

河川高水敷におけるデブリの形成機構に関する研究

STUDY ON HYDROULIC FORMATION PROCESS OF DEBRIS ON RIVER TERRACE

傳田正利¹・岩本俊孝²・萱場祐一³

Masatoshi DENDA, Toshitaka IWAMOTO and Yuichi KAYABA

¹ 正会員 博士 (工学) 独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 主任研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

² 非会員 理学博士 国立大学法人宮崎大学 副学長
(〒889-2192 宮崎市学園木花台西1丁目1番地)

³ 正会員 博士 (工学) 独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 上席研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

Previous studies have described the important functions of debris-feeding mammals inhabiting river terraces. However, most previous studies mainly focus on the function from the point of view of behavioral ecology. Therefore, we studied the hydraulic formation process of debris from the point of view of river engineering.

In the results, our study clarified the following phenomena: (1) The channel meandering enhanced the water surface gradient between the central channel and the inside channel during floods. And the gradient enhanced the water current to transport the organic debris into the river terraces; (2) Trees filtered the organic matter and supported debris formation. These results indicated that the meandering and trees were important for debris formation.

Key Words : River terrace, mammals, debris, hydraulic formation process.

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¹⁾。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²⁾、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成果を挙げている³⁾。

有機物動態に関しては、河川連続体仮説⁴⁾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⁵⁾。また、セグメントや特定区間を対象に砂州

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^{6),7)}。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⁸⁾。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⁹⁾、その対象とする範囲は広い¹⁰⁾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^{11), 12), 13)}。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。

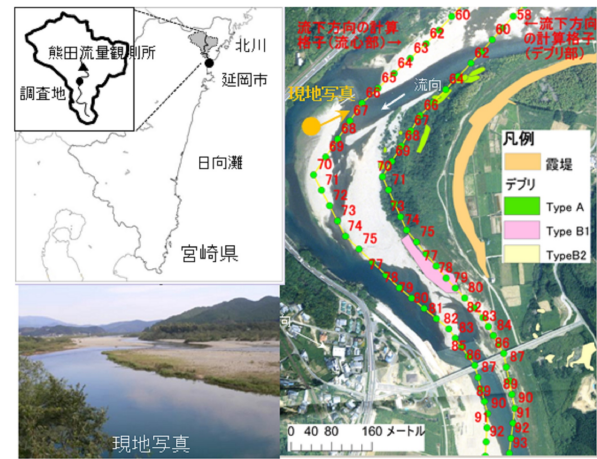


図-1 調査地の概要

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)に源を發し、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 km²、流路長 50.9km の1級河川である。

本研究では、北川と五ヶ瀬川分流域から約10km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)。

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（デブリの形成場所の特定とその分類）

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。

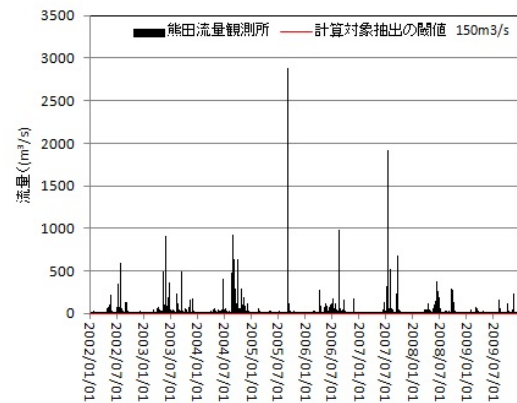


図-2 熊田流量観測所の流量時系列

(3) データ解析

a) 水理計算の実施と精度検証

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¹⁴⁾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150m³/s以下の流量では河川高水敷への冠水が生じないため、150m³/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

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

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。

b) デブリの形成区域の水理特性の把握

a) 項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2,800m³/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150m³/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 m³/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、樹木の生育

