

物理学からの類推より“考えられるガバナンス”の記述

——「パラレル“居住”」対応の「量子都市ガバナンス」論の構築にむけて——

谷村光浩

■もくじ

1. はじめに
2. 物理学史にみる世界観革命
3. 量子力学の「奇妙」な記述
4. 量子力学の「解釈問題」から
5. 物理学から類推されるガバナンスの記述

1. はじめに

今日、出生国以外にらす人々は、国際移住機関(IOM)の概説資料によると、世界全体で2億人をこえる——これを国別人口ランキングにあてはめたら、中国、インド、アメリカ、インドネシアに次いで第5位に相当——。しかも、2007年、その送金額は約3,370億米ドル(うち途上国へは2,510億米ドル)にも達している(IOM, Global Estimates and Trends)。

今後の「開発」や「都市」を、ことに人口の流動性との関係で論じるには、そうした国際的な動向に留まらず、国内、都市圏内・外縁部での人々のモビリティにも視野を広げ、なおかつ、それが単なるフローではなく「パラレル居住」(十分な解を確保するため、複数のテリトリー/ノンテリトリー空間を並列に編成し、それらを行き来して、同時化させながら“住まう”こと)をも含む点を勘案することが重要になると、筆者は国際連合大学(UNU)学長室等での研究事業を通じて、これまで述べてきた(Tanimura 2005, 66-67; 2006, 276)。そして、必然的に、「従来の“定住社会”(唯一の最適解として選択された居住地への定着)、“国民国家”(定住者が編成する共同体の一形態)づくりを前提にした都市ガバ

ナンスとは本質的に次元の異なる見方が早急に探究され、さらにはそこから新たなビジョンを描き出せるように手はずを整えておく必要がある」とも、問題提起してきた(Tanimura 2006, 275)。

特に、“Beyond UN-Habitat’s Classic Framework in Urban Development Strategies”[国連ハビタットによる都市開発政策を越えて](Tanimura 2006)では、「パラレル居住」のいくつかの具体的事例を整理し、さらにはこれに対応しうるガバナンスとして、暫定的に量子力学の「多世界解釈」にヒントを得た「量子都市ガバナンス」という新機軸を提案した。この新しい視座は、金泰昌他(2004)の討議から示唆を得た「固体相のガバナンス」、「液体相のガバナンス」と、次のように対比させた(Tanimura 2006, 295)。

- ① 「固体相のガバナンス」とは、テリトリーをもとに定住者が編成する旧来の共同体、地方・中央政府という近代国民国家の構成要素を基軸にしたもので、これは、そうしたロジックの補強・強化を企図する国際機関やグローバル企業によっても共有される。なお、移住者は、唯一の最適解を求め

て流入してきた新定住者との枠組みの中で処理される。

- ② 「液体相のガバナンス」とは、唯一の最適解として選択された定住地からグローバル空間を駆け回る人々や、そうした定住地を求めた移民が織りなすトランスナショナルリズムのように、固体相の想定する静的枠組みを越え、地域共同体が複数の社会とのネットワーク状の関係性の中で編成されていくという、流動者からみた動的なとらえ方である。
- ③ 「量子都市ガバナンス」とは、以上のようなみなし「定住」社会を近似計算で運営してきたニュートニアン・パラダイムを越えて、「パラレル居住」の概念を契機に見えてきた人間居住に関わる「不確定性」や「波動(運動状態)」を、量子物理学〔量子力学〕における「多世界解釈」の適用によって、リアルにとらえようとする都市ガバナンスの提案である。

国際社会では、今後さらに進展するとみられる「グローバル化・都市化をすべての人々のために」とする施策を具体的に構想することが、喫緊の問題となっている。そして、そのような討議を重ねていく際の礎であり、まさに政策課題の1つでもある「ガバナンス」を、これまでになくしなやかに発想する必要に迫られている。そこで、本論文では、いったん思い切って旧来のガバナンス論からは離れ、上述の考察を糸口にして、さらに物理学分野の言説からのパラフレーズにより、ことに「パラレル“居住”」にも対応した“考えられるガバナンス”の理論的枠組みを構築する作業を試みる。むろん、アナロジーをもとにしたこの着想は、次段階に計画している最新の現実と理論にてらした精緻な論考を通じ、ただのつじつま合わせに終始することなく、一層手を加え、深められるべき試案であ

る。

量子力学を含む、おもに現代物理学に関する文献研究を通じて、本論文では、まずは物理学史にあって世界観革命をもたらしたとされる17世紀「古典物理学」ならびに20世紀「量子物理学」の各パラダイムを概観する。それから、量子力学の核心をとらえた「奇妙」な記述——シュレーディンガー方程式、ボルの確率解釈、ハイゼンベルクの不確定性関係——を手短に整理した後、いわゆる「量子力学の解釈問題」——ボーアが主導した「コペンハーゲン解釈」に加え、他の考え方のなかでもことに近年注目されているエヴェレットの「多世界解釈」——をめぐる論述にも着目する。そして、古典・量子物理学におけるそうした示唆に富む論考を土台に、類推より“考えられるガバナンス”——“定住者”にはもともと感じられそうな「ニュートニアン都市ガバナンス」と、“定住者”には突飛な発想と思われるにちがいない「量子都市ガバナンス」(“居住”状態の蓋然的解釈ならびに多“居住”解釈)——の記述を取りまとめる。なお、その際には、上述の「パラレル居住」、「量子都市ガバナンス」の表現にも、小幅なバージョン・アップをほどこす。そして最後に、「量子都市ガバナンス」なる理論的枠組みの構築にむけ、目下、次のステップとして抱いている今後の課題などを記す。

2. 物理学史にみる世界観革命

2-1. ニュートンにはじまる「古典物理学」の世界観

物理学史において、17世紀は「科学革命の時代」とされる(井山2000, 26)。それまでのプラトンやアリストテレスの発想とは大きく異なるデカルトの「機械論的世界観」(宇宙全体を精巧な機械にとらえ、いくつかの基本法則が世界を支配しているとの考え方)は、ニュートンが

1687年に著した『プリンキピア(自然哲学の数学的諸原理)』によって「正しさ」を証明され、20世紀の幕開けが目前に迫るまでの実に長きにわたり、まさに支配的な物の見方、思索の枠組みとなった(リンドリー 1997, 16; 和田 1997, 35; ラフリン 2006, 46-47)。物理学者の作業とは、宇宙の機械的動きを明確に描き出すため、因果関係を精緻に探り、いわば「新たな歯車」を加えていくことであったという(リンドリー 1997, 16)。

