

# ザトウムシの研究は いかにして始まったのか？



令和5年5月8日（月）リテラシー講座①



# SSH生徒研究発表会

全国のSSH指定校が発表

動物分野全40チーム中 1位!

➡ 審査委員長賞(4位タイ)

# 全国高等学校総合文化祭

文化系の部活のインターハイ

➡ 奨励賞(全国ベスト5)





# 最優秀賞・文部科学大臣賞



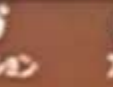
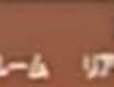
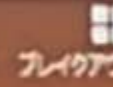
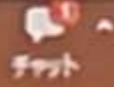
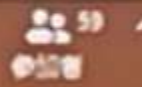
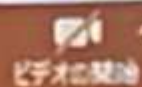
HE29

## 鹿児島県立錦江湾高等学校

なぜ、ギンボシザトウムシはオオヒメグモの巣に引っかかるのか？

発言中

Host



発表



# ザトウムシとは？





# ザトウムシってどんな生き物？

鋏角亜門クモガタ綱ザトウムシ目

世界：約6400種 日本：約80種





何を調べるか?・・・これを見つけるのが楽しい!!



SR3回（計6時間）観察を続けた

みなさんも  
テーマを考えてみよう!



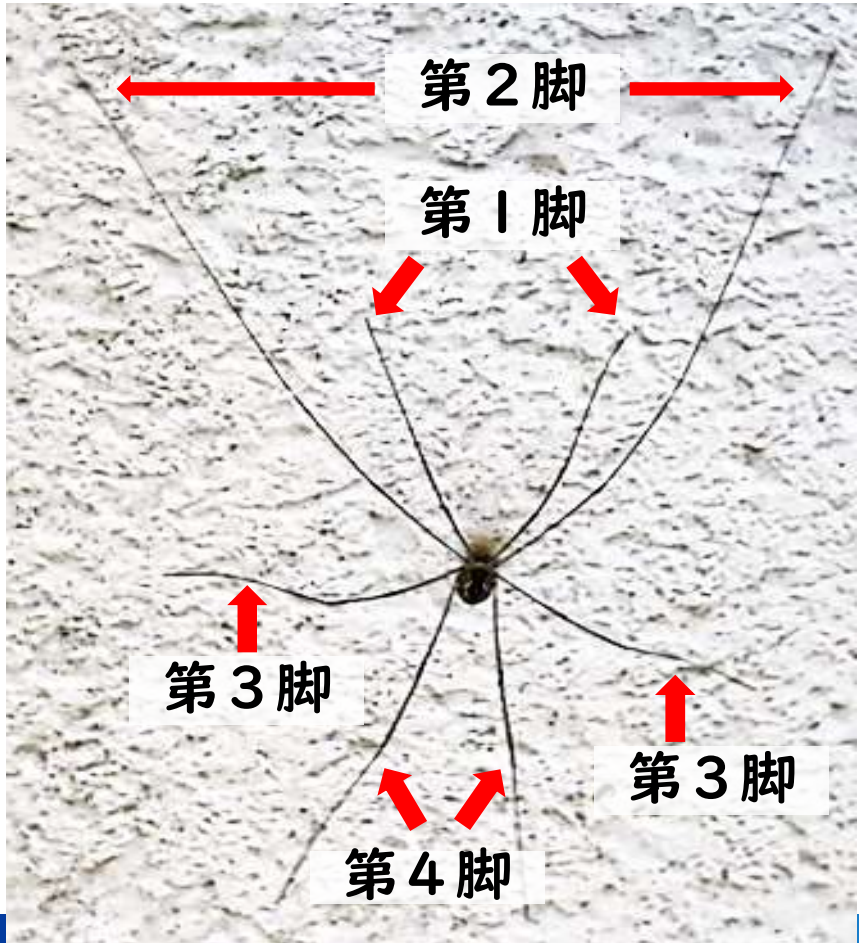
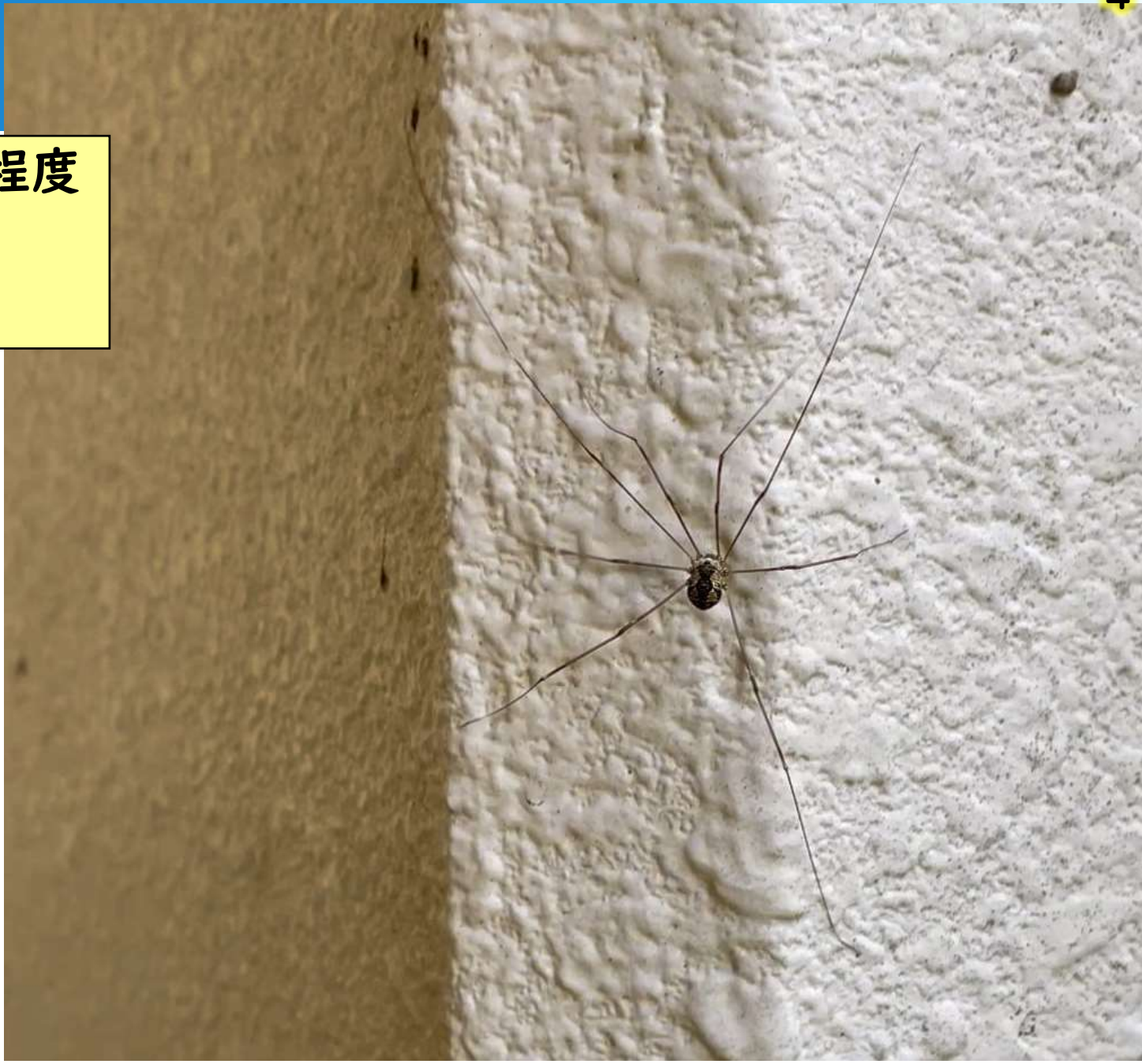
Introduction

# 視覚はほぼない

1対の眼をもつが…明暗を認識する程度



第2脚の触覚で周囲を探索





何を調べるか? . . . これを見つけるのが楽しい!!



