

われわれはフィジカルな世界をもっともっと知る必要がある

We Really Need to Learn More about the Physical World



ロジャー・ペンローズ + 佐藤文隆
Roger PENROSE and SATO Humitaka

山田和子 訳
Translation: YAMADA Kazuko



物理学と建築

佐藤文隆—— 昨晚は私の還暦パーティでスピーチいただきありがとうございました。その中で、日本文化と日本固有の技術^{スキルト}について興味深い言及をなさいましたが、なかなかおもしろいお話だったので、もう少し詳しくお話いただけませんか。

ロジャー・ベンローズ—— 昨日、妻といっしょに京都のお寺を見学しまして、そこで、木の組み方がきわめて正確なことに大変感動しました。単に正確というだけではなく、組み合わせ方がじつに繊細で美しい。美しく芸術的で、しかも正確であること、これこそまさに日本の技術だと思いました。

佐藤—— お寺の名前を覚えていらっしゃらない？

ベンローズ—— 確か“G”の音が入っていたと記憶していますが……。

佐藤—— 銀閣寺ですか？

ベンローズ—— 多分そうでしょう。庭園があつて、小さな丘の周りをめぐるようになっています。木立があ

つて苔が生えていて、それから砂が波のようなかたちに整えられていて……。

佐藤—— 海ですね？

ベンローズ—— ええ、海を模したものだと思いますが、それが純然たる直線だけで表わされているんです。それから、天辺が平らな円錐形になっている砂を積んだ小さな塚があつて、その周りを回ったり、部屋から眺めたりしました。一昨日は、その同じ寺でお茶の儀式があつて、そんなわけで何度も建築そのものを目にする機会があつた次第ですが、とにかく繊細で正確で……。他の例をあげてみると、例えば、鉄道もそうですね。運行システムも駅の構造も、日本の場合、じつに整然と作られている。他の国では、プラットフォームと列車の乗車口の高さが違っていたりします。

佐藤—— そんなことは気にしていないんでしょう(笑)。

ベンローズ—— 日本ではどこでも、これ以上はないというほど正確で厳密で……(笑)。

佐藤—— TVのデザインにしてもそうですね、いまは

ともかく、少なくとも10年前のソニーのTVなど、おそろしく厳格なかたちをしていました。ブラウン管を初めとする部品も壊れない。日本人は細部にまで細かく気を配るんですね。京都の古いお寺の庭園でさえそうです。これに比べると、例えばイギリスの大邸宅の庭はおそろしく広大でしょう？

ベンローズ——そうですね、一方、日本の庭園はどこもきわめてコンパクトにできている。

佐藤——コンパクトだが何もかもが入っている。海や山や岩さえもが。

ベンローズ——風景までが正確無比だ、と。

佐藤——そこが決定的な違いですね。日本では伝統的に部分だけではなく、全体で表現します。

ベンローズ——なるほど。

佐藤——昨年10月にイギリスに行って、クリストファー・レンに大きな関心を持ちました。ニュートンの友人だった人ですね。じつは、それまで、レンがあれほどの大建築をいくつも造っていたということを知らなかったもので……。

ベンローズ——最も有名なのは、セント・ポール大聖堂ですね。オックスフォードにもいくつかレンが設計した建物があって……。レンはオックスフォードのウォダム・カレッジにいたんですよ。レンは科学者で建築家でした。

佐藤——建築というのは、設計の過程、細部において正確でなければなりません、同時に構造全体もきわめて重要です。小さな部分を寄せ集めるだけでは全体はできません。本当にたいした仕事です！(笑) われわれ物理学者は、部分を果てしなく追い詰めていくものですからね(笑)。ベンローズさんはいまや、物理学者の中の建築家になりつつあると思うのですが、いかがなものでしょう？

ベンローズ——そうですね。物理学には、全体として見た場合、当然ながら一つの統一性がなければなりません。日本の建築にはそうした感触があると言っているでしょう。今日では、多くの国で「日本の建築」が見られます。プリンストンにも、名前は忘れてしまいましたが、高名な日本人の建築家が建てた建物があります。

佐藤——物理学と建築に何か通底するものがあると思われませんか？

ベンローズ——物理学をやる場合、アーティスティックな価値に対するある種の感性が必要だというのは、絶対的に確かです。物理学、数学を含めて、あらゆる科学に当てはまるのですが、それらに取り組む際

には、事物／事象のアーティスティックな価値に対して鋭敏な感受性をもっていなければなりません。特に数学はそうですね。アーティスティックな感性がないと、自分がやっていることが何かわからないということになってしまう。純粋数学の場合には、これは一種の駆動力でもあります。純粋数学は、いわば純粋数学がもたらす喜び、主題の美的な質のために、やっているわけですから。

しかし、物理学の場合は少し違う。物理学の場合、世界がどのように機能しているかを見出そうとしているわけですから、必ずしもアーティスティックな価値が重要になるとは断言できません。まあ、数学もその点では同じかもしれませんが、しかし、それでもなお、重要で深い理論は芸術と同じように機能するというのは、真実だと思えてなりません。例えば、アインシュタインの一般相対性理論は、信じがたいほど美しい構造をもっていますね。また、量子力学にも驚異的なエレガントさを備えたアスペクトが多々あると思う。ここでの問題は、言うまでもなく「なぜそうなのか」ということですが、ただこうした事物／事象に鋭敏であるということだけでも、私は大いに価値があると思います。科学に取り組む際、物理学に取り組む際には、間違いなく大変な価値もついています。

人間は「抽象」を理解する

佐藤——純粋数学の美というのは、専門家でない人にとっても感得しうるものでしょうか？ それとも、それを感知するには特別な訓練が必要なのではないか？

ベンローズ——私としては、専門の訓練を受けないと、理解するのはなかなか難しいだろうと思いますね。数学においては特にそうです。数学は一種の奥義と言っているものですから、あるアスペクトを十全に理解し味わうには、絶対にエキスパートである必要があります。いや、数学者ですら、別の領域を専門とする数学者がやっていることを十全に理解し、その美しさを味わうのに困難を覚えることもあります。そういった美的な価値を伴う部分は伝えるのが大変難しいものなんですね。したがって、数学者でない一般の人が、このテーマにおけるアーティスティックな価値を理解し味わうのがきわめて難しいというのは、間違いのないところでしょう。それでも、そ

