



Behavioral Experiments to Understand Animals' Autonomy

森山, 徹

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

1999-03-31

(Date of Publication)

2008-05-30

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1923

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3156324>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001923>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	もり やま とおる 森 山 徹	(兵庫県)
博士の専攻分野の名称	博士(理学)	
学位記番号	博い第120号	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位授与の日付	平成11年3月31日	
学位論文題目	Behavioral Experiments to Understand Animals'Autonomy (動物の自立性を理解するための行動実験)	
審査委員	主査 教授 伊 東 敬 祐 教授 豊 澤 敬一郎 教授 宮 田 隆 夫 助教授 郡 司 幸 夫	

論 文 内 容 の 要 旨

私は、オカダンゴムシを用いた2つの実験にて、動物の自律性の現れかたを示し、その一般的特徴を考察した。論文は5つの章から構成されるが、主文は1, 2, 及び3章である。

第1章では自律性の定義を与えた。自律性とは対象の独自性を含意するため、観察者にはうかがいしれない行動として現れる。。しかしこの行動が単に理解不能なものであれば、自律的行動という積極的解釈は生まれない。このうかがいしれない行動に、観察者が新たな解釈を与えてしまうとき、初めてそれは自律的行動と呼ばれる。この意味で自律性概念は、観察者を不可避的に含む。このうかがいしれなさの解釈という観察者の行為は論理的跳躍と考えられる。しかし、観察者においてのみこの跳躍がおこるならば、それは単なる解釈の問題となるであろう。自律性概念がとりざたされる状況とは、この跳躍が、動物においても引き起こされる状況である。この意味で、うかがいしれない行動は創発的行動として観察可能となる。このように、自律性とは、観察者と対象における論理的跳躍が引き起こされる系の様相であり、このような系の実験的構成が、自律性の理解を与えると考えられる。またこの意味で、観察者がかかわる限り、いかなる系でもその様相は観察可能であると考えられ、ゆえに、機械的と考えられる単純な生物も観察対象となりうる。このような考えから、以下のような実験を試みた。

第2章では、オカダンゴムシの交替性転向反応においてみられる創発的行動の出現の様相が実験的に示された。第1章で示されたように、自律性が感得される系では創発的行動の出現が不可避である。オカダンゴムシは乾燥に弱い、陸生生活を営む甲殻類である。乾燥を避けるため、その生息域は落ち葉や石の下などの暗く湿った場所に限られる。この動物の行動は単純であり、乾燥条件に暴露されると、直進行動をとり、そこからの逃避を試みようとする。この直進行動は、逃避のためのもっとも効率的な行動と考えられている。しかし、自然界では障害物に遭遇することしばしばである。このとき、この動物は交替転向性反応により、当初の直進経路を保とうとする。すなわち障壁に遭遇し、右(左)折し、それに体の左(右)側面を接しながら移動し、その端点にて開放された際、左(右)折

する。これにより障害に遭遇した際にも、最も効率よく悪条件から遠ざかることが可能になる。したがって、連続するT字迷路が与えられれば、この動物は、右左右左、,、と交互に腕を選択していくことが予想される。本実験では、回転する二つのT字迷路を組み合わせて、無限T字迷路を構成可能な装置を考案し、各個体を投入した。それぞれの個体は250のT字路を経験させられた。結果、交替性転向反応を安定に示し続ける個体と、次第に安定させ、学習の様相をみせるが、最も安定した状態に達すると、直後にこの反応から逸脱する個体が現れた。この逸脱は、観察者にとってうかがいしれない行動と理解される。ところでこのように長く連続するT字迷路の環境で交替性転向反応を規則正しく採用することは、必ずしも有益とは限らない。このジグザグ経路を進み続けることは、体からの水分の蒸発を促進し、むしろ不利益を与える。自分の前方にこのジグザグ経路が続くであろうことが予想されるならば、交替性転向反応を放棄し、道はずれ、この装置自体から脱出し、湿潤な環境を探索したほうが有益となるだろう。このような逸脱行動の解釈は観察者依存の跳躍によるものである。ここで、ダンゴムシにおいてもこの飛躍が起こりうることを示すために、引き続き、袋小路つきの連続T字迷路を経験させた。ここでは、個体はどちらかの腕を選択しても、行き止まりへ強制的に導かれる。このような条件において、先ほど交替性転向反応を放棄しだした個体は、数試行後、装置の壁面を登り、装置外部へと到達した。規則正しく採用し続けた個体は、装置内を移動し続け、登ることが可能な壁に気づくことはなかった。ダンゴムシは一般に、垂直な壁は積極的には登らない。空気中の湿度が飽和状態のときのみ、体内水分調整のため湿度の低い高所へ移動することがある。本実験では湿度条件は30~40%に調整されており、壁を登る生理学的必要性はない。実際に、250暖簾連続T字迷路を経験させられていない個体にこの袋小路の条件をあたえると、確かに壁を登らなかった。このように対象動物において、壁を登る行動を逃避に使用するという創発的行動が観察され、この意味で、交替性転向反応からの逸脱は、単なる誤差的行動ではなく、ダンゴムシにおける環境の評価の結果導き出された創発的行動と解釈された。この行動には、脱出経路の探索行動という新たな名前があたえられた。このように、ダンゴムシ独自の環境同定、すなわち自律性の様相を提示することができた。

