

# 生物の科学

第46巻 8号 1992年8月1日発行(毎月1日発行)  
昭和23年2月20日第三種郵便物認可 ISSN 0387-0022

VOL.46  
NO.8 1992

## THE HEREDITY

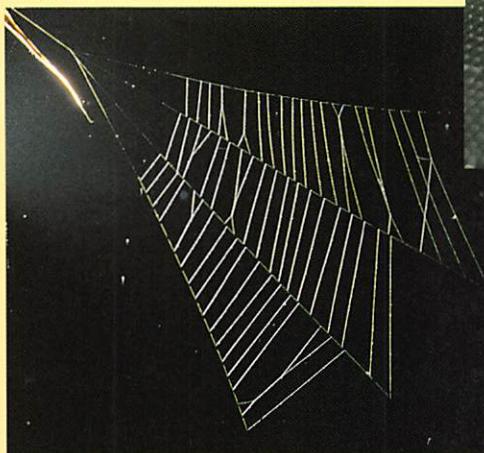
8

### 特集・クモ—糸を吐く狩人



→スズミグモ 樹間にドーム状の網を張る。網には粘性はなく、糸は投網のよう<sup>とあな</sup>に細かい網目に紡がれている。

↓オウギグモ 林内の薄暗い所に扇網を張る。クモは扇のかなめの部分で網全体を引いて獲物がかかるのを待つ。



## クモの網 いろいろ

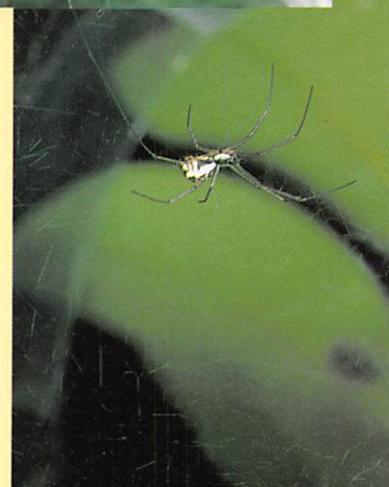
新 海 栄一  
(日本クモ学会評議員)



←コガネグモ 水田や草原に多い。垂直の円網を張り、中心に止まる。クモのいる網の上下に白い帯をつける個体もみられる。



↓アシナガサラグモ(♀)と  
アシナガサラグモのドーム網  
アシナガサラグモは夏の山道の草間や樹木の枝先に皿網の一種であるドーム網を張る。ドーム網の上下には不規則に糸が引きまわされ、それに迷い込んだ昆虫が捕えられる。



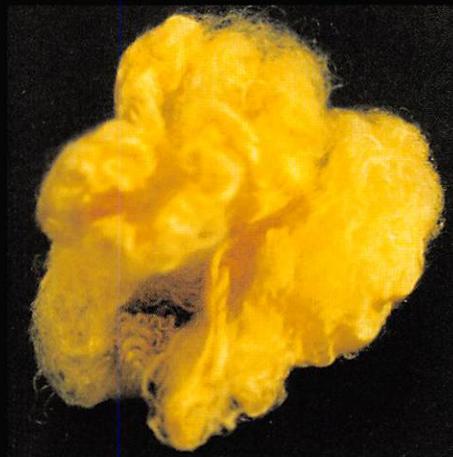
# クモの糸の性質



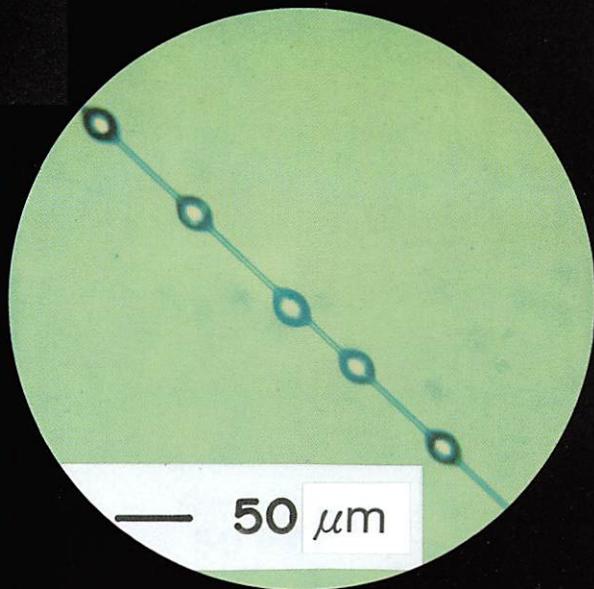
大崎 茂芳  
(マイカル総合研究所)

↑捕獲したセミを吊り上げようとしているコガネグモ。

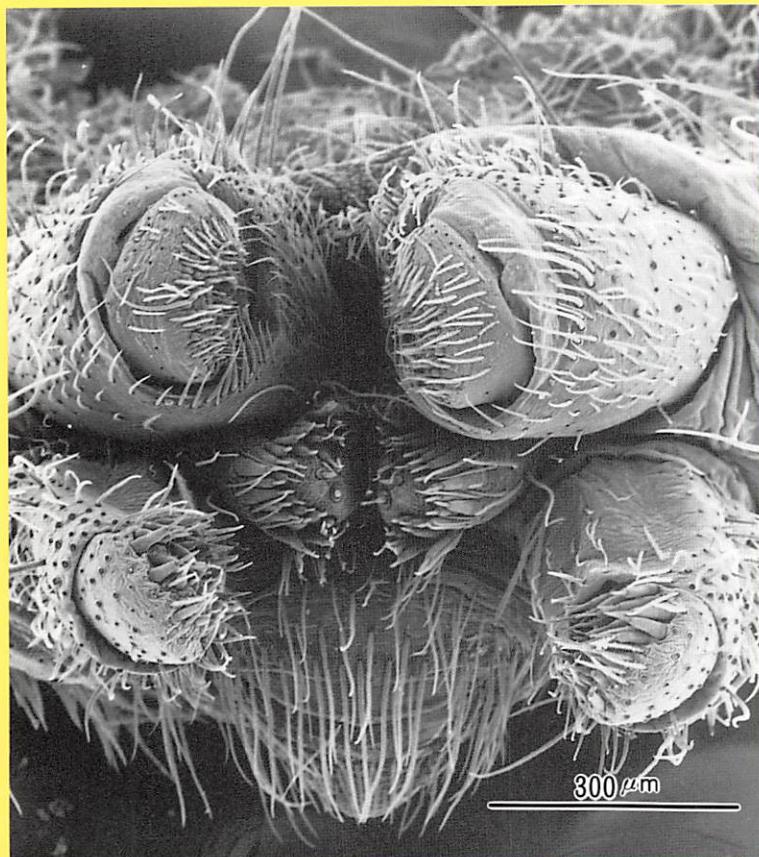
→コガネグモの腹から糸を強制的に取り出し、金属フレームに巻き取る方法。



←秋の雌ジョロウグモから採取した牽引糸。  
黄金色で艶がある。  
→虹色に輝くジョロウグモの牽引糸。纖維軸  
は横方向。  
↓ズグロオニグモの粘着糸。粘着球がほぼ等  
間隔についている。



# クモの出糸突起



スジアカハシリグモ *Dolomedes saganus*

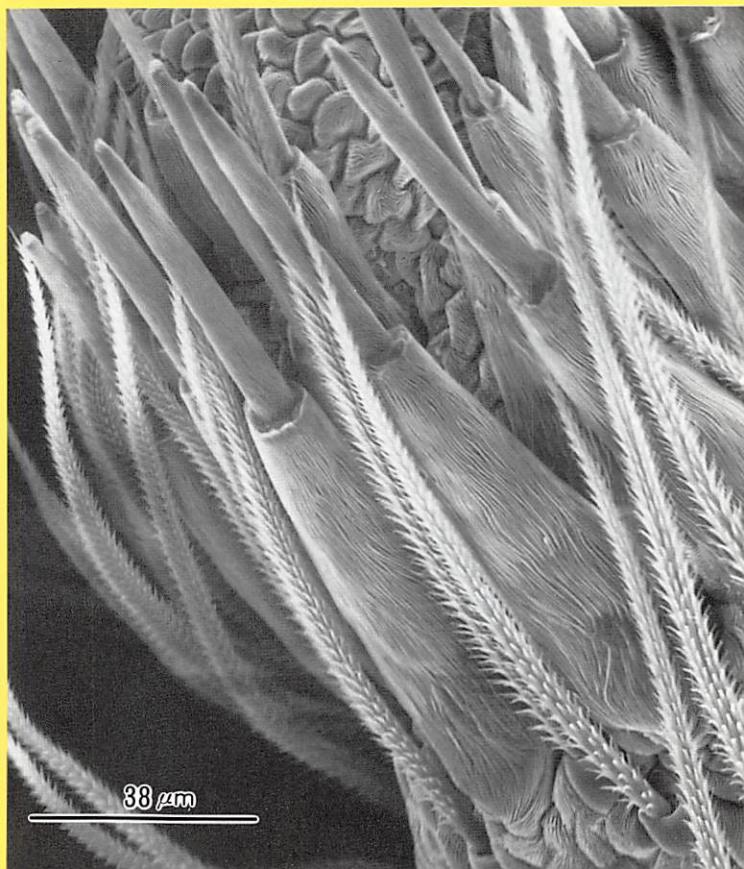
の雌の成体の腹部末端にある3対の糸疣。篩板はない。前疣に2対の瓶状腺と数十対のナシ状腺、中疣（小形で接している）に2対の瓶状腺と数対のブドウ状腺、20～30対の管状腺、後疣に約10対のブドウ状腺と20～30対の管状腺の吐糸管がある。

管状腺の吐糸管 太さ約 $20\mu\text{m}$ 、長さ約 $50\mu\text{m}$ の円錐形の基部と、太さ約 $6\mu\text{m}$ 、長さ約 $40\mu\text{m}$ の先端部とからなる。ここから出る糸は、おもに卵嚢作りに使われる。どの吐糸管にも細かい縦溝が刻まれている。

近藤昭夫・板倉泰弘  
(東邦大学 理学部)

一生のある時期に糸を紡いで使う動物はいろいろいるが、クモは、生涯糸と共に暮らし、しかも目的に応じて数種類の糸を使い分けるという点で、実にユニークな生き物である。

普通のクモではおよそ7種類の糸腺が知られていて、どの糸腺をもつかは、クモの種類、性、成長の段階で決まっている。一つ一つの糸疣は、篩板または3対の糸疣（出糸突起）にあるそれぞれの吐糸管につながっている。



# 生物の科学 遺伝

財団 法人 遺伝学普及会編

Vol.46 No.8  
1992

## 随 想

- チューブリン命名のころ ..... 毛利 秀雄 2
- 連載エッセイ：自然と私

  - 私の内なる自然 ..... 朝日 稔 4

- トピックス

  - アブラムシ間接飛行筋の崩壊機構 ..... 石川 統 6

- 植物文化史 (148)

  - ヒマワリ—太陽の花 ..... 白井 英治 60

- 実験・観察のページ (183)

  - 生物 I A のための実験・観察シリーズ (7)

    - ..... 早崎 博之 61

- ヒトの体 (20)

  - 生きている骨 ..... 保志 宏 67

- 植物園と遺伝子資源 (8)

  - ヨーロッパの植物園追記 ..... 岩槻 邦男 71

- 生物探究入門 (8)

  - 偶然は探究の中で脚光を浴びるか ..... 根本 和成 75

## 表 紙

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| ヒマワリ ..... 吉沢 昭         |  |
| <b>口 絵</b>              |  |
| クモの網いろいろ ..... 新海栄一     |  |
| クモの糸の性質 ..... 大崎茂芳      |  |
| クモの出糸突起 ..... 近藤昭夫・板倉泰弘 |  |
| 炊飯米の微細構造 ..... 松田智明     |  |
- |                       |
|-----------------------|
| お知らせ ..... 10, 49, 79 |
| 生物ライブラリー ..... 54     |
| 表紙によせて ..... 79       |
| 編集室 ..... 80          |

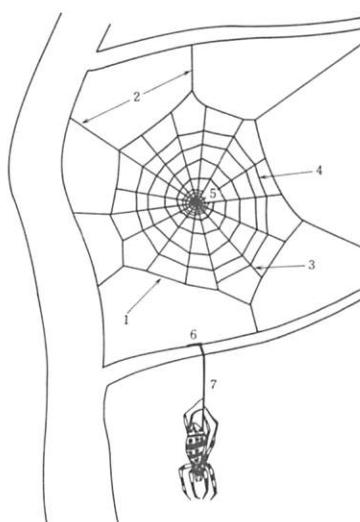
- |                    |
|--------------------|
| カット ..... 武田 幸経    |
| 表紙デザイン ..... 吉永 聖児 |

## ●特集・クモ—糸を吐く狩人●

- |                             |    |
|-----------------------------|----|
| はじめに—クモの鞭状腺発見小史 ..... 関口 晃一 | 7  |
| 特集一覧                        | 9  |
| クモ類の進化と分類 ..... 小野 展嗣       | 11 |
| 糸を紡ぐ器官 ..... 吉田 真           | 17 |
| クモの糸の性質 ..... 大崎 茂芳         | 24 |
| クモの配偶行動と糸 ..... 池田 博明       | 32 |
| ジョロウグモの網と餌をめぐる問題            |    |
| ..... 新海 明                  | 38 |
| クモの合戦 ..... 川名 興            | 43 |

## 今月の解説

- |                         |    |
|-------------------------|----|
| ショウジョウバエの性決定と           |    |
| 遺伝子量補正 ..... 大石 陸生      | 44 |
| 老化促進モデルマウス (SAM) が      |    |
| 教えてくれること ..... 細川 昌則    | 50 |
| 炊飯米の微細構造と食味 ..... 松田 智明 | 55 |



(本文 24 ページより)

# はじめに—クモの鞭状腺発見小史

関 口 晃 一

クモほど、その多様な生活様式の中に、自分の分泌した糸を組み込んで生きている動物はほかにはいない。今回のクモの特集にあたっては、その点に焦点を絞って、いくつかの視点からこれを扱うこととした。クモに関しては近年優れた書物がいろいろ出版されており、基礎的または総括的な知識はそうしたものに依ればよいと考えたからである。たとえば吉倉 真『クモの生物学』(学会出版センター, 1987)などはきわめて優れたクモ学のテキストと言うべきで、こうしたものが日本語で読めるというのは本当に幸運なことだと思う。本特集の記事を読むうえでも、参考になるところが多いと思う。

さて、本特集では、わが国で現在もっとも油の乗った気鋭の研究者5人に、それぞれ専門の話題を分担執筆してもらった。私はその前座として、クモの紡績器官研究史のひとコマともいいくべき昔話を書こうと思う。

\* \* \*

大学でクモの実験発生学的な研究をすることになっていた私が、クモの紡績器官の研究に手を出したのは、昭和19年、つまり日本が戦争に負けて降伏する前の年のことである。空襲警報が出るたびに電燈を消したり、防空壕に逃げ込んだりでは、継続性を必要とする発生の研究などはできなくなってしまったからである。

断片的な時間を利用して研究できることは何かないだろうか。そんなときに私の頭に浮んだのが、クモの糸とその紡績器官を調べてみようか、ということ

とであった。

材料のオニグモは校舎のまわりにいくらでもいた。網の各部分の糸の太さの計測や、糸疣(糸いぼ、出糸突起)や出糸管(吐糸管)の観察などは、とくに難しいことはなかったが、出糸腺の観察には手を焼いた。腹部を開いてみても中はどろどろした粘液様のものがあるばかりで、私にはどれが何という出糸腺なのか見当もつかなかった。

しかし不思議なもので、解剖を繰り返しては顕微鏡をのぞいているうちに、絶望的だと思っていた出糸腺の分類がいつの間にかできるようになっていった。みえないものがみえてきたというと神秘がかって聞こえるが、一生懸命にやっていれば味わうことのできる経験である。

一方、クモの紡績器官に関連する文献を調べてみると、外国では、古典的な C. Apstein (1889) の研究をはじめたくさんの研究があるのに、日本人のものとしては、奥村多忠 (1911 a, b, c) の三篇(うち二篇は外国人の研究の翻訳紹介)と齊藤三郎 (1937)の一篇があるにすぎないことがわかった。

これらの文献を読んでいるうちに気がついたことは、クモのもつ何種かの出糸腺と、この腺から出てくる糸の果たしている役割との関係が、まだよくわかっていないらしいということであった。

とくに、オニグモなどの張る円網の横糸(粘着糸)の地糸(軸糸・基糸)の由来がはっきりしないらしい。たとえば、齊藤は集合腺が横糸を分泌すると考へ、一方、1935年に紡績器官の構造と機能に関して

注目すべき成果を発表した W. Hopfmann は、この地糸が弾力性に優れていることや、さらに細い多数の糸から成り立っているようにみえることなどから、この糸が中疣や後疣に開いているブドウ状腺から分泌される細い糸の集合であると結論していた。

もともと横糸についている粘液を分泌すると考えられている集合腺が地糸も出すという齊藤の考え方には不自然であるし、また地糸の長さからみて、それを構成する糸がきわめて小さなブドウ状腺から分泌されるという Hopfmann の説にも無理がある。

そんなことを考えながら、繰り返し解剖をして観察しているうちに、たいへん重要なことに気がついた。従来、3対あるとされていた集合腺は2対しかなく、片側2本の集合腺のすぐ近くには、もう1本集合腺とまったく形の違った腺があるのである。そして、この腺の出糸管は2本の集合腺の出糸管に挟まれるようにして、後疣の内側に、1箇所にかたまって開いている。

この集合腺とは違う腺は、形のうえでどちらかといえば、ふつうのクモに必ずある瓶状腺に似ている。しかし組織切片を作って染めてみると、染色性のうえでも組織構造のうえでも明らかに違っていた。

Hopfmann の論文をみると、集合腺に連なる二つの出糸管の近くに、形の異なるもう1個の出糸管があることに気づき、その出糸管の図まで示しているのに、これに連なる腺は他の2本と同じ集合腺であると早合点してしまったふしがある。

いずれにせよ、この腺から横糸の地糸が出ると仮定すれば、その位置からみて、粘液が糸に付着するしくみも容易に納得できる。

これを証明するために、まず、溶かしたパラフィンでその出糸管を塗りつぶす方法を試みたが、これは失敗、結局、鋭く尖らせたピンセットで、片側のこの部分の出糸管を除去したうえで網を張らせてみることにした。

このクモの張った網の横糸の地糸は予想通り1本

であった。これで、横糸の地糸を分泌する腺が明らかにされたわけであるが、実を言えばこの発見は、必ずしもすんなりとは受け入れられなかつた。「そんな基本的なことがわかっていないはずはない。文献の探し方が不充分なのではないか。」と考えた人が多かつたからで、戦後の極端な情報不足の学会ではいちばん恐れられていたことであった。そしてそれは、誰よりも私自身が心配していたことで、数年間は発表を躊躇せざるをえないことになった。

