

重力波 宇宙物理学: 宇宙を支配する基本法則は何か? という大きな問いに対して観測・実験から迫る。重力波の観測研究, および量子論検証などの精密計測・基礎物理の実験研究を進める。



研究室ホームページ:
<https://granite.phys.s.u-tokyo.ac.jp>
安東正樹 メールアドレス:
ando@phys.s.u-tokyo.ac.jp

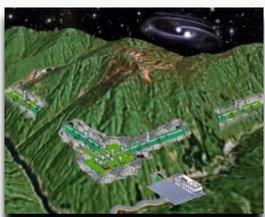
キーワード: 宇宙物理学実験, 重力波観測, 一般相対性理論, 中性子星, ブラックホール, 初期宇宙, 高エネルギー天体現象, 暗黒物質, 量子光学, 量子オプトメカニクス, 巨視的量子力学, レーザ干渉計, 人工衛星ミッション, 精密基礎物理実験。

大規模プロジェクト

重力波を用いた新たな宇宙物理学の展開。極限状態(ブラックホール, 中性子星, 初期宇宙)の観測。

KAGRA (かぐら)

岐阜県・神岡に設置された大型重力波望遠鏡。2020年 国際共同観測開始。



暗黒物質 / アクシオン探査 DANCE (だんす)

暗黒物質/アクシオンの探査研究。テーブルトップ実験および、重力波望遠鏡を用いた信号解析。



実験室スケールでの小規模研究

独自の着想を活かした先端研究。
量子論・基礎物理学実験。

拡張量子論 / 量子オプトメカニクス研究

「シュレーディンガーの猫」実験。

巨視的な物体の量子的な振る舞いの実験的な検証。光-機械結合系(オプトメカニクス)を用いて精密計測。量子限界の実現とそれを超える技術の開発。



B-DECIGO (びーでさいご)



基線長100kmの宇宙重力波望遠鏡計画。低周波数帯に感度。連星合体の事前予測, 中間質量ブラックホールの観測など。

宇宙実証 / SILVA (しるびあ)

宇宙重力波望遠鏡の実現に向けた地上実験。編隊飛行技術の宇宙実証。

JAXA/ISAS などの共同研究



微小ねじれ振り子

10mgの棒状鏡を用いた, 量子輻射圧変動の直接測定。

光学浮上の基礎研究

光輻射圧で鏡を浮上させ, 巨視的物体の孤立系を実現。熱雑音を除去。



DECIGO (でさいご)

さらに将来の宇宙重力波望遠鏡計画。基線長を1,000kmとし, 感度を10倍向上。宇宙誕生直後の姿を重力波で直接観測。



TOBA (とーば)

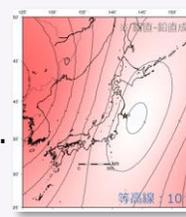
ねじれ振り子を用いた, 低周波数の地上重力波望遠鏡。重力勾配雑音の研究, 地震の早期アラート手法へも応用。



地震の早期アラート

地震発生時の断層破壊による重力場変化を高感度重力勾配計で検知。

Q-LEAP 量子計測・センシング, 基礎基盤研究プロジェクト, 東大地震研との共同研究。



熱・統計力学基礎

量子力学から熱力学の
第二法則を導出
非平衡量子開放系

情報熱力学

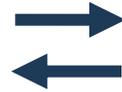
マクスウェルの悪魔
フィードバック制御

冷却原子気体

トポロジカル量子現象
量子シミュレーション

量子・多体物理

熱・統計力学



情報・幾何
機械学習



物理学とAIの融合

説明可能なAI
サイエンスするAI
深層学習の汎化の理解

強相関

ユニタリー気体
超流動と磁性
超流動・絶縁体転移

トポロジー

トポロジカル量子現象
ホモトピー理論
微分幾何

非エルミート物理

量子測定・制御
非エルミート物理



中辻・酒井研究室 物性物理（実験）



教授
中辻 知



講師
酒井 明人



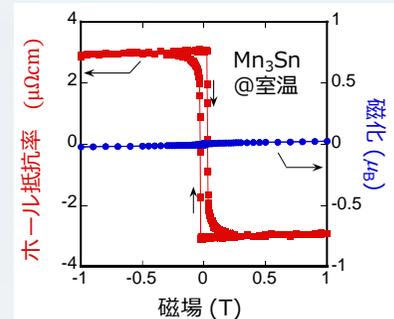
<https://www.na-katsuji-lab.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>