ニュートンは、みずからの力学を論じるにあたり、「不動で不変の絶対空間と、一様に流れる絶対時間という外枠を仮定」している(内井 2007, 155)。最近の宇宙論の動向を概念的な「拡張路線」と「緊縮路線」とのせめぎ合いという観点から考察する科学哲学者、内井惣七(2007, 155-156)⁽¹⁾は、類似した路線対立を歴史にも見いだせるといい、ニュートンの「外枠(背景)」を前提とするアプローチを「拡張路線」とした上で、相対する「緊縮路線」を歩んだ「ライプニッツは、絶対空間と時間の外枠(背景)を仮定することは、世界の事物そのものに内在しない、余分な区別を持ち込むことになるので、科学理論、とくに究極の理論を目指そうとするなら望ましくないと論じた」と、現代的にその意を巧みに汲み取っている。また、オックスフォード大学にて量子力学の先端的な研究にあたるコリン・ブルース(2008, 151)は、その「固定された3次元空間と、1つの時間」という「ごまかされるほどしっくりくるニュートン的な世界像は、実際は、貴重なものを我々から奪ったのだ」と、まずは注意を喚起する。

さらに、ニュートンが自然現象の推移を論考する視座については、ブルーバックス・シリーズなどで著名な都筑卓治(2002, 143-144)が、「対岸を眺めたニュートン」という一項目において、次のように述べている。

.....観測するわれと、観測される対象物である自然界との関係についてはなにも触れられていない。いいかえれば、大自然という大きなつぼをその外側から正視している。自然界のできごとすべてを、対岸の現象としてとらえ、川をはさんだこちらの岸から見守っているのである。るつぼの中でどのような葛藤が起ころうとも、川をへだてたむこう岸がどんなに喧噪な娯楽であろうとも、これを見つめる観測者にとってはすべてが他人ごとである。

われ(測定する者)とかれ(自然現象)との間に巻き添えとか、とぼちりとかいう言葉を完全に拒否した姿勢.....これがニュートンの立場だといえる。(傍点原著者)

このようなニュートンの観測者と観測対象との関係については、科学作家の竹内薫(2004, 98)によって、「“固定された1つの観客席から固定された1つの舞台を見る”という単純な構造」とも解説されている。

やがて、19世紀末には、神学的な意味合いを含み持つニュートンの「絶対空間」,「絶対時間」なる概念に対して、「絶対的客観性を否定し、知識の形態そのものが社会の発展段階のもつそれぞれの社会形式に束縛されている」という視座を提起したマッハの認識論が、マルクス理論とともにラディカルな人々の心をとらえた。そして、「社会改革は同時に知識の改革に連なるという理念」が築かれようとするさなか、若きアインシュタインも、みずからの研究を進めていた(村上 1998, 119-122, 127)。ネイチャーやサイエンスの編集もつとめたサイエンス・ライター、デイヴィッド・リンドリー(2007, 11-12)は、その高名な理論物理学者による知的チャレンジの核心を次のように記している。

.....1905年、アインシュタインは絶対空間と絶対時間という旧来のニュートンの概念を相対性理論によって打ち壊した。.....

だが、アインシュタインからすれば、.....相対論が異なる見方をしてもいいとしているのは確かだが、この理論のそもそもの要点は、一見矛盾しているように見える観測結果であっても、対立を取り除いてすべての観測者が同意できるようにすることが可能な点にあったのだ。

さきの「対岸を眺めたニュートン」を描き出した都筑卓治(2002, 144-145)は、「ニュートンの力学は多少修正されたが、.....ニュートンの思想の基盤は相対論に至っても変わっていない」と論じ、古典物理学とは、「正確には、測定という操作が対象物に何らの変化ももたらさない立場にあった物理学」であるが、「この意味では相対性理論も古典物理学」であると手際よくポイントを説いている。

2-2. 人類の特殊性まで浮かび上がらせる

「量子物理学」の世界観

20世紀を『物理学の世紀』(佐藤1999)へと導いたのは、アインシュタインの相対性理論に加え、現代では「古典物理学」と対比される新しい「量子物理学」である(都筑1994, 16-17)。「物理学=アインシュタイン=相対論」という世間の物理学イメージは今なお根強いが、物理学界の重鎮である佐藤文隆(1999, 71)は、「冷静にみれば、20世紀物理の主役は相対論よりはむしろ量子力学」と評している。ミクロな世界を数学的に解き明かしてきた量子力学は、実際に、現代社会において「ナノテクノロジーや材料、電子や光の工学、通信やコンピュータ、リニアモーターや原子力、物質の根源から宇宙の起源まで迫る自然探求」に幅広く用いられてい

る(佐藤2005, 42)。

旧来「自然の変化は予測可能である」としてきた古典物理学の因果性は、「自然の変化は連続的ではなく、確率的に起こる」と記述する量子力学が現れたことよって大いに揺さぶられる(町田1994, 19)。ちなみに、素粒子論が専門の町田茂は、『量子力学の反乱』(1994, 20)において、近年注目された「カオス」というおもしろい現象」は、量子力学の自然認識とは根本的に異なることを、次のように解説している。

.....カオス現象は.....あらゆる自然の事象に見られる。だがこれは.....自然現象にはあまりにも多くの要素が複雑に絡み合っているので、たった1つの要素がごくわずかに変化しただけでもその挙動が大きく異なってしまい、現実的に計算不能だということにすぎない。仮に宇宙のあらゆる影響をすべて計算に入れることができたなら、予測は可能なはずなのである。つまり、カオスは古典物理学の枠を逸脱しているわけではないのだ。

ニュートン力学から量子力学への移り変わりは、ともすれば「それまでのものがまったく否定され、新しいものが登場したかのような」感覚を与え、パラダイムの変革と性急に受け取られがちであるが、量子力学の世界像や解釈問題などの著述で知られる和田純夫は、『20世紀の自然観革命』(1997, 38, 44)にて、それらが異なるパラダイムであることに相違ないが、いわゆるパラダイム・シフトではなく、「パラダイムの深化」ととらえられるべきと、以下のように論述している。

.....マクロな対象に限ったときのニュートン力学の真実性.....は、20世紀になっても揺らいでいない。原子といった細かい対象を相手にしない分野では、いまでもニュートン力学

が堂々と使われていることからわかるだろう。

.....それまでのパラダイムの否定ではなく、いままでのパラダイムの意味がより深い立場から理解されるとともに、その限界も明確にされた、つまり、より包括的なパラダイムのもとに包含されたというのが、正確ないい方だろう。20世紀の自然観革命の結果、従来の自然観が深まったというわけだ。

竹内薫(2001, 12)は量子力学の概説書において、はじめに「世界は、正確には、量子力学で記述される.....。だが、近似計算ができる場合があって、その近似計算のことをニュートン力学とか古典力学というのだ」と考えても差し支えないと、要点を簡明に述べている⁽²⁾。

