

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	世田 拓也
論文題目	Transient chaos analysis of string scattering (弦の散乱における過渡的カオスの解析)		
(論文内容の要旨)			
<p>量子重力理論の試金石はブラックホールであり、ブラックホールがどのような微視的自由度から構成されているのかを明らかにすることである。すなわち、ブラックホールの情報喪失問題を解決するということは、ブラックホール自体が何からできているのか、という問いに答を与えることに他ならない。この自由度は、古くから基本弦、すなわち量子重力理論の最も有望な候補である弦理論の基本的な自由度、であると考えられてきた。しかしながら、ブラックホールが時空の歪みを引き起こすことと、それが弦理論の弦でできていることの対応は、未だよくわかっていない。この理由として、弦理論がそもそも摂動論で定義されているため基本的に曲がった時空を取り扱うことが困難であり、一方でブラックホールは曲がった時空であるということがある。</p> <p>世田氏の博士論文では、弦理論における高励起の弦にカオスがあるかどうかを調べている。最近の研究から、ブラックホールは事象の地平面付近で赤方偏移によるカオスを持つことが分かってきた。そこで、ブラックホールの微視的自由度が高励起弦に由来するという仮説に立脚すると、弦理論の高励起弦にはカオス的なダイナミクスが内在していることが予想される。</p> <p>このような予想のもとに、世田氏は、開いたボソン弦のトゥリーレベル散乱振幅にカオスが含まれているかどうかを研究した。これは、散乱振幅が弦理論で最もよく理解されている量であり、基本的な量であるからである。カオス的な散乱においては、散乱データにフラクタル性が見出されるはずである。研究の結果、弦の散乱振幅にカオスの兆候は見られなかった。このため、弦理論の最も基本的な量である弦の散乱振幅にカオスを見出しブラックホールの物理と接続するという、直接的なつながりは、残念ながら否定された。</p> <p>しかし、世田氏が本論文で議論しているように、本研究がまだ全ての可能性を排除したわけではない。例えば、弦の散乱振幅を高次ループ補正を含むように一般化したり、あるいは閉じた弦への一般化、もしくは5点あるいは6点に一般化した振幅を考えるなら、弦の散乱振幅にカオスが出現する可能性があるかと推測している。</p> <p>したがって、本研究は、弦の散乱振幅におけるカオスを定式化するための一歩となっており、弦の微視的ダイナミクスとブラックホールの巨視的性質の間のギャップを埋めるための基礎を与えていると判断される。</p> <p>本論文の構成は以下のとおりである。まずブラックホールとカオスの関係についてのレビュー、そして散乱課程などにおける一時的なカオス (transient chaos) についてのレビューがなされ、次に、弦の散乱振幅においてカオスを見出すための手法の提案と、その結果について詳細に述べられている。また、散乱振幅そのものから散乱体の情報を抜き出すためのイメージングについての研究も行われており、その結果、散乱体が空間的に一列に並んだ柱のような構造と理解できることを示している。直列した柱ではカオスが起こらないことが理解できることから、これは、弦の散乱振幅にカオスが存在しないことと無矛盾であるとの結論を得ている。</p>			

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

本学位審査論文は、弦理論における弦の散乱振幅にカオス性が認められないことを示したものであり、学術的に重要なものであると言える。

審査において、世田氏は、まず弦とブラックホールの期待される対応について述べ、ブラックホールの地平面近傍の赤方偏移が粒子散乱においてカオスの挙動を与える事実から、弦の散乱振幅におけるカオスの同定が完了すれば弦をブラックホールと同定できる可能性について説明した。これが可能となれば、ブラックホールの熱的な性質を弦理論が説明できることとなり、意義深い。

世田氏は次に、過渡的なカオスにおいて、古典的には散乱データにフラクタル構造が一般的に見つかることを示し、また散乱領域の幾何学的構造の特性により古典カオスが散乱で発生することを述べた。これらの事実に基づき、世田氏は弦の量子論的散乱振幅のカオス性の判断基準を定めた。それは、散乱振幅の角度分布を見た時の極が、最も弦が散乱される確率が高いという事実に基づいて、量子的散乱データから古典的散乱データの近似を導出し、そのフラクタル性を調べることで弦の散乱振幅のカオス性を同定するというプログラムである。

世田氏は、まず、高励起弦とタキオン状態の弦の散乱振幅を計算した。高励起弦はタキオン状態と光子状態の弦を多数組み合わせ合わせて合成しその極を抜き出して構成する。このように作られた高励起状態とタキオン状態の弦の散乱振幅を一般的に導出した。この散乱振幅は世田氏により世界で初めて導出されたものである。散乱振幅における極のうち留数が最も大きいものを取り出すことで、散乱において最も確率が大きい散乱角を得ることができる。このようにして得られた散乱データにおいて、フラクタル性が内在するかどうかを調べた結果、弦の散乱振幅にはフラクタル性がないとの結論を得た。弦の散乱振幅に用いられた弦の励起レベルは有限であるため、完全なフラクタル性の確認はできないが、散乱データのfragmentationが励起レベル数について指数関数的には増えないという事実から、フラクタル性が無いと結論づけられている。すなわち、トゥリーレベルでの開弦の4点散乱振幅にはフラクタル性がなく、従ってカオスはない、との結論を得た。

引き続き世田氏は、弦の散乱振幅にカオス性が現れない理由を知るために、弦の散乱振幅の可視化を行なった。この可視化はトモグラフィ等でよく使われる手法であるが、散乱振幅の一部をフーリエ変換する手法である。世田氏は、最も基礎的な弦の散乱振幅であるVeneziano振幅に可視化を施し、それがあたかも二重スリットのものであることを突き止めた。また、高励起弦の散乱振幅においては、多重スリットと同様となっており、従って散乱領域の構造は、散乱体が一行に並んでいるものであることを突き止めた。散乱体が一行に並ぶとカオスは発生しないことが古典的過渡的カオスの文脈では知られているため、世田氏はこの可視化から、弦の散乱振幅にはカオスが現れないことの原因を見た。

このように世田氏は審査において、弦の散乱振幅とブラックホールそしてカオスについて基礎的な観点から考察して説明し、オリジナルな興味深い結果を示すことで、弦の散乱振幅のカオス不在について議論した。世田氏の行った研究は、弦理論とブラックホールの関係を、カオスを基点として深く調べるものであり、今後の量子重力理論の発展に結びつくものであると考えられる。

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、令和5年1月19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：                    年                    月                    日以降