68 厳密に模型を「解く」：可積分系への挑戦

大学の学部までの授業で扱う系は，厳密に解ける，つまり解が性質のよくわかった関数を用いて具体的に書き下せる場合が多く，系の性質を詳しく理解することは容易である．ところが物性や素粒子，原子核など，あらゆる分野で対象となる系の多くは多粒子系であり，厳密に解けることはむしろ稀で，近似手法や数値計算を利用することがほとんどである．もし物理の本質をとらえた多体系の模型に対して「厳密解」を得ることができれば，近似計算や数値計算でのアプローチが困難な問題に答えを直接与えることができるため，物理学の発展に大きく貢献する．たとえば2次元イジング模型の厳密解（オンサーガー解）の発見は，相転移現象を理解するうえで極めて大きな役割を果たした．

最もよく研究されている厳密に解ける模型は，1次元量子可積分系（2次元古典可積分系）とよばれる一群の可積分系模型である．例として，1次元量子スピン（電子）模型，磁性不純物模型，1次元界面成長模型などが挙げられる．これらの可積分系は，通常の物理系と比べて対称性が高く，対称性に付随した無数の保存量を駆使することで厳密解が得られる．一見異なる可積分系模型の背後には共通の普遍的な数学的構造があり，その美しさも可積分系の魅力の1つである．可積分系の理論的な予言は，ときに極めて精緻であったり特異であったりするため，新しい挑戦的な実験テーマを提供する場合もある．たとえば，ある時刻を境に系のパラメータを急激に変化させる「量子クエンチ」の問題や，界面の成長や粒子の伝導を記述する可積分確率過程の非平衡的性質などは，理論と実験の両面から盛んに研究されている．可積分系はいまのところ1次元量子系もしくは2次元古典系に限られているが，高次元への拡張はいちばん重要な（かつ困難な）未解決問題である．

1次元量子可積分系（2次元古典可積分系）に限らず，新しい厳密に解ける模型を見つけることはいまも重要だ．「スピン液体」の物理を再現する可解量子模型（キタエフ模型）や，超弦・ゲージ理論の理解の鍵となる無限自由度可積分格子系など，新しい発想に基づく可解模型の発見は今後もありうる．日本発の模型や手法も多く，非線形波動（ソリトン）の研究における戸田格子，広田の方法や，多くの量子可積分系の統一的理解をもたらした量子群の発見などは，世界に広く認められている．そのような伝統のうえに新たな挑戦を積み重ねていくことが重要であろう．

笹本智弘（東工大理），会誌編集委員会