

カオス水車モデルに基づく遅延アトラクターの類型

—その認識論的考察—

井手口 敬

序

報告者は、先にカオス水車モデルに基づいて、この水車の運動がみせる速度・加速度座標におけるアトラクターを類型化し、複雑系が見せる空間像を示した¹⁾。

その中で、カオス領域は、秩序領域に取り囲まれた、きわめて限定された特異点であるとの空間像を提示した²⁾。

次いで、回転運動にみられる「ゆらぎ」から様々な秩序的運動が形成される過程について考察した³⁾。その中で、「ゆらぎ」が「秩序」と「カオス (=混沌)」との相転移的な階層構造を示す過程を明らかにした⁴⁾。

本論では、このカオス水車が見せる代表的運動形態⁵⁾に注目しながらその遅延アトラクターを類型化し、それに認識論的考察を加えてみたい。

ここで考察しようとしている認識とは、地理学的には、対象を如何なるスケールで認識するかという論点に立脚するものであり、一般論的には、如何なる振動数で対象を認識するかという論点に立脚している。本論では、遅延時間が0.02秒から3.0秒の間における遅延アトラクターを観察しながら、その形態的特徴に基づいて類型化を試みたい。

I. 遅延アトラクターの概要

時間と共に変化する運動を記述する場合、その運動のモデルや方程式が分かっていない時に、その位相空間をつくるための座標軸をとる方法として、遅延座標を設定する手法がある⁶⁾。すなわち、横軸に現在の速度、縦軸に一定時間前の速度をプロットするものである。

ここでは、水車の回転速度の変化をデータとして、アトラクター再構成の遅延時間を様々に変化させて得られるアトラクターについて類型化を試みた。

図1は、カオス運動をする水車の回転速度の遅延アトラクターを示している⁷⁾。

加速度 (= X 軸) と速度 (= Y 軸) の座標から得られるアトラクターと比較すると、軌道のつながり方や運動の特徴量は同じであるが、遅延時間が短い (遅延時間0.02秒) とアトラクターの構造がよくわからない。また、図2に見られるように、遅延

時間が長い(遅延時間3.0秒)とカオス運動の長期予測不能性によって二つのデータの
 の関係が曖昧となり, 規則性が見えなくなることが分かる⁸⁾。

これらに比べて, 遅延時間を0.35秒(=図3参照)にすると, 加速度(=X), 速度
 (=Y)座標におけるアトラクターと遅延時間0.35秒のアトラクターとは極めて類似
 した形態を示していることが分かる。

