

# 内部観測で生命を考える

安部秀哉(公立はこだて未来大学 複雑系知能学科)

Syuya Abe

(Department of Complex and Intelligent Systems, Future University Hakodate)

2018/2/25~2018/2/28

---

## はじめに

「観測する」という言葉は辞書的には人間がある対象を観察することを一般的に意味する。自然科学の記述は理論家(客観的な外部観測者)の視点から行われている。このような方法で古典物理学はこれまでに大成功を収めてきた。

今回扱う「内部観測」という考え方は、「意識とは何か」、「生命とは何か」といった疑問に対して、従来の科学の方法論を覆す革新的な理論である。

馴染みのない人が多いことを考慮し、今回の内容は参考文献の要約ではなく、生命を考える際に内部観測を客観的な道具とする方向へと示唆する内容である。今後、内部観測の概念に触れることがあったら今回の内容を思い出して頂ければ幸いである。最初に、本セミナーのキーワードである「内部観測」に関する研究者を紹介する。研究者が非常に少ないので何名かは押さえておきたい。

- ・ 松野孝一郎先生：内部観測の理論を発見
- ・ 郡司ペギオ幸夫先生：内部観測の考え方を開拓
- ・ 辻下徹先生：内部観測を基に数理的に高次元圏論を一般化

などが挙げられる。他には、森山先生(信州大)、小野先生(元本学)、櫻沢先生(本学)などの方々がいる。

## 第1章 内部観測の全体像を掴む

### 1. 生物の複雑性

#### 1. 1 タンパク質を分子の機械と考える

生物を分子レベルまで拡大して考えると、まるで機械のような精巧な分子が組み合わさって複雑な構造になっている。果たして、生物は機械であるのだろうか？皆さんがよくご存知のように我々の体の筋肉は主にタンパク質でできている。ここで、タンパク質を分子の機会と考え、生物における複雑なシステムの1つである筋収縮のメカニズム(図1,2)を例に挙げる。

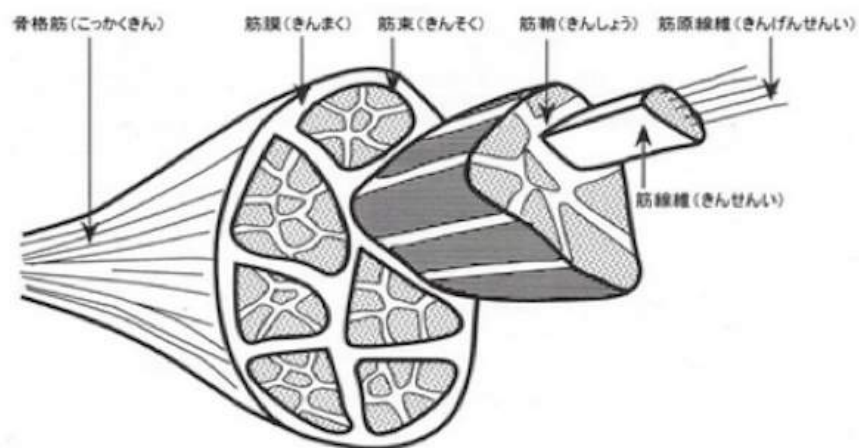


図1：筋骨格の構造

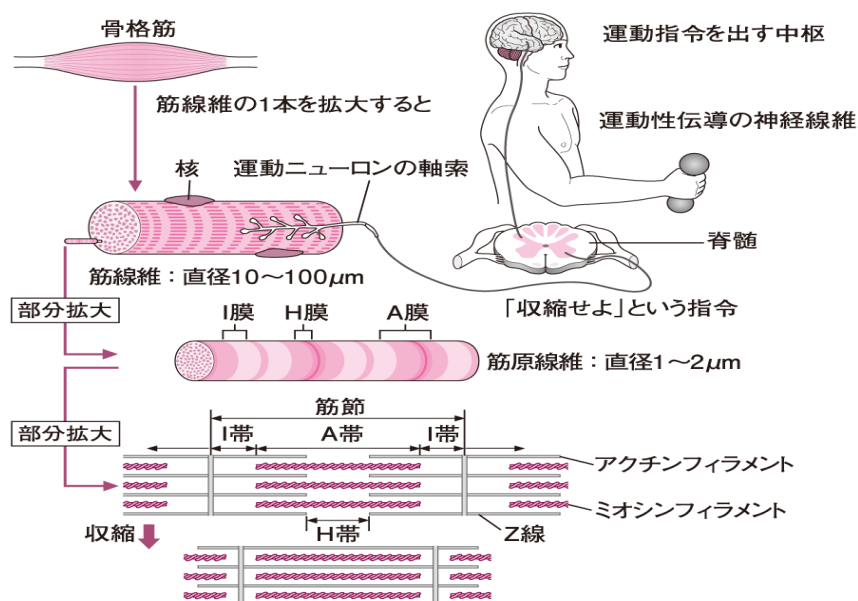


図2：筋細胞の構造([1]より引用)

(図 2 の説明)

筋細胞は筋原繊維の集まりで構成されている。非常に細い糸の形で 1 つの筋原繊維内に数百～数千本程度含まれている。この糸が収縮・弛緩の仕事のために筋細胞を特徴付けている。それを拡大して観て、青い仕切りで区切られた 1 つの範囲をサルコメア(筋節)と呼ぶ。この中には細いフィラメント(アクチン)と太いフィラメント(ミオシン)が存在し、交互に配列されている。これにより、筋原繊維の縞模様が作られている。

・ I 帯(Iband, Izone)：明るく見える部分

光を通しやすいので、明るく見える。I 帯の中央部に微細な横線が見られ、この横線を Z 線(Zline)という。

・ A 帯(Aband, Azone)：暗く見える部分

光を通しにくいので、暗く見える。A 帯の中央部は H 帯(ヘンゼン帯)といい、その中央部にも微細な横線 M 線(Mline)が見られる。

これらにより、筋原繊維では I 帯と A 帯が一本一本隣り合い、それぞれ同じ高さに揃って並んでいるので、筋繊維自体にも基礎正しい横紋が確認できる

## ●筋収縮の流れ

筋収縮はアクチンがミオシンの中央へ滑走することで起こる。大脳皮質から出された運動指令は電気信号として脊髄を下りて、脊髄にある運動ニューロンに伝達される。その電気信号が神経伝達物質としてアセチルコリンを介して筋線維に伝わるとアクチンフィラメントとミオシンフィラメントとの間に架橋が形成され、アクチンフィラメントがミオシンフィラメントの中央へ滑走する(図 2)。この時に両フィラメントの長さは変わらず、筋節が短縮するので筋肉の収縮が起こる。これが筋収縮の一連の流れである。

