

宇宙の果てまで離れていても、つながっている

量子の非局所性から「空間のない最新宇宙像」へ

【目次】

第1章 世界は局所性では解けない

23

魔法の量子コイン／量子論と相対性理論の矛盾／ブラックホールのパラドックス／
宇宙の地平線問題／第3の非局所性／地下室のなかの粒子

第2章 実在の本質を求めて

72

非局所性を巡る大騒ぎ／「空間」の哲学／世界初の「万物の理論」／
機械的宇宙観の欠陥／還元主義とホーリズム／魔術と機械論／重力戦争／
穴だらけの境界／「当たり前」は変化する／「場」の導入／新たな問題

第3章 量子力学のジレンマ

127

アインシュタインの非局所性／予測できない宇宙の侵略者／
肉食主義の肉屋をやっている魔法使い／
非局所性を伴う不確定性、局所性を伴う確定性／物理学史上最も重要な対決／
非局所性に向き合わないコペンハーゲン解釈／EPR論文、ボーアの反論

第4章 大論争

159

対立の背景／非局所性を擁護する／非局所性に異議を唱える／
非局所性の代替え案(1) 超決定論／代替え案(2) 逆向き因果／
代替え案(3) 並行宇宙／代替え案(4) 实在論の否定／
ツァイリಂಗーとモードリンの対決／より先へ進むために／超量子／
代替え案を検討する／空間を捨て去る

第5章 まったく新たな空間と宇宙の姿

206

ループ量子重力理論と弦理論／場の量子論／粒子との別れ／裏目に出た「場」／超量子もつれ／ゲージの交差／新たな種類の非局所性／ワームホールは非局所的だ／時空全体への問い／重力版のゲージ不変性／存在しないと同時に、いたるところに存在する／空間の境界／にじんだ空間／ブラックホールに落ちたら／ホログラフィー原理、AdS/CFT対応

第6章 時空を超えて

266

空間より深いもの／相互作用距離／因果関係のウェブ／無媒介の距離／潜在的な複雑性／量子グラフィティ——ネットワークとしての空間／行列模型／量子もつれが空間を生み出す／行列のなかの欠陥／ビッグバンの新たなシナリオ／無の泡／時間の問題

結び ささらなる探求へ

320

S行列の挫折／星は昨日よりも近い／アンブリチュールヘッドロン／疑問によって駆り立てられる／身近にある最も風変わりなもの

「量子もつれ」についてのメモ 340

謝辞 346

*注・参考文献は www.intershift.jp/uchu.html よりダウンロードいただけます。

*文中、「」は訳者による注記です。

はじめに あらゆる謎の根源

世界は無秩序なのか

私が初めて非局所性^{ローカリテ}について知ったのは、大学院生だった1990年代前半のことだが、量子力学の教授に教わったのではなかった。教授は、そんなものは話すに値しないと想っていたようだ。近所の本屋で面白そうな本を物色していたときに、当時出版されたばかりの物理学者カファトスと科学史家ナドーとの共著による本、『意識を持つ宇宙 (The Conscious Universe)』を手に取って見ていたところ、「非局所性に比べれば、それに先立つどんな発見も、私たちの日常の現実的感覚に、これほど多くの深刻な問題を突き付けたことはなかった」という文章が目にとまり、衝撃を受けたのだ。それは禁断の果実の味がした。

英語の日常語としての「ローカリテイ」は、近所、町、もしくは、よその土地を、少し気取って指すときに使う「地域」に当たる言葉だ。だが、17世紀にさかのぼる元来の意味は、「場所」という概念そのものに関係している。それは、すべてのものには場所があるという意味なのだ。どんなときでも、ある物体を指さして、「それはここにあります」と言うことができる。できないのなら、その物体は本当は存在しないに違いない。先生に、君がやった宿題はどこかねと尋ねられて、