いう事物／事象が存在することを理解するのは可能だと思います。ごくシンプルな例を介して、美的な価値が存在することを感知することはできる、これを感知するだけなら、多大な数学的理解というものは必要ありません。

それでも、数学の世界には常に一種のジレンマと
いうか、大変なフラストレーションがあって、例えば、あるテーマ領域において、それが驚異的な美を備えていたがゆえに、いくばくかの仕事ができたとします。その結果今度は、その美しさを誰か他の人に伝えたいと思い、伝えようとするのですが、しかし、相手がそれを十全に理解できないために、ちゃんと伝わらない。他の人たちが、その意味するところを十全に理解し味わうことができないというのは、本当にかっかりすることであり、多大なフラストレーションをもたらすものです。

佐藤—— 純粋数学というのは極端なまでに専門化されている。しかし、幾何学的な記号や幾何学的美、単純さといったものは、一般の人々にも感得するものだ、と。

ベンローズ—— そうです。その点で、いつも大変皮肉だと思うことがあって、よく、一般の人たちにこれこれの考えを説明してくれと頼まれるのですが、その際、できるだけ図をたくさん使ってくれ、幾何学的な形で説明してくれと言われます。ところが、数学を専攻する学生たちは、幾何学的な捉え方が非常に苦手だという場合が往々にしてあるんですね。計算をやっているほうがずっと楽しい。数学の専門家ですら、幾何学を十全に理解し味わうのはたいそう難しいという場合が多いのです。もちろん幾何学が大の得意だという数学者もいますが、私の見るところでは、これはあまり一般的ではありませんね。私がこれに気づいたのは、まだ学部生だった頃です。幾何学が得意だという学生はごくごく少数、大半にとって幾何はきわめて難しいものだったんです。

佐藤—— なるほど。幾何の場合は、入試問題を解く際でも、最初に何らかのインスピレーションが必要なわけですからね。

ベンローズ—— 幾何の場合、オートマティックに問題を解くというわけにはいきません。徹底的に深く考えることが必要なんです。

佐藤—— 代数を扱う場合は、基本的な手法というか、一種のマニュアルがありますよね。どうやって手をつけるかとか。そうすると、これまた、数学を一般の人々にとってさらに遠いものにしてしまうようにも思

えます。

ベンローズ—— それはそのとおりです。しかし、人はさまざまで、数学の世界でも、ある人がごく簡単にやっつけてけることが、他の人にとってはまったくそうではないということがありますし、他の人とまったく異なった反応を示す人もいます。

佐藤—— ベンローズさんは幾何のほうが好きなんですか？

ベンローズ—— ええ。私はどうもそちらのほうに向いているみたいですね。でも、これは少数派で、幾何のほうが考えやすいというのは数学者の中でもごく少数なんです。

佐藤—— とすると、数学者に限らず一般の人々も含めて、なぜみんなあれほどたやすく「円」をイメージできるんでしょうね。円というのはこのうえなく抽象的な概念なのに、

ベンローズ—— ラフにスケッチできるような円のことでなくて、本当の円のことをおっしゃっているわけですね。抽象的な円の概念を理解すること、これはプラトンの問題です。人間は抽象的な対象を理解する能力をもっている。おもしろい問題です。

佐藤—— 円も三角形も直線も、実際に存在していないとは誰も言えない。でも、概念そのものは、このうえなく抽象的です。

ベンローズ—— では、一般の人々はなぜ、そうしたきわめて抽象的な対象をたいした困難もなくイメージできるのか。実際のところはおそらく、一種の近似にすぎないということだと思いますよ。円について考える場合、一般の人々は、手で描いてみたらとか、このテーブルの範囲内ととか、そういったかたちで認識しているんだと思います。それは本当の円ではない。

佐藤—— それはそうですが、頭の中では正確な円をイメージしています。

ベンローズ—— 問題は何なのかを本当に知らなくても、そういったことを考えることはできるわけです。でも、円とは本当は何であるのか、こういったことを気にかけているのは数学者だけです。あるいは哲学者か。

佐藤—— こう言い換えてもいいと思います。人間は何らかのツールを操って外界を認識する。人間というものはすべて、こうしたきわめて抽象的な概念をもっている、と。

ベンローズ—— 潜在的な抽象化の能力がある、ということですね。それはそうです。しかし、ちよつとお

かしなこともあって、私はいろんな人からさまざまなテーマについて手紙をもらうんですが、ごく最近、こんな手紙が届きました。π=パイは定数ではないというんです。その差出人が言うには、パイは変数でもありうる、これはおそらく時間の関数だろう……といった具合です。私としては、これにはちゃんと説明をしないわけにはいきません。それで、返事を書きました。パイは数学的な数であって、それ以外の何ものでもありえない。円周と直径に従って、パイは完全に定式化されている、とね、これはあなたがおっしゃった抽象的な円の話と関連しています。その手紙を寄こした人は、別の円もありうる、別のパイもありうると考えている。この宇宙において、パイには別の値があるかもしれない、われわれが与えた値だけが唯一の値ではないかもしれない、このような観点に立っているわけです。私はとにかく説明を試みました。非ユークリッド幾何の世界においてさえ、別の値をもったパイは存在しない。円が実際にどんなものであろうとも、直径に対する円周の比率をパイと呼ぼうと呼ぶまいと、パイそのものは一つしかないのだ、と。

ツールや素材は重要ではない

佐藤——一昨日、裏千家の今日庵でお茶をいただいたとき、たしかペンローズさんは別のグループにいたと思いますが、私たちのグループでは、茶室の名前をめぐる質疑応答があったんです。600年前に創設者が記したその名前は「捨筥」というもので、「筥」は魚を取る網のようなもの、「捨」は「捨てる」という意味です。これは荘子に由来する言葉で、全体の意味は「人間は生きるために魚を獲らなければならないが、魚を獲ったあとは網を捨てなければならない」というものです。

ペンローズ——網を捨ててしまう？

佐藤——一回ごとに捨ててしまえというんです。ここには、もっと抽象的な内容が込められています。網に当たるものは言葉です。われわれはコミュニケーションのために言葉を必要としますが、重要なのはコミュニケーションである。「網を捨てよ」というのは「言葉を捨てよ」、つまり、言葉は必要なものではあるけれど、それを過大なものにしてはいけないということです。