ようやく1952年になって、これに *glandula flagelliformis* (鞭状腺) と名づけて発表したが、その後間もなく(1955年), H. M. Peters がマダガスカルジョロウグモの紡績器官を研究していてこの腺に気づき, *gl. coronata* と名づけて発表した。Peters は「お前の論文の出ているのを知らなくて……」と釈明の手紙をくれたが、私としては鞭状腺の発見が間違いでなかったことが証明されてうれしかつた。

ところで、*gl. coronata* は冠状腺とでも訳すべきであろうが、実は、オニグモやジョロウグモの成体では、この腺の先端部は細長い塊りなつていて、たしかに冠状にみえるのである。私は、この塊りも解きほぐしてゆけば1本の管になつて、基本的にはアシナガグモなどで観察された鞭状の管と同じものと理解するのが正しいと考えて鞭状腺としたのであるが、“coronata” という名も捨て難い気がする。

その後私は、ジョロウグモやオニグモの成体の雄と雌、あるいは成体と亜成体の間の、著しい紡績器官の違いに驚いたり、感激したり、そして、これらの研究(1955 a, b)の別刷を送った J. Millot さんや T. H. Savory さんから激励の手紙をもらつたりしたが、残念ながら、それから数年後にはこの方面的研究から離れることになった。しかし私は今でも、クモの世界には、少し注意すれば意外に身近なところに、たいへん興味のある、しかも未解決の重要な問題がたくさんあると信じている。

(せきぐち こういち, 筑波大学名誉教授)

# 特集・クモ—糸を吐く狩人 一覧

## クモ類の進化と分類

クモ類は節足動物門 鋏角亜門クモ綱 (Arachnida) クモ目 (Araneae) に属し、もっとも古い化石は古生代デボン紀の地層から知られている。古生代の浅海に繁栄したウミサソリ類がクモ類の祖先で、それが上陸してサソリに進化し、さらにクモやダニなどの各群に分化していったものと考えられる。クモ目は腹部が袋状になり体節が著しく退化し、糸いぼを有することが大きな特徴である。

糸いぼはもともと卵を腹部の下面に保持するための4対の腹肢が変形したもので、糸腺の起源は卵を抱えるための粘液を出す器官であったと推測される。はじめクモ類は穴居生活をしていたが、地上から植物上、空間へと生息域を広げていった。オニグモ類が造網性の、ハエトリグモ類が徘徊性のクモの頂点に位置するが、クモの進化を支えたのは、呼吸器官と生殖器官と出糸器官の変化である。

クモ目の分類は種の記載は進んでいるが、属以上のレベルの検討はたいへん遅れている。

(小野展嗣)

## 糸を紡ぐ器官

クモはさまざまな種類の糸を作り出すことによって発展した、特異なグループである。糸疣はおそらく、第10・11体節の付属肢が変形したものであり、古蛛亜目においては腹部下面のなかほどに位置していたが、後に腹部末端に移動した(原蛛亜目と新蛛亜目)。

古蛛亜目が糸疣から引き出す糸は1種類にすぎないが、糸の使用量の増大に比例して、原蛛亜目では

3種類の糸を、新蛛亜目で7種類の糸まで作り出すものが現われた。

糸の種類数の増加はさまざまなタイプの糸腺ができたことを意味しており、新蛛亜目のほとんどのクモは瓶状腺、ナシ状腺、ブドウ状腺、管状腺の四つの糸腺をもち、用途に応じてこれらの糸腺からできる性質の異なる糸を使い分ける。

さらに、円網を張る種を多く含むコガネグモ上科では、粘着性の横糸を作る鞭状腺と集合腺が開発された。また、別なタイプの粘着糸を作る篩板類では、偽鞭状腺、篩板糸腺、側篩板糸腺の三つが開発された。

(吉田 真)

## クモの糸の性質

クモの命綱である牽引糸は、結晶性は低く、その密度が $1.1\sim1.3\text{ g/cm}^3$  あり、分子量は30万程度である。糸を構成するタンパク質は、主として三つの代表的なアミノ酸残基の繰り返しからなり、違った種のクモではアミノ酸組成が異なることがわかった。牽引糸は、タンパク質の分子鎖が糸の長さ方向に配向しており、弾力性が強く、 $200^\circ\text{C}$  までは熱的に安定であることがわかった。また、光学的には秋になると雌のジョロウグモの糸は450 nm付近に吸収を示し、黄金色になることを数値的に裏づけた。成熟したクモから出される糸は、若いクモの糸よりも紫外線劣化が起こりやすいが、カイコの糸よりも劣化しにくいことがわかった。このような性質をもつクモの糸におけるタンパク質のアミノ酸配列を明らかにすれば、遺伝子工学を用いて、クモの糸を合成できる可能性が示唆される。

(大崎茂芳)

## クモの配偶行動と糸

多様な網があるように、クモの行動も多様であり、その行動には糸が大きく関与している。ただし、生活史やその行動生態が調べられた種は一部に限られており、身近な種でも残された課題がたくさんある。造網と補食はクモの生活史上のあらゆる局面に影響を及ぼすが、本稿ではそれとの関係にはふれず、とくに近年の求愛、交尾、雄間闘争、性選択といった配偶行動に関する話題を中心に、糸との関連で解説した。

(池田博明)

## ジョロウグモの網と餌をめぐる問題

### —網のつくりと餌の捕り方—

ジョロウグモの網構造を餌の種類と捕獲法から検討した。本種は網目の細かい非常に複雑な網を作る。このうち網目の細かさは、縦糸が中心から枠部へ向かうに従いつぎつぎと枝分れする「分枝糸」と、足場糸を張るときに生ずる縦糸の縦裂による「二分割糸」によっていた。さらに、縦糸は中心部と枠部の1往復で2本ずつ張られた。このため、網糸の数はきわめて多いが効率よく造網されていることがわかった。また、このような網目の細かい網を作製するのは、安定的に供給される餌資源である小形の昆虫を捕獲するための適応と考えられた。(新海 明)

## 第15回神経研シンポジウム —神経科学の新しい潮流—

神経科学とは、神経系の構造と機能（および近年ではその障害を含めて）のすべてを研究対象とする学問領域の総称です。

当研究所では、毎年1回研究成果の中から都民の医学的関心に応えるテーマを選び、最新の知識をわかりやすく解説するシンポジウムを開催してきました。

今回は、研究所開設20周年を機会に、研究所の新しい世代を代表する方々を中心にシンポジウムを組みました。医学、看護学、生物学の学部学生研究者はもちろん、一般の方の教養にも資する内容となっていますので、皆様の参加をお待ちしています。

日 時：平成4年9月2日(水) 9:30～18:00  
会 場：安田生命ホール（東京都新宿区）

### 〈プログラム〉

#### I 発生・分化と脳の分子機構をめぐって

中枢神経細胞の発生・分化・発生と変態／レセプター型チロシンフォスファターゼ：免疫および神経系細胞分化の調節／神経情報伝達とアデノシン受容体／細胞の情報伝達にかかる酵素分子の形態学

#### II 脳の高次機能とその障害をめぐって

知的行動と前頭連合野／視覚記憶と側頭連合野／大脳皮質の形成異常／運動障害と大脳基底核

#### III 神経難病との戦い

パーキンソン病／先天性筋ジストロフィー症／アルツハイマー症／神経難病の在宅ケアシステムへの取組み

参加費：無料、当日会場受付け、定員300名まで  
連絡・照会先：財団法人 東京都神経科学総合研究所  
電話 0423-25-3881 内線4104

# クモ類の進化と分類

小野展嗣

クモ類は節足動物門鉄角亜門クモ綱 (Arachnida) クモ目 (Araneae) に属し、もっとも古い化石は古生代デボン紀の地層から知られている。古生代の浅海に繁栄したウミサソリ類がクモ類の祖先で、それが上陸してサソリに進化し、さらにクモやダニなどの各群に分化していったものとの考えられる。クモ目は腹部が袋状になり体節が著しく退化し、糸いぼを有することが大きな特徴である。

糸いぼはもともと卵を腹部の下面に保持するための4対の腹肢が変形したもので、糸腺の起源は卵を抱えるための粘液を出す器官であったと推測される。はじめクモ類は穴居生活をしていたが、地上から植物上、空間へと生息域を広げていった。オニグモ類が造網性の、ハエトリグモ類が徘徊性のクモの頂点に位置するが、クモの進化を支えたのは、呼吸器官と生殖器官と出糸器官の変化である。

クモ目の分類は種の記載は進んでいるが、属以上のレベルの検討はたいへん遅れている。

現在、地球上には約3万5千種のクモ類が知られている。新種がつぎつぎに発見されているグループもあるので、この数は今後さらに増えるだろう。わが国では、30年前に700種のクモが記録されていたものが、現在では約1,200種になっている。クモ類のもっとも古い化石の記録は、今から約4億年前の古生代デボン紀のものである。クモ類は、約4億年の進化の歴史を通じて、今日、地球上のあらゆる環境に適応し、繁栄してきた動物であると言うことが

できる。

この繁栄が糸を出す能力とその駆使によってもたらされたことは明らかだが、ではなぜクモが糸を出すのか、という素朴な問いに答えることは非常に難しい。

## 1. クモはどのようにして地球上に登場したか

クモ類は分類学的にはクモ目 (Araneae) に属する動物である。また広い意味でクモ類（蛛形類）と言った場合はクモ綱 (Arachnida) のことを指し、サソリ目 (Scorpionida), ダニ目 (Acari), ザトウムシ目 (Opiliones) をはじめ11の現生の目と五つの化石だけから知られる目を含む。学名の Arachnida はギリシャ悲劇の中にでてくるアラクネという名の少女に由来する。アラクネは織物をつくるのが上手すぎたため、女神アテネの怒りにふれてクモの姿にされ、それ以来クモは一生糸を紡ぐようになったのだとう。

現実には、クモはいったいいつか糸を出すようになったのだろうか。クモ類は、昆虫類や、ヤスデ・ムカデなどの多足類、あるいはエビ・カニなどの甲殻類と同じ節足動物に属する。クモ類と、上にあげた動物とは形態学的に非常に異なっている。中でも昆虫類との対比はよく教科書などにも取りあげられているが、もっとも大きな区別点は、クモでは頭部と胸部がくっついて頭胸部をなしていて、触角や大顎や翅などがない。そして頭胸部（前体部）の第1付属肢は鋏角（上顎）というハサミ状の器官にな

っている。鋏角をもっている動物はクモ類のほかに、カブトガニやウミグモの仲間があり、それらをまとめて鋏角類（鋏角亜門、Chelicerata）という。鋏角類は、実は昆虫類などよりは早く地球上に出現した動物群で、その進化をたどっていくと、5億年以上前、古生代のカンブリア紀に出現してオルドビス紀にかけて栄え、やがて絶滅した三葉虫類にまでさかのぼる。

このもっとも原始的な節足動物から派生したアグラスピス類 (Agraspida) は鋏角をもつていて、クモを含む鋏角類の開祖といえる。鋏角類は古生代の海の中で独自の進化を遂げたが、やがて出現する甲殻類に圧倒されてしまう。カブトガニ類やウミグモ類は、その数少ない生き残りである<sup>1)</sup>。

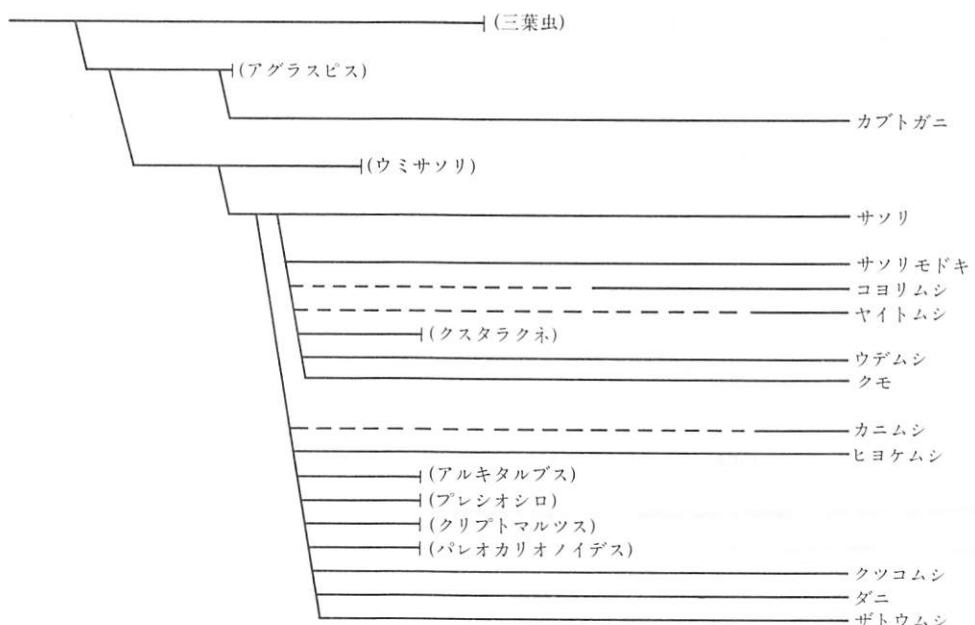
オルドビス紀からデボン紀にかけて、サンゴ礁の

ラグーンなどの浅海でウミサソリ (Eurypterida) という動物が繁栄した。この鋏角類の一群は、形態学的に現生のサソリと非常によく似ている。ウミサソリから陸上生活に適応したサソリが進化して陸に上がったことはほぼ疑いないと思われる。しかし、クモ綱に属するサソリやクモやダニなどの各目間の類縁関係についてはいろいろな説があって定説と呼べるものはまだない。コヨリムシ、ヤイトムシ、カニムシの各類を除くと、すべての目の動物がすでに古生代石炭紀には出現していたことがわかっている。ところが、それらの動物の分化の様子を示すような化石の証拠はほとんど見つかっていないため、クモ綱の系統を考察する際には、現生の各類の生物学的知見が比較検討されている。

その結果、分類法によって、また標徴のとり方に

表1 鋏角類各群の系統（カッコ内は絶滅した群；点線は化石の証拠のないもの；ウミグモ類の系統は不明ため表から除いた。）

(億年前)	6	5	4	3	2	1	0		
時代	先カンブリア 時代	カンブリア紀	オルドビス紀	シルル紀	デボン紀	石炭紀	二疊紀	中生代	新生代



よって諸説が出てくるのは当然かもしれない。クモ類の上陸についてさえ、サソリとそのほかの各類とはすでに水中で分かれしており、別々に上陸したという説もある<sup>2)</sup>。一般的なのは、はじめに上陸したサソリから各類が分化してきたという考え方である。いずれにしても、その舞台となったのは淡水の湿地帯であったと考えられている。

## 2. クモはなぜ糸を出すようになったのか

古生代に現われたクモの原型は、すでにアグラスピスやウミサソリやサソリのように扁平ではなく円筒形で、歩脚もコンパクトについている。このことから、最初に現われたクモは徘徊性ないし穴居生活をしていたことがうかがわれる。おそらく地面に穴を掘って潜み、入口を通りかかった獲物を穴に引きずり込んで食べていたものと思われる。

ここで問題となるのは糸いぼ（糸疣、出糸突起）の存在である。古生代デボン紀のクモが出糸管をもっていた証拠が最近見つかっている<sup>3)</sup>。現生のハラフシグモ類 (Mesothelae) は、化石で知られる古生代のクモとよく似ており、このクモがもっともよく祖先形質を保持していることには研究者の間でも異論がない。ハラフシグモ類の糸いぼは4対あって、肛丘から離れて腹部下面の中央部に位置する（図1）。そのうち前の2対は第10体節（第4腹節）に、

後ろの2対は第11体節（第5腹節）にあり、それぞれ外側の2対は長大で分節し可動であるが、内側の2対は短小で動かない。ここで重要なことは、ハラフシグモの糸いぼは大きく発達しているが糸腺が単純で出糸量も多くない点である。反対にもっとも発達しているオニグモ属 (*Araneus*) では、糸いぼは小さいが糸腺は実に7種類もあってそれぞれ違った性質の糸を出す。このことは、古生代の原始グモでは、大きい糸いぼが糸を出すこととは別の用途に使われていた可能性を物語っている。

外側の4本が長大で指のように動かすことができ、内側の4本は短小な突起という構造は、その中央に何かを抱えて保持するのに適した機能をもっている。雄にも糸いぼがあることに目をつぶれば、原始グモの雌は産んだ卵の塊を腹肢で抱え、糸腺はもともとその卵塊を腹肢につけておくための粘液を分泌する器官だったのではないかと考えられる。それがやがて、今日のハラフシグモ類にみられるように、卵塊を土と糸でつくった容器で包み、さらにふたをして、巣穴の奥に置くようになったものと思われる。

クモ綱の中で腹肢から由来する器官をもっているのはクモ目だけである。アグラスピスには多数の短い付属肢があるが、ウミサソリでは消失しており、もちろんサソリにもない。サソリからほかの各目が分化したとすると、クモ目だけに再び腹肢が現われることは奇異に感じられる。このことはサソリとク

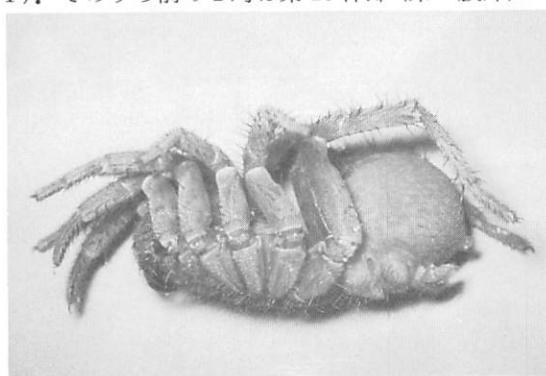


図1 アマミキムラグモ *Heptathela amamiensis* 雌。  
糸いぼの位置に注目。体長16mm (ハラフシグモ亜  
目キムラグモ科)。



図2 ジョウゴグモの一種 *Macrothele* sp. 雌。  
台湾産。体長20mm (ジョウゴグモ科)。

モとがすでに水中で分化していたとする考え方の一つの根拠になるかもしれないが、クモに近縁なウデムシ類に糸いぼやあるいはその相同器官の痕跡すらないことから、先祖がえりとは意味が違うにしても、クモにおいて腹肢が再び現われたとみるべきだろう。しかし、そもそも糸いぼは腹肢に由来するものではなく、特別の器官として新たに発達したものだとする意見もある<sup>4)</sup>。

