

オカダンゴムシの交替性転向に潜む心的過程の可能性

Possible mental process underlying turn alternation behavior in the pill bug

内海英夏¹, 篠原修二², 正角隆治³, 森山徹⁴
Akika Utsumi, Shuji Shinohara, Takaharu Shokaku, Toru Moriyama

¹京都電子工業, ²東京電機大学, ³セイコーエプソン, ⁴信州大学
Kyoto Electronics Manufacturing Co. Ltd., Tokyo Denki University, Seiko Epson Corp., Shinshu University
toru@shinshu-u.ac.jp

概要

本研究では、交差点間距離が 10, 16, 32cm の多重 T 字迷路装置を用い、オカダンゴムシに対し、T 字迷路を連続で約 6 時間与えた。その結果、交替性転向の成功率は、それぞれ 64, 45, 30%と、交差点間距離の増加に伴い減少し、32cm 条件では反復性転向が顕著に観察された。一方、いずれの条件でも、約半数の被験体において、交替性転向の成功試行数の 100 試行移動平均が、10%から 80%程度の大きな範囲で増減を繰り返す現象が観察された。この結果は、本種の多くは、交替性転向を自発的に動機づける心的過程を備えることを示唆する。

キーワード：オカダンゴムシ, 交替性転向, 心的過程

1. 背景

通路が東西南北へ向く十字迷路内で、南から東へ走行したラットは、短い待機のあと、北の通路へ投入されると、高い確率で西の通路へ向かう[1]。このような交替性の行動は訓練を必要としないため、自発的交替行動 (spontaneous alternation behavior, SAB) と呼ばれている[2]。SAB には知覚、注意、記憶、動機づけといった心的過程が関わるとされ、その検証のための行動、心理、神経解剖学的研究がおこなわれてきた[2,3,4]。例えば、上記のラットの実験では、被験体は通路の新奇性を手がかりに通路を選んだと考えられている。

一方、無脊椎動物では、明確な SAB を報告した研究例は少ない。例えば、被験体として頻繁に用いられるダンゴムシに T 字迷路を繰り返し走行させる実験では、試行間隔を極力短くした場合でも、交替行動は観察されなかった[5]。ただし、複数の分岐点を持つ迷路内では、交替性転向が観察される。Watanabe & Iwata [6]は 3 重 T 字迷路を作成し、その中をオカダンゴムシに歩行させる実験を行った。この実験によると、全体の内 76.4%の個体が完全な交替性転向反応を示した。さらに、この研究においては直前の強制転向が次の転向に与える影響を確認する実験も行われた。その実験によると、右への強制転向を与えられた被験体は次の転向点で

82.2%の確率で左に転向した。この交替性転向反応の成功率は強制転向点から次の転向点までの距離が増すごとに減少し、転向点間距離が 16cm になった時点で 55%に到達した。これは同実験に用いられた対照群(強制転向を与えられず、直進したのちに T 字路に遭遇)と同じ値であったため、先行転向の影響が消失したものと考えられる。

無脊椎動物におけるこのような交替行動には、心的過程よりも、機械的過程が深く関わると考えられている[2]。ダンゴムシと同じ等脚目のワラジムシでは、L 字通路での強制転向で生じる左右の脚の運動量の偏りが、続く T 字迷路に被験体が到達する以前に逆転する現象をもとに、これを実現する機械的機構の存在が予想された[7,8,9]。左右非対称脚運動 (bilaterally asymmetrical leg movement: BALM) [7]と呼ばれるこの機構によって、被験体は L 字通路の転向直後からそれとは逆方向に偏りながら歩行し、T 字迷路の交差点では強制転向の逆方向へ曲がると考えられている。

一方、Moriyama [10]は、ダンゴムシに T 字路を約 200 回連続的に与え、交替性転向の成功試行数の 10 試行移動平均を分析した結果、約半数の被験体において、値の大きな増減が繰り返される現象を確認した。また、Moriyama et al. [11]は、同様の実験において時々生じる方向転換が、同方向の転向の繰り返しである反復性転向を交替性転向へ修正する働きをもつことを見出した。最近では、Shokaku et al. [12]が、ダンゴムシに T 字路を約 2000 回連続的に与え、交替性転向の連続数の相補累積度数分布を解析した結果、その半数においてべき乗則を確認し、これらの被験体が交替性転向の連続数を幅広く変化させたことを明らかにした。

