

2003年度教室発表会  
『素粒子論の流れと研究状況』

2004年3月4日(木)

10:30 ~ 11:15

発表者: 東 武大(D3)

# § 1- Introduction

素粒子論の目標:

自然界の構成要素・相互作用を理論的に理解すること。

素粒子論研究室の構成:

2003年4月より、総合人間学部、人間・環境学研究科の素粒子論研究室(以下、吉田南)と統合。

以後、セミナー・研究室会議をはじめ諸々の活動を合同で行う。

現在、 $32+13=45$ 人のメンバーで構成されている

(人数は、北白川 + 吉田南 = 合計)。

スタッフ  $5+4=9$ 人、PD  $9+0=9$ 人、

博士課程  $10+4=14$ 人、修士課程  $8+5=13$ 人

# 標準模型を超えた物理に向けて：

標準模型: 重力以外の相互作用を、 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  ゲージ群によって統一。  
実験との整合性が非常に優れている。

標準模型の問題点:

- ・パラメーターが18個あり、これを理論的に決定する指導原理が存在しない。
- ・neutrinoの質量が0となってしまう。
- ・重力相互作用を統一できない。

# (1) 超弦理論による相互作用の統一:

重力をも含めた究極の統一理論の最有力候補。  
パラメーターを1つも含まない理論から、時空の次元、  
ゲージ群、世代数などすべてを予言できる可能性を持つ。

- ・第1期ストリングブーム(1980年代):  
超弦理論の摂動論的な理解の発展。  
重力のエネルギーの無限大発散がない。  
10次元時空を4次元にコンパクト化することで、  
4次元時空の標準模型を再現する見通しが立った。
- ・第2期ストリングブーム(1990年代):  
超弦理論の非摂動論的な理解の発展。  
D-braneとT/S dualityの発見。  
超弦理論の構成的定義の提唱。
- ・第3期ストリングブーム(????):

## (2) 現象論的アプローチからの統一理論の構築:

実験事実を拠り所にして、統一理論を構築する。

大統一理論:

$SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ を含むより大きな単純群 $G$   
をゲージ対称性と見做す。  $G = SU(5)$ 、 $SO(10)$ 、 $E_6$ など。

階層性の問題:

重力相互作用と、標準模型のエネルギースケールの階層性。

重力相互作用のPlanckスケール:  $10^{19}\text{GeV}$

標準模型のエネルギースケール:  $200\text{GeV}$

異なる世代間のクォークの質量の階層性。

$u = 1.5\text{-}4.5\text{MeV}$ ,  $c = 1.0\text{-}1.4\text{GeV}$ ,  $t = 174.3 \pm 5.1\text{GeV}$

$d = 5\text{-}8.5\text{MeV}$ ,  $s = 80\text{-}155\text{MeV}$ ,  $b = 4.0\text{-}4.5\text{GeV}$

# § 2-素粒子論研究室の今年1年の研究

## (1) Dijkgraaf-Vafa予想

(川合、黒木、森田)

## (2) pp-wave背景上の弦理論

(浅野、村松、杉山、中山(法))

## (3) 行列模型

(川合、Bal、東、花田、松尾(善))

## (4) 弦の場の理論

(畑、寺口、古結、藤田(麻)、久保(福))

## (5) 弦理論的宇宙模型

(川合、福間、三輪、河野)

## (6) 理論の対称性の性質

(青山(秀)、小紫、Bagnoud)

## (7) 超弦理論の現象論的側面

(小林(達)、桧垣)

## (8) 余剰次元

(松田(哲)、村上(豊)、山下(敏))

## (9) 大統一理論

(前川、山下(敏))

## (10) QCDとスピン物理

(植松、馬場(秀))

## (11) 物理学と他分野の融合

(青山(秀))

(1) Dijkgraaf-Vafa **予想**:

4次元 $N=1$ 超対称性場の理論と、one-matrix modelの間の対応。

hep-th/0206255,0207106,0208048 (Dijkgraaf, Vafa):  
topological string theoryを介して、両者の対応を説明。

hep-th/0211170 (Cachazo, Douglas, Seiberg, Witten)  
直接、場の理論だけで上記の対応を説明。両者の理論が  
同一のSchwinger-Dyson方程式を満たすことを示した。

