

# オオツチグモ科 (Theraphosidae) における感覚生態生理学: 視覚能力の限界と機械受容感覚の極限的感度に関する包括的研究報告書

## 1. 序論: タランチュラの環世界 (Umwelt)

オオツチグモ科 (Theraphosidae)、通称タランチュラとして知られるクモ類は、長きにわたり「視覚的に劣り、触覚のみに依存する原始的な捕食者」として認識されてきた。しかし、近年の神経行動学、電気生理学、および分子系統学の進展は、この巨大な徘徊性クモ類が持つ感覚世界 (Umwelt) が、我々の想像を遥かに超えて複雑かつ精緻であることを明らかにしている。本報告書は、タランチュラの視覚系と機械受容系 (特に感覚毛) の機能的限界と能力について、現時点で得られる科学的知見を網羅的に統合し、その生態学的意義を解明することを目的とする。

特に、ユーザーより提起された「目はどのぐらい見えているのか (視力・色覚・解像度)」および「感覚毛はどのぐらい敏感なのか (エネルギー閾値・検知距離)」という二つの核心的な問い合わせに対し、物理学的・解理学的データに基づいた詳細な回答を提示する。タランチュラの視覚は、ハエトリグモのような「高解像度」の世界ではないものの、偏光を利用したナビゲーションや、配偶行動における「青色」の識別など、特定のタスクに特化した機能を有している。一方で、彼らの聴覚・触覚を司る感覚毛 (trichobothria) は、物理学的な限界に近い微細なエネルギー変動を感知可能であり、実質的に「空気の動きを見る」に等しい知覚能力を提供していることが判明している。

本稿では、まず視覚系の解剖学的構造と生理学的特性を詳述し、次に機械受容系の物理的メカニズムとその感度について論じ、最終的にこれらの感覚入力がどのように統合され、タランチュラの捕食・防衛・繁殖行動を制御しているかを分析する。

---

## 2. 視覚系: 解剖学的構造と光受容メカニズム

タランチュラの視覚能力を定量的に理解するためには、まずその「ハードウェア」である眼の構造と、そこから生じる光学的制約を理解する必要がある。昆虫の複眼とは異なり、クモ類は単眼 (ocelli) を持つ。タランチュラの頭胸部 (prosoma) 背面の眼丘 (ocular tubercle) には、通常8つの眼が配置されており、これらは機能的に\*\*主眼 (Principal Eyes) と副眼 (Secondary Eyes) \*\*の2つのグループに大別される<sup>1</sup>。

### 2.1 主眼と副眼の構造的・機能的二型性

タランチュラの8つの眼は、以下の4対に分類される。

1. 前中眼 (Anterior Median Eyes: AME) - 主眼
2. 前側眼 (Anterior Lateral Eyes: ALE) - 副眼
3. 後中眼 (Posterior Median Eyes: PME) - 副眼

#### 4. 後側眼 (Posterior Lateral Eyes: PLE) - 副眼

これら2つのグループは、進化的な起源と機能において決定的な違いを持っている。

##### 2.1.1 主眼 (AME) の特性: 網膜の構造と分解能

主眼であるAMEは、多くのクモ類において「像を結ぶ」役割を担うとされるが、タランチュラにおいてはその機能は限定的である。北米産タランチュラである *Aphonopelma chalcodes* を用いた研究によれば、AMEには\*\*タペタム(輝板)\*\*が存在しない<sup>1</sup>。タペタムとは、網膜の裏側にある反射層のことである。光を反射させて光受容細胞に二度通過させることで感度を高める装置である(ネコの目が暗闇で光る理由)。

タペタムを持たないAMEでは、光受容部であるラブドメア(rhabdomere)を通過した光は、その背後にいる色素カプセルに吸収される。これは「ワンパス(一回通過)」のシステムであり、光量豊富な環境での使用に適しているが、感度においては副眼に劣る。しかし、主眼には副眼にはない特徴がある。それは網膜の可動性である。ハエトリグモ(Salticidae)ほど高度ではないものの、タランチュラのAMEもわずかに網膜を動かすことができる筋肉を持っており、これにより静止した物体に対する順応(Troxler効果による消失)を防ぎ、常に視覚情報を更新し続けることが可能である<sup>3</sup>。

