

# アインシュタイン・南部セミナー

Sep. 2019

## 報告書

大阪市立大学 大学院理学研究科／理学部 物理学科

2019年9月25、26、27日

KKR ホテルびわこ

(滋賀県大津市)



## はじめに

「アインシュタインセミナー」は、重点研究『アインシュタインの物理』でリンクする研究・教育拠点」による活動として、2008年度から4年間、毎年開催されていた合宿形式のセミナーでした。このセミナーは、

- (1) 研究発表よりも議論を重視し、これに十分な時間を割り当てること
  - (2) 教員と学生が寝食を共にし、3日間とにかく「物理」に集中すること
  - (3) 物理学に対するとき、教員と学生の差は無く対等な研究者であること
- を特徴として、大きな教育効果をもたらしました。重点研究終了後も、その素晴らしさは半ば伝説的に語られ、回顧されてきました。2012年度から5年間の中断後、2017年度に再開し2018年度も継続開催となりました。

今年から南部研共催となり、「アインシュタイン・南部セミナー」として開催することになりました。今回は、4回生9人、大学院生31人、教員11人、招待講師2人の計53人の参加者で、25講演があり大盛況でした。今回の特徴は大学院生の積極的な講演申込があったため、アインシュタインセミナー本来の特徴である「徹底的に議論すること」が時間的な制約のため難しくなったことです。その一方で、様々な分野の研究を集中的に聞くことができたのはよいことだったと思います。また、十分議論できないながらも、学生からも質問がたくさん出て、大いに盛り上がりました。研究室・世代を超えての交流はこのセミナーの醍醐味です。他大学院に進学予定の4回生に「来年も参加してもいいですか？」と訊ねられたのは、その象徴の1つだと思います。

今回会場キャパの都合で、2,3回生の参加をお断りせざるを得ませんでした。早い学年のうちから最先端の研究に触れるいい機会でしたので、苦渋の決断でした。次回以降の会場選定の課題です。

参加者の皆さんには、このセミナーで得た刺激を今後の研究や勉強に生かし、次のセミナーでさらに熱い議論を繰り広げてください。セミナーに参加しなかった方は、ぜひ次回参加してください。そして新しい刺激をセミナー全体にもたらしてください。よろしく願いいたします。

2020年2月21日 世話人代表 丸信人

## プログラム

### 9月25日午後A (座長：中尾)

13:30 藤井俊博 (京大基研・白眉研究員) 「極高エネルギー宇宙線による次世代天文学の現状と今後の展望」(招待講演)(40+10)

14:20 松野阜 (重力・D2) 「磁気曲面と佐々木多様体」(25+5)

— Coffee Break —

### 9月25日午後B (座長：清矢)

15:30 城庵颯 (宇宙・素粒子・M2) 「機械学習を使用した KEK Linac 加速器運転調整システムの開発」(25+5)

15:50 一町ほのか (電子相関・M2) 「SU(N)Anderson 模型の線形・非線形感受率の  $1/(N-1)$  展開」(25+5)

16:20 鈴木光世 (素粒子・M2) 「場の量子論の対称性と超対称グラディエントフロー法」(25+5)

— 夕食 —

### 9月25日夜 (座長：岩崎)

19:30 佐野融人 (素励起・M1) 「ボース凝縮体における乱流カスケードの異方性」(25+5)

20:00 古川友寛 (数理・D1) 「モース理論とトポロジカルな理論」(25+5)

20:30 遠藤洋太 (重力・M2) 「I-balls」(25+5)

### 9月26日午前A (座長：常定)

9:00 柳哲文 (名古屋大学・講師) 「原始ブラックホール」(招待講演)(40+10)

9:50 岸田直也 (宇宙・素粒子・M2) 「 $B_0 \rightarrow \gamma \gamma$  崩壊過程の研究-機械学習を用いた解析手法の開発-

— Coffee Break —

9月26日午前B (座長：坪田)

10:50 松村樹 (超低温・M2) 「超流動の回転流」 (25+5)

11:20 大川瞭 (素粒子・M2) 「インフレーションを用いた素粒子標準模型を超える物理の検証 (Cosmological Collider Physics)」 (25+5)

— 昼食 —

9月26日午後A (座長：矢野)

13:30 田上裕太 (宇宙線・M2) 「宇宙線観測 TALE 実験の地上検出器を使った解析」 (25+5)

14:00 廣瀬拓哉 (素粒子・M2) 「階層性問題について」 (25+5)

14:30 池内響輝 (高エネ・M1) 「DeeMe 実験概要」 (25+5)

— Coffee Break —

9月26日午後B (座長：石原)

15:30 岡林一賢 (素粒子・D1) 「量子重力理論への応用に向けたテンソル繰り込み群」 (25+5)

16:00 橋本将史 (電子相関・M2) 「超伝導体を接合した量子ドット系の非局所的輸送現象」 (25+5)

— Coffee Break —

16:45 中島爽太 (数理・D1) 「宇宙項が小さい非超対称性な弦模型の構成」 (25+5)

— 夕食 —

9月26日夜 (座長：神田)

19:30 乾聡介 (素励起・M2) 「超流動中の球熱源による量子渦タングルの形成」 (25+5)

20:00 中川朋 (素励起・M1) 「超流動ヘリウム4 量子渦タングルから放出される渦輪の統計則」 (25+5)

9月27日午前A (座長：井上)

9:00 松宮弘幸 (宇宙線・M1) 「TA/TAx4 実験の概要」 (25+5)

9:30 古賀勇一 (数理・M1) 「有限温度の場の理論の初歩」 (25+5)

10:00 本條貴司 (高エネ・M1) 「T2K 実験の概要」 (25+5)

— Coffee Break —

9月27日午前B (座長：糸山)

10:50 川平将志 (数理・B4) 「ネーター不変量としてのエントロピー」 (25+5)

11:20 清重一輝 (数理・D2) 「数を数えよう」 (25+5)

11:50 丸信人 (素粒子・准教授) 「まとめ」

## 極高エネルギー宇宙線観測による次世代天文学の現状と今後の展望

京都大学白眉センター・特定助教・藤井俊博

### 講演概要

宇宙線の発見から一世紀以上が経過し、これまでの実験と観測から地上での粒子加速器で到達できるエネルギーよりも遥かに大きい、 $10^{20}$  乗電子ボルトという宇宙で最も高いエネルギーを持つ宇宙線の存在と性質が明らかになりつつある。宇宙線の大部分は荷電粒子であるが、莫大な運動エネルギーを持つ宇宙線は宇宙磁場で曲げられにくく、その到来方向が起源を指し示す“新たな目”（極高エネルギー宇宙線天文学）として期待されている。しかし、統計量不足のため、これまでの観測では起源についての決定的な証拠は得られていない。本講演では、現在南北半球それぞれで世界最高感度を誇るテレスコープアレイ実験とピエールオージェ観測所の最新成果を紹介した。さらには、低コスト型の新型大気蛍光望遠鏡を地上に展開し、現状の感度を一桁向上させる将来計画 FAST (Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes) の開発状況について報告した。