以上, 遅延時間の長さの取り方とアトラクターの形態との関係について興味深い結
 果が得られた。

第1に, 遅延時間の取り方によって様々なアトラクターが形成されること。

第2に, それらのアトラクターは, 他の座標空間⁹⁾で形成されたアトラクターと類似
 性や非類似性を示すこと 以上, 2点である。

次に, 単振動運動と2回転振動運動について遅延アトラクターの類型化を試みる。

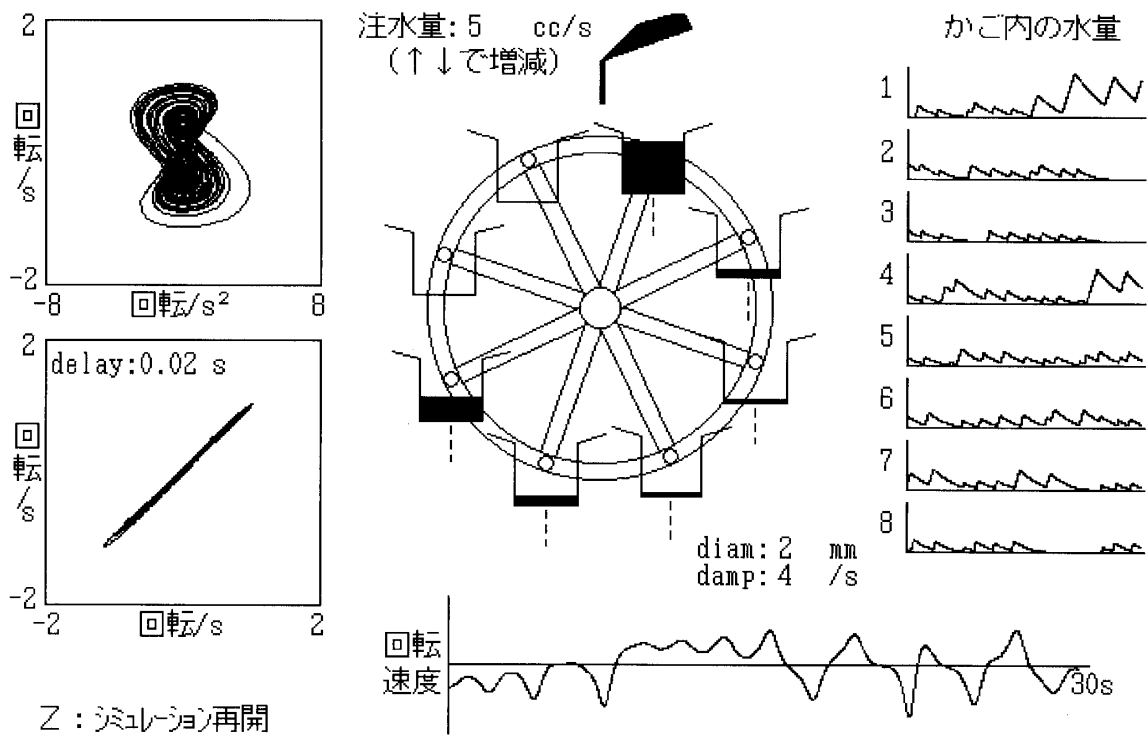


図1 遅延時間0.02秒のアトラクター

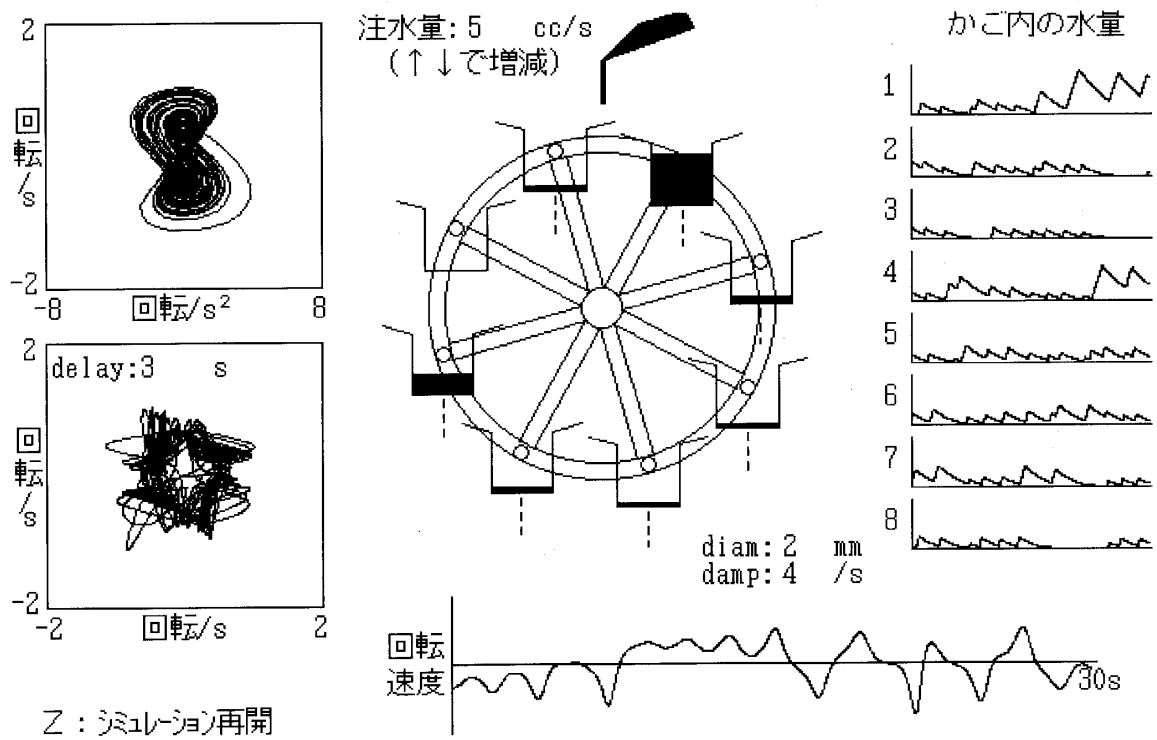


図2 遅延時間3.0秒のアトラクター

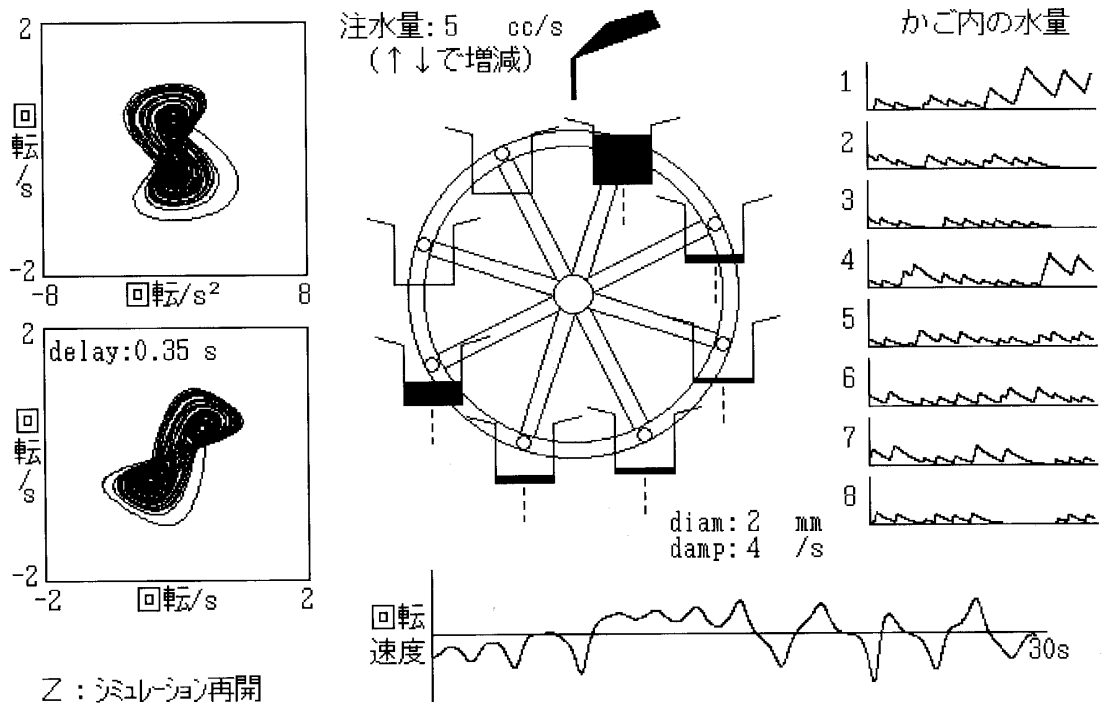


図3 遅延時間0.35秒のアトラクター

II. 遅延アトラクターの類型 (1) — 単振動運動の場合 —

ここでは、遅延アトラクターの全体像が把握できるように、単振動を参考にしながら遅延アトラクターの類型化を試みたい¹⁰⁾。

図4は、遅延時間を徐々に長くしながら単振動運動をするカオス水車が描く遅延アトラクターの主なものを、その形態的特色に基づいて配列したものである。

単振動の運動形態の場合、下図に見られるように、遅延時間が0.02秒ではアトラクターは一本の線のようにみえる。遅延時間をその5倍程度にすると、そのアトラクターは閉曲線を示していることが分かる。さらに、その3.5倍の0.35秒程度に遅延時間を拡大すると、このアトラクターは、回転加速度 (X) と回転速度 (Y) の座標で表されるアトラクターと極めて類似していることが認められる。しかし、さらに遅延時間を増大させて0.5秒程度にすると、アトラクターはやや長方形状を示すようになり、0.65秒では方形状に近づくことが分かる。その後、遅延時間を徐々に長くしていくと、アトラクターはこれまで見せてきた過程を逆行するような変化を見せる。すなわち、遅延時間が0.8秒では、長方形状となり、0.9秒では0.35秒、1.2秒では0.1秒のものと、さらに、1.3秒では遅延時間が0.02秒のものとそれぞれ酷似していることが認識できる。次いで、さらに遅延時間を大きくすると、1.3秒から1.9秒にかけてのアトラクターの変化は、0.02秒から0.65秒までのアトラクターの推移過程と同じ様相をみせる。