##### 2.1.2 副眼 (ALE, PME, PLE) の特性: 暗視能力の追求

対照的に、副眼(ALE, PME, PLE)は夜間活動に特化した構造を持つ。これらはタペタムを備えており、入射した光子を反射して再度視細胞に捉えさせることで、理論上の光子捕捉率を倍増させている<sup>1</sup>。タランチュラの副眼のタペタムは「原始型(primitive type)」に分類されるが、その機能は極めて効率的であり、微弱な光(starlightレベル)でも物体の輪郭や動き(モーション)を検出することを可能にしている。

特に前側眼(ALE)は、視界の下方(基質方向)を向いており、移動距離の測定(オドメトリー)や、眼前に迫る捕食者の「急接近(loomming)」を感知する上で重要な役割を果たしていることが、行動実験から示唆されている<sup>4</sup>。

## 2.2 電気生理学的解析による分光感度(色覚)

「タランチュラは色が見えるのか?」という問い合わせに対して、かつては「夜行性であるため色覚はない(全色盲)」とする説が支配的であった。しかし、細胞内電位記録法を用いた電気生理学的研究は、この常識を覆している。

##### 2.2.1 紫外線(UV)と緑色の二色性

*Aphonopelma chalcodes* の視細胞に微小電極を刺入して行われた実験において、タランチュラの視細胞は単一の波長だけでなく、複数の波長にピークを持つ感度曲線を示した<sup>1</sup>。具体的には以下の2つの波長領域に感度ピークが確認されている。

- 最大感度ピーク ( $\lambda_{max}$ ): 約 500 nm(緑色～青緑色)
- 副次感度ピーク: 約 370 nm(紫外線・UV)

このデータは、タランチュラの眼が単なる明暗センサー(モノクローム)ではなく、少なくとも緑色領域と紫外線領域の光を区別できる生理的ハードウェアを持っていることを示している。主眼(AME)と副眼(ALE)の双方においてこの傾向が見られるが、AMEではUV感受性と可視光感受性の比率が細胞によって異なるのに対し、ALEではより均一な反応を示す<sup>1</sup>。

### 2.2.2 「青いタランチュラ」の謎とオプシン遺伝子

さらに近年の分子生物学的研究は、タランチュラが多くのオプシン遺伝子(光受容タンパク質の設計図)を発現していることを明らかにした。2020年の研究では、多くのタランチュラ種が、昼行性で色覚を持つクモと同等レベルのオプシンセットを持っていることが確認されている<sup>6</sup>。

これは、タランチュラに見られる鮮やかな体色、特に「コバルトブルー」や「メタリックブルー」といった構造色が、単なる偶然の産物ではないことを示唆している。系統解析によると、タランチュラの祖先(約1億1000万年前)は青色であった可能性が高く、この青色は捕食者への警告色や隠蔽色ではなく、同種間の\*\*配偶者選択(Mate Choice)\*\*のための信号として進化した可能性が高いとされる<sup>6</sup>。タランチュラの視覚感度(500nmの緑と370nmのUV)の組み合わせは、自然界の背景(土や葉:緑～茶色)から、青色(UVを含み、緑をあまり含まない)を際立たせて認識するのに適している。つまり、タランチュラは「仲間(特に配偶相手)の青色」を認識するために、限定的ではあるが機能的な色覚を使用していると考えられる。

## 2.3 視力と空間分解能: 世界はどう見えているか

では、タランチュラの視力(Visual Acuity)は数値的にどの程度なのか。視力は通常、視野角1度あたりに識別できる白黒の縞模様の周期数(cycles per degree: cpd)で表される。

### 2.3.1 空間分解能の推定

タランチュラの視力に関する直接的な行動実験データは少ないが、近縁の徘徊性クモ類(*Cupiennius salei* やコモリグモ類)の解剖学的データから推定が可能である。

- ヒトの視力: 約 60 cpd(視力1.0相当)。
- ハエトリグモの視力: 約 20-30 cpd(無脊椎動物としては驚異的な高解像度)<sup>9</sup>。
- タランチュラの視力: 推定 0.5 cpd 未満。

この数値は、タランチュラが見ている世界が極めて「ぼやけた」ものであることを意味する。彼らの視覚世界は、高精細な画像ではなく、低解像度のモザイク画に近い。詳細な形状認識(例: 獲物の脚の形や羽の模様の識別)は不可能であり、認識できるのは「コントラストの強い大きな塊」や「移動する影」程度であると考えられる<sup>10</sup>。