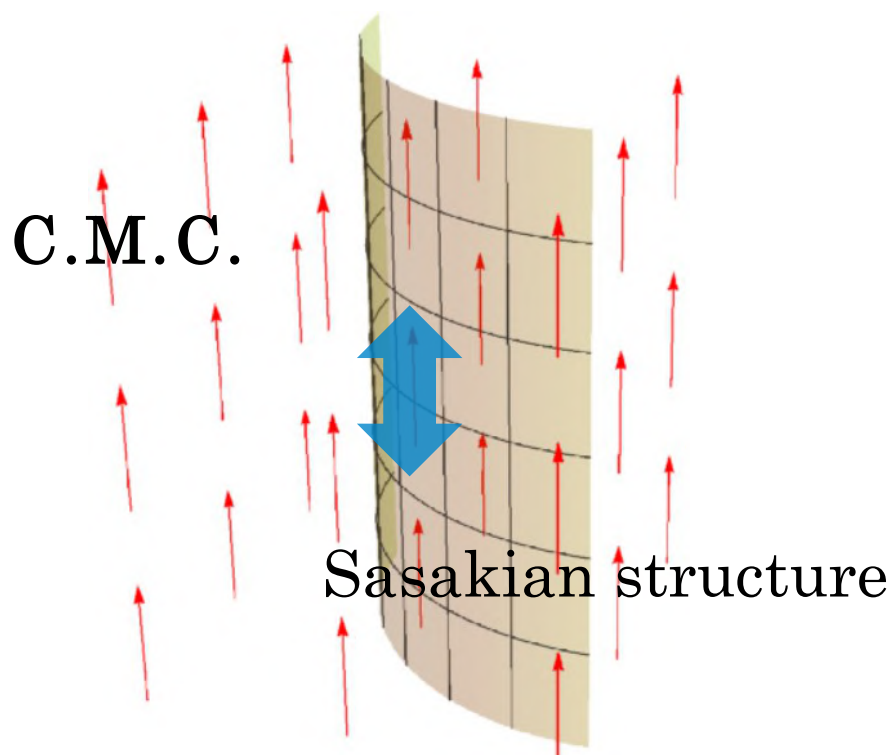


## 磁気曲面と佐々木多様体

宇宙物理重力研究室 D2 松野阜

### 講演概要

ケーラー多様体の奇数次元の類似物と言われることもある佐々木多様体には、その構造から自然に磁場（閉2形式）が定まり、佐々木磁場と呼ばれる。これまでに佐々木磁場中の荷電粒子の運動についていくらかの研究がなされてきた。そこで発表者は逆に、荷電粒子についてどのような条件が成り立てば佐々木磁場といえるかを考えた。本講演では、佐々木多様体を含む接触幾何学について説明してから、過去の研究のレビューを少し行い、本研究である佐々木磁場の磁気曲線による特徴づけを行う。



## 機械学習を使用した KEK Linac 加速器運転調整システムの開発

宇宙・素粒子実験物理学研究室・M2・城庵颯

### 講演概要

素粒子実験で使用される加速器では、種々の運転パラメータを人の手で調整し、高い入射効率が得られるように最適化している。しかし運転パラメータの数は多く複雑なシステムであることや、加速器運転パラメータのみでは入射効率の再現性が得られないことにより、調整する方によって最適化の速さ、調整精度が異なっている。

そこでパラメータ同士の複雑なパターン認識を得意とする機械学習を加速器運転調整に導入することで、調整時間の高速化や、調整精度の向上が期待できると考えられる。本研究では KEK 入射加速器 (Linac) における入射効率向上のため、機械学習の中でも DNN (Deep Neural Network) を導入し、加速器運転データを入力すれば、加速器運転パラメータ最適値を出力するような DNN を目指す。

### B Sector 5個目 クライストロン出力のRF位相パラメータの予測

環境パラメータのみを  
DNNに入力したとき  
(732パラメータ)

		予測値					
		0	1	2	3	4	5
真値	0	2021	0	0	0	0	0
	1	2	683	290	25	239	115
	2	2	134	1138	80	82	131
	3	60	61	255	123	874	14
	4	68	36	86	41	1007	19
	5	0	523	651	28	6	205

正答率  $\cong$  57%

環境パラメータ+RFパラメータを  
DNNに入力したとき  
(1071パラメータ)

		予測値					
		0	1	2	3	4	5
真値	0	2019	2	0	0	0	0
	1	2	1308	45	0	0	0
	2	0	288	1235	43	1	0
	3	0	0	38	1315	33	1
	4	0	0	0	121	1134	2
	5	1	0	0	0	18	1394

正答率  $\cong$  86%

環境パラメータとRFパラメータを使用すると、  
DNNでRF位相パラメータの最適値が予測可能である。





## SU(N) Anderson 模型の線形・非線形感受率の $1/(N-1)$ 展開

電子相関物理学研究室・M2・一町ほのか





### 講演概要

希薄磁性合金や量子ドット系などの量子不純物系では、多数の伝導電子スピンと不純物電子スピン間の反強磁性的な相互作用によって引き起こされる近藤効果が見られる。ここでは、量子ドット系の近藤効果の輸送現象として、低温・低バイアス電圧な場合の微分コンダクタンスに注目し、温度依存性およびバイアス電圧依存性に現れる物理量である、線形感受率と非線形感受率を計算する。

各物理量の計算には、量子ドットの局在軌道と電極伝導体の軌道の混成や量子ドット内電子間の Coulomb 相互作用および対称性を考慮した、SU(N) Anderson 模型を用いる。ここで、N はスピンを含めた軌道自由度であり、N が大きくなるにつれて量子揺らぎが小さくなる。そこで、本研究では上記の感受率を、N が大きい極限から展開していく  $1/(N-1)$  展開という手法を用いて計算する。

講演では、 $1/(N-1)$  展開の 0 次項までの計算結果を発表した。

## まとめ

-  量子ドットの微分コンダクタンスの Fermi 流体における温度・バイアス依存性を決定する係数  $C_T, C_V$  を調べた
-  電子正孔対称性が破れると 3 体揺らぎ (非線形感受率) の効果が現れる
-  電子正孔対称からのずれが大きくなると、量子ドット内の電子の相互作用の効果が相対的に小さくなり、 $U=0$  の極限の値に近づく
-  今後、 $1/(N-1)$  展開のより高次の項を計算し、HF-RPA 近似には現れなかった  $\theta_I$  の肩構造や  $\theta_{III}$  のずれを見る

## 場の量子論の対称性と超対称グラディエントフロー法

素粒子論研究室・M2・鈴木光世

### 講演概要

ゲージ理論のダイナミクスを解くのに有用な格子ゲージ理論には、格子正則化が空間対称性を壊すことによる問題点がある。その解決策としてグラディエントフロー法が注目されている。この方法では、フロー方程式を作用の微分を与えて、フローした場の相関関数を考える。ヤンミルズ理論の場合、フロー時間をゼロとした境界の4次元ヤンミルズ理論を繰り込めば「フロー場の相関関数には余計な紫外発散が一切現れない」という強力な性質が得られる。この性質によって、QCDにおけるエネルギー運動量テンソルの定式化や数値シミュレーションや多様な応用が進んでいる。

このアプローチにおいて、超対称なフロー方程式を用いることで、超対称な理論を格子ゲージ理論で適切に扱う方法論の構成を目指す。今回の講演では、具体的にN=1 SQCDにおける超対称フロー法に関して、摂動論の議論を行なう。

### フロー法の強力な性質

- 境界 ( $t=0$ ) のヤンミルズ理論の繰り込みのみで、フロー相関関数が紫外有限 [Luscher (2010)]
- Small Flow-time eXpansion (SFtX)** [鈴木博 (2013)]  
→ 複合演算子の正則化によらない普遍的な表式

