



2.2 MCNP 総論

内藤叔孝

株式会社ナイス

E-mail : nais@green.ocn.ne.jp

General introduction to MCNP

Yoshitaka NAITO

NAIS Co. Inc.

To assist succeeding reports which will be presented in this research meeting, following items on the computer code MCNP developed in USA are presented; (1) history of development of MCNP, (2) meaning of the development, (3) progress of study on Monte Carlo codes in the nuclear code committee and (4) expectation to Monte Carlo codes.

1. MCNP 開発の歴史

ランダムサンプリングを用いて数学の問題を解いたことは、Compte de Buffon の 1772 年の報告書に記載されている。原子力の世界では、Enrico Fermi が 1940 年代前半に統計サンプリング法を用いて中性子減速の研究をしていたことが伝えられている。マハッタン計画の中でこの手法は開発されてきたが、その成果は、戦後の 1940 年代後半から 1950 年代の初めにかけて、多くの論文として報告された。MCNP で使用されている乱数発生法は当時の論文を参考にして作成されている。1953 年には原子力平和利用が宣言され、また、計算機が普及され始めた。モンテカルロ法は計算機の発達と密接に結びついて発達してきた。以下に年代を追って MCNP の開発の経緯を述べる。

1963 年に粒子輸送の最初のモンテカルロコード MCS が作成された。

1965 年に MCS は MCN となり、3次元形状を独立したライブラリーを用いて解けるようになった。

1973 年に MCN はガンマー線コード MOG と合体し中性子・ガンマ結合コード MCNG となった。

1977 年に MCNG は光子計算コード MCP と合体して MCNP となった。

1983 年に MCNP3 が国際的に配布された。1980 年代に MCNP3A 及び 3B ができた。

1990 年に UNIX 版の MCNP4 が出て、連続減速モデルの計算が出来るようになった。

1993 年に MCNP4A が出て、新光子ライブラリーと ENDF/B6 を取り扱えるようになった。

現在までに約 400 人年がつぎ込まれている。

2. MCNP 開発の歴史的意味

前節に示したように MCNP は、①連続エネルギーの計算ができる、②中性子と光子の結合計算ができる、③汎用ライブラリーとの対応が良い等の特徴がある。

(1) 精度の良い近似

3次元幾何形状を精度良く近似できる。また、連続エネルギーの計算ができるので、群定数が不要になった。形状の近似とエネルギーの近似は原子炉の核計算の誤差の要因である。特に臨界計算においては、体系情報が正確であるという前提にたてば、誤差の要因は核種組成密度と核データのみとなる。核データの誤差が把握できれば、臨界計算の誤差も把握できる。このことは、計算だけで臨界判定ができる可能性を示唆している。近年、機器や施設の安全評価や性能評価に計算結果が多用されるようになってきている。21世紀はさらにこの傾向が進むものと考えられる。計算機多用時代の計算

機の役割を判断する上で、MCNP を用いた臨界計算の経験は大いに役立つものとする。

(2) 粒子輸送の汎用計算

中性子、光子、電子を取り扱うことができるようになってきているため、臨界計算や遮蔽計算のみでなく、核破砕や加速器の設計、解析にも使用できる。MCNP は、現在では、遮蔽計算の主要な道具になっている。数年前までは、モンテカルロ法で遮蔽性能の解析を行うことは非現実的であった。計算機が発達した現在では、複雑な形状の遮蔽計算には不可欠の道具になってきている。今後、さらに適用範囲を広げるものとする。

(3) 汎用定数ライブラリーの使用

粒子輸送計算には大量の定数が必要である。これらの定数と計算手段との対応が明確に整理されはじめた。このために、定数ライブラリの整備作業の効率化が期待できるとともに、精度検証も可能になりはじめた。従来の臨界計算では、核データの精度評価まではできなかったが、MCNP を用いた計算では、積分データによる核データの評価として使用することが可能になりはじめた。

3. 原子力コード委員会での取り組み

原子力コード評価専門部会ではモンテカルロ・コードの有効性に着目して、約15年前からその普及活動を進めてきた。最初には、モンテカルロ・コード KENO を用いて臨界計算を行った。KENO コードは多群計算コードであるので、そのために多群定数ライブラリー MGCL を開発し、大量の臨界実験データを解析した。モンテカルロ法を使用することにより、セル計算を行わずに、体系全体の中性子増倍率を計算することができるようになった。特に、核燃料施設の臨界計算においては、セルの境界条件の設定が困難な場合が多く、セル計算の段階で多くの曖昧さが入ってしまった。また、差分法計算においてはメッシュ幅の影響を避けては通れない。モンテカルロ法の長所は幾何形状を忠実に表現できることである。以上の結果、誤差の要因がかなり絞られてきた。モンテカルロ・コードを我が国の原子力の世界で実用規模で使用したのは、これが最初であると思う。その後、臨界安全計算はほとんどモンテカルロ・コードで計算するようになった。