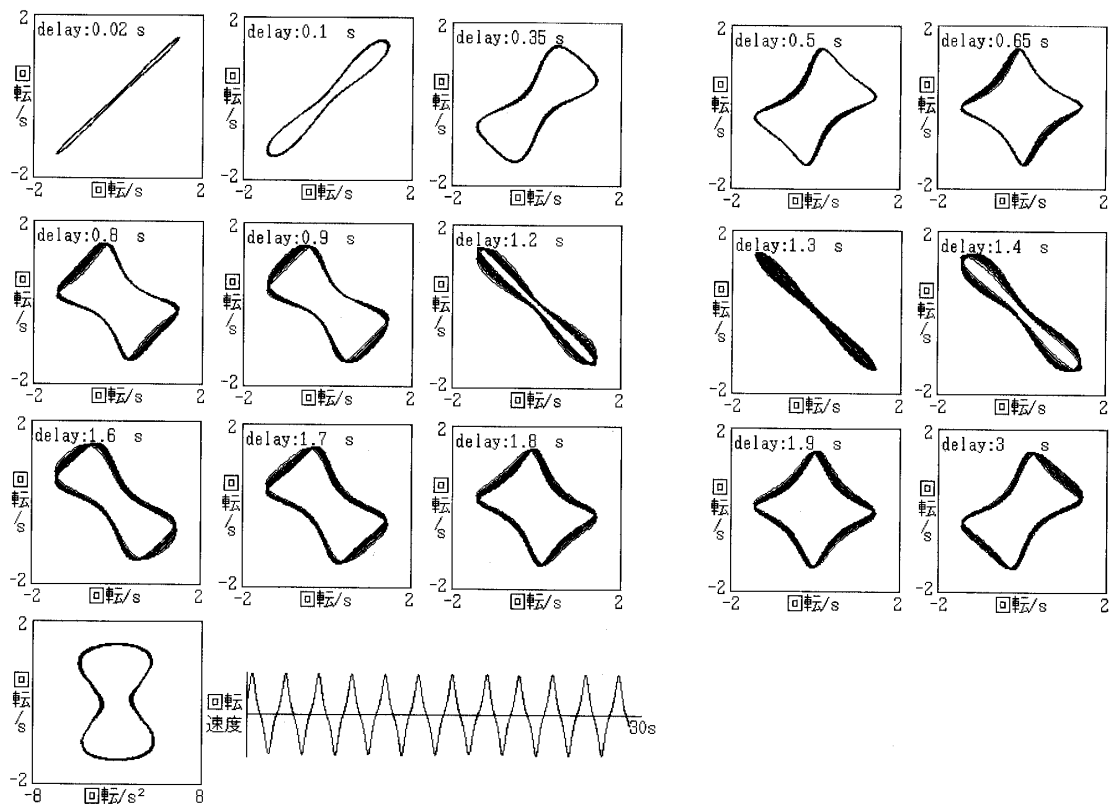


図4 単振動運動における遅延アトラクター

結果的に、単振動運動のアトラクターは、図5に示されるように、5つのタイプに類型化できる。

この単振動運動では比較的「ゆらぎ」が小さいために、何れのアトラクターも細い線状で表されている。線の幅が広がっている部分は、「ゆらぎ」が比較的大きな部分で、この部分の「ゆらぎ」の増大が回転運動に相転移していくことになる。

