O-18

Witten のボソン開弦の場の理論における境界条件と intertwining 場について

Intertwining field and boundary condition in Witten's bosonic open string field theory

○安藤雄史[1]，　三輪光嗣[2]
*Yuji Ando[1], Akitsugu Miwa[2]

Abstract: A formulation of the open string field theory requires us to choose a boundary condition. It is one of open problems, which is called the background independence. Recently, the intertwining field is suggested by Erler and Maccaferri [1]. It enables us to change boundary conditions and is expected to give a proof of the background independence. In this talk, we review the intertwining field and how to construct it by using the flag state [2].

1.　導入

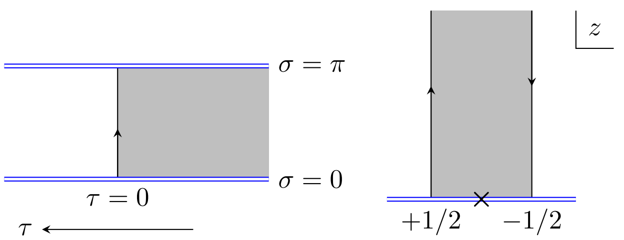
素粒子を点粒子ではなく弦だとする理論を弦理論と呼ぶ．特に非摂動的な弦理論の候補として点粒子と同様に弦を生成消滅する場，弦の場を考える弦の場の理論が知られている．弦の場の理論では弦の場を導入する際に特定の境界条件を選ぶ必要がある．弦が張り付く物体を D ブレーンと呼び，境界条件を選ぶことは D ブレーンを選ぶことに対応する．弦の場の理論が弦の場を導入する際に選んだ境界条件に依存するかは未解決の問題の一つでありこれを背景独立性と呼ぶ．この問題に対して近年 Erler-Maccaferri によって intertwining 場と呼ばれる異なる境界条件の弦の場を関係づける場が提案された [1]．intertwining 場を用いて異なる境界条件の弦の場の関係を求めることで背景独立性を証明できると予想されている [1,2]．

本講演では具体的に flag 状態と呼ばれる状態を用いた intertwining 場の構成方法について紹介する [2]．

2.　Witten のボソン開弦の場の理論

開弦が時空を運動する時の軌跡は境界を持つ 2 次元面を成す．ここでは時間方向を $\tau \in (-\infty, \infty)$，空間方向を $\sigma \in [0, \pi]$ と書く (Fig.1a)．開弦の場 Ψ は $\tau = -\infty$ の弦の状態を用いて定義される．ここで以下の座標変換を行う (Fig.1b)．

$$z = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} e^{\tau + i\sigma} \tag{1}$$



(a) string trajectory　　**(b)** sliver coordinate

Fig.1: string trajectory and sliver coordinate

z で表される座標を sliver 座標と呼ぶ．sliver 座標を用いると無限の過去 $\tau = -\infty$ は原点に写る．従って sliver 座標では対応する演算子を原点に挿入することで弦場が定義される．

次に弦場 Ψ に対して以下の作用を考える．

$$S = -\frac{1}{g^2}\left(\frac{1}{2}\langle \Psi, Q\Psi \rangle + \frac{1}{3}\langle \Psi, \Psi^2 \rangle\right) \tag{2}$$

この模型を Witten のボソン開弦の場の理論と呼ぶ [3]．ここで弦場の積は $*$ 積と呼ばれる結合則を満たす弦場特有の積で定義する．また Q は BRST 演算子で今の模型においては微分のような役割を担う．この模型の運動方程式は以下で与えられる．

$$Q\Psi + \Psi^2 = 0 \tag{3}$$

以降はこの運動方程式の解について議論していく．

3.　タキオン真空解

ボソン弦は質量の自乗が負の値をとるタキオンを含む．そのため摂動的な弦理論は真空が不安定であることが知られている．一方弦の場の理論では開弦の励起が存在しない真空を扱うことが出来る．この真空を記述する解をタキオン真空解と呼ぶ．タキオン真空解は K, B, c の 3 種類の弦場を用いて以下で与えられる [4]．

$$\Psi_{\rm tv} = \sqrt{F(K)}c\frac{B}{H(K)}c\sqrt{F(K)} \tag{4}$$

ここで c はゴーストと呼ばれる Grassmann 性を持つ弦場で B は同様の性質を持つ b ゴーストの積分で定義される弦場である．また K は 2 次元面上のエネルギー運動量テンソルの積分で定義される弦場であり，F, H は以下の条件を満たす K の関数である．

$$H = \frac{1-F}{K} \tag{5}$$

$$F(0) = 1, \quad F'(0) < 0, \quad F(\infty) = 0, \quad F(K) < 1 \tag{6}$$

[1] 日大理工・院（前)・物理
[2] 日大・教員・物理

4.　flag 状態

弦の成す 2 次元面を以下の領域に座標変換したものをそれぞれ flag 状態，anti-flag 状態と呼ぶ [2].

flag状態 :

$$\{z \mid \mathrm{Re}\, z = 0\} \cup \{z \mid \mathrm{Re}\, z \le 0; 0 \le \mathrm{Im}\, z \le 1\} \quad (7)$$

anti-flag状態 :

$$\{z \mid \mathrm{Re}\, z = 0\} \cup \{z \mid \mathrm{Re}\, z \ge 0; 0 \le \mathrm{Im}\, z \le 1\} \quad (8)$$

特に境界 $\mathrm{Im}\, z = 0$ と $\mathrm{Im}\, z = 1$ で境界条件が異なる anti-flag 状態，flag 状態をそれぞれ $(\bar{\sigma}|, |\sigma)$ と書く (Fig.2).