### 1. 2 機械と生物の違い

機械と生物はどちらも多数の部品が集まって構成されているが違いは、

- ・ コンピュータ：いくら分解しても元通りに組み立てる事で動くことが可能
- ・ 生物：分子から生物をつくりだす事は未だに誰も成功していない

ということである。

結論から先に述べると、機械と生物の違いは「**部品同士の相互作用(インタラクション)の性質が異なる**」という事である。これがどういう事か具体例を挙げて説明すると、「楽譜と指揮者が存在するオーケストラの団体」と、「楽譜も指揮者も無いフリー演奏の即興のバンド」のようなものである(図 3)。

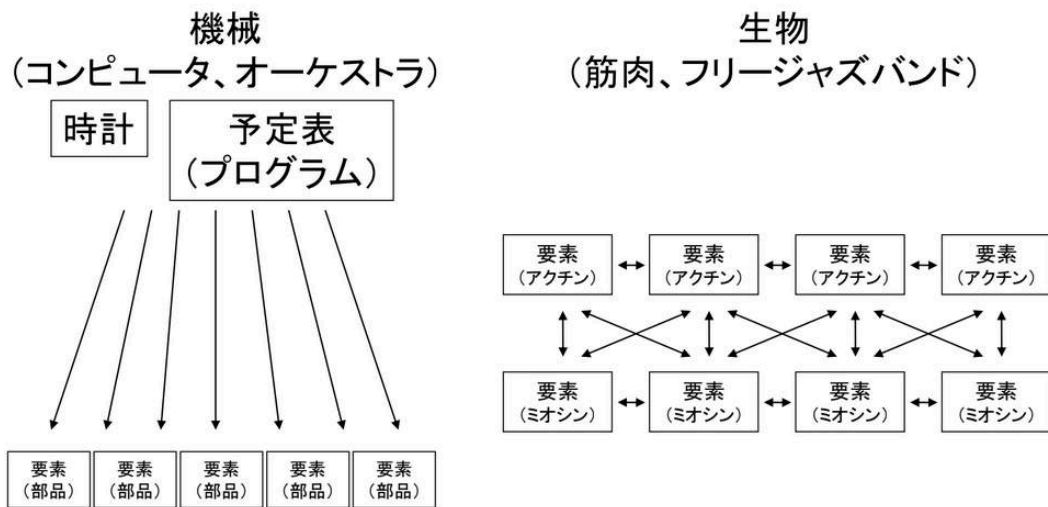


図 3：機械と生物の違い([2]より引用)

(図 3 の説明)

前者は予め決められた時刻に予定(プログラム)を実行して演奏するので何回でも繰り返すことができる。しかし、後者では全く決め事が無いので、その時々演奏者同士のコミュニケーション次第で演奏内容が変わってしまう。その為、全く同じ演奏は普通繰り返せないであろう。

つまり、上記 2 つの違いにはシステム全体を統率する仕組みが異なっているのである。機会を構成する多数の部品には時計と予定表があるのに対し、生物では構成される部品同士(上記の例ではアクチンとミオシン)のコミュニケーションに委ねられているのである。

### 1. 3 相互作用

まず物理学において、「相互作用」は二つまたはそれ以上の物質が互いに力を及ぼしあうという概念のことを指す。

- ・相互作用～英語で「interaction」
- ・作用・反作用～英語で「action and counteraction」と表される。

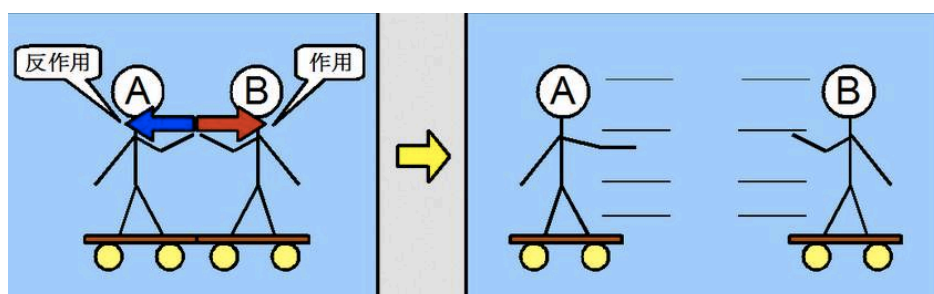


図 4：作用・反作用の例

例えば図4のように、作用・反作用は一瞬にして力が伝わることは自明である。(他にも 机を押すと、反作用が成り立つことなどが挙げられる)

しかし、我々生物同士ではアクションが必ずすぐにリアクションとして帰ってくるのかというと、帰ってくることはないのである。よって、生物に「相互作用」という言葉は使えないことがわかる。

## 2. インタラクションとコミュニケーション

ここでは、前項で述べたインタラクションとコミュニケーションについて掘り下げて説明を行い、後ほど紹介する内部観測の定義を理解するための具体例を挙げながら説明する。

### 2. 1 情報とコミュニケーション



図5：情報とコミュニケーション

我々人間は普段から言語という手段で情報の伝達を行なっている。これをコミュニケーションと呼ぶことに疑問は抱かないであろう。

→言語による情報の伝達がコミュニケーションになっている

・言語が異なる場合

ジェスチャーや記号などの抽象表現も伝達手段になり得る。

→しかし、抽象表現を理解できる人間だけがコミュニケーションをしているのか？

### 2. 2 Communications

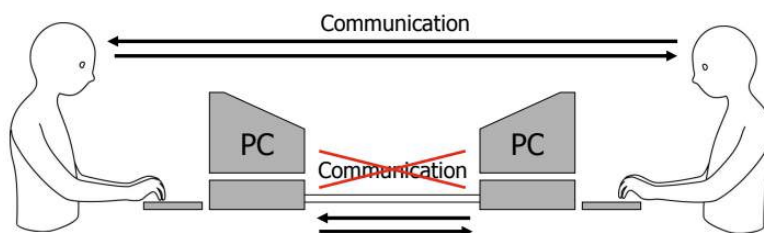


図6：機械同士の場合([2]より引用)

人同士がパソコン越しに見えない相手と対話をしている時を考える。しかし、この場合はプロトコルが必要になってくる。プロトコルはコミュニケーションをしようとする人がパソコンに与えるのである。従って、パソコンではなく、人がコミュニケーションをしているのである。

#### ・プロトコルとは？

→パソコンでデータのやりとりをするときに、予め決められている**約束事**を意味する。

約束事：「コンピュータ間でどのようにデータを送るのか、どれだけのデータを送るか」

例えば、コンピュータ間をただ LAN ケーブルなどで物理的に接続しただけでは、相互に通信することができない。このプロトコル（具体的には TCP/IP 等）を使用することで、コンピュータとコンピュータが通信できる。異なるハードや OS を使っても通信が確立されているのは TCP/IP という共通のプロトコルのおかげである。

