

■ 会議報告

HINT2015 研究会の報告

KEK 素粒子原子核研究所/J-PARC センター素粒子原子核ディビジョン

関口 哲郎 三部 勉 森野 雄平

tetsuro.sekiguchi@kek.jp mibe@post.kek.jp ymorino@post.kek.jp

理化学研究所/大阪大学核物理研究センター

大西 宏明

h-ohnishi@riken.jp

2015年11月18日

1 概要

1.1 はじめに

平成27年10月13日から15日にかけて、いばらき量子ビーム研究センター(茨城県東海村)にて、The international workshop on future potential of high intensity proton accelerator for particle and nuclear physics (HINT2015) が開催されました。国内外から129名の研究者が参加し、大強度陽子加速器をもちいた素粒子原子核分野の現状と将来について、理論的・実験的・技術的な観点で、熱い議論を交わしました。(本研究会のホームページは、<http://j-parc.jp/pn/HINT2015/>)

1.2 研究会の趣旨

近年の素粒子原子核研究において、より精密な測定やより稀な現象への探求が、盛んに行われています。加速器をもちいた研究では、ビームの大強度化を図ることにより、研究を大きく進展させることが可能になります。J-PARCでは、加速器関係者の並ならぬ努力により、設計ビームパワーである1 MW (3 GeV ビーム) および0.75 MW (30 GeV ビーム) の実現が、目前まで近づいてきました。また、実験サイドでは、長基線ニュートリノ振動実験であるT2K実験が、 $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動現象を発見[1]するなど、大きな研究成果も得られています。一方、米国のFNALで速い取出しによる陽子ビームのビームパワー世界最高記録を更新[2]し、スイスのPSIで世界最大強度のミュオンビームを実現しているなど、世界のさまざまな研究施設で大強度ビームの必要性が高まっています。そこで、J-PARCでは、大強度ビーム施設として国際的に高い競争力を持ち、国内外の多くのユーザーに魅力のある施設となるべく、設計ビームパワーを超えたさらなる高いビームパワーを目指す方針が検討されています[3]。このような方針のもと、1 MW を超えるビームパワーを達成するための大強度加速器および大強度ビームの現状や技術的な課題について議論し将来的な展望をまとめること、また、大強度ビームによってひらかれる新たな物理を議論することを目的として、本研究会が開催されました。本研究会は、2012年12月にJ-PARCで開催されたFuture direction of Proton Intensity Frontier[4]につづく研究会ですが、今回は海外の研究者を多数招

待して国際的な研究会とし、また、技術的、物理・実験的の両面から相互的な議論ができるよう、プログラム構成を行いました。

2 研究会の内容

本研究会では、大強度加速器および大強度ビームに関する技術的なものから、素粒子原子核分野の理論・実験的なものまで、広範囲なトピックをカバーしました。プログラムは、42名の研究者による基調講演に加えてポスターセッションがあり、多くの参加者に様々なアイデアを披露していただきました。129名の参加者のうち、6割以上の方々が発表に参加したことで、多くの活発な議論ができました。

2.1 初日

2.1.1 オープニングセッション

齊藤直人 J-PARC センター長が、冒頭の挨拶で梶田隆章氏と A. McDonald 氏のノーベル賞受賞に触れると、会場全体が拍手の渦につつまれました。また、研究会としては異例のテレビ局の取材陣が会場に入り、研究会の一幕を撮影しておりました(図1)。センター長は、本研究会へのメッセージとして、物質起源の探求および新物理の探求のため、大強度ビームの追求が重要であることを、あらためて強調されました。つづいて、北野龍一郎氏(KEK)により、素粒子物理の“Grand picture”について講演が行われました。CPの破れやフレーバー物理は、ヒッグスとは何かという問題と密接な関連があることが、様々な例をもとに説明されました。また、山中卓氏(阪大)からは、大強度ビームをもちいた実験を考案する上で必要な検討要素について触れ、学生や若手研究者の参考になるような、分かりやすく有益なお話をいただきました。



図1 冒頭挨拶を行う齊藤センター長(左)および会場風景(右)。J-PARC センター広報伊藤氏提供。

2.1.2 加速器セッション

J-PARC, FNAL, CERN, PSI, GSI の 5 施設の加速器全般の講演と、加速器技術に関する 3 つの講演が行われました。小関忠氏 (KEK/J-PARC) による J-PARC の講演では、MLF 向けのビーム試験での 1 MW 達成, stretcher ring を用いたハドロンビームとニュートリノビームの同時運転に関する検討案, 2026 年までに 30 GeV ビームで 1.3 MW の実現を目指すことなどが報告され、多くのユーザーにとって魅力的な方向性が示されました。つづいて R. Zwaska 氏 (FNAL) より、FNAL においてニュートリノ実験向けに 521 kW が達成され来年 4 月には 700 kW に到達する予定であること、将来は超伝導リニアックを増設して 1.2~2 MW に達するシナリオであることが報告されました。その他、CERN での長年の陽子加速器の運転経験、PSI のサイクロトロンにおいて 1.4 MW (2.2 mA) での運転実績や 1.8 MW (3 mA) への増強計画、GSI で建設中の FAIR 加速器などの報告があり、各施設で方式やエネルギーは違いますが、大強度化に向けた様々な取り組みを聞くことができ、大変興味深いセッションとなりました。