ペンローズ——私たちが「ハシゴは蹴飛ばしてしま

え」というのと似てますね、目的の場所に登ってしまったら、もうハシゴはいらない。ハシゴは事をなすための手段だが、いったん事をなしてしまったら、もう何もいらない。

佐藤——だから、ツールをためこみすぎではいけない！

ペンローズ——そのとおり！

佐藤——できるだけシンプルであらねばならない。

ペンローズ——ミニマリストとしては……。

佐藤——言葉も最小化すること！

ペンローズ——重要なのは観念^{アイディア}であって、それを表現する手段、形ではないということですね。数学ではもちろんそれは真です。よく、数学は一つの言語であるというふうに言われますが、私自身はそうは思わない。確かにいくつかの記号は使うし、特定のかたちでの操作も行なう。でも、それは本質的なことではない。厳密にそれをどう書くかということは、まったく重要なことではない。重要なのは、基底にある概念です。要するにあなたは、あらゆるものの基盤に存在するものを抽出されたわけだ。この中国古典の言葉と数学は近いところがあるように思えます。

佐藤——とても近いものです。さらに、お茶の儀式の文化は、一つの生のあり方——より良いものはシンプルであるというかたち——を目指してもいます。ツールを大量に積みあげるというのではなく……。

ペンローズ——「松葉杖」という言葉が適切かもしれません。松葉杖が必要なあいだは、杖にすがって歩かなくてはならないが、いったん不要になったら……。そういうことですね。

佐藤——言ってみれば、代数というのは魚を獲る道具です。何かを発見する際に必要なものだが、いったん重要なことが発見されてしまったあとは、捨ててしまっている。日本の文化を作ってきた人たちは、こうした単純さを高く評価しています。その考えは庭にも建物にも現われている。単純なものこそ美しい、と。

ペンローズ——そのとおりですね、必要最小限だとと言えるまで縮小すること。そこでちよつと気になるのは、私の家は、いたるところにガラクタが山をなしていて、絶対に必要というわけでもない所持品があふれかえっている。妻にいつも言われるんです、捨ててしまいなさいと。でも、なかなかそれは難しいことで……(笑)。

佐藤——女性のほうが単純さの意味をよりよく理解し実践している(笑)。

ペンローズ——でも、妻はこと衣類にかけては私よりずっとたくさんもっていますからね。その意味では似たようなものです(笑)。

佐藤——仏教でも同じことが言えます。仏教は中国から輸入されたものです。日本固有のものではない。ですから仏教が渡来した最初期には、建物も中国のものを完全に真似て、柱も壁もすべて鮮やかな朱に塗られました。いまでも中国に行くと、真っ赤に塗られて輝くばかりに見える建物を見ることができません。初期には日本でも仏教寺院はそんなふう塗られていたわけですが、まもなく日本人々々ももっとシンプルなるものを好むようになりました。そこで、色を塗るのをやめて、われわれが今日目になっている、何も塗らない白木の造りになったのです。

ペンローズ——銀閣寺は、当初、銀で造られたわけですか？

佐藤——ええ。最初は銀で覆ったわけですが、剥がれ落ちてしまった。そのときには、再度銀で覆うだけの余裕がなかったし、このほうがずっと美しいと言いはじめたのでしょう。単純な木の壁面、これはどの寺でも同じです。

ペンローズ——神道と仏教はどのような関係にあるのですか？

佐藤——神道は仏教よりもずっと古くて、建物に色を塗るといった伝統はまったくありません。神道の神社で興味深いのは、常に新しくすることを尊ぶという点です。50年か100年ごとに完全に建て替えてしまうんですよ。

ペンローズ——一度、壊してしまつて？

佐藤——そして、同じ形で再建する。したがって、ここでは形態ないし建造すること自体が重要なんです。木が同じである必要はまったくない。何千年ものあいだ、そうやってきたわけです。

ペンローズ——しかし、概念コンセプトは保たれる、と。

佐藤——ええ、完全に保たれます。素材は重要ではない。

ペンローズ——量子力学とまったく同じじゃありませんか(笑)。この電子もあの電子もまったく同一である、どれがどれかということは重要ではない。重要なのは構造である。

佐藤——物質の同一性というものはない。

ペンローズ——確かに。だから、あれほどモダンに見えるんでしょうかね。

佐藤——そうですね。数学の群論のように、伊勢神宮にしても出雲大社にしても、常に新しく見えるんで

す。しかも、そうした神社の周辺には、次に建て替えるときのための樹が常に植えられているんですね。神社の周辺に育った樹で大きく育ったものが切れられ、新しい神社に使われる。

ペンローズ——わざわざそのために樹を植えている？

佐藤——そうです。常に神社の周辺で樹木の循環が行なわれていて、自足している。

ペンローズ——しかし、仏教のお寺は同じ建物のままです。つまり、時として素材と同じ年代を経ている。だが、神道の神社は常に新しい。

佐藤——さらに日本には、神社にしる宮廷にしる、石を使うという伝統はありません。木だけです。ですから、遺跡はあつても物そのものはまったく残っていないんです。建物自体、素材自体を保存することに熱心ではなかったんですね。でも、常に同じ構造物で置き換える。

ペンローズ——木の老朽化に関係があるのかな。それとも、純然たる観アイデア念なんですか。

佐藤——技術的な面も関係していると思いますけれどね。木の建造物というのは千年以上維持するのは大変難しいことです。だから、もっと頻繁に建て替えたほうがいい、そんなふう考えたんじゃないでしょうか。

量子力学と意識

佐藤——ところで、ペンローズさんご自身の仕事について、少し詳しく話していただけますか？

ペンローズ——そうですね。私が意識や心の問題に関心をもちはじめたときは、みなとてもびっくりしたようでした。ずっと物理学と数学をやってきましたからね。でも、意識や心の問題にしても、ある時点で突然、関心の対象になったというものではないんです。私がこれまで著書に示した観点は、多かれ少なかれ長年にわたって私がもちつづけてきたもので、なかには大学院生時代からというものもあります。ゲーデルの定理とチューリング・マシンのことを知ったのは、その頃のことです。

ケンブリッジの大学院に入った最初の年に出た講義のなかで、大変大きな影響を受けた特別の講義がいくつかあります。私の専攻である純粋数学とは直接関係のない講義です。まず、ゲーデルの定理に関するコースの講義、数理論理学ですね。それと

