

振動を感知して生きる蜘蛛 博物館の視点から

小野 展嗣*

はじめに

クモ類は、節足動物門 (Arthropoda)、鋏角亜門 (Chelicerata)、クモ綱 (Arachnida)、クモ目 (Araneae) に分類され、触角を有する昆虫類、甲殻類、多足類などとは類縁の遠い動物である。世界におよそ5万種 (World Spider Catalog, Website) が知られ、日本からは約1,700種が記録されている (小野, 2009; 小野・緒方, 2018)。

演者は、35年にわたって、独立行政法人国立科学博物館の動物研究部 (茨城県つくば市) において、蛛形類 (クモ綱)、多足類 (ムカデ綱、ヤスデ綱など) および無翅昆虫類 (トビムシ目、カマアシムシ目など) を担当するキュレーター Curator として、調査研究 (おもにクモ類の系統分類およびインベントリー)、標本の製作、保管、マネジメント、展示、教育、普及などの仕事を行ってきた。ここでは、博物館 (自然史科学) の視点から、感覚器官や糸、毒性などの話を中心に、クモという動物の特性を探ってみたい。

1. クモはどのような動物か?

1) 外部形態

クモが現生のほかの節足動物 (昆虫類、甲殻類、多足類) ともっとも異なっているのは、触角がない、ということである。クモの体 (図1, 2) は6節の前体 prosoma と袋状の後体 opisthosoma の2つの部分からできていて、前体を頭胸部 cephalothorax、後体を腹部 abdomen と呼ぶ。「上半身」と「下半身」の境は極端に細くくびれていて、両者は腹柄 pedicel と呼ばれる細い管によってつながっている。このことによって、クモは同類のサソリやダニと違い、腹部をより自由に動か

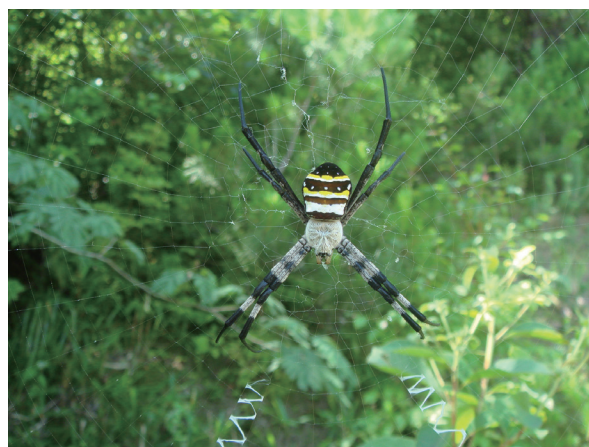


図1 コガネグモ *Argiope amoena* 雌, 体長25 mm.



図2 オオクマエビスグモ *Lysiteles okumae*, 雌 (上), 雄 (下), 体長2~3 mm (写真: 千国).

すことができる。

頭胸部は、各節の背板が癒合して1枚となった背甲 carapace によって被われ、6対の付属肢 (鋏角 chelicera, 触肢 palp および8本の歩脚 legs) がある。歩脚は、基節、転節、腿節、膝節、脛節、蹠節、跗節の7節からなり、先端に2本ないし3本の爪 claw を備える。クモが嫌いな人が挙げる理由の一つに「毛むくじゃら」というのがある。実はよく見ると滑らかなイメージのカブトムシやチョウも体じゅうが毛や鱗粉で覆われているのだ

*独立行政法人国立科学博物館名誉研究員

が、なるほど、クモの歩脚や触肢は毛むくじゃらに見える。付属肢には単純な毛 hair のほか、剛毛 bristle, 刺 spine, 鋸歯状毛 comb hair, 聴毛 trichobothrium, 化学感覚毛 chemosensitive hair など多様に分化した毛が生えていて、多くが感覚に参与し重要な役割を演じている。触肢は進化に沿って短小化し、成熟した雄では末節が分化して、精子を一時的に貯蔵する移精器官を形成する（図2の上が雌で下が雄、触肢の先端に注目）。雄の触肢の構造は、種によって多様で、種々の付属物が形成され種の同定に際してもっとも重要な分類形質となる。