どこにもありませんと答えるなら、あなたは何か言い訳をしなければならぬ。

私たちが経験する世界は、局所性^{ローカリテ}のあらゆる特性を備えている。私たちは場所について、そして、場所と場所との関係について、はつきりとした感覚を持っている。愛する人との別離はつらく感じられ、働きかけたい相手が遠く離れているときは無力に感じる。ところが今、量子力学をはじめとする物理学の各分野では、場所も距離も、より深いレベルでは存在しないかもしれないという説が提案されているのだ。物理学の実験では、2つの粒子の運命を結びつけて、一対の魔法のクインのように振る舞わせることができる——投げれば当然、それぞれ表か裏を上にして落ちるのだが、なんとびつくり、常に2枚が同じ面を上にして落ちる、そんな魔法のコインのように。それらの粒子は、あいだに横たわる空間を伝わる力など一切存在しないにもかかわらず、協調して振る舞う。これらの2個の粒子は、それぞれ宇宙の反対側に飛んで行って離れ離れになったとしても、やはり一致した振る舞いをする。つまり、これらの粒子は局所性を破っている。要するに、空間を超越しているのだ。

どうやら自然は、奇妙であると同時に微妙なバランスを保っているらしい。たいていの場面では、自然は局所性に従っている——なにしろ、自然には局所性に従ってもらわないと、私たちは存在できないのだから——が、その一方で、自然はその基盤においては非局所的なのだという、かすかな証拠があちこちで見え始めている。本書では、この緊張した状況を詳しく紹介していきたい。非局所性は、それを研究する者にとつては、物理学のあらゆる謎の根源であり、今日物理学者が直面するさまざまな謎——量子論的粒子の奇妙さのみならず、ブラックホールの運命、宇宙の起源、

そして自然の本質的統一までも——の核心に関わるものなのである。

アルベルト・アインシュタインにとつて局所性は、「そもそも我々人間が科学を行えるのはなぜだろう？ 世界はなぜ、我々が理解できるようなものなのだろう？」という、はるかに広大な哲学的難問の一部だった。1936年の有名な論考のなかで彼は、宇宙について最も理解しがたいことは、それが理解可能だということだと述べた。だが、一読しただけでは、この主張こそ理解しがたいと思ってしまう。宇宙は、明々白々に合理的なものではない。宇宙は奇天烈で気まぐれで、注意を逸らせるものや恣意性、不条理や不運に満ちあふれている。起こることの大半が、理性に反する（恋愛や自動車の運転が関わっているときは特に）。だが、背景はこのような不可解な出来事に塗つぶされてはいるが、そこには、頼もしい規則性で燦然と輝やく、世界の法則が浮かび上がっている。太陽は東から昇る。手を離れたものは下に落ちる。雨がやんだら虹が出る。これを、無秩序なこの世のありがたい例外ではなく、根底に存在する秩序の兆候だと信じて、人々は物理学に取り組みようとするのだ。

アインシュタインが言わんとしていたのは、そんなことを期待する権利は物理学者にはないということだった。世界は秩序正しい必要などまったくなかつた。法則に従う必要などなかつた。状況が違えば、世界は根底まで無秩序だったかもしれないのだ。ある友人がアインシュタインに手紙で、世界の理解可能性についてあのような発言をした真意を問いただしたところ、彼はこのように返答した。「世界はいかなる方法によつても精神には把握できないカオス的なものと予期すべきことは、自明だ」

世界の理解可能性は、人間には決して理解できない「奇跡」だと言つたアインシュタインだったが、彼自身はそれを理解する試みを止めることはなかつた。学者人生を通して、彼は声を大にして、「宇宙の何がそれを理解可能にしているか」を巡つて発言し続けたのであり、そんな彼の考え方が現代物理学の進む方向を決めたのだった。たとえば彼は、自然の奥にある構造は極めて対称的で、世界は異なる角度から見ても同じに見えることに気づいた。物理学者たちが発見した多種多様な素粒子は、わけのわからない雑多なもの集合としか見えなかつたが、対称性はそこに秩序をもたらず。ある意味、あらゆる種類の素粒子は、お互いの鏡像になつている。しかし、世界が持つている特性のうち、世界を理解する希望を人間に与えてくれる最も重要なものとして、アインシュタインが常に立ち返つたのが局所性だった。

