

# オニグモの糸の強度と体重 「飛行石のなぞ」撮影記録

池田博明

## 取材の依頼

2015年8月21日、TBSテレビ制作部(株)YELLOWのマネージャー・松山容子さんという方からメールが入っていた。「飛行石の正体はクモの糸の仕業だというなぞ解き番組を企画しているので、クモの解説および実験を指導してほしい」というものだった。飛行石(Flying Stone)とはFacebookにアップされた映像で、小石が宙に浮いて動くもの。番組はTBSテレビ月曜「世にも不思議なランキング なんで?なんで?なんで?」というものだった。放送予定日時は8月31日(月)だという。かなりきつい日程である。

ちょうど日本蜘蛛学会第47回大会に参加中だったので、私がこのメールを見たのは自宅に帰った23日(日)だった。

映像はYouTubeにもアップされており、YouTube上には数種類の「flying stone」映像があった。同じ投稿者Movie Funnyの8本の浮く石別動画もあった。宙に浮いているのは小石だけではない。外国からの投稿もあった。コメントをみると、すでにフジテレビの「奇跡体験!アンビリバボー」でクモの糸が原因と説明されているという。また、中城幸次氏の「Lovely flying Stone」(2011年8月29日アップロード)は同様の宙に浮かぶ石だが、「2日前から大きなクモが巣を作っていた」とコメントを記し、クモの糸だと字幕で断言している。

## 予備調査

小石の大きさはせいぜい1.5~2.5cmほどで、糸は写っていない。クモの糸なら糸を撮影者は目撃しているはずだが、そのことはコメントされていない動画が多い。超常現象であるかのような報告ぶりである。ちなみに、私は超常現象を信用していない。

それはさておき、8月23日の夜11時に足柄上郡中井町の巖島湿性公園へ出向き、クモの糸が支える重さを確認する実験が可能かをテストしてみた。その結果、オニグモ♀成体の網が複数あること、余分な糸を蚊取り線香の火で焼ききって1本だけにすることが可能なこと(新海明氏の方法)、タテ糸またはワク糸に安全ピンをかけていくと糸への荷重がどんどん増やせることが分かった。安全ピンはいろいろな大きさのものが市販されているが、市販のmitsuyaのAP-3P(全長38mm)1本の重さは0.65gだった。ゼムクリップを糸にかけていくという方法を宮下直氏が円網の糸の強度測定に使っていたことがある。

ただし、野外でオニグモの網を使うのであれば、夜間に実験を行う必要がある。深夜にはこれらの実験方法について松山さんに返信した。

### 虫かご内でクモに網を張らせる

8月24日、折り返し返信があり、クモの糸の解説をして欲しいこと、実験は25日（火）か26日（水）の夜にしたいことが伝えられた。25日は実家へ帰省する予定だったが帰省を延期した。実験の展開方法を申し送った。

小石の重さは意外に軽いものだ。直径1.5×1.0×0.4cm程度で0.85gもない（石の質にも依る）。そんな小石なら糸で軽々と持ち上げられるだろう。小石が糸で浮いていて近くにアシナガグモがいたという観察例を記憶している。1本の糸ではないだろうが、ヤモリを釣り上げたオオヒメグモの例がある（中島, 1991）。YouTubeには「クモの巣にかかった子スズメ」の動画（2009年7月28日アップロード）があった。オニグモの巣だという。飛行石の目撃者は石の大きさを直径3cmくらいと証言しており、テレビ局のスタッフが拾った3cmの石の重さを測定したら30gあったという。動画で見る限りそんなに大きい石ではない。

クモが地表面に糸を固着することを示すことも必要だろう。ヤモリを釣り上げた記録のあるオオヒメグモと昼行性の円網種ナガコガネグモを選び、虫かご（百円ショップで購入。16×9×10.5cm）に投入してみることにした。虫かごの底には切った厚紙をしき、カゴの四隅には足場用の割り箸を付けた。

オオヒメグモは足柄下郡真鶴町のトイレで、ナガコガネグモは中井町の井ノ口公民館付近の草原で25日に採集し、夕方に容器に投入したところ26日朝には造網していた。なお、割り箸を設置しない容器では造網しなかった。夜間撮影を26日（水）夜に延期するという申し出があった。