### 2.3.2 インターレセプター角(Inter-receptor angle)

空間分解能の物理的限界は、網膜上の受容体同士の間隔(インターレセプター角)によって決まる。タランチュラの眼のインターレセプター角は大きく、数度(degrees)のオーダーであると推定される(ハエトリグモは0.04度)<sup>3</sup>。これは、視界の中の1ピクセルが非常に大きいことを意味し、遠くにある小さな物体は背景に埋没してしまい、検出不可能となる。したがって、タランチュラの視覚は「近距

離」かつ「高コントラスト」な対象に特化している。

### 3. 機械受容系: トリコボスリアによる「聴覚」と「触覚」の融合

視覚が「ぼやけた」補助的な感覚であるのに対し、タランチュラの機械受容感覚 (Mechanoreception) は物理法則の限界に迫るほどの超高感度システムである。その主役となるのが、脚や触肢に無数に生えている特殊な感覚毛、\*\*トリコボスリア (Trichobothria、聴毛)\*\*である。

#### 3.1 トリコボスリアの超微細構造と流体力学

トリコボスリアは、通常の体毛 (setae) とは構造的に全く異なる。その形状は「糸状 (filiform)」であり、先端に向かって細くならず、均一な太さを保つ。これがカップ状のソケット (bothrium) の中に、極めて薄い (約  $0.5 \mu\text{m}$ ) クチクラ膜によって吊り下げられている<sup>13</sup>。

この構造の最大のポイントは、摩擦がほぼゼロに近いことである。トリコボスリアは、風に「なびく」のではなく、空気の粘性抵抗 (Viscous force) を受けて、基部を支点としてジョイントのように傾く。この構造により、空気分子のわずかな変位 (Displacement) にも追従して動くことができる。これは、物理的には「速度計」ではなく「変位計」あるいは「流速計」として機能する<sup>14</sup>。

#### 3.2 感度の物理的限界: エネルギーと閾値

タランチュラの感覚毛がどれほど敏感かを示す数値は、生物学的常識を逸脱している。

パラメータ	閾値・範囲	生物学的・物理学的意義
偏向角閾値	$0.01^\circ \sim 0.1^\circ$	髪の毛を $0.01^\circ$ 傾けるだけで神経発火が起きる。肉眼では確認不可能な微動。 <sup>14</sup>
エネルギー閾値	$2.5 \times 10^{-20} \text{ ジュール}$	緑色の光子1個のエネルギー (約 $4 \times 10^{-19} \text{ J}$ ) よりも小さい。熱雑音 (ブラウン運動) の限界に近い。 <sup>14</sup>
感知可能な流速	$1 \text{ mm/s} \sim 1 \text{ m/s}$	人間の肌では感じ取れない微弱な気流を検知可能。 <sup>15</sup>
周波数同調	$50 \text{ Hz} \sim 100 \text{ Hz}$	ハエやハチの羽ばたき周波数に完全にチューニングされている。 <sup>14</sup>

この  $10^{-20}$  ジュールというエネルギー感度は、タランチュラが静寂な環境下であれば、数メートル先の羽音すら物理的に検知可能であることを示唆している。しかし、実環境にはノイズ（風や背景振動）があるため、神経系によるフィルタリングが行われる。

### 3.3 検知距離と空間認識（Touch-at-a-Distance）

トリコボスリアは「遠隔触覚（Touch-at-a-Distance）」と呼ばれる機能を提供する。徘徊性クモ類（*Cupiennius salei*）を用いた実験では、飛翔するハエが引き起こす空気の乱れを、最大で 55 cm 離れた場所から検知できている<sup>14</sup>。

#### 3.3.1 基質による增幅効果

興味深いことに、この検知距離は環境に依存する。クモが植物の葉や固い基質の上にいる場合、基質自体が空気の流れを整流・增幅する「プラットフォーム」として機能し、検知距離が延伸される。逆に、空中に吊るされた状態などでは、検知距離は 15 cm 程度に低下する。タランチュラが地面や巣穴の入り口に陣取ることは、この流体力学的な增幅効果を最大化する戦略的配置でもある<sup>15</sup>。

#### 3.3.2 方向探知能力

タランチュラは単に「何かがいる」ことを知るだけでなく、「どこにいるか」を正確に把握する。8本の脚に配置された数百本のトリコボスリアは、それぞれ異なる長さ（100  $\mu\text{m}$  ~ 1400  $\mu\text{m}$ ）を持ち、異なる周波数に共振する<sup>13</sup>。これにより、空気振動の周波数成分を分解（フーリエ変換的処理）し、さらに各脚への到達時間差や強度差を統合することで、音源や気流源のベクトルを算出する。この計算は瞬時に行われ、全暗黒下でも正確に獲物へ飛びかかることが可能にする<sup>17</sup>。

