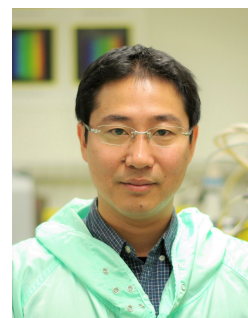


✓ PERSONAL INFORMATION

Date and place of birth: 2 October 1979, Gifu, Japan
Nationality: Japanese, Civil status: Married, one child
Language: Japanese (mother tongue), English (fluent), German (basic)
Professional address: Faculty of Science Build. 1-316, Chiba University,
Yayoicho 1-33, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522 Japan
Phone, e-mail: +81 (0) 43 290 2736, akitaka.ariga@lhep.unibe.ch
ORCID ID: 0000-0002-6832-2466, KAKENHI ID: 20377922



✓ EDUCATION

2018 May Habilitation in experimental physics, University of Bern.
2008 May PhD in Physics, Graduate School of Science, Nagoya University, Japan.
2004 March Master degree in Physics, Graduate School of Science, Nagoya University.
2002 March Bachelor degree, Department of Physics, School of Science, Nagoya University.

✓ EMPLOYMENT HISTORY

2021 Jan - now Associate Professor at the Graduate School of Science, Chiba University, Japan
2017 July - 2020 Dec Wissenschaftlicher Mitarbeiter at the Albert Einstein Center for Fundamental Physics (AEC), Laboratory for High Energy Physics (LHEP), University of Bern.
2011 July - 2017 June Oberassistent at AEC-LHEP, University of Bern, Switzerland
2008 July - 2011 June Postdoc (SNSF) at AEC-LHEP, University of Bern, Switzerland
2006 April - 2008 Mar Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) Research Fellow at Graduate School of Science, Nagoya University, Japan

✓ MANAGEMENT AND SCIENTIFIC RESPONSIBILITIES

2020 - now Co-project leader of FASER ν in the FASER international collaboration.
2018 - now Spokesperson of the NA65/DsTau international collaboration.
2015 - 2020 Technical coordinator of the muon radiography of glaciers in Switzerland.
2014 - 2015 Co-PI of the interdisciplinary project in immunology.
2011 - 2020 Representative of the Swiss group in the OPERA international collaboration.
2010 - 2014 Convener of the electron analysis working group in the OPERA Collaboration.
2009 - 2011 Physics coordinator of the OPERA Swiss group.
2009 - now Coordinator of the research group on new applications of emulsion detectors at LHEP.
2005 - 2008 Project leader of the interface emulsion detectors for the OPERA experiment, leading an international mass-production team (more than 2500 man-day) in Gran Sasso, Italy.

✓ APPROVED RESEARCH PROJECTS

2021-2025 ERC Consolidator Grant, *Study of neutrinos at the High Energy Frontier* (Acronym=FASERnu, 1,998,125 €, 5 years)
2021-2023 KAKENHI 帰国発展研究 (41,400,000 JPY, 3 years)
2018 University of Bern ID grant, Advancing live cell imaging of T-cell migration across the blood-brain barrier by employing big data analysis using high energy physics tools and Deep Learning, 149,250 CHF, shared with Prof. B. Engelhardt.
2014 - 2017 SNSF Interdisciplinary grant, Expanding live imaging in immunology using high-throughput analysis tools developed in high energy physics, 600,000 CHF, shared with Prof. J. Stein.
2006 - 2007 Grant-in-Aid for JSPS Fellows, 6,600,000 JPY.

✓ **TEACHING ACTIVITIES**

- 2020 - now Lecturer on Basic laboratory course on Radiation, High Energy Physics, Physics English, Chiba University.
- 2020 Lecturer on Introduction to Programming and Computational Physics, University of Bern.
- 2014 Lecturer for the AEC Graduate Course on Antimatter, University of Bern.
- 2013 - 2018 Lecture assistant on Elementary Particles, University of Bern.
- 2010 - now Assistant for the experimental lab course on Cloud chamber (launched by myself), University of Bern.
- 2002 - 2005 Assistant for the experimental lab course, Nagoya University.

