

■会議報告

NNN13 報告

東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

中山 祥英

shoei@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp

2013年12月3日

1 はじめに

2013年11月11日から13日にかけて、東大柏キャンパスにあるKavli IPMUにおいてNNN13が開催された。NNNはInternational Workshop on Next generation Nucleon Decay and Neutrino Detectorsの略称であり、その名が示すとおり核子崩壊探索およびニュートリノ観測のための次世代大型検出器について議論する国際ワークショップのシリーズである。1999年にニューヨーク州立大学において第1回が開かれて以降ほぼ年に1回のペースで開催されており、NNN13で14回目となった。ちなみに過去に日本で開かれたのは、浜松でのNNN07と富山でのNNN10である。

1999年という、前年にSuper-Kの大気ニュートリノ観測によって初めてニュートリノ振動の存在が明らかにされ、K2Kが実験を開始した年であるから、筆者にはずいぶん昔のころのように感じられる。ご存知のように、その後も日本を中心とする数々の実験によりニュートリノ振動の理解はすさまじいスピードで発展し、今年2013年にはついに、混合角 θ_{13} が非ゼロの値を持つことによる ν_e 出現現象($\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動)がT2K実験によって 7σ 以上の有意性で観測されている[1,2]。この成果を受けて、ニュートリノ振動研究は残された課題であるニュートリノCP対称性の破れや質量階層性の解明をめざす新しい時代へといよいよ突入したといえる。これらの課題に結論を出すためにはやはり新たなニュートリノ検出器が必要であり、1999年には“Next generation”として検討の始まっていた次世代大型検出器は、いまこそ実現すべき段階に来ているのである。

2 会議の様子・内容

NNN13には約120名の研究者が参加し、そのうち半数は外国の研究機関からの参加者であった(図1)。わが国が牽引してきたといえるこの分野ではあるが、欧米はもちろんのこと、近年 θ_{13} 測定でめざましい成果をあげたDaya Bay(中国)やRENO(韓国)といった原子炉ニュートリノ実験に代表されるように、いまや世界全体に広がりを見せている。会議では、各地で現在行われている実験の最新結果や今後の予定の報告に続き、将来計画については(核子崩壊に感度をもたないという意味で)NNN検出器の枠組みには入らないものまで含めて幅広く、その紹介やR&D進行状



図1 参加者集合写真 (Kavli IPMU 研究棟 正面入口前にて)

況の報告、今後の進め方についての議論が行われた。30を超える口頭発表が行われたが、以下では一部をかつまんで紹介する。詳しい内容については、発表スライドが会議のウェブページ[3]で公開されているので、そちらを参照していただきたい。

初日は、NNN(次世代核子崩壊・ニュートリノ検出器)のめざす物理の素粒子論および宇宙物理学サイドからの紹介に続き、世界各地で進行中の実験のレビューが行われた。自然ニュートリノ観測実験と名のついたセッションでは、個人的には核子崩壊探索の話題が興味を引いた。Super-Kでは、超対称大統一理論で主要な崩壊モードと考えられている $p \rightarrow \bar{\nu}K^+$ に対する感度をハードウェアと解析両面の改良により向上しており、これまで探索してこなかった崩壊モードについても幅広く探索をすすめている。KamLANDは、水チェレンコフ検出器とは違い K^+ を直接検出できることを活かし、波形情報を使って上記崩壊モードの探索をすすめている。近いうちに公表されるという結果がどのようなものになるのか楽しみである。加速器ニュートリノ実験のセッションではT2K・MINOS・OPERA・ICARUSの最新結果やNOvA実験の立ち上げ状況等の報告が、続くセッションでは共に競合する実験同士の激しい競争が繰り広げられてきた原子炉実験(Double Chooz・Daya Bay・RENO)とニュートリノレス二重ベータ崩壊探索実験(GERDA・EXO・KamLAND-Zen等)のレビューが行われた。ニュートリノ振動研究に残された課題に現行実験の枠組みで将来

的にどこまで迫れるかといった議論もあったが、T2K と NOvA など他実験が協力しても CP 対称性の破れについて結論づけるのはかなり難しいだろうというのが正直な意見である。このほか、将来の加速器実験においてニュートリノ-原子核反応の理解がいかに大切であるか、また理解をすすめるためにどのようなアプローチが考えられるか、について良くまとめられた発表があり、前置検出器のデザインなどにおいて非常に参考になる内容であった。

レセプション前のポスターセッションでは、30 を超えるポスター発表があった。過去の NNN 会議での 20 前後という数と比較すれば、ずいぶん多いことが分かる。実際、会場がやや狭い・アルコール禁止！などの制約はあったものの、非常に盛況であった。ポスターセッションということでやはり各国の若手研究者による発表が多く、NNN 実験において中核を担っていくことになる研究者たちにとって、自分のやっていることについていろいろな意見を聞く良い機会になったのではないだろうか。