### オニグモの造網時刻

25日（火）15:00と21:00、26日（水）19:30にオニグモの造網場所を確認した。25日に確認した5頭のうち昼にも網を残していたのは2頭、また、橋の下のクモは川からの網の位置が高く、手が届きそうになかったし、川面に下りるには鉄柵を乗り越える必要があった。また、19:30にはワク糸にいたクモが25日の21:00、26日の22:00には完全な網を張っていたことから、造網時刻は19:30から22:00の間である。昼に残っている網は虫がかかった痕で穴だらけであった。ワク糸部分にアシナガグモが侵入していた。このアシナガグモは夜間には同じ箇所でも水平円網を張っていた。

### 台本を作製

当日の台本を確認する時間がなかったため、スケッチブックにディスプレイ用のフリップを作った。結局、このフリップは監督に展開案を説明するときに使っただけであった。台本はすでに用意されていてその内容を言うだけだったからである。

(1)飛行石は糸で吊られていると考えられる。その理由は浮遊する石の上でカットする映像がない（糸がないなら石の上をカットできる）、夜の映像がない（夜に照明を当てて撮影すると糸が写ってしまう）、石の動きが横方向のみである（糸の長さが変わらない）

(2)飛行石の糸が人工の糸か天然の糸かはわからない。手品師の使う見えにくい糸の可能性があり。天然の糸の場合、クモの糸であると断定可能な条件は何かを考察していく。

(3)テーマ1「クモの糸はどのくらいの重さまで耐えることができるか」。ジョロウグモの牽引糸（しおり糸）での実験データからは、弾性限界強度（伸びが元に戻る荷重）は体重の約2倍、破断強度（糸が切れてしまう荷重）は体重の約5倍だという。弾性限界強度が体重の2倍である理由は2本の糸が合わさっている牽引糸の1本が切れても自重を支えるためであると考察されている（大崎 2000）。

(4)円網をつくる主な糸 [本稿では模式図は略した]

ワク糸・タテ糸はびん状腺の糸，ヨコ糸は鞭状腺の糸，粘球は集合腺の糸。

(5)糸の途中に重りを下げた場合，糸にかかる張力の計算（力の分解）

直角三角形の辺の比，または三角関数で求めることができる。

[この説明の後で糸に重りをかけていく実験を行う]

(6)テーマ2「クモは糸を地表に固着するか」

容器内に網を作らせる（円網のナガコガネグモ，不規則網のオオヒメグモ）

(7)オオヒメグモの不規則網の特性 [本稿では模式図は略した]

支持糸はびん状腺の糸で，ガムフットの軸糸は弾性が大きい鞭状腺糸ではなく，大びん状腺糸または大小びん状腺糸の組み合わせである。ヒメグモ類には投げつけ粘球があるが，こちらの投げつけ粘球の軸糸は鞭状腺，大きな粘球は葉状腺（集合腺から進化した腺）と考察されている（Townley & Tillinghast 2013；東京クモゼミ報告第223号に紹介）。

(8)クモの糸いぼと吐糸管 [本稿では模式図は略した（遠藤 2012，池田 2015 を参照）。]

クモの糸いぼ上にはたくさんの吐糸管が並ぶ。ただし，タテ糸やしおり糸を出す大びん状腺の吐糸管は左右の前いぼに1個ずつである。したがって1本に見える糸は実は2本が合わさって出来ている。

## 解説の撮影

8月26日（水）に巖島湿性公園付近の井ノ口公民館研修室で，スタッフ（監督・カメラマン・録音係・マネージャーの四人）との打ち合わせと解説の撮影を行った。

20:10に集合の予定だったが高速道路の混雑からか実際にスタッフが到着したのは21:00。公民館は22:00に完全閉館なので時間に余裕がなくなった。池田の台本を手短かに説明したが，監督はフジテレビの番組「アンビリバボー」ではクモの糸の仕業と断言していることもあり，「クモの糸の可能性はある」では構成できない，単純にクモの糸だと断定して展開して欲しいとのこと，最終的には「クモの糸だと思います」と「思います」を付けることで納得した。台詞はほとんど台本の言葉を言うだけだったが，棒読みにならない様に話すのは難しく，何度もテイクしなおすことになった。

