

# 河川と周辺域における生態系の機構解明とその評価技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：河川生態チーム

研究担当者：萱場祐一、傳田正利

## 【要旨】

本研究では、河川とその周辺域に形成される河川生態系として、陸上哺乳類を頂点とする生態系を対象として、生態系の機構解明とモデル化を行った。その結果、陸上哺乳類の餌場として利用する流下有機物溜まり（デブリ）は、河川の湾曲と樹林が必要であること、陸上哺乳類の中でもタヌキ、アナグマが有機物溜まりを餌場として利用していることを明らかにした。その後、河床変動計算、生態モデリングを用いて、流況とデブリ形成の関係、野生動物行動などを再現・予測する河川生態系変動予測モデルの開発を行った。

キーワード：河川周辺域、デブリ（Debris）、陸上哺乳類、河川生態系変動予測モデル

## 1. はじめに

河川生態系の保全は、自然環境保全を必須とする社会的要請の中で、河川管理の必須事項となっている。河川生態系は、河川の中だけでは完結せず、陸域の植生・人間社会から多くの影響を受ける特性がある。より良好な河川生態系保全・再生を行うには、河川（河道内）から視野を広げ、河川とその周辺域を含めた生態系の保全・再生を行うことが必要となる。

しかし、既往の研究は、堤外地のみに着目した研究が主で、河川とその周辺域を含めた研究は遅れており、河川とその周辺域の特徴である活発な人間活動（農業利用等）の影響を評価項目に入れた複合的な生態系評価が必要であった。

この様な背景から、本研究では、河川とその周辺域を行動圏とし、河川内の流下有機物や人間活動に伴い発生する有機物を餌資源とする陸上哺乳類に着目し、水理解析等を用いた流況再現、流況と植物群落形成・野生動物の餌資源分布の因果関係の解明、植物群落・餌資源分布と野生動物行動の関係性の解明を行った。

第1段階の平成23年度～平成25年度では、達成目標1「流況、植物群落分布及び流下・堆積有機物分布の関係性の解明」を立て、水理解析等を用いて平水・出水時の流況を再現し、流況、植物群落分布・流下・堆積有機物分布の関係性を解明した。植物群落分布は野生動物の生息空間、流下・堆積有機物分布は野生動物の餌資源として重要であり、対象とする野生動物は河川と周辺域の上位性の観点から、陸

上哺乳類を選定した。これらの結果に周辺域の農業活動等から生じる有機物分布を加え、河川と周辺域の野生動物の生息空間分布・餌資源分布を地理情報システム（GIS）上に再現した。

第2段階の平成24年度～平成26年度では、達成目標2「植物群落分布・餌資源分布と野生動物行動の関係性を解明」を立て、植物群落・餌資源分布と野生動物行動の関係性を解明する。野生動物自動行動追跡システムを用いて、野生動物の行動データを取得し、第1段階で作成した野生動物の生息空間分布・餌資源分布の因果関係の解明をした。

最終段階の平成25年度～平成26年度では、達成目標3「河川と周辺域の河川生態系保全技術への影響要素の抽出と評価技術（モデル）の開発」では、上記で解明した河川とその周辺域の生態系のメカニズムをもとに、河川と周辺域の生態系の健全性に大きな影響を与える要素を抽出し、生態系評価技術（モデル）を開発した。

本報告書では、達成目標1～達成目標3までの成果を2章～4章にとりまとめ、5章において本研究により得られた成果を概括し、基盤研究としての成果を総括する。

## 2. 達成目標1：流況、植物群落分布及び流下・堆積有機物分布の関係性の解明

### 2.1 はじめに

河川生態系は、地形等の物理環境とそこに生育・生息する生物群集、及び、流水作用による物質輸送・物質循環が大きな構成要素となる<sup>1)</sup>。特に、生物へ

の生息場提供機能と健全な有機物動態の保全は、生物に直接的影響を与えるため極めて重要で、河川生態系保全の第一段階として、積極的な実施が必要である。

生物生息空間に関しては、物理環境と生物群集の関係性に関する調査・研究が盛んに行われ<sup>2)</sup>、その機構解明が行われると共に、生物生息場保全事業が多くの成果を挙げている<sup>3)</sup>。

有機物動態に関しては、河川連続体仮説<sup>4)</sup>をベースに多くの研究が行われてきた。河川連続体仮説は、流域の有機物動態に着目し、河川を一本の線として理想化して捉え、上流域、中流域、下流域における有機物動態の特性を示している。工学的アプローチから河川連続体仮説をモデル化し、流域における物質循環特性を研究した事例もある<sup>5)</sup>。また、セグメントや特定区間を対象に砂洲上や河道内植生域での有機物動態に関する研究等も行われている<sup>6), 7)</sup>。これらの流域、セグメント及び特定区間の有機物動態に係る成果が連携されると、縦横断方向の河川における有機物動態の定量化が期待でき、より有効な河川生態系保全が可能になる。

更に、これらの研究成果を河川生態系全体の保全へつなげるには、消費者の有機物の利用形態を理解することが必要である。このような必要性から、筆者らは、河川中流域の高水敷において、陸上哺乳類の有機物利用形態を研究している<sup>8)</sup>。その結果、陸上哺乳類はデブリと呼ばれる流下有機物溜り内の分解者である昆虫類等を採餌し、餌場としてを利用していることを明らかにした。

本来、デブリ (debris) は有機物だけでなく無機物も含んだ破片、残骸、くず、標積物及び有機堆積物をいい<sup>9)</sup>、その対象とする範囲は広い<sup>10)</sup>が、本研究では、陸上哺乳類が餌資源として利用している植物体由来の流下有機物に限定し、「植物体由来流下堆積物」と定義し、研究対象としている。

海外の研究でも、河川を利用する陸上哺乳類の同様な生態が報告されている<sup>11), 12), 13)</sup>。これらの研究は、河川の有機物運搬作用を活用しながらデブリを保つ重要性を示している。

しかし、既往研究は、主として、デブリの陸上哺乳類への採餌場提供機能に着目したものが多く、河川による有機物運搬を支える物理環境 (流況特性) に関する研究は少ない。このような背景から本研究では、(イ) 水理学的にデブリの基礎的な形成機構を検

討し、(ロ) デブリ維持のために河川管理上留意すべき事項、以上の2点を整理し、デブリが維持されるための河道特性の理解、有機物の利用者である陸上哺乳類を含めた河川生態系保全の方法を検討することを目的とする。

## 2. 2 研究の方法

### (1) 調査地の概要

調査は、五ヶ瀬川水系北川で行った。北川は傾山 (1,602m) に源を発し、桑原川、小川などの支川を合わせながら、河口で祝子川、五ヶ瀬川と合流し、日向灘に注ぐ流域面積 587.4 km<sup>2</sup>、流路長 50.9 km の1級河川である。

本研究では、北川と五ヶ瀬川分流点から約 10 km 上流の野地区 (宮崎県延岡市長井地先、以下、調査地と記述する。) で研究を行った。調査地では、北川は大きく蛇行し、出水時には、高水敷、霞堤の堤内地側まで氾濫し、出水の攪乱に伴い氾濫した区域には、多くのデブリが形成される (図-1)。

