

棘皮動物のウニ類に学習行動が確認された

熊本県立済々黶高等学校 生物部 棘皮動物班

2年 今村響・松原紗英・野田創太・藤原美咲 1年 伊藤和哉・黒瀬陽斗・真野杏珠・平野新奈・友池隆仁・一野日菜子・山本凜太郎

[1]はじめに

済々黶生物部では、3年前から棘皮動物の研究を行っている。先輩方は、行動面で放射相称動物とされてきたウニ類が、ある特定の方向に進むことを明らかにし、行動面において左右相称動物と言えることを報告した(済々黶,2021)。

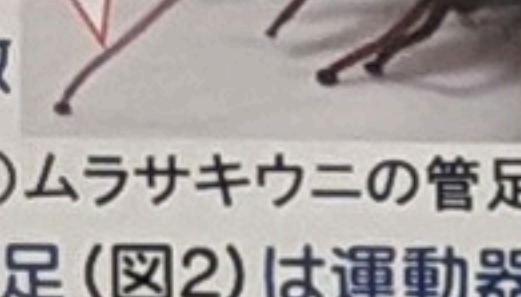
ウニを飼育していると、同種(図1)のウニが集合している様子(図1)を高頻度で確認した。2023年5月、熊本県天草の海岸で採集とフィールド調査を行った際、同種のウニが集合していること、天敵であるイトマキヒトテと離れた位置にいること(図2)を確認した。ウニが仲間や天敵をどのように認識している(図2)ムラサキウニの管足をどのように認識している(図2)は運動器官だが、管足を感覚器官としても用いている(本川,2009)と報告がある通り、感覚器官としての働きも知られている。そこで、管足に注目して研究を始めた。また、感覚器官としてはたらく報告はないが、体表にある棘を使っている可能性もあるので実験して検証した。

パフンウニ



(図1)水槽内で集合しているパフンウニ

管足



(図2)ムラサキウニの管足をどのように認識している(図2)ムラサキウニの管足をどのように認識している(図2)は運動器官だが、管足を感覚器官としても用いている(本川,2009)と報告がある通り、感覚器官としての働きも知られている。そこで、管足に注目して研究を始めた。また、感覚器官としてはたらく報告はないが、体表にある棘を使っている可能性もあるので実験して検証した。

