

# プロヴァンド・エ・リプロヴァンド

西郷甲矢人（長浜バイオ大学）

ガリレオの最年少の弟子であったヴィヴィアーニは、師の科学的精神を継承する研究者の集いとして「アカデミア・デル・チメント (Academia del Cimento)」という組織を作り出した。近代の「学会」の嚆矢である（現代のイタリア物理学会誌はごく最近までその名を引き継ぎ『イル・ヌウォーヴォ・チメント (Il Nuovo Cimento—新チメント)』と称していた）。このアカデミア・デル・チメントにおいてガリレオの弟子たちがモットーに掲げたのが

“Provando e Riprovando”

という詩句であった。「プロヴァンド・エ・リプロヴァンド」と読む。ダンテの『神曲』の一節である。その意味を直訳すれば、「試みること、そしてもう一度試みること」となるが、翻訳は非常に困難なのだという。以上のことは豊田利幸氏の名著『物理学とは何か』（岩波書店、2000年）に詳しく述べられている。

ダンテやガリレオが用いたトスカーナ語を知らない私のことであるから、このモットーの本当のニュアンスをつかめているとは思えないが、どうやらこれが学問の本質に関わるものであろうということぐらいはわかる。学問というのは失敗の連続であって、「なるほど失敗か、それではもう一度」の繰り返しである。とはいえこの繰り返しはシーシュポスの神話のような不条理なものではない。たとえ行き詰まりの連続であっても、なぜか楽しいのである。「プロヴァンド・エ・リプロヴァンド」と発音してみると、その「そしてもう一度試みること」の明るさと躍動が伝わってくるような気がする。

前置きが長くなったが、私は最近ずっとこの「プロヴァンド・エ・リプロヴァンド」について考えているのである。学問的な試行錯誤において非常に重要なのは、行き詰まったら「元の場所に戻る」ということである。大抵の謎は一直線の前進では解けない。何度でも出発点に戻り、考え直すことが大事なのである。私たちの思考は大抵いつもループし、回り続ける中で可能性が成熟し、あるとき突如飛躍する。もしかしてドレスト光子もそうなのではないか？と最近私は考え、そしてもう一度考えてみているのである。

近年、ドレスト光子の振る舞いを「量子ウォーク」という「離散的な『時空』上の『量子的』なダイナミクス」によってモデル化する研究が進んでいる—というより、本フォーラムに集う人々こそがその研究を推進しているのであるが。「離散的な『時空』」として、ナノ粒子の配置とその間の「関係性」のなすネットワーク構造を考えるというのは非常に自然な考えと思われる。問題は、その「関係性」としてどんなものを考えるか、である。

おそらく人間にとって抜きがたい傾向であると思われるが、私たちは「関係性」を「二つのものが先あって、そのあとに関係ができる」というイメージで捉えがちである。こうした捉え方にぴったりなのが、「単純有向グラフ」のよくある定義で、「頂点」の集合がまず与えられ、頂点間の関係性である「辺」は頂点の（順序付けられた）対であるとする。つまり、頂点  $v_1, v_2$  に対し、頂点の対  $(v_1, v_2)$  が  $v_1$  から  $v_2$  への辺に他ならないというわけだ。しかし、この定義は一般の有向グラフを定義しようとするとうまくいかなくなる。というのは、一般の有向グラフの概念においては、二つの頂点の間の辺は複数あっても良いからである。頂点の対を決めても、辺は決まらない。特に、 $v_1$  からそれ自身への「ループ」も多々ありうるのである。

非常に興味深いことに、ドレスト光子の諸現象を量子ウォークを用いて理解しようとする場合、こうした「辺の多重性」や「ループ」が重要な役割を果たすらしいという状況証拠が積み上がってきている。しかしこれは一体何を意味しているのだろうか？ ナノ粒子という「頂点」たちが与えられた時、二つの頂点の間に「複数の関係性」がありうるというのはどういうことだろうか？

