

第 52 回炉物理夏期セミナー開催報告
(2) 講師の立場から

炉物理夏期セミナーの振り返り

名古屋大学 遠藤 知弘

炉物理部会 HP に纏められた <https://rpg.jaea.go.jp/else/rpd/seminar/index.html> に整理された情報に基づくと、遠藤が炉物理夏期セミナーの講師を務めたのも、2014 年度から数えて今回で 4 回目である。過去メールを紐解いて振り返ると、2019 年 12 月頃に本夏期セミナー講師について依頼のご依頼を承ったようである。その当時は『2018 年度の「Python を利用した核計算 (1) 決定論的手法」の講義内容にて、Python を利用した拡散計算コード作成については概ね説明したつもりで、率直に言って二番煎じになりそうだと大変悩ましく、なかなか筆が進まない生みの苦しみを感じた。今にして振り返ると、少しでも新規性を出そうと『受講生が Python 計算環境を各自 PC に構築する必要のない形で講義・演習をできるように、Google Colaboratory に活用することができないか?』との着想に至った点が、今年度の夏期セミナー講義・演習を構築するにあたっての糸口となったかと思う。

演習資料の作成には、相応の時間・労力を要した。2020 年 3 月ごろからプロトタイプ版を試作し始めたが、3 時間という限られた講義・演習時間内で決定論的計算コードを 1 から全て自作できるよう指導/教育する資料を作成するのは極めてハードルが高かった。プロトタイプ版では、「私のほうで事前に作成した多群拡散/S_N 輸送計算プログラムを活用してもらって、①手計算で解ける解析解との比較による Verification、②Godiva 体系を対象とした Validation、③KUCA-C 架台を対象とした無限反射体厚さや臨界寸法のサーベイしてもらおう」といった演習内容を構築してみた。残念ながら、受講生の手で試行錯誤できる余地が少なく (Google Colaboratory 上でほとんど記述済みの Python プログラムを単に実行するだけ)、正直言って面白味の無い演習資料に仕上がってしまい、あまり受けが良くなかったと記憶している。

その後、COVID-19 状況も続き、研究室内における Python プログラムの指導法の一つとして、Google Colaboratory を活用したチョイプロ作成を積極的に使うようになったこともあり、不幸中の幸いとして、Google Colaboratory 上での Python プログラミング技術 (例: Numba/JIT の有効活用) も日々磨くことができた。以上のような経験を踏まえて、2021 年 3 月頃に再度講師依頼を受けたのを機として、もう一度、新鮮な気持ちで演習資料を作り直すこととした。プロトタイプ版の反省を踏まえ、「①決定論的拡散計算コード内で使用する部品 (関数) のみを事前に作成しておき、②受講生のほうでそれを組み合わせて多群拡散計算コードを自作してもらい、③種々の検討 (無限反射体厚さや臨界寸法のサーベイ、二分割炉心の解析、随伴計算を利用した摂動論による反応度値計算) に取り組んでもらおう」といった内容に作り変えてみた。また、いきなり高度なプログラムに着手してもらう前に、繰り返し処理に関する簡単な例題 (未臨界増倍による子孫中性子の総和計算) や、無限均質体系におけるべき乗法の実装例も盛り込むことで、受講生の理解を促せるよう極力配慮した。なお、本演習資料の改訂にあたっては事前に研究室学生・OB にも一通り内容を見ていただき、特に、貴重なご助言を下さった NEL 辻田 浩介さんには深くお礼を申し上げたい。

また、これまでの遠隔講義経験を通じて、①オンデマンド型で各学生に指導すべき内容と、②参加者全員の時間を共有するリアルタイムの遠隔講義で指導すべき内容(講師-受講生の質疑応答、あるいは受講生間のコミュニケーションが重要となる講義内容)を分けるべきだと、の考えにも至った。例えば、理解度に差がある大多数の受講生を対象とした講義演習を考えた場合、①双方向形式で実施する際には、取り組む演習内容は本質を突いた単純な内容のみに絞る、②時間をじっくりかけて各自に試行錯誤させたい内容はオンデマンド型の課題とする、といった形でメリハリをつけることが肝要だ、と個人的に感じている。そこで、夏期セミナー開催日の2週間前(2021/8/17)に「第52回炉物理夏期セミナーGoogle Colab 演習に向けた準備」という形で、受講生の方々に宿題を出すこととした。この宿題を通じて、当日の演習を円滑に進めることができるよう、「演習1: 演習1 べき乗法による k_{eff} 固有値計算ソルバーの作成」までについては、オンデマンド型の課題として各受講生が事前に取り組むことを期待していた。