後体は節が完全に癒合し、表皮は柔らかく多数の軟毛に覆われる。雌雄とも腹面前方に生殖器官が開口する。生殖口の両側には1対ないし2対の書肺気門がある。書肺は原始的な群では2対あるが、進化した群では後方の1対が気管 trachea に置換している。後方の第4~5腹節に相当する場所に1~4対の糸疣 spinnerets があって、腹部の内部にある糸腺で分泌された物質が糸として出糸管 spigot から紡出される。

2) 内部形態

解剖図（図3）を見ると、脳のありそうな位置

には毒腺があり、胃の下側に脳がある。クモの脳は食道上神経節と食道下神経節にわかれ、前者は視神経を制御する前大脳と鉗角神経節からなる後大脳からなる。後大脳は触肢神経節、歩脚神経節、腹部神経節などの末梢神経系の集積体で胸部の腹側の大きい部分を占める。これらが一体となって、クモの感覚と運動能力を支えているが、要するにおもな刺激は眼と付属肢（鉗角、触肢、歩脚）を通してもたらされている。

クモの消化・排出系は、一度に大食いをし、その後は絶食に耐えるように形成されている。ひとりの人間が牛1頭を秒殺し、一晩かけて平らげるといようなことをクモは日常でやっている。クモの口には咀嚼のための歯はなく、下顎腺から出る消化液で溶かされた食物は口から食道を通って筋肉で囲まれた吸胃によって吸い込まれ、栄養分は分岐した腸に貯えられる。クモの心臓はひじょうに大きく、腹部の背側中央を縦走し、肺静脈、前・後大動脈があるが、開放血管系で末梢血管は発達していない。書肺はクモ類独特の呼吸器官で、前気室と血洞からなり、血洞には多数の薄膜状の壁と気室でできた肺葉が本の頁のように重なり合っている。そこで血液に酸素が取り込まれ、肺静脈を経て心臓から全身に送られる。進化した種

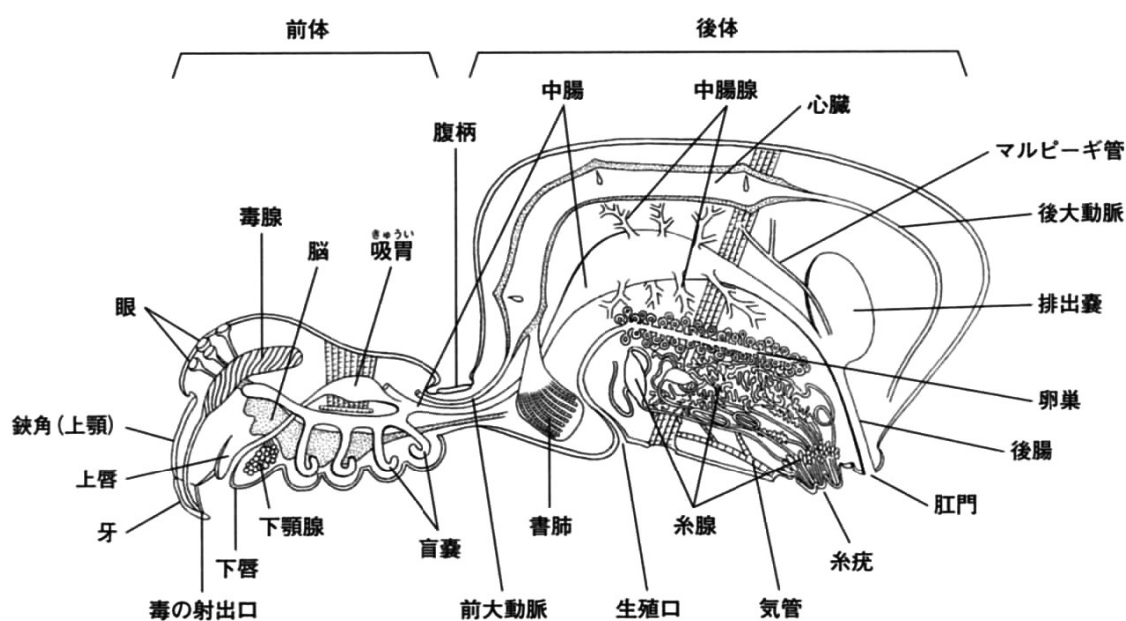


図3 クモの内部形態（模式図）（小野，2009より）

では、書肺の肺葉が変化してできた気管を併せもつ。

クモの生殖器は精巢、卵巣とも後体下部に開口している。雌では膣口と産卵口の間にクモ独特の生殖器が発達し、受精嚢 spermatheca に精子を貯蔵することができる。雄の触肢にも、精子を一時的に貯蔵する移精器官があり、交尾は雄が触肢の移精針 embolus を雌の受精嚢につながる交尾口に挿入することで成立するが、受精は産卵時に行われる。

