

2005年度第2回物学研究会レポート

「現代物理学が示唆するSF的世界観と科学の未来」

竹内 薫氏

(サイエンスライター、作家)

2005年5月17日



BUTSURIKAKU
物学研究会
SOCIETY OF RESEARCH & DESIGN

アインシュタインが「相対性理論」を発表して、今年がちょうど100年目にあたります。この相対性理論が20世紀から今日に至る科学技術などの物質世界、哲学やモノの見方などの精神世界に与えた影響は計り知れないものがあります。

2005年5月の物学研究会は、講師にサイエンスライターの竹内薫氏をお招きしました。竹内さんは著書の中で「物の理を学問する物理学の最先端では『モノ』という概念が消えて『コト』だらけ、つまり物理学がSF化、虚構化しつつある」と記しています。……ということで、今回は科学哲学という視点から、現代物理学が示唆する世界観、そしてこれからの科学技術のあり方についてご講演いただきます。以下はそのサマリーです。

「現代物理学が示唆するSF的世界観と科学の未来」

竹内 薫氏

(サイエンスライター、作家)



; 竹内 薫氏

SF化する物理学

竹内と申します。今日は物理学の最先端をお話させていただきますが、その基調は「現代の物理学は、モノからコトへ、そしてSF化、虚構化してきている」ということになるとおもいます。そもそも物理学は物の理を探求する学問です。それがSF化、虚構化しているというのはどういう意味なのか、意外な印象をもたれるのは当然だと思います。

その端緒となったのが1905年にアルバート・アインシュタインが発表した「相対性理論」であり、やはり同じ年に彼が口火を切った量子論です。特に前者は「モノとモノの関係性を相対化して考える」という画期的なもので、一大科学革命を引き起こし現代に至っています。そして2000年前後を境にその理論はさら抽象化に向かっているのです。

このように本日は意味・概念的な変革がテーマなので、かなりヘビーな話になりそうです。けれども「虚構的な出来事」は物理学の世界に限らず、私たちの日常生活の中にもいくらでもあるのです。

例えば、昨日ニュースになっていましたが、100億円のお給料をもらったというサラリーマン。あるいは何千億円もの大金が動く企業買収の世界。さらには裁判における冤罪など。このような話は、私たちにとっては本当だという「実感」がありません。まさに虚構の世界と言えるでしょう。しかしながら、虚構の世界にも共通点はあるのです。それは、何らかのネットワークや関係性を持っているということ。逆の言い方をすれば、モノや人間が単体で居るだけでは虚構は存在しないのです。網目のように広がった関係性　そこから全ての虚構が生まれてくるのです。

さて、本日の話には3つのステップがあります。第一が「量子論と量子の世界」、第二が「相対性理論と時空の世界」、そして第三が「スピンネットワークと量子重力の世界」ということになります。

物理学において、モノからコトへ、いいかえるとSF化、虚構化に変わっていく取っ掛かりになったのが「量子論と量子の世界」です。まずは、ここから始めたいと思います。

モノからコトへ、量子の世界

・そもそも「モノの世界」とは

まず「モノの世界」から始めます。

普通「モノ」と言えば、例えば私が手に持っているコップのように、大きさ、重さ、硬さ、色や質感を持ち、移動させたり動かすことのできるモノを言います。これはニュートン力学的世界観における物質の捉え方であり、私たちが日常生活の中で普通に考えるモノであります。「モノの世界」においては、物質はアナログ的性格を持っていると考えられます。アナログとは「連続的に変化する」ということです。ステレオの音量を徐々にあげていったり、独楽(こま)が少しずつ回転を遅くしていったりしますね？あれがアナログです。「モノの世界＝アナログの世界」と言うことができます。

