



Twist-untwist intertwining currents and supercurrents on asymmetric orbifolds

Imamura, Yasumasa

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

1994-03-31

(Date of Publication)

2008-12-16

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1273

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3078401>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001273>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	いまむらやすまさ 今村泰正	(岡山県)
博士の専攻分野の名称	博士(理学)	
学位記番号	博い第34号	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位授与の日付	平成6年3月31日	
学位論文題目	TWIST-UNTWIST INTERTWINING CURRENTS AND SUPERCURRENTS ON ASYMMETRIC ORBIFOLDS (非対称オービフォルド上のツイスト-アンツイスト相互入れ換えカレントと超カレント)	
審査委員	主査 教授 位田正邦 教授 永井旺二郎 教授 小早川恵三 助教授 林青司	

論文内容の要旨

弦理論は、もともとは強い相互作用を説明するために導入された双対模型から発展してきたものである。Nambu と Susskind はこの模型が物理的には弦の模型を表していることに気づき、後にそのスペクトル中にゲージ粒子や重力子と解釈できるものが存在することを Yoneya, Scherk と Schwarz が示したことで、弦理論はすべての相互作用を記述する基礎理論とみなされるようになった。さらにフェルミオンとボゾンの入れ替えの対称性である超対称性をもった超弦理論が構成され、この理論においてある条件の下で量子異常が消えることが Green と Schwarz によって示されると一躍脚光を浴び、現在に至っている。中でも $E_8 \times E_8$ ヘテロ弦と呼ばれる左右非対称な構成要素をもつ弦理論はカイラル・フェルミオンと非常に大きなゲージ対称性を持っており、対称性の破れにより現実的な模型が導かれる可能性がある。オービフォルド・コンパクト化は、弦理論の持つ余分な空間が何らかの機構で観測不可能な大きさのオービフォルドと呼ばれる空間に巻き上がっていると仮定するものである。その時ゲージ対称性や超対称性がどうなっているかを分類し、そこから時空の構造についての情報を得ようとする努力が多くの研究者によってなされてきた。この論文では、最も簡単な右行き(あるいは左行き)の弦座標だけをオービフォルド上に、残りをトーラス上にコンパクト化した模型(カイラル非対称オービフォルド模型と呼ぶ。)を考え、そこで得た知識を左右非対称な Z_N -オービフォルドに応用することにより、より現実的な $N=1$ 超対称性を持つ模型、特に対称オービフォルドを考えていたときには除外されていた模型を構成することを目標とする。

第二章では、閉じたボゾン弦を対称 Z_N -オービフォルドでコンパクト化した模型について解説する。オービフォルドは、トーラスをそれ自身が持つ不連続な対称性で割ったものとして定義される。従ってトーラスからはじめて、ある点とそれが Z_N -変換で移る点とを同一視すればよいことになる。この時オービフォルド上の閉弦としては二種類のもが存在することになる。ひとつはトーラスと同じく周期的境界条件に従うもの、もうひとつはオービフォルド特有のもので、ツイストされた境界条件に従うものである。前者を非ツイスト弦、後者をツイスト弦と呼ぶ。重心座標の周期性のため、共役運動量も不連続な値をとることに注意する。またツイスト弦は固定点と呼ばれる Z_N -

変換で不変な点に巻き付いている。このためツイスト・セクターの基底状態のエネルギーは一般に正の値をとる。またここで、そのエネルギーは割り方とオービフォルドの次元に依存していることを指摘した。運動量のベクトルの張る格子として、弦理論のモデルモジュラー不変性を満足させるためローレンツ計量をもち内積が偶でかつ自己双対なものを選んだ。さらに $G = \text{SU}(n), \text{SO}(2n), E_6, 7, 8$ というリー群 G に付随したものに限定すると、可能な Z_N -変換の分類は格子の自己同型の分類に帰着される。自己同型の分類は既に数学者によって完了している。左右非対称な場合様々な割り方が考えられるが、ここでは Myhill に従って Z_N -変換によって原点だけが固定点になるものを選んだ。章の最後に Myhill により与えられた分類を示した。

第三章では、特に左右の弦座標のうち片方だけをオービフォルド上に、他方はトーラス上にコンパクト化する、カイラル非対称オービフォルドによるボゾン弦のコンパクト化について議論する。格子として第二章で導入したリー群に付随したものを選ぶと、カイラル・オービフォルド模型の特徴として、 Z_N -変換は内部自己同型だけが許されることがわかる。さらにこの時モジュラー不変性により許されるオービフォルドの次元は制限を受けることがわかった。モジュラー不変性の必要十分条件は Vafa により与えられており、準位整合条件と呼ばれている。非対称オービフォルドではモジュラー不変性が明らかでないので、正しい理論、物理的状态を得るには一々確認しなければならなかった。このとき一般に、理論の対称性は G の Z_N -不変部分群 G/Z_N に落ちると思われる。ところがこの種のオービフォルド模型では、トーラスの境界条件に従う非ツイスト・セクターの弦の状態と、オービフォルド特有のツイストされた境界条件に従うツイスト・セクターの弦の状態との入れ替えの対称性が存在する例があることがわかった。このような模型では、保存カレントがツイスト・セクターから余分に現れてゲージ群の随伴表現の一部となるため、ゲージ対称性が予想よりも大きくなる。このカレントをツイスト・アンツイスト相互入れ替えカレントと呼ぶが、共形場の理論の言葉では共形ウエイトが $(1, 0)$ または $(0, 1)$ の場に対応している。ここでは、このような状態の存在する条件を示した。この章の最後に、その対称性を調べる手法としてトーラス模型への書き換えについて述べる。

