

$$\begin{aligned}
T_2^{(m)} &= \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ q_2^{(n+m)} \frac{\partial}{\partial q_1^{(n)}} + q_1^{(n+m)} \frac{\partial}{\partial q_2^{(n)}} \right\}, \\
T_3^{(m)} &= \frac{i}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left\{ q_2^{(n+m)} \frac{\partial}{\partial q_1^{(n)}} - q_1^{(n+m)} \frac{\partial}{\partial q_2^{(n)}} \right\}, \\
D^{(m)} &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} (n+m) \left\{ q_1^{(n+m)} \frac{\partial}{\partial q_1^{(n)}} + q_2^{(n+m)} \frac{\partial}{\partial q_2^{(n)}} \right\},
\end{aligned}$$

を考える。この Vector 場は交換子積

$$\begin{aligned}
[T_i^{(m)}, T_j^{(n)}] &= i \varepsilon_{ijk} T_k^{(m+n)} \\
[D^{(m)}, T_i^{(n)}] &= n T_i^{(m+n)} \\
[D^{(m)}, D^{(n)}] &= (n-m) D^{(m+n)}
\end{aligned}$$

をみたす。すなわち $T_a^{(m)}$, $D^{(m)}$ はそれぞれ Center をもたない Kac-Moody 代数, Virasoro 代数をみたすことがわかる。

この結果 sine-Gordon 方程式及び Ernst 方程式の Prolongation 構造では, それぞれ Kac-Moody 代数, Kac-Moody 代数と Virasoro 代数が中心的な役割を果たすことが示される。これらの方程式の Lax-Pair は無限次元代数の表現から得られることが証明された。

素粒子論における string

東大・教養 米 谷 民 明

ここ 1～2 年素粒子論においては, string の理論が統一理論として最有力の可能性であることが認識されだしてきて盛んに研究されるようになった。一方, Virasoro 代数や Vertex operator 等, もともとは string 理論において最初に導入された概念が近年他の分野にも様々な形で現われ, 具体的に使用されるようになってきている。本講演では世話人の求めに応じて, string が素粒子論においてどのような意味を持っており, また上記のような string theory の基本的構造がいかなる役割を果たしているのかを概括的にレビューした。

この報告ではまとまった形で問題点をレビューする時間的余裕が(筆者の怠慢により)ないので, 以下話しの項目と代表的な参考文献を, 主なレビュー, また文献を探すのに便利と思わ

れる論文に限って挙げることにする。

① 始まり

- duality, Regge pole $\rightarrow$ Veneziano 振幅, $\rightarrow$ string 模型
- conformal 不変性, Vertex operator の導入等

1974 年までの主な成果と文献にあたるには

- 1) Dual Theory, Phys. Rep. reprint volume I, ed. M. Jacob (North-Holland, Amsterdam 1974)

が便利である。③の b) 項に挙げる Superstring にも初期のものも含めていくつかのレビューが収録されている。

② String theory の基本概念

- 作用原理 (南部 - 後藤作用, Polyakov 作用)
- 2 次元 world sheet 上の一般座標不変な量子論 $\rightarrow$ Virasoro operator, Virasoro algebra (一般座標変換の無限小生成子の代数)
- critical dimension $d = 26 \leftarrow$ Weyl 不変性の破れ。

$d = 26$ についての original な paper は

- 2) P. Goddard, J. Goldstone, C. Rebbi and C. B. Thorn, Nucl. Phys. **B56** (1973) 109.
- 3) A. M. Polyakov, Phys. Lett. **103B** (1981) 207.

