

第8回量子基礎論懇話会
2018年6月29日 上智大学にて

「量子論と代数— 思考と表現の進化論」 の論点

谷村 省吾

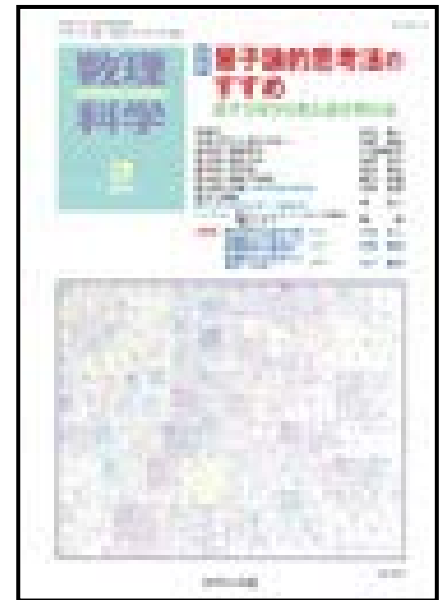
名古屋大学 大学院 情報学研究科

講演中に受けた質問・指摘を反映して講演後にこの色の文字で追記しました。

どんな記事か？

- [数理科学2018年3月号](#)，特集テーマ「量子論的思考法のすすめ」（なんじゃそりゃ？）
- 当初，私に振られたお題は「量子論と数学」。
- それではバランスが悪いので，「量子論と代数」と題して，数学的方法が物理学で役に立つのはなぜだろうと考えるところを延々と述べて，最後に代数的量子論の話をちょっと書いた。

[\(補足解説もネットに公開されています\)](#)



自然科学とは

自然物の諸々の存在様式と現象を記述し，現象を予測する規則の体系，もしくはそのような体系を作る営みである。

私の言葉づかいでは，実在・現象・感覚・知覚・表象などを厳密に使い分けていない。例えば，上の言明は，より厳密には「自然界に生じる諸々の現象が我々の感覚器を通して我々の心に内に引き起こすところの諸々の表象同士の関係・秩序・規則を自然科学は記述する」とでも言うべきなのかもしれない。しかし，この世界は，人間が知覚・表象していない現象であふれているようであり，いちいち人間が知覚していない現象の秩序をも自然科学は述べているように思われるので，上のような表現でも間違っていないと私は思う。

物理学は

自然科学の中でも，なるべく多くの対象に共通な規則・秩序を見い出すことを目指す分野．

- 普遍性・再現可能性を重んじる．
- 定量的表記・測定が要る．
- 共通の法則によって多様な現象を説明・予測する．
- 演繹推論と物理量の関係式で理論構築．

数学は

諸々の命題が関係し合って出来上がる
理論体系.

- 命題間の演繹・含意関係が重要
- 言葉の世界の学問
- 書き言葉に依存（確実な推論・記録・運搬・再生に便利）
- 脱意味化された記号・形式論

数学は自然科学から離脱している

- 数学そのものは自然科学ではない。
- 数学は現実世界との接点を必要としていない。
- 数学は物理法則にも制約されない。
- 一つの数学理論の中で矛盾が起きないことが肝心。
- 両立しない複数の数学理論があってもかまわない (ユークリッド幾何学と非ユークリッド幾何学, アルキメデス数論と非アルキメデス数論など)

自然科学と数学

- 自然科学の理論は複数あっても、互いに矛盾してはいけない、とされている。
(例：生物学は物理学や化学と矛盾しない。
統計力学は熱力学と矛盾しない)
- 数学は他学問から独立しているのに
どうして自然科学で数学が役に立つ
のか？
- なぜ物理学は数学なしにやっていけないほど数学に依存しているのか？

こういう疑問は多くの科学者が抱いている。
ポアンカレ、ウィグナー、ファインマンなど

ウィグナーの論考

- The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences
(1959年の講演)
- 物理学では推論・計算をするために数学が便利だというだけでなく、前提となる物理法則からして数学の言葉で言い表される。そのように世界ができていることが不思議だ。物理学に適した数学を人類が創造していたことも不思議だ。

不合理！？

- ウィグナーの感じ方：数学の方法がうまくいきすぎていて怖い！
- 畏怖の念.
- うまくいっていることはやってみれば実感できるが、うまくいく必然性・理由がわからない.
- つまり、数学の成功は不合理だ.