[2]研究第1段階の目的:ウニがどのように同種個体や天敵を認識しているのか明らかにする。

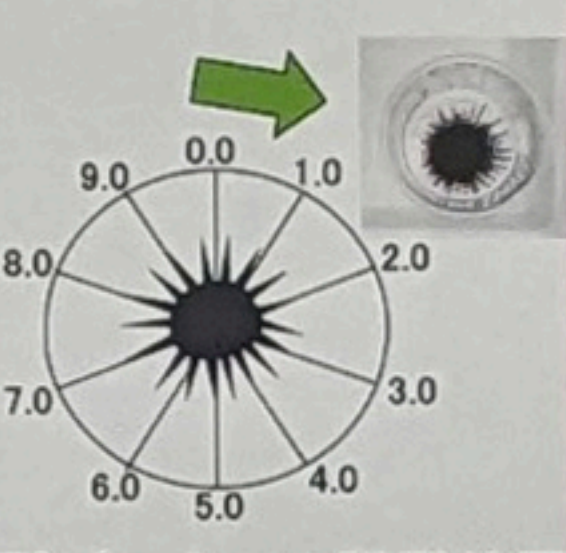
[4]研究段階1の仮説:ウニが仲間や天敵を認識する方法として仮説をたてた。

- 仮説1.視覚を使って同種や天敵を認識している
- 仮説2.棘を使って同種や天敵を認識している
- 仮説3.管足を使って同種や天敵を認識している

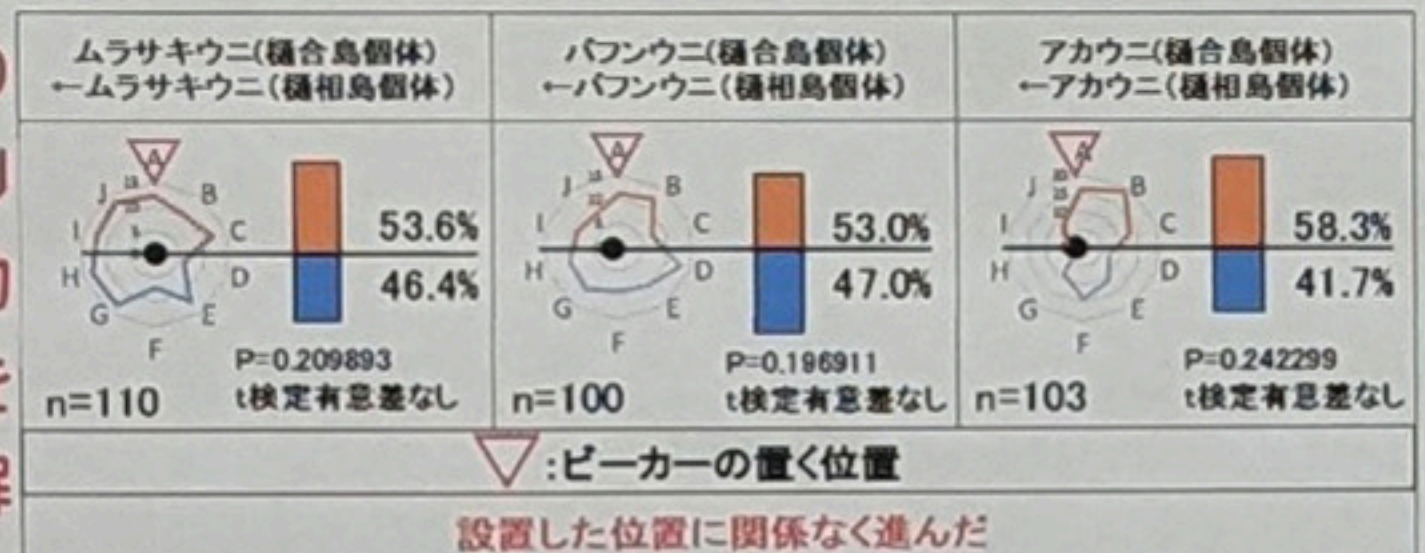
[5]研究段階1の実験方法・結果

実験1 「視覚で認識しているか調べる」(仮説1の検証)

視覚で同種個体を認識しているか調べた。化学物質などの影響をなくするため、透明なビーカーに同種のウニを入れ、実験個体から4cm離して設置し、実験個体の動きをみた。ビーカーはウニの体から見て、10方向に順においた(図5)。移動方向の記録後、お玉でシートの中心に戻し、置く向きを変えて静置した。5分間以上移動しない場合は、実験回数にカウントしなかった。これは、以降の他の実験も同様である。実験にはムラサキウニ、アカウニ、パフンウニを用いた。



結果 刺激となるウニ入りビーカーを、ウニの周囲A~Jに順に置き、実験個体の移動方向を記録した。「ビーカーを置いた位置を基準とした解析」と、「多孔板・棘の短い方を基準とした解析」の2つを行った。10方向のうちどの方向に進んだかをカウントし、ヒストグラムで比較した。ビーカーの置く位置を基準に解析すると、全種がどの方向にも同じように進んだ(図6)。体のどの部分を前に進んだかを解析すると、どこにビーカーを置いても関係なく、ムラサキウニは棘の短い側に、パフンウニ、アカウニは多孔板の方向に多く進んだ。ムラサキウニで棘の短い側とその反対側のどちらを前に進んだか2つに分けて比較すると、棘の短い側を前にしたのは全体の81.1%だった。パフンウニは多孔板の側が61.0%だった。アカウニは64.0%だった。どの種も、棘の短い側や多孔板側を前にして移動しており、周囲に置いた仲間のウニに影響されなかった。仲間のウニを視覚では認識していないようだ。



実験2 「棘で認識しているか調べる」(仮説2の検証)

ウニの棘に、別の個体の棘を接触させたときの移動を調べた。生体のウニは棘の動きが活発で、対象とするウニの棘に接触させ刺激しようとしても、管足などの他の器官にも接触してしまう。そこで、ウニの棘を切断し、それを割り(図7)実験2で作成した実験器具をウニの棘に接触させ、移動方向を調べた。実験にはムラサキウニ、アカウニ、パフンウニを用いた。