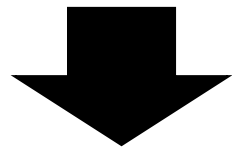
自切後に筋肉の痙攣を起こす



# 研究の仮説 | と検証方法

## 仮説 I

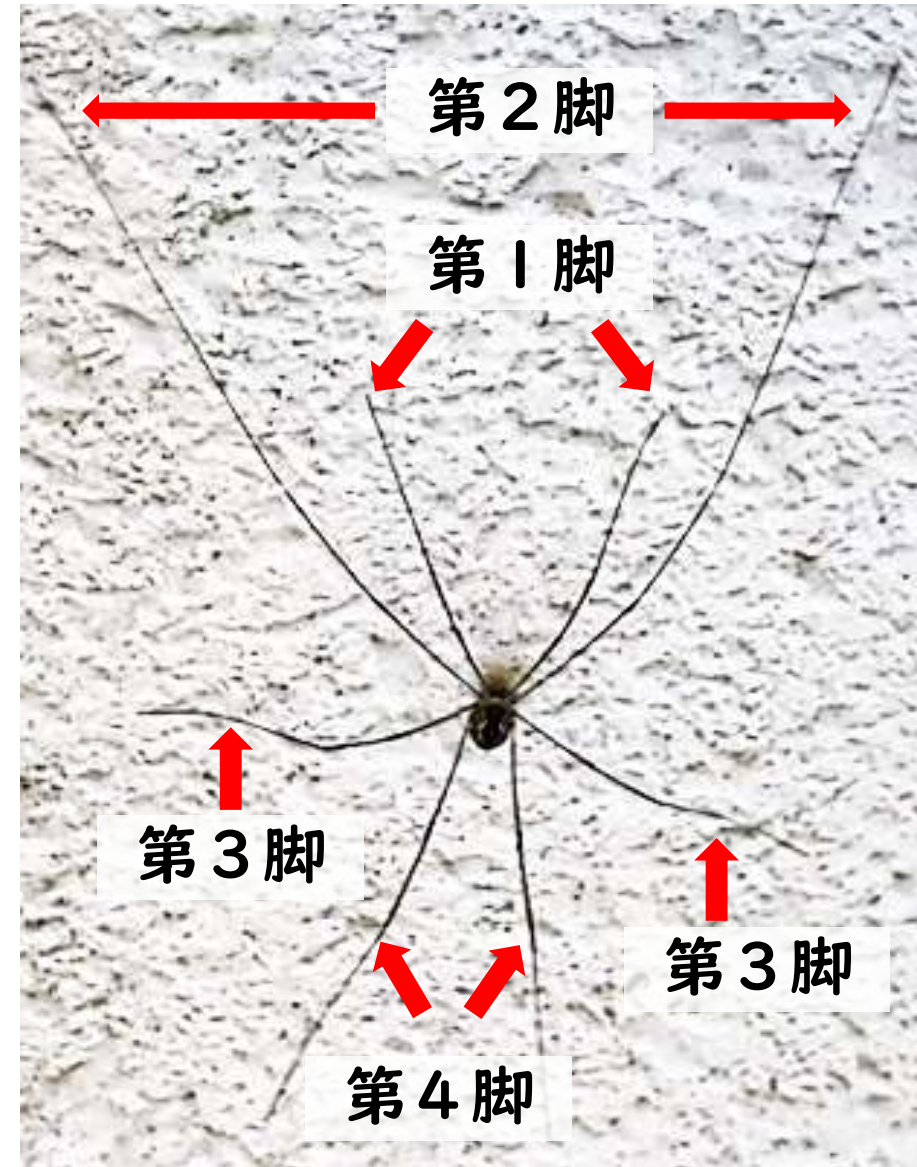
生態系内のザトウムシでは、第 2 脚が最も残存している



## 方法

ギンボシザトウムシを脚の数を確認

では、ザトウムシの  
何を調査しますか？

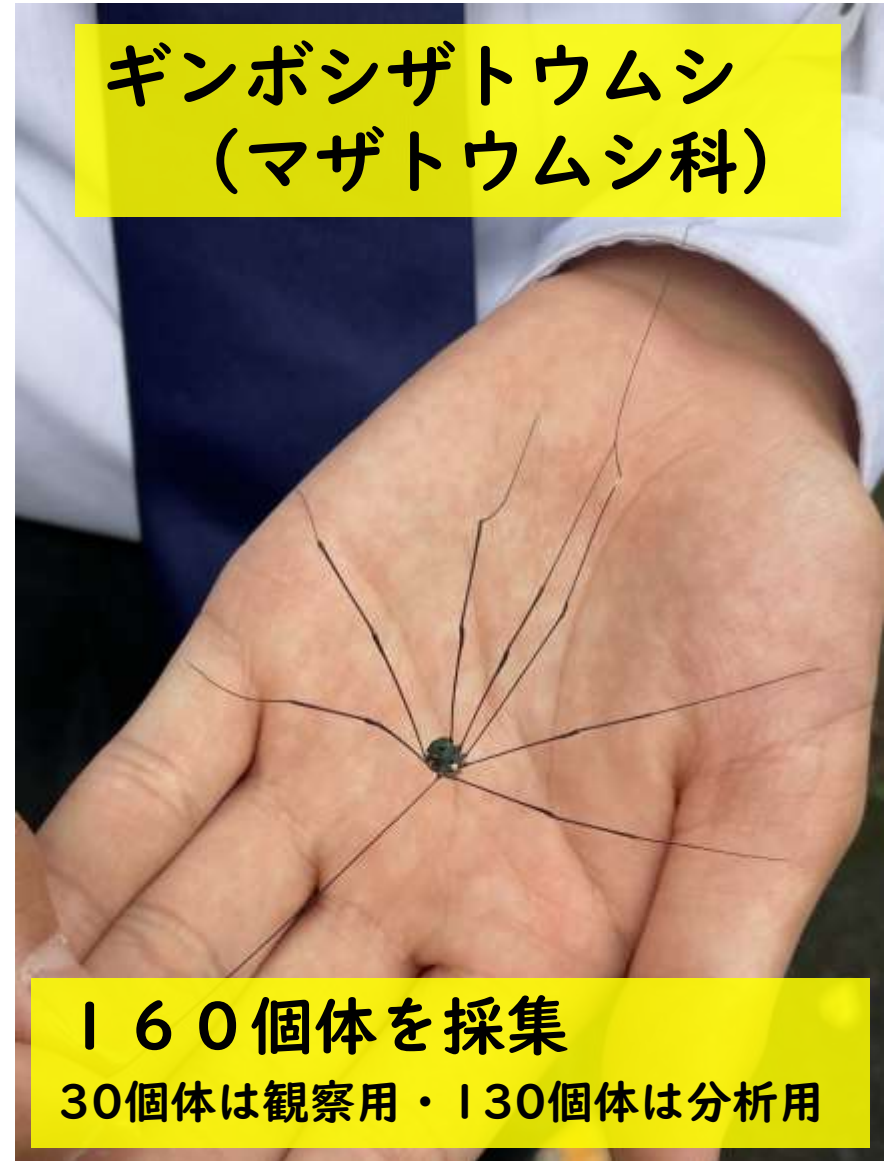




# ザトウムシの採集(2021年4月21日~10月13日)



ギンボシザトウムシ  
(マザトウムシ科)





