原子核乾板で探求する素粒子宇宙研究と非破壊イメージング

Elementary particle & universe research and non-destructive testing

中野研　　中野敏行、佐藤修、六條宏紀、長縄直崇、森島邦博、北川暢子

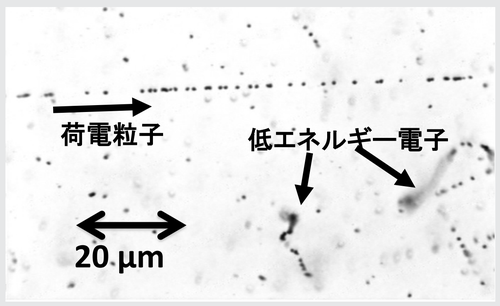
Division (Center), Nakano Laboratory

【中野研】　本研究室では、素粒子物理学的な諸問題への挑戦、ピラミッド等の大型建造物の内部イメージング技術の開発を行っています。これらの研究には、荷電粒子が通過した跡を写す特殊な写真フィルム「原子核乾板」を用いており、原子核乾板の生産、開発および原子核乾板に記録された飛跡読み取りの高速化・高精度化において世界をリードしています。

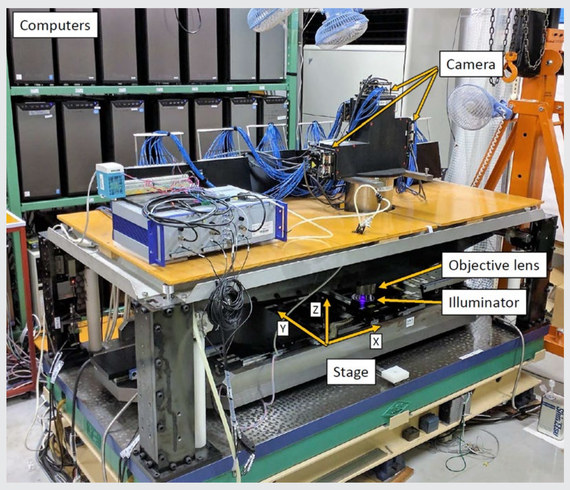
古くて新しい精密検出器: 原子核乾板

中野研では、電荷をもった素粒子などの荷電粒子の通過した跡が写る特殊な写真フィルム、原子核乾板の開発・生産をしています。原子核乾板は透明なプラスティックの基材(ベース)の両面に原子核乳剤を塗布してあり、原子核乳剤はゼラチンの中に直径0.2ミクロン程度の微小な臭化銀結晶がぎっしりつまったものです。

原子核乾板は製造直後から感度を持ち、荷電粒子の通過した痕跡が蓄積され、現像後に銀粒子の列、飛跡として半永久的に記録されます。蓄積された荷電粒子の飛跡は光学顕微鏡で観測することで認識できます（図１）。 しかし、 人が顕微鏡を覗いていては、大面積の原子核乾板を観測するには時間がかかりすぎます。 中野研では光学顕微鏡での飛跡読みの自動化に1970-年代から取り組み、継続的な改良により、世界最高速度での飛跡読み取り（図２）を実現しています。この原子核乾板と自動飛跡読み取り装置を武器に世界の最前線で研究しています。