### 3. クモの進化とその要因

さて、糸を出すようになったクモ類はどうやって今日みられるような多様な生態をもった動物に進化したのだろうか。クモ類についての生物学的な研究はここ数年の間に飛躍的に発展した<sup>5), 6)</sup>。とくに行動、生態学や生理学の分野ではつぎつぎに良著が刊行されている<sup>7)~10)</sup>。それらを総合すると、クモという動物がなぜ今日地球上でこのように繁栄し、多様な進化を遂げることができたかがおぼろ気ながら浮かび上がってくる。

クモ綱の中でもう一つ繁栄をなし遂げたグループにダニ類がある。ダニ類は体を極端に小さくすることと、食性を肉食性から生きている植物や腐植を食べる植食性や寄生性に変化させることで多様化し、また個体数のうえでは他をはるかに上まわっている。これに対し、クモ類は本来の肉食性を守りながらその捕虫技術を磨き、獲物の昆虫類の進化、発展に伴って今日に至ったことができる。もし飛翔性の昆虫が地球上に現われなかつたら、造網性のクモ類の進化はほとんどなかつたと言つてもよいだらう。

クモ類の進化には二つの方向性が認められる。一方は上に述べたように、飛翔性の昆虫を効率よく捕食するための造網能力を発展させたもので、もう一方は逆に網を捨て、徘徊性となって、地表や植物上のあらゆる生態的地位を獲得していくものである。前者のもっとも優秀なものは、かつては複雑な



図3 ヤミイロオニグモ *Araneus fuscocoloratus* 雌の円網  
(コガネグモ科)。

網を張るジョロウグモやスズミグモ、あるいは特定の昆虫に対してきわめて有効な網を張るトリノフンダマシ類などが考えられたが、最近の知見によると、網の構造や、糸そのものの物理・化学的性質がもっとも優れているのはオニグモ類が張る簡素な円網(図3)であるという<sup>11)</sup>。また徘徊性でもっとも進化しているのはハエトリグモ類(図4)である。運動能力や眼の発達においてハエトリグモの右へ出るクモはほかにない。

仮にハラフシグモ類をもっとも祖先的、またオニグモ類とハエトリグモ類をもっとも進化した両雄とみなして、この3者の形態を比較してみると、あら



図4 ネコハエトリ *Carrhotus xanthogramma* 雄  
(ハエトリグモ科)。

ゆる特徴に相異がみられる。オニグモやハエトリグモでは上顎、口器、眼、歩脚や触肢などが構造や機能の面でよく発達している。しかし、そうした外形の変化は昆虫類に比べると漸進といわざるをえない。ではクモにおいて何が劇的に変化したかというと、呼吸器官と生殖器官と出糸器官である。進化したクモでは書肺の後対が気管系に置き換わっている。また雌の生殖器には大きな袋状の受精囊<sup>のう</sup>と、生殖口とは別の受精口があって、それらと受精囊を結ぶ導管ができる。そして糸いぼは腹部後端の肛門と接近し、新しい糸腺が発達している。

実はこれらの大きな変化はすべて腹節の下面で起こっているのである。このことは従来見過ごされてきた事実であろうと思われる。気管系の発達は、開放血管系の欠点を補い、運動能力を飛躍的に増大させた。また新たな糸腺の発現は、捕虫のための造網能力や卵嚢の保護などをより効果的にし、生殖器の複雑化は生殖的隔離による種の多様化を促進した。これらのことことがすべてクモの進化の重要な要素と結びついている。おそらく、クモ類において腹部の体節の異常な退化が起ったことが、これらの器官の発達を可能にしたものと思われる。その原因是、水中か陸上かは不明だが、クモが穴居生活をしたことと大いに関係があるものと考えられる。

#### 4. クモの分類における問題点

これまで述べてきた数億年にも及ぶクモ類の進化の様子を概観したうえで、クモの分類体系を眺めてみると、いくつかの断層や矛盾を見つけることができる。現在われわれが使用しているクモの分類体系の骨格は、前世紀の末にフランスのクモ学者 Simon が構築したものである<sup>12)</sup>。以後 100 年間、もちろん幾多の修正、新知見がもたらされて今日に至っているが、そろそろクモ類全体にわたって分類学的な検討を試みるべき時期にきているのかもしれない。

わが国では、種のレベルの記載は非常に多く行な

われている。図鑑類も充実しており、琉球諸島や北海道を除けば、採集したクモ類の 9 割以上は同定することができる。しかし、属以上の分類単位になると解決しなければならない問題がいくつもある。そのうちおもなものを拾い出して今後の課題としたい。

まずクモ目を Petrunkevitch<sup>13)</sup> のようにハラフシグモ亜目 (Liphistiomorphae), トタテグモ亜目 (Mygalomorphae), クモ亜目 (Araneomorphae) に分けているが、これはハラフシグモ亜目 (Mesothelae) とクモ亜目 (Opisthothelae) の 2 亜目とすべきである。腹部体節および糸いぼ、生殖器などの相異をはじめあらゆる視点からみてハラフシグモ類とその他の 2 亜目を同列に置くのは自然ではない。

つぎにクモ亜目を篩板<sup>しべん</sup>の有無で篩板類 (Cribellatae) と無篩板類 (Ecribellatae) に分けているが、両者は単系統群ではないという指摘は古くからある<sup>13, 14)</sup>。もともと篩板類、無篩板類がどの分類単位に当たるのか曖昧であったし、篩板についてはまだ未知な面も多い。しかし、篩板をもつクモが、いくつかの限られた特殊なグループにしかみられない点は、ある限定された状況において発現してきた形質であることを示唆しているようにも思われる。単性域類 (Haplogynae) が単系統群であるとする説<sup>15)</sup>は、生殖器の構造の比較においても納得できる。

最近 Raven<sup>16)</sup> によってトタテグモ類の科、属の検討が行なわれたが、コガネグモ上科 (Araneoidea) 内の科の扱いはいまだに混乱をきわめている。種数ではおそらく全クモ類の半分近くを占める大群であるので、早急な検討が望まれる。

人間が生物を総合的に認識するうえでもっとも基本的な手段が分類学である。クモ類を研究するうえでも、分類学はもっとも古くさく、しかももっとも新しい分野であるといえるだろう。

## 引用文献

- 1) 関口晃一：カブトガニの不思議。岩波新書（1991）。
- 2) Bristowe, W. S. : The World of Spiders. Collins, London (1958).
- 3) Shear, W. A. et al. : Science, 246, 479-481 (1989).
- 4) 八木沼健夫：クモの紡績器官に関する諸問題。植賀先生喜寿祝賀記念論文集, pp.1-11, 兵庫県立三原高等学校 (1963).
- 5) Kullmann, E. and H. Stern : Leben am Seidenen Faden. Bertelsmann, München (1975).
- 6) Foelix, R. F. : Biology of Spiders. Harvard Univ. Press (1982).
- 7) Witt, P. N. and J. S. Rovner (eds.) : Spider Communication, Mechanisms and Ecological Significance. Princeton Univ. Press (1982).
- 8) Barth, F. G. (ed.) : Neurobiology of Arachnids. Springer Verlag, Berlin (1985).
- 9) Shear, W. A. (ed.) : Spiders : Webs, Behavior, and Evolution. Stanford Univ. Press (1986).
- 10) Nentwig, W. (ed.) : Ecophysiology of Spiders. Springer Verlag, Berlin (1987).
- 11) Vollrath, F. : クモの糸のかくれた能力。小野展嗣訳, 日経サイエンス, 22 (5), 60-68 (1992).
- 12) Simon, E. : Histoire Naturelle des Araignées, 2<sup>me</sup> ed. Roret, Paris (1892-1903).
- 13) Petrunkevitch, A. : Systema Aranearium. Trans. Connect. Acad. Arts Sci., 29, 1-270 (1928).
- 14) Lehtinen, P. T. : Annls. zool. fenn., 4, 199-468 (1967).
- 15) Platnick, N. I. et al. : Amer. Mus. Novit., (3016), 1-73 (1991).
- 16) Raven, R. J. : Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., 182, 1-180 (1985).

(おのひろつぐ, 国立科学博物館 動物研究部)

## 月刊 海洋

～237号は¥1,545(本体¥1,500), 238号～は¥2,000(本体¥1,942)  
在庫切れの筋は御了承を。

- 231 内部潮汐……………長島秀樹・他
- 232 局地性湧昇域……………高橋正征・他
- 233 第4・暖水塊(1)……………杉本隆成・他
- 234 第4・暖水塊(2)……………川崎康寛・他
- 235 微小動物プランクトン(1)……………谷口旭・他
- 236 微小動物プランクトン(2)……………谷口旭・他
- 237 海洋生物のジーンバンク……………嵯峨直恒・他
- 238 北太平洋亜寒帯循環……………大谷清隆・他
- 239 インド洋の海洋地質(1)……………新妻信明・他
- 240 インド洋の海洋地質(2)……………天野一男・他
- 241 東北地方の異常気象と海況変動……………浅井富雄・他
- 242 海底ケーブル利用……………笠原順三・他

## 号外 海洋

- 1 海洋学—その課題と展望— …… ¥4,635 吉田耕造・他
- 2 黒潮—その諸問題— …… ¥4,120 庄司大太郎・他
- 3 大気・海洋相互作用と混合層 ¥4,000 花輪公雄・他

## 月刊 地球

～129号は¥1,545(本体¥1,500), 130号～は¥2,000(本体¥1,942)  
在庫切れの筋は御了承を。

- 122 人工衛星アルチメトリー……………瀬川爾朗・他
- 123 日本海の形成とフォッサマグナ…石橋克彦・他
- 124 琉球弧の海洋地学……………氏家宏・他
- 125 付加プリズム(1)……………平朝彦・他
- 126 付加プリズム(2)……………木村学・他
- 127 地球(宇宙)物性(1)……………池谷元伺・他
- 128 地球(宇宙)物性(2)……………小林正・他
- 129 海底拡大系(1)……………本座栄一・他
- 130 海底拡大系(2)……………玉木賢策・他
- 131 海底物理探査……………上田誠也・他
- 132 統・群発地震……………久保寺章・他
- 133 日本列島の構造発達(1)……………黒田吉益・他
- 134 日本列島の構造発達(2)……………桜井康博・他

## 号外 地球

- 1 物理探査法…………… ¥3,090 石井吉徳・他
- 2 地球中心核…………… ¥3,090 行武毅・他



海洋出版株式会社

図書目録進呈

〒191 東京都日野市三沢803 振替東京9-2355  
TEL 0425-94-2654 FAX 0425-94-2924

# 糸を紡ぐ器官

吉田 真

クモはさまざまな種類の糸を作り出すことによって発展した、特異なグループである。糸疣はおそらく、第10・11体節の付属肢が変形したものであり、古蛛亜目においては腹部下面のなかほどに位置していたが、後に腹部末端に移動した（原蛛亜目と新蛛亜目）。

古蛛亜目が糸疣から引き出す糸は1種類にすぎないが、糸の使用量の増大に比例して、原蛛亜目では3種類の糸を、新蛛亜目で7種類の糸まで作り出すものが現われた。

糸の種類数の増加はさまざまなタイプの糸腺ができたことを意味しており、新蛛亜目のほとんどのクモは瓶状腺、ナシ状腺、ブドウ状腺、管状腺の四つの糸腺をもち、用途に応じてこれらの糸腺からできる性質の異なる糸を使い分ける。

さらに、円網を張る種を多く含むコガネグモ上科では、粘着性の横糸を作る鞭状腺と集合腺が開発された。また、別なタイプの粘着糸を作る篩板類では、偽鞭状腺、篩板糸腺、側篩板糸腺の三つが開発された。

## はじめに

糸を紡ぐ器官は、節足動物においてはクモ、ダニ、各種の昆虫、多足類などさまざまなグループでみられる。カイコが作る繭はその一例であり、幼虫が糸を出す昆虫が多い。ただし彼らは、1種類の糸だけを分泌する。

これに対してクモの多くは、性質の異なる数種類の糸を分泌し、用途に応じて使い分ける。この小論では、日本ではまだあまり紹介されていない近年の欧米の諸研究を紹介しながら、クモ類の糸を紡ぐ器官の多様性とその機能について解説する。

### 1. 円網を構成する糸

コガネグモやオニグモは円網を張る（本特集 大崎の図1を参照）。指で触るとすぐわかるところだが、縦糸（放射糸）や枠糸には粘着性はない。

これらの糸は太く、強く、あまり収縮しない硬い糸である。それらはいわば網の骨組みであり、餌となる昆虫が当たっても壊れない強度を要求される。それは腹部末端の糸疣（糸いぼ）に開口する瓶状腺で作られる。

これに対して、横糸は粘着性である。虫眼鏡や低倍率の顕微鏡で観察すると、電線についた雨の滴のように、横糸に小球がついている。この小球はにかわ状の物質でできており、集合腺と呼ばれる糸腺で作られる。

横糸の地糸（軸糸）には粘着性がないが、縦糸や枠糸に比べて細く、弱く、伸縮性に富んでいて、鞭状腺と呼ばれる糸腺で作られる。つまり、横糸は鞭状腺と集合腺の合作である。

円網には、縦糸同士、縦糸と枠糸、横糸と縦糸の接点が多数ある。これらの接点をしっかりと固定しなければ、円網は壊れてしまうだろう。接点の固定には、ナシ状腺で作られる粘着性の糸が使われる。

このように、円網の製作には、瓶状腺、ナシ状腺、鞭状腺、集合腺の四つの糸腺が使われる。このなかで、瓶状腺とナシ状腺は古いタイプの糸腺であり、現存するクモの大部分が属している新蛛亜目のクモは、ほとんどの場合これらの糸腺をもっている。

これに対して鞭状腺と集合腺は新しいタイプの糸腺であり、コガネグモ科とそれに近縁の諸科（アシナガグモ科、ヒメグモ科、サラグモ科など）のクモだけがこれらの糸腺をもっている（これらの科をまとめてコガネグモ上科と呼ぶ）。

## 2. 糸の投げかけと卵嚢の製作

網に餌がかかると、コガネグモは多くの場合餌に直接かみつかず、餌から離れてチュウインガムのような糸の帯を投げかける（図1）。たちまちのうちに餌は真っ白な糸で包まれ、クモはおもむろに身動きのできなくなった餌にかみつく。捕帶と呼ばれる粘着性の強いこの糸の帯は、ブドウ状腺で作られる。

クモはかなり多くの卵を一度に生む。ブドウ状腺で作られた糸は、この卵塊の梱包にも使われる（卵塊を包むこの袋を卵嚢と呼ぶ）。雄では、この糸にはもっと特殊な用途がある。精網と呼ばれる、精液を蓄える小さな網をこの糸で作るのである。

管状腺は雌にのみ存在し、雄には欠けている。この腺はもっぱら、卵塊を梱包する糸を作り出すため

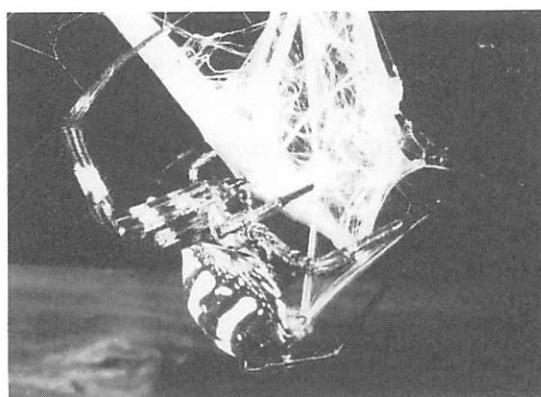


図1 網にかかった獲物に捕帶を投げかけるコガネグモ。  
捕帶は、ブドウ状腺から引き出される。

のものである。卵巣で卵黄が形成され始めると、管状腺は糸の生産を開始する。

このようにコガネグモでは、先に述べた瓶状腺、ナシ状腺、鞭状腺、集合腺に加えて、ブドウ状腺、管状腺と、計6種類の糸腺をもっている。新蛛亜目の中でもコガネグモ上科に含まれない科、たとえばタナグモ科などでは、鞭状腺と集合腺は欠けており、これらの科は、瓶状腺、ナシ状腺、ブドウ状腺、管状腺の4種類の糸腺をもっている。

## 3. 糸疣と糸腺

図2は新蛛亜目ワシグモ科の糸疣を示している。この図のように、クモの多くは前疣・中疣・後疣がそれぞれ1対、計6個の糸疣をもっている。図3はジョロウグモの糸疣と糸腺を示したものである。

瓶状腺は、前疣と中疣に1対ずつ開口する場合が多く、前疣のものは大型、中疣のものは小型である（図3、4）。ただし、イノシシグモ科の *Dysdera erythrina* やヤギヌマグモ科の *Telema* は1対、ハエトリグモ科やタナグモ科の *Agelena* は4対の瓶状腺をもっている<sup>4, 6, 9, 13)</sup>。

瓶状腺で作られる糸は大型の出糸管（図4）を経て引き出され、円網以外にもさまざまな網の作製に使われる。歩きながら引き出す「引き糸」や、クモが網からぶら下がる際にもこの糸が使われている。

ナシ状腺は西洋ナシのような形をしていることから名づけられた小さな腺で、前疣にのみ多数の小型の出糸管が開口している（図3、4）。クモは多数の出糸管から粘着性の糸を同時に分泌して、付着盤を作る。

付着盤は、糸と糸の接着に使われることが多いが、木の枝からぶら下がる際の糸と木の枝の接着などにも使われる。またワシグモ科のクモは、数は少ないが大型のナシ状腺をもっており、餌の捕獲に使用するという<sup>8)</sup>。

ブドウ状腺は、中疣および後疣に開口する多数の

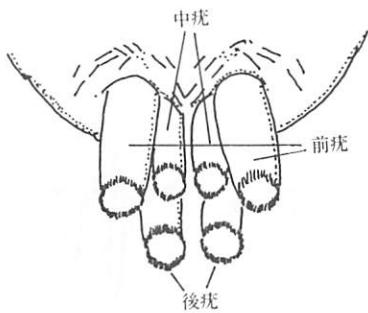


図2 ワシグモの糸疣。前疣、中疣、後疣がそれぞれ1対ずつある。Bristowe (1958)を改写。

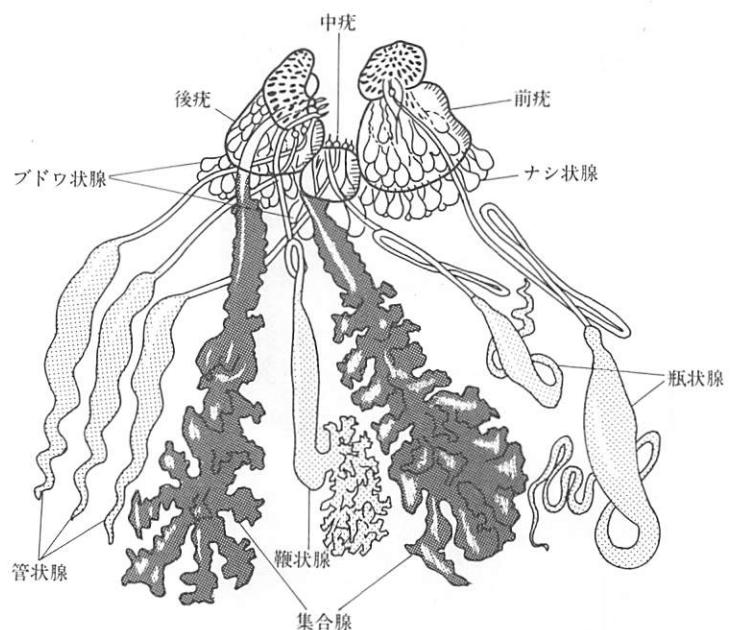


図3 ジョロウグモ属 (*Nephila*) の糸腺と糸疣。Peters (1955) を改写。

小さな腺である(図3, 4)。ブドウ状腺の機能はすでに述べた。捕帶を頻繁に使って餌を捕えるクモや入念に卵嚢を作るクモは、一般に数多くのブドウ状腺をもつ<sup>8)</sup>。

