

河川砂防技術研究開発公募 地域課題分野(河川生態)

<一般研究:事後評価結果>

テーマおよび概要		研究代表者名	評価	審議結果
テーマ	流域地質及び河道・氾濫原改変が菊池川水系の河川生態系の構造と機能に及ぼす影響とそれに基づいた河道管理手法に関する研究 (研究期間:H26年度~H30年度)	九州大学 島谷 幸宏	A	研究目的は達成され、十分な研究成果があった。
概要	菊池川流域を対象に、地質・地質構造の差異に基づいた流域の調査、氾濫原域の生態系の広域調査を行う。それらの知見をもとに、地質・地質構造、氾濫原環境の相違に基づいた河川管理手法を提言する。			

評価の凡例

A:研究目的は達成され、十分な研究成果があった。

B:研究目的は概ね達成され、研究成果があった。

C:一定の研究成果があった。

D:研究成果があったとはいえない。

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者		氏 名 （ふりがな）	所 属		役 職			
		島谷幸宏（しまたにゆきひろ）		九州大学大学院 工学研究院		教授		
②研究 テーマ	名称	流域地質及び河道・氾濫原改変が菊池川水系の河川生態系の構造と機能に及ぼす影響とそれに基づいた河道管理手法に関する研究						
	政策 領域	〔分野〕 地域課題分野（河川生態）						
		〔公募課題〕 生態系を保全することを含めた河道内の地形改変等の影響及びその効果の早期発現・機能維持に資する研究						
③研究経費 （単位：万円）		平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成 年度	総 合 計
※端数切り捨て。		1000	1000	1000	1000	1000		5000
④研究者氏名 （研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）								
氏 名		所属・役職（※平成31年3月31日現在）						
矢原 徹一		九州大学・理学研究院・教授						
皆川 朋子		熊本大学・大学院・准教授						
笠原 玉青		九州大学・農学研究院・准教授						
鬼倉 徳雄		九州大学・農学研究院・准教授						
池見 洋明		九州大学・工学研究院・助教						
一柳 英隆		熊本大学九州大学・工学研究院・学術研究員						
林 博徳		九州大学・工学研究院・助教						
佐藤 辰郎		九州大学・工学研究院・特任准教授						
田中 亜季		熊本大学・大学院・特別研究員						
伊豫岡宏樹		福岡大学・工学部・助教						

⑤研究の目的・目標（申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）

九州の河川は流域ごとに地質・地質構造が大きく異なり、それに対応して河川の物理化学的環境や生態系が異なると考えられる。しかし、それに対応した河道管理手法は確立していない。また、2008年に中小河川の河道計画の技術基準が制定されたが、適用範囲は中流域に限定され、渓流域における方法論は確立していない。土砂生産源に近く、地質や地質構造の影響を直接的に受ける溪流と河道地形改変の関係を解明し、地質の相違に基づく溪流の河道管理手法を構築する必要がある。また、氾濫原に依存するタナゴなどの生物は河道改修、圃場整備などにより急減している。今後、全国の河川で高水敷掘削が行われるが、その際、流下能力の担保及び持続的な河道の維持とともに生態的な機能の向上、特に河道内での氾濫原環境の担保・創出が求められている。

上流の地質の相違を念頭に、渓流域および氾濫原の物理化学的環境と生物群集との関係を解明するとともに、上下流の関係性を統合しながら知識を集積し、河道改修等の河道管理にいかすことを目的とする。具体的には、①溪流の地質別の河道管理手法の提案、②多様な氾濫原生態系を担保する河道掘削手法の提案である。また、溪流研究と氾濫原研究を物理化学的環境でつなぎ、③渓流域と氾濫原域の河川生態系がどのように関連しあっているのかの知見の集積を目的としている。

⑥研究成果

1. 溪流研究

1.1 地質と河川水、地形の関係

菊池川上・中流域は、北部に筑肥（ちくひ）山地、東西に丘陵地、南部には段丘堆積物からなる台地により囲まれ、菊鹿盆地を形成している。筑肥山地は中・古生代の三郡変成岩（泥質片岩、塩基性片岩）、中生代白亜紀の菊池花崗岩を基盤して、新第三紀の豊肥火山活動により噴出した安山岩・デイサイト質の火山岩が覆う。なお菊池花崗岩は三郡変成岩に貫入している。西部の丘陵地も同時代の玉名花崗岩の貫入が確認できる。東部の丘陵地は、主に第四紀の阿蘇火砕流堆積物からなる。同火砕流堆積物は、活動時期により4つに区分されており、最後に活動した阿蘇4（9万年前）が最も広く分布する。阿蘇3（12万年前）と阿蘇4の活動の間で菊鹿盆地は湖化しており、阿蘇4の下位に湖成堆積物の花房層が分布する。この花房層の分布は湧水地分布と重なり、阿蘇4下部に帯水層が形成されている。

① 地質と河川比流量

花崗岩、泥質片岩、阿蘇火砕流堆積物が分布する渓流域において、降雨の影響が少なくなる渇水期（2013年11月）において、河川流量の計測を行った。流量計測は希釈法にて行った。希釈法では、一定濃度の塩水を上流に投入して下流で電気伝導度を計測し、希釈した塩分濃度と流下時間で流量を計算する。比流量で比較すると花崗岩がやや多い結果となり、と泥質片岩の比流量にあまり違いはなかったが、溶結凝灰岩の溪流はほかに比べて流量が少ないことがわかった。

② 地質と溶存シリカ濃度

花崗岩、泥質片岩、阿蘇火砕流堆積物に分布する河川水の溶存シリカ濃度の測定を行った。シリカは雨水には含まれず、浸透水が岩石や土壌と反応することにより増加する。泥質片岩は流域面積とともにシリカ濃度は減少したが、花崗岩、阿蘇火砕流堆積物は増加傾向を示した。阿蘇火砕流堆積物（阿蘇4）には、下位の湖沼堆積物の花房層が不透水層となって帯水層が形成されており、その地下水の寄与により阿蘇溶結凝灰岩が分布する下流域で比較的高いシリカ濃度が観測されたと考えられる。土壌と水との反応において短時間でシリカ濃度の増加が報告されている花崗岩や阿蘇溶結凝灰岩の河川では、下流域での地下水の寄与が比較的大きいことが考えられた。

③ 地質と開析

菊池川渓流域に分布する地質は生成年代だけではなく、地表に露出した年代も異なるため、地形形成には風化や浸食程度の違いが渓流域の地形形成に大きく影響していると考えられる。そこで、地質の異なる流域地形（開析）をストリームパワー則で解析・比較した。解析は国土地理院の10mDEMを用いて4km²の範囲で行った。その結果、露出年代が9万年と新しい溶結凝灰岩の支流の開析度は他に比べて低く、開析度は露出年代と概ね相関していることを確認した。

このように菊池川渓流域では、地質の異なる岩石が分布しているだけではなく、数億年から数万年の間に形成された岩石が分布して、様々に風化作用を経験したことによって、多様な流域地形や水環境が形成されたものと考えられた。

1.2 地質と河道形態

山地溪流は土砂生産源に近く、中下流域に比べて流域の地質・地形の影響が顕著であると考えられるが、それらに関する知見は限られている。地質によって山地溪流の河床材料、および河道形態がどのように異なるかについて菊池川の支流を含む九州中北部の山地溪流（地質：花崗岩、泥質片岩、溶結凝灰岩、安山岩）で調査を行なった。

地質毎に河床材料の質（粒度分布、形状等）が明瞭に異なっていた。花崗岩は節理ぞいに風化が進み、節理ぞいの部分では細かい砂になり、それ以外の部分はコアストーンとなるため細かい砂と巨礫ができやすく、それを反映した粒度分布となっていた。泥質片岩は片理面にそって剥がれやすい傾向にあるため、扁平度が非常に高い傾向を示した。溶結凝灰岩は河床の多くで岩盤が露出し、その上に土砂が点在して堆積していた。安山岩は巨石が多い粒度分布であった。

こうした地質毎の粒度分布、礫形状の違いは、山地溪流河道の特徴であるステップ-プール構造に影響していた。ステップの高さはステップを構成する礫のサイズと明瞭な相関関係があるが、泥質片岩は他の地質と比べてステップ高が低い傾向が見られた（図1）。扁平な礫が層状に重なってステップが形成されるためステップ高が低くなると考えられる。また、ステップ-プール構造の形成・破壊に関する水理模型実験を行ったところ、扁平な泥質片岩と密度の小さい安山岩については、ステップが破壊しやすいことが分かった。

このように溪流河道の骨格となるステップ（ストラクチャー）は、その形状と安定性について、地質毎に産出される礫の形状や粒度分布の影響を大きく反映することが分かった。また、河道の骨格を被覆する表層の状態（テクスチャー）についても水流による分級作用に卓越し、地質ごとの細粒分生産特性を反映して決定される。

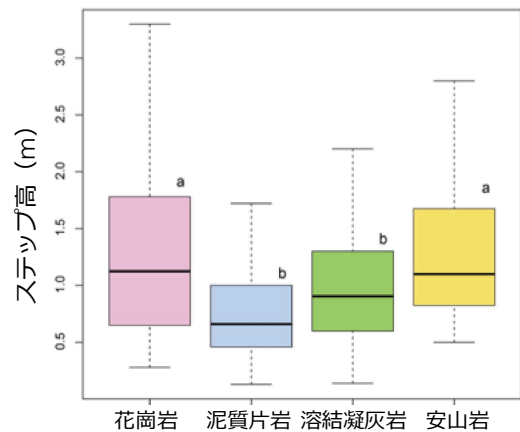


図1 地質別のステップの高さ

1.3 地質と河床間隙水域

河床堆積域に広がり、底生生物の生息場・避難場所、栄養塩や炭素の滞留・変換の場、水温の緩衝帯である河川間隙水域の広がりや機能は、溪流地質によって異なるのだろうか？安山岩、花崗岩、泥質片岩、溶結凝灰岩を流れる複数の溪流で調査を行い、以下のことが明らかになった。

