

第 34 回炉物理夏期セミナー報告

期日：2002 年 7 月 29 日（月） - 7 月 31 日（水）

場所：茨城県北茨城市 マウントあかね

日本原子力研究所 大杉 俊隆

今回のセミナーでは、我々炉物理関係者が慣れ親しんできた Boltzmann 方程式の誕生から 130 年、中性子の発見から 70 年を記念し、主調を " Boltzmann 方程式ルネッサンス " とし、その誕生・揺籃期の過程から、炉物理分野での成長・発展、新たな分野への展開・挑戦、とその軌跡を辿ってみたいと企画した。全体の流れとして以下のような構成にした。

誕生（1-1）、揺籃期・模索期（1-2）、成長（1-3A、B）、新展開（1-4A、B）

また、実験面のトピックスとして、「炉雑音研究の新展開」及び「パルス炉と計測」を取り上げた。表 1 に夏期セミナープログラムを、表 2 に参加者数計 54 名の内訳を示した。

成田正邦先生からは、「Boltzmann 方程式の起源」として、非平衡状態から平衡時のマクスウェル分布を導こうとして導出された Boltzmann 方程式の数学的構造、直交展開するために導入された随伴方程式の物理的意味、さらに歴史的展開として、当初は応用も限られていたが原子力時代の幕開けとともに精力的に進められた中性子輸送の分野への適用等のお話があった。衝突項の「特異性」を克服するため超関数の理論を適用しプラズマ、中性子輸送の分野で解が導かれたのは 1960 年になってから、また、数値解法上の計算機の貢献、これからの適用分野として、「環境における物質、粒子の輸送問題」等の話題が示された。

「Boltzmann 方程式の黎明期の原子炉設計への適用」では、竹田練三先生から、「原子炉設計で Boltzmann 方程式を解くとは実効断面積を求めること」として PROD コードを例にした黎明期での試み、さらに、それらの実験的検証として実施された Boltzmann 方程式の空間的相似則に着目した SHE 半均質臨界集合体（VISTA 系）を用いた U-238 共鳴積分データ取得、「Pu-239 の β 値（捕獲対核分裂の比）の話題」に関連して実施された共鳴領域実効断面積評価パイル TAKIT を用いた Pu サンプル近傍での反応率分布測定等のお話があった。また、BWR 炉心設計に関連して、「原子炉炉心システムは製品の性能確認をソフトウェアで行っている数少ない製品である」、「物理現象の正しい理解が大切」等の指摘とともに、バーナブルポイズン、出力平坦化等の話題が示された。

山本章夫先生からは、「安い（簡単）、旨い（精度がいい）、早い」手法に対するニーズに基づき進められてきた「決定論的手法に基づく解法」に関して、Boltzmann 方程式の主要変数である空間及びエネルギーの近似の程度をキーワードにこれまでの各手法の丁寧なレビューをして戴いた。これら各手法はあくまでも現象の忠実な再現というアプローチに基づいているとし、最後に、これ以外のアプローチの可能性について「人間が空を飛ぶためには[鳥ははばたいて飛ぶ]ということをおぼろげに忘れる必要があった」等を例に言及された。

山本俊弘先生は、一つ一つの中性子の発生から消滅までの素過程を十分な数（無限）で確率論的に忠実に追跡すれば Boltzmann 方程式の解に至るという観点から、「確率論的手法に基づく解法」を纏められた。解法の説明として、原理的に理解しやすいというアナログモンテカルロ法（粒子は存在する、しないのどちらか）からは入り、実際の手法（分散低減の要請に応える）として粒子の最も確からしい存在確率（ウエイト）による記述のお話があった。

植之原雄二先生からは、「Boltzmann 方程式の数学的表現を「金融工学に適用」することで従来の金融工学モデルの精度を上げる」試みとして提案された金融 Boltzmann モデルについて、「金融工学とは何か」（金融リスクのヘッジとテイクについて論理的基盤を与える理論体系）を含めて御講演戴いた。完備市場モデルに基づき導出された金融工学の基礎式が拡散方程式と同等なものであり、これに輸送理論（Boltzmann 方程式）を適用して完備市場モデルの拡張を狙ったとのことであり、データ分析による具体的な有効性も示された。

渡辺 正先生からは、分子の運動や流れ場の揺らぎ、混相流における界面形状の変化など、マクロな流体方程式に基づく手法では解析が困難な複雑な流体现象を調べるために試みられている離散的な粒子の運動に基づく流体の解析手法として、Boltzmann 方程式の「熱流動計算への応用」についてお話し戴いた。