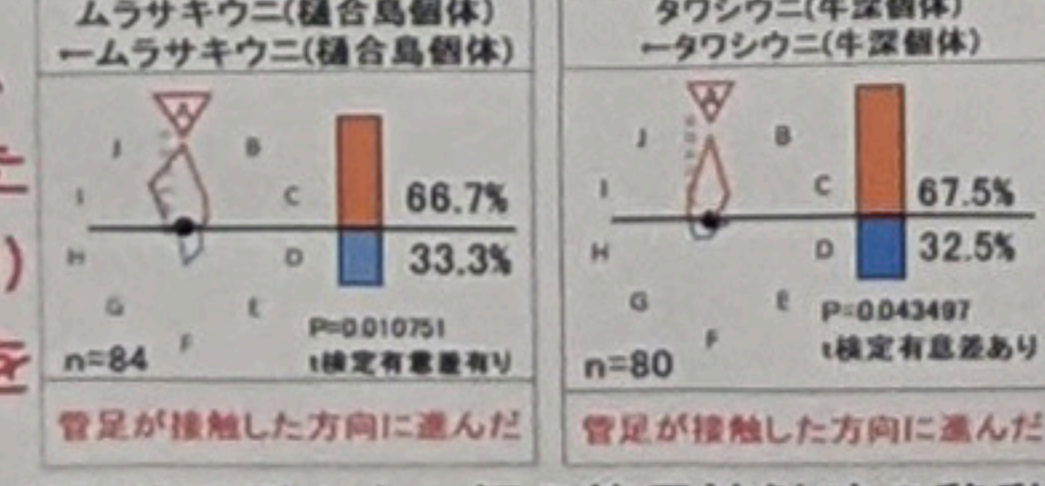


結果 棘に棘を接触させると、どの種の棘を用いても、棘が接触した反対方向に移動した。ムラサキウニの棘の短い側にムラサキウニの棘を接触させると、全体の76.0%がその反対側に逃げた。他のウニも同様だった。棘が接触しても物理的な刺激として逃げるだけで、棘による仲間の認識は確認されなかった。

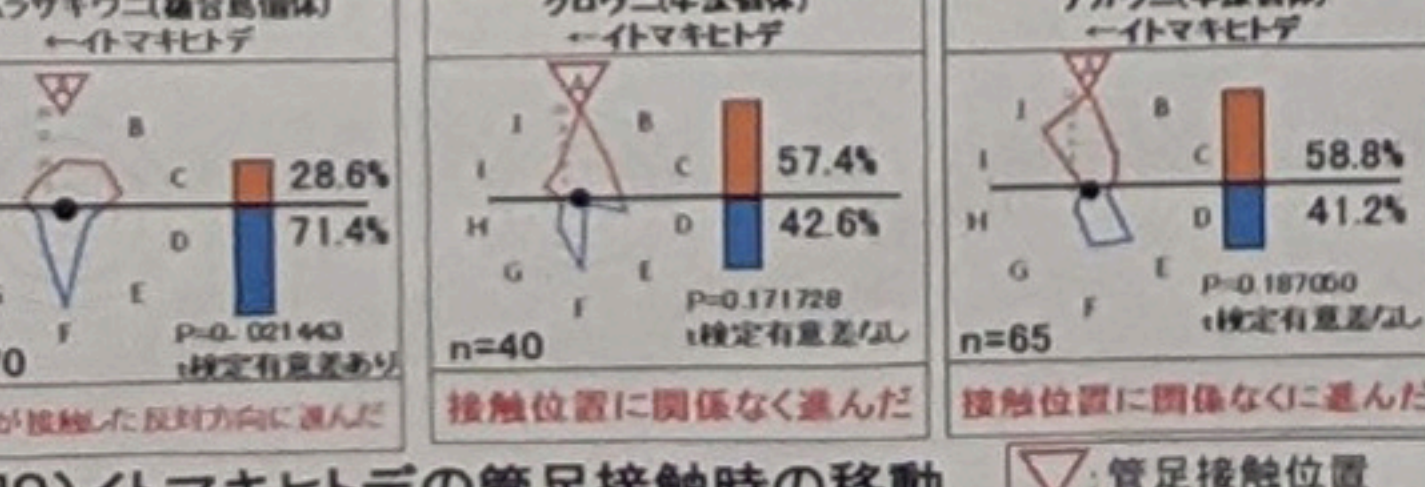
実験3 「管足で認識しているか調べる」(仮説3の検証)

