

機関番号：32649

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：平成 20 年度 ～ 平成 22 年度

課題番号：20570025

研究課題名（和文）情報処理能力の制約が、円網性クモの造網行動と種間関係に及ぼす影響
 研究課題名（英文）How the constraint in spider's information processing ability affects its web-building behavior and interspecific interaction?

研究代表者

中田 兼介 (NAKATA KENSUKE)

東京経済大学・現代法学部・准教授

研究者番号：80331031

研究成果の概要（和文）：クモは捕食者を認識すると、上下非対称性を示し餌捕獲効率が高いけれども情報処理の負荷のために造網時間の長い複雑な網を作らなくなった。また網の特定の領域に「注意を向けて」餌を採っている種がいる事が明らかになった。一方、シミュレーションでクモに情報処理能力の制約を組み込んでも、個体群動態への影響は見られなかった。これらから、クモの情報処理能力の制約は、種間関係には影響しないものの、採餌生態には強い影響を与えている事が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Under the predator cue, a spider species did not build asymmetric orb-webs that enables high foraging efficiency but costs information processing ability and long building time. Another spider species exhibited attention-focusing behavior to specific web sector where it found prey more efficiently. On the other hand, simulation model incorporating the constraint of information processing ability failed to exhibit its effect on population dynamics. These results indicate that the constraint of information processing ability has significant effect on spider's foraging ecology, but does not on interspecific interaction.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：動物生態学

科研費の分科・細目：基礎生物学、生態・環境

キーワード：クモ、認知、円網、捕食者、採餌行動、情報処理、意思決定

1. 研究開始当初の背景

複雑な環境に対して動物の示す行動的反応を理解するためには、その環境認知の様式を明らかにする必要がある。

限られた情報処理能力しか持たない節足動物などの小型動物では、環境から得られる多数のキューを全て利用し複雑な意思決定を

行うのではなく、一部のキューの利用やそのキューへの対応をあらかじめ放棄することで、重要なキューが示す情報に対して迅速かつ確実な意思決定を行っている可能性が考えられる。

円網性クモは定期的に網を張り替えるが、その時の環境条件に応じて造網行動を変える

事が知られている。網の大きさや造網場所などのパラメーターはクモの意思決定の産物であり、クモの情報処理能力の制約は、造網行動における意思決定を通じて、クモの関わる習慣関係に影響を及ぼす可能性が考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、

(1) クモの情報処理能力に制約があるかどうかを造網行動との関係において明らかにする事

(2) このような制約がクモの採餌生態及び餌・捕食者との種間関係に影響を与えているかどうかを明らかにする事の二点である。

3. 研究の方法

目的(1)のために主に以下の2つの方法で調査を行った。

①実験室内でギンメッキゴミグモ (*Cyclosa argenteoalba*) に捕食者を示すキューと餌の存在を示すキューを様々に組み合わせて与え、その後の造網行動を観察する事でクモのそれぞれのキューの利用パターンを明らかにした。網パラメーターとしては網の糸量、造網間隔、造網時間、網の上下非対称性を計測した。網の上下非対称性については、追加的にサガオニグモ (*Eriophora sagana*) を用いて、成長とそれに伴う体重増加が非対称性に与える影響を解析した。

②自然条件下でゴミグモ (*Cyclosa octotuberculata*) の網上での餌発見頻度の方向による偏りを観察し、そのパターンとクモによる縦糸を引っ張る事による網の感度調節行動のパターンを比べ、また引っ張り行動がクモの主体的な「注意を向ける」行動かどうかを、餌捕獲経験を操作し引っ張り行動への影響を観察する事で調べた。同様の方法はギンメッキゴミグモでも試みた。

目的(2)に対しては、情報処理能力を現実のクモで操作する事は困難なので、餌-クモ-捕食者の三者系の個体群動態を個体ベースモデルでシミュレーションし、処理能力の制約をモデルに組み込んだ場合と組み込まない場合のシミュレーションし結果を比較した。

4. 研究成果

(1) -①

ギンメッキゴミグモに捕食者の翅音をまねた刺激 (440Hz の周波数を持つ音叉を利用した) の有無、および餌捕獲経験の有無の二つの操作を組み合わせた 2 x 2 要因の実験を行った。網の総糸量は捕食者刺激と負の相関 ($p = 0.040$)、餌捕獲経験とは正の相関 ($p =$

0.039、いずれも Wald test after GLM) が見られ、相互作用は見られなかった。このことから、本種は採餌に関する投資量を決定する際に、捕食者と餌の情報を独立に利用している事が示唆された。

網糸長さ (cm)

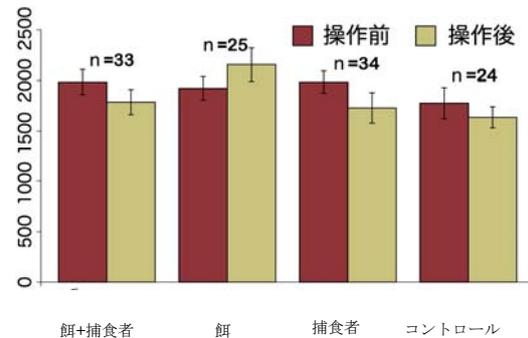


図1 餌、捕食者キューを操作した時の網糸長さの変化 (Nakata 2009 より)