「アンビリバボー」（2015年1月15日放送）では新宅広二氏が「クモの糸です」と断定し

ていたが、私にはなぜ撮影者がタネを明かさないので不審であった。撮影者は一般の主婦で子供と一緒に観察した映像で周辺の糸をチェックするまで注意を向けなかったと証言している、監督の説明があったが、それは証言者の作為だと思う。知っていてもタネをあかさないので手品師やマジシャンの通例である。

### 重りをかける実験の撮影

厳島湿性公園に移動すると、19:30にワク糸上のクモを確認しておいた地点にオニグモ♀が大きな網を張っていた。ワク糸も太く長く、橋の欄干から上方の網に向かっている。網も一箇所ヨコ糸が壊れているだけできれいだった。撮影開始が22:00と遅れたことが幸いしたようである。

安全ピンで徐々に荷重していくというのんびりした展開では放送時間がないということで、ワク糸に直接石を吊るしてみることにした。石にもめん糸をガムテープで貼り付け、めん糸の先を安全ピンに留める。その安全ピンにクモの糸をはさむ。石に糸をつけて重りを作るのは松山さんの仕事、はじめに16gの重りを吊るしてもワク糸は切れなかった。重りを除くと糸は元の長さに戻った。弾性限界強度以下ということである。重りを重くしても切れなかった。遊び心で監督がフィギュアを一つずつかけてみる。七体のフィギュアをかけても切れない。七体のフィギュアの重さは27gだった。

30gの重りをかけたところ、糸が切れた。別のワク糸に試してみたが、こちらも切れた。鉛直方向の重さを2本の糸で支えているから1本あたりは15g重ということになる。

ジョロウグモの牽引糸(しおり糸)では、破断強度は体重の5~6倍というデータがあるので、オニグモの体重を測定してみる提案をした。捕獲してジップロックに入れ、おとなしくなったクモを袋ごと測定してみると6~7gという表示である。しかし、この重さには袋の重さが加わっている。袋だけの重さを測定すると4gであった。するとクモの体重は2~3gということである。秤のミスかと思い、別のデジタル秤で測定したが結果は同じだった。体重を約3gとするとその5倍は15gである。

実験の際に27gのフィギュアで斜めになった糸が鉛直方向と作る角度を仮に30度とすると(撮影したが放送されなかったので角度は未確認)、1本の糸にかかる張力は鉛直方向の荷重の0.577倍になる。27gの0.577倍は15.58gである。オニグモのワク糸はジョロウグモの牽引糸から得られた理論的な破断強度、体重の5倍に近いという結果になった。

ほかにもオニグモ♀の網はあったが、ワク糸が細い・メスの体重が小さい・造網場所に近づけないなど難点があって撮影は23:40ごろ終了し、撤収・解散した。

### クモの体重を測定

大崎茂芳氏は『クモの糸のミステリー』(2000)では、ジョロウグモの牽引糸の破断強度をクモの体重の5~6倍としているが、『クモの糸の秘密』(2008)では、範囲を広げて5~10倍と記している。糸を引き出す条件により強度が変化することを考慮したものと思われる。

番組スタッフから訊かれたもっとも重要な質問は「どの程度の重さまでクモの糸は耐えられるのですか」ということだった。ところが、この質問には単純に答えることができない。クモの成長段階や体重によっても異なるし、ワク糸などは往復回数によって太くなっている可能性がある。実験してもひとつに解が決まるものでもなさそうである。とはいえ、科学的な答えは大崎氏の体重相関仮説である。

それでは、オニグモの体重は何gだろうか。8月29日（金）夜に巖島湿性公園で3頭のオニグモのメス成体の体重を測定した。オニグモはジップロックに入れるとすぐにおとなしくなる。デジタル秤（AND社のHT-120）に袋ごと載せ、測定後に袋の重量（2.30g）を差し引く。