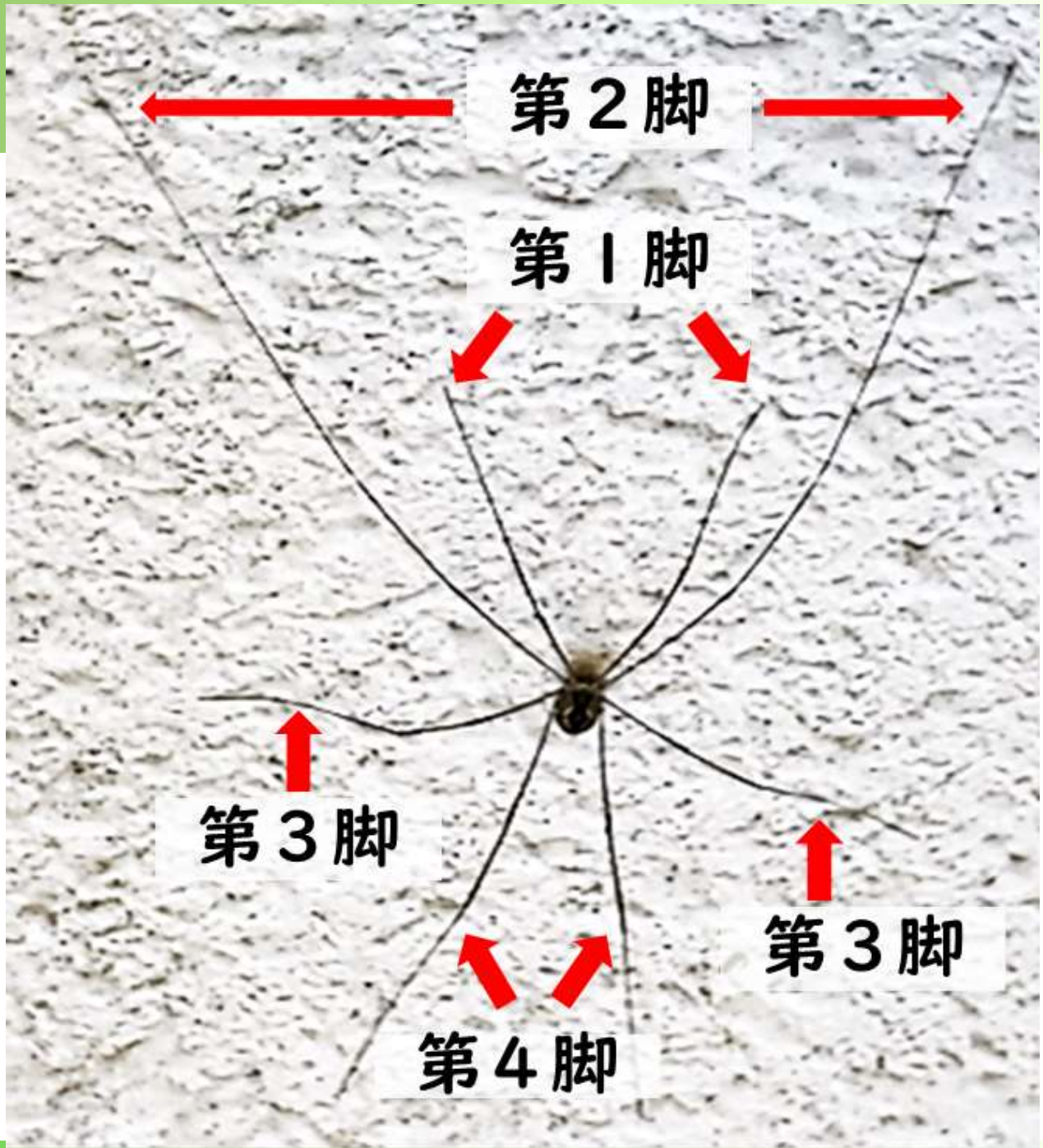
# 計測方法

① 脚の欠損部位を確認

② 第1脚  
第2脚  
第3脚  
第4脚 } 長さを測定

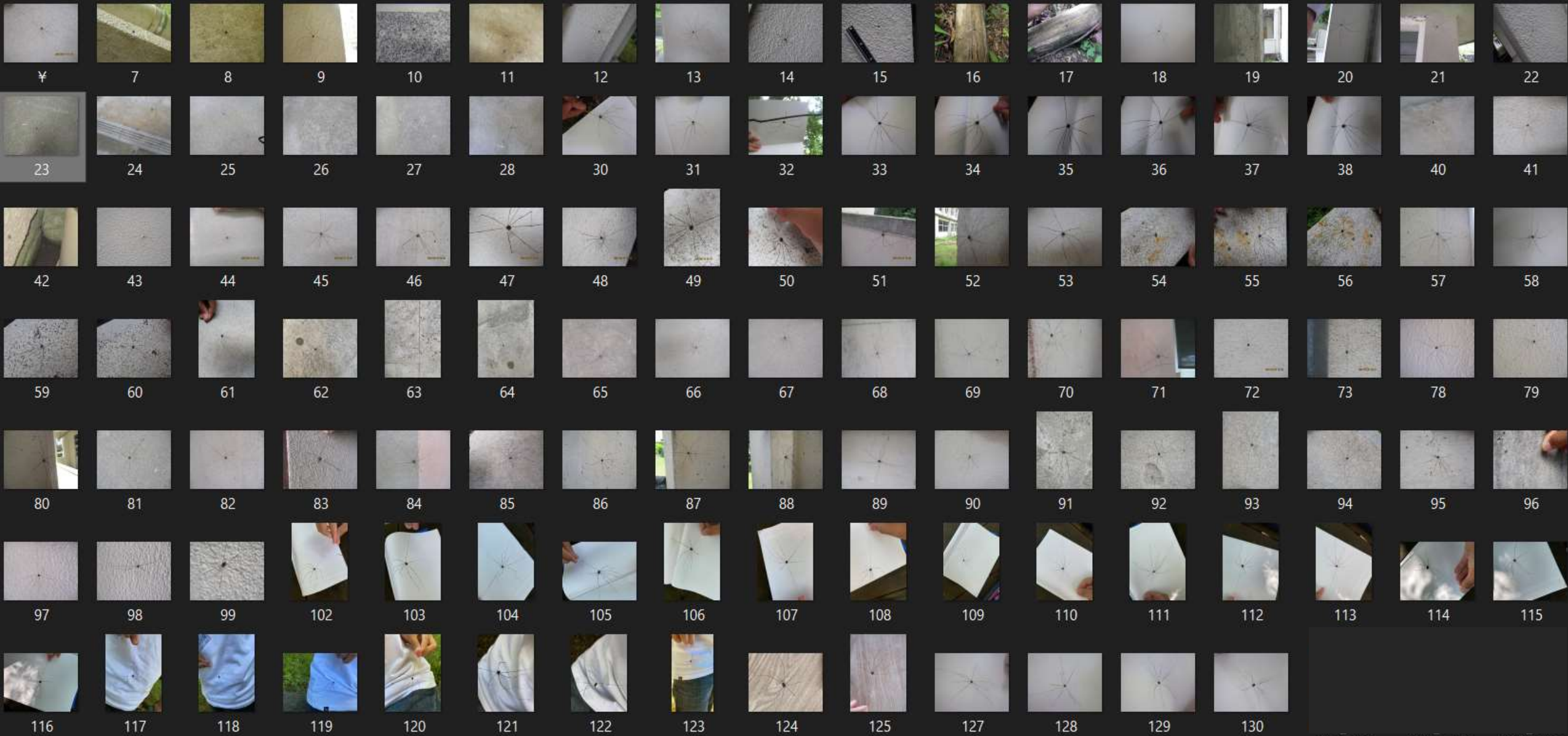
③ 体部の長さを測定

④ 全個体 写真で撮影





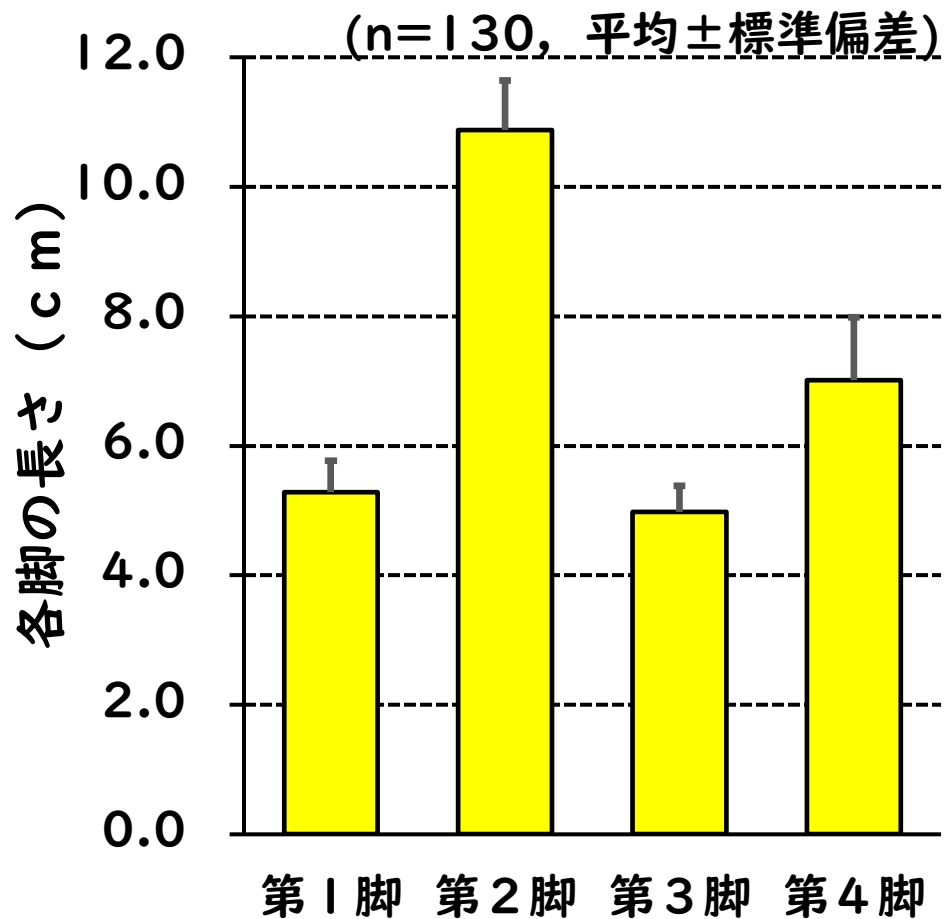
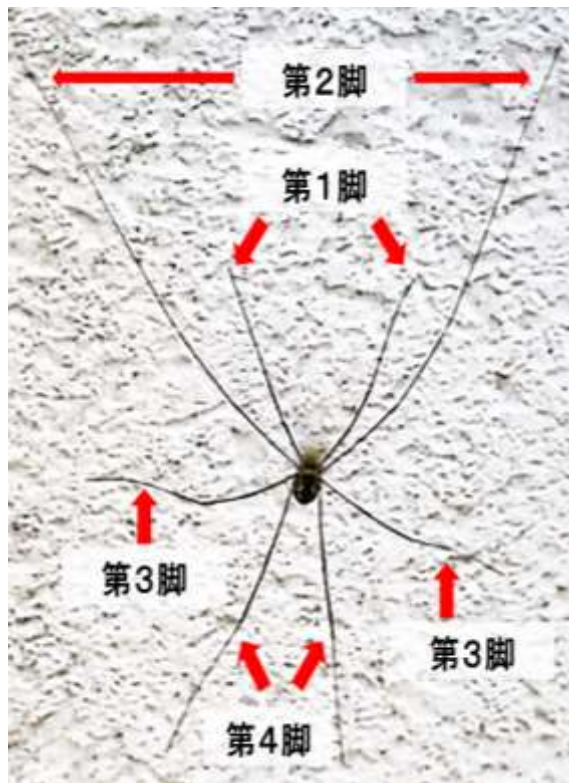
# 採集したザトウムシの写真一覧





# ギンボシザトウムシの脚の長さ

2021年4月12日～10月13日に採集した130個体の分析結果



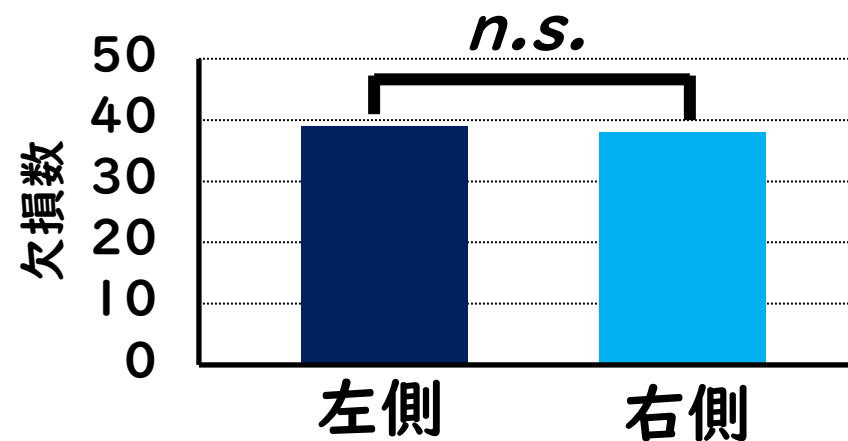
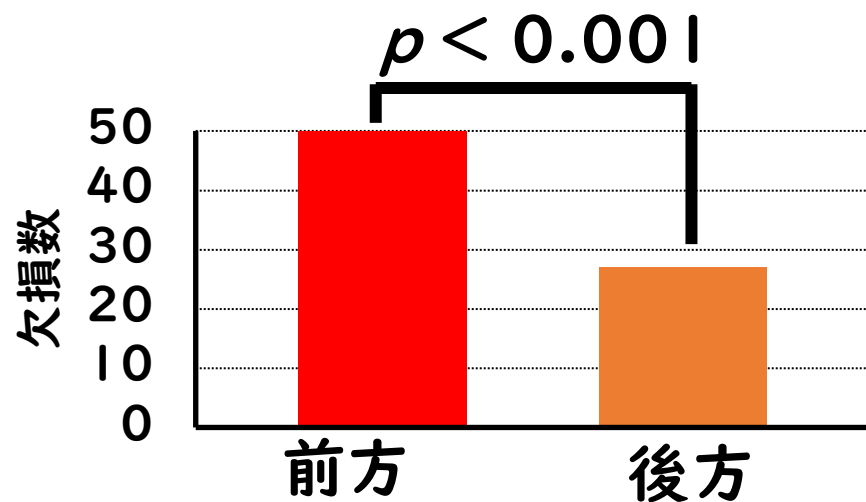
一元配置分散分析・多重比較検定  
 (\*\* :  $p < 0.001$ , \* :  $p < 0.05$ )

	第1脚	第2脚	第3脚	第4脚
第1脚				
第2脚	**			
第3脚	*	**		
第4脚	**	**	**	



# ギンボシザトウムシの脚の長さ

	左側				右側			
	第1脚	第2脚	第3脚	第4脚	第1脚	第2脚	第3脚	第4脚
130個体の合計	11	14	6	8	9	16	9	4





# 仮説 I の結果・考察

仮説 I

生態系内のザトウムシでは、  
第 2 脚が最も残存しているのでは

否定 第2脚が最も欠損していた

仮説 II

ギンボシザトウムシは第2脚が最も切れやすいのでは？

方法

自作の固定器具を使い、ギンボシザトウムシの脚の自切割合を調べる



第2脚欠損個体

研究ノート

ザトウムシの形態的特徴と脚の自切

中尾菜奈<sup>1)</sup>・加藤元海<sup>1), 2)\*</sup>

要 旨

ザトウムシはクモガタ綱ザトウムシ目の総称で、豆のような小さな体に細長い8本の脚をもつという形態的な特徴がある。そのうちカイキザトウムシ亜目の種は、捕食者に対する防衛戦略として、脚を自切することが知られている。本研究では、カイキザトウムシ亜目5種を用いて、脚を計測することにより形態的な特徴を明らかにするとともに、自切について生態学的な知見を得ることを目的とした。いずれの種においても觸覚の役割を担う第2脚が最も長く、次いで第4脚が長く、第1脚と第3脚はほぼ同じ長さで最も短かった。脚の長さに対する太さの比は、第2脚の趾節で100分の1程度の粗であった。自切に関しては、自切割合が最も高かったのは第4脚で、次いで第3脚、第1脚、第2脚の順であった。1個体あたり自切した脚の本数は、4本が最頻値で、次いで3本であった。また、脚の本数が減少するとともに、運動能力は低下した。

キーワード: カイキザトウムシ亜目、形態、自切、運動能力、防衛戦略

ザトウムシはクモ類と同じクモガタ綱 (Arachnida) に属すザトウムシ目 (Opiliones) の総称である。ザトウムシは豆のような小さな体に細長い8本の脚をもつという形態的な特徴がある。世界で約6400種、日本では約80種が知られている (鶴崎・鈴木 2015)。特徴的な形態やその生態から、日本を含め世界中でさまざまな呼び名が付いている (Machado et al. 2007)。ザトウムシの座頭は盲目の人を意味することから、日本におけるザトウムシという言葉は盲目の人が杖をついて周囲を探索しながら歩く姿に由来する。韓国や中国でも、盲目のクモを意味する言葉が使われている。北アメリカやオーストラリアでは daddy longlegs (足長おじさん) と呼ばれている。また、ザトウムシは作物の収穫時期である夏から秋にかけてよく見られる生物であることから、イギリスでは収穫 (harvest) の単語に関連した harvestman と呼ばれている。日本においても多くの種が見られるのは同様に夏から秋にかけてである (鶴崎 2015)。ザトウムシを野外で採集する際、脚が取れてしまうことがしばしばあるが、離脱した脚が

収穫の際に用いる鎌の動きのように痙攣することから、ヨーロッパの多くの国では刈取り機 (reaper) を意味する呼び名となっている。

ザトウムシの多くの種は、森林性で特にブナ林やスギ林で個体密度が高い (鶴崎 2015)。食性は雑食であり、土壌性の小さな節足動物や無脊椎動物、腐肉及び植物などが食糧となる (Acosta and Machado 2007)。ザトウムシの捕食者は昆虫食性の小型哺乳類や鳥類、カエル類及びクモ類である (Cokendolpher and Mitov 2007)。捕食者に対する防衛手段として、擬態や隠べい色、分泌腺から忌避物質の放出、擬死や自切などが知られている (Machado et al. 2007)。ザトウムシにおける脚の自切は、比較的大型で長脚のカイキザトウムシ亜目 (Eupnoi) の種で起こることが知られている (Gnaspini and Hara 2007)。自切とは、捕食者などに攻撃された時や捕捉された時に体の一部を自ら切り離す現象であり、捕食者が離脱した体の一部に気を取られている間に逃走することを目的とした防衛手段である (エドムンズ 1980)。良く知られた例として、トカゲは捕食者に尾を軽く捕捉されただけでも自切し、離脱した尾は激しく痙攣して捕食者の目を引きつける (岡 2006)。ザトウムシにおいても、刈取り機との呼び名もある通り、自切後の脚は数秒から数分間痙攣する (Hillyard et al. 1989)。脚の痙

攣は、自切後も脚の気門から取り入れられた酸素を用いて筋肉が動くことで起こる (Eisner et al. 1978)。

ザトウムシは特徴的な外見をもっているにもかかわらず、分類に関する研究を除くと、生態や形態に関する研究は他の無脊椎動物 (昆虫など) に比べて極端に少ない。分類に関する研究も含めて、1901年から2000年の100年間であらゆる言語で出版されたザトウムシに関する論文の数は400本にも満たず (Machado et al. 2007)、現在でもザトウムシに関する生物学的な知見は Pinto-da-Rocha et al. (2007) に依存している。本研究では、カイキザトウムシ亜目5種を用いて、脚を計測することにより形態的な特徴を明らかにするとともに、防衛戦略の1つである自切について生態学的な知見を得ることを目的とした。

材料と方法

高知県と長野県において、実験に用いるためのザトウムシ個体を採集した。高知県の採集地は、大豊町怒田地区 (採集日 2018年7月1日、緯度 N33° 7' 52.33", 経度 E133° 81' 38.20", 高度 880 m)、梶ヶ森 (大豊町, 2018年8月11日、N33° 78' 70.37", E133° 75' 92.55", 315 m)、天狗高原 (津野町, 2018年9月25日、N33° 27' 11.09", E133° 00' 18.07", 627 m)、大座礼山 (大川村, 2018年10月3日、N33° 49' 55.55", E133° 23' 52.60", 1176 m)、東光森山 (大川村, 2018年10月3日、N33° 50' 01.01", E133° 23' 57.67", 1108 m)、高知大学農学部演習林 (土佐山田町, 2018年10月9日、N33° 42' 13.65", E133° 36' 34.60", 842 m) であった。長野県の採集地は、木曾町福島 (2018年9月18-21日、N35° 50' 30.29", E133° 40' 55.00", 927 m)、木曾町開田高原 (2018年9月20日、N35° 56' 16.66", E137° 37' 50.00", 1176 m) であった。

室内実験

採集したザトウムシは、その日のうちに市販の虫カゴ (180 × 90 × 120 mm) の中に採集個体を入れて研究室に持ち帰った。採集個体を持ち帰る際、オスとメスが交尾した後にオス個体が死ぬことがあるので、肉眼で外見の形態を基に雌雄判別できる種 (トカゲザトウムシとヒコナミザトウムシ) については、雌雄分けて虫カゴに入れた。これらの種において、採集された個体に性別の偏りはなかった。外見で雌