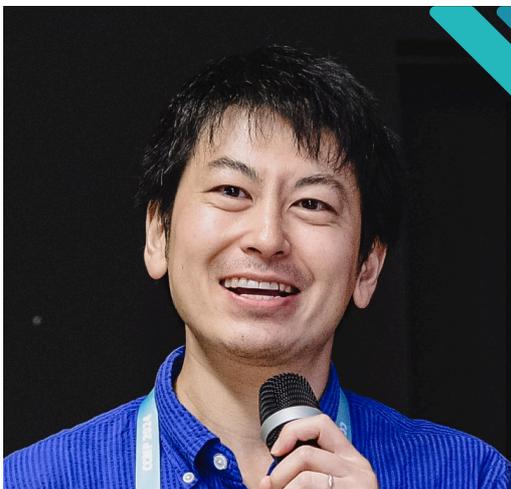


金属、絶縁体、磁性や超伝導等の物性物理の基本的な概念は**トポロジ**の導入により整理・統合され、近年多くの重要な発見が生まれています。また、素粒子論、宇宙論、量子情報等の概念や技術が物性物理の研究でブレークスルーをもたらしたりと、既存の分野を超えた研究も現れてきています。こうした大きな潮流を先導しているのは、**新しい概念を具現する量子物質の発見**です。我々の研究室では物性物理の深い理解に基づいて日々**新しい量子物質を合成**し、さらに**極低温度までの量子物性測定**、**薄膜デバイスによるスピントロニクス測定**によりその量子物性の背後にある物理法則の解明を目指しています。私たちが生み出す量子物質は新しい物理概念を提供し基礎分野で世界を先導するだけでなく、その驚くべき機能性ゆえに産業界からも注目を集めています。

研究例：トポロジカル磁性体における新規量子現象&巨大応答

反強磁性体は強磁性体のような磁化を持たないため、これまで「役に立たない物質」と思われていた。しかし2016年に我々はMn₃Snが反強磁性体であるにも関わらず強磁性体を同様の異常ホール効果を示し、その起源は量子ホール系と同様のベリー曲率に由来することを明らかにした。さらに巨大な磁気熱電効果や、反強磁性スピントロニクスなどの室温で特異な機能性を示すため産業界からも注目を集めている。





～ 身近に潜む最先端～ 非平衡の統計物理法則を探る

理学部 物理学科 准教授 竹内一将

✉ kat@kaztake.org

🌐 labjp.kaztake.org



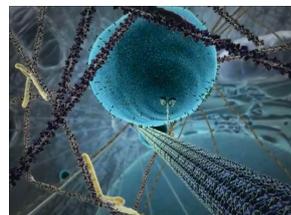
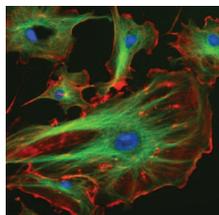
非平衡な現象とは？