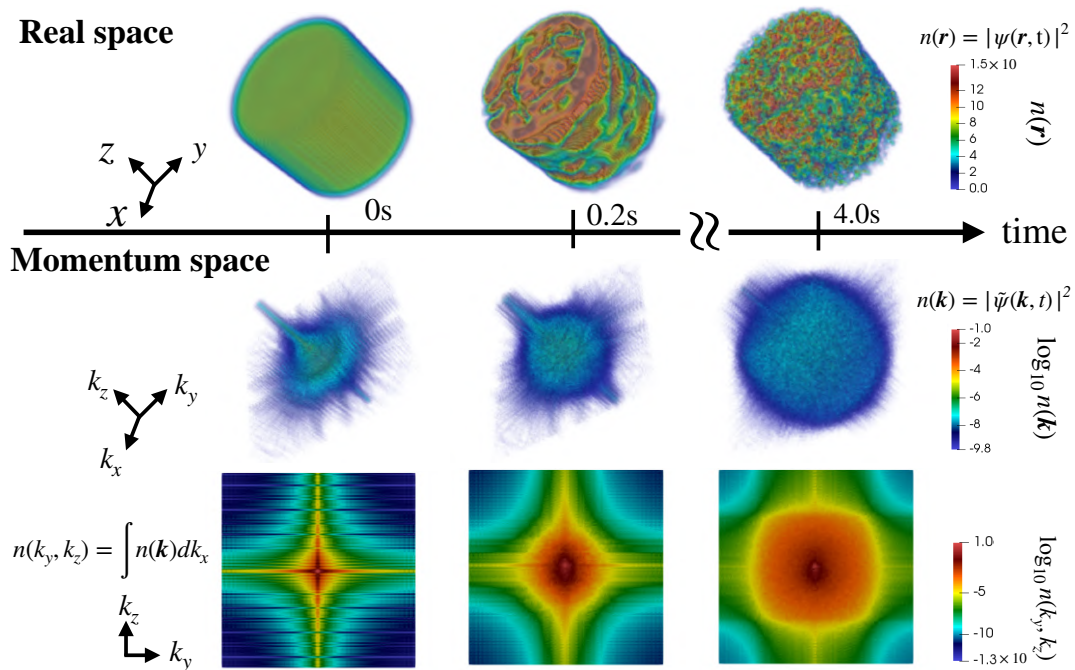
11 / 25

# ボース凝縮体における乱流カスケードの異方性

素励起物理学研究室・M1・佐野融人

## 講演概要

3次元古典乱流はコルモゴロフ則に代表される普遍則によって特徴付けられ、大スケールから小スケールへと保存量が輸送されるカスケード現象が起きる。このような現象は古典乱流との類推から量子乱流でも起こると予想される。実際、Navon et al. によって原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体の量子乱流の運動量分布と乱流カスケードが観測された。この実験では円筒型ボックスポテンシャル(軸が  $z$  方向)に凝縮体を閉じ込め、軸方向のポテンシャルを振動させることで、乱流状態を生成している。本研究では上述の実験と同じ状況で Gross-Pitaevskii 方程式を数値的に解き、平衡状態にあるボース凝縮体がどのように乱流状態に発達していくのかを調べた。その結果、振幅の大きい場合で下図のような密度分布と運動量分布が得られ、振動ポテンシャルの振幅を大きくすると乱流カスケードが速く進行し運動量分布が等方的になった。逆に振幅が小さい時はカスケードの進行が遅くなり異方的になることも別の計算で明らかにした。この振る舞いは Navon et al. の実験結果と定性的に一致している。



振動ポテンシャルの振幅が大きい場合の時間発展の様子。

モース理論とトポロジカルな理論

数理物理研究室・D1・古川友寛

講演概要

本講演内容は3部に分ける事ができ、1部でホモロジー群を、2部でモース理論を、3部で超対称量子力学を概観した。1部ではホモロジー群の定義から説明し、ベッチ数が多様体の大域的構造から決まる量である事を説明した。2部でモース理論を概観し、多様体の臨界点の指数が多様体の局所的構造から決まる量である事を解説した。またモース理論の重要な結果として、モース不等式やオイラー・ポアンカレの公式を紹介した。3部では「江口徹述、位相的場の理論とその周辺」を基に超対称量子力学をレビューし、BPS状態がなければ超対称性が自発的に破れる事、BPS状態がないのはWitten指数がゼロではない事から判断できる事を順に解説した。そしてWitten指数がオイラー数と等価である事や、BPS状態について、超ポテンシャルの位相的構造から示唆が得られる事を説明した。

## 3. 超対称量子力学 (まとめ)

### モース理論と超対称量子力学の関わり

(1) モース不等式から  $k_p \geq b_p$

フェルミオン数  $p$  の **近似的** 零エネルギー状態の個数:  $k_p$   
フェルミオン数  $p$  の **真の** 零エネルギー状態の個数:  $b_p$

これらの差は、トンネル効果(インスタントン効果)に由来する。

(2) オイラー・ポアンカレの公式から

$$\text{tr}(-1)^F = \sum_p (-1)^p k_p = \sum_p (-1)^p b_p = \chi$$

確かにSUSY指数(Witten指数)は、ポテンシャルのトポロジーで決まる。

## I-balls

宇宙物理・重力研究室・M2・遠藤洋太

### 講演概要

スカラー場は初期宇宙のシナリオを考える上で重要な役割を持つ。現在の初期宇宙のシナリオでは **inflaton** と呼ばれるスカラー場によってインフレーションが引き起こされたと考えられている。このインフレーション中で振動するあるスカラー場が **Q-ball** を形成することが知られている。

**Q-ball** とは1つの複素スカラー場(もしくは2つの実スカラー場)が凝縮して起こる **lump** (塊) のことである。この凝縮は系が保存量として **global charge** を持つことに起因する。一方、数値的な議論で **oscillon** や **axiton** と呼ばれる1つの実スカラー場で **Q-ball like** な物体が形成されることも示されている。これら **oscillon** などを解析的に定義しようと試みたのが **I-ball** である。本講演では **Q-ball** の **global charge** に相当する保存量(**adiabatic charge**)を定義し、この保存量と **I-ball** の相関を示す。また、例として数値計算で **I-ball** が形成されることを示す。

**I-balls**

<p style="text-align: center;"><b>I-ball</b></p> <p>運動方程式：</p> $\frac{d^2\Phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\Phi}{dr} + \frac{dU}{d\Phi} = 0$ $\left[ U(\Phi) \equiv \frac{\omega m}{2} \Phi^2 - V(\Phi) \right]$ <p>境界条件：</p> $\left. \frac{d\Phi}{dr} \right _{r=0} = 0$ $\Phi(\infty) = 0$ <p>I-ball ができる条件：</p> $\min \left[ \frac{2U}{\Phi^2} \right] < \omega m < m^2$	<p style="text-align: center;"><b>Q-ball</b></p> <p>運動方程式：</p> $\frac{d^2\phi}{dr^2} = -\frac{2}{r} \frac{d\phi}{dr} - \hat{U}'(\phi)$ $\left[ \hat{U}(\phi) = \frac{1}{2} \omega^2 \phi^2 - U(\phi) \right]$ <p>境界条件：</p> $\left. \frac{d\phi}{dr} \right _{r=0} = 0$ $\phi(\infty) = 0$ <p>Q-ball ができる条件：</p> $\min \left[ \frac{2U}{\phi^2} \right] < \omega^2 < \mu^2$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 原始ブラックホール

名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 QG研 講師 柳哲文

### 講演概要

原始ブラックホールとは初期宇宙における非線形な揺らぎが重力崩壊を起こした結果生じるブラックホールであり、その存在量などに対する制限から、初期宇宙の揺らぎの情報が得られます。また、重力波源であるブラックホール連星の起源である可能性もあり、近年注目されています。本講演では原始ブラックホールの形成過程を定性的に理解していただくことを第一目標として、一様等方宇宙を貼り合わせた、3ゾーンモデルとジーンズ不安定性の議論を組み合わせることで原始ブラックホールの形成条件についての簡単な説明を行いました。その後、得られた形成条件に対する知識をもとに、これまでの原始ブラックホール量の簡易な推定方法とその問題点を紹介し、それらの問題を解決する新しい手法について簡単に紹介しました。

## 原始ブラックホール(Primordial BH)とは？

[Zeldovich and Novikov(1967),Hawking(1971)]

- ◎宇宙初期の非線形な非一様性の名残 →初期宇宙の情報を伝えてくれる
- ◎原理的にどのような質量のPBHも形成され得る  
(cf.星の重力崩壊では限界質量以上のBHでないとできない)
- ◎主な形成過程:インフレーション起源の揺らぎ→輻射優勢期に重力崩壊  
(数や分布がインフレーションモデルに依存する)
- ◎現在の宇宙で暗黒物質成分に寄与する
- ◎重力波で見つかったブラックホール連星の起源かもしれない

