

# 学生の主体的活動を量子論から考える

田 上 正 範

## Students' Self-Activities: Analyzed from the viewpoint of Quantum Theory

Masanori TAGAMI

【キーワード】 量子論、量子力学、エンタングルメント、主体性、学生スタッフ、学生企画

### 要 約

近年、量子論が飛躍的に発展している。しかし、量子論には、「観測が対象に影響を与える」という、長年の矛盾（パラドックス）があった。他方で、人が成長する場面では、人（観測）が人（対象）に影響を与える事象を実感する人は少ない。本稿は、人が成長する教育の領域において、量子論の展開の可能性を示唆するものである。

### 1. 量子論とは

量子論とは、プランク（1900）の量子仮説に始まり、この世の最小単位である量子の特性を理論化したものである。その代表的な考え方として、放射エネルギーが連続的な値ではなく、離散的な値しかとらないこと（量子化）や、光子は波と粒子の二重の特性をもつこと、位置と運動量を同時に決めることができない不確定さをもつこと（不確定性原理）などが挙げられる。

しかし、ここで大きな指摘がなされた。今、「粒子AとBは、ひとつの粒子の崩壊によって作り出されたものとし、粒子AおよびBは、それぞれ状態aと状態bをとることができるものとする。ここで、状態aと状態bは同時には起こりえない、とする。従って、粒子Aが状態aの場合、粒子Bは状態bとなり、粒子Aが状態bの場合、粒子Bは状態aとなる。つまり、粒子Aを観測すれば、粒子Bの状態が確定するのである。遠く離れたAとBなのに、Aの位置を測定するか、運動量を測定するかを選択がBに影響するのはおかしいとして、Bの存在が、

A の存在に依存するのはパラドックス」<sup>1</sup> という矛盾である。

この量子論の矛盾（パラドックス）を訴え、観測されていない隠れた変数が未だあり、量子論は不完全であると主張したのが EPR 論文（アインシュタイン、ポドルスキー、ローゼン 1935）である。その後 30 年あまり経過し、ベル（1964）が「隠れた変数」理論を想定し、測定値の相関の大きさが満たすべき不等式（ベルの不等式）を発表した。そして、ベルの不等式を検証する実験が進められたが、アスペ（1982）はベルの不等式が成立しない実験に成功した。

ここで、A の運動量を測定すれば、同時に B の位置が決まるような、粒子 A と B のペアの関係性をエンタングルメントと称する。つまり、このエンタングルメントを実験的に確認することができれば、矛盾の解明につながる。そこで、ワインランド（1995～2008）とアロシユ（1996～2007）は、エンタングルメントの実験に取り組み、その観測に成功した。この功績は、2012 年にノーベル物理学賞の受賞をもたらした。

量子論の研究はさらに進化している。エンタングルメントされた粒子は、A の測定によって、離れた B の状態が瞬時に決まることから、テレポテーションと称され、テレポテーションの距離（A と B の距離）を拡張する実験の他、量子コンピューターや量子インターネットへの応用など、図 2 のような様々な領域に展開し、研究が飛躍的に発展している状況にある。

- 1900 量子仮説（プランク）
- 1905 光電効果（アインシュタイン）
- 1926 波動方程式（シュレディンガー）
- 1927 不確定性原理（ハイゼンベルグ）
- 1933 量子力学でノーベル物理学賞  
（ハイゼンベルグ、シュレディンガー、ディラック）
- 1935 EPR 論文（アインシュタイン、ポドルスキー、ローゼン）  
シュレディンガーの猫議論（シュレディンガー）
- 1964 ベルの不等式（ベル）
- 1969 ベルの提案を実験可能な形へ（クラウザー、ホーン、シモニー、ホルト）
- 1972 ベルの不等式の検証実験に初挑戦（クラウザー）
- 1982 ベルの不等式が不成立の実験（アスペ）
- 1995～2008 エンタングルメントの実験（ワインランド）
- 1996～2007 エンタングルメントの実験（アロシユ）
- 2012 エンタングルメントでノーベル物理学賞（ワインランド、アロシユ）
- 2009 量子テレポテーション（モンローら）、距離 1m
- 2012 欧州、中国グループがテレポテーション距離 140km
- 2016 中国、1 万 km に挑戦するための人工衛星を打上げる

