

山地溪流の河床と河川間隙水域における有機物分解 速度の比較

李, 彦達

九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻森林環境科学コース

笠原, 玉青

九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

智和, 正明

九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

<https://doi.org/10.15017/4776827>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 103, pp. 7-12, 2022-03-29. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

山地溪流の河床と河川間隙水域における有機物分解速度の比較

李 彦達¹, 笠原玉青^{2*}, 智和正明²

溪流の水生生物を支えている陸生有機物は、河床だけでなく、河川間隙水域にも保持されている。本研究では有機物の分解に着目し、分解速度を河床と河川間隙水域で比較することで、分解の場としての河川間隙水域の相対的重要性を5つの季節（冬・春・梅雨・夏・秋）で評価すること、また分解を制御する主要な要因である大型無脊椎動物の貢献度を評価することを目的とした。有機物分解速度の指標として、綿ストリップの引張強度の減少率を用いた。大型無脊椎動物の貢献度は、目開き5 mmと0.1 mmのメッシュに入った綿ストリップの引張強度減少率の差から評価した。河床と河川間隙水域ともに、有機物分解速度は冬に最も低く、夏に最も高い傾向を示し、水温が分解速度の季節性に大きく影響していることがわかった。河床と河川間隙水域の分解速度を比較すると、春から夏にかけては河床の方が有意に高いが、秋から冬にかけては有意な差はなく、河川間隙水域の分解の場としての相対的重要性は季節によって異なることがわかった。大型無脊椎動物の貢献度は、河床では冬を除いてすべての季節で、河川間隙水域では夏と秋のみ有意であった。大型無脊椎動物が、河床での有機物分解だけでなく、季節的にはあるが河川間隙水域の有機物分解においても重要であることが示唆された。

Allochthonous organic matter that supports aquatic organisms is retained in the benthic and hyporheic zones in headwater mountain streams. In this study, we examined relative importance of the hyporheic zone as the zone of decomposition over 5 seasons (winter, spring, rainy season, summer and fall) and contribution of macroinvertebrate to organic matter decomposition. Cotton-strip assay and tensile strength loss were used to measure organic matter decomposition rates, and relative contribution of macroinvertebrate was estimated using the differences in tensile strength loss of cotton strips in 0.1 mm and 5 mm mesh-opening bags. Both benthic and hyporheic zone showed seasonality, where lowest decomposition rate observed in winter and highest in summer. The relationship between organic matter decomposition rate and water temperature suggested that water temperature was a primary factor resulting in seasonal variation. The decomposition rates in the hyporheic zone were similar to the benthic zone in fall and winter, but from spring to summer, the rates were significantly lower. Thus, as the zone of decomposition, the relative importance of the hyporheic zone differ depending on seasons. Contribution of macroinvertebrate to decomposition was significant in all seasons but winter in benthic zone and was significant only in summer and fall in the hyporheic zone. Thus, macroinvertebrate plays important role even in the hyporheic zone in some seasons.

1. はじめに

河川流域面積の70～80%は渓流域であり (Gomi *et al.* 2002), 溪流は水生生物の重要な生息場である。川幅が狭く、森林が水辺を覆っていることが多い溪流では、日射が遮られ、付着藻類由来の有機物が比較的少なく、水生生物は溪畔から供給される落葉などの陸生有機物 (リター) に依存している (Meyer *et al.* 2001)。リターは、水生生物の主な餌資源であり、生息場も提供している。そのため、流路内での陸生有機物の保持や分解は、溪流生態系において重要なプロセスである (González *et al.* 2013)。リターは、河床の大きな礫やログジャム、流速の遅い淵などに保持される。加えて、地下水域でありながら表流水の影響も強く受ける河川間隙水域にも多くのリターが保持されている (Storey *et al.* 1999)。粗粒状有機物の保持量を比較すると、河床に比べて河川間隙水域の方が多くも報告されてい

る (Wohl *et al.* 2012)。したがって、河床だけでなく河川間隙水域も、溪流生態系の有機物動態に重要な役割を果たしている。

溪流におけるリターの破碎・分解に関しては、これまで多くの研究が行われてきた。流量や水温、栄養塩濃度といった非生物的環境要因、大型無脊椎動物や微生物、リターの質といった生物的環境要因がリターの破碎・分解を制御する。例えば、流量が減少すると破碎速度も減少し (Arroita *et al.* 2015)、水温や栄養塩濃度が高くなると分解速度も速くなる (Ferreira & Chauvet 2011; Ferreira *et al.* 2006)。大型無脊椎動物の個体数、特にシュレッダーの個体数が高いと、破碎・分解速度も高い (Casas *et al.* 2000) ことなどが報告されている。大型無脊椎動物は、サイト間の破碎・分解速度の差に大きく影響する要因として考えられている (González *et al.* 2013; Salomão *et al.* 2019)。