## 2. 3 ブラウン運動

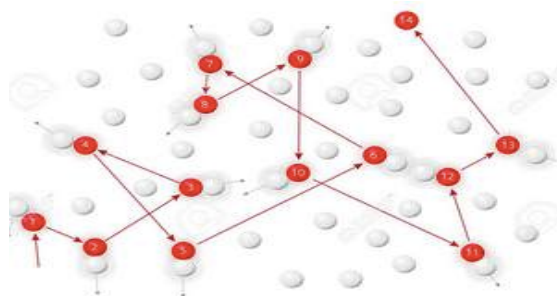


図 7：ブラウン運動(赤がコロイド、白が水分子)

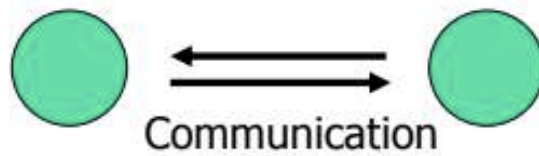
ブラウン運動：コロイド溶液を顕微鏡で観察すると、コロイド粒子が腹側な動きをしているのがわかる。この現象は、分散媒を構成している水分子が動き回る事でコロイド粒子に衝突し続けている事で起きる(**相互作用**が起きている)。これはコミュニケーションでないと思えるのが、一般的であろう。

ここで、本セミナーの本題である内部観測を取り上げる。まず、コロイド粒子の任意の 2 つをそれぞれ  $q_1, q_2$  とする。コロイド粒子に意志があると仮定すると、 $q_1$  が  $q_2$  のことを観測するとする。実はこの行為を松野先生は**内部観測**と呼んだ。(定義は後ほど)

## 2. 4 コミュニケーションという言葉

これらを踏まえると以下のことが言える。

- ・コミュニケーション：生物に対して使える。←精神の世界



- ・相互作用(インタラクション)：非生物に対して使える。←物理の世界

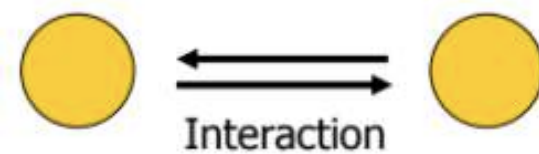


図 8：言葉の使われる領域(緑が生物、黄色が非生物)

従って、先程のブラウン運動においては「コミュニケーション」という言葉が使えず、「インタラクション」が適用できる。

## 2. 5 (外部)観測

公園に沢山のハトがいて一人の人が近づいた場面を例に挙げる。

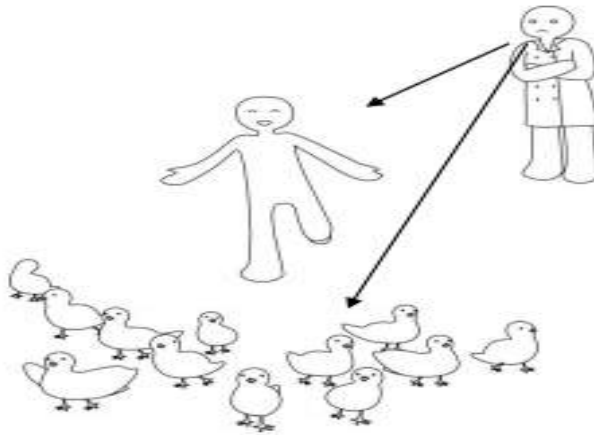


図 9：人とハト

- ・人が近付くと、ハトは危険を感じて逃げた
- ・これを外部から観察している実験者が人とハトの間に斥力の相互作用が働いていると考えるとする(明らかに誤りではあるが)
- ・しかし、人とハトの間には何の力も働いておらず、それぞれの自由意志に基づいて行動したに過ぎない

- ・この現象を観察していた実験者は必ず外部から系を観察しなければ説明が不可能
- ・外部から眺めた実験者が結果をもとに現象を記述することで、対象とするものの自由意志を考慮する必要がなくなる

## 2. 6 ブラウン運動のような粒子の場合

前項で挙げた人とハトの場合に、斥力といった説明は明らかな間違いである。一方で、ブラウン運動のような場合では、

- ・自己意識を持たない粒子の場合は、「斥力」と表現しても違和感はないであろう
- ・仮に粒子が自分自身の観測に基づいて行動するということを受け入れるならば、  
粒子が周囲の粒子の状態(例えば、粒子間の距離や電荷など)を観測することを受け入れる必要がある

## 2. 7 コミュニケーションの本質

図9で挙げたように互いを観測し、人がハトに近付くと、ハトは危険を感じて逃げようとする。このような状況が続けば、ハトは逃げるであろう(関係の崩壊)。

もしその関係が保たれている(互いを観測するのに時間を要したのでハトがすぐに逃げなかった)ならば、「互いの無根拠な推測が同期している」のである。

この場合の根拠とは、

- ・人：「エサあげたら食べてくれるかな？」
- ・ハト：「ここにいれば食べ物くれるかな？」 という推測である

このように動機をして、互いに食べ物について別の理解をしつつ、彼らの関係には何も問題は生じていない。これがコミュニケーションの本質の部分。

## 2. 8 コミュニケーションの成立条件

- ・相互の観測に完全な位置は必要でない
- ・観測には時間がかかる
- ・観測がすぐに終わるならば、それは単なる相互作用である



まとめ

●外部観測

外部から一瞬で全てを神の視点から見ること

- ・観測者と対象は別物
- ・観測者は系の外にいたので観測者自身は変化することはない

●コミュニケーション

- ・コミュニケーションには矛盾を含み、それを解消しようとする作用が存在する
- ・この矛盾の生成と解消が繰り返されるときに生命性が現れると考えられている。

→相手を観測するのには時間を要する。時間という問題をクリアしたいので、観測を早く終わらせるために作用反作用の法則が物理学では使える。しかし、**作用反作用の法則では解決できない(観られている)新たな対象物が現れた。それが生命なのである。**

◎そもそも生命とは、「**観られている**」側の問題であるという当たり前のことを我々は普段意識していないのである。

### 3. 観測について

前項では実験者は必ず系の外部から観察しないと説明できないことである事と生命とは「観られている側の問題」である事を述べた。ここでは内部観測の定義を紹介し、その後(外部)観測とはどういうことか説明する。

#### 3. 1 内部観測の定義

<定義>

「物質世界内にあってそれぞれが相互作用とするとは、その相手が何であるのかの同定がまず前提となる。相互作用には同定、識別という行為が必ず付随する。内部観測とは相互作用に不可避となる同定、識別行為を指す。」(文責：松野孝一郎)

つまり、外部から全てを一瞬で観ることができる神の視点からの観測ではなく、物質が相互作用を通じて相手を検知する行為そのものを内部観測と定義づけたのである。(セクション2はこれを理解するための具体例)