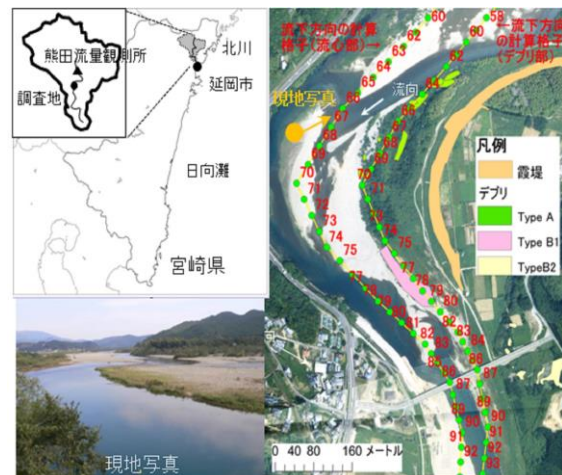


図-1 調査地の概要

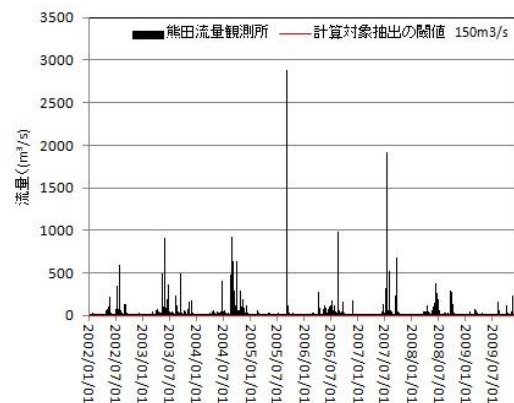


図-2 熊田流量観測所の流量時系列

表-1 地被分類と粗度設定

地被分類	地被状態	粗度
1	樹林地（主にヤナギ類）	0.12
2	多年生草本	0.06
3	一年草本	0.06
4	裸地	0.032

また、調査地においては、タヌキ (*Nyctereutes procyonoides viverrinus*)、イタチ (*Mustela itatsi itatsi*)、アナグマ (*Meles meles anakuma*)、ウサギ (*Vulpes vulpes japonica*)、キツネ (*Vulpes vulpes japonica*) 等の中型哺乳類に加え、アカネズミ (*Apodemus speciosus speciosus*)、イノシシ (*Sus scrofa leucomystax*) 等、多くの哺乳類が確認され、多様な動物相が見られる。

図-2 に調査地最寄りの流量観測所である熊田流量観測所の 2002 年～2009 年までの流量時系列を示す。調査地においては、2005 年に大規模の出水、2011 年までに中規模の出水が複数回あり、調査地に、様々なタイプのデブリが堆積した。

### (2) 現地調査の方法

2009 年 9 月、2011 年 9 月に調査地内を踏査し、デブリが形成された位置を GPS (Garmin 社 eTrex) を用いて、記録した。デブリの外縁部を周り、その形成区域を記録した。

次に、デブリの形態は、さまざまなタイプがあった。そのため、調査地内を踏査し、デブリの特徴を分類した。

### (3) データ解析

調査地における出水時の流況把握を目的として、日平均流量時系列を上流端流量とする非定常平面流計算<sup>14)</sup>を行った。上流端流量は、調査地と熊田流量観測所の流域面積増加比を掛け与えた。以降の解析で用いる流況計算結果は、流況が安定するまで日平均流量を与え、流況が安定した時のデータを用いた。調査地での観測結果から、熊田流量観測所の流量が 150m<sup>3</sup>/s 以下の流量では河川高水敷への冠水が生じないため、150m<sup>3</sup>/s 以上の流量を計算対象として抽出した (図-2)。なお、熊田流量観測所は 2009 年度を持って閉鎖されたため、流量に関する定量的なデータは、2009 年までとし、以降は、現地調査の結果から、デブリの形成過程を推定した。粗度は、植物の効果を取り込むため、空中写真を判読・分類し、

表-1 のように分類し、粗度を設定した。

水理計算結果は、調査地内に圧力式水位計 (onset 社 : HOB0 water level logger U20-001-02) を 3 台設置し、粗度調整等により校正を行った。

上記で得た流況計算結果を用いて、デブリの形成される区域の流況特性の把握を行った。2005 年 9 月 6 日の約 2, 800m<sup>3</sup>/s の出水により、調査地の地形・植生が大きく変化し、新たなデブリを形成した。しかし、2005 年 9 月 7 日以降の出水は、小中規模の出水が多く、大規模な地形、植生、及びデブリの大規模な改変は生じなかった。そのため、2005 年 9 月 6 日出水 (以下、「期間 A」と記述する。) と 2005 年 9 月 7 日以降から 2009 年 12 月 31 日までの 150m<sup>3</sup>/s 以上の出水 (以下、「期間 B」と記述する。) を分離して解析した。なお、2007 年 7 月 1 日の 1,700 m<sup>3</sup>/s の出水は、デブリの配置や形状には大きな変化を与えなかったため、期間 B の小中規模の出水と同様に扱った。

まず、現地調査で記録したデブリ形成区域と水理計算結果を地理情報システム (ESRI 社: ArcGIS ver. 10) にインポートした。期間 A、期間 B において、デブリ形成区域とそれ以外の区域とで、流速及び水深のヒストグラムを作成し、比較した。

次に、現地観察等の結果から、デブリの形成には冠水時の流況 (特に流速) と地被状態 (特に、樹生の生育状況) が影響すると推定が出来た。このため、期間 A に関しては、平面流況の流速分布、水面勾配及びデブリの分布を重ね合わせ、分析した。同時に、平面流況計算で用いた計算格子から、河川流心部にあたる流線とデブリ群上を流下する流線を計算格子から抽出し (図-1)、それらの水位を比較した。期間 B に関しては、平面流況の流速分布、水面勾配及びデブリの分布をを重ね合わせのみを行い、分析した。

## 2. 3 結果

### (1) デブリ形成区域とデブリ形成区域外における流況の比較

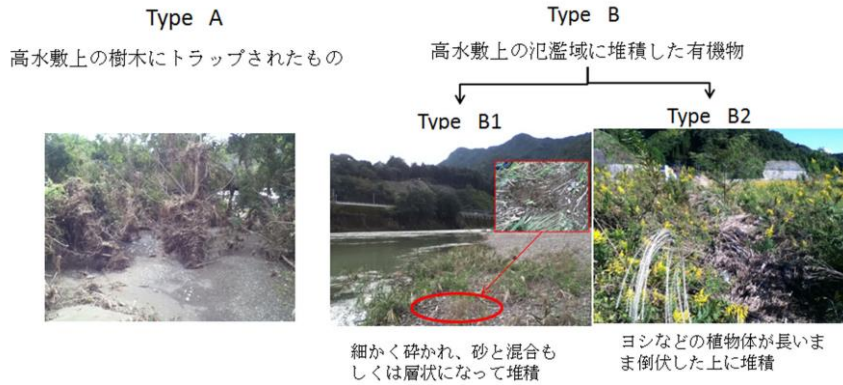


図-3 調査地におけるデブリの分類

図-3 に調査地におけるデブリの分類結果を示す。陸上哺乳類の餌資源としての利用を考えた場合、デブリを構成する植物体破片のサイズが重要であるため、植物体のサイズに着目し、タイプ A とタイプ B に分類した。

タイプ A は、流木を主な構成要素とし、河道内樹林にトラップされた大規模なデブリであった。周囲長は、数 10m、高さ数 m に及ぶ堆積塊で、タイプ A 内の土砂は細砂が多かった。

タイプ B は、タイプ B1 とタイプ B2 に分類された。タイプ B1 は、小さく破碎された草本の植物体、枯葉及び小さな木片が土砂と混在して堆積するデブリであった。タイプ B2 は、高水敷上に草本の植物体が破碎されないまま漂着したデブリであった。タイプ B 内の土砂はシルトが多かった。

