

中野敏行准教授 (右前), 他

*中野敏行	准教授	Toshiyuki Nakano, Assoc. Prof.
佐藤 修	特任准教授	Osamu Sato, Assoc. Prof.
福田 努	特任講師	Tsutomu Fukuda, Lecturer
長縄直崇	特任助教	Naotaka Naganawa, Assist. Prof.
中村悠哉	特任助教	Yuya Nakamura, Assist. Prof.
六條宏紀	助教	Hiroki Rokujo, Assist. Prof.

F研では、独自開発の技術を駆使して人類未踏の領域の開拓、現象の解明を目指し研究に取り組んでいる。現在の主な研究対象は、素粒子宇宙物理学における重要な未解決問題である暗黒物質の検出とその正体の解明、宇宙に存在する天然の高エネルギー粒子加速器と考えられるガンマ線天体の正体解明、これら宇宙線観測による未知の現象の検出、中性子を探針とした重力相互作用の逆二乗則の検証などである。これらの研究には原子核乾板という、素粒子や放射線の通った痕跡を飛跡としてサブミクロンの精度で3次元的に記録することができる写真フィルムと、そこに記録された飛跡を高速で自動的に読み取る顕微鏡システムを用いており、それらの技術開発もまた大きな研究開発課題となっている。

暗黒物質の研究1：ニュートリノ研究

ニュートリノは1990年代から暗黒物質の候補として注目された素粒子である。世界を構成する極微の素粒子の中の一族であり、1930年にその存在が理論的に予言されたが、物質との反応確率の低さにより、発見および性質の解明に長い年月を要した。現在までに三種類のニュートリノ（電子型 (ν_e)、ミュー型 (ν_μ)、タウ型 (ν_τ))

が発見されているが、 ν_τ はF研が1998年に独自の原子核乾板技術を駆使して発見した。ニュートリノは宇宙のビッグバンで無数に創成され宇宙に満ちていると考えられており、少しでも質量を持てば宇宙の暗黒物質になり得ると考えられた。F研では1990年代から、 ν_μ が ν_τ に変化するニュートリノ振動現象を、振動で現れる ν_τ を検出する事によって直接的に検証する実験を行ってきた。1990年代には、暗黒物質となり得る質量領域を探索する実験CHORUSを行い、約100万反応の精密解析により振動事例を探索したが検出出来ず、ニュートリノが暗黒物質の有力候補ではないとの実験事実を得た。2000年以降は、神岡の実験が大気中の宇宙線反応で生成された ν_μ の減少としてとらえた振動領域に的をしぼり、加速器を用いた実験OPERAを立案・推進し、2015年6月までに5例の振動で現れた ν_τ を検出し、振動現象の存在を明確に示すことが出来た。

ニュートリノが暗黒物質である可能性はほとんど無くなってしまったが、ニュートリノは宇宙の正物質-反物質の非対称性すなわち物質優勢宇宙創成の謎を解明する鍵を握っている素粒子と考えられており、その研究は発展を続けている。F研では、原子核乾板の特性を生かして、J-PARCの加速器ニュートリノビームを用いたニュートリノ反応の精密測定実験（NINJA実験）を推進しており、将来のニュートリノ研究に貢献してゆく。

暗黒物質の研究2：暗黒物質の直接検出

この研究では地下において宇宙から飛来する暗黒物質をその到来方向を含めて直接検出することを目指している。現在暗黒物質の有力候補として挙げられているのは、宇宙の初期に発生し現在まで生き残っている弱い相互作用しにくい重い素粒子（WIMPs）である。WIMPsは極希に原子核などと衝突を起こし、非常に短い（～200nm）飛跡を物質中に残す。このような飛跡を独自に開発した特殊な超微粒子原子核乾板によって検出し、その正体をとらえようという計画である。飛跡の方向はWIMPsの飛来方向と強い相関がある。WIMPsの飛来方向は1次元近似的には我々太陽系の銀河系に対する固有運動方向と一致していると考えられ、原子核乾板を“地下”で赤道儀にのせて天空上の固有運動方向を追尾することにより、WIMPsがおこす反応による微小な飛跡を積分して検出する。現在は技術開発から小規模テスト実験を行う段階にある。開発当初から解決すべき課題が山積であったが、