雄判別できなかった種については、雌雄分けずに複数個体を虫カゴに入れたが、研究室に持ち帰るまでに交尾した個体はいなかった。実験室に持ち帰った個体は、市販の昆虫飼育箱 (370 × 220 × 250 mm) に入れて、実験まで日光に当たらない暗所で飼育した。ザトウムシはぶら下がった状態で脱皮をするため、飼育箱上面は格子状のフタとなっているものを選んだ。飼育箱にはあらかじめ水で湿らせた腐葉土を敷き、その上に落ち葉を被せた。湿度を保つために、飼育箱の壁面に定期的に霧吹き水分を補給し、腐葉土と落ち葉が常に湿っている状態にした。落ち葉とともに樹皮も入れて飼育箱上部との距離が近くなる空間を作り、ザトウムシがフタの部分に移動できるようにした。飼育中の餌については、昆虫ゼリーと湿らせた鷹節を与えた。持ち帰った個体は、採集してから2日以内に自切実験を行った。

個体は、日本産土壌動物 (鶴崎・鈴木 2015)、山口県のザトウムシ類 (川野・鶴崎 2013) 及び山口県東部におけるザトウムシ類の採集記録 (辻・烏袋 2018) を参照して双眼実体顕微鏡 (YC-40RL, ヤガミ) を用いて同定した。ザトウムシは頭胸部と腹部、8本の脚から成っている。これ以降、頭胸部と腹部を合わせた部分を体部、8本の脚を脚部と呼ぶ。

自切実験は、ザトウムシを飼育箱の中から無作為に1個体を選び、白色バット (373 × 273 × 63 mm) に入れ、8本あるうちの1本の脚を無作為に選びピンセットで30秒間捕捉した。ザトウムシの自切では、転節と腿節の間で切断が起こることが知られている (Gnaspini and Hara 2007, Shultz and Pinto-da-Rocha 2007)。予備実験の結果、転節-腿節間で自切した割合は、腿節を捕捉した場合で35%、転節で8%、趾節もしくは付節で0%であったことから (いずれも  $n=84$ )、本実験では捕捉する部位を腿節とした (図1)。30秒以内に自切しなかった場合は、自切なしと記録した。

自切が起こらなかった場合は、無作為に別の脚を1本選びピンセットで30秒間捕捉した。自切が起こった場合は、自切した脚の痙攣時間をストップウォッチで計測した。痙攣が止まってから、5秒以



図1. ザトウムシの脚と各節の名称。

2019年9月17日受理; 2019年11月20日受理  
 1) 高知大学理学部生物科学コース理論生物学研究室  
 〒780-8520 高知県高知市瑞穂2-5-1  
 2) 高知大学大学院黒潮圏科学部門  
 〒780-8520 高知県高知市瑞穂2-5-1  
 \*連絡責任者 e-mail: gonkai@kochi-u.ac.jp



# ところが・・・論文があった

内に次の痙攣が起こらなければ、痙攣は収まったとした。痙攣が収まった後の脚を70%エタノールに保存した。自切後、残された脚の中から無作為に1本の脚を選びピンセットで30秒間捕捉した。各個体に対して、自切が起こらなくなるまで以上の実験を繰り返し、最終的に自切せずに残った脚の本数を記録した。その後、残った全ての脚については、自切が起こる関節の部位で頭胸部から人為的に切除した。残った体部については、70%エタノールに保存した。

脚の本数(0-8本)と運動能力の関係をみるために、最も多く個体が採集されたヒコナミザトウムシを用いて次のような実験を行なった。方眼用紙(30 cm × 40 cm)を4枚組み合わせ、最外枠半径30 cmとして5 cm間隔の同心円を描いた。その円の中心にザトウムシの個体を置き、30秒間自由に移動させた。脚の本数によっては、同心円の中心に置いたとたんに動き出し、すぐに最外枠の外に移動する個体があった一方、同心円の中心からほとんど動くことができない個体までいた。これらのように、活発に移動できる個体からほとんど移動できない個体まで含めた個体の運動能力を比較するため、運動能力を移動した距離と時間を組み合わせて次のように得点化した。移動距離( $x$ )に関して、30秒以内に最外枠半径30 cmの円を越えた場合( $x > 30$ )には5点とし、以下4 ( $20 < x \leq 30$ )、3点 ( $10 < x \leq 20$ )、2点 ( $5 < x \leq 10$ )、1点 ( $0 < x \leq 5$ )、0点 ( $x = 0$ )とした。30秒以内に最外枠30 cmを越えた場合、最外枠を越えるまでの時間( $t$ )について、以下のような加点をした: 5点 ( $t < 2.5$ )、4点 ( $2.5 \leq t < 5$ )、3点 ( $5 \leq t < 7.5$ )、2点 ( $7.5 \leq t < 10$ )、1点 ( $10 \leq t < 20$ )、0点 ( $20 \leq t < 30$ )。

ザトウムシは脚が8本ある場合は体の均衡が取れているが、自切などにより8本未満になると左右や前後の支えの一部を失うため均衡が崩れる。ザトウムシの脚の本数及び部位と均衡との関係を表すため、ザトウムシを脚の長さが1で角度的に均等に配置( $360^\circ/8 = 45^\circ$ )された生物と仮定した(図2)。図2において、例えば、右側第1脚付節先端の座標は( $\cos 67.5^\circ, \sin 67.5^\circ$ )と表される。残された脚の先端の位置の重心が原点に近いほど均衡が取れており、逆に原点から離れるほど均衡が崩れた状態とみなすことができるため、原点から重心の距離( $l$ )を均衡の指標とした( $0 \leq l \leq 1$ )。体の均衡と運動能力との関係については、ピアソンの相関分析を用

いて分析した。

実験後の個体は、体長、各脚の長さ(関節から付節)と太さ、個体の重さ、体部と脚部の重さをそれぞれ計測した。長さの測定にはノギス(CD-15CPXもしくはCD-20CP, Mitutoyo)を、重さの測定には電子天秤(AX224もしくは124i-1S, Sartorius)を使用した。脚の長さの関係については、一元配置分散分析を用いて分析した。有意差があった場合、TukeyHSD法を用いて多重比較を行なった。なお統計処理には、統計分析フリーソフトウェアR(version 3.5.2; R Development Core Team 2018, <https://cran.r-project.org/>, 2019年1月10日閲覧)を用いた。

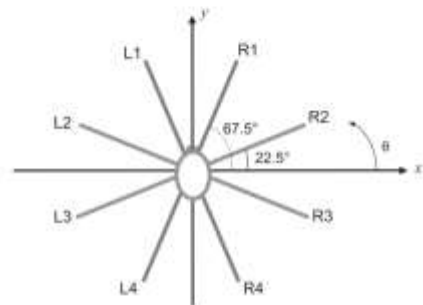


図2. ザトウムシの脚を簡略に表した模式図。脚は全て等角度( $45^\circ$ )に配置し、長さは1とした。個体前方はy軸方向とした。脚の名称については、左右(LとR)と脚の位置(1-4)で表した。

## 結果

採集されたザトウムシは、カイキザトウムシ亜目(Eupnoi)のトゲザトウムシ(*Odiellus aspersus*)、クロザトウムシ(*Gagrellula* sp.)、オオナミザトウムシ(*Nelima genufusca*)、ヒコナミザトウムシ(*Nelima nigricoxa*)及びモエギザトウムシ(*Leiobunum japonicum*)であった。高知県ではモエギザトウムシとヒコナミザトウムシが多く採集された。オオナミザトウムシは長野県でのみ採集された。

脚の長さに関しては、一元配置分散分析の結果、どの種においても脚の長さは有意に異なった(トゲザトウムシ:  $F_{3,24} = 36.9, P < 0.001$ ; クロザトウムシ:  $F_{3,24} = 87.5, P < 0.001$ ; オオナミザトウムシ:

$F_{3,28} = 68.9, P < 0.001$ ; モエギザトウムシ:  $F_{3,84} = 38.1, P < 0.001$ ; ヒコナミザトウムシ:  $F_{3,108} = 73.3, P < 0.001$ ; 図3)。多重比較の結果、第2脚が最も長く、次いで第4脚が長く、第1脚と第3脚の長さには有意な差はなかった。脚の太さに関しては、最も太いものはオオナミザトウムシの脛節で0.35 mm、最も細いものはモエギザトウムシの付節で0.07 mmであった(図4)。脛節が最も太く、次いで腿節、趾節、付節の順に太い傾向があった。ヒコナミザトウムシとオオナミザトウムシについては、第2脚では腿節が最も太く、次いで脛節、趾節、付節の順であった。脚の長さに対する太さの比に関して、最も長い第2脚に対する、その中で最も長い部位である脛節の太さの比の平均値は、モエギザトウムシの0.0011からトゲザトウムシの0.0041の範囲であった(表1)。第2脚の長さに対する体長の比の

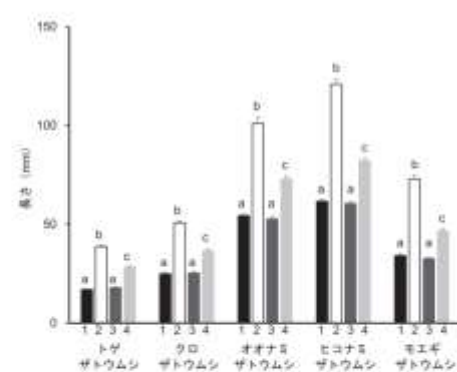


図3. ザトウムシ5種の脚の長さ(平均値 ± 標準誤差)。第1脚から第4脚までを数字(1-4)で示した。異なるアルファベット間には、有意な差があることを示す。

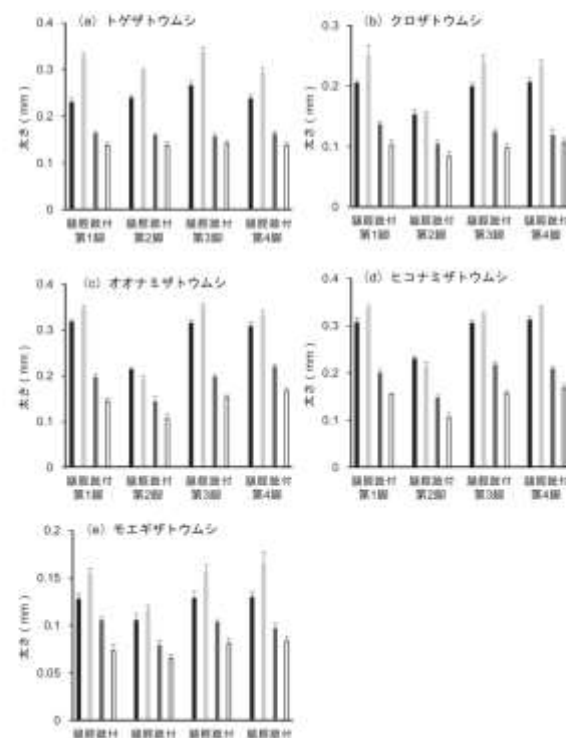


図4. ザトウムシ5種の脚の太さ(平均値 ± 標準誤差)。腿: 腿節、脛: 脛節、趾: 趾節、付: 付節。(a) トゲザトウムシ、(b) クロザトウムシ、(c) オオナミザトウムシ、(d) ヒコナミザトウムシ、(e) モエギザトウムシ。

# ところが・・・論文があった

表1. ゼトウムシ5種の脚と体に関する形態的特徴。体長 (mm、最小値-最大値)、太さ/長さに対する距節の太さの比、(平均値)、体長/長さ (第2脚の長さに対する体長の比、平均値)に対する脚部 (8本) の重さの比、(平均値)、 $n$  (個体数)。

種	体長	太さ/長さ	体長/長さ	脚部重/体重	$n$
トゲゼトウムシ	3.78-6.82	0.0041	0.14	0.27	22
クロゼトウムシ	3.93-6.68	0.0020	0.10	0.15	7
オオナミゼトウムシ	5.07-9.31	0.0014	0.076	0.24	8
ヒコナミゼトウムシ	4.35-9.09	0.0012	0.056	0.30	28
モエギゼトウムシ	1.80-4.70	0.0011	0.064	0.30	22

平均値は、最も大きいトゲゼトウムシの0.14から、最も小さいヒコナミゼトウムシの0.056であった。個体重に対する脚部の重さの割合の平均値は、クロゼトウムシの15%からモエギゼトウムシとヒコナミゼトウムシの30%の範囲であった。

