

63rd Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG) Annual Conference 印象記

増田 孝充

Masuda Takamitsu

1. 学会の概要

2025年6月2~7日にかけて、粒子線治療分野の国際学会「PTCOG (Particle Therapy Co-Operative Group) 年次大会」がアルゼンチンの首都ブエノスアイレスにて開催された。ブエノスアイレスは日本から見ると地球の真裏に位置するため、12時間の時差がある。「南米のパリ」の呼び名にふさわしい、ヨーロッパを彷彿とさせる美しい街並みが広がっていた(写真)。

PTCOGはヨーロッパ、アジア、アメリカ大陸の持ち回りで毎年6月中旬頃に開催される。コロナ禍が明けてからは毎年1200名を超える参加者を集めていたが、今年度の参加者は約850名にとどまった。これは、開催地が粒子線治療を牽引する欧米やアジアの主要国から地理的に離れていたためである。会期は2日間のEducational session、3日間のScientific session、最終日のFacility tourの合計6日間からなる。Educational sessionとScientific sessionはPhysics, Biology, Clinicsの3分野から成り、専門の異なる研究者や医師がお互いの基礎知識を学びつつ、最新の研究成果を共有できるような工夫がされている。Scientific sessionは3~4つの口頭発表が同時に進行する形式で、30分間の休憩時間中にポスター発表が行われた。新技術の開発や臨床導入の目覚ましい進展を背景に、PTCOGにおけるトレンドは数年単位でその様相を大きく変える。本稿では今年度のPhysics部門で特に注目を集めていたトピックについて、その背景と併せて紹介する。



写真 (左) 会場の目の前に広がるプエルト・マデロ運河、
(右) 街のシンボルであるオベリスク

2. Physics部門のホットトピック

2.1 アダプティブ粒子線治療

粒子線は飛程の終端でエネルギーを一気に開放するため、粒子線治療では体の奥深くに位置する腫瘍に根治的な線量を投与しながら周囲の正常組織に対するダメージを十分に抑えることができる。しかし、従来の臨床ワークフローでは治療計画用のCTを撮影してから実際に照射が開始するまでに数日から数週間の期間を要する。この間に体形変化や腫瘍の縮小・増大といった解剖学的变化が生じると、粒子線の停止位置が計画から逸脱する恐れがある。その場合は腫瘍への投与線量が不足するだけでなく、周囲の正常組織に致命的な損傷を与える危険性を伴う。

この問題を解決するのが「アダプティブ(適応)粒子線治療」と呼ばれるワークフローである。治療室内の画像診断装置を用いて照射直前にCT画像を取得し、治療計画をその場で最適化し直すことで日々の解剖学的変化に対応した照射を可能にする。2023年末にスイスのPaul Scherrer Institute (PSI) がこの臨床導入に成功し、CT撮影から計画の最終評

価までを平均7分で実施した。本年度の学会ではこのプロセスを更に高速・高精度化した研究、特にAIを活用した研究が多く見られ、低線量CT画像の高画質化、MRIからのCT画像生成、輪郭の自動抽出（セグメンテーション）、最適化計算の高速化等多岐に渡る取組みが報告された。

2.2 LET最適化

線エネルギー付与（Linear energy transfer, LET）は粒子の電荷が大きいほど、また、その飛程の終端に近づくほど大きくなる。高LETの放射線はDNA修復が困難なクラスター損傷を引き起こすため、放射線抵抗性の細胞に対しても高い殺傷効果が期待できる。しかし、従来の粒子線治療計画では線量分布だけが最適化の対象になっており、LET分布は十分に考慮されていなかった。

このような背景のもと、筆者が所属する量子科学技術研究開発機構（QST）では線量分布とLET分布を同時に最適化することで治療効果を高める「LETペインティング」という手法が開発され、2024年に炭素線治療における有効性と安全性が報告された。更に、より効果的で安全な治療を目指し、ヘリウム線・炭素線・酸素線・ネオン線を用いたマルチイオン治療とLETペインティングを組み合わせた臨床試験を開始している。本年度の学会ではこの流れを汲んだ研究が多く見られ、特に2つの方向性での報告が目立った。1つは、過去の臨床データを基に、腫瘍の局所制御率や正常組織障害の発生確率とLETの定量的な関係を評価する研究。もう1つは、そこで得られた知見を基に、いかに最適な線量分布とLET分布を達成するかを検討する治療計画研究であった。

2.3 座位システムと回転照射

2025年現在、日本において放射線治療を受ける患者のうち、粒子線治療の対象となる割合は約2%にとどまっている。その普及を妨げる大きな要因が、巨大な加速器や回転ガントリーの導入に要する広大な敷地と高額な設備投資である。

この課題を克服する方策として、「座位システム」が注目を集めている。従来の治療では寝台に横たわ

る患者に対して360度方向からビームを照射するため、大型の回転ガントリーが必須であった。一方、座位システムでは患者を固定した椅子自体を回転させて照射方向を変える。これにより、システム全体の小型化とコスト削減が可能となる。更に、患者を乗せた椅子の回転とビーム照射システムを同期させることは技術的に容易である。この「回転照射」により、従来よりも複雑かつ精密に最適化された線量分布とLET分布の実現が期待される。Stanford大学やWisconsin大学では新たな座位システムのコミッショニングが進められており、2025年度末の臨床運用開始を目指している。本学会では、臨床運用に向けた取組みと並行し、解剖学的にどの部位が座位システムのメリットを最大限に享受できるか、回転照射によって線量分布やLET分布をどこまで改善できるかを検討する治療計画研究が報告された。

3. おわりに

本年のPTCOGも粒子線治療の目覚ましい発展を実感できる学会であった。本稿で紹介したアダプティブ粒子線治療やLET最適化、座位システムによる回転照射といった新技術は、治療の精度と効率を飛躍的に向上させるものである。また、Biology部門では、超高線量率照射（FLASH）や空間分割照射（GRID）といった新しい照射法により、正常組織を守りつつ抗腫瘍効果を高める基礎研究の進展が印象的であった。Clinical部門においても、外科手術やX線治療とのランダム化比較試験によって粒子線治療の優位性を示す重要な成果が報告され、エビデンスの蓄積が着実に進められていることを改めて実感した。

今回紹介した最新技術の数々が、5年後、10年後には世界各地の臨床現場で標準的に導入される未来を見据え、筆者自身もその一助となれるよう研究開発に邁進する所存である。基礎・技術・臨床の3領域が綿密に連携し、互いの知見をフィードバックし合うことで、より効果的かつ普及可能な粒子線治療の実現へと繋がるだろう。

（量子科学技術研究開発機構（QST） 物理工学部）