タイプ A、タイプ B を構成する主な木片の比重は約 0.79 であった。

(2) デブリ形成区域とデブリ形成区域外における流速の比較

図-4 に期間 A におけるデブリ形成区域とデブリ形

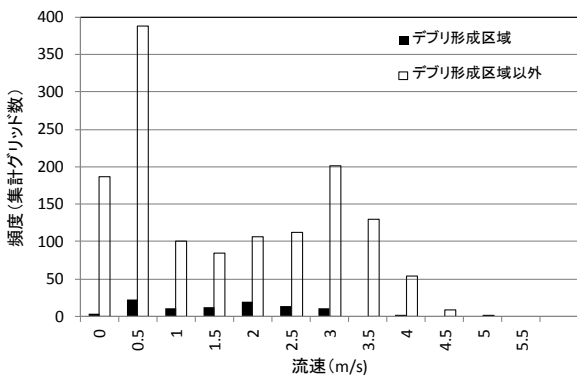


図-5 期間 A におけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外の流速の頻度分布の比較

成区域外における水深の頻度分布の比較を示す。デブリ形成区域の水深は、最大 6.5m で、4m で最頻値であった。デブリ形成区域外では、最大 10m、6m で最頻値をとった。デブリ形成区域は、期間 A の平均的な水深近くに分布した。

図-5 に期間 A におけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外における流速の頻度分布の比較を示す。デブリ形成区域の流速は、最大 3 m/s で頻度は最小値

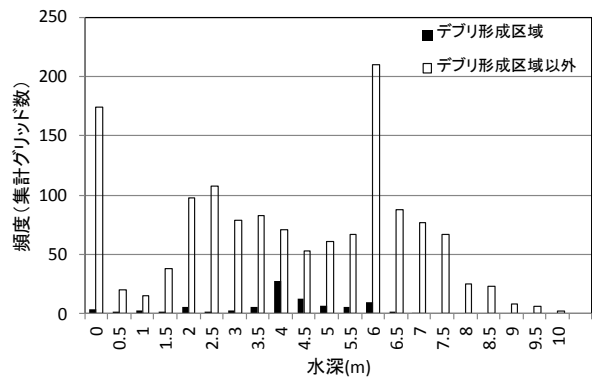


図-4 期間 A におけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外の水深の頻度分布の比較

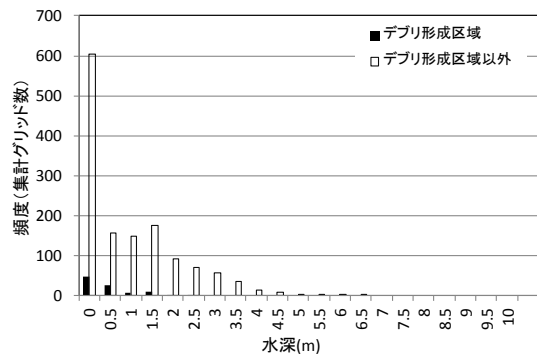


図-6 期間 B におけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外における水深の頻度分布の比較



まで同程度の頻度であった。デブリ形成区域外の流速は、最大 5.5 m/s、0.5m/s で最頻値、3m/s で 2 番目の頻度であった。デブリ形成区域の流速の最頻値は明瞭でなく、デブリ形成区域外の平均値よりも小さい範囲に広く分布していた。

図-6に期間Bにおけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外における水深の頻度分布の比較を示す。デブリ形成区域の水深は、最大 1.5m で、0m が最頻値であった。デブリ形成区域外では、最大 6.5m、最小の 0m で最頻値をとった。デブリ形成区域は、浅い水深に分布し、デブリ形成区域外は水深約 3m までの水深が深い区間が多かった。

図-7に期間Bにおけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外における流速の頻度分布の比較を示す。デブリ形成区域の流速は、最大 1.5m/s で頻度は最小値 0m/s が最頻値であった。デブリ形成区域外の流速は、最大 2.5m/s、0m/s で最頻値、1m/s で 2 番目の頻度であった。

**(3)9月6日出水、9月6日以後出水における平面流況の流速分布、水位等高線とデブリの分布**

図-8に期間Aにおける調査地での流速分布、水位等高線及びデブリの分布を示す。デブリの分布域は流速約 2m/s 以下の湾曲部の内岸側であり、水位等高線が 7.25m の区域であった。この区域を囲むように、流速が 2m 以上の高流速域、水位等高線が 7.5m ~8m の区域が形成された。タイプ A のデブリは、この中でも比較的高流速域に形成され、水位等高線が縦断方向に密であり水面勾配が急な区域に形成された。タイプ B1 のデブリは、高流速域の内岸側で水位等高線が粗な区域に、タイプ B2 のデブリは、同内岸側のほぼ止水域に形成された。

図-9に流下方向の計算格子（デブリ部）と流下方向の計算格子（流心部）の水位比較を示す。流下方向の計算格子 61~63 の近傍では、デブリ部の計算格子（両計算格子の位置は図-1参照）と流心部の計算格子が類似した水位であるのに対し、計算格子が 64~67 ではデブリ部の計算格子は本流よりも水位が急激に減少した。流心部の計算格子 65~70 では、水面勾配が逆勾配となっていた。計算格子 67~80 までは、両計算格子とも水面勾配が緩やかであるが、流心側は、約 0.5m 高かった。