- ① 河川間隙水域は、急峻な山地溪流においても広がっており、降雨により斜面流出が増加する時でも、その広がり維持される。

ピエゾメーターに水位計を設置し、継続的に河川水位と河川間隙水域での水頭値の測定を行った。山地溪流では、ステップ-プール構造が発達しているため、ピエゾメーターはステップ直上ととプールに設置した。ステップ直上地点においては、流路から河川間隙水域への動水勾配が大きく、80mm以上の降雨時で地下水位が上昇した時でも、表流水の浸透が維持された。

- ② 河川間隙水域に浸透する表流水の割合は、地質によって異なる傾向がみられる。

泥質片岩・安山岩＞花崗岩＞溶結凝灰岩

各地質5～6本の溪流において、NaClをトレーサーとして用いて、流路長100m区間で河川間隙水域に浸透する表流水の割合を調査した。

安山岩と泥質片岩を流れる溪流では、表流水の平均10%ほどが河川間隙水域に浸透し、その割合が高かったのに対し、花崗岩は5%、溶結凝灰岩を流れる溪流では<2%と低い割合であった（図2）。地質が異なると、どうして浸透する表流水の割合が異なるのか、流量、河川地形、河床材料から考察した。既存の研究結果に反し、流量やステップ高と浸透する水量には関係がみられなかった。流量に関しては、<160L/sと小さな溪流だけを対象としていたこと、ステップ高は、浸透量が最も高い泥質片岩と最も低い溶結凝灰岩で小さかったことが要因と考えられた。河床材料（透水係数）と浸透量には正の関係がみられた。

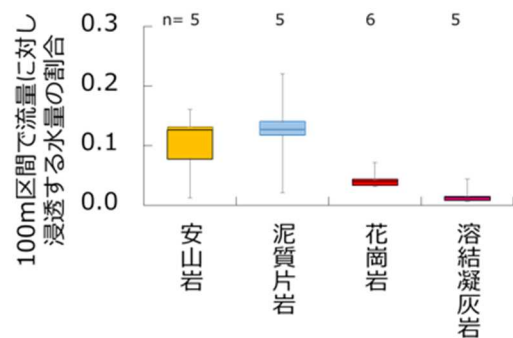


図2 地質ごとの河床間隙水域への浸透水量

- ③ 河川間隙水域における有機物の分解速度は、地質によって異なる傾向がみられる。

泥質片岩＞花崗岩・安山岩＞溶結凝灰岩

複数地点で比較を行うため、有機物の質を一定にする必要がある。そこで、Cotton-strip Assay法を用いて有機物分解速度を夏（7－8月）に測定した。河川間隙水域での分解速度は、深さ10－15cmで測定し、流路内（河床）での測定も行った。

地質間の比較を行うと、河川間隙水域・河床ともに、溶結凝灰岩を流れる溪流では分解速度は遅く、泥質片岩を流れる溪流では早かった。安山岩と花崗岩を流れる溪流は、泥質片岩よりも少し遅い分解速度であった（図3）。分解速度の違いを水温、栄養塩（硝酸態窒素濃度）、水生昆虫の貢献度から考察した。水温・水生昆虫の貢献との関係はみられなかったが、栄養塩濃度が高い溪流ほど分解速度が速い傾向がみられた。

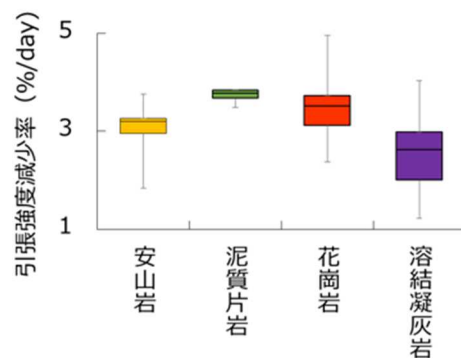


図3 地質ごとの引張強度減少率

④ 浸透する表流水の割合が高いほど河川間隙水域での分解速度が速く、河川間隙水域と流路内（河床）の分解速度の差も小さくなる。

伏流量が多くて分解速度が早い溪流は泥質片岩に多く、伏流量が少なくて分解速度が遅い溪流は溶結凝灰岩であった。河床に比べると河川間隙水域の方が分解速度は遅いが、伏流量が増えると、河川間隙水域の分解速度が河床に近くなった（図4）。

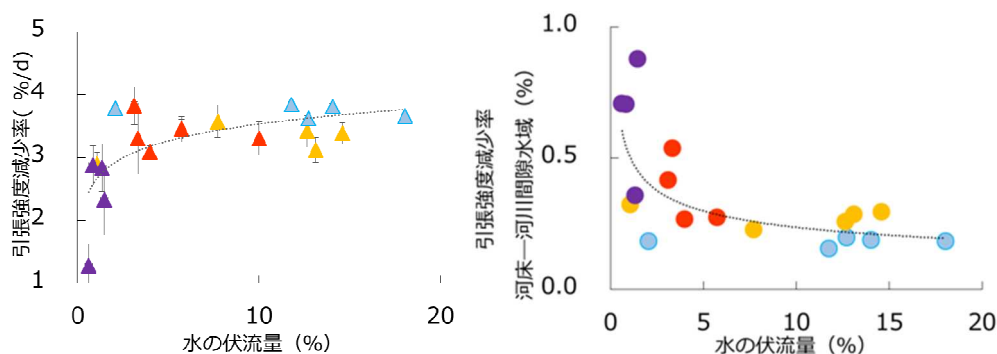


図4 浸透水量と引張強度減少率（分解速度）の関係

以上のように、地質が異なると表流水の浸透量に影響を与え、河川間隙水域の広がりや機能が異なることが示唆された。

1.4 地質と溪流生態系の構造

地質の違いにより、河川の物理化学的特性（河道のステップ-プール構造、河道内に堆積する河床材の量や粒度組成、礫の形状、伏流の量、水質、水温など）が異なり、それにより溪流に分布する生物の生息は影響を受けると考えられる。

4地質（安山岩、花崗岩、泥質片岩、溶結凝灰岩）の集水面積20km²以下の溪流において、広域的な底生動物の調査を行った。その結果、地質により生活型個体数（密度）に差があり、砂が多い花崗岩で遊泳・滑行・匍匐・固着型が少なく、掘潜型が多いことがわかった（図5）。岩盤が卓越し、河道内に堆積する土砂が少ない溶結凝灰岩では、造網型が少なかった。それぞれの地質の溪流でのマイクロハビタット利用をみたところ、泥質片岩や安山岩は、流速が遅い場所まで砂などの細粒河床材が少なく、礫の間隙を利用する種が、流速が遅い場所まで分布していた。このように、地質に由来する河床材の違いにより、河川上流部の生物群集の違いを生じていた。

これら地質に依存する河床材の違いの影響について、サワガニをモデルとして野外調査と室内実験により解析した。サワガニは、泥質片岩、続いて安山岩で密度が高かった。これらの細粒河床材が少ない地質では、河床間隙が多く、とくに甲幅10mm以下の1歳程度までの個体（これらの小型個体は自ら穴を掘ることが少ない、おもに間隙に潜む）の隠れ家を提供していた。室内実験からは、花崗岩のように間隙が少ない場合、同種大型個体に共食い

される確率が高くなり、そのことが密度の低い要因と推察された。大型個体は、隠れ家として穴を掘ることができるが、泥質片岩では水中の礫間隙に隠れるのに対して、砂に埋もれてしまう花崗岩では陸上の石の下に砂に穴を掘り隠れ家としていた。

このように、地質がもたらす河床材の違いにより、底生動物の群集構造やマイクロハビタット利用が異なることが明らかになった。

河川の生態系機能に大きな影響をもたらすと考えられるものの、ほとんど知見がない河床間隙生物も調査をした。間隙生物は、多くの場合凍結コア法により調査されることが多いが、溪流では礫が大きいために凍結した河床材を引き出すことが難しい。ここでは、油圧式ジャッキを組み合わせることで、大きな河床材が凍結して連結した場合でも引き上げられる装置を開発することで、溪流の河床間隙生物相の解明と地質間の相違を分析した。間隙環境は、透水性や粒度組成に違いが地質間で認められた。間隙生物としてはどの地質も、線形動物、ユスリカ類、ミズダニ類、ソコミジンコ類の4 taxaが全体の80%近くを占めた。採集された生物において特筆すべきこととしては、ミズダニ類で多様な種類が採集され、そのうち、1個体は新種の可能性があり、別の1個体は日本初記録かつ旧北区において属レベルで2例目の出現記録となった。また、日本国内では幼虫未発見であるアミメカゲロウ目シロカゲロウ科シロカゲロウ属の幼虫が複数個体得られた。溪流域の河床間隙域での採集はこれまで日本国内において他に例がなかったが、今回の調査において溪流域での多様な生物相を明らかにすることができた。ただし、底生動物以上に微細な環境の影響をうけると考えられる河床間隙生物であるが、分類学的に分けられたタクサ、体サイズ・体形・生活型により分けられた生物グループでも地質間で群集構造に明確な違いは認められなかった。

河道内に堆積する土砂の違いは、攪乱時にも地質間で違いがあった。平成27年九州北部豪雨により土石流が発生した溪流のハビタットを調査した。泥質片岩や花崗岩では、土石流後には、平坦で深い還流部が消失し、細粒河床材に覆われた均一的な河道となっていた。安山岩では、深い部分や還流部があり、ハビタットの異質性が高かった。土石流後、初期的には、コカゲロウ類やブユ類などの年多化の種、シマトビケラ類などの分散性が高い種、サワガニなどの土石流発生時に陸上にいる種の進入がおこったが、安山岩では、数ヵ月後にそれ以外の多様な種が確認され、ハビタットの異質性が回復の早さに影響していると考えられた。