チューリング・マシンについての講義、ゲーデルの定理は、私にとって次のようなことを明確にしてくれたと思います。すなわち、定理は決してそれで十分であるという地点には到達しないのだから、われわれが数学を理解するかたちは所与の公理を介してではない。しかし、われわれは常に公理の体系を超越する認識のかたちをもっている。もし公理を信じるとすれば、同時に公理の帰結ではないものも信じることになる。これは基本的に、チューリング・マシンすなわちコンピュータの問題です。要するに、われわれの理解のうちにある何ものかは、計算(computation)によって達成しうる領域の外部にあるという観点です。こうした考えを、私は間違いなく大学院の最初の年に定式化したはずなのですが、でもこれは一つの観点到すぎず、その後、それほど突っ込んで考えることはありませんでした。哲学的な問題に対しては、みなそれぞれに異なった考え方をもっているのです。

私はまた、ディラックから量子力学を学びました。これは大変な体験でしたね。素晴らしい連続講義でした。さらには、ボンディから相対性理論を学びました。ディラックとはまったく異なったかたちではありましたが、これまた素晴らしく啓発的な講義でした。これらは、私の専攻するテーマではまったくなかったものの、のちに私がやることになった仕事に対して、はかり知れないものをもたらしてくれました。

しかし、私が、意識や心とは計算の過程ではないという私の考え方を実際に書くにいたったのは、じつを言うと、かなり極端なポジションをとっている多種多様な人たちが出演していた、あるTV番組を見たからなんです。筆頭はマーヴィン・ミンスキーでしたが、彼らの話は、もし私たちの行なっていることすべてが計算であると考えれば、完璧に論理的であると思えました。しかし、私はすべてが計算だとは考えていなかったのです。こんなふうにしたのです。科学に関して、一般向けもしくは準一般向けのレヴェルで何かを書くこうと思っているのなら、このテーマに焦点を合わせるべきだ、と。こうして私は、他の人はまだ誰も書いていないが、私にはきわめて重要で書くだけの価値があると思えるこの観点を著書で示そうと決意したのです。それにしても、あの本『『皇帝の新しい心』』に対して、あれほど怒りをあらわにする人たちがいようとは、まったく予想もしていないことでした。

そこで、2冊目の著書『Shadows of the Mind』

では、私が、向こう側の誤解であると考えて、そのようなポイントを中心にまとめました。でも、みんなまだ誤解しているようです。みんな、まだ腹を立てていますから、この本はすいぶん時間がかかりました。結局のところ、本当に書きたいと思っていることから大きく離れてしまいましたからね。要するに私が書きたいのは物理学の側面に焦点を合わせたものです。精神性がどのようなものなのかを理解する点において、われわれはまだそれほど進んてはいない。これが私の基本的姿勢です。精神がいかなるものなのかを知るには、物理性がいかなるものをもっと知る必要がある。物理的世界に関するわれわれのイメージは、まだごく貧弱なものであって、現在の理解を完全に超えた重要な事象はまだ無数にあります。なかでも最大のものは、量子力学的状態収縮の問題でしょう。別の言い方をすると、微小スケールの量子現象がどのように大スケールの現象と関連しているのか。これは、現時点では根本的に解明されていない問題です。ですから私はまだまだ語る事ができるというわけです(笑)。

佐藤——通常、量子力学の研究をしている人は、意識の問題など考えていませんね。この組み合わせは大いに珍しいものでしょう。要するに、ペンローズさんの考えでは、突然、脳が出現したということになるのでしょうか。これはちょっと奇妙に思えるのですが……。

ペンローズ——突然？ いや、そんなふうには考えていません。外界の自然に存在するさまざまな事物を利用するというかたちで、脳はゆっくりと時間をかけて進化してきたわけです。突然のプロセスだとはまったく思いません。さらに、意識(consciousness)というものは「オン／オフ」的なものだとも思いません。脳はゆるやかな時間をかけて進化してきたものであり、選択的な優位性をもっている。こうした質の理解能力をもつ生物、こうした知覚力(awareness)を必要とする生物は、十分に発達したこの種の質の意識をもっていない生物に対して、優位な位置にあります。いずれにしても、突然のプロセスだとは思いません。非常に長い時間をかけて進化してきたものであり、この原初的な側面は、現在の動物界のはるか下方にいる他の動物たちに現われているにちがいないと思っています。要するに、それほど人間に特異な性質だとは思っていないわけです。

佐藤——人間だけの特質ではないとしても、いずれにしても、意識のメカニクスは、外界とのインタラクシ

ョンを介して創られたというふうに考えておられるわけですか？

ベンローズ——それは間違いなく重要な点ですね、でも、私はそれが決定的なことだとは思っていない、外界とのインタラクションが意識の本質的な部分だと考える人もいますが、私にとっては必ずしもそうである必要はない。例えば数学では、おそろしいほどの内的な思考を展開します。これは外部世界とは、ほとんどと言っていいほど関係がありません。完全に内的に進行することが無数にあって、それは意識ときわめて密接に関わりあっている。もちろん、最初にアイデアを得るとき、外部世界からピックアップしてきたり、外部世界とのアナロジーを用いたりということはありますが、それでも、外界とのインタラクションが本質的なものだとは思いませんね。

佐藤——一種の内的観察でしょうか？ あるプロセスは内的なものであって、しかし、意識そのものはこの系の外部にあるわけではない、と？

ベンローズ——明確な線を引くことはできませんが、でも、私は意識を外部のものとは考えません。奇妙なことですが、われわれの脳で組織されるかたちとは、外部世界に依存する、ある潜在力(potential)を利用することだという意味においては、意識は外部世界に存在している、潜在的に外部に存在している、と言うことができます。その意味で私は、意識が完全に内的な存在であるとも思いません。実際、そうではないわけですから。しかし、意識のかなりの部分が外部にあると考えているわけでもない。このテーブルがそれほどの潜在力をもっているとは思わないが、しかし、潜在的にこれは自然のうちに存在している。世界が機能する、そのあり方で、潜在的に存在している。いかなるかたちであれ、この潜在力を利用できる存在は、そうでない存在に対して上位に立つということです。