管足への接触で同種個体や天敵を認識するかを調べるため、ウニの管足に「同種の管足」・「ヒトテの管足」を接触させた。管足を接触させる位置は、ウニの全周を10等分し、その10箇所に順に接触させた。実験には、樋合島で採集したムラサキウニ、アカウニ、パフンウニ、牛深で採集したナガウニ、クロウニ、タワシウニを用いた。

結果 ウニに同種の管足を接触させると、どの種も管足が接触した方向に移動した(全種が $P < 0.05$, t検定で有意な差有り)(図8)。天敵であるイトマキヒトテの管足を接触させると、ムラサキウニ、アカウニ、パフンウニは逃げた(全種が $P < 0.05$, t検定で有意な差有り)(図9左、中)。しかし、ツマジロナガウニ・タワシウニ・クロウニは、イトマキヒトテを接触させても逃げなかった(全種が $P > 0.05$, t検定で有意な差無し)(図9右)。



(図8)同種のウニ類の管足接触時の移動



(図9)イトマキヒトテの管足接触時の移動

[6]研究第1段階の結論:管足に、同種のウニの管足を接触させると近づいた。天敵であるイトマキヒトテの管足を接触させると、ムラサキウニ、アカウニ、パフンウニの3種は逃げた。しかし、ツマジロナガウニ、クロウニ、タワシウニの3種は逃げなかった。ウニは管足への接触で同種のウニや天敵を認識していた。

[3]研究方法

(1)研究期間:2023年4月~10月

(2)研究対象:熊本県天草の樋合島・牛深茂串海岸・島子、宇土半島の三角西港の4カ所で、各地の漁協の許可を得て採集したウニ6種を用いた(表1)。採集したウニは人工海水で飼育し、餌は主にワカメを与えた。イトマキヒトテも採集し飼育した。餌はチクワを与えた。

(3)ウニは個体識別をして実験を行った:記録のためウニを個体識別した。採集地点ごとに水槽を分けて飼育し、個体の体長や棘の長さなどの違いを記録し個体を識別した。

(4)雌雄判別はしなかった:ウニは、雌雄で外見に差はない。解剖して、生殖巣を確認するには、個体を殺さなければならぬので、雌雄を確認して研究することは難しいと考えた。さらに、ウニは海水中に放精、放卵を行い繁殖する。オスとメスが会合する必要がないため、雌雄の違いは重要ではなく、行動に違いはないだろうと考えた。

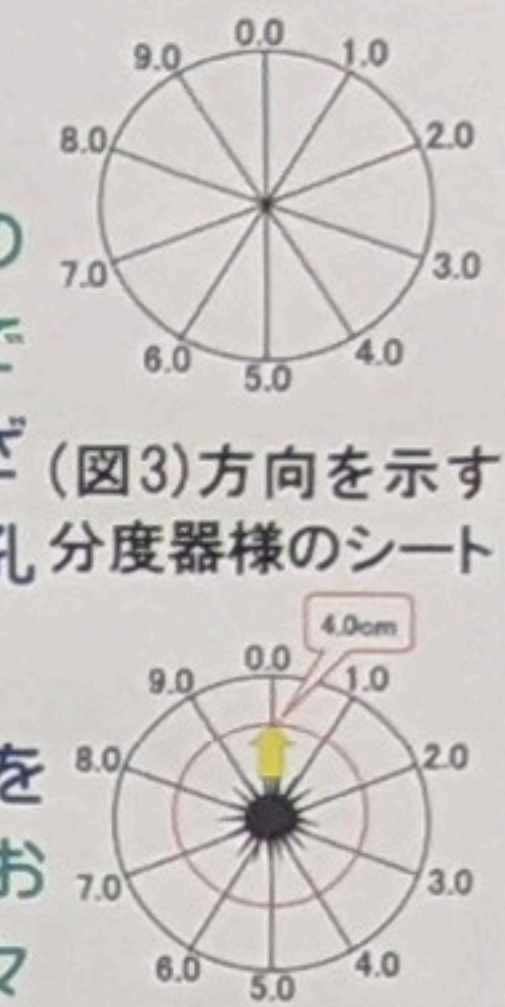
(5)実験操作と解析手順(全体に共通)