### 3. 2 生命活動での入力と出力

ここでは、生物を情報システム的一种として捉えてみる(図 10)。

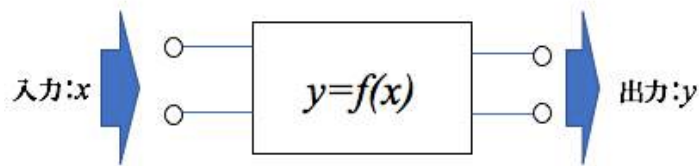


図 1.10：情報システムとしての図

例えば、普段我々が生活している中で、お腹が減ると(これが入力  $x$  に相当)、「お腹が空いた」と思うのはそれに反応して脳から「ご飯を食べて栄養を補給せよ」という命令文(出力  $y$  に相当)が自動的に送られてくる。この間には生命を維持するための  $y=f(x)$  という関数のフレームワークが存在しているからである。

### 3. 3 「今」の状態を知ること

#### ●星の観測



図 1.1：星の観測(□より引用)

これまでに説明してきたように「観測」という行為には時間を伴う。

・ご存知のように光は1秒間に約30万km進むので、天体観測の際に見える星の光は、実は見上げたその瞬間の星の状態ではない。

例)太陽系で一番近い恒星でさえ約4.3光年の距離があると言われており、約4.3光年前に発せられた光を我々は観ていることになる。

→観測装置の精度を上げたところで、無限の速度で観測手段でない限りは宇宙の「今」を知ることは不可能

しかし、我々は観測する時に観測装置を通じて一瞬で観測できると思い込んでいる。このようにあくまでも、観測対象からの信号を受け取る行為が観測なのである。このような行為を外部観測という。

### 3. 4 暗闇の中の跳躍

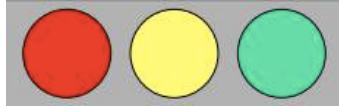


図 1.11：信号機

・普通は信号が「青」＝「車が来ないので渡れる」

しかし、

・「青」**なのに**隕石が落ちてきて死んでしまうかもしれない(可能性は限りなく低い)

→ここで、次のような疑問が浮かぶ。

「我々はすべての可能性をチェックして横断報道を渡るのか？」

もしそうならば、そのチェックはいつ終了するのか？(実際にそんなことはないが)

◎我々生物は全可能性を網羅的に検証することなく「暗闇のジャンプ」をするがごとく

「渡ること」を決めているのである。(可能性は残っているが、擬似的解決によって問題を先送りすることで矛盾を隠している。これを「**創発**」という。)

### 3. 5 フレーム問題

人工知能においてあらゆる可能性を思考し続けてしまうというフレーム問題というものが存在する。ロボットには有限処理能力しかないので、現実に関わり得る問題全てに対処することができないことを示すものである。現在フレーム問題は解決できないと言われている。

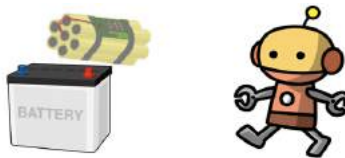


図 1.12：フレーム問題

・提唱者：マッカーシー、ヘイズ(1969)

・問題の内容

ロボットを動かすバッテリーの上に時限爆弾が仕掛けられている。このままでは爆弾が爆発してバッテリーが破壊されて、ロボットはバッテリー交換ができなくなってしまうので、バッテリーを取ってくる必要があった。そこで、ロボットは「バッテリーを取ってくる」ことを指示された。

1号機：バッテリーと爆弾を一緒に取り出して爆発

2号機：バッテリーの前で副次的に発生し得るあらゆる事項を無限に考えてしまい爆発

例)「バッテリーを動かす前に爆弾を移動させないといけないか」など

3号機：バッテリーを取りに行く前に目的を無関係な事項を全て洗い出そうとしてフリーズ

例)「爆弾を動かそうとすると天井が落ちてきたりしないか」など

まとめ

●「内部観測」：系の中の対象が相互作用を通じて相手を検知する行為のこと

- ・相互作用するには「同定」と「識別」が必須
- ・観測者と対象は分離できない
- ・「内部観測=相互作用」なので対象自身も変化する

●我々生物は全可能性を網羅的に検証することなく「暗闇のジャンプ」をするがごとく「渡ること」を決めているのである。

→色々な可能性が残っているが、擬似的解決によって問題を先送りすることで矛盾を隠している。これを「創発」という。(by 郡司先生)

創発については後ほど詳しく説明する。

## 4. 三人称現在形での記述

ここでは、三人称現在形の文法の問題から内部観測について述べていく。

### 5. 1 三人称での視点

大体の言語では一人称、二人称、三人称を区別して言葉が使われている。そういう意味において我々の認識や考え方には、文明の発展とは全く別な所で非常に根源的なところに差があるのである。人類はこのように認識してきたと考えられている。

川端康成の小説「雪国」は東京の方から電車に乗って新潟に向かい越後山脈を越えた時の話である。「雪国」は、

(1) 国境の長いトンネルを抜けると雪国であった。

という文で始まる。これを英訳すると次のようになる。

(2) The train came out of the long tunnel into the snow country.

(1) の文を読んだ人に情景を描かせると図 1.13 のようになる。



図 1.13：(1)を読んだ人の情景

(2) の文を読んだ人に情景を描かせると図 1.14 のようになる。



図 1.14：(2)を読んだ人の情景

日本語(1)の場合は汽車の乗っている乗客の視点から描かれているのに対し(一人称での視点)、英語(2)の場合は貴社の外側から見た、汽車がトンネルから出てくる様子を上空から描いたものになるそうである[5] (三人称での視点)。決して英語訳が悪いのではなく、日本語(1)のような視点からの記述も不可能ではないが、自然な英語にならないのである。

また、(1)では「汽車」という言葉が文に含まれていない対し、(2)では主語として現われている点に着目してみる。汽車に乗っている乗客の視点からは汽車を明示する必要がないが、上空から俯瞰する神の視点からは汽車を明示しないことには記述が始められないのである。(これは外部観測)

## 5. 2 複雑系における内部観測

今度は(1)のように汽車に乗った乗客、つまりある状況に埋め込まれた対象について述べる。最初に述べたように古典物理学は客観的外部観測者の観点から客観的な記述がなされてきた。しかし、この世界観はカオスに始まる複雑系の発見で困難に出会った。

●カオス：決定論的なシステムが作り出す非周期運動と言われる

→「システムの状態変化は繰り返されることがなく、無限に異なるパターンが展開されるので、外部から客観的に定式化して記述することが出来ないもの。」(文責：中島秀之)

(定義)

- ・ 非線形性

力学系は線形力学系と非線形力学系が存在し、前者ではカオスは発生しない。カオスを生起する系の特性として非線形性が挙げられている。

- ・ 初期値鋭敏性

同じ系であっても初期状態に極僅かな差があれば、時間発展と共に指数関数的にその差が大きくなる性質である。初期状態（入力値）の微小な変化でも、値が指数関数的に増大するので、長時間後の状態の予測は近似的にも不可能となる。