✓ **SUPERVISION OF GRADUATE STUDENTS AND POSTDOCTORAL FELLOWS**

- 2008 - now In total, 7 Post-doc fellows (Francesca Giacoppo, Tomoko Ariga, Thomas Strauss, Jiro Kawada, Mitsuhiro Kimura, Mykhailo Vladymyrov, Ryuichi Nishiyama), 4 PhD students (Anis Ben Dhahbi, Serhan Tufanli, Alireza Ehtesham, Frank Meisel), 1 Master student (Samuel Käser) under my supervision at AEC-LHEP, University of Bern. 1 PhD student (Alessandro Lechmann) co-supervision with Institute of Geoscience, University of Bern. 1 Master student (Max Suter) co-supervision with Bioinformatics, Biology, University of Bern.
- 2004 - 2008 1 PhD student (Masashi Kazuyama), 2 Master students (Seiji Hiramatsu, Yūji Zama) at the Graduate School of Science, Department of Physics, Nagoya University.

✓ **MEMBERSHIPS IN PANELS, BOARDS**

- International Advisory Committee of Workshop on Reconstruction and Machine Learning in Neutrino Experiments (RML2020), October 5-9, 2020, Brookhaven, US.

✓ **MEMBERSHIPS OF SCIENTIFIC SOCIETIES**

- 2008 – Member of Swiss Physical Society (SPS)
- 2008 – Member of Swiss Institute of Particle Physics (CHIPP)

✓ **ORGANIZATION OF CONFERENCES**

- Session convener on "Searches for New Physics" in 2021 European Physical Society Conference on High Energy Physics on July 26-30, 2021
- Local organizing committee of 2nd International Workshop on Antimatter and Gravity, November 13-15, 2013, Bern.

✓ **PRIZES, AWARDS**

- The Breakthrough Prize 2015 in Fundamental Physics for the discovery of neutrino oscillations (shared).
- 2016 Outstanding Paper Award of the Physical Society of Japan to "Observation of tau neutrino appearance in the CNGS beam with the OPERA experiment" (shared).

✓ **OUTREACH**

- Invited seminars on neutrino physics in Japanese primary schools (4 times), in Japanese high schools (2 times) in 2011-2016.
- Hosting the short term visit of students of the Shizuoka-Kita high school to CERN and University of Bern under the Super Science High school program supported by Japanese government (2014-2016 for three times).
- A Crowd-Sourcing of the reconstruction of antiproton annihilation data in the AEGIS experiment, together with CERN in 2014. One of the first time for CERN to release the particle detector data to public.

MAJOR SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS

Neutrino oscillation studies: Observation of $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ and $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oscillations in appearance mode. Indication of non-zero δ^{CP} .

Neutrinos are fundamental particles in the Standard Model (SM) of particle physics. The SM was developed by assuming that neutrinos are exactly massless, and it successfully described all particle decays and interactions. However, several evidences of neutrino oscillations, which incorporate massive neutrinos and neutrino mixing, were reported through “disappearance” of neutrino flavors. In order to unambiguously confirm flavor-changing neutrino oscillations, I participated in two accelerator-based long baseline neutrino experiments, those aimed at detecting “appearances” of new flavors.

One is the OPERA experiment, which studied the $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillation channels. I contributed to the detector design and production, being the project leader of a sub-detector [\[10.1088/1748-0221/3/07/P07005\]](#). I then pressed forward with the establishment of the analysis procedure and software framework. I have been the representative of Switzerland in the OPERA collaboration since 2012. My research group made an essential contribution to the discovery of ν_τ appearance, which may be evident from the fact that the corresponding authors of two representative publications of the “Observation [\[10.1093/ptep/ptu132\]](#)” in 2014 and “Discovery [\[10.1103/PhysRevLett.115.121802\]](#)” in 2015 were from my group in the University of Bern. In parallel to the main analysis, I was the convener of the $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oscillation analysis group. As the representative of the emulsion detector experts in OPERA, I gave a seminar in the series of the CERN detector seminar.

The other was the T2K experiment, which is studying the $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oscillation channels. T2K was designed for a precision measurement of oscillation parameters. All the components of the experiment were precisely tested. Among those checks, I conducted *in situ* muon measurements behind the decay pipe of the T2K neutrino beamline with emulsion detectors. As muons are created in pairs with neutrinos from the meson decays, a precise knowledge of the muon beam provides a validation of neutrino beam production. The result identified discrepancies between data and the existing hadron production models and helped to refine it in the T2K analysis chain [\[10.1093/ptep/ptv054\]](#). T2K reported appearance of ν_e in the ν_μ beam in 2013. Furthermore, we took data in neutrino and antineutrino mode, the analysis of these data excluded the CP conservation at 2σ [\[10.1103/PhysRevLett.121.171802\]](#).