これには様々な答えが考えられる。ナノ粒子自身がミクロから見れば「十分大きい」という自由度の大きさに注目するということが一つである。これについては私自身「プロヴァンド・エ・リプロヴァンド」の最中であるのでここでは詳しく述べられない。しかし、明らかにもう一つ、「複数の関係性」が生まれてくる原理がある。それは「有向グラフ」ではなくそこから定まる「有向グラフの自由圏」を考えると、たとえ元のグラフが単純であっても、「多重性」や「ループ」が生まれていくということだ。これについて少し詳しく述べよう。

圏というのは簡単に言えば『合成』がうまく定義された矢印のシステムであるが、単なる有向グラフには一般に『合成』がうまく定義されてはいない。 $v_1$  から  $v_2$  へと辺があり、 $v_2$  から  $v_3$  に辺があったとしても、必ずしも  $v_1$  から  $v_3$  へと辺が走っているとは限らない、ということに注意しよう。ところが、「辺」ではなく「経路 (パス)」を考えると、これは合成が自然に定義できる。「経路 (パス)」というのは簡単に言えば「つながりあった辺の列」、辺の上の「遍歴の仕方」であると言える。 $v_1$  から  $v_2$  への経路と、 $v_2$  から  $v_3$  への経路を単純につなげることで  $v_1$  から  $v_3$  への経路が得られる。このような合成によって定まる圏を「有向グラフの自由圏」という。たとえもとの有向グラフが単純であっても、こちらの方には「経路の多重性」や「ループ」が豊富に生まれうる。

京都から横浜への移動はいろいろありうるし、京都から京都への移動（つまり京都に家のある人にとっての「旅」）も無数にありうる。どうせ家から家に行くだけなのだから、旅は無駄という人はいないように、このループは豊かな可能性を秘めている。ちょうど私たちの思考における「プロヴァンド・エ・リプロヴァンド」がそうであるように。

もしかしてドレスト光子にとってもそうなのではないか？ ナノ粒子たちのなす「関係性」のシステムとして有向グラフの自由圏やより一般の「圏」を考えることで、多重性やループが果たす役割を量子ウォークモデルにおいて理解することはできないだろうか？ 「今ある場所」のみならずそこに至る「経歴」の全体が重なり合っただけで次なる場所の確率的な法則を与えるというのであれば、その「経歴」に当たる「経路」やより一般の圏における射（「合成」がそれらについてうまく定義される矢印）の上の重みの変化としてダイナミクスを理解するのが本来的であろう。

筆者自身、「圏代数」や「圏上の状態」の概念によってそうしたダイナミクスのモデルにうってつけであると思われたので、必要そうな概念（たとえば圏上の量子ウォークなど）を一から定義してきた。ここまでのところはうまくいっている。だが、「多重性やループが重要性を検証するには理論的・実験的何をすれば良いか」などについて考え始めるとなかなか止まらなくなる。何か理論的な予測を出して蓄積された実験データを読み直すきっかけや新しい実験につながればと思いつきながら考えるのであるが、今日もまた堂々巡りをしているところである。

しかし初めの方にも書いたように、考えてみればおよそ発展というのは一直線的なものであるはずがない。多様な経歴やループに満ち溢れ、それが可能性も生み出すことがあるのである。例えばパレスチナにおける人道的大惨事を前に、世界中の人々が何とかできないものかと考え・語り・行動し、それでも事態が進行しているという現状は「絶望」そのものであるが、同時に、それでも考え・語り・行動することを止めないということは確かに「希望」だと私は思っている。おそら

くあらゆる歴史というのは本来そういうものなのだろう。デヴィッド・ウェングロウとデヴィッド・グレーバーによる『万物の黎明』（酒井隆史訳、光文社 2023）において繰り返し論じられているように、「はるか昔」の人類も今の人類と同様に奮闘し、社会を作りかえ、問題に取り組み続けてきたらしい（例えば仏教における「過去仏」の物語は、おそらくそのような現実を象徴的に表現しているのであろう）。

プロヴァンド・エ・リプロヴァンド。それは人間のあらゆる営みと、さらにはドレスト光子をはじめとする自然の豊かな（しかしこれまであまり顧みてこられなかった）諸現象に通底する構造ではないかと思われる。そんな非常に大きなことを考えながら、小さなドレスト光子についての新しい考えを試みることに、そしてもう一度試みることに、私の最近の心の支えとなっているのである。（2023年、冬至）