三澤 毅先生からは、炉内での中性子の揺らぎの測定から得られる炉雑音の時系列データを用いた即発中性子減衰定数や反応度の測定等のレビューとともに、時系列直接測定技術を用いた「炉雑音研究の新展開」についてお話し戴いた。炉雑音の方程式は中性子数を確率変数に取った場合に導出されるものであり、これまで理論と実験が追いつ追われつ関係であったものが、現状は、データ収集技術の進展による豊富な実験データを十分に活用する理論展開、特に実験手法やデータ処理手法の開発が遅れているのではないかとのこと。また、モンテカルロ法による実験シミュレーションに関しては、これまで大きな進展を見せた分散低減法が使えないので、現状の 100 倍の計算速度が必要等の困難が大きいとのことであった。

阪元重康先生からは、「弥生炉」での経験を基に、「パルス炉の核計装」について御講演戴いた。計測系の時間応答の高速化と一つの測定系により出力波形全体の測定が行える広いダイナミックレンジを持つシステムとして電流出力（電荷積分）型シンチレーション検出器を開発した。今後、加速器駆動炉での実験に際しては、プラスチックシンチレータを使用した電流出力型シンチレーション検出器が、ダイナミックレンジが広い、時間応答性が優れている、容易に感度を変えることができる等の観点から推奨できるとのことであった。

セミナーへの一参加者として感想を述べると、「原子力は計算機の開発に貢献した」とは成田正邦先生のお言葉であり、炉物理の他分野への貢献は植之原雄二先生、渡辺 正先生の御講演から窺われる通りです。また、逆に、計算技術の進展が、モンテカルロ法の原子

炉解析への現実的適用を可能にした（山本俊弘先生）等、炉物理も他の分野での進展から影響を受けている面もあると思います（三澤 毅先生、阪元重康先生）。竹田練三先生の言われた「物理現象に対する正しい直感を得る」ことの重要性、「Boltzmann 方程式を解けなくても CP は臨界を達成した」という事実を念頭に置きつつ、計算科学を含めた他の分野の進展に目を配ること、フィードバックとして取り入れられるものは積極的に取り入れる姿勢を保つこと、山本章夫先生の御提案のこれまでとは異なる着想・アプローチへの想いが、今後の炉物理の新たな発展に必要なかと思いました。

最後ながら、個性溢れ示唆に富むお話を用意戴いた講師の先生方、質疑・討論を進めて戴いた座長の先生方、相沢乙彦先生、竹田敏一先生、山根義宏先生、中川正幸先生に感謝致します。



北茨城市マウントあかね正面玄関にて



講義会場にて

表 1 : 第 34 回炉物理夏期セミナープログラム

--- Boltzmann 方程式ルネッサンス ---

- 開校式** 7月29日(月) 14:00 - 14:30
 炉物理部会長挨拶 竹田 敏一(阪大)
司会: 大杉 俊隆(夏期セミナー事務局)
- . Boltzmann 方程式 7月29日(月) 14:30 - 17:00
 座長: 相沢 乙彦(武蔵工大)
- ? 1 Boltzmann 方程式の起源 講師: 成田 正邦(北大名誉教授)
 ? 2 Boltzmann 方程式の黎明期の原子炉設計への適用
講師: 竹田 練三(日立)
- ? 3 Boltzmann 方程式の解法 7月30日(火) 8:30 - 12:00
 座長: 竹田 敏一(阪大)
 A. 決定論的手法に基づく解法 講師: 山本 章夫(原燃工)
 B. 確率論的手法に基づく解法 講師: 山本 俊弘(原研)
- . **トピックス** 7月30日(火) 13:30 - 17:00
 座長: 山根 義宏(名大)
- ? 1 炉雑音研究の新展開 講師: 三澤 毅(京大炉)
 ? 2 パルス炉の核計装 講師: 阪元 重康(東海大)
- . Boltzmann 方程式 7月31日(水) 8:30 - 12:00
- ? 4 Boltzmann 方程式の新展開
 座長: 中川 正幸(原電)
 A. 金融工学への適用 講師: 植之原 雄二(東芝)
 B. 熱流動計算への応用 講師: 渡辺 正(原研)
- 閉校式** 7月31日(水) 12:00 - 12:20
 まとめ 中川 正幸(炉物理委員会委員長)
司会: 森 貴正(夏期セミナー事務局)

表 2 : 第 34 回炉物理夏期セミナー参加者

一般参加者: 46 名(所属等の内訳は以下の通り)

	部会員	学会員	一般	計
大学	5			5
研究機関	8	2	2	12
電力・企業	8	5	7	20
学生	5	2	2	9
計	26	9	11	46

講師: 8 名