量子力学の骨格が形成された1920年代頃の中部ヨーロッパについては、町田茂(1994, 192-194)が、当時は第一次世界大戦に敗れたドイツがワイマール共和国(1918-1933)であった時期と重なり、「若者たちは不安と焦燥と失望の中にあり、古い指針に見切りをつけて新しい指針をみつけようとしていた」状況のもとで、「決定論的因果律を信じ続けるのは大変なことであったに違いない」と振り返っている。また、佐藤文隆(1999, 81-82)は、「ワイマール共和国は不安定であったが、実験的で、解放的な雰囲気醸成」、そうしたなか「若い研究者に従来の物理学者を支配していた素朴な実在性・理解可能性・因果性を打破しようとする風潮があったことは無視できない」と指摘している⁽³⁾。

20世紀の物理学は、つまるところ、「もの」自体というよりは“ものの見方”の追究に傾注してきたと語られることがある(佐藤1999, 14)。

理論物理学者のゲーザ・サモシ(1997, 179)が提起した見解は、とりわけ衝撃的である。科学史家がいう古典力学の「機械論的宇宙」とは、

「進化論的な展望からすれば、.....人間の顔をした哺乳類の宇宙像——人間の脳に作りつけになっている知覚による宇宙像の、数学の枠組みの中での組みかえ——と呼ぶことも.....できよう」と述べ、さらに次のように論じている(200)。

古典物理学があらゆる科学以前の、伝統的社会の神話による、文化的に決定された世界像と縁を切ったときには、それは十分ラジカルな企てであった。しかし、20世紀の物理学は、それよりもはるかに大胆なものだ.....。それ以前の人間の考え方に疑問を投げかけただけでなく、.....哺乳類による宇宙像そのものに異議を提起したのである。

『量子力学のイデオロギー』に挑んだ佐藤文隆(1997, 104)は、量子力学断章の「唯一でない世界図」というセクションにて、量子力学がもたらした最も重要なポイントとは、「古典力学で描く世界が世界そのものでない」ということ.....。それは同時に“量子力学で描かれる世界も世界そのものでない”ということ」と述べている。そして、時空の生成に関する後半の章では、次のように結んでいる(261-262)——「即ち我々はいつも特殊なものを先に見せられて、それが一般的なものででもあるかのように欺かれてきたのである。と言うより、自らを欺いてきたのである」——。その後、『物理学の世紀』(佐藤1999, 164)でも、「思い込みをイデオロギーというなら、我々はまだ古典物理のイデオロギーから量子力学を見て不思議と言っているのである。直感的理解に思い込みが必要であるというなら、我々は量子力学のイデオロギーとは何であるのかを考えるべきであろう」と問いかけ、「このことは人間の思考様式というものの特殊性を炙り出してくるものだと考える」と記している。

3. 量子力学の「奇妙」な記述

3-1. 虚数が組み込まれた方程式

量子力学の建設は、ウェルナー・ハイゼンベルクの行列力学とエルヴィン・シュレーディンガーの波動力学という2つの異なるルートから作業が進められた(町田1994, 5)。科学史・科学哲学の碩学、村上陽一郎は、20世紀の物理学革命を追った『ハイゼンベルク』(1998, 199-200)にて、この「対照的なアプローチを、まことに見事な表現で対比させている」論述として、マックス・ヤンマー著『量子力学の概念的発展』(邦訳: 小出昭一郎訳『量子力学史』I・II, 東京図書)を引いている。以下は、その主要部分の抜粋である⁽⁴⁾。

.....ハイゼンベルクのもは、.....具体的な像を描くことを拒否している。それは、.....不連続性の要素を強調する代数的方法であり、.....本質的には粒子性を基礎概念とする理論である。これに対しシュレーディンガーの理論は微分方程式というなじみ深い道具を基礎に¹して、.....連続性の要素に²重きを置く解析的方法であって、.....波動を基礎概念とする理論である。(傍点原著者)

ほどなく、これら行列力学と波動力学は、数学的には同等であることがシュレーディンガーによって証明された。多くの物理学者は手慣れた微分方程式による波動力学を歓迎したが(町田1994, 70)、これには複素数(実数に加えて虚数)が出てくることから、必然的にその含意をいかに読み取るのかにも高い関心が寄せられる。町田茂(1994, 56)は、「第3章 表の世界と裏の世界」にて、次のように論じている。

.....古典物理学に存在するのは実数で表される現象のレベルだけである。.....量子力学か

ら見れば、古典物理学は、自然に2つのレベル——二重構造——が存在するのに表側の1つのレベルしか見ておらず、それよりはるかに広い裏の世界の存在に気づいていない理論ということになる。

.....人類がいままで獲得し使いこなしてきた言葉がすべて、現象の領域、すなわち表側のレベルを表すためのものだったこと、そして裏側の波動関数の領域ではどのような言葉が使えるかがいまだに明らかではなく、さしあたって従来の言葉を使って手探りで進むしかない.....。

さらに、町田茂(1994, 64-65)は、この「二重構造の世界」については、プラトンの「洞窟のミュトス(神話)」を想起させるとして、次のように述べている。

量子力学の世界観もこれと似ているかもしれない。違っているのは、洞窟の中の人間が受動的に影を見せられているだけで振り向くことができないのに対し、現代のわれわれは背後の世界を支配している仕組み——量子力学——を知ること、背後にまで働きかける手段を得、目の前の壁にいろいろな影を写し出せることである。

ひるがえって、佐藤文隆(1997, 61)は、「では何故、虚数化に抵抗を感じたり、困惑したり、崇拝したりするのであるだろうか？ この裏では“実数なら不思議ではない”ということが前提にされている。しかし、果たしてそうであるかは検証を試みる必要がある」と、さらに掘り下げたとらえようとしている。

3-2. 「確率解釈(確率則⁽⁵⁾)」

ミクロな世界をすべて「波」として説明しよ

うとしたシュレーディンガーに対して、「粒子」でもあり「波」でもある電子の二面性を受け入れたマックス・ボルンは、シュレーディンガーが考えていた「物質波」にかえて「確率波」という驚くべき別の見方を提起した(佐藤 2001, 138-149; ブルース 2008, 96-98)。そして、今日では数多くの実験によって間違いないことが認められているボルンの「確率解釈」とは、電子の位置を観測すれば、「ある位置に電子が見つかる確率は、その位置での[シュレーディンガー方程式から計算した]電子の波の振れ幅の絶対値の2乗に比例するというもの」である(和田 1997, 109-110, 118)。

なお、この「確率」に関しては、依然として電子の「存在する確率」と書き表す概説書が見受けられるが、「これはすでに否定された考え方である」(和田 2007, 330)。和田純夫(1997, 111)は、次のように取り違えなきように注意を喚起している。

.....確率解釈とは、粒子を観察したときにそれがどの位置に見付かるか、その確率を定めるものだ。「粒子がどの位置に存在しているのか」という確率を定めたものと誤解してはならない。あくまで、粒子を「観測」したときに何が起こるか、という話である。発見確率であって、存在確率ではない。.....