【図1　原子核乾板に記録された荷電粒子の飛跡】

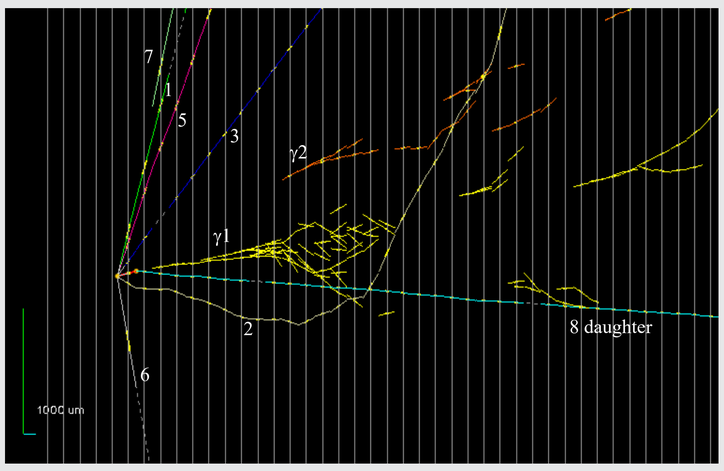


【図2　超高速自動飛跡読み取り装置HTS】

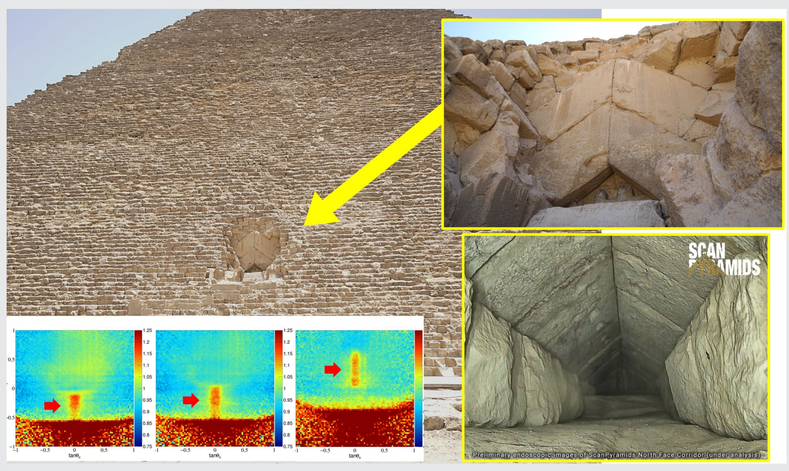
世界の最前線で活躍する原子核乾板検出器

中野研では、素粒子物理学における諸問題に対して原子核乾板を用いた実験的研究を行っています。ニュートリノの実験的研究、宇宙暗黒物質の探索実験、天体から飛来するγ線観測 、重力を感じる中性子の量子現象の精密測定を推進しています。これらの研究では、原子核乾板中の飛跡の位置と角度を精密に記録する能力がいかんなく発揮されています。原子核乾板フィルムから世界最高速で飛跡を読み取ることでニュートリノ振動により出現したタウニュートリノ反応の観測など、この分野の発展に貢献しています（図３）。

また、火山の内部でのマグマの観測、ピラミッド等の大型建造物の内部透視を行って、未発見の空洞の発見を報告し、世界から注目されています（図４）。さらに高度経済成長期に建築された建造物、河川堤防、トンネルの劣化、崩落、崩壊が社会問題になっています。また亜炭鉱あとの未記録な掘削トンネルによる道路陥没が社会問題になっています。これらの人口構造物の透視も原子核乾板と高速飛跡読み取りで行っています。



【図３　OPERA実験で検出されたタウニュートリノ反応】



【図４　クフ王ピラミッドの内部イメージングと発見した空間】

Old but New Precision Detector : Nuclear Emulsion

Nakano Lab produces nuclear emulsion film that can record the passage of charged particles like fundamental particles with charges. These films are made by applying nuclear emulsion gel on both sides of a transparent plastic base, containing silver bromide crystals of about 0.2 micron diameter. After chemical development, the tracks of accumulated charged particles can be observed through an optical microscope. However, it takes too much time to observe a large area of nuclear emulsion films. Since the 1970s, Nakano Lab has been developing an automatic scanning system for the films, achieving the world's highest speed of scanning tracks.

Nuclear emulsion detector as world research frontier

Nakano Lab uses nuclear emulsion films for particle physics research including experiments on neutrinos, dark matter exploration, and γ-ray observation of celestial bodies and precise measurements of quantum phenomena of neutrons feeling gravity. Nuclear emulsion films have precisely recorded position and angle, demonstrating their usefulness in studies such as observing the appearance of tau neutrinos through neutrino oscillations. Recently, the discovery of two unknown voids inside the Khufu Pyramid by cosmic ray imaging has attracted worldwide attention. Other areas of research being pursued include diagnostics of industrial plants such as nuclear reactors, inspections of aging social infrastructure, identification of vulnerable areas in river levees, investigation of underground cavities, and visualization of the interior of volcanoes.