局所性は、人によつて異なる意味で使われる微妙な概念だ。アインシュタインにとつて、局所性には2つの側面があつた。ひとつ目は、彼が「分離可能性」と呼んだもので、任意の2つの物体、または、ひとつの物体の2つの部分は、少なくとも原理的には分離でき、分離したそれぞれを独立したものを見なすことができるという意味だ。ダイニングテーブルの椅子は、1脚ずつ部屋の異なる一角に置くことができる。それによつて椅子が存在しなくなつたり、大きさ、形、座り心地など、どんな特徴も失つたりしない。ダイニングテーブルのセット一式の性質が、それを構成している椅子から派生している。つまり、1脚の椅子に1人の人間が座れるなら、4脚からなるセットには4人の人間が座れるわけだ。全体は部分の和である。アインシュタインが特定した2つ目の側面は、「局所作用」と呼ばれている。物体と物体は互いに接触するか、あるいは、あいだに存在する

隔たりを埋めるために何かの媒介を使うか、いずれかの手段による以外、互いに作用しあうことはできないという意味だ。誰かから遠く離れているとき、その距離を越えてその人に触れるか、話しかけるか、あるいは殴るかなど、何らかのかたちで直接接触するか、さもなければ、代わりにそうしてくれる誰かまたは何かを送るかしない限り、相手には一切働きかけられないことは、私たちもよく知っているとおろだ。現代の技術でさえ、単に新しい媒介物を使っているだけで、この原則を免れてはいない。電話は、音波を電気信号か電波に変換し、電線か空中を移動させて、受け手側で再び音に変換する。この経路のあらゆる段階で、何かが何かと直接接触しなければならぬのだ。電線にごく細い亀裂があつただけでも、空気のない月面で叫ぶのと同じで、メッセージはまったく伝わらない。要するに、分離可能性が物体が何であるかを決め、局所作用がその振る舞いを決めるのである。

アインシュタインはこれらを基本原理として、相対性理論のなかに捉えた。相対性理論は特に、光よりも速く動くことのできる物体は存在しないとしている。このような究極の制限速度がなければ、物体は無限に速く動くことができ、距離の意味はなくなってしまうだろう。自然のあらゆる力は、かつて物理学者たちが考えていたように、一度の跳躍で空間を飛び越えるのではなく、空間のなかを一生懸命進まねばならないのだ。このように相対性理論は、離れ離れに存在する物体どうしが、どの程度離れているかという尺度を提供し、それぞれの物体が明確に区別できることを保証する。

相対性理論も、そのほかの物理法則も、あなたの受け止め方によって、宇宙に課せられた深奥の秩序として満足できるものだったり、人生から面白いものすべてを奪おうとする権威主義的な親のように、楽しみに水を差して台無しにするものだったりする。人間が腕を上下に振って飛ぶことができたなら、どんなに素晴らしいでしょうね——でも、残念ですが、そんなことはできません。エネルギーを生み出せば、世界の諸問題を解決できますよね——ああ、物理学はそれも禁じているんですよ。人間には、ある形のエネルギーを別の形に変えることしかできないんです。おまけに、局所性という厳格な絶対命令が、超光速宇宙船や超能力の夢を破ってしまう。ただ祈るだけで、あるいは、肘掛け椅子に座つたまま、的確なコメントを叫ぶだけで、自分が応援するチームを競技場で優位に立たせられたらなあ——そんなスポーツファンの永遠の望みを、局所性は打ち砕く。

