

令和 1 年 11 月 29 日

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 2019

受付番号 60108

氏名

渡邊 真隆

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地（派遣先国名）用務地： ベルン大学 （国名： スイス ）
2. 研究課題名（和文）※研究課題名は申請時のものと違わないように記載すること。
New systematic approach towards strongly-coupled QFT and quantum gravity
3. 派遣期間：平成 31 年 4 月 11 日 ～ 令和 1 年 10 月 2 日 (175日間)
4. 受入機関名及び部局名
Institute for Theoretical Physics, University of Bern
5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 **書式任意 (A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入も可)**
(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)
(注)「6. 研究発表」以降については様式 10-別紙 1~4 に記入の上、併せて提出すること。

初期の目的の遂行状況及び成果

渡邊真隆

本派遣における研究の目的は、強結合理論を一般に解析することで、AdS/CFT 対応を用いて間接的に量子重力理論の諸問題を解決することである。当初派遣は二年間の予定だったが、半年で派遣を終え、別の研究所に異動することになったため、ここでは半年分の遂行状況を記す。

派遣期間中は、まず強結合理論を一般に解析する手法の開発と応用に注力した。今回は、過去私と共同研究者が開発した手法である巨大電荷展開の手法についてより深く考えることにした。巨大電荷展開とは、対称性のある強結合な場の理論において、系の電荷 Q を大きくとることで、物理量を $1/Q$ で展開できるという手法である。この手法は、複素スカラー場の理論や超対称性を持つ理論、簡単な超対称ゲージ理論などに応用され、演算子の次元や演算子同士の 3 点関数などがすでに求められている。これら単純な具体例での解析に関しては、おおむねよく理解されたため、この半年間は、より複雑な理論における手法の応用や、それに基づく物理的帰結などに注目して研究した。

最初に研究を行ったのは、チャーレン・サイモンズ理論を物

質に結合させた理論 (Chern-Simons-matter 理論) である。Chern-Simons-matter 理論には様々な双対性が予想されており、その証明や検証が重要である。そこで、私はこの双対性を巨大電荷展開を用いて検証することを考えた。

私の研究した理論は、ゲージ群 $SU(2)$ でレベルが k のチャーン・サイモンズ理論が複素スカラー場に結合したもので、この理論にはバリオン数という電荷が定義できる。さて、巨大電荷の極限では、さまざまな場が期待値を持つが、この理論については、この状況での場の配位は並進対称性を破らないことが分かった。一方、この理論の $k \rightarrow \infty$ 極限は上で述べた複素スカラー場の理論の一種になると予想されていたが、こちらは巨大電荷の極限で並進対称性を自発的に破ってしまう。ここから、予想されていた $k \rightarrow \infty$ 極限での Chern-Simons-matter 理論と複素スカラー場の理論の間の双対性は否定されることが分かった。今後、この手法を応用して、別の双対性の検証や証明を行っていく予定である。

次に研究を行ったのは、巨大電荷展開の弱結合理論への応用である。例えば、 d 次元複素スカラー場の理論の結合パラメータを g と書くと、 $g = 0$ においては電荷 Q を持つ演算子の次元は自明に Q に比例する。一方、巨大電荷展開の手法によれば、 $g \sim O(1)$ の領域では演算子次元は $Q^{\frac{d}{d-1}}$ に比例することがわかる。すなわち、ある g の値において、何らかの挙動の変化が存在すべきだとわかる。今回の研究では、この変化が $g = 1/Q$ の付近で起きることが分かった。また、

この変化が相転移ではなく、クロスオーバーであることも明らかにした。また、副産物として、弱結合パラメータを $g \sim O(1)$ に外挿することで、上記の演算子次元を、巨大電荷展開の手法のみでは計算不可能だった係数も含めて決定した。また、これをモンテカルロシミュレーションの結果と比較し、誤差 10% 程度のよい一致を見た。

これらのように、派遣中の半年間は、一般的な強結合理論に対する理解が深まった。今後は、これらを応用して、より場の理論の理解を深めるとともに、AdS/CFT 対応を用いた量子重力理論の理解にも取り組んでゆく予定である。