自切に関しては、脚が8本ある個体においては、第4脚を捕捉した時の自切割合が最も高く、次いで第3脚、第1脚、第2脚の順であった(図5)。2本目以降の自切では、自切が起こる脚と既に自切した脚の位置には明確な傾向はなかった。ヒコナミゼトウムシでは、1個体あたり自切した脚の数は4本が最頻値で、次いで3本であった(表2)。実験に用いた5種のゼトウムシにおいて、脚を捕捉してから自切が起こるまでの時間の範囲は1-30秒と個体によって大きく変動したが、同一個体において2本以上自切が起こった場合、捕捉から自切までの時間の平均値は1本目が11.5秒 ( $n=21$ )、2本目が4.1秒 ( $n=21$ )、3本目が4.1秒 ( $n=17$ )と、自切回数を重ねることが短くなっていく傾向があった。自切直後に少なくとも1回の時間は最も長いものでは9分と運動能力の関係では、脚力は高かったが、脚が0本の比べて運動能力は高かった。運動能力との間には、いずれも有意な関係はみられなかった。

表2. ヒコナミゼトウムシに関する頻度分布 ( $n=23$ )。

自切本数	0	1	2	3	4
個体数	1	0	2	1	19

21)、3本目が4.1秒 ( $n=17$ )と、自切回数を重ねることが短くなっていく傾向があった。自切直後に少なくとも1回の時間は最も長いものでは9分と運動能力の関係では、脚力は高かったが、脚が0本の比べて運動能力は高かった。運動能力との間には、いずれも有意な関係はみられなかった。

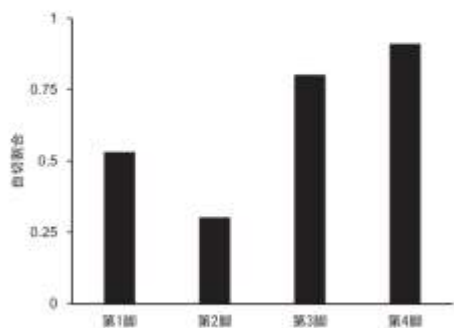


図5. 1本目の自切実験における各脚の自切割合。この実験では、8本全ての脚が揃っている個体を対象とした。

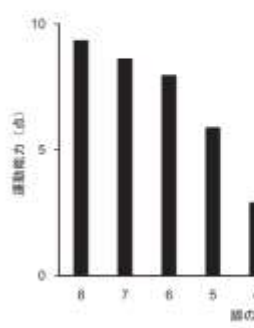


図6. ヒコナミゼトウムシに自切した脚の本数と運動能力との関係。

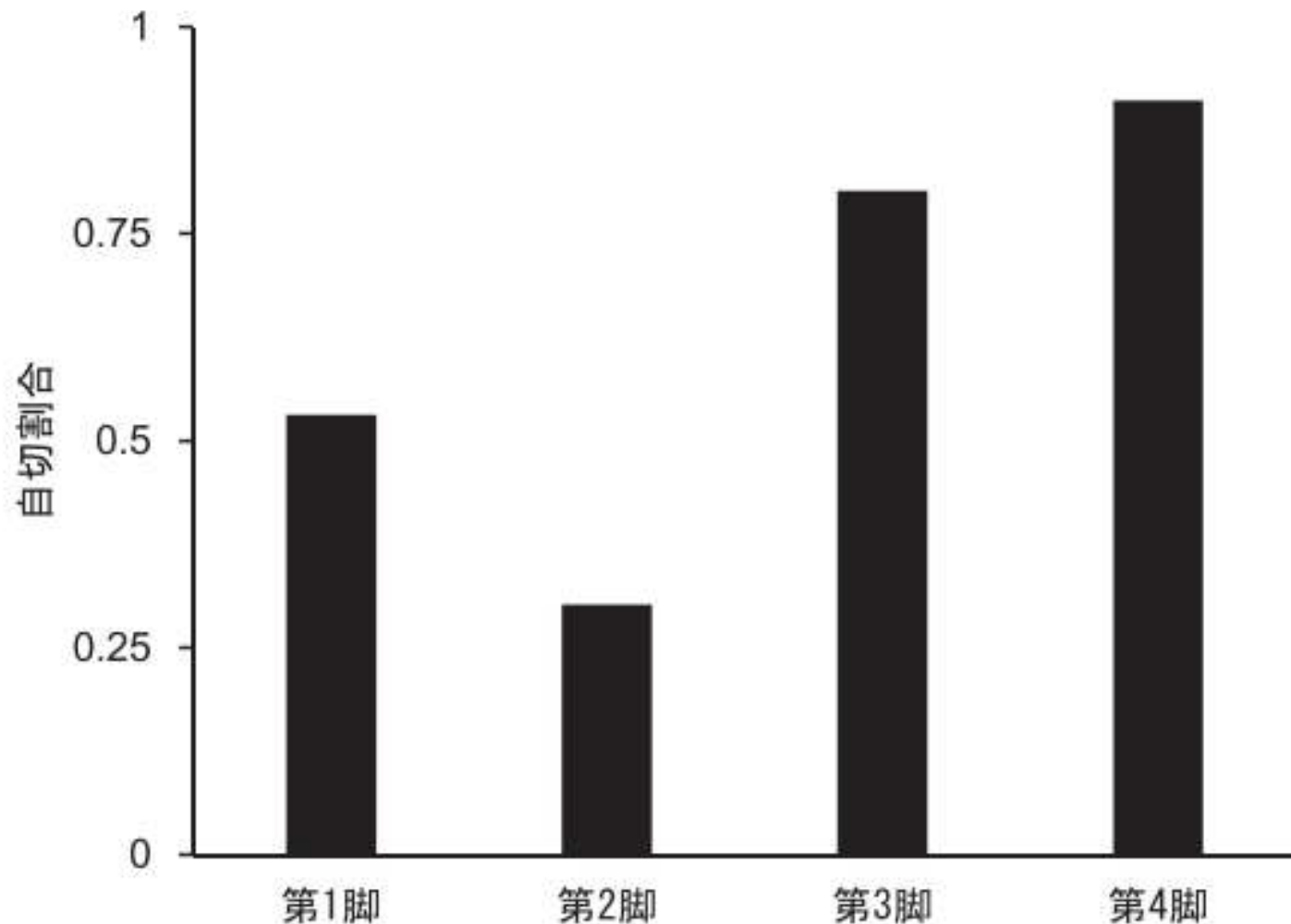


図5. 1本目の自切実験における各脚の自切割合。この実験では、8本全ての脚が揃っている個体を対象とした。



2脚がもつ触覚の役割が重要だと考えられている (Machado et al. 2007)。一方、第4脚は最も自切割合が高かった。生物の移動は基本的には前進であるため、捕食者に捕捉された際に自切しやすい脚は、最も後方に位置する第4脚であるのは妥当であろう。第1脚と第3脚は長さには差がみられなかったが、自切割合は第1脚の方が低かった。第2脚が失われた個体では、第1脚を触覚のように用いて環境を感じ取っている様子が観察された。そのため、第1脚はより後方にある第3脚よりも生存上重要であることを示唆している。

ヒコナミザトウムシの運動能力は脚の本数に依存していた。脚の本数が少ないほど縄張り争いに勝てないという報告もあることから (Macias-Ordóñez 1997)、自切することでその個体の適応度が下がっていると考えられる。また、ヒコナミザトウムシの運動能力は体の均衡とは有意な関係が認められなかったことから (図7)、2本目以降に自切する脚の位置に明確な傾向が見られなかったのかも知れない。脚が自切した本数は、多くの個体で4本 (つまり、脚の残数は4本) もしくは3本 (脚の残数5本) であった。脚の本数 ( $x$ ) と運動能力 ( $y$ ) との関係において、 $y$ を $x$ のロジスティック曲線で回帰したところ ( $P < 0.001$ )、回帰曲線の変曲点には $x=4.6$ であったことから、脚の数が5本以上と4本以下では運動能力には大きな差があることを示している。さらに、脚の残数が6本以上の個体に比べて、5本の個体の方が有意に運動能力が低かったという報告がある (Guffey 1999)。本研究では、複数の脚が自切する可能性があるとともに、自切する脚の数に上限があることが示唆された (ただし、8本全ての脚が自切した個体が1個体いた)。脚の残数が0本と1本では、運動能力は0本の方が高かった。脚が0本の時には、2本の触覚を使って歩行する様子が観察された。触覚は頭胸部の付属器官で、主に獲物を捕獲したり、食べ物や口を運んだりする機能があり (Shultz and Pinto-da-Rocha 2007)、原始的には歩脚の役割をもっていたと考えられている (小野 2002)。1本の脚では歩行することは不可能であるため、残った1本の脚が歩行の障害になっているのかも知れない。本研究では、多くの個体を採集することができたことから、比較的「きゃしゃ」な体格のヒコナミザトウムシで運動能力に関する実験を行なった。ヒコナミザトウムシより体格が「がっしり」した種において、

運動能力と脚の本数に関して同様の関係があるかについては今後の研究課題である。

自切は捕食者に対する動物の防衛手段の1つであり (エドムンズ 1980)、ザトウムシにおいても自切後の脚が収縮することが確認された。動物は動くものに対して反応する習性があることから、自切後の脚の収縮は捕食者の気を引く効果があり、その際に捕食から逃れる効果があると考えられる。ザトウムシの生活史の中で、適応度という観点から最も重要な摂食と繁殖を担う部分は体部にあるのに対して、脚は解剖学上体部に付属した器官であると分類されている (Shultz and Pinto-da-Rocha 2007)。体部が捕食されることは死ぬことにつながり、その個体にとっては子孫を残す可能性がなくなる。自切が複数本の脚で起こることもあり、2本目以降の自切では、自切までの時間が短くなる傾向がみられた。これらのことは、自切を捕食者からの防衛手段としているザトウムシにおいては、脚を失って運動能力が低下していくらか生活に支障が生じて、繁殖の可能性を残すために最も重要な体部を何としても守ろうとする戦略を採っていることを示唆している。

## 謝辞

本研究を実施するにあたってご協力をいただいた象川義雅氏と長井宏賢氏に感謝いたします。査読者の方々からは本原稿に対して有益な助言をいただきました。

## 引用文献

- Acosta L.E. and Machado G. 2007. Diet and foraging. In: Pinto-da-Rocha R., Machado G., and Giribet G. (eds.) Harvestmen: The biology of Opiliones. Harvard University Press, Cambridge, pp. 309-338.
- Cokendolpher J. C. and Mitov G. P. 2007. Natural enemies. In: Pinto-da-Rocha R., Machado G., and Giribet G. (eds.) Harvestmen: The biology of Opiliones. Harvard University Press, Cambridge, pp. 339-373.
- エドムンズ M. 1980. 動物の防衛戦略: 下巻 (小原嘉明, 加藤義臣 訳). 培風館, 東京.
- Eisner T., Alsop D., and Minwald J. 1978. Secretions of opiliones, whip scorpions and pseudoscorpions. In:

- Bettini S. (ed.) Arthropod venoms. Springer-Verlag, Berlin, pp. 87-99.
- Gnaspini P. and Hara R.M. 2007. Defense Mechanisms. In: Pinto-da-Rocha R., Machado G., and Giribet G. (eds.) Harvestmen: The biology of Opiliones. Harvard University Press, Cambridge, pp. 374-399.
- Guffey C. 1999. Costs associated with leg autotomy in the harvestmen *Leiobunum nigripes* and *Leiobunum vittatum* (Arachnida: Opiliones). Canadian Journal of Zoology 77: 824-830.
- Hillyard P.D. and Sankey J.H.P. 1989. Harvestmen: keys and notes for the identification of the species. In: Kermack D.M. and Barnes R.S.K. (ed.) Synopses of the British fauna, EJ Brill, Leiden, pp. 1-199.
- 川野敏介・鶴崎展臣. 2013. 山口県のザトウムシ類ホシザキグリーン財団研究報告書 16: 271-299.
- Machado G., Pinto-da-Rocha R., and Giribet G. 2007. What are harvestmen? In: Pinto-da-Rocha R., Machado G., and Giribet G. (eds.) Harvestmen: The biology of Opiliones. Harvard University Press, Cambridge, pp. 1-13.
- Macias-Ordóñez R. 1997. The mating system of *Leiobunum vittatum* Say. 1821. (Arachnida: Opiliones: Palpatores): resource defense polygyny in the striped harvestman. PhD Thesis, Lehigh University, Bethlehem.
- 小野展嗣. 2002. クモ学: 摩訶不思議な八本足の世界. 東海大学出版部, 平塚市.
- Pinto-da-Rocha R., Machado G., and Giribet G. 2007. Harvestmen: The biology of Opiliones. Harvard University Press, Cambridge.
- 関慎太郎. 2006. 魅せる日本の両生類・爬虫類. 緑書房, 東京.
- Shultz J.W. and Pinto-da-Rocha R. 2007. Morphology and functional anatomy. In: Pinto-da-Rocha R., Machado G., and Giribet G. (eds.) Harvestmen: The biology of Opiliones. Harvard University Press, Cambridge, pp. 14-61.
- 辻雄介・高袋春香. 2018. 山口県東部におけるザトウムシ類の採集記録. 豊田ホタルの里ミュージアム研究報告書 10: 123-129.
- 鶴崎展臣. 2015. ザトウムシの生息環境. (宮下直 編) クモの科学最前線: 進化から環境まで. 北隆館, 東京, pp. 176-196.

