

# クモの牽引糸における破断強度とその増強

愛媛県立松山南高等学校 クモ糸班

鎌田航己 二村佳杏 山川さくら 指導教諭 佐々木謙一

## 1. はじめに 牽引糸とは

クモは一般に7種類の腺から別々の糸を用途に応じて出し、巣作りや捕食、卵の保護や命綱など、様々な用途に使い分けている。自然界で生きるために、クモの糸は結構な強度が必要とされ、また日数経過に対する耐性も求められる。クモの糸が衣食住の素であるのだ。ではそのクモの糸はどのようにして自然界に適応しているのか。内部のタンパク質構造や強度の秘密がわかれば私たちの生活に応用できるのではないだろうか。このような理由から、私たちはクモの糸に関心を持った。その中でも特に、クモの命綱の役割を果たす牽引糸は強度が高いと言われるが、クモの糸に関する研究はあまり多くの人によって行われていない。そこで、自ら「牽引糸ロープ」を作成してその直径と破断強度の関係、さらに破断強度増強のための操作を明らかにしようと思いテーマとした。先行研究（大崎，2016）によると、1本の牽引糸は2本のフィラメントから構成されており

（図1）、そのクモの体重の2倍の強度を持つ。自分の身を守るために2倍の安全性を持っているのだ。また、ジョロウグモの牽引糸に一定時間紫外線を照射した場合に弾性限界強度の増加がみられるということも分かっている。

本実験を行うにあたって、私たちは牽引糸を集めて燃ったものを「牽引糸ロープ」と定義する。

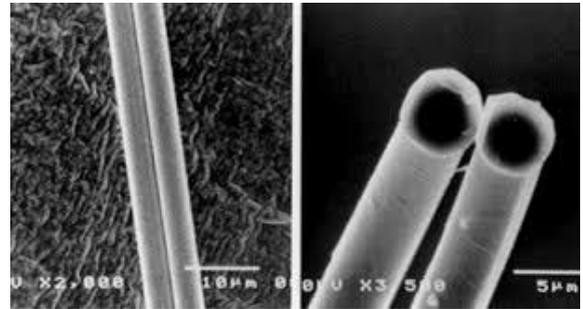


図1 牽引糸のフィラメント（大崎，2016より）

## 2. 仮説

- (1) クモの牽引糸ロープの直径とその破断強度は比例しており、正の相関を持つ。
- (2) 日数経過に伴って強度と直径はともに減少し、劣化する。
- (3) ジョロウグモ以外の牽引糸ロープに紫外線を照射した場合も、弾性限界強度は照射時間に伴って増加していき、最大になる照射時間が存在する。

## 3. クモの牽引糸ロープの直径とその破断強度

### 3-1 研究方法

- (1) 近隣で最もよく手に入る種類であるオオシロカネグモ（図2）を本研究で扱うものとする。ストローのフレームで牽引糸を採取し燃る（図3）。牽引糸ロープの直径を顕微鏡で測定し、フォースセンサー（図4）の先に牽引糸ロープをかけて引き、切れた点での値を破断強度として記録した。
- (2) (1)と同様の実験を3～4日ごとに行い、日数経過に対する直径と破断強度の変化の様子を調べた。
- (3) 紫外線（UV-A）の照射、冷凍等の操作を行い、経過時間とそれに対する破断強度を調べ、破断強度増強のための最適な操作を探る。これは機材の都合上まだ行っていないため、データは今後集めていくものとする。

### 3-2 結果

- (1) 牽引糸ロープの直径とその破断強度を散布図で表しその回帰直線を求めたところ、傾きは0.0044

で比例関係があり、相関係数  $R = 0.89706$  となり強い正の相関が見られた (図 5)。

(2) 経過日数に対する直径と破断強度をそれぞれ相対値で表し、牽引糸ロープごとに色分けして表した。これによると、日数経過に対して大幅な直径の減少は見られず、全体的に増加しているもののほうが多かった。中には2倍以上になっているものもあった (図 6)。破断強度は日数経過後も大幅な強度の変化はあまり見られなかったが、一部3倍になっているものもあった (図 7)。