The OPERA and T2K results finally confirmed the flavor-changing neutrino oscillation hypothesis, which contributed to the Nobel prize of 2015 for the discovery of neutrino oscillations, awarded to T. Kajita and A. McDonald.

Interdisciplinary / side projects

The above experiments utilized the emulsion particle detectors, in which I have a deep expertise. I conducted several physics programs and detector R&Ds. The readout of the emulsion detector is based on high-speed scanning optical microscopes. The data at the throughput of the order of 1 GBytes per second has to be processed in real-time manner. For this purpose, I pioneered an application of the parallel computing with GPUs to the real-time processing of microscope data [\[10.1088/1748-0221/9/04/P04002\]](#). The use of GPUs for image processing and tracking now became the community standard. The redundant computational power of GPUs also allows developing a tracking algorithm based on the deep learning technology. In particular, the Fully-Unsupervised Machine Learning was developed [\[10.1088/1748-0221/15/03/P03009\]](#), which is an advanced approach among many deep learning methods and has a potential to be applied to different tracking detectors.

One of the applications of emulsion detector technique was the field of antimatter studies. The AEGIS experiment at CERN is aiming to measure the gravity on antimatter. In order to detect tiny freefall ($\simeq 10 \mu\text{m}$) of anti-hydrogen, a use of emulsion detectors was proposed. A dedicated emulsion detector which can operate in vacuum and at cryogenic temperature was developed, and the proof of the measurement principle was then demonstrated with antiprotons [\[10.1038/ncomms5538\]](#). In

addition, the fragmentation of atomic nuclei due to the antiproton annihilations were studied for several light/heavy elements and compared to existing hadronization models [10.1088/1748-0221/12/04/P04021].

The QUPLAS experiment is another, which aims to study quantum properties of positron and to measure the gravity of positronium. The “double slit experiment” was performed for antimatter (positrons) for the first time and we demonstrated the quantum interference pattern [10.1126/sciadv.aav7610]. This work was selected as one of the top 10 breakthrough in 2019 by the Physics World journal.

Benefiting from the high angular resolution of emulsion detectors, a muon radiography of Swiss alpine glaciers was performed for the first time. The project aimed a study of the bedrock morphology beneath active glaciers by means of cosmic-rays. The measurement of the Aletsch glacier [10.1002/2017GL073599], the Eiger glacier [10.1038/s41598-019-43527-6] were reported, providing new knowledge in the glacial erosion process. For such a purpose, a fast readout of track data is desired. Therefore, a special emulsion detector with larger silver bromide crystals was produced. 1000-nm-diameter crystals, five times larger than the conventional crystals, was realized and the sensitivity to minimum ionizing particles was confirmed [10.1088/1748-0221/11/03/P03003].

The real-time processing of microscope data was meant for particle physics, yet, it is applicable to the fields making use of microscope, e.g. biology. I and J. Stein in University of Bern started an interdisciplinary project (supported by SNSF), which aimed at expanding live imaging in immunology using high-throughput analysis tools. The project enabled a real-time image processing and feedback in multi-photon intravital microscopy [10.1016/j.jim.2016.08.004], which is now a base of various immunological studies, such as [10.1084/jem.20170896]. The approach was further developed to realize a distortion free image taking in intravital microscopy [10.3389/fphy.2019.00222].

Springer invited me and a few other colleagues to write the second edition of the chapter “Nuclear Emulsions” of the book “Detectors for particles and radiation” [10.1007/978-3-030-35318-6]. The book was published as the Particle Physics Reference Library.

Proposal of future experiments with high-energy neutrinos, NA65/DsTau and FASER ν

Precise measurements of high energy neutrinos, in particular tau neutrinos, might be a key to understand physics beyond the SM. I launched a project named DsTau [10.1007/JHEP01(2020)033], which studies tau-neutrino production in proton-nucleus interactions with the beam from the CERN SPS. In February 2016, I submitted a letter of intent of DsTau [SPSC-I-245] to the CERN SPSC (SPS and PS experiments Committee). Receiving a positive feedback from the SPSC, I have formed an international collaboration with eight institutions from five countries. I have been the spokesperson of the DsTau collaboration. After two test beam campaigns in 2016 and 2017, the experiment proposal [SPSC-P-354] was submitted in August 2017. With results from a pilot run in 2018, the project was approved by CERN as the NA65 experiment. NA65/DsTau is preparing for physics run in 2021.