	重力に着目する
--	----------------

佐藤——もう一つ、私たちの多くが驚かされたポイントは、通常、量子力学は一般相対性理論と直接的に関係してはいないが、ベンローズさんは、根源的なかたちにおいて、重力ないし時空の特性が、量子力学にとって重要であると覚えておられる、という点です。

ベンローズ——あるレベルにおいては、量子力学と

相対論は密接に結びついています。相対論に量子力学の考え方をを使う局面——少なくとも私には、それがきわめて有効なことがわかった局面——は、確かにある。要するに、時計を対象にする場合です。相対論は基本的に時間を扱うものであり、時計を使って基本的な時間を決定する標準であるわけです。世界線の長さは世界線にそって計測される時間です。そこで、良い時計がほしいと思えば、量子力学に目を向ければいい。量子力学は基本的に質量と周波数の関係性ですからね。これは時計の特性そのものです。最も正確な時計とは、根源的に量子力学的対象なのです。このように考えると、当然、量子力学と一般相対性理論は結びついていると言えるでしょう。時間を正確に計る物差しがなければ、時空の何たるかについて明確な思考をめぐらせることはできません。

佐藤——その場合は確かにそうですね。時空の問題と量子力学の関係性は、ブラックホールやビッグバンといった極限的な問題を考えるときにのみ意味をもつと考えている人は大勢います。でも、ベンローズさんは、ブラックホールやビッグバンといった状況に限らなくても、ごく通常のプロセスの問題においても時空の問題が重要だと言っておられると思うんですね。そこがユニークなポイントだと思います。

ベンローズ——確かに、私の記憶にある限り、他の人がこんなことを言ったのは聞いたことがありませんね。根源的に重要なのは状態収縮なんです。マイクロワールド マクロワールド極小世界と極大世界が関わりあうのは、すべて状態収縮を介してです。これ以外のかたちでは、原子や分子、等々といったもの、量子力学的実体のあいだに呼応関係はまったく見出せない。それなのに、これらは互いに結びつき、古典の実体を生み出している。要するに、ここにはパラドクスがあるということです。少なくともそのように見えるわけです。

ニールス・ボーアは、ある時点であきらめてこう言った。この世には古典の世界と量子力学の世界がある。われわれがもっている計測装置はおそらく古典的なものだろうが、自然には一方に量子力学的な構成要素があって、もう一方には古典的なかたちで振る舞うものがある。なぜそんなのかを説明することはできない。つまり、この一方ともう一方をつなぐ橋が重要なのです。世界が機能する、そのあり方において根源的に重要な部分と言っていいでしょう。そして、状態収縮——これを私は、この世界で実際に起こっている最も根源的な事象と考えています——

が生起する可能性のいちばん高いのは、重力の領域です。こうした問題について考えている人々のあいだで、また、量子力学の法則は、どこかのレベルで修正されることになるかもしれない、と心配している人たちのあいだでも——まあ、この人たちのほとんどは重力のスキームを使っているわけではないけれども——この観点に同調する向きは大いに見られるようになるでしょう。こうした人たちは、たとえいま重力のスキームを使っていなくても、十分な思考を重ねることによって、どこかのレベルで、それぞれのアイデアを重力と関連づけるにいたるはずで

きょうの講演で、ジョン・ベルについて触れましたが、彼はこうした考えをもっている人物です。特に重力に関する考え方を使っているというわけではありませんが、何か異質なことを探求するには、重力が最も可能性のある領域だという感触をもっているのは確かだ、と私は思っています。重力に着目する理由は他にもあって、その一つは、重力は時空構造に直接的な影響を及ぼす唯一の場であるということです。非直接的に、エネルギーやモメンタムを介して影響を及ぼすものは多々ありますが、重力のモードはこれらと異なっていて、時空構造に直接的に影響を及ぼす。このように、重力にはきわめて異質なものがある。したがって、量子力学が重力の問題に関わる時、その法則もまたきわめて異質なものになるであろうと考えることは、大いに理にかなっていると思えます。

佐藤——私も含めておおかたの物理学者は、何か不思議な感じを抱いているんですね。通常の原子の時空に対する重力の効果は取るに足らない、無視してもよい程度のものだとすれば、時空は定常的で、原子によって攪乱されることはないと思ふことができる。時空というのはそれで十分で何ら問題は生じない。しかし、ペンローズさんはそうは考えておられないわけです。

ペンローズ——いや、それで十分ですよ。私の観点でも十分です。状態収縮を考えない場合はね。量子力学は見事に機能するように見える。しかし、これもシュレーディンガーの方程式が、必要なすべてを記述してくれると見なす気さえあれば、という条件つきです。だが、現実にはあるレベルでは、シュレーディンガーの方程式は使えない。何か別の方法を使う必要がある。だからこそ私は、ある記述から別の記述に移行するのは、重力の効果というものを実際にもち込まねばならないときだと言っているわけで

す。みんな、その効果は非常に小さいと考えている。あなたの言うとおりです。さらに、みんながどうしてそんなふうにかけるかという理由も私にはわかりません。要するに、誰も重力を他のものを考える場合と同じように考えているからです。重力はただの「力」である、その力は非常に弱い、そんな弱い力がどうして影響を及ぼしたりするだろうか、とね。しかし、私は当然、別の観点からこの問題を考えているわけであって……。

佐藤——古典的には影響力はきわめて小さい、だが、われわれは時空の量子的挙動を知らない。

ペンローズ——そのとおり。われわれは従来と同じように考えている。量子力学の根底的な観点からではなく、量子力学をどうすれば別の力に応用できるか、量子は時空によってどう影響を受けるのか、ということだけ考えている。というのも、量子力学を使う、まさにそのかたちが、時間的移行とは何か、空間的分布とは何かを知ることにだけ関わっているからです。そこで重力場を考える場合も、量子力学に関わる小さな問題に踏み込みはじめる。そして重力場を次第に大きくしていくと、重力場もある一定の役割を果たしてくる……。

私は、こうした方法とは異なったアスペクトから考察しています。これまで、量子力学と重力の組み合わせについて人々が考察してきたかたちには二つの対象が含まれています。一つは、宇宙論とビッグバン、多分、ビッグクランチも入るでしょう。そして、もう一つが特異点とブラックホールです。量子力学と一般相対性理論の結びつきを考えざるをえないとき、まずこの二種類の対象が必ず出てくる。