図-10に期間Bにおける調査地での流速分布、水位等高線とデブリの分布を示す。デブリは、湾曲部上流部にある高流速域沿い、及び、流心部の低流速

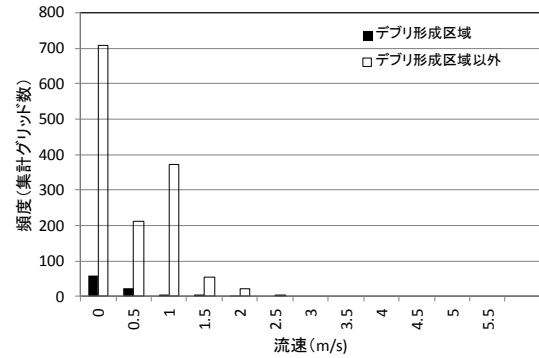


図-7 期間Bにおけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外における流速の頻度分布の比較

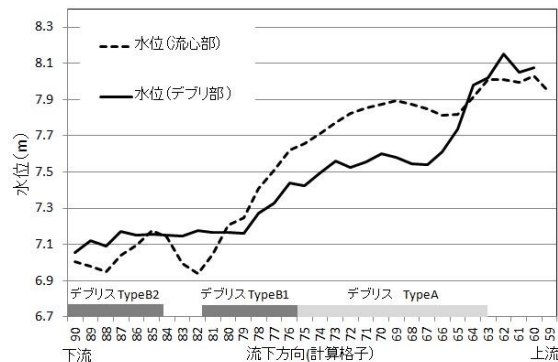


図-9 流心部とデブリ部における水位縦断面図の比較

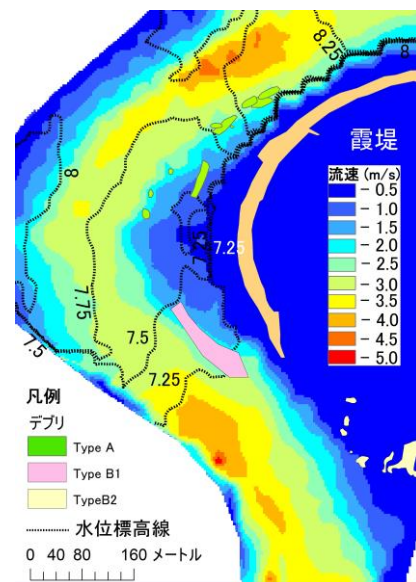


図-8 期間Aにおける流速、水位及びデブリ位置の重ね合わせで水面勾配が比較的緩やかな区域に形成された。

**(4)デブリ形成区域の9月6日以後出水の平均流速と地被状態との散布図**

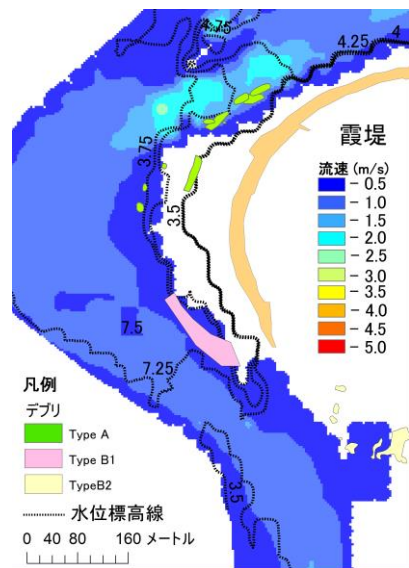


図-10 期間Bにおける流速、水位及びデブリ位置の重ね合わせ図

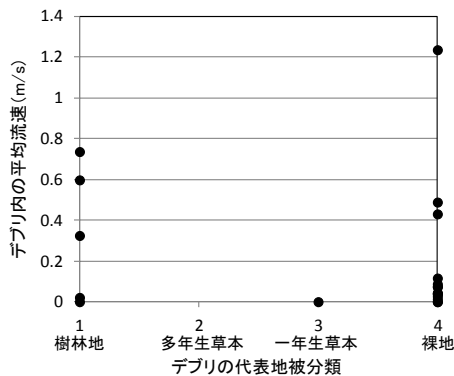


図-11 デブリ発生区域における代表地被分類と平均流速の関係

図-11 に各デブリ内の代表的地被分類と期間Aにおける各デブリ内の平均流速を示す。地被分類1(樹林地)は、平均流速は0~0.8m/sで多様であるのに対し、地被分類4(裸地)では、一部の地点を除き0.2m/s以下が多かった。

## 2. 4 考察

### (1) デブリ形成区域の流況特性と河道特性との関係性の分析

図-8の結果は、デブリ形成区域が期間Aにおける流心部沿いの内岸側にあることを端的に示している。また、図-8から、デブリの各タイプの形成区域の特徴を推定できる。タイプAは、流心部(流速2m/s以上の区域)内岸側上流部の流速の早い場所、タイプB1は、流心部内岸側下流部の低流速域、タイプB2は、流心部(流速2.5m/s以上の区域)内岸側下

流部のほぼ止水域、であることを示している。

図-9の結果でもタイプA、タイプB1、タイプB2は、流速の差はあるが、同様の傾向を示す。

これらの結果は、タイプの異なるデブリの形成には、湾曲内岸側の流速の差異が重要であることを示す。これは、図-4、図-5からも読み取れる。デブリ形成区域では、平均水深よりやや浅めの水深4m~6mを中心としたのに対し、流速は幅広い値をとっている。これは、一定以上の水深があり、湾曲に伴う流速の多様性がデブリ形成の条件であることを示すと考えられる。

タイプAのデブリは、以下の現象で形成されると考えられる。河道の湾曲は、水衝部から背き上げにより流心部の水位が高い状況を創出し、流心部と比較して水位が低い内岸側への水の流入と有機物の移入を促すと考えられる。図-9の結果は、この考察を支持する。デブリ部の計算格子の65~67の上流では、流心部とデブリ部では同様の水位であるのに対し、計算格子65~67では、流心部が逆勾配である。デブリ部の同計算格子では急激に水位が減少し、その後、逆勾配となる。この水位状況は、本流を流下する有機物を河川高水敷へ誘引する可能性が極めて高いと考えられる。

タイプBのデブリの周辺部では、水位等高線が粗で、低流速域が続く。この状態は、流れを湛水させ、流下有機物を堆積させる効果がある。更にタイプBは、B1とB2に分けられるが、B1は土砂と有機物が混合した状態である。この状態は土砂と流下有機物を混合させるだけの攪乱が必要であるが、図-8のタイプB1の周辺では流速が2.5m/sあり、土砂と有機物を混合させることは十分可能であると考えられる。一方、タイプB2の形成区域では、一定の流速と水位等高線が続き、十分な攪乱がない状態であったと考えられる。

期間Bでも、上述と同様な傾向を読み取ることが出来る(図-9)。デブリ形成区域は、湾曲部内岸側の水際部に位置し、流速の差異、水位等高線変化は、図-8と同様な傾向を示す。これらの結果は、デブリ形成区域の流況には、湾曲部内岸側の流速の差異と水位等高線の変化が極めて重要であることを示している。

しかし、デブリの形成機構の詳細な理解には、デブリのタイプに対応した細かな流況解析が必要であるが、この点は今後の課題とする予定である。

## (2) デブリ形成区域の流況特性と河道特性との関係性の分析

図-11 は、デブリの形成に河道内樹林が大きな役割を果たすことを示す。デブリ形成区域の地被分類は、主に樹林地と裸地であったが、一部の裸地を除いては、樹林地の平均流速は高い傾向にあった。この結果は、樹林の存在は、高流速域でも流下有機物を補足することを可能にすることを示しており、樹林は、デブリの形成に重要であることを示している。

## (3) デブリ形成区域の流況特性と河道特性との関係性の分析

2 節、3 節の結論は、デブリの形成区域を保全するには、(イ)河川の湾曲部内岸側における流速分布の差異、(ロ)樹林による捕捉効果が重要なことを示す。

(イ)に関しては、本調査地の湾曲部の顕在化した現象であるが、本調査地のみの特異性ではなく、他の河川の緩やかな湾曲部でも類似の現象が確認されると考えられる。一般に湾曲部の内岸側には、砂州が形成され、砂州の上流部では流れが砂州から離れるように流下し、流速の差異が形成される。一方、砂州の下流部では流れが砂州沿いに流下し、その変化は、上流部と比較して流れが一様になる。このことは、砂州上流部でタイプAのデブリが、砂州下流部でタイプBのデブリが形成される可能性、デブリの保全には砂州と河道内微地形の健全な形成の必要性、以上の3点を示唆していると考えられる。

(ロ)に関しては、樹林は流下能力を減少させるため、広い面積の樹林を保全することは考えにくい。しかし、本研究は、「タイプAのデブリのみ樹林に依存する」ことを指摘をしている。(イ)と関連して考えれば、タイプAが形成される砂州上流部の樹林のみを保全すれば足り、現在の河川管理実務での許容性は高いと考えられる。

これらの成果は、治水と環境の両立を目指す今後の河川管理に重要な示唆を与えると考えられる。

## 2. 4 まとめ

河川高水敷に生息する陸上哺乳類が採餌場として利用するデブリ（植物体由来流下有機物堆積物）の形成機構を水理学的に解析した。その結果、河道の湾曲に伴う流速の差異と水位等高線変化、樹林による過効果がデブリの形成には重要であることを明らかにし、これらの条件の形成には砂州に起因する河道内微地形と砂州上流部の樹林保全が重要であ

