

蜘蛛が張る円網の振動解析に向けた実験法の提案

Developing an experimental apparatus for analyzing the vibration of a spider orb web

野垣 佳佑 (山梨大・生命環境) 津川 暁 (奈良先端大・バイオ) 島 弘幸 (山梨大院・総合)

Keisuke NOGAKI, University of Yamanashi
Satoru TSUGAWA, Nara Institute of Science and Technology
Hiroyuki SHIMA, University of Yamanashi
FAX: 055-220-8834, E-mail: hshima@yamanashi.ac.jp

The physicochemical properties of spider silk, which is a material for spider webs, have been actively studied thus far. On the other hand, the vibration characteristics of the entire spider web have not yet been elucidated, though it should be closely related to spider ecology. In this study, we aimed to establish an experimental method for investigating the vibration mechanism of a circular-shaped spider web. The effectiveness of the method was demonstrated by filming the vibration of rubber string-based spider-web model and performing Fourier analysis on the measured data.

1. はじめに

網を張って生きる蜘蛛にとっては、網の上が世界の全てである。さらに、蜘蛛の多くは運動視であるため、網の「振動」は重要な情報源である。振動の伝播と獲物の捕獲の役割を担っている網には、蜘蛛の技巧が凝らされている。蜘蛛の網と聞いて多くの人の頭に思い浮かぶのは、Fig.1 のジョロウグモをはじめとした円網であろう。しかし意外なことに、世界の蜘蛛約 3 万 5 千種のうち、網を張るのはほぼ半分であり、円網を張る種に至っては全体の 10%程度と言われている。



Fig. 1 Photo of a spider (*Nephila clavata*) making a beautiful orb web.

蜘蛛の円網は、放射状に広がる縦糸と、同心円状に張り巡らされた横糸で主に構成される。ただしその構造は見た目ほど単純ではなく、Fig.2 に示した橋糸 (= 網を最初に張る時や、網が損傷した時の張り直しに利用される) や、こしき (= 糸が密集した領域を指し、蜘蛛の住処でもある) など、複雑で巧みな仕組みが施されている。この蜘蛛の網作り(Fig.3)は、蜘蛛が糸に吊り下がり、微風にのせて尻から糸を流すことから始まる。風によって飛び去った糸の先端が、最初の位置から離れた場所に付着すると、蜘蛛はその糸を手繰り寄せていく。付着した糸の先端が剥がれずに、うまく糸全体をピンと張ることができれば、次の段階へ移る。まず縦糸と横糸を張るための基礎工事として、橋糸の中央付近から Y 字になるように糸を下ろす。そこから枠糸と縦糸を同時に張っていく。その後、中心部のこしきを作成してから、最後に粘性のある横

糸を張り巡らせて完成である¹⁾。

円網には蜘蛛にとっての様々なメリットがあることが知られている。例えば、広い空間に霞網を大きくひろげることができる上に、場所に応じて垂直にも、斜めにも、水平にも、網を張ることができる。また、獲物が暴れて網が破れた場合、多少の損傷であれば網の物理的特性が概ね保たれて機能を維持することができる²⁾。

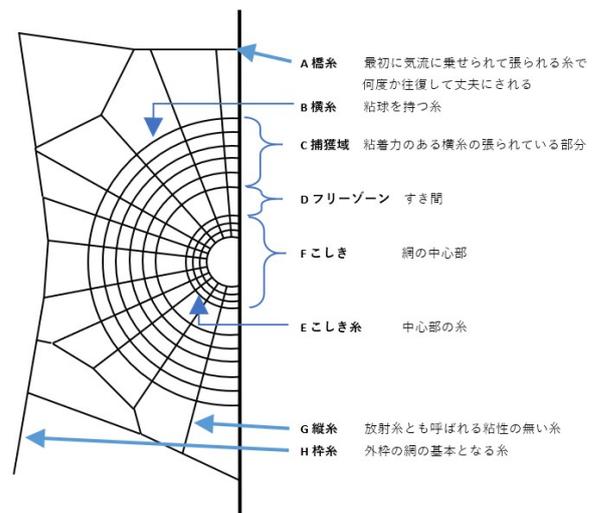


Fig.2 Diagram of a spider orb web

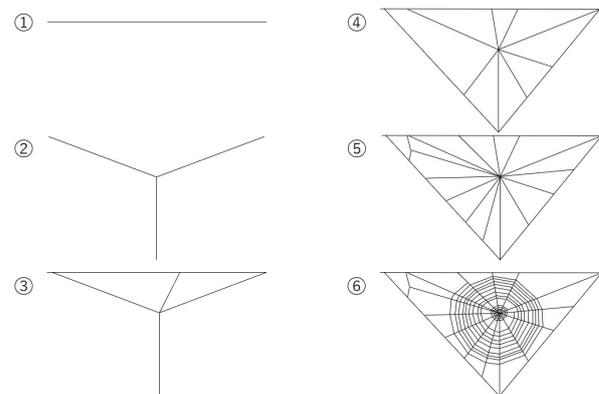


Fig.3 The way of making a spider orb web

さらに興味深いのは、円網の振動特性である。蜘蛛は、網にかかった小さな獲物に向かって突進した時に、獲物が小さすぎるために見失うことがある。このとき蜘蛛は、網を足で引っ張るように弾く「ジャーキング」と呼ばれる行動をとる。これを何度も繰り返すことで、反射してくる振動の変化を感知し、網にかかったままの獲物を探し出すのである¹⁾。