欄干に造網していた体長19.0mm 個体Aの体重1.16g、同じく欄干に造網していた体長22.0mm 個体Bの体重1.06g、橋下に造網していた体長25.0mm 個体Cの体重2.56g、橋下に造網していた体長26.0mm 個体Dの体重2.88g、橋下に造網していた体長28.3mm 個体Eの体重4.06gだった。体重4gのクモが作るしおり糸1本なら10倍として40gの石まで持ち上げることができる計算になる。この夜は造網地点の足場が悪いため重り実験を行わなかったが、クモを持ち帰って室内で造網させるという方法に気づき、翌30日（土）に個体AとDを連れ帰り、自宅の使用していないトイレに閉じ込めた（22:30）。はたして造網してくれるだろうか。

同日に大井町で採集されたイエオニグモを測定してみると体長10.0mm♀成体の体重0.35g、体長6.0mm 幼体の体重0.05gだった。

松山さんから「クモの糸はタンパク質にもかかわらず、なぜじょうぶなのか、一般の方にわかりやすい説明は？」と問われた。高分子物質の物性の質問である。カイコの絹糸もタンパク質だが、じょうぶさという点ではクモの糸に長がある。それは分子がきちんと一定の方向にならんでいるからだろう。一方、クモの糸のじょうぶさという点で大事な点は弾性に優れていること、つまり引っ張って伸びても手を離すとともに戻るゴムのような性質である。分子内にゴムに似た構造があるのだらう。優れた弾性は飛行する虫の運動エネルギーを吸収して弱めるために発達したもので、虫を取るために糸を使う生物はクモだけである。アメリカ軍はクモ糸製の防弾チョッキを開発したが防弾チョッキに必要な特性とは堅さだけではなく、銃弾の運動エネルギーを吸収して弱めることだった。大量生産技術がないためクモ糸産業は普及していない、といった説明をした。

### 番組が放送された

8月31日（月）20:00からの新聞での番組題名は「タカトシの不思議な？ランキング！なんで？」、正式名は『世にも不思議なランキング なんで？なんで？なんで？』。飛行石は最初のランキング6位の現象として放送された。飛行石の撮影者は主婦Kさん、撮影場所は長崎県諫早市だそうである。

実験で20gの石をクモのワク糸が支えたという映像が出てくるが、2本の糸が作る角度（約86度）からして1本の糸にかかる張力は20g重以下（計算では14.6g重）である。ただし、ワ

ク糸はクモが往復して強化している可能性があるので、このワク糸でないほかのワク糸がどれほど強いかは断言できない。

解説部分で私は「クモの糸は同じ直径なら鋼鉄より4倍も強いです」と言うが、これは、撮影台本にあったセリフそのまま。遠藤(2012)は「クモの糸がいかに優れているかを示すために、しばしば鋼鉄よりも<5倍強い>などと言われます。また、クモの糸は<強くて柔らかい>という2つの性質を併せもつことが特徴だとも言われます。これらの言葉が正確にどういう意味なのかを理解するのは、日常的な表現であるにもかかわらず、それほど簡単ではありません(Box1-1糸の力学的性質を参照)」と書いている。4倍とか5倍という値は内実が不明瞭だがクモ糸の強度として百科事典によく出ている数値である。ちなみに、Foelixの『Biology of Spider』に引用されたVollarth(1993)のデータではSpider Silk(クモ糸)のtensile strength(引っ張り強度)はSteelの2倍。

## 半分

### 部屋で造網を試みる

一方、自宅の小部屋に放したオニグモは造網しただろうか。個体Dは8月30日・31日ともに昼も夜も造網しなかった。小部屋の柱の最上部に静止しているだけであった。日によって静止位置を変えている。小形の個体Aは行方不明になった。

大崎はオオジョロウグモを室内で造網させようとした経験から「クモはハングリーでないと巣を張らないことに気づいたのである」と結論している(大崎2000)。

個体Dを9月1日の午前10時に玄関先の植木に放した。

行方不明だった個体Aが9月2日朝、網を張ったのに気づいた。閉じ込めておいた小室の外の廊下の壁面にそって大きな垂直円網(直径約80cm)を張っていた。昨日はなかったから、9月1日の夜に造網したものである。縦糸23本、左斜め下方向の横糸42本(こしきから10cmの横糸幅5mm, 30cmの横糸幅10mm)。午前7時30分、左斜め下にのびるワク糸に安全ピンを掛けていくと(図1)、16本までは吊り下げられたが、17本で切れた。16本の重さは10.09g、17本の重さは10.70gだった。この場合、1本のワク糸が切れる破断強度はほぼ5g重から5.35g重の間にあることになる。破断強度を5.20g重とするとクモの体重が1.16g(捕獲時)だから、破断強度はその約4.5倍である。ワク糸を切っても

