

節足動物の交替性転向反応に関する研究

静岡県立掛川西高等学校

2年 内田真桜 鈴木陽菜 鈴木里歩 溝口蘭々

1. はじめに

節足動物に属するダンゴムシは、直線を歩行中に丁字路のつきあたりに差し当たったとき、最初に右に曲がった後は左へ、左に曲がった後は右へ曲がるという交替性転向反応を示すことが知られている（図 1）。この交替性転向反応が起こる原因を説明する仮説として、主に BALM 仮説と走触性仮説が広く知られている。

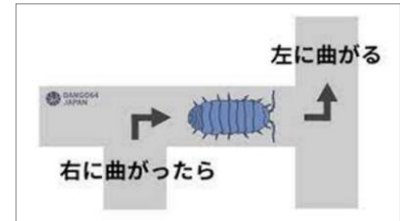


図 1. 交替性転向反応

BALM 仮説とは、生物が角を曲がる際、カーブの外側の脚を内側の脚より多く使うことによって発生する左右の脚の作業量の差を平均化するために、交替性転向反応が起こるとするものである（図 2）。走触性仮説とは、生物が壁に触れながら歩き、曲がり角では触れていた方向に斜めに移動することによって、生物が曲がったあと、曲がる前とは逆側の体が壁に接触し、その壁との接触を保ったまま進む、ということを繰り返して交替性転向反応が起こるとするものである（図 3）。

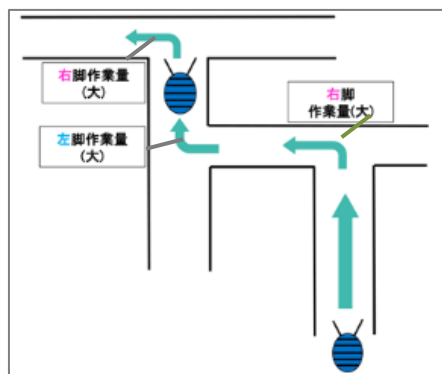


図 2. BALM 仮説

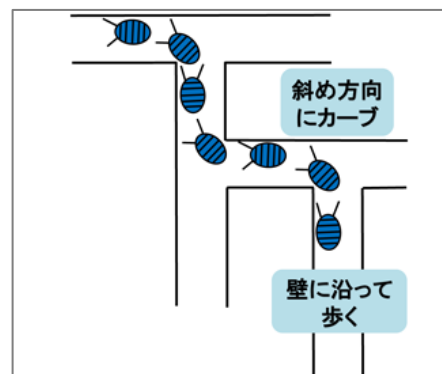


図 3. 走触性仮説

昨年度の本校の理数科課題研究では、ダンゴムシの交替性転向反応の原因として BALM 仮説が有力であるのか、走触性仮説が有力であるのかを調べる研究がされた（6. 参考文献）。その結果、ダンゴムシでは BALM 仮説が有力であると結論付けられていた。また、これまでの先行研究においてもダンゴムシの交替性転向反応は BALM 仮説で説明がつくとの報告が多くされている（6. 参考文献）。その一方で、ダンゴムシ以外の生物における交替性転向反応の研究例は少ない。

そこで私たちは、ダンゴムシのほかにも、交替性転向反応を示す生物がいるのかということに興味を持った。ダンゴムシが属する甲殻類、同じ節足動物である蛛形類、多足類、昆虫類を用いて、交替性転向反応はダンゴムシ固有の性質なのか、節足動物に広くみられる性質なのかについて調べた。そしてさらに、交替性転向反応がみられた場合は、それが起こる要因として BALM 仮説あるいは走触性仮説で説明がつくのか、検証を行った。

2. 材料と方法

（1）使用した生物

実験には、甲殻類のダンゴムシとワラジムシ、フナムシ、蛛形類のヤチグモ、多足類のヤスデ（倍

脚類) とムカデ (唇脚類) を用いた (図 4)。フナムシは静岡県磐田市の福田海岸、ヤチグモは静岡県掛川市上垂木、ワラジムシは掛川市浜野、その他の生物は本校の敷地内で採集した。



図 4. 使用した生物

(2) 実験方法

実験 1 : 交替性転向反応の確認実験

4 cm × 8 cm の発泡スチロールを複数使い、丁字路が連続する通路を用意した (図 5)。中央の地点からスタートさせ、各個体がたどり着く先を記録した。道幅は生物の横幅と体長に応じて変えた。生物が C にたどり着いた場合、交替性転向反応を示したとみなした。