粒子はどこか1カ所に存在しているのではなく、複数の場所(一般には、無限に多くの場所)に「同時に」存在しているのだ。1つの粒子が実は複数の粒子であったというのではない。1つの粒子が、ある場所に存在するという状態、別の場所に存在するという状態等々、複数の(一般には無限の)状態が共存するのだ。

このような複素数の世界の「確率の波の重ね

合わせ」を、竹内薫(2004, 72-74)は、いわば「電子が同時に東京と大阪にある状態」であり、「それがどこになるのかは、確率的にしか予言できない仕組み」になっており、「検出器で観測すると、複素数の世界の重ね合わせは消滅して、実数の世界での状態が確定する」と比喩的な解説を試みている。

3-3. 「不確定性関係⁽⁶⁾」

量子力学の「奇妙」に感じられるさらなる特徴は、ハイゼンベルクによって提唱された「不確定性関係」である。ガンマ線顕微鏡による電子の測定というよく知られた思考実験を通じて、電子の位置と運動量とを同時に確定することはできず、一方を正確に測ろうとすれば他方の不確定さが増すことが示された(町田 1994, 69; 佐藤 1997, 32-33)。デイヴィッド・リンダリーは、『そして世界に不確定性がもたらされた』(2007, 8)において、「不確定性」とは「それまでは一貫して.....克服可能な障害だ」と考えられてきたが、ハイゼンベルクが「変えてしまった、それも著しく変えてしまったのは、不確定性の性格と意味そのものだった」と、その「物理学革命」を語っている。

この不確定性関係について、町田茂(1994, 76, 79)は、ハイゼンベルクの功績に最大限の敬意を払いながらも、その手法が「きわめて発見法的なもの」であり、「いまとなつては適当でない」ことが多々見られ、「一般性を欠くものであった」と評した後、電子の位置と運動量の場合に限らず、量子力学からは「どんな複雑な対象についてもその中の2つの物理量の間にどんな不確定性関係が成り立つかを導くことができる」と解説を進めている。

また、佐藤文隆(1997, 32-33)も不確定性関係の「不確定部分」をめぐるのは当時から混乱があったと、「介入による擾乱か」という項目のなかで、次のように測定とのかかわりで要点を簡

明に振り返っている。

.....顕微鏡の.....思考実験では、粒子の位置を測るにはそれに光をあてて測定せねばならない。光を当てるというのはすでに測定対象を乱している。測定は必然的に対象への観測者の介入を引き起こし、介入なしの傍観者的な測定というのではない、というわけである。.....ミクロの対象では介入が無視できない擾乱を生む、という納得の仕方である。

しかし議論が深まると、この理解は必ずしも正しくないとわかった。それに代わって、不確定性の原因は対象の状態を確定して認識を得ようとする意図自体にあるという見方が登場した。すなわち対象の状態は波動関数(必ずしも波動ではないので「状態ベクトル」とも言う)で記述されるが、それは位置や運動量がいろいろな状態の重ね合わさった状態である。ところが測定をするとは、ある値を確定(選択)することである。そしてこの同じ波動関数の状態を準備して測定を何回もやると、そのたび毎にいろいろな値が測定され、その値のばらつき具合(ばらつきの大きさとそれが現れる頻度分布)が不確定性関係を満たしているのである。

この「測定の擾乱で波動関数に変化してある値の確定した1つの状態になる」(33)といったことをどのように読み解くかは、いよいよ量子力学の「解釈問題」の領域となる。

次のセクションでは、いわゆる「コペンハーゲン解釈」という大潮とともに、他の考え方のなかでも、ことに大胆な着想からその矛盾の解消を試みた「多世界解釈」をめぐる論述にスポットライトをあてる。

4. 量子力学の「解釈問題」から

4-1. コペンハーゲン解釈

量子力学は、「まったく不備がない完成された理論」であり、むろん差し障りなく大いに活用されている。それにもかかわらず、「この理論が記述していることは“分からない”ことになっており、“分からない”部分をどう“解釈”するかは現在でも意見が一致していない」(佐藤1997, 14)。これまで、本質的な意味を探究せずに「利用専門家」に徹することが、「物理学主流のキャリアパスを安全に歩むコツ」とさえいわれてきた(佐藤2007, 56)。

この「深く考えずに慣れる」を推奨する学術政策は、そもそも、「まだよちよち歩き」をはじめたばかりの量子力学に、次々に根源的な問題を突きつけてきた「反動的」なアインシュタインに対し、ニールス・ボーアたちが講じた「封じ込め作戦」に起因する。コペンハーゲンを本拠とするボーアは、「コペンハーゲン解釈」と称される量子力学の「標準的」な読み解き方、すなわち「理論を超える“理論の解釈”」をさしあたり提示し、若手研究者が無用な難問に心を引きつけられ、進路を誤ることがないように導いたのだと評されている(町田1994, 82, 87, 132; 佐藤2005, 43; 2007, 58)。

もっとも実際には、ボーア陣営の内部にもさまざまな意見があったという(都筑2002, 223; リンドリー2007, 179)。コペンハーゲン解釈が何であるかについては一般的なコンセンサスがなく、コリン・ブルース(2008, 104)は、「最小限の共通要素」を、次のようにまとめている。

- ① 唯一の实在とは、意識をもつマクロな観測者によって観測された、実験結果である。それより深い、背後にある实在というものはない(考えてはいけない)。
- ② 実験はその装置の設計に依存して、波的

な振る舞い、または粒子的な振る舞いと合致した結果をもたらすが、決して両者を同時にはもたらさない。

実証主義のコペンハーゲン解釈は、たとえば電子が動いた際、実証できない途中経路の存在は問わない。それは「実証できることだけを問題にする」見地から説明される(竹内 2004, 84-86, 92)。また、「粒子的性質を測定しようとすれば波動的性質が見えなくなり、波動的性質を測定しようとすれば粒子的性質が見えないというように、波と粒子の概念は矛盾するものではなく相補って対象を記述する」との見解は、ボーアが提唱した「相補性」という考え方であった(町田 1994, 132-33)。