以上のような準備を踏まえて夏期セミナー当日を迎え、事務局を務めて下さった NEL 巽さんらのご尽力もあり、大きなトラブルもなく当日講義を終えることができた。講師としてはやり切った思いもあるが、当日の反省点としては以下の点が挙げられる。

- ✓ 参加した社会人の方の場合、所属機関内のアクセス制限などもあり、Google drive や Google Colaboratory を利用できないケースもあり、必ずしも全受講生にとってフレンドリーな演習とはならなかった。
- ✓ 演習資料を全て日本語で作成しており、外国人留学生に対する配慮が十分ではなかった。
 - DeepLなどを活用することで、日本語⇄他言語への翻訳も随分容易となっているので、最初から英語で作成しておけば良かったかもしれない。
- ✓ 予習無しで参加した受講生(演習資料 RPDSummerExercise.ipynb や夏期セミナーテキスト内容を事前にチェックしていない学生)にとっては、当日の演習内容に対する解説が不足しており、難易度が高かった。
- ✓ 当日の演習内容については、やはり内容を盛り込み過ぎており、また講義後半に差し掛かるにつれて私自身の説明疲れも現れ始め、やや消化不良となった。

以上で挙げた反省点は今後の糧にするとして、Google Colaboratory そのものに関する紹介・有用性については、十分アピールできたのではないかと講師としては感じている。

別の話題となるが、2021年度は大学院生実験・上級コースの講義として、北大・東海大・京大の学生を対象とした zoom 形式の講義を実施し、その講義内において、「Google Colaboratory を用いて炉雑音解析処理プログラムの作成演習」を zoom により実施する経験も積むことができた。上記講義を通じて、炉物理実験でも極めてマニアックな内容となる Feynman- α 法による炉雑音解析を、上級コース実験に参加した院生が自ら実施できるよう指導できた点(また C 先生が楽しそうに Feynman- α 法解析に取り組んでおられる姿を拝見できた点)は、炉雑音解析に約 20 年近く取り組んできた私にとって、大変嬉しくやりがいのあった取り組みであった。

願わくは、本夏期セミナーを通じて知った内容を頭の片隅に留めてくださり、何かの機会を得られた知識を有効活用して下さると、講師としては幸甚である。

炉物理夏期セミナーの振り返り

北海道大学 千葉 豪

演習を織り交ぜたセミナーとする、という大方針の下、竹田先生は拡散方程式の解析解導出の演習、遠藤先生は拡散方程式のプログラミングの演習、相澤先生は断面積の空間均質化・群縮約の演習ということで、各講師がそれぞれの構想に基づいて準備を進められている中で、私は「演習ばかりでは受講者も疲れるだろうから、自分のパートは、まあ、あまり受講者が疲れるようなこともない、あっさりしたものにしてしまおうかな」という結論に至り、演習を織り交ぜない説明資料を粛々と準備した。セミナーには職場から繋げる予定だったので、当日、職場に向かいながらいろいろ考えていたところ、「ゲストを招聘したラジオ形式にしよう！」というアイデアが浮かび、職場に着いてすぐにゲスト候補にメールで「特別ゲスト出演」のお願いをし、それぞれからご快諾の連絡をいただき、当日のセミナー講演を「ラジオ形式」で粛々と終えた、というのが、今回のセミナーの振り返りである。こうして 2 か月前に行われたイベントを振り返ると、自分自身、あまりよく覚えていないので、受講者もきっと殆どよく覚えていないことであろう。「他の講演が素晴らしかったので自分の講演は記憶に残らなかった」ということで、私の振り返りは記録にも残すようなものではないと言えるかもしれない。ただ、「炉物理夏期セミナー」には、私自身、いろいろな思い出があるので、以降ではその「振り返り」を行ってみたい。ここからは脱線モードなので、時間の無駄と思われる方はここで閲覧を終えて欲しい。

私が初めて参加した夏期セミナーは、福井県芦原温泉「政竜閣」で実施されたものである。なぜ開催場所までしっかり覚えているかというと、このセミナーでいただいた「爪切り」が、それ以来、我が家の「エース」の爪切りだからである（ここまで書いて、もしかして施設の備品を拝借してしまっていたのでは、という疑念が湧いてきたが、若い時分の自分を信じるということで、とりあえずこのままにしておく）。実はこのセミナー自体の思い出はそれほどないのであるが、セミナー終了後、会場から最寄りの駅に移動するバス車中で竹田敏一先生の隣に座らせていただいたことを強烈に覚えている。当時、私にとって竹田先生は「神様と人間の間」のような方だった（勿論、人間寄りですが）ので、大変緊張はしたものの、角度依存の群全断面積の話を決して振ってみたことを覚えている。