→ロジスティック方程式を例として説明

- ・ 有界性

カオスが軌道を描くために一定の有界の範囲に収まる必要があるということ

- ・ 非周期的

カオスは無限に異なるパターンを展開する

ここではカオスの一例としてロジスティック写像を挙げる。

- ・ ロジスティック写像とは

米の数理生物学者ロバート・メイはロジスティック方程式と呼ばれる次の差分方程式を用いて、生物の個体数の変動を研究した。

$$X_{n+1} = aX_n(1 - X_n) \quad (1.1)$$

ここで、 $n$  は世代 ( $n=0,1,2,3 \dots$ )、 $X(n)$  は世代  $n$  における個体数を規格化した値 ( $0 \leq X(n) \leq 1$ )、 $a$  は繁殖率 ( $0 \leq a \leq 4$ ) を示す。この式より、ある世代の個体数がわかれば、次の世代の個体数が計算できる。この写像  $f=ax(1-x)$  を、ロジスティック写像という。

- ・  $a$  の値によって  $X(n)$  の振る舞いの変化すること確認

→ $a=1.5, 2.6, 3.2, 3.5, 3.90$  の場合で時系列のグラフで確認する

- 複雑系とは

複雑系に関しては未だに断言できるほどの厳密な定義は存在しないが、以下のように述べられている。

「外部から客観的に定式化して記述できないことを押し進めた概念で、局所的性質が全体に拡張できないため分析的手法が通用しないもの」(文責：中島秀之)

→全てを一瞬で観る事で系に影響を及ぼす為、内部観測の立場を取らざるを得ない。観測者がその系の一部となり、システム(系)を作り上げていくしかない。ここでの分析的手法とは従来の科学の方法論を指す。

### 5. 3 サイエンスでの三人称現在形による結論

我々が研究などにおいて論文の結論を書く際にはステートメントと呼ばれる行為をしている。

・ステートメント：ある種の責任において宣言という意味

論文の結論は必ず三人称現在形で書かれる。ある種の結論に関して説得力を持たせるために。でも、なんで？

A crow is black. A = B

カラスは黒いというのは今のお話。

(注意点)

・カラスが黒いのは今だけの話ではない！ということを宣言

・昔から将来自分の力が及ばない範囲全てにおいても「カラスは黒い」ということに責任を持つという意味においてステートメントという。

・この時の「is」や「=」に時間は含まれない

・AもBも自分(筆者)とは関係ない対象である

まとめ

●複雑系における内部観測

・複雑系の性質上、局所的性質が系の全体に適用できないので、観測が系に影響を及ぼす為、内部観測の立場を取らざるを得ないということ

●ステートメントは必ず三人称現在形で書かれる

## 5. 内部観測理論のまとめ

### 6. 1 内部観測と外部観測の食い違い

以前にも触れたが、外部から観測する人の目には見えない内部での観測がある。絶えず、内部観測と外部観測の間には**絶えず**食い違いが生じる。

例)人がとやかく言う事が自分の思っている事と違う(もし食い違いがなければ、自分が思っている事が人に読まれてしまう)。

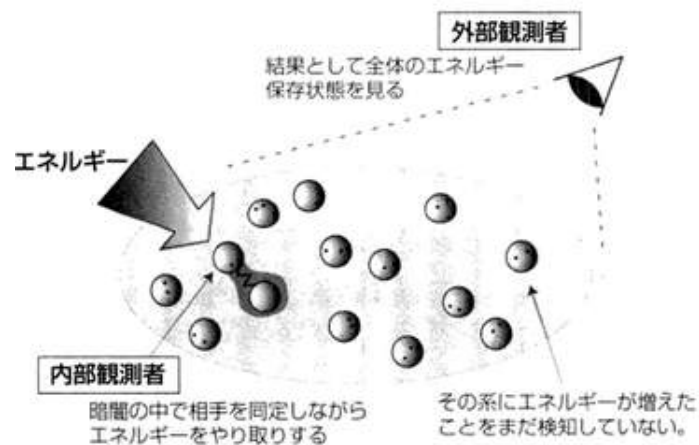


図 1.15：内部観測と外部観測

例えば、図 1.15 のようにブラウン運動などにおける粒子が能動的に観測をするということを認める。つまり、内部観測を認めている外部観測であるという話になる。

内部観測はどうやっても外側から見えない。かといって、これまでのサイエンスのように亡き者にしていいいのか？

もし割り切ってしまうならば、生物を観察する際に「機械みたいだね」と言ってそれで終わってしまう。(それはそれで本人にとっては幸せな人生)

そこを何とか内部観測を擁護した我々の生き方はないであろうかと考えた。

### 6. 2 物理学における内部観測を擁護した方法論

これまでの物理学が積み上げてきた事全ては内部観測を如何にキャンセル若しくは隠蔽する事で成功してきたのである。一般的な物理の方法論ではない。重要な点は主に以下の観点である。



●分かったような気にならないという観点

→我々が観ているものが何をするのか分からないという自由度の擁護

現に我々は相手方を何らかの形で決め付けないと生きていけない(すでに挙げたように横断歩道すら渡れなくなる)。その中で、相手の自由度を尊重できるかということが大切。しかし、物理学は与えられたパラメータ以外のパラメータを許していない。

●曲げモーメント

これまで述べてきたように、我々は観測により対象物の正確な情報を得ているわけでない。それに加えて適当に行動の調節をしている。これからはこの2つを物理的プロセスの中に認めるということを行う。その中で内部観測を考慮した方法論を適用する。

・生物由来の運動と物理運動の決定的な違いは何か？

図 1.16 はフィラメントの線素を繋げた物質である。これは線素つまり、断片に分けられたもので、屈曲を許すノードのコネクションとして繋がっているものを考える。その線素がちぎれないようにするためにはお互いにお互いの線素を引っ張ったり、引っ張られたりしながら、その釣り合いが取れないと切れてしまう。ここまでは一般的な物理の話である。

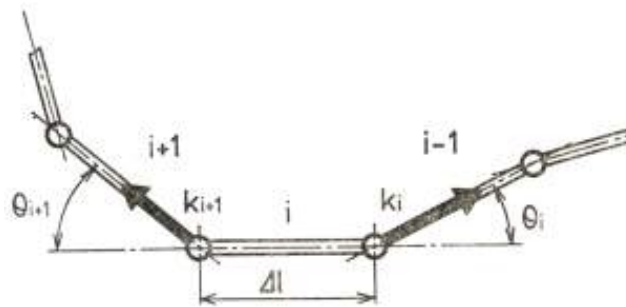


図 1.16：線素の曲げモーメント

(図 1.16 の説明)