佐藤——それにはおおかたの人が同意すると思いますよ。

ペンローズ——これは重要なことです。しかし、この研究から学ぶべき重要なことをおおかたの人は見逃している。きょう私が講演で言おうとしたのは、ここには巨大な謎が存在しているということです。それは始まりの時空と終わりの時空の大きな違いです。特異点構造における時間の非対称性、これは大変なものです。重力が、量子力学を単に適用するだけのいま一つの物理的場であるのなら、どうして時間におけるはなはだしい非対称性が生じるのか？ そのようなことは、他には一切ありません。そこで私はこう考えるわけです。これは、これまで他の物理学理論で見出されてきたのとは完全に異なる組み合わせでなければならない。みんなが、それはたいし

たことではないと考えるのは、間違った方向から問題を捉えているからです。これは量子力学に対する重力の効果であって、重力に対する量子力学の効果ではないのです。量子力学と重力の結びつきの重要性が浮上すると予測されるいま一つの領域は、場の発散(divergencies)です。これを避けるのには、ひも理論のようにごく小さい距離間で場を区別することが必要になるはずで、これは多分間違いないところでしょう。

しかし私としては、ここでもう一つ、さほど秘儀的でもない別の領域、日常的に生起している事象がある、ということを描きたいと思います。生物を考えてみてください。生物は物理学の実験の場です。生物を物理的なものとして了解する場合には、状態収縮を考慮しないわけにはいきません。状態収縮を考慮に入れなければ、数学のほんの小さな断片としてのみ了解できるようにすぎません。シュレーディンガーの方程式は進化してきましたが、結果、通常では考えがたい状況をわれわれに突きつけることになってしまいました。猫が生きていると同時に死んでいる、といった……。

佐藤——でも、他の人たちは、通常、状態収縮の原因は別の原子にあるというふう考えています。何か別の周辺状況(surrounding)、エクストラがあるのは確かですから、大半の人は別の環境なり別の原子なりで十分だと考えている。

ペンローズさんの時空のイメージはじつに内容豊かなものだと思います。例えば、空間は無を意味しているにすぎないと言われることもある。構造も何もない。しかし、ペンローズさんの空間のイメージは、より構造化されているように思えます。

ペンローズ——実際には、物質は厳然として存在しています。ある意味で、一般相対性理論では時空はそのようなかたちで機能するんです。時空を物体と同様、このうえなくオブジェクティブなイメージとして捉えることで、明確な方程式が満たされるわけです。

佐藤——時空は完全な物理的実体である、と。

ペンローズ——単なる物質の非在ではない。

佐藤——それは決定的な違いですよ。

ペンローズ——アインシュタインもそう言っているんですよ。結局のところ、アインシュタインはそのポジションに追いやられてしまったのでしょうか。実際、時間と空間を結びつけないといけないという事実を最初に公にしたのは、確かミンコフスキーだったと思います。しかし、一般相対性理論を理解するには——お

そらく特殊相対性理論を理解するには、と言ってもいいと思うのですが——、さわめてオブジェクティブな時空がそこに存在しているものなのだと、いうイメージが必要で、それがないと、了解するのがとても困難なんですわね。

私は常々、「相対性」というのは大変よろしくない言葉だと思ってきました。「相対性」という言葉は、実際の主題に関して誤った印象を生み出しています。「すべては相対的なのだ」——そういった印象です。しかし、そこには絶対的な概念(notion)がある。時空というのは絶対的な概念です。だから、空間と時間が相対的な概念だとしても、時空というのはオブジェクティブなのです。ただ、こうした考えが、相対論者のあいだでは一般的ではないのかどうか……。私はごく当たり前だと思うのですが、もしかしたら間違っているかもしれません(笑)。

佐藤——「存在」についてのゼノンのパラドクスを思い出しました。通常われわれは、このパラドクスを克服できないと考えています。存在の判断基準は何かを空間のうちにイメージしてみるのだというあのパラドクスです。リアルな時空について考えようとするのなら、この時空を空間のうちに置いてみなければならぬ(笑)。

ペンローズ——視覚化するという観点からですか？

佐藤——みんな、常に、視覚化することで存在を認識しようとしています。

ペンローズ——そうですね。でも、時空を相対論で扱う場合は、みんな計算をし、方程式を書くだけです。何が起きているのかを絵に描いてみてくれということはない。

佐藤——ええ。でも、それにはいくばくかの訓練を要しますからね。一般の人たちは抽象化の作業に慣れていない。そこで、存在とはすべてイメージできるものだ、空間にある何ものかだ、と考える。時空そのものが物理的実体ならそれを置く時空が要る。例えば、時空が存在しないことをイメージするのは大変難しい。かくして時空の創出にはいつもトラブルがつきまとう(笑)。

ペンローズ——しかし言うまでもなく、相対論を扱う場合、リアルな構造は簡単に示すことができますよ。

佐藤——われわれは扱っている対象を知っているのだから、それは当然です。しかし、イメージするのは難しい！

ペンローズ——そうですね。四次元を厳密なかたちで想像するのは、とても難しい。

佐藤—— どうして、このような意識のかたちが人間には生じたのでしょうか？

ペンローズ—— 先ほどの「突然」の問題に立ち戻ったようですね、これは、突発的に現われ出るようなものなのかどうか？ 繰り返しておけば、私はこれが人間に特異な性質だとは思っていません。動物界をどこまで下ればいいものかはわかりませんが、例えば、犬を飼っている場合、何らかの意識と呼べるものが存在していないと考えるのは難しいでしょう？ 動物にも意識や心があるということに、私はほとんど疑いを抱いていません。猿には間違いなくある。私が実際に見聞したところからすると、象にもある。しかし、動物界の階梯をはるか下方にまで下った場合、果たして意識と呼べるものはあるのかどうか。魚に十分な意識があるのかどうか、私には何とも言えない、ないわけがないとも思えない。でもまあ、あるとしてもごくちびけな意識でしょうね。ここには量的な側面があります。多分、魚にはごく少しの意識しかない。それでも、その魚の振る舞い方にとっては大きな意味をもっている、というふうに思います。動物たちが、自分を取り巻く外部世界で何が起きているかを少しでも理解しているとすれば、まったく理解していない場合と比べて、より効果的な振る舞いをするでしょう。