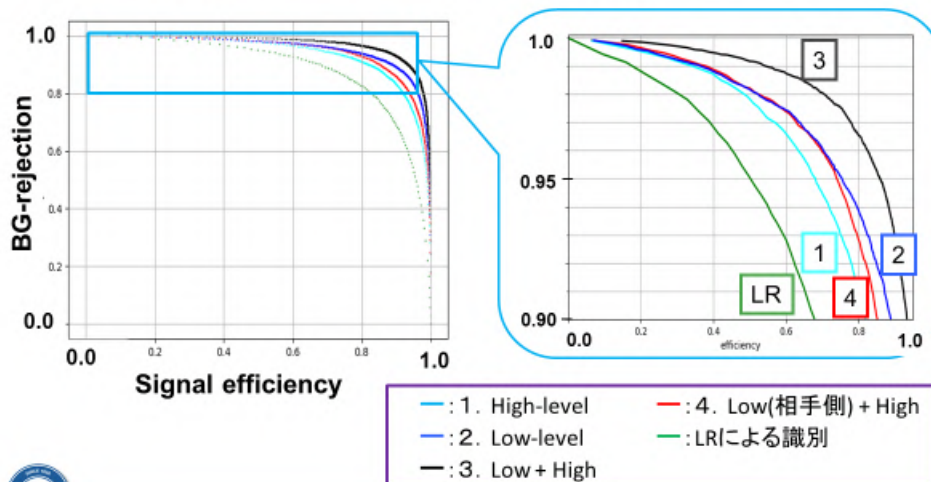
Belle 実験における  $B^0 \rightarrow \gamma \gamma$  崩壊過程の研究  
～機械学習を用いた解析手法の開発～  
宇宙素粒子実験物理学研究室・M2・岸田直也

講演概要

素粒子実験では、これまでに様々な機械学習を用いた信号識別が行われてきた。例えば、カットベースの解析、または、ニューラルネットワーク等である。これらは、粒子の運動量などから計算される特徴を示す物理量（特徴量、high-level-data）を使用し識別を行っていた。しかし、特徴量を計算することで個々の粒子の運動量などの情報（low-level-data）は失われてしまうため、データの持つ潜在的な識別能力を全て活用できていない可能性がある。本研究では、low-level-data での機械学習を可能とする深層学習という手法に着目し、従来の手法をさらに向上させることを目指す。研究開発は Belle 実験のシミュレーションデータを用いて進める。

結果の比較

■ 1～4の入力パラメーターによる識別結果の比較



## 超流動の回転流

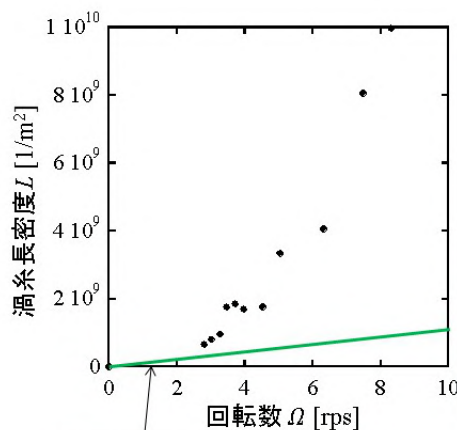
超低温物理学研究室・M2・松村樹

### 講演概要

回転下の超流動  $^4\text{He}$  は単純かつ直接的な量子性を示すことで知られている。この分野における最近までの実験の大部分は回転容器中で行われており、液中では三角格子を形成するように渦糸が配置され、液面は完全な放物線を描く、剛体回転流となる。しかし最近、私の研究室では静止した容器内で回転翼付きモーターを回転させて液体  $^4\text{He}$  の流れ場を直接駆動させるのに成功した。さらに、この低温モーターを遠心力ポンプとして駆動させ、吸い込み渦と呼ばれる新しいタイプの渦を低温下で生成することに成功した。この漏斗状の液面形状より循環を求めたところ、循環は回転数に比例するが、剛体回転流で得られる値より十分大きいことが分かった。私はこの様な巨大な渦の特性を調べるため、第二音波減衰法を用いて渦糸長密度の測定を行っている。現在は、渦糸長密度はモーターの回転数の増加に対して1以上の冪で増加する事が確認されている。

## 結果

### ◆ 回転数 $\Omega$ に対する渦糸長密度 $L$ の変化



剛体回転流の渦糸長密度  
 $L = 12 \times 10^7 \Omega$  [ $1/\text{m}^2$ ]

・渦糸長密度  
共鳴空間に一樣に量子渦糸が  
存在している

$$L = \frac{4\pi\Delta f(0)}{B\kappa} \left( \frac{Q(0)}{Q(\Omega)} - 1 \right)$$

・回転数が大きくなると渦糸長密度が大きくなる  
・渦糸長密度は1以上の冪で増加する



## インフレーションを用いた素粒子標準模型を超える物理の検証(Cosmological Collider Physics)

素粒子論研究室・M2・大川 瞭

### 講演概要

素粒子標準模型は強い相互作用についての量子色力学, 電磁相互作用と弱い相互作用を統一した Weinberg-Salam 理論によって記述される. くりこみ群の予言より,  $10^{16}$  GeV 程度のエネルギースケールで強い相互作用も統一されると期待され, その理論を大統一理論と呼ぶ. スーパーカミオカンデによる観測では, その証拠は未だ得られていない. 世界最大の加速器である LHC のエネルギースケールは  $10^4$  GeV であるため, 加速器実験による観測は絶望的である. 幸運なことに, インフレーションのエネルギースケールは  $10^{15}$  GeV であり, 大統一理論のエネルギースケールと近い. そこで近年, インフレーションを引き起こすスカラー場であるインフラトンと大統一理論期に存在していた粒子の相互作用を観測する試みがなされており, これを Cosmological Collider Physics と呼ぶ. 本講演では, このアプローチの基本的な考え方を説明する.

## 5. まとめ

- ・大統一理論で予言される粒子を加速器で見つけるにはエネルギー不足
  - ・大統一理論スケール  $10^{16}$  GeV, インフレーションスケール  $10^{15}$  GeV
- インフレーションの有効場理論を利用

$$\lim_{\substack{k_1/k_2, k_1/k_3 \rightarrow 0, \\ k_2 \simeq k_3}} \langle \zeta_{\mathbf{k}_1} \zeta_{\mathbf{k}_2} \zeta_{\mathbf{k}_3} \rangle \propto \frac{1}{k_1^3 k_2^3} (2\pi)^3 \delta^{(3)}(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3)$$
$$\lim_{\substack{k_1/k_2, k_1/k_3 \rightarrow 0, \\ k_2 \simeq k_3}} \langle \zeta_{\mathbf{k}_1} \zeta_{\mathbf{k}_2} \zeta_{\mathbf{k}_3} \rangle \propto \frac{1}{k_1^3 k_2^3} \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{\frac{3}{2} - \sqrt{\frac{9}{4} - \frac{m_\phi^2}{H^2}}} (2\pi)^3 \delta^{(3)}(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 + \mathbf{k}_3)$$

CMB, 大規模構造や中性水素原子の21cm線スペクトルの観測から情報を得ることが期待されている

宇宙線観測 TALE 実験の地表検出器を使った解析

宇宙線物理学研究室・M2・田上裕太

講演概要

宇宙線とは宇宙を高速で飛び交っている荷電粒子のことである。宇宙線が地球に飛来すると、大気原子核と相互作用して、大量の二次粒子（空気シャワー）を生成する。

TALE (Telescope Array Low energy Extension)実験では、米国ユタ州で展開されている TA (Telescope Array)実験の地表検出器 (Surface Detector, SD) アレイの北東部に SD80 台を展開して、空気シャワー粒子を捉え、一次宇宙線を間接測定している。SD では、シンチレータと光電子増倍管を使って空気シャワー粒子が入射した際の信号が記録されている。