それって素朴すぎませんか？

- ウィグナーの感覚は、「創造論」, 「インテリジエント・デザイン」 (進化論に対するアンチテーゼ) に通ずる.
- 「複雑で精巧な機構を持つ生物体が、偶然まかせの突然変異と自然淘汰で生じたと考えるのは、不合理だ！合理的なシステムは、合理的な創造主によってのみ造られたはずだ」という考えかた.

生物進化の4条件

ドーキンスが書いていたことを私なりに
にまとめるとこうなる：

1. 自己複製子
2. 発現
3. 突然変異
4. 淘汰

1. 自己複製子

- DNA, 塩基配列コード A, T, G, C
- 複製
- 細胞分裂・増殖
- 子孫・世代のくりかえし

2. 発現

- DNA → RNA → アミノ酸 → たんぱく質・酵素 → 化学反応 → 生体構造・生理反応 → 行動
- DNA はたんなるコピー文書ではなく、分子機械たる生体を組み立てるレシピであり、分子機械を動かすプログラムでもある。

3. 突然変異

- 遺伝子のコピーは完全ではなく、エラーを生じることがある。
- 性生殖では、遺伝子のセットの組み換えを行う。
- 親とは異なる遺伝子セットを子が持つ。

4. 淘汰

- 個体の形態・行動様式・他の個体や環境からの影響などにより、個体の生存率・繁殖の成功率が上下する。
- 遺伝子は、たんに複製されるだけでなく、発現し、淘汰される（環境と相互作用する）ことによって、自分のコピー生産率に責任を負う。
- 適応的な遺伝子セットを持った個体が数を増す。

人類の特性

- 眼と耳，手足，発声
- さまざまな感覚刺激を関連付けて記憶する能力。
- 言語能力。
- 想像力：眼前にないもの，現実にはないものを自覚的に想像する力。
- 家族と群れ，育児，教育，伝統，文化（DNA以外の“遺伝”経路を持つ）

人類史上 3 つの革命

ユヴァル=ハラリ「サピエンス全史」

1. **認知革命**：現実にはないものを想像し，伝達し，共有する能力を得た．神・貨幣・国家などの共同幻想を可能にした．
2. **農業革命**：他の生物を作物化・家畜化することによって食糧増産・安定確保し，人口増大と食糧探し以外の活動を可能にした．

人類史上 3 つの革命

ユヴァル=ハラリ「サピエンス全史」

3. **科学革命**：知らないことがあることを自覚し、知識を増やせること、知識を有利に使える（できなかつたことができるようになる）ことを知った。

ミーム meme

- 人から人に伝達され、記憶され、人の行動パターンを変えるようなアイデアのこと
(例「納豆ダイエット」, 「バナナダイエット」)
- 人の脳に宿り、模倣されるアイデア.
- ドーキンスによる発案・命名.
パントマイムの mime のもじり.
- ミームも自己複製子であり、発現・突然変異・淘汰の対象。ゆえに進化する.

