



弦理論と可積分性

ゲージ-重力対応のより深い理解に向けて

佐藤勇二著, B5 判, 232 頁, 本体 2500 円, サイエンス社

ゲージ-重力対応 (AdS/CFT 対応とも呼ばれる) は、1996 年プリンストン高等研究所の Juan Martin Maldacena によって提案されたアイデアで、ある種のゲージ理論と重力理論が等価であるというものである。この対応はゲージ理論と重力理論というカバーする領域が広いと、多くの研究者の興味を惹きつけることになった。しかしこの対応はまだ予想であって、まだ確立していない。従って、物理学者は、この対応についていくつかの立ち位置があることになる。一つは、多くの研究者がそうであるように、対応は成り立っているものとして、様々な現象に応用してみようというものである。もう一つの立場は、この対応が成り立つ所以について真剣に考えようという立場である。反ドジッター時空上の超弦理論は可解性があり、その対応を突き詰めていくと、 $N = 4$ 超対称ゲージ理論の planar 極限は可解であるという予想が生じる。ゲージ理論が、ある極限にせよ解けるというのは大きな驚きである。解けるモデルは、近似なしに物事が言えるため重要なのである。

このような可解性にこだわりのある研究者が年に 1 度 “Integrability in Gauge and String Theory” という研究会に集まる。今年は Zoom と対面のハイブリッドでイタリアトリノで開催されたが、その研究の第一人者である Vladimir Kazakov は基調講演で $N = 4$ 超対称ゲージ理論の可解性の起源の探究が重要であることを強調していた。佐藤さんは初回からこの会議に参加され、この分野の発展をよく知っており、このトピックについて最適の著者である。

この本は可積分性の観点からみたゲージ-重力対応の専門書であると同時に、可積分系やゲージ-重力対応の入門書としても優れている。洋書では、類書として M. Ammon, J. Erdmenger の *Gauge/Gravity Duality* や H. Nastase の *Introduction to the AdS/CFT correspondence* (いずれも Cambridge University Press) があり、いずれも場の理論や弦理論の初めから説明されている優れた本である (後者は可積分系も詳しい)。本書の特色は、可積分系の説明 (第 2, 4, 5, 6

章) が充実しているところであり、私も自身の研究のためいろいろ参考にさせてもらっている。古典可積分系から初めて量子スピン系、S 行列理論、熱力学的ベータ仮説方程式が例も含めて簡潔にまとめられているのは、他書にもあまりない。例えば類書に G. Mussardo *Statistical Field Theory: An Introduction to Exactly Solved Models in Statistical Physics* (Oxford Univ. Press) といったものがあるが 1000 ページ弱の大著である。一方で、第 1 章と 3 章は、超弦側からみたゲージ-重力対応の解説で、ゲージ理論や超弦理論の説明は必要最小限の記述に留めてあるが、ある程度一般相対論や場の理論の予備知識が必要なので、上記の本等で補う必要がある。第 7 章は $N = 4$ 超対称ゲージ理論の可解性を最もよく表している、ゲージ理論のスケリング次元と超弦理論のスペクトルの対応である。これを踏まえ、最近の量子スペクトル曲線を用いた解析を加えると最先端まで達することになる。第 8 章 “極大超対称ゲージ理論の強結合散乱振幅” は、著者と評者らとの共同研究を含むので、内容の良し悪しに関するコメントは控えるが、共同研究では原論文を参照し、その定義や解釈の違いに悩まされたのが、この 1 冊の本にまとめられたことで全てが統一的にスッキリと記述されていることを感じる。

この共同研究では、いろいろなエピソードがあった。第一論文を出す準備をしていたところ、類似の結果を主張する論文が出るという情報を得たため、徹夜で論文を完成させ、早朝 5 時少し前に arXiv に投稿したことや、共同研究者の酒井一博さんが京都に転出される際に送別会を開く予定でいたところ、東日本大震災が起こり、送別会どころか帰宅もできずみんなで大学に泊まったこと、佐藤さんがハンガリーの理論グループに研究の説明をしたところ、我々の数値計算に比べはるかに精密な計算により微妙なずれを指摘され、質量-結合定数関係の共同研究に発展したことなどなど。この淡々と記述されている文章の裏話として書いておく。

伊藤 克司 (東京工業大学理学院)