る可能性が高いことを明らかにした。

## 3. 達成目標 2 : 植物群落分布・餌資源分布と野生動物行動の関係性を解明

### 3. 1 はじめに

河川生態系保全は主として、堤外地（河道内）に主に着目して行われることが多い。しかし、堤外地から堤内地まで対象スケールを拡大すると河川と周辺域にも特色ある生態系が形成されている。連続堤ではない河川では、多くの土砂・有機物が出水時に河川の周辺域まで運搬され、それらを基盤とした多様な植物群落・生物相からなる特色ある生態系が構築されている。

周辺域の生態系は、河川生態系とは異なる特徴を持つ。河川攪乱に加え、農業等の人間活動が周辺域の生態系に複雑な影響を与える。そのため、周辺域の生態系は複雑である。周辺域の生態系保全・維持管理のためには、その生態系に影響を与える現象を複合的に捉える必要がある。

周辺域のように複雑な生態系の保全を考える場合、指標生物を選定し、指標生物の持続的生息を目指す試みが有効となる<sup>15)</sup>。これらの指標生物として、筆者らは河川と周辺域を行動圏に持つ中型哺乳類（タヌキ、イタチ、アナグマ、ウサギ）を選定している。これは、中型哺乳類の行動圏が河川と周辺域を包有し、採餌場、休眠場、泊まり場等を生息に不可欠な空間を河川と周辺域内に求めるためである。

このため、筆者らは、電波テレメトリー法を発展させ誤差15m程度で野生動物の行動追跡が可能で野生動物自動行動追跡システムを開発し、このシステムを用いて中型哺乳類の行動特性や空間選好性を分析する研究を行っている。これらの研究を通じて、タヌキ、アナグマ、ウサギ及びイタチの行動特性や空間選好性（特に植物群落選好性等）を明らかにした。平成23年度には、イタチの行動特性と空間選好に関する報告を行ったが<sup>16)</sup>、本稿では、平成24年度の調査結果を加え、イタチ行動特性分析、植物群落選好性分析結果を2個体間で比較し、その共通性と個体間差異を検討し、河川と周辺域の生態系保全に関する基礎的な情報を提供することを目的とする。

### 3. 2 研究の方法

#### (1)現地調査の方法

#### a) 野生動物自動行動追跡システムの概要と位置特定精度

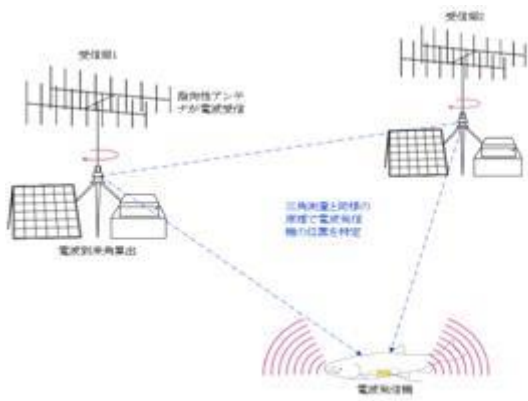


図-12 ATS の概要



図-13 供試個体 2 と電波発信機装着状況

図-12 に ATS の概要を示す。ATS は、指向性アンテナを有した複数の受信局で構成される。各受信局は、約 5 分ごとに指向性アンテナを回転させ、野生動物に装着した電波発信機から発信される電波が到来する角度を計測する。その後、専用のソフトウェアで各受信局の電波到来角を分析し、三角測量の原理で野生動物の位置を算出する。調査地に ATS 受信局 2 局を設置した。

イタチの行動データの信頼性を検証するため、ATS の位置特定精度の検証を行った。調査地に各 3 点の精度検証点を設置した。ディファレンシャル GPS を用いて位置検証点の座標を算出した。その後、位置検証点の地表部に電波発信機を固定後、ATS を用いて座標を算出した。ディファレンシャル GPS の座標と ATS の座標 (平面直角座標系) を比較し、ATS の位置特定誤差を算出した。その結果、一部、精度が悪化するエリアがあったが、ATS の位置特定誤差は平均 17.45m であった。なお、精度が悪化するエリアでは、誤差傾向を考慮しながら誤差を修正し、平均の位置特定誤差と同程度まで補正した。

#### b) イタチの行動追跡調査

野生動物に装着する発信機の重量は、体重の 2% 以下であることが望ましいとされている<sup>17)18)</sup>。その

ため、本研究では、電波発信機は、周波数 150MHz 帯、直径 17mm、長さ 48mm、重量約 15g、発信寿命 30 日間のものを使用した (サーキットデザイン社 LT-04-1)。調査地近傍でイタチの成体 1 個体を捕獲し、調査地内で電波発信機の装着を行った。以降、本追跡個体を供試個体 2 と記述する。なお、平成 23 年度に追跡したイタチの個体を供試個体 1 とし、3 章の両個体の比較時には、本個体表現を用いて記述する。表-1 に供試個体 1 と供試個体 2 の身体諸元を示す。上記の電波発信機を首輪の形状でイタチに装着した。その後、2012 年 8 月 3 日の午後 5 時頃に調査地の堤内地へ放逐し、2012 年 9 月 8 日まで ATS により供試個体の行動を追跡した (図-3)。電波発信機装着が行動に与える影響を評価するため、放逐時に麻酔から完全に覚醒した状態で 15 分間程度、イタチの行動観察を行い、電波発信機装着がイタチの行動に影響がないかを検証した。イタチが俊敏に植物群落内に移動する様子を確認できたことから、発信機装着は、イタチの行動に大きく影響を与えていないと推定された。

#### c) 植物群落図の作成

イタチの植物群落選好性を分析する目的で、2007 年 9~12 月に調査地内の植物群落調査を行い、相観植生図を作成した。調査地内を踏査し優占種を調査し植物群落の変化点を GPS で記録した。その後、現地調査記録を加味しながら、地理情報システム (ESRI 社、ArcGIS Ver. 10、以下、GIS と記述する) 上で空中写真 (2006 年 6 月撮影、縮尺:1/2000) を判読した。

#### (2) イタチ (供試個体 2) の行動データの分析

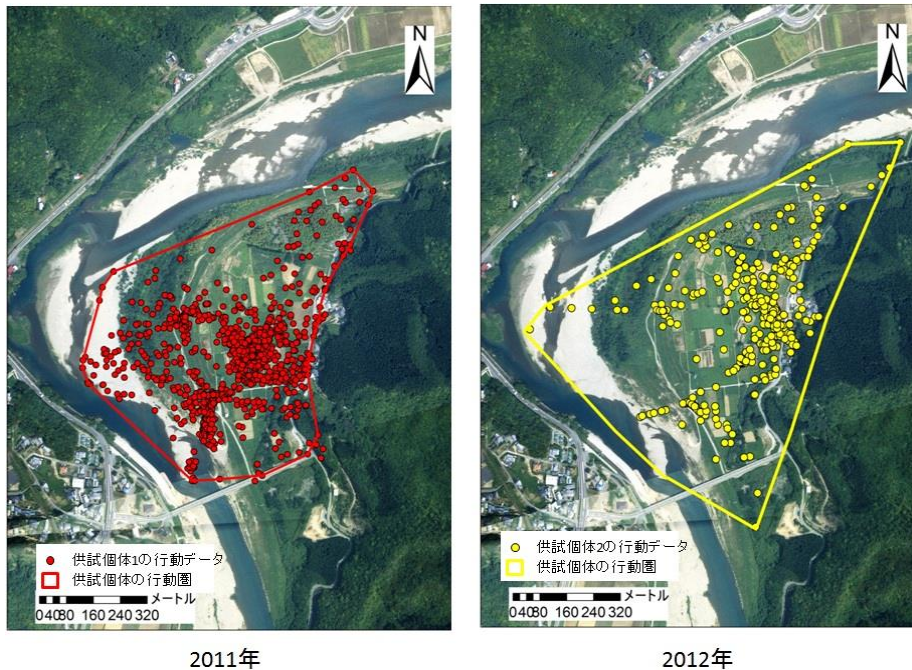
ATS で得たイタチの行動データを用いて、イタチの行動圏分析、イタチの利用した空間の植物群落特性を分析した。行動圏分析に関しては、供試個体が調査地内を周回的に行動する特性があり、一定の範囲に収束する傾向があったため、上項で精査した全データを対象として分析した。行動圏の特定は、最外郭法 (Convex Polygon) を用いて評価した。