・量子の世界

さて、「量子の世界」です。

今から100年ほど前、1900年頃の話ですが、物理学では大きな革命がありました。つまりモノの概念が、先ほどお話ししたコップとか水といったアナログ的な捉え方から、分子、原子、量子へと徐々にその姿を変えていったのです。この量子論の発展に貢献したのが、プランク、アインシュタイン、ボーム、ドゥブロイ、ハイゼンベルク、シュレーディンガーといった人たちでした。そして意外な事実ですが、アインシュタインは「相対性理論」ではなく「量子論」で1921年のノーベル賞を受賞しています。このように、量子力学には非常に大勢の人間がその建設に関わり、日本人でも湯川秀樹博士、朝永振一郎博士などが大きな貢献をしています。

・量子の特徴

では、「量子」と「モノ」は一体どう違うのでしょうか。

量子とは分子レベルよりも小さい原子、電子、陽子、中性子、クォークなど素粒子の集合体を指しているとお考えください。量子は英語ではQuantumと言います。意味はデジタルなモノの最小単位と

ということです。

量子とモノの違いはたくさんありますが、第一に、モノの世界がアナログであるのに対して、「量子の世界 = デジタル」ということ。どういうことかと言いますと、量子が持つエネルギーの量や回転（スピン）の速度はデジタル、つまり微調整できないのです。例えば、電子は自転していますが、それは固有のもので外界からの微調整は不可能なのです。

第二に、量子は不確定性原理に支配されること。たとえば、ある粒子の運動量と位置を同時に正確に知ることは、原理的に不可能なのです。あるいは粒子数なども不確定になります。

第三に、量子には「毛がない」ということができます。もともと個性豊かな頭髪をもっていた人はモノに近いのです。私のように毛が薄くなってきて、しまいにはツルツルになってしまったら、（ツルツルなので）頭髪の個性はなくなります。それと同じで、量子の世界は重さ、電荷、スピン、これだけしかない没個性の世界です。たとえば2つの電子が右と左から来て十字路でぶつかったら、「どっち」が右から来て、どっちが左から来たのかは誰にもわかりません。量子は没個性の奇妙な連中なのです。（「毛がない定理」というのはブラックホールの理論に出てくる物理用語です。素粒子は小さなブラックホールだと考えられます。）

最後に、量子の世界は垂直な二重構造になっているということです。「マトリックス」という映画をご覧になった方もいると思います。「マトリックス」で描かれていた世界は、コンピュータが作り出した仮想世界の上に、人間が生きる現実世界が乗っているという二重構造でした。量子の世界も同じだと考えられています。私たちが見ている現実世界は、量子が構成する可能性の世界の上に乗っているというわけです。数学的にはこの可能世界は虚数を含む複素数で記述されます。虚数を二乗して実数になるとそれは現実世界というわけです。私はこの二重構造を量子学における「垂直なコト化」と呼んでいます。つまり、量子の世界のようなマイクロな世界においては、モノの本質は「可能性の世界」であるということです。そして、私たちが自分では気づいていませんが、映画「マトリックス」の住人たちのように実は二重構造の世界に住んでいるということなのです。

モノからコトへ2 相対性理論の世界

・時間と空間

コト化の第2弾として、「時間と空間」の話に移りましょう。先ほどの量子の話はモノをどんどん細かく分解していったときに現れる究極的なモノの世界です。しかし私たちはモノだけの世界に住んでいるのではなく、モノの「入れ物」ともいえる時間と空間の中に居ます。この時空を支配している原理を最初に解明したのが、1905年にアインシュタインが表した「特殊相対性理論」でした。その後1915年にアインシュタインは「一般相対性理論」を発表し、この理論によって、重力までも取り込んだ宇宙全体の構造を基礎方程式で表すことに成功しました。その方程式の名前がアインシュタイン方程式というものです。広島と長崎に落ちた原爆や原子力発電の理論式も、この相対性理論が基であることは皆さんもご存知かと思います。