Yanda Li, Tamao Kasahara*, Masaaki Chiwa.: Comparison of organic matter decomposition rates between benthic and hyporheic zones in a headwater stream

* 責任著者 (Corresponding author) Email. kasahara.tamao.729@m.kyushu-u.ac.jp 福岡県篠栗町津波黒 394 農学部附属福岡演習林

1 九州大学大学院生物資源環境科学府環境農学専攻森林環境科学コース

Division of Forest Environmental Science, Department of Agro-environmental Sciences, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

2 九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

Department of Forest Environmental Science, Faculty of Agriculture, Kyushu University

これまでの研究の多くは河床のみを対象としたもので、河川間隙水域にも着目した研究はまだ少ない (Peralta-Maraver *et al.* 2019)。また、数少ない河床と河川間隙水域を比較した既存の研究には、河川間隙水域の分解速度は河床に比べて遅いという結果を示したものもあれば (Peralta-Maraver *et al.* 2019)、相違ないという結果を示したものもある (Risse-Buhl *et al.* 2017)。河床と河川間隙水域では、分解を制御する生物的・非生物的環境要因も異なることが考えられ、河川間隙水域も含めた溪流におけるリターの破碎・分解プロセスのさらなる研究が必要である。

河川の有機物の破碎・分解の測定には、リターバック法 (Flores *et al.* 2013) や綿ストリップアッセイ法 (Tiegs *et al.* 2013) がよく用いられる。リターバック法では、一定質量のリターが入ったメッシュバックを河川に設置する。予め定義した期間の後に河川から回収し、リターの質量損失量を測定して、破碎・分解の指標とする。綿ストリップアッセイ法は、ストリップ状の綿繊維をメッシュバックに入れて、一定期間河川に設置した後、引張強度の減少率を測定し、破碎・分解の指標とする。実際のリターを使用するリターバック法は有効な方法であるが、分解速度に影響する要因の一つであるリターの質 (e.g. 窒素含有量など) を均一にすることが難しく (Bruder *et al.* 2016)、複数地点や複数季節で比較を行う場合は、考慮が必要である。その点、綿ストリップアッセイ法は、綿繊維を有機物として用いるため、質の均一性を保つことができるという利点がある。

本研究では、有機物分解速度を河床と河川間隙水域で比較し、有機物分解の場としての河川間隙水域の相対的重要度を5つの季節 (冬・春・梅雨・夏・秋) で評価することを目的とした。また、有機物分解に影響を与える主要な生物的環境要因である大型無脊椎動物の貢献度の評価も行った。

2. 方法

2.1 調査地

九州大学農学部附属福岡演習林内を流れる新建川の上流域 (33° 39'15.8"N 130° 31'56.6"E) で調査を行った。新建川は、多々良川水系で、調査地点の標高は約 155 m、集水面積は約 9.5 ha である。調査区間を囲む斜面はスギ人工林で覆われていて、河畔にはクスノキやイヌビワなどの広葉樹がみられる。調査地点における平水時の流量は約 10 L/s であった。調査を行った 2016 年は降水量が 2326 mm と多く (篠栗米の山、福岡県気象観測所)、年平均降雨量 1769 mm (Chiwa *et al.* 2021) を上回っていた。

2.2 有機物分解速度の測定

本研究では、5つの季節で有機物分解速度を測定するため、綿ストリップアッセイ法を用いた。綿ストリップのサイズは、長さ 8 cm、幅 2.5 cm で綿繊維のロール (Fredrix-brand unprimed 12-oz. heavy-weight cotton fabric, Style #548) から切り取り作成した (Tiegs *et al.* 2013)。綿ストリップを入れるメッシュバックは、大型無脊椎動物の侵入を制御す

るために、目開き 5 mm と 0.1 mm の2種類を用いた。目開き 5 mm のメッシュは微生物と小型の無脊椎動物に加え大型無脊椎動物も侵入できるが、目開きが 0.1 mm のメッシュバックは、大型無脊椎動物が侵入できない (Flores *et al.* 2013)。

