

会議報告

Nuclear Photonics 2016 国際会議報告

羽島 良一*

Report of Nuclear Photonics 2016

Ryoichi HAJIMA*

光は物質の構造や性質を探るプローブとして、また、物質の機能発現や反応制御をつかさどるツールとして現代の科学と産業に欠かせないものとなっている。この背景には、レーザーの発明にはじまるコヒーレント光源の進化、シンクロトロン放射光源による X 線の高輝度化があることは、繰り返し述べられてきた。レーザー、加速器技術のやむことのない発展は、高エネルギー領域 (1 MeV 以上) においても光源の高輝度化をもたらしつつある。このような高エネルギーの光 (1 MeV 以上の光をガンマ線と呼ぶことにする) の波長は、原子核の大きさ以下であり、原子核がもつ電磁気モーメントを介して原子核と相互作用を行う。Nuclear Photonics は、光を使った原子核の構造や性質の探索、原子核の変換や新しい原子核の創成、これらの産業利用を含んだ学問領域を指す新語である。この Nuclear Photonics を冠する最初の国際会議が米国モンレーで 2016 年 10 月 16 日から 21 日まで開催された。主催者 (共同議長) の一人として会議の様子を簡単に報告する。

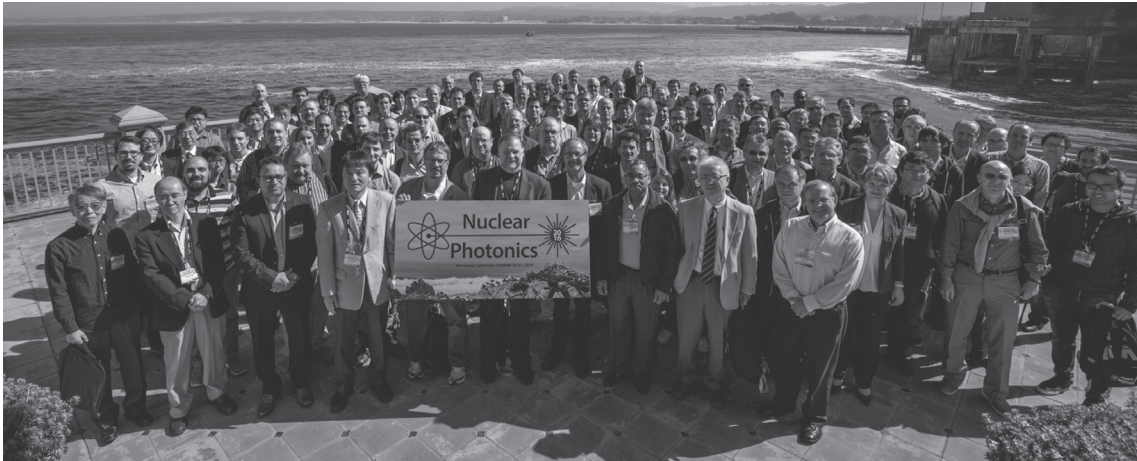
会議には 125 名の参加者、82 件の口頭発表、44 件のポスター発表があった。加速器、レーザー、原子核物理の研究者に産業界からの参加者が加わった構成であった。会議の冒頭では、共同議長であり会議をホストしたローレンス・リバモア研の Christopher Barty 氏から歓迎のあいさつとともに、本会議の開催にいたる経緯が述べられた。2014 年 1 月に JAEA が東海村にて “Nuclear Physics and Gamma-ray Sources for Nuclear Security and Safeguards” を開催し、この会議にてガンマ線と原子核の相互作用に基づく諸技術の

核セキュリティ・保障措置への応用が議論された。これに参加した Barty 氏が次の会議の主催者として名乗りを上げ、会議の名称を変えて開催したのが Nuclear Photonics 2016 (NP-16) である。

NP-16 の最初のセッションでは、ルーマニアに建設中の ELI-NP (Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics) から 5 件の発表が並んだ。ELI-NP は 2 台の 10 ペタワット・レーザーとレーザー・コンプトン散乱 (LCS) ガンマ線源の複合施設である。2018 年の完成に向けた作業が順調に進んでいる様子が、今年 9 月に Science Director に就任した田中和夫氏 (元大阪大学教授) から報告された。日本からの実験提案も大いに歓迎するとのことである。ELI-NP の LCS ガンマ線源は 720 MeV の C-band リニアックと Yb:YAG レーザーを使い、1-20 MeV のガンマ線を 10^4 ph/(s eV) のスペクトル密度、0.5% 以下のバンド幅で発生できる。イタリア INFN を中心にしたメンバーが建設にあたっている。現在最強の LCS ガンマ線源である Duke 大学の HI γ S に比べてスペクトル密度、バンド幅ともに 1 桁の性能向上である。

