

## 近年の研究成果③菊池川

# 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

九州大学工学研究院 島谷幸宏

## 1. はじめに

本研究は2013-2018年度の間、九州大学（島谷、笠原、鬼倉、池見、林）、熊本大学（皆川、一柳、田中）福岡大学（伊豫岡）らにより実施したものである。

本研究では、上流地質が異なること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明らかにし、上流域と下流域との関係性をしだいに関連付けながら知識を集積し、河道改修等の河道管理に生かすことを目的とした。

## 2. 河川の概要

菊池川は源流を阿蘇外輪山の尾ノ岳（標高1041m）南麓に発し、上流の菊池渓谷を経て有明海にそそぐ流域面積996km<sup>2</sup>の1級河川である。上流山地の地質は多様で、低地には菊鹿盆地および菊池平野の広大な穀倉氾濫原が広がる九州では中規模の1級河川である。流域の地質は複雑で、西部には阿蘇火砕流堆積物である溶結凝灰岩、それより古い火山噴出物である安山岩、北部には泥質片岩さらに花崗岩類が分布する。



図1 菊池川流域図

## 3. 研究結果

## 【地質による溪流の物理構造】

菊池川の支流を含む九州中北部の山地溪流を対象に物理環境について調査を行った。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、細かい砂とコアストーンに分級しやすく、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く、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。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。

間隙水に関しては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 地質による物理環境の差異

## 【地質による生物群集の差異】

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。

4 地質の集水面積20km<sup>2</sup>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。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低流速域まで分布していた。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。



図3 サワガニとカワネズミ



図4 カワネズミの地質別生息確率（左）と関連する要因（右）

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 歳程度までの自ら穴を掘ることが少なくおもに間隙に潜む個体の隠れ家を提供していた。室内実験から、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、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の砂に穴を掘り隠れ家としていた。

カワネズミの生息確率は、泥質片岩で低く、溶結凝灰岩では高かった。在否を応答変数とした統計モデルからは、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。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。

【下流の河道内氾濫原的環境の変化】

下流域の堤内地、堤外地とも環境の劣化と魚類、二枚貝の減少は著しい。河道内の氾濫原的水域の変遷を空中写真を用いて比較した結果、ワンドや二次流路の数は 1959 年に比べ約 40% に、特に二次流路は 3%

に減少していた。また、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が低下した。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。