2 日目は、大気および宇宙ニュートリノ観測の現状報告と将来計画の紹介からスタートした。IceCUBE にしても ANTARES に代表される海中実験にしても、振動研究においても競争力を持つべく、より低いエネルギーのニュートリノ観測を実現するための拡張を計画している。磁場をかけた 50 キロトンの巨大鉄カロリメータで大気ニュートリノを地下観測する計画であるインドの ICAL@INO では、小型プロトタイプを現在製作中である。液体シンチレータ実験のセッションでは、10 キロトンオーダーの液体シンチレータを用いた原子炉ニュートリノ測定で質量階層性の解明をねらう JUNO や RENO50 の紹介などがあった。

NNN のための光センサ開発については、コストを抑えつつ効率良く光検出を行うためのアイデアがいくつか紹介されたほか、Hyper-Kamiokande での採用をめざして開発中の新型ハイブリッド光検出器の試験状況も報告された。現在は、ガラス部分の直径が 20cm のプロトタイプを数本、神岡坑内の 200 トン水チェレンコフ検出器に取り付けて試験しているところである。なお、NNN13 の会場には浜松ホトニクスが製作したばかりの 50cm ϕ ハイブリッド光検出器プロトタイプが展示され、参加者の注目を集めていた。

2 日目午後のセッションでは、NNN と密接な関係にある今後の加速器ニュートリノビームについて、ヨーロッパ・アメリカ・日本の状況が報告された。CERN では、検出器 R&D やステライルニュートリノ探索などを目的とした短基線の新ニュートリノビームラインの設計が行われている。Fermilab では、LBNE のビームラインについてまずは 700 kW を目標とした概念設計が完了したところである。J-PARC では、加速器の繰り返し周期を 1 Hz 近くまで引き上げる（現在は約 0.4 Hz）ことで陽子ビームの出力を数年のうちに設計強度 750 kW まで持っていく予定であり、

ニュートリノ施設においてもそれを受け入れ可能にするための機器のアップグレードの準備がすすめられている。

次世代水チェレンコフ検出器のセッションでは、わが国の Hyper-Kamiokande 計画について、候補地の地質調査や空洞形状および水槽設計の最適化、検出器各要素の R&D、シミュレーションプログラムの開発などが着実に行われていることが報告された。年に 2 回のペースで行われている Hyper-K オープンミーティングを通じて拡大を続ける国際グループでは、2016 年頃にも建設を開始できるようにあらゆる準備をすすめているところである。

最終日のセッションでは、水チェレンコフ検出器とならんで NNN の候補である液体アルゴン TPC について、アメリカとヨーロッパでの開発の現状が報告された。LBNE の後置検出器として 10 キロトンオーダーの液体アルゴン TPC を計画しているアメリカでは、2014 年夏にもコミッショニングが始まる 150 トンの MicroBooNE 検出器などによって開発要素の実証試験を行う予定である。ヨーロッパでは、次期長基線実験の後置検出器として 20 キロトン超の二相式アルゴン TPC 建設をめざしており、そのステップとする約 300 トンのプロトタイプ検出器の技術設計書を 2014 年夏に提出する予定である。

3 おわりに

多くの参加者が宿泊する JR 柏駅近辺から会場までは毎日シャトルバスが運行され、会場にはどれにしようか迷ってしまうほどいろいろなパン（おいしい！）が朝食として用意されるなど、いたれりつくせりといった印象であった。柏の葉キャンパス駅付近のガーデンつきレストランで行われた 2 日目夜のバンケットも、非常に好評であったようだ。

冒頭にも述べたが、遠い将来であったはずの次世代大型核子崩壊・ニュートリノ検出器は、近年の実験によるめざましい成果をうけて、いまやすぐにでも実現すべき対象になった。その実現にむけ、国際協力・国際分担のもと研究開発をより加速させる必要がある。その意味で、この NNN ワークショップのシリーズは、今後より一層重要性を増してくるものと思われる。NNN14 は、2014 年 11 月 4 日から 3 日間、パリで開催される。次回の NNN では、現行実験のレビューを減らし次世代検出器の R&D についての議論により多くの時間をかける予定とのことである。

参考文献

- [1] K. Abe *et al.*, arXiv:1311.4750.
- [2] 高エネルギーニュース **32-2**, 59 (2013).
- [3] NNN13 ウェブページ

<http://indico.ipmu.jp/indico/conferenceDisplay.py?confId=17>