図 1 量子力学の進展

引用「佐藤文隆先生の量子論」佐藤文隆，講談社，pp.34-35, 54-60, 2017  
抜粋して一部改変

1 物理学喫茶室（富士和之）「なにはさておき量子論 V2.1」 [http://www1.odn.ne.jp/~cew99250/html/C\\_7.html](http://www1.odn.ne.jp/~cew99250/html/C_7.html) より抜粋

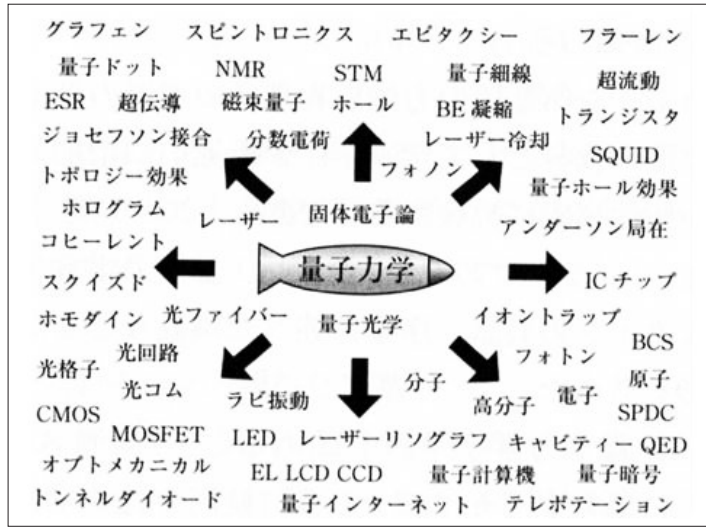


図2 量子力学の展開

引用「佐藤文隆先生の量子論」佐藤文隆，講談社，P55, 2017

ここで、1つの疑問が生じる。「観測が対象に影響を与える」「Bの存在が、Aの存在に依存する」という事象は、量子論では長年の矛盾とされてきた。しかし、他方で、人が成長する場面においては、例えば、スポーツ選手が応援によって力を取り戻したり、学校行事等の集団活動においても、教師やクラスメイトの存在によって、困難と感じていたことを乗り越えたりすることがある。このような経験をする人は少なくないだろう。

人（観測）が人（対象）に影響を与える事象は、量子論では矛盾とされていたが、人が成長する教育の領域では、多くの人々が実感していることといえる。そこで、この相反するような現象を契機ととらえ、新たな研究領域に展開できないだろうかという想いが浮かんだ。このような発想を抱き、次に、量子論を新しい研究領域に展開した先行事例として、量子生物学へと続く。

## 2. 量子生物学とは

量子生物学は、量子力学を使って、生命現象の謎を解明するものである。例えば、渡り鳥がどのようにして目的地までの生き方を知るのか、サケやウミガメがなぜ生まれた場所に戻るることができるのか、これまでの生物学では解けなかった様々な謎が明かされてきている。

渡り鳥であるコマドリを例に挙げる。「コマドリがどの方向へどれだけ遠くまで飛べばいいのかを知るために使うメカニズムは、両親から受け継いだDNAにコードされている。（中略）問題は地磁気がきわめて弱いこと。（中略）動物が地磁気を感知するには、体内のどこかで起きる化学反応がそれに影響を受けなければならない。（中略）しかし、細胞のなかの分子と地