数学も物理学もミーム群

- 誰かが考え出し、人の手が加えられ、人から人に伝えられるアイデアのセット。
- それを使うと何かの役に立つようなアイデアが広まりやすい。

(ダイエットに絡めれば、流行る。量子ダイエット、ヒッグスダイエット、…)

数学も物理学も三ーム群

- 自然科学がうまくいっているのは、それがこの世界に適応しているから。
- 適応していないアイデアは棄却され、忘れられる。
- 数学の概念・言葉が物理法則の記述に適していることに気づいた人がいて、みんながそれをまねするようになった（ニュートンもまねした）。

ガリレオやケプラーもなるべく一般的な法則性を数学的に表現することを心がけたが、ニュートンは、明確にユークリッド原論のスタイル（定義・公理・定理・証明の列挙）にならって物理理論を演繹的に構築することを創めたという点において特筆される。

成功は不合理なのか？

- 数学の言葉で書かれた物理理論が必ず成功したわけではない
- 実験と合わない，無理がある，もっと良い理論が現れた，といった理由から棄却され忘却された物理理論は珍しくない．科学史には失敗理論の屍がごろごろしている

(熱素説，エーテル理論，原子の渦モデル，原子否定論，SU(5)GUTなど)

生き残ったのにはわけがある

- たくさんのアイデアが生まれて、うまくいかなかったものは引き継がれずに消えていき、うまくいったアイデアは改良を加えられる。
- 結果的に素晴らしいものが生き残る。
- 生き残ったものだけを見てみると、奇跡が起きたように見える。
- 「不合理だ、奇跡だ」と思ってしまうのは、了見が狭すぎる。

自然科学で使われない数学

- 数学の全分野・すべての概念が、物理学・自然科学で使われているわけではない。
- どうして人はそのような「使うあてのない」数学分野をも創るのか？

使われるあてのない数学の代表例として私は整数論を挙げた。現代では暗号などに整数論の知識が使われているが、整数論の大部分は、現実的な応用の動機があって研究されているようには見えない。もっともガウスなどの時代では数学と物理学が未分化で、整数論の研究をする人が物理の研究もすることはあったであろう。ここで言いたいことは、数学の一つの分野が、数学外の利用目的なしに建設されることがある、ということである。

数学が創られる理由

- 人間は、眼前にないものを想像し、想像の世界の中で概念を操作することができる。
- そのような概念操作によって創られたストーリーが噛み合うことを人は喜ぶ。

想像力は生存に有利

- A) 目の前の出来事のみ思考を縛られている生物
- B) 眼前にないものをも想像し、頭の中で概念を組み立てて言語化し、他者に伝達できる生物
- どちらが生存・繁殖に有利か？
- Bの方が、未来のことを考えて、計画を立てて、仲間と協力して行動できる。生存に有利。

なぜそれが嬉しいのか？

- 想像の世界だけで概念操作して筋の通ったストーリーが出来上がることが、なぜ嬉しいのか？
- 外界の情報から首尾一貫したストーリーを構成できれば、将来に起こることも予測しやすく、安全に生き延びることができる。合点が行くことは「快」と評価される。「快」は「いいぞ、もっとやれ」という信号。

フィードバック

- 人間は「ストーリー構成」モジュールと、「首尾一貫していたら快と評価する」モジュールを持っている。
- 当座、使うあてのない数学も喜んで創り、操る。
- ポジティブフィードバックなので、暴走する。

現実的には無用の目的（自分の楽しみだけ）のために想像力（と労力・資源）を使うのは、数学だけでなく、エンターテインメントの多くがそうであろう。演劇・映画（とくにホラー映画）・小説・落語など、作り話を観たり読んだりして楽しむのは人間の特徴である。和算の算額奉納（とくに日本海側で盛んだったらしい）も「楽しみ」の一つであつたらう。

最後に残る疑問

- 自然界に、数学的記述を許容するような、規則性・秩序があるのはなぜか？
- なぜ自然界は気まぐれ・ランダムではないのか？

アインシュタインの言葉：「この世界で最も理解しがたいことは、この世界が理解できるということだ」, The most incomprehensible thing about the world is that it is comprehensible.