また、地質の違いによる水温環境の違いもまた、底生動物の組成に影響を与えていた。一年を通して水温を記録したところ、安山岩溪流では、他の地質の溪流と比較して夏季水温が低く冬季水温が高く、年較差が小さかった。これは、溪流部での湧水が多く（流量が多い）、河床との水交換率が高い（河床の温度緩衝機能）ためであると考えられる。一方、流量が少なく、河床が平坦で、河床との水交換率が低い溶結凝灰岩では、日較差や年較差が大きかった。流量が多いものの河床との水交換率が

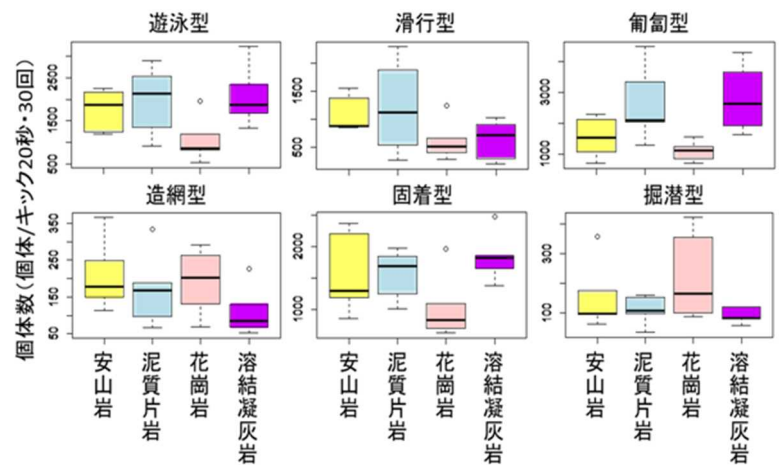


図5 地質ごとの底生動物生活型別密度

低い花崗岩、流量が少ないものの、河床との水交換率が高い泥質片岩では、その中間的な水温特性を示した。底生動物について、全国の分布地の整理から、温暖地性種、寒冷地性種を抽出した。温暖地性種数の変異には、年平均水温が正に影響し泥質片岩が多かった。寒冷地性種の数数は、夏の最高水温が負に影響し安山岩が多かった。このように、地質が河川の水温を解して河川生物群集に影響することが明らかになった。

底生動物の組成の違いは、それを捕食する生物にも影響を与えていた。溪流に生息し、おもに河川内の小動物を捕食する哺乳類であるカワネズミの食性について、糞内容分析により調査した。九州のカワネズミは、サワガニを多く捕食していたが、サワガニが少ない溶結凝灰岩では、サワガニの頻度が低く、その代わりトビケラ類などの底生動物や魚類を食べる頻度が高くなった。サワガニの密度は、カワネズミの密度にも正に影響した。

カワネズミの生息確率は、泥質片岩で低く、溶結凝灰岩で高かった（図6）。分布調査結果を利用した在否を応答変数とした統計モデルからは、おもにステッププール河道の連続性と、コンクリート護岸率が影響していると考えられた。カワネズミはおもにステッププール河道で生息している。勾配が2%以上の

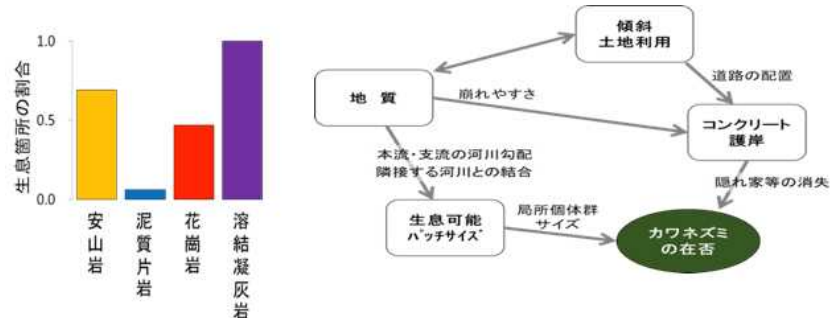


図6 カワネズミの地質別生息確率（左）と関連する要因（右）

勾配が2%以上のステッププール河道の連続性は溶結凝灰岩で高く、泥質片岩で低かった。古い地質である泥質片岩は、掘り込まれた勾配が小さい本流に対して短いステッププール河川が流入する形で、生息河川が1本ずつは断片化されていた。溶結凝灰岩は、同じ規模の支流が合流し、本流と支流の違いが大きくなり生息河川が連続していた。ステッププール河道の連続性はカワネズミの局所個体群の存続を高くするため、在確率が高いと考えられる。コンクリート護岸は、カワネズミに在確率に負の影響を与えていた。泥質片岩では、地形傾斜が低いために道路が川沿いにできやすく、そのため河岸がコンクリート化されることが多かった。泥質片岩の在確率の低さは、ステッププール河道の連続性の低さと、コンクリート護岸率の高さが影響していると考えられ、カワネズミのような大型で個体数が少なく移動が川沿いに限られるような種に対しては、河道の縦断構造や周辺地形も影響を与えていると考えられた。

2. 溪流-氾濫原接合部の研究

2.1 地質と接合部の物理環境と底生動物群集

地質の影響は、河川が下流に行くに従って、各影響要因の寄与度や寄与の方向性が異なってくると思われる。菊池川の安山岩、泥質片岩、溶結凝灰岩が卓越する支流、および花崗岩が卓越する近隣の河川（花崗岩が広く分布する河川が菊池川ではなかったため）で縦断的に河道特性や生物相について調査した。冬季の比流量（湧水量）は溶結凝灰岩河川では他の河川と顕著な違いが見られ、10-100km²の間で河川に大量の水が追加されていた。河川の水深や流速の変異は、上流部では、ステップ・プールが発達する安山岩や花崗岩で大きい、下流にいき流域面積が20-30km²を超えると、ほとんど差が認められなかった。溶結凝灰岩の上流で顕著だった岩盤の露出は、岩盤露出面積の差は地質間で差がなくなった。このように河道の物理的な違いは、下流にいくと小さくなり、それに対応して底生動物群集の違いは小さくなった。ただし、溶結凝灰岩の河川では、溶結凝灰岩は中流部で湧水が入るため温度が変化し、それに依存して底生動物相も変化した。

2.2 地質と接合部の魚類群集

溪流と氾濫原の接合部の魚類群集に表層地質の影響は及ぶのか？それを解明するために、菊鹿盆地内で合流する5河川（岩野川、上内田川、迫間川、菊池川、合志川）を対象とし、魚類相と物理環境を比較した。これら5河川の山間地質（各流域内の山地、火山地、丘陵地および台地部）は表層地質

図から、菊池川で溶結凝灰岩の構成比率が高いこと、合志川で新堆積岩類が高いこと、岩野川で結晶片岩類が高いこと、上内田川で安山岩類が高いこと、迫間川で安山岩類と花崗岩類が高いことが明らかである。表層地質の影響は河床材料に最も表れることを想定し、顕著な堆積が始まる扇状地地形(セグメント1区間、河床勾配1/60-400)を解析対象とした。魚類相については、2014から2015年度にかけて行った242地点の魚類相データから、5河川のセグメント1区間のものを抽出し、類似性解析や独立性検定を行った。物理環境については、河床材料調査、河床材料の比重の測定、夏季と冬季の水温の連続観測を行った。魚類相の類似性解析に基づき、そのタイプ別に物理環境を比較するとともに、中央粒径値、夏季水温、比重を使って判別分析を試みた。また、代表種の在・不在を応答変数、物理環境を説明変数として、二項ロジスティック分析を行った。

類似性解析によって、魚類相は概ね3区分され、タカハヤが多く出現するタイプ1、アリアケギバチが多くみられるタイプ2、メダカに特徴づけられるタイプ3となった。タイプ別に各種の出現頻度に基づく独立性検定を行ったところ、タカハヤはタイプ1のみで高い出現頻度を、カワヒガイ、カネヒラ、アリアケギバチはタイプ2のみで高い頻度を、ウグイ、ムギツク、オヤニラミはタイプ3で低い頻度を、イトモロコ、ギンブナとアリアケスジシマドジョウはタイプ1で低い出現頻度を示した。つまり、タイプ1はタカハヤが多く、イトモロコ、ギンブナとアリアケスジシマドジョウが少ない、タイプ2はカワヒガイ、カネヒラ、アリアケギバチが多い、タイプ3はウグイ、ムギツク、オヤニラミが少ないと、統計結果から整理された。

物理環境については、河床材料の中央粒径値は、タイプ1>タイプ2=タイプ3、大礫以上の組成はタイプ1>タイプ2>タイプ3、中礫、細礫の組成はタイプ1<タイプ3、砂の組成はタイプ1=タイプ2<タイプ3、夏季水温はタイプ1<タイプ2<タイプ3となった。また、河床材料の比重と扁平な石の割合については、統計的な有意差は得られなかった。これらの結果を整理すると、タイプ1は河床材料が粗く、水温が低い環境、タイプ2はタイプ1とタイプ3の中間的な環境構造、タイプ3は河床材料が細かく、水温が高い環境とまとめられる。