ここで、先ほどの「3-3. 不確定性関係」の論述に接合すると、「測定の擾乱で波動関数が変化してある値の確定した1つの状態になる」ことは、ボーアのコペンハーゲン解釈では、「波動関数の収縮」と呼ばれている。なお、この収縮の過程はシュレーディンガー方程式では記述できない(佐藤 1997, 33, 163)。すなわち、それは「共存している複数の状態」——つまり電子がA点にある状態とB点にある状態とが重ね合わせの状態——が、「観測した瞬間にパッとなくなると、1つの状態だけが残る」——要するに「電子の位置を観測した瞬間、シュレーディンガー方程式とは全く無関係な波の収縮という変化が突然起こり、電子の波は、一瞬にして[粒子として]1カ所に集まってしまう」——というのである(和田 1998, 60-61, 66-67)。

これは、ミクロな世界には量子力学を、その結果を表さなければならないときには古典力学の言葉を適用して、「事実のつじつまを合わせよう」との発想である(和田 2007, 330-331)。「革新的」とみられたボーアの基本的な概念は、町田茂(1994, 147)も、実のところは「量子力学と古典物理学のつぎはぎ」と指摘し、量子論を

めぐり論敵であったアインシュタインとは次のように対比している(88-89)。

アインシュタインが、.....量子力学の考え方も超克するまったく新しい理論の誕生を志向したのに対し、ボーアは古典物理学の概念はとりあえず温存したまま、新しい量子力学で使われるときには相補性という制限があるとするとどめた。量子力学の発展に関して、.....一般にボーアは進歩派を、アインシュタインは保守派を代表するように位置付けられる。だが、実際はむしろ、自然を把握する基本概念に対する態度で、保守的だったのはボーアの方であった⁽⁷⁾。

最近のオックスフォードでの討議をふまえ、こうしたボーアを「慎重な不可知論者」とする見方に与するコリン・ブルース(2008, 104-105, 110)は、コペンハーゲン解釈の実証主義や相補性に関して、次のように論じている。

量子力学が登場するまでは、実験することの目的は、背後にある実在を探ることであった。なぜ我々は今、思索を深めることを禁じられるのか。尋ねてはいけぬ質問があるという考え方は、科学という営みの精神そのものに反していると私は考える。.....

現在、我々は、粒子と波動の中間的な振る舞いが関係する実験を行うことができる。我々は、デコヒーレンス(周囲との相互作用による干渉の消滅)と呼ばれるプロセスを理解し始めている。それは明らかに状態の収縮[波の収縮]の真のメカニズムであり、ある意味で乱流に非常に似ている。.....不可知論は尊重されるべき知的な立場かもしれないが、進歩に結びつくものではない。ボーアの主張は量子力学の解釈というよりは、解釈の

欠如であった。

いずれにしても、「意識をもつ観測者による収縮仮説」、すなわち「意識をもつ観測者が状態の収縮に対して神秘的な力をもつという考え方」は無用であるとも付言されている(ブルース 2008, 112-113)。

4-2. 多世界解釈

1950年代半ば、当時プリンストン大学の大学院生であったヒュー・エヴェレットにより、量子力学の途方もない独自の解き明かし方が提起される。そして、その「多世界(Many Worlds)」という着想が専門誌 *Reviews of Modern Physics* に掲載されて 50 周年にあたる 2007 年には、世界的に最も権威ある科学雑誌 *Nature* (5 July 2007) の表紙に取り上げられた(バーン 2008, 26)——この週刊ジャーナルが、みずからの「進取の感性」を示そうとしたのかとも推察されている(佐藤 2007, 59-60)——。

ジャーナリストでサイエンス・ライターのパイター・バーンは、「エヴェレットの多世界」(2008, 20-21)にて、その「多世界解釈」の要点を、次のように手際よく解説している。

..... [エヴェレットは、] 観測者を観測対象と同じ系の一部であると考え、観測者と観測対象を同じ 1 つの量子系の中に入れて、両者を結びつける“全体波動関数”を考えたのだ。マクロな世界を量子力学によって記述し、マクロな物体もミクロな粒子と同様、量子力学的な重ね合わせ状態にあるとした。.....

例として、2つの状態の重ね合わせ、例えば電子が「場所 A にある」状態と「場所 B にある」状態の重ね合わせになっているのを観測する場合..... 1 つの分枝では、観測者は電子が A にあるとの結果を見る。.....別の分枝

では、同じ観測者が、同じ電子が B にあるとの結果を見ている。それぞれの観測者は、自分が唯一の存在だと思っているので、物理的に可能なさまざまな状態の中からその結果が見えたのは単なる偶然だと思ってしまう。だがしかし、「現実」の全体像を見渡してみれば、可能な状態すべてが実際に起きているのだ。

エヴェレットのこのような見方には、当時「コペンハーゲン解釈」支持者から「不快の念」が示された。そして、この革新的な研究者は、みずからにむけられた批判に対して、「コペンハーゲン解釈は絶望的に不十分だ。そもそも前提として古典物理学に依拠しており.....マクロな世界の“現実”を受け入れながら、ミクロな世界のそれを拒否しているという点で、哲学的な観点からも奇怪である」と強く反論していたが、ほどなく 1950 年代末には、失意のうちに量子物理学を去る。バーンは、その経緯をつまびらかにたどっている(22-23, 26)。

エヴェレットが生み出した「多世界解釈」と「コペンハーゲン解釈」との違いに関しては、量子力学の多世界解釈について優れた概説書を多数著す和田純夫(1994, 1997, 1998, 2002)をもとに、表 1 に要点を整理した。

なお、これらの解釈をめぐる、和田純夫(2002, 13-14)は、「オッカムのかみそり(証明できない仮説は持ち込まず、より単純な説明を求める原則)」なる観点からは、「多世界解釈で導入される多世界の存在は原理的に観測で検証も否定もできないのだから、〈無用な対象〉の導入であって、.....排除されるべき」といわれようと指摘し、ひるがえって、多世界解釈の支持者は「多世界の存在は量子力学をそのまま受け入れれば必然的に出てくる結論であって、これを否定するためには量子力学に〈無用な原理〉(波の収縮)を導入しなければならない。.....排除されるべきなのは、この無用な原理のほうであ

表1 「コペンハーゲン解釈」と「多世界解釈」のおもな相違点

	コペンハーゲン解釈	多世界解釈
認識論的には	実証主義 確率論	实在主義 不確定性関係も認めた上で決定論 ^{*1}
複数の状態の共存は	实在のものではなく、計算の便宜上の「虚構」である	古典論的な实在をこえて(实在というものを人間の意識から解き放ち)、量子力学が表している多世界全体—共存している状態の全体—を「实在」していると理解することは可能
観測とは	共存している多数の状態の中から、古典力学のように外に立つ観測者がどれかを選び出してくるプロセス	観測装置, 観測者もひとまとめに、「セット」としてとらえ、各状態のなかにいると考ええる
どの状態が選ばれるか	その(抽象的概念としての)確率は、各状態を表している波の高さの2乗に比例—なぜそうなるか理由は問わない—	どの世界の観測者になるかは、各世界の共存度(共存の程度)に関係—確率とは、無数に観測を繰り返したときの結果の頻度のこと ^{*2} —
観測した瞬間に	シュレーディンガー方程式とは全く無関係な波の収縮を仮定 1つの状態以外は、人為的に捨てる	波の収縮は一切考えず 他の状態も相変わらず共存はしているが、それからの干渉は起こらない