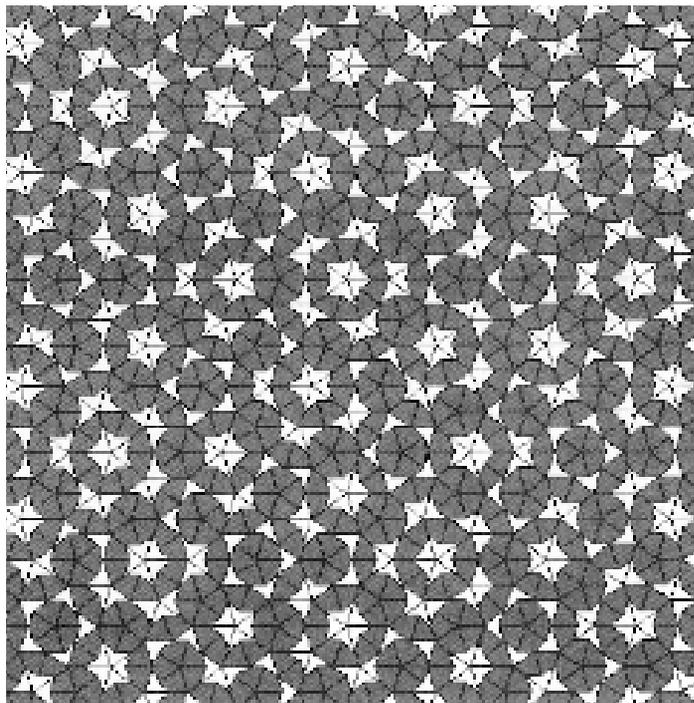
このように、意識は、動物たちにとっては選択的に有利に働き、そうして発達してきた。でも、潜在的には常にあったに違いない。でなければ、使うこともできないわけですからね。要するに、これも自然選択に見られるのと同じような一つのプロセスだったと言えるでしょう。ある時点で、何ものかが他とは異質の優位性を獲得し、それが一定の構造を発達させることを可能にした場合、今度はそれを別のことに対して使うことができるということを見出す。これはもう意識そのものと同じようなものだと言っていいと思いますね。まあ、単細胞生物には意識はないだろうけれど(笑)、それでも発達させることのできる構造はある。そして、これは純然たる推論ですが、彼らは量子のコヒーレンスを利用できるようになるかもしれない。これは、たとえ意識がなくても、彼らにとって大いに価値あるものとなるはずで、まあ、このあたりの考えはすべて想像の域を出ませんけれどね。

タイリング、エッシャー

佐藤—— ところで、ペンローズさんのタイリングについて、あるいはエッシャーについて、あるいは美の感覚といったものについて、少しお話しいただけませんか。

ペンローズ—— そうですね、まず最初にお話ししなければならないのは、私の祖父がプロの画家であったということです。肖像画家で、厳密な具象を旨としていました。一家は厳格なクエーカー教徒で、要するに祖父は極め付きの厳格なバックグラウンドをもっていたということです。私の父は四人兄弟の一員で、全員絵に優れた才能を示しました。父はもっぱらインクを使ったペン画と油彩を描いていました。兄弟の一人は、画家としてきわめて有名になりました。シュルレアリストの画家で、ピカソやマックス・エルンストといった人たちと交流がありました。そういった画家たちのグループの一員だったわけです。このように私の一家には画家のバックグラウンドがあったわけですが、ただ、タイリングに関して言うと、以前には鉛筆でいたずら描きをやっていたのですが、要するに、これは単なる遊びですね。繰り返されるパターンをデザインする。繰り返しができてフォーマルな繰り返しパターンを作るけれど、全体としてはこのように複雑なものになる、そんなさまざまな形を考える。つまり、一回の繰り返しをするのにできるだけ多数の異なった形のタイルを使うというわけです。

それから、階層構造のパターンにも関心をもめました。パターンがだんだん大きくなっていくというものです。これは本当にただ遊んでいただけで、科学であるといった感触は一切ありませんでした。ここで、ある転換がもたらされるきっかけとなったのは、そのときにはそれと気づいていなかったのですが、父が、ケプラーの描いた絵が載った本をもっていたことです。そのうちの一枚は、多数のタイルを使ったパターンの図でした。そこには何種類かの五角形が含まれていました。私はそれを見て、そうしたパターンが存在しているのだということを理解したにちがひありません。そのときはそれ以上深く考えることはなかったのですが、おそらく、これによって、多分五角形なら扱うことができるという感触が芽生えたのだと思います。興味深いデザイン、連続して発展していくパターンを五角形から作り出すことができる。そして正五角形からいろんなパターンを作ってみるの



ペンローズ・タイル

は、まったく無意味というわけでもないだろうと思いましたが、

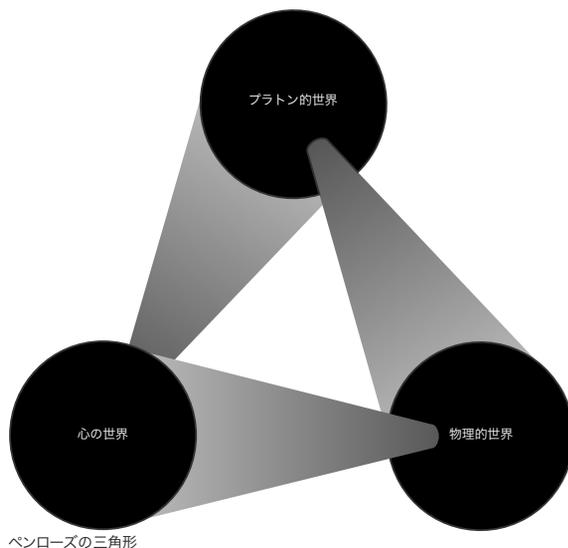
だから、この本は私に間違いなく何らかの影響を与えていますね。しかし実際に、五角形を扱うきっかけとなったのは、ある人からの手紙です。ロンドンの大学から来たもので、シンボルマークとして、6つの五角形——1つは真ん中、ほかの5つはその周囲——に分割された五角形が使われていました。そこで私は、これを何度も何度も繰り返したらどうなるだろうと考えました。これをずっと繰り返していったら、隙間ができたなら、隙間を埋める方法を考えださなくてはなりません。日本の画家にもいましたね、同じようなことをやっている人が。