これらの魚類相タイプを河川縦断面図上にプロットしたところ、いずれの河川も上流部はタイプ1であり、概ね勾配1/150前後で、岩野川、上内田川、迫間川の魚類相がタイプ2に、合志川の魚類相がタイプ3に変化した。しかしながら、菊池川については勾配が緩やかになっても魚類相はタイプ1のまま変化せず、勾配が約1/400でタイプ2に変化した。つまり、合志川の下流がタイプ2ではなく、タイプ3であること、菊池川のタイプ1区間が長く、魚類相変化点が極めて緩やかであることが、魚類相の大きな相違点であると判断された。

これらの魚類相の相違は、判別分析や代表種の二項ロジスティック分析によって、水温と河床材料で説明された。つまり、中流域においては、表層地質の相違が河川間の水温環境に大きな違いを生じさせ、その結果、菊池川のタイプ1の流程分布をかなり下流の緩勾配域まで押し下げていること、また、表層地質由来の河床材料の相違が河川間の中央粒径値を大きく変え、河床材料が細かな合志川において変曲点下流側の魚類相が他より貧相なタイプ3としていることが明らかとなった。このことは、それぞれの河川には地質の相違に起因した特徴的な魚類相があり、それぞれの河川の特徴を生かした河川管理が必要であることを示している。

3 氾濫原研究

3.1 地質と氾濫原の魚類群集

氾濫原水域に表層地質の影響は及ぶのか？それを解明するために、菊鹿盆地内で合流する5河川(岩野川、上内田川、迫間川、菊池川、合志川)を対象とし、地形的特徴と土地利用および氾濫原性魚類の種数を比較した。比較対象として玉名平野のデータも含め、菊池川水系内の農業用水路249地点の魚類相データを使用し、地形的特徴と土地利用についてはGISデータを使用した。

低地の広さは、合志川が最も広く(約30 km²)、菊池川(約20 km²)、上内田川(約15 km²)がそれに続いた。また、合志川についてはローム台地が極めて広い点にも特徴があった(約100 km²)。

岩野川で山地の面積が広く（約70 km²）、火山地が狭い点（約15 km²）、他とは大きく異なった（他河川では、火山地は約50 km²以上、山地は15 km²未満）。低地内の土地利用に関しては、まず、水田面積は、低地が広い合志川、菊池川、上内田川（いずれも約11 km²）が大きかった。

低地に該当するエリア内の3次メッシュ内の平均水田面積を比較したところ、河川間に差は認められなかった。このことは、各河川とも低地内での水田利用の頻度に差はなく、単に水田として利用できる低地の広さが、各河川の全水田面積の相違に起因することを示唆している。低地内の地形の傾斜度についても3次メッシュ内で比較したところ、岩野川が最も傾斜度が大きく、上内田川がそれに続いた。統計的な結果を考慮すると、岩野川＞上内田川＞迫間川＝菊池川＝合志川となった。この平均傾斜度の統計的な差は、表層地質の構成の相違に伴う扇状地の発達程度に起因すると推察された。そして、扇状地が広く発達する流域（合志川と菊池川）では、平均的な地形傾斜が緩やかで、逆に扇状地が発達していない流域（岩野川）では低地の地形傾斜度が大きいものと推察された。

氾濫原性魚類の種数については、比較対象として解析に加えた玉名平野が最も高く、岩野川を除く4河川が合流する周辺部の氾濫原域がそれに続き、5河川の中では菊池川と合志川が高い値を示した。魚類相の類似性については、概ね3区分され、タイプ1の玉名平野、タイプ2の岩野川、上内田川、迫間川、タイプ3の4河川合流後、菊池川、合志川となった。群集構造と環境との関係性を見るためのCCA、各魚種の在・不在を応答変数、GIS情報を説明変数とした二項ロジスティック分析で、低地の面積、水田面積および傾斜度が各種の出現を左右する要因であることが示された。つまり、表層地質の相違は、各河川の低地の発達に左右するため、その面積と傾斜度に影響を与え、その結果として氾濫原域の魚類相に影響すると推察された。そして、氾濫原性魚類の生息に左右する土地利用が間接的に影響すると考えられる。ただし、種数が少ない上内田川にアブラボテの出現地点数が多いこと、また、多くの魚種が低地面積を正の説明変数として選択する一方、アブラボテ、カネヒラの2種がそれを負の変数として選択することを考えたとき、低地面積が広く、種数が多いエリアだけでなく、低地面積が低く、種数が少ないエリアも、この流域のγ多様性に大きく寄与していると判断できる。つまり、菊池川水系の氾濫原性魚類の多様性を維持するためには、流域全体を視野に入れた保全管理が必要であると提言できる。

3.2 河道内氾濫原的水域における氾濫原依存種（魚類）の保全研究

氾濫原生態系の構造と機能を理解し、氾濫原生態系を担保する保全手法を提案することを目的に、氾濫原代替環境としての河道内氾濫原的水域に着目し研究を実施した。主な研究成果概要は以下のとおりである。

① 河道と氾濫原的水域はここ 50 年でどう変化したか？

氾濫原依存種の生物生息場としての代替機能を担う河道内の氾濫原的水域の変遷を 1947 年と 2009 年の空中写真を用いて比較した結果、2009 年のワンドや二次流路の数は 1947 年の約 40% に減少し、特に二次流路の減少は著しく 3% にまで減少していた。また、河道の変化について 1963 年と 2012 年の横断測量データを用いて平水流量時と平均年最大流量時の水理計算を行い川幅水深比（B/h）及び無次元掃流力を算出し、砂州の形成領域区分の変化、止水域の面積の変化を評価した。その結果、1963 年には単列砂州発生領域や複列砂州発生領域がみられたが、2012 年には砂州非発生領域もしくは単列砂州発生領域に移行し、ワンドやたまりなどが出現しにくい河道となり、河川の縦断的な河川環境の多様性も損なわれていること、また、2012 年の止水域面積は 1968 年の約 27% に減少していることが推定された。このような変化はタナゴ類を含む氾濫原依存種の生息環境に負の影響を与えていると考えられた。

② 氾濫原依存種（魚類）の生息場としてのワンド・たまりの機能評価

氾濫原依存魚種保全に寄与するワンド・たまりの造成のあり方に関する知見を得るため、河道内氾濫原水域の出現場所や開口部の向き等の形態の違いに着目してワンド・たまりをタイプ分類し（表-1）、魚類の生息状況を調査し、魚類の生息場としての機能を評価した。その結果、固定砂州上のワンド・たまりで氾濫原依存魚種が多く確認され、特に、絶滅危惧種であるタナゴ類、ミナミメダカ、ツチフキ 3 種の保全には、固定砂州上のワンド・たまりが重要であることが示された。また、ワンドやたまりの環境条件の設計を行う際の目安となる環境条件（水域面積 400m² 以上、水深 20cm 以上、冠水頻度 1 年に 8 回から 10 回程度、水際植生率 50% 以上）を明らかにした。一方、砂

州上に形成されたワンド（砂州尻ワンド、砂州中腹ワンド、砂州頭ワンド）は、オイカワやカワムツの稚仔魚の生息場として利用されることが示された。研究グループ研究者の知見及びこれらの成果を踏まえ、菊池川河川事務所により菊池川 27-28km 右岸（西牧地区）、20km 左岸にワンドが造成された。造成されたワンドの一つは本川からの伏流水がワンド内に流入するよう水位差が確保できる区間を河川縦断図より選定し配置された。ワンド下流端は本川と連結し、上流端から下流端までの縦断長さ約 120m、標高差約 0.9m、横断方向水面幅上流部約 15m、下流水路幅約 4m であり、ワンドへの伏流水の流入によって下流区間は流水域が形成された。魚類調査の結果、環境省絶滅危惧種 9 種（タナゴ亜科 *Acheilognathina*, ミナミメダカ *Oryzias latipes*, ツチフキ *Abbottina rivularis*, アリアケスジシマドジョウ *Cobitis kaibara*, スナヤツメ *Lethenteron reissneri*）を含む計 23 種が確認され、うち在来の氾濫原依存種は 14 種であった。アリアケスジシマドジョウに関しては抱卵個体が多く採捕され、本ワンドが産卵場としても機能していることが示唆された。しかしながら、魚類では特定外来種 3 種、要注意種 1 種、植物では特定外来種 3 種が確認される等、菊池川におけるワンド造成において外来種対策は大きな課題であることが確認された。

③ 氾濫原依存種（魚類）をどこで守るか？水路依存種、河川内の氾濫原的水域でも保全できる種

九州大学水産実験所が保有する淡水魚類データベースから、菊池川水系と生物地理区分が一致する有明海流入河川のデータで、かつ氾濫原性魚類の出現標高の経験的な限界値である 120m 以下を抜粋して、河川（369 地点）と農業用水路（532 地点）での各種の出現頻度から水路依存度を推定した。その結果、カワバタモロコ、ゼゼラは水路依存度が極めて高く、河川にはほとんど生息しないこと、逆に、セボシタビラ、アリアケスジシマドジョウの水路依存度は低く、河川内の氾濫原的水域を利用できる種であると判断された。その他の魚種については、水路依存度は 50~70% 程度であり、農業用水路だけでなく、河川内の氾濫原的水域で保全できる可能性が示された。

④ 氾濫原依存種（魚類）保全の河道内氾濫原的水域の造成と維持管理のあり方

菊池川本川のワンド・たまりにおける魚類調査や前述した造成ワンドにおける魚類調査から氾濫原依存種の生息が確認できた。ただしタナゴ類の確認個体数は多くはなく、二枚貝に関しては 1 ヶ所で確認されたのみであった。一方、支川及び用水路における魚類及び二枚貝の調査結果から、タナゴや二枚貝の生息個体数が比較的多い保全重要エリアが抽出された。本川におけるタナゴや二枚貝の生息状況、菊池川における土砂堆積とその要因、造成ワンドの経時的な地形変化等を踏まえ、今後の菊池川における氾濫原依存種保全、ワンド・たまり造成のあり方について以下を提案した。