これらの結果は、ダンゴムシが交替性転向を自発的に動機づける心的過程を備えることを示唆する。ただし、いずれの実験でも、迷路の交差点間距離は、本種の交替性転向の機械的機構と想定される BALM が機能する 16cm 以下に設定されていた。そのため、交替性転向

の継続が、心的、あるいは、機械的過程のいずれによって支配されるのかは明らかになっていない。

2. 目的

以上の先行研究の結果から、交差点間距離が 16cm を超える多重T字迷路を用いて、機械的過程由来と考えられる交替性転向反応の発現する割合を減らせば、ダンゴムシの転向反応に関わる心的過程の特徴を観察することができるのではないかと考えた。

よって、本研究では、交差点間距離が 10cm, 16cm, 32cm であるT字迷路を作成し、ダンゴムシの転向反応の特徴を比較した。

3. 実験

実験に使用したオカダンゴムシ (*Armadillidium vulgare*) は長野県上田市にある信州大学繊維学部(北緯 36 度 23 分 31.18 秒; 東経 138 度 15 分 44.14 秒) 構内で採集された。採集された動物は実験室内の飼育容器内で飼育された。実験を行う 7 日前に、飼育容器から触角や脚に欠損のない個体を選別し、蓋つきのプラスチック容器で個別に飼育した。

実験装置は Shokaku et al. [12]の自動多重T字迷路をベースとして製作された。本実験に用いる装置では交差点間距離が 10cm, 16cm, 32cm である 3 種類が用意された。

被験体が自発的な歩行によって実験装置に侵入した後、実験装置の制御プログラムが起動させられた。この制御プログラムが起動した時間を実験開始の時間とし、そこから 6 時間経過するまで個体を装置内で歩行させた。装置内で 5 分以上停止した個体は歩行不可能と判断し、実験を中止し、その個体のデータは解析に使用しなかった。各被験体は一度のみ実験に供された。

4. 結果と考察

交差点間距離が 10cm である装置における実験は 24 個体に対して行われ、各個体の交替性転向反応の成功率を計算したところ、17 個体が 50%を超えていた。この実験に使用した被験個体全体の平均成功率は約 64%であった。

次に、交差点間距離が 16cm の条件では 19 個体が実験に使用された。この内 9 個体が 50%以上の交替性転向反応の成功率を示し、全体の平均成功率としては約

44%であった。

最後に、32cm の実験では 23 個体中 4 個体で交替性転向反応成功率が 50%を超えており、全体の平均発現率は約 28%であった。

結果より、交差点間距離が長くなるほどオカダンゴムシの交替性転向反応の平均発現率は減少していた。この結果をさらに詳しく調べるために、各実験における被験個体の交替性転向反応の成功率を 50%で区切って個体数を集計したものが表 1 である。この集計結果に対してフィッシャーの正確確率検定を行ったところ、10cm と 32cm の集計結果間でのみ有意差が見られた ($p = 8.26 \times 10^{-6} < 0.01$)。そのため、交差点間距離が 10cm である場合、オカダンゴムシの転向反応は交替性転向反応が支配的になり、32cm である場合は反復性転向反応がそれに変わっていたと考えられる。

また、各個体の直近 100 回の転向における交替性転向反応の成功率 (100 区間移動平均) を計算し、その時間変動を調べた。

得られた時間変動の様子から、その傾向ごとに 5 つのグループに分類した (表 2)。1 つ目のグループは高成功率群(High)である。このグループには実験を通して 50%以上の成功率を維持していた個体を分類した。2 つ目のグループは低成功率群(Low)である。このグループには実験を通して成功率が 50%を下回っていた個体を

表 1 交替性転向成功率と転向点間距離の関係

Distance [cm]	Turn alternation success rate	
	Over 50% [count]	Under 50% [count]
10	17	7
16	9	10
32	4	19

表 2 交替性転向成功率の時間変動 (移動平均) の傾向と交差点間距離の関係

Distance [cm]	Types of time sequential change of turn alternation success rate				
	High [count]	Low [count]	Oscillation [count]	Decrease [count]	Increase [count]
10	12	2	3	7	0
16	7	5	4	3	0
32	1	9	5	4	4

分類した。3つ目のグループは振動群(Oscillation)である。このグループには2回以上成功率が50%を越えて変動した個体を分類した。4つ目のグループは下降群(Decrease)である。このグループには1度のみ成功率が50%を越えて下降した個体を分類した。5つ目のグループは上昇群(Increase)である。このグループには1度のみ成功率が50%を越えて上昇した個体を分類した。