今から約7年前に、原研の「核燃料施設安全性研究委員会・遮蔽安全性実証解析専門部会」でモンテカルロ・コードにより遮蔽計算の検討を始めた。臨界計算の場合と同様に、遮蔽計算にモンテカルロ・コードを使用することに対する抵抗はあった。特に、遮蔽計算の場合には、それ以前に MORSE コードを用いて検討されあまり有効ではないという評価が下されていたために、モンテカルロ法の有効性に否定的な専門家が多かった。この専門部会では MCNP を取り上げ、活動を約5年間進めた結果、遮蔽計算に対するモンテカルロ法の有効性を信ずる専門家の数が急速に増えてきた。勿論この裏には計算機の驚異的發展があったことが幸いした。この成果は日本原子力学会 1994 年秋の大会で原研の高野、増川、坂本等により7編のシリーズで発表された。約3年前に、上記専門部会を引き継ぐ形で、原子力コード評価専門部会の中に、「MCNP 使用経験ワーキンググループ」等の WG が発足し、連続エネルギー・モンテカルロコードの有効利用の方法と発展の可能性について検討を加えてきた。その成果は、JAERI-Review(1997)にまとめられた。この仕事の特徴は、種々の分野への適応性の検討とモンテカルロ法特有のバイアス法の検討である。将来的には核破砕加速器の解析等高エネルギーの分野への適用、核融合等の荷電粒子の挙動の解析等広い分野の適用が考えられている。また、バイアス法については自動バイアス法への方向をたどっている。本日の研究会はこの流れの中で行われている。

4. 今後への期待

原子力施設の解析には、今後も、差分法とモンテカルロ法（又は衝突確率法）が使用されていくものと考えられる。差分法とモンテカルロ法をどのように使い分けるかの考え方をそろそろ整理しておく必要がある。また、連続エネルギーの使用は、群定数を不要にしたので、計算誤差の入る要因が核データに局限されてきている。このことは、計算だけで設計したり、安全評価ができる可能性を提示しており、21世紀における科学技術に対する方法論の一つの方向を示唆しているようにおもわれる。

具体的な当面の課題として以下のものが考えられる。

(1) 自動バイアス法の開発

モンテカルロ法では計算効率を上げるためにバイアス法が用いられるが、いかなる場合にどんなバイアス法を用いるべきかを決定するためには多くの経験を要する。そこで、それらの経験を集約した人工知能を作成することが有意義であると考えられる。また、粒子のインポートランスを簡便に求める技術を開発することも有用である。

(2) 並列計算アーキテクチャーの開発

モンテカルロ法は並列計算に馴染み易い手法であるので、並列化効率の良いアーキテクチャーを開発することはモンテカルロ法発展のために必要である。超並列計算機の開発競争が進んでいる今日、この研究はタイムリーである。

(3) 適用分野の拡張

従来、原子力の分野では、モンテカルロ法は遮蔽計算や臨界計算に使用されてきたが、計算機の発達により、さらに、原子炉の解析、摂動計算、動特性計算等にも適用できるようになってきた。これらの分野への適用が有効に行われるための技術を整備してゆく必要がある。

(4) 新分野への発展のためのコード開発

粒子シミュレーションとして現在までは、光子と中性子のみを MCNP では取り扱ってきたが、荷電粒子を取り扱うモンテカルロコードの開発も進んでいるので、それらを統一的に整備する計画を立てることも重要である。この開発には、プラズマ物理の研究者と中性子物理の研究者との交流が重要である。

(5) 計算だけで評価できる論理体系の構築

前にも述べたように精度の良い計算が可能になってきたので、計算だけで性能や安全性を評価できる論理体系を構築する必要がある。「どのような条件がそろえばどこまで言えるか」が明確になれば、計算結果の利用の質も変化し新しい世界が開ける。

21世紀に向けて、計算機を用いてのシミュレーション論を確立するのに、原子力コード評価専門部会が貢献できることを期待したい。