1つ1つの線素の長さを  $\Delta l$  としてこの長さの線素が繋がっているものを考える。

・  $i$  番目の線素に関して、左が  $i+1$  番目、右が  $i-1$  番目とする。

・ 張力  $K_i$  :  $i$  番目の線素に関して  $i-1$  番目との線素とのジョイント部分の張力。

→このジョイントの  $i-1$  番目がこの  $i$  番目の線素を引っ張る時の張力。これは  $i-1$  番目の線素に沿った力になるが、その沿った力の大きさのこと。

同様に、 $i+1$  番目の方向に引っ張られている  $i+1$  番目の線素が  $i$  番目の線素を引っ張る内部張力を  $K_{i+1}$  とおく。

・角度～それぞれ  $\theta_i$ 、 $\theta_{i+1}$  と角度を設定する。

その時に曲げようとするモーメントの大きさは、

$$\Delta M_i = K_i \Delta l \theta_i - K_{i+1} \Delta l \theta_{i+1} \quad (1.2)$$

と表される。

### ●天秤とモーメント

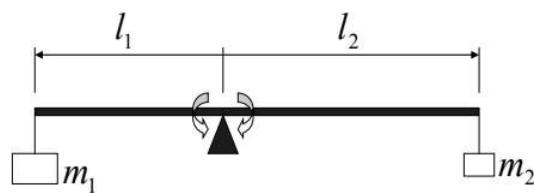


図 1.17：天秤とモーメント

それぞれの重さと長さの関係が等しくなる状況

$$m_1 l_1 = m_2 l_2 \quad (1.3)$$

がある。

・(1.3)が成り立つ理由

この長さに対して重りがぶら下がっていることによりこの作用点にこの線素を矢印の方向に曲げようとする曲げモーメントが生じていると考える。その曲げモーメントは2つの矢印は釣り合っている。その曲げモーメントを決める要素は重りが重いほど大きくなる。それと、テコの原理のようにモーメントアーム(棒の長さ)が長さそれぞれに比例して、それぞれの積を考える。

→その積が等しいならば釣り合うと感がる事ができる。これがモーメントである。このようにして考える。

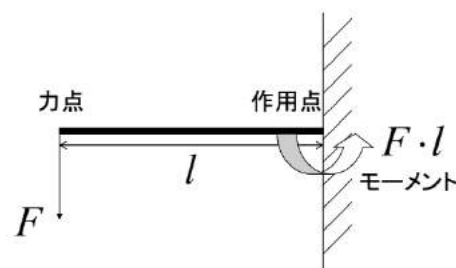


図 1.18：作用点でのモーメント

・固定された面に棒が出でいる物体を考える

図 1.18 のように、棒の先に中央点を曲げようとするモーメントは、この作用点から力点までの長さ  $L$  と、それに対して垂直に働いている力  $F$  の積として表される。

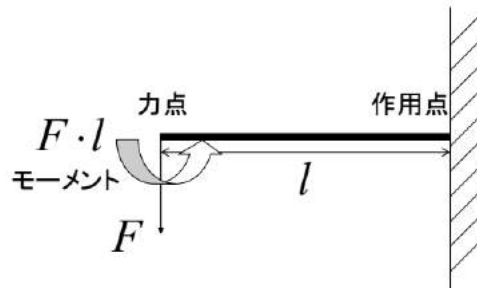


図 1.19：力点でのモーメント

ここでは、作用点に働くモーメントを考えているが、実はこの時には作用点と同じように作用反作用と同じように力点にも同じモーメントがかかる。なので、1つの線素があって両端を引っ張られている。よってその線素のモーメントは2つの点での曲げモーメントの和になる。（ドユコト？）

→つまり、作用点での曲げ方と同じ方向なので相対的に同じ曲げモーメントがかかる。で、もともと考えている線素のモデルでは回転が逆なので、「差」になる。

### ●線素における曲げモーメント

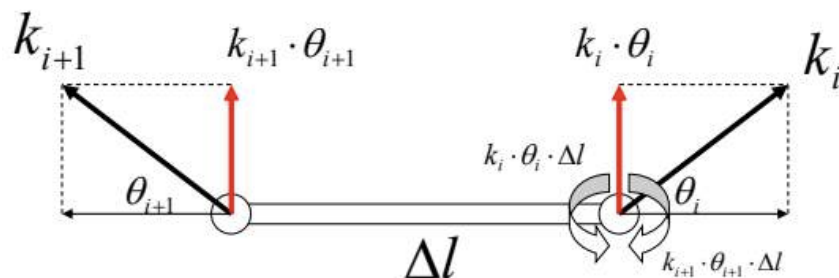


図 1.20：線素における曲げモーメント

(線素の右側のノードに垂直にかかっている力)

・  $\theta_i$  の方向に  $K_i$  という力が働いている時に、まず線素に対して垂直にかかっている力は  $K_i \cdot \theta_i$  となる。正確には  $\sin \theta_i$  である。

しかし、 $\theta$  が十分に小さいときには  $\sin \theta_i$  はほとんど  $\theta_i$  に等しい。従って、 $K_i \cdot \sin \theta_i$  は  $K_i \cdot \theta_i$  とみなせる。

ここで、 $K_i \cdot \theta_i$ という力が働いたときに、ここに働く曲げモーメントはこの力( $K_i \cdot \theta_i$ )とこの  $\Delta l$  の長さでここを曲げようとするモーメントに等しい。

→ $K_i \cdot \theta_i \cdot \Delta l$  はここを曲げようとする。そこを曲げようとする力の反対の向きに曲げモーメントがかかるのである。これが、「 $K_i \cdot \theta_i \cdot \Delta l$ 」の曲げモーメントである。

同様にこの  $K_{i+1}$  という力が  $\theta_{i+1}$  の方向にかかっている。この線素を曲げようとする。その曲げモーメントは同様に考えて「 $K_{i+1} \cdot \theta_{i+1} \cdot \Delta l$ 」の積としての曲げモーメントと考えられる。

これが  $\Delta L$  というモーメントアームによってここ(左)を曲げようとするモーメントの大きさなのである。で、これの差がこれを曲げようとする大きさでる。

#### ●この線素ができる事

今、ある時刻においてこの線素を2つの方向の力で曲げようとしていた。このときにこの曲げようとしている力があるという事はそれを放置していると、いつか折れる。折られないようにするためには、次の瞬間に何らかの形でこの線素は折られないような方向に動くしかない。

→つまり、この線素ができることは「 $K_i, K_{i+1}, \theta_i, \theta_{i+1}$ 」を変えることしかできない。

で、このモーメントをなくす(解消)するように次の  $\theta$  と  $K$  が変えられる。ここで、内部観測を擁護した方法論を使う！

#### ● $\theta$ と $k$ の決定プロセス

・ある関数によって  $\theta$  と  $k$  が決まる：外部観測

→一般的なシミュレーションでは関数を与えて、関数が正しいかそうでないか確かめる。しかし、この関数を決めているのは線素でない、線素を外側から勝手に関数を与えている。(外側から観測者は線素がきつとこうやって動くだろうと勝手に考えて与えている)