Neutrinos cross-sections miss measurement at TeV energy region (350 GeV - 6 TeV). I explored possibilities to make use of the LHC as a neutrino source, being the early member of the FASER collaboration. I conducted an in-situ measurement of background particle flux at the forward location of the ATLAS apparatus, which was instrumental for the approval of the FASER experiment [LHCC-P-013] by CERN for the dark photon searches on March 2020. Furthermore, I proposed a neutrino measurement at the same location [10.1140/epjc/s10052-020-7631-5] [LHCC-P-015], which was also approved by CERN on December 2019.

これまでの研究業績 (日本語版)

アピアランスモードでの世代間混合ニュートリノ振動の観測

素粒子が見せる量子現象は興味深く、私はその顕著な例であるニュートリノ振動に魅せられた。2000年頃にはまだディスアピアランスの結果しかなく、フレーバー混合ニュートリノ振動の決定的な証拠となるアピアランスの観測が急務だった。私はこのアピアランスの観測を目指し、2001年の実験の承認とほぼ同時に OPERA 実験に参加した。

OPERA 実験は CERN から ν_μ ビームを 730 km 離れたイタリアの Gran Sasso 国立研究所に向けて照射 (CNGS neutrino beam) し、そこで ν_τ として検出されるかどうかを調べる実験である。当時の国際的競争の観点から OPERA 実験では解析が如何にスムーズにスタートできるかが要であった。その為、私が主導して OPERA の検出器構造を模したエマルジョン・エレクトロニクスハイブリッド検出器を構成した。これにより解析の問題点を洗い出し、メインのエマルジョン検出器とエレクトロニクス検出器とをインターフェイスする検出器 (CS と呼ぶ) の重要性を明確にした。この CS 検出器はプロポーザルにはないエマルジョン検出器であり、過去のニュートリノ実験に比べてバックグラウンドが $1/10^6$ 以下という超低バックグラウンドが要求された。私はこの検出器を担当し、2005年までに要求を満たすハイブリッド検出器構造を決定した [10.1088/1748-0221/3/07/P07005](図 1-左)。その後、Gran Sasso にて CS のプロジェクトリーダーとして3年間常駐し、多国籍チームを率いて 170,000 個の大量生産を行った (のべ 2500 人日)。私が作った OPERA 検出器を図 1-右に示す。この期間は同時に CNGS のコミッショニング期間でもあり、私は現場にてエマルジョン検出器のコミッショニングを監督した。これらの成果が物理ランが始まった 2008 年以降のスムーズな解析の立ち上がりを可能にした。

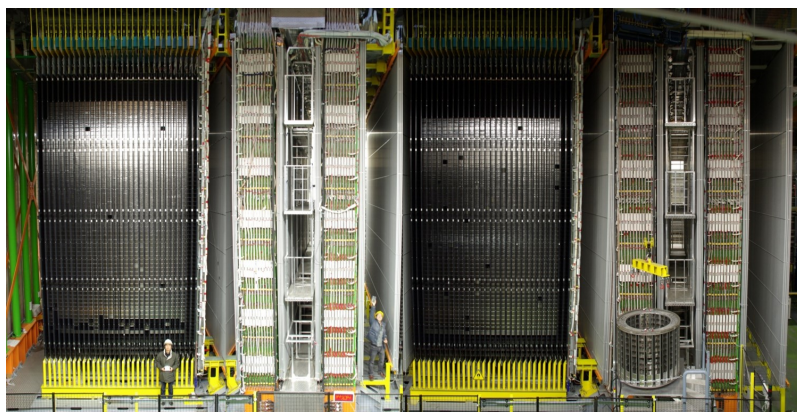
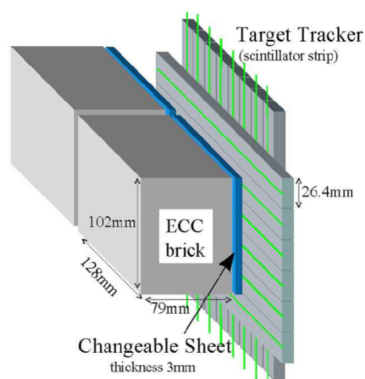