また、捕食者の翅音をまねた刺激の有無と捕食を伴わない餌遭遇経験の有無の二つの操作を組み合わせた 2 x 2 要因の実験を行なった。その結果、餌遭遇経験を与えたクモはそうでないクモに比べて再造網までの期間が有意に短かった (餌遭遇経験有: 2.54 日 ± 1.99, S.D., 餌遭遇経験無: 3.05 日 ± 2.52, S.D., $p = 0.028$, Wald test after GLM)。このことは本種が餌遭遇経験を環境の状態を知るためのキューとして利用していることを示している。また、網の形態に対する捕食者刺激の効果は再現されたが、餌遭遇経験の効果は検出できなかった。先行研究より、餌遭遇経験が網の糸量に影響する事が示されており、本研究の結果は、捕食者と遭遇する事により、餌遭遇経験の影響が失われるものと考えられる。

また本種は通常、上半分が下半分より大きい網を造る。種間比較および成長に伴う網形態の変化のデータから、この上下非対称性は網糸量が一定の場合に餌捕獲成功を最大にする機能を持つ事が示唆された。

捕食者刺激に曝した後、ギンメッキゴミグモは上下非対称性の程度が小さい網を造った。このような反応がなぜ生じるのかを確かめるため、造網行動の全シークエンスをビデオ撮影し造網時間と網の非対称性との間の関係を解析したところ、両者には正の相関が見られた。すなわち非対称な網を張るにはより時間がかかっていた。このことから捕食者を認識したクモは捕食の危険が高まる造網時間を短くするため網の形状を変えている事が示唆された。非対称な網を張るためには、横糸の間隔を方向によって変える必要があるが、これに時間がかかるという事は、クモが造網中の意思決定をリアルタイムで行な

っているが、情報処理能力の制約から認知的に負荷のかかる作業を素早くこなせない事、そしてこの事がクモの採餌生態に影響を及ぼしている事を示唆している。

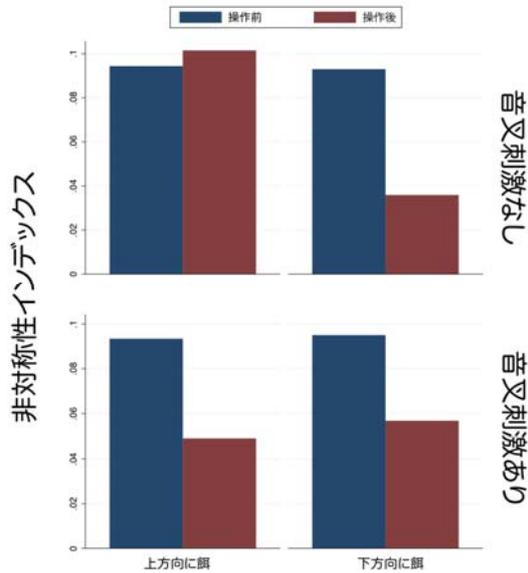


図2 捕食者を模した音叉刺激を与えた時の円網の上下非対称性の変化。非対称性インデックスは、円網の半径の上下方向の差をその平均で割ったもの。完全に対称な網の場合、この値はゼロとなる。

(1) -②

自然条件下でゴミグモは網に衝突した餌のうち 17.7%を発見し損ねており、こしきから見たクモの左右方向で有意に高頻度で起っていた。

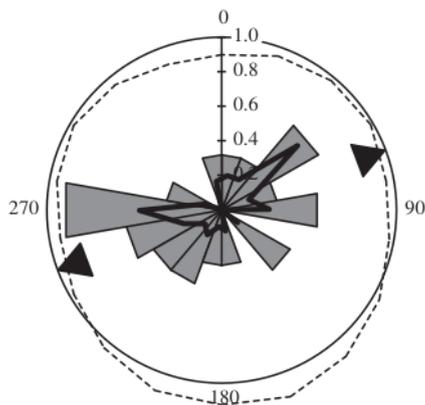


図3 餌発見失敗の方向に関する頻度分布を示すバラ図。太線は餌衝突数に対する比率、点線は網の平均半径、三角は角度の平均を示す (Nakata 2010 より)。

またゴミグモが縦糸を引っ張る程度は上下方向 (3.11mm ± 1.51, S.D.) より左右方向

(2.63mm ± 1.30, S.D.) で有意に小さかった (p = 0.004, repeated ANOVA)。円網性クモは網上の餌の存在を、餌が発生させ縦糸上を伝わってくる振動を使って検知しており、縦糸が引っ張られる程度が小さい場合、糸にかかる張力が小さくなり、振動の伝達効率が悪くなると考えられ、それが自然条件下で見られた左右方向での高頻度な餌発見失敗の原因であると考えられる。この結果は、小型の陸上性無脊椎動物が自らの情報獲得環境を行動的に制御している事を示した初めての発見であり、英国王立協会紀要に掲載されるなど高い評価を受けている。

