

複雑系と多対多の因果律

(Complex Systems and Many-to-Many Causality)

早大・理工 相澤 洋二

多対多の因果律

非線形・複雑系の研究が直面している一つの課題は、多対多の因果律(many-to-many causality)の支配する不安定な世界の解明であると考えます。そこでの大きな特徴は原因と結果の1対1の分離可能性ばかりでなく、原因および結果の要素分割の可能性も喪失していることです。その結果として大数の法則や自由度の逓減による記述の縮約や十分な構造安定性を期待できないことになります。この二つの意味での分離分割不可能系では、単に自由度の多さによる困難やカオスによる超限的不安定性の困難以上のものが予想されます。ここでは多対多因果律系がはらんでいるそのような問題点について考えます。論点は、

- (1) 理想複雑系は何か
- (2) 多対多因果律世界のリアリティは何か
の二つです。

多対多の因果律系への挑戦も、これまでの精密自然科学の歩みと同様にごく普通の通過点の一つであると個人的には思っています。しかしただ一つ気になる点があります。それは従来の還元論的な分析主義に疑念あるひは限界をしばしば感じさせられるという事です。むかし生体膜の研究をしていた時期にフィザルムやテトラヒメナなどの生物個体としてのダイナミックな生態と膜の物理化学との間のギャップにとまどったのと似た感覚です。部分の挙動が全体にどう反映するのかという問題にも近いものです。膜電位、運動性タンパク質、ゾルゲル変換、原形質流動など、それぞれに焦点を合わせて要素的機構の知識を積み上げて生命の一断面について普遍的なストーリーを作ることが出来る一方で、ディクチオリウムの生活環や発生・分化の多様性の中の秩序には自己調整機能という全体的な見方を抜きにしては説明できないところもあるわけです。この辺の感性を捨てるのが科学の真の姿であるとはとても思えないというところがこの考察の出発点です。不安定な多対多因果律系など存在しない、あるひは存在しても自然科学の対象ではない、という考えもあるはありますが、ここでは敢えてそれを追求してみます。生物系のそれらの具体例を考察するのが目的ではありませんし、そのような十分な安定性をもつ対象ではなくむしろ多様性を消去できない不安定

研究会報告

な対象に注目するわけですから問題は別ですが、ただ考え方の上で類似性のあることだけ始めに指摘しました。蛇足ですが、複雑なものを複雑なまま把える手法を模索する立場（これは全体には部分の総和以上の新しい質があるとする全体論に立たないと意味がない立場）と要素還元論の立場は決して二者択一的ではなく、相補的な性格のものと私は考えています。ひとつの例として還元論の破局の一つと見られているカオスも、実は摂動論による先鋭的な還元主義の努力があったからこそ正しく認識されてきたことに目を向けるべきです。しかしそれでもカオスは不均質な構造の全体であることに変わりはないのです。研究の現場ではどんな立場でもしばらくは貫徹してみるところに意味があるはずで、そしていずれもが最終的に求めようとする普遍性が分析主義だけの特権ではないことを明らかにするものと思われまふ。まづ理想化と呼ばれる手法から始めます。