超対称性について第三章で述べた対称性の“拡大”が起こる模型については第四章で議論する。ここで挙げられている4つの模型は、対称オービフォルド模型での条件から予想される超対称性よりも大きな対称性を持っている。実際これらの超対称性は $N=1$ よりも大きくなってしまい、現実的とは言えない。この章では、左右ともに異なったオービフォルド上にある超弦を考えることにより、 $N=1$ 超対称性を持った模型を構成する。この模型は E_6 という格子に基づいており、この格子が Z_3 と Z_9 の対称性を持つために $N=1$ が可能となる。このときも対称オービフォルドからの予想に反して超カレントがツイスト・セクターから出現し、それに加えてツイスト状態とアンツイスト状態の間の対称性のカレントにもなっていることが拡大を引き起こす要因となっている。

この論文の前半では非対称オービフォルド上のボゾン弦についてそのゲージ対称性を調べ、その結果カイラル型の非対称オービフォルド模型では、対称性が予想に反して大きくなることがわかった。後半では非対称オービフォルド上の $E_8 \times E_8$ ヘテロ弦の持つ時空についての超対称性を調べた。ボゾン弦と同じようにカイラル型の非対称オービフォルドに対して、ツイスト・セクターから超カレントが現れて、理論の超対称性が予想よりも大きくなることがわかった。丁度 $N=1$ 超対称性を持つような模型はこれらからは出てこなかったが、左右異なったオービフォルドを考えることによって、そのような模型を構成することができた。

論文審査の結果の要旨

超弦理論は、すべての素粒子及び重力を含むすべての基本的相互作用を説明できる可能性を持った理論として出現したものである。従来の理論と決定的に違うのは、素粒子を質点ではなく、輪ゴムのように閉じた弦のある振動モードとして捉える点である。現実にもっと近いと思われる超弦理論は、左右非対称に構成されたヘテロ弦であるが、それは元々10次元時空の理論である。現実の4次元時空を再現するためには、余分の6次元を極めて小さい領域にコンパクト化する必要がある、そこに多数の可能性が現れる。

本論文は、超弦の右行き弦座標と左行き弦座標とが幾何学的に全く異なる内部空間内にある場合を詳しく検討して、今までにない新しいモデルを構成した。より具体的に言うと、一方の弦座標をオービフォールド（ここでは、トーラスを離散群で割ったもの）上に、他方をトーラス上にコンパクト化したモデルで、カイラル非対称オービフォールドモデルとここで呼ぶものをまず調べた。その結果を左右非対称な Z_N -オービフォールドに用いて、左右対称なモデルには存在しない対称性の拡大という現象に着目し、今まで知られていなかった種類のモデルを見出すことができた。

本論文の第2章では、ボソン閉弦を対称 Z_N -オービフォールド上でコンパクト化した場合について考察し、次章以下の議論の準備に当てる。オービフォールド上の閉弦は、トーラス上と同じ周期条件を満たす非ツイスト弦と、それ以外のツイスト弦に分かれる。後者に対応するツイスト・セクターの基底状態エネルギーは一般に正値をとり、それはトーラスの割り方とオービフォールドの次元に依存する。離散的な運動量ベクトルの張る格子と、理論の対称性を表すリー群 G を限定することによって、可能な Z_N -変換の分類は格子の自己同型の分類に帰着する。

第3章ではまずカイラル非対称オービフォールドの一般的考察がなされる。特に注目に値するのは、この種のモデルの中に非ツイスト弦の状態とツイスト弦の状態との入れ換えの対称性が存在する例があることである。そのような場合には、理論の対称性はオービフォールド化により G から G/Z_N に落ちるという予想に反して、対称性の拡大という現象が起こる。それには共形ウェイトが $(1, 0)$ 又は $(0, 1)$ の場に対応する状態が必要で、その存在条件が示される。

第4章では超弦が左右互いに異なるオービフォールド上にある場合を考え、 E_6 格子に基づく $N=1$ の超対称性を持ったモデルを構成する。 N が1より大きいと非現実的なモデルになってしまうが、 E_6 が Z_3 と Z_2 という2つの離散的対称性を持つために $N=1$ が可能になるのである。これによって直ちに物理的なモデルが見つかるわけではないが、対称性の拡大という問題は今後さらに研究する必要があるテーマであろう。

以上見てきたように、本論文は左右非対称なオービフォールドモデルで起こる対称性の拡大という著しい現象を詳しく調べ、対称なモデルとは全く異なり、かつ現実的なモデルの候補となり得る例を構成して、超弦理論に新しい、興味ある知見をもたらしたと言える。

よって学位申請者今村泰正は、博士（理学）の学位を得る資格があるものと認める。