・軟らかいモノとしての時空

では「一般性相対性理論」で見た空間とはどんなものなのでしょうか？ 普通に私たちが思い描く

空間とは、空っぽの箱のような3次元世界です。けれどもそれを紙上に図示するときには2次元の平面にX、Y、Z軸を使って描きます。ニュートンの世界観は2次元上の滑らかな平面です。それに対してアインシュタインの世界観は歪んだ空間の世界です。例えば、今私が持っている薄いノートの上に重い鉄のボールを載せたとします。すると乗せた部分がボールの重みで少し撓（たわ）みます。アインシュタインの空間はこれと同じイメージで、重い物質が存在するとその部分が凹（へこ）んでしまうというものです。このようにアインシュタインの空間というのはゴムのように非常に軟らかく変形可能な存在です。そして彼は時間も同じであると考えました。1919年にイギリス人の物理学者アーサー・エディントン卿が中心となったチームによる天体観測の結果、この理論が実証されています。

・GPSによる検証

さて、アインシュタインの相対性理論といわれても、私たちにとってあまり馴染みが深くありません。ところが実際には（知らず知らずのうちに）深く密接に関わっているのです。例えば、最近の携帯電話にはGPS機能がかなり付いています。現在、地球の上空2万キロメートルには24個のGPS衛星が配置されて、それらは周回していて時計が搭載されています。一方、地球上にはグリニッジ標準時を刻む原子時計があります。ところがGPS衛星と地球の時計にはずれが生じてしまうのです。その理由は一般相対性理論によれば、重いものつまり重力が存在すると空間と時間にゆがみが生じるからです。上空2万キロメートルにあるGPS衛星の時計に比べると、地球には重力がある分だけ時空の歪みが生じて時計が遅れるというわけです。大きさは1日あたり10万分の4秒程度なのですが、このずれを相対性理論の数式を応用して修正しているわけです。日常生活をおくっている限りは大した誤差ではありません。しかし、軍事的な精度からみれば少しのズレは大問題です。例えば、GPSを使って目標地点にミサイルを落とすというとき、この微細なずれが数メートルの誤差を起こして大きな惨事を招いてしまう恐れがあるわけです。というわけで、GPS携帯をお持ちの方は、毎日、相対性理論の恩恵に浴しているということです。

・4次元の意味

先ほどから「時空」という言葉を使っていますが、では時空とは一体何でしょうか。空間は縦、横、高さの3つの方向があるということで3次元と呼んでいます。次元は「方向」とか「広がり」という意味です。0次元は点、1次元は線、2次元は平面、3次元は空間で、これに時間の次元を足すと4次元になります。けれどもこれを具体的に図にするのはなかなか困難です。表現の仕方はいくつかあって、典型的なモノとしては4次元立体（ハイパーキューブ）という名前がついた図がありますが、いきなり見せられても良く分かりません。これはある種のアナロジー（類推）といえるもので、つまり3次元的な見え方を4次元レベルに上げているにすぎません。実際問題として、4次元の時空を認識できるかどうかは疑問ですが、私たちが住んでいるこの世界は確かに4次元の時空なのです。しかし私たちは日常的に3次元である空間しか見ておらず、時間軸までは意識していない。だから時間と空間を分けて考えるのです。ところがアインシュタインは幾何学的な発想をする人でしたから、4次元立体のような図を頭で想像しながら、4次元時空（時間と空間を一緒にしたもの）を思い浮かべていたわけです。そして、3次元から4次元へと次元が1つ上がった瞬間に、物理学における「モノからコトへ」という大きな流れが始まったのです。

・相対性の意味

「相対性理論」の画期的なところは、人によって世界の「見え方」が違ってくる点です。譬えて言うならば、ニュートン的世界では、人は同じ速さで時刻を刻む時計と、縮尺や方位が同じ世界地図を持って旅していたのに対し、相対性理論の世界ではそれぞれ異なる速さで進む時計と、縮尺も方位も違った地図を持って旅している、という位のパラダイム変換です。

