

クモの糸と巣の強度

班員 小田 光希、政氏 貴仁、松柳 遥香、渡邊 大将
担当教諭 谷野 智了

キーワード：縦糸、横糸

We researched the strength and durability of *Argiope minuta*'s silk webbing. The radial silk which keeps the shape of the web. The radial silk has a property of enduring stronger forces and hardly stretching. So, spider silks reduce the stresses which affects radial silk. The spiral silk endures weaker forces and stretches more than the radial silk. In short, the properties of the radial silk and the spiral silk makes the spider's webs hard to break.

1 はじめに

クモの巣には、様々な形がある。中でも、日本のクモの約半数が作る「円網」と呼ばれる円形の巣は、主に、放射状に張られた縦糸と、らせん状の横糸からできている（図1）。一般的に、縦糸は横糸よりも太い。先行研究から、これらの糸は、異なる種類のタンパク質で構成されていることが分かっている⁽³⁾。横糸には、粘球と呼ばれる粘液の球がほぼ等間隔で付着した構造をしている（図2）。また、横糸のほうが縦糸よりもよく伸びる。このように、糸の性質は縦糸と横糸で異なるということが報告されているが、異なる性質を持つ2種類の糸がどのように巣全体の強さとかかわっているかを研究した例は少ない。本研究では、これらの糸の性質を調べ、糸の伸びやすさや糸の強度に着目して、縦糸と横糸の性質が巣全体の強さにごどのように影響するかについて考察した。

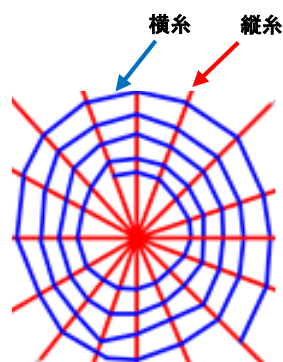


図1 クモの円網

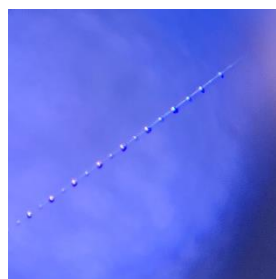


図2 横糸の粘球

2 材料と方法

これまでに研究例が少ないコガタコガネグモを用いた（図3）。コガタコガネグモの巣は円形で、糸の間隔が広いいため、糸の採取が行いやすい。



図3 コガタコガネグモ

<実験1> 縦糸と横糸はどれだけ伸びるか

1. セロハンテープを粘着面が上になるように丸め（図4）、図5で示したノギスの☆部分に貼り付けた。縦糸には粘着性がないので、セロハンテープを用い、採取した。
2. 1のように準備したノギスを用い、巣から縦糸または横糸を採取した。この際、できるだけ糸が伸びないように注意して採取した。
3. 糸を採取した後、糸の上にさらにセロハンテープを貼り、採取した糸をノギスに固定した。これにより、糸がはがれることを防ぎ、切れた時の長さをより正確に測れるようにした。
4. 糸を水につけ、十分に水を含んだ状態にした。クモの糸は水を含むことによって縮むことが知られているため、⁽²⁾糸で湿度を等しくし、伸び方の差が無いようにした。
5. ノギスを少しずつ開くことにより糸を伸ばし、

糸が切れたときの長さを測定し、記録した。
糸が切れた時の長さとして伸ばす前の糸の長さ
(図5) から次の式で伸び率を求めた。

$$(\text{伸び率}) = \frac{(\text{糸が切れたときの長さ})}{(\text{伸ばす前の長さ})}$$

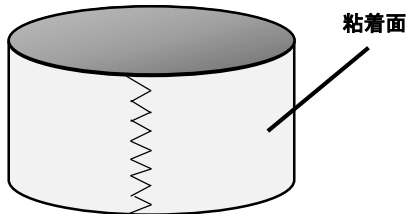
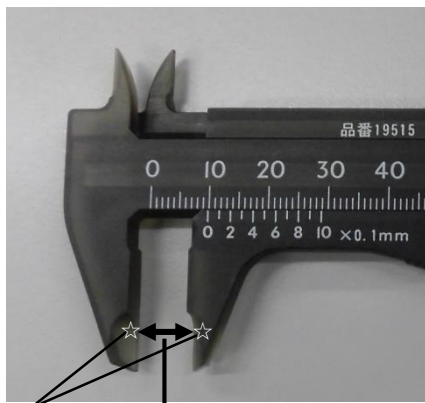