刺激がないとき、棘に長さのあるウニ(ムラサキウニ、クロウニ)は棘の短い方向に、それ以外の棘の長さに長さのないウニ(アカウニ、パフンウニ、ツマジロナガウニ、タワシウニ)は海水の取り入れ口である多孔板の方向に進むことが報告されている(済々黶,2020/2021)。刺激に対して近づいたり、遠ざかったりする場合刺激を認識して反応していると判断した。本来の方向、つまり棘の短い方向や多孔板分度器様のシート板の方向に移動している場合は刺激を認識していないと判断した。

バットにウニが浸かる深さ6cmまで人工海水を入れ、分度器代わりのシートを敷いた(図3)。360度を10方向に分割しA~Jとした。シートの中心にウニを置き、移動方向を記録した。ウニの移動はすべてお玉ですくって行った。お玉を使うことで刺激の影響が無い状態で実験できることが報告されている(済々黶,2021)。移動方向を統一的に調べるため、方向が明瞭になる4cm移動した時点で記録した(図4)。どの方向に進んだかを記録した。同時に、棘の長さに長さのあるウニはトゲの短い方向基準(0.0)、その他のウニは多孔板基準(0.0)の0.0~9.9の数値で移動時に前となった体の部位も記録した。バットの傾きや光などの環境条件の影響を排除するため、ウニの体の向きを36度ずつ変えて20回の実験を行い、1セットの実験とした。

(表1)実験に用いたウニ6種

綱	ウニ綱				アスナロウニ目
目	ホンウニ目				クロウニ科
科	ナガウニ科				オオパフンウニ科
種名	ムラサキウニ	ツマジロナガウニ	タワシウニ	アカウニ	パフンウニ
学名	<i>Helicodonta crassispina</i>	<i>Echinometra sp.</i>	<i>Echinostrepus molaris</i>	<i>Pseudocentrotus depressus</i>	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>
写真					
生息環境	主に潮間帯	房総半島以南潮間帯	岩の窪み主に潮間帯	水深2~3m	潮間帯の転石下
サイズ	2~7cm	3~7cm	2.5~3.5cm	4~7cm	2~4cm



(図3)ウニの移動はすべてお玉ですくって行った。お玉を使うことで刺激の影響が無い状態で実験できることが報告されている(済々黶,2021)。移動方向を統一的に調べるため、方向が明瞭になる4cm移動した時点で記録した(図4)。どの方向に進んだかを記録した。同時に、棘の長さに長さのあるウニはトゲの短い方向基準(0.0)、その他のウニは多孔板基準(0.0)の0.0~9.9の数値で移動時に前となった体の部位も記録した。バットの傾きや光などの環境条件の影響を排除するため、ウニの体の向きを36度ずつ変えて20回の実験を行い、1セットの実験とした。

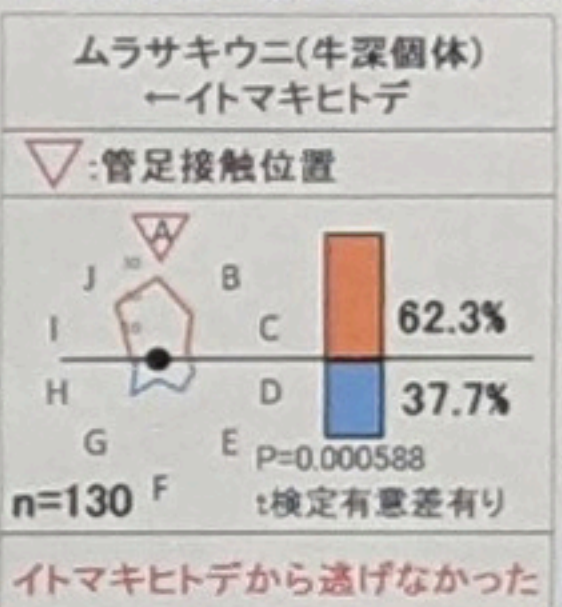
[7]研究第1段階から第2段階へ

研究第1段階で新たな疑問が生じた。イトマキヒトテから逃げた3種はすべて樋合島、逃げなかった3種はすべて牛深で採集した個体だった。逃げるかどうか、種による違いなのか、生息地による違いなのか、疑問に思い確認する実験を行った。