(和田1994, ch. 4, 7, 12; 1997, ch. 5; 1998, phase 3-a b, 5-b, 6-a b, 7-b; 2002, はじめに, ch. 1, 3, 7をもとに作成)

^{*1} 共存度の分布が、シュレーディンガー方程式の通りに変化していくという意味において「決定論」(因果律が成り立っているということ)とされている。しかし、人間が観測結果を予測できないという事実が変わりなく、「1つの世界にとらわれている人間」には、..... [抽象的概念としての] 確率論で考えざるをえないと付記されている(和田1997, 139-140; 1998, 160-161)。

^{*2} 特に「確率」に関しては、多世界解釈論者のなかにもさまざまな見方があり、結論が出ていない。ここでは、コリン・ブルース著『量子力学の解釈問題』の「訳者あとがき」にも記されている「頻度主義」という、ボルンの規則が「余分な概念を導入せず証明できる」とする立場を例示(ブルース[訳: 和田]2008, 317-318)。

る」と主張するであろうと述べている。

依然として、多世界解釈がコペンハーゲン解釈に取って代わるような状況にはないが、近年、エヴェレットは再評価されている(バーン2008, 24)。その1つの顕著なケースとしては、“多世界から生まれた計算機”(古田2008)、すなわち、エヴェレットが提起した突飛な考えをもとにオックスフォード大学のデイヴィッド・ドイチュ⁽⁸⁾が研究を進める「量子コンピューター(多数の並行宇宙を使って計算する計算機)」にみてとれる(ブルース2008, 207; 古田2008, 54)。

科学技術ジャーナリストの古田彩(2008, 54-55)は、「解釈の違いは世界観の違いだ。異なる世界観は異なる問題意識を生み、時として異なる科学的直観をもたらす」とドイチュが展開してきた知的作業の核心をつく。そして、今や「量子コンピューターはコペンハーゲン解釈で完全に理解できる」との声もあがるなか、「だが量子コンピューターという概念すら存在しなかった時に、これをコペンハーゲン解釈から思いつくことができたのだろうか?」との問いを投げかけている(65)。

5. 物理学から類推されるガバナンスの記述

これまでのニュートン力学や量子力学における論考のいくつかの重要な見方は、ことに「パラレル“居住”」に対応した「量子都市ガバナンス」という新機軸の可能性を検討する際の大きな手がかりになると考えられる。ガバナンスをめぐる旧来の議論はいったんおき、まずは物理学の言説から類推されうるガバナンスの考え方を——これまでの鍵となる論述を「パラフレーズ」しながら、「ニュートニアン都市ガバナンス」と「量子都市ガバナンス」のふたつの解釈を——提起してみたい。

5-1. ニュートン力学に関わる論考からの類推

“定住者”にはもっとも感じられそうな「ニュートニアン都市ガバナンス」

「ニュートニアン都市ガバナンス」とは、本論文のはじめに述べたガバナンスの観点では、「固体相」や「液体相」の考え方を包含する都市ガバナンスとなろう。その世界観は、ニュートンの思索の枠組みにならえば、まずは「不動で不変の“国民国家”という枠組み」を設定し、社会全体を国際機関、市民社会組織、企業市民等が織りなす精巧な機械のようにとらえ、人々の「定住」を支える基本法則が世界を支配しているとの考え方ということができよう。このパラダイムは——その枠内では時々に応じて改革の必要性が語られたとしても——、文字通りの定住者のみならず、唯一の最適解として選択された定住地からグローバル空間を駆け回る人々や、そうした定住地を求める移民にも「ごまかされるほどじっくりくる」見方かもしれない。

このニュートニアン・パラダイムは、さまざまな局面においてグローバル化が進む今日においてなお、実社会を「近似的」に扱うのであれば適用可能であるとの類推も成り立つである

う。その政策上の関心とは、“定住社会”の機械的動きを明確に描き出し、その持続的な発展を阻害する諸課題への対処にあつては、たとえば、事業展開に不可欠な「新しい歯車」となりうる「活力に満ちた新たなアクター」を適宜見いだし、グローバル・パートナーシップとして喧伝することと推しはかることもできよう。事業対象となる人々やそのくらしを、「対岸を眺める」ようにとらえる視座も、1つの際立った特徴としてあげられる。

なお、人々のくらしにおいて、諸要素が複雑に絡み合い、これをカオス(混沌とした“居住”状態)と取り上げる見方が提起されたとしても、あるいはアインシュタインの相対性理論にならい、グローバルな課題やアクター等の相対化に着目した考え方が提示されても、そうした試みは、パラダイムという観点からは、これまでの物理学での論述にてらし合わせると、基本的には「ニュートニアン都市ガバナンス」の考え方をこえる発想ではないと見極められる可能性もあろう。

ところで、ニュートンに相對したライプニッツの路線からは、その意を「国民国家」という枠組みを仮定することは、人間社会そのものに内在しない、余分な概念を持ち込むことになり望ましくない」と読み替えると、古典的なアプローチにあつて、一切の権威・権力を認めずに独自のガバナンスを提唱してきたラディカルな思想家の知的チャレンジの重要性にも、改めて気づかされる。

5-2. 量子力学に関わる論考からの類推

“定住者”の特殊性まで浮かび上がらせる「量子都市ガバナンス」

これまで、国家、国際機関、市民社会組織、企業市民などの既存アクターは、特殊な「ニュートニアン都市ガバナンス」を先に見せられ、それが描く世界が一般的な世界そのものであるか

のようにすり込まれてきたのである——というよりも、みずから欺きしかも他を欺いてきたのである——といえるかもしれない。そして、より包括的なパラダイムとしての「量子都市ガバナンス」は、“定住者”の思考様式というものの特殊性を炙り出す可能性もある。

先の物理学に関わる論考をふまえると、はじめに提起した「パラレル“居住”」は、「十分な解を確保するため、個人が複数のテリトリー／ノンテリトリー空間に“住まい”、各“居住”状態が量子力学的な重ね合わせ状態にあること」と定義を微調整できよう。この場合、個人は複数の場所に「同時に」“居住”しているのであり、個人が実は複数の個人であったというのではない。複数の“居住”状態が共存しているのである。