イタチの植物群落選好性を分析するため、資源選択性の指標として Ivlev の選択度指数を用いた。Ivlev の選択度指数は、哺乳類の行動分析等で多く用いられる指標で、式(1)で表現される。

$$E = \frac{r_i - P_i}{r_i + P_i} \quad (1)$$

ここに、E : Ivlev の選択度指数、 $r_i$  : 全植物群落利





2011年

2012年

図-14 供試個体1・供試個体2の行動追跡データと行動圏

用数に対する  $i$  植物群落の利用数の割合、 $P_i$ :全植物群落面積に対する  $i$  植物群落の面積割合である。行動に影響を与える資源の選好度を、-1 (忌避) ~1 (選好) の大きさで表現する。GIS を用いて、調査地内の各植物群落のイタチの利用回数を求め、 $I_{lev}$  の選択度指数を算出した。

### (3) 供試個体1と供試個体2の行動の比較を通じたイタチに共通する行動特性の考察

図-14 に供試個体1・供試個体2の行動追跡データと行動圏を示す。平成23年度に取得した供試個体1及び供試個体2の行動(行動圏、行動特性及び植物群落選好性)を比較し、2個体のイタチに共通する行動、2個体間の行動の差異を検証した。検証は、供試個体1と供試個体2間の行動特性(行動プロット図、行動圏面積比較)、供試個体1と供試個体2間の植物群落選好性の比較を行った。植物群落選好性の比較に関しては、 $I_{lev}$  の選択度指数に関して、各供試個体に関して、全行動データに対する各植物群落の利用回数(行動プロット数)割合を求めた後、各植物群落の利用割合率が各供試個体間で差異があるか検定を行った( $\chi^2$ 検定、 $p=0.05$ )。

## 3. 3 結果と考察

### (1) イタチの行動特性

ATS を用いた追跡の結果、供試個体2の行動圏は約30haであった。供試個体は畑地を中心に行動し、河道内の樹林、堤防周辺の竹林を利用した。頻度は

低いが、河道周辺の裸地(主に礫河原)を利用した。畑地中央に供試個体の行動データが集中している地点はイタチの巣と推定され、畑地内のあぜ道沿い植物群落内であった。このことから、供試個体は畑地内に巣を持ち、採餌行動(狩り)に河道内の樹林地、竹林等の植生密度が高い地点へ移動し、採餌行動をとる行動特性を持つことが推定された。特に、河道内樹林地を主に利用する傾向があるが、この行動は樹林地内に生息する小型哺乳類(アカネズミ、カヤネズミ等)を捕獲する採餌行動を行っていた可能性が高いと考えられる。

供試個体2の行動データが示す行動圏の面積と行動特性は、2011年に明らかにした供試個体1の行動特性と極めて類似した。2012年の供試個体の行動圏の面積は約25haであり、供試個体1もまた畑地を巣穴として利用し、狩りと推定される行動を河川内で行った。異なる年の異なる時期の2つの行動データが類似した傾向を示すのは、上述の・行動圏・行動特性が、河川周辺域に生息するイタチの一般的な行動特性である可能性が高いことを示していると考えられる。

### (2) イタチの空間利用特性(植物群落選好度)

図-15 に供試個体の  $I_{lev}$  の選択度指数を示す。 $I_{lev}$  の選択度指数を用いた空間選好性評価の結果、イタチは主に開放的な景観、特に畑地、果樹園を利用し、

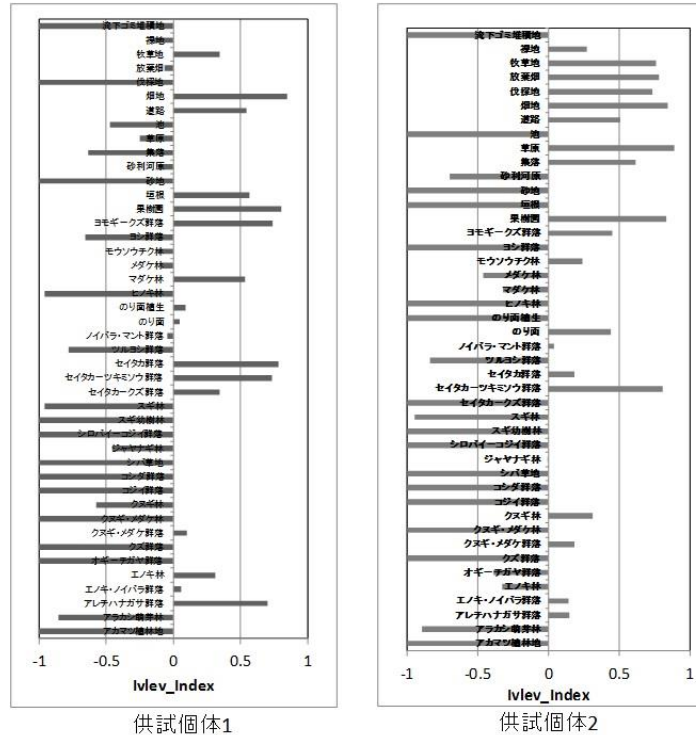


図-15 供試個体の Ivlev の選択度指数

アレチハナガサ、ヨモギ・クズ群落等の草本であるが地表面の植物生育の密度が低い景観を選好した。対象的に、コシダ群落、オギーチガヤ群落、クズ群落、クヌギ・メダケ林、スギ林等の生育密度が高い植物群落か上空の開放度が低い林の環境を忌避した。調査地の現地踏査や他の中型哺乳類調査時には、図-15 と類似した景観を利用する様子が観察されており、供試個体の空間選好性は一定の信頼性があると考えられる。

供試個体 1 と供試個体 2 の空間選好性は、異ならず、供試個体 1、供試個体 2 とともに、上述の開放度が低い空間を忌避した ( $\chi^2=0.28$ )。このことは、行動特性と同様にイタチの一般的な植物群落選好性である可能性を示唆している。

### 3.4 まとめ

野生動物自動行動追跡システム（野生動物行動を誤差約 15m、約 5 分間隔、2 次元で追跡可能なシステム）を用いて、イタチ 1 個体の行動を約 1 カ月追跡した。その結果、イタチの行動圏は平均約 25ha、主に開放的な畑地や果樹園等の空間を利用した。また、植物群落の生育密度が高い植物群落を忌避する等の空間特性を把握出来た。平成 23 年度の調査結果との比較でも同様の結果を得ており、これらの結果は、イタチの一般的な行動特性であると考えられる。