熱力学・統計力学は、熱平衡状態（一定一様な環境下で行きつく状態）の物質について、深く強力な物理法則の存在を教えてくださいました。

一方で、私たちの周りには、熱平衡にないからこそ起こる自然現象もたくさんあります。



© JAXA

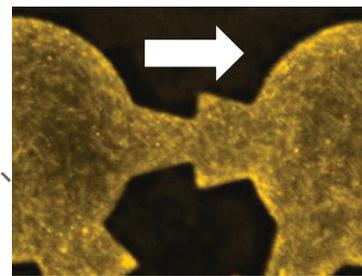


非平衡では、要素が集まり相互作用することで、自己組織的にパターンや構造、機能が出現できます。それを司る非平衡の統計物理とは何か？ 私たちは実験で挑んでいます。

研究例 1：新奇物質としての「生物集団」

生き物や細胞が集まると、様々な運動や構造、秩序が集団レベルで生まれます。これを物理の言葉で理解できるでしょうか？

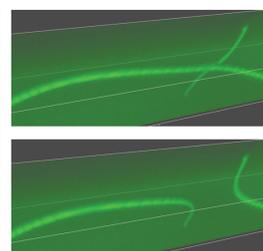
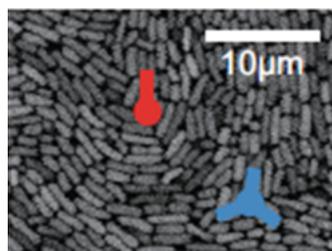
「極限まで単純化し、制御した環境下で本質を探る」物理の精神に則り、独自の実験系を開発して、バクテリア集団の秩序形成や制御、ゆらぎの法則性を実験的に探求しています。生物集団を新奇の物質 active matter と捉え、その「物性」や支配原理の理解を目指して、研究に取り組んでいます。



バクテリア集団からなる液体は、通常液体なら熱力学で禁止されている諸現象を引き起こす。写真は研究室で発見した自発的整流の例。

研究例 2：複雑な現象をトポロジーで読み解こう

無数の自由度が絡み合い、通常の熱統計力学で扱うことも困難な非平衡系。途方もなく複雑な対象と思えるかもしれませんが、複雑さに隠れた規則を見出し、理解を深める試みが進んでいます（2021年ノーベル物理学賞など）。その1つとして私たちは、秩序が局所的に乱れた点「トポロジカル欠陥」に注目した研究を展開しています。液晶やバクテリア集団でも欠陥は出現し（右図）、トポロジーの規則に従いながら、バクテリアの塊の成長起点となったり液晶の乱流を作ったりしています。欠陥をキーワードに、非平衡でミクロとマクロをつなぐ理解ができるか、私たちはチャレンジしています。

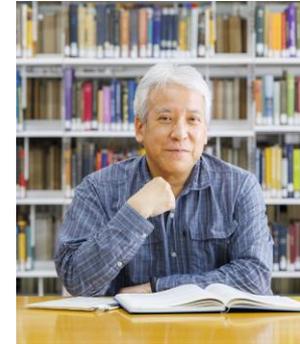


左：大腸菌の集団に生じるトポロジカル欠陥 [嶋屋・竹内 PNAS Nexus 2022]

右：液晶乱流緩和過程におけるトポロジカル欠陥の繋ぎ変え [図司・竹内 PNAS 2022]

中村研究室

<https://www.nex.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>
satoshi.nakamura@phys.s.u-tokyo.ac.jp

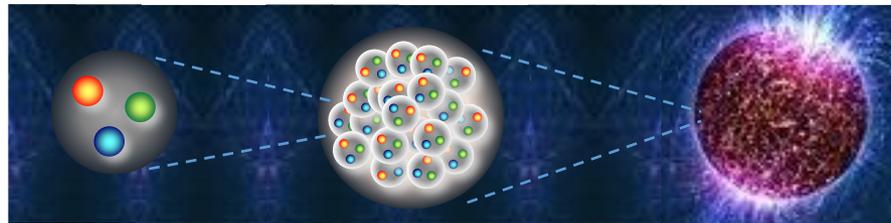


ウェブマガジン「リガクル」に記事が載りました
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/rigakuru/research/wICP6czt/>

中村哲教授、永尾翔助教：

大型粒子加速器を駆使し、核子(陽子、中性子)に加えてストレンジクォークを含むハイペロンから構成されるハイパー原子核実験を推進することで、フェムトメートルスケールにおける強い相互作用する量子多体系の理解を目指した**近代的な原子核物理学の実験研究**を国際的に展開。

核子 (ハイパー)原子核 中性子星

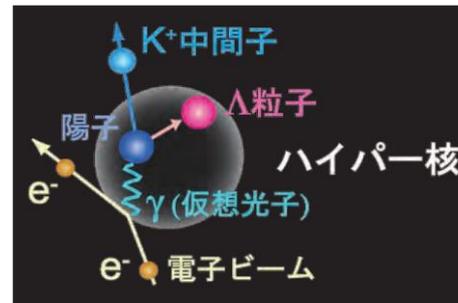


10^{-15} m

10^4 m

強い相互作用が支配する大きさが19桁も異なる量子多体系を統一的に理解したい。数多くの実験的研究が行われたにもかかわらず、未だに謎に包まれた核力をストレンジクォークという不純物を入れ、より一般的なバリオン力として理解を深める！

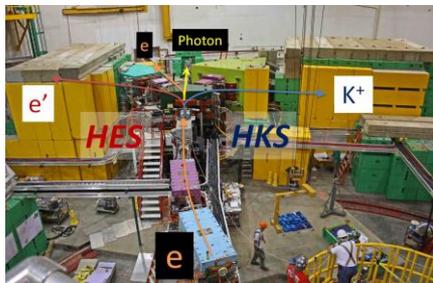
電子と陽子が反応して s クォークと反sクォークが対生成する。sクォークは核内に残りハイパー核になる。反sクォークはK⁺ 中間子として核外に放出されるので散乱電子とK⁺中間子の同時測定を行うことにより寿命が数100psしかないハイパー核の精密分光が可能



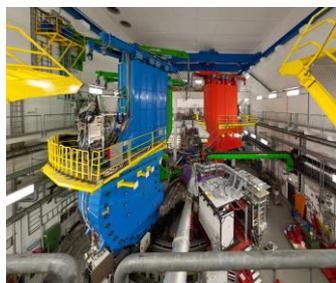
JLab Hall-A 測定室



マインツで共同研究者達と



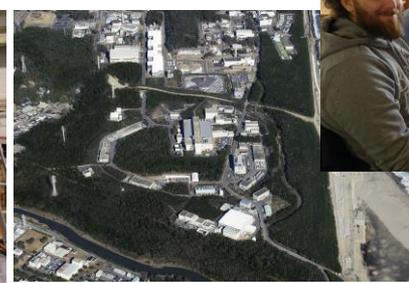
米国ジェファーソン国立研究所(JLab)



ドイツ マインツ大学 MAMI



東北大学 RARIIS



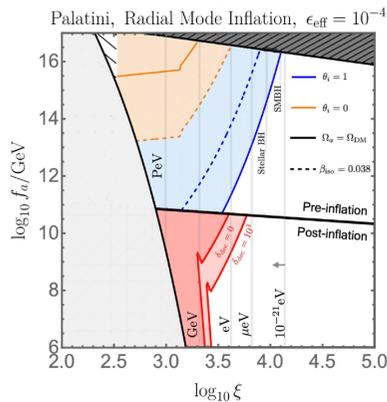
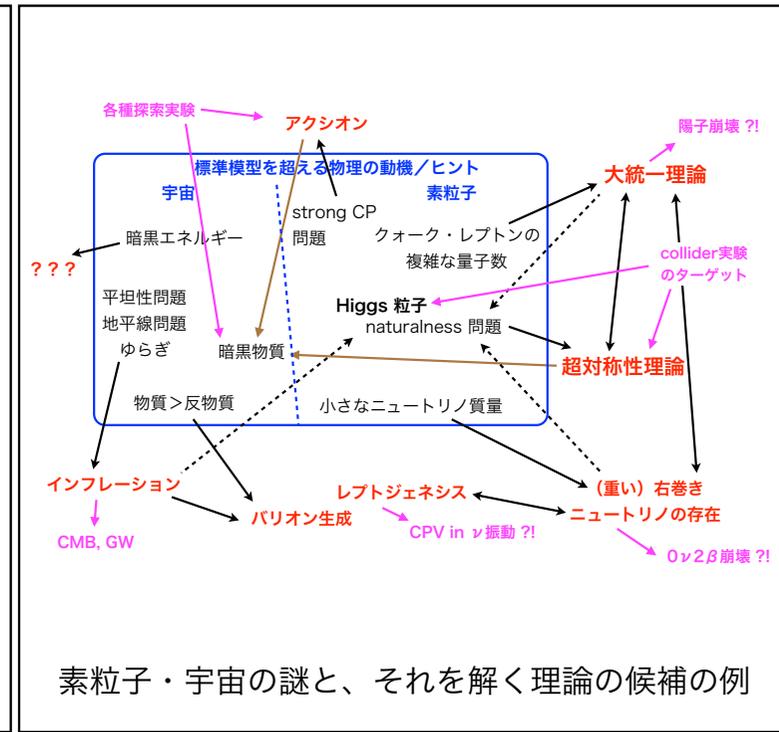
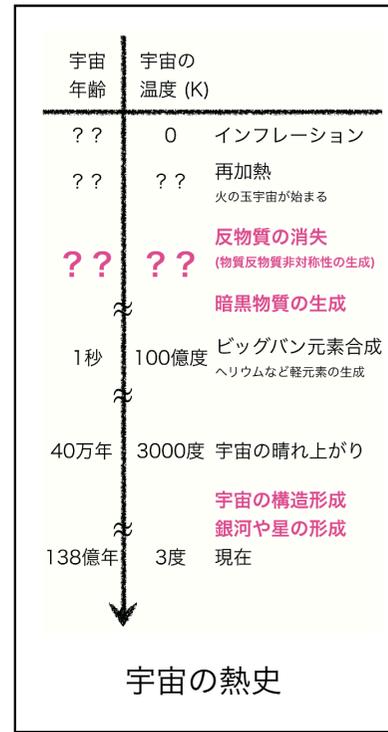
大強度陽子加速器施設 J-PARC