夏期セミナーと言えば「テキスト」も外せないであろう。札幌の定山溪で行われた「炉物理の苦労話」のテキストは、炉物理部会報の「私の Eureka!」と並ぶ、「日本炉物理界の出版部門の双璧」と言えよう。また、アソシアリゾートの「基礎から学ぶ炉心解析」も大変素晴らしいテキストであるし、最近では「炉物理ルネッサンス」を読んだりもしている。

私がこの業界に入った 20 年前は、セミナーテキストも、部会報も、原子力学会の年会も、自分の仕事も、全てが本当に面白くて、日々を夢中になって過ごしたものである（土日は月曜日が待ち遠しかった）。そんなことを思い出した夏休みであった。

炉物理夏期セミナーの振り返り～1群拡散計算～

大阪大学大学院工学研究科 竹田 敏

1. はじめに

炉物理夏期セミナーでは1群拡散計算の演習を実施した。大学1年生でも解けるように意識をして説明を行ったが、微分方程式や極限を用いた解法を理解するためには、学生がある程度数学に慣れている必要があると感じた。また、解法の説明において、極限が不定形となる項に対して、どのような説明が理解しやすいか悩んだ場面があった。その場では“ロピタルの定理を使えばよい”と説明したが、あまり理解できなかった参加者も多かったと思う。そこで、セミナーで用いた問題の紹介も兼ねて、説明の不足していた不定形となる極限について解法を補足する。

2. 不定形となる極限が得られる問題

問題は以下のとおりである。

単位時間あたり S 個の中性子を放出し、体積を無視できる点中性子源を原点に配置した。

原点からの距離を r 、拡散係数を D 、拡散距離を L とする。

- (1) 中性子束 ϕ が従う拡散方程式を示し、 $\phi=w/r$ を代入して整理せよ。
- (2) (1)で示した拡散方程式が満たすべき(境界)条件を示せ。
- (3) $r > 0$ での中性子束分布 ϕ を求めよ。

(1)については、以下の拡散方程式に対し、 $\phi=w/r$ を代入すればよい。

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) = \frac{1}{L^2} \phi$$

整理すると以下が得られる。

$$\frac{d^2 w}{dr^2} = \frac{1}{L^2} w$$

(2)については、以下が条件となる。

$$\lim_{r \rightarrow +\infty} \phi(r) = 0, \lim_{r \rightarrow +0} \left(4\pi r^2 \left(-D \frac{d\phi}{dr} \right) \right) = S$$

(3)について、 w の一般解に $w=r\phi$ を代入することで以下が得られる。

$$\phi(r) = C_1 \exp\left(\frac{1}{L}r\right)/r + C_2 \exp\left(-\frac{1}{L}r\right)/r$$

次に、(2)で求めた条件を用いることで定数 C_1 、 C_2 が求まるが、 $\lim_{r \rightarrow +\infty} \phi(r)$ に含まれる

$\lim_{r \rightarrow +\infty} \exp\left(\frac{1}{L}r\right)/r$ が不定形となる。

3. $\lim_{r \rightarrow +\infty} \exp(Ar)/r$ ($A > 0$)の求め方

$\lim_{r \rightarrow +\infty} \exp(Ar)/r$ ($A > 0$)については、 $\lim_{r \rightarrow +\infty} \exp(Ar) \rightarrow +\infty$ 、 $\lim_{r \rightarrow +\infty} r \rightarrow +\infty$ となるため、不定形となる。解法は複数があるが、まずはセミナーで言及したロピタルの定理について説明する。

ロピタルの定理は、不定形となる極限に対し、ある条件下において、 $\lim_{x \rightarrow a} f(x)/g(x) = \lim_{x \rightarrow a} f'(x)/g'(x)$ が成立する定理である。詳細は数学教材を参考にしてもらいたい。ロピタルの定理が使えない場合も多くあるため、適用の可否を慎重に判断すべきである。今回の場合は、 $\lim_{r \rightarrow a} g'(x) = 1$ であり、 $\lim_{r \rightarrow +\infty} f'(r)/g'(r) = A \exp(Ar) = +\infty$ となり、適用できる。