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重ね合わせのみを行い、分析した。

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。

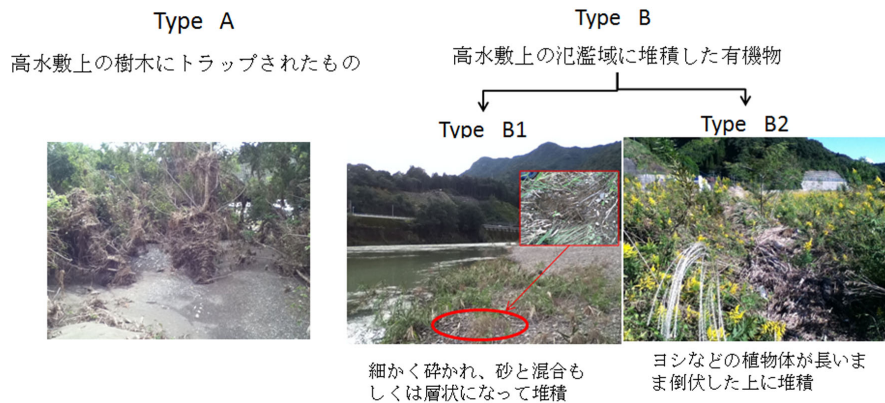


図-3 調査地におけるデブリの分類

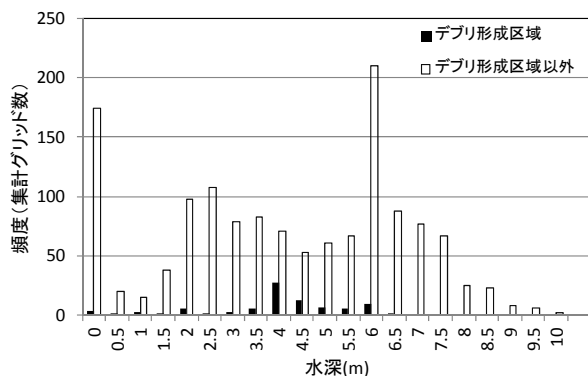


図-4 期間Aにおけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外の水深の頻度分布の比較

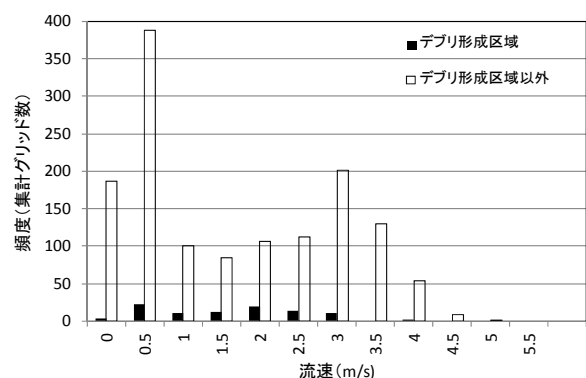


図-5 期間Aにおけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外の流速の頻度分布の比較

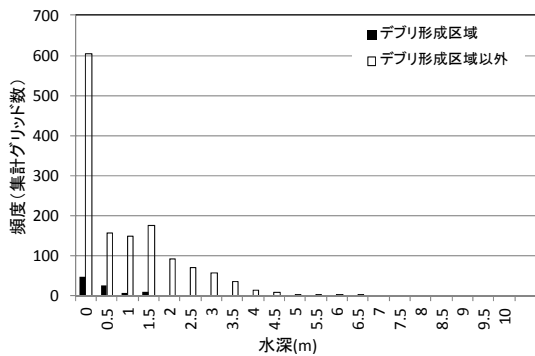


図-6 期間Bにおけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外における水深の頻度分布の比較

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況の比較

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

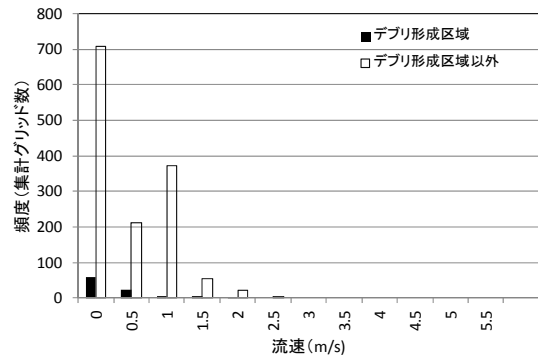


図-7 期間Bにおけるデブリ形成区域とデブリ形成区域外における流速の頻度分布の比較

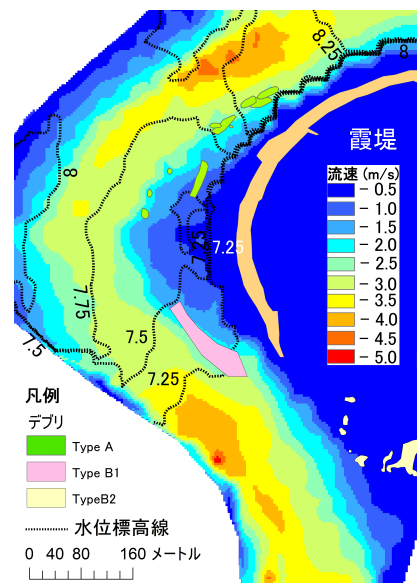


図-8 期間Aにおける流速、水位及びデブリ位置の重ね合わせ図

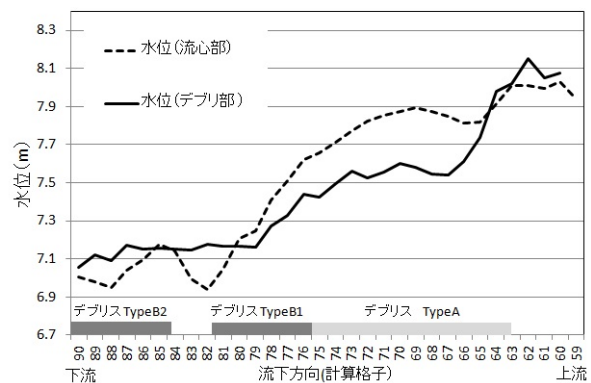


図-9 流心部とデブリ部における水位縦断面図の比較

図-8 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

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。

5. 結論

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、樹林によるろ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。

謝辞：本研究では、リバーロント整備センター河川・海岸グループに多大なご協力をいただいた。本研究は、河川生態学術研究会五ヶ瀬川グループの研究の一環として行われた

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息場所, 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) 全浩成・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.

(2014. 9. 30受付)