磁気との相互作用によってもたらされるエネルギーの量は、化学結合を切ったり作ったりするのに必要なエネルギーの10億分の1にも満たない<sup>2</sup>のである。つまり、コンパスの役割を果たす磁気をどうやって感知するのか、謎となる。この謎を解明したのが、量子エンタングルメント（量子もつれ）と量子の重ね合わせの2つの概念の組み合わせである。量子の重ね合わせ状態とは、『1個の電子が「上向きスピン」と「下向きスピン」の両方向のスピンを同時に持つことができる状態を指す。但し、スピンの向きは確定していないが、量子もつれ状態にあるため、ペアとなる電子どうしは影響を受ける。測定するまでは、どちらの電子も決まったスピンの方向を取っていないが、どちらか一方の電子を測定すると、その状態が決まるため、相手側の状態も決まる。つまり、測定によって、上向きと下向きの重ね合わせの状態から、上向きまたは下向きという確定した状態へ変化するのである』<sup>3</sup>。次に、ごく小さなエネルギーに反応するためには、この系がきわめて微妙なバランスを取っていなければならない。「今、大きなブロックがあったとする。このブロックがうまくバランスをとって安定している場合は左右に倒すことは難しい。しかし、このブロックが不安定で、左右にシーソー状態になっているとしたら、ごくわずかの力で、大きなブロックを右または左に倒することができるのである」<sup>4</sup>。

では、このような、ごくわずかなエネルギーを感知するような系が、生体の中に存在するのであるか。「1998年、動物の目のなかにクリプトクロムという光受容体が発見され、シュルテンら（2000）が、クリプトクロムによって鳥の目が量子コンパスとして作用するしくみを説明した（2004年、学術雑誌「ネイチャー」で発表された）」<sup>5</sup>のである。クリプトクロムとは、遊離基（フリーラジカル）のペアを生成する能力を持つたんぱく質である。遊離基とは、通常の電子が2つの対でペアとなって安定している状態に対し、その電子が1つしかない不對電子をもつ原子や分子のことを指す。電子が足りないため不安定で、反応しやすいことが特徴である。「原子どうしの結合は電子のペアを共有することで作られる。その電子のペアは必ず量子もつれ状態にあり、しかもほぼ必ず一重項状態（互いに反対向きのスピンをもつ状態）にある。しかし、その二個の電子は、原子間の結合が切れたあとでも互いにもつれ状態を保つことができる。その切り離された原子である遊離基が持っている電子のスピンが反転する可能性がある。そのため、もはや互いに別々の原子のなかにあるその量子もつれ状態の電子のペアは、一重項状態と三重項状態（互いに同じ向きのスピンをもつ状態）の重ね合わせ状態になる。（中略）遊

2 「量子力学で生命の謎を解く」J. アル-カーリーリ, J. マクファデン, SBクリエイティブ, pp.3-4, 2015

3 「量子力学で生命の謎を解く」J. アル-カーリーリ, J. マクファデン, SBクリエイティブ, pp.209-210 抜粋して改変, 2015

4 「量子力学で生命の謎を解く」J. アル-カーリーリ, J. マクファデン, SBクリエイティブ, pp.211-212 抜粋して改変, 2015

5 「量子力学で生命の謎を解く」J. アル-カーリーリ, J. マクファデン, SBクリエイティブ, pp.19-21 抜粋して改変, 2015

離基のペアは普通きわめて不安定なため、それらが持っている電子どうしが再結合して化学反応が起き、生成物が生じることが多い。しかしその生成物の詳細な化学的性質は、この一重項状態と三重項状態のバランスによって変わり、磁場の影響を受ける。地磁気のような弱い磁場が作用しただけで、一重項か三重項かを定める影響を受け、反応生成物が変わってくるのである」<sup>6</sup>。これが、きわめて弱い磁場を感知し、鳥がコンパスの機能をもつメカニズムである。

さらに、この地磁気を感知する機能が人にもあることを、2019年3月、東京大と米カリフォルニア工科大などの共同研究チームが発表した<sup>7</sup>。一方、人が発する磁場として、脳が挙げられる。脳にある神経細胞（ニューロン）が微弱な電気信号を発しているため、微弱な磁場も作り出すと考えられるからである。また、体の中で最も大きな磁場を作り出すのは心臓であるといった報告<sup>8</sup>もある。つまり、人体には、磁場を感知する機能と磁場を発生させる機能があると考えられる。