原始的なハラフシグモ亜目では糸腺 silk gland は1種類であるが、造網性のコガネグモ科の糸腺には、網糸のほか、特殊な粘液や付着盤、捕帯や卵嚢内の保護材に用いる糸、卵嚢の外壁を固める糸など多様な糸を造る7種類の糸腺がある。ウズグモなど一部のクモには、篩板 cribellum という特殊な出糸機構が存在する。篩板は癒合退化した前内疣に特殊な糸腺と出糸管が備わって発達した器官と考えられ、そこから紡ぎ出される微細糸は乾燥に強く、「粘着力」が長期にわたって変わらないことで、コガネグモの粘着糸が乾燥すると劣化しやすいことと対極的である。

3) 生態および生活史

一般にクモは昆虫などの「虫」を捕食する。糸の構造物である網はクモの体と一体となって、クモの生態、習性に大きく関わっている。原始的なクモは地中性で、地面に管状の住居を造り、扉をつけている。それが昆虫類の進化に従って、植物上から空間へと生活圏を広げて網の形態が多様になるとともに (Vollrath, 2001; Herberstein, 2011), ハエトリグモのように網を捨てて自力で狩りをする狩猟性のクモも多く現れた。クモは糸で空間に静止することができる。この能力はあらゆる飛翔性動物に真似のできないことである。種が多様なように、網にも、円網 (コガネグモ), 扇網 (オウギグモ), 絹網 (スズミグモ), 蹄形円網 (ジョロウグモ), 不規則網 (ヒメグモ類), 皿網・シート網 (サラグモ類), 棚網 (クサグモ), ボロ網 (ガ

ケジグモ類) など多様なパターンがあり網の形だけでおおよそのクモの種類がわかる場合がある。

クモの発生は、卵、幼虫、若虫、成虫という段階を経る。しかし、若虫という言葉は馴染みがないので、卵から成虫に至る齢期を幼虫あるいは幼生と呼ぶ。クモは孵化するとすでにクモの形をしており、幼虫は脱皮を重ねて成長し、最終的に生殖器が形成されて成熟する。成虫は通常それ以上の脱皮をしないが、オオツチグモ類のように雌の成虫が毎年1回脱皮を重ねる例外もある。成熟した雌雄は交尾をして精子の授受を行い、雄は生殖行動を終えると雌に食われるか、衰弱して死ぬのが普通である。雌はその後、産卵を行うが、卵は1塊として生まれ、糸で覆って卵嚢が形成される。日本のクモの多くは年1化性で寿命は1年だが、トタテグモ類やジグモは数年生き、小型のサラグモの中には年数世代を重ねるものもある。たとえばジョロウグモは、5月頃幼虫が卵嚢から出て分散し、夏の間脱皮を重ねて成長し、秋に繁殖期を迎える。10月~11月になると市街地の緑地でも大きい雌が樹幹に多数目立つようになる。雌はやがて産卵して冬になると死に、卵で越冬し、来春また新たな世代が、という生活史をたどる。クモの一般的な形態や生態については小野 (2002, 2009) および小野・緒方 (2018) を参照されたい。

2. クモの五感と五官

古くから、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚をもって五感とされるが、もちろんこれは人間の感覚で、しかも実際にはそれほど単純ではなく、痛覚や圧覚など皮膚感覚も多様で、内臓の感覚や平衡感覚など、どれにも当てはまらない感覚もある。また、五官とは、本来は顔にある感覚器官すなわち、目、耳、鼻、口、舌をさしたが、それが五感とあいまって、目、耳、鼻、口 (=舌)、皮膚となったのだという。多少無理があるが、クモの感覚を人間の五感に則して見てみよう。クモの感覚器官およびその生理については古くから関心を集め、実験動物として使用されている南米産のシボ

グモの1種 *Cupiennius salei* についていろいろな事柄が判明している (Barth, 1985, 2002; Foelix, 2011; Nentwig, 2013).