第3章では、創発的行動をになう、うかがいしれなさを定量化する試みがなされ、ここでは、オカダンゴムシは水で囲まれた円形のアリーナの上に置かれた。ここでもこの動物はまず直進行動を行うが、ほどなく水に遭遇する。水は忌避対象であるため、進水することなく、代わりに水に沿って、アリーナ内を移動した。ここで、彼らは水に触れたり離れたりしながら移動するが、これは水への忌避反応と交替性転向反応の組み合わせで起こると考えられる。この機械的反応の組み合わせが続くのであれば、この接触-離脱の繰り返しパターンはランダムに起こるのであろう。しかし、2章で示されたように、ここでもこのアリーナ上で動き続けることは単に自身の脱水を促進するのみであることに気づけば、ここからの脱出経路の探索がおこることが予想される。この場合、接触-離脱の繰り返しパターンはランダムではなくなることが予想される。そこで、この離脱時間を計測し、その値の大きい順に並べ(最長ランク1,以降ランク2,3,,とする),両対数グラフに表示した。その結果、ランクを x , x の離脱時間を $f(x)$ とするとき、 $\log(f(x)) = -a \log x + b$ の関係にあるもの(べき分布)と、 $\log(f(x)) = -cx + d$ の関係にあるもの(指数分布)に区別される結果が得られた。特に全者の a はほぼ1を示し、Zipfの法則に従っていた。後者は接触-離脱パターンがランダムであることを示すが、前者は特定の明確なルールに従わない創発的パターンを含意する。ここで、個体を引き続き、一部登ることが可能な部分を有する壁に囲まれたアリーナに投入すると、Zipfの法則に従っていた個体は、その部分を登り、装置外部へと到達した。この個体群は、やがて湿潤な場所に遭遇するであろう。

指数分布を示した個体群、および水で囲まれたアリーナを経験しなかった個体群は登らず、壁沿いにアリーナ内を移動し続けた。このように、この実験では創発的行動を導き出すとともに、そのうかがいしれなさを定量化することができた。

以上の結論によって、自律性概念を、観察者を含む開かれた概念として示すことができた。

論文審査の結果の要旨

観察者が、対象に自律性を見いだす状況とは、おおよそ、以下のような状況であろう。第一に、観察者の期待・予測が対象によって裏切られる。このとき、観察者は、以前に存在しなかった属性、形態、行動などを、以後においてのみ発見、構成することになり、ここに創発性概念が見いだされることになる。第二に、創発的な出来事が、しかし対象それ自体を破壊することなく、かつ、観察者は、創発的出来事以前の対象の振るまいと、以後の振舞いとを、一連と見做し得るような新たな解釈、意味論を発見、構成することになる。この、以前の振舞いを包括する新たな解釈の不可避性が、第二の要件である。第三に、観察者による記述が、完全に対象起源の属性で、いわゆる発見であるのか、それとも、完全に観察者側のでっちあげで、いわゆる構成であるのか、判断できないといった、決定不能性があげられよう。この3要件が、全て十全でなくてはならない。このような枠組みに従って、申請者は、論文をまとめ、オカダンゴムシを用いた二つの実験によって自律概念の実相に迫った。論文は、三部に分かれる。第一部が、自律性に関する一般的議論、第二部が、迷路を用いた創発行動実験とそれに関する議論、第三部が、水を用いた忌避行動パターンの解析と創発行動の関係である。以下、これについて簡単に述べよう。