また、「量子都市ガバナンス」は、「みなし“定住”社会を近似計算で運営してきたニュートニアン・パラダイムを深化させ、パラレル“居住”の概念を契機に見えてきた複数の“居住”状態の重ね合わせ状態を、量子力学における多世界解釈にならい、多“居住”解釈(共存している“居住”状態の全体が実在していると理解)する都市ガバナンスの提案である」と表現し直せよう。以下に、量子力学と古典物理学のつぎはぎと指摘されているコペンハーゲン解釈からのアナロジーで案出した「“居住”状態の蓋然的解釈」(調査した瞬間に1つの“居住”状態のみ残るとの仮定)とともに、類推される要点をさらに整理していきたい。

■コペンハーゲン解釈からの類推：「“居住”状態の蓋然的解釈」

実証できることだけを問う「“居住”状態の蓋然的解釈」は、複数の“居住”状態の重ね合わせを算出の便宜上の「虚構」ととらえ、調査とは「ニュートニアン都市ガバナンス」のように外に立つ観測者がそのどれかを確率的に選び出してくるプロセスととらえる考え方と説明できよ

う。「“居住”状態の収縮」——すなわち、個人がA地点の“居住”状態とB地点の“居住”状態との重ね合わせ状態にあるとき、“居住”地点を調査した瞬間にいずれか1カ所の“居住”状態だけが残ること——を仮定し、その1つの“居住”状態以外は、人為的に捨てる。事実上の「解釈の欠如」により、既存パラダイムの延長線上で、「量子都市ガバナンス」の利用のみをはかるつじつま合わせのアプローチといえよう。

■多世界解釈からの類推：「多“居住”解釈」

量子都市ガバナンスが本来視野におく多“居住”全体——共存している“居住”状態の全体——を実在していると考え、調査時に観測者もひとまとめに各“居住”状態のなかにいるととらえるこの「多“居住”解釈」では、どの“居住”状態の観測者になるかは、各“居住”状態の共存の程度に関係することになろう。「“居住”状態の収縮」は一切考えず、他の“居住”状態も相変わらず共存しているとみる。たとえば、「個人がA地点の“居住”状態とB地点の“居住”状態との重ね合わせになっている」のを観測する場合、1つの分枝では、観測者はその個人がA地点の“居住”状態にあるとの結果を見る。別の分枝では、同じ観測者が、同じ個人がB地点の“居住”状態にあるとの結果をみる。それぞれの観測者は、自分が唯一の存在だと思っているので、その個人に可能なさまざまな“居住”状態の中からその結果が見えたのは単なる偶然だと思ってしまう。しかし、「現実」の全体像を見渡してみれば、可能な“居住”状態のすべてが実際に起きているといえよう。

本論文は、既存のガバナンス論をさらに深化させるかたちで求められるであろう「量子都市ガバナンス」(多“居住”解釈)なる理論的枠組みの構築にむけて、古典物理学、量子物理学をめぐる論考からの類推で、想定される概念や論点

を整理してきた。今後、ここに提起した考え方が、「パラレル“居住”」対応のガバナンスとして適用可能であるには、いかなる概念的調整が求められるのかを、さらに実社会の諸事例にてらして慎重に見極めたい。そして、これまでの人口移動論、都市論、ガバナンス論、開発協力論等と改めてすり合わせるなかで一段と洗練し、明日のグローバル公共政策を練り上げるための観点として整えていきたい。

たとえば、「量子都市ガバナンス」の視座から、これまでに都市・地域開発戦略に登場した有力な空間論を読み解き直すことや、施策的には昨今の「アクター、部門、レベルの垣根をこえて」との見方などに“居住”状態の重ね合わせを加味することを通じて、さらに都市ガバナンス政策研究の次なる展開をはかりたいと考える。

最後に、量子コンピューターをめぐる先述の論評も「パラフレーズ」すると、「解釈の違いはガバナンス観の違いである。異なるガバナンス観は異なる問題意識を生み、時として異なる政策的直観をもたらす」との示唆が得られる。「グローバル化・都市化をすべての人々のために」の研究をさらに進展させる上で、まさに1つの原動力としたい。

■注

(1) 内井惣七(2007, 154-155)は、「拡張路線」の代表には「超ひも理論」を、「緊縮路線」の代表には「ループ量子重力理論」を掲げている。特にループ量子重力は、「時空の構造……そのものの量子化を目指し、一般相対性と量子論とを統合……、高次元の外枠を前提[と]しないで、物理学の枠組みとなっている時空構造の解明をしようとする」アプローチである。

なお、このループ量子重力の研究では、ニュートンの「堅く固定された舞台」のごとき時空は消去され、量子の属性であるスピンを基本に、「空間」の量子状態は点と線からなる「スピネットワーク」、そして「時空」の量子状態は「スピフォーム(スピンの泡)」という抽象的な図で表現される(スモーリン

2004, 34, 36-40; 竹内 2004, 198-206)。

(2) 理論物理学者のロバート・B・ラフリン(2006, 57)は、この見方に異論を唱えている。「[多くの物理学者は]……ニュートンの法則は量子力学の“近似”であり、系のサイズが大きければ有効であると繰り返し主張しているが、適切な近似方法は今でも見つかっていない。……この対応原理は、未だ数学的には証明されていない」と記している。

(3) なお、量子力学の構築にあたり、外からの影響をはなはだ偏って読み解いた論考も見受けられ、その具体例には科学史家のポール・フォアマンがよく取り上げられる。

たとえば、インディアナ大学の物理学者、ロジャー・G・ニュートン(1999, 47)は、フォアマンの次のような途轍もない主張を例示している。

第一次世界大戦の前やそのさなかに受けていた称賛や信望が、社会一般の価値観の変化によって突如として奪われたとき、ドイツの物理学者たちは、自分たちに対して社会一般がもつイメージを再び好意的なものにするために、そのイデオロギーを変えざるをえなくなり、さらにはその科学さえ変えなければならなくなった。とくに、多くの人々が何らかの意味で、因果性という制約から抜け出さなければならないと思い定めた。(傍点原著者)

また近刊では、デイヴィッド・リンドリー(2007, 205)が、フォアマンには「驚きを覚えてしまう」として、その論調を次のようにかいつまんで紹介している。

……もしも歴史が科学と同じように決定論的であり、ドイツの没落はその決定論の帰結であったのなら、ドイツによって差し迫って必要とされていたのは、決定論とはちがう種類の歴史だったことは間違いない。したがって、科学者たちもまた、信用を落とした過去のもろもろと結びついていると見なされるのを避けて新たな知的風潮に迎合するために、同じように決定論を放棄して、偶然性、確率、不確定性の旗印を掲げて前進したのである。