1) 視覚

背板の前方に頭部があり、通常1対の主眼(直眼)と3対の副眼(間接眼)の計8個の単眼 ocellus がある。眼は、通常2列に配列されており、前の列を前眼列、後ろを後眼列と呼ぶ。また、各列の中央の1対を中眼、側方の1対を側眼とし、それを組み合わせて、前中眼、前側眼、後中眼、後側眼というように表す。主眼と副眼は発生を異にし、感桿 rhabdome の位置やタペータム tapetum の有無など構造も異なる。通常主眼は光を反射する感桿層がないので、黒く見え、感桿層のある副眼は輝いて見える。タペータムの有無や形状は明暗の受容と関係がある。クモの眼は、ほとんどの種で明暗しか感知できない。洞窟性のクモの中にはすべての眼が退化、消失している種もある。一方、ハエトリグモ類の眼(図4)は高度に進化し、クモの中では唯一、色覚があり、形態視ができる。前中眼に特殊な筋肉系が発達し、細長い眼球自体を動かして焦点を変えることができる。

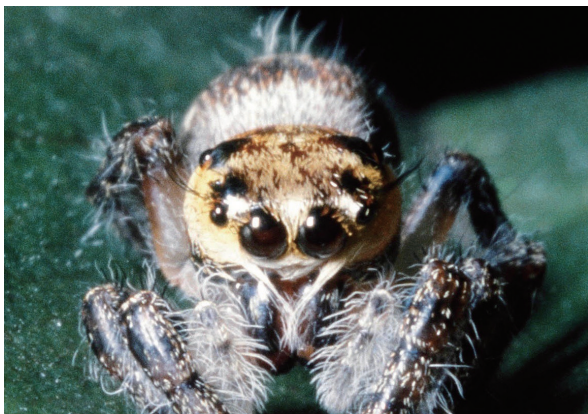


図4 ハエトリグモ科の1種 *Salticidae* sp. の頭部。ヘッドライトのような前中眼。

2) 聴覚

クモの歩脚および触肢には、聴毛(図5)と呼ばれる空気の振動受容器がある。歩脚のクチクラに円形ないし楕円形のお椀型の陥没(杯状窩)が

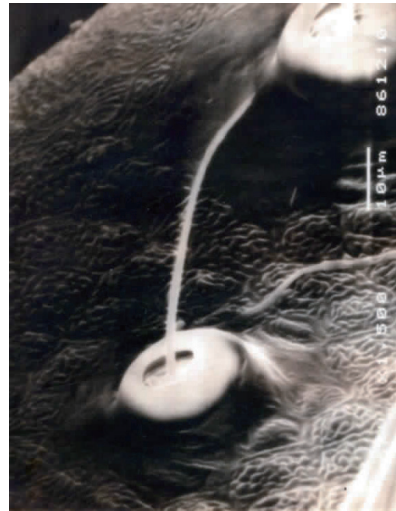


図5 クモの歩脚にある聴毛。

あり、その底から神経細胞をともなったひじょうに細長い毛が伸びている。顕微鏡下でも、この毛がわずかの風や空気の振動によってなびくのが見えるほどで、この毛が空気の振動を感じ取っていることは明らかである。種によって、聴毛の長さや生えている場所が違っており、昆虫が発生させる空気や網糸の振動を感知する。また、歩脚に多数存在する細隙器官 slit sensillum および細隙器官が多数平行に並んで形成される琴状器官 lyriform organ も振動を感知すると言われている。細隙器官は名前の通り、クチクラにできたクレパスのような小さいくぼみで、内部に感覚細胞を備えている。この器官の機能は詳しくはわかっていないが、音や気圧の受容器であると同時に、場所によっては体の位置や細かい動きを感知し運動を制御しているのではないかとされている。とくに琴状器官は微妙な音程を感知することができる優れた聴覚器官である可能性が示唆されている。

3) 嗅覚

跗節器官 tarsal organ と呼ばれる足先にある孔状の受容器は湿度を感知し、揮発性の化学物質に反応することが確かめられている。そのほか、化学感覚毛と呼ばれる特殊な毛が歩脚や触肢の先端節にあり、その構造から化学受容器として働いていることが推測されている。クモも種によってあきらかに性フェロモンなどの伝達物質、あるいは