1：ここ 50 年で菊池川では河床形態の変化等が生じワンドや氾濫原的水域や止水域が大きく減少し、流域では用水路のコンクリート化が進んだ。これらにより氾濫原依存種の生息場が激減し、タナゴ類や二枚貝等の生息に負の影響を与えている。そのため高水敷掘削等を行う際には、氾濫原依存種の生息場、出水時の避難場になりうる水域を造成し、氾濫原依存種の生息場の復元を積極的に図る必要がある。

2：造成ワンド・たまりは、保全重要エリア近隣及び支流合流点下流に優先的に造成すること。これにより、タナゴ類や二枚貝の生息場として機能の早期発現を図り、保全に対して寄与が高い造成を行うことができる。

3：高水敷に湧水や堤内地からの流入水が確認される場合等、現況の環境を活かしたワンド・たまりを設計することが重要である。これにより多様な生物の生息場を創出することができる可能性がある。また、高水敷を掘削する際に樹木の伐根を行った場所は出水時に洗堀されやすいため、ワンドやたまりの造成場所として適している可能性がある。

4：ワンド・たまりの造成は高水敷掘削と同時に実施せず、地形の変化や植生繁茂をまって翌年以降に施工することが望ましい。これにより出水による地形変化や土砂堆積の抑制効果が期待できる。

5：河道内に造成されるワンド・たまりは必ず土砂堆積等の地形変化が生じる。土砂堆積の速度には摩擦速度が関与するため、その配置にはあらかじめ土砂堆積速度と要因の評価を行い、定期的に堆積した土砂の掘削等、メンテナンスを計画的に行う必要がある。

⑤ 特定外来生物ブラジルチドメグサ、ナガエツルノゲイトウの侵入・拡大に対する対策

氾濫原依存種の生息場の創出はブラジルチドメグサ、ナガエツルノゲイトウなどの外来種の侵入・拡大を助長する可能性があることから、これらの種の分布特性や生物多様性への影響に関す

る基礎知見を得て予防的対策を行う必要がある。上記2種の分布特性について調査を行った結果、ブラジルチドメグサは堰により形成された湛水域に定着し大きな群落を形成し下流に拡大していた。また、ナガエツルノゲイトウの生息要因について一般化線形モデルを用いて解析した結果、土壌含水率20%以上、河岸勾配の緩い水際を好み、高水敷の緩傾斜掘削はナガエツルノゲイトウの侵入を助長させる要因となることが明らかになった。特にナガエツルノゲイトウは在来種、他の特定外来生物との競合において優位に立ち、生物多様性を脅かす種であることを定量的に示した。今後も菊池川では治水対策として高水敷掘削が行われるが、特に斜め掘削等を行う際にはナガエツルノゲイトウが侵入・拡大する確率が高いことから、予め定着しやすい地点を予測し定期的にモニタリングを実施することにより早期駆除を図る必要がある。

3.3 河道外氾濫原の淡水二枚貝の保全研究

淡水二枚貝のイシガイ目二枚貝（以下イシガイ類）はタナゴ類の産卵基質として機能し、またイシガイ類の幼生がヨシノボリ類などの魚類に寄生して成長する等、他の生物との共生関係を持つことから氾濫原生態系におけるキーストーン種である。本研究では菊池川流域の多様な氾濫原生態系を担保する河道管理の在り方を提案するために、イシガイ類を対象とした徹底的な分布調査とその生息制限要因の解明、生息場再生へ向けた地域住民との合意形成、水理模型実験を行い、最終的にはイシガイ類生息場の保全・再生を実践した。分布調査は、菊池川中流域・下流域の自然堤防地帯における農業用水路・小河川を対象にイシガイ類の分布調査を370地点で実施し、中96地点で7種2426個体のイシガイ類（イシガイ、ヌマガイ、タガイ、マツカサガイ、ニセマツカサガイ、トンガリササノハガイ、カタハガイ）が採捕された（図7）。

イシガイ類は農業用水路を中心に生息しており、特に中流域氾濫原でその分布が極めて危機的であることが判明した。イシガイ類の在不在を目的変数に置き、測定した物理環境データを説明変数に用いたGLM解析を行ったところ、イシガイ類の生息環境には「安定した河床材料」や「適切な流速」や「宿主魚類の有無」等が重要であることが明らかとなった。

一方、圃場整備に伴う水路改修によりこれらの条件は失われてしまう事が考えられる。水路がコンクリート三面張りの直線化へ改修された場合、底面の粗度が下がり河床勾配が増加するため流速が速くイシガイ類が流されやすい環境となってしまう。また、線形が変わるほどの大規模な改修の場合、掃流力の増大に伴い河床材料が流失するためイシガイ類の生息環境へのインパクトは大きいものと思われる。また、土地利用の変遷や治水地形分類図との比較から、自然堤防上に成立する集落周りの水路が二枚貝のホットスポットとなっていることや、同一氾濫原内でも水路系統ごとに分布する種が異なること等が明らかとなった。以上の分布状況調査結果をもとに、二枚貝類の保全・再生地点の選定を行い、菊鹿盆地分田地区水路を対象として、二枚貝生息場の再生の実践を試みた。図8に示されるような水路内に構造物を設置し土砂を堆積させる工法を提案した。さらに、地元NPOや河川管理者と連携し、地域へむけたシンポジウムやワークショップの開催、環境学習教室を合わせて10回行った。住民説明のための水路実験を行い、その結果を地域の集会で配布報告するなど入念に、地域住民や地権者との合意形成に取り組んだ。その結果、本再生施工の取り組みは円滑に進めることができ、2018年10月に竣工した。施工後3か月間に行われたモニタリングでは、新たな二枚貝の定着やタナゴ類の個体数の増大が確認された。

本研究では菊池川流域でイシガイ類の分布調査を行い、その結果から保全・再生地点の選定や工法の提案を行った。地域のNPO団体と連携して教育を軸にした保全・再生活動を提案し、区長会へ企画

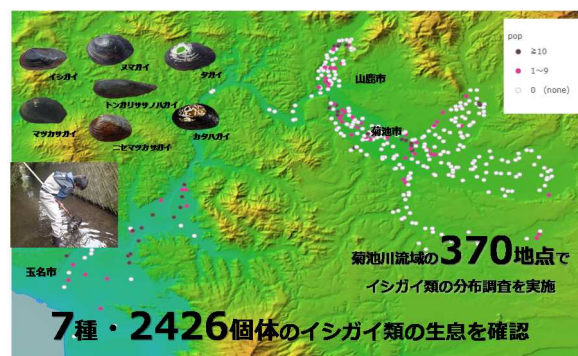


図7 網羅的なイシガイ類の分布調査



図8 二枚貝生息場の再生に向けた実践

書を提出するなど地域との関わりを重視し、分田地区水路にて再生施工を実現した。当該地ではイシガイ類や魚類の個体数が施工前と比較し増加していることから本施工は現時点では効果があるものと考えられる。イシガイ類保全・再生の包括的アプローチとして本研究における保全・再生活動をモデルの一つとして提示すると同時に、今後はモニタリングの継続や教育との連携を強化することで活動領域の拡大が求められる。

4 まとめ

地質・地質構造によって河川の物理的・化学的構造、生物群集は異なるという仮説にもとづき研究を実施した結果、地質の差異は河川形態、河床材料の大きさ、流量、伏流水の量、水温に影響を及ぼし、その結果、河川生物群集にも差異が生じ、その影響は下流にまで及ぶことが明らかとなった。

図9に地質の影響度の流呈変化概念図を示した。この図は研究結果に基づき、概念的に図としてまとめたものであり、本研究の大きな成果と考えている。図中のグレーの帯の幅が大きいほど、地質による影響度が大きいことを示している。ハビタットの形状は河床材料の大きさや河床材料レジームの影響を強く受けるが、土砂発生源に近い上流域ほど地質の影響を顕著に受けるため上流域ほど地質の影響度は大きい。一方、平常時流量や水温は上流域においても浸透量などが異なることからそれなりに変異は大きい。中流域で湧水が顕著に発生する地質とそうでない地質の河川で差が大きくなり、それより下流に行くに従い影響度は小さくなる。底生動物は水温および底質の材料に敏感であり、上中流域で地質の影響度は大きく下流では小さい。魚類は渓流域に出現する種数が少ないこともあって、上流域の魚類への地質の影響は顕著ではないが、中流では河床材料と水温の差異により地質の影響度は上流より大きくなり、下流においても低地の広さや傾斜度（河床勾配）が地質により異なることから地質の影響を受けていることが明らかとなった。

これまで上流の土砂生産量を意識した河川管理は行われているが、上流の地質を意識した河川管理は行われていない。地質によって河川の特徴が異なることから、河川改修や維持管理においても、一上流地質を意識した河川および河川生態系の特徴を十分に把握し、その特徴に沿った、河川改修や河川管理が重要である。

今回集中的に研究を実施した溪流の多自然川づくりの技術は確立されておらず、本研究は非常に重要な情報を提供することができた。特に溪流を特徴づける step-pool 構造が地質によって、形態、伏流水の量、河床材料の大きさや比重や形状、そこに生息する生物が大きく異なることが明らかになった。この知見は、地質によって再生あるいは保全すべき step-pool は異なるため、地質別の step-pool 構造の保全再生手法が必要であることを示している。Step-pool の落差、淵の長さなどの情報が得られたため、溪流での改修、再生手法の基本的な方向性は理解できたが、設計手法まで至るには更なる研究が必要である。