図 1: 左: OPERA 実験のハイブリッド構造。主エマルジョン検出器 (ECC) とターゲットトラッカーとのインターフェイスを Changeable Sheet 検出器 (CS) が行う。右: OPERA 検出器は 1.3 kt の大質量と $1 \mu\text{m}$ の高位置分解能を両立させたニュートリノ検出器である。154,000 個の CS と ECC からなり、これの生産を私が現地に常駐して行った。サイズの指標として私が中央に立つ。

2008 年以降はスイス・ベルン大学に在籍し OPERA の解析を牽引した。2009 年からは OPERA-スイスグループ (研究者約 10 名) の物理コーディネータに、また 2012 年からは OPERA コラボレーションにおけるスイスの代表者を務める。私のグループはヨーロッパの 12 機関中最大の解析能力 (ヨーロッパの約 40%) を持ち、 ν_τ 反応探索を精力的に行った。その他、崩壊探索のプロトコルづくりの主導、CERN でのビームテストの責任者、また $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動解析 [10.1007/JHEP07(2013)004] のコーディネータ等も務めた。この間に直接的に指導に携わった PhD 学生が 3 名、博士号を取得した。彼らには OPERA という大きなコラボレーションの中でも独自性を持つテーマを提示し、主体性を持って行うように指導を行った。

OPERA 実験は 2008 年から 2012 年までの 5 年間に 1.8×10^{20} POT (protons on target) のニュートリノビームを蓄積した。2010 年に最初の ν_τ 事象を報告し、2015 年までに計 5 ν_τ 事象の検出を報告した。統計的優位性は 5σ を超え、 $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動の決定的証拠と言える。特に最初の事象 [10.1016/j.physletb.2010.06.022] については私は論文の執筆メンバーとして携わった。この事象を

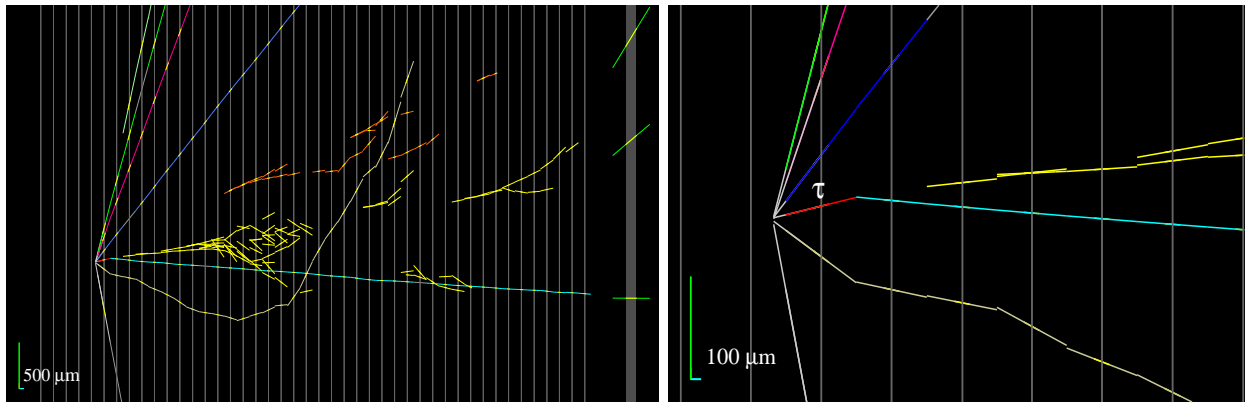


図 2: OPERA 実験で見つかった最初のタウニュートリノ事象。赤い短い飛跡がタウであり、これが 1 つのハドロンと 2 つの γ 線崩壊をした。これは $\tau \rightarrow \rho\nu_\tau$ 崩壊として説明できる。

Figure 2 に示す。また、その後に報告した Observation [10.1093/ptep/ptu132] と Discovery [10.1103/PhysRevLett.115.121802] (主要論文 (1)) の論文の責任著者がベルン大学から出ていることは私のグループの貢献の大きさを示している。