図 2 オオシロカネグモ



図 3 牽引糸の巻取り



図 4 フォースセンサー

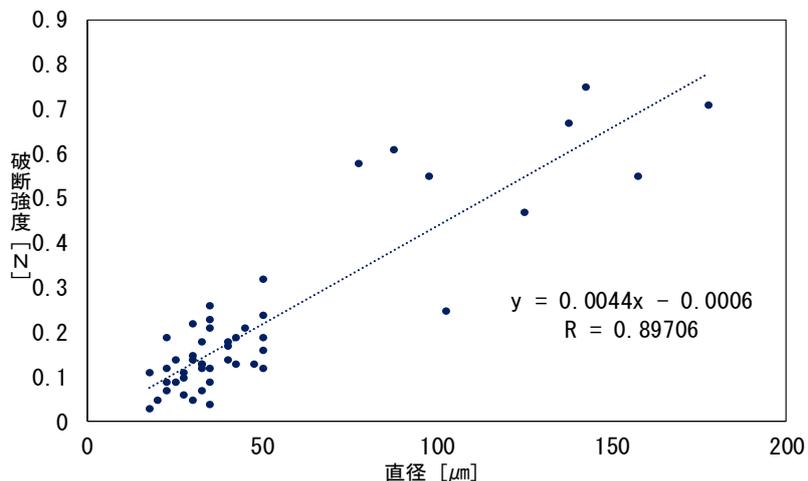


図 5 牽引糸ロープの直径と破断強度

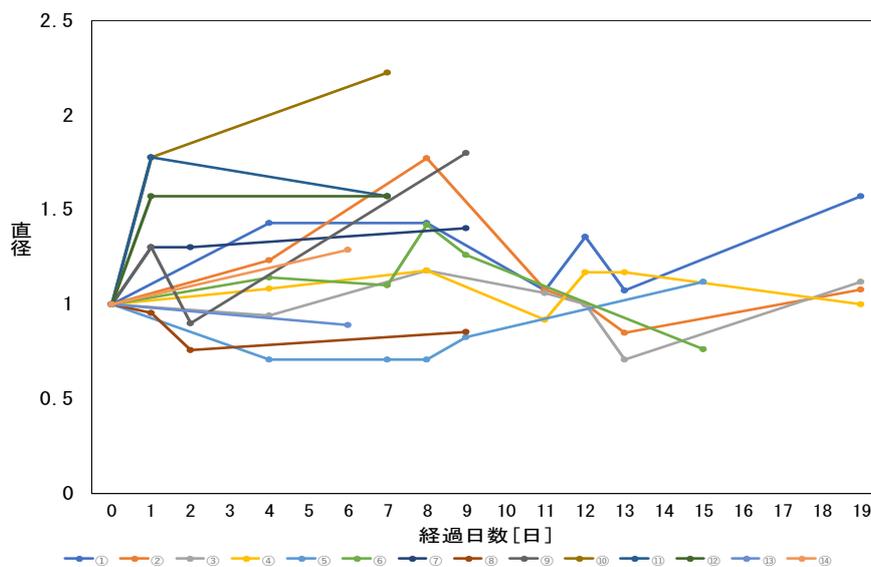


図 6 経過日数と牽引糸ロープの直径

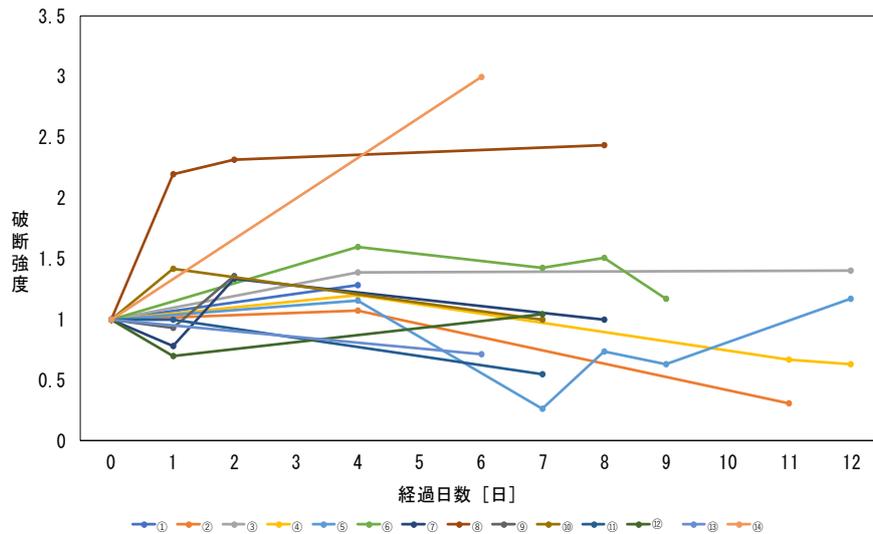


図7 経過日数と破断強度

### 3-3 考察

- (1) 日数経過における強度の大幅な変化が見られなかったのは、牽引糸ロープ内のタンパク質構造は日数経過後も変化しにくいからではないかと考えた。
- (2) クモの糸は水分を吸収すると長さが縮み短くなるという事実（図8：大崎，2016）があるため、実験時の空気中の水分の影響により、牽引糸ロープが空気中の水分を吸収して、日数経過に伴って直径が増加したのではないかと考えた。