だが、局所性は私たちにとってありがたいものなのだ。私たちの自意識、つまり、自分の思考や感情は自分のものだという自信の基盤となつている。「人は誰も孤島ではない」と言つた詩人のジョン・ダンには申し訳ないが、人間は一人ひとりが孤島なのだ。私たちは互いに、海のような空間で断絶されており、そのことに感謝しなければならぬ。局所性がなかったなら、世界は魔法界のようなものになるだろう。だが、デイズニーランドのような楽しい魔法界ではない。スポーツファンは、リビングに居ながらにして試合を左右しようと願うかもしれないが、何を願うか気をつけねばならないだろう。というのも、敵チームのサポーターも同じ能力を持っているはずだからだ。全国の数百万人のカウチポテト（ソファに座ってテレビばかり見ている人）が、自分が応援する側を有利にしようと精神を集中させて、試合そのものを無意味にしてしまうだろう——競技場における才能の競い合いではなく、ファンの意志の勝負になってしまうのだから。スポーツの試合にとど

まらず、世界のすべてが、私たちに敵対的なものになってしまう。局所性のない世界では、体の外部の物体が、皮膚を通過することなく体の内部に侵入できるので、体は内部条件をコントロールする能力を失ってしまうだろう。あなたは環境と混ざりあってしまう。そしてそれは、死の定義にほかならない。

空間の崩壊

自然を理解するための重要な必要条件のひとつとして局所性に注目することにより、アインシュタインは、2000年にわたって哲学と科学で継承されてきた考え方を結晶化させた。アリストテレスやデモクリトスなどの古代ギリシアの思想家たちに合理的な説明を可能にしたのは、局所性だった。物体と物体が影響を及ぼしあえるのが直接接触するときだけなら、どんな出来事でも、「これがあるにぶつかって、ぶつけられた」「あれ」が別のものに衝突し、衝突されたものがまた別のものにぶつかって弾き飛ばされた」などのように、逐一詳述できる。どの結果も、空間と時間のなかで途切れることのない一本の鎖でつながった一連の出来事によって、ある原因に結びついている。どこかの点に向かってあなたが手を振って、「あそこで奇跡が起こる」と、むにやむにや小声で言わねばならないことなどない。ギリシアの哲学者たちが拒否したのは、奇跡というよりも——彼らは無神論者ではなかった——、むしろむにやむにや小声でごまかすことだった。神が行使する力さえも、明白で説明可能な法則に従っていないなければならないと彼らは感じたのだ。局所性は、哲学者や科学者が追究するような説明にとつてのみならず、彼らが使う方法にとつても不可欠だ。

た。局所性のおかげで、物体をひとつずつ分離し、一度にひとつずつ把握し、世界の描像をこつこつと少しずつ構築していくことができ、一度にすべてを理解するなどという不可能な仕事に直面せずに済むわけである。

晩年に近づいた1948年、アインシュタインは短い論考のなかで、局所性の重要性を次のように総括した。「物理学の諸概念は、実在する外的世界……すなわち、それを観察している主体からは独立した、「実在」を主張するものに関する概念だ。これらのものは、空間の異なる部分にある」限りにおいて、互いに独立な存在を主張する。このような相互に独立した存在、つまり、空間的に離れた物体という仮定——日常的な思考のなかに起源を持つ仮定——がなければ、私たちが慣れ親しんでいる物理学の思考は不可能だろう。また、このような明確な分離がなければ、物理法則が定式化でき、検証できる理由も理解できない。」

局所性の重要性がこれほど広範囲に及んでいるのは、それが空間の本質だからだ。ここで言う「空間」は、宇宙飛行士や小惑星が存在する「宇宙空間」のみならず、私たちと周囲の物体とのあいだにある空間、私たちの体やほかのすべてのものが占有している空間、私たちがバットを振り、巻き尺を伸ばす空間をも意味している。望遠鏡を惑星に向けようが隣家に向けようが、あなたは空間を横切って覗き込んでいるのだ。私がある風景を美しいと感じるわけは、果てしなく広がっている空間がもたらす、くらくらするような感覚、つまり、谷の向こう側にある小さな点々が、実際にそこにあり、もし腕の長さが十分ありさえすれば触れることができるのだと気づいたときに起きる、一種の眩暈にある。