実験4 「牛深ムラサキウニにヒトテ管足を接触」

ここまでは使っていないが、牛深にもムラサキウニが生息している。そこで、牛深のムラサキウニで実験し、樋合島のムラサキウニの結果と比較することにした。

結果 牛深のムラサキウニにイトマキヒトテを接触させても逃げなかった。逆に近づいた($P = 0.0006$, t検定で有意な差有り)(図10)。管足が接触した側に近づいたのは62.3%、逃げたのは37.7%だった。



(図10)イトマキヒトテの管足接触時の移動

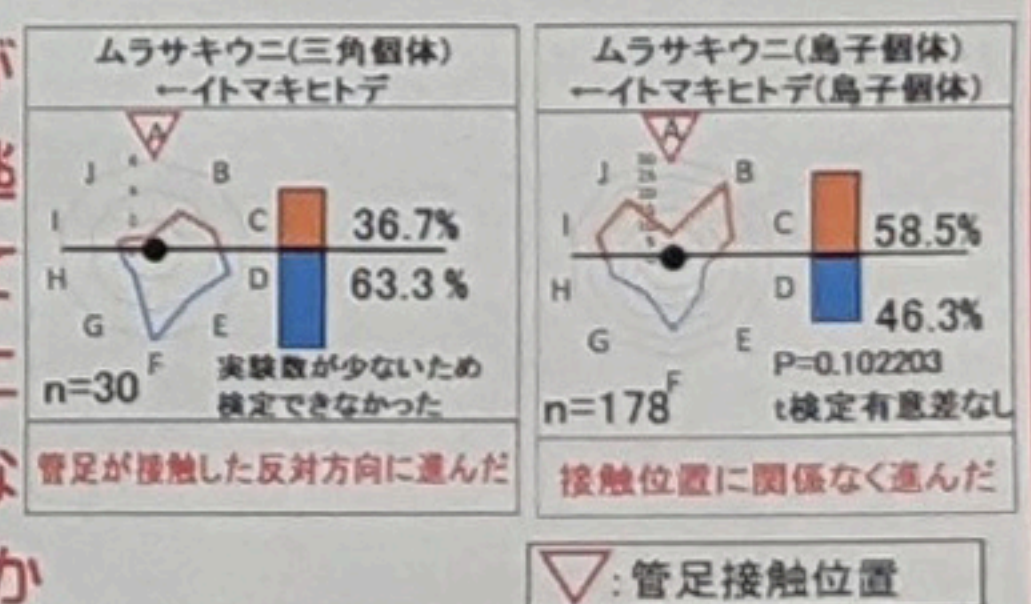
[8]研究第2段階、新たな仮説:同じムラサキウニでも生息地の違いによって反応が異なっていた。なぜ同種間で反応が異なるのか、新たな疑問が生じた。牛深と樋合島の2地点で、遺伝的な違いがあるのではないかと考えた。あるいは、樋合島にはイトマキヒトテが多いが、牛深では調査時に確認されなかったことから、イトマキヒトテとの接触経験の有無が反応の違いの要因ではないかとも考えた。

[9]研究段階2の実験方法・結果

実験5 「管足で認識しているか調べる」三角・島子個体」

ここまでは、イトマキヒトテが多い樋合島と、イトマキヒトテが確認されていない牛深の2カ所から採集したウニで実験していた。新たに、天草上島の島子と、宇土半島の三角西港でもウニを採集し実験に用いることにした。両地点でムラサキウニを採集した。三角ではイトマキヒトテを多数確認したが、島子では確認されなかった。島子と三角で採集したムラサキウニに、イトマキヒトテの管足を接触させ、移動方向を調べた。