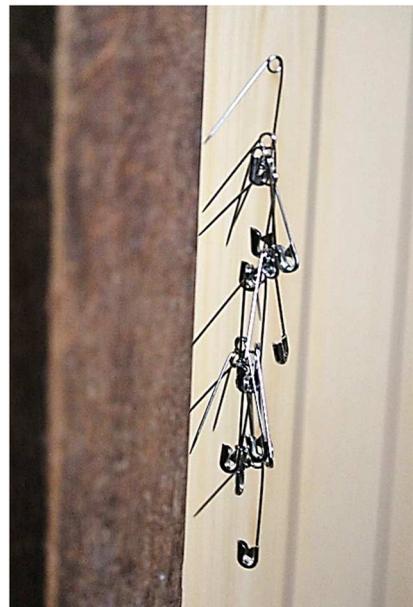


図1. オニグモのワク糸に安全ピンを14本かけたところ

網の形態は保っていたが午前9時20分には網をたたんでしまっていた。昼には梁に静止していたが、夜には2

m移動して窓ガラス状に静止していた。9月2日の夜は網を張らなかった。9月3日には再度行方不明になった。クモがいた窓の枠に残されていたしおり糸の強度を安全ピンで測定したところ、太さによって異なり、9本(5.63g)保持・10本(6.27g)で切れた糸もあれば、6本(3.74g)保持・7本(4.40g)で切れた糸もあった。深夜に同じ位置に再登場、9月4日にかけて結局造網しなかったので午前3時に玄関先に放逐した。その際に引き残したしおり糸はピンを11本(7.24g)まで保持し、12本(7.87g)で切れた。この時点でのクモ個体Aの体重は1.14g、造網によって0.02g=20mg程度体重が減ったことになる。

### ジョロウグモの糸の強度

安全ピン方式で家の庭のジョロウグモの糸の強度を測定してみた。9月3日の朝、玄関前に造網したジョロウグモ(体重0.11g)の见えないしおり糸ではピン2本(1.40g)保持・3本(1.99g)で切れ、草間のジョロウグモ(体重0.06g)のワク糸では16本(10.25g)保持・17本(10.90g)で切れた。なお、安全ピンの重さにはややバラつきがある。

破断強度は破断前重と破断後重の中間にあると仮定し、さらに2本の糸で重りを支えていることから糸1本当たりの破断強度はその半分と仮定して各糸の破断強度を見積もると表のような結果が得られた。各糸の太さを測定できていないので、これ以上の考察は無益であろう。

クモ種	糸種	破断前重	破断後重	破断強度(g重)	体重	体重当り強度比
オニグモ	ワク糸	10.09	10.70	5.20	1.16	4.5
オニグモ	しおり糸	7.24	7.87	3.78	1.14	3.3
オニグモ	しおり糸	5.63	6.27	2.98	1.16	2.6
オニグモ	しおり糸	3.74	4.40	2.04	1.16	1.8
ジョロウグモ	しおり糸	1.40	1.99	0.85	0.11	7.7
ジョロウグモ	ワク糸	10.25	10.90	5.29	0.06	88.1

### 引用文献

- 池田博明 2015. 『クモは虫を食べる』の構想. Kishidaia, 106:4-20.
- 遠藤知二 2012. クモと糸. IN 齋藤裕・佐原健 糸の博物誌. 海游舎. 1-40.
- 大崎茂芳 2000. クモの糸のミステリー. 中公新書.
- 大崎茂芳 2008. クモの糸の秘密. 岩波ジュニア新書.
- 中島晴子 1991. オオヒメグモに吊るされたヤモリ. Kishidaia, 62 : 20.
- Townley, M. A. & Tillinghast, E. K. 2013. Aggregate Silk Gland Secretions of Araneoid Spiders. IN Nentwig (ed.) Spider Ecophysiology. Springer. 283-302.