

新しい粒子輸送コードが開く世界

(財) 高度情報科学技術研究機構研究センター長

仁井田 浩二

原子力開発の創成期以来、原子力とコンピュータは密接な関係にあった。原子力開発は大規模な数値シミュレーションを要求し、最先端のコンピュータがそれに応えてきた。日本でも日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構、以下原研と呼ぶ）設立以来、国内では常に最速・最大の計算機が原研に導入されてきた。しかし、状況はこの10年で大きく変化した。計算機の急激な発展は、10年前に最先端のスーパーコンピュータでしか計算できなかったものを、今や机上のパソコンで実行できるところまでに至った。これら計算機の発展を牽引したものは、ゲームであり、インターネットであり、民間の需要であり、原子力ではなかった。従来の原子力工学が新しい計算機技術を牽引する時代は終わった。生命科学などの他の分野と同様に、核融合、光量子、流体、熱伝導などの新しい原子力の分野が、最先端の計算機とシミュレーション技術を要求している。

現在、原研東海に建設中のJ-PARCは、大強度陽子加速器を中心とした世界に類の無い複合的な実験研究施設である。その中心施設の一つ、物質・生命科学実験施設は、核破砕パルス中性子やミュオンなどの散乱現象から物質や生命現象を探求する施設であり、この施設の水銀ターゲットの最適化設計、中性子ビームライン、測定器室の遮蔽計算などに、原研とRISTが中心となって開発している、

物質中の放射線挙動を数値シミュレーションで解析する統合ソフトウェアPHITS（Particle and Heavy Ion Transport code System）が使われている。

このPHITSは、MCNPなどの炉物理で用いられている粒子輸送モンテカルロコードと比較して、高エネルギー粒子及び重イオン（原子核）の輸送が取り扱えるのが特長であり、加速器工学分野だけでなく、有人宇宙飛行や航空機の搭乗員の宇宙放射線による被ばくなどの航空宇宙分野、放射線によるがん治療などの医療分野で広く利用されている。エネルギー範囲と取り扱う粒子の種類が広がった点を除くと、これまでの粒子輸送コードの延長上にあるように思われるが、PHITSでは、従来の粒子輸送モンテカルロコードを超える新しい試みがなされている。

これまでの粒子輸送コードで計算される物理量は、フラックス、線量、発熱、損傷、生成核種など、施設の遮蔽、材料の選定などに重要な量であるが、これらはある領域での平均的な物理量である。現在の原子力の広い応用分野では、例えば、半導体の放射線によるソフトエラーの問題、生命体の細胞、DNAレベルでの放射線の影響、放射線による物質損傷のメカニズムの解明などのよりマイクロなレベルでは、平均的な物理量ではなく、イベント毎の最大強度などの平均値の周りの分散が問題となる。これらの量は、一体の

Boltzmann方程式を基礎とするモンテカルロシミュレーションでは記述できない。二体以上の高次の相関の情報が必要となる量だからである。PHITSでは、平均量しか扱うことのできなかつた低エネルギーの中性子挙動を含めて、輸送される粒子の全ての相関を記述するシミュレーション（イベントジェネレーターと呼ばれる）を開発中である。この試みは世界でも初めてのものであり、これにより、放射線影響のよりマイクロな視点からの解明、

生命や物質のマイクロシメトリ的なアプローチへの橋渡しが可能となる。このような新しいタイプの粒子輸送コードが、従来の原子力の分野と、癌治療、半導体、宇宙などの分野、また、マクロとマイクロをつなぐ縦糸として、原子力が一体の世界から多体の世界へ踏み込む、即ち、強い相互作用と生命体や物性の多体の相関を結合する新しい世界を開くであろうと期待している。