図8 水分吸収前後の牽引糸

## 4 日数経過に伴う直径の増加と破断強度の関係

### 4-1 研究方法

3-4 (2) より、日数経過に伴う直径の増加は空気中の水分が関係しているという考察を検証するため、追加で実験を行った。乾燥条件下と湿潤条件下の瓶を用意し、それぞれの中に牽引糸ロープを入れ1週間保管し、その後直径と破断強度の変化を調べた。乾燥条件維持のために  $\text{CaCl}_2$  を用いた。湿潤条件維持のために水とろ紙を用いた。この際、水が直接牽引糸ロープにつかないように注意した（図9）。

### 4-2 結果

一週間後（図10）、直径と破断強度を記録しグラフを作成したところ、直径は乾燥、湿潤条件下どちらでも全体的に増加していた（図11）、また、破断強度は両条件下ともほぼ変化なしまたは減少しており、結果2とは異なり増加しているものは一つも見られなかった（図12）。



図9 乾燥条件下と湿潤条件下 前



図10 乾燥条件下と湿潤条件下 後

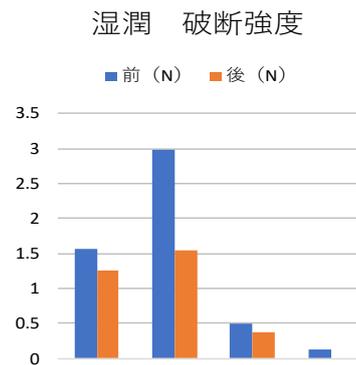
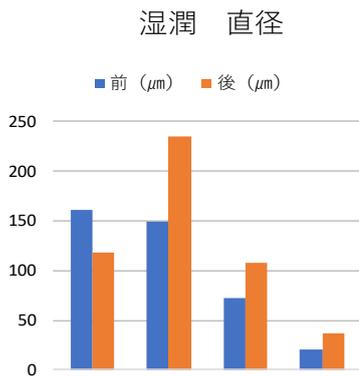
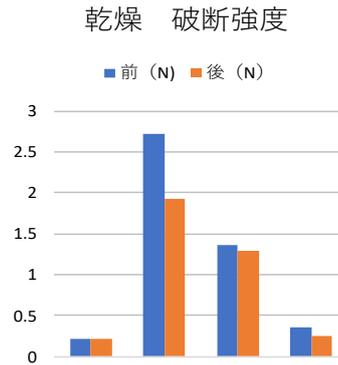
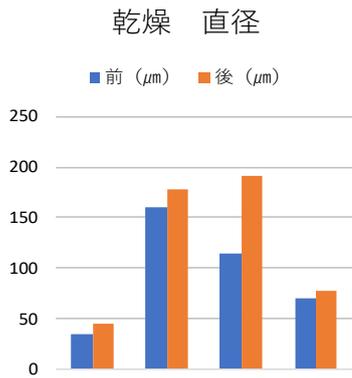


図 11 牽引糸ロープの直径の変化

図 12 牽引糸ロープの破断強度の変化

#### 4-3 考察

- (1) 乾燥、湿潤条件下の両方で直径の増加がみられたということは、これらの直接の原因は空気中の水分以外であると考えられる。
- (2) 破断強度においては、結果 2 の図 7 とは異なる結果を得たことより、適度な湿度条件であれば日数経過後も破断強度は保存または増加されるが、今回のように極端な乾燥、湿潤条件下であると増加はせず減少の割合が高くなると考えられる。

#### 5. 今後の展望

- (1) 日数経過に対する直径と破断強度の変化の様子データをさらに集め、同時に追加実験のデータの追加と相対値での結果の検討を行い、日数経過後の直径の増加と破断強度の変化の要因を探る。
- (2) 紫外線照射、冷凍などの実験を行い、2本のフィラメントの結合やタンパク質構造の変化による破断強度の増強を引き起こす操作を見つけることにつなげていく。
- (3) 最終的に、牽引糸の強度の増加を引き起こす構造を解明し、それをを用いることで、漁網や服などゴミ問題などで環境負荷の大きい石油由来の合成繊維に劣らない実用的な自然繊維として、また、人工血管や手術縫合糸などバイオミメティクスとして、クモ糸を活用していくための一助としたい。

#### 6. 参考文献

- ・大崎茂芳 (2015) . 「クモの糸の不思議」 . 日本家政学会誌, 66(10), 521-528.
- ・大崎茂芳 (2016) . 『クモの糸でバイオリン』 . 岩波書店.