画家たちが大昔から知っていたとおり、空間は何も存在しないただの「無」ではなく、それ自体が実在である。画面に描かれた物体と物体のあいだに存在するものは、物体そのものと同じく重要だ。物理学者にとって、空間は物理的実在の背景である。人間の物理的自己が持つほとんどすべての性質も、やはり空間的なものだ。私たちはどこかの場所を占有している。私たちには形がある。私たちは動く。多数の細胞とさまざまな液体が空間のなかで微妙な振り付けで踊っているのが私たちの体だ。空間を横切る経路に沿ってビュッと飛ぶ神経の電気信号が私たちの思考を形作っている。私たちが、ほかのあらゆるものを行うすべての相互作用は、空間を通して起こる。生き物は物質的実在であり、その物質的実在とは、空間のある体積を占有することによって個としてのアイデンティティを獲得する、宇宙の一部以外の何ものでもない。

物理学は、物質的実在、すなわち物体が空間のなかをどのように動くかを調べることに起源を持つており、距離、大きさ、形、位置、速度、向きなど、物理学が扱うほぼすべての量は、空間によって定義されている。世界には、一見空間とは無関係に思える性質もいろいろあるが、実はそれらも空間に関係している。たとえば色は、光の波の大きさに対応している。物質の性質で、今のところ空間による説明がまったく知られていないものは、電荷など、ごくわずかしが存在せず、これらの性質にしても、空間内での運動を逸らせるからこそ、自らを露呈する。私たちがあがる物体を見るとき、その物体に関するすべては、突き詰めれば空間的で、構成する粒子の配置に起因している。これらの粒子が最小の構成要素だ。機能は形の結果として生じる。空間的ではない概念も、物理学者の頭のなかでは空間的になる。たとえば、時間はグラフの横軸になるし、自然法則は抽象的

な可能性の空間のなかで働く。アインシュタインに大きな影響を及ぼした、あの偉大な哲学者イマヌエル・カントも、空間なしには世界を思い描くことはできないと考えていた。

局所性の最大の擁護者が、それを壊滅させた張本人だったとは、何という運命の皮肉だろう。アインシュタインは、世間には相対性理論で最もよく知られているが、じつのところ、彼がノーベル賞を受賞したのは、原子や原子以下の微小な粒子の振る舞いを記述する量子力学の創設者のひとりとしてだった。量子力学のはっきりした影響が最も強く現れるのは、微小な尺度においてなのだ。物理学者たちは、量子力学はすべてのものの振る舞いを説明すると考えている。この理論は、原子や素粒子は、私たちが日常目に見ている物体をただ小さくしただけのものではあり得ないという、アインシュタインや彼と同時代の物理学者たちの洞察から生まれた。もしも原子や素粒子が、アイザック・ニュートンらが構築した古典的な物理法則に従って振る舞っていたなら、世界は自滅していただろう。原子は崩壊し、素粒子は爆発し、電球は危険な放射線であなただけを焼き殺していただろう。私たちがまだ生きているということは、物質は何らかの新しい法則に支配されているに違いないということだ。アインシュタインは新奇なものを歓迎した。彼は晩年、古典物理学の延命工作をしていると（不当に）批判されたが、実際には、彼は常にほかのすべての人に先んじて、量的世界の摩訶不思議な特徴を正しく理解していたのだ。

これらの特徴のひとつが、非局所性だった。量子力学は、2個の粒子が切っても切れない関係になり得ると予測する。結びつける方法が存在しないのだから、完全に独立しているはずなのに、片

方に触れたら、もう片方にも触れたことになるというのだ。まるで、距離など何の意味も持たないかのように。分断して征服するという科学の手法は、これらの粒子のおかげで使えなくなる。これらの粒子は、個々の粒子を見ていたのでは気づかないいくつかの性質を共有しており、それらの性質は両者を一緒に測定しなければ捉えられない。この世界には、このような一見超常的な関係が蜘蛛の巣のように張り巡らされている。あなたの体のなかの原子は、あなたがこれまでで愛したすべての人と結びついている——ロマンチックと思われるかもしれないが、道を歩いていて軽くぶつかったすべての見知らぬ人も結びついているのだと気づけば、ぞっとするはずだ。