2002年後半、爆発的ブームが起こった。

川合・黒木・森田

hep-th/0303210

Dijkgraaf-Vafa対応の起源を解明。非可換superspace上での場の理論と行列理論が完全に等価に記述できることを証明した。  
そして、その非可換Superspaceの可換極限を取ることによって上述の等価性が導かれることを示した。

hep-th/0312026

hep-th/0303210での等価性を更に、ゲージ場が複数存在し、fundamental matterやbi-fundamental matterの結合した系について証明した。  
更に、hep-th/0303210ではF-term中の一部のoperatorにだけ成り立っていた等価性が実はF-termに現れるoperatorすべてに成り立つことを示した。



## (2) pp-wave background上の超弦理論:

2002年前半に、爆発的なブームが起こった。  
その発端となったのは、以下の2つの発見である。

hep-th/0202021 (Berenstein, Maldacena, Nastase)

IIB型超重力理論には、最大の超対称性(32個)を持つ  
重力波解(pp-wave)が存在し、これは $AdS_5 \times S^5$ のPenrose  
極限で得られる。

hep-th/0112044 (Metsaev)

IIB pp-waveの背景には、RR-fluxが存在するにもかかわらず、  
light-cone gaugeで弦理論として厳密に解ける。

Dijkgraaf-Vafaやpp-waveでは、半年以下の短い期間で爆発的な  
ブームが起こる傾向が見られた。

## 浅野、[関野、米谷]


hep-th/0308024

Dp-brane背景時空( $p < 5$ )の中の超弦理論に対してある種のWick回転を行い、(horizon近傍領域の)境界上の2点を結ぶ光的測地線の周りで理論を展開し、2点間の散乱振幅を求める一般的方法を与えた。そして、その振幅が境界上の $(p+1)$ 次元ゲージ理論のある種の演算子の2点関数を与えるという予想を提唱し、それに基づきゲージ理論の性質を議論した。

## 村松

Maldacena, Sheikh-Jabbari, van Raamsdonkらが予想したpp-waveと呼ばれる特殊な背景時空上のtransverse five-brane解を、改良された平均場近似(ガウス近似)を用いることで、具体的に構成することを目指した。

本年度の解析では、空間的に5次元的に広がった励起が非摂動効果として現れるということを、leading orderの計算から定性的なレベルで確認した。



杉山、[吉田、Shin]

hep-th/0306087

maximally supersymmetric pp-wave 背景場でのsupermembraneの解析の一つとして、11次元supermembraneをdimensional reductionして得られる、N=(4,4) IIA型超弦理論の性質を調べた。light-cone gaugeでの作用はmassive theoryの構造をしている。そこで理論の整合性となるモジュラー不変性を調べ、開弦セクターとしての境界状態およびD-braneの分類を行った。その際にmassive theta functionが現れるが、その構造をより詳細に調べることにより、一般的なpp-wave背景場での超弦の分類を行った。

### (3) 行列模型

超弦理論の摂動論によらない構成的定義の有力な候補。

hep-th/9612115 (Ishibashi, Kawai, Kitazawa, Tsuchiya)  
超弦理論の構成的定義としてIIB行列模型の提唱。

$$S = -\frac{1}{g^2} \left( \frac{1}{4} \text{tr}[A_\mu, A_\nu]^2 + \frac{1}{2} \text{tr} \bar{\psi} \Gamma^\mu [A_\mu, \psi] \right)$$

重力相互作用、4次元時空の導出などについて、  
さまざまな興味深い状況証拠が得られている。

matrix model

IIB matrix model

one-matrix model

matrix regularization

dimensional reduction

Dijkgraaf-Vafa conjecture

type IIB string of Schild form

D=10, N=1

D=4, N=1

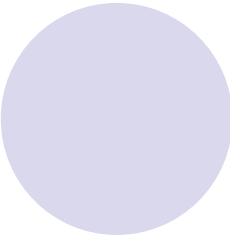
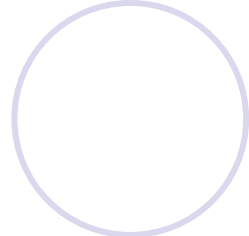
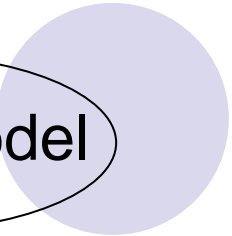
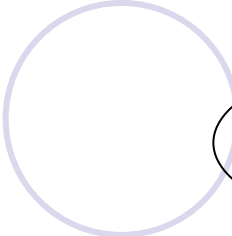
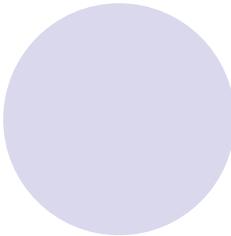
type IIB string on  $AdS_5 \times S^5$

D=4, N=4

string theory

gauge theory

AdS/CFT correspondence





東、Bal、[永尾、西村]

hep-th/0401038

曲がった空間を古典解に持つ行列模型のtoy modelとして、3次元の Chern-Simons項を含んだ行列模型についてMonte Carloシミュレーションを遂行した。その結果、古典解のfuzzy sphereの半径の変化が1次相転移を伴うこと、及びlarge-Nの極限ではone-loopの寄与が支配的であることがわかった。

花田、川合、黒木

IIB matrix modelにlarge-Nくりこみ群の考え方を適用し、そのeffective potentialを求めることによって、large-N極限でどのような配位が支配的であるかを議論した。技術的な理由により、行列の交換子が単位行列に比例する場合に限定せざるを得ないが、4次元的な配位が最も支配的であるという示唆を得た。

花田、川合、黒木、松尾(善)

この研究では、non-critical string における D-brane の効果がmatrix model にどのように現れるかについて調べた。one matrix model について、D-brane に対応すると考えられる instanton の効果を、直交多項式の方法を用いて求めた。また、この instanton の効果がmodel の詳細によらない universal な量であることを示した。

## (4)弦の場の理論

弦理論に現れる無限個の粒子を第二量子化した理論。

- E. Witten (1986):  
CSFT (cubic string field theory)の提唱。共変的な開弦の場の理論であり、場の3次で定義される。
- Hata, Itoh, Kugo, Kunitomo, Ogawa (1986)  
HIKKO型の弦の場の理論。開弦および純閉弦についての理論で、場の3次で定義される。  
昔この研究室から生まれた理論である。
- hep-th/0106010 (Rastelli, Sen, Zwiebach):  
VSFT (vacuum string field theory)の提唱。物理的な開弦の真空が存在しない場の理論。古典解として開弦理論の真空が再現されることを示す必要がある。

弦の場の理論を用いた解析として、次の2つの現象について世界的に精力的に研究された。

- Tachyon condensation (hep-th/9805170)

Senの予想：

tachyon凝縮の後、時空を埋め尽くすD25-braneは完全に消滅し、開弦の励起が起こらない。

D25-braneの消滅した非摂動的な真空の上でのtachyon potentialはD25-brane tensionとちょうどつりあい、相殺する。

- Rolling tachyon : (hep-th/0203211)

弦の場の理論の時間依存する古典解の構成。

tachyonが運動方程式にしたがってpotentialを転がり落ちる。





畑、藤田(麻)

hep-th/0304163

D-braneの崩壊過程を表す古典解を弦の場の理論の中で構成する試みを行った。弦の場の理論の力学変数である string field を小さな自由度に制限する"近似"を用いたが、得られた近似解は時間と共に振動しながら発散するという、期待とは異なるものであった。

hep-th/0403031

この研究は、上記と同じ『不安定D-braneの崩壊過程を表す古典解の構成』の問題を、VSFTを用いて行ったものである。

VSFTにおいてはD-braneの崩壊過程を表すと期待される古典解を近似を用いずに構成することが出来た。しかも、この古典解の各成分は円周上に無限個の電荷が置かれた統計力学系の分配関数と見なす事ができ、Monte Carlo simulation 等の統計力学の解析手法を応用することが出来る。その結果、解の持つ一つのパラメータを適当な値に取ることにより、望ましい時間依存性を持つことが可能であることがわかった。



## 畑、古結、寺口

hep-th/0305010

VSFTのマスレスベクトル状態が通常のゲージ構造、つまり、正しいゲージ変換性と横波条件を備えているかどうかについて研究した。結果として、期待されるゲージ変換性が導かれる。一方で横波条件に関しては同様の有限項が残るにも関わらず、条件は現れない。これについては、より一層の理解が望まれる。

## 古結、寺口

BSFTはBV-formalismを用いて形式的に定義された弦の場の理論である。その作用はいくつかの例外を除いて計算されていない。この研究では厳密に解ける二次元場の理論を用いて、異なる弦の場の配位に対する弦の場の作用を調べている。この研究は、弦理論の時間に依存した古典解であるRolling Tachyon解への応用やBSFT自体の深い理解へ繋がることが期待される。

