

ラウンドテーブル「動物のゆらぎの新しい意味論」

報告その1: 動物の自律的な行動に対する2つのアプローチ

加納義彦(清風高校)

今回のラウンドテーブルでは、動物の自律的な (autonomous) 行動を次のように定義し、その定義から仮説を立て、検証できる可能性について報告しました。『動物の自律的な行動とは、原理的な不定さをもち多義的である。換言すると、動物の行動は、原理的に一対多型の運動であり事前と事後の間で常につじ棲合わせをしながら実行される』という定義に基づき『動物は常に自律的に振る舞っている』という仮説を検証しようと試みたのです。この仮説を検証するためのアプローチの仕方は2つあります。

第1のアプローチは、同じ一連の行動に対して、2つの異なる観察方法によって集めたデータを比較することで、動物の行動の不定さを浮き彫りにする方法です。第2のアプローチの方法は、動物の行動の形式化によって生じる矛盾を解消するプロセスをコンピュータでシミュレートすることから間接的に予測できるデータを検証することです。ここでいう行動の予測とは、決定論的に行動が予測可能であるということではなく、自律的な行動であるからこそ、相互作用の結果が事後的に特殊な構造をもった行動分布として現われてくるので、データとして検証できるだろうということです。

私は第1のアプローチの結果を、対象動物の誤解度の増加として表現しました。また、第2のアプローチの結果として、魚の社会構造が変動するときに縄張り雄の行動が自己相似的な運動になることを示しました。そして、この2つアプローチによって、縄張り雄の縄張りが崩壊する直前期に個体間の誤解度が増加すると同時に、縄張り雄の行動分布がジップの法則に従うフラクタル分布になることを報告したのです。このようなデータが採れること自体、動物の行動は常に不定さをもち多義的であるとする仮説を支持するものだと思っております。以下、それらのデータを採る過程を要約したいと思います。

アプローチ 1: 現象学的観察方法によるデータと行動主義的観察方法によるデータとの比較

コンラート・ローレンツが『人間性の解体』で主張するように、現象学的方法の正当性を認め、主観的ではあるが複数の観察者が納得できる行動の定義を行い、一つ一つのデータを複数の観察者で確認しながら採る。……a

ここで、現象学という用語が意味しているのは、如何なる客観化の試みにも不可欠な主観的体験とそれに内在する法則性との認識にほかならない(K.ローレンツ 1985 人間性の解体)ということです。

一方、行動主義的観察方法によるデータとは、行動主義にみられる研究方法で、すべての行動の意味から主観による擬人的なものをできる限り除き、誰が観察しても判断できる振る舞いのみから定義し、機械的にデータを採る。……b

もし、動物の行動が原理的な不定さをもつために、一対多型の運動でありながら事前と事後の間で常につじ棲合わせをしながら実行的であるならば、不定さが増加するときに a と b のデータが異なる確率が増加するはずで、私が示した『誤解度』と

は以上のような考え方から提出した概念です。b の方法では機械的に判断するため、

どうしても a の方法で決定した結果と異なる状況が現われてしまいます。実際、誤解度は、バラタナゴの縄張り雄の縄張りが崩壊する直前期に増加し、その時期には縄張り雄は産卵雌を追い払ってしまったり、スニーカー雄の侵入放精を易々とさせてしまったりするのです。ここでいう『誤解度』とは a と b のデータの異なる率として定義しています。

アプローチ 2: 行動の形式化に伴う矛盾を解消するプロセスから、間接的に予測できる構造を検証するためのデータを探る方法

仮説: 動物は常に自律的に振る舞っている。すなわち、動物は、原理的に一対多型の運動を行い、事前と事後の間で常につじ棲合わせをしながら実行的に振る舞っている。このことから動物の行動の履歴を考慮し、動物の行動を簡単な式で再帰的に定義してみます。

$$\text{一般式: } X_{n+1} = F(X_n) \dots\dots (1)$$

n は整数で反順序集合 ($\dots\dots X_{n+1} > X_n > X_{n-1} \dots\dots$) である。

$$n \rightarrow \infty \text{ のとき } X_\infty = Y \text{ とすると、(1)式は、} Y = F(Y) \dots\dots (2)$$