もう少し分かりやすく、ブラックホールに宇宙船が落ちてしまう現象を例に考えましょう。ブラックホールは、宇宙空間のある部分にもものすごい重力が集中してその重さで空間がどんどん凹んで、終いに底が抜けてぽっかり穴があいてしまった状態です。この穴の縁から、今まさに宇宙船が落ちていく状況を想像してみてください。実は、この縁には「事象の地平線」(=イベント・ホライゾン)という意味深長な名前がついています。そのココロは、「いったん地平線、境界線を越えてしまうと後戻りができない」。大滝にボートが飲み込まれる場面を思い浮かべてください。ボートがある限界点を越えて滝に近づいてしまうと、もはや自力では脱出できないという境界線です。同じようにブラックホールの周りには「事象の地平線」があり、それを越えて1歩でも足を踏み入れたら、どんなに巨大なエネルギー、例えば宇宙最速のロケットを使っても決して出て来られない。

一方、この状況を外から見てみるとどうなるか。例えば地球上から観測していると、なんと宇宙船が落ちこちているように見えません。遠くから見ると宇宙船は事象の地平線にどんどん近づきますが、近づくにつれてスローモーションになってゆきます。そして動きはどんどん遅くなって、最後には事象の地平線のところで止まったかのように見えます。理由は事象の地平線付近は、空間と時間の歪みが大きいため、時計の遅れは最大になり、最後は止まってしまうからです。時計が止まるということは「何も動かない」ということです。ですから、遠くからブラックホールを眺めていると、実際には宇宙船は落ちつつあるだけけれども、事象の地平線に張り付いたゴミのように止まって見えます。しかし一方で、落ちて行く宇宙船の人々はどう感じるかというと、彼らは限りなく落ちて行きます。時間も止まらない。でも、これでは納得できませんよね。外から見ている人が正しいのか、それとも落ちて行く乗組員の感じ方が正しいのか。ここには2つ全く違う世界観がありますから。

「相対性理論」とはまさにこのような2つの世界観が相対的だという主張です。言い換えると、どちらが正しいということはない。どちらも正しい見方だということです。これは理解し難い状況かもしれませんが、しかしこれが1905年あるいは1915年にアインシュタインが提出した2つの相対性理論における「相対性」の意味なのです。「本当」は消え、全てがコト化されていく。これが100年前に起きた思想革命です。しかし、この難解さが、「相対性理論」が一般に普及しない理由でもあります。抽象化されてコト化されて相対化されている……そういう価値観は、私たちの日常生活の経験からはちょっと理解できないものです。

・ルビンの壺

アインシュタインに前後する1921年頃、デンマークの心理学者が有名な「ルビンの壺」という図を発表しました。この図は白い部分に注目すると壺に見えますが、黒い部分は向き合った2つの顔に見えます。ワイングラスか2つの顔か、どちらが正しいのか。これは解釈の問題で、両方とも正しいわけです。つまり黒地と白地の2つの絵は相対的な関係であるといえます。これは心理学的にみた相対性理論と言えます。

興味深いことに1907年、芸術の世界ではパブロ・ピカソがキュビズムの発端となった『アビ

ニョンの娘たち』という絵を発表します。これは一枚の絵の中に複数の視点を持ち込んだという意味で、文化的構造は相対性理論と非常に似ています。このように20世紀初頭の10年ほどの間に、物理学、芸術、心理学などさまざまな分野において、同時発生的に同じような概念が出てきたというのは、今から100年ほど前に人間の文化が熟成してある臨界段階に到達し、一気にさらなる飛躍を遂げたのだと思います。

・相対性の意味

今申し上げたようなことを哲学では「間(かん)主観性」と言います。私たちは、科学には客観性が重要だというイメージが強いのですが、「相対性」とは実は主観的な世界です。それは極論すれば、各自が勝手に自分のやりたいようにやり、感じたいように感じるということです。間主観を英語では「インター・サブジェクティブ」と言いますが、相対性理論以降の世界を平たく言えば「主観と主観の間の時代」となります。