佐藤——多分、安野光雅でしょうか。

ペンローズ——彼はとてもよく似たことをやっていました。ただ、まったく同じというわけではありません。隙間をどうやって埋めるかを決定しなければならないわけですからね。階層スキームにしたがって五角形を作っていくと、必ず隙間ができます。この隙間が大きくなったら、何か埋めるものを考えなければなら

い。この方法でやるか、あの方法でやるか、選択しなければならぬのです。彼は、私とは別の方法でやっていましたが、この部分はあまりうまくできていませんでしたね。

私がとった方法は、このような形を実際に発展させていくことのできるものでした。じつに複雑な階層になっていますが、私が作り出したのは、じつのところ五角形を使った非反復パターンで、のちになって、こうしたパターンはジグソーパズルのような形からも作り出せるということに気づきました。各ピースの形を少し変えると、次々と重ねていくことができます。これは6つの異なった形態に帰着し、結果、非反復パターンが生まれることになります。オックスフォードのマセマティカル・インスティテュートを訪れたプリンストンのサイモン・コッヘンが思い出させてくれたところでは、ラファエル・ロビンソンが、反復しない形で平面を敷き詰める6種類のタイルを考案しています。コッヘンはまた、ラファエル・ロビンソンが多数のタイルを使って最小の段階まで埋めていくのが好きな人物だ、という話もしてくれました。ロビンソンは、この



ペンローズの三角形

非反復タイリングを、原則として四角形でやっています。ときには異なった形も用いますが、基本的に四角形です。非反復性を実現するのに使ったタイルは6種類です。これをもう一度眺めてみたところ、私のほうがうまくできていることに気づきました。私のタイルも6種類ですが、一部に冗長性があります。要するに、2つのピースをつないで5種類にすることができるというわけです。ですから、これは一面で、ロビンソンの作品の改良版ということになります。しかし、その後、私はさらに思考を重ねて、もっと種類を減らせることを発見したんです。このアイデアがどうして、どこから出てきたのかというのを簡単に説明するのは難しいのですが……。

佐藤——エッシャーとはどのようにして関わりあうようになったのですか？

ペンローズ——エッシャーとの結びつきはまた別のものです。残念なことに、エッシャーはこれらのタイルを見る前に亡くなってしまいました。もし、これを知っていたら、素晴らしい作品を作ったことでしょうね。でも、エッシャーとつながりができたのは別の関心事を介してのことで、ケンブリッジの大学院に入った最初の年の終わり頃だったと思います。私はアムステルダムで開かれた国際数学者会議に参加したんですが、その会議の席で、ある人が、とても不思議な絵の載ったパンフレットをもっているのを見かけました。頼んで見せてもらったところ、それは、アムステルダムのどこかの美術館で開催されていた展覧会のカタ

ログでした。それがエッシャーの展覧会だったんですね。併設展だったと思います。たしかヴァン・ゴッホ展があって、それに付随する小規模の展覧会が、エッシャー展でした。もちろん、私は見に行きました。それまで、エッシャーという名前すら聞いたことがなかったのですが、大変魅了され、私もパロディ的なものを作ってみようと思ったんです。いろいろなデザインを考えて、最終的に到達したのが、この本の表紙にも使っている三角形です。これを作り出して、私はまず父に見せました。父はそれから、多種多様の不可能建築、不可能物体を作ることに専念しはじめ、やがて一つの階段を作り出しました。どこまで行っても果てがないという階段です。私たちは、これを紙に描いて、そのコピーをエッシャーに送りました。何と言っても、エッシャーは私たちに、こうした事物に熱中するきっかけを作った当人ですからね。エッシャーに見てもらいたいと思ったのは当然でしょう。私たちが作り出した、この特別な階段は、エッシャーがそれまで見たことのないものでした。そして、彼はこれを発展させて《上昇と下降》という、彼の作品の中でも最もよく知られているものの一つに結実させたのです。それから《滝》は、私たちのこの三角形をベースにしたものですね。その後、だいぶたってから、私は実際にエッシャーのもとを訪れて、私のタイリングの作品をいくつか見せました。非反復タイプではありませんが、ぎわめて複雑なものです。私の知る限り、エッシャーの最後の作品となったものは、私が

見せたこのタイプの配列をベースにしています。このように、エッシャーとのつながりは、言ってみればかなり個別的なものでした。不可能物体と特殊なタイルです。もっと生きていてほしかったですね。そうすれば、非反復タイプのタイルも見せることができたんですが。

フィジカルな世界と意識 心の世界

——最後になりますが、物理学は意識や心の謎を解くのに非常に重要な助けとなるという点について、あらためてお聞きしたいと思います。

ベンローズ——逆のかたちで言い換えてみましょう。物理学なくしては、われわれは意識や心の問題を解くことはできない。私は、物理学が、意識や心の何たるかを教えてくれるというほど楽観的な考えをもっているわけではありません。ただ、物理性を構成しているものが何かということについて、より深い理解が得られるまでは、精神性を構成しているものを理解するのに他に道はない、そう考えているだけです。

これをネガティブな意見と捉えるなら、このように

言いましょう。われわれは、何よりもフィジカルな世界をもっともっと知る必要がある、フィジカルな世界の振る舞い方、その法則について、さらに学ばなければならない。そのうえで初めて、意識や心の問題に対する理解は先に進むことができるのだ、と。私は、物理学が意識や心が何なのかという問いに答えを与えてくれると言っているわけではありません。そんなことはまったく言っていない。私の論は、特定の領域において特定の進歩がなされなければならないという方向に向いています。この特定の領域とは、主として状態収縮であり、量子力学であり、量子世界が時空とどう関連しているかということ、すなわち、われわれがいまだ明確な理解を得るに至っていない領域なのです。 *

[1998年4月10日、京都にて]

ロジャー・ベンローズ——オックスフォード大学教授。一般相対性理論の世界的権威。宇宙論、ブラックホールについて理論的な研究を行なう。著書に『心は量子で語れるか』（講談社）、『皇帝の新しい心：コンピュータ・心・物理法則』（みすず書房）、『ベンローズの量子脳理論』（徳間書店）など。さとう・ふみたか——1938年生まれ。京都大学理学部教授。ビッグバン、量子宇宙などの研究を行なう。著書に『一般相対性理論』（岩波書店）、『現代の宇宙像』（講談社学術文庫）などがある。