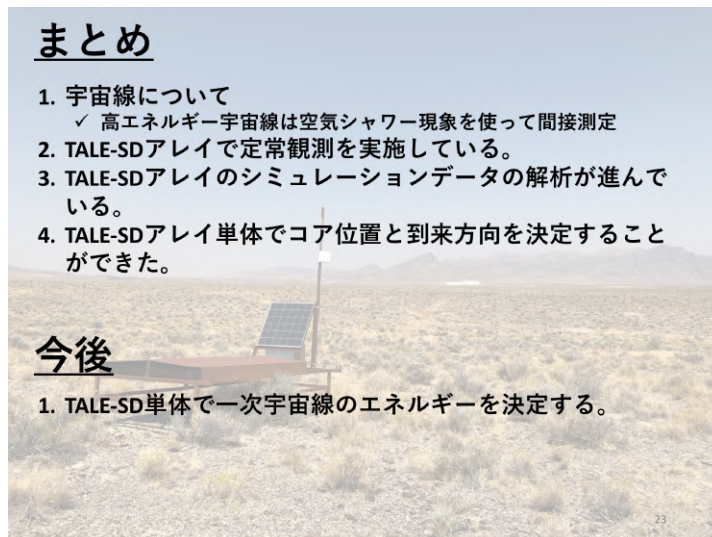
TALE-SDアレイは試験観測を経て、2018年2月から定常観測を実施しており、本講演では実際に記録したイベントと MC シミュレーションで生成したイベントの到来方向やコア位置の再構成手法とその結果について示す。

## まとめ

1. 宇宙線について
  - ✓ 高エネルギー宇宙線は空気シャワー現象を使って間接測定
2. TALE-SDアレイで定常観測を実施している。
3. TALE-SDアレイのシミュレーションデータの解析が進んでいる。
4. TALE-SDアレイ単体でコア位置と到来方向を決定することができた。

## 今後

1. TALE-SD単体で一次宇宙線のエネルギーを決定する。



階層性問題について

素粒子論研究室・M2・廣瀬拓哉

講演概要

素粒子標準模型における未解決問題の1つに階層性問題が存在する。これは、ヒッグス粒子の質量補正が新物理スケールで2次発散し、観測されたヒッグス粒子の質量 125 GeV を説明できない問題である。

階層性問題の解決策の1つが超対称性であった。しかし超対称粒子が見つからないことから、超対称性理論とは別の方向性を模索する必要がある。また、階層性問題をより正確に理解する必要もある。

本公演では、階層性問題をくりこみ群の観点で捉え直す。くりこみ群の観点で見れば、2次発散は臨界線の位置として取り除かれる代わりに、臨界線からの差が物理量であることを解説する。最後に階層性問題は、なぜ裸の質量が臨界線の十分近くにあるかを説明する。

## 4. まとめ

- 素粒子論の未解決問題として階層性問題： $\delta m_H^2 \propto \Lambda^2$
- 様々なアプローチが考えられている
  - 超対称性 → 全然見つからない
  - ゲージヒッグス統一理論 etc...
- くりこみ群の観点
  - 2次発散を扱うには紫外領域の物理の情報が必要
  - 2次発散は臨界線の位置を決定
  - 臨界線からの差が物理量： $m_R^2 = m_n^2 - m_c^2(\lambda_n)$
  - 階層性問題の言い換え：

**なぜ裸の質量が臨界線の十分近くにあるのか**

## DeeMe 実験概要

高エネルギー物理学研究室・M1・池内響輝

### 講演概要

DeeMe 実験の目的は CLFV 過程のうちの 1 つである  $\mu$ -e 転換過程の探索である。CLFV 過程とは荷電レプトンフレーバー非保存過程のことでありその名の通り、反応前後で荷電レプトン(e,  $\mu$ ,  $\tau$ )のフレーバー量子数が保存しない過程のことである。そもそも CLFV 過程は素粒子物理学の標準模型では禁止されている。しかし、標準模型を超えた理論の中にはその存在を预言するものがある。従って、CLFV 過程が発見されればそれはそのまま、新物理の証拠となるのである。DeeMe 実験では J-PARC の RCS からの陽子ビームを炭素標的に当て、ミューオン原子を生成しそこから出てくる  $\mu$ -e 転換過程由来の電子を MWPC や Spectrometer を用いて観測しようとしている。現在 Beam Line は建設中であり、本実験に向けた調整やシミュレーションがなされている。

## DeeMe実験の概要

- ・ DeeMe  
(Direct Electron Emission from Muon-Electron conversions)
- ・ 実験内容  
J-PARC RCSからの大強度高純度パルス陽子ビームを活用した  
 $\mu$ -e転換過程探索実験 ( $\sim 10^{-14}$ の感度での測定を目指す)  
@茨城県東海村 J-PARC MLF H-Line
- ・ 探索事象  
単色エネルギーの遅延電子  
運動量、時間情報を用いて区別する



## 量子重力理論への応用へ向けたテンソル繰り込み群

素粒子・D1・岡林 一賢

### 講演概要

離散自由度系の繰り込み手法として提案されたテンソル繰り込み群を、弦理論の非摂動効果の解析に用いられる 2 行列模型へ応用することを考える。テンソル繰り込み群は規則的な格子上の模型に対して有効な手法であり、転移温度や相関関数を求める際に用いられる。一方で、2 行列模型の分配関数はランダム格子上のイジング模型の分配関数の総和と等価であることが知られている。これらの事実から、格子のランダム性がテンソル繰り込み群の手法と相性が良くないため、現状ではそのまま応用することは難しいことがわかった。しかし、行列模型はフラクタル構造と関連があることが知られており、フラクタル格子に対するテンソル繰り込み群の応用は可能なので、これらの事実を組み合わせることができないかを今後考えていきたい。

## ま と め

- テンソル繰り込み群
  - 離散自由度系の繰り込み手法 (Levin & Nave, 2006)
- 量子重力理論としての行列模型
  - 弦理論の非摂動効果を捉える模型としての行列模型
  - 2-matrix modelはランダム格子上のイジングと等価 (Kazakov, 1986)
- テンソル繰り込み群の行列模型への応用
  - そのまま応用するのは現状難しい
  - 行列模型とフラクタル次元の関係
  - フラクタル上のテンソル繰り込み群は可能 (Genzor, Gendiar& Nishino, 2016)
- **これらを組み合わせることは可能か？**

## 超伝導体を接合した量子ドット系における非局所的輸送現象

電子相関物理学研究室・M2・橋本将史

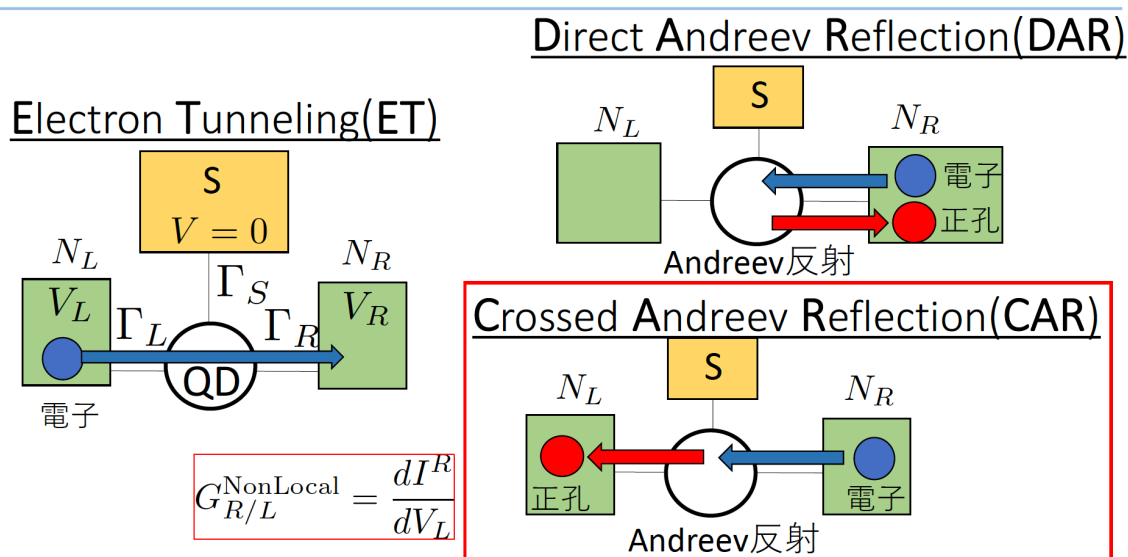
### 講演概要

超伝導体を接合した量子ドット系における実験で、クーパー対で対を組む上向きと下向きの電子が、エンタングルしたまま異なる常電導体へ空間的に分離する過程がある。この過程を観測するために非局所的伝導度が測定される。