管状腺はコガネグモ上科などでは3対あり、1対は中疣、2対は後疣に、広い口をもつ大型の出糸管を通して開口する(図3, 4)。ただしタナグモ科やガケジグモ科は4対<sup>8)</sup>、コモリグモ科の *Pardosa amentata* は43対もの管状腺をもっている<sup>19)</sup>。

鞭状腺と集合腺は、先に述べたようにコガネグモ上科だけに存在する。集合腺は2対、鞭状腺は1対あり、どちらも後疣に開口している(図3, 4)。集合腺は多くの突起をもつ大きな腺で、鞭状腺をはさんで2本の集合腺が位置し、鞭状腺から引き出される粘着性を欠く糸に集合腺から出るにかわが付着される。

#### 4. ウズグモの円網

ウズグモ類の網(図5)は、神社やお寺の軒下のような薄暗くてじめじめした場所に張られていることが多い。こしき付近に付けられた渦巻状のリボン

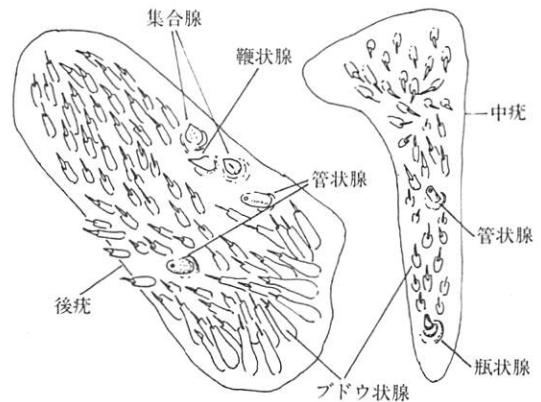
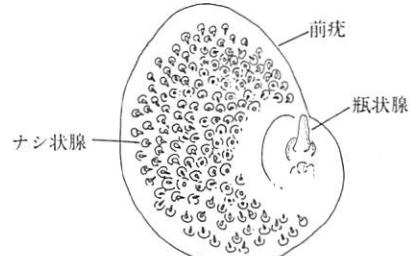


図4 コガネグモ科の糸疣と出糸管の模式図。Coddington (1989) を改写。



図5 ウズグモ類の網。

(隠れ帯と呼ぶ)を除けば、この網はコガネグモやオニグモの円網と同じようにみえる。

しかし、重大な違いが横糸にある。虫眼鏡でみると、コガネグモ科の円網の横糸が滴のついた電線のように見えるのに対して、ウズグモ類の横糸はミシン目のように、「-----」とみえる。

ウズグモ類の横糸は三つの要素からなる(図6c)。コガネグモの場合とは異なり、平行して走る2本の地糸(軸糸)がある。これは、左右の後疣に開口する偽鞭状腺と名づけられた糸腺<sup>8)</sup>から引き出されたものである。

地糸(軸糸)には、非常に細いぢぢれた纖維の塊(これをパフと呼ぶ:図6c,d)が付けられている<sup>10)</sup>。この微小纖維の直径は約0.01 μmで、篩板糸腺と呼ばれる特殊な糸腺から引き出される。パフは強い接着力をもっており、それはおそらく、パフの表面の物理的性質であろうといわれている。

ウズグモ類は、前疣・中疣・後疣のほかに篩板と

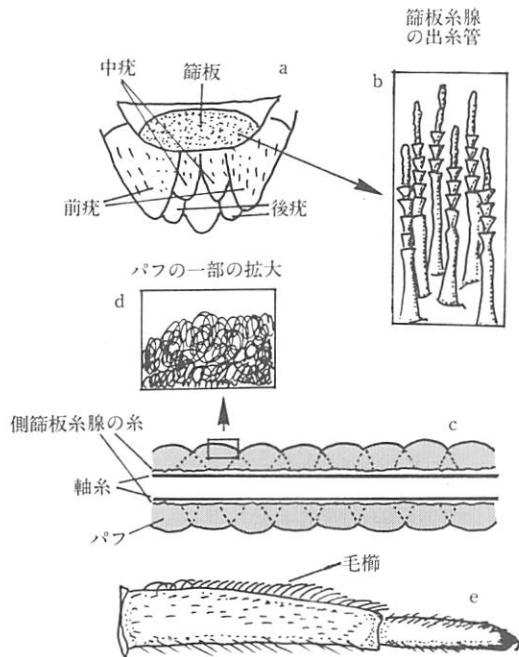


図6 a. ウズグモ類の糸腺と篩板, b. 篩板糸腺の出糸管, c. ウズグモ類の横糸の構造, d. パフの拡大図, e. 毛櫛。篩板糸腺から引き出された糸を梳く特殊な毛の列である。a, c, dは鶴崎(1989)を, bはPeters(1987)を, eはBristowe(1958)を改写したものである。

呼ばれる特殊な糸疣をもっており、篩板には数千もの微小な篩板糸腺の出糸管(図6b)がある。彼らは、篩板糸腺から引き出された非常に多くの微小纖維を毛櫛<sup>11)</sup>と呼ばれる第4脚の蹠節にある特殊な毛の列(図6e)で梳いて、帶状に揃えられた糸を地糸に絡ませ、パフとする。

ウズグモ類の横糸の第3の要素は、中疣に開口する側篩板腺<sup>12)</sup>から引き出される微小纖維であり、多くの微小纖維が地糸(軸糸)に沿って並べられる(図6c)。これらの微小纖維はまた、2本の地糸(軸糸)の間のプリッジにもなっているという<sup>13)</sup>。

このようにウズグモ類の横糸は、偽鞭状腺・篩板糸腺・側篩板腺の三つの腺によって作られる。

## 5. 篩板類と無篩板類

新蜘蛛目には篩板をもつ科がいくつかある。ウズ

表1 篩板類と無篩板類の糸腺。○はその科が糸腺をもつていていることを、一はもっていないことを示す。

	瓶状腺	ナシ状腺	ブドウ状腺	管状腺	鞭状腺	集合腺	偽鞭状腺	篩板系腺	側篩板腺
<b>無篩板類</b>									
ヤマシログモ科 <sup>8)</sup>	○	○	○	—	—	—	—	—	—
ユウレイグモ科 <sup>8)</sup>	○	○	○	—	—	—	—	—	—
コモリグモ科 <sup>19)</sup>	○	○	○	○	—	—	—	—	—
アシダカグモ科 <sup>22)</sup>	○	○	○	○	—	—	—	—	—
タナグモ科 <sup>6)</sup>	○	○	○	○	—	—	—	—	—
ハエトリグモ科 <sup>8)</sup>	○	○	○	—	—	—	—	—	—
ヒメグモ科 <sup>6)</sup>	○	○	○	○	○	○	—	—	—
コガネグモ科 <sup>20)</sup>	○	○	○	○	○	○	—	—	—
<b>篩板類</b>									
ハグモ科 <sup>8)</sup>	○	○	○	○	—	—	—	○	(—)
カヤシマグモ科 <sup>8)</sup>	○	○	○	○	—	—	—	○	(—)
ガケジグモ科 <sup>8)</sup>	○	○	○	○	—	—	○	○	(—)
ウズグモ科 <sup>7)</sup>	○	○	○	○	—	—	○	○	○

\* 科名の肩番号は文献番号を示す。

グモ科、メダマグモ科、ガケジグモ科、エボシグモ科、ハグモ科、カヤシマグモ科、チリグモ科などである。これらの科をまとめて篩板類と呼ぶ。

この中で、円網を張るのはウズグモ科とメダマグモ科だけであり、それ以外の科はさまざまな形の不規則網を張る。これらの不規則網にも篩板糸腺で作られた微小繊維はあちこちに付けられており、餌の捕獲に役立っている。

新蛛亜目の中で篩板をもたないものを無篩板類と呼ぶ。粘着性の糸を使って網を作る無篩板類はコガネグモ上科だけであり、それ以外の無篩板類の網には粘着性はない。

表1は、篩板類と無篩板類のいくつかの科がもつ糸腺の種類を示したものである。

## 6. 古蛛亜目の糸疣と糸腺

クモ目は古蛛亜目、原蛛亜目、新蛛亜目に分けられる。古蛛亜目はもっとも原始的なグループであり、ハラフシグモ科とキムラグモ科が現存している。ハラフシグモ類は腹部背面に体節の名残りをもってい

る、現存のもっとも原始的なクモである。

原蛛亜目や新蛛亜目の糸疣が腹部末端に位置するのに対して、古蛛亜目のそれは腹部下面のなかほど（第10・11体節）に位置している（図7）。これらの糸疣は、起源的には体節の付属肢の変形に由来するといわれている。

そのことは、ハラフシグモ類の発生過程の観察によっても示唆される。すなわち、まず第10・11体節に付属肢がそれぞれ1対ずつ生じ、後にそれは外枝と内枝に分かれ、結局8個の糸疣が生じる。

この糸疣に開口する糸腺は、付属肢の基節にあつた分泌腺（基節腺）に由来すると考えている学者が多い（たとえば Bristowe, 1932<sup>11)</sup>。糸腺で作られた糸は糸疣に開口する出糸管を通じて引き出されるが、この出糸管は毛が変形したものと考えられている。古蛛亜目の糸疣はその位置によって、第10体節の前内糸疣と前外糸疣、第11体節の後内糸疣と後外糸疣に分けられる（図7）。

ハラフシグモもキムラグモも、ともに穴を掘ってそのなかに生活している。これらのクモでは糸は卵塊の梱包や住居（穴）の補修、および穴の入り口の蓋の作成に使われる。これらのクモの糸腺は数百あるが、そこで作られる糸は1種類のようである<sup>24)</sup>。

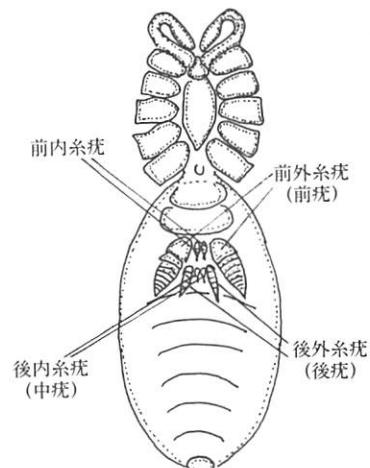


図7 ハラフシグモ類の糸疣。Foelix (1982) を改写。

## 7. 糸疣の退化と変形

クモ類の最古の化石は古生代のデボン紀から発見されており、初期のクモたちはおそらく、ただ1種類の糸を出す4対の糸疣をもっていたのであろう。現存の古蛛亜目のクモも4対の糸疣をもってはいるが、ハラフシグモ科の *Liphistius desultor* では、前内糸疣には出糸管はない（図8）。

前内糸疣は現存のクモでは退化ないし変形している場合が多い。そこで通常は、前内糸疣を除いて、前外糸疣・後内糸疣・後外糸疣をそれぞれ、前疣・中疣・後疣と呼んでいる。

新蛛亜目の無篩板類では、前内糸疣は消失するか、または左右の前内糸疣が合体して機能をもたない間疣となっている。これに対して篩板類では、前内糸疣はやはり合体して篩板を形成している。また原蛛亜目の多くの種では、前内糸疣だけではなく前外糸疣もまた完全に消失している（図8）。

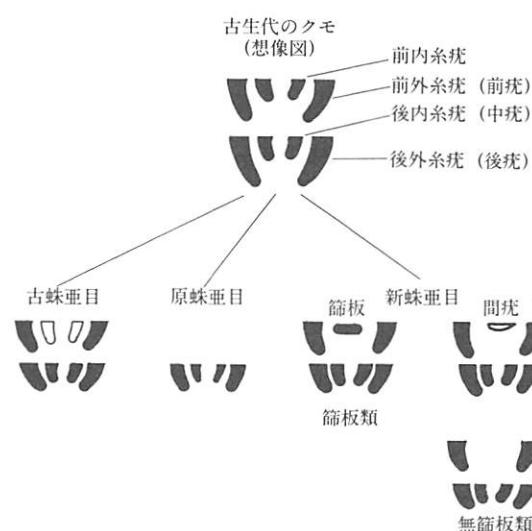


図8 クモの各亜目の糸疣の構成。黒色は出糸管をもつ機能的な糸疣を、白抜きは出糸管をもたない（機能していない）糸疣を表わす。Foelix (1982) を改写。

## 8. 原蛛亜目の糸腺

原蛛亜目はトタテグモ類、ジョウゴグモ類、ジグモ類などを含んでおり、これらは基本的には穴居生活者である。トタテグモ類の多くはキムラグモと同様に、糸で裏打ちされた穴と扉をもっている。

これに対してジグモ類の住居は、長さ数十cm、直径1~2cmの糸で作られた丈夫な袋であり、約半分は地中に、残りは地上に出ている。またジョウゴグモの住居は「ジョウゴ（漏斗）」の名のごとく、地中へと続く筒と外に広がるシート網からなる。

このように、古蛛亜目に比べて、原蛛亜目では住居の製作に大量の糸が使われるようになり、これに関連して糸腺も発達していくことになる。糸腺の数はカネコトタテグモ属で1種類<sup>14)</sup>であるのに対して、ジグモ属で2種類<sup>4)</sup>、ジョウゴグモ属の *Hexathele hochstetteri* で3種類であるという。ただし複数種類の糸をどのように使い分けているかについては、まだ報告がない。

## 9. それ以外の糸腺

今まで、糸疣（篩板を含む）に開口する糸腺について述べてきたが、それ以外の糸腺も存在する。その一つは、ヤマシログモ類が口から吐き出す鉄角腺である（図9）。

ユカタヤマシログモは屋内に住む5~8mmほどのクモで、網を張らず、粘着性の糸を口から発射して餌を捕える（図9）。この糸腺はいくつかの裂片と大きな袋からなり、毒腺が変形したものといわれており<sup>12)</sup>、分泌される糸はタンパク質の地糸に薄い糖タンパクの微小纖維が絡みついたものである。

糸疣に開口しないもう一つの糸腺は、多くのクモの雄がもつ特殊な糸腺である。雄の生殖口の近くの胃外域にある数個の小さな糸腺がそれで、胃外域糸腺と呼ばれる。

トリクイグモ科の *Pamphobeteus nigricolor* につ

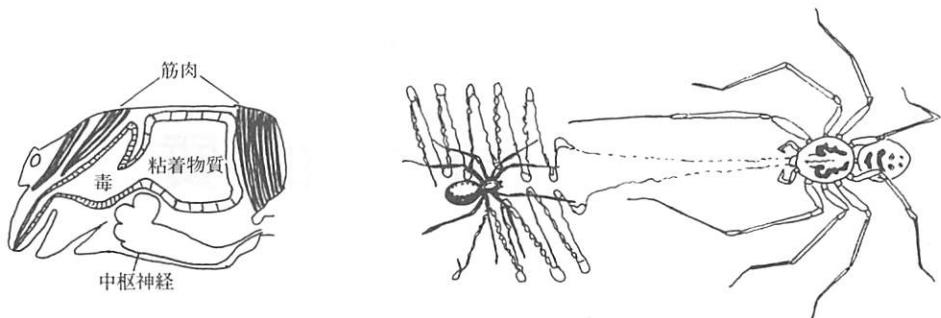


図9 ユカタヤマシログモの鋏角腺（左）と餌捕獲（右）。このクモは、頭胸部の筋肉を収縮させて、毒と粘着質の糸を口から発射する。Foelix (1982) を改写。

いての観察によれば、交接の前に雄はまず、石の間などに精網を作る<sup>11)</sup>。これはすでに述べたように、雄が精液を蓄えるためのもので、糸疣に開口するブドウ状腺から引き出された糸で作られる。その後で雄は、胃外域腺から引き出した微小な糸で精網の上に小さなシートを作り、そのうえに精液を置くのである。

### 引用文献

- 1) Bristowe, W. S.: Proc. Zool. Soc. (London), **103**, 1015-1057 (1932).
- 2) Coddington, J. A.: J. Arachnol., **17**, 71-95 (1989).
- 3) Foelix, R. F.: Biology of Spiders. Harvard Univ. Press, 306pp. (1982).
- 4) Glatz, L.: Z. Morph. Tiere, **72**, 1-26 (1972).
- 5) Kaston, B. J.: How to Know the Spiders. 3rd ed. Wm. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa. 272pp. (1978).
- 6) Kovoor, J.: Caractères adaptatifs et caractères familiaux des glandes sericigènes dans le genre *Hippasa* E. Simon (Araneae, Lycosidae). CR 3e Coll Arachnol. Exp. Fr. Les Eyzies '83-96 (1976).
- 7) Kovoor, J.: Rev. Arach., **1**, 89-102 (1977).
- 8) Kovoor, J.: Comparative structure and histochemistry of silk-producing organs in arachnids. In Ecophysiology of spiders, Nentwig, W. ed., 160-210 (1987).
- 9) Kovoor, J. and A. Lopez: Mem. Biosphel., **10**, 419 -426 (1983).
- 10) Lehmensick, R. and E. Kullmann: Zool. Anz., **19** (Suppl.), 123-129 (1956).
- 11) Melchers, M.: Z. Morph. Okol. Tiere, **53**, 517-536 (1964).
- 12) Millot, J.: Bull. Soc. Zool. Fr., **55**, 150-175 (1930).
- 13) Millot, J.: Bull. Soc. Zool. Fr., **60**, 501-510 (1935).
- 14) Palmer, J. M., F. A. Coyle and F. W. Harrison: J. Morph., **174**, 269-274 (1982).
- 15) Peters, H. M.: Z. Naturforsch., **103**, 395-404 (1955).
- 16) Peters, H. M.: Zoomorphology, **104**, 96-104 (1984).
- 17) Peters, H. M.: Fine structure and function of capture threads. In Ecophysiology of Spiders, Nentwig, W. ed., 187-202 (1987).
- 18) Peters, H. M. and J. Kovoor: Zoomorphology, **96**, 91-102 (1980).
- 19) Richter, C. J. J.: Z. Morph. Tiere, **68**, 37-68 (1970).
- 20) Sekiguchi, K.: Sci. Rep. Tokyo Kyouiku Daigaku Sect., **B8**, 23-32 (1955).
- 21) 鶴崎展巨：円網のきた道。クモのはなし I (梅谷献二・加藤輝代子編著), 技報堂出版, pp.163-173 (1989).
- 22) 山口鉄男・坂口未美：長崎大学教育学部紀要 (自然科学), **9**, 7-13 (1968).
- 23) 吉倉 真：クモの不思議. 岩波新書 (1982).
- 24) 吉倉 真：クモの生物学. 学会出版センター, 613 pp. (1987).