これは F に関する不動点と言います。(2)式は、定義式としては意味をもたず矛盾するので、この矛盾を解消するために(2)式を方程式として解を導き、その値を(1)式に代入します。

以上の過程を繰り返し、魚の行動を郡司さんたちがシュミレートしたところ、各個体の行動が集団を形成したり、ランダムに行動したり、局所的に分散したりして、非周期的にそれらの様相が自動的に変動していくのです。また、そのシュミレーションにおいて、各個体の行動は、ランダムな行動から統一的な集団行動に相転移する直前に、フラクタルな構造 ($1/f$ ゆらぎ、あるいはジップの法則に従う行動分布) を示すようです (Gunji, Y-P. et al. 1997. Physica D, 110, 289-312; Gunji, Y-P. & Y. Kusunoki. 1997. Chaos, Solitons & Fractals, 8, 10, 1623-1630)。従って、我々は縄張りが崩壊する直前期に縄張り雄のフラクタルな行動分布が現われるかどうかを、実験によって検証することができるわけです。

実際の観察については、野外および水槽内でビデオに記録したバラタナゴの産卵行動をアプローチ 1、2 の方法で繰り返し観察を行いデータを集めました。アプローチ 1 のデータは、縄張り雄が縄張りを形成してから崩壊し集団産卵に移行するまでの 2~4 時間の連続した繁殖行動を解析しました。まず、縄張り雄の行動のタイム-インターバルをタイマーで測定します。そして、2~4 時間のデータを 5 分間毎に区切り、1 分間ずつずらしながら、時系列のデータを解析していきます。つまり、5 分間のデータから 1 つの行動分布図ができるわけです。横軸は縄張り雄のタイム-インターバルを頻度順にとり、縦軸はその頻度をとって、両対数グラフで表します。このグラフにおいては、フラクタルな行動分布は負の直線で表わされます。さらに、ジップの法則に従う行動分布は傾きが -1 の直線になるわけです。普通、縄張りが安定している時期の行動分布は、ランダムな行動を示す指数分布になり、グラフは湾曲したキュウビク的な曲線になります。このことから、どのような様相のときに縄張り雄の行動分布がフラクタルな構造を示すかをチェックできるのです。

アプローチ 1、2 が示した結果は、動物の行動は、原理的な不定さをもち多義的で

あり、原理的に一対多型の運動でありながら事前と事後の間で常につじ棲合わせをしながら実行的であるということです。そのことを私は、動物の自律的な (autonomous) 行動と呼んでいるのです。今回のラウンドテーブルで取り上げたテーマ「動物のゆらぎの新しい意味論」とは、動物の行動の不定さから必然的に生じてくる 1/f ゆらぎやフラクタルなゆらぎは、動物の行動の自律性の現れであるということです。動物行動学が動物を対象にする限り、今回、取り上げたような問題は常に避けては通れない問題のように私には思えます。『主体性の進化論』を書かれた今西錦司氏は、プロトアイデンティティー(原帰属性)についての対談で、動物行動学が生物の主体性を明らかにするのではないかと述べられていたことを思い出します。今西氏自身は科学の範疇は狭いと思われ、自然学を提唱されましたが。

現象学という用語が意味しているのは、如何なる客観化の試みにも不可欠な主観的体験とそれに内在する法則性との認識にほかならない(K.ローレンツ 1985)。

「慣れと遊び」というテーマで始まったラウンドテーブルで、トップバッターとして生態心理学を専攻している三嶋博之(早稲田大学)氏が「コーヒーマーキングにおけるマイクロスリップ」という題で発表した。三嶋氏はギブソン J.J. が提唱したアフォーダンスの視座から、伝統的な感覚主義的な心理学(ここでは、個々の刺激に対応した感覚受容器の反応出力の要素を組み合わせることによって、認識が成立しているとする立場)では捉えきれない、人の行為における意味や価値の発生の問題にチャレンジしているようだ。ギブソンが言うアフォーダンスとは何かについて、私にはあまり明確にはならなかったが、ここでギブソンの言葉を引用すると「私たちは動くために知覚するが、知覚するために動かなければならない。」(Gibson 1986) ということで、三嶋氏の発表と何となく関係があるなと思えた。