## 久保

超弦の場の理論の検証のため、ブレインやCalabi-Yau多様体上における作用の摂動的計算を行った。また、超弦理論での超重力作用を導くのに必要な、超弦の場の理論での閉弦やループ計算の取り扱いについて考察した。

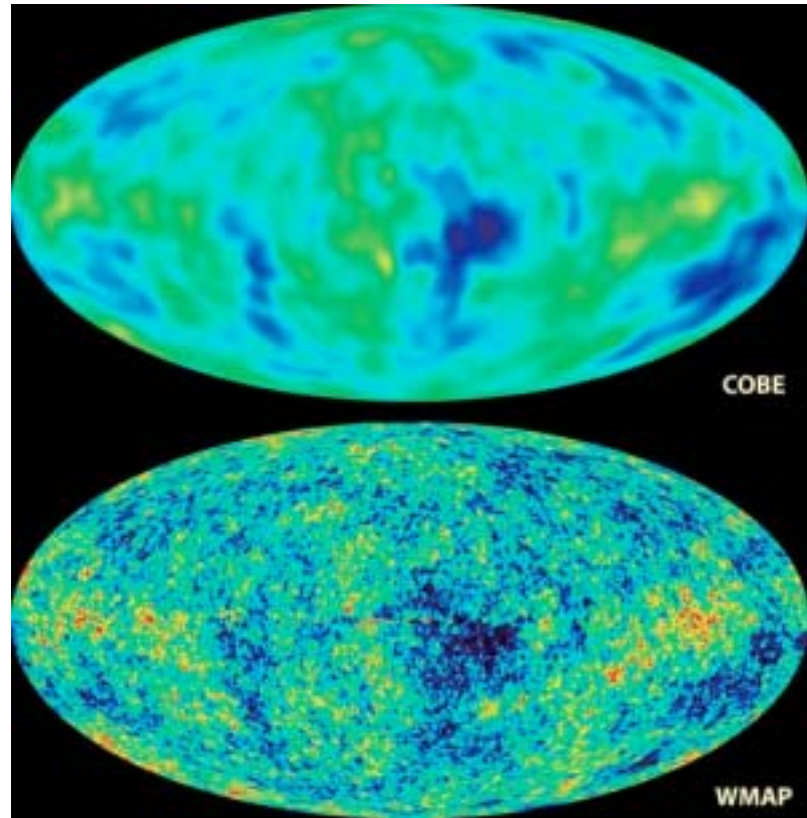
修士論文では、Berkovitzの超弦の場の理論のモデルに基づいてDブレイン上の有効作用の計算を行い、摂動の高次の項や非可換ゲージ場の場合の計算結果を出した。

## (5) 弦理論的宇宙模型

WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)

宇宙の構造を解明する上で、COBE (cosmic background explorer) を超える精密な観測結果を与えた。具体的には以下のとおりである。

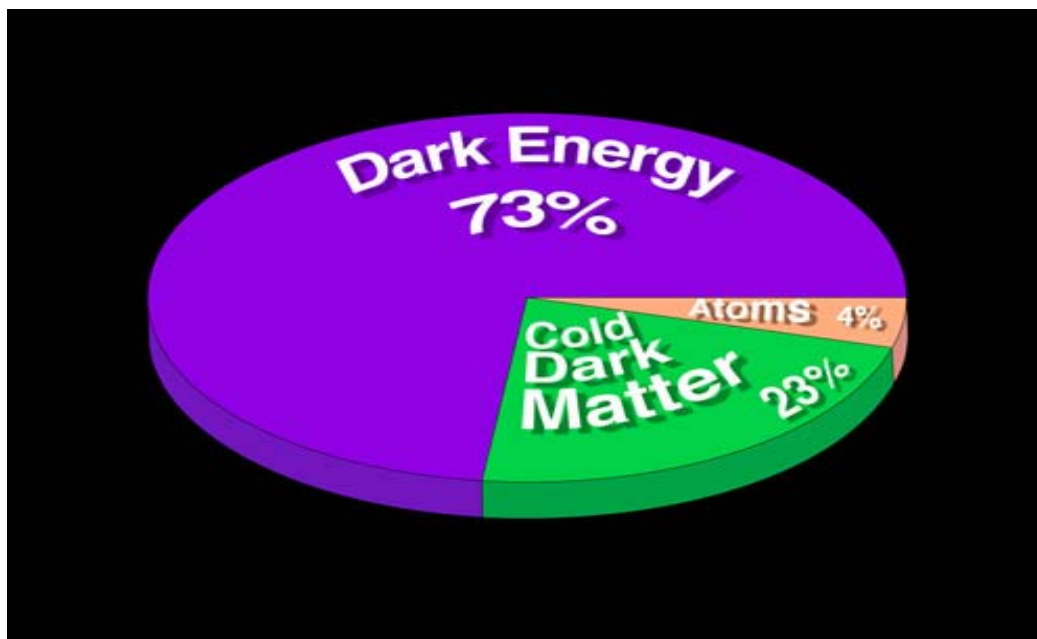
1. 宇宙背景輻射の精密な全天マップを得た。  
(COBEは角分解能7度、WMAPは10分)