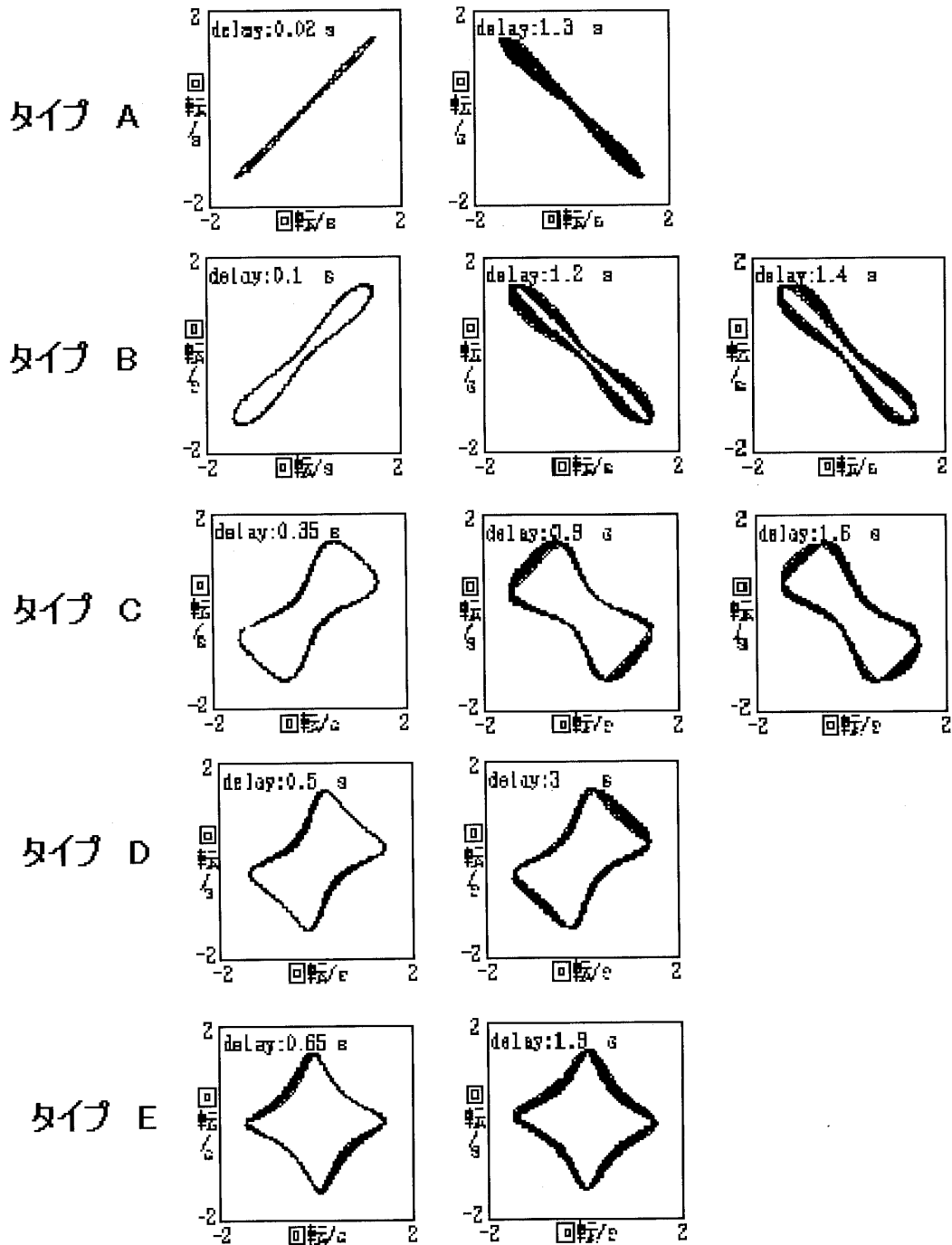


図5 単振動における遅延アトラクターの類型

III. 遅延アトラクターの類型 (2) - 2回転振動運動の場合 -

遅延アトラクターの類型化を2回転振動について示したものが図6である。

この場合、遅延時間が0.2秒のものが速度・加速度座標上のアトラクターの形態と酷似していることが伺える。また、遅延時間が0.02秒から1.05秒にかけて見られるアトラクター変化の過程は、その後2.17秒にかけて逆行するような変化を見せる。これは、単振動運動の場合にも認められたことである。

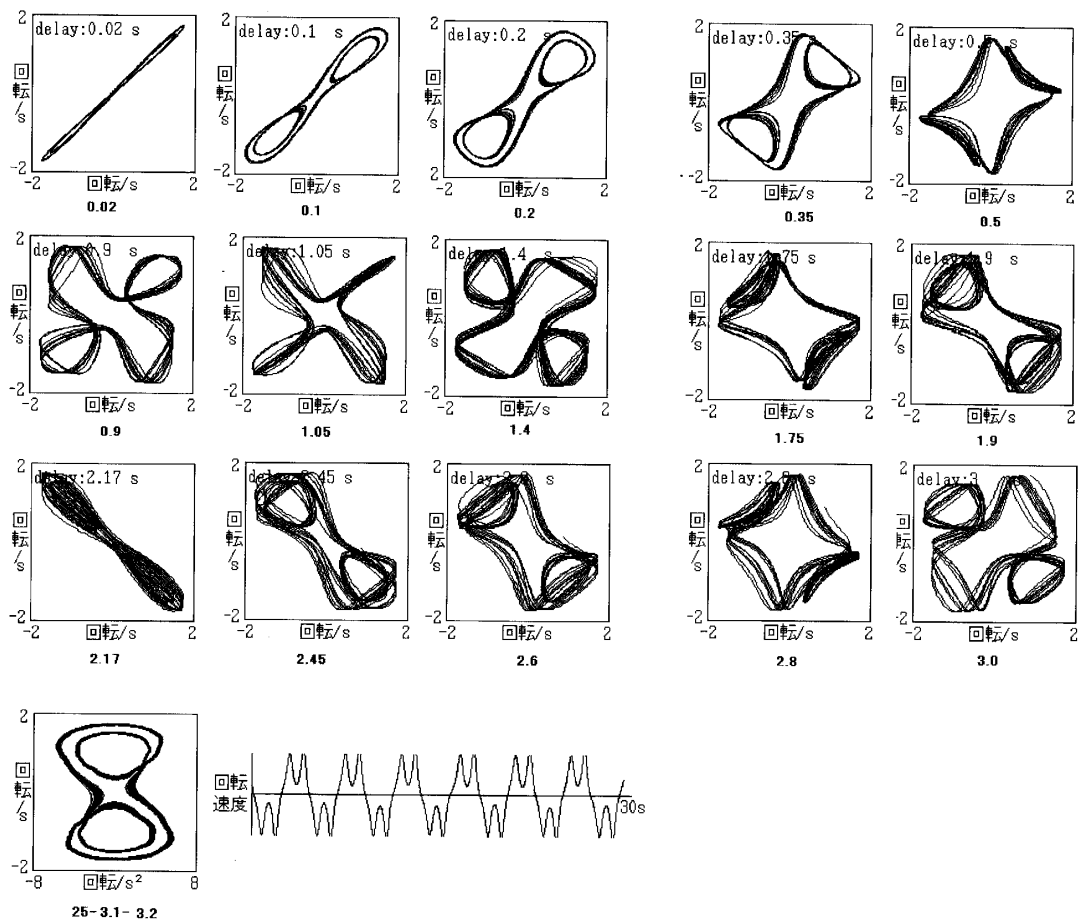


図6 2回転振動における遅延アトラクター

結果として、2回転振動運動のアトラクターは、図7のように大きく6つのタイプに類型化できる。以下、各タイプの特徴について概説する。

2回転振動運動では、単振動運動の場合と異なり、回転運動部分がアトラクターに反映され、その形態的特色によってアトラクターを類型化できる。

タイプAは、原点を中心として対称的、かつ線分状に展開するアトラクターである。従って、左右の振動運動は明瞭に識別できるものの、回転運動部分の構造は不明であ

る。

タイプBは、加速度と速度の座標空間におけるアトラクターと酷似している。回転運動部分は振動運動部分の内側に二重の輪として表現されており、回転運動と振動運動とは明瞭に識別できる。

