



放射線シミュレーション・ツールキット Geant4 の最近の発展



藏重久弥

神戸大学大学院理学研究科
kurasige@phys.sci.kobe-u.ac.jp



村上晃一

高エネルギー加速器研究機構計算科学センター
koichi.murakami@kek.jp

Geant4 (ジアントフォー) は、放射線シミュレーションのためのソフトウェアツールキットである。一般に、放射線とは運動エネルギーをもつ素粒子および原子核のことである(光子を含む。以後“粒子”と呼ぶ)。粒子は電磁相互作用、強い相互作用、弱い相互作用によって物質との反応や粒子壊変を行う。素粒子・原子核実験においては、粒子個々に対する観測が行われ、ミクロな事象ベースでの解析が行われる。Geant4ではモンテカルロ法によって、対象となる粒子の一つ一つを物質との相互作用を考慮しながら発生点から停止・消滅点までシミュレーションを行う。

Geant4は他の放射線シミュレータと異なり、オープンソースのプロジェクトとして、組み込み可能なクラスライブラリを提供している。それによって幅広い分野での応用が可能となり、素粒子・原子核実験、宇宙線観測はもとより、衛星での機器や人体への放射線の影響評価、放射線医学などに利用されている。Geant4は、LHCのための開発プロジェクトとして1994年に開始された。1998年12月に最初のバージョンであるGeant4 0.0が公開され、バージョン11.0-patch03が最新版となっている。

LHC加速器の高輝度化計画**HL-LHC**に向けて、計算資源の効率的な使用および処理速度の向上が求められている。また、Geant4は粒子線治療における線量計算への応用も行われているが、この分野でも計算

速度の向上が実応用への課題となっている。

科学技術計算では、流体解析などの分野でベクトル化による並列処理は古くから行われてきた。一方、モンテカルロ法によるシミュレーションにおいては、条件分岐処理が重要であるためベクトル化には向かない。

Geant4では各イベントは独立で並列に処理可能であり、**MPI**を用いたマルチ・プロセスによる並列化は以前から行われてきた。しかし、プロセスごとに測定器の形状記述や相互作用記述のためのメモリを確保するため、測定器の大型化・細密化に伴いメモリの使用量が増加している。そのため、マルチコア・プロセッサにおいて多くのプロセスを並列処理する場合の性能が課題となる。そこで、Geant4の最新リリースでは、マルチ・スレッドによるイベント並列処理に力を入れ、メモリ管理を改善することによる計算性能の向上を目指している。

また、近年の高性能GPU (Graphics Processing Unit) やメニーコア・プロセッサに特化した並列化処理によるプログラミングが重要となってきている。そこで、Geant4で培った相互作用の知見を用いて、GPU上の超並列計算に適応した放射線シミュレータが、**CUDA**を用いて開発されている。粒子ごとの並列処理に取り組むことにより、従来の数百倍の処理速度を達成しており、粒子線治療における線量見積りへの精密化につながると期待されている。

用語解説

HL-LHC (High Luminosity Large Hadron Collider) :

欧州合同原子核研究機関(CERN)に建設された大型ハドロン衝突型加速器(LHC)を使ったATLASおよびCMS実験において、2012年にヒッグス粒子が発見された。2029年頃に高輝度化することで衝突頻度を高めて、1年間に収集するデータ量を約10倍にする計画。

MPI (Message Passing Interface) :

並列コンピューティングを利用するための標準化された規格または実装。複数のCPUが情報をバイト列からなるメッセージを交換して協調動作を行う。

CUDA (Compute Unified Device Architecture) :

NVIDIAにより開発されたGPU向けの並列コンピューティング・プラットフォームおよびプログラミングモデル。C/C++言語での開発環境やGPUで高速化されたライブラリを提供する。