(よしだまこと, 立命館大学 理工学部 生物学教室)

# クモの糸の性質

大崎茂芳

クモの命綱である牽引糸は、結晶性は低く、その密度が $1.1\sim1.3\text{ g/cm}^3$ にあり、分子量は30万程度である。糸を構成するタンパク質は、主として三つの代表的なアミノ酸残基の繰り返しからなり、違った種のクモではアミノ酸組成が異なることがわかった。牽引糸は、タンパク質の分子鎖が糸の長さ方向に配向しており、弾力性が強く、 $200^\circ\text{C}$ までは熱的に安定であることがわかった。また、光学的には秋になると雌のジョロウグモの糸は450 nm付近に吸収を示し、黄金色になることを数値的に裏づけた。成熟したクモから出される糸は、若いクモの糸よりも紫外線劣化が起こりやすいが、カイコの糸よりも劣化しにくいことがわかった。このような性質をもつクモの糸におけるタンパク質のアミノ酸配列を明らかにすれば、遺伝子工学を用いてクモの糸を合成できる可能性が示唆される。

## はじめに

野山を歩いていると、昆虫がクモの巣に引っ掛けってもがいていたり、クモが捕獲した大きなセミやガなどを糸で吊り上げようとしていたり(口絵『クモの糸の性質』参照)、また、先端を木に固定した細い糸に大きなクモが垂れ下がっている場面に出くわすことがしばしばある。その際、クモの糸の粘着力の強さや弾力性、さらに強靱さなどに感心させられることが多い。

糸は、クモが日常生活を営んでいくうえで必要不

可欠な道具である。このように重要な役割を担っている糸は、クモの長い進化の歴史において、目的に適した性質を授かってきたものと思われる。

ここでは、クモの糸の性質を、主として物理化学的な観点から探ってみることにしよう。

## 1. 糸の種類

世界で3万種もいるすべてのクモは糸を出すが、

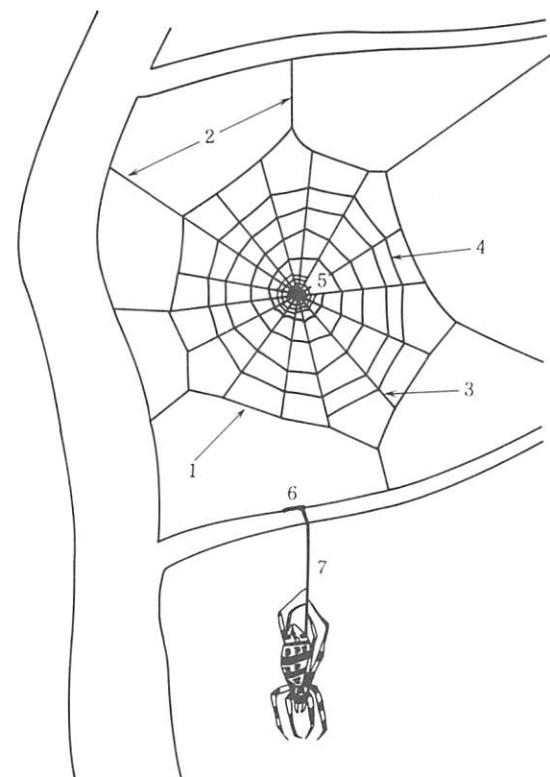


図1 クモの網の構造。1：輻糸、2：繫留糸、3：縦糸、4：横糸、5：こしき、6：付着盤、7：牽引糸。

約半数しか網を張らない<sup>1, 2)</sup>。張られているクモの網を注意深く観察してみると、種々の糸から構成されていることがわかる(図1)<sup>3)</sup>。たとえば、円網では中央部に糸をやや密に張った「こしき」というクモの生活場所がある。この「こしき」から外へ放射状に伸びている「縦糸」や渦巻を作っている「横糸」がある。「横糸」には、蛍光性を示す粘着球がほぼ等間隔についており(口絵参照)<sup>3)</sup>、これに飛来した獲物がくっつく。獲物があばれ巣全体を壊さないように「横糸」は少したるんでおり、「縦糸」との接合部から切れるようになっている。また、いちばん外側で網を囲んでいる「枠糸」や「枠糸」と木とをつなぐ「繫留糸」がある。クモが網の内外で移動する際、腹部から出した「牽引糸」を背後の「こしき」や木などに「付着盤」で固定している。この牽引糸は、クモが危険に遭遇した場合や網にかかった獲物を捕獲する場合などの迅速な行動に不可欠な命綱なのである。さらに、獲物を巻き取るための糸である「捕獲帶」とか、卵を保護するための「卵嚢」などがある。この卵嚢表面は、太い糸と非常に細い糸の纖維から構成されており(図2参照)、卵を外敵から守り内部を適温に保つ機能をもっている<sup>4, 5)</sup>。これらの糸は、クモの腹部にある7種類の糸腺から分泌され、用途に応じて使い分けされている<sup>6)</sup>。

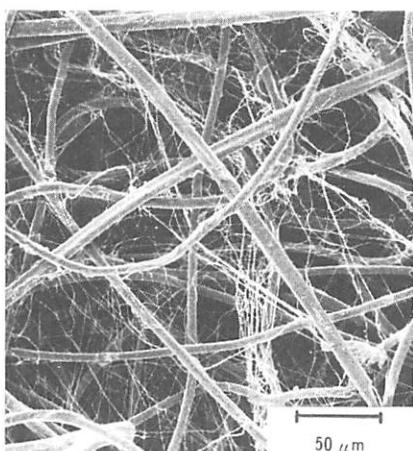


図2 コガネグモ卵嚢の表面。

## 2. 糸の採取

クモが張る網は、種々の糸から構成されているが、ここでは主として、クモの腹から強制的に採取した粘着性のない牽引糸をサンプルとした。

6月ごろの幼年期におけるジョロウグモの糸は非常に細いため、物理測定に適した量を得るには、根気のいる作業が必要である。9月ごろの求愛シーズン初期における雌グモは身体も大きくなり、比較的大い糸を出し、糸巻きには協力的である。しかし、妊娠して体の大きくなつた雌グモは、図太くあまり協力的でない。一方、秋においては、雌と比べて10分の1以下と身体の小さい雄は、かなり糸巻きに協力的であるが、出す糸は細く<sup>7)</sup>採取の成果はあまりよくない。コガネグモでは、ジョロウグモやズグロオニグモ(図3参照)より糸が太くて比較的採取しやすい。しかしながら、コガネグモの体重は重いの

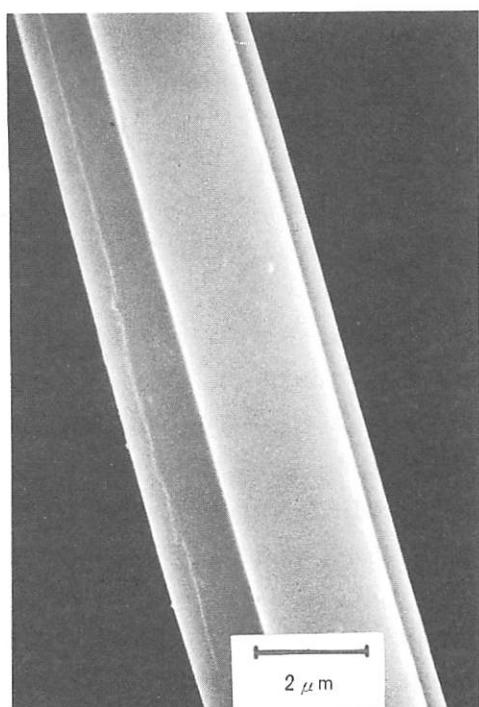


図3 ズグロオニグモ牽引糸の電子顕微鏡写真(牽引糸は数本の纖維から成り立っている)。

で、巻き続けても身体を支えている糸が切れないように、巻き方の工夫が必要である。いずれにしても、連続的に長く糸を巻き取るには、クモの機嫌をとりつつ、クモと呼吸を合わせることが大切である（口絵参照）。筆者の開発した糸巻き器では、牽引糸の端を巻きつけた金属フレームをモーターで回転させて、クモの腹から糸を連続的に巻き取るのである。この方法を用いると、クモの牽引糸を毎秒 20 cm 程度の速さで、一頭あたり 50~100 m ぐらいは巻き取ることができる。

### 3. 糸の密度・分子量・構造

ジョロウグモの牽引糸の 20 °Cにおける密度は、6 月では 1.13 g/cm<sup>3</sup>、10 月では 1.29 g/cm<sup>3</sup>と採取する季節によって変わった<sup>8)</sup>。ズグロオニグモおよびコガネグモの牽引糸の密度は、それぞれ 1.27 g/cm<sup>3</sup>（9 月）および 1.28 g/cm<sup>3</sup>（8 月）であった。また、卵嚢の密度は、ジョロウグモでは 1.28 g/cm<sup>3</sup>で、コガネグモでは 1.33 g/cm<sup>3</sup>であった<sup>8)</sup>。これらのクモの糸の密度は、カイコからの絹糸（1.33 g/cm<sup>3</sup>）や羊毛の密度（1.32 g/cm<sup>3</sup>）と比べて、同じか少しづかで低い値を示している。ところで、生まれたてのジョロウグモから採取した糸の密度が低いのは、クモが空中を飛んでゆくために適しているのかもしれない。

クモの体内には、ドロドロした水溶性液状フィブロインがある。この体内でのフィブロインの分子量は 3 万程度である。フィブロインがクモの腹から分泌されるとき、引っ張り応力により液体から不溶性固体絹糸へ不可逆的に変わる。この固化した絹糸の分子量は 20 万から 30 万となり、一括りほど大きくなる<sup>9)</sup>。

クモの体内における液晶フィブロインが体外で固化する機構は、いまだ充分に明らかにされてはいない。この不可逆的変化の機構としては、ポリペプチド鎖が、主として分子内に水素結合のある  $\alpha$ らせん

構造から、分子間に水素結合のあるプリーツ型の不溶性  $\beta$  構造に変わるためと考えられている<sup>2)</sup>。これは、ガの絹糸の場合に知られているように、 $\alpha$  構造を単に引っ張るだけで  $\beta$  構造に変わるとよく似ている。

クモの牽引糸は長時間 X 線を照射しても、明瞭な回折パターンは得にくい。これは、液晶性がきわめて低いことを示唆している。また、クモの糸は、カイコの絹糸と比べてもその結晶性は非常に悪く、非晶域の大部分がかなり配向した状態にあると考えられる。したがって、構造解析はなかなか難しいことが予想されるが、X 線回折写真による面間隔の大きさから、結晶領域においてかなり大きな側鎖をもつアミノ酸残基の存在が示唆され、また、結晶領域は逆平行からなる  $\beta$  構造をとっていると考えられている。なお、プロリンやグルタミン酸残基などの含有率が高いと結晶性を低くする作用がある。このことから、生まれたてのジョロウグモにおける糸の密度の低さは、プロリンやグルタミン酸残基の含有率が高いことと対応している可能性がある（表 1）。

一方、ジスルフィド架橋（S-S 結合）は、非晶域におけるタンパク質分子鎖間を結び付けたり、わずかな結晶相互を結び付けたりして、繊維を強化する働きがある。

### 4. 糸の化学的組成

#### 1) アミノ酸組成

異なる時期に採取したジョロウグモ牽引糸におけるアミノ酸組成を表 1 に示す<sup>7, 8)</sup>。アミノ酸主成分として、グリシン、アラニン、グルタミン酸残基があげられ、ジョロウグモの糸は、これら三つの代表的なアミノ酸残基の繰り返しからなっているタンパク質であることがわかる。しかし、組成から判断すると、牽引糸は单一のタンパク質のみから構成されているのではなさそうである。また、表から、クモの牽引糸のアミノ酸組成は季節とともに変化するこ

表1 ジョロウグモ、コガネグモ、ズグロオニグモから採取した牽引糸のアミノ酸組成（単位：WT %）。

	ジョロウグモ					コガネ グモ	ズグロ オニグモ
	雌				雄		
	5月6日	7月15日	9月1日	10月11日	10月1日		
アスパラギン酸	2.33	1.74	1.52	1.45	1.92	4.05	2.37
トレオニン	1.04	0.86	0.91	0.97	1.09	4.01	1.68
セリン	4.67	3.82	3.69	3.60	3.68	11.72	13.73
グルタミン酸	10.06	9.95	9.72	9.24	9.31	8.31	6.65
グリシン	38.50	40.73	40.57	40.05	41.98	28.60	37.09
アラニン	27.46	28.25	28.17	29.88	30.47	19.69	23.18
システイン	0.60	0.30	0.28	0.22	0.47	0.31	0.43
バリン	1.31	1.08	1.11	1.15	1.25	4.13	1.75
メチオニン	0.16	0.08	0.27	0.17	0.09	0.08	0.32
イソロイシン	0.74	0.56	0.54	0.56	0.66	1.93	0.97
ロイシン	2.97	3.18	3.16	3.02	3.32	4.68	2.09
チロシン	0.53	2.88	3.69	3.86	2.66	3.04	4.43
フェニルアラニン	0.63	0.43	0.41	0.40	0.52	1.81	0.58
リジン	0.44	0.32	0.29	0.28	—	0.36	0.41
ヒスチジン	0.40	0.09	—	0.08	—	0.12	0.12
アルギニン	1.79	1.65	1.62	1.73	—	2.11	1.19
プロリン	6.32	4.07	4.04	3.35	2.57	5.07	6.85

とがわかる。

種の異なるクモは、それぞれ違ったアミノ酸組成をもつタンパク質を分泌する。たとえば、コガネグモやズグロオニグモにおいては、グリシン、アラニン、セリン残基の三つが代表的主成分で、つぎにはグルタミン酸やプロリン残基が続き、明らかにジョロウグモとは異なっている。側鎖のないグリシンは主鎖の柔軟性を増すのに対して、分枝側鎖はタンパク質主鎖を硬直化させる作用がある。たとえば、コガネグモでは、他のクモと比べて、グリシン分率が小さく、バリン、イソロイシン、ロイシンなどの分枝した側鎖の分率が大きい。このことは、タンパク質主鎖はかなり硬いことを示唆し、実際のコガネグモの牽引糸の硬直性と関係あるものと考えられる。

このように、牽引糸におけるアミノ酸主成分やアミノ酸分率の差異は、クモの新たな分類法として寄与し、生物進化に対する知見となる可能性がある<sup>7)</sup>。

ところで、クモの糸を構成するタンパク質は、側鎖に大きな双極子モーメントをもっているので、複

素誘電率が大きくて吸水性がある。したがって、通常の合成繊維と比べて帶電しにくく、空中のホコリなどを付着しにくいという特徴が理解できる。

## 2) 粘着物質の組成

弾性的な横糸は、<sup>ペル</sup>鞭状腺から分泌される二重フィラメントのコア繊維と集合腺から分泌される粘着物質から成り立っている<sup>10)</sup>。この粘着物質は、グリシン、プロリンのアミノ酸残基のほか、グルタミン酸、アスパラギン酸、セリン、リジンなどの解離性側鎖をもったアミノ酸残基含有量が多いのに対し、側鎖の小さいアミノ酸残基の量は少ない<sup>2)</sup>。また、多量のγ-アミノブチルアミドおよびタウリン、さらに硝酸カリウム、リン酸二水素カリウムなどの無機塩やビロリドンのような有機物質をも含んでいる<sup>11)</sup>。これら吸湿性低分子化合物は、粘着性ポリアミノ酸に対する可塑効果とともに、粘着性を維持するための保水作用の役割を果たしている。また、粘着物質は酸性(pH 4)であることから、バクテリアによる分解に強いという特徴がある。さらに、硝酸イオンはタ

ンパク質の変性を防いでいるといわれている。

### 3) 糸に含まれる金属成分

クモの出す糸を原子吸光分析で調べた結果、銅が10 ppmのオーダーで含まれていることが確認された。ESR(電子スピン共鳴)測定からも、銅の存在が確認された。これらの結果は、クモの血液中にヘモシアニンを含むので、糸は排泄分泌物の一種である可能性を示唆する<sup>12)</sup>。

## 5. 糸の力学強度

牽引糸は、破断強度が約1 GPa、伸度が約35%という強伸度の繊維である。また、破断伸びは、横糸の方が縦糸より約3倍大きい<sup>13)</sup>。

クモの糸は水で膨潤すると、長さが半分に収縮し体積は2倍になり、弾性は100倍に増大する性質がある。この収縮力の85%は高分子鎖の立体配置エントロピー変化によるもので、それに対応したゴム成分の占める割合は糸の60~70%であると推定される<sup>14)</sup>。

コガネグモ牽引糸を束ねたときの荷重一伸び曲線を図4に示す。ある程度伸長した後、応力が最大

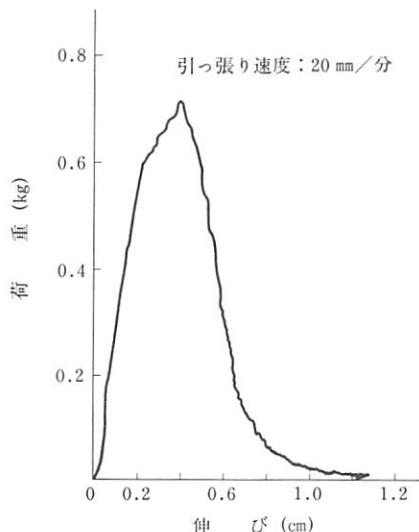


図4 コガネグモ牽引糸を束ねたときの荷重一伸び曲線。引っ張り速度: 20 mm/分, 繊維長: 10 mm, 試料断面積: 約0.01 mm<sup>2</sup>.