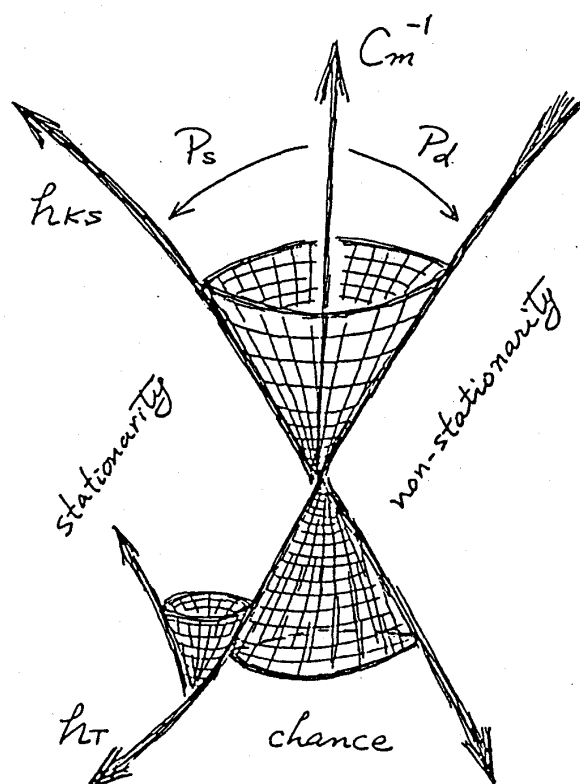
理想複雑系

多対多の因果律に従う不安定系をこれからは単に複雑系と呼ぶことにします。どの時代でも謎と思える複雑神秘的な対象に挑戦するのは若い学問の特権であり、今日の複雑系の研究でもそう考えるべきです。ただその呼び方からして本来ぬぐい去ることがむずかしい主観的な色合いをなるべく薄めることは、複雑系の学問がアリストテレスの時代にとどまらない為にはとくに大切です。だからといって近代科学の三つの規範に従えば、それで安心というわけではないのは先に述べたとうりです。さらに一步すすんで、ここでは理想化の手法を選ぶことにします。歴史的事情は大きく違いますが、熱運動論におけるいわゆる分子の混沌との類似性を念頭におきながら複雑系の理想化の問題に始めにふれようと思います。D.ベルヌーイやN.ウィーナーの理想化が果たした役割を複雑系にも求められるだろうか。彼らの分析は当時疑問さえもたれていた分子描像に基礎をおきながら結局は要素論と因果律の正しさを確信させるものとなりました。アボガドロの仮定を逆に証明し、確率のリアリティを自然観にもたらした効果は理想化が単に蓋然的な帰結ではなく、革新的な努力目標であることを痛感させられます。理想化は一つの方法論なのです。

では要素論も単純因果律も避けながら複雑系の理想化をどうするか。先に述べた二つの意味の分離不可能性によって生じる新しい事態；(i) 要素の否定・変貌（要素論の否定ではない）と(ii) 偶然性の発生、に注目します。第一のものは従来の自己組織・自己解体論とは違い、たとへて言うならば俳優と舞台が互いに相手を変えてゆくダイナミックスを必要とします。構造安定系で成功したように逡巡摂動や特異摂動が見せてくれる世界もその一つの断面ですが、もっと一般的・積極的に見れば不安定系では発展法則自体のダイナミックス、つまりルール・ダイナミックスです。この理想化には多くの選択があり、可能性の理論といわれる批判もある程度理解できます。同様の批判は

複雑系でよく用いられる物語構成法的手法に対しても言えることですが、いずれも複雑系へのアプローチに現状では欠かせないものです。シナリオ作りをどう評価するかについては後でふれます。次の第二の事態、偶然性の発生は多対多の因果律系では普遍的ですが。アンサンブルを持たない非エルゴード的な偶然事象を理想化する可能性の一つが非定常カオスです。要素も変貌するという状況に対応させると、いわゆる **random random field** の作り出す非定常性ももう一つの可能性です。ここでは非定常カオスによる理想化を進めてみます。

非定常カオスの特徴は力学的予測と統計的予測の両方が破綻する事です。各々の予測子による予測度を P_d , P_s として複雑さ（予測の困難さ）は $C_m = (P_d + P_s)^{-1}$ です。複雑度を定常/非定常の転移点付近で整理した概念図が次のものです。



複雑さと偶然性の発生

h_T （トポロジカル・エントロピー）の線の左側に統計的予測の程度を示す h_{KS} （情報エントロピー）をとる。 h_T の左側は $h_{KS} \geq 0$ で常に定常アンサンブルが在る。 $h_T - h_{KS}$ は予測のむづかしさで、複雑事象は上方に開いた錐体内部に生じる。一方、 h_T の右側には A-エントロピーの指数 D をとります。この領域は $h_{KS} = 0$ で観測不可能な非定常の世界です。 D が大きいほど安定な予測を取り出す手続きが長くなります。下に向かって開いた錐体内の状態は偶然事象としてのみ観測されます。複雑さと偶然性の錐体は常にペアで発生することが重要な点です。

研究会報告

この理想化が示す新しい事実は、複雑さ(Complexity)と偶然性(Chance)の錐体が常に対になって発生することです。複雑系の理解は観測不可能な構造まで含めて深める必要があること、つまり複雑さと偶然性は一体であることを示しています。