興味深いことに、「人間」という言葉は人と人之間と書きますが、それは人がネットワークを形成することを暗示しているようです。主観がたくさんあって、その間に関係性としてのネットワークが生まれる。先ほどのブラックホールの話に譬えるならば、宇宙船の人間と地球から眺めている人間の主観的な記述はなんら矛盾しないのです。重要なのはその矛盾を解きほぐす翻訳規則です。「吾輩は猫である」と「I am a cat」は外見は全く別の表現です。全く別という意味では矛盾しているといっているでしょう。ですが、翻訳規則さえ適用できれば表面的な矛盾はなくなります。同じ意味であることがわかります。同様に、物理学の世界において、このような矛盾を取り除く理論がアインシュタインの「相対性理論」なのです。

・ブラックホールとワームホール

本来、物理学という虚構とは正反対のイメージがありますが、最近の論文はかなり虚構化が進んでいます。1つの例が、物理学者、作家であった故カール・セーガン氏の原案を基に製作された『コンタクト』という映画です。これはジョディ・フォスターが演じた主人公が時空の移動装置に乗ってワームホールを行き来するというストーリーです。ワームホールとは「時空の虫食い穴」という意味で、宇宙から別の宇宙を繋ぐ穴であり、先のブラックホールとも深い関係を持っています。セーガンはこの本をまとめるときに親友の相対論学者のキップ・ソーンに、自分の考えの可能性があるかどうか物理学的な計算を依頼しています。そして映画完成後、キップ・ソーンはそれを基にして物理論文を書き、ワームホールの理論からタイムマシンの可能性を示唆して、大きな話題になりました。このように、現代社会ではSFから優れた物理論文が生まれるようになってきました。これが現実です。

・物理学のSF化

長い間、宇宙の誕生は、大きさのない「点」から始まって時間とともにどんどん成長していったと考えられていました。最初の瞬間が時空の始まりであり、キリスト教で言う「宇宙は神様がお造りになった」ということができるわけです。ところが、スティーヴン・ホーキングという人は、始まりの尖った点の部分に丸いキャップを嵌めてしまいました。数学的には虚時間、いいかえると虚数の時間を使うとそれが可能になるのです。ところがこれが大問題を引き起こしました。点が丸いキャップになってしまうと球面には特別な点を定めることができませんから、宇宙の始まりがなくなってしまう

というわけです。これでは、神様の出番はありません。当時の法王は「ホーキング君、君の理論は非常に素晴らしいが、これはやめたまえ」とおっしゃったとか……。これはホーキングが作った宇宙のシナリオであって、現実かもしれないし虚構かもしれない。この例でも分かるように、物理学は完全にSF化しているのです。

モノからコトへ3 すべてがつながっている

・ループ量子重力理論

「すべてがつながっている」とはどういうことか。最後は、相対性理論と量子論を融合させる試みであり、「ループ量子重力理論」という現代物理学の最先端の話です。これは、真にコト的、SF化された理論でもあります。なぜなら、ここでは物理学の基盤であった時空という概念さえも消してしまっただからです。

・スピネットワークとは

「ループ量子重力理論」は時空を仮定せず、「関係性 = ネットワーク」から時空概念を導き出すという画期的な物理理論です。さて、量子論のところでは量子はスピンしており、デジタルであるというお話をしました。ループ量子重力理論では、このスピンのつながりが「スピネットワーク」を形成します。インターネットの構造や脳の神経細胞と同じようなイメージです。このスピネットワークこそが時空が生まれる基と考えます。

これを「写真」で表現しようとする、グニャグニャで境界も分からない、所々で穴が開いているような、不連続で体積も面積も飛び飛びになり、まるで泡のように生成と消滅が繰り返される「時空の泡」になるでしょう。そして、分子から原子に、さらに電子というふうにとどんどん拡大していったときに、最終的に見えてくる構造がスピネットワークというわけです。ところがスピネットワークは実際には目に見えませんから、理論上、常に空間のトポロジー (= 形状) が変化している状況であり、その姿は私たちが今まで思い描いていた滑らかで安定的なものではもはやありません。