宇宙の反対側にある2個の粒子が本当に結びついているなんて、あり得ないじゃないか？ そんなことはぼかしていると、アインシュタインには思えた。科学以前の、何でも魔術で説明する時代への後退だと。そんな「不気味な遠隔作用」を意味する理論など、何かを見落としているに違いないと彼は考えた。そこで、世界は実際には局所的なのだが、非局所的だという印象を与えているだけなのだと考え、2個の粒子が一致して振る舞うことを可能にしている隠れたメカニズムを暴露するために、一段と深い理論を構築しようとした。しかし、どんなに努力してもそんな理論は見つけられず、アインシュタインは、何かを見落としているのは自分のほうかもしれないと思うようになった。隠れたメカニズムなど、おそらく存在しないのだ。局所性の原理は——そして、私たちの空間という概念も——、無効なのかもしれない。アインシュタインは、死の数日前、もしも空間が崩壊するとしたら、それは私たちの世界観にどんな意味を持つのかと、熟考した。「そのとき、私が築いた空中楼阁のすべてが、重力理論も含めて、何も残さずに消え去るだろう。だが、この時

代のほかの物理学もすべて、無に帰すだろう」

本当に不気味だったのは、彼と同時代のほとんどの物理学者がすこぶる楽天的だったことだ。彼らには、非局所性など大したことではなかった。彼らが事もなげだった理由は複雑で、今なお歴史家たちの議論が続いているが、おそらく実用主義プラグマティズムのためというのが最も寛大な説明だろう。アインシュタインを苦しめたさまざまな疑問は、量子論を実際に応用するには何ら関係ないと思われたのだ。ようやく1960年代になって初めて、新世代の物理学者と哲学者が、アインシュタインの苦悩を真剣に受け止めるようになった。彼らが行った実験が、非局所性は理論上の興味深い問題ではなく、厳然たる事実だと示していたからだ。だが、それでもなお、彼らの仲間の大半は、それについてほとんど考えようとしなかった——私が大学院生時代に、たまたま手に取った本でこの問題を知ることになったのも、こんな状況だったからだ。

しかし、この20年にわたり、彼らの態度が注目すべき進化を遂げるのを私は目撃した。非局所性は、物理学の主流に猛烈な勢いで流れ込み、アインシュタインが発見した現象をはるかに通り越して、彼方に到達したのだ。科学関係のライターや編集者としての仕事のなかで私は、幅広い分野の科学者と話をする機会に恵まれてきた——素粒子からブラックホール、そして宇宙の壮大な構造まで、ありとあらゆるものを研究する人々と。私は彼らから「ええ、それはとても奇妙で、自分で見たのでなければ信じなかったでしょうが、どうやら世界は、非局所的であるに違いないようです」という意味の言葉を何度も聞いた。相手を知らないことも珍しくないのに、同じ結論に到達しているこれらの研究者たちは、まるで宇宙の反対側にある2個の結びついた粒子のようだった。

アインシュタインが非局所性は魔術めいていると思っていたのなら、最近の研究は超常現象に信頼性を与えるのだろうか？ そう考えている人もいる。この20・30年ほどのあいだ、少なからぬ科学者が、粒子どうしの非局所的な結びつきが、人間に超能力をもたらすと推測している。たとえば、あなたの脳内の粒子が、あなたの友人の脳内の粒子と量子的にもつれていたら、2人はテレパシーでコミュニケーションできるかもしれないというのだ。その一方で、超常現象を示唆することを理由に、非局所性に関する研究のすべてはナンセンスだと否定する物理学者も大勢いる。実際には、非局所性は超常現象とは何の関わりもない。これまでに検証に耐えた超能力の証拠などまったくないし、物理学で議論されている非局所的現象はどれも、あまりに微細で、心と心を融合させたり、遠くで行われている野球の試合に影響を及ぼしたりすることはあり得ないのだ。