一つの量子ドットに超伝導体1本と常電導体2本を接合した量子ドット系を例にとると、量子ドットから常電導体へ流れる電流の寄与として、大きく3つの輸送過程がある。ひとつは **Electron Transfer(ET)** の過程と、もうふたつは超伝導体を接合することで現れる **Direct Andreev Reflection(DAR)** および **Crossed Andreev Reflection(CAR)** の過程である。CAR がもつれたまま空間的に分離する過程に相当する。

非局所的伝導度は ET と CAR の寄与が競合する。常電導体と量子ドットとの結合を  $\Gamma_N$ 、常電導体との結合を  $\Gamma_S$  とすると、 $\Gamma_S \sim \Gamma_N$  の場合に線形非局所伝導度における CAR の寄与が最大になる。

## 1つの量子ドット系の輸送過程



宇宙項が小さい非超対称性な弦模型の構成

数理物理研究室 D1 中島爽太

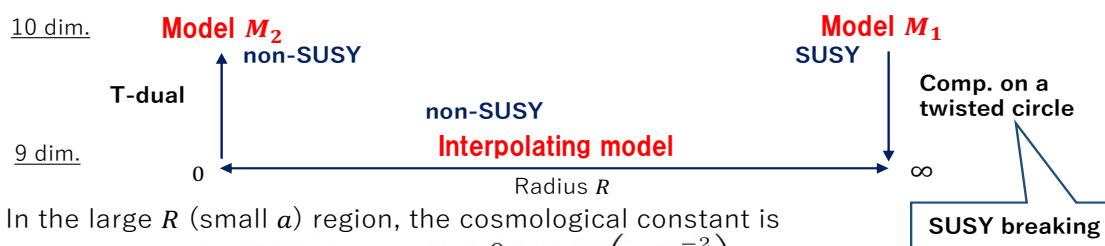
講演概要

本講演では、超対称性を持たない弦理論を出発点としたトップダウン型アプローチの可能性について考察した。特に、超対称性を持たない10次元ヘテロティック弦理論の中で唯一タキオンをスペクトラムに含まないものとして知られている $SO(16) \times SO(16)$ 弦理論に注目した。

超対称性を持たない弦理論が抱える大きな問題点はディラトンのタッドポールによる真空の不安定性である。これは、超対称性がない場合には、宇宙定数がゼロにならないことから生じる。したがって、宇宙定数を十分小さいような超対称性を持たない弦模型を構成する必要がある。本講演では、この問題点を解決する可能性を持つ模型として、interpolating model と呼ばれる弦模型に注目した。具体的には、Wilson line 背景場を導入することで、ある9次元interpolating model において、宇宙定数が小さくなる条件が満たされることがわかった。

## Interpolation between SUSY and non-SUSY models

An interpolating model is a lower dimensional string model relating two different higher dimensional string models continuously.



In the large  $R$  (small  $a$ ) region, the cosmological constant is

$$\Lambda_9 \simeq (n_F - n_B) a^{-9} \xi + \mathcal{O}(e^{-a^{-2}})$$

$[ a = \sqrt{\alpha'}/R, \quad \xi > 0, \quad n_F, n_B : \# \text{ of massless fermions, bosons } ]$

**If  $n_F = n_B$ , the cosmological constant is exponentially suppressed.**

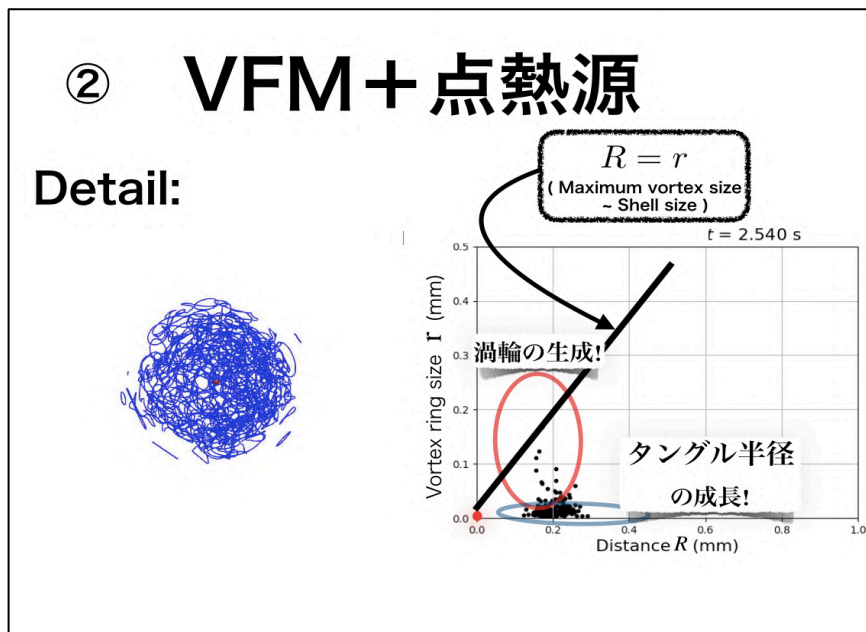
[Itoyama, Taylor, (1987)]

## 超流動中の球熱源による量子渦タングルの形成

素励起物理学研究室・M2・乾聡介

### 講演概要

$^4\text{He}$  を 2.17 K 以下に飽和蒸気圧下で冷却すると超流動相転移を起こし、粘性が消滅する。この超流体中には位相欠陥である速度場の循環の量子化された量子渦の存在が許されており、ただ粘性の無い「完全流体」とは根本的に違うものである。その量子渦のダイナミクスは渦糸模型と呼ばれる数値計算手法を用いると実験結果を高い精度で再現できると知られている。本研究では超流動  $^4\text{He}$  中の球対称熱源の周りでの量子渦の振る舞いを、渦糸模型を用いて計算を行い、量子渦タングルの成長過程を次の二つの条件下で調べた: 1) 初期条件として、熱源のごく近傍に種渦を配置する。種渦のうち複数個は熱源となる球の表面に付着させておく。2) 熱源を点熱源とし、そこから離れた所に種渦を配置する。両条件下で球殻状のタングルが形成されるが、それぞれの境界条件を強く反映した成長過程をたどることが明らかになった。





## 「超流動 $^4\text{He}$ から放出される渦輪の統計則」

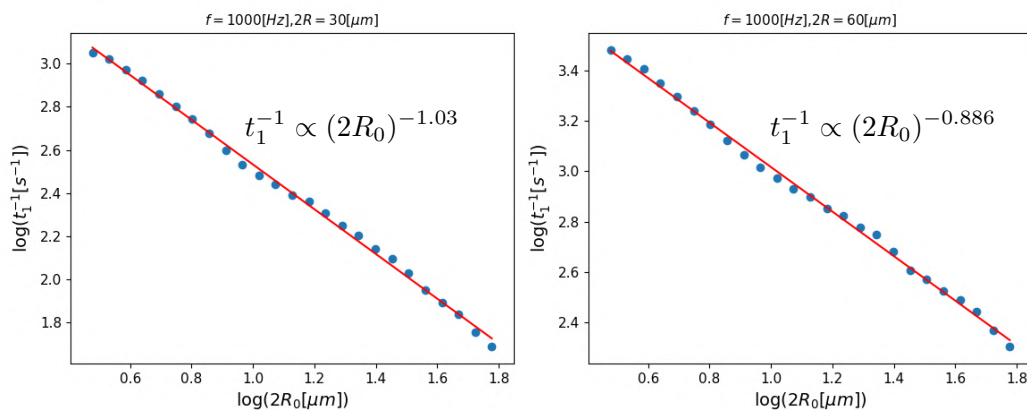
素励起物理学研究室・M1・中川朋

### 講演概要

大阪市立大学の低温研では振動ワイヤーを用いて超流動  $^4\text{He}$  中で量子乱流の生成・検出を行っている。この実験から主に 2 つの統計則が得られている。1 つ目は渦輪の飛来時間が指数分布を示している(渦輪の検出がポアソン過程になっている)ことである。このことから量子渦タングルの定常性が見えている。もう 1 つは、渦の検出頻度と渦輪サイズのべき乗関係である。これは今まで不明であった実空間における量子乱流の自己相似性を説明しうる結果である。このような結果を数値計算上で再現するために、渦糸モデルを用いて定常な量子渦タングルを作る系を考え、そこから放出される渦輪を観察した。その結果、振動ワイヤー実験と同様な結果が得られ、実験の妥当性が強められた。また、量子渦タングルがフラクタルな構造を持っていることも発見した。

## (ii) べき乗則

同様に頻度と最小サイズの関係を見てみると…



同様のべき乗則が見えた！！

## TAx4 実験の概要

宇宙線物理学研究室 M1 松宮 弘幸

### 講演概要

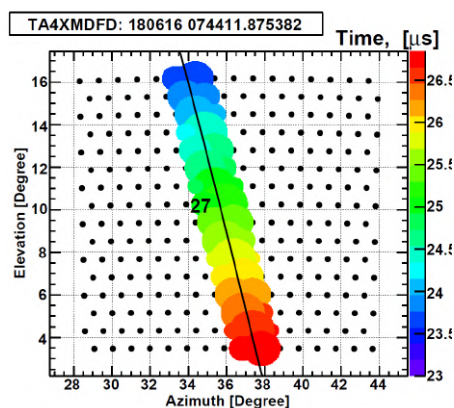
アメリカユタ州で行われている TA 実験は、 $10^{18}$  eV 以上の超高エネルギー宇宙線を観測しており、観測が開始されてから現在で 12 年目である。

TA 実験の結果より、 $10^{19.75}$  eV 以上のエネルギーの宇宙線の到来方向の異方性が  $3\sigma$  程度で示唆された。よりこの有意性を上げるためには、超高エネルギー宇宙線の統計数を増やす必要があり、より広い検出面積が必要となる。そのため、TA 実験の検出面積を 4 倍に拡張する計画(TAx4 実験)が行われた。TAx4 実験では、このエネルギー領域、特に  $10^{19}$  eV 以上のエネルギーの宇宙線をより重点的に観測している。

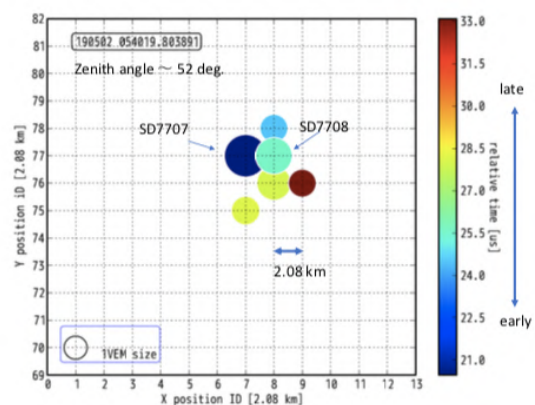
TAx4 実験では、TA 実験と同じく、大気蛍光望遠鏡(FD)と地表粒子検出器アレイ(SD)という 2 種類の観測装置が存在し、FD は 2018 年 1 月、SD は 2019 年 4 月からデータ収集を開始し始めた。本講演では TAx4 実験の概要や各観測装置の説明を行う。

## データ収集開始

- FDは2018年の1月から、SDは2019年4月からデータ収集を開始



TAx4FDのイベント例  
2018年6月16日



TAx4SDのトリガーイベント例  
2019年5月2日

## 「有限温度の場の理論の初歩」

数理物理・M1・古賀勇一

### 講演概要

「有限温度の場の理論」は、温度に関連する現象を場の量子論の形式で記述する理論であり、インフレーションやバリオジェネシスといった初期宇宙における相転移現象を扱う場合などに用いられる。本講演では、いくつかの知られている形式のうちの1つである「虚時間形式」に基づいてこの理論を説明をした。まず、演算子の熱的期待値について成立する「久保-Martin-Schwingerの関係」を導き、グリーン関数が虚時間方向に周期性を持つ事を見た。また、ファインマンルールのループ積分に関して、時間成分の積分が離散和に置き換わることを用いて、質量の1ループ補正を計算した。この結果から、熱浴との相互作用によって熱質量を獲得すことを確認した。最後に、1ループの有効ポテンシャルの関数形を導き、それがゼロ温度による寄与と有限温度による寄与の和で表される事を見た。

### 3. 温度グリーン関数

$\tau \geq 0$  とすると、

$$\begin{aligned} G_\beta(\tau, 0) &= \theta(\tau - 0)G_\beta^+(\tau, 0) + \theta(0 - \tau)G_\beta^-(\tau, 0) \\ &= G_\beta^+(\tau, 0) \\ &= \pm G_\beta^-(\tau, \beta) \quad \text{KMS} \\ &= \pm \left( \theta(\tau - \beta)G_\beta^+(\beta, \tau) + \theta(\beta - \tau)G_\beta^-(\beta, \tau) \right) \\ &= \pm G_\beta(\tau, \beta) \end{aligned}$$

→ 周期  $\beta$  をもつ ( $\tau \leq 0$  も同様)

## T2K 実験の概要

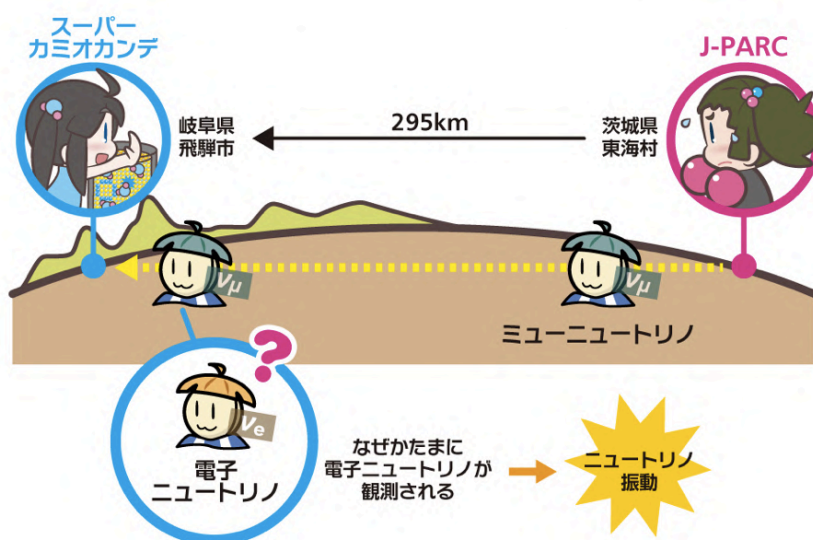
高エネルギー物理学研究室・M1・本條 貴司

### 講演概要

ニュートリノは電荷を持たないレプトンである。標準理論では元々質量がゼロとして扱われていたが、ニュートリノ振動の発見によって質量があることがわかった。ニュートリノ振動は、ニュートリノが飛行中に別の種類のニュートリノに変化する現象である。T2K 実験はニュートリノ振動のパラメータを精密測定することが目的である。T2K 実験では $\mu$ 型か反 $\mu$ 型のニュートリノを生成できる。後置検出器では $\mu$ 型と電子型を区別することができる。解析モードは $\mu$ 型の消失と電子型の出現の2種類がある。T2K 実験では2010年から $3.16 \times 10^{21}$  POT (protons of target)分のデータを取得している。現在レプトンのCP対称性の破れを信頼度 $2\sigma$ で明らかにしている。今後ビームの強度を上げ、 $3\sigma$ で示唆することを目標にしている。ビームのアップグレードに伴い検出器のアップグレードの準備が進められている。