疑問に対する私の答え

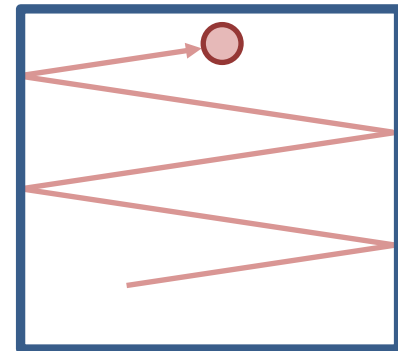
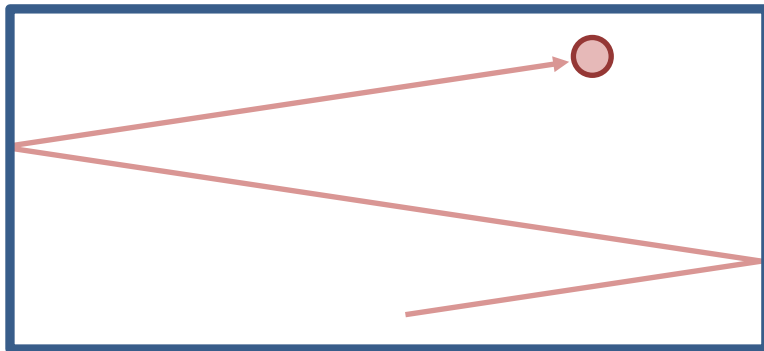
- 自然界に規則性・秩序があったのはラッキーだったとしか言いようがない。
- もしも自然界が規則性のない世界だったら、そもそも太陽・惑星・生物など現れなかっただろう。

そういう疑問は答えるべき疑問か？

- 「規則性のない世界，数学的に記述できない世界」を想像して，「どうして我々の世界は秩序のある世界になったのか，合理的な説明がほしい」と言うことはできるが，もはや想像力のむだづかい。
- 「合理的説明」は，この世界の中のことについて求めるべきであり，メタレベルで求めるべきことではない。

説明とは何か？(1)

- なぜ空気を圧縮すると圧力が高くなるの？
- 空気の分子が単位時間あたりに壁に当たる回数が多くなるからだよ
(正体つきとめ型・要素還元型・モデル型の説明)



説明とは何か？(2)

- なぜキリンの首は長いのか？
- 高い樹木の葉を食べられるように首が長くなったんだよ
(目的論的説明, 間違い)
- 突然変異によって首の短い種と首の長い種が現れて, 首の長い種の方がより多くの子孫を残せたんだよ
(進化論的・歴史的説明)

説明とは何か？(3)

- **なぜ殺したの？**

(そういう質問に意味があるのか？何のために答えるのか？)

「殺す」か「殺さない」か選べる立場にあった人がなぜ「殺す」の方を選んだのかを尋ねている。意図・選択の余地・あらかじめ知っていたことなどによって「殺人事件」になったり「事故」になったりする。一酸化炭素中毒など)

- **貸した金を返してくれなかったから**

(でも殺したら返してくれるわけではないよね)

- **死亡保険を掛けて殺した**

(それなら納得。この世界の中の可能性と関係性で理解できる)

説明とは何か？(4)

- なぜこの世界は数学的物理法則の記述が可能であるようにできているの？

(そういう質問に意味があるのか？ そうでない世界を選べたのか？
正体つきとめ・要素還元・歴史・目的に帰着できる性質なのか？
この世界の中で答えが出せる問いではない。 人類の想像力・問題提起力がここまで達したことは驚くべきことだが、想像力のむだづかいに達している)

まとめ

- 数学も物理学も人類の適応の産物である。
- ミーム群である。
- 想像力と現実世界適応能力と首尾一貫性をよしとする本能の産物である。
- うまくいったものが生き残り，改良を重ねられ，結果的に奇跡のように素晴らしい理論が出来上がった（量子論もその一つ）
- そういう世界のありよう自体を疑い，説明を求めることには，意味がない。

一区切り

以上で私が準備してきた話は終わりです。