多対多の因果律系の事象は二つの錐体の中の多様性を選択して発生し、その結果としてサブリミナルな構造も進化するというルール・ダイナミックスのシナリオが書けるものと思っています。ここで概念措置としてだけ述べた理想複雑系の具体的な計算は別のところにゆづって、ここではもっと先に進むことにします。それはリアリティの認識についてです。上で心理学的な言葉を使った理由もこの点が大切なポイントになるからです。シナリオはあくまでも自由ですがリアリティではありません。多対多の因果律系で注目すべきリアリティは何でしょうか。それは単なる事象ではない点だけは先の考察から明かです。典型的な例、脳についてそれを考えてみます。

多対多因果律世界のリアリティ

「カオスの脳観」の中で津田一郎は渾身の力をこめて解釈学的手法を主張しました。しかし、作り上げたシナリオもメタフォー・モデルもついにそれらを肯定するリアリティに出会わなかったのです。最後まで彼が認めようとしなかった脳のリアリティと何であったのか。それこそ多対多の因果律系に共通の問題であるように思えます。脳にはいうまでもなく二つのリアリティがあります。ひとつは巨大な非平衡システムとしての物理的なリアリティ(physical reality)であり、もうひとつは自立的シミュレーターとしての仮想的潜在的なリアリティ(Virtual reality)です。言葉は適切ではありませんがどちらも実証できる違質の対象と考えられています。非線形力学派の定石に従って、後者のリアリティも次々と物理的リアリティの領域に取り込まれてゆく宿命にあり、ついに自由というしなやかな構造だけが残ります。解釈学が本来もっているシナリオの自由をリアリティとして認めることは津田には自縄自縛に映ったのでしょう。妥協せず誠実に貫いたことで彼の書は輝いています。

さて先に述べた理想複雑系のもつ偶然性と必然性は仮想的リアリティの重要な因子であるように思えます。常にサブリミナルな構造であっても、その事象は決して因果律の部分的連鎖を破ることがないからです。夢や錯覚、無意識ばかりでなく形や色、匂いなどの感覚認知においても脳は積極的な修正作業を行なうことが指摘されています。情報の記録、圧縮、投射、分離融合を貫く能動性こそ仮想的リアリティの核心であり、自由は極めて近いことが確信できます。能動性についてのシナリオは次のターゲットでないでしょうか。ここではその為に深く検討しなければならないのが

現象学的手法であることを指摘したいと思います。

私たちが最近提案している **Neuro-Flow dynamics** は志向性、親和力、慣性などを取り入れる理想化の試みの一つです。ネットワークがそもそも持っている革新的側面は並列性です。場所を変えて時を共有し、時を変えて場所を共有する共時性、継時性が基本であり、両者を結ぶ効果が能動性です。脳のリアリティに迫るには、したがってネットワークに埋め込まれた鋳型と流れを区別する必要があるのです。このアプローチは熱力学形成史上に生まれた N.L. サディ・カルノーの着想に類似しています。彼は蒸気機関で仕事をするのは物質（蒸気）ではなく熱の流れであることを見抜き、後になって原子論とエネルギー論が両者を結びつけることになりましたが、熱を物質から分離することによって熱の原理を浮かび上がらせました。NN においても意識を乗せる舞台としてのネットワークのもつ深い意味を汲み取らねばならないことを強く感じさせられます。

最後に蛇足を二、三。非線形力学学派は他の多くの複雑系にとったのと同様のアプローチで、CA, CD, NN, CML, GA, … という **Complex dynamics** の延長上に脳の生理的心理的一面さえ浮かび上がらせる物語作りに入りつつあるように見える。しかし、多対多因果律系ではアナロジーという楽観論にまかせることは出来ないのではないだろうか。なぜならそこでは事象そのものが可能性にすぎないから。さらに、I. プリゴジンが最近の著作の中で、**法則と事象**を分離した形でダイナミックな新しい科学の波を期待していることと関連づけて言えば、そのような分離は幻想であり、両者を一体とするものが多対多因果律に他ならないように思える。

金子邦彦がポスト・カオスとして複雑系の大展開を鋭く予感して第一回目のミーティングを東京で開いてから8年近く経ったいま、近代を越す努力はどのように続けられているのか大いに気になるところです。物理学だけでなく、しかも研究現場での学際的環境づくりが進むことを強く期待しています。