



中村光廣教授

*中村光廣	教授	Mitsuhiro Nakamura, Prof.
中野敏行	講師	Toshiyuki Nakano, Lecturer
佐藤 修	助教	Osamu Sato, Assist. Prof.
中 竜大	特任助教	Tatsuhiko Naka, Assist. Prof.
森島邦博	特任助教	Kunihiro Morishima, Assist. Prof.
福田 努	特任助教	Tsutomu Fukuda, 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、宇宙から降り注ぐ宇宙線 μ 粒子を利用して巨大構造物の内部を透視する宇宙線ラジオグラフィ技術の開発、ならびにこれら宇宙線観測による未知の現象の検出などである。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_e 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 の減少としてとらえた振動領域的をしぼり、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（ $\sim 200\text{nm}$ ）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おり、原子核乾板を赤道儀にのせて天空上の固有運動方向を“地下”で追尾することにより、WIMPsがおこす微弱な信号を積分し検出する。言ってみれば暗黒物質望遠鏡である。

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。開発当初は解決すべき課題が山積であったが、一つ一つ問題を解決してきて、イタリアグラサンサッソ研究所以て国際共同実験NEWSdmとして実験の準備も進めている。内部に混入したゴミや放射性不純物の排除技術、



研究室メンバー

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。



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頂上（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と、10MeV \sim 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謎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2回の気球実験（2011年6月北海道、2015年5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2018年に予定しており、現在その準備を進めている。観測装置の改良および実観測を積み重ね、口径10m²による科学観測の実現を目指した開発研究を行ってゆく。

宇宙線ラジオグラフィ

2006年にニュートリノ研究の技術応用として始めた宇宙線 μ 粒子による火山の透視の技術が諸方面に発展している。原子核乾板は電源不要で、設置も容易である事から、火山などの自然物や古墳・遺跡などの設置環境に制限のある対象の透視に威力を発揮している。2014年には事故を起こした福島第1原子力発電所2号機のメルトダウンの確証を得、さらに前方後円墳の石室の検出にも成功した。また2015年からはピラミッドなどの透視を行ってきており、新技術であるために諸方面からの引き合いも多くなってきている。原子核乾板は低コストで大面積の μ 粒子検出器を実現できる事から、今後口径100m² \sim 1000m²の実現による山体の厚い富士山などの撮像や、対象物の3次元トモグラフィ撮影など、まだだれも実現出来ていない大型建造物の立体透視を実現してゆく。応用研究であるが、

写真3：オーストラリアでの2015年の口径0.4m²の望遠鏡のフライト(左)および2018年フライトの準備(右)。

写真4：屈折ピラミッドでの原子核乾板設置の様子。分野の垣根を超えた研究も積極的に推進する。

宇宙線を対象にした大規模研究であり、宇宙線起因の未知の現象が観測できる可能性もある。エキゾチックな現象は漏らさずとらえてゆきたい。

技術開発

研究室では原子核乾板を軸としてそれだけにとどまらない技術開発を行ってきた。特筆すべきは、丹羽が発見し中野敏行が発展させてきた原子核乾板の自動飛跡読み取り装置である。それまですべて手仕事であった原子核乾板の読み取りがこの装置により自動化され、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つ。またデジタルカメラの普及によって企業における写真技術の開発ニーズが縮小した機会を、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大学内に立ちあげ、よりフレキシブルに基礎・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きた。これらを元に先に挙げた諸プロジェクトを推進している。

これ以外に、日本初のLSI技術を用いた半導体放射線検出の実現、世界初の蛍光ファイバー飛跡検出装置の開発などの経験もあり、エレクトロニクス系検出器の開発力量でも世界にひけは取らない。現在は暗黒物質検出を狙った超伝導デバイスの開発なども手がけている。

研究室の遺伝子

1971年、研究室を創始した丹生潔（現名誉教授）は、誰も予期しなかった第4のクォークであるチャームクォークを含む新粒子を宇宙線反応中に発見した。丹羽公雄（現名誉教授）は誰も実現し得なかった原子核乾板の自動飛跡読み取り技術を考案・実現し、1998年の ν_τ の世界初の検出に成功した。また引き継いだ我々は史上最大の原子核乾板実験OPERAを成立させ、2015年には、 ν_e から ν_τ への振動の存在を実証した。このように研究室の先達たちは独自のアイデアで技術を発展させ、世界でもユニークな成果へと結びつけてきた。物理の目的のために必要な手法や装置を自ら考え、新たに開発し実現してゆくのが、この研究室の遺伝子の一つである。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、それらの発露を保障する場をF研究室は提供する。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。

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

*連絡先 nakamura@flab.phys.nagoya-u.ac.jp FAX 052-789-2864

教授：1／講師：1／助教：4（特任含む）／研究員：3／DC：8／MC：9／4年：3