である。後者のアプローチに関するレビューとして

- 4) D. Friedan, in “Recent Advances in Field Theory and Statistical Mechanics”, (Elsevier Science Pub. 1984),

また

- 5) E. S. Fradkin and A. A. Tseytlin, Ann. Phys. (N. Y.) (1982) 413.
- 6) O. Alvarez, Nucl. Phys. **B216** (1983) 125

等が総合的な論説として役に立つ。

③ 場の理論と string – effective or fundamental? – string と通常の局所場の理論との関係をどう理解するかについては二つの方向がある。

a) effective theory としての string

string は場の理論における一種の “collective excitation” として理解すべき近似的概念で

あるという立場。実際ハドロン散乱の低エネルギーのふるまいが一部 Veneziano 型振幅でよく記述される ([1]) のはこの立場で理解される。

- vortex line model (Nielsen-Olesen の相対論的渦糸模型)

7) H. B. Nielsen and P. Olesen, Nucl. Phys. B61 (1973) 451.

- electric flux tube model of QCD
- large N_c -limit of QCD

QCD と string については

8) 新編論文選集「格子ゲージ理論」(岩崎洋一, 米谷民明編, 日本物理学会)

所収の論文, 参考文献および解説参照。

- b) fundamental theory としての string

string model が「復活」したのはこの考え方に基づいてである。

- string theory = fundamental theory including Yang-Mills theory and Einstein theory of gravity, zero-slope limit.
- fermionic string の導入と超対称性 → critical dimension = 10
- Green-Schwarz mechanism of anomaly cancellation. → unique gauge group $SO(32)$ or $E_8 \times E_8$
- string field theory のゲージ不変性
- 新しい model-Heterotic string 等々。

主要な文献は以下の reprint volume に大半収録されている。

- 9) Superstrings – The first 15 years of superstring theory –, vol. I, II., ed. J. H. Schwarz (World Scientific, Singapore, 1985)

また初期におけるアプローチ b) の概括として

- 10) 「Dual 模型と場の理論」, (米谷民明, 日本物理学会誌 31 (1976) 46) がある。

[4] 課題

もちろん string theory が正しく我々の宇宙を記述しているかどうか, 特にそれから新たに予言される観測可能な現象があるかどうか等, 現象論的な側面での課題は数多い。一方より理論的側面から見ると [3] b) において紹介した

world sheet 上の 2 次元一般共変性 (および超対称性), すなわち string の「内部構造」

→ string theory $\supset$ Einstein theory, super gravity, $\dots$ = string が住む時空構造

(いれもの = 「外部構造」)

というメカニズムはまだ十分に解明されたとはいえない。今のところ,

string theory = Minkowski 時空 ($d = 26$ or 10) を運動するひもの散乱を記述する「Feynman rule」

であって、

- 「string Feynman rule」を何らかの原理に基づいて導出すること。
- background 時空によらない「幾何学的」定式化を求めること。

の二つは基本的な課題である。この方向の試みは現在やっとぼつぼつと端緒が見え初めて来た段階である。

相互作用ソリトン描像と逆散乱法

静大・理 米 山 徹

主題：逆散乱法で出て来る“波動関数”は従来補助的な量といわれているが、そうではなくて、ソリトン解と直接的な関係がある。

§ 1 相互作用ソリトン描像

これを KdV 方程式の場合に説明する。(文献 1, 2) 図 1 に示した様に、KdV 方程式で非線形項のみの時、波のその部分の速さは高さに比例する。今 u_1 の波の他に u_2 が空間的に重なっていたとすると、その効果を考慮して次の「相互作用 KdV 方程式」が得られる。

$$du_1 + 6(u_1 + u_2)\partial u_1 + \partial^3 u_1 = 0. \quad (1.1)$$

但し $d \equiv \partial / \partial t$, $\partial \equiv \partial / \partial x$ とする。

今迄得られている N -ソリトン解 $u^{(N)}$ を

$$u^{(N)} = \sum_{i=1}^N u_i \quad (1.2)$$

と単純和に分解し、各 u_i が (1.1) の型の方程式を満す様に出来る。その場合ソリトンの相互作用は引力となり、衝突の前後で各々の個性 (identity) を失わない。(図 2) 又衝突中には夫々複雑な変形をし、「非線形の干渉をする」といってよからう。(グラフは文献 1 を見て下さい。)