このように、量子論の生体系への展開は、これまで未解決だった謎を解き明かす契機となっている。まだ未解明なところは多分にあったとしても、人への展開は、人がもつ未解明の感知能力を説明する可能性を秘めるといえる。人の気持ちを察したり、共感したりする、五感以外で感知する第六感といった感知能力のメカニズムである。次に、人への展開として、人が成長する教育の領域を挙げ、対象を大学生（以下、学生）に限定して考えたい。但し、人が微弱な磁場を発生したり、感知したりする機能をもつことを前提とし、人が人に影響を与えるような場面の特定を試みることにについて述べる。

### 3. 学生の主体的活動

人が人に影響を与える事象として、学生が主体的・能動的に取り組む活動が挙げられる。学生の主体的活動の特徴の1つとして、主体的な活動が参加者に伝染することが挙げられる。主体的に取り組む学生を見て、その参加者である学生が、今度は自分が主体的に取り組もうとする事象である。人の内面を測定することは難しいが、人の行動は確認することができる。そこで、学生の主体的活動が参加者に与える影響について考えてみる。

行動には動機づけが必要である。「動機づけとは行動を喚起し、方向づけ、持続させる心的エネルギーであり、行動の生起を説明するために仮定された心的概念である。動機づけには、

---

6 「量子力学で生命の謎を解く」J. アル-カーリー、J. マクファデン、SBクリエイティブ、pp.212-213、2015

7 東京大学プレスリリース「多くのヒトは地磁気に対する感受性を潜在意識下で未だに有している」(2019.03.19)、<https://www.u-tokyo.ac.jp/content/400111625.pdf>

8 “The Energetic Heart: GCI Edition”, Institute of HeartMath, 2003  
<https://www.heartmath.org/assets/uploads/2015/02/the-energetic-heart-gci-edition.pdf>

行動喚起、目標に向けた行動の方向づけ、目標達成までの行動持続という3つの機能がある。(中略) これまで動機づけに関する研究は大きく3つに分けて行われてきた。生物的動機、内発的動機、社会的動機である。(中略) 生物的動機は、酸素、水、栄養、体温維持などの生理的的必要(欲求)、また攻撃・防御、種の維持などを目的とする生物的必要(欲求)によって生じる。(中略) マズロー(1943)は、人は単に必要を満たしただけでは、その状態に安住できる存在ではない。そこからさらにより一層の成長をめざそうとする存在であると論じた。(中略) 生理的的必要が満たされると安全・防御の必要が生じてくる。生理的的必要と安全・防御の必要が満たされると、愛と所属性の必要が生じてくる。これら3つの必要が満たされると自尊・承認の必要が生じてくる。これは単に、自らに対して敬意、尊敬の念をもつという側面だけでなく、他者からの敬意、尊敬も得たいという側面をあわせもっている。いうならば単なる自信家ではなく、周りの人からも賞賛され、真からの敬意が払われる存在でありたいというものである。しかしながら、これら4つの必要が満たされても人はさらなる必要を感じ始める。それが自己実現の必要である。(中略) “究極の幸せを得たいと思う限り、作曲家は音楽を作り続け、画家は絵を描き続け、詩人は詩を書き続けなければならない。こうあるべきだという気持ちがある以上、人はそこへ向かわざるを得ない。この必要のことを自己実現の必要とよぶ。”<sup>9</sup>

ここで、人が人に影響を与えるような、学生の成長の場面を考えた場合、生理的的必要と安全・防御の必要は満たされた状態と仮定される。生理的的必要は本能的な欲求であり、安全・防御の



図3 マズローによる必要の階層

引用「動機づけと情動」今田純雄・北口勝也、培風館、P8、2015

9 「動機づけと情動」今田純雄・北口勝也、培風館、pp.4-9、2015.