目開き 5 mm のメッシュバックに入った綿ストリップと 0.1 mm のメッシュバックに入った綿ストリップの計 2 枚を 1 セットとし、河床と河川間隙水域にそれぞれ 5 セットずつ、各季節合計 20 枚の綿ストリップを設置した。河床に設置した綿ストリップは、杭を用いて流されないように固定し、メッシュバックの隅に礫を置いて、綿ストリップが水中に浮かないようにした。河川間隙水域には、深さ 10 ~ 15 cm に河床と平行に綿ストリップを埋めた。表流水が流入している河川間隙水域であることを確認するために、ピエゾメータを設置し鉛直方向の動水勾配を測定した。

綿ストリップアッセイ法では、引張強度が 50 % 程度減少する期間、河川で綿ストリップを培養する (Tiegs *et al.* 2013)。培養する期間の長さを決定するために、2015 年 9 ~ 10 月にプレ実験を行った。目開き 5 mm メッシュバックに入った綿ストリップ 12 枚を河床と河川間隙水域にそれぞれ設置し、1 週間おきに 3 枚ずつ回収し、引張強度を測定した。その結果、20 日間設置すると 50 % 以上減少することが分かったので、本研究では約 20 日間を培養期間とした。有機物分解速度の季節性を明らかにするために、5つの季節で培養実験を行った。2015 年秋は 11 月 5 日から、2016 年冬は 2 月 2 日から、春は 5 月 2 日から、梅雨は 6 月 27 日から、夏は 8 月 5 日から、秋は 11 月 4 日から培養を開始した。

調査地から回収した綿ストリップは、実験室に持ち帰り、メッシュバックから丁寧に取り出した。さらなる分解を抑制するために速やかに 80 % のエタノールに 30 秒間浸けて、蒸留水を流しながら柔らかいブラシを用いて土砂などの不純物を取り除いた。その後、40 °C で乾燥させ、測定までデシケーターで保管した。

引張試験機 (Shimazu AG 100kNE) を用いて綿ストリップの引張強度を測定した。綿ストリップの端 1 cm のところにグリップを固定し、2 cm/min で引っ張り、引張強度の最大値を記録した。引張強度減少率 (TSL, %/day) は、以下の式を用いて計算した (Tiegs *et al.* 2013)。

$$\text{引張強度減少率} = \left(1 - \frac{\text{引張強度}_{\text{培養}}}{\text{引張強度}_{\text{リファレンス}}} \right) \div \text{培養日数} \times 100 \quad (1)$$

河川に培養した綿ストリップ引張強度を引張強度_{培養}、河川には培養していないが、80 % のエタノールで洗浄し 40 °C で乾燥した綿ストリップ 5 枚の平均引張強度を引張強度_{リファレンス}とした。

大型無脊椎動物の有機物分解への貢献度は、目開き 5 mm と 0.1 mm のメッシュバックに入った綿ストリップの引張強度を用いて、以下の式から計算した (Woodward *et al.*

2012)。ただし、目開き 5 mm と 0.1 mm 間の引張強度に有意な差 (ANOVA, $P < 0.05$) が確認できた場合のみ、貢献度の計算を行った。

大型無脊椎動物の貢献度 =

$$\left(1 - \left(\frac{\text{引張強度}_{0.1\text{mm}}}{\text{引張強度}_{5\text{mm}}}\right)\right) \times 100 \quad (2)$$

目開き 5 mm と 0.1 mm に入った綿ストリップの引張強度を、引張強度_{5mm} と引張強度_{0.1mm} とした。

2.3 環境要因の測定

綿ストリップの培養時に、有機物分解に影響する非生物的環境要因である動水勾配、水深、水温、溶存酸素濃度、電気伝導度、硝酸態窒素濃度を各季節の綿ストリップ培養開始時に測定した。降水量は、福岡県の篠栗米の山観測所のデータを用いた。鉛直方向の動水勾配は、深さ 20 ~ 30 cm に設置したピエゾメータで測定した。水深も同地点で測定した。溶存酸素濃度 (DO, mg/L) と電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)、水温 ($^{\circ}\text{C}$) はポータブルセンサーを用いて現地で測定した (YSI Pro2030)。河川水と間隙水を採取し、実験室へ持ち帰ってろ過し ($0.45 \mu\text{m}$)、イオンクロマトグラフィー (Dionex, DX-120) を用いて硝酸イオン濃度の分析を行った。硝酸イオンの再現率は 1.9 %、検出限界は 0.04 mg/L であった。