に達し、その後、振動しながら低下していく。これは、束ねた繊維が一本ずつ切れていることに対応している。何本もの繊維から構成されている牽引糸は、たとえ一本が切れても命綱としての役割を果たせるようになっている<sup>3)</sup>。

## 6. 糸の熱的性質

ジョロウグモの牽引糸の20~600°Cまでにおける示差走査熱量測定(DSC)曲線と熱重量測定(TG)曲線を図5に示す<sup>8)</sup>。DSC曲線における100°C付近に観測される吸熱ピークは、タンパク質の吸着水の蒸発に対応するものと考えられる。また、300°C、340°C、500°C付近に観測される発熱ピークは、加熱によってタンパク質分子鎖が切れたためと思われる。これは、300°C以上に加熱すると牽引糸は黄変し、400°C付近で黒色化するという事実と対応している。

TG曲線からは、100°C付近で蒸発する水分量は糸の全重量の約10%であることがわかる。また、250°C以上になると重量減少が著しくなる。たとえば、400°C付近では初期重量の40%に減少している。600°Cの高温までに、ほとんど分解しつくしてしまうことから、580°C付近の発熱ピークは分解物の

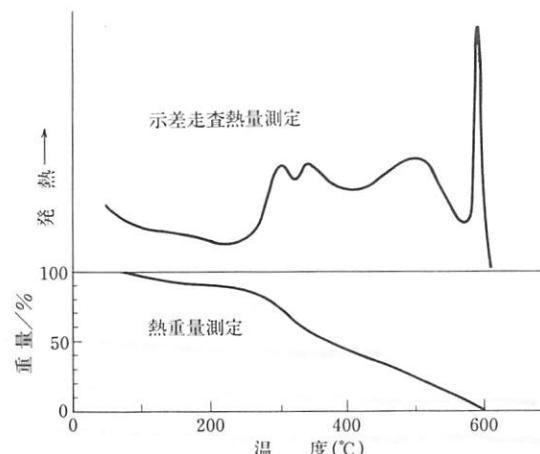


図5 雌ジョロウグモ牽引糸における示差走査熱量測定曲線および熱重量測定曲線。

蒸発によるものと思われる。これらの結果から、牽引糸は融点がなく、少なくとも 200°Cまでは熱的に安定していることがわかる。

種の異なるクモの牽引糸はそれぞれ少しずつ異なる熱挙動を示す。この熱挙動の差異は、糸の微細組織やアミノ酸組成の異なるタンパク質成分の差異に起因するものと思われ、クモの分類に寄与すると考えられる。

## 7. 秋における糸の黄色化

成長過程にあるジョロウグモから月ごとに採取した牽引糸の可視領域における反射特性を図 6 に示す<sup>15)</sup>。5~7月の幼年期におけるクモの牽引糸では、可視領域で吸収がなく、均一に反射または散乱している。これは、牽引糸が白色か半透明であることを表わしている。8月末から9月になると低波長域にわずかの吸収を示すようになる。さらに、10月になると 450 nm 付近に著しい吸収が観測される。これらの結果は、ジョロウグモの牽引糸は春から夏にかけて白色を呈するが、10月の成熟期にある雌グモから採取した牽引糸は、450 nm の吸収波長の補色である黄色を呈することを数量的に裏づけている。

雌のジョロウグモの身体は、8月の薄緑色から9月には黄色斑模様に変化する。この変化は、木の葉の色の変化と時期を同じくする。また、巣の色の黄変も、昆虫などの獲物に警戒心を起こさせないようにする機能、雄を誘因するための機能、外敵からクモの存在を容易に感知されないような保護色機能等を兼ね備えている可能性がある。

ところが一方、雌の巣へもっぱら求愛に出向く雄のジョロウグモの牽引糸は、秋でも白色のままであった。雄は秋には巣をつくらないため、牽引糸が黄変する必然性がないものと考えられる。褐色の体色をしたズグロオニグモの場合は、性の差を問わずに、牽引糸は10月まで白色のままで変化しなかった。ズグロオニグモは、夜に活動するために、糸の色を必

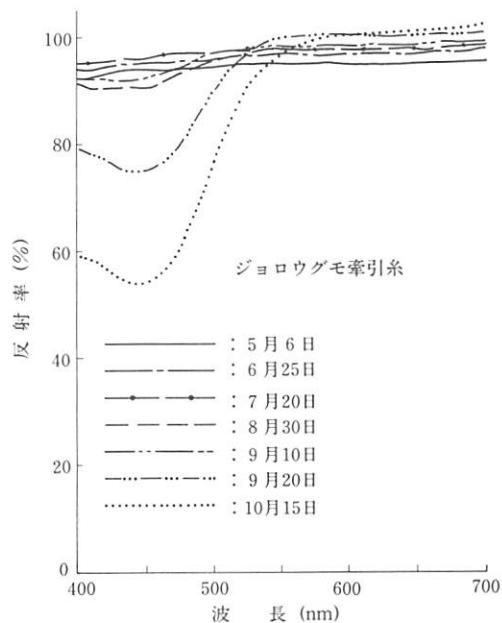


図 6 ジョロウグモ牽引糸の光学的反射率の波長依存性。

要としないものと考えられる。

紫外線領域においてジョロウグモの牽引糸では、常に 230 nm および 280 nm 付近においてタンパク質を構成するアミノ酸による吸収が観測される。ところが、雌のジョロウグモの糸では、秋になると 450 nm の吸収（黄色に対応）のみならず、350 nm 付近にブロードな吸収が観測されることがわかった<sup>16)</sup>。

なお、秋における雌ジョロウグモ牽引糸の呈する黄色はタンパク質そのものに由来するのではなく、低分子に由来することがわかった。

夏のクモから巻き取ったジョロウグモの牽引糸は、艶があり口絵写真のごとく太陽の下では虹色に輝き、非常に鮮やかなものである（口絵参照）。

秋の成熟期の雌ジョロウグモから採取した牽引糸も黄金色で素晴らしい艶がある（口絵参照）。

## 8. 糸の配向性

ジョロウグモから採取した牽引糸の赤外線吸収スペクトルにおいて、牽引糸を構成しているタンパク

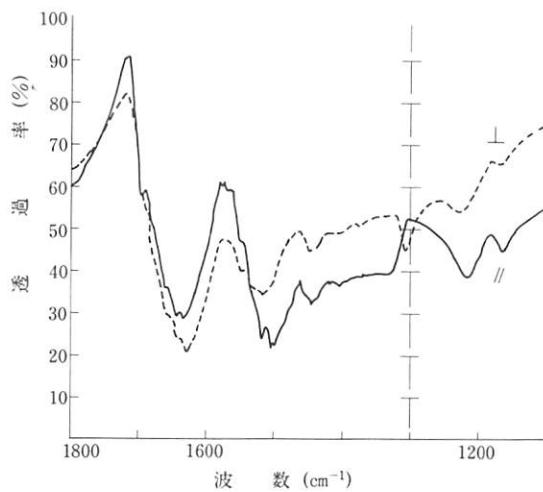


図7 ジョロウグモ牽引糸における赤外線吸収スペクトルの二色性。上：入射赤外線電気ベクトルが纖維軸と垂直。下：入射赤外線電気ベクトルが纖維軸と平行。

質のアミド基の吸収バンド ( $1510\text{ cm}^{-1}$ ,  $1630\text{ cm}^{-1}$ ,  $3200\text{ cm}^{-1}$ ) は顕著な二色性を示しており(図7)<sup>3)</sup>、また、4 GHz における偏向マイクロ波透過強度法<sup>17, 18)</sup>でも著しい異方性を示した<sup>19)</sup>。これらの結果からタンパク質分子鎖が糸の長さ方向に高度に配向していることがわかる。このタンパク質分子の一軸配向性およびジスルフィド架橋こそが、弾力性に寄与しており、糸の強さの秘密なのである。実際に金属フレームに糸を巻き取ると、時間が経過すると平行であるべきフレームの中央部が曲がって狭くなり、糸の弾力性の強さに驚かされる。

### 9. 糸の劣化

ジョロウグモの牽引糸に一定の紫外線を照射するとタンパク質が分解し、その分解に基づくラジカル強度(ESR測定)は、照射時間とともに増大した。この方法で調べてみると、ジョロウグモの牽引糸はカイコの糸より劣化しにくく、また、若いクモから採取した糸ほど劣化しにくいことがわかった(図8)<sup>20)</sup>。カイコの糸と異なって、クモの糸は屋外で直射日光にさらされる運命にあるため、紫外線に対しても強くできていると思われる。また、クモの身体の

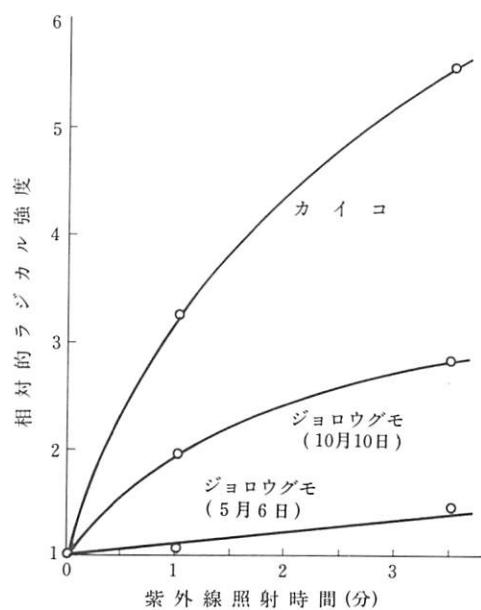


図8 ジョロウグモ牽引糸におけるラジカル強度(ESR測定)と紫外線照射時間との関係(比較のためにカイコの絹糸の特性を示した)。

老化に伴って分泌する糸までも劣化しやすくなるのかもしれない。

### 10. 遺伝子工学

最近、クモの糸を構成するタンパク質におけるアミノ酸配列が明らかになりつつある<sup>21)</sup>。クモの腹にある管から取り出したメッセンジャー RNA を鋳型にして、逆転写酵素の働きを借りて、それと相補的な DNA をつくる。この DNA を大腸菌に入れてタンパク質を合成しようとする試みも考えられる。しかしながら、現状の技術では、高分子量のタンパク質はなかなか作れそうにないと推測される。将来、可能になったとしても、大腸菌からタンパク質を分離する問題、それを紡糸する問題、ジスルフィド架橋をどのようにして導入するのかという問題等もあり、遺伝子合成タンパク質を天然繊維そのものの機能に近づけるには、かなりの試練が待ち受けているようと思われる。

## おわりに

クモにとって生活必需品である糸には、なかなか素晴らしい性質があることをみてきた。しかしながら、クモ糸の機能の大部分は未知の状態であり、それらを解明するにはまだまだ時間が必要と思われる。

クモに接していくと、自然界のすばらしい仕組みに驚かされることがある。それは、クモの体内で液体であったものが、体外に引っ張り出されて不溶性の糸になる変化が室温で起こることである。通常の合成繊維が高温で紡糸されるのと比べて、クモの紡糸機構はきわめて効率的である。体外におけるクモの糸が、引っ張り応力によって体内における液体との境界からなぜ切れてしまわないのだろうか？さらに、秋における雌ジョロウグモの糸の黄色変化は、何のために起こるのだろうか？このように、種々興味深い疑問が沸いてくる。

そもそも、クモは、人類よりも長い進化の歴史をもっており、その過程で糸が環境に適応した機能を培ってきたものと思われる。ところが、これらの糸の機能には、神秘的な部分があまりにも多い。したがって、今後も、これらの神秘的なクモの糸の世界を少しづつ解き明かしてゆきたいと思っている。

## 文 献

- 1) 八木沼健夫：原色日本クモ類大図鑑。保育社、大阪（1985）。
- 2) Foelix, R. F.: Biology of Spiders. pp.109, Harvard University Press, London (1982).
- 3) 大崎茂芳：蜘蛛の糸の秘密。化学の領域, **36**, 62 (1982).
- 4) 大崎茂芳：クモの糸の化学。有機合成化学, **43**, 828 (1985).
- 5) 大崎茂芳：クモの生態と糸 (1)。化学と生物, **25**, 688 (1987).
- 6) Anderson, S. O.: Amino acid composition of spi-

der silks. Comp. Biochem. Physiol., **35**, 705 (1970).

- 7) 大崎茂芳：クモの生態と糸 (2)。化学と生物, **25**, 750 (1987).
- 8) Osaki, S.: Thermal properties of spiders thread. Acta Arachnologica, **37**, 69 (1989).
- 9) Braunitzer, G. and D. Wolff: Vergleichende Chemische Untersuchungen über die Fibroine von *Bombyx mori* und *Nephila madagascariensis*. Z. Naturforsch., **10b**, 404 (1955).
- 10) Sekiguchi, K.: On a new spinning gland found in geometric spiders and its functions. Annotationes Zool. Jap., **25**, 394 (1952).
- 11) Anderson, C. M. and E. K. Tillinghast: GABA and taurine derivatives on the adhesive spiral of the orb web of *Argiope* spiders, and their possible behavioural significance. Physiol. Entomol., **5**, 101 (1980).
- 12) 大崎茂芳：蜘蛛の糸の化学的組成。高分子年次大会予稿集（大阪），No.3, pp.733 (1986).
- 13) Denny, M. W.: The physical properties of spiders silk and their role in the design of orb-webs. J. Exp. Biol., **65**, 483 (1976).
- 14) Gosline, J. M., M. W. Denny and M. E. DeMont: Spider silk as rubber. Nature, **309**, 551 (1984).
- 15) Osaki, S.: Seasonal change in color of spiders' silk. Acta Arachnologica, **38**, 21 (1989).
- 16) 大崎茂芳：クモの糸の光学的・力学的性質。応用物理, **58**, 406 (1989).
- 17) Osaki, S.: Explanation of orientation patterns determined for sheet materials by means of microwaves. J. Appl. Phys., **67**, 6513 (1990).
- 18) Osaki, S.: Orientation test. Nature, **347**, 132 (1990).
- 19) 大崎茂芳：未発表
- 20) 大崎茂芳：蜘蛛の糸の紫外線劣化。東亜蜘蛛学会第17回大会要旨集（大阪），pp.9 (1985).
- 21) Xu, M. and R. V. Lewis: Structure of a protein superfiber: Spider drag line silk. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., **87**, 7120 (1990).

（おおさき しげよし，マイカル総合研究所）

# クモの配偶行動と糸

池田博明

多様な網があるように、クモの行動も多様であり、その行動には糸が大きく関与している。ただし、生活史やその行動生態が調べられた種は一部に限られており、身近な種でも残された課題がたくさんある。造網と捕食はクモの生活史上のあらゆる局面に影響を及ぼすが、本稿ではそれとの関係にはふれず、とくに近年の求愛、交尾、雄間闘争、性選択といった配偶行動に関する話題を中心に、糸との関連で解説した。

## はじめに

ハエトリグモの一種アリグモは、アリにたいへんよく似ているが、見分け方は簡単である。葉から落下するときにアリグモは必ず糸を引く。

クモは生活史上のさまざまな側面で糸を利用していいる。卵は糸製の卵嚢に包まれて保護され、卵嚢から出た子グモは糸を引いて集団（まどい）を作る。独立生活を始めるときも、糸を利用して他の場所へ移動する。あるいは、大空へ糸を流し、その浮力を使って空中飛行をする。このような糸を利用したクモの飛行は、外国ではバルーニング、山形県では「雪迎え」と呼ばれて昔から知られていた。

分散したクモは網を張って餌を捕獲する。糸製の住居を作り住む。網を張らない徘徊性の種類も、移動のときに命綱としてしおり糸を引く。脱皮するときの足場を糸で作る。成体になると雄は精網を作ったり、糸を利用して雌に求愛信号を送ったりする。

このように、クモにとって糸は生活の必需品であるが、本稿では配偶行動に関連した糸利用を中心に、いくつかの具体的な話題を設定して解説をした。

## 1. 求愛行動の形式を分類する

1971年にアメリカの Platnick は、求愛特性からクモの科の系統関係を大胆に推定した<sup>1)</sup>。彼は雄の求愛誇示を解説する最初の刺激に注目した。雌との直接接触（接触刺激）が解説因となる場合をレベルI、糸の走化性物質（化学刺激）の場合をレベルII、雌の姿（視覚刺激）の場合をレベルIIIとし、レベルIIIをいちばん進化した段階と考えた。たとえば、イトグモ科はレベルI、コモリグモ科やアシナガグモ科はレベルIやII、ヒメグモ科やコガネグモ科はレベルII、ハエトリグモ科はレベルIIIであった（図1）。この大まかな分類だけでは各科の間の系統分析には役立たず、比較検討に使われた種ごとの求愛行動の記載に精粗のバラツキが大きかったこともあって、誰にも納得のいくような説明としては不充分であった。しかし、行動の形質で系統を論じた試みとして注目された。

その後、種ごとの配偶行動がさまざまな観点から研究されるようになって、求愛の形式についても見方が変化した。たとえばハエトリグモである。

## 2. ハエトリグモの求愛における糸利用

ハエトリグモ（以下ハエトリとする）の雄は、雌の前で、前脚を振り上げ、左右にジグザグに動いて

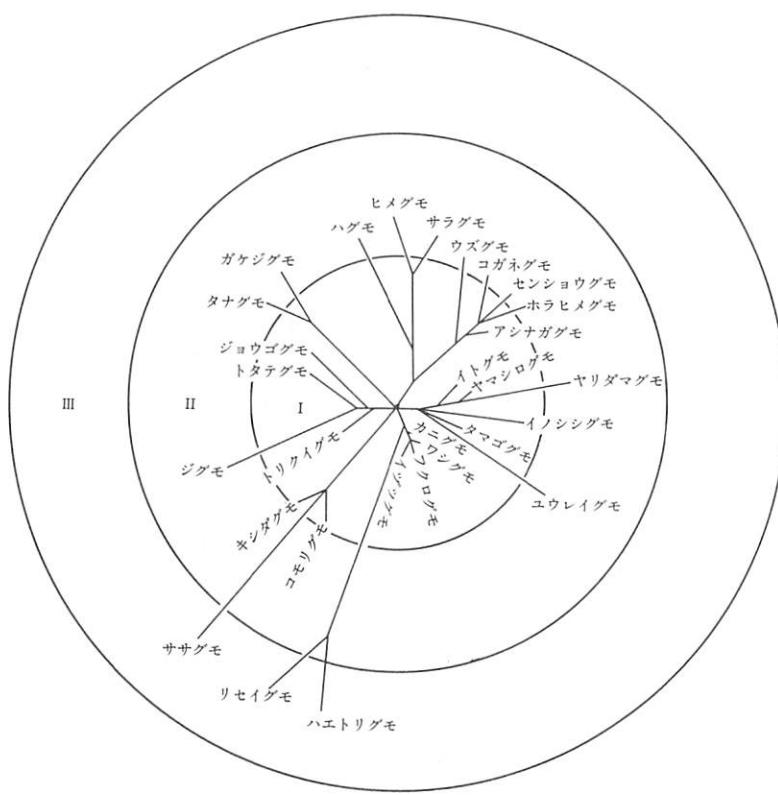


図1 求愛特性から考えられたクモの科の系統関係<sup>1)</sup>.