2.1.3 原子核物理セッション

大強度ハドロンビームがひらく新しいハドロン原子核物理の可能性についての議論が行われました。最初に大西明氏 (京大基研) により、ハドロン/原子核を QCD 多体系として捉え、その特徴が顕著に現れる“エキゾチック”な現象が、J-PARC で実現できる大強度ビームを背景にした多種多様な実験で明らかにされるであろうという理論的な期待が示されました。つづいて、ハイパー原子核研究の観点からエキゾチック核力に迫るという講演を三輪浩司氏 (東北大) に、高密度核物質生成実験としての J-PARC での重イオン加速の可能性とその物理を佐甲博之氏 (JAEA) に、ハドロン内有効自由度の探索および新たな高分解のビームラインで開拓する新しい物理の可能性を野海博之氏 (阪大 RCNP) に、そして最後に、高運動量一次ビームラインで行う核子内部構造の詳細研究に関する議論を中野健一氏 (東工大) に行っていただきました。

2.1.4 ポスターセッション

いばらき量子ビーム研究センターの東海村交流プラザにおいて、ポスターセッションが行われました (図 2)。加速器、中性子、ミューオン、ハドロン、ニュートリノの幅広い分野から計 36 件のポスター発表が行われました。食事と飲物を手に取り、リラックスした雰囲気活発な議論が繰り広げられました。

2.2 二日目

2.2.1 ニュートリノ物理セッション

日米での長短基線ニュートリノ振動実験およびニュートリノ反応断面積測定について議論が行われました。H. Tanaka 氏 (Toronto 大) より、T2K 実験のこれまでの成果および最新の反ニュートリノをもちいた実験結果、さらに今後の拡張計画が紹介されました。また、Hyper-Kamiokande 計画でレプトンにおける CP 対称性の破れの発見を目指す



図 2 ポスターセッションの様子。

方向性が紹介されました。Z. Djurcic 氏 (ANL) は、米国における現在・将来の加速器ニュートリノ実験についてレビューし、NOvA 実験が 1 年程度のデータですでに 3σ 以上で電子ニュートリノ出現を確認し、T2K 実験に迫る勢いがあることが示されました。丸山和純氏 (KEK) は、最近 J-PARC で立ち上がった様々なニュートリノ実験についてレビューしました。特に MLF でのステライルニュートリノ実験 (JSNS² 実験) で、パルス陽子ビームをもちいることで低バックグラウンドでの実験が可能となり、既存の他実験の結果をより高い精度で検証することができるとの紹介がありました。

2.2.2 中性子物理セッション

A. Young 氏 (North Carolina 州立大) により、中性子実験の現状と将来の方向性についてのレビューが行われました。宇宙でのバリオン非対称やビッグバン元素合成の謎に迫るために、中性子-反中性子 ($N-\bar{N}$) 振動、中性子電気双極子能率 (nEDM)、および中性子の寿命の超精密測定が非常に重要であることが強調されました。つづいて、G. Muhrer 氏 (ESS) により、超冷中性子源に関して収量を上げるための新たな提案がなされました。最後に、北口雅暁氏 (名大) により、国内の中性子実験のレビュー講演が行われました。J-PARC MLF に建設された中性子ビームラインを使って、中性子寿命測定や nEDM 測定などの様々な実験が行われることが紹介されました。

2.2.3 大強度ビームセッション

大強度陽子ビームをもちいた二次ビームラインの現状と将来の方向性について議論が行われました。関口 (筆者) による J-PARC ニュートリノビームに関する講演で、1.3 MW の陽子ビームを受け入れるための二次ビームラインの増強案やニュートリノ収量増加のための改良案が紹介されました。M. Bishai 氏 (BNL) により、FNAL で稼働中のニュートリノビームラインの現状および将来の長基線ニュートリノ実験に向けた新たなビームラインの設計検討が紹介され、2027 年に新ビームラインの稼働開始を目指すことが報告されました。澤田真也氏 (KEK/J-PARC) は、J-PARC ハドロンビームラインを説明し現状の二次ビームラインに加えて、高運動量/COMET ビームラインや将来のハドロンホール拡張計画に触れ、ハドロンビームラインの多様化に向けた取り組みを紹介しました。最後に、M. Calviani 氏 (CERN) により、CERN における陽子ビームをもちいた数多くの固定標的実験について説明があり、また現在計画中のビームダンプ実験 (SHiP 実験) に関する紹介もありました。