3. 結果

3.1 引張強度減少率

大型無脊椎動物の影響を排除しない目開き 5 mm のメッシュ

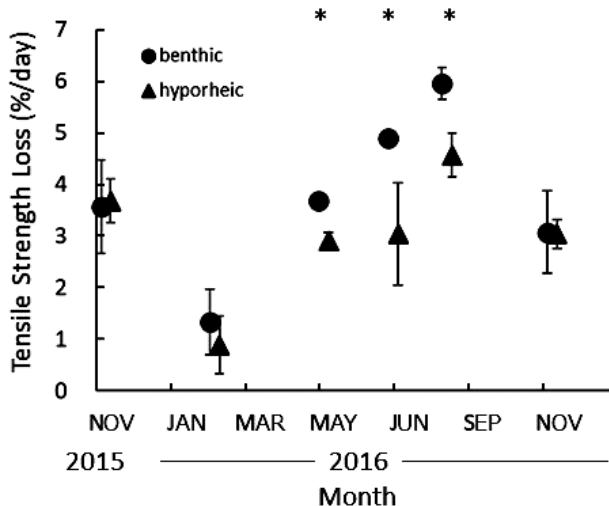


図1. 河床 (●) と河川間隙水域 (▲) で培養した綿ストリップの引張強度減少率。目開き 5 mm メッシュバックのデータを示す。エラーバーは1標準偏差を示し、*は河床と河川間隙水域の引張強度に有意な差があった季節を示す (ANOVA, $n=5$, $P < 0.05$)

Fig. 1. Average tensile strength loss in benthic zone (●) and hyporheic zone (▲) over 5 seasons. The values are from the cotton strips in mesh bags with 5mm mesh-opening. The error bars indicate 1 standard deviation. * indicates significant difference between benthic zone and hyporheic zone (ANOVA, $n=5$, $P < 0.05$)

メッシュバックに入った綿ストリップの引張強度減少率 (TSL) は、河床と河川間隙水域ともに季節性を示した (図1)。冬は約 1 %/day と TSL が最も低く、春、梅雨と徐々に高くなり、夏には 4 %/day 以上と最大値を示した。そして、秋になると再び TSL は減少した。これらの結果から、溪流内の有機物分解速度は、秋から冬にかけて小さく、春から夏にかけて高いことが示された。河床と河川間隙水域の TSL を比較すると、秋と冬は両者に有意な差は見られなかった (ANOVA, $n=5$, $P < 0.05$)。一方、春から夏にかけては、河床の TSL が河川間隙水域に比べて有意に高かった (ANOVA, $n=5$, $P < 0.05$, 図1)。有機物分解の場としての河川間隙水域の相対的重要性は、秋冬に高く、春から夏にかけては低いことが示唆された。

目開きの異なるメッシュバックに入った綿ストリップの TSL を比較し、大型無脊椎動物の貢献度を評価した。Tieggs *et al.* (2013) は、大型無脊椎動物は綿ストリップを餌資源として好まないため、綿ストリップアッセイ法では、大型無脊椎動物による分解への貢献を評価はできない可能性があるとして示唆した。本研究の調査地から回収した綿ストリップを観察すると、目開き 5 mm のメッシュバックに入ったものは形がギザギザになったり、小さくなっているものが複数見られ、一方目開き 0.1 mm のメッシュバックに入ったものには形や大きさの変化は見られなかった (図2)。つまり、調査地の大型無脊椎動物は、綿ストリップも有機物として利用していた。したがって本研究では、2タイプのメッシュバックに入った綿ストリップの TSL を比較することで、大型無脊椎動物の分解への貢献度を評価できると考えた。

河床では、冬を除いて、目開き 5mm メッシュに入った綿ストリップの TSL が有意に高かった (ANOVA, $n=5$, $P < 0.05$, 図3)。一方、河川間隙水域では、夏と秋のみ有意な差がみられた (図3)。河床では、ほとんどの季節で大型無脊椎動物が有意に有機物分解に貢献しているが、河川間隙水域は、貢献している季節が限られていることが分かった。TSL の差から式 (2) を用いて貢献度 (%) を計算すると、河床では春 22 %、梅雨 15 %、夏 23 %、秋 36 % であった。

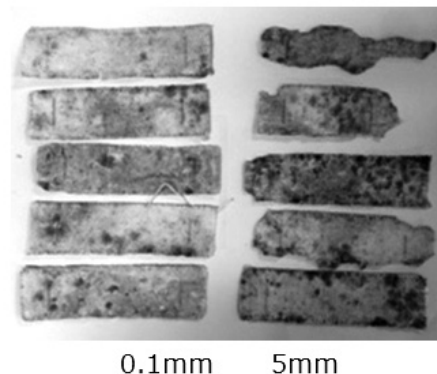


図2. 20日間の培養後、河床から回収した目開き 5 mm と 0.1 mm のメッシュバックに入っていた綿ストリップの例。

Fig. 2. Example of cotton strips in 5 mm and 0.1 mm mesh-opening bags that were retrieved from benthic zone after 20 days of incubation.