学術的には、地質と河川生態系に関する広範囲の研究は世界でも例がなく、貴重な研究となったが、菊池川のみでの研究での一般化は困難である。また、北部九州豪雨という大規模なイベントが発生し、渓流域の生物群集は壊滅的な被害を受けたが、その後の短期間のモニタリングにより生物の回復過程などについては重要な情報となりつつある。いずれにしても、時間と空間を広げた研究を時間をかけて行うことによって、地質と河川生態系の関係は一般化されるであろう。

下流域に関しては、九州でもっとも豊かな魚類相と思われていた菊池川であるが、網羅的な調査を行った結果、堤内地、堤外地ともにその環境の劣化と魚類、二枚貝の減少は著しい。特に堤内地の水路網の人工化は著しく、二枚貝およびタナゴ類の保全は急務である。また河道内においても単調化は進んでおり、2 ワンドや二次流路の数はここ 60 年程度で約 40% に、二次流路は 3% にまで減少していた。流下能力の増大のために高水敷の緩傾斜掘削が行われているが、ナガエツルノゲイトウの生息適地となり侵入を助長させる要因となることが明らかになった。

研究では堤内地と堤外地に分けて魚類の保全を検討したが、カワバタモロコ、ゼゼラは水路依存度が極めて高く、河川にはほとんど生息しないこと、逆に、セボシタビラ、アリアケスジシマドジョウの水路依存度は低く、河川内の氾濫原的水域を利用できる種であると判断された。その他の魚種については、水路依存度は 50~70% 程度であり、農業用水路だけでなく、河川内の氾濫原的水域で保全できる可能性が示された。

これらの研究の結果、堤内地では土水路の保全と二枚貝やタナゴの生息ポテンシャルの高い場所の再生工法の導入が重要であり、河道内では高水敷掘削等を行う際には、氾濫原依存種の生息場、出水時の避難場になりうる水域を造成し、氾濫原依存種の生息場の復元を積極的に図る必要がある。本研

究では、菊池川河川事務所の協力により多数のワンドたまりを計画し実際の造成が行われた。これらの知見を基に菊池川における氾濫原依存種保全、ワンド・たまり造成のあり方について提案した。

また、水路に関しても地元の協力により保全工法を導入することができ、モニタリングを開始している。

以上のように下流氾濫原の研究は絶滅の可能性がある種を網羅的に調査し、その原因を明らかにし、対策を考案し、実装するという菊池川氾濫原生態系の保全生態学的な一貫した研究となった。

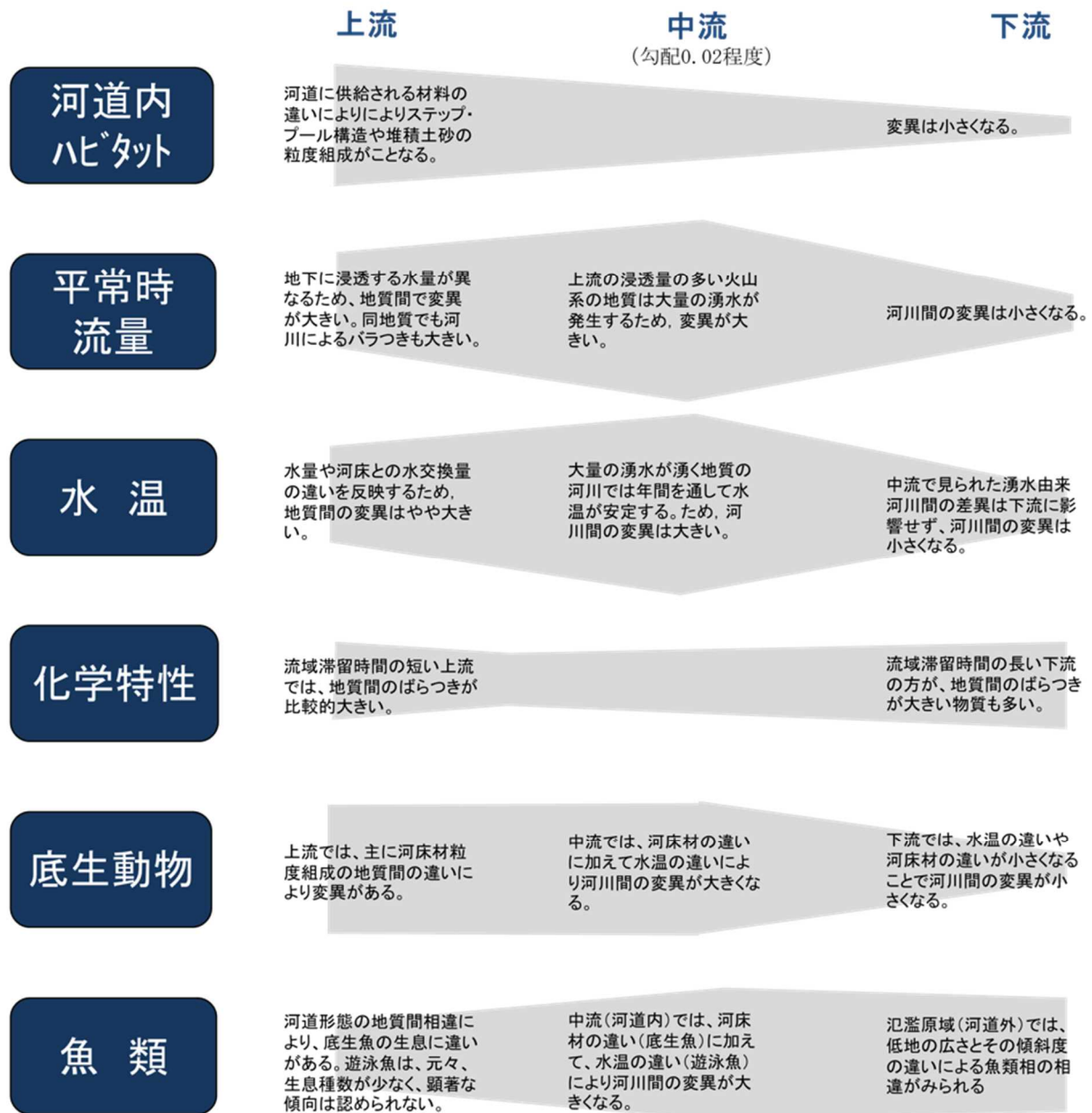


図9 地質の影響度の流程変化概念図

流域地質及び河道・氾濫原改変が菊池川水系の 河川生態系の構造と機能に及ぼす影響と それに基づいた河道管理手法に関する研究

THE INFLUENCE OF GEOLOGY AND ARTIFICIAL MODIFICATION OF RIVER
CHANNEL AND FLOODPLAIN ON THE STRUCTURE AND FUNCTION OF
RIVER ECOSYSTEM IN THE KIKUCHI RIVER BASIN

研究代表者 島谷幸宏（九州大学 教授）

It has been recognized that riverine physicochemical environment and ecosystem differ greatly in geology and geological structure. However, scientific evidence has been quite limited. In this study, we researched the influence of geology on river environment and ecosystem from headwater area to floodplain area widely. As a result, we found that geological differences affect river type, size of riverbed material, flow rate, amount of underflowing water, and water temperature. River biological communities being affected by such differences of physical habitat also differ even in the downstream.

Key Words :Geology, Step-Pool, Water Temperature, Excavation, Acheilognathina

1. 研究の背景・目的

河川は流域ごとに地質・地質構造が大きく異なり、それに対応して河川の物理化学的環境や生態系が異なると考えられる。しかし、それに対応した河道管理手法は確立しておらず、近年の渓流域の災害が頻発する中で、その方法論の確立は急務である。また、氾濫原に依存するタナゴなどの生物は河道改修、圃場整備などにより急減している。今後、全国の河川で高水敷掘削が行われるが、その際、流下能力の担保及び持続的な河道の維持とともに生態的な機能の向上、特に河道内での氾濫原環境の担保・創出が求められている。

本研究の目的は、①地質の差異による河川の構造および生物群集を明らかにし、上流域の河道管理手法に対する知見を得ること。②地質の差異が下流にどのように波及するかを明らかにすること、③下流氾濫原の生態系の劣化状況とその要因を明らかにし、河道掘削を含む氾濫原に依存する生物群の保全方法を提案することである。

2. 5力年の研究内容

① 渓流研究

地質が異なる渓流を対象に微地形、伏流水、水質、生物群集の構造などのデータを収集、解析することで、生態系の構造や機能がどのように異なるのかを明らかにする。また、それらが河道改修などの人為的な改変から受けている影響を明示し、渓流の改修方式を提案する（図1）。

② 渓流-氾濫原の接合部研究

地質の影響が中下流域の河川生態系がどのように関連しあっているのかの知見を集積する。

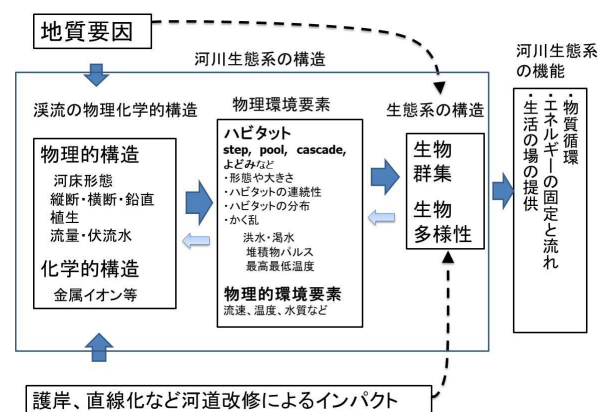


図1 渓流研究の枠組み

③ 氾濫原研究

氾濫原依存種の生息状況、生息条件を明らかにし、堤外、堤内におけるそれらの保全手法を示す。また、菊池川では、高水敷掘削が行われており、その中で、氾濫原機能を回復させる掘削ケースを試行し、モニタリングを行い、保全に寄与しうる掘削方式を明らかにする。

