

共形場理論の $T\bar{T}$ -変形と重力双対



吉田健太郎

京都大学大学院理学研究科

kyoshida@gauge.scphys.kyoto-u.ac.jp

共形場理論 (Conformal Field Theory, CFT) は、スケール変換を拡張した共形変換に対する対称性 (共形対称性) をもった場の量子論であり、系の臨界点近傍のダイナミクスを記述する理論として広く知られている。その有用さは物性理論のみならず、弦理論の数学的な基礎づけを与える理論としても不可欠であり、また最近ではゲージ理論と重力理論の双対性の研究においても重要な役割を果たしている。

一般の場の量子論の観点から見れば、CFTは非常に特殊な理論である。場の量子論全体の空間として抽象的な**理論空間**を考えると、CFTは共形不変性によって特徴づけられる点の集合をなす。この点たちはエネルギースケールを変えるくりこみ群変換によって生成される流れ (フロー) で結ばれており、CFTはその流れの固定点に対応する。この理論空間全体の構造を一般的に理解するために、CFTにスケール不変性を破る摂動項を加えることによって生じる理論の変化のフローを調べることは、重要な研究課題である。

この摂動項によって変形された理論は固定点 (最初のCFT) から外れて、エネルギースケールを変えたと別の理論にフローする。このとき、最初の固定点から外れていく摂動を **relevant** な摂動といい、再び元の固定点に吸い込まれていく摂動を **irrelevant** な摂動とよぶ。relevantな摂動についてはよく理解されているが、irrelevantな摂動に関してはほとんど研究の進捗はない。

Irrelevantな摂動は、低エネルギー領域 (Infrared, IR) から高エネルギー領域 (Ultra-violet, UV) への理論のズレを意味し、くり

こみ群の基礎をなす粗視化と逆の過程に対応する。よって、普遍的な性質が創発するどころか、逆に微細な構造が見えてくることから、irrelevantな摂動の制御が難しいのは明らかであろう。しかしながら、IRの理論からUVの理論の構造を理解することは、古典重力理論から量子重力理論への糸口が見つかる可能性があり、理論物理学における重要な研究課題の一つである。

2004年のAlexander Zamolodchikovの先駆的な仕事に端を発し、エネルギー・運動量テンソル $T_{\mu\nu}$ の行列式で定義される複合演算子 (演算子 T と $\bar{T}$ の積を含み、 $T\bar{T}$ -演算子とよばれる) を用いた irrelevantな摂動項による理論の変形 ($T\bar{T}$ -変形とよばれる) の特殊な例が、近年、精力的に研究されてきた。2次元時空において、この複合演算子は T と $\bar{T}$ が同一点で衝突したときの特異性をもたない。そして、CFT、あるいは可積分な場の量子論のようにエネルギースペクトラムが陽的に求まる理論に対しては、irrelevantな摂動であるにもかかわらず、その変形された理論におけるエネルギースペクトラムを計算できる。

また、2次元における質量ゼロの自由スカラー場理論の $T\bar{T}$ -変形は、弦の運動を記述する **南部-後藤作用** になり、変形パラメータが弦の張力を特徴づける α' と同定される。この結果は古典論レベルではあるものの、IRの理論からUVの理論として弦理論を再現する道筋として大きなインパクトを与えた。その量子論的な性質は弦理論、および量子重力理論と密接に関連すると期待されるため、 $T\bar{T}$ -変形を研究する強い動機になっている。

用語解説

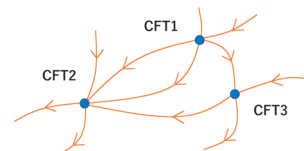
共形場理論:

スケール変換を拡張した共形変換に対する対称性 (共形対称性) をもった場の量子論。本稿では主に2次元CFTを考えるが、この場合には共形対称性は無限次元に拡大する。



理論空間:

場の量子論全体のなす集合を理論空間とよび、それぞれの理論はくりこみ群によって結ばれている。CFTはこの流れの固定点。



$T\bar{T}$ -変形:

エネルギー・運動量テンソル $T_{\mu\nu}$ の行列式 $\det T_{\mu\nu}$ で定義される演算子によって引き起こされる、系の力学を記述するラグランジアンの変形。

南部-後藤作用:

弦の古典的な運動を記述する作用で、

$$S \sim T \times (\text{世界面の体積})$$

のように表される。 T は弦の張力であり、

$$T = -\frac{1}{2\pi\alpha'}, \quad \alpha' \equiv \ell_s^2$$

のように弦の長さのスケール ℓ_s を用いて書ける。