・線素がどのように決めるかはあらかじめ分からない：内部観測の擁護

→実際には我々がその線素をどう見るのかは関係なく、線素自身は何をするのか我々は知る由も無い(線素自身が決めているから)。そこに我々が見ている立場から線素の自由度を残す。ここに自由度を残すように見せつつ、その自由度を許していないのが力学なのである。また、シミュレーションにおいても同様。

まとめ(1章で一番重要なところ)

●内部観測：系の中の対象が相互作用を通じて相手を検知する行為のこと(再喝)

- ・相互作用するには「同定」と「識別」が必須
- ・観測者と対象は分離できない
- ・「内部観測=相互作用」なので対象自身も変化する

●外部観測：所謂「観測」で外部から全てを一瞬で見る

- ・観測者と対象は別物
- ・観測者は外にいたので、観測者自身は変化しない

●内部観測を考慮した方法論

図 1.20 のように、線素自身が  $\theta$  と  $k$  をどのように決めるかは我々にとってあらかじめわかっていることではない。我々にはわからないことを認めるのが内部観測である。そうすることで、 $\theta_{i+1}$  や  $K_{i+1}$  において、わかっていない事が先送りされる。(先送りについては後ほど)

このようなモデル化できない事が本当の意味での複雑系なのである。今後は複雑系という言葉聞いた際にはこのようなセンスを忘れないでほしい。

## 2 章 観測型志向モデルとしての内部観測

### 1. 観測志向型理論への移行

1 章では主に松野先生の発見した内部観測の理論に触れてきた。ここでは、郡司先生の主張する観測志向型物理学の基礎的な考え方を紹介する。郡司先生は従来の物理学の礎となる「状態志向型物理学」から「観測型志向型物理学」への移行が重要であると主張している。

- ・状態志向型物理学：対象物は状態をもち、その状態について観測する

→対象内部の要素を一瞬で観測できる

しかし、一瞬で全てを観測することは星の光を見ることの例で挙げたように実際には無理なのである。

#### 1. 1 カルテジアンカットとインターフェース

先ほど内部観測の定義において「観測者と対象は分離できない」ということを述べた。しかしここでは、郡司先生が観測者と対象者を分離した場合の議論を扱う。

- ・ **カルテジアンカット** (Cartesian Cut)：対象者と観測者の分離のこと

このカルテジアンカット従って観測をすると、次のような矛盾が生じる。

- ・ある対象  $X_n$  を同定しようとする

→その対象から分離された観測者を考える必要がある

- ・対象  $X_n$  の観測者を求めるべく、それを  $X_{n+1}$  に求めるとする

ここで、この対象と観測者をつなぐ関係性を「**インターフェース**」と呼ぶ。

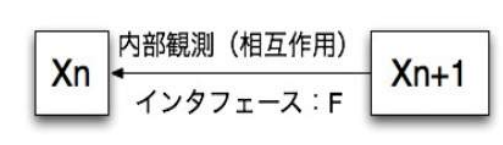


図 2.1：対象  $X_n$  と観測者  $X_{n+1}$

この観測のインターフェース  $F$  はあくまで無根拠に選ばれたもので、選ぶ際の条件などは特にない。

・ インターフェースの根拠

$X_{n+1}$  が  $X_n$  を同定するとはどういうことか考えてみると、 $X_{n+2}$  という視点から  $X_{n+1}$  を観ているからである。そして、 $X_{n+2}$  の根拠を  $X_{n+3}$  に求めるようになり、この関係性が無限に続いてしまう。

インターフェースを  $F$  と定義し、「 $X_n$  の観測者が  $X_{n+1}$  である」ことを、

$$\text{定義式：} F(X_n) = X_{n+1} \quad (2.1)$$

と表現する。ただし、 $F(X_n)$  は連続関数とする。以降はこの定義式を用いて議論を展開する。

## 1. 2 矛盾の発生と擬似的解決

### ● $F$ の極限の入れ替え可能性

$F$  は連続関数なので、極限の入れ替えをする事が可能である。極限の入れ替え可能性を考慮すると、

$$\lim F(X_n) = F(\lim X_n) \quad (2.2)$$

また、インターフェースの定義式から

$$\lim F(X_n) = \lim X_{n+1} \quad (2.3)$$

となる。従って定義式は、

$$F(X_\infty) = X_\infty \quad (2.4)$$

となる。

$X_\infty$  は変換操作  $F$  以前と以降で変化しないので、**不動点** と呼ばれる。

→ あれ、「**観測者と対象が同じになってしまった**」よ？

なぜなら、カルテジアンカットでは**必ず対象と観測者が分離されていないといけない**から

### ● 定義式を方程式とみる

ここで、発想を転換して「定義式を方程式」として考える。

→ 「任意の  $X$  についてこの定義式が成立しないといけない、、、」という問題から「その方程式を解くことはこの式を満たす  $X_\infty$  というもの」という問題に変わる。

すると、 $X_\infty$  は「**観測者であり、対象でもある何か**」となるので不動点  $X_\infty$  は矛盾ではなくなる。しかも、「観測者であり、対象でもある」ことは内部観測の定義に合っている。

### 1. 3 インターフェースの無根拠性

ここまで、対象と観測者をつなぐインターフェースの根拠を定めようとする中で、矛盾が発生していた。その矛盾は定義式と方程式という異なる位相のものを同一視することで解決された。

#### ●定義式と方程式を一致させた根拠は何か

ここで問題になるのが「定義式を自分勝手に方程式とみなしていいのか？」という事である。

→実は根拠は特にない。なぜなら擬似的解決をしているからである。

#### ●擬似的解決

「対象と観測者の間の問題」が「定義式と方程式の間の問題」に替わってしまった。

→問題が高次元に先送りされた(擬似的かいけつ)だけであって、インターフェースが無根拠であることになる。

このことから、郡司先生は次のように述べている。

「もし、すべての運動・過程を幾何学へ回収し、世界の無矛盾な表像を構成する事が科学の目的であったなら、最終的に得られるものは、徹底して相対的なインターフェースである。」(文責：郡司ペギオ幸夫)