タイプCは、基本的にはタイプBと同じ形態を示している。ただし、回転運動部分と振動運動部分とがやや重複しており、タイプBと比較して、回転運動部分が識別し難い。この傾向は、タイプDでより明瞭になる。

タイプDは、回転運動部分が振動運動部分にほぼ組み込まれた形のアトラクターである。回転運動は振動運動の「ゆらぎ」的存在形態となり、回転運動の構造は識別し難い。

これに対して、タイプEは、タイプAに見られた振動運動部分のアトラクターの形態が回転運動部分のアトラクターと類似した形態で表される。すなわち、振動運動部分が第2、第4象限に、回転運動部分が第1、第3象限に対称的かつ明瞭に表されており、二つの運動が分極化しているのが分かる。

タイプFは、振動運動部分と回転運動部分のアトラクターがより明瞭に分化した形態である。タイプBやタイプCと異なる点は、この両者では、回転運動が振動運動の内部的形態として表されているが、タイプFでは、回転運動部分が振動運動部分と明瞭に区別され、恰も外部的形態として表されている点である。タイプEと比較して、振動運動部分と回転運動部分の分化傾向がより明確に表されており全体の構造が分かり易い。

以上、遅延時間を変えることによって得られる様々な遅延アトラクターは、その特徴によって6タイプに類型化することができた。

要約すると、「タイプA」と「タイプD」では、振動運動部分が強調され、回転運動部分はその「ゆらぎ」的存在形態として表されるのに対して「タイプB」、「タイプC」、「タイプE」、「タイプF」では、回転運動部分が振動運動部分と明瞭に識別できる形態となっている。より詳細に見ると「タイプB」と「タイプC」は、回転運動が振動運動の内部的存在形態となっているのに対して、「タイプE」と「タイプF」では、振動運動と回転運動とが明瞭に分化し、回転運動領域は振動運動領域の外部的形態として表されている点を指摘できる。

回転運動の「ゆらぎ」の増大がもたらす振動運動¹¹⁾。更に、振動運動の「ゆらぎ」の増大がもたらす回転運動への相転移の過程¹²⁾において、2回転振動運動を、振動運動の「ゆらぎ」として認識するか？或いは、回転運動の「ゆらぎ」として認識するか？更には、回転運動と振動運動とが分極化したものとして認識するか？どの認識がその

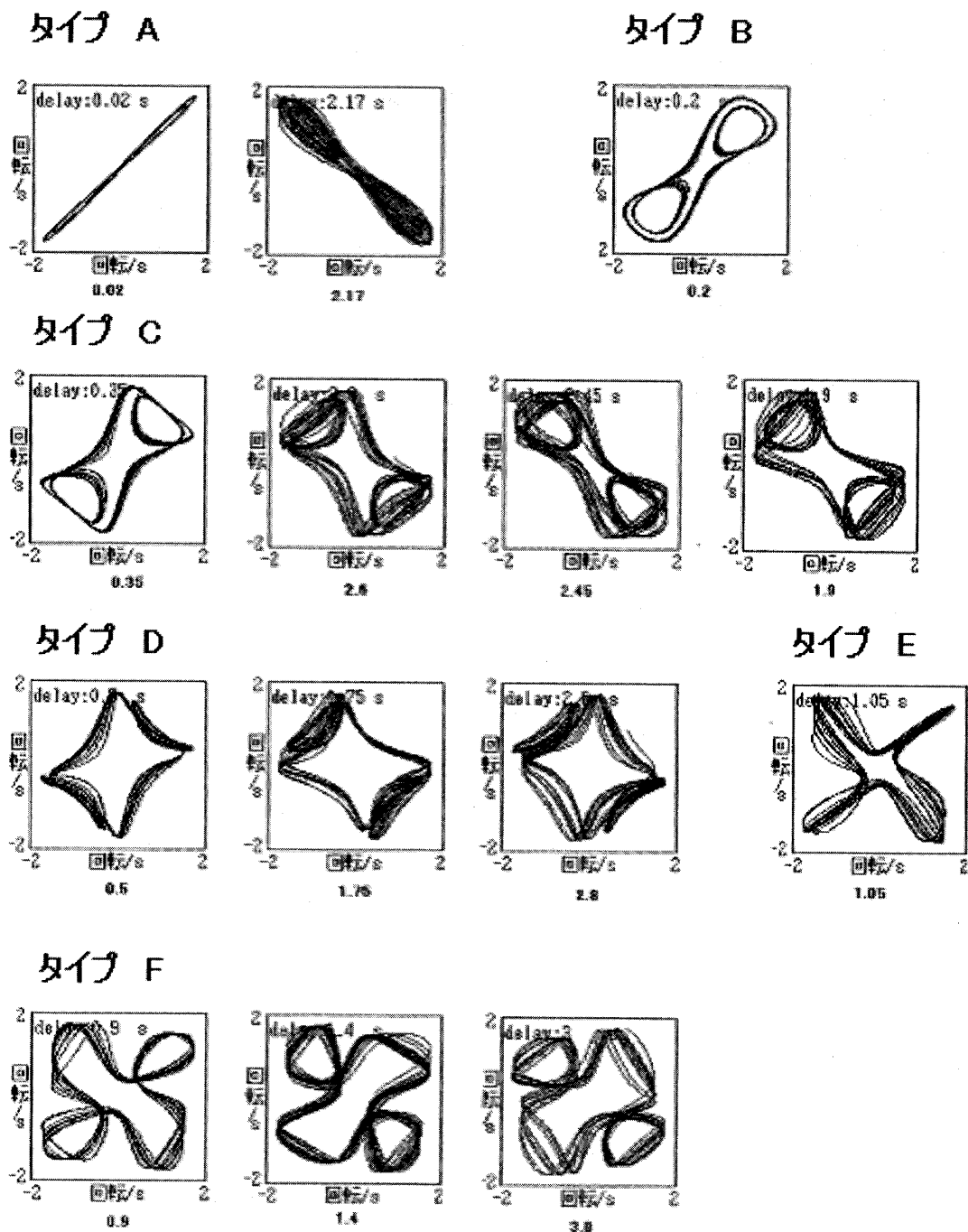


図7 2回転振動におけるアトラクターの類型

システムの生存にとって有利になるような特徴を環境が持っているのかが重要となる。

IV. 遅延アトラクターの認識論的考察

人類の文明が経済成長の限界や環境問題の厳しさに直面している現在、人間中心主義に対する反省が進行している。これは、価値観的には、人間中心主義に基づくヨーロッパ中心的価値観の限界を意味する¹³⁾。反面、ヨーロッパ文化以外の価値を再認識す