この縦糸引っ張り行動がクモが主体的に垂直方向に「注意を向ける」ための行動か、または何らかの他の原因で生じているのかを区別するために、網の特定の領域で餌を与え、その後引っ張りの程度が変化するかを観察したところ、上下方向で給餌したところ引っ張り行動の方向差が小さくなるという結果を得た。これは、餌が取れやすい方向に注意を向けるという予測とは逆の結果だったが、にも関わらず、クモが過去の経験に応じて主体的に網糸引っ張り行動を調整している事から、この行動が「注意を向ける」機能を持つ事が示唆される。

ギンメッキゴミグモでは餌定位の失敗はほとんど見られなかった。このことからギンメッキゴミグモにおいては「注意を向ける」行動が無い事が示唆された。

(2)

餌-クモ-捕食者の三者系の個体群動態を個体ベースモデルを用いてシミュレーションするために、クモの餌及び捕食者との接触頻度をビデオ撮影により計測したところ、ゴミグモでは 1760 分の撮影時間中、餌が網に衝突する頻度が一時間あたり 1.16 回、そのうち捕食に成功する割合は 44.4%であった。捕食者との接触は一回のみ観察され、捕食は成功しなかった。ギンメッキゴミグモでは 2640 分ビデオ観察したところ、餌が網に衝突する頻度が一時間あたり 2.50 回、そのうち捕食に成功する割合は 54.5%であった。これはゴミグモの結果と比べて餌衝突頻度、捕食成功率とも高いものであった。また捕食者との遭遇は 1 回観察され、これによりクモは捕食された。

結果 (1) -①で示したように、捕食者と接触すると餌遭遇経験の影響が失われる。この結果を元に、クモの記憶力に制約があり、捕食者の存在を記憶すると、採餌量を最適にする網糸量を実現するための餌環境情報が失われる代わりに捕食されるリスクが小さく

なるよう造網行動を切り替えるという仮定を持つ個体ベースモデルによるシミュレーションを行ない、記憶に制約がない場合と比較した。その結果、記憶の制約の個体群動態への影響はわずかながら見られたものの、有意な結果ではなかった。

以上の結果から、クモの情報処理能力の制約は、その採餌生態に強い影響を与えている事が示唆された。このことは動物行動研究により現実的な視座を提供するものである。一方、この制約が種間関係に影響しているという強い証拠は得られなかった。本研究におけるシミュレーションは捕食者は記憶に制約無く行動できるという仮定を置いており、これは現実的ではない。今後はシミュレーションをより現実的なものに改良し、個体レベルの情報処理過程が群集レベルに与える影響について更なる研究を進める必要があるだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- 1 中田兼介、垂直円網と非対称性、Acta Arachnologica、査読有、vol. 59、2010、93-102
- 2 Kensuke Nakata、Does ontogenetic change in orb web asymmetry reflect biogenetic law?、Naturwissenschaften、査読有、vol. 59、2010、1029-1032
- 3 Kensuke Nakata and Samuel Zschokke、Upside-down spiders build upside-down orb webs: web asymmetry, spider orientation and running speed in *Cyclosa*、Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences、査読有、vol. 277、2010、3019-3025
- 4 Kensuke Nakata、Attention focusing in a sit-and-wait forager: a spider controls its prey-detection ability in different web sectors by adjusting thread tension、Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences、査読有、vol. 277、2010、29-33
- 5 Kensuke Nakata、To be or not to be conspicuous: the effects of prey availability and predator risk on spider's web decoration building、Animal Behaviour、査読有、vol. 78、2009、1255-1260

[学会発表] (計 7 件)

- 1 中田兼介、円網性クモにおける体色と餌捕獲率の関係、日本生態学会第 58 回大会、

2011 年 3 月 9 日、札幌

- 2 中田兼介、クモの成長に伴う網形態の変化は“biogenetic law”で説明できるか?、日本動物行動学会第 29 回大会、2010 年 11 月 20 日、那覇
- 3 Kensuke Nakata、Attention focusing in a sit-and-wait forager –a spider controls its prey-detection ability in different web sectors by adjusting thread tension–、13th International Behavioral Ecology Congress、2010 年 9 月 28 日、オーストラリア・パース
- 4 中田兼介・輪湖千春・森貴久、クモの造網行動における、複雑な行動のコストと対捕食者防御、日本生態学会第 57 回大会、2010 年 3 月 17 日、東京
- 5 中田兼介、目立つべきか目立たざるべきか –クモの網の隠れ帯における、捕食者・餌との遭遇経験と信号強度の関係、日本動物行動学会第 28 回大会、2009 年 11 月 28 日、つくば
- 6 中田兼介、ギンメッキゴミグモの隠れ帯の機能について、第 41 回日本蜘蛛学会大会、2009 年 8 月 22 日、仙台
- 7 中田兼介、円網の上下非対称性と造網時間の関係、第 40 回日本蜘蛛学会大会、2008 年 8 月 24 日、大阪

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 兼介 (NAKATA KENSUKE)
東京経済大学・現代法学部・准教授
研究者番号：80331031

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし