

# あっという間の43年

名古屋大学

中村 光廣

nakamura@flab.phys.nagoya-u.ac.jp

2024年(令和6年)1月26日

## 1 はじめに

名古屋大学F研の中村です。2023年3月末をもって定年退職となりました。在職中は高エネルギーソサエティの皆様にはたいへんお世話になりました。この場を借りてお礼申し上げます。

大学院進学が1980年ですので、43年間原子核乾板を用いた研究に携わったこととなります。本稿では、時を追って、研究歴を紹介させていただこうと思います。

## 2 大学院時代

1980年に、信州大学から名古屋大学の大学院へ進学。第二の故郷となった松本に一番近い研究できる大学と言うのが名大への進学理由でした。進学後いくつかの研究室に腰掛け的に所属しましたが務まらず、最後に信大時代の冬の学校の講師であった丹羽公雄さんの所へ相談に行き、彼が助手をしていたF研にやっかいになることになりました。当時の教授はチャーム粒子を発見した丹生潔さんでした。

修士時代は、丹羽さんの元で原子核乾板の半自動飛跡解析装置の開発と、FNAL E531実験のニュートリノ反応の解析などを行いました。自分が作った回路が動くとは思ってなかったのですが、丹羽さんの横で回路の修行をしている内にすっかりはまり、朝から晩まで半田付けしていても飽きることなく色んな回路を作っては動かして喜んでいました。

チャームの研究も高統計を必要とする時代になり、ニュートリノから高エネルギーハドロンビームを用いた実験のフェーズになってきたのが博士課程の頃です。原子核乾板の解析を支援するカウンターとして丹羽さんが目を付けたのが、LSI製造技術で製作するマイクロストライプ型のシリコン半導体放射線検出器(SSD)で、私はその開発の担当となりました。浜松ホトニクスに通い500マイクロピッチの3cm角のものを皮切りに、FNAL E653実験に用いる12.5マイクロピッチのもの(容量結合電荷分割型)を開発し、600 GeVの $\pi$ 粒子を用いたE653のセカンドランで実用化。位置分解能にして4マイクロができました。ハレー彗星が戻ってきた前後のころの話です。このころ丹羽さんは原子核乾板に先は

ないと思っていたようで、原子核乾板にかわる高位置分解能検出器としての期待がありました。この時期、Hダイバリオン探索実験KEK PS E176や重イオン反応実験CERN EMU09等でSSDの活用を行ったほか、両面ストライプデバイスやLSIチップを用いた読み出しを備えたSSDの開発を浜松ホトニクスと共同で行いそれなりの成果を得ました。

最初の500マイクロピッチの試作品が出来てきたころ、E531実験でつながりのあったKEKの近藤敬比古さんがこられて、当時計画が始まっていたSSC(Superconducting Super Collider)の高放射線環境下でも使える検出器としてSSDの可能性を知りたいとの事でした。デバイスの照射がFNALのニュートリノビームを生成するための高輝度照射ゾーンで行われて、どのような放射線損傷が起きているか、どれぐらいまで耐える事ができるか等の解析を担当する事になり、結局その結果をまとめたものが私の博士論文となりました。損傷のメカニズムに迫り、納得がいくものに出来たのは1988年の事です。修士進学後学位取得まで9年かかりました。

## 3 スタッフとして

1989年に助手としてF研に雇ってもらった頃、チャーム・ビューティの研究は、原子核乾板では必要とする統計増に対応出来なくなって来ており、転機を迎えていました。

### 3.1 CHORUS 実験

FNALにいた理論家ハイム・ハラリさんが、短基線ニュートリノ振動実験でニュートリノが暗黒物質である可能性をさぐるという話を持ってきたのはこのころです。ニュートリノが暗黒物質であれば10~100 eVの質量(差)をもち、ミューニュートリノを1 kmほど飛ばし、振動して現れたタウニュートリノを検出することによって、仮説の検証が可能であるというものでした。E531実験が出していた同様の実験結果を評価しての提案でした。

こうして立案されたのが日欧共同実験CHORUSです。実験感度を上げるためにE531比一桁上の標的質量~1トンが必要で、大面積の原子核乾板をたわみなく作るための技術開発、またその解析を支援するための大面積の位置検出

器が必要となり、私は蛍光ファイバーをシート化して作るトラック-SFTの開発・実用化を担当しました。

シンチファイバーの高輝度化と長寿命化を、当時4年生の佐藤修さん(現名大特任准教授)を中心に、クラレと共同で行い、またシート化する装置を、同じく当時4年生の中野敏行さん(現名大准教授F研PI)を中心に、大学の技術開発室と共同で行いました。この装置でクラレが製造した総長3000kmのファイバーをシート化し、CERNに持ち込み、CERNの技術者たちと検出器にくみ上げました。シートの評価は大阪市大の院生だった中村健悟さん(現大阪物療大学教授)が担当しました。信号の読み出しには浜松ホトニクスと共同で開発した大口徑のイメージンテンシファイヤーを用いました。