このように蜘蛛は他の生物とは違った特異的な習性を有する動物である。この蜘蛛の糸の物理特性の研究は、これまでも盛んに行われている^{A)B)}が、網全体をひとつの系として捉えたときの振動メカニズムは未だ解明されていない点が多い。そこで本研究では円網の模型を作成し、揺れの伝播を計測することで、円網のメカニズムを解き明かすための実験方法を確立することを目標とした。

2. 実験方法

蜘蛛の網は本来複雑な形状をしているが、本実験では目標を実験方法の確立としているため、最も簡略化した縦糸のみの模型を作成した。

幅 12 mm, 高さ 30 mm, の桧材を用いて Fig.4 の木枠を作成した。そこにゴム紐を長さ 600 mm になるように張り、一方を丸環ネジに、もう一方をエレキギターペグに括り付けて枠の外側に留めた。中心のゴム紐が重なっている部分は縫い糸で軽く結んだ。

模型の中心から伸びる 6 本のゴム紐のうちの 1 本に、中心から等間隔の位置 (0~30 cm の間で 5cm 間隔) にマーカーで印をつけた。模型を地面と水平になるように設置して中心から 0 cm の点に錘として 100 円玉を紙紮りで吊るし、紙紮りをハサミで切断することで発生するゴム紐の揺れをデジタルカメラで撮影した。これを中心から 10,20cm の点においても同様に行った。

撮影した映像は、Free Video to JPG converter を利用して 10 フレーム間隔で jpg 画像に変換した。変換後の画像を Fiji の折れ線ツールを利用して特徴点をクリックして抽出した。3 次のスプライン補間により点の間を繋ぎ、補間データを得た。こうして得た数値データをフーリエ級数展開することで、各フーリエ係数とパワースペクトルを求めた。

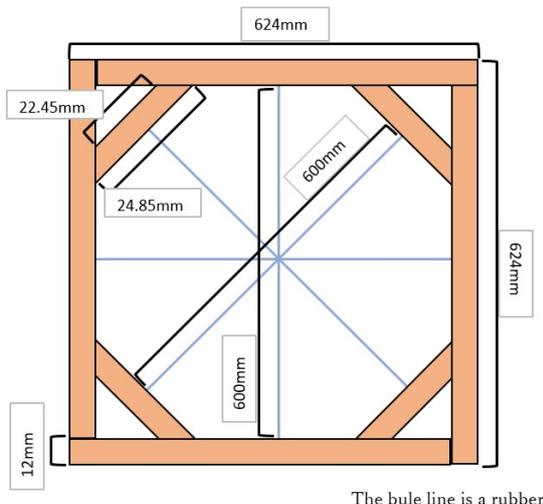


Fig. 4 Rubber string-based model mimicking a natural spider web

3. 実験結果

中心に錘を吊るしたときは、各ゴム紐が同じ波長で大きく揺れた。これに対し、中心から 10 cm の位置に錘を吊るしたとき (Fig.5) や、中心から 20 cm の位置に錘を吊るしたときは、周囲のゴム紐に比べて錘を吊るしたゴム紐は短い波長で振動した。錘の位置が中心から離れるにつれて、中心部の振幅が小さくなっていった。(詳細はポスター公演時に譲る)



Fig.5 Model with weight is set at 10cm from center

続いて行ったフーリエ解析によって、模型が概ね想定通りの動きをしたことが実証できた。今後の発展的な実験においても、同様の手法が有効であると考えられる。

4. 今後の展開

今後は模型に横糸を追加して、本実験結果との差異の比較を行う。また、中心に蜘蛛が居ることで荷重がかかっている際の挙動の変化や、ジョロウグモにみられる蹄型円網、コガネグモにみられる垂直円網、アシナガグモにみられる水平円網での違いを調べる。更に発展的内容として、蜘蛛はジャーキングによって起こるどのような振動の違いを検知しているか、蜘蛛の網の形状とジャーキングとの関係性も研究対象としていきたい。

謝辞

本研究は、科研費 18H03818, 19H05359, 19K03766 の支援を受けています。

参考文献

- 1) 池田博明, 新海明, 谷川明男. クモの巣と網の不思議: 多様な網とクモの面白い生活. 文葉社, 2003, 183p
- 2) 吉倉真. クモの不思議. 岩波新書, 1982, 210p
- A) Markus Heim et al., "Spider Silk: From Soluble Protein to Extraordinary Fiber", *Angewandte Chemie-International Edition*, 48(20), pp.3584-3596 (2009)
- B) Yongmei Zheng et al., "Directional water collection on wetted spider silk", *Nature* 463(7281), pp.640-643, (2010)