### 3.4 タランチュラは「音」を聞くか？

「聴覚」を「鼓膜による音圧の感知」と定義するならば、タランチュラに耳はない。しかし、音波は「圧力変化」と「粒子速度（空気の揺れ）」の二つの成分を持つ。近距離音場（Near-field sound）においては、粒子速度成分が支配的となる。トリコボスリアはこの粒子速度を感知するため、タランチュラは近距離の音（羽音、足音、低い唸り声など）を物理的な空気の振動として「聴いて」いると言える<sup>18</sup>。

さらに、近年の研究では、造網性クモ類において「クモの巣」自体が巨大な鼓膜として機能し、遠距離の音波を捉えていることが判明している<sup>20</sup>。タランチュラは造網性ではないが、巣穴の入り口に張り巡らせた糸（シグナルスレッド）が同様の拡張された聴覚器官として機能し、巣の外部の音振動を増幅して伝えている可能性は極めて高い。

---

## 4. 視覚と触覚の統合：行動制御のヒエラルキー

タランチュラの生存戦略において、これら二つの感覚（低解像度の視覚と超高感度の触覚）はどのように使い分けられているのか。研究データは、状況に応じた明確な優先順位（ヒエラルキー）が存在することを示唆している。

## 4.1 捕食行動: 振動がトリガー、視覚は補助

タランチュラの捕食は「待ち伏せ型」である。このモードにおいて、主導権を握るのは圧倒的に\*\*機械受容感覚(振動)\*\*である。

- 実験的証拠: 視覚を遮断(眼を塗装)したタランチュラや徘徊性クモでも、獲物の発する振動さえあれば、捕食成功率はほとんど低下しない<sup>17</sup>。
- 視覚の役割: 一方で、振動を伴わない視覚刺激(モニター上の動く黒点など)に対しては、反応はするものの、最終的な攻撃行動(捕獲ジャンプ)に至ることは稀である。視覚は、獲物のおおよその方向を向く(Orienting)ために使われるが、攻撃の「発射スイッチ」を押すのはトリコボスリアからの入力である可能性が高い<sup>17</sup>。

## 4.2 防衛行動: 視覚的「ルーミング」への反応

逆に、防衛行動においては視覚が重要なトリガーとなる。

- ルーミング反応(Looming Response): 視野の中で急激に拡大する黒い影(捕食者の接近を模したもの)に対し、タランチュラは即座に後退や威嚇の姿勢をとる。この反応は主に前側眼(ALE)が担っていることが実験で示されている<sup>5</sup>。
- マルチモーダル統合: 視覚的な接近(影の拡大)と、機械受容的な刺激(強烈なエアパフ=捕食者の息や風圧)が組み合わさった時、タランチュラは最大の防衛反応(毒毛の飛散や牙による威嚇)を示す<sup>25</sup>。視覚は「早期警戒システム」として機能し、触覚が「直接的脅威の確認」を行うという連携が見られる。

## 4.3 ナビゲーションとオドメトリー

徘徊するオスや、巣穴から一時的に離れる個体にとって、帰り道を知ることは重要である。コモリグモ(Lycosa tarantula)の研究では、前側眼(ALE)を使って地面の模様が流れる速度を感知し、移動距離を計測(オドメトリー)していることが分かっている<sup>4</sup>。

タランチュラにおいても、眼を塞ぐと巣穴への帰還精度が落ちる事例が報告されており、低解像度ながらも、地面の「オプティカルフロー(光学的流動)」を感知して、自分がどれだけ歩いたかを視覚的に計算していることが示唆される。

---

## 5. 結論: タランチュラの感覚世界

以上の科学的知見を総合すると、タランチュラの「目」と「感覚毛」の能力についての回答は以下のようになる。

### タランチュラの目はどのぐらい見えているのか?

- 解像度: 極めて低い(0.5 cpd未満)。世界はぼやけたモザイク画のように見えており、小さな虫の形などを詳細に識別することはできない。
- 色覚: 緑色(500 nm)と紫外線(370 nm)を識別する二色型色覚を持つ。「青色」の識別能力があり、これは仲間の認識や配偶行動に使われている可能性が高い。

- 暗視能力: 副眼(ALE, PME, PLE)に備わった反射板(タペタム)により、極微弱な光でも物体の輪郭や動き(特に接近する影)を感じできる。
- 機能: 形を見るためではなく、「動き(モーション)」「光の強弱」「青色のコントラスト」を検知するためのセンサーとして機能している。