が出来る。

## 4. 達成目標 3：河川と周辺域の河川生態系保全技術への影響要素の抽出と評価技術（モデル）の開発

### 4.1 はじめに

霞堤を代表とする大出水時の堤内地への氾濫を想定した河川では、河川と霞堤周辺の堤内地（以下、周辺域と記述する）の関係性が強い。平水時には人間活動（主に農業と付随する維持管理活動）、出水時には河川による攪乱が周辺域の生態系に影響を与える。このように複雑な現象の影響を受ける生態系の保全を考える場合、指標生物を選定し、指標生物が持続的に生息出来る空間保全が有効となる<sup>19)</sup>。筆者らは、これらの指標生物群として、河川と周辺域を行動圏に持つ中型哺乳類（タヌキ、イタチ、アナグマ、ウサギ）を選定している。これは、中型哺乳類の行動圏が河川と周辺域を包有し、生息に不可欠な空間を河川と周辺域内に求めるためである。同時に、周辺域の生態系の上位に位置し、河川と周辺域の生態系の健全性を評価するのに適している。本稿では、前述の中型哺乳類のうち、肉食性のイタチの植物群落選好性分析結果と行動のモデル化の結果を報告し、河川と周辺域の生態系保全に関する基礎的な情報を



提供することを目的とする。

#### 4. 2 研究の方法

##### (1)現地調査の方法

##### a)野生動物自動行動追跡システム（ATS）の概要と位置特定精度

ATSは、指向性アンテナを有した複数の受信局で構成される。各受信局は、約5分ごとに指向性アンテナを回転させ、野生動物に装着した電波発信機から発信される電波が到来する角度を計測する。その後、各受信局の電波到来角を用いて三角測量の原理で野生動物の位置を算出するシステムである。調査地では、ATSの精度は一部のエリアには誤差が著しく低下するエリアが見られたが、ATSは平均位置特定誤差約18mで位置検出が可能であった。なお、誤差が著しく低下するエリアは誤差傾向を判断して修正し、上記と同様の誤差に修正した。

##### b)イタチ行動追跡調査

野生動物に装着する発信機の重量は、体重の2%以下であることが望ましいとされている。そのため、本研究では、電波発信機は、周波数150MHz帯、直径17mm、長さ48mm、重量約15g、発信寿命30日間のものを使用した（サーキットデザイン社LT-04-1）。2011年5月7日の午後2時頃に調査地の堤内地へ放逐し、2011年6月8日までATSにより供試個体の行動を追跡した。行動観察の結果、発信機装着は、イタチの行動に大きく影響を与えていない

と推定された。

##### (2)データ解析

##### a)植物群落図の作成

イタチの植物群落選好性を分析する目的で、2007年9～12月に調査地内の植物群落調査を行い、相観植生図を作成した。

##### b)イタチの行動データの分析

ATSで得たイタチの行動データを用いてイタチの植物群落選好性の分析した。Ivlevの選択度指数を用いて3章と同様に解析した。

##### (3)行動のモデル化とその検証

イタチの行動をモデル化するため、生態モデリングの分野で行われる個体ベースモデル（Individual Based Model）を参考とした<sup>20</sup>。河道内の地形（水域・陸域）及び植物群落をモデル化し、調査で得たイタチの植物群落に関する選好性、行動圏選択行動をプログラム化した仮想のイタチを放流し、イタチの行動追跡結果と比較し、その再現性を検討した。

#### 4. 3 研究の結果と考察

##### (1)イタチの流速・水深の選好性分析結果

Ivlevの選択度指数を用いた空間選好性評価の結果、イタチは主に開放的な景観、特に畑地、果樹園を利用し、アレチハナガサ、ヨモギ・クズ群落等の草本であるが地表面の植物生育の密度が低い景観を選好した（図-16）。対象的に、コシダ群落、オギチガヤ群落、クズ群落、クヌギ・メダケ林、スギ林

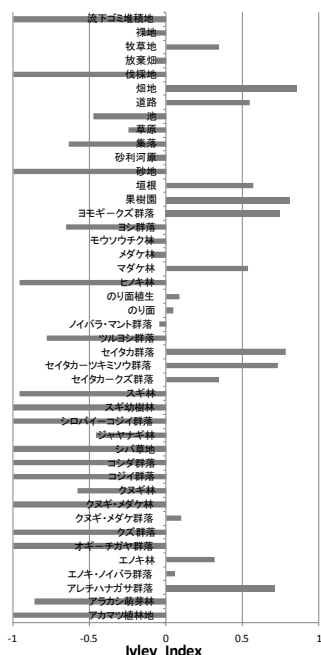


図-16 時間帯別のイタチの利用空間の流速特性

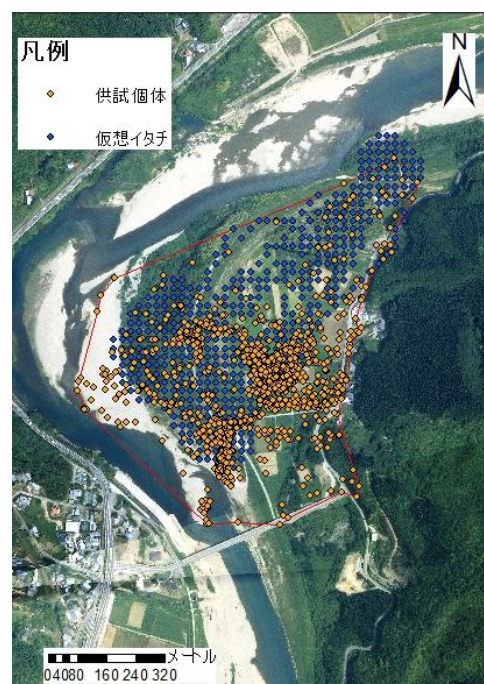


図-17 イタチの行動データとモデルによる再現結果の比較

等の生育密度が高い植物群落か上空の開放度が低い林の環境を忌避した。

#### (2) イタチ行動のモデル化とその精度検証

モデルは、イタチの行動圏の外縁と移動経路の選択性を良好に再現した。構築したモデルが行動範囲を再現したことは、イタチが必要とする空間特性とその選択行動を定量的に模倣することが出来たことを示している (図-17)。

#### 4. 4 まとめ

野生動物自動行動追跡システムを用いて、イタチの行動を約1ヶ月追跡し、行動圏・植物群落選好性を分析した。同時に、個体ベースモデルを援用し、イタチの行動を再現する基礎モデルの構築を試みた。その結果、作成したイタチの行動モデルは、良好にイタチの行動圏、空間利用特性を再現した。

#### 5. まとめ

本稿においては、紙面の制約上、4年間の成果の一部報告できなかった成果もあるが、下記に総括する。詳細な成果に関しては、参考文献を参照されたい。

達成目標1「流況、植物群落分布及び流下・堆積有機物分布の関係性の解明」においては、現地調査を通して、流下堆積有機物分布(Debris:デブリ)には、木本類にトラップされたタイプ(タイプA)と低水路近傍に堆積したタイプ(タイプB)、以上の2タイプに分類されることを明らかにした。画像解析による植物群落分布を粗度として取り込んだ2次元河床変動解析を用いて、平水・出水時の流況・土砂移動を再現し、GIS上で流況、植物群落分布を分析した。その結果、出水時の速度が小さく、細粒土砂堆積が激しい場所では、草本群落に遷移しやすい傾向を明らかにした。同時に、流況、植物群落分布及びデブリ分布の関係性を分析した。その結果、タイプAのデブリは、湾曲に伴う本流と出水時流路の水位差により高水敷に流入し、湾曲部内岸上流部の樹林地によりトラップされた形成されること、タイプBのデブリは、湾曲部内岸側の低流速域・止水域に形成されることを明らかにした。これらの結果から、デブリの形成場所には、湾曲と、湾曲部内岸上流部の樹林が必要になることを明らかにした。