(4) 続いて、村上陽一郎(1998, 210)は、次のような見方も示している。

……ハイゼンベルクは、古典的な連続的因果観、あるいは古典的な決定論とは深く訣別してしましたが、それは逆に見れば、古典的な物質粒子像を

根底から否定し切れないで、それに固執することからくる態度だったと言えるのではないか。他方シュレーディンガーは、なるほど、古典的な物質粒子とは潔く訣別し、物質波という極めて斬新な物質観を採用しようとしてはいるが、しかし逆に見ればそれは古典的な因果的決定論に執着し固執していることからくるのではないか。

- (5) これまで「ボルンの確率解釈」と言い習わされてきたが、町田茂(1994, 51)は、「ボルンが提唱したのは、ミクロの対象の状態を表現する複素数の波動関数を、現実におこる現象の確率に結びつける規則で」、未だ解決されない量子力学の「解釈問題」とは本質的に異なることから、今日では「確率則」もしくは「確率規則」とすべきという。
- (6) 不確定性関係は量子力学から導かれる結論であり、しばしば見受けられる「不確定性原理」との表記は適切ではないと指摘されている(町田 1994, 69; 和田 1998, 143)。したがって、本論文においても、量子論の概説書に多い「不確定性原理」ではなく、「不確定性関係」との書き表し方にしたがう。
- (7) ここでの「進歩的」、「保守的」という論述について、町田茂(1994, 89)は、「それぞれの考え方と古典物理学の考え方とのつながりについて言っているだけであって、どちらが正しいとか、どちらが物理学を進めるのに役立ったか、ということとは直接の関係はない」と付記している。
- (8) ドイチュは、「宇宙が分岐して増えるのではなく、最初から無数の宇宙が存在する」と、エヴェレット解釈に「小さな変更」を加えている。ドイチュによれば、「1つの宇宙が分かれるのではなく、それまで同一の歴史をたどってきた多数の宇宙が“分化”し、異なる道を進み始めるのである」(古田 2008, 58)。
- 参考文献
- ブルース, コリン(和田純夫訳) 2008, 『量子力学の解釈問題: 実験が示唆する「多世界」の存在』, 東京, 講談社。
- バーン, ピーター(古田彩訳) 2008, “エヴェレットの多世界”, 日経サイエンス編集部編『不思議な量子をあやつる: 量子情報科学への招待』, 別冊日経サイエンス 161, pp. 18-27, 東京, 日経サイエンス。
- 古田彩 2008, “多世界から生まれた計算機”, 日経サイエンス編集部編『不思議な量子をあやつる: 量子情報科学への招待』, 別冊日経サイエンス 161, pp. 54-65, 東京, 日経サイエンス。
- IOM (International Organization for Migration) website, “Global Estimates and Trends”. (<http://www.iom.int/>)
- 井山弘幸他 2000, 『現代科学論: 科学をとらえ直そう』, 東京, 新曜社。
- 金泰昌他 2004, “発題 IV を受けての討論”, 今田高俊他編『都市から考える公共性』, pp. 138-151, 東京, 東京大学出版会。
- ラフリン, ロバート B.(水谷淳訳) 2006, 『物理学の未来』, 東京, 日経 BP 社。
- リンドリー, デヴィッド(松浦俊輔訳) 1997, 『量子力学の奇妙なところが思ったほど奇妙でないわけ』, 東京, 青土社。
- リンドリー, デヴィッド(阪本芳久訳) 2007, 『そして世界に不確定性をもたらされた: ハイゼンベルクの物理学革命』, 東京, 早川書房。
- 町田茂 1994, 『量子力学の反乱: 自然は実在するか?』, 東京, 学習研究社。
- 村上陽一郎 1998, 『ハイゼンベルク: 二十世紀の物理学革命』, 東京, 講談社。
- ニュートン, ロジャー G.(松浦俊輔訳) 1999, 『科学が正しい理由』, 東京, 青土社。
- 佐藤文隆 1997, 『量子力学のイデオロギー』, 東京, 青土社。
- 佐藤文隆 1999, 『物理学の世紀: アインシュタインの夢は報われるか』, 東京, 集英社。
- 佐藤文隆 2005, “量子力学は何の理論か?”, 『現代思想』, Vol. 33 No. 11, pp. 42-58, 東京, 青土社。
- 佐藤文隆 2007, “量子力学の身分”, 『現代思想』, Vol. 35 No. 16, pp. 54-67, 東京, 青土社。
- 佐藤勝彦監修 2001, 『量子論』, 東京, ナツメ社。
- スモーリン, リー(編集部訳) 2004, “時空の原子を追うループ量子重力理論”, 『日経サイエンス』, 2004年4月号, pp. 32-43, 東京, 日経サイエンス。
- サモシ, ゲーザ(松浦俊輔訳) 1997, 『時間と空間の誕生: 蛙からアインシュタインへ』, 東京, 青土社。
- 竹内薫 2001, 『ゼロから学ぶ量子力学』, 東京, 講談社。
- 竹内薫 2004, 『世界が変わる現代物理学』, 東京, 筑摩書房。
- Tanimura, Mitsuhiro 2005, “Development and Urban

- Futures”, *The Journal of Social Science*, No. 54, pp. 49-72, Tokyo, International Christian University.
- Tanimura, Mitsuhiro 2006, “Beyond UN-Habitat’s Classic Framework in Urban Development Strategies”, *The Journal of Social Science*, No. 57, pp. 275-304, Tokyo, International Christian University.
- 都筑卓司 1994, 『なっとくする量子力学』, 東京, 講談社.
- 都筑卓司 2002, 『新装版 不確定性原理: 運命への挑戦』, 東京, 講談社.
- 内井惣七 2007, “量子重力と哲学”, 『現代思想』, Vol. 35 No. 16, pp. 152-165, 東京, 青土社.
- 和田純夫 1994, 『量子力学が語る世界像: 重なり合う複数の過去と未来』, 東京, 講談社.
- 和田純夫 1997, 『20世紀の自然観革命: 量子論・相対論・宇宙論』, 東京, 朝日新聞社.
- 和田純夫 1998, 『シュレディンガーの猫がいっぱい: 「多世界解釈」がひらく量子力学の新しい世界観』, 東京, 河出書房新社.
- 和田純夫 2002, “量子力学の多世界解釈”, 大槻義彦編 『現代物理最前線6』, pp. 3-60, 東京, 共立出版.
- 和田純夫 2007, “量子力学とは何か: 解釈論争の歴史”, 安孫子誠也他 『はじめて読む物理学の歴史: 真理の頂を目指して』, pp. 328-339, 東京, ベレ出版.