ここで重要なことは、スピネットワークが、時空を完全に消滅させてしまったことです。なぜなら、スピネットワークは時空や重力、量子を網羅する究極の「始まり」の概念だからです。スピネットワークの前に時(とき)はありません。スピネットワークを入れる空間もありません。話は逆で、最初にスピネットワークだけがあって、そこから時間とか空間という概念が紡ぎ出されてくるのです。

さきほど飛ばしてしまいましたが、このようなSF的な物理学の世界では非常に興味深い予言がでてきます。たとえばホーキングやその他の物理学者たちは、宇宙は一つだけではなくて、子ども宇宙、赤ちゃん宇宙がたくさん生まれて、宇宙は実はたくさんあるのではないかと考えています。そしてまた新しい赤ちゃん宇宙が生まれてと……。どうも宇宙はこんなふうになっているのではないかと。宇宙空間のトポロジーも当然変化するわけですから、そうであればとこういうことも大いにあり得るのです。

ネットワーク構造がもたらすもの

そろそろまとめに入りたいと思います。物理学のコト化は「量子論」と「相対性理論」から始まりました。そしてこの2つを融合していった結果が「スピンネットワーク」と量子重力理論です。それは究極のコト化の世界であり、ネットワークしかない世界であり、しかもそれはダイナミックに動く虚構の世界であったというわけです。これは、物理学に限ったことではありません。おそらく、脳神経科学における意識、生命科学における生命の起源などはネットワーク構造からしか生まれないのです。現在、ヒトゲノム計画が完成しましたが、私たちは未だ生命を創ることはできません。部品や設計図は解明されても、どう組み立てていいかわからない。つまり繋がり、ネットワークが分かっていないからです。生命に関して言えば、私たち人間は原始的な生命さえ組み立てることができていません。現時点では個々のモノ、つまりネットワークを繋ぐ節部分(=ノード)だけしか解明されていないのです。次に来るのは、その周囲のつながり(=リンク)の段階であり、ネットワーク化はあらゆる世界で進んでいくことでしょう。

今後、科学がやるべきことは「未知のネットワーク」を発見していくことです。スピンからネットワークが生まれ、スピンネットワークこそがモノと時空の起源である。そうであるとすれば、生命、意識だけでなく、宇宙も創造することが可能であるというのが、科学の未来像ということになります。このように100年前にパラダイム変換を遂げた現代物理学の「モノからコトへ」という流れは、今後も続くだろうというお話でした。

最後に、今年はいんシュタインが相対性理論を発表して100年ということで「世界物理年」となっています。シンボルマークは一見すると砂時計のようですが、「時空図」を図案化したものです。詳細はHPをご覧ください。http://www.unic.or.jp/new/physics_2005.htm

以上

講師プロフィール

竹内薫 / 湯川薫 (たけうち かおる / ゆかわ かおる)

1960年東京生まれ。東京大学で科学哲学と物理学を専攻。モントリオールのマギール大学大学院で博士号を取得。帰国後、就職せずに塾講師、広告代理店のプログラマー、企業PR誌のライター、大学の非常勤講師などを転々とする。科学書の翻訳や科学書の著作多数。1999年に湯川薫名義でミステリーデビュー。趣味は猫と引っ越し。

詳細は、竹内さんのオフィシャルサイトをぜひ、ご覧ください。

<http://kaoru.to/>

2005年度第2回物理学研究会レポート
「現代物理学が示唆するSF的世界観と科学の未来」

竹内 薫氏

(サイエンスライター、作家)

写真・図版提供

; 物理学研究会事務局

編集=物理学研究会事務局

文責=関 康子

[物理学研究会レポート]に記載の全てのブランド名および
商品名、会社名は、各社・各所有者の登録商標または商標です。
[物理学研究会レポート]に収録されている全てのコンテンツの
無断転載を禁じます。