T2K : 上記と並行して、日本において $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動をアピアランスモードで検証する T2K 実験にも参加した。その中で私は特に T2K ニュートリノビームラインにおける μ 粒子の絶対的フラックスの測定をエマルジョン検出器を用いて行った [10.1093/ptep/ptv054]。その結果は既存のモデルとの不整合性を指摘し、ハドロンプロダクションモデルの深い理解に貢献した。T2K は 2013 年までに 28 ν_e 事象を観測し 7.3 σ の統計的優位性を報告した [10.1103/PhysRevLett.112.061802]。さらにニュートリノとアンチニュートリノの測定からニュートリノ混合行列における CP 対称性の破れを 2 σ の優位性で報告した [10.1103/PhysRevLett.121.171802]。

OPERA と T2K によるニュートリノ振動のアピアランスによる検証結果はニュートリノ振動の議論に決着をつけ、ニュートリノの研究を次のステップへ導くものとなった。私はこれらの結果を教授資格論文 “Discovery of neutrino oscillations in appearance mode” としてまとめ、2018 年にベルン大学にて Privatdozent のタイトル (教授資格) を取得している。

ニュートリノ振動の研究に加えて、エマルジョン検出器を活用した実験や技術開発を行うワーキンググループを 2009 年よりベルン大学内に作り、私がコンベンナーを務めている。さまざまな実験のアイデアに対応するために Figure 3 のような検出器生産施設・化学処理施設・飛跡読み取り施設の整備を行った。ここで実現をした実験のいくつかを紹介する。



図 3: ベルン大学のエマルジョン検出器生産施設 (左)。地下 3.5 m にあり、大学レベルでの生産設備としては世界トップクラスである。(右) 同飛跡読み取り設備、6 台の独自の読み取り装置が稼働してる。

反物質にかかる重力 AEGIS : 反物質に対する重力の測定は未だなされておらず、これを測定することは弱等価原理の検証となる。AEGIS 実験では低速の反水素ビームを作り出し、反水素の微小な自由落下 ($\approx 10 \mu\text{m}$) をエマルジョン検出器を用いて調べる方法を提案した。原理実証実験の結果を Nature Communication に発表した [10.1038/ncomms5538]。また、同ビームラインを用い、反陽子と様々な元素との対消滅反応を測定した [10.1088/1748-0221/12/04/P04021]。

反物質の波動性の観測 QUPLAS : 意外にも反物質の波動性に関する研究は多くない。この為、陽電子を用いた現代版「ダブルスリット」実験を世界で初めて行った [10.1126/sciadv.aav7610] (図 4)。この結果は反響が大きく Physics World 誌が選ぶ “Top 10 Breakthrough 2019” に選ばれた。将来的には

QUPLAS 実験にてポジトロニウムにかかる重力測定を行い、弱等価原理の検証を行う。

ミュオンラジオグラフィー Eiger- μ : エマルジョン検出器の高角度分解能を生かし、宇宙線ミュオンを用いて構造物を透視するミュオン・ラジオグラフィーの技術開発を 2009 年より行ってきた。カナダ等での予備実験を経て 2015 年よりスイス国立基金からのサポートを受け、スイスの山岳氷河に対する適用を開始した。これまでにアレッチ氷河・アイガー氷河の測定を行い論文にまとめた [10.1002/2017GL073599][10.1038/s41598-019-43527-6]。測定されたスイス最大の氷河であるアレッチ氷河の上部の氷河下岩盤形状を Figure 4-中央に示す。スイス・ヨーロッパでは氷河による浸食過程には科学的にも災害対策の観点でも高い関心があり、この技術は氷河研究の新しいプローブとして注目されている。現に我々の結果は氷河学の常識から外れるものであり、驚きをもって受け取られた。

