 水温環境の変化が水生昆虫群集に与える影響, 第 21 回地球環境シンポジウム, 仙台, 2013 年 9 月 17 日.
  2. Akihiko Takase, Kei Nukazawa, So Kazama, Kozo Watanabe, Relationship between aquatic insects habitats and environmental factors using hydrological simulation model, Proceedings of the 35th IAHR World Congress, Chengdu, China, 2013.9.10.
  3. Ryosuke Arai, Kei Nukazawa, So Kazama, Yasuhiro Takemon, Water temperature effects of benthic invertebrates in the Natori River Basin, Proceedings of the 35th IAHR World Congress, Chengdu, China, 2013.9.10.
  4. Kei Nukazawa, So Kazama and Kozo Watanabe, Spatial prediction of

- adaptive genetic variation in stream caddisfly based on basin-scale hydraulic and thermal simulation, 4th International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology: Emerging Patterns, Breakthroughs and Challenges (HydroEco2013), Rennes, France, 2013.5.14.
5. 新井涼允, 糠澤桂, 風間聡, 竹門康弘, 源流域における底生動物群集と水温の関係, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月6日, 仙台
  6. 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, 水文モデルを利用した水生昆虫遺伝的多様性の推定手法の開発, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月6日, 仙台
  7. 高瀬陽彦, 糠澤桂, 風間聡, 渡辺幸三, HSI モデルを用いた水生昆虫の種多様性評価手法の開発, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2013年3月6日, 仙台
  8. 新井涼允, 高橋真司, 糠澤桂, 竹門康弘, 風間聡, 水温が源流域の水生昆虫に与える影響, 土木学会全国大会, 2012年9月7日, 名古屋.
  9. 糠澤桂, 風間聡, 流域内の HSI 種多様性と水生昆虫遺伝的多様性の関係性, 土木学会全国大会, 2012年9月7日, 名古屋.
  10. Ryosuke Arai, So Kazama, Sinji Takahashi and Yasuhiro Takemon, Impacts of water temperature and elevation on benthic invertebrates at headwaters, IAHR-APD 2012, 2012.8.21. Jeju, Korea.
  11. Kei Nukazawa and So Kazama, Habitat suitability evaluation freshwater fishes, fireflies, and frogs in the perspective of basin environmental management, IAHR-APD 2012, 2012.8.21, Jeju Korea.
  12. Kei Nukazawa, Junichi Shiraiwa, So Kazama, Estimation of seasonal habitat transitions of aquatic animals using a habitat suitability index model based on hydrological and thermal simulations, Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO) summer meeting, 2012.7.12, Ohtsu.
  13. 糠澤桂, 風間聡, 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7日, 秋田.
  14. 新井涼允, 高橋真司, 糠澤桂, 竹門康弘, 風間聡, 水温が源流域の水生昆虫に与える影響, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2012年3月7日, 秋田.
  15. Kei Nukazawa, Junichi Shiraiwa, So Kazama, Influence of river water temperature on seasonal habitat variations of freshwater fishes, 2nd Biennial Symposium of the International Society for River Science (ISRS), 2011.8.11, Berlin.
  16. Kei Nukazawa, So Kazama, Kozo Watanabe, Juhyun Kang, Benthic communities and genetic structure of caddisfly *Stenopsyche marmorata* along a mountain stream fragmented by slit and unslit sabo dams, 6th International Conference on River Basin Management, 2011.5.22, Riverside, USA.
  17. JiHyun Kang and So Kazama, Potential of River Bottom and Bank Erosion for River Restoration after Dam Slit in the Mountain Stream, The conference of Korea Water Resources Association, Seoul, 2011.5.17.
  18. JiHyun KANG and So KAZAMA, River response by sediment transport after dam slit in mountain stream, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2011年3月8日, 仙台.
  19. 糠澤桂, 白岩淳一, 風間聡, HSI モデルを用いた水生生物生息場の評価, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2011年3月8日, 仙台.
- 〔その他〕  
<http://kaigan.civil.tohoku.ac.jp/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
 風間 聡 (KAZAMA, SO)  
 東北大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：50272018
- (2) 研究分担者  
 大村 達夫 (OMURA, TATSUO)  
 東北大学・大学院工学研究科・教授  
 (平成23年度まで)  
 研究者番号：30111248  
 西村 修 (NISHIMURA, OSAMU)  
 東北大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：80208214  
 真砂 佳史 (MASAGO, YOSHIFUMI)  
 東北大学・大学院工学研究科・助教  
 (平成24年度まで)  
 研究者番号：50507895  
 竹門 康弘 (TAKEMON, YASUHIRO)  
 京都大学・防災研究所・准教授  
 研究者番号：50222104  
 横尾 善之 (YOKOO, YOSHIYUKI)  
 福島大学・共生システム理工学類・准教授  
 研究者番号：90398503