第一部では、冒頭述べた三つの要件に絡め、自律性概念の定義が与えられる。例えば、キツネの捕食行動を例とすると、冒頭の三要件を満足すると、次のような観察状況が出現するだろう。まず観察者は、対象であるキツネに一義的な目的(例えば生存)を見だし、これを満足する特定の挙動(ウサギを食べる)が系を特徴づけると判断する。この判断が、観察者をして予測・期待を形成する。あるとき、対象において、この特徴的挙動を裏切る挙動が発見される(第一の要件)。ウサギよりも、カメを捕食するようになったというように。ここで、観察者は、新たな行動を含む対象の行動全体に対する、新たな解釈を再構成することになる(第二の要件)。例えば、キツネはたやすく捕捉できるものを選択する。というように。第三の要件は、カメの捕食の可能性に気づいたのは、誰なのか、という問題に関与する。キツネが以前から捕捉されやすいものを捉え、たまたまウサギしかいない環境ではウサギを食べていた、というだけなら、第二の要件として現れた解釈は、創発行動と無関係に、以前から存在し、キツネによるカメの捕捉は、観察者と無関係になる。観察者によって発見された、キツネによるカメの捕捉が、観察以前から存在したか否か判断できないとき(第三の要件)、初めて、キツネによる餌選択領域の拡大(キツネによる選択)が、観察データから含意されることになる。したがって、自律性とは、第一の要件が要請する、(A)観察者と大将の区別、と、第三の要件が要請する、(B)観察者と対象の不可避的混同、という両義性を担い、(A)と(B)との継起を実現する時間発展に、論理的跳躍(第二の要件)を産出する、そういった系の様相と考えることができる。

第二部では、オカダンゴムシの交替性転向反応に対する創発行動とそれによる意味論の変更が実験的に議論された。オカダンゴムシにとって、乾燥領域からの逃避が、生存にとっての一義的目的と考えられており、これを満足するため、彼らはできるだけ直進すると考えられてきた。可能な限りの直進を満足する反応が、交替転向反応である、と言われてきた。すなわちオカダンゴムシは障壁に自ら

の右（左）側から衝突すると、障壁の端点で右（左）折する。申請者は、交替轉向反応に対して創発行動が発見されるか否かを観察するため、二つの T 字迷路を回転によって接続する装置を考案した。これは、無限に続く T 字迷路を実現する。この装置にオカダンゴムシを歩かせ、その歩行パターンが交代性轉向反応からずれるか否かを観察し、結果を定量化した。その結果、複数の個体で、当初交替性轉向反応がみられ、その後この規則的歩行パターンが崩れていく現象が発見された（第一の要件の確認）。この交替性轉向反応からの逸脱が、新たな意味論を不可避に帰結するか否かを判定するため、創発行動を示した個体に対して、今度は袋小路付きの無限迷路が与えられた。壁の一部のみ、オカダンゴムシにとって登攀可能な部分壁が与えられている。その結果、創発行動をとった個体は、長時間の袋小路付き迷路実験で、この部分壁を登って脱出する結果が得られた。対象実験として、創発行動をとらなかった個体にも同様の実験をおこなったが、これらは、部分壁を登らず、両者の間には有意な差が認められた。こうして、交替性轉向反応からの逸脱に対して、逃避に対する新しい意味の創発という解釈が与え得ると判明した（第二の要件）。

第三部では、自律性に関する第三の要件にも示唆を与えられるような実験と解析が行われた。ここでは、オカダンゴムシの水に対する忌避行動パターンが調べられた。水域で囲まれた円形のアリーナが用意され、そこに一個体が置かれた。個体は、アリーナの縁に沿って歩行するが、水に触れると歩行は円の中心部へ触れ、その後次第に縁へ戻っていく。したがって水に触れることで分節される歩行時間の時系列が得られる。申請者は、この歩行時間時系列を長い順に並べ替え（最長をランク 1, 以後ランク 2, 3, , , とする), 両対数および片対数グラフに表示した。その結果、実験された個体群は、ランクを x , x の歩行時間長を $f(x)$ とするとき、 $\log(f(x)) = -a \log x + b$ の関係にあるもの（べき分布）と $\log(f(x)) = -cx + d$ の関係にあるものとの区別される結果が得られた。この区別自体は、後者が示す規則的行動に対して、前者がそこからの逸脱を意味し、自律性の第一要件を意味する。次に、全個体に対し、水の代わりに、登攀可能な壁を設置したアリーナを与えた。その結果、べき分布を示した個体のみが壁を登るという、極めて高い相関が認められ、べき分布が創発的探索を示唆することが判明した（第二要件）。さらに、ここでは、規則的行動からの逸脱歩行パターンが、 $a = 1$ のべき分布（ジップの法則）を示すことに注目が向けられた。何故ならジップの法則は、境界条件が限定できないような自己組織過程に特徴的で、それ自体、特徴的なスケールに関する決定不能性を示すからである。このことは、間接的ながら、オカダンゴムシの創発行動（第一要件）とその意味（第二要件）に関し、観察者の勝手な境界条件の設定、勝手な解釈とは決定できない様相を示しており、ここに自律性の第三要件が与えられたことになる。

本研究は、自律性の定義を、観察者との関係に注目して与え、それを実験的に示した研究であり、自律性を積極的には取り扱わない動物行動学にとって大きな方法論の変革であると共に、心の起源に対する方向性について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって学位申請者森山徹は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。