これにがっかりしてしまう人もいるが、それは違う。世界のほんとうの不思議さは、それが不思議でないことにあるのだから。先に私が述べた理由から、局所性は私たちが存在する前提条件である。非局所性はすべて、安全にしまい込み、特定の条件においてのみ出現するようにしておかねばならない。さもなければ、この宇宙は生物に敵対的なところになってしまう。とはいえば非局所性が私たちに与えてくれるものは、どんな超常現象よりもはるかに素晴らしい。なにしろそれは、物理的実在の本質を見ることができるといえる。まるで空間など存在しないかのようになり、影響が空間を飛び越えることができるのなら、空間は本当は存在しないのだという結論に自然にたどり着く。コロンビア大学の弦理論研究者ブライアン・グリーンは、2003年に出版した『宇宙を織りなすもの』（草思社）のなかで、非局所的な結びつきは「空間は、かつて私たちが考えていたよ

うなものではまったくないということを示している」と述べた。ならば、空間とは何なのだろうか？ 非局所性を研究すれば、手掛かりが得られるかもしれない。今日多くの物理学者が、空間と時間とはや死に体だと考えている。つまり、それらは自然の根本的な要素ではなく、原始の宇宙に存在した何らかの非空間的な条件が生み出したものに過ぎないというわけである。空間は、縁がほつれ、あちこち擦り切れて穴が開いた絨毯のようなものだ。ほつれた部分を調べると、絨毯がどのように織られているかがわかるように、非局所的な現象を研究することにより、空間がいかにして、非空間的な要素から組み立てられているかを垣間見ることができるといえる。

「非局所性の発見と証明こそが、20世紀物理学の唯一最大の発見だと、以前からずっと、そして今でも、私は考えています」と、ニューヨーク大学の教授で、世界をリードする科学哲学者のひとり、ティム・モードリンは言う。彼は1990年代後半に発表した論文のなかで、非局所性の意義を次のように総括している。「世界は単に、局所化されて離散的に存在し、空間と時間だけによつて外的に関係しあっている物体の集合ではない。何かいっそう深いもの、いっそう不可思議なものが、世界を織り合わせている。物理学が展開していくなかで、私たちはようやく、それは何なのかとじっくり考え始めたばかりなのだ」

一方で、まさに非常に多くのものが危機にさらされているからこそ、非局所性が現実であるはずはないと私に語る科学者もいる。つまり、非局所性を示す現象のいくつかは、間違った解釈をされているだけだとやがて判明するだろうから、すべての非局所性現象をひとまとめに論じるのは適切ではないというのだ。空間に基づく論理的思考を使って大きな成功を収めてきた物理学者たちが、

それを易々とあきらめるはずがない。懐疑論者のひとり、ブリテイッシュ・コロンビア大学の物理学教授ビル・ウンルーは、アインシュタインの考えに非常に近い感情を抱いている。「何を知るためにも、宇宙に関するすべてを知らなければならぬ」としたら、非局所性を真剣に受け止めなければならぬとしたら、つまり、ここで起こることが恒星の振る舞いに依存するなら、物理学は事実上不可能になります。世界は分割可能だからこそ、物理学は成り立っているのです。私たちの未来を知るために、本当に恒星を観察しなければならぬとしたら、どうやってこの先、物理学を続けられるのか私にはわかりません」

それ自体の魅力はさておき、非局所性は科学的論争の理想的な事例でもある。モードリンとウンルーなどの意見の不一致は、純粹に知的なものだ。隠れた疑惑を疑わせるような、経済的利益などない。エクソンモービル社のロビイストなどが廊下をうろついていることもない。論敵どうし、個人的な敵意などまったくなさそうで、多くが友人どうしだ。数学はすこぶる単純だし、実験結果には議論の余地がない。それなのに、何世代にもわたる議論がなおも続いている。今日の学者たちが、1920年代から30年代にかけてアインシュタインやその論敵たちが行った議論を繰り返している。いったいどうしてだろう？ そして、専門家たちが合意に到達できない状況で、私たち素人はどうすればいいのだろうか？