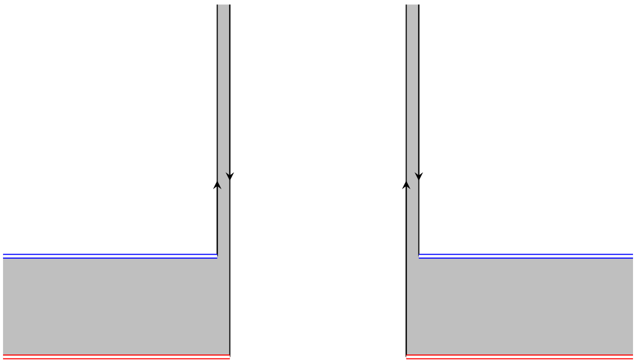


Fig.2: anti-flag state $(\bar{\sigma}|$ and flag state $|\sigma)$

境界条件が異なる flag 状態を用いることで弦場の境界条件を変えることが出来る．以降は以下を満たすよう $(\bar{\sigma}|$ と $|\sigma)$ が正則化されているものとする.

$$(\bar{\sigma}|\sigma) = 1 \quad (9)$$

5.　intertwining 解

異なる境界条件の弦場を関係づける場を intertwining 場と呼び $\Sigma, \overline{\Sigma}$ と書く．Erler-Maccaferri はタキオン真空解と intertwining 場を用いた以下の解を提案した．これを intertwining 解と呼ぶ [1].

$$\Psi_{\mathrm{int}} = \Psi_{\mathrm{tv}} - \Sigma \Psi_{\mathrm{tv}} \overline{\Sigma} \quad (10)$$

但し intertwining 解が運動方程式を満たすためには以下の条件を満たす必要がある.

$$Q_{\mathrm{tv}} \Sigma = Q_{\mathrm{tv}} \overline{\Sigma} = 0 \quad \overline{\Sigma}\Sigma = 1 \quad (11)$$

ここで

$$Q_{\mathrm{tv}} = Q + [\Psi_{\mathrm{tv}}, \cdot\} \quad (12)$$

と定義した．もし，あらゆる異なる境界条件に対して (11) 式を満たす intertwining 場が存在すれば，弦場を導入する際どの境界条件を選んでも構わないことが証明できると予想されている [1,2]．従ってあらゆる境界条件に対する intertwining 場を構成することが可能であれば背景独立性の問題を解決できる.

Erler-Maccaferri によって (11) 式を満たす intertwining 場は，タキオン真空解を記述する K, B, c の 3 種類の弦場に加えて flag 状態と anti-flag 状態を用いて以下で与えられることが示された [2].

$$\Sigma = \sqrt{H}\left(\frac{1}{H}|\sigma) - B|Q\sigma) - \sqrt{\frac{F}{H}}Bc\sqrt{\frac{F}{H}}|\sigma) + B|\sigma)\sqrt{\frac{F}{H}}Hc\frac{B}{H}c\sqrt{\frac{F}{H}}\right)\sqrt{H} \quad (13)$$

$$\overline{\Sigma} = \sqrt{H}\left((\bar{\sigma}|\frac{1}{H} + (Q\bar{\sigma}|B - (\bar{\sigma}|\sqrt{\frac{F}{H}}cB\sqrt{\frac{F}{H}} + \sqrt{\frac{F}{H}}c\frac{B}{H}cH\sqrt{\frac{F}{H}}(\bar{\sigma}|B\right)\sqrt{H} \quad (14)$$

従ってあらゆる境界条件に対して flag 状態を構成できれば背景独立性の問題を解決できる.

6.　まとめと今後の課題

Witten のボソン開弦の場の理論とタキオン真空解について説明し，タキオン真空解と intertwining 場を用いて定義される intertwining 解について紹介した [1,3,4]．また intertwining 解の条件 (11) 式を満たすような intertwining 場が flag 状態と anti-flag 状態を用いてどのように記述できるかを紹介した [2].

これらを用いることで背景独立性の問題を解決できると予想されている [1,2]．しかし，flag 状態を構成する際 (9) 式を満たす対称性を破らない一般的な正則化はわかっていない．また，intertwining 場を用いた背景独立性の証明は限定的なケースについてしか行われていない．今後はこれらの課題を解決する一般的な flag 状態の構成方法と背景独立性の証明について考察を深めたい.

7.　参考文献

[1] T. Erler, C. Maccaferri, JHEP 10 (2014) 029.
[2] T. Erler, C. Maccaferri, JHEP 01 (2020) 021.
[3] E. Witten, Nucl.Phys.B 268 (1986) 253-294.
[4] Y. Okawa, JHEP 04 (2006) 055.