スケールアップした乾板の解析には、原子核乾板自動飛跡読取装置の実用化が必要でした。自動飛跡読取装置は1970年代に丹羽さんによって原理提案され、1980年代前半に鳥居伸祥さん、青木茂樹さん(現神戸大教授)らによりプロトタイプが製作されて原理実証がされていましたが、中野さんが当時最新のデジタル技術を導入して実用化しました。

結果的にはタウニュートリノ事象は検出出来ず暗黒物質としてのニュートリノの可能性を排除することになりましたが、その後の自動飛跡読取装置を駆使する原子核乾板技術の発展はこの実験に始まったといえます。

### 3.2 DONUT 実験

ほぼ並行して、原子核乾板技術でタウニュートリノの検出が可能である事を示すために行ったのが日米共同実験DONUTです。基本的にCHORUSのために開発した技術を用いましたが、ビームダンプ実験特有の高いビーム由来バックグラウンドに対応するための技術開発が別途必要でした。

タウニュートリノを含むプロンプトニュートリノビームは米側のパイロン・ルンドバーグさんとビットリオ・パオローンさんを中心とするFNALのチームにより作り出されました。原子核乾板に記録された高密度の飛跡の読み出し、その中でニュートリノ反応の同定に関しては、記録されているあらゆる角度の飛跡を読み出す自動飛跡読出装置UTSを中野さんが開発し、読み出されたすべての飛跡を用いた反応解析手法NETSCAN(これは今日では当たり前となっているものですが)を野中直樹さん、小松雅宏さん(現名大准教授)、児玉康一さん(現愛教大教授)らが開発し、タウニュートリノの検出に本質的な役割を果たしました。このUTSとNETSCANの基本設計は、その後の原子核乾板解析を方向付けたKey技術となっています。

DONUTでは原子核乾板標的として、1970年代以前の宇宙線の研究で用いられていたECCと呼ばれる構造(鉄板や鉛板と原子核乾板のサンドウィッチ構造)が用いられています。元々は、CHORUSと同じ、鉄板や鉛板を用いないフル原

子核乾板の構造(バルク標的)を用いる予定だったのですが、原子核乾板を必要量購入する予算がつかず、足らなくなった標的質量を補うためにECCを復活させた訳です。共同研究者会議に出るために渡米途中の空港の待合室で丹羽さんにこの提案をした時の彼の反応は、「それならば神岡のポイントをねらう100トンの実験が出来る。」というものでした。高山のニュートリノ国際会議の4年ほど前の事です。

### 3.3 OPERA 実験

1998年の高山会議の結果を受けて立案されたのが日欧共同実験OPERAです。OPERAは約10万 $\text{m}^2$ の原子核乾板を1200トンの鉛と組み合わせた史上最大規模の原子核乾板実験です。このような大きな規模を必要とした理由は、ニュートリノ発生源CERNから730Kmはなれたイタリアグランサッソーで実験を行う長基線ニュートリノ振動実験だったからですが、突破すべきは10万 $\text{m}^2$ の原子核乾板の準備と、ニュートリノ反応点を合理的時間内に同定するための高速の読取装置の開発でした。

フィルムの生産は、富士写真フィルムがカラーフィルムの製造設備を使って製造してくれることで突破しましたが、このタイミングより遅ければ写真フィルムの市場が消滅していて、はたしてメーカーでの製造ひいては実験の実現が可能であったかどうか怪しいところです。読み取り装置の方は、中野さんがUTSの約70倍高速のシステムSUTSを開発・量産し突破しました。

OPERAはDONUTの約3000倍の規模であり、今思うとこの三桁のジャンプはかなりクレージーなことでした。何度か本当に筆舌に尽くしがたい事態におちいりましたが[1]、なんとか克服して、2015年のノーベル賞に結果を間に合わせる事が出来たのは、日欧の古手若手の共同研究者諸氏、ご協力をいただいた皆さんの、なみなみならぬご尽力によるものであります。皆さまに深く感謝いたします。

### 3.4 OPERA 末期～退職まで

OPERA遂行中に丹羽さんが定年退職し、2010年に研究グループを引き継いだわけですが、原子核乾板の将来には大きな暗雲が漂っていました。フィルム市場消滅によるメーカーの撤退、原子核乾板製造の中止です。原子核乾板がもつ可能性について、中野さんらと検討し、その存続の価値があると判断して、海外メーカーでの製造を含めいろんな可能性をさぐりました。

そんなころお付き合いのあった企業の写真科学の研究者の方から、「大学で作ってはどうか。私たちも協力する。」と言う申し出があり、企業で写真乳剤の製造装置の開発を担当し、退職後装置の会社を作っておられたOB技術者の方を紹介いただき、我々の用途にあった小型装置の設計をしていただく事ができました。ちょうどそのころノーベル賞を受