3. 研究成果

3.1 渓流研究

地質と河床形態

流域地質が花崗岩、安山岩、泥質片岩、溶結凝灰岩の小流域を対象に研究を実施した。地質毎に河床材料の質（粒度分布、形状等）が明瞭に異なっていた。花崗岩はコラストーンと真砂となる粒度分布である一方、溶結凝灰岩は岩盤が露出する傾向にあった。泥質片岩は片理面が発達し、扁平度が高い礫質であった。こうした地質毎の粒度分

布、礫形状の違いは、山地溪流河道の特徴であるステップ・プール構造に影響していた。ステップの高さはステップを構成する礫のサイズと明瞭な相関関係があるが、泥質片岩は他の地質と比べてステップ高が低い傾向が見られた。扁平な礫が層状に重なってステップが形成されるためステップ高が低くなると考えられる。また、ステップ・プール構造の形成・破壊に関する水理模型実験を行ったところ、扁平な泥質片岩と密度の小さい安山岩は、ステップが破壊しやすいことが明らかとなった（図2）。

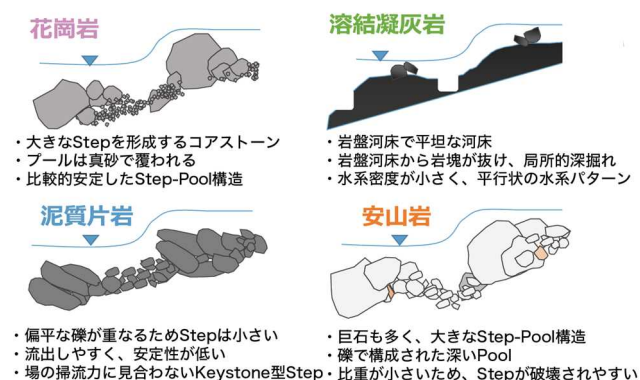


図2 地質別の溪流形態の模式図

地質と河床間隙水域

河川間隙水域は、急峻な山地溪流においても広がっており、降雨により斜面流出が増加する時でも、その広がりには維持された。河川間隙水域に浸透する表流水の割合は、地質によって異なる傾向がみられた。また、河川間隙水域における有機物の分解速度は、地質によって異なる傾向がみられた。伏流量が多くて分解速度が早い溪流は泥質片岩に多く、伏流量が少なくて分解速度が遅い溪流は溶結凝灰岩であった。河床に比べると河川間隙水域の方が分解速度は遅いが、伏流量が増えると、河川間隙水域の分解速度が河床の値に近くなった。

地質と生態系の構造

4地質の集水面積20km²以下の溪流において、広域的な底生動物の調査の結果、地質により生活型個体数（密度）に差があり、砂が多い花崗岩で遊泳・滑行・匍匐・固着型が少なく、掘潜型が多いことがわかった。岩盤が卓越し、河道内に堆積する土砂が少ない溶結凝灰岩では、造網型が少なかった。泥質片岩や安山岩は、流速が遅い場所まで砂などの細粒河床材が少なく、礫の間隙を利用する種が、流速が遅い場所まで分布していた。このような地質に由来する河床材の違いに加えて、地質に影響を受ける水温環境の影響も合わせて、河川上流部の生物群集に違いを生じることが明らかとなった。

底生動物の組成の違いは、それを捕食する生物にも影響を与えていた。カワネズミの糞内容を分析したところ、九州のカワネズミは、サワガニを多く捕食していたが、サワガニが少ない溶結凝灰岩では、サワガニの頻度が低く、その代わりトビケラ類などの底生動物や魚類を食べる頻度が高くなった。サワガニの密度は、カワネズミの密度にも正に影響した。

カワネズミの分布調査結果を利用した在否を応答変数とした統計モデルからは、おもにステップ・プール河道の連続性と、コンクリート護岸率が影響していると考えら

れた。地形傾斜が低いために道路が川沿いにできやすい泥質片岩溪流では、河岸がコンクリート化されることが多く、ステップ・プール河道の連続性の低さと合わせて、存確率が低いことが示唆された。

河床間隙に生息する生物についても、油圧式ジャッキを組み合わせた溪流向け凍結コアサンプリング手法を開発することで調査を行なった。地質間で間隙生物の群集構成に明確な違いは見られなかったものの、新種の可能性のあるダニや旧北区2番目の記録となるダニ、これまで未発見であったアミメカゲロウ目の幼虫が確認された。

3.2 溪流-氾濫原接合部の研究

接合部の物理環境と底生動物群集

地質の影響が溪流と氾濫原の接合部に及ぶのかを解明するため、菊池川の支流で縦断的に河道特性や底生動物相について調査した。冬季の比流量（湧水量）は溶結凝灰岩が卓越する菊池川本川では他の河川と顕著な違いが見られ、溪流-氾濫原接合部で河川に大量の水が追加されていた。河川の水深や流速の変異は、上流部では、ステップ・プールが発達する安山岩や花崗岩で大きい、下流にいき流域面積が20-30km²を超えると、ほとんど差が認められなかった。このように河道の物理的な違いは、下流にいくと小さくなり、それに対応して底生動物群集の違いは小さくなった。ただし、菊池川本川では、湧水の流入で水温が変化し、それに依存して底生動物相も変化した。

接合部の魚類群集

地質の影響が接合部の魚類群集に及ぶのかを解明するため、菊池盆地内で合流する5河川のセグメント1区間の魚類相と物理環境を比較した。

類似性解析によって、魚類相は概ね3区分され、タカハヤが多く出現するタイプ1、アリアケギバチが多くみられるタイプ2、メダカに特徴づけられるタイプ3となった。魚類相タイプを河川縦断図上にプロットすると（図3）、いずれの河川も上流部はタイプ1で、勾配1/150前後では岩野川、上内田川、迫間川の魚類相がタイプ2に、合志川の魚類相がタイプ3に変化した。しかしながら、菊池川については勾配が緩やかになっても魚類相はタイプ1のまま変化せず、勾配が約1/400でタイプ2に変化した。中流域では、表層地質の相違が河川間の水温環境に大きな違いを生じさせ、その結果、菊池川本川のタイプ1の流程分布をかなり下流の緩勾配域まで押し下げていることが明らかとなった。

このことは、それぞれの河川には地質の相違に起因した特徴的な魚類相があり、それぞれの河川の特徴を生かした河川管理が必要であることを示している。

3.3 氾濫原の研究

氾濫原の魚類群集

氾濫原水域に表層地質の影響は及ぶのかを解明するために、249地点で魚類を採取した。地質年代が新しい火山系の地質の合志川と菊池川では、扇状地が広く発達し、平均的な地形傾斜が緩やかであった。逆に扇状地が発達していない岩野川では低地の地形傾斜度が大きく、表層地質の構成の相違によって扇状地の発達、低地の地形が異なることが推察された。

各河川の上流地質の割合

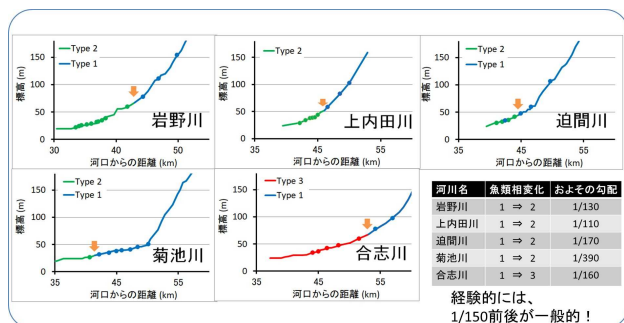
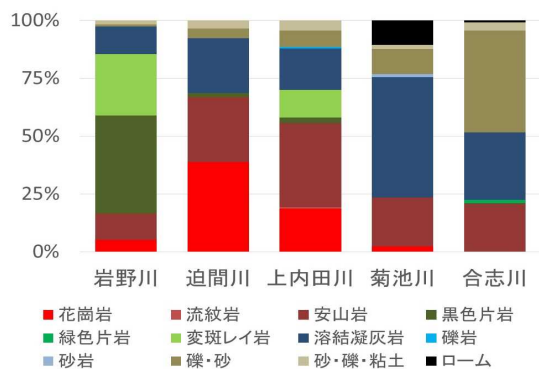


図 4 各河川の上流地質と縦断的な魚類タイプ

表層地質の相違は、各河川の低地の発達に左右するため、その面積と傾斜度に影響を与え、その結果として氾濫原域の魚類相に影響すると推察された。そして、氾濫原性魚類の生息に左右する土地利用が間接的に影響すると考えられる。ただし、種数が少ない上内田川にアブラボテの出現地点数が多いこと、また、多くの魚種が低地面積を正の説明変数として選択する一方、アブラボテ、カネヒラの2種がそれを負の変数として選択することを考えたとき、低地面積が広く、種数が多いエリアだけでなく、低地面積が低く、種数が少ないエリアも、この流域の多様性に大きく寄与していると判断できる。つまり、菊池川水系の氾濫原性魚類の多様性を維持するためには、流域全体を視野に入れた保全管理が必要であると提言できる。

河道内氾濫原的水域における氾濫原依存魚類の保全研究

①河道と氾濫原的水域はここ50年でどう変化したか？

河道内の氾濫原的水域の変遷を1947年と2009年の空中写真を用いて比較した結果、2009年のワンドや二次流路の数は1947年の約40%に減少し、特に二次流路の減少は著しく3%にまで減少していた。

②氾濫原依存種（魚類）の生息場としてのワンド・たまりの機能評価

河道内氾濫原水域のワンド・たまりを場所性、形態等によりタイプ分類し、魚類の生息状況を調査結果と関連付け機能を評価した。固定砂州上のワンド・たまりでは氾濫原依存魚種が多く、特に、絶滅危惧種であるタナゴ類、ミナミメダカ、ツチフキ3種の保全には、固定砂州上のワンド・たまりが重要であることが示された。

