

1. 研究領域名：超弦理論と場の理論のダイナミクス

2. 研究期間：平成13年度～平成18年度

3. 領域代表者：二宮 正夫（京都大学・基礎物理学研究所・教授）

4. 領域代表者からの報告

(1) 研究領域の目的及び意義

本領域研究が対象とする研究は、弦理論と場の理論の動力学的な性質である。前者に関しては、量子重力のダイナミクスと弦(=超弦)理論に基づく素粒子の統一理論の構築が具体的な内容である。後者の場の理論の研究においては、その基礎と純粋数学から物質科学に至る幅広い応用、及び電弱相互作用からハドロン物理・格子ゲージ理論に至る標準模型の基礎的な研究ならびに現象論的研究である。更に標準模型から弦理論に至る種々の素粒子模型や、弦理論から最近新たに構成されたプレーン宇宙論への影響と宇宙論からの制限等について幅広い観点から有機的に研究を行う。一見かけ離れた現象・理論の集合に見えるが、弦理論・場の理論のダイナミクスを解明する、という極めて統一的な研究に集約される。本領域研究は組織としては、便宜上研究項目を「超弦理論と量子重力のダイナミクス」、「場の理論とその現代的応用」、「標準模型と格子ゲージ理論」及び「素粒子論的宇宙論」の4つに分ける。各項目は孤立しているものでなく、個別テーマを深化させつつ常に他の項目とのフィードバックが直ちに行われるのが重要である。

国内においては、本領域の課題を研究課題とする研究者は、素粒子理論研究者のうちの多数を占めている。これらの中で、中核をなす人達から構成している。海外においても、素粒子理論研究の中心課題として、活発な研究が行われているが、これら2つの課題を統一的な視点から研究しているのは本領域の独創的な点であり、物理的成果が期待される。

(2) 研究成果の概要

超弦理論の非摂動的定式化の方法としてソリトンの解のD粒子を用いて場の理論を構成する道筋を付けた事は注目に値する。超弦理論の構成的定式化として行列理論が本領域のメンバー達によって構築されたが、この行列がどの様に曲がった時空を記述することが出来るのかを詳細に分析した。この方向の理論

を完成させれば、宇宙初期の時空構造等を明らかにすることが出来ると考えられる。一方、非可換幾何学の空間の研究を量子ホール効果の研究に応用する野心的な試みが行なわれ、新たに量子位相に対する有効理論を構成し、2層量子ホール系において縦抵抗がゼロとなる特異な現象を理論的に見出し、これが実験結果を説明することを示した。素粒子の標準理論の構成要素の一つであるQCDに対しては、大規模数値シミュレーションによる研究によって大きな前進と成果が得られた。特に、次に列挙する8項目に渡り顕著な国際的リーダーシップを取っている。より軽い3つの動的クォークの効果を取り入れた格子QCDの研究の準備と開始。新しいカイラル摂動論のベクター中間子への拡張。Twisted-mass QCDに対する $O(a)$ 改良の証明。ドメインウォール・クォークを用いた3つの動的クォークの効果を含んだ格子QCDの研究。重いクォークの物理の研究。格子QCDによる中性子電気双極子能率の研究。厳密なカイラル対称性を持つクォーク作用による力学的効果を取り入れた格子QCDの研究の開始。格子QCDによる核力の研究。ニュートリノの粒子の対生成を促進する準安定原子レーザーを照射する方法が、実はニュートリノのマヨラナ性を検証し、ニュートリノ質量行列を決定する有力な方法であることを示した。

以上の様に、4つの項目が有機的に連係し、先進的な成果を上げることが出来た。

5. 審査部会における所見

B(期待したほどではなかったが一応の進展があった)

本研究領域の目標である弦理論と場の理論のダイナミクス解明に向けて、個々の計画研究では優れた成果が上がっており、わが国の素粒子理論分野の活性化に貢献したと思われる。多くの若手研究者の育成に努め、また多数の国際会議および国内研究会等の開催により領域の進展につとめた点は評価する。また宇宙論、物性物理学等への貢献も見られる。しかし、弦理論と場の理論を統一的な視点から研究するのが本研究領域の独創的な点であったが、特定領域研究として広範囲にわたる研究を有機的に組織することによって初めて得られる成果が明確でなく、中間評価でも指摘されているように「領域」としての成果を上げるべくさらなる努力が必要だったと思われる。多くの論文も発表されており、個々の研究では世界を先導する成果が出ているので、今後、いかにこれを盛り上げていくかが課題と考えられる。