三嶋氏のグループは、コーヒーを作るときの手動きを観察すると、一連の流れ、文脈があり、その過程を詳細に解析すると所々で手の動きに『淀み』が見られることに気付いた。彼らは、この淀みと看做される手の動きをマイクロスリップ(微小な摩擦)と呼ぶ。解析の結果、この淀みは前の文脈から新しい文脈に移行するときに頻出する。このマイクロスリップは行為における文脈の流れを問題にし、その流れの淀みとして定義される。したがって、コーヒーを作りには、正しい作り方(文脈)があるわけではないが、マイクロスリップは、行為の流れ(文脈)の淀み、ソゴ、あるいは微小な辻棲合わせであることを数人で確認しあいながら定義されるらしい。たとえば、コーヒーカーップに向かう手がカップの取っ手にわずかに接近しながらスプーンに移動するという動きなどのことである。

マイクロスリップは行為と環境とのマイクロな調整であり、何かと何かのずれに見え

るようなものを行為の内部に探すということは、行為のパラメーターを産み出すパラメーターを見つける方法ではないか、言い換えると、行為の進行をそのまま担っているような運動を見つける方法ではないかと考えられる。

このアイデアは、動物の行動を研究する上で非常に有役と思える点が2つ述べられていたと私には思えた。

第一に、動物の行動を観察する方法論である。コーヒーを作る過程で生じるマイクロスリップを如何にして定義し、データ化するかである。その方法は、何百回にのぼるコーヒー作り行為をビデオに撮り、手の動きの淀みを見付け出し分類する過程ではじまる。今回の報告では4種類のマイクロスリップを数人で定義し、複数の観察者が同時に観察し、この行動は行為の流れから見ると淀みであると判断できるものを相談の上で決定するのである。また、1つ1つのデータについても相互に承認しあいながらデータ化する手続きを踏む。つまり、相互の主観を確認しあいながらより客観的なデータを採る過程である。この方法の素晴らしい点は、コンラート-ローレンツも述べるように、動物の行動における現象学的方法の正当性をうまく用いていると思われるところにある。ここで、現象学という用語が意味しているのは、如何なる客観化の試みにも不可欠な主観的体験とそれに内在する法則性との認識にほかならない(K.ローレンツ 1985)。

第2に、人の行為においてマイクロスリップに焦点をあてたことであり、動物の行動を研究するとき、動物の可塑的な融通性のある行動を、行動の流れにおける淀みとして定義でき、この淀みをとらえることが、動物の学習や認知過程をデータ化するのに役立つのではないかという点である。

私は、バラタナゴのスニーカー雄がどのようなタイミングで雌の産卵前に放精するかを研究している(Kanoh1996)。今回のラウンドテーブルでは報告を予定していたが、時間の都合で発表できなかったのでここで簡単に述べる。スニーカー雄の産卵前放精のタイミングを調べるために、縄張り雄の保守的行動(侵入個体に対する行動)の時間間隔とその頻度を計測した。その結果、特徴的な相の性質として、3つのタイプの行動分布を得た。1)ナワバリ形成期における周期的な分布、2)安定期における確率的な指数分布、3)ナワバリ崩壊直前期におけるベキ分布である。このベキ分布は頻度順にランクをとり両対数で表わすとき、指数 $D=1$ のジップの法則に従った。また、ナワバリ崩壊直前期には、相互個体間における誤認知と考えられる行動の割合『誤解度』の増加に伴う、縄張り雄の防御率の低下と雌に対する追い払い率の増加が観察されると共に、この時期にスニーカー雄の産卵前放精が頻繁に行われていることが明らかになった。

この結果に出てくるバラタナゴの誤解度とは、同一の行動を2つのレベルで定義し、データ化したものを比較し矛盾した率を誤解度と定義した。この方法で定義して、感じたことは、このデータはバラタナゴの誤解度を表したもののなのか、観察者の誤認知を

