

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500189

研究課題名（和文） 自己組織的運動学習による運動記憶の持続性に関する研究

研究課題名（英文） Study on persistence of motor memory obtained by motor learning based on self-organization.

研究代表者

右田 正夫（MIGITA MASAO）

滋賀大学・教育学部・准教授

研究者番号：70335157

研究成果の概要：

自己組織化過程により生成されるヒトデの行動において、学習による変化が見られるかどうか、また、どのような条件でそれが持続しやすいかについて調べるため、ヒトデ類における代表的な定型的行動である起き上がり行動の実験を行った。起き上がり行動では、適応的な変化が観察されなかったが、それは起き上がり行動が本質的な困難性を持っているためではないかと考えられた。そこで、このことをコンピュータシミュレーションによって検証するため、起き上がり行動の際の腕運動を記述するモデルを構築し、それに基づいてシミュレーションを行った。その結果、反復した起き上がり行動において個々の腕が運動の持続性を持っていても、起き上がりの過程の複雑さのため同じ起き上がり方の再現は困難であることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	500,000	150,000	650,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
総計	1,000,000	300,000	1,300,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：自己組織化，運動学習

## 1. 研究開始当初の背景

比較心理学的アプローチによる動物の知能研究は、人間に近い心的能力を持つ対象に関しては多くの詳細な研究が行われているが、単純な神経系を持つ無脊椎動物の心的能力は研究事例が少ないこともあり、その能力は正当に評価されていない可能性が高い。本研究課題で対象とするヒトデの行動も、近年では、その環境適応能力を正当に評価しようとする研究は少ない。特に、運動学習という

観点からヒトデの行動を考察するものは、20世紀前半に少数の研究事例があるに留まっている。

近年になって、ダイナミカルシステムズアプローチによる運動研究が、幅広い対象動物の運動について共通の見方を提供し、単純な神経系しか持たない動物においてもそれらの運動には動的な適応性が見出せることを示している。ヒトデは中枢神経系を持たず、腕の運動の統合は自己組織化過程を通じて

実現されることが知られている。したがって、ヒトデの知能は、動的なシステムが持つ、変動する環境に柔軟に適応する能力として現れると考えられる。その一方で、そのような動的なシステムにおいては、適応的な行動パターンがいかにして再現性を持つかが問題となる。ヒトデの行動においても、どのようにして運動記憶が実現されるか、は重要な問題である。

## 2. 研究の目的

本研究では、比較心理学的観点からは下位に位置づけられるヒトデの行動を、ダイナミカルシステムズアプローチの観点から再検討する。このため、運動パターンと記憶の持続性との関係について実験および計算機シミュレーションを通じて考察する。対象とする行動パターンとしては、刺激-応答の関連が明確で、観察しやすい起き上がり行動（起き上がり反射）を対象とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 起き上がり行動に関する実験

イトマキヒトデ (*Asterina pectinifera*) の個体を、壁面と底面が透明アクリル板で構成された水槽 (サイズ 30x30x30cm, 水深 7cm) の底部に裏返して起き、起き上がり反射によって起き上がりが完了したら、再び裏返す。この手続を 60 分間継続して行い、ビデオで記録する。ビデオカメラは、起き上がりの過程における各腕の動きが観察できるように水槽の下部に 1 台、斜め上に 2 台の計 3 台設置された。実験個体の各腕は、多孔体と呼ばれる構造から時計回りに 1 から 5 までの番号が付され、それぞれの腕について起き上がりの過程における運動が記録された。実験個体が連続して起き上がり行動を行った時に適応的变化が見られるかどうか評価するために、裏返して置かれてから起き上がるまでの「起き上がり時間」と、起き上がりを主導した腕「先導腕」を記録した。

### (2) 起き上がり行動に関する計算機実験

ヒトデの起き上がり行動では、一般に適応的な変化を見出すことは難しいとされるが、このような困難性がヒトデの心的能力によるものか、あるいは起き上がりという課題の難しさによるものかを評価するため、イトマキヒトデの起き上がり行動の観察によって得られた腕運動のデータに基づいて計算機モデルを作成し、起き上がり行動のコンピュータシミュレーションを行った。

連続した起き上がりの際に、ヒトデの腕の活動性が複数回の試行にわたって持続する場合を想定し、ある試行において起き上がり

を先導した腕が、次の試行の初期状態において他の腕よりも早く起き上がりを開始するような「バイアス条件」と、全ての腕が同一の初期状態で試行を開始する「均一条件」とで、起き上がりが完了するまでの時間（計算ステップ数）に差があるか調べた。