このところ最も注目されている科学的論争について考えてみてほしい。気候変動である。気候科学者の大半は、人間の活動が地球の温暖化を進めていると考えているが、一部の抵抗者たちはまだ同意していない——おかげで、新聞を読んだりウェブページを見て回ったりした挙句、気候変動に

まつわる議論はよくわからないと感じる人もいるだろう。ほとんどの人は、大気の大循環モデルや、長波放射測定（波長の長い赤外線放射の測定。この場合、地表からの熱放射の測定）の専門家になる時間などない。だが、専門家がなおも議論を続けようが、近い将来、論争を実際的な意味において解決することは可能なのだと、私たちは納得するだろう。気候変動の場合、市民は既に自分たちがしなければならぬことを知っている。気候災害が起こる可能性が十分にある今、そのリスクを管理するのが賢明なのは明白だ。自宅の火災保険に入るのに、燃焼理論で博士号を取る必要はないのと同じである。これと同様に、非局所性の場合も、最も頑固な懐疑論者も、何かとつもなく奇妙なことが起こっていることは認めている。それは、私たちが心の奥底に抱いている空間と時間の認識を超えることを迫っているが、宇宙がいかにして生まれ、自然界がどのように組み合わさって完全な統一をなしとげているかを知りたければ、絶対に理解しなければならぬことなのだ。

社会にまつわる話も、科学の脇を流れる時代背景のようなものではなく、直接科学に関わっている。なぜなら、さまざまなアイデアがぶつかり合い、完全に明白なものなど何もない流動的な研究の現場では、科学の外部の人間が、科学の方法と考えているもの——事実、論理、方程式、実験の理解を通して前進すること——では、議論を終結させるには不十分だからだ。科学者たちは、直感、隠喩的な結びつき、彼らの基本原則の妥当性についての判断といった領域に踏み込まねばならない。非局所性について研究することに決めた私は、自然のなかでの気楽な散歩と見えるようなことを始めたのだが、すぐに、自分が風変わりな熱帯雨林のなかでいろいろなものに絡まれていることに気づいた。そこでは、一面に木の葉が光り輝き、迷路のような横道があちこちに伸び、体を支

える手すりになりそうなものは、よく見ればヒアリがたかっていた。科学のなかで、最も古くて深い概念のひとつに疑問を呈することの逆行性にわくわくしている科学者たちもいれば、それが常軌を逸していることに身震いする者たちもいる。局所性が否定されるのなら、アインシュタインが恐れたように、私たちの宇宙は結局理解できないのだろうか？ それとも、物理学者たちは、世界を論理的に説明する何かほかの方法を発見できるのだろうか？

第1章 世界は局所性では解けない

魔法の量子コイン

コルゲート大学にあるエンリケ・ガルベスの研究室は、車2台用の車庫ぐらいの広さで、たいていの家の車庫と同じく、いろいろなものが入り込んでいる。壁に沿って作業台が並び、そこに工具箱や、多少の整備が必要な電子機器類が載っている。入ってすぐの左手には、最も使用頻度が高い装置、コーヒーポットがある。部屋の中央を、一対の光学台オプティカルベンチが占めている——工業用強度のある鋼鉄製の台で、どちらも大きさはダイニングテーブルくらい。上面は穴が縦横に並んだ板で覆われており、それぞれの穴に、鏡、プリズム、レンズ、フィルターが取り付けられるようになっていいる。「子どもにかえって、メカノ社のエレクターセットで遊んでいるようなものですよ」とガルベスは言う。コメディアン出身の上院議員だったアル・フランケンにそっくりの、人当たりのよいペルー出身の学者だ。

量子もつれ「量子エンタングルメントとも言う」とはどのようなものを世界に示す仕事を引き受け