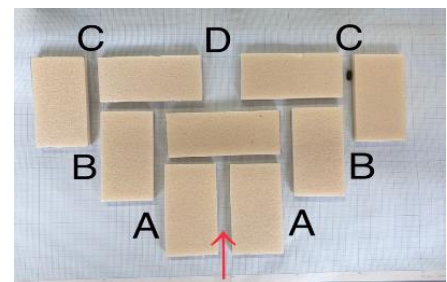


図 5. 装置①

実験 2 : 交替性転向反応の原因が BALM 仮説であるかを調べる実験

各生物が交替性転向反応を示す原因が、BALM 仮説であるのかを調べるために、直径約 9 cm の筒を用意し (図 6)、その内側をダンゴムシとヤスデに歩かせた。内側の円に沿って同じ方向に歩き続けると、片側の脚 (壁に接触している脚) に負荷がかかり続けることとなる。装置②を歩かせた直後に丁字路を歩かせ、曲がる方向を調べた。



図 6. 装置②

交替性転向反応が BALM 仮説による場合は、左右の脚の負担を均一にするために、装置②に沿って回っていた方向とは逆方向に曲がるはずである。交替性転向反応が BALM 仮説によらない場合は、丁字路に差し当たったときに装置②に沿って歩いた方向と同じ方向、あるいは逆方向に曲がる割合がそれぞれ 50% に近くなるはずである。

実験 3 : 交替性転向反応が消失する距離を調べる実験

交替性転向反応を示していた生物が、その性質を失う距離を調べる実験として装置③を作成した (図 7)。ヤスデを角 A で左折させ、その後、丁字路 B に差し当たった時にどちらへ曲がるかを調べた。角 A で左折させるため、生物が角 B で右に曲がると交替性転向反応を示したとみなせる。調査では、角 A から丁字路 B までの距離 (ℓ) を 4 cm ずつ長くし、丁字路 B で右に曲がる割合と左に曲がる割合がそれぞれ 50% に近くなった距離を、交替性転向反応が消失する距離とみなした。

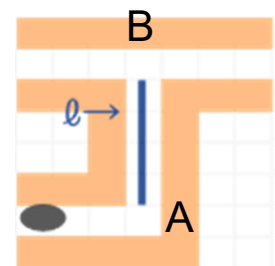


図 7. 装置③

ダンゴムシの交替性転向反応が消失する距離については昨年度の本校課題研究で実験されている (6. 参考文献)。昨年度の実験では、装置①の曲がり角から次の曲がり角までの長さを変化させてダンゴムシを歩かせ、交替性転向反応が消失する距離を調べた。

実験 4 : 交替性転向反応の原因が走触性仮説であるかを調べる実験

各生物が交替性転向反応を示す原因が、走触性仮説であるのかを調べる実験として、発泡スチロールで装置④を作成した (図 8)。交替性転向反応の性質を持つ生物が、その性質を失う長さの直線距

離 ℓ （この距離は実験3で求めた距離）を歩いた後、直線を歩き続けるのか、曲がるのかを調べた。

走触性仮説は、生物が常に壁に触れながら歩き、曲がり角では触れていた方向に斜めに移動することで交替性転向反応が起こる、とするものである。よって生物が壁に沿って曲がり、Aにたどり着けば走触性仮説が有力ということになる。逆に、Dにたどり着けばBALM仮説が有力ということになる。

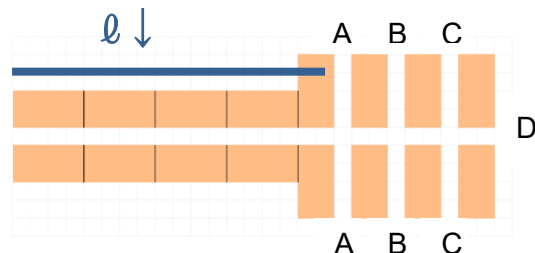


図8. 装置④

3. 各実験の結果及び考察

実験1の結果：交替性転向反応の確認実験

フナムシは準備した装置よりも体長が大きく、丁字路の数が1つ少ない装置での調査（B～D）となったため、Aの記録はない。Cにたどり着いた割合は、ダンゴムシ58%、ワラジムシ39%、フナムシ81%、ヤチグモ100%、ヤスデ79%、ムカデ38%であった（表1）。また、ムカデではAにたどりついた割合が46%と最も高かった。