交差点間距離と分類された時間変動の傾向の関係をまとめたものが表2である。特徴的なのは増加群であり、このグループは32cmの実験でのみ確認できた。この結果が有意なものかを調べるために、増加群とそれ以外の群に集計しなおし、10cmと16cmを合算した。この32cmと10+16cmの群間でフィッシャーの正確確率検定を行ったところ、有意差が見られた($p=0.0123 < 0.05$)。

もし交替性転向反応や反復性転向反応の成功確率が距離に依存して変化するのみであれば、距離の増加とともに高成功率群が減少し、低成功率群が増加していくだけであるはずである。さらに、オカダンゴムシの転向反応が機械的な交替性転向反応を発現させるための機構のみで構成されているのであれば、その結果である時間変動は個体間で差異のない様なものになるはずである。しかし、表によると、今回の実験結果では振動群や減少、増加群を見ることができ、32cmに特有の時間変動を確認することもできた。

これらのことは単純に交替性転向反応の成功率が確率的に偏ることだけでは説明ができない。したがって、今回の実験で得られた結果は、交替性転向反応を制御している心的過程の存在を示唆しているものであると期待される。例えば、Moriyama et al. [13]が提唱する心の行動抑制ネットワーク仮説は、心の特徴のひとつとして、行動に対するゆらぎの生成能を挙げている。

5. 結論

本研究は3種類の交差点間距離を使用して、オカダンゴムシの転向反応とそれを制御する心的過程の可能性を調査した。その結果、交差点間距離が拡張されるにつれ、オカダンゴムシの転向反応は反復性転向反応が支配的になることが分かった。さらに、交替性転向反応成功率の時間変動を解析したところ、高成功率群と低成功率群だけではなく、振動群、下降群、上昇群が見られた。このことは転向反応を制御する内因性のメカニズムがオカダンゴムシに存在することを示唆している。

以上より、結論としては、本研究の目的であった、オカダンゴムシの転向反応を制御している心的過程に関して、本研究の結果から新たな側面を照らすことができたのではないかと考えられる。

6. 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP 21K12009, 同 JP23K17485, および、サントリー文化財団「学問の未来を拓く」2021年度助成の支援を受けた。

文献

- [1] Montgomery K. C. (1952) A test of two explanations of spontaneous alternation. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 45, 287-293
- [2] Richman C. L., Denber W. N., & Kim P. (1986) Spontaneous alternation behavior in animals: A review. *Current Psychological Research & Reviews*, 5, 358-391
- [3] Dember D. W., Richman C. L. (1989) *Spontaneous Alternation Behavior*. Springer, New York
- [4] Hughes R. N. (2004) The value of spontaneous alternation behavior (SAB) as a test of retention in pharmacological investigations of memory. *Neuroscience and Biobehavioral reviews*, 28, 497-505
- [5] Iwahara S. (1963) Inhibition vs. thigmotaxis vs. centrifugal swing as determinants of the initial turn alternation phenomenon in *Armadillidium vulgare*. *The Annual of Animal Psychology*, 13, 1-15
- [6] Watanabe M, Iwata K. (1956) Alternative turning response of *Armadillidium vulgare*. *Annu. Anim. Psychol.*, 6, 75-82
- [7] Hughes R. N. (1985) Mechanisms for turn alternation in woodlice (*Porcellio scaber*): The role of bilaterally asymmetrical leg movements. *Animal Learning & Behavior*, 13, 253-260
- [8] Hughes R. N. (1989) Phylogenetic comparisons. In W. N. Dember, & C. L. Richman (Eds), *Spontaneous alternation behavior*. New York: Springer. Pp.39-57
- [9] Hughes R. N. (2008) An intra-species demonstration of the independence of distance and time in turn alternation of the terrestrial isopod, *Porcellio scaber*. *Behavioural Processes*, 78, 38-43
- [10] Moriyama T. (1999) Decision-making and turn alternation in pill bugs (*Armadillidium vulgare*). *International Journal of Comparative Psychology*, 12, 153-170
- [11] Moriyama T., Migita M., Mitsuishi M. (2016) Self-corrective behavior for turn alternation in pill bugs (*Armadillidium vulgare*) *Behavioural Processes*, 122:98-103
- [12] Shokaku T., Moriyama T., Murakami H., Shinohara S., Manome N., Morioka K. (2020) Development of an automatic turntable-type multiple T-maze device and observation of pill bug behavior, *Review of Scientific Instruments*, 91, 104104
- [13] Moriyama T., Sonoda K., Saito H., Migita M. (2020) Mind as a Behavioral Inhibition Network. *Frontiers in Psychology*, 11, 832