獲物を誘引する化学物質を出しており、それを感知する能力も当然備わっているはずであるが、どの器官でどの物質がどのように感知されているかはよくわかっていない。

4) 味覚

前体の下面前方にクモの口器がある。大顎を中心として複雑な形状をしていて噛む口や舐める口、吸う口、刺す口などを進化させた昆虫と異なり、クモの口はひじょうに単純で、口腔および前体の腹板が変化した上唇 labrum と下唇 labium によって形成される。歯と舌がない人間の口を想像していただきたい。それに補助器官として、前体の第1付属肢である鋏角（クモ目ではとくに上顎と称する）と第2付属肢である触肢の基節が関与する。鋏角は基節と牙の2節のみからなる。牙（図6）の先には毒液の出口があり、摂食行動に直接関与するほか、種によっては基節にある溝や歯と連動して獲物の体を砕く役割をする。触肢の基節は内葉を形成し下顎 maxilla と呼ばれ、下顎腺から消化液を分泌する。クモは、捕らえた獲物の体をくわえながら、下顎から分泌する唾液で獲物の体を

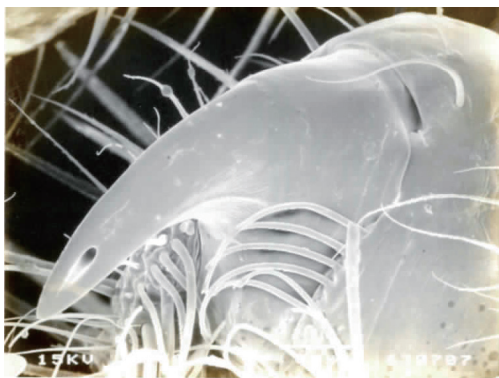


図6 クモの鋏角（上顎）の牙および毒の射出口。

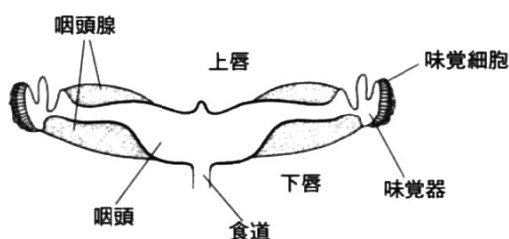


図7 クモの口器（模式図）（Millot, 1936 を改変）

溶かしてスープ状にして吸い込む。その際、咽頭の両脇にある味覚器（図7）で餌の種類や栄養価を識別しながら食べていると言われているが、それがクモの生活や行動にどのように役立っているかはよくわからない。

5) 触覚

クモの歩脚、とくに足先に生えている多様な毛が接触感覚に関与していることは容易に想像できる。そのほか体に触れた物体の振動の感知には、細隙器官も関わっていると言われているが、相互にどのように機能しているかは不明だ。おそらく、ほかの動物が体に触れる前に振動を感知して反応し、行動に移るものと思われる。

3. クモの糸と毒

私が学生の頃（50年前）、近代文明の急速な発展に伴って世界中で頻発した公害や環境問題に対して、もはや自然保護論や生態学での対応が追いつかなくなった。それ以来、土木工学は環境工学に、生態系維持は保全生物学に、自然保護は生物多様性論へと人々のマインドも変化した。地球環境は保全されるどころかより悪化しており、サステイニング・ライフに関心が集まっている（小野・武藤, 2017）。国連開発計画（NDP）の持続可能な開発目標（SDGS）の実現に期待がかかるところだ。

クモの糸は、その強度と伸張性から自然界最強の繊維とされながら、肉食性の動物の大量飼育、採糸が困難なため産業にはならなかった。しかし、糸の構造が解明され、物理・化学的な性質（大崎, 2000; Vollrath, 2001; Vollrath & Knight, 2001）や生態学的な特性（Craig, 2003; Brunetta & Craig, 2010）が解明されるにしたがって、クモ糸人工繊維への期待が一気に高まった。そして、遺伝子工学によって、クモ糸が石油製品である合成繊維に替わるだけでなく、それ以上の性能をもった人工素材としての開発が実現しつつある。

本年（2019）8月、日本蜘蛛学会の第51回大



図8 チョウを捕食するヤミイロカニグモ *Xysticus croceus*, 雌, 体長7 mm.

