

平林公男・高寺政行・中本信忠

目的別テーマ：天然繊維の高機能化と応用

15年度研究テーマ

15-2-7：水生昆虫類の絹糸の構造解析とそれを利用した水質浄化法の開発

ABSTRACT

The middle reaches of the Chikuma River, which is located in the Center of Honshu Island, has the largest population in a world of net-spinning caddisfly, *Stenopsyche marmorata*. The net of *S. marmorata* larvae is divided two parts, one is a nest where the larvae lives (type 1), and the other is feeding net (type 2) which filter the river water and collected the particulate organic matter (POM). The net of type 2 was consisting of fine mesh size and thin fiber than that of type 1. Each type of net was measured by tensile test (Tensilon UMT-III-100). The net of type 1 is stronger than that of type 2, and the elasticity of net was depending on velocity of river water.

研究目的

河川生態系における物質循環において、水生昆虫類は極めて重要な働きを担っている。すなわち、昆虫類は河川水中に流れる有機物質を大量に捕獲して餌とし、それを栄養源として成長する。成長を繰り返した後、最終的には成虫となり、河川外へ羽化して飛び去る。河川の有機汚濁物質は、この様にして生物活動の結果、河川水中から効率よく河川外へ除去され、系外へ移動していく。河川の自浄作用の一端をこうした水生昆虫類が担っていることは間違いない。

千曲川中流域は、全国的にみても水生昆虫類の生物体量が多い地域として有名である。その多さは、夏季に水生昆虫類の幼虫が水中の石間に丈夫な巣や捕獲網を一斉に構築するために、石がセメントで固められたように固定化することでもよく知られている。ヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche marmorata* (図1) は、千曲川水生昆虫類の中でも、生物体量が最も多い大型生物の一つである(西尾, 2000)。体長 40mm 前後の幼虫は水中の石面に固着巣を作り、捕獲網を水中に張って、上流から流れてきた有機物質(主に藻類や動物由来の遺骸など)を大量に捕食している(西村, 1964 ほか)。本研究では、本種幼虫の造巣や捕食のために構築される巣や捕獲網を野外、または実験室内で観察・調査検討し、網を構築している絹糸の性質について、基礎的な情報を得ることを目的として、実験研究を行った。

一年間の研究内容と成果

1. 採集場所の概要と採集方法、実験室内での処理

ヒゲナガカワトビケラの巣網の採集は、2003 年春から初秋の間に千曲川中流域(常田新橋付近：新潟県境から約 105 km 上流付近)に位置する上田市の河原において行った。採集した河原は直径 10~20cm サイズの浮き石で構成され、試料の採集は流速が 10~50cm/s 程度の瀬の部分を選び、朝 9 時から 13 時の間に行った。

採集したヒゲナガカワトビケラの巣網は 5 齢幼虫の構築したもののみとした。5 齢幼虫の判別は採集時期の齢別構成より体長が 30mm 以上のものとした。巣を採集するごとに、その捕獲網入り口付近の流速を測定し、巣全体を破壊しないように周囲の石ごと水を張ったトレイに移した。その後直ちにピンセットにより、石と網の付着している部分とを丁寧にはがし、採集されたサンプルごとに河川水を入れた 15cc サンプル管に保存し、直ちに研究室に持ち帰った。5 つの流速の異なるカテゴリーで、合計 51 サンプルを採集した。

巣網はその特徴から、巣室(タイプ1)と摂食時に用いられる捕獲網(タイプ2)の2つの部分に大別できる(松井, 1972; 図2)。実験室に持ち帰ったサンプルをタイプ別に分類し、それぞれの網をカミソリの刃によりカットし、網1つにつき 30mm×5mm (方眼紙に接着させるためののりしろ部分上下 5mm を含む)の計測用シートを1枚切り取った。そのシートを中央に 20mm×5mm の穴のあいた 30mm×10mm の方眼用紙に接着剤で貼り付けた。シートは常に乾燥させないように注意し、必要に応じて蒸留水を満たしたバットの中に保存した。

2. 顕微鏡観察の方法と結果

採集から12時間以内に、光学顕微鏡に付属しているデジタルカメラにより、倍率80倍の写真を1つの試料につきほぼ等間隔に中央縦に10枚撮影した。撮影した写真により、試料の網目の構造（繊維の束の太さとその交点の数）の観察・計測を行った。交点の数は 1mm^2 あたりに換算し、繊維の束の太さは写真1枚あたり、ランダムに50箇所測定した。なお、今回のデータは、1つの試料につき2枚の写真を観察した平均値である（タイプ1、2ともに12個の試料で合計24枚を観察）。