研究室メンバー

<http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/>

*連絡先 contact@flab.phys.nagoya-u.ac.jp

准教授：2（特任含む）／講師：1（特任含む）／助教：4（特任含む）／研究員：3／DC：4／MC：11／4年：3



写真1：乳剤製造装置。世界でもここでしか原子核乾板の開発は出来ない。

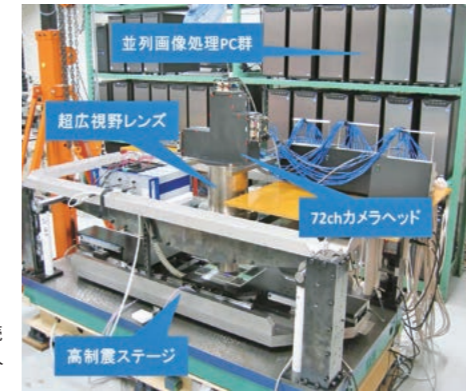


写真2：世界最高速の自動飛跡読取装置HTS。いずれは人工知能を搭載したい。

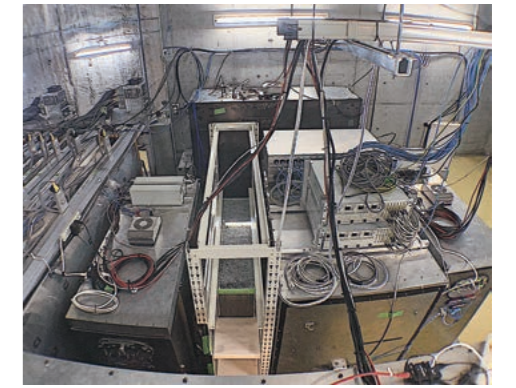


写真3：NINJA実験の検出器、J-PARCにおける加速器ビームラインにて。

写真4：GRAINE計画・口径面積2.5m²の望遠鏡、2023年オーストラリアでのフライト準備。

一つ一つ問題を解決し、イタリアグラサンサツ研究所にて国際共同実験NEWSdmとして実験準備を進めている。検出器内部に混入したダストや放射性不純物の排除、プラズモニクスを用いた光学分解能以下の飛跡に対する超解像解析法、機械学習による事象識別等分野を超えた最先端技術を積極的に導入し、暗黒物質の検出を目指す。

宇宙ガンマ線観測

宇宙空間を高速で飛び交う宇宙線の加速過程や加速場所は、その発見から100年経った現在でも未解明であり、その解明は宇宙物理学における最重要課題の1つとされている。ガンマ線による宇宙観測は、宇宙における粒子加速現象を理解する上での有効な手段である。我々は、原子核乾板が大口径を容易に実現出来るという特性を生かして、世界最大口径の口径10m²のガンマ線望遠鏡を気球に搭載して大気最上層（高度約40km）にまで打ち上げ、天体から放出されるガンマ線を精密に観測するプロジェクトGRAINEを推進している。開発中のガンマ線望遠鏡は、従来比約10倍の世界最大の口径面積と、10MeV～100GeVのエネルギー帯域で世界最高精度の解像度を実現し、いまだに正体が解明できていないガンマ線バーストの起源や天の川銀河中心からのガンマ線超過などの未解決課題に対して独自の観測データを提示する。

我々はこれまで3回の気球実験（2011年6月北海道、2015年5月および2018年4月オーストラリア）を実施しており、原子核乾板に時間分解能をもたせる機構の実証、望遠鏡のガンマ線撮像性能の実証等を行ってきた。次期気球実験は2023年の実施を目指している。観測装置の改良および実観測を積み重ね、口径面積10m²による科学観測の実現を目指した開発研究を行っている。

中性子の量子状態の位置分布測定による重力の研究

重力の逆二乗則はミリメートル以下の領域においては十分な精度で確かめられておらず、質量を持つ未知の媒介粒子や余剰次元の存在、またはその他の理由によって、破れている可能性がある。これを調べるには、重力相互作用に比べてはるかに強い電磁相互作用が邪魔となるが、中性子は中性であるため電場の影響を受けず、良い探針となる。そして中性子を非常に低速にすると、特定の物

質の内部に進入できなくなる。そのような物質でできた鏡の上に中性子と載せると、中性子はそこで重力場に応じた量子状態をとる。このとき中性子の位置分布を精査することで重力の逆二乗則からのずれの有無を調べることができる。そのために、100 nm以下という世界最高の分解能を持つ中性子用原子核乾板を開発した。この乾板を用いて工夫した実験を行い、未踏の感度での逆二乗則の破れの探索を目指す。

技術開発

当研究室では原子核乾板を軸とした技術開発を行ってきた。過去にはすべてがスケッチなどの目視観察であった原子核乾板の解析を、1972年に丹羽公雄名誉教授が概念を提唱し、独自に開発・発展させてきた原子核乾板の自動飛跡読み取り装置によって自動化された結果、原子核乾板の実験に劇的な変化をもたらした。現在、世界最速の読み取り装置HTSが活躍し、さらに次世代の装置の稼働が始まっている。これは毎時1m²の速度で原子核乾板中の飛跡を読み出す能力を持ち、他の検出器では実現できないような高精細な素粒子反応の検出器の大規模化が可能となった。一方でデジタルカメラの普及によって企業における銀塩写真技術の開発ニーズは縮小したが、写真フィルムの技術を我々が引き継ぎ研究目的に応じてさらに発展させる機会と捉え、2010年からは企業OBの写真技術者の全面的な協力を得て最先端の装置を構築し、より基礎・応用科学に特化した検出器としての原子核乾板を開発している。先に挙げた諸プロジェクトは、これらの技術開発無しには推進することができず、原子核乾板以外にも、半導体技術を用いた日本初の半導体放射線検出の実現、世界初のシンチレーティングファイバー飛跡検出装置の開発などの経験もあり、必要とあれば新しい検出器の技術開発についても行いたい。そのためには、自由な発想と柔軟で確固たる行動が必要であり、未知未踏の領域の開拓をおもしろいと思う人、やってみたい人を歓迎する。