

相転移の統計力学的研究

Research on the Phase Transition by Statistical Mechanics

東京大学理学部教授 鈴木増雄
Masuo Suzuki

略歴 昭和12年3月3日生
// 41年 東京大学大学院数物系研究科
博士課程修了(理学博士)
// 43年 東京大学物性研究所助教授
// 48年 // 理学部助教授
// 58年 // // 教授

受賞歴 昭和53年 松永賞
// 61年 仁科記念賞
// 62年 井上學術賞

業績の概要

相転移では非線形性とゆらぎの絡み合いが本質的であるが、鈴木増雄博士はこれを徹底的に研究する新しい一般的な方法を発見した。

これは、「コヒーレント異常法(CAM)」と呼ばれ、従来のくり込み群の方法と比べて大変物理的でわかり易い強力な方法である。

すなわち、ワイスの平均場近似、ペーテ近似、小口近似、菊池近似、……等を個別に独立した近似と見る従来の立場を越えて、これらをクラスター平均場近似として系統的に拡張し、平均場の決め方をうまく工夫し、クラスターのサイズを大きくすると共に原理的に厳密解に近づくような近似の列を考え、この近似の度合いをあげるにつれて古典的な発散の係数にコヒーレントな異常が現れ、それを解析することによって非古典的な臨界現象とゆらぎの異常性が解明できる。

これは極めて独創的な研究であり、最近のウィルソン(ノーベル賞受賞者)のくり込み群の理論の出現によって見捨てられつつある平均場近似・有効場近似の重要性を再認識させ、それに新しい息吹を与え、これにCAM理論の新しい概念・見方を導入すれば相転移の臨界現象を含め一般の協力現象までその本質が究明できることを示したことは、コペルニクス的な変革であり、今後のこの分野の研究の標準的な方法として長く利用されるであろう。

実際、鈴木博士の新しいCAM理論は、強磁性相転移(イジング模型や量子ハイゼンベルグ模型の相転移)、臨界緩和現象(確率的に変化するイジング模型の緩和時間の相転移点での異常性)、スピングラス(強磁性・反強磁性の競合する相互作用を持った系、特にプラス

トレートしたスピン系の相転移)、パーコレーション、酔歩の問題、アグリゲーション等多数の現象に応用され、見事な成功を納めている。

このCAMは、くり込み群の方法と異なり収束する方法であり、その収束性が極めて速く、これは利用する者にとって大きな魅力である。

このCAMは、世界的にも強い関心を持たれている。最近、鈴木博士は、摂動計算(高温展開)とCAM理論とを統合して「級数CAM理論」を提唱し、これをイジング模型に応用し、帯磁率の臨界指数が0.1%程度の精度で求め得ることを示した。

CAM理論の出現によって、平均場近似を基礎にした研究が今後飛躍的に発展するものと期待される。すでに、鈴木博士は、「超有効場理論」という一般論を作り、フラストレートした系の相転移、トポロジカルな相転移等従来の理論では扱いきれなかった問題を新しい方法・見方で解明しつつある。

鈴木博士は、この他にも、相転移の理論に関して数々の成果をあげている。鈴木博士は、動的物理量が示す特異性について従来の常識を覆す理論を得て、その後の臨界緩和理論の端緒をつくり、またスピングラス相転移点で非線形帯磁率が負に発散することを予言し、これは実験家によって検証された。

またスピンなど量子系の結晶格子に関する統計力学の数値計算を実行可能にするための「量子モンテカルロ法」を提唱、開発し、これは各国で盛んに応用されて相転移研究に新生面を開きつつある。これは、最近、セラミックスの高温超伝導のメカニズム解明にも利用されつつある。

鈴木博士はさらに非平衡状態に関しても、不安定状態で発生した小さなゆらぎが生長して巨視的秩序を形成してゆく過程を取り扱う「非線形スケーリング理論」を提唱し、これは、超放射、レーザー、相転移、プラズマ、原子核反応など極めて広汎な問題に応用されてその有効性が実証されつつある。

また、鈴木博士は、梅沢一高橋の有限温度の場の量子論を相互作用のある系に拡張し、一般論を作り、これに基づく有限温度の変分理論を提唱し、二次元三角格子反強磁性ハイゼンベルグ模型の量子液体的なコヒーレントな状態を記述する波動関数を求めた。これはP.W. アンダーソンの絶対温度0度の波動関数を有限温度に拡張したものになっており、BCSの超伝導の変分関数とも類似している。

さらに統計力学の数理解物理的研究においても、「鈴木-相関等式」、「鈴木-トロッター公式」、「リー・ヤン円定理の量子スピン系への拡張」(鈴木-フィッシャーの定理)、「 d 次元量子系と $(d+1)$ 次元古典系との等価定理」等数々の業績がある。

これらは、国際的にも高い評価を受けており、論文の引用回数も群を抜いて多く、相転移の統計力学への鈴木博士の功績は誠に大きい。

業績に関連する主要文献等

- 1) M. Suzuki and R. Kubo: Dynamics of the Ising Model near the Critical Point. I, J. Phys. Soc. Jpn., **24**, 51 (1968).
- 2) H. Yahata and M. Suzuki: Critical Slowing Down in the Kinetic Ising Model, J. Phys. Soc. Jpn., **27**, 1421 (1969).
- 3) M. Suzuki: Scaling Theory of Non-Equilibrium Systems near the Instability Point. I. —General Aspects of Transient Phenomena—, Prog. Theor. Phys., **56**, 77 (1976).
- 4) M. Suzuki: Relationship between d -Dimensional Quantal Spin Systems and $(d+1)$ -Dimensional Ising Systems —Equivalence, Critical Exponents and Systematic approximants of the Partition function and spin Correlations—, Prog. Theor. Phys., **56**, 1454 (1976).
- 5) M. Suzuki: Phenomenological Theory of Spin-Glasses and Some Rigorous Results, Prog. Theor. Phys., **58**, 1151 (1977).
- 6) M. Suzuki: Passage from an Initial Unstable State to a Final Stable State, Adv. in Chem. Phys., **46**, 195 (1981).
- 7) M. Suzuki: Quantum Statistical Monte Carlo Methods and Applications to Spin Systems, J. Stat. Phys., **43**, 883 (1986).
- 8) M. Suzuki: Statistical Mechanical Theory of Cooperative Phenomena. I. —General Theory of Fluctuations, Coherent Anomalies and Scaling Exponents with Simple Applications to Critical Phenomena—, J. Phys. Soc. Jpn., **55**, 4205 (1986).
- 9) M. Suzuki: Skeletonization, Fluctuating Mean-Field Approximations and Coherent Anomalies in Critical Phenomena, Prog. Theor. Phys. Suppl., **89**, 1 (1986).
- 10) M. Suzuki, M. Katori and X. Hu: Coherent Anomaly-Method in Critical Phenomena. I, J. Phys. Soc. Jpn., **56**, 3092 (1987).
- 11) M. Suzuki: Statistical Mechanics of Cooperative Phenomena. II, —Super-Effective-Field Theory with Applications to Exotic Phase Transitions—, J. Phys. Soc. Jpn., **57**, 2310 (1988).
- 12) M. Suzuki: Super-Effective-Field Theory and Coherent-Anomaly Method in Cooperative Phenomena, J. Stat. Phys., **53**, 483 (1988).