表したのもなのかが疑問として残ることである。例えば、第1のレベルでは、縄張り雄による雌に対する追い払い行動は、雄に接近した雌が結果的に縄張りから離れた場合、縄張り雄は雌を追い払ったと定義する。第2のレベルにおいては同じ行動でも、縄張り雄と雌の行動を細かく定義し、両者の行動連鎖を比較すると、縄張り雄が求愛行動したにもかかわらず、めすが誤解して逃走してしまうことがある。この場合、1のレベルでは追い払い行動に入るものが2のレベルでは求愛行動になり、レベル間で矛盾が生じる。この矛盾した行動の割合を誤解度と定義したのである。しかしこの方法による定義付けは、さらに行動を細分化でき無限退行を観察者にもたらし、統計処理すると行動データが誤差の範囲に陥り、何のデータを採用しているのかわからなくなってしまう。

このような場合に、よりデータを客観化するために、三嶋氏らのとった方法を採用することができる。この方法は、外界の現象をできるだけ客観的に把握するためには不可欠な方法、すなわち、ローレンツが主張するところの現象学的方法と看做すことができないだろうか。もしそうであるならば、なぜマイクロスリップなる行動の淀みに焦点をあてなければならないのか。なぜこのような特異な現象にこだわらなければならないのかという疑問が生じる。あえてこの淀みにこだわるのは、人の自律的行為の意味や価値が生成する過程が表出し、あるいは、動物の行動における自律性が表面に現われている場だと考えられるからである。

バラタナゴの研究において、産卵形態の臨界状態としての縄張り崩壊直前期において、縄張り雄の保守的行動の時間間隔は、ジップの法則に従うフラクタル分布を示した。また、この時期において、相互個体間において誤認知と考えられる行動の割合（誤解度）が増加した。この行動におけるベキ乗分布と行動の流れにおける淀みと看做せる相互個体間において誤認知との関係を次に考えてみたい。

自己相似的なフラクタル構造(Mandelbrot 1982)、や $1/f$ ゆらぎ(Dutta and Horn 1981) は生命システムを含む自然現象に偏在的に出現する。これらの特徴はベキ乗の法則に従う分布で表わされる。Bak ら(1989) は、‘生命のゲーム’において、自然現象に偏在する $1/f$ ゆらぎやフラクタル構造を説明するために、自己組織臨界現象(SOC)という概念を提唱した。さらに、郡司ら(1997a,b)は、情報伝播速度が有限である生命システムの研究に対して、情報の生成(遊び)と縮退(慣れ)が自律的に交代する新しい観測のモデルを提出した。そのモデルにおいて、正確で普遍的な $1/f$ ゆらぎ、あるいは正確にジップの法則に従う分布は相空間の概念とは独立に出現することを示した。それは適当に定義されたパラメーターが存在しないにもかかわらず、相空間における相転移現象が生じたかのように見える。ここでいう情報の生成(遊び)と縮退(慣れ)が、行為の内部に現われたものがマイクロスリップであると考えられる。

郡司氏はこの観測のモデルをコンピューターによってシミュレートする過程で、不動点に陥った同一形式を、有限の関数と看做すか、無限の方程式と看做すかで不動点

問題を解消し、その結果、正確で普遍的な $1/f$ ゆらぎ、ベキ乗分布が出現することを示した。そこで、この発想をを観察方法論に応用すると、直接的により客観的なデータを探るという方法よりも、無限の観察能力を前提にし機械的に集めたデータと有限の主観的観察能力を考慮した客観的なデータとを比較することによって、動物の行動における流れの淀み(マイクロスリップ)を捉えることは、新しい行動観察法になるのではないかと考えている。

引用文献

BAK, P., CHEN, K. & CREUTZ, M. (1989) *Nature* 342, 780–782.

DUTTA, P. & HORN, P. M. (1981) *Rev. Mod. Phys.* 53, 497–516.

Gibso, J. J. (1986) *The ecological approach to visual perception.*

GUNJI, Y.-P. & TOYODA, S. (1997a) *Physica D* 101, 27–54

GUNJI, Y.-P., ITO, K. & KUSUNOKI, Y. (1997b) *Physica D* in press.

K.ローレンツ (1985) *人間の解体* 思索社、東京

KANO, Y. (1996) *Ethology* 102, 883–899

MANDELBROT, B. (1982) *The Fractal Geometry of Nature.* Freeman Co., San Francisco.