必要は生活上の最低限の欲求と考えられるからである。また、愛と所属性の必要は、孤独や不安を感じて集団に所属したいといった欲求であり、自尊・承認の必要は、人から認められたいといった承認の欲求であるため、人が人に影響を与える要因があると考えられる。そして、自己実現の必要は、これら4つの必要が満たされた後の段階であるため、多くの学生においては、大学で成長した後の、卒業後に期待される欲求であるといえる。つまり、在学中の影響は小さいものと考えられる。そこで、人が人に影響を与える学生の成長の場面として、愛と所属性の必要と自尊・承認の必要から、以下の活動を挙げる。

愛と所属性の必要 →学生スタッフ

自尊・承認の必要 →学生企画型ワークショップ

学生スタッフとは、当該授業の履修経験のある学生が、授業の学習を支援するアシスタントとなり、グループワークのファシリテーションやプレゼンテーションのモデル的な例示、専門知識や技術を要しない質疑等にに対応する学生である。授業内では、教員の指示通りに動くのではなく、受講生に合わせて、自ら考えて行動する。また、学生企画型ワークショップとは、学生が企画から募集、運営までのすべてを主体的に行うワークショップである。参加費や報酬はなく、主催者の自己研磨や自負、参加者の感謝等で成り立っている。

本稿では、人が微弱な磁場を発生したり、感知したりする機能をもつことを前提としている。スピンの向きは、外部磁場によって影響を受ける。外部磁場の向きが揃うとその力が大きくなり、影響も与えやすくなる。人が作り出す磁場の向きが揃う場面とは、人が同じような感覚にある状態と憶測される。つまり、共感して心が同調している状態と考えられる。その同調は、瞬間的であり、直感的な場合が多いと考えると、やってみたいと思う瞬間が測定ポイントとなる。主体的に取り組む学生をモデリングし、同じような言動をやってみたいと思う瞬間である。但し、場面には、進路など、将来への影響の度合いが大きいような意思決定の場面もある。この場合、過去の経験や関連情報などを伴うことが多くなるため、観測も複雑になると考えられる。そのため、場面を特定するためには、やってみたいという直感的な場面に焦点をあてた方がよいと考えられる。今後、学生スタッフや学生企画型ワークショップの場面において、やってみたいと思う瞬間を抽出するような実証を行う予定である。

なお、動機づけには、図4のように、さまざまな理論がある。マズローによる必要の階層は、心理学だけでなく、経営学など多方面で引用されていることから、複合の領域で理解が図りやすいと考えたため、基準として利用した。今後、必要に応じて見直す。

理論(原語)	提唱者
期待価値理論(expectancy x value theory)	アトキンソン(Atkinson, 1964)
達成動機の帰属理論(attributional theory of achievement motivation)	ワイナー(Weiner, 1972)
認知的不協和理論(cognitive dissonance theory)	フェスティンガー(Festinger, 1957)
エフェクタンス理論(effectance motivation)	ホホワイト(White, 1959)
フロー理論(flow theory)	チクセントミハイ(Csikdsentmihalyi, 1975)
内発的動機づけ(intrinsic motivation)	デシ(Deci, 1975)
目標設定理論(goal-setting theory)	ロック(Locke, 1968)
学習性無力感(learned helplessness theory)	セリグマン(Seligman, 1975)
リアクタンス*(reactance theory)	ブレム(Brehm, 1966)
自己効力感(self-efficacy theory)	バンデューラ(Bandura, 1977)
自己スキーマ(self-schemas)	マークス(Markus, 1977)
親和動機(affiliation motive)	マレー(Murray, 1954)

\*) リアクタンスとは「失われた自由を回復しようとする、または失われそうな自由を確保しようとする動機づけ状態」と定義される。

図4 さまざまな動機づけ理論

引用「動機づけと情動」今田純雄・北口勝也, 培風館, P11, 2015

以上



田 上 正 範

< **Abstract** >

In recent years, quantum theory has developed dramatically, however, quantum theory has been a paradox for a long time because of how “ observation affects the object ”. On the other hand, in situations where people grow up, we often see events that affect people. Therefore, this paper examines the possibility of developing quantum theory for education, specifically, Student’s Self-Activities.