(<http://map.gsfc.nasa.gov/>より引用)

2. 宇宙の年齢を精密に測定した。  
現在、宇宙の年齢は、137億年(誤差は $\pm 1\%$ )

3. 宇宙の物質の構成比を明らかにした。

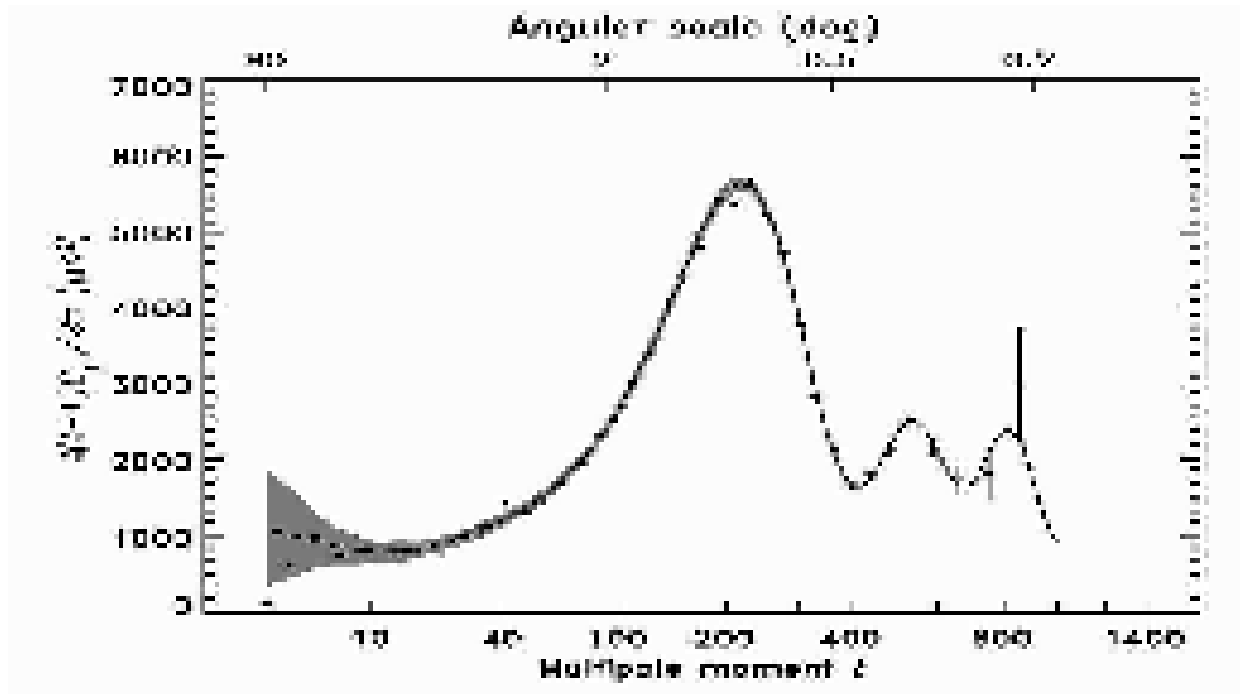


(<http://map.gsfc.nasa.gov/>より引用)

4. 最初の星は、ビッグバンから2億年後に輝き始めた。

5. インフレーション宇宙の有力な証拠を得た。  
宇宙は今後膨張し続けるだろうと予測される。

6. 温度揺らぎの測定



(astro-ph/0302209より引用)