鶴崎展臣・鈴木正将. 2015. クモガタ綱・ザトウムシ目. (青木淳一 編) 日本産土壌動物 第二版: 分類のための図解検索. 東海大学出版部, 平塚, pp. 121-145.

## Morphological characteristics and leg autotomy in harvestmen

Kanna Nakao<sup>1)</sup> and Motomi Genkai-Kato<sup>1,2)\*</sup>

<sup>1)</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi 780-8520, Japan

<sup>2)</sup> Graduate School of Kuroshio Science, Kochi University, 2-5-1 Akebono-cho, Kochi 780-8520, Japan

## Abstract

Harvestmen (Arachnida: Opiliones) are morphologically characteristic invertebrates such that they have a tiny round body with long, thin legs. Species of Eupnoi detach their legs as a defensive behavior against predators, which is called autotomy. In this study, leg length was measured in relation to their thickness and body length and experiments on autotomy by seizing legs of harvestmen were conducted for five species of Eupnoi. The second pair of legs which plays a sensory role was the longest among four pairs of legs. The fourth pair of legs was longer than the first and third pairs. The ratios of leg thickness to length were of the order of 1/1000. In the autotomy experiments, the fourth legs detached most frequently when seized by tweezers. The frequency of autotomy was as follows: fourth > third > first > second legs. The number of detached legs per an individual was 3-4 legs on average. The mobility declined with a decrease in the number of legs.

**Key words:** Eupnoi, morphology, autotomy, mobility, defensive behavior.

# ヒコナミザトウムシでの研究

## < 方法 >

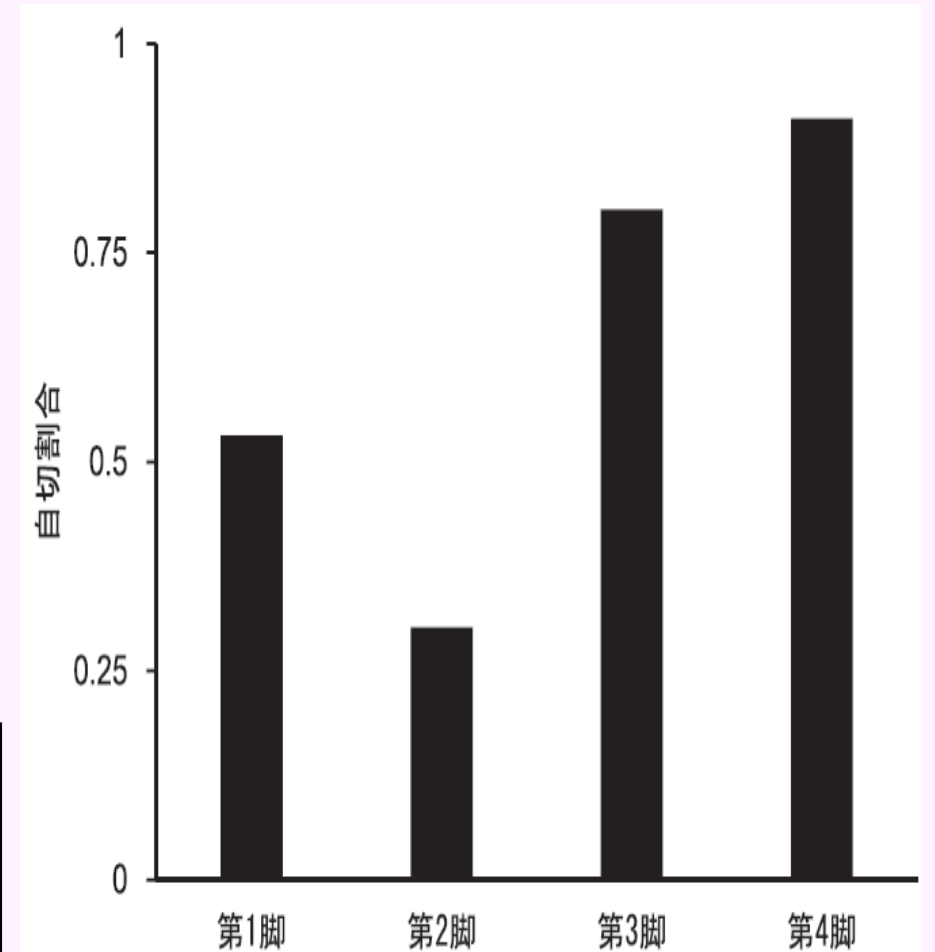
- ・ 8本の脚のうちの1本の脚を無作為に選び、ピンセットで30秒間捕捉
- ・ 30秒以内に自切しなかった場合は自切なし

## < 結果 >

自切しやすい

自切しにくい

← 第4脚 第3脚 第1脚 第2脚 →





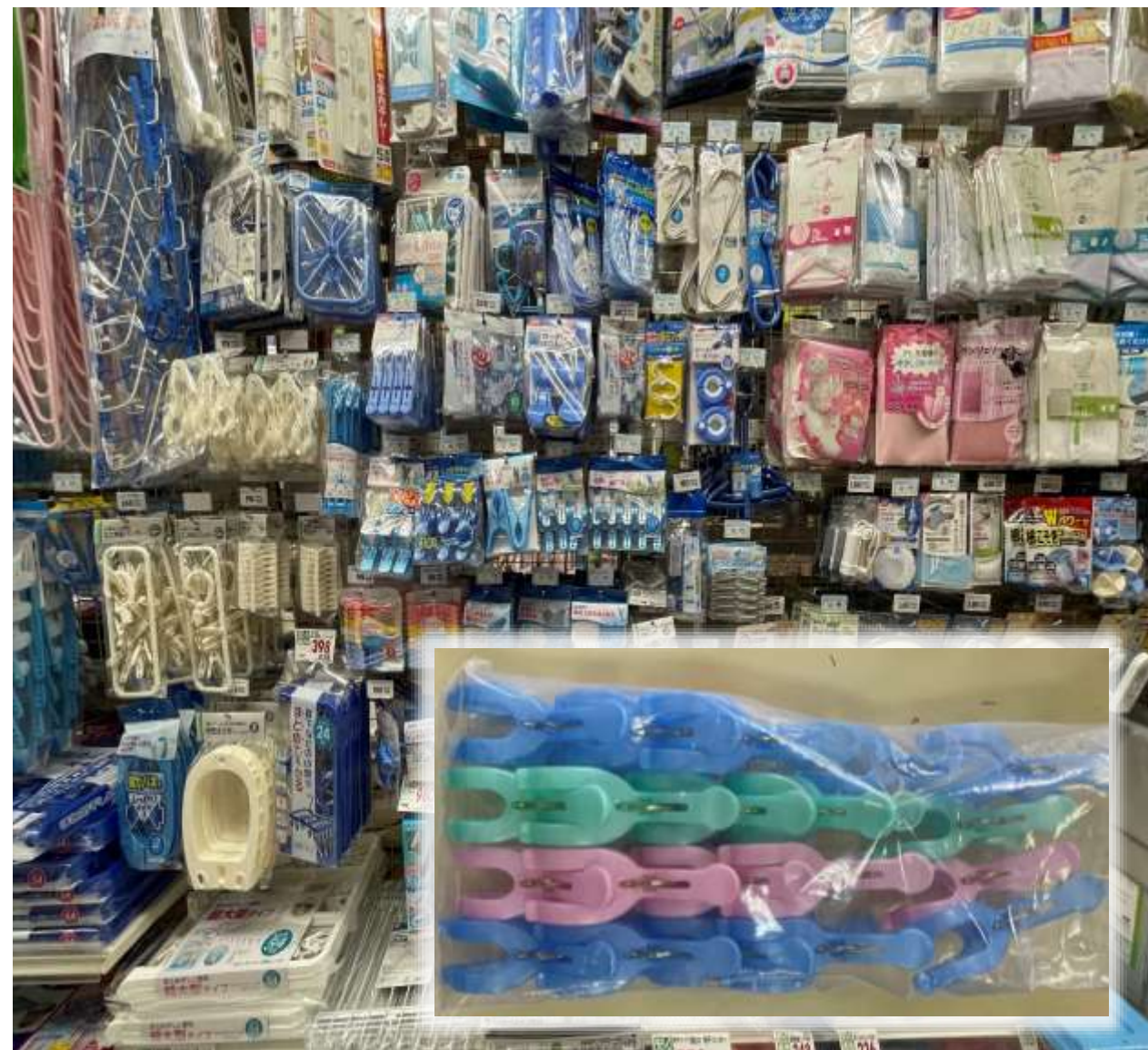
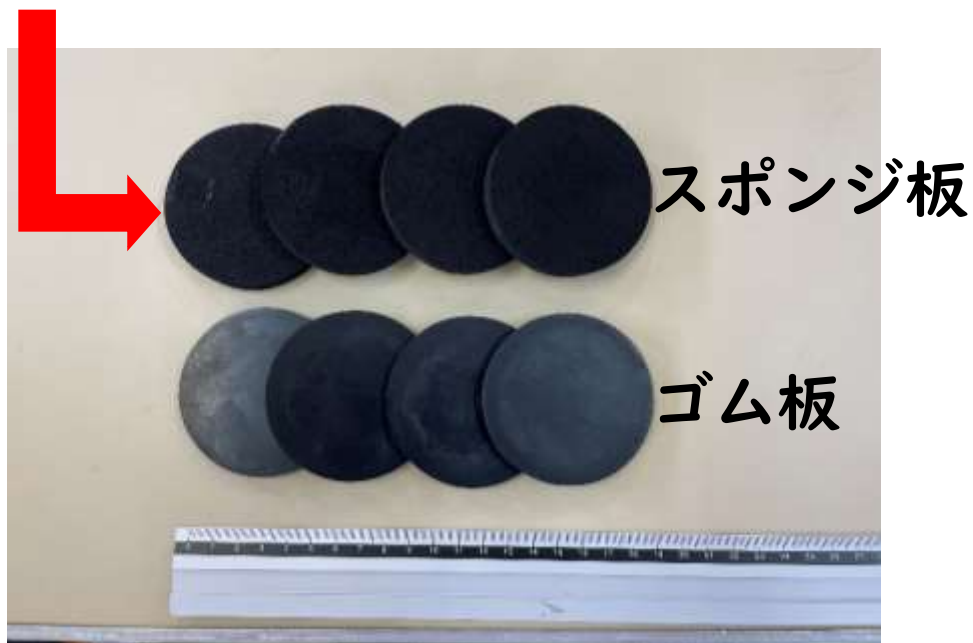
# ザトウムシの脚を固定する器具の作製