## T2K実験

- 加速器を使った長基線ニュートリノ振動実験



ネーター不変量としてのエントロピー  
数理物理研究室・学部4回生・川平将志

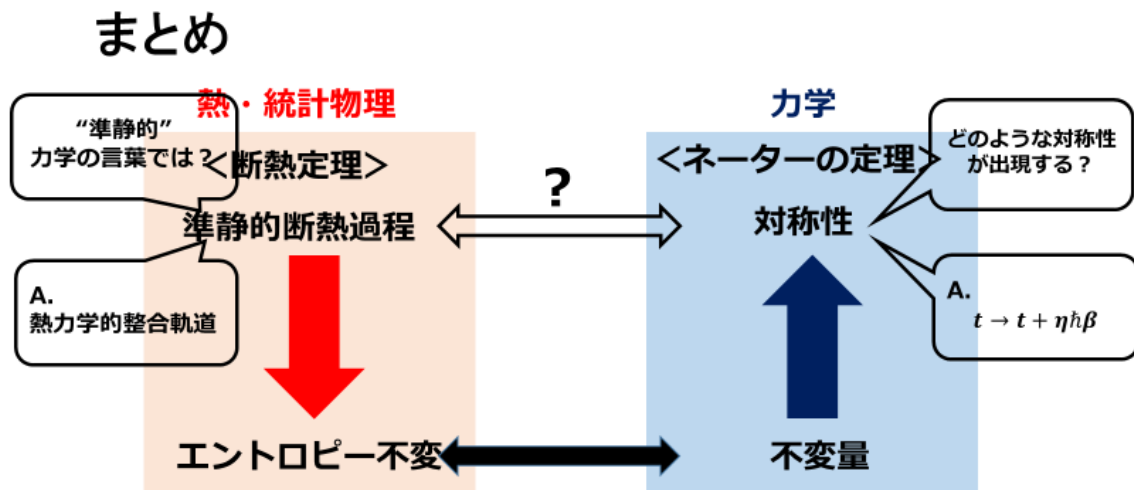
### 講演概要

本講演では、佐々・横倉氏による論文"Thermodynamic entropy as a Noether invariant"のレビューを行った。

これは、熱・統計物理の概念であるエントロピーが、如何にして古典力学で捉えられるかを議論した論文である。

熱・統計物理では、準静的断熱過程でエントロピーが不変であることが知られている。一方、古典力学では、ネーターの定理により、不変量があるならば対称性が存在する。すなわち、もしエントロピーがネーター不変量ならば、準静的断熱過程において対称性が存在することが推測される。

本講演ではそれを示すために、まず準静的過程に対応する力学的軌道（これを熱力学的整合軌道と定義する）を抽出できることを確認し、その結果、対称性が出現すること、そしてネーター不変量としてエントロピーが特徴づけられることを見た。



数を数えよう

数理物理・D2・清重 一輝

講演概要

4次元  $N=2$  超共形場理論 (SCFT) には Argyres-Douglas 理論を始めとする、一般にラグランジアンを用いて記述することができないとされている場の理論が存在することが知られており、更にそのような SCFT は高次元場の理論のコンパクト化によって系統的に構成することが知られている。そのような場の理論ではどのような場の自由度が存在しているのかという情報ですら、一般に解析が難しい。今回の講演ではそのような自由度を調べる手法の一つとして超共形 index による BPS 状態数のカウンティング方法を紹介、解説する。

まず簡単な BPS 状態のカウンティングの紹介として 超対称量子力学における Witten index を導入し、そのアイデアを超共形場理論にまで拡張し、実際に最も簡単な例として、 $N=2$  free hypermultiplet の”single particle” 状態の index を紹介した。いくつかの性質として, Schur index ,フガシティーの個数が3つになることを解説する。

## まとめ

**No ラグランジアンでは登場人物すらわからない  
同定方法の例を紹介したのが今回のお話**

- 今回は都合ラグランジアンがある場合の例
- いくつかの no ラグランジアンでも計算されている
- 数を数えることですら結構難しい
- 4次元 $N=2$  様々な方法で様々な解析が行われている。

**現在 立命館の西中さんと index の計算等を実施中**

**終わり**

## 参加者名簿

(敬称略、参加登録順、参加登録時記入そのまま)

丸 信人	素粒子論研究室 准教授
常定 芳基	宇宙線物理学研究室 准教授
中尾 憲一	素粒子論研究室 教授
古川 友寛	数理物理研究室 D1
大川 瞭	素粒子論研究室 M2
清重 一輝	数理物理研究室
井上 慎	レーザー量子物理学研究室 教授
清矢 良浩	高エネルギー物理学研究室 教授
神田 展行	重力波実験物理学研究室 教授
柳 哲文	名古屋大学 素粒子宇宙物理学研究室 QG 研 講師
糸山 浩司	数理物理研究室 教授
松野 阜	宇宙物理重力研究室 D2
藤井 俊博	京都大学白眉センター/理学研究科 白眉研究員
高橋 雅大	電子相関物理学研究室 B4
石原 秀樹	宇宙物理重力研究室 教授
石橋 啓一	数理物理研究室 D1
川平 将志	数理物理研究室 B4
中島 爽太	数理物理研究室 D1
池内 響輝	高エネルギー物理学研究室 M1
韓 俊植	素励起物理学研究室 D1
岡崎 佳純	素励起物理学研究室 M1
乾 聡介	素励起物理学研究室 M2
坪田 誠	素励起物理学研究室 教授
佐野 融人	素励起物理学研究室 M1
一町 ほのか	電子相関物理学研究室 M2
橋本 将史	電子相関物理学研究室 M2
田上 裕太	宇宙線物理学研究室 M2
原 智也	素粒子論研究室 B4
中川 朋	素励起物理学研究室 M1

松宮 弘幸	宇宙線物理学研究室 M1
廣瀬 拓哉	素粒子論研究室 M2
矢田貝 祥貴	素粒子論研究室 M2
城庵 颯	宇宙・素粒子実験物理学研究室 M2
松村 樹	超低温物理学研究室 M2
岸田 直也	宇宙・素粒子実験物理学研究室 M2
岩崎 昌子	宇宙・素粒子実験物理学研究室 准教授
鈴木 光世	素粒子論研究室 M2
神原 亮介	宇宙物理・重力研究室 M1
神田 行宏	数理物理研究室 B4
本條 貴司	高エネルギー物理学研究室 M1
古賀 勇一	数理物理研究室 M1
久野 彰浩	宇宙・素粒子実験物理学研究室 B4
中西 智暉	数理物理研究室 B4
京谷 隆正	レーザー量子物理学研究室
矢野 英雄	超低温物理学研究室 准教授
柿花 愛恵	宇宙・素粒子実験物理学研究室 B4
中 祐介	宇宙・素粒子実験物理学研究室 M1
川口 真穂	原子核理論研究室 B4
大前 真秀	レーザー量子物理学研究室 M2
大迫 壱成	素粒子論研究室 M1
大倉 靖央	宇宙物理・重力研究室 M1
遠藤 洋太	宇宙物理・重力研究室 M2
岡林 一賢	素粒子論研究室 D1



## 世話人

丸信人：資金獲得、会場選定、懇親会、プログラム作成

中尾憲一：外部講師招待、懇親会

岩崎昌子：コーヒースタンド

常定芳基：撮影、記録、外部講師招待

清矢良浩：懇親会

荻尾彰一：ホームページ



## 謝辞

本セミナーの開催に、教育後援会からご支援いただきました。ありがとうございました。また、理学研究科長裁量経費、神田さんの JSPS 受託研究経費からもサポートいただきました。

KKR ホテルびわこの契約手続きでは、大学計理担当の内山さんに多大なるご協力をいただきました。ここに感謝致します。

教育後援会支援金の執行には、大学計理担当の松本さんにご協力をいただき、助けていただきました。ありがとうございました。

KKR ホテルびわこの皆様には昨年に引き続きたいへんお世話になりました。その他、お手伝いいただいた皆様に、再度お礼申し上げます。

ありがとうございました。

2019 年度末日 世話人代表 丸信人



大阪市立大学 大学院理学研究科  
理学部物理学科