る必要性を説くことでもある。これは、結果として、フッサールの「デカルト的省察 (1931)」に始まる文化相対主義へと帰結していく。

報告者は、この文化相対主義に対して、やや批判的な立場を有するものである。われわれは、「ものそのもの」を全体として見ることはできない。しかし、4次元の時空間 (=極めて低次元) の認識と五感 (=極めて限定的) を通して得られる情報に基づいて豊かに生きていることは否定しがたい。

運動知覚の研究として注目されるものとして、1912年に発表されたウェルトハイマーの実験が挙げられる。彼は、独立する光の帯を比較的短時間で点滅させると光の帯が飛ぶのが知覚されると言う仮現運動に関する研究結果を発表した。キネマ性運動知覚と呼ばれるものである。「相互に独立して点滅する光の帯は、約60ミリ秒を最適時間として、運動印象として知覚される」と言うのである。換言すれば、この時間間隔を短くすれば次第に同時に点滅しているように知覚されるようになり、逆にこれ以上の間隔で点滅する光の帯は、次第に運動印象を与えなくなり、終には独立して点滅する光の帯として知覚されるのである。

この研究成果は、「秩序ある構造を備えた全体、ないし全体的特性は決して要素ないし部分に還元できない」と言うゲシュタルト心理学の基本主張ともなっている¹⁴⁾。

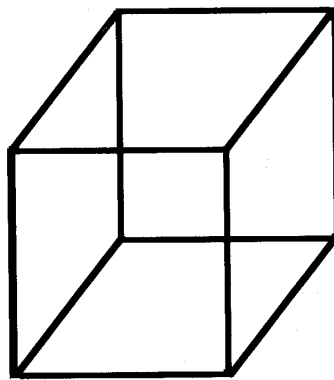


図8 不思議な立方体

次に、図8をじっくりと眺めてほしい。平面に12本の線分で描かれた図形であるが、不思議なことに、これが3種類の立方体として見えてくる。図9は、見えにくい人のために立体的に表現したものである。

知覚に関して言えば、平面的に描かれた図形を、立体的に知覚する働きを脳は持っているようである。

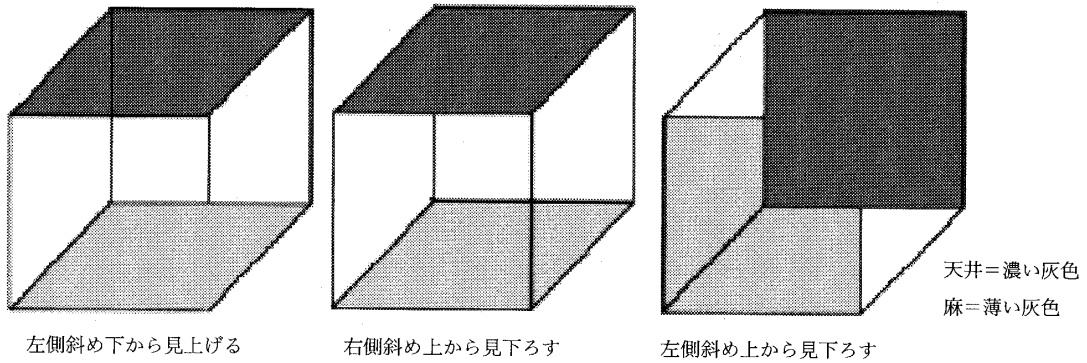


図9 立体的見え方

以上のように、人間の脳は、独立した光の帯を運動として認識したり、平面図形を立体的に認識する独自の振動数でモノを知覚していることが分かる。

本論では、加速度と速度の座標空間から得られる「アトラクター」(=以下、単にアトラクターと称す)を「高次の認識」、 「遅延アトラクター」を「低次の認識」として比類することによって、特定の遅延アトラクターが他のものよりもより良く構造を表すことができることを提示したい。これによって、相対主義的な認識論を克服したいと考えている。