①ザトウムシの脚を一定の強さで固定

➡ 一番安い洗濯ばさみを購入

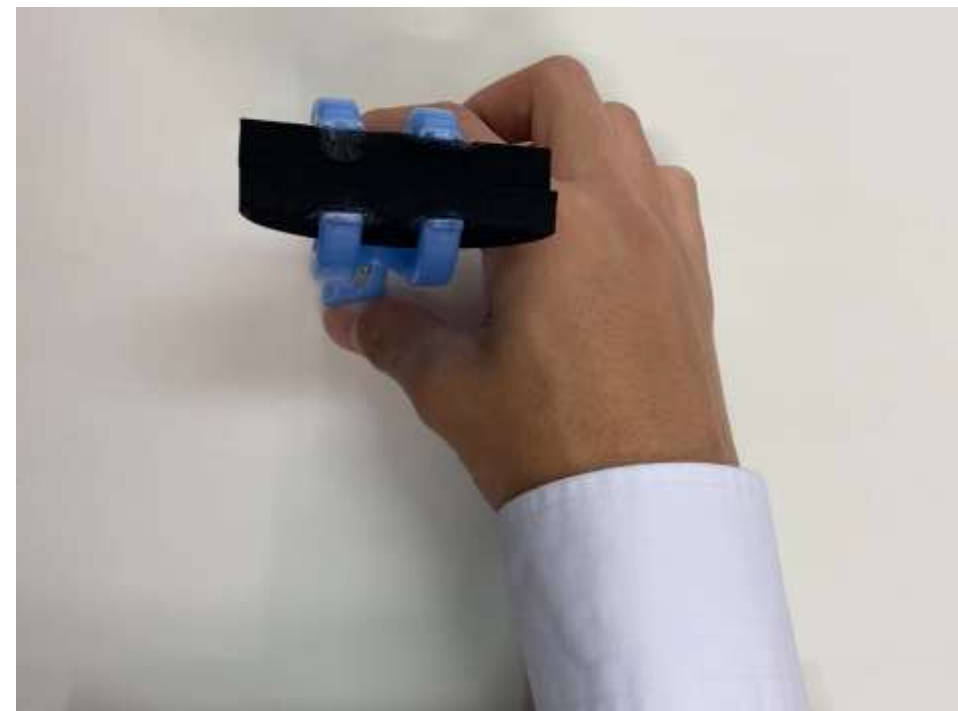
②脚を傷つけない

➡ スポンジ板で脚をはさむ





# 固定器具の作製





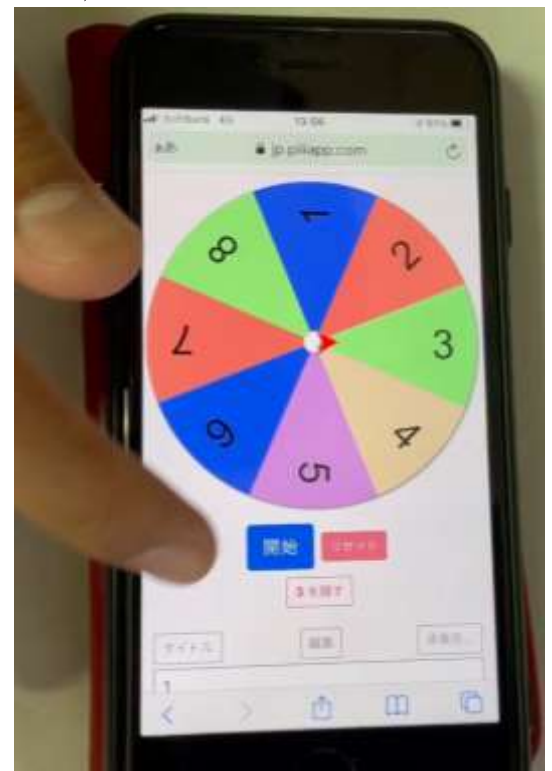
# ザトウムシの脚の固定方法

③ 脚を固定する順番をランダムにする

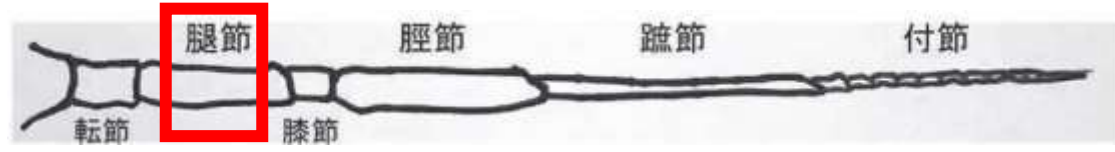
④ 自切は転節と腿節で起きる

➡ ルーレットアプリを使用

➡ 腿節を1分間固定で統一



2021年10月13日～10月27日  
新たに33個体を採集  
全ての脚を分析した



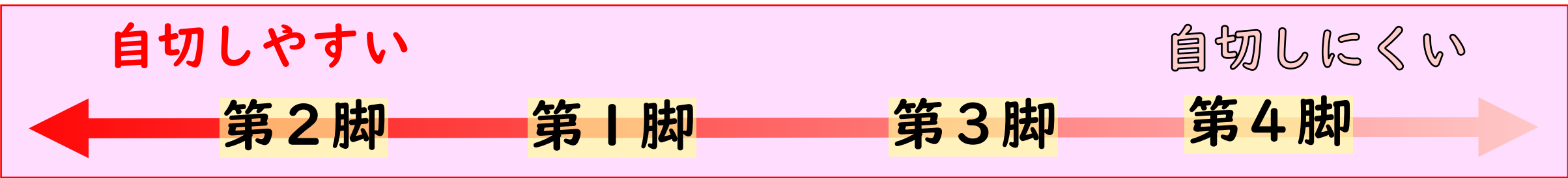
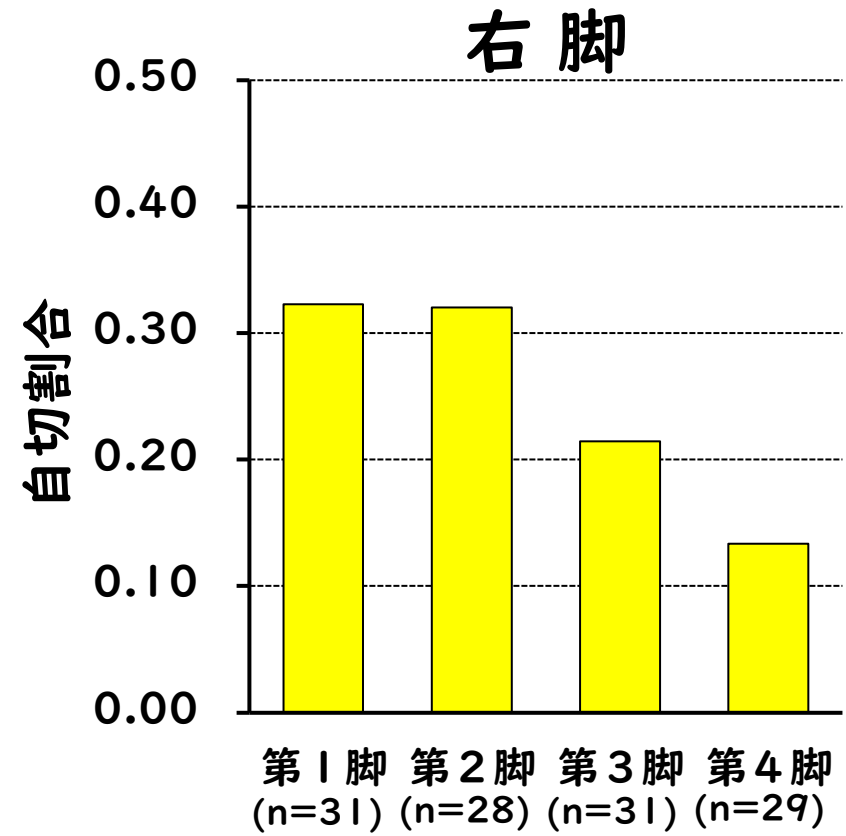
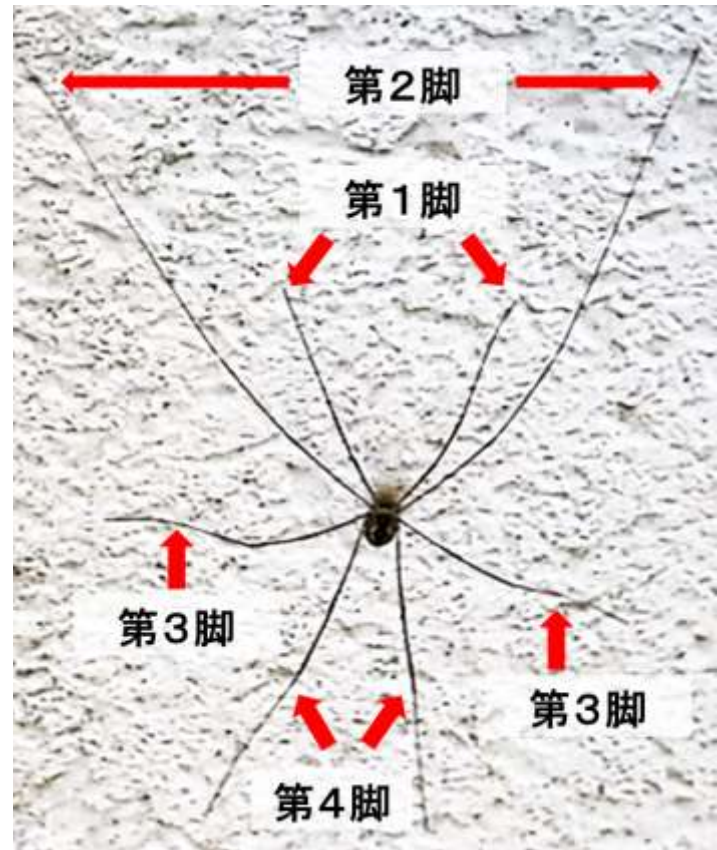
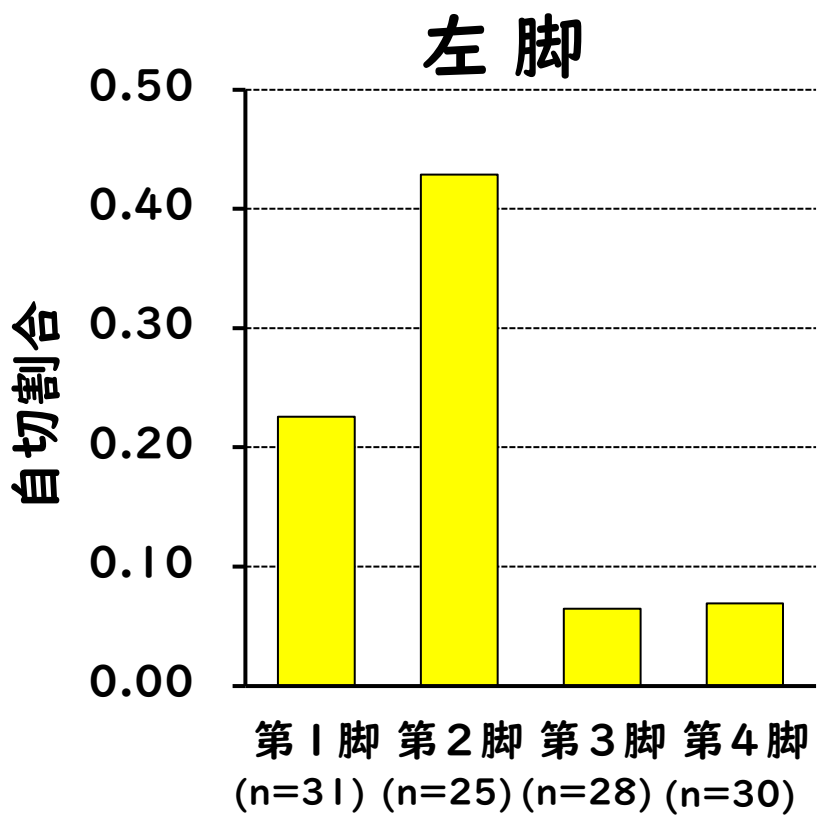
1	2	3	4	5	6	7	8
右1	右2	右3	右4	左1	左2	左3	左4