### 1. 4 時間発展モデル

次にここまでの述べてきたことに加え、時間を  $t$  として郡司先生はインターフェースの不定さを取り込んだ以下のような時間発展モデルを提案している。



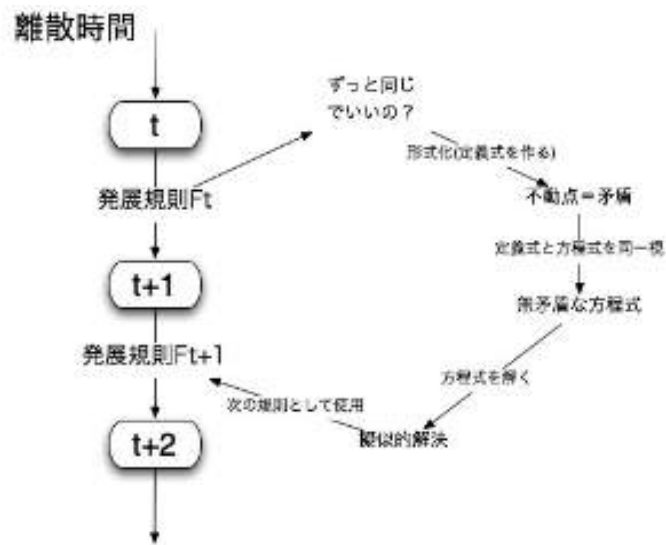


図 2.1：時間発展モデル

図 2.1 のように  $t$ 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $\dots$  という離散的な時刻を考える。時刻  $t$  における状態は関数  $f_t$  によって時刻  $t+1$  の状態へ発展する。

→すると  $f_t$  を無限に使い続けることによる矛盾が出てくる。これが不動点である。

→「擬似的解決」によって得られた規則が次の時刻への発展規則  $f_{t+1}$  となる。これを繰り返していく。

→時間発展はその都度解決するが、決して真の解には行き着かない。

これが擬似問題の発生と擬似解決のプロセスである

まとめ

●このように方程式を解いて解を求め、それにより矛盾の解決と見なされる事態のことを「内部観測と言わざるを得ない過程」なのである。

## 2. 創発

### 2. 1 創発とは

●**創発**：矛盾を擬似的に解決すること

ここでは何か矛盾が生じたときに、それを矛盾として認めずに開き直ってみる。それによって、図 2.3 のように新たな次元が生まれ、矛盾は新たな次元へと先送りされる。横断歩道を渡る例を挙げたように、我々は日常の生活でこのような開き直りを無意識に行なっているのである。しかし、物理学の世界ではこのようなことは起こり得ない。

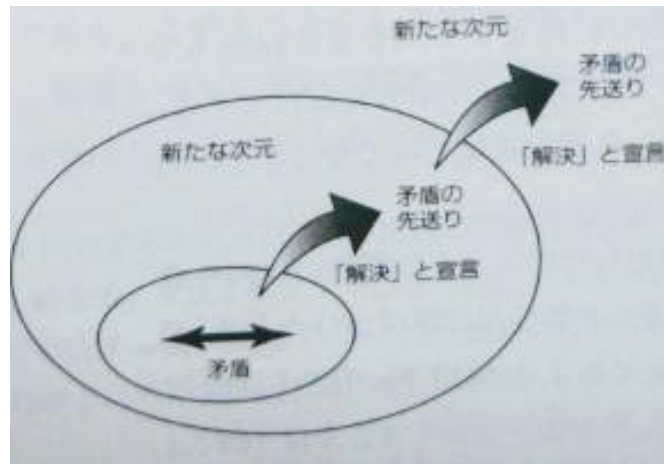


図 2.3：矛盾の先送りと創発

図 2.3 のように、発生した矛盾を擬似的解決で高次に先送りする。すると、その次元では矛盾が隠されてしまう。郡司先生はこれこそが「創発」と述べている。

## 2. 2 選択領域外部からの選択

### ●選択という行為

日頃我々が行動の選択を行う際には、選択肢をあらかじめ想定してその中から選んでいると考えてしまいがちである。実は選択という行為は、選択肢を想定している時点で暗に選択肢の外部も指定しているのである。

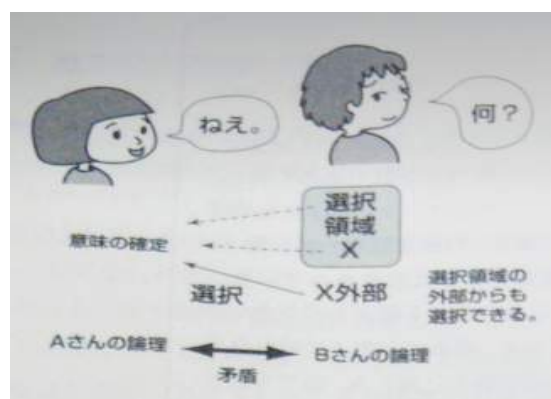


図 2.4：選択領域とその外部からの選択

図 2.4 のようにある二人が会話をしている様子を例に挙げる。

・A さん「ねえ」

Bさん「何？」

・Aさんが「要件を聞かれた」と取る場合

Aさんは、Bさんが予想したとおり「ランチ行かない？」という

・Aさんが「邪魔しないで」と取る場合

Aさんは、Bさんが用意していた返答の選択肢の外から「あ、べつにいいや…」と言う

●この会話でどのような事が起きているのか？

話し手が言葉を発した時、聞き手はその言葉の意味を勝手に同定しているに過ぎない。

→聞き手の受け止め方に根拠を与えるものは存在しない。その時に聞き手は、話し手が用意した選択肢だけでなく、例外からも選択をする可能性がある。

まとめ

このようなことは言語の使用の場合だけ起こるのではない。物質レベルにおいても観測者が対象を同定する場合にも同様な事が起きているのである。以上のことを踏まえて、郡司先生は以下のように述べている。

「状態を同定するという行為は、広義の原語行為であって、同定する処方箋、文脈を確定することは決してできない。ある文脈が指定する選択領域 X かその外部かの非決定性に抗して、観測者は状態を同定するのだ。」(文責：郡司ペギオ幸夫)

### 3. 議論

議論をしてみよう！テーマは...

・「生物・非生物の違いは何かだと思うか」

・「本セミナーによる各個人の生命に対するイメージの変遷

など

## 参考文献

- [1] 骨格筋の構造と筋収縮 | 身体のしくみとはたらき-楽しく学ぶ解剖生理, [<https://www.kango-roo.com/sn/k/view/1908>], (最終アクセス日: 2018/02/06)
- [2] 櫻沢繁, 「生命科学と複雑系」, 2017 年度前期講義資料.
- [3] 井庭崇, 福原義久, 「複雑系入門」, NTT 出版(1998).
- [4] AI 研究所, [<https://ai-kenkyujo.com/2017/03/03/about/>], (最終アクセス日: 2018/02/16)
- [5] 中島秀之, 「構成的情報学と AI」, 人工知能学会論文誌 21 巻 6 号 E, 502-513(2006).
- [6] 季報「唯物論研究」刊行会, 「内部観測と複雑系の新地平」, 第 80 号, 8-40(2002).
- [7] 松野孝一郎, 「来たるべき内部観測 一人称の時間から生命の歴史へ」, 講談社(2016)
- [8] 松野孝一郎, 「内部観測とは何か」, 青土社(2000).
- [9] 辻下徹, 「生命と複雑系」, [<http://ac-net.org/tjst/doc/tjst/983-lcs-4.pdf>], (最終アクセス日: 2018/02/16).