

# 素粒子理論研究室

ニュートリノ物理、素粒子質量の解明

東京都立大学理学研究科物理学専攻  
素粒子理論研究室  
安田修

# 1.メンバー紹介



安田修： 現在はニュートリノ、とくにニュートリノ振動の現象論の研究をしている(2024年3月定年退職)。



北澤敬章： 現在は素粒子質量の問題を弦理論の枠組みで解こうとしている。

※安田があと**3年半**で定年となるため、博士課程に進学希望の方は修士課程修了後に**他大学**に進学して頂くことになります。

この他に20年6月時点で在籍：修士3名、博士1名

## 2.研究内容

### ■素粒子の標準模型とは

**標準模型：現在までのほとんどすべての素粒子の実験結果を説明し、非常に成功を収めた理論**

**より基本的な理論：標準模型からのずれの研究が必要**

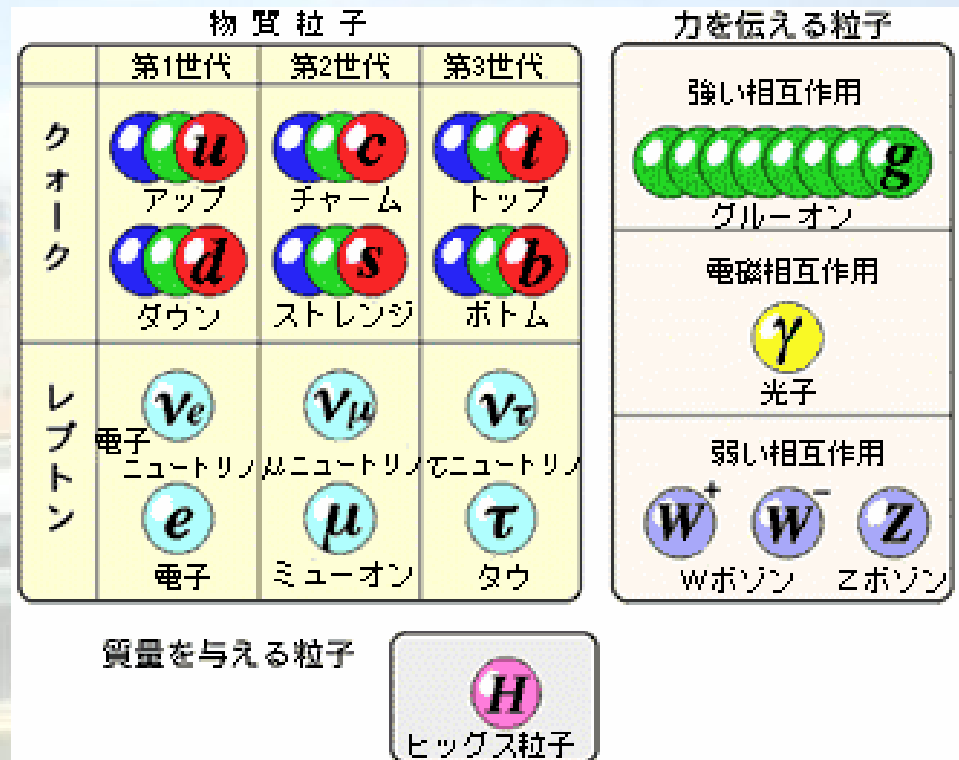


図1 現在の素粒子像「標準模型」の世界

$p=(uud)$ : 陽子

$n=(udd)$ : 中性子

# ■素粒子理論サブグループにおける研究

## (1) ニュートリノに関する現象論的研究(安田)

ニュートリノの質量・混合を研究することにより、レプトンセクターの標準模型を越える物理の手がかりを探る

## (2) 弦理論に関連する現象論の研究(北澤)

弦理論にもとづく素粒子模型を研究することにより、素粒子の質量の起源を明らかにすることを目指す

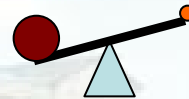
# (1) 標準模型を越える物理学とニュートリノ(安田)

## ●ニュートリノの小さな質量 → 高エネルギースケールの兆候？

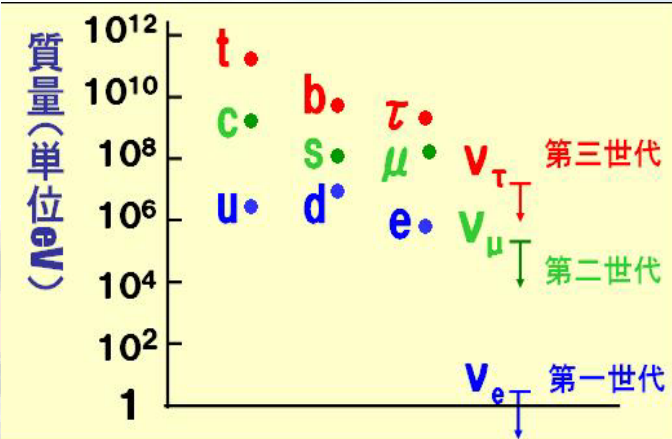
シーソー機構

$m \ll M$  の時

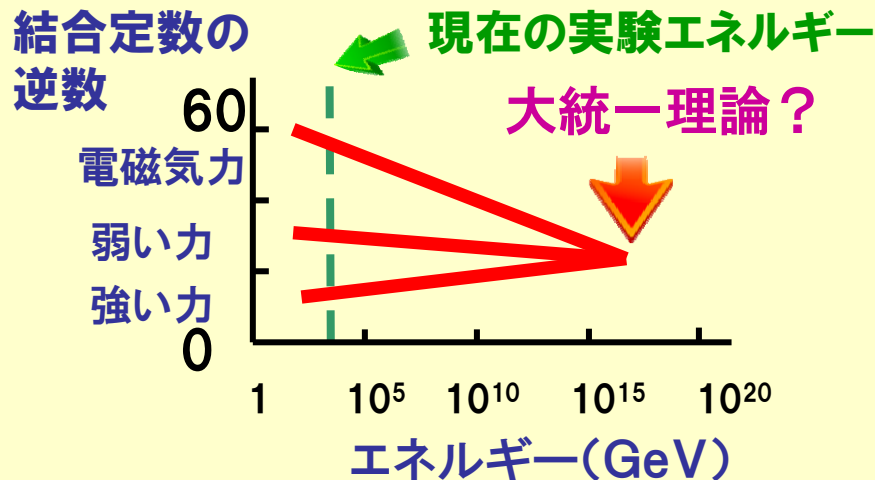
$$\begin{pmatrix} 0 & m \\ m & M \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -m^2/M & 0 \\ 0 & M \end{pmatrix}$$



$$m_\nu = m^2/M < 1 \text{ eV} \rightarrow M > 10^9 \text{ GeV}$$



## ●クォークとレプトンの混合の関係→高エネルギーでの対称性？



クォークの混合

|      | 第1世代                | 第2世代                     | 第3世代                   |
|------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| クォーク | $u$<br>アップ          | $c$<br>チャーム              | $t$<br>トップ             |
|      | $d$<br>ダウン          | $s$<br>ストレンジ             | $b$<br>ボトム             |
| レプトン | $\nu_e$<br>電子ニュートリノ | $\nu_\mu$<br>ミューオンニュートリノ | $\nu_\tau$<br>タウニュートリノ |
|      | $e$<br>電子           | $\mu$<br>ミューオン           | $\tau$<br>タウ           |

レプトンの混合

大統一理論が本当なら高エネルギーでクォークとレプトンの混合は一致するはず

# ●ニュートリノ混合の中のCP非保存位相 →宇宙の物質－反物質非対称性の説明？

レプトジェネシスと呼ばれるシナリオ

レプトン数 (L) 生成



バリオン数 (B) 生成

標準模型を超える理論：重い右巻ニュートリノの崩壊における非対称性によりLが生成  
→有限温度におけるスファレロンと呼ばれる古典解の効果で

$$(B-L) = \text{一定},$$

$$(B+L) \rightarrow 0$$

となってBが生成される

右巻ニュートリノの崩壊で非対称性を出すためにはCP位相の存在が必要

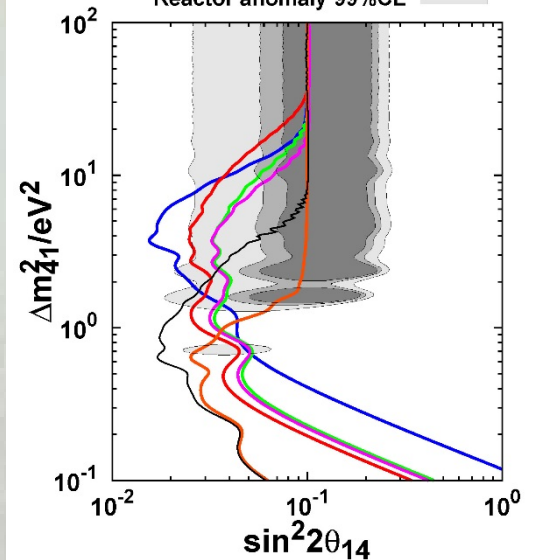
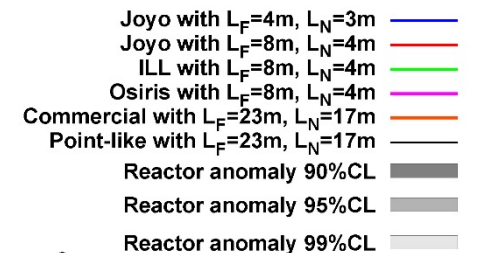
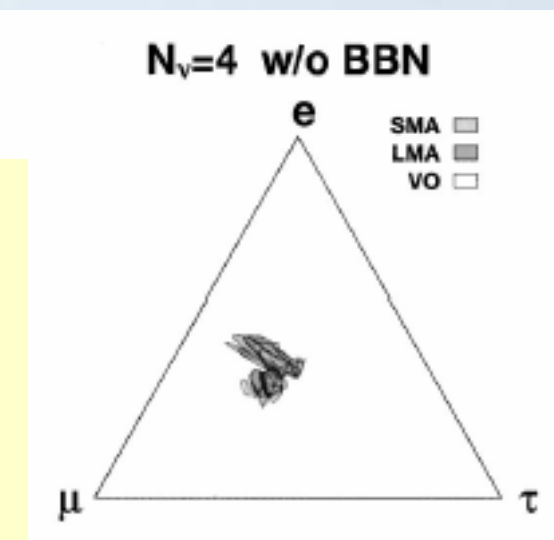
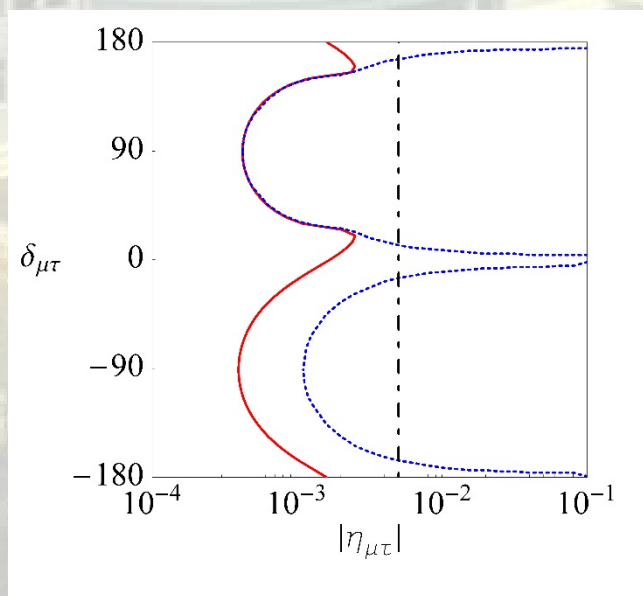
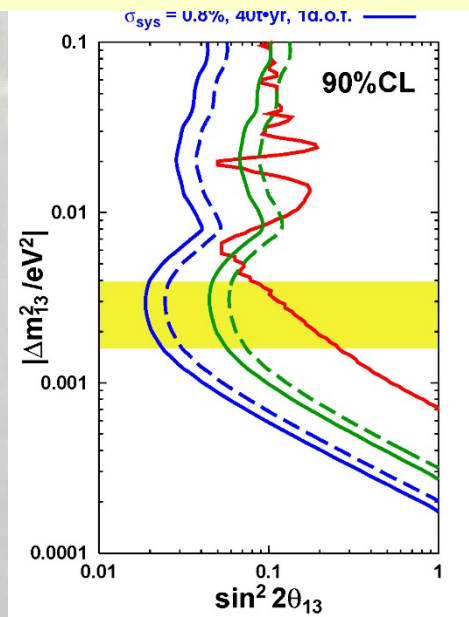
このように、ニュートリノの質量・混合・CP位相は高エネルギーにおける物理を探るヒントになると考えられている

→ニュートリノの質量・混合・CP位相の決定は標準模型を越える物理学を探るための重要な研究

# 研究内容(安田)

## 最近の主な研究

- 4世代ニュートリノの混合角・質量パターンの研究
- 4世代ニュートリノ混合での高エネルギー宇宙ニュートリノの現象論
- 原子炉ニュートリノによる $\theta_{13}$ 測定実験の現象論
- ユニタリー性の破れによるCP非保存の議論
- 実験原子炉ニュートリノによる $\theta_{14}$ 決定の現象論

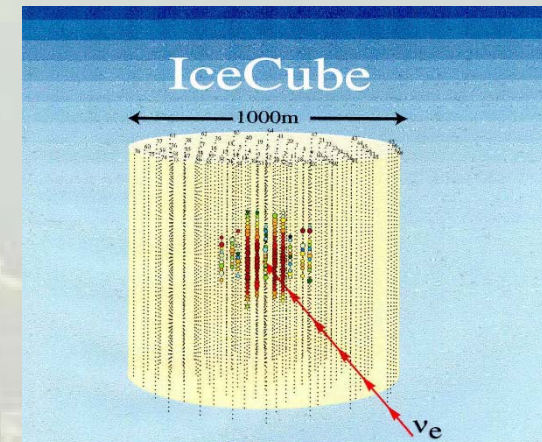
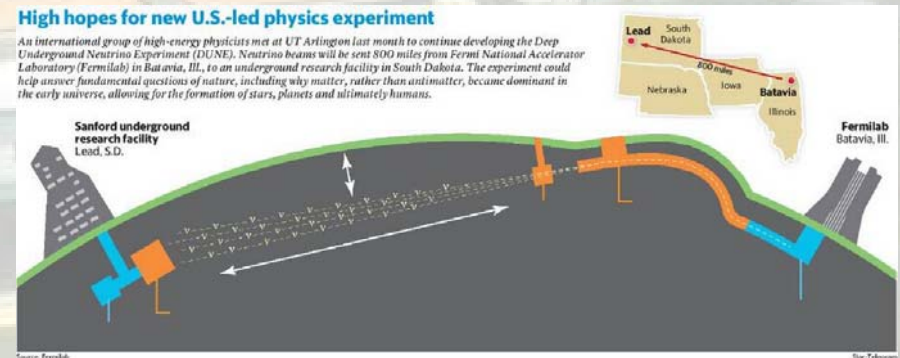




# 今後の研究の展望(安田)

近未来・長期的ともにさまざまな実験の計画があり、ニュートリノの理論的研究もこれからますます発展すると期待されている

- T2HK・DUNE等の大輝度長基線ニュートリノ実験
- IceCube等の高エネルギー宇宙ニュートリノの観測
- JUNO等の原子炉ニュートリノによる反ニュートリノの精密測定実験





# 今後の研究の展望(安田)

**当研究室は、以下の研究活動に参加している：**

**H25年7月～ H30年3月の間、科学研究費補助金（文科省）新学術領域「ニュートリノフロンティアの融合と進化」に、計画研究班の一つ(C01班:代表者安田)として参加：**

<http://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/nufrontier/>

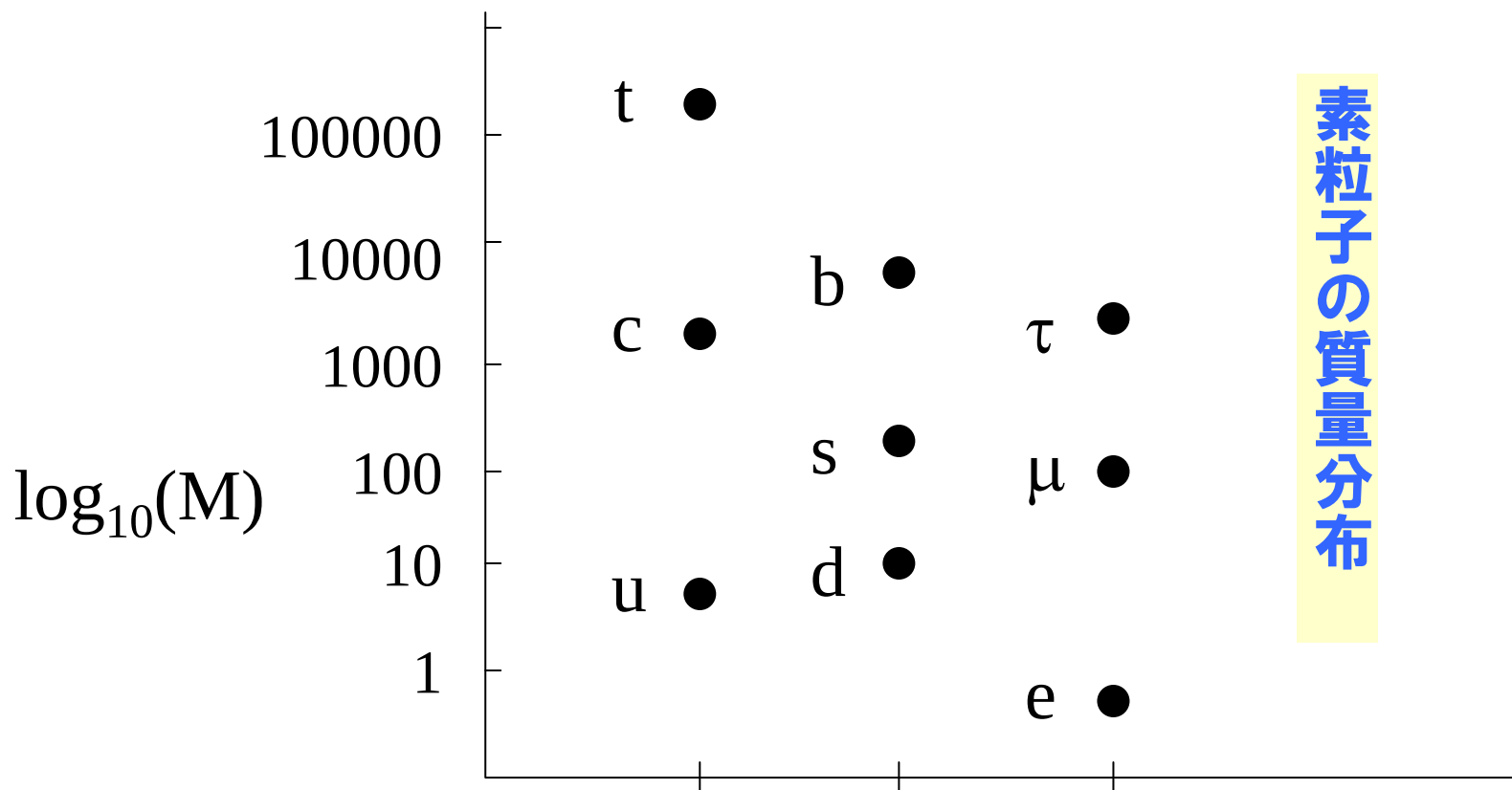
**2018年7月～ 2023年3月の間、科学研究費補助金（文科省）新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」に、計画研究班の一つ(C02班:代表者津村浩二)の分担者として参加：**

<https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PLANNED-18H05543/>

**科研費の補助を受けている期間中、大学院生・ポスドクの国際会議派遣等への補助を潤沢に行う予定**

## (2)素粒子の質量の起源（北澤）

「標準模型」では素粒子の質量の値は説明されていない。  
「電弱対称性の自発的破れ」を引き起こす物理がそれを  
決めているはず。



素粒子の質量分布

# 研究テーマ（北澤）

- ・ 自然な「電弱対称性の自発的破れ」の物理を求めて。

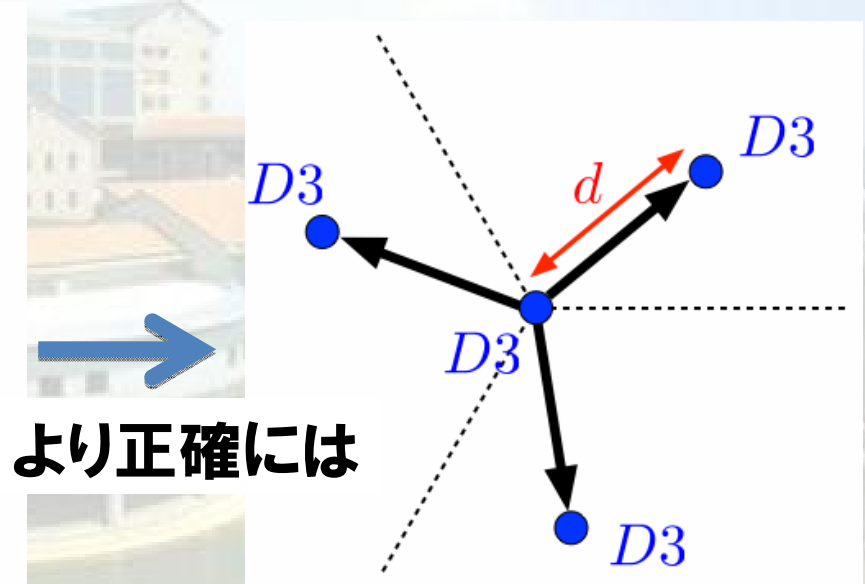
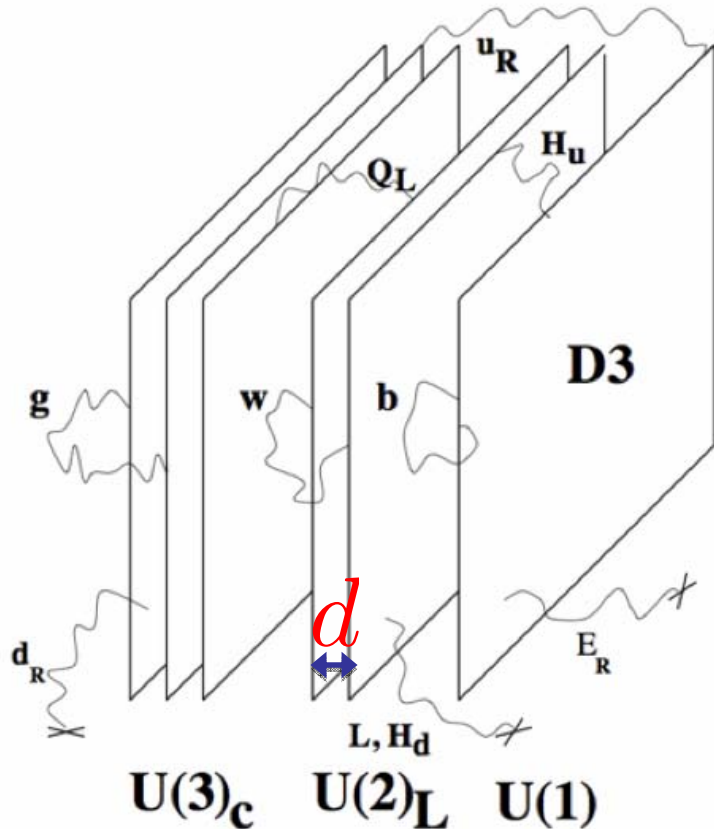
## 弦理論に基づいた素粒子模型の構成

- ・ 究極理論としての弦理論の可能性の追求。

## 弦理論におけるインフレーション宇宙論

# 最近の研究から（北澤）

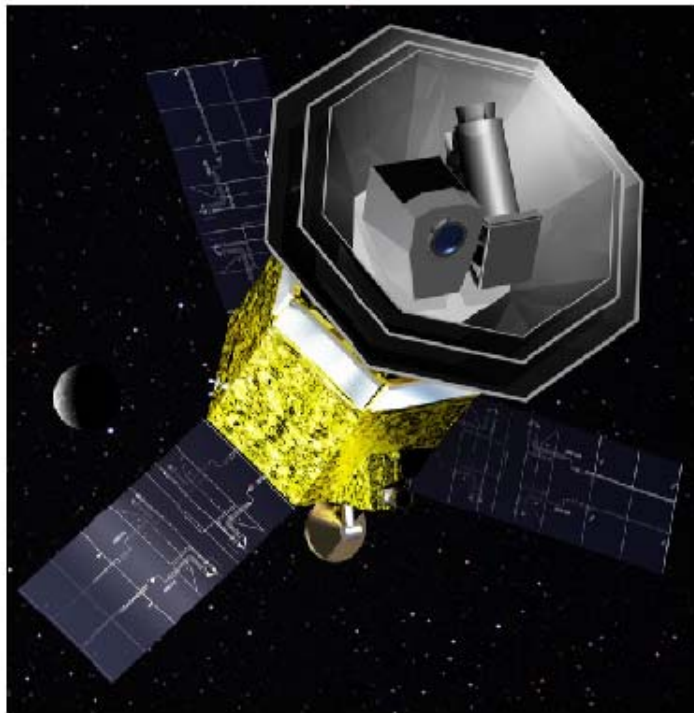
超弦理論の10次元時空を预言する。  
我々はDブレーンという物体の中に閉じ込められているとする。



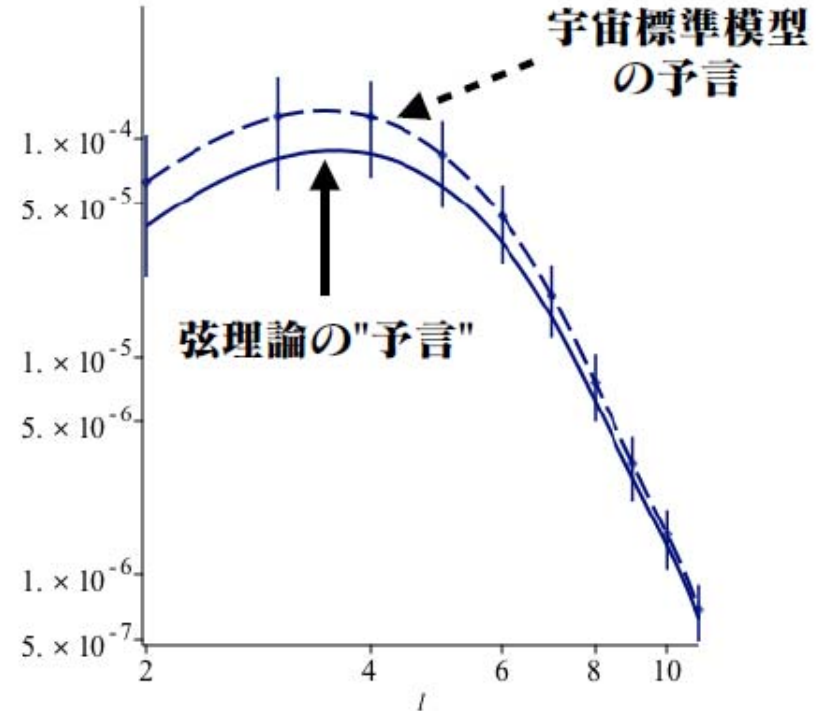
自然な「電弱対称性の自発的破れ」  
のためには距離  $d$  を安定に保つ  
必要がある。  
原点に引きつけようとする中心力と  
遠心力の釣り合い？

# 最近の研究から（北澤）

弦理論における宇宙のインフレーションの初期の現象が  
宇宙背景放射のゆらぎの偏極の観測で確認できるか？  
(偏極の精密測定を目指すLiteBIRDにおいて検証可能か？)



LiteBIRD



B-mode偏極の強度



# 今後の研究の展望（北澤）

**弦理論における「電弱対称性の自発的破れ」のメカニズムの解明。**

**ヒッグス粒子の自己相互作用への予言。**

**宇宙のインフレーションのメカニズムとの関連？  
暗黒物質の生成？**

**将来の加速器実験(LHC加速器実験など)における検証。  
宇宙観測(宇宙背景輻射の偏極など)による検証。**

**さらに、「電弱対称性の自発的破れ」を素粒子に伝えて  
質量を与える物理を解明する。**

# 3.活発な国際的な共同研究

—過去の研究の共同研究者(安田の例)—

都立大/首都大



東北大

メルボルン大(豪)

デラウェア大(米)



カルテック(米)

原子核研究所  
(ポーランド)

マドリード自治大(スペイン)

ローマ大(伊)



# 活発な国際的な共同研究

## —大学院生の海外での共同研究・研究成果発表—

- 内波 (D1) リオデジャネイロカトリック大共同研究(ブラジル), 2007/12/5-21, 大学院GP
- 生田目 (M2) マドリード自治大共同研究(西), 2008/2/4-22, 学振二国間
- 内波 (D1) マドリード自治大共同研究(西), 2008/2/4-22, 学振二国間
- 婦木 (D3) マドリード自治大共同研究(西), 2008/2/11-21, 大学院GP
- 内波 (D2) メルボルンニュートリノ研究会講演(豪), 2008/6/1-6, DC学振科研費
- 内波 (D2) ニュートリノファクトリーIDS総会講演(米), 2008/6/9-14, DC学振科研費
- 内波 (D2) ニュートリノファクトリー研究会講演(西), 2008/6/28-7/6, DC学振科研費
- 婦木 (D3) ニュートリノファクトリー研究会ポスター(西), 2008/6/26-7/6, 学振二国間
- 内波 (D3) 弱い相互作用とニュートリノ研究会講演(伊), 2009/9/12-21, DC学振科研費
- 大木 (M2) モリオン会議講演(伊), 2010/3/5-14, 大学院GP
- 深澤 (M2) モリオン会議講演(伊), 2014/3/15-3/22, 科研費新学術
- 深澤 (D1) ニュートリノ2014会議ポスター(米), 2014/6/2-6/7, 科研費新学術
- 深澤 (D3) ニュートリノ2016会議ポスター(英), 2016/7/4-7/9, 科研費新学術

## 4.研究室出身者の進路

### 大学院修士課程の卒業生

- ・ 20年 : 就職1
- ・ 19年 : 就職2
- ・ 18年 : 就職1, 未定1
- ・ 17年 : 就職1, 教職1, D進学1
- ・ 16年 : D進学1
- ・ 15年 : D進学1
- ・ 14年 : D進学1
- ・ 13年 : D進学1
- ・ 12年 : 就職1, 未定1

## 5.素粒子理論研究室が期待する人物像

### (1) 物理や数学が得意な人

当研究室は理論研究室ですので、物理の理解力がある人・式の計算が得意な人が期待されています。

### (2) プログラミングが好きな人

当研究室で行っている現象論的研究では計算機による数値計算が主流となっています。ある程度の数値計算の経験がある人の方が研究をする際に有利です（もちろん入学後に勉強すれば研究は可能です）。