Title	Kinematics of Conformal Field Theory and Diagrams in AdS Space(Abstract_要旨)
Author(s)	Kyono, Hideki
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2019-03-25
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k21559
Right	許諾条件により本文は2019-11-01に公開; 許諾条件により要旨は2019-04-01に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

（ 続紙 １ ）

京都大学	博 士 （ 理 学 ）	氏名	京野 秀紀
論文題目	Kinematics of Conformal Field Theory and Diagrams in AdS Space		

（論文内容の要旨）

本論文では共形場理論と AdS 空間中のダイアグラムにおける Kinematic な側面を議論している。共形場理論は理論物理学において様々な文脈で現れる重要な理論の一つであり、SO(1,d+1)で記述される Poincare 対称性よりも大きな共形対称性を持つことが知られている。この大きな対称性よって理論のダイナミクスは制限を受けている。対称性以外にもいくつかの物理的な制限を課すことによって、許される共形場理論を探る研究の方向があり、共形ブートストラップと呼ばれている。近年、d 次元共形場理論の kimematics について理解が深まり、数値的な手法でこの問題に取り組む研究が精力的に行われている。共形場理論では通常、相関関数が理論のダイナミスクを特徴付けている。特に共形ブートストラップでは、4 点関数を基本的な基底である共形ブロックに展開して、crossing 対称性を課すことで理論のダイナミスクについて非自明な条件を得ている。共形ブロックは理論によらない kinematic な関数として定義されるが、空間次元が偶数の場合の具体的な関数形が近年導出された。この発見は上述の数値的な手法の進展に大きく貢献している。また、共形部分波と呼ばれる 4 点関数の直交性を持った基底の性質が詳細に調べられており、特に直交性を利用して 4 点関数から直接共形ブロック展開を得る方法が近年注目されている。この方法は Inversion Formula と呼ばれる公式にまとめられている。この進展が共形場理論を調べる新たな解析的手法につながることが期待される。共形場理論は AdS/CFT 対応の文脈でも、AdS 空間中の理論の双対として現れる。この対応において、CFT の相関関数は AdS 空間中のダイアグラムで計算されると考えられている。

本論文では Inversion Formula を AdS 空間のダイアグラムに適用し、ツリーダイアグラムがどのような共形ブロック展開を与えるかを議論している。この方法によって任意の空間次元でダイアグラムの共形ブロック展開が系統的に計算できる。また、共形部分波の直交性についても AdS 空間に持ち上げることで、AdS 空間の調和関数の直交性を用いて確かめられている。共形ブロックの AdS 空間での対応物として提案された測地線ダイアグラムについても議論しており、共形部分波の AdS 空間での解釈を用いることで、なぜ共形ブロックに対応をするのかを簡潔に示した。本論文では、共形部分波そのものの性質として、Mellin 表示を Symanzik 公式を用いることで導出し、その性質を議論した。また、Mellin 積分を実行し、共形ブロックとの関係式を用いることで共形ブロックの展開式を導出した。

以前から、スカラーの交換に対応する共形ブロックの展開式は知られていたが、任意の空間次元での任意の階数のテンソルの交換についての表式が上記の方法で導出された。さらに、これらのダイアグラムや共形部分波はある微分演算子を用いて、外線にテンソル場が現れる場合へと拡張することができる。この時にはダイアグラムに現れるAdS空間中の相互作用は一意ではなくなるが、可能な相互作用をパラメーター表記することで、AdS空間の相互作用と相関関数に現れるテンソル構造の一対一対応を3点の場合にいくつかの例に対して確かめている。本論文の最後ではtチャネル的に定義された共形部分波とsチャネル的な共形部分波の内積で定義されるcrossing kernelについても言及し、ブートストラップへの応用の可能性について議論している。

（続紙 ２ ）

（論文審査の結果の要旨）

本論文では、共形場理論の4点関数の直交基底である共形部分波を用いて、共形場理論の4点関数あるいはAdS空間中の4点ダイアグラムの共形ブロック展開を系統的に計算する方法について解説している。特にAdS空間のダイアグラムについてはAdS空間中の調和関数を用いることで見通しよく計算する方法が提案されている。この方法によってこれまでに計算されていないd+1次元のループダイアグラムに関しても共形ブロック展開が比較的簡潔な方法で計算できるようになると考えられる。また、AdS空間中のダイアグラムと共形ブロック展開の関係からどのようなダイアグラムを持ったAdS空間中の理論がどのようなスペクトルの共形場理論に対応するかなど、簡単なAdS/CFT対応のモデルを作って調べる研究につながると期待できる。

さらにcrossing kernelのような共形場理論で定義される量についてもAdS空間に持ち上げることでAdS空間のバブルダイアグラムの計算に帰着することが指摘されている。crossing kernelはtあるいはuチャネルの共形ブロックやAdS空間のダイアグラムがsチャネルのものでどう展開されるかを教える量であり、ブートストラップにおいてcrossing対称性を考えるときに重要になると考えられる。ブートストラップの研究では4点関数をAdS空間のダイアグラムを基本的な基底として展開し共形場理論への拘束条件を求めるやり方も提案されている。本論文で用いた技術によって、ブートストラップにおける拘束条件をcrossing kernelを用いて解くことが可能となり、共形ブートストラップの新たな解析的な進展につながることが期待される。

また本論文では共形部分波のMellin表示からd次元での共形ブロックの展開式も得られている。このような展開式は数値的にブートストラップを考える際にも利用されている。今回の結果によって、これまでは調べらてこなかった新たな領域について数値的なブートストラップの手法が適用可能になり、新たな結果につながることが期待できる。また相関関数やAdS空間のダイアグラムのMellin表示を通して、共形ブロック展開を得る方法も議論されており、今後の研究に役立つと期待される。Mellin表示については、近年場の理論の振幅との類似性も議論されており、この性質を利用して場の量子論についてブートストラップ的なアプローチをする試みもある。本論文で調べられているテンソル場を含んだMellin表示の拡張はこのようなアプローチに応用され、今後の研究の発展に貢献できると考えられる。

以上のように、申請者はd次元空間中の共形場理論とd+1次元のAdS空間中のダイアグラムのkinematicな性質を調べ、いくつかの有用な結果をまとめている。今後、本論文の結果を用いてcrossing kernelが計算され、共形ブートストラップにおけるcrossing対称性を解くことで高次元での共形場理論の研究がさらに発展するが期待できる。また、AdS/CFT対応に関わる形でも今後の研究に貢献すると考えられる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年1月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：　２０１９年　４月　１日以降