結果 三角のムラサキウニはイトマキヒトテの管足が接触すると63.3%が逃げた。島子のムラサキウニは逃げなかった。実験3の樋合島と牛深の結果を合わせて考えると、イトマキヒトテがいる地域で採集されたウニは逃げたが、いない地域で採集されたウニは逃げなかった(図11)。ウニが、イトマキヒトテと接触した経験から学習している可能性が高いのではないかと考えた。



(図11)イトマキヒトテの管足接触時の移動

実験6 「ヒトテに襲われた個体の行動の変化」

イトマキヒトテが未確認の牛深と島子のウニ類は逃避行動をとらなかった。このウニにイトマキヒトテに襲われる経験を与え、その後ヒトテの管足に触れたときの行動の変化をみた(図12)。

ムラサキウニをイトマキヒトテに襲わせるために、ガラス瓶と一緒に1に襲わせる様子時間入れた。この操作を3日間毎日行った。①ヒトテの胃袋が出ている状態と、②出ておらず口周辺の管足が接触する状態の2種類の状態で襲わせた。襲わせたウニは、食べられる前にヒトテから救出した。

(図12)ウニをヒトテ

表2)イトマキヒトテの刺激への反応の変化		牛深で採集	島子で採集
採集地	個体	uMaJuMbUmCmMduMeisMalsMbsMcsMgsMdsMeisMf	
8月29日	採集		
8月30日			
8月31日			
9月17日			
9月18日			
9月19日			
9月22日	観察	観察	観察
9月23日	観察	観察	観察
9月24日	観察	観察	観察
9月25日	観察	観察	観察
9月27日	12日間		
10月7日	観察	観察	観察
10月8日	観察	観察	観察
10月9日	観察	観察	観察
10月11日	観察	観察	観察

[10]全体の考察:ウニ類を含む棘皮動物の管足には感覚器官としての機能があると報告されている(藤田,2022)。今回、ムラサキウニ、アカウニ、パフンウニ、ツマジロナガウニは管足への接触で同種のウニや天敵を認識していた。ウニ類の管足は、感覚器官として接触した相手を判別する能力を有することが確認された。

今回の研究で、経験の有無によりウニ類の行動が変化することを明らかにした。これは、ウニ類が過去の経験から「学習」を行ったことを示している。ヒトテ類は学習行動をとることは報告されているが(Cody,2021)、ヒトテ類に加えてウニ類も学習することが明らかになった。ウニ類は5分~30分程度の記憶しか保持できないとされている(Yoshimura,2018)。私たちの過去の実験でも30分で接触刺激の記憶は消えていた(済々黶,2021)。今回、ウニの記憶は12日間以上保持されていた。発達した集中神経系を持たないといわれるウニ類だが、記憶・学習の能力は高いようだ。

[11]参考文献・参考文献

- 済々黶生物部 済々黶太.2022.ウニ類の移動方向を決める要因には優先順位があった.熊本生物No.63
- 済々黶生物部 横山文子.2022.ヒトテやウニモヒトテは多孔板を前に進んで進む左右相称動物だった.熊本生物No.64
- 済々黶生物部 済々黶太.2021.放射相称動物であるウニ類の体に向性があった.熊本生物No.63
- 藤田 2022.ヒトテとウニモヒトテの形動物
- 小泉.2016.神経系の起源と進化:散在神経系よりの考察
- Cody,2021.Neuroecology beyond the brain: learning in Echinodermata
- Kazuya Yoshimura.2018.Memory of direction of locomotion in sea urchins: effects of nerves on direction and activity of tube feet
- Gealle.2016.Associative learning in the cnidarian Nematostella vectensis
- 松岡.2011.棘皮動物と脊索動物の進化的関係性の証

- Robert.2020.Integrative Transcriptome and Proteome Analysis of the Tube Foot and Adhesive Secretions of the Sea Urchin Paracentrotus lividus
- 南.2014.日本および韓国沿岸におけるキタムラサキウニの遺伝的集団構造とその形成過程
- 加藤.2003.棘皮動物幼生神経形成の分子機構解析
- 小泉.1999.ヒトテの散在神経系の神経生物学
- 本川.2001.ヒトテ学
- 本川.2007.ウニ学

[12]謝辞

富本尚史さん(近畿大学)に研究の進め方のアドバイスをいただきました。本研究はリバネス「マリンチャレンジプログラム2023」に支援していただきました。感謝申し上げます。