仮に交替性転向反応が起こらないと考えた場合に各地点にたどり着く確率は、Aは50%、Bは25%、Cは12.5%、Dは12.5%（フナムシの場合、Bは50%、Cは25%、Dは25%）である。

すべての生物において、Cにたどり着いた割合が12.5%（フナムシの場合は25%）を超えていた。このことから、調査した全ての生物が交替性転向反応を示す性質を持つと考えることができる。

表1. 実験1の結果

	甲殻類			蛛形類	多足類	
	ダンゴムシ	ワラジムシ	フナムシ	ヤチグモ	ヤスデ	ムカデ
A	5	6		0	3	26
B	4	6	2	0	0	6
C	15	12	17	6	15	21
D	2	7	2	0	1	3
Cに着いた割合	58%	39%	81%	100%	79%	38%

実験2の結果：交替性転向反応の原因がBALM仮説であるかを調べる実験

装置②で回っていた方向とは逆方向に丁字路を曲がった割合は、ダンゴムシでは74%、ヤスデでは73%であった（表2：表2において、例えば「右→左」であれば、装置②で右回りをした後、丁字路で左折したということである）。

ダンゴムシおよびヤスデの両者ともに、装置②で回っていた方向とは逆方向に丁字路を曲がった割合が極めて大きかった。BALM仮説は、曲がるときに生じる左右の脚の作業量の差を均一にするために交替性転向反応が起こる、とするものである。よって、ダンゴムシでもムカデでも、BALM仮説が支持されるものと考えられる。

また、実験中、ダンゴムシは、図9のように装置②の内側に筒を置かないと、内側の壁に沿って歩かなかった。しかしヤスデは、筒がなくても、装置②の内側の壁に沿って歩いた。このことから、ダンゴムシには走触性がなく、ヤスデには走触性があると考えられる。

表2. 実験2の結果

実験2	ダンゴムシ	ヤスデ
右→左	7	20
左→右	10	26
右→右	1	9
左→左	5	8
逆方向に曲がった割合	74%	73%



図9. 装置② ダンゴムシ用

実験3の結果：交替性転向反応消失の距離を調べる実験

実験の結果、角Bでどちらに曲がったのかを表3に示した。ヤスデにおいては、角Aで左折させたのち角Bで右折した割合（交替性転向反応を示した割合）は、距離 ℓ が24 cmのときは71%であった。28 cmおよび32 cmの時の頻度はそれぞれどちらも57%であった。

ℓ が24 cmのときは、ヤスデが右に曲がった割合が50%を大きく超えたため、交替性転向反応がみられたといえる。しかし、 ℓ が28 cmのときと32 cmのときは、ヤスデが右に曲がった割合が約50%だったため、交替性転向反応がみられなかったといえる。よって交替性転向反応がみられなくなる ℓ の長さは28 cm以上である。

表3. 実験3の結果

ヤスデ	24cm	28cm	32cm
右	10	8	4
左	4	6	3
右に曲がる割合	71%	57%	57%

ダンゴムシについて、昨年度の課題研究で示された実験結果は表4のとおりである。Cにたどり着く割合が12.5%に近づけば、交替性転向反応がみられなくなったといえる。よって、ダンゴムシの交替性転向反応がみられなくなる曲がり角から次の曲がり角までの長さは28 cm以上である。

また、仮に走触性仮説が正しいとすると、通路が長くなっても、交替性転向反応が起こらなくなることはないので、ヤスデにおいてもダンゴムシにおいても、走触性仮説を否定する結果が得られたことになる。

表4. ダンゴムシが交替性転向反応を示さなくなる通路の長さ

ダンゴムシ	24cm	26cm	28cm	30cm
A.B.D	19	22	26	26
C	10	8	4	4
交替性転向反応が見られた割合	34%	27%	13%	13%

実験4の結果：交替性転向反応の原因が走触性仮説であるかを調べる実験

ダンゴムシではAにたどり着いた頻度は7%であった。一方、ヤスデではAにたどり着いた頻度は78%であった（表5）。よって、走触性仮説について、ダンゴムシでは否定され、ヤスデでは支持されると考える。

表5. 実験4の結果

	ダンゴムシ	ヤスデ
A	2	25
B	3	3
C	2	8
D	26	7
Aに辿り着いた割合	7%	78%

※Aに辿り着いた割合ではAとDの結果のみを採用している。

4. まとめ

実験1の結果から、交替性転向反応はダンゴムシ固有の性質ではなく、節足動物全般にみられる性質であると推測される。このことから、節足動物の祖先型ではすでに交替性転向反応の性質を有していたと考えられる（図10）。