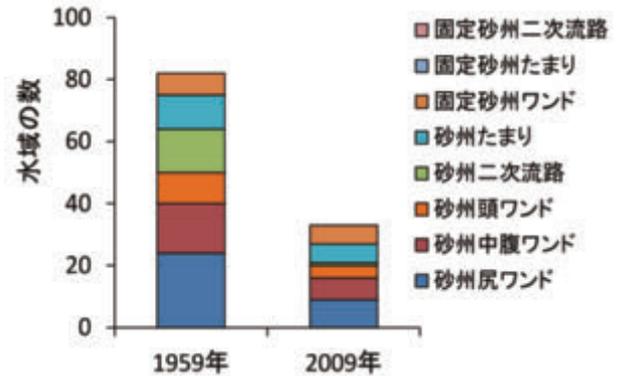


図5 2次的水域の変遷

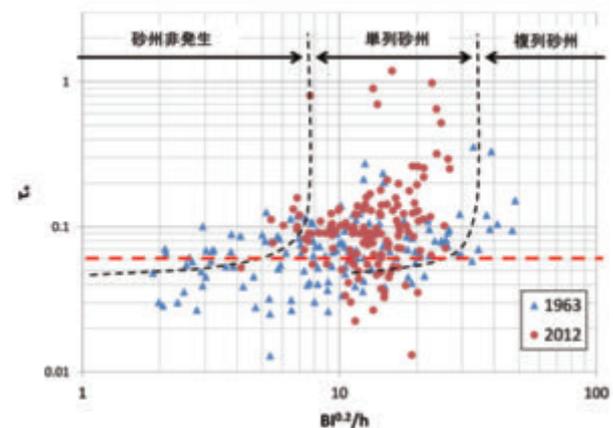


図6 砂州の発生領域の変化

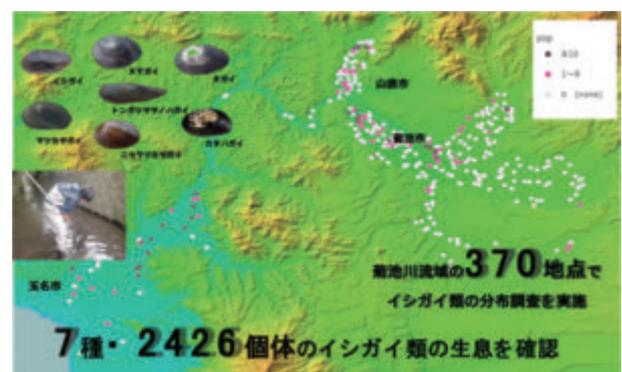


図7 イシガイの分布

【氾濫原環境の保全・再生】

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。

また、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、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。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として水域面積400m<sup>2</sup>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。

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。

魚類調査の結果、環境省絶滅危惧種タナゴ亜科Acheilognathina, ミナメダカ *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流水型ワンドで多く採捕され産卵場としても機能していることが示唆された。一方、魚類で特定外来種3種、要注意種1種、植物で特定外来種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。

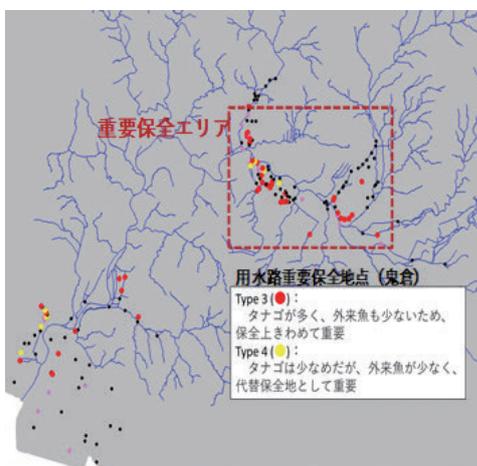


図8 魚類の保全エリア

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、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。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。

堤内地と堤外地に分けて魚類の保全を検討した結果、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。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。また堤内地の水路に対して地元住民との協働により二枚貝の保全工法を導入した。

高水敷掘削等を行う際には「造成ワンド・たまりは、保全重要エリア近郊および支流合流点下流に優先的に造成すること。」「ワンド・たまりの土砂堆積等には摩擦速度が関与するため、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。」などが重要である。また、高水敷の斜め掘削は外来種のナガエツルノゲイトウの侵入を促進することに注意が必要である。



図9 造成されたワンド



図10 水路に導入した流速低減策

#### 4. 研究の総括

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 11 に地質の影響度の流呈変化概念図を示した。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総合的研究は世界でも例がなく、貴重な研究となったが、菊池川だけの研究での一般化は困難である。また、九州北部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、モニタリングを実施したが、生物の回復過程が地質により異なる可能性が高い。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、ワンドや二次流路は激減している。

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。

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など、農業分野と連携した保全が急務である。

以上のように下流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となった。

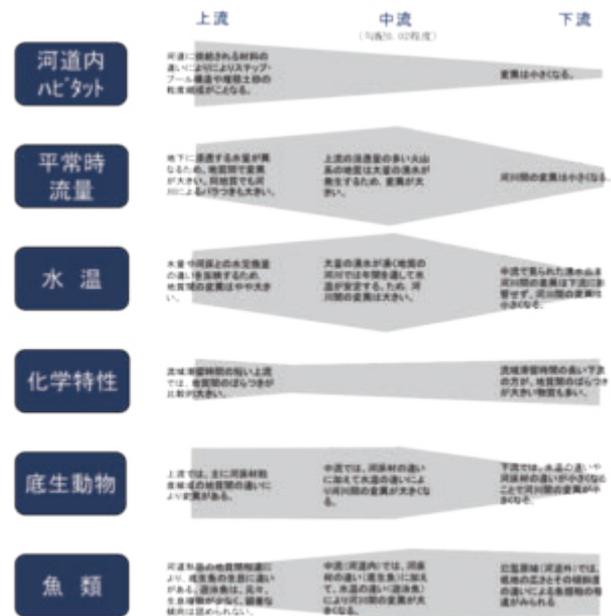


図 11 地質の影響度の流呈変化概念図