結果は、流速の速い環境に巣を作るヒゲナガカワトビケラ幼虫は、目が粗く（一定面積での交点数が遅い環境の1/4程度）、太い繊維の束（2～4倍）からなる網を構築している。一方、捕獲網（タイプ2）と巣（タイプ1）との違いについては、同じ流速で比較してみると、捕獲網の方が細い繊維の束（約半分）からなり、網目も細かい（交点の数は倍以上）（図3）。

3. 網強度の測定法と結果

採集から36時間以内に、TENSILON UMT-III-100 (cross head speed: 20mm/min , chart speed: 500mm/min) による試料の強度を測定した。網が完全に破断されるまでの最大荷重(gf)と、最大荷重がかかっている状態における網の伸度(%),そして弾性係数(gf/mm)によりそれぞれの網の強さを評価した。弾性係数とは50%の伸びの際に試料にかかっている応力を、試料の幅(5mm)と歪みで割った値である。なお、測定中に試料が乾燥しないように1回の測定時間は2分以内とした。

得られた結果として、網の弾性係数は流速に依存しており、タイプ1、2ともに流速が速くなるに従い弾性係数は大きくなり、タイプ1では $r=0.75$ （図4）、タイプ2では $r=0.59$ （図5）となった。また、傾きはタイプ1>タイプ2であった。これらのことから、流速の速い環境においては、より強度の高い網が構築されていることが明らかとなった。

展望

本研究の最終的な目的は、人工的にバイオフィルターを作成し、河川水中の有機物(POM)除去による水質浄化に役立てることである。ヒゲナガカワトビケラの幼虫は河川の流速の比較的早い場所に生息していることから、絹糸の性質として、弾力性があり、丈夫で、しかも有機物を大量にトラップするための何らかの構造を備えていることが本研究から示唆された。また、河川環境においては、河道や水位が常に変化するので、環境変化（例えば乾燥など）に対する絹糸の可逆性や耐性などについても今後検討を試みたい。本種は日本固有種であり、研究の進んでいるクモ類などに比べ、世界的見地から見てもほとんど手が付けられておらず、新素材としての期待も大きい。水中で強く、弾力性があり、乾燥に対してもある程度可逆性があり、生分解性である新素材であれば、21世紀の繊維素材として期待がもてるのではないかとと思われる。



図1 ヒゲナガカワトビケラ
Stenopsyche marumorata



図2 巣の模式図

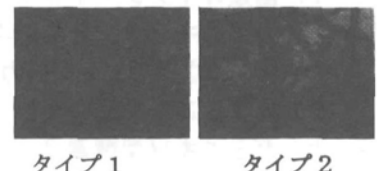


図3 巣網の写真

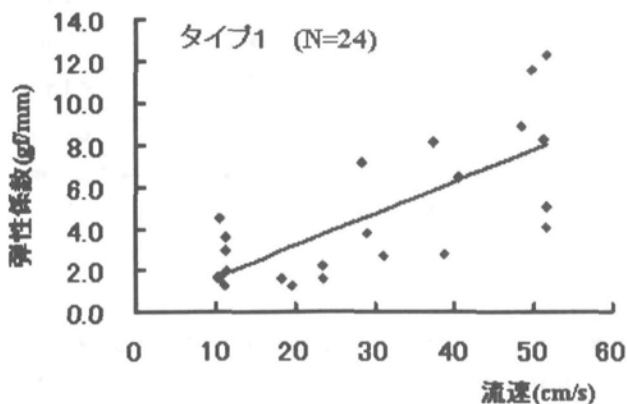


図4 流速と弾性係数との関係(相関係数:0.75)

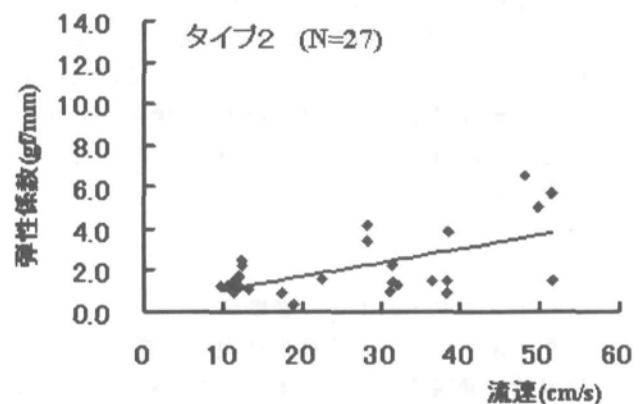


図5 流速と弾性係数との関係(相関係数:0.59)