稼働中のガンマ線施設では、Duke 大学の HI γ S、兵庫県立大学の NewSUBARU の蓄積リング LCS 光源、Darmstadt 工科大学の超伝導リニアック制動放射ガンマ線源 (S-DALINAC) の施設概要と利用実験の報告があった。HI γ S は FEL を使ったコンプトン光源であるが、外部レーザーを使ったアップグレードを検討している。S-DALINAC は、3 周回の超伝導リニアックで最大 120 MeV まで電子を加速し制動放射ガンマ線を

* 量子科学技術研究開発機構 National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)
(E-mail: hajima.ryoichi@qst.go.jp)



ユーザー実験に供する施設であるが、ERL-FEL に改造して LCS ガンマ線発生を試みる計画がある。

既存のガンマ線源の性能（スペクトル密度、バンド幅）を超える次世代ガンマ線源を目指した研究開発として、リバモアの X-band リニアック、KEK/JAEA のコンパクト ERL の成果が報告された。いずれも、フォトカソード電子銃の低エミッタンス電子ビームを利用することで LCS のバンド幅を原理的に狭くできる装置である。コンパクト ERL は、エネルギー回収型リニアックとレーザー蓄積装置（高反射率の鏡をもった共振器に入射するレーザーパルスを重ね合わせてレーザー強度を高める装置）を組み合わせた LCS 光源の最初の実証であり、エネルギー 7 keV の X 線で 0.4% のバンド幅を実現した。将来の MeV ガンマ線の技術実証として注目を集めた。

LCS で発生するエネルギー可変、準単色のガンマ線を使った原子核物理に関する議論は以下の通りであった。原子核は陽子と中性子が核力で結びついたものである。核力の計算はクォークとグルオンの相互作用を非摂動的に取り扱わなければならない。厳密に解くことはできない。したがって、実験結果に基づくモデルの提案（殻モデル、相互作用ボソンモデルなど）を通して原子核構造の詳細に迫る方法が取られている。ガンマ線と原子核の反応は、厳密に取り扱うことが可能な電磁気相互作用であるので、原子核モデルに依存しない形で原子核構造と核反応を切り離して議論できる。これまでにも既存施設で多くの研究成果が積み重ねられてきたが、ELI-NP で幕を開ける次世代ガンマ線源では、さらに飛躍的な成果が期待できる。原

子核の巨大共鳴、光核分裂は、なだらかな反応スペクトルをもつと知られてきたが、狭帯域のガンマ線を使えば、スペクトルの内部構造を観測することができる。また、これまでは観測が困難とされてきたピグミー共鳴（巨大共鳴よりも低エネルギーに現れる小さな共鳴）を詳しく調べることもできる。これらの実験から得られる新たな知見は、原子核構造研究に大きな進展をもたらすであろう。

ガンマ線の産業利用の観点では、JAEA、米国 Passport Systems 社、フランス ANDRA 社から核セキュリティ・保障措置への応用が述べられた。LCS ガンマ線による原子核共鳴蛍光散乱を用いた、コンテナ中の核物質の非破壊検知、放射性廃棄物中の同位体組成の非破壊測定などである。

高強度レーザーにより発生したガンマ線、中性子を利用する試みについても多くの発表があった。レーザー陽子加速はよく知られているが、重水素を含んだターゲットを用いることで重陽子の加速も可能である。レーザー加速した重陽子をベリリウム標的に当てて、D-Be 反応でパルス中性子を発生し、イメージングや核物質の検知に応用する研究が Darmstadt 工科大学、ロスアラモス研の共同成果として発表された。QST 関西研からは、高強度レーザーを薄膜に照射し、ターゲットの鉄原子を多価イオン化する実験結果が報告された。この技術を使うことで、新しい不安定原子核を大型の加速器によらず合成できる可能性がある。

次回の会合は、2年後に Nuclear Photonics 2018 として ELI-NP が主催することとなった。ELI-NP の完成を機として、この分野がさらに盛り上がることを期待したい。