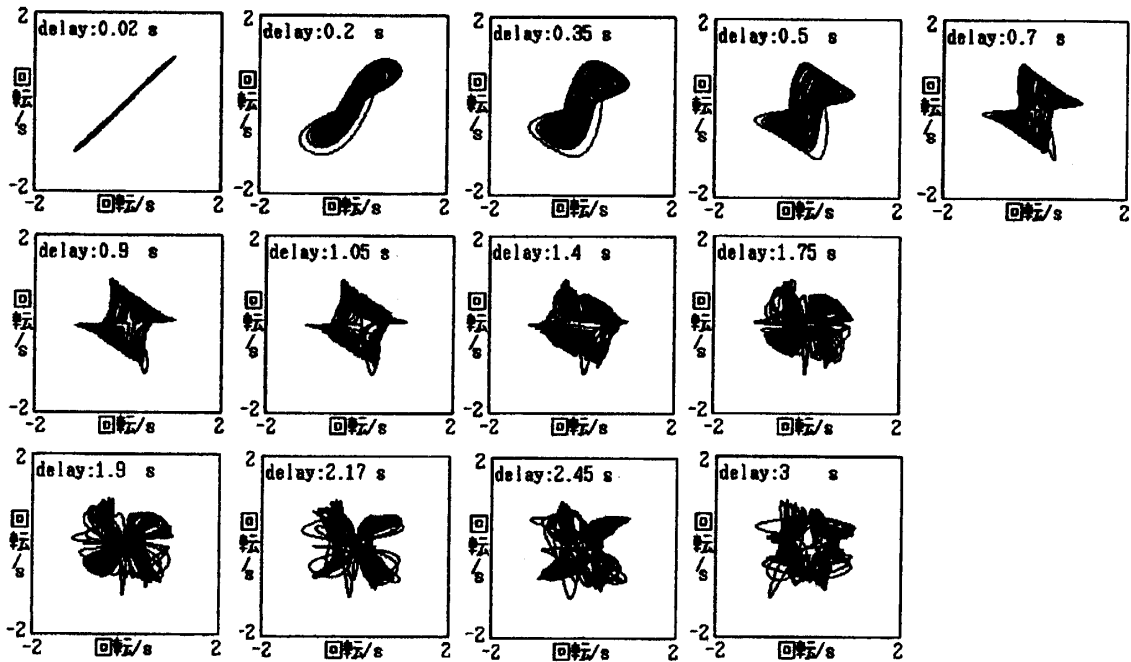


図10 カオス運動が見せる遅延アトラクター

ここでは、カオス運動をしている水車の遅延アトラクターについて考察する。

図10は、何れも3分間の水車運動の遅延アトラクターを示したものであるが、その形態はかなり異なる。前述したように、遅延時間が0.02秒と極めて短い場合は、線分的な形態を示すのみで、その構造は良く分からない。遅延時間を0.35秒程度とするとこの形態は、速度と加速度の座標空間のアトラクターと極めて類似していることが認められる。遅延時間が0.5秒以降のアトラクターはその構造が分かり難い。

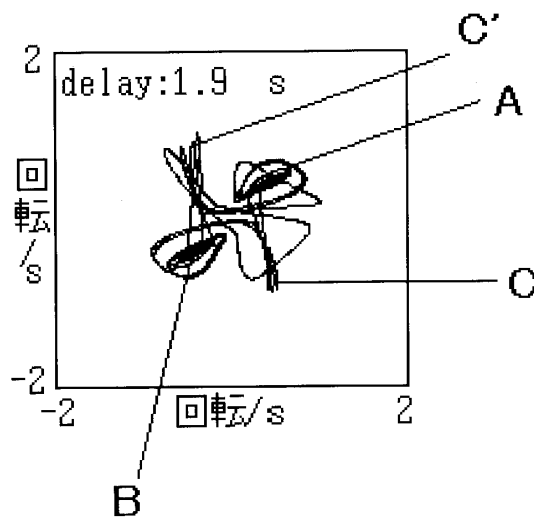


図11 遅延アトラクター

図11は、30秒から60秒にかけての遅延アトラクター（遅延時間1.9秒）を示したものである。この時間帯のアトラクターを表示したのは、図10の遅延時間1.9秒のアトラクターでは時間の経過に伴う「ゆらぎ」の拡大により、その構造が見え難くなるからである。

図中「A」の部分、左向き回転運動、「B」の部分、右向き回転運動を示している。「C」は、過渡的位置であり、「A」に引き込まれて左回転に移行する場合、「C」に引き込まれて振動運動に移行する場合、或いは、「B」に引き込まれて右回転運動に移行する場合がある。同様に、「C」も過渡的位置にあり、「A」に引き込まれて左回転運動に移行する場合、「B」に引き込まれて右回転に移行する場合、或いは「C」に引き込まれて振動運動に移行する場合がある。

図11の遅延アトラクターは、カオス運動の骨格的形態を示していると言えることができる。このアトラクターを骨格とする、多重フラクタル性とエルゴード性を有する運動が「カオス運動」であると考えられる。遅延時間1.9秒で認識される世界は、遅延時間が極めて短い世界や極めて長い世界では識別できない構造を表すことができると

言える。

因みに、このカオス水車のモデルでは、供給される水量と供給された水を受け止めるバケツの大きさやバケツの底に空いた穴の大きさ、更に、水車の回転に影響を及ぼす水車の摩擦係数等がそれぞれ独立して機能していることが自然界のカオス系大きく異なる点であろう。いわゆる自然界の「カオス」は、これらの要素が自己組織的に有機的関係を保っている状態であると考えられるのである。

図12は2分間のカオス運動を示したもので、左図は回転速度と加速度の座標、右図は遅延時間0.35秒の遅延座標で表してある。図11の「C」の位置は、それぞれ図12の「C」に対応している。図12の座標空間で観察していた時には、「C」は、左回転運動の中心的位置として認識されたものが、図11では、右回転運動の外縁部として認識されることは興味深い。すなわち、加速度・速度空間座標では、左回転運動系のアトラクターの内部として見えていたものが、遅延時間1.9秒のアトラクターでは、右回転運動系の周辺部に位置していると認識されるのである。

換言すると、速度・加速度の座標空間では識別できない構造が、遅延時間1.9秒のアトラクターでその構造を識別できることは興味深い。前述した、「約60ミリ秒を最適時間として、二つの光の帯の点滅を運動印象として知覚できる。」と言うことに相通じる点を見出せるのである。

更には、地球表面で展開される生命活動が、 -60°C と $+60^{\circ}\text{C}$ の間の限られた温度空間において豊かである「地理的カオス」にも通じると考えられるのである。

