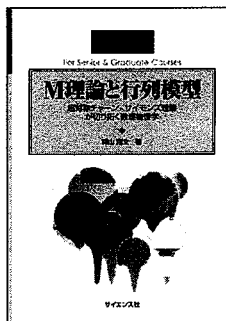


M理論と行列模型

超対称チャーン-サイモンズ理論が切り拓く数理論理学

森山翔文著, B5判, 208頁, 本体2300円, サイエンス社



久しぶりに弦理論の国際会議に参加してサンタバーバラから帰国したYさんは興奮していた。四つの相互作用と多様な物質の統一理論として有望視される弦理論の背後にM理論という得体の知れない理論があることはわかってはいた。ついにその正体が明らかになったのかもしれない、Yさんは研究室でそう熱く語る。しかも、M理論は空間座標が行列へと変わる、というあまりにも衝撃的なものだった。

この新展開を総括する討論会が某大学の物理学教室であり、Yさんに続いてある大数学者が講演した。それを聴いたある大物理学者は「M-theoryなんていってくと空間の性質自身とけていくような、その様なところの直前まで素粒子論はきています。それでお聞きするのですが、今の幾何学の中で何が余分だと思えますか」と問いかける。大数学者は教壇を歩きながら答えを探し、「だからそうか、空間という定義の中に何が余計かという、よくあるのは多分、点という概念でしょうね、おそらく」と言う。M理論と行列模型の融合によって、幾何学や物理学の基本的な概念が根底から覆されるのではないかという期待を、多くの研究者が抱いたのだった。

あれから二十数年。当時の興奮は冷めていったものの、M理論についての研究は着実に成果を積み上げ、ABJM行列模型とよばれる新たな行列模型との関係が明らかになっていった。本書は、当時の熱狂を通奏低音としながら、この新しい行列模型についての基礎から最新の成果までをまとめている。

大きく三部から構成され、第I部でまずM理論の物理的な背景が簡潔に述べられる。素粒子の標準理論に始まり、三つのゲージ群が一つのより大きなゲージ群にまとまる大統一理論についてクォークとレプトンの表現の視点から説明されたあと、ボーズ粒子とフェルミ粒子を入れ換える超対称性、重力の理論を超対称化した超重力理論へと続いて、場の理論的な話が一段落する。次に、重力の量子論を実現する弦理論、様々な弦理論をつなぐ双対性、双対性から見えてくるM理論、M理論にはM2ブレーンとM5ブレーンという物

理的な実体が含まれること、そのM2ブレーンを記述する理論が超対称チャーン-サイモンズ理論で、ABJM理論とよばれることが述べられる。

ただ、40ページ程という少ない紙数で標準理論からM理論までのすべてを網羅できるわけではない。けれども、ここでの内容は第II部以降にとっての土台ともなり、著者が慎重に取捨選択したことがうかがわれる。「数学と物理学の交差点となる数理論理学」にとって大事な部分なのだ。

主要テーマとなるABJM行列模型は第II部で登場する。ABJM理論からの導出方法や、行列模型といいつつ「行列」が見当たらない理由等について、ガウス行列模型まで立ち戻って手際良くまとめられるが、とにかく、ここで定義されるABJM行列模型の分配関数から出発しさえすれば、後半に書かれる内容について一応の理解が得られるよう配慮されている。トーフト展開、WKB展開、さらに数値計算による厳密値とを組み合わせ導かれる分配関数の展開式は、数学的に証明されていないとは言え、おそらく正しい結果だろうと納得させられてしまう。発散相殺機構や位相的弦理論などの数理論理学による説得力のおかげもあろうが、計算等についての説明が細部にわたって丁寧に書かれているためだ。

第II部以降は、ABJM行列模型の研究に多大な貢献をしてきた著者にしか書けない精緻な解説となっている。超シュア多項式、可積分性等、第III部に書かれた数理的な構造についても、先駆者の視点から詳細に語られる。もっと詳しく知りたければ、最終章で歴史を追いつつ挙げられた文献にあたれば良い。

M理論における数理論理学の多様さや、今世紀に入ってもM理論に関する発見が相次いだことに感じ入るとともに、数学と物理学とが交わる新しい行列模型によって当時の夢に近い将来に実現することがあるのだろうか等、様々な期待と想像を膨らませながら面白く読むことができた一冊である。

高橋 智彦 (奈良女子大学大学院自然科学系)