賞された益川敏英さんをヘッドにした研究所を名大に作るという話になり、渡りに舟とばかりに、設立資金の一部を使わせていただいて乳剤製造装置の導入ができました。

乳剤開発は長縄直崇さん（現名大特任助教）、中竜大さん（現東邦大学准教授）を中心に、企業OBの写真技術者の方々の協力の下に推進し、導入後1年も経たないうちに世界最高感度の原子核乳剤の開発に成功し、内製化に目処を付けることが出来ました。その後獲得した外部資金で、六條宏紀さん（現名大助教）と大学の技術職員を中心としてスケールアップを図り自給体制をほぼ確立、今日に至っています。

読み取り装置に関しては、中野さんがSUTS開発直後から暖めていた構想を、これもまた研究所の設立資金の一部と外部資金で具現化し、SUTSよりさらに高速のHTSを開発・実用化、様々なプロジェクトのフィルムを読み出しに使われています。並行しさらに高速なものの開発が進んでいます。

原子核乾板は、自分で塗布して用途に合った検出器/フィルムを作る事ができ、面積当たりのコストも安いと言う特徴があります。整えてきたインフラを用いれば、初期コストをあまりかけずに試験的な実験を行う事ができ、それがうまくいけば量産による規模拡大も容易です。

現在、佐藤さん、有賀智子さん（現九州大学准教授）、有賀昭貴さん（現千葉大学准教授）らを中心とするCERN SPSでのDsTau実験やLHCでのFASER $\nu$ 実験、小松さんらを中心とするLHCでのSND実験、福田努さん（現名大特任講師）らを中心とするJ-PARCのNINJA実験など、複数のニュートリノ関連実験が走っています。それ以外にも、青木さん、高橋寛さん（現神戸大特命助教）、六條さん、中村悠哉さん（現名大特任助教）らを中心とする気球搭載型大口径高分解能 $\gamma$ 線望遠鏡プロジェクトGRAINE、森島邦博さん（現名大准教授）、北川暢子さん（現名大特任助教）らを中心として推進しているミュオンイメージングプロジェクト、中さんらがグランサッソーで進めている暗黒物質の方向性検出のプロジェクトNEWSdm、長縄さんらが中性子グループと進めている高精度中性子検出器をもちいた未知力の探査など、多方面にわたる多様なプロジェクトが進行中です。今後のさらなる展開を期待したいと思います。

## 4 おわりに

原子核乾板は100年以上の歴史を持つ放射線検出器です。その発明のきっかけとなる発見に日本人研究者が関係していたことから、日本人に縁のある検出器であると我々は言うてきました。時代の流れの中で、これまでに何度か消滅しかかりましたが、他に類を見ない高い3次元の位置分解能をはじめとする諸特性と、それを時々の先端的な研究テーマに活用しようとする研究者たちの工夫の積み重ねにより、今日までその命脈を保ってきています。

特に私が関係したこの40年ほどは、チャーム、ニュートリノという絶好の物理テーマに恵まれ、デジタル技術の爆発的発展の時流にも乗り、大きな変革と展開をみせた時期でした。このような時期に、タイミング良く原子核乾板を駆使する研究者人生を送ることが出来た事は、本当に幸運であったと思います。万事塞翁が馬、捨てる神有れば拾う神あり……。まったく先人の教え通りの43年でありました。捨ててくれた神にも、拾ってくれた神にも深く感謝する次第です。

素粒子宇宙物理学分野はまだ未解明の事も多く、このあとのような展開を見せて行くのか楽しみです。ニュートリノ振動の研究で、1990年初頭の予想がことごとく裏切られて、最終的に神岡の実験が見つけたパラメータに収束していったように、思わぬ展開がこのあと待っているのでは無いかと期待しています。皆様のご活躍を祈念しております。

### 参考文献など

[1] このうち、ニュートリノ速度の一件に関しては、2012年10月20日発行の名大理学広報誌理フィロソフィア第23号にまとめた記事を寄稿しています。

<https://www.sci.nagoya-u.ac.jp/publication/files/pdf/23.pdf>

### 謝辞

この場を借りて、研究の道に導いてくださった宮地良彦先生をはじめとする母校信州大学の先生方、名大F研究室の先哲丹羽公雄さん、丹生潔さんにお礼申し上げます。また研究を進めて行く中で共に人事を尽くしてくれた共同研究者のみなさん、関係者のみなさんにも心から感謝の意を表します。一緒に仕事できて本当に面白かったです。

最後に高エネルギーニュースに記事の掲載を勧めてくださった編集委員のみなさんにお礼申し上げます。特に辛抱強く記事を待ってくださった担当の中村輝石さんに感謝いたします。