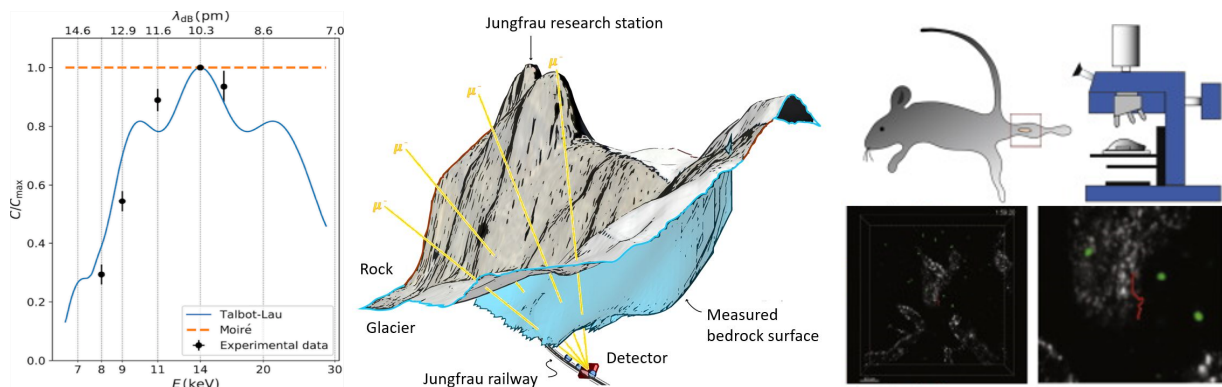


図 4: 左: QUPLAS 実験での反陽子の量子的干渉縞の初測定。中央: ミュオン・ラジオグラフィーによって測られた氷河と岩盤の形状。右: 多光子生体顕微鏡におけるリアルタイムでのデータプロセスとフィードバックによる 1 抗体細胞の長時間トラッキング (マウスのリンパ節中)。

関連技術開発: 上記のようにエマルジョン検出器の用途の多目的化に伴い、独自のエマルジョン検出器の読み出し技術の開発を行ってきた。2008 年より GPU (Graphic Processing Unit) を用いた顕微鏡画像の高速処理を提案し、現在これが業界スタンダードとなっている。GPU による並列計算はハイ・パフォーマンス・コンピューティングの分野におけるソリューションの一つであり、並列化が可能なタスクの処理においては非常に有用である。これを用いて従来難しかった高速の全方位トラッキングを実現した [10.1088/1748-0221/9/04/P04002]。また、GPU の計算パワーを利用してディープラーニングを用いたトラッキングの試行錯誤をしている。その一つに Unsupervised learning (教師なし学習) を用いたトラッキングを開発した [10.1088/1748-0221/15/03/P03009]。これは数あるディープラーニング手法の中でも先進的なものである。一方で、多くの用途 (例えばミュオン・ラジオグラフィー) ではエマルジョン検出器の位置精度は必要とされる精度より 1 桁以上よい。よって、精度をある程度落とし、その代わりに読み出し速度の高速化する方向性を打ち出した。臭化銀のサイズを従来の 5 倍にすることに成功し、理論的には 25 倍の読み出し速度の高速化を可能にした [10.1088/1748-0221/11/03/P03003]。

医学・生物学への応用: エマルジョン検出器の読み出しの為に顕微鏡技術・画像処理技術は素粒子の為だけでなく、汎用性の高いものである。私は医学部免疫学のグループと「高エネルギー物理学の為にハイ・スループット解析ツールを用いた免疫学の生体イメージングの拡張」として学際的プロジェクトを立ち上げた (スイス国立基金より 7000 万円相当の研究費)。多光子顕微鏡の 3 次元イメージをリアルタイム解析するという生物学の分野では採用されてこなかったコンセプトをもとに、これまで難しかった長時間の免疫細胞のトレーシングを可能にし [10.1016/j.jim.2016.08.004]、実用化した [10.1084/jem.20170896] (図 4)。さらにデータテイキングを呼吸等の生体活動と同期することによる歪みフリーなデータテイキングを可能にした [10.3389/fphy.2019.00222]。

CERN でのニュートリノ実験の牽引: メインのニュートリノ実験に関して、私は CERN の加速器を用いたニュートリノ実験をけん引してきたと自負している。中でも SHiP プロジェクトのタウニュートリノプログラムの提案、タウニュートリノ生成を研究する NA65/DsTau 実験 ([10.1007/JHEP01(2020)033] 主要論文 (2)) の提案・立ち上げ (現スポークスマン)、LHC を用いたニュートリノ実験 FASER ν ([10.1140/epjc/s10052-020-7631-5] 主要論文 (3)) の提案・立ち上げ (現共同プロジェクトリーダー) を行ってきた。これらが現在の研究活動の柱となっている。