図4 丸めたセロハンテープ



糸の両端 伸ばす前の糸の長さ

図5 ノギスへの糸の固定方法



図6 本研究に用いたノギスの全体図

<実験2> 縦糸と横糸の糸の強さ

1. 実験1の手順1から4までと同様の作業をしてノギスに糸を固定した。
2. 高精度力センサ(島津理化)のフック(図5)にノギスに固定した糸を引っ掛けた。(図7, 8)
3. ノギスを鉛直方向下に向かって静かに動かして糸を伸ばし、糸が切れるまでにかかる力を計測した。手動でこの操作を行った。



図7 高精度力センサ(島津理化)を用いた力の測定

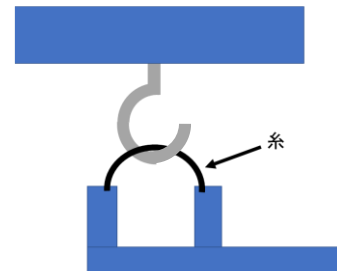


図8 フックへの糸のかけ方

3 結果

○結果1

測定は縦糸で計31回、横糸で計124回行った。縦糸は横糸に比べて1つの巣での本数が少ないため、実験回数に差ができた。伸び率が1倍以上3倍未満のものは、縦糸は21回と縦糸全体の68%を占めたのに対して、横糸は53回で横糸全体の43%であった。伸び率が3倍以上のものが、縦糸は10回で縦糸全体の32%を占めたのに対し、横糸は71回で横糸全体の57%であった(図9)。

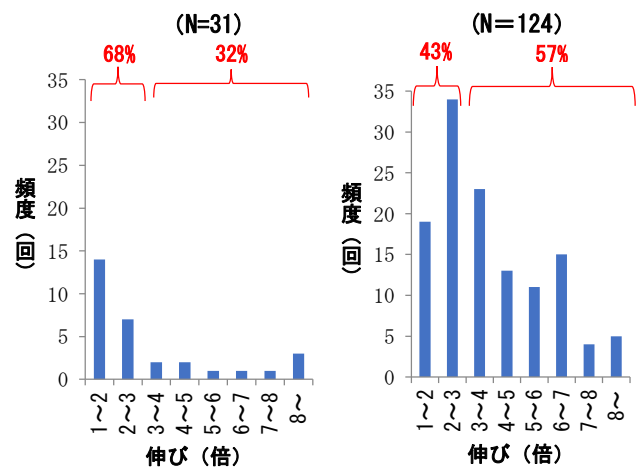


図9 縦糸(左)と横糸(右)の伸び率

○結果2

縦糸は7回実験した内、4回測定することがで

きた。縦糸が切れたときにかかった力は、値の大きい順に、 $9.3 \times 10^{-2} \text{N}$ 、 $7.5 \times 10^{-2} \text{N}$ 、 $2.8 \times 10^{-2} \text{N}$ 、 $1.6 \times 10^{-2} \text{N}$ であった。これらのうち、最大値（図10）と最小値（図11）には大きな差があり、糸によってかかった力は大きく異なっていた。横糸は7回実験したがすべて測定できなかった。このことは横糸は非常に小さな力で伸び続け、切れたときの力も小さく、力センサで検出することができなかったことを示している（図12）。

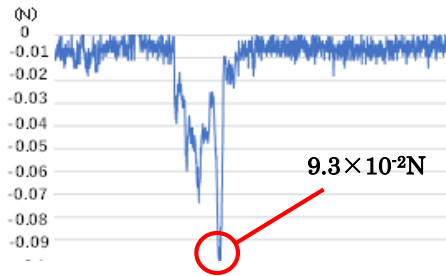


図10 縦糸が切れるまでにかかった力（最大値）



図11 縦糸が切れるまでにかかった力（最小値）



図12 横糸が切れるまでにかかった力

4 考察

実験1で、伸び率が3倍以上のものが、横糸は横糸全体の57%、縦糸の32%であり、横糸は縦糸に比べてよく伸びる傾向があることがわかった。このことから、巣に対して外部から力が加わったときには、横糸が伸びることにより、外部からの力を縦糸に伝わりにくくしていると考えられる。また、縦糸はあまり伸びないことで、全体の形を保つはたらきがあると考えら

れる。自然界において、獲物や風などから、巣全体が力を受けたとき、横糸は伸びることで力を吸収し、縦糸はあまり伸びないことで巣の構造を維持するといったように機能を分担していると考えられる（図13）。