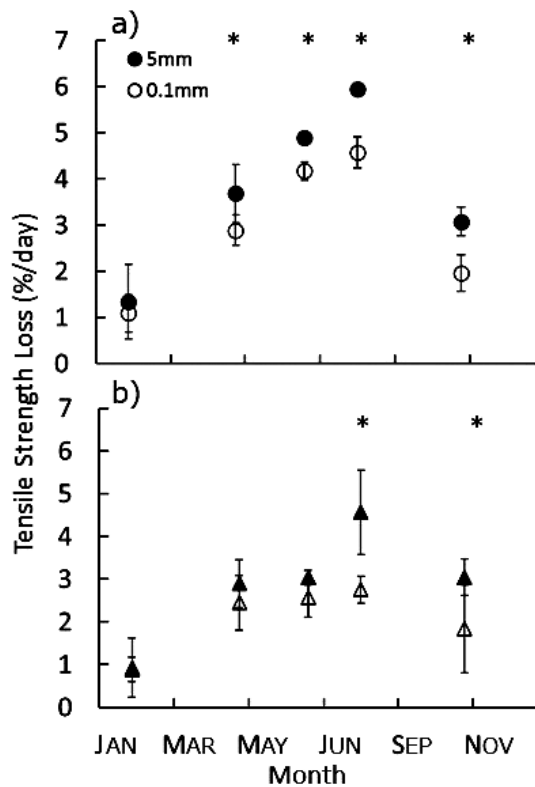


図3. a) 河床と b) 河川間隙水域で培養した綿ストリップの引張強度減少率 (TSL)。黒塗りのシンボルは目開き5mmメッシュバックのTSLを示し、白塗りのシンボルは目開き0.1mmのメッシュバックのTSLを示す。エラーバーは1標準偏差を示し、*は目開き5mmと0.1mmのメッシュバックのTSLに有意な差があった季節を示す (ANOVA, $n=5$, $P < 0.05$)。

Fig. 3. Average tensile strength loss (TSL) in a) benthic zone and b) hyporheic zone over 5 seasons. Closed symbols indicate TSL of cotton strips in 5 mm mesh opening bag, and open symbols indicate TSL of cotton strips in 0.1 mm mesh-opening bags. The error bars indicate 1 standard deviation. * indicates significant difference between 5 mm and 0.1 mm mesh opening bags (ANOVA, $n=5$, $P < 0.05$)

表1. 環境要因の季節変動

Table 1. Seasonal variation in environmental factors

		冬	春	梅雨	夏	秋
培養開始日		2月2日	5月2日	6月27日	8月5日	11月4日
降水量 (mm)		96	157	292	46	71
水深 (cm)		6.6	10.5	12.3	9.2	8.2
VHG (m/m)		0.34	0.41	0.15	0.47	0.30
水温 (°C)	Stream	7.0	16.2	17.2	22.8	8.8
	HZ	7.4	16.9	17.2	22.2	8.9
DO (mg/L)	Stream	10.29	9.87	8.62	7.00	10.51
	HZ	9.80	8.48	7.58	6.39	9.76
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Stream	134.4	150.7	126.1	142.5	166.9
	HZ	132.1	141.2	125	137.5	184.2
NO ₃ -N (mg/L)	Stream	1.27	1.20	1.22	1.22	1.23
	HZ	1.24	1.22	1.23	1.15	1.23

Stream は河水, HZ は間隙水を示す。DO は溶存酸素濃度, EC は電気伝導度, VHG は鉛直方向の動水勾配を示す。

河川間隙水域では、夏と秋ともに40%だった。河川間隙水域では季節が限られているが、貢献度は高いことが示唆された。

3.2 環境要因

河床の調査地点は瀬に設置したため、綿ストリップを培養した場所の水深は浅かった。冬に最も浅く9.6cmで、梅雨には15.3cmまで上昇した(表1)。河川間隙水域の調査地点では、鉛直方向の動水勾配から、すべての季節で表流水が流入していることが確認された。梅雨は河川流量が増えるために、動水勾配が0.15m/mと比較的小さくなったが、春や夏は $> 0.4\text{ m/m}$ と大きな動水勾配を示した(表1)。