## 4. 研究成果

### (1) 起き上がり行動における変化

イトマキヒトデの起き上がり行動に関する実験では、起き上がり時間には大きな個体差が見られた。起き上がり回数は、60 分の実験時間において、最少の個体で 0 回、最多の個体で 27 回であった。起き上がり回数が最多の個体でも、起き上がり時間の短縮は見られなかった (図 1)。図において最初の試行の起き上がり時間が特に長いのは、槽の底に裏返して置かれてから起き上がり行動を開始するまでに他の試行よりも長い時間を要したからである。また、第 20 試行以降の 3 試行において、起き上がり時間が長くなっているが、これは他種の起き上がり実験においても観察されている「疲労効果」と同じ現象と考えられる。

また、特定の腕が先導腕になる、といった効率の向上が観察されることもなかった (図 2)。図 2 において、縦軸の数値はその試行における先導腕の番号を示している。ここで、数値が小数の場合は、先導腕がその小数の前後の二つの整数によって示される 2 本の腕であることを意味している。この個体においては、第 7~10 の 4 試行で腕 3 が先導腕となっているのが最長であるが、その他の試行では、先導腕の変化が見られることが多い。

当初の研究計画では、同一個体による起き上がり実験を複数回行い、長期的に見た学習効果についても調べる予定であった。しかし、起き上がり実験が個体に及ぼす疲労効果の現れ方が様々であり、今回の研究では長期的な学習効果に関する解析を行うことはできなかった。このことは、将来の研究課題としたい。

### (2) 起き上がり行動の計算機実験

これらのことから、起き上がり行動は、行動を観察することは容易であるが、そこに適応的变化を見出すのは現時点では難しいと考えられた。一方、イトマキヒトデは、障害物の回避を連続して行う際に適応的な行動変化を示し得ることが研究代表者自身の先行研究において見出されている (Migita et al., 2005)。したがって、起き上がり行動において適応的な変化を実現することは、本質的な困難性を持つのではないかと考えられた。そこで、もしそのような困難性があるとすればどのようなものなのか、イトマキヒト

デの起き上がり行動をモデル化し、コンピュータシミュレーションを行った。

まず、イトマキヒトデの起き上がり行動を円環状に接続された腕の状態遷移モデルとして記述することにした。観察から、起き上がり行動を記述する上で適当と考えられる腕の状態を6種に分類した(図3)。まず、起き上がりの初期状態をNeutral、腕の先端が基質と接触した状態をAnchored、腕の半分までが基質との接触を回復した状態をHalf-Righted、完全に起き上がった状態をRightedとし、これらとは逆に、腕が基質に接触できずに上へと曲がった状態をRaised、他の腕が起き上がるにつれて宙に浮いた状態をFloatとした。起き上がりの過程は、5本の腕の状態が全てNeutralから全てRightedまで変化することとして記述できる。各腕の状態変化は、自身と他の腕の状態に応じて図4に示したもののうちで可能なものが起こる。

コンピュータシミュレーションは、ヒトデがある試行における先導腕の活動性を次の試行開始時まで維持できると仮定する「バイアス条件」と、全ての腕が起き上がり開始時には同じ活動性を持つと仮定する「均一条件」の二つの条件の下で行われた。

バイアス条件と均一条件での平均起き上がり時間の差異を調べたところ、試行回数が50回の場合には有意差は検出されなかった(図5)。また、バイアス条件のシミュレーションにおいて特定の腕が先導腕として使われ続けることはなかった(図6)。ただし、バイアス条件のシミュレーションでは、実際のヒトデよりも同じ先導腕が使われやすい傾向が見て取れる。

起き上がり行動では、「各腕の役割は固定しておらず、起き上がりの過程において自己組織されていく」ということは、先行研究においても示唆されていたが、コンピュータシミュレーションの結果、連続した起き上がり試行において、先の試行の先導腕が次の試行の初期に他の腕より早く起き上がりを開始したとしても、最終的に他の腕が先導腕に変わっていくことが多かった。

棘皮動物の歩行においては、短時間の中断を挟んでも歩行の方向が維持されることが知られているが、起き上がり行動では、歩行において見られるような運動性の維持を仮定したとしても、前回の試行と同じ役割分担を再現するのは難しいことがわかった。このような、起き上がり行動において腕の役割が安定しないことに関しては、腕の役割分担を固定しない方が、起き上がりを行う状況の違いに対応しやすいのではないかと考える論者もあり、実際にそのようなメリットがあるのかどうかについては今後の研究で明らかにしていきたい。