## 福間、三輪、[高橋(一)]

hep-th/0304012

2次元重力は場の理論の範囲内で量子化が可能であり、この系におけるエントロピーバウンドの解析は4次元量子重力を扱う際に重要な示唆を与えることが期待される。これまで Bousso のバウンドの導出方法は2次元には適用できないものとなっていたが、この研究では2次元系におけるワイル・アノマリーの効果を正しく取り入れることで、Bousso のバウンドが2次元重力においても実際に導出できることを示した。

## 福間、三輪、河野

hep-th/0307029,0312298

ストリングの効果宇宙背景輻射(CMB)の大スケール側のゆらぎに影響を与えうるかどうかの検討を行った。

とくに我々は、ストリング理論が時空の最小長さの存在を示唆することを動機として、大スケール側で小さなゆらぎを与えるために短距離のカットオフが満たすべき条件を詳細に解析した。その結果、インフラトンのモードに対するカットオフの効果が消える時刻と、モードが Hubble ホライズンを抜け出す時刻の関係に応じて、ゆらぎのパターンが大きく変わる事を示した。また、空間の角度方向に非可換性を導入するモデルが、大スケール側で実際にゆらぎを大きく抑えることを見出した。



## 福間、川合、[二宮]

hep-th/0307061

温度のみならず時空の曲率にも string scale の上限があると仮定した時、宇宙がビッグバンとビッグクランチを繰り返す cyclic universe の描像が自然に導かれる事を示した。この描像では、一つの周期のビッグクランチと次の周期のビッグバンは、string scale の温度と曲率を持つ Hagedorn 宇宙で滑らかにつながっている。我々はさらに、Hagedorn 宇宙の時期に入る時とそこから出る時に生成されるエントロピーと現在の宇宙のエントロピーを考慮する事により、

「Planck スケールで誕生した宇宙は、これまでに約40回の膨張・収縮を繰り返し、現在では、今後ビッグクランチを起こさない最後の周期にいる」

という描像を得た。また、この模型が曲率の摂動に対してスケール不変なスペクトラムを与える事を示した。

## (6) 理論の対称性の性質

素粒子理論では、理論の対称性が本質的な役割を果たす。以下、超弦理論、場の理論の観点から理論の対称性の性質について研究された。

### 青山(秀)、小紫

quant-ph/0106037において、1次元量子力学系における、N重超対称性が提唱された。N重超対称性とは、supercharge  $Q$ が運動量のN次の多項式である超対称性のことをさす。これを多次元系および多粒子系に拡張することを目指している。また、従来のType-Aを超えるType-Bと呼ばれる拡張模型を詳細に調べている。

### Bagnoud, [Carlevaro]

超弦理論の無限次元代数について調べている。IIB型超弦理論についてはいくつかの結果が知られているが、これを混成超弦理論に拡張することを試みている。これによって、混成弦のゲージ群 $SO(32)$ や $E_8 \times E_8$ がどのような役割を果たすのか、M理論のオービフォールドとの関係でどのように理解できるのかを考察している。





## (7) 超弦理論の現象論的側面

超弦理論からの、標準模型の諸々のパラメーターの決定。

[gauge coupling, 湯川coupling, FI termなど]

これらは、dilatonやmoduli場の期待値で決定される。

縮退している、超弦理論の真空(低エネルギーにおける物質場やゲージ群)の決定につながる。

- 梶垣、小林 hep-th/0304200

(Type IIB orientifold construction を通した) 4D Type I string models の枠内で、twisted moduli の真空期待値の決定の機構を議論した。他のmoduliの真空期待値にくらべて、twisted moduliは、安定化されることが容易であることを示した。

- 小林、[Lebedev] hep-th/0304212

Heterotic orbifold models において、湯川結合の強さをほぼフルなmoduli を含む形で計算した。特に、湯川結合のCP phase の起源について注目し、その起源としては、2階反対称テンソルに対するmoduli 場の真空期待値のみが湯川結合の物理的なCP phase にきくことを示した。

- 小林、[Choi, Kim, Kim] hep-ph/0305024

現実的な quark/lepton 質量行列を導きつつ、縮退したsquark/slepton masses を導くような模型を考え、flavor changing neutral currents の実験からの制限を議論した。

- 小林、[瀬戸] hep-ph/0307332

4次元type I string models の枠組みでdilaton/twisted moduli の振る舞いを議論し、D-term inflation が実現可能であることを示した。