# 脚の固定実験の様子





# ギンボシザトウムシの自切割合



# 仮説 II の結果・考察

**仮説 I** 生態系内のザトウムシは  
第4脚が欠損している可能性が高く  
第2脚が最も残存している



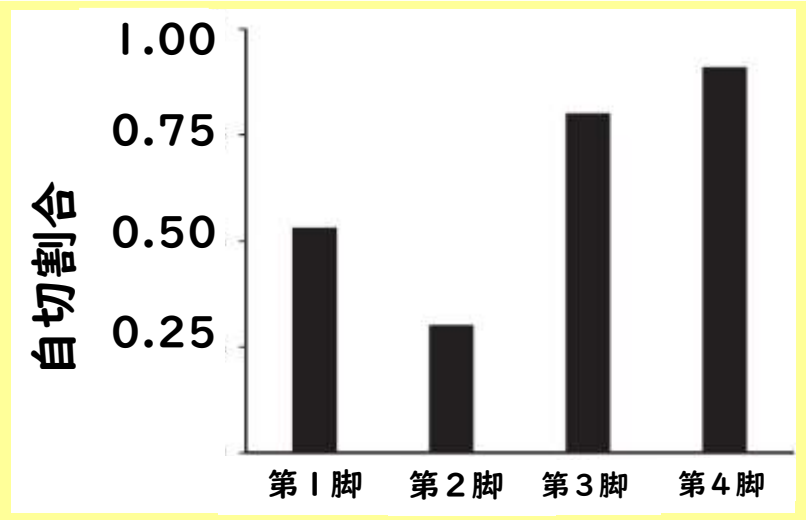
**否定** 第2脚が最も欠損していた

**仮説 II** ギンボシザトウムシは第2脚が自切  
しやすい



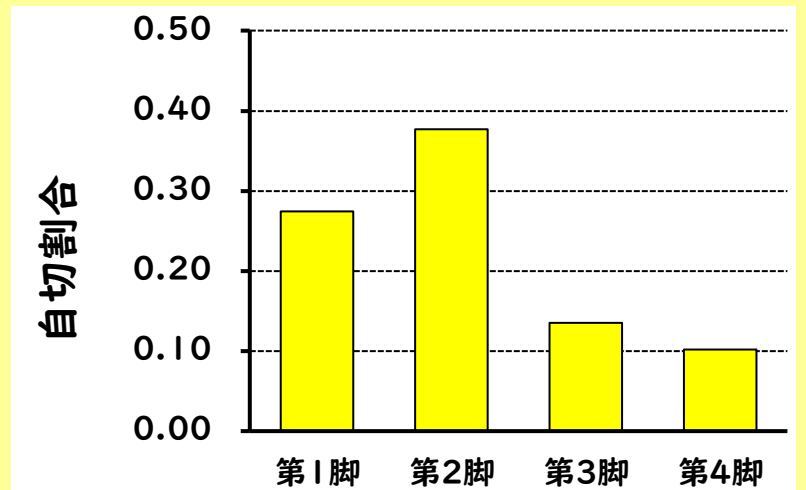
**証明** 第2脚が最も自切しやすい

既存研究



ヒコナミザトウムシの自切割合(両脚)

私たちの研究



ギンボシザトウムシの自切割合(両脚)



# 仮説Ⅲの設定

なぜ、ギンボシザトウムシでは第2脚が自切しやすいのか？



ギンボシザトウムシ  
(生息：人家・森林)



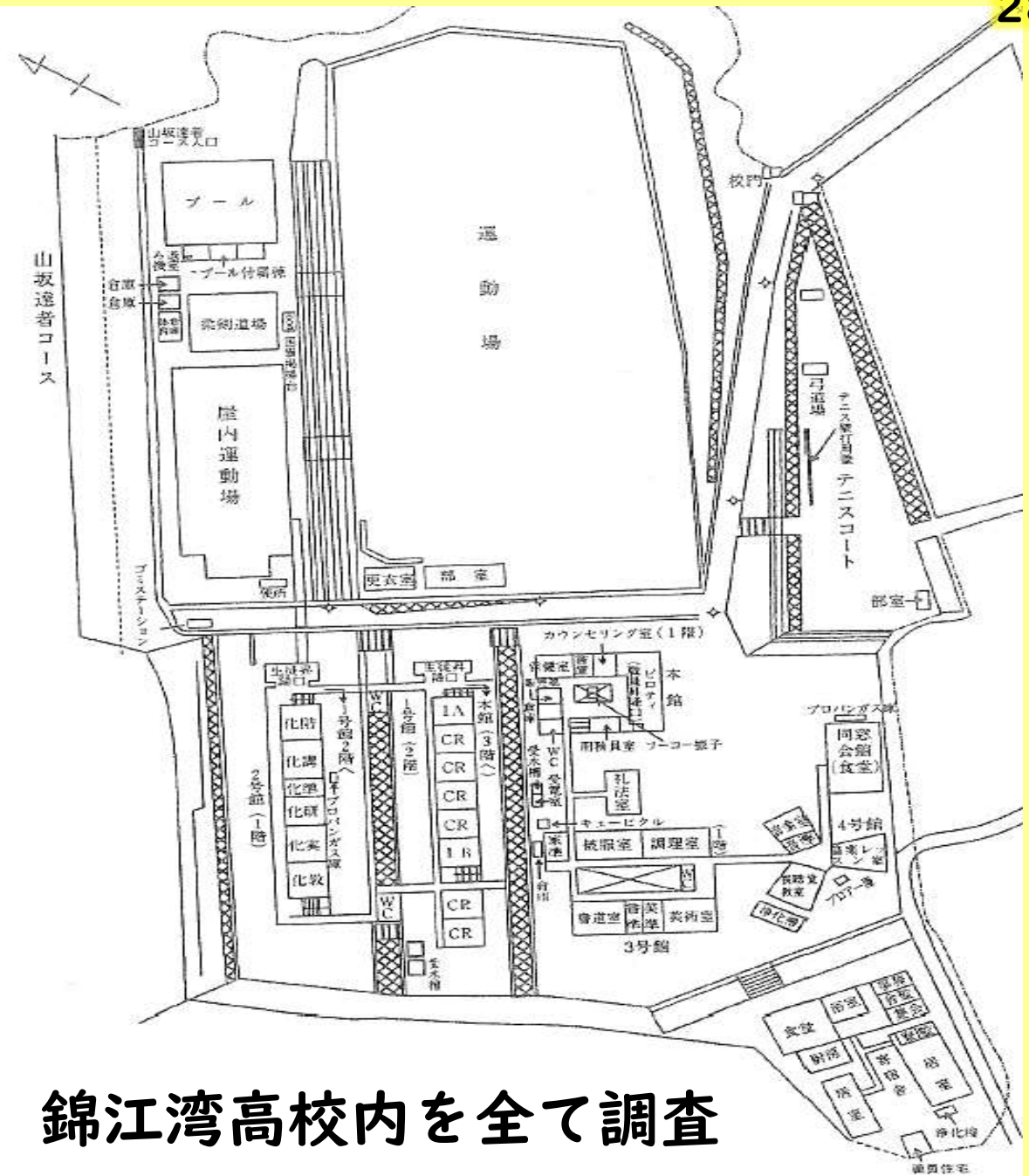
ヒコナミザトウムシ  
(生息：森林)

仮説Ⅲ

ギンボシザトウムシは捕食者から逃れるために前方の脚を自切するのではないか？

方法

ギンボシザトウムシが捕食者に捕まる様子を見つける！

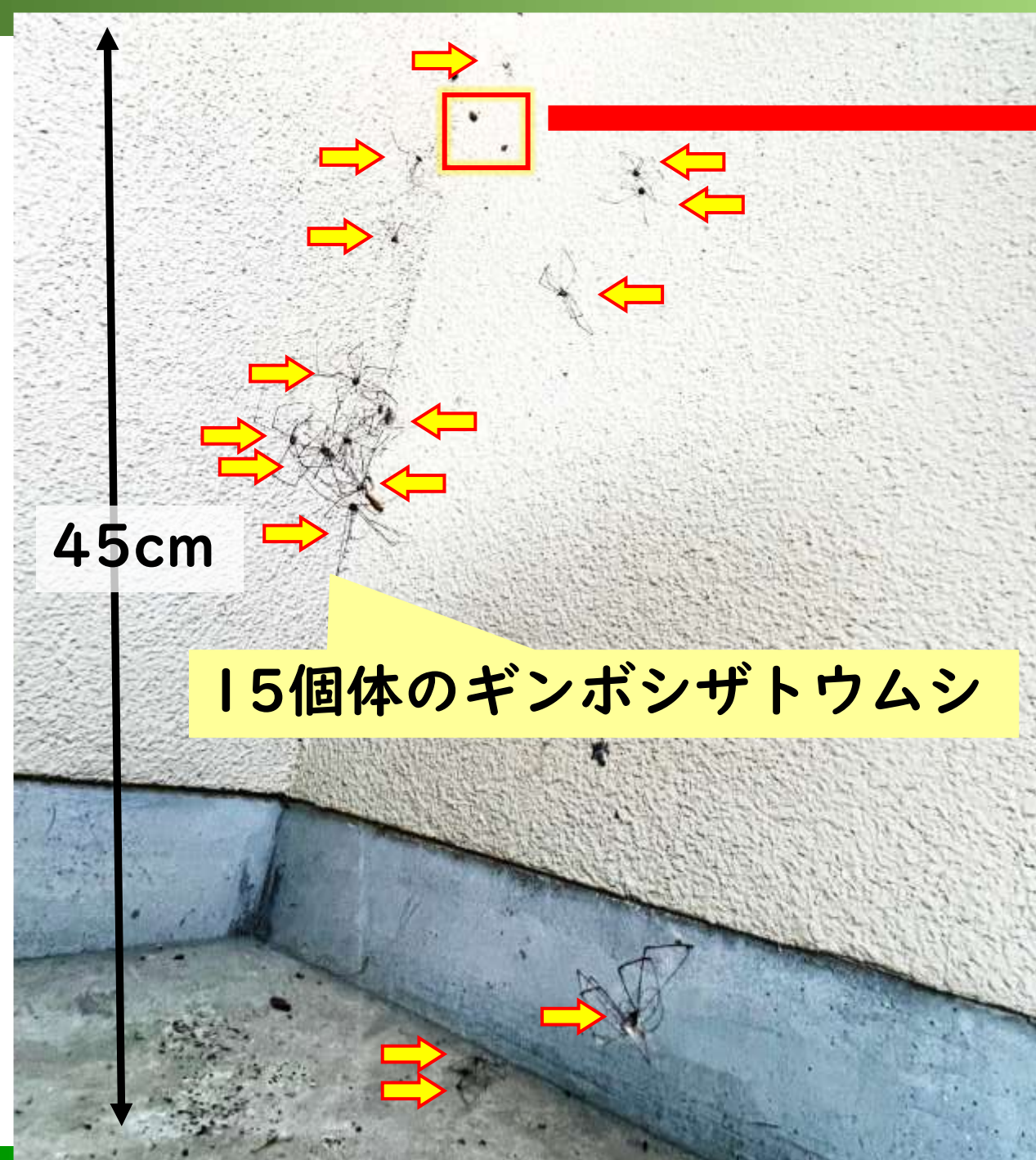


錦江湾高校内を全て調査









45cm

15個体のギンボシザトウムシ

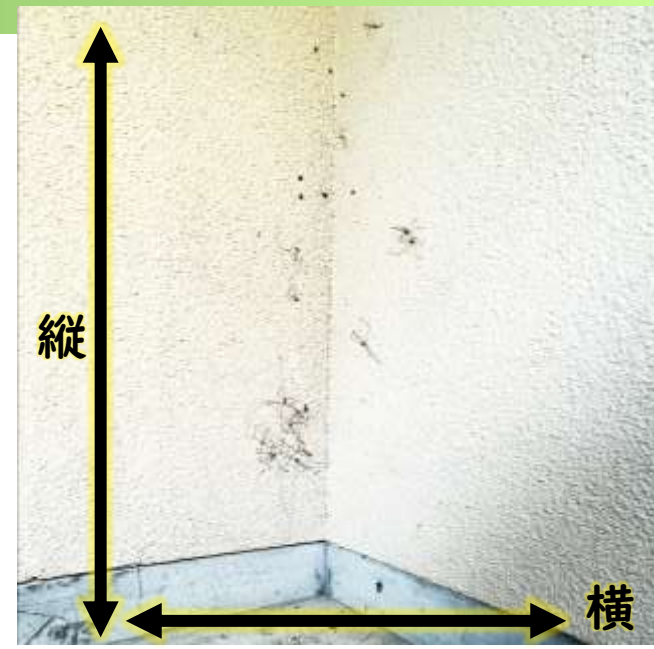


**オオヒメグモ**

- ・北海道・本州・四国・九州に広く分布
- ・網は立体的に糸を貼り合わせたもの
- ・地上徘徊生物を捕獲

オオヒメグモの巣の大きさ

	縦 (cm)	横 (cm)
平均	49.3	43.8
最大	95.0	65.0
最小	30.0	30.0



巣に捕捉されていたギンボシザトウムシ

合計 捕捉数 (23か所あたり)	111
平均 捕捉数 (1か所あたり)	4.8
最大 捕捉数 (1か所あたり)	18
最小 捕捉数 (1か所あたり)	1



校内に23か所  
(そのうち22か所が校舎の壁)

1~18 1階  
19~23 2階



最後に・・・

# 何がこのチームの良さだったのか？

- ① 観察しながらじっくり考えた  
→ テーマ設定
- ③ 皆で考えた実験を日々こつこつと進めた  
→ 研究に深みが出る



- ② データ整理がとても丁寧  
→ データの管理・詳細な分析
- ④ 仲間を大切にする  
→ 仲間の研究の発展

