論文内容の要旨

論文題目　Noncommutative Solitons and D-branes

(非可換ソリトンとDブレイン)

氏名　　　濱中 真志

1　動機

弦理論のソリトン解であるDブレインの発見は, 弦理論の非摂動論的側面の研究を可能にしただけでなく, 重力理論と場の理論の架け橋として多くの目覚ましい対応関係を我々に提示した. 超弦理論は10次元時空で定義される一方で, 現実の世界は4次元として認識されている以上, 超弦理論から如何にして4次元を引き出すかというのは, 非常に重要な問題である. 従来はそのために余分な6次元をコンパクト化するのが主なアプローチであったが, Dブレインの種々の配置からさまざまな場の理論を再現することが可能になり, それに向けての可能性が大きく広がった.

Dブレイン上の場の理論は既知の結果, 特に非摂動論的側面を見事に説明し, 多くの新しい知見をもたらした. 一方Dブレインは開弦の境界として定義されているため, 開弦の摂動論的扱いからその力学を説明することも可能である. 特に最近は背景に一様B場(磁場)の入った系の解析が, 非可換空間上の(Non-Commutative=NC)場の理論の手法で行えるようになり, タキオン凝縮といった弦理論の非摂動論的力学の解明にも大きな役割を果たした. したがってDブレイン上に誘起される場の理論を詳しく研究することは弦理論から場の理論についての予言を引き出す上でも, 弦理論の側面を理解する上でも重要なのである. 特に非可換ソリトン(非可換空間上の場の理論のソリトン)はより低い次元のDブレインそのものに対応するため, その厳密な取り扱いからDブレインの様々な性質を詳しく調べることができる.

2 非可換空間の特徴

非可換空間は座標関数同士の積の非可換性：

$$[x^i, x^j] = i\theta^{ij} \tag{1}$$

で特徴づけられる. θ^{ij} は反対称な実定数で非可換パラメータと呼ばれる. この関係式は, 量子力学の正準交換関係 $[q,p] = i\hbar$ に類似しており, 「空間の不確定性関係」を導く. したがって非可換空間上では, 粒子の位置は完全に決めることができず, ある広がった分布を持つ. その結果, 可換な空間上では存在した場の特異点が, 非可換空間上では解消されるということが起こりうる. これは素朴な考察にすぎないが, 非可換空間上の場の理論では特異点の解消が一般に実際起こり, その結果例えば U(1) インスタントンといった新しい物理的対象が現れる. 通常の取り扱いが困難な特異な場の配位が解析可能となったということも近年の爆発的進展の一因である.

3 博士論文の内容の要旨

この博士論文では, 非可換ソリトンについて D ブレイン力学への応用も含めて詳しく議論する.

まず, 主に非可換インスタントンや非可換モノポールを Atiyah-Drinfeld-Hitchin-Manin (ADHM) / Nahm 構成法と呼ばれる手法を用いて厳密に構成し, その性質を調べる. ADHM/Nahm 構成法は明快な D ブレイン解釈を持つため, 厳密解の構成や解析から D ブレインの性質について様々なことを解明することができる. 特に非可換空間に特有の U(1) インスタントンについて詳しく議論する. 非可換インスタントンの性質は, 非可換性パラメータの自己双対性に依存する. これまで主に調べられてきたものはゲージ場と非可換性パラメータの自己双対性が逆の場合であった. 私はそれらの自己双対性が同じ場合について調べる. その結果, D ブレインの崩壊現象に関わる Sen の予想の確証に重要な役割を果たした “Solution Generating Technique” という手法の本質的な部分が ADHM 構成法の中から必然的に導出されることが明らかになった. さらに周期インスタントン解といった新しいソリトン解を構成し, そのフーリエ変換などさまざまな性質を調べる. 周期ゼロの極限で, この配位はフラクソンと呼ばれる, $(3+1)$ 次元 Yang-Mills-Higgs 理論における BPS ソリトンに一致する. フラクソンは非可換空間特有のソリトンでありモノポールというよりはむしろ渦に近い性質を持つ. フラクソンの Nahm 構成法に構成も直接行うことができる. これらのゲージ理論から得られた結果は全て, 弦理論の T 双対変換や行列模型による解釈と一致する. これは私の個人研究に基づく.

次に “Solution Generating Technique” の応用についていくつか議論を行う. 特に $(3+1)$ 次元 Yang-Mills-Higgs 理論への応用では上記の研究で得られた知見を応用し, $(3+1)$ 次元 Yang-Mills-Higgs 理論における BPS 方程式を不変に保つ変換を見出した. これにより, 既知のソリトン解から

新しいソリトン解が生成される. その新しいソリトン解についても詳しく調べる. これは寺嶋靖治氏との共同研究に基づく.

最後に今後の一つの方向性として, ソリトン理論や可積分系の非可換化について議論する. 私達は非可換空間上の Lax 方程式の生成法を提唱し, 様々な新しい非可換 Lax 方程式を見出した. これらの結果は既知の結果と全て一致し, 可積分系の非可換化の一意性を示唆している. したがって私達は Ward 予想の非可換版にあたる予想を提唱した :「非可換 Lax 方程式は可積分であり, 4 次元非可換 (反) 自己双対 Yang-Mills (NC ASD YM) 方程式の次元還元によって得られるであろう.」(図 1 参照.) これは可積分系研究の新しい地平を切り開く可能性を秘めており, 可積分系の q 変形に匹敵する豊かな研究成果が期待される. 弦理論との関わりも非常に興味深い. これは戸田晃一氏との共同研究に基づく.

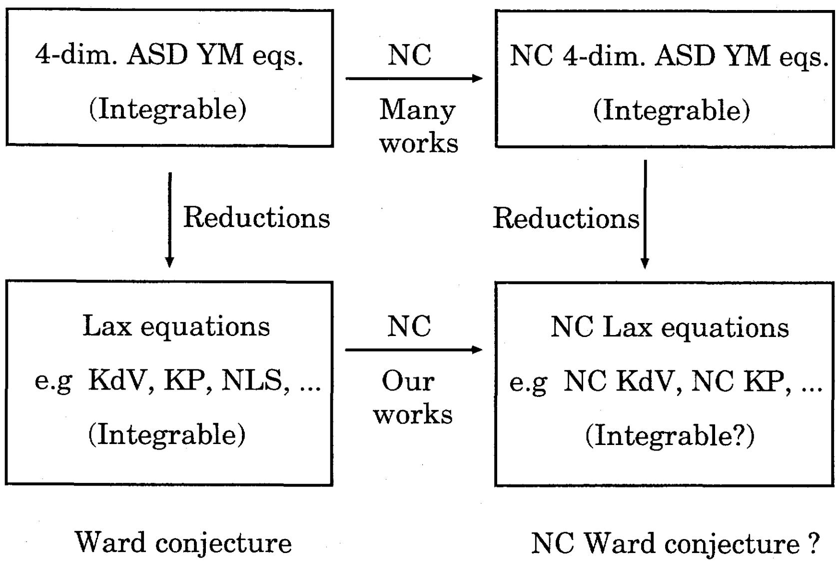

図 1: 可積分系研究の新しい地平

この博士論文は上の研究成果とこの分野のこれまでの発展の総合報告である。