ダンゴムシでは、実験2と実験4においてBALM仮説を支持する結果が得られた。また、実験2で、筒なしでは装置②の内側に沿って回らなかったことと実験4から走触性仮説を否定する結果が得られ、実験3で ℓ に限界値があったことから走触性仮説を否定する結果が得られた。よって、ダンゴムシではBALM仮説が有力であると考えられる（表6）。

ヤスデでは、実験2においてBALM仮説を支持する結果が得られ、実験4においてBALM仮説を否定する結果が得られた。また、ヤスデは装置②の壁に沿って回ったことと実験4から走触性仮説

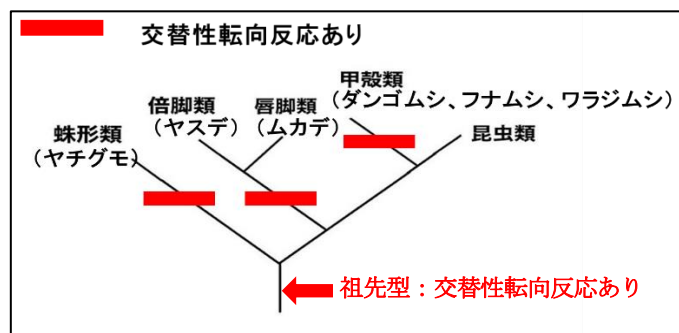


図10. 節足動物における交替性転向反応

を支持する結果が得られ、実験3で0に限界値があったことから走触性仮説を否定する結果が得られた。そのため、ヤスデではどちらの仮説が有力なのかを判断できなかった（表6）。このことから、ヤスデに交替性転向反応がみられる原因が、BALM 仮説と走触性仮説の他にある可能性が見えてきた。

表6. ダンゴムシとヤスデの考察

	ダンゴムシ		ヤスデ	
	BALM仮説	走触性仮説	BALM仮説	走触性仮説
実験2	○		○	
装置②に沿う		×		○
実験3		×		×
実験4	○	×	×	○

5. 今後の展望・反省

今回の実験では、当初昆虫類も対象としていた。しかし、同一種で多くの個体数を採集することができず、十分な実験データを得ることができなかった。昆虫類も交替性転向反応を示すのかを調べたい。

また、秋になってしまったことによって、ダンゴムシとヤスデ以外の生物を採集することが難しくなり、交替性転向反応がみられる原因について調べる実験をこの両種についてでしか行えなかった。他の生物についても交替性転向反応の原因を調べる実験を行いたい。

また、生物を対象とした実験では、特に季節に応じて入手が困難になる種類も多いことから、実験生物種の選定が重要となる。今回はできるだけ多様な分類群を扱うことを目的とし、甲殻類、多足類（唇口類・倍脚類）、蛛形類を扱うことができた。しかしながら、各分類群とも扱った生物種は1種～数種程度であり、それらだけで各分類群の一般化を図ることができるとはいいきれない。より多くの種類でのデータを集めていく必要性を感じている。

考察をする中でヤスデが交替性転向反応を示すことには、BALM 仮説でも走触性仮説でもない他の原因があるのではないかという考えに至った。そこで調べたところ、「交替性転向反応が触角によって引き起こされる」という仮説を提唱している論文を見つけた。ヤスデがこの仮説に当てはまるのか、それともさらに他の要因があるのかについて検証したい。

6. 参考文献

伊藤惺飛 石井晴大 高橋諒 石亀優花 瀬畑葵 「ダンゴムシの交替性転向反応の要因の考察」

令和3年度静岡県立掛川西高等学校 理数科課題研究論文集

草野ゆうか 「オカダンゴムシの交替性転向反応の仕組みを探る」

https://katosei.jsbba.or.jp/view_html.php?aid=336

今野直輝 「ダンゴムシの交替性転向反応に関する研究」

https://www.tsukuba.ac.jp/community/studentskagakunome/shyo_list/2012/jrhi

林 靖人 「オカダンゴムシの交替性転向反応はなぜ起こるのか？」

<https://www.biol.tsukuba.ac.jp/tjb/Vol12No7/TJB201307YH.pdf>

平野愛美 「ダンゴムシの生態を探る!？」

<https://www.shizecon.net/award/detail.html?id=543>

宮村佑太 「ダンゴムシの交替性転向反応」

<https://www.osaka-c.ed.jp/kishiwada/KeM/pdf/researchPaper2018-6.pdfgh/5.pdf>