## 感覚毛はどのくらい敏感に感じとれるのか？

- 感度: 物理学的な限界に近い。エネルギー閾値は  $10^{-20}$  ジュール台であり、光子数個分のエネルギーに相当する空気の揺らぎを検知する。
- 検知対象: 単なる風だけでなく、ハエの羽音(50-100 Hz)のような特定の周波数パターンを識別し、ノイズから信号を抽出する。
- 距離: 条件が良い(基質上など)場合、55 cm以上離れた獲物の微細な気流を検知し、その位置と方向を正確に特定できる「遠隔探知レーダー」として機能する。

タランチュラは、我々が依存する「高精細な視覚」の代わりに、「空気の質感」や「振動の色彩」を極めて鮮明に感じることで、暗闇の王者としての地位を確立しているのである。彼らにとって、空気は単なる空間ではなく、情報が満ち溢れる海のような媒体であると言えるだろう。

---

## 参考文献一覧

本報告書におけるデータおよび主張は、以下の資料IDに基づくものである：

.1

## 引用文献

1. SPECTRAL SENSITIVITIES OF PHOTORECEPTORS IN THE ..., 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://www.americanarachnology.org/journal-joa/joa-all-articles/article/download/JoA\\_v17\\_p195.pdf?no\\_cache=1](https://www.americanarachnology.org/journal-joa/joa-all-articles/article/download/JoA_v17_p195.pdf?no_cache=1)
2. Spider vision - Wikipedia, 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Spider\\_vision](https://en.wikipedia.org/wiki/Spider_vision)
3. The orientation-dependent visual spatial cut-off frequency in a spider - Company of Biologists Journals, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://journals.biologists.com/jeb/article/213/18/3111/9723/The-orientation-dependent-visual-spatial-cut-off>
4. Tarantulas Use Their Lateral Eyes to Calculate Distance - Research ..., 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://www.rdworldonline.com/tarantulas-use-their-lateral-eyes-to-calculate-distance/>
5. Secondary eyes mediate the response to looming objects in jumping spiders (Phidippus audax, Salticidae) | Biology Letters | The Royal Society, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://royalsocietypublishing.org/rsbl/article/8/6/949/49344/Secondary-eyes-mediate-the-response-to-looming>
6. Scientists discover why tarantulas come in vivid blues and greens ..., 1月 10, 2026

- にアクセス、<https://www.sciencedaily.com/releases/2020/09/200924101925.htm>
- 7. In a Surprise, Tarantulas Seem to Have Color Vision | Plants And Animals - Labroots, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://www.labroots.com/trending/plants-and-animals/18796/surprise-tarantulas-color-vision>
  - 8. Scientists discover why tarantulas come in vivid blues and greens - Carnegie Mellon University, 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://www.cmu.edu/mcs/news-events/2020/0929\\_tarantula-color-discovery.html](https://www.cmu.edu/mcs/news-events/2020/0929_tarantula-color-discovery.html)
  - 9. Spider vision - XIMENA NELSON, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://www.ximenanelson.com/spider-vision.html>
  - 10. Visual acuity in larval zebrafish: behavior and histology - PMC - PubMed Central, 1月 10, 2026にアクセス、<https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2848032/>
  - 11. VISUAL ACUITY IN INSECTS - ResearchGate, 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://www.researchgate.net/profile/M-Land/publication/8665924\\_Visual\\_Acuity\\_in\\_Insects/links/54aa5f9e0cf2eecc56e6d961/Visual-Acuity-in-Insects.pdf](https://www.researchgate.net/profile/M-Land/publication/8665924_Visual_Acuity_in_Insects/links/54aa5f9e0cf2eecc56e6d961/Visual-Acuity-in-Insects.pdf)
  - 12. The orientation-dependent visual spatial cut-off frequency in a spider - PubMed, 1月 10, 2026にアクセス、<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20802111/>
  - 13. Trichobothria — Spider's Mechanoreceptors - Ad Astra ..., 1月 10, 2026にアクセス、  
<http://www.adastralemma.com/2022/1/trichobothria>
  - 14. How To Catch the Wind: Spider Hairs Specialized for Sensing the ..., 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://www.researchgate.net/publication/12652114\\_How\\_To\\_Catch\\_the\\_Wind\\_Spider\\_Hairs\\_Specialized\\_for\\_Sensing\\_the\\_Movement\\_of\\_Air](https://www.researchgate.net/publication/12652114_How_To_Catch_the_Wind_Spider_Hairs_Specialized_for_Sensing_the_Movement_of_Air)
  - 15. Dynamics of arthropod filiform hairs. V. The response of spider ... - NIH, 1月 10, 2026にアクセス、<https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1692475/>
  - 16. Spider mechanoreceptors, 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://www1.pbrc.hawaii.edu/~danh/Neurodiversity/Spring%202010/Session1-Art\\_hropMechano/Barth\\_2004\\_SpiderMechanoreceptors.pdf](https://www1.pbrc.hawaii.edu/~danh/Neurodiversity/Spring%202010/Session1-Art_hropMechano/Barth_2004_SpiderMechanoreceptors.pdf)
  - 17. Airflow elicits a spider's jump towards airborne prey. II. Flow characteristics guiding behaviour - Royal Society Publishing, 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://royalsocietypublishing.org/rsif/article/10/82/20120820/89466/Airflow-elicit\\_s-a-spider-s-jump-towards-airborne](https://royalsocietypublishing.org/rsif/article/10/82/20120820/89466/Airflow-elicit_s-a-spider-s-jump-towards-airborne)
  - 18. Can Tarantulas Hear? Can Tarantulas Hear the World Around Them? | by Aexsha Teramera | Medium, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://medium.com/@Tarantulasdiet/can-tarantulas-hear-can-tarantulas-hear-the-world-around-them-6a67aa58eac3>
  - 19. How Spider Silk Could Inspire Microphones of the Future and Revolutionize Sound Design, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/how-spider-silk-could-inspire-microphones-of-the-future-and-revolutionize-sound-design-180984379/>
  - 20. Outsourced hearing in an orb-weaving spider that uses its web as an auditory sensor - NIH, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9169088/>
  - 21. Orb-weaver spider uses web to capture sounds - College of Arts & Sciences,