達成目標2「植物群落分布・餌資源分布と野生動物行動の関係性を解明」においては、野生動物自動行動追跡システムを用いて得た野生動物の行動データを分析して、野生動物のデブリの利用実態を明らか

かにした。タヌキは、山間地に巣穴を持ちデブリへ移動し、デブリを餌場として積極的に利用した。アナグマも同様に、河川周辺域の畑地内に巣穴を持ち、デブリを餌場として積極的に利用した。タヌキとアナグマ共に、タイプAのデブリを積極的に利用した。タイプAのデブリでは、デブリ形成後約3年で、有機物の分解が進み、昆虫類が生息し、アナグマ・イタチは、これらの昆虫類を採餌していることを明らかにした。イタチは、河川周辺域の畑地内に巣穴を持ち、草本群落を小型哺乳動物の狩場として利用した。ウサギは、草本群落に巣穴を持ち、草本群落を餌場として利用した。・中型陸上哺乳類は、それぞれの空間選好性と餌資源選好性に応じて個別の特徴を持つ行動圏を形成するが、河川周辺域、河川内草本群落、河川内木本群落と河川氾濫原域内のデブリ等をネットワーク化して利用していることを明らかにした。・中型哺乳類の多様性を保全するには、中型哺乳類の空間選好性に基づいて、様々な特徴を持つ景観を選択出来ることが重要であるとともに、中型哺乳類の多様性は、河川と周辺域の生態系保全の指標として有効であることを確認出来た。

達成目標3「河川と周辺域の河川生態系保全技術への影響要素の抽出と評価技術(モデル)の開発」においては、平成24年度に、河川生態学術研究会五ヶ瀬川グループ(参画機関:九州大学、宮崎大学、国土政策総合研究所、国土交通省九州地方整備局)と共同し、河川生態系変動予測モデルの開発を行った。河川生態系変動予測モデルは、平成25年度土木学会環境賞(グループ1:環境の保全・創造に資する新技術開発や概念形成・理論構築等に貢献した先進的な土木工学的研究)、Ecological Modelingに関する学会にて高い評価を受けるなど関連研究者から高く評価された。

また、国総研が担当した河床変動・植生動態モデルを土木研究所のモデル(重点研究:「植生管理の高度化に関する研究」で開発した群落クラスターモデル)で置き換え、土研オリジナルの河川生態系変動予測モデルを開発した。気象の数値予報を参考に、集団予測技術を河川生態系変動予測モデルに適用し、将来予測計算等に適用する方法の開発を完了し、重点研究等に適用する予定である。

#### 参考文献

- 1) 辻本哲郎:砂州景観保全を河川生態工学からどう意義づけるか, pp. 43-48, 河川技術論文集, 第10巻, 2004年6月.



- 2) 井上幹生・中野繁：小河川の物理的環境構造と魚類の微生物場所, pp. 151-160, 日本生態学会誌Vol.44, 1994
- 3) 島谷幸宏・今村正史・大塚健司・中山雅文・泊耕一：松浦川におけるアザメの瀬自然再生計画, pp. 451-456, 河川技術論文集, 第9巻, 2003年6月.
- 4) R. L. Vannote, G. Wayne Minshall : The river Continuum Concept, Canadian Journal of Aquatic Science, Vol.37, pp. 130-137, 1980.
- 5) 戸田祐嗣・山下貴正・宮本仁志・辻本哲郎：数値河川生態系の構築と流域河道網への適用, 土木学会論文集G(環境) Vol.69, No.6 (環境システム研究論文集第41巻), II\_127-II\_138, 2013.
- 6) 全造成・尾花まき子・辻本哲郎：河道内植生域での砂と粒状有機物の輸送と堆積過程のモデル化, 河川技術論文集, pp. 193-198, 第20巻, 2014.
- 7) 尾花まき子・片野坂瑛一・知花武佳：礫床河川の粒度組成に着目した砂礫洲の伏流水動態に関する研究, 土木学会第69回年次学術講演会, pp. 257-258, 2014年
- 8) Masatoshi DENDA, Junji MIWA and Toshitakawa IWAMOTO : The relationship between ecological function of floods and a mammal inhabiting a river and the surrounding area, Proceedings of IHAR-ISE 2012, September 17th -21th, 2012.
- 9) オックスフォード大学出版局：オックスフォード現代英英辞典 第8版, 旺文社, 2010.
- 10) Jung II Seo・Futoshi Nakamura・Kun Woo Chum : Dynamics of large wood at the watershed scales: a perspective on current research limits and future directions, Landscape Ecol Eng(2010)6, pp.271-287.
- 11) G.H.Gloet・J.W.Hunt・D.KOEING : Decline and recovery of small mammals after flooding: Implication for pest management and floodplain community, River research and Applications Vol.29 pp.183-194, 2013.
- 12) DOUGLAS.C.ANDERSEN・S.MARK.NELSON : Rodent use of anthropogenic and 'natural' desert riparian habitat, lower Colorado River Arizona, Regulated rivers: Research and management, Vol.15, pp.377-393, 199.
- 13) Susan C. Loeb: Responses of small mammals to coarse woody debris in a southeastern pine forest, Journal of mammalogy vol.80(2), 1999
- 14) 土木学会水理委員会水理公式集改定小委員会：水理公式集, 土木学会, 1999.
- 15) 藤原宣夫・金子弥生・飯塚康雄：野生中・小型ほ乳類のための生態的回廊の整備手法に関する研究, 平成13年度自然環境の管理及び保全に関する総合研究, Page.61.1-61.16, 2003
- 16) 傳田 正利・岩本俊孝・三輪 準二：河川と周辺域におけるイタチの行動生態と空間選好性に関する基礎的研究, II -32 (CD-ROM), 第39回土木学会関東支部技術研究発表会講演集, 2012年3月
- 17) L. David Mech : Handbook of Animal Radio-Tracking , University of Minnesota Press, 1983
- 18) Robert Kenward : Wildlife Radio Tagging , Academic Press, London, 198
- 19) 傳田 正利・岩本俊孝・三輪 準二：河川と周辺域におけるイタチの行動生態と空間選好性に関する基礎的研究, II -59, 第39回土木学会関東支部技術研究発表会講演集, 2012年3月
- 20) 楠田哲也・巖佐庸：生態系とシミュレーション, 朝倉書店, pp.130, 2002

# A STUDY ON MECHANISM CLARIFICATION AND ITS EVALUATION METHOD OF RIVER AND SURROUNDING AREA ECOSYSTEM

Budgeted : Grants for operating expenses general account

Research Period : FY2011-2014

Research Team : Water Environment Research Group(River restoration team)

Author : KAYABA Yuichi

DENDA Masatoshi

**Abstract** : We aim to clarify mechanisms and to model ecosystem of river and surrounding area that were formed of top predators were land mammal. In the results, we clarified; (1) debris formation as feeding area for land mammal needed the river meanders and some wood areas, (2) the land mammal (raccoon dog and badgers) utilized the debris as feeding area through the field survey using the wild animal auto tracking system. Then, we have developed a new model that can represent and can predict river morphology change, vegetation and wild animal behavior using river engineering (e.g. movable river bed simulation) and ecological modeling.

**Key words** : River and surrounding area, debris, land mammal, river ecosystem variability prediction model