




(西暦) 2021 年 2 月 12 日

学 位 論 文 審 査 報 告 書

【理学研究科】

報告番号	第 号	氏 名	塩沢 健太
論文審査担当者	(主 査)	木村 哲士	
	(副 査)	岡 寿樹	
	(副 査)	猿渡 茂	
	(副 査)		印
論文題目	Aspects of Locally Non-geometric Branes in String Theory		

【論文審査の要旨】 本学位論文は塩沢氏の博士後期課程における超弦理論の研究成果を包括的にまとめた論文である。超弦理論には様々な双対性が存在するため、摂動論的な量子論的な性質だけでなく非摂動論的な解析が可能である。また超弦理論には弦だけでなく空間的に高次元に拡がった様々な基本的物体（ブレーン）が存在し、双対性の理解に一躍買っている。近年、超弦理論のソリトン解の一つである NS5 ブレーンに双対変換を施していくと、超弦理論の解であるにも関わらず通常の重力理論では解釈不能である現象が取り沙汰されてきた。この現象は超弦理論固有の「弦の時空への巻付き」が重力理論に寄与することとして認識されたが定性的な理解を超えなかった。塩沢氏はこの大きな課題に取り組み、「弦の巻付き」が重力理論と非摂動論的な量子効果としてどのように発現するかについて、精密に研究成果を積み重ねた。まずは NS5 ブレーンの記述を再確認した後、双対性の一つである T 双対変換を定量的に実行することで NS5 ブレーンが KK モノポールと呼ばれる別のソリトン解に変換されること、また弦の巻付きが双対変換前後でどのような非摂動論的結果となるかを定量的に再現した。その後、既存の理論では巻付き数の物理量を定量的に追跡するため、新たに Double Field Theory (倍化された場の理論)を導入し、数理解物理的に精密な解析を行った。これらを踏まえて多くの解析結果の蓄積を NS5 ブレーンの双対変換に応用することで、これまで理解が定量的にも定性的にも困難であった R-brane や space-filling brane と呼ばれる locally non-geometric branes の非摂動論的な記述とその上に発現する力学的自由度の理解を世界に先駆けて確立した。以上により、塩沢氏の本学位論文は博士学位審査対象の研究論文として十分な内容であると判断し、ここに報告する。

(西暦) 2021 年 2 月 12 日

最 終 試 験 結 果 報 告 書

【理学研究科】

報 告 番 号	第 号	氏 名	塩 沢 健 太
論文審査担当者	(主 査)	木 村 哲 士	
	(副 査)	岡 寿 樹	
	(副 査)	猿 渡 茂	
	(副 査)		印
成 績 (合・否)	合 格		

【試験結果の要旨】 本最終試験では塩沢氏の学位論文発表の審議を行った。塩沢氏の発表は超弦理論における新しい解についての理論的解析である。超弦理論は弦だけでなく高次元空間に広がったブレーンの基礎理論であり、低エネルギー有効理論は一般相対論の高次元版である超重力理論で記述されることが知られている。さらに弦やブレーンは超弦理論特有の双対性を介して（非）摂動論的に関係する。塩沢氏の発表ではまず、NS5 ブレーンと呼ばれるソリトン解に T 双対変換を施すことで様々なブレーンが登場することを紹介した。特に locally non-geometric R-brane は超弦理論の解にも関わらず超重力理論において対応する解が記述できない原因が、弦が時空に巻き付くことと、それを表現する物理量が超重力理論に組み込まれていないことに起因すると説明した。R-brane の物理を定量的に解析するため、塩沢氏は空間を「倍化空間」に拡張し、その上の一般化 Lie 微分やそれに伴う曲率など微分幾何学の一般化を行い、新しい重力理論である Double Field Theory (DFT: 倍化された場の理論) へと議論を展開した。DFT の利点の一つは超弦理論の双対変換が線形変換として実現されることにある。塩沢氏は DFT に適切な拘束条件を課すことで通常の重力理論を再現すること、拘束条件に対して超弦理論の双対変換を施すことで R-brane も弦の巻き付き量子数の Fourier 共役な「非幾何学的座標」で記述できることを定量的に明確にした。さらに塩沢氏は、すべてのブレーンの古典解に対する非幾何学座標の量子補正が、弦の世界面からコンパクト化された時空への弦の世界面インスタントン補正として包括的に解釈できる可能性があることを提唱した。最後に、たとえ locally non-geometric R-brane でも、その上のすべてのゼロ質量場の由来が拘束条件下での倍化空間の並進対称性の破れに伴う南部・ゴールドストーンモードであることも明確にした。以上の発表内容は超弦理論の進展に重要な研究成果であり、最終試験は合格であると判断する。