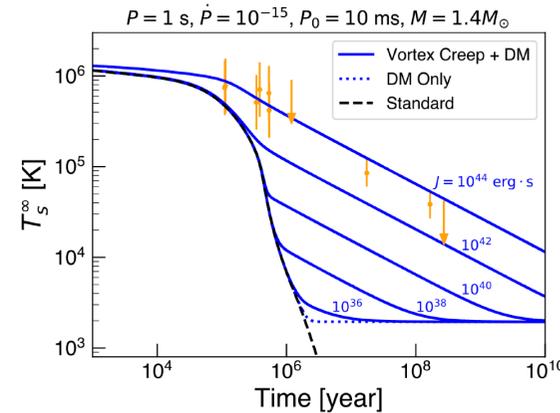
濱口幸一 (素粒子理論)

宇宙や素粒子も宇宙も謎だらけです (右図)。

私たちの研究室では、こうした宇宙や素粒子の謎の解明を目指して、素粒子模型構築 (大統一理論からTeVスケールまで)、インフレーション、バリオン数生成、暗黒物質、コライダー現象論、天体物理との境界領域、など幅広いテーマにおいて研究を行なっています。最新の素粒子実験や宇宙観測の結果にも注目して理論的研究に還元していきたいと考えています。



図：アクシオンワームホール解の寄与によって質量を持つ axion-like particle (ALP) 暗黒物質シナリオを提案し、生成機構と制限を調べた最近の研究 (2411.07713) から転載。

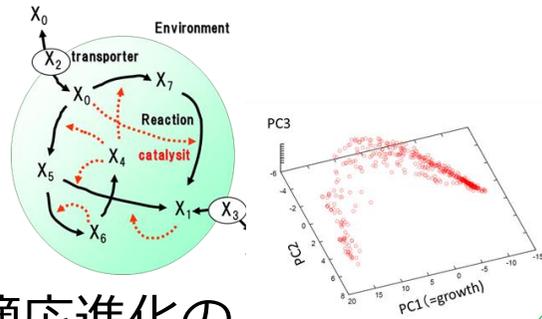


図：中性子星における暗黒物質による加熱効果と、中性子星自身による内部加熱 (超流動渦糸の運動による内部摩擦がもたらす加熱) の影響を調べた最近の研究 (2309.02633) から転載。

古澤研究室



生物システムは、様々な環境変化や内部状態の揺らぎの下で機能し続けられる頑強性（ロバストネス）を持つ一方で、環境変化などに対して柔軟に内部状態を変化させる可塑性を持っています。このロバストネスと可塑性が両立できるという点は、生物システムと人工システムの本質的な違いの一つです。我々の研究室では、微生物の適応進化や、多細胞生物の発生過程などを題材として、細胞状態のロバストネスと可塑性について、理論研究と実験研究の双方からの理解を目指しています。

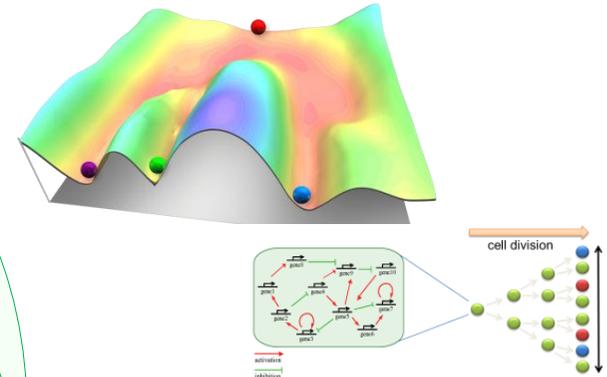


適応進化の数理モデル

Physical Rev. E (2018)
Ann. Rev. Biophys. (2018)

数理モデル

発生過程における「未分化さ」の理解



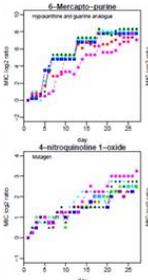
Science (2012)
PNAS Nexus (2024)

大規模実験

データ解析

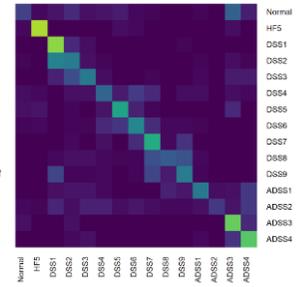
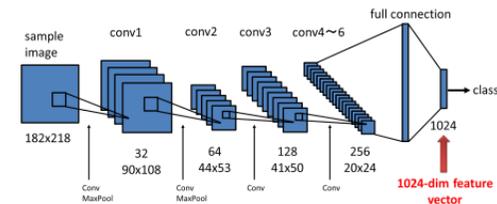


培養ロボット



微生物のハイスループット進化実験

Nature Commu (2020, 2024)



機械学習を用いた腸内細菌叢の解析

iScience (2020)

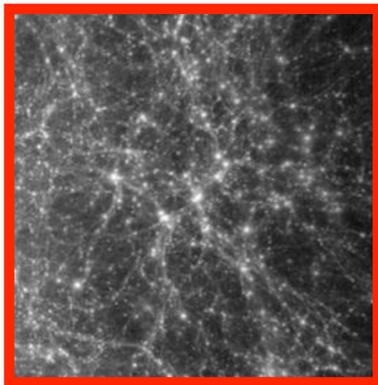
宇宙理論研究室

星や銀河、ブラックホール、宇宙の大規模構造など、宇宙の諸階層の形成進化の研究

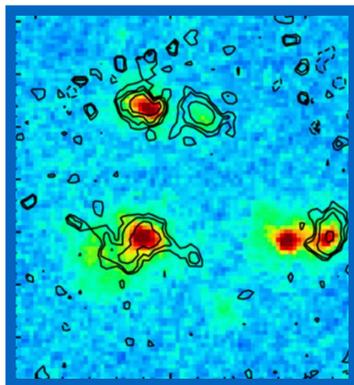
宇宙サーベイ観測データを用いた観測的宇宙論, 特にAI/機械学習を用いたデータ科学



吉田直紀 教授
数値宇宙論
ブラックホールの形成
星・惑星系の進化



スーパーコンピュータを用いて
宇宙のダークマターの分布を再現



ジェームスウェップ宇宙望遠鏡
で捉えた130億光年先の遠方銀河団

森脇可奈 助教
観測的宇宙論
深層学習による
宇宙構造解析