水温は、冬は約7°Cと最も低く、春には上昇して16°Cを超え、夏には約22°Cと最も高かった。河川水と河川間

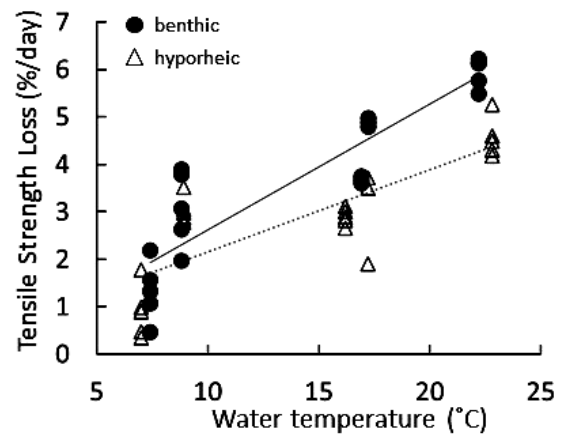


図4. 河床 (●) と河川間隙水域 (▲) で培養した綿ストリップの引張強度減少率と水温の関係。目開き5mmメッシュバックのTSLを示す。線形回帰直線を表示 ($P < 0.05$)。

Fig. 4. The relationship between water temperature and tensile strength loss in benthic zone (●) and hyporheic zone (△). The values are from the cotton strips in mesh bags with 5mm mesh-opening. The lines indicate the results of regression analysis ($P < 0.05$).

隙水を比較すると、河川間隙水域の方が冬と春は少し高い水温を示し、夏は低い値を示した。しかし、温度差はどの季節も 1°C 以下と小さかった(表1)。目開き 5 mm のメッシュバックに入った綿ストリップのTSLは、河床と河川間隙水域の両地点において水温が高い季節ほど高い傾向がみられた(図4)。

溶存酸素濃度は、水温の高い夏に低く、水温の低い秋冬は比較的高い値を示した。河川水と河川間隙水を比較すると、すべての季節で河川間隙水域の方が溶存酸素濃度が低かったが、その違いは $<1.5\text{ mg/L}$ と小さく有意な差はなかった($t\text{-test}$, $n=5$, $P>0.1$)。また、河川間隙水域においても溶存酸素濃度はすべての季節で 6 mg/L 以上で、常に好気的な環境にあった(表1)。調査地点は、深さ $10\sim 15\text{ cm}$ と浅く、表流水が流入する場所であったため、高い溶存酸素濃度が保たれていたと考える。

硝酸態窒素濃度は、河川水と河川間隙水ともにすべての季節で約 1.2 mg/L で、安定して比較的高い濃度を示した(表1)。河川水と河川間隙水の濃度に有意な差は見られなかった($t\text{-test}$, $n=5$, $P>0.1$)。電気伝導度に関しても、河川水と河川間隙水の間に差異はみられなかった($t\text{-test}$, $n=5$, $P>0.1$)。河川間隙水域は表流水が流入している場所であること、また調査地点の動水勾配が大きいことから、河川間隙水域の硝酸態窒素濃度や電気伝導度は河川水の影響を強く受けていることが考えられた。

4. 考察

有機物分解速度は、河床と河川間隙水域ともに季節性を持ち、秋冬に小さく、春夏に高かった。水温との関係を見ると、河床も河川間隙水域も水温が高い季節ほど有機物分解速度が高く(図4)、水温が有機物分解速度の季節性に強く影響していることが示唆された。水温が上昇すると、微生物や無脊椎動物の活動が活発になり、分解速度が高くなる(Ferreira & Canhoto 2014)。水温の季節変化は、同じ地域の地点間の温度差よりも大きく、分解速度への影響が大きい(Li *et al.* 2020)。本調査地でも冬と夏の温度差は約 15°C と大きく、その結果分解への影響も大きいと考えられた。水温以外の環境要因に関して、硝酸態窒素濃度や動水勾配には季節性が見られず、分解速度の季節性への影響は小さいと考えた。降雨量(篠栗米の山、福岡県気象観測所)をみると、春と梅雨に多く、夏と秋には少なかった(表1)。流量が多い方が河床の分解速度も高くなるため(Arroita *et al.* 2015)、春と梅雨の河床の高い分解速度に流量は影響したと考えられる。