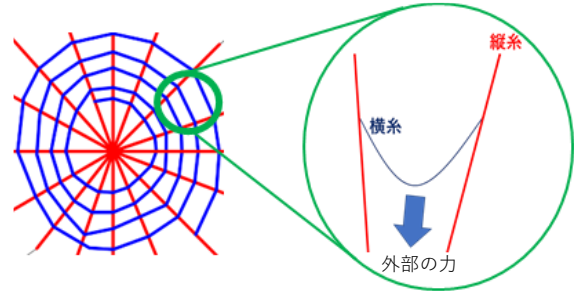


図13 横糸が縦糸にかかる負荷を軽減している様子

実験2からは、横糸は切れるまでにかかっていた力が測定できないほど小さかったのに対し、縦糸は最大 $9.3 \times 10^{-2} \text{N}$ まで切れなかったことから、縦糸は横糸に比べて大きい力に耐えることができることがわかった。クモは巣を張る際に縦糸を先に張り、縦糸間に横糸をらせん状に張る（図14）。本研究では高精度力センサのフックに糸をかけて力を測定した（図15）。この実験系におけるフックを自然界の縦糸とすると（図16）、横糸の結果のようにフックに力が加わらないことは、外部から力が加わったときに横糸が、縦糸に負荷をかけないように小さい力で伸び、切れるようになっていると考えられる。

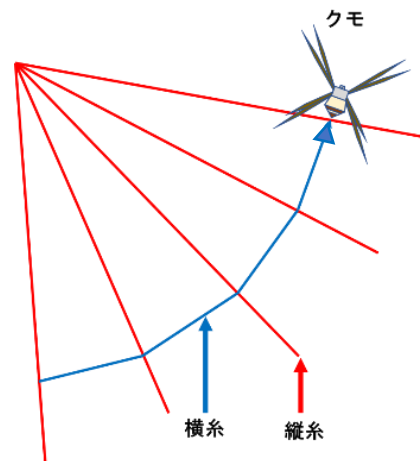


図14 クモの糸の張り方

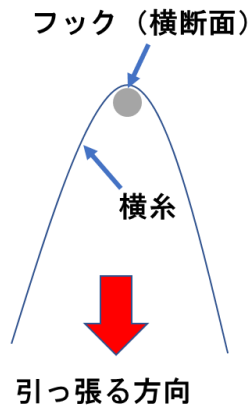


図 15 実験 2 の図

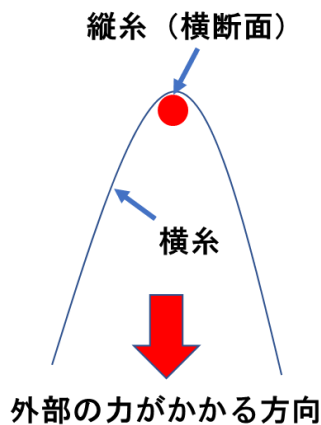


図 16 クモの巣を面に水平な方向から見た図

今回の実験で縦糸は伸び率が小さく、横糸よりも大きい力に耐えるという性質があるとわかった。このことから、縦糸には、巣全体の構造を保つ骨格としての働きがあると推測される。横糸は伸び率が縦糸に比べて大きく、切れるまでと切れたときにかかった力は計測できないほど小さかった。このことから、横糸はよく伸びるとことで縦糸にかかる力学的負荷を軽減するようにはたらいていると考えられる。以上より本研究で明らかになった縦糸と横糸の性質から、クモの巣は全体として、外部からの力に対し、壊れにくくなっていると考えられる。

5 展望

今回、実験 2 では、横糸を 1 本ずつ用いて実験を行ったが、センサにかかった力が非常に小さく、横糸が切れるまでにかかった力の測定できなかった。横糸を複数本束ねることで横糸の強度を

測定できるかもしれない。この方法により、横糸 1 本当りの強度を推定したい。また、巣内の縦糸 1 本ごとに横糸が何本あるかを数え、縦糸 1 本あたりにかかる負荷を推定したい。

データを整理していたところ、巣の中での糸の位置によって糸の伸び率に差があるように思われた。クモは、巣の中での位置ごとに、性質の異なる糸を使い分けているのかもしれない。縦糸間の長さによって横糸の伸び方が変化したり、巣にないで獲物がかかりやすい位置とかかりにくい位置で伸び方が異なるかもしれない。今後詳しく今あるデータの解析や追加の実験をして確かめていきたい。

また、人工の糸などでクモの巣を作り、モデルを用いて縦糸と横糸の強さとの関係をシミュレーションするモデル実験を行うことも考えている。モデルを使用することで、縦糸と横糸それぞれの性質が巣全体の強さに及ぼす影響だけでなく、糸の間隔や本数、巣全体の縦糸と横糸の長さの比率など、より巣の形や構造に着目して実験することができると考えている。

また、糸の性質や構造をより詳しく調べるために、電子顕微鏡で観察することも考えている。

6 参考文献

- (1) 中田兼介. クモのイト. 東京: ミシマ社, 2019.
- (2) 大崎茂芳. クモの糸の秘密. 繊維と工業. 62(2), 42-47, 2006.
- (3) 大崎茂芳. クモの糸でバイオリン. 岩波書店. 2016.