2.2.4 ミューオン物理セッション

ミューオンを用いたレプトンフレーバーの破れを探る過程, 異常磁気能率($g-2$)・電気双極子能率についての議論が行われました。S. Davidson 氏 (IPN Lyon) による理論の講演では, 標準模型を超える物理現象との関連について系統だった紹介があり, 実験で発見があったときの理論的なシナリオと LHC との関係について議論しました。つづいて, M. Lee 氏 (韓国 IBS) により, ミューオン電子転換過程の探索実験について J-PARC で進めている COMET 実験と FNAL で進めている Mu2e 実験に関する計画と準備状況の紹介がありました。A. Papa 氏 (PSI) は, この過程と相補的な関係にある $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の探索を行う MEG 実験と現在進行中のアップグレードについて報告しました。最後に, $g-2$ と EDM の精密測定について, FNAL で行う実験計画と, 極冷ミューオンを使う全く新しい手法で行う J-PARC の計画について E. Won 氏 (Korea 大) が紹介しました。また, 関連するポスター発表・大強度ビーム技術セッションの講演との横断的な議論が盛り上がりました。

2.2.5 集合写真および懇親会

中性子セッション終了後の昼休み前に, 集合写真を撮影しました (図 3)。また, 二日目のセッション終了後に懇親会が開催されました。多くの参加者に出席していただき, 盛況に懇親会が開催できたことに感謝いたします。

2.3 三日目

2.3.1 大強度ビーム技術セッション

本セッションでは, 大強度ビームを実現する上で鍵となる機器・装置に関して, ビーム窓 2 件 (MLF, ニュートリノ), 標的 4 件 (ニュートリノ標的, ハドロン標的, 中性子標的, ミューオン標的), 新しいミューオン源, 中性子収束装置, 遠隔メンテナンス 2 件 (MLF, ニュートリノ) の講演がありました。総評として, それぞれの条件や用途に応じて機器の設計がなされていますが, 大強度ビーム機器は, 熱負荷・放射線損傷による強度低下などの重要な開発要素のほかに, 機器の高放射化のため, 故障時の遠隔交換シナリオを確立して機器設計を行うことが同様に重要となる, ということが強調されました。そのことは, 本セッションの多くの発表者が, 遠隔交換について触れていたことに現れていました。

2.3.2 K 中間子物理セッション

K 中間子を用いた研究について, 理論的展望, J-PARC・CERN それぞれで行われている K 崩壊実験の 3 講演が行われました。M. Gorbahn 氏 (Liverpool 大) は, 測定と理論の進展の歴史を振り返り, 近年の計算手法の進歩による標準模型の予言精度の向上・新物理への感度について議論されました。つづいて, G. Lim 氏 (KEK) により J-PARC KOTO 実験 (K_L 稀崩壊) と E36 実験 (レプトンユニバーサル性の検証) の紹介がありました。KOTO 実験の 2013 年データの紹介とその結果, 2015 年のデータ収集状況, および将来の展望が示されました。最後に B. Velghe 氏 (Louvain) より, CERN NA62 実験 (K^+ 稀崩壊) はパイロットランを



図 3 二日目に撮った集合写真。

経て実験準備が完了し, ビーム強度を上げて物理データを収集しつつあるという報告がありました。近い将来, J-PARC・CERN の両施設から新しい物理結果が得られるというエキサイティングな時代が到来していることがよくわかりました。

2.3.3 Closing remarks

最後は, 中家剛氏 (京大) による総括で, 本研究会が閉幕しました。中家氏はその講演の中で, 2008 年に開催された NP08 [5]での故戸塚洋二先生のスライドを引用し, 魅力的な新しい結果・新しいアイデアを迅速に出し続けていくことの重要性を強調しました。

2.3.4 J-PARC ツアー

研究会終了後, 施設見学希望のあった国内外の 16 名で, J-PARC ツアーを行いました。約 2 時間の行程で, MLF 実験室, ニュートリノ前置検出器ホール, ハドロン南実験棟の各所の見学を行いました。

3 最後に

本研究会は, 10 月中旬の開催ということで, 大学関係の方々にはお忙しい中ご参加いただき, 誠に感謝いたします。また, J-PARC ハドロンビームの供用開始時期と重なり, 加速器および実験関係者の皆様にはご多忙中ご参加いただけたことに, 感謝いたします。非常に多くの方々にご参加いただきましたことは, 主催する側として誠に喜ばしい限りであります。全体的に時間の余裕がなく, 議論の時間が短くなってしまいました。次回は未定ですが, 次の開催に向けた反省点として, 改善していきたいと思えます。

最後に, 本研究会の運営に携わっていただきました多くの皆様に, 感謝いたします。本研究会は, J-PARC センター, KEK 理論センター, 科研費新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」のサポートにより運営することができましたことを, 重ねて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] K. Abe *et al*, Phys. Rev. Lett **112**, 061802 (2014).
- [2] FNAL の以下の News Release 記事を参照。
http://www.fnal.gov/pub/presspass/press_releases/2015/Accelerator-World-Record-20150708.html
- [3] Workshop for Neutrino Programs with Facilities in Japan の小林隆氏の発表スライドを参照。
<https://kds.kek.jp/indico/event/19079/>
- [4] <https://kds.kek.jp/indico/event/11459/>
- [5] <http://j-parc.jp/researcher/Hadron/NP08/>