求愛する。このような求愛誇示行動は視覚的なもの(visual display)で、「求愛ダンス」として有名であった(Crane, 1949)。しかしこれに、野外でハエトリの雄はさほど「求愛ダンス」をしていない可能性が出てきたのである。

アメリカのJackson(現在はニュージーランド)は薄暗い所に造巣するハエトリに注目した。そして、この種では、雄が雌の最終脱皮前に雌の住居のそばに同居し、雌の脱皮直後に糸製の住居を通して求愛信号を送り、交尾してしまうことを発見した。つまり、糸を利用した振動的な求愛方法(vibratory display)である。大事なことはこのハエトリは求愛ダンスもできるということだ。つまり、雄は状況に応じて求愛方法を変換できる(versatility)のである(Jackson, 1977)<sup>2)</sup>。

Jacksonはつぎつぎにいろいろなハエトリで実験

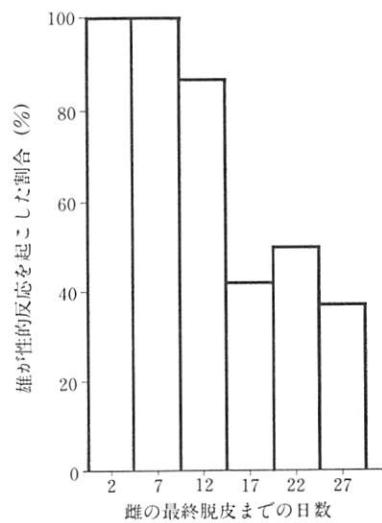


図2 あるハエトリグモが亜成体雌の住居に性的に反応した割合<sup>3)</sup>。雌の最終脱皮が近い住居ほど雄は性的反応をする。住居内の雌は追い出されて実験した。

や観察をし、薄暗い所に造巣するハエトリばかりでなく、ほとんどのハエトリが求愛方法を変換できることを示した。それだけではない。たいていのハエトリの雄は同種の亜成体雌の住居を認識でき、雌の脱皮の近いことがわかる事を示した(図2)。物質として特定されてはいないものの、何らかのフェロモンがあるのだろうと考えられている<sup>3), 4)</sup>。

脱皮直後の雌は無抵抗である。だとすれば、野外で実際に用なされているハエトリの求愛は意外にも糸を介した化学的・振動的なもので、成体雌のほとんどは交尾済みなのではないか。もっとも、このことを調べた研究はまだない。

### 3. 野外の交尾時期を調べる

ハエトリに限らず、クモでは野外で雌雄の交尾時期を生活史や個体群動態と関連させた研究は少なか

った。近年になって、精子競争理論やゲーム理論の観点から、国外で注目すべき仕事が出ている<sup>5, 6)</sup>し、国内でも筆者や宮下直によって研究され始めている。ただし、これらの対象は造網性のサラグモやヒメグモ、ジョロウグモであって、徘徊性の種は含まれていない。また、どの種も雄が雌よりも先に成体になるオス先熟で、雄は亜成体雌の網に侵入して、雌の最終脱皮を待つ。このような雄の行動は「交尾前ガード precopulatory guarding」とみなされる。徘徊性でも同様のガードの事例は数多く<sup>7)</sup>、ここしばらくは、野外での雄の成体出現期と配偶行動、性比に焦点を当てた研究が重要であろう<sup>8)</sup>。また、タナグモ科のクサグモやメガネヤチグモでは脱皮直後の雌は雄を受け入れないことが多いので、これらの種では交尾前ガードとは違った交尾戦略が考えられる<sup>9, 10)</sup>。

ハエトリでも交尾前ガードが一般的で、雄は脱皮直後の処女雌と交尾してしまうとしたら、雌が雄を選ぶことはできない。Darwinの『人間の由来』

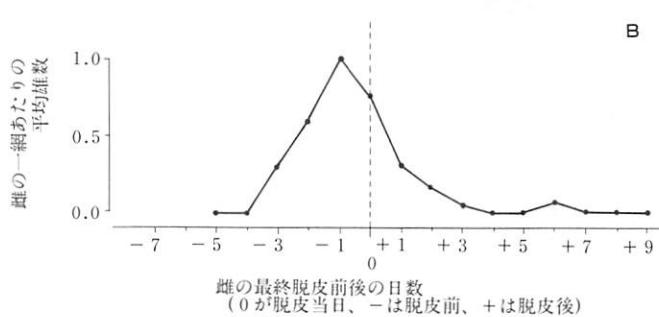
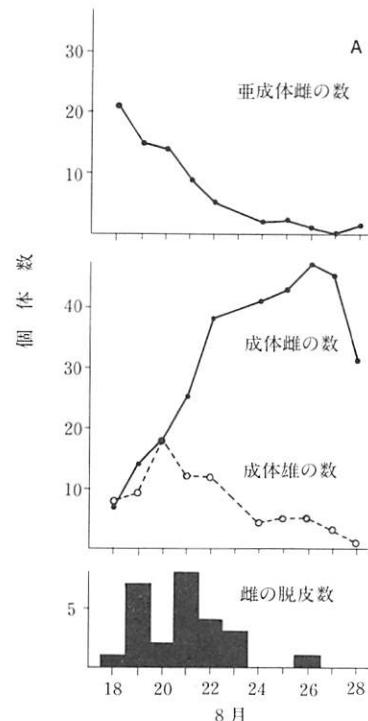


図3 あるサラグモの繁殖期の個体数変動とガード雄の数<sup>6)</sup>。A：繁殖期の雌雄の個体数変動と雌の脱皮数。B：雌の最終脱皮前後のガード雄の数。雄は最終脱皮数日前の雌の網に侵入し始め、脱皮前日のほとんどの雌をガードする。

(1871)以来、性選択の好例としてあげられてきたハエトリの行動<sup>11)</sup>にも新しい見方が必要かもしれない。

#### 4. 雄間威嚇誇示行動

性選択には「性間選択（雌の選好性）」のほかに「性内選択（雄間闘争）」がある。たとえば、交尾前ガードをしている雄のところに、ほかの雄が侵入してくると闘争が起こる。闘争の程度は雄が雌の価値をどう評価しているかによって異なるし、先住雄か侵入雄かという立場の違いによっても変わるだろう。雌が雄を受け入れる時期や回数によっても雄の戦略は影響を受けるはずである。Austadがサラグモの一種で行なったゲーム理論を検証する見事な実験は、行動生態学の教科書によく引用されている<sup>12, 13)</sup>。

このような雄間闘争（雄間威嚇誇示行動）でも糸は重要な働きをする。ヒメグモの場合、亜成体雌の網上で雄がほかの雄に気がつくのは糸の振動によっている。向かい合った雄同士はまず糸の引き合いを



して相手を威嚇する。もし双方が譲り合わなければ、闘争はつぎの段階に進む。前脚の先端を激しく振る。接近して脚を打ち合わせる。四つに組むといった順序で闘争は次第にエスカレートする（図4）。

ごく普通の場所に生息しているヒメグモで、このような雄間の激しい闘争が起こっていることは、筆者の調査以前には知られていなかった。どんなに注意深く観察していても、自然に雄間の闘争に出会うことは稀である。しかし、人為的に雄を他の網に移して複数の雄を同居させる実験をすることで、闘争を再現することができる。野外で何らかの操作をする、いわば野外実験行動学は、観察しているだけではみえてこない多くの隠された真実を明らかにしてくれる。雄間の闘争ばかりではない。雌間あるいは幼体間の闘争についても再現することができ、ユノハマサラグモ、コシロブチサラグモ、コガネヒメグモで確認しているが、ほかにも多くのクモでたやすく観察できるはずで、教材としての利用効果も大きいと考えられる。

### 5. 闘争直後の求愛と雄のスニーカー

筆者は、ヒメグモの闘争を調べているうちに、いくつか面白いことに気がついた。まず、闘争に勝った雄は、闘争直後に網の中心でじっとしている雌に必ず求愛することである。ヒメグモの求愛行動はいわば猪突猛進型で、雌に向かって糸を手繰りながら、ただ接近していくものだ。このとき雌はまだ亜

成体なので、当然雄の求愛を拒否する。この拒否行動も糸を利用した特別なもので、雄につながる糸を前脚で「グイと引く jerking」動作である。拒否された雄は雌から離れていく。しかし、この雄が別の雄と闘うと、雄は勝負に勝った途端、再び雌に求愛するのである。このような定形的な闘争直後の求愛の例は筆者の知る限り初めてであった。

もう一つは二頭の雄が同居する網に別の雄を侵入させてやったときに、侵入雄と闘う雄が決まっていることである。先の二頭のうち、一方はじっとしたまま、他の雄が闘争している間まったく動かない。この雄のサイズを調べると、闘う雄よりも小さいことがわかった。勝負がほとんど体のサイズで決まるからすると、この動かない雄はそれ以前の闘争で負けた方であるらしい（図5）。この雄はなぜ同居したままなのだろうか。勝者の雄のすきをねらって雌と交尾してしまおうという、いわゆる「スニーカー」なのかもしれない。もっともクモでは精子競争について調べられたすべての例で先雄優先なので、スニーカーが首尾よく目的を遂げる確率はたいへん

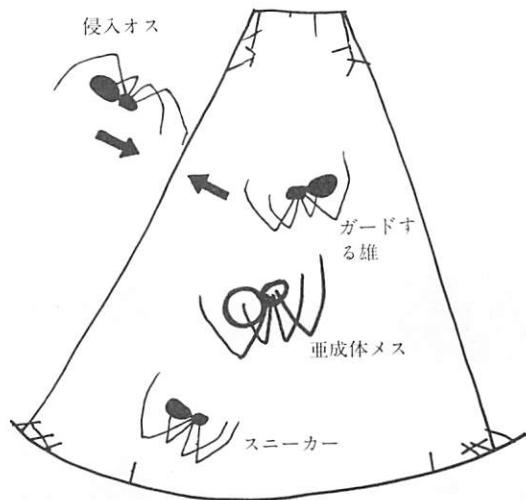


図5 ヒメグモの雌の網に同居する複数雄の関係。外から侵入した雄と闘う雄は決まっており、もう一方の雄（スニーカー）より大きいことがわかった。小さい雄と雌は闘争の間、じっと動かない。

小さいと思われるが。

闘争中にじっと動かないのは雌も同じである。これらの動かない行動を選択する意志決定の要因には、糸の振動が大きくかかわっているのだろう。

## 6. 求愛信号と攻撃的擬態

クモでは振動による求愛信号の例が多く知られてきた。造網性種の雄は、雌との間に交尾糸を作り、その糸を介して振動を送ったり(図6)，網の面を触れる肢や前脚、腹部などでリズミカルにたたいて信号を送る。このような求愛信号は種特異的なパターンをもっており、同じ所に住むガケジグモの仲間でも種が異なるば振動が異なる例などが知られてきた<sup>2)</sup>。その特異的な求愛信号を悪用してしまうのが、センショウグモというクモ食いのクモである。

センショウグモはドヨウグモの雄を追い払った後で、雄の作った交尾糸に乗り、糸をはじいて雌に3時間も求愛信号を送り、交尾糸上に出てきたドヨウグモの雌を捕食してしまったという(Czajka, 1963)。ドヨウグモの求愛信号を行動的に擬態した例として有名で、Platnick も求愛行動の進化の文脈で取りあげている<sup>1)</sup>。

しかし、ポルティアハエトリをはじめとして、捕食に糸を使うハエトリや、餌の動きを擬態した振動で造網性のクモを捕獲するルアー・フィッシングの



図6 ムラクモヒシガタグモの雌に求愛信号を送る雄。雌は交尾糸上にある。左の雄は糸を弾いていて、右の雌は捕食中。

ような攻撃的擬態の例が増えてくると<sup>11)</sup>、このセンショウグモの例もそう特殊なものとは思えなくなってくる。センショウグモはドヨウグモに限らず、多くの種類のクモの網に侵入し、網の主を捕食するのだが、網への侵入はいつもゆっくりで、虫がかかったときの振動とは異なる振動を作つて相手を糸上に誘い出す。

センショウグモにしろ、ほかのクモ食いのクモにしろ、種特異的な振動を擬態しているのではなく、もっと別の多くのクモに広く採用されている振動を利用しているのではないだろうか。センショウグモが相手を糸上におびき出す振動について、小松敏宏はコガネグモ科やタナグモ科の同種間の網の争奪戦でみられる行動に類似するようだと書いている<sup>14)</sup>。この指摘は長い間忘れられたままだったが、メガネヤチグモの生態観察で示された小松の先見性を考えると<sup>11)</sup>、無視できないものがある。多くの種で糸を介した求愛誇示や威嚇誇示の例が記載されると、一見目的の違った行動の背景にある意外な共通点が浮かびあがってくるかもしれない。

## 7. 糸の重要性について——おわりに代えて

最近になって Jackson は、徘徊性のクモの代表格であるハエトリが、住居の糸を利用して餌捕獲をしている可能性を指摘している。クモの生活にとって、糸はますますその重要性を高めてきているといえよう。

日本にも子育て行動をする亜社会性のクモがいることがわかってきており<sup>11)</sup>、クモの社会性と糸の関係も重要性を増してきており、欧米では至近要因や究極要因を探る研究が活発である。系統的にはクモに近いものの、繁殖システムの異なる造巣性のハダニとの比較も面白い<sup>15)</sup>。

筆者は日本産のクモの生態報告を種別に整理し直したことがある<sup>16)</sup>。そのとき、驚いたことが二つあった。一つは、ごく普通にいるクモの生態がきちんと

調べられていないことだった。もう一つは、生物学的に重要な事実の発見（たとえば鈴木勝浩によるセスジガケジグモの子育て習性の発見）が、同好会誌の数行の記事として記されており、研究者の注意をまったく引いていないことだった。最近、ガケジグモの習性はフランスで注目を集め、研究が進んでいるが、この件に関して日本の研究者の貢献は皆無である。

材料は身近にたくさんいて、研究課題は多様にある。しかも研究に高価な施設設備が不要で、研究技術は確立されている。にもかかわらず、研究者の層が薄く、研究は大幅な遅れをとっているというのが、現在の日本のクモの生態学、行動学の現状である。

一人でも多くの方が研究に参入して下さればと願っている。

## 参考文献

- 1) Platnick, N.: The evolution of courtship behaviour in spiders. Bull. Brit. Arach. Soc., 2(3), 40-47 (1971).
- 2) Witt, P. N. and J. S. Rovner (eds.): Spider Communication. Princeton Univ. Press (1982).
- 3) Jackson, R. R.: Use of pheromones by males of *Phidippus johnsoni* (Araneae, Salticidae) to detect subadult females that are about to molt. J. Arachnol., 14, 137-139 (1986).
- 4) Jackson, R. R.: Comparative study of releaser pheromones associated with the silk of jumping spiders (Araneae, Salticidae). New Zealand J. Zool., 14, 1-10 (1987).
- 5) Austad, S. N.: A game theoretical interpretation of male combat in the bowl and doily spider, *Frontinella pyramitela*. Anim. Behav., 31, 59-73 (1983).
- 6) Toft, S.: Mate guarding in two *Linyphia* species (Araneae: Linyphiidae). Bull. Br. arachonl. Soc., 8, 33-37 (1989).
- 7) Jackson, R. R.: Cohabitation of males and juvenile females: a prevalent mating tactic of spiders. J. Natr. Hist., 20, 1193-1210 (1986).
- 8) 池田博明: クモの性比. Atypus, 100, 32-35 (1992).
- 9) Masumoto, T.: Male's visit to female's webs and female mating receptivity in the spider, *Agelena limbata* (Araneae: Agelenidae). J. Ethol., 9, 1-7 (1991).
- 10) 中山美和・池田博明・稻葉茂代: メガネヤチグモの求愛行動と交尾後ガードの観察. Atypus, 98/99, 27-32 (1991).
- 11) 梅谷寛二・加藤輝代子 (編): クモのはなし (I) (II). 技報堂出版 (1989).
- 12) 細谷英一: 行動生態学入門. 東海大学出版会 (1990).
- 13) クレブス, J. R. • N. B. ディビス: 行動生態学 (第2版). 蒼樹書房 (1990).
- 14) 小松敏宏: センショウウグモの習性. 紀州動植物, 3 (1), 24-26 (1936).
- 15) 斎藤 裕: ハダニの亜社会性. 動物社会における共同と攻撃, 伊藤嘉昭 編, 東海大学出版会 (1992).
- 16) 池田博明: クモ生理生態事典. 著者自刊 (1988). (いけだひろよし, 神奈川県立青少年センター)

\* \* \*

## 訂正

本誌7月号口絵3頁『炭化水素資化性酵母における $\beta$ 酸化系酵素の免疫電子顕微鏡像』において誤りがありました。

図中の略語, ②の**0**および③の**E, f**は不要でありましたことを, おわびいたします。

(筆者・編集部)

# ジョロウグモの網と餌をめぐる問題

## —網のつくりと餌の捕り方—

新 海 明

ジョロウグモの網構造を餌の種類と捕獲法から検討した。本種は網目の細かい非常に複雑な網を作る。このうち網目の細かさは、縦糸が中心から枠部へ向かうに従いつぎつぎと枝分れする「分枝糸」と、足場糸を張るときに生ずる縦糸の縦裂による「二分割糸」によっていた。さらに、縦糸は中心部と枠部の1往復で2本ずつ張られた。このため、網糸の数はきわめて多いが効率よく造網されていることがわかった。また、このような網目の細かい網を作製するのは、安定的に供給される餌資源である小形の昆虫を捕獲するための適応と考えられた。

### はじめに

クモの網といえば誰もが円網（丸い形の網）を思い出すだろうが、種類によって実に変化に富んでおり千差万別である。外見上の網型に関しては、日本産のものではほぼ判明しているが、それぞれの網の造網過程や機能を含めた構造の調査は始められたばかりである。クモ類は糸をたよりにその生活を成り立たせているといつても過言ではなく、その中でも網は糸利用の最高傑作で、とりわけ餌捕獲装置として網構造と機能を考えることはクモの生活を理解するうえで重要である。ここでは、ジョロウグモ *Neophila clavata* を例に「網のつくりと餌の捕り方」を紹介する。

### 1. ジョロウグモの蹄形円網（網の特徴）

夏の終りから秋にかけて、公園やちょっとした雑木林に行くとジョロウグモの大きな円網が目につく。この網は円網の仲間に分類されるのだが、オニグモなどの普通の円網（図1）と比較するといくつかの点で異なっており蹄形円網と呼ばれている。ジョロウグモの網に近づいてその構造をよくみてみよう。

まず、第一に気がつくのは、網の前後に糸が雜然と張られていることだ（図2-①）。これは、迷網（barrier web）と呼ばれるもので、クモのいる主網と区別される。迷網はクモの背中側により発達しており、クモはここへ餌の食べかすや脱皮殼を付着させていることが多い。迷網の機能についてはまだ不明であるが、背後から襲ってくる天敵に対する防御やカムフラージュとなっている可能性がある。つぎ