- Cornell, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://as.cornell.edu/news/orb-weaver-spider-uses-web-capture-sounds>
22. Visual perception of motion in a hunting spider - PubMed, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19684216/>
23. Airflow elicits a spider's jump towards airborne prey. II. Flow characteristics guiding behaviour - PubMed Central, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3627073/>
24. Secondary eyes mediate the response to looming objects in jumping spiders (Phidippus audax, Salticidae) - PMC - NIH, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3497142/>
25. Tarantulas: Defense | Ten Things I Like About... Podcast, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://tenthingsilikeabout.podbean.com/e/tarantulas-defense/>
26. Dissociation of tactile and acoustic components in air puff startle - PubMed - NIH, 1月 10, 2026にアクセス、<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2062929/>
27. Visual odometry in the wolf spider *Lycosa* tarantula (Araneae: Lycosidae), 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://journals.biologists.com/jeb/article/217/3/395/12982/Visual-odometry-in-the-wolf-spider-Lycosa>
28. Colour blindness of the movement-detecting system of the spider *Cupiennius salei* | Journal of Experimental Biology | The Company of Biologists, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://journals.biologists.com/jeb/article/214/4/546/10684/Colour-blindness-of-the-movement-detecting-system>
29. Trichobothria - Wikipedia, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Trichobothria>
30. THE AIR FLOW GENERATED BY A FLYING PREY INSECT AROUND A WANDERING SPIDER AND ITS MOTION SENSING HAIR SENSILLA - TSFP Conference, 1月 10, 2026にアクセス、  
<http://www.tsfp-conference.org/proceedings/2007/161-the-air-flow-generated-by-flying-prey.pdf>
31. Tarantula (U.S. National Park Service), 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://www.nps.gov/articles/tarantula.htm>
32. How Many Eyes Does a Tarantula Have? - A-Z Animals, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://a-z-animals.com/animals/tarantula/how-many-eyes-does-a-tarantula-have/>
33. Why are my tarantulas being aggressive? - Reddit, 1月 10, 2026にアクセス、  
[https://www.reddit.com/r/tarantulas/comments/1537uga/why\\_are\\_my\\_tarantulas\\_being\\_aggressive/](https://www.reddit.com/r/tarantulas/comments/1537uga/why_are_my_tarantulas_being_aggressive/)
34. The 5 Most Defensive Tarantulas I Have Raised - Tom's Big Spiders, 1月 10, 2026にアクセス、  
<https://tomsbigspiders.buzzsprout.com/148967/episodes/16422791-the-5-most-defensive-tarantulas-i-have-raised>