報告者は、「認識」に対する体系的な視点を構築できる材料を持ち合わせていない。ここでは、新たな「認識」に対する手がかりを提示した次第である。

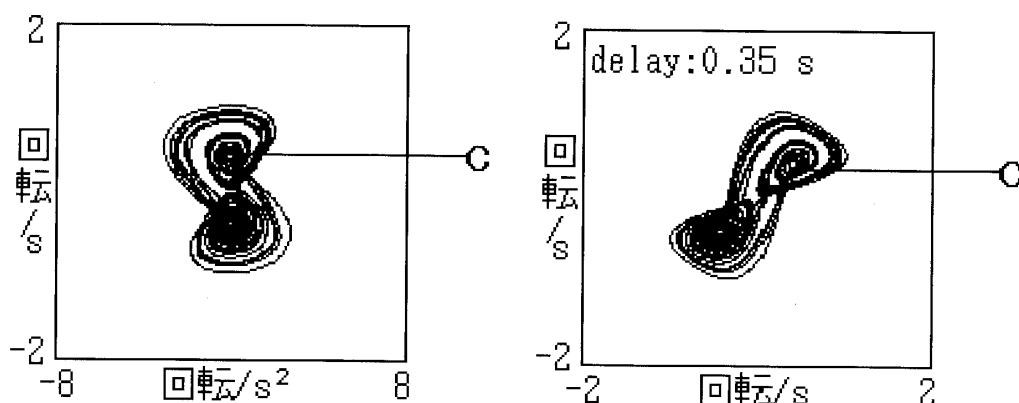


図12 「アトラクター」と「遅延アトラクター」(=遅延時間0.35秒)

最後に、以上の考察を通して報告者が得た新たな認識を具体的に紹介して結論としたい。

V 結論にかえて

報告者が遅延アトラクターに興味を覚えたのは、同一の運動形態についての様々な遅延アトラクターを観察していくうちに、速度と加速度との座標空間で描かれるアトラクターとこれら遅延アトラクターとが見せる類似性と非類似性に直面した時である。カオス運動を例に挙げると、遅延時間0.35秒の遅延アトラクターは速度と加速度の座標空間に描かれたアトラクターと極めて類似しているのに、0.1秒あるいは3.0秒の遅延アトラクターとは極めて異質なものとして認識されるのである。すなわち、1次元的认识でありながら2次元の構造を的確に認識できる場合とそうではない場合が存在することに興味を覚えた。更に、1次元的认识でありながら、2次元的认识よりも更に高次の3次元の構造を認識できる遅延時間1.9秒の世界にも引き付けられた。これが、相対主義、極論すれば、「なんでも一緒」という価値観にぼんやりした抵抗感を持っていた論者にある種の実感を与えてくれたのである。この実感は、これまで無批判的に習得してきた地理観や価値観にも新たな刺激を与えてくれた。

台風を例に挙げるならば、台風は、大域的には大気の渦巻きの同心円的構造を持つものとして認識されるが、小域的にはなんら秩序を有さない暴風雨として認識される。すなわち、空間的スケールの大小は、実は、認識レベルに対応する振動数の高低と関連していたこと。また、歴史的事象の観察においても、如何なる振動数で対象を観察するかということの意味の重要性に関して基本となる指針を得られたのである。

最後に、一人の人間を観察する事例を用いて、蛇足的ではあるが、説明することで、まとめに代えたい。

椅子に腰掛けたひとりの人の全体像を1秒間隔で撮影された写真で観察すると、手足の比較的大きな動き、或いは目、口の比較的小きな動きが識別できる。しかし、この観察では着ている衣服は長時間変化しない。これを1時間毎の写真で観察すると24枚(=1日分)の写真で、仕事着と寝巻きの着替えの変化が認識できるであろう。反面、前者で観察された手・足や目・口の動きは、ある一定の限られた範囲内で動いていることが認識できる。これを更に1ヶ月ごとの写真で観察すると、僅か12枚(=1年分)の写真で、季節によって大きく変化する服装が認識できるであろう。さらに、1年毎の写真で観察すると、僅か60枚の写真で老化という生命の本質的現象を認識できるのである。価値観を有する人間にとって、誰もが老化し、死に至るという認識がより重要な意味を持つことは、経験的事実ではなからうか?それぞれの認識の有機的階

層構造¹⁴⁾が必要となると言える。

脚注

- 1) 九州産業大学国際文化学部紀要No24 2003年3月
複雑系の研究 -カオス辺縁におけるアトラクターの形態とその類型化-
- 2) 前掲 注1) pp.34-35 複雑系の空間像 参照
- 3) 九州産業大学国際文化学部紀要No26 2003年11月
カオス水車モデルにおける「ゆらぎ」の類型 -「ゆらぎ」の相転移-
- 4) 前掲 注3) pp.6-8
- 5) 本論では、単振動、2回転振動及びカオス運動の3つの運動形態について考察する。
- 6) 複雑系・カオス・量子 科学シミュレーション研究会(1997) BLUEBACKS
内藤正美 カオス水車の説明 pp.32-34 参照
- 7) 上部のアトラクターは、速度と加速度、下部のものが遅延時間0.02秒のアトラクターである。
- 8) 前掲 複雑系・カオス・量子 科学シミュレーション研究会(1997) BLUEBACKS pp.34 参照
- 9) 加速度(=X軸)と速度(=Y軸)
- 10) このカオス水車のソフトでは、遅延時間は、最小0.02秒~最大3.0秒である。
- 11) 前掲 注2) pp.6-7 参照
- 12) 前掲 注2) pp.10-11 参照
- 13) ハイデッガーの「形而上学入門」(1953)やフーコの「狂気の歴史」(1961)
- 14) 階層構造の代表的なものとしては、科学の階層性、欲求の階層性、地域システムの階層性などが挙げられる。

参考文献

- 「複雑系の研究」(2003) 井手口敬 九州産業大学国際文化学部紀要No24
「カオス水車モデルにおける『ゆらぎ』の類型」(2003) 井手口敬 九州産業大学 国際文化学部紀要No26
「複雑系・カオス・量子 科学シミュレーション研究会」(1997) 内藤正美 BLUEBACKS
「形而上学入門」(1953) ハイデッガー
「狂気の歴史」(1961) フーコ
「構造主義」(1968) 北沢方邦 講談社現代新書
「カオスの素顔」(1991) ニーナ・ホール 宮崎忠訳 講談社
「複雑系を解く確率モデル」(1997) 香取真理 講談社
特別講座「構造主義」http://akademeia.info/main/lecture3/tokubetu_kouzousyugi.htm
「構造主義と記号論」<http://www.h5.dion.ne.jp/~japling/main/structuralism.htm>