今回の研究成果に基づいて論文を執筆し、

国際棘皮動物学会の査読付論文集に投稿した。

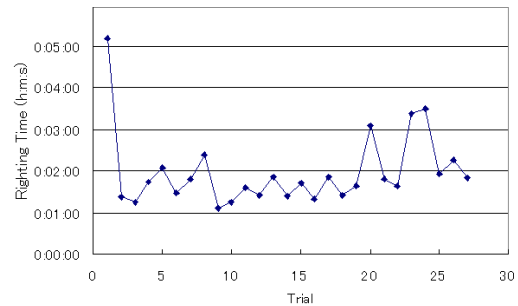


図1. 起き上がり時間の変化。

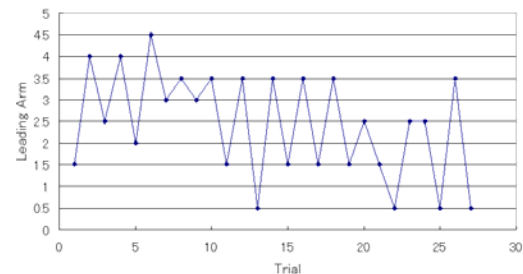


図2. 図1と同じ起き上がり実験における先導腕の変化。

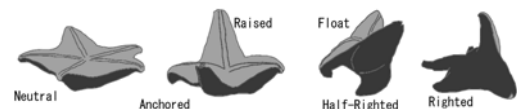


図3. 起き上がりにおける腕の状態の分類

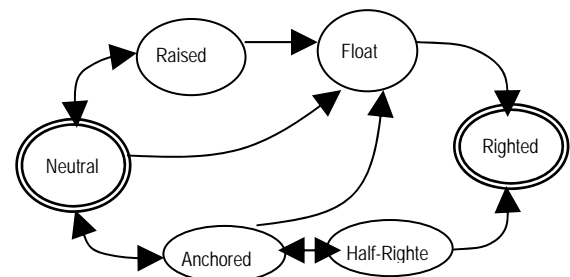


図4. 起き上がり行動における状態遷移図。

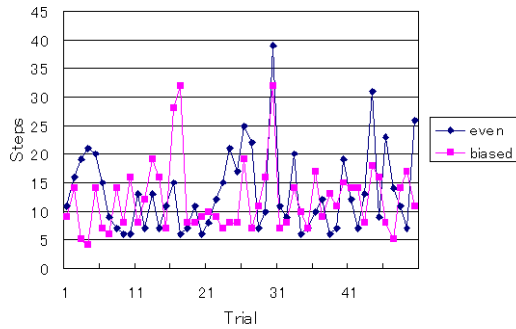


図5. バイアス条件と均一条件での起き上がり時間の変化 (N=50).

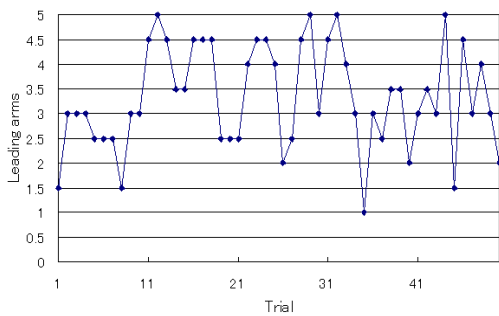


図6. 図5と同じバイアス条件のシミュレーションでの先導腕の変化.

## 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)

[学会発表] (計 4 件)

①Masao Migita, 2009年1月6日,  
Complexity in the righting behavior of the starfish *Asterina pectinifera*, The 13th International Echinoderm Conference, University of Tasmania, Hobart, Australia

②右田正夫, 2008年9月26日, ヒトデの起き上がり行動における適応的変化の困難性, 日本動物行動学会第27回大会, 金沢大学

③右田正夫, 2008年5月17日, 動物行動における内在的創発機構のモデル化, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都情報大学院大学

④Masao Migita, 2007年7月4日,  
Understanding diversity of animal

behavior through functionalistic interpretation, 14th International Conference on Perception and Action, 横浜赤レンガ倉庫1号館

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

右田 正夫 (MIGITA MASAO)

滋賀大学・教育学部・准教授

研究者番号: 70335157