会が山形県鶴岡市の慶応義塾大学先端生命科学研究所において開催された。同研究所では永年にわたり内閣府革新的研究開発推進プログラム ImPACT の超高機能構造タンパク質による素材産業革命プロジェクトのもとに人工クモ糸を素材として活用する産業化を推進し（荒川, 2019; Kono, 2019), ベンチャー企業のスパイバー社と連携して, 人工クモ糸繊維の衣料品としての製品化や, 軽量素材による自動車のドアやシートの試作に成功している（中村ほか, 2019)。石油などの化石燃料が減少, 枯渇する未来を想定して, 欧米ではアフリカなどでスーパーシルクを生産するための桑の栽培に適した土地を探しているなどという噂も伝わってくるが, クモ糸タンパク素材の開発では日本が一步先に踏み出したかたちのようである。

セアカゴケグモやドクイトグモなどの有毒種や「クモ毒」のはなしを始めると何日もかかりそうなので, 別の機会に譲るが, じつは糸に比べて, クモの毒性の研究は遅れており, 延びしろの大きい分野と言える。クモはみな毒蜘蛛だと思っておられる読者が多いとおもうが, 一面では, それで間違っていない。クモであればどの種類も毒をもっており, 昆虫にとってはじつに猛毒の生き物である。花陰に潜むカニグモのなかまが, 自分の3倍もの大きさのあるミツバチやチョウに噛みつくとき, 一瞬にして獲物の体は麻痺する（図8)。

ジョロウグモ毒のようにグルタミン酸回路を遮

断する試薬として商品化されている少数の例を除けば, 毒の化学的な解析が行われているのは, 歴史的に人間に有害なゴケグモ類やイトグモ類あるいはドクシボグモなどに限られてきた。しかし, 最近, 一言で「クモ毒」とされていたものが, 種によって実に多様であることがわかってきた。クモ毒には5万種のレシピがある。従来は, クモ毒の中のどの成分が神経毒として作用するかという分析, 抽出に重きが置かれてきたが, 毒液の中に含まれる多様な神経毒ペプチドや酵素, 相当量のタンパク質が多様に合成されることで, 獲物の昆虫に対して単体の100倍単位の毒性を発揮するらしいことが示唆されている。これは進化の過程で, 種ごとに獲物となる昆虫の多様性に合わせた毒の合成が行われてきたことによるものと考えられている。

文献

- 荒川和晴, 2019. 1000 spiders: ImPACT プロジェクト基礎研究の成果。日本蜘蛛学会第51回大会講演要旨集, p.11.
- Barth, F. G., ed., 1985. Neurobiology of Arachnids. XI + 385 pp. Springer.
- Barth, F. G., 2002. A Spider's World, Senses and Behavior, English edition. XIV + 394 pp. Springer.
- Brunetta L. & C. L. Craig, 2010. Spider Silk, Evolution and 400 Million Years of Spinning, Waiting, Snagging, and Mating. xvii + 229 pp. Yale University Press.
- Craig, C. L., 2003. Spiderwebs and Silk, Tracing Evolution from Molecules to Genes to Phenotypes. xvii + 230 pp. Oxford University Press.
- Foelix, R. F., 2011. Biology of Spiders, third edition. 419 pp. Oxford University Press.
- Herberstein, M. E., ed., 2011. Spider Behaviour, Flexibility and Versatility. ix + 391 pp. Cambridge University Press.

- Kono, N. *et al.*, 2019. Orb-weaving spider *Araneus ventricosus* genome elucidates the spidroin gene catalog. *Scientific Reports*, (2019) 9: 8380.
- 中村浩之ほか, 2019. 人工クモ糸繊維の実用化への挑戦. 日本蜘蛛学会第51回大会講演要旨集, p.11.
- Nentwig, W., ed., 2013. *Spider Ecophysiology*. x + 529 pp. Springer.
- 小野展嗣, 2002. クモ学, 摩訶不思議な8本脚の世界. xiii + 224, pls. 1-6. 東海大学出版会.
- 小野展嗣 (編), 2009. 日本産クモ類. xvi + 738 pp. 東海大学出版会.
- 小野展嗣・武藤文人 (監訳), 2017. サステイニング・ライフ. 人類の健康はいかに生物多様性に頼っているか. xviii + 488 pp. 東海大学出版部.
- 小野展嗣・緒方清人, 2018. 日本産クモ類生態図鑑, 自然史と多様性. xiii + 713 pp. 東海大学出版部.
- 大崎茂芳, 2000. クモの糸のミステリー. viii + 186 pp. 中央公論新社.
- Vollrath, F., 2001. Spider webs and silks. *Scientific American*, 266(3): 70-76.
- Vollrath, F., & D. Knight, 2001. Liquid crystalline spinning of spider silk. *Nature*, 410 (6828): 541-548.