菊池川河川事務所により菊池川27-28km右岸（西牧地区）、20km左岸にワンドが造成された（図4）。魚類調査の

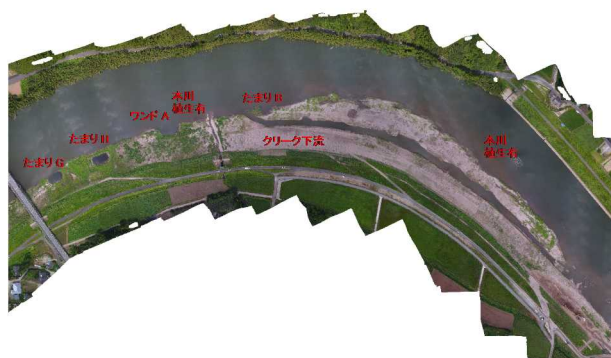


図 4 実装されたワンドやクリーク

結果、環境省絶滅危惧種9種を含む計23種が確認され、うち在来の氾濫原依存種は14種であった。アリアケスジシマドジョウに関しては抱卵個体が多く採捕され、本ワンドが産卵場としても機能していることが示唆された。しかしながら、魚類では特定外来種3種、要注意種1種、植物では特定外来種3種が確認される等、菊池川におけるワンド造成において外来種対策は大きな課題であることが確認された。

③氾濫原依存種（魚類）をどこで守るか？水路依存種、河川内の氾濫原的水域でも保全できる種

九州大学水産実験所が保有する淡水魚類データベースから抜粋して、河川（369地点）と農業用水路（532地点）での各種の出現頻度から水路依存度を推定した。その結果、カワバタモロコ、ゼゼラは水路依存度が極めて高く、河川にはほとんど生息しないこと、逆に、セボシタビラ、アリアケスジシマドジョウの水路依存度は低く、河川内の氾濫原的水域を利用できる種であると判断された。その他の魚種については、水路依存度は50~70%程度であり、農業用水路だけでなく、河川内の氾濫原的水域で保全できる可能性が示された。

④氾濫原依存種（魚類）保全の河道内氾濫原的水域の造成と維持管理のあり方

菊池川本川のワンド・たまり・造成ワンドにおいて氾濫原依存種の生息が確認できた。ただしタナゴ類の確認個体数は多くはなく、二枚貝に関しては1ヶ所で確認されたのみであった。一方、支川及び用水路における魚類及び二枚貝の調査結果から、タナゴや二枚貝の生息個体数が比較的多い保全重要エリアが抽出された。本川におけるタナゴや二枚貝の生息状況、菊池川における土砂堆積とその要因、造成ワンドの経時的な地形変化等を踏まえ、今後の菊池川における氾濫原依存種保全、ワンド・たまり造成のあり方について提案をまとめた。

⑤特定外来生物ブラジルチドメグサ、ナガエツルノゲイトウの侵入・拡大に対する対策

氾濫原依存種の生息場の創出はブラジルチドメグサ、ナガエツルノゲイトウの分布特性について調査を行った結果、ブラジルチドメグサは堰により形成された湛水域に定着し大きな群落を形成し下流に拡大していた。また、ナガエツルノゲイトウの生息要因について一般化線形モデルを用いて解析した結果、土壌含水率20%以上、河岸勾配の緩い水際を好み、高水敷の緩傾斜掘削はナガエツルノゲイトウの侵入を助長させる要因となることが明らかになった。今後も菊池川では治水対策として高水敷掘削

が行われるが、特に斜め掘削等を行う際にはナガエツルノゲイトウが侵入・拡大する確率が高いことから、予め定着しやすい地点を予測し定期的にモニタリングを実施することにより早期駆除を図る必要がある。

水田水路における二枚貝の保全研究

イシガイ類を対象とした網羅的な分布調査とその生息制限要因の解明、生息場再生へ向けた地域住民との合意形成、水理模型実験を行い、最終的にはイシガイ類生息場の保全・再生を実践した。

イシガイ類は農業用水路を中心に生息しており、特に中流域氾濫原で分布地点は少なく極めて危機的である。GLM解析を行ったところ、イシガイ類の生息環境には「安定した河床材料」や「適切な流速」や「宿主魚類の有無」が重要であることが明らかとなった。これらの条件は、自然堤防上に成立する集落周りの水路に残っていた。

以上の結果をもとに、二枚貝類の保全・再生地点の選定を行い、菊鹿盆地分田地区水路を対象として、二枚貝生息場の再生の実践を試みた。水路内に横断方向に木製の栈状の構造物を設置し土砂を堆積させる工法を提案した。このプロセスを実施する際に、地域住民や地権者との合意形成に取り組み、その結果、円滑に進めることができた。施工後3か月間のモニタリングであるが、新たな二枚貝の定着やタナゴ類の個体数の増大が確認された。

4. 今後の展望

研究の結果、地質の差異は河川形態、河床材料の大きさ、流量、伏流水の量、水温に影響を及ぼし、その結果、河川生物群集にも差異が生じ、その影響は下流にまで及ぶことが明らかとなった。

地質と河川生態系に関する広範囲の研究は世界でも例がなく、貴重な研究となったが、菊池川のみでの一般化は困難である。また、北部九州豪雨という大規模なイベントが発生し、渓流域の生物群集は壊滅的な被害を受けたが、その後の短期間のモニタリングにより生物の回復過程などについては重要な情報となりつつある。いずれにしても、時間と空間を広げた研究を時間をかけて行うことによって、地質と河川生態系の関係は一般化されるであろう。

氾濫原の研究は絶滅の可能性のある種を網羅的に調査し、その原因を明らかにし、対策を考案し、実装するという菊池川氾濫原生態系の保全生態学的な一貫した研究が実施された。継続的に住民と協働で保全の取り組み、希少種の保全、再生が実際に実現されることが重要である。

5. 河川等政策への質の向上への寄与

これまで上流の土砂生産量を意識した河川管理は行われているが、上流の地質を意識した河川管理は行われていない。地質によって河川の特徴が異なることから、河川改修や維持管理においても、流域地質を意識した河川および河川生態系の特徴を十分に把握し、その特徴に沿った、河川改修や河川管理が重要である。

溪流を特徴づけるステップ-プール構造が地質によって、形態、伏流水の量、河床材料の大きさや比重や形状、

そこに生息する生物が大きく異なることが明らかになった。この知見は、地質によって再生あるいは保全すべきステップ&プールの形状などが異なるということであり、地質別の保全再生手法が必要であることを示している。ステップ&プールの落差、淵の長さなどの情報が得られたため、溪流での改修、再生手法の基本的な情報は得られたが、設計手法に至るには更なる研究が必要である。

下流の氾濫原に関しては、九州でもっとも豊かな魚類相と言われた菊池川であるが、網羅的な調査を行った結果、堤内地、堤外地ともに環境の劣化と魚類、二枚貝の減少は著しい。たとえばワンドや二次流路の数はここ60年程度で約40%に、二次流路は3%にまで減少していた。

河道内では治水のための高水敷の緩傾斜掘削が行われているが、ナガエツルノゲイトウの生息適地となり侵入を助長させる要因となることが明らかになった。

堤内地では土水路の保全と二枚貝やタナゴの生息ポテンシャルの高い場所の再生工法の導入が重要であり、河道内では高水敷掘削等を行う際には、氾濫原依存種の生息場、出水時の避難場になりうる水域を造成し、氾濫原依存種の生息場の復元を積極的に図る必要がある。

6. 主な発表論文及びホームページ等

・ Okamura Maya, Minagawa Tomoko: Historical and physical evaluation of floodplain habitats in the river channel of the Kikuchi River, Proceedings of 11th International Symposium on Ecohydraulics (ISE 2016), 91-98, 2016.

・ 鬼倉徳雄, 川本朋慶, 澤海人, 北川裕一, 小山彰彦, 大坪寛征, 林博徳, 皆川朋子, 島谷幸宏: 外来魚の影響を加味した希少魚保全のための重要地選定法: 菊池川周辺流域のタナゴ類: 日本水産学会誌, Vol. 82(6), 945-947, 2016.

・ 岡村麻矢, 上杉孝輔, 皆川朋子: 菊池川における氾濫原依存種保全にむけた河道内氾濫原水域タイプ分類別の氾濫原依存魚種生息場としての機能評価: 土木学会論文集G(環境), Vol. 72(6), 167-176, 2016.

・ 巖島 怜, 佐藤辰郎, 西田健人, 真砂祐貴, 坂田知謙, 島谷幸宏: 山地河川におけるstep-pool構造に関する既往の知見と河川技術への応用: 応用生態工学, Vol. 19(2), 165-180, 2016.

・ 上杉幸輔, 伊東麗子, 皆川朋子: 氾濫原依存種保全の観点からみた高水敷緩傾斜掘削の評価—菊池川を事例として—: 河川技術論文集, Vol.23, 627-632, 2017.

・ 久保朋也, 笠原玉青, 智和正明, 大槻恭一: 溪流における河川間隙水域の有機物貯留量と分解: 地下水学会誌, Vol. 60(2), 193-203, 2018.

・ Ryunosuke Nakanishi, Akira Baba, Takahiro Tsuyama, Hiro Ikemi, Yasuhiro Mitani: Examination of Sediment Dynamics Based on the Distribution of Silica Fluxes and Flood Sediments in the Otoishi River Related to the Northern Kyushu Heavy Rain Disaster, July 2017, Geosciences, Vol.9, 75-86, 2019.

参考文献

1) 須賀堯三: 川の個性—河相形成のしくみ, 鹿島出版会, 1992.