- 小林、[Nibbelink, Hillenbach, Walter] hep-th/0308076  
超弦理論における10次元のcurrent anomalyが、orbifoldのようにさまざまな singular pointがあるような場合について、localに相殺されていることを示した。
- 桧垣、小林、[川村、中野] hep-ph/0308110  
超対称性の破れに伴い、D-term を通して、新たな効果が現れる。この研究では、twisted moduli から induce される pseudo-anomalous U(1) D-term を通した SUSY breaking termsを計算した。
- 桧垣、小林、[川村、中野] hep-ph/0311315  
Kahler potential へのnonperturbative correction により、dilaton の真空期待値が決定される可能性を調べた。
- 桧垣、小林、[瀬戸] hep-ph/0402200  
string から導かれる4次元有効理論において、D-term inflation scenario を議論した。ここでは、dilaton field のKahler potential へのnonperturbative correction の形を仮定し、D-term inflation の現実的な形で実現するような可能性を調べた。

## (8) 余剰次元

余剰次元は超弦理論・現象論両方の観点で、興味深い問題である。

brane-world scenario:

我々の4次元時空は、D3-brane上に存在している。



Kaluza-Klein (1921)

重力相互作用と電磁相互作用の統一のために、余剰次元を考えた。

現象論からの観点:

- 重力相互作用と、標準模型のエネルギースケールの階層性問題。
- 世代間のクォーク質量の階層性問題。

超弦理論からの観点:

超弦理論、または M 理論から brane world を実現する方法として、

- $G_2$  多様体を経由する。
- ヘテロティック M 理論を経由する。
- D-brane を交差させることによってできる intersecting brane。

松田(哲)、[関]

hep-ph/0307361

本研究は、宇宙定数と余剰次元空間の真空エネルギーの関係を詳しく追求し、特に正則化によって得られる有限真空エネルギー値の正負の分析、余剰次元空間のモジュライ依存性の分析を遂行し、宇宙定数の定量的解答を目指して研究を進めている。

村上(豊)

一般にintersecting braneではanomalousなU(1) gauge理論が現れることがわかっているが、場の理論の知識から1-loopでFI D-termが生成されることが知られているので、摂動論的な仕組みがわかっている超弦理論での計算を試みている。

低エネルギー作用からすでに多くのことがわかっているので、GS形式や、NSRのcovariant形式、boundary stateの観点等、いろいろな手法による計算をし、またその結果のHeterotic string理論( $\langle D \rangle = 0$ )や、type I弦理論( $\langle D \rangle = 0$ )で知られている例との比較、ブレーンの交差角の依存性とnon-SUSYなどの理論への拡張等、進行中。

ヘテロティック弦理論にfluxが入ったもののM理論への拡張がどのようになるのか、そして計量やfluxがどのような対応をしていてmoduliがどのように固定されるかを明らかにしようとした。

山下、[波場、細谷、川村]

hep-ph/0401183, 0401185, 0402157

5次元方向を  $S_1/Z_2$  にコンパクト化したようなモデルでは、境界条件により対称性を破ることができる、ということが知られている。一方、ゲージ場の5次元方向の成分は、4次元有効理論ではスカラーとして現れ、それが VEV を持つとさらに対称性を落とすことができ、場合によってはゲージ群の rank も落ちることがある。これを使って、electroweak symmetry breaking を (dynamical に) 実現するモデルや、このスカラーの有効ポテンシャルの簡単な計算法を提唱した。

## (9) 大統一理論

大統一群の候補となる群:  $G=SU(5)$ 、 $SO(10)$ 、 $E_6$ など。

異常 $U(1)$ 対称性を用いたSUSY GUTの利点。

一般的な相互作用をすべて含み、不要な項を人為的に落としていない。

整数(半整数)の $U(1)_A$ チャージを決めるだけで、モデルの定義が終わる。

SUSYの破れ以外のすべての質量スケールが自動的に決まる。  
[大統一理論のゲージ群の破れのエネルギースケール、  
大統一ゲージ群を破るヒッグスの質量スケール]



## ● 前川、山下

hep-ph/0303207:

以前提案した $E_6$ ゲージ群を持つヒッグズセクターより少ない場でdoublet-triplet splittingが実現することができることを示した論文。場の数が少ないため、ゲージ結合定数が摂動が信用できないほど大きくなったりしないことがわかる。

hep-ph/0304293:

標準模型のゲージ群を $SO(10) \times U(1)$ という群で統一すると、doublet-triplet splittingがmissing partner mechanismで実現できることを示した論文。ここでの $SO(10)$ は普通の意味での $SO(10)$ 大統一群とは違うので、flipped  $SO(10)$ と呼んだ。

hep-ph/0305116:

Wittenが提唱したsliding singlet mechanismはそのままでは超対称性の破れを考えるとうまくいかないが、標準模型のヒッグズを大統一群を破るヒッグズに統一することにより、うまくいく機構になることを指摘し、それが、一般化できることを示した論文。特に $E_6$ 大統一理論にその一般論を応用した。

work in progress:

non Abelian horizontal symmetryを $E_6$ 大統一理論に導入すると、SUSY flavor problemが自然に解決できることを以前の論文の中で指摘したが、 $E_6$ のヒッグズセクターにもそのnon Abelian horizontal symmetryを導入することができるかどうか、という可能性を吟味した論文。

## ● 前川:

hep-ph/0402224

なぜ、クォークの混合より、レプトンの混合の方が大きいのか、ということが $E_6$ 大統一理論ではかなり一般的な仮定の下で自然に理解されることを示した論文。更に、non Abelian Horizontal symmetryを導入すると、SUSY Flavor problemも解ける(特に大きなレプトン混合に起因する問題も大きなレプトン混合を実現する $E_6$ の特徴的な構造で解決する)ことを指摘した。

## (10) QCDとスピン物理

摂動QCDの正しい理解は、ハドロンコライダーでのHiggsの探索により、標準模型を確立する上で重要である。

植松、馬場

hep-ph/0202142,0307136

スピンの自由度を考慮した、強い相互作用のダイナミクスを摂動論的QCDの枠組みで調べている。特に、光子の偏極構造関数に注目し、非偏極の場合にはnon-leadingであったツイスト3の効果、仮想光子の $g_2$ 構造関数の場合に明らかにした。また同時に、仮想光子の構造関数に対する標的質量効果を求めた。

works in progress

AdS/CFT対応を用いて、弦理論における構造関数をスピンの自由度まで含めて追求している。

ハドロン・コライダーでの物理に関して、LHC領域でのQCDの諸問題をKEKの数値物理のグループと考察。



## (11) 物理学と他分野の融合

青山秀明氏によって、他分野の研究者との共同研究がなされている。

### 経済物理学:

個人所得や、企業の大きさを示す量である資本、従業員数などの量の分布や変動法則を現象論的に調べ、それらの基本法則を明らかにするために研究を行っている。これまでに、Pareto則(企業のサイズ分布)およびGibrat則(企業の成長率の揺らぎ)と呼ばれる法則が高精度で成立していることが判明していて、またそれらの相互関係などが明らかになっている。

2003年7月15-16日にかけて、基研研究会(YITP-W-03-03)『経済物理学-社会・経済への物理学的アプローチ』を開催。

## 言語物理学:

ここでは、英語の単語長について、散文・韻文200万単語を越える独自データを利用して、その分布、相関等を調べている。昨年夏にはCambridgeに赴き、現地の研究者と特に、単語長の辞書の数学的構造について共同研究を行ってきた。

## パリティ(2003年12月号) p58-61 『"言語物理学"の夜明け』

- 散文からは、Henry James, George Elliotの長編小説を中心に200万語のサンプル、韻文からはJohn Miltonの長編詩から50万語のサンプルを抽出。  
そして、次の意味で『乱分割原理』を明らかにした。
- $R(n|m)$  = [音節数 $m$ である単語の直後の単語が、音節数 $n$ である確率]は、 $m$ にほとんど依存しない。つまり、音節数は無相関である。そして関数 $R(n|m)$ は、 $n$ について幾何級数分布をなす。
- $Q(n)$  = [任意の単語の頭から数えて、 $n$ 音節の後に単語の区切りがある確率]は、 $n$ にほとんど依存しない定数 $q(=約0.7)$ である。

## § 3-Conclusion

- 素粒子論の研究分野は非常に多岐にわたり、多くの人がい  
ろいろな角度から統一理論を目指して研究を遂行している。
- 「超弦理論」、「現象論」の両方に跨る研究分野が多く、両者  
の境界線はあいまいなものになりつつある。
- 現象論、超弦理論双方のアプローチについて、現在、標準模  
型を超えたモデルを模索している段階である。