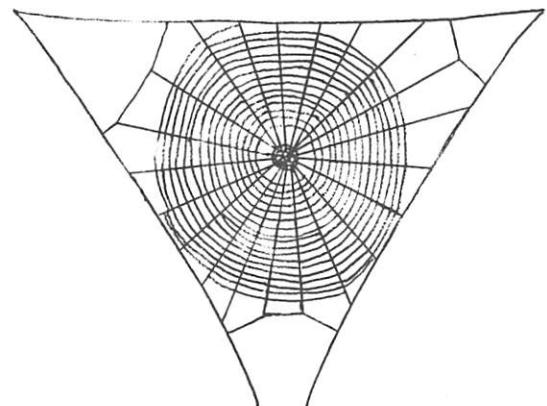


図1 オニグモ類の円網。

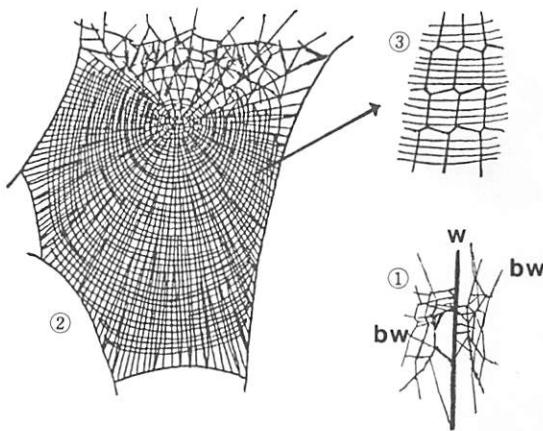


図2 ジョロウグモの網の特徴。①迷網(b.w.)：横からみたときに主網(W)の前後にある不規則の部分。②蹄形円網。③五線紙状円網。

に、主網をよくみると粘性のある横糸がクモを中心にしてらせん状にならず、下側にだけ張られていることがわかる（図2-②）。この横糸の張られている部分がちょうど馬のひづめ（蹄）のような形に見えることから、ジョロウグモの網は蹄形円網と名づけられた。垂直方向に張られた円網は種類を問わず、一般に上下に非相称となり下方が大きくなるのが普通である。これは、垂直面上では鉛直下方への移動がより素早く行なわれるという、餌捕獲上での適応とみなせる。つまり、餌の捕獲域を下側に大きくとる方が円網を張るクモでは有利であり、ジョロウグモはこの傾向が極端に拡大されたと考えられる。

さらに、主網である円網をよくみてみると、ジョロウグモの雌の成体は体長が2 cm程度にもなるが、その横糸と縦糸の織りなす網目は実に細かい。これは、とりもなおさず縦糸と横糸の数が多いことを反映している。円網を張る他のクモと比べてみても、ジョロウグモの網目、とくに縦糸は非常に細かいの

である（表1）。

また、細かい網目をよくみると、横糸の間にジグザグになった糸が挟まっていることに気づく。この糸は足場糸と呼ばれ、通常は横糸を張るための足場として使われ、横糸が作られるとクモによって咬み切られて取りはずされる。ところが、ジョロウグモの場合には横糸を張り終わっても切らずにそのまま残されている。そのため、完成後の網は数本の横糸の間にジグザグの足場糸があるところから、それを楽譜に見立てて五線紙状の円網などと呼ばれることもある（図2-③）。

## 2. 網目が細かく作られる仕組み（網のつくり）

ジョロウグモの網は以上のようなさまざまな特徴をもつが、その印象を一言でまとめると「網目の細かい非常に複雑な網」といえるだろう。では、この網はいったいどのようにして作られるのだろうか。最近になり、造網過程を含めた網構造の調査から、本種の網はきわめて巧妙な方法によって作製されていることがわかった。

ジョロウグモの雌の成体の網において、こしき部（円網の中心を「こしき」という）と枠部、その間に分けてそれぞれの部分における縦糸数を比較すると、中心のこしき部から枠部へ向かうにつれて縦糸数が30～40%ずつ増加していることがわかる。オニグモなどの普通の円網では、こしき部でも枠部でも縦糸数に違いはみられない。本種の網でこのようなことがみられるのは、縦糸が中心部から網の周囲へと向かうに従いつづつと枝分れしていく「分枝糸」という構造と、はじめは1本であった縦糸が造網の過程で縦裂される「二分割糸」という構造のために

表1 ジョロウグモと他の円網種との縦糸数（すべて枠部での数）の比較。

種名	ジョロウグモ <i>Nephila clavata</i>	ナガコガネグモ <i>Argiope bruennichii</i>	コガタコガネグモ <i>Argiope minuta</i>
縦糸数	139.2±21.6(N=5)	29.5±6.2(N=5)	36.2±1.8(N=5)

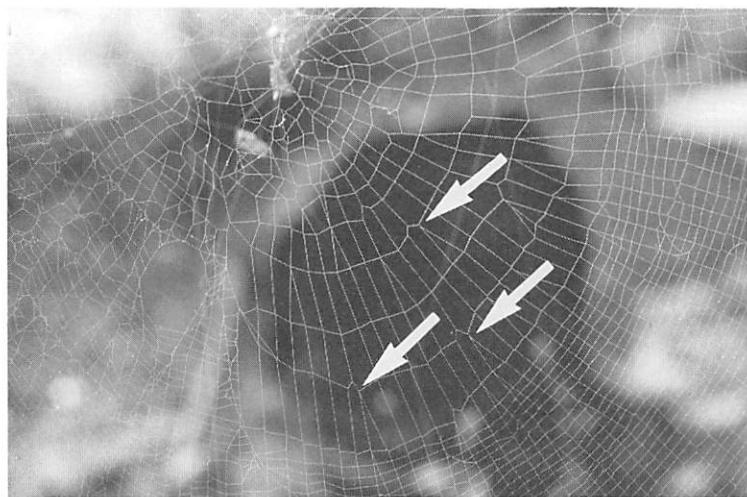


図3 分枝糸。矢印から縦糸が枝分れする。

ある。

1) 分枝糸：ジョロウグモは普通の円網種のように枠糸と縦糸を張ると、つぎに足場糸をジグザグに張り始める。このときに足場糸を張りながら、ここから縦糸をさらに増やしていくのである(図3)。普通の円網種では、足場糸を張り始めたら縦糸の継ぎ足しではなく、足場糸がらせん状に張られるだけである。このため、普通の円網では枠部へいくほど縦糸間の間隔は広がるのであるのに対して、ジョロウグモの場合は分枝糸のために縦糸の間隔は外周にいっても狭く一定に保たれることになる。

2) 二分割糸：足場糸を張る過程で、ジョロウグモはさらに巧妙な手口で縦糸を増やしていく。足場糸を張るときに、ジョロウグモは縦糸を手繰りながら網上を歩くが、足場糸を縦糸に付着するためにつぎの縦糸を探るときに、第2脚で<sup>はじ</sup>彈くように縦糸に触れていく。このときに、1本であった縦糸が2本に縦裂することがある。そして、その1本1本が足場糸に固定されるので、それ以後の外周へは2本の縦糸として固定される。このようなことが生ずるのは、1本にみえた縦糸が、実は対をなす二つの出糸突起\*から出された2本の糸からできているからで

ある。この構造は完成後の網においては枠部で確認できる。1本であった糸が2本に分割されるのだから、その始めと終りは1本に合わさっているはずである。枠部を観察したときV字形をなす縦糸がそれである(図4)。筆者の調査では、ジョロウグモの雌成体の網の縦糸は平均140本だったが、そのうちの約35%が二分割によって増やされていた。

以上のような方法により、ジョロウグモは縦糸を増やし、その結果として網目は著しく細かくなることがわかった。しかしこれ以外の方法によても、

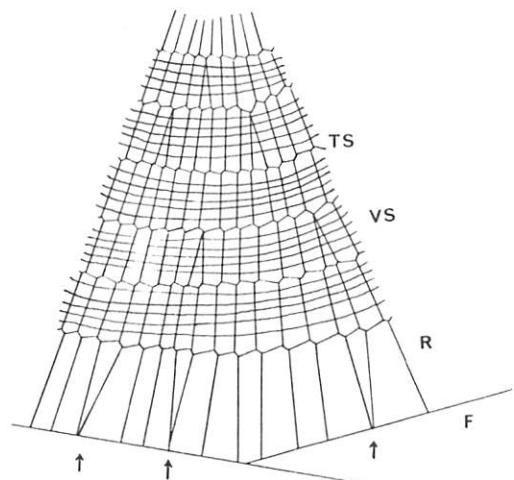


図4 二分割糸(矢印)。1本の縦糸が2本に分けられる。  
TS: 足場糸, VS: 横糸, R: 縦糸, F: 枠糸。

\* クモの腹部末端にある糸を出すところ。普通3対ある。  
糸疣、糸いぼともいう。

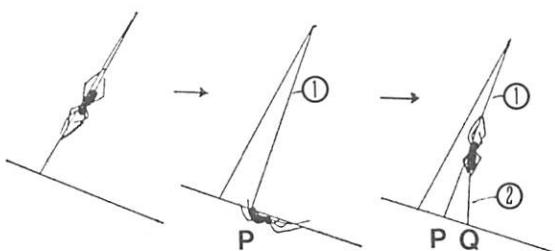


図5 ジョロウグモの縦糸の張り方.

効率よくその縦糸を増やしている。

### 3. 少ない労力で多くの縦糸を張るジョロウグモ

普通、クモが縦糸を張るときは、中心から杵部、そして中心へと戻る1回の行動で1本の縦糸が増やされる。ところが、ジョロウグモの場合は中心から杵部そして再び中心へ戻る1回の行動で2本の縦糸が張られる(図5)。すなわち、ジョロウグモはすでに張ってあった縦糸をつたい中心から杵部へ降りるが、このときすでに1本の縦糸を引いている(縦糸①)。そして、杵部へ至るとこの糸を杵糸の1点Pに固定し、そのまま体を少し離れた点Qへずらしてそこに糸を付着させ、今後は縦糸②をつたいながら中心へ戻るときに縦糸②を張っていく。

このように、ジョロウグモの造網行動は、縦糸を増やし網目を細かくするためのさまざまな技術と、その労力を少なくする工夫により成り立っている。一般に、クモが網を作るためのエネルギーは、(1)網を作るためにクモが動いた際のエネルギーと、(2)網の材料とした糸に含まれるエネルギーとから成り立っている。ジョロウグモは大量の糸を利用するためには(2)で消費されるエネルギーは大きいが、網の張り方の工夫によって、(1)のエネルギーをかなり少なくしているといえる<sup>2)</sup>。

### 4. 網目を細かくするのはなぜか(餌の種類と捕り方)

網にかかった餌をクモはどのようにして感知するのか。音叉を網に触れさせる実験から、それが網糸

を伝わる餌の出す振動であることがわかっている。

数年前にテレビの動物番組においてジョロウグモを使って同じ実験が試みられたことがある。あとで聞いたところによると、クモ研究者を含めて多くの人が「音叉を糸で包む」と思ったようだ。ところが、実際にはジョロウグモは音叉まで下がり、脚を使ってその物体に触ると網からそれを切り離してしまったのである。クモはすべて「糸で包んで獲物を捕える」というのは一種の伝説である。もちろん、そうするクモはたくさんいるのだが、中にはとにかく咬みついて身動きできなくした後で糸で包むものがおり、前者は「wrap and bite」タイプ、後者は「bite and wrap」タイプと呼ばれる。ジョロウグモはこの後者に属している。

そんなことから今まで、雌の体長が2 cmにもなるジョロウグモは、その大きな網にかかる大形の昆虫を、力にまかせて咬みつきねじ伏せて捕えると漠然と思われていた。ところが、それではなぜジョロウグモの網はあれほど細かくする必要があるのか。大形の獲物を捕えるのならば、網目をもっと粗くして1本あたりの糸の強度を上げれば充分ではなかろうか。この問題の答えは餌の種類に関する調査からもたらされた。

### 5. 小形の餌は「おやつ」か?

ジョロウグモの網の前でどんな餌がかかるか観察していると、セミやトンボ、甲虫などの大形の昆虫はめったにかかるない。それに対して、体長1~2 mmほどのハエやカの仲間はきわめて頻繁に網にかかる。そして、ジョロウグモはこの小さな昆虫に対して実によく反応して、これらの獲物をこまめに拾い集めるのである。この行動は定型的なものであり、小昆虫が網にかかると縦糸を脚で弾きながら移動する。これはあたかも、レーダーによる探索のようである。獲物がかかったかすかな衝撃をたよりに、まずその方向に向き前方に伸びた縦糸を弾く。する

と網糸をついたい獲物のかかった場所からかすかに異なる荷重の反応が返ってくる。その方向へ少し進み再び縦糸を弾く。そうやってクモはごく小さな餌をまさに「拾い集める」のである。ときには、それ以前に網にかかりながら探知できなかった餌にいき当たることもある。これらの餌もジョロウグモはていねいに集める。小さな餌は口で咬みつき捕えられるが、小さすぎるためにはんの1~2分間で食べ終えてしまう。甲虫やハチといった大形の昆虫ももちろん網にかかり、ジョロウグモのおもな餌となっているが、これらを主食とすればハエやカなどの小さな双翅類たちはさながら副食としての「おやつ」に相当するものだろう。しかし、ジョロウグモにとっては、この「おやつ」こそが重要なのである。

#### 6. 主食と「おやつ」の割合は

もしも、ジョロウグモの餌の内容がここで述べたようなものであれば、このクモの網の特殊性、すなわち体長に比較して網目が著しく細かいことがよく理解できる。

筆者は延べ33個体・時間の見取り調査から、一つの網に1時間あたりで平均して、4.0個体の餌がかかり、そのうちの3.1個体がクモによって捕えられ、そのうちの95%が体長2mm以下の昆虫であることを確認した。この調査からは餌の捕獲数がわかるだけで、クモの実際の摂食量はわからない。Miyashita(投稿中)はジョロウグモの網の前にVTRを備えつけて餌量を調べた。その結果、摂食個体数は

一つの網に1時間あたりで0~2個体程度だったが、10月下旬には6個体を越えることがあり、餌のサイズ別の個体数の割合は2mm以下的小昆虫がどの時期も80%程度を占め、摂食量の割合でもこのサイズのものがいつでも20~40%を占めて安定していること、そして、10mm以上の大形昆虫は1個体でも全体の摂食量の50%を占めていることを確認している。

これらの調査結果が示すことは、ジョロウグモが大形のクモであるがゆえに受ける印象と異なり、餌捕獲数の頻度からいえば圧倒的に小形の餌ばかり捕っており、摂食量からもこれらの小形の餌は無視できないほどクモの成長に貢献しているということだ。このことは、ジョロウグモがその体長に比較してなぜあのように細かい網目の網を作製するかという問題の解答になろう。このクモはその網目を細かくすることで、全摂食量からみれば充分とはいえないがコンスタントに手に入れられる小形の昆虫を餌資源のメニューに加え、より広い生息環境を手にすることが可能になったのだろう。

#### 引用文献

- 1) Miyashita, T.: Prey size composition in the orb web spider *Nephila clavata* estimated by video cameras and a sight-counted method (投稿中).
- 2) 新海 明: ジョロウグモの網の構造の再検討 (1). *Atypus*, 80, 1-10 (1982).  
(しんかい あきら, 京都大学 理学部 動物学教室研修員)

\*

\*

\*

●特集・クモ一糸を吐く狩人●

## クモの合戦

### ——房総のネコハエトリの戦い

川 名 興

春先、小さなクモ同士を戦わせる遊びがあり、それは房総が中心で、横浜でも行なわれ、おもにやるのは小学生。この遊びは昭和30年代に入り急速に衰退していった。

マッチ箱の中で2匹を向かい合わせると、第一歩脚を両脚とも同時に前方高く振り上げ、左右交互に動かし、<sup>きば</sup>牙をむき出し相撲をとるように取つ組み合い、押し合いになり、しまいには逃げ出す方がいて、勝負がつく。合戦とは言うものの一対一の戦いである。

鹿児島県加治木のクモ合戦はやはり一対一で、コガネグモ成体雌同士の戦いで、棒の上で行ない、落ちたり巻かれた方が負けである。房総の方はもっぱらネコハエトリ成体雄同士の戦いである。なぜ雄同士が戦うのかはわからない。前川（1991）は第一歩脚を振り上げるのは雄への威嚇誇示行動としてとらえ、そのとき雄同士では上顎<sup>あご</sup>つまり牙を開いて戦いに挑むのである。しかし雌に対しては「顎出し」と称してこれを開かず、つき出すだけで第一歩脚は雄に対する場合より低く振り上げ、激しくもない、という。



ネコハエトリの雄同士の戦い（フィルムケース内）。

つまり、クモの合戦の遊びはリング場で威嚇誇示行動を促すように仕向けて楽しむものともいえる。

この遊びの分布をみると、海岸に近い所がもっとも盛んで海に面する富津市富津ではフンチと呼び、今でも小学生から大人までやっていると聞く。おそらく漁師が娯楽としてやっていたのが、小学生に拡がったものであろう。

いくつかの証言を紹介する。市原市月崎の大正4年生のおじいさんは、子どものころ桐の箱にガラスを張って内をみえるようにしてホント（市原ではこう呼んだ）の遊びをした。君津市植畠の昭和20年生の男性は亜成体をパパ、脱皮して黒くなった成体雄をカネグモと呼び、これを洗面器の上に白い布を張って、その上でけんかさせた。白の上に黒だからよくみえた。バラにいるクモが強いと信じられていた。富津市青木の鹿島倉吉氏（昭和7年生）は内面が青いアサリの殻にパパを入れ、早く脱皮するために温かい芋床に入れた。カエッタ（脱皮した）のをカンキと呼び、頭（頭胸部）が光っていて、ケン（第一歩脚）が長く、体の大きいのが強い。富津市千種新田の赤井吉雄氏（大正15年生）はパパからフンチ、同龜沢でケンカグモ、安房郡鋸南町勝山でカネコ、同丸山町宮下の岩波正弥氏（昭和27年生）はゴトウ、館山市竹原の鈴木由美子氏（昭和33年生）はゴトウで、小さいころマッチ箱の中でけんかさせ、かな片ケン（片脚）でも戦った。鴨川市前原の山田貢氏（昭和12年生）はパパからカネグモ、という。また、富津市富津で交接後の雌をタネパパ、横浜でナツパパと呼ぶ。

市原市でホント、富津市富津・小久保でフンチ、館山市でゴトウなど房総半島での呼称は多様であるので、横浜でのホンチ遊びは房総から伝えられたものであろう。

前川隆敏：ネコハエトリの求愛誇示行動における「顎出し」について。Atypus, 98/99, 33-35 (1991).

（かわなたかし、千葉県富津市立大貫小学校）