河床と河川間隙水域を比較した既存の研究には、河床の方が分解速度が速いという結果もあれば(Peralta-Maraver *et al.* 2019)、差がないという結果もある(Risse-Buhl *et al.* 2017)。これらの研究は、1つの季節のみで比較を行っていた。本研究では、5つの季節で比較を行い、季節によって結果が異なった。秋と冬には分解速度に差がなく、春と梅雨、夏には、河床の方が分解速度が速かった。つまり、季節によって河川間隙水域の分解の場としての相対的重要性

が異なることが分かった。ハビタットスケール(瀬・淵・河川間隙水域など)での有機物分解の場としての評価においては、季節性も考慮されるべきであると言える。

河床と河川間隙水域間の分解速度の違いを環境要因から考察してみた。まず水温は、有機物分解への影響が大きく、Ferreira & Canhoto (2014)は、 3°C 程度の水温上昇で、寒い季節の有機物分解速度が上昇したと報告している。河床と河川間隙水域間の温度差は季節を通して $<1^{\circ}\text{C}$ であり、影響は小さいと考えられた。硝酸態窒素濃度が 0.2 g/L 程度高くなると、分解速度に影響すると考えられるが(Ferreira *et al.* 2006)、河床も河川間隙水域間もすべての季節で約 1.2 mg/L と濃度に差は見られず、影響は小さいと考えられた。降雨量から、春と梅雨は流量とその変動が大きいと考えられ、河床の有機物分解が促進したと考えられる(Arroita *et al.* 2015)。河川間隙水域では、表流水の流入量が増えると、分解速度が速くなる(González-Pinzón *et al.* 2014)。透水係数は大きく変動しないと仮定して、動水勾配を表流水の流入量の指標とすると、季節を通して 0.15 m/m 以上を示し、季節変動は大きくなかった。したがって、流量変動の影響が河床では大きく、河川間隙水域では小さかったことが、河床と河川間隙水域間の分解速度に季節により差がでた一因であると考えられた。

大型無脊椎動物、特にシュレッダーは、河床のリター分解に寄与する重要な要因の一つである(Mendoza-Lera *et al.* 2012; González *et al.* 2013; Mbaka & Schafer 2015)。間隙の大きさによって大型無脊椎動物の活動が制限される河川間隙水域(Cornut *et al.* 2010; Flores *et al.* 2013)においても、シュレッダーやグレーザーなどの大型無脊椎動物が有機物分解に重要な役割を果たしていることが報告されている(Boulton 2007; Navel *et al.* 2009)。本調査地の河床では冬を除いてすべての季節で、河川間隙水域では水温の高い夏と落葉期である秋のみに、大型無脊椎動物の貢献が確認できた。季節は限定されていたが、河川間隙水域での大型無脊椎動物の貢献度は 40% と河床に比べて大きかった。これらの結果から、新建川の調査地点においても、大型無脊椎動物は河床だけでなく、河川間隙水域の有機物分解にも重要な役割をもっていることがわかった。

謝辞

本研究は、WEC応用生態研究助成(2015-02)と科学研究費補助金No. 19K12298を用いて行った。流域環境制御学研究室の古賀瑞樹氏と久保朋也氏にはフィールド調査やサンプルの処理に携わっていただき、木質材料工学分野の藤本登留准教授には引張強度の測定にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

Arroita M, Aristi I, Díez J, Martínez M, Oyarzun G, Elosegi A (2015) Impact of water abstraction on storage and breakdown of coarse organic matter in mountain streams.

- Sci Total Environ 503: 233-240
- Boulton AJ (2007) Hyporheic rehabilitation in rivers: restoring vertical connectivity. *Freshw Biol* 52: 632-650
- Bruder A, Salis RK, McHugh NJ, Matthaeci CD (2016) Multiple-stressor effects on leaf litter decomposition and fungal decomposers in agricultural streams contrast between litter species. *Funct Ecol* 30: 1257-1266
- Casas JJ, Zamora-Muñoz C, Archila F, Alba-Tercedor J (2000) The effect of a headwater dam on the use of leaf bags by invertebrate communities. *Regulated Rivers* 16: 577-591
- Chiwa M (2021) Long-term changes in atmospheric nitrogen deposition and stream water nitrate leaching from forested watersheds in western Japan. *Environ Pollut* 287: 117684
- Cornut J, Elger A, Lambrigot D, Marmonier P, Chauvet E (2010) Early stages of leaf decomposition are mediated by aquatic fungi in the hyporheic zone of woodland streams. *Freshw Biol* 55: 2541-2556
- Ferreira V, Canhoto C (2014) Effect of experimental and seasonal warming on litter decomposition in a temperate stream. *Aquatic Sci* 76: 155-163
- Ferreira V, Chauvet E (2011) Future increase in temperature more than decrease in litter quality can affect microbial litter decomposition in streams. *Oecologia* 167: 279-291
- Ferreira V, Gulis V, Graca MAS (2006) Whole-stream nitrate addition affects litter decomposition and associated fungi but not invertebrates. *Oecologia* 149: 718-729
- Flores L, Ramón DJ, Aitor L, Pascoal C, Elozegi A (2013) Effects of retention site on breakdown of organic matter in a mountain stream. *Freshw Biol* 58: 1267-1278
- Gomi T, Sidle RC, Richardson JS (2002) Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. *Bioscience* 52: 905-916
- González JM, Mollá S, Roblas N, Descals E, Moya O, Casado C (2013) Small dams decrease leaf litter breakdown rates in Mediterranean mountain streams. *Hydrobiologia* 712: 117-128
- González-Pinzón R, Haggerty R, Argerich A (2014) Quantifying spatial differences in metabolism in headwater streams. *Freshw Sci* 33: 798-811
- Li Y, Kasahara T, Chiwa M, Fujimoto N (2020) Effects of dams and reservoirs on organic matter decomposition in forested mountain streams in western Japan. *River Res Appl* 36: 1257-1266
- Mbaka JG, Schäfer RB (2015) Effect of small impoundments on leaf litter decomposition in streams. *River Res Appl* 32: 907-913
- Mendoza-Lera C, Larrañaga, A, Pérez J, Descals E, Martinez A, Moya O, Arostegui I, Pozo J (2012) Headwater reservoirs weaken terrestrial-aquatic linkage by slowing leaf-litter processing in downstream regulated reaches. *River Res Appl* 28: 13-22
- Meyer JL, Hax C, Wallace JB, Eggert SL, Webster JR (2001) Terrestrial litter inputs as determinants of food quality of organic matter in a forest stream. *Arch Hydrobiol* 27: 1346-1350
- Navel S, Mermillod-Blondin F, Montuelle B, Chauvet E, Simon L, Piscart C, Marmonier P (2010) Interactions between fauna and sediment control the breakdown of plant matter in river sediments. *Freshw Biol* 55: 753-766
- Peralta-Maraver I, Perkins DM, Thompson MSA, Fussmann K, Reiss J, Robertson AL (2019) Comparing biotic drivers of litter breakdown across stream compartments. *J Anim Ecol* 88: 1146-1157
- Risse-Buhl U, Mendoza-Lera C, Norf H, Pérez J, Pozo J, Schlieff J (2017) Contrasting habitats but comparable microbial decomposition in the benthic and hyporheic zone. *Sci Total Environ* 605-606: 683-691
- Salomão VP, Tonin AM, Rezende RS, Leite GFM, Alvim EACC, Quintão JMB, Júnior JFG (2019) Small dam impairs invertebrate and microbial assemblages as well as leaf breakdown: a study case from a tropical savanna stream. *Limnologia* 77: 125685
- Storey RG, Fulthorpe RR, Williams DD (1999) Perspectives and predictions on the microbial ecology of the hyporheic zone. *Freshw Biol* 41: 119-130
- Tiegs SD, Clapcott JE, Griffiths NA, Boulton AJ (2013) A standardized cotton-strip assay for measuring organic-matter decomposition in streams. *Ecol Indic* 32: 131-139
- Wohl E, Dwire K, Sutfin N, Polvi L, Bazan R (2012) Mechanisms of carbon storage in mountainous headwater rivers. *Nature Commun* 3: 1263
- Woodward G, Gessner MO, Giller PS, Gulis V, Hladyz S, Lecerf A, Malmqvist B, McKie BG, Tiegs SD, Cariss H, Dobson M, Elozegi A, Ferreira V, Graça MAS, Fleituch T, Lacoursière JO, Nistorescu M, Pozo J, Risnoveanu G, Schindler M, Vadineanu A, Vought LBM, Chauvet E (2012) Continental-scale effects of nutrient pollution on stream ecosystem functioning. *Sci* 336: 1438-1440

(2021年10月20日受付：2022年1月19日受理)