また、当日はチャット欄で“テイラー展開を使える”とのコメントがあったため紹介する。 $\exp(Ar)$ を展開すると

$$\exp(Ar) = 1 + Ar + \frac{A^2}{2!}r^2 + \frac{A^3}{3!}r^3 + \dots$$

となる。よって、以下が得られる。

$$\lim_{r \rightarrow +\infty} \frac{\exp(Ar)}{r} = \lim_{r \rightarrow +\infty} \frac{1 + Ar + \frac{A^2}{2!}r^2 + \frac{A^3}{3!}r^3 + \dots}{r} = \lim_{r \rightarrow +\infty} \left(\frac{1}{r} + A + \frac{A^2}{2!}r + \frac{A^3}{3!}r^2 + \dots \right) = +\infty$$

さらに、本稿を書きながら、高校数学でも解けることに気が付いた。 $A > 0$ かつ $r > 1/A$ となる場合、 $(rA^2)/2 < \exp(Ar)/r < A \exp(Ar)$ が成立する。 $(rA^2)/2 < \exp(Ar)/r$ については、 $f(x) = \exp(Ar)/r - (rA^2)/2 > 0$ が成立することを r についての微分式により証明すればよい。 $\lim_{r \rightarrow +\infty} (rA^2)/2 = +\infty$ 、 $\lim_{r \rightarrow +\infty} A \exp(Ar) = +\infty$ であるため、 $\lim_{r \rightarrow +\infty} \exp(Ar)/r = +\infty$ となる。

4. まとめ・所感

本稿では、セミナーで用いた問題の紹介も兼ねて、セミナーの補足を示した。不定形となる極限の求め方のように、拡散方程式の解析解を得るためには、最低限の数学の知識・経験が必要となる。炉物理を活用したエンジニアリングにおいて、数学のテクニックはあま重要とならない場合もある。ただし、パラメータ値の大雑把な推定や傾向を予測するうえでは、数学のテクニックが活用できる場面も多くあり、“ある程度は使える”ことが期待されていると感じる。

夏期セミナー講師を担当して

東北大学 相澤 直人

今回、私は初めて夏期セミナー講師を担当させていただいた。元々、2020年の夏期セミナーということでのお話であったため、確か講師の担当について軽い打診があったのが2019年の秋頃だったかと思う。その際には、軽い気持ちでお受けすることにした気がするが、2021年夏期セミナーまでの道のりを振り返ると、かなりヘビーだったな、と感じる。(ですので、複数回に渡って講師を担当している先生方を非常に respect しています。) また、実は私が学会関係の場で講師を担当することは今回が初めてであり、炉物理部会の夏期セミナーの講師を担当することを光栄に感じるとともに、錚々たる炉物理のスペシャリストも参加される場でもあるので内心大きなプレッシャーを感じていた。私の担当した講義は「断面積作成」であったが、自分自身が断面積作成に関連したコード設計に携わった経験がなく、教科書などで勉強した知識だけだったので、引き受けた後によくよく考えてみると、「この講義、断面積作成にバリバリ携わっているスペシャリストも聞くんだよな…」 「果たして、私が担当しても良いものなのかな…」 と、色々と心の葛藤があったものの、最終的には「ええい、テーマが核計算の基礎だから、基礎に振り切ってやってやろう！大学の教員を講師にするということは、基礎を分かりやすく教えろということだろう！」 と、半ば自分を奮い立たせながら準備を進めたのであった。さて、講義の準備についてだが、これも色々と頭を悩ませた。教科書を読んでは、あっちの教科書は難しい、こっちの教科書は詳しい内容が書かれていない、かみ砕いて分かりやすく説明するにはどうしたものか、と、時には堂々巡りをしていた。色々と思案しながら講義資料をまとめたが、曲がりなりにも資料として纏められたのは、断面積作成について分かりやすくまとめていた第36回夏期セミナーの宇根崎先生のテキストと、炉物理の研究 第72号の山本章夫先生の寄稿を非常に参考にさせていただいたおかげだと思う。宇根崎先生、山本先生に深く御礼申し上げます。

さて、肝心の講義の方だが、私の講義はセミナーの最後の講義であったが、その前までの講師の先生方の説明が素晴らしく、かつかなり双方向的な講義をされていたのに比べて、元来からの東北人の口下手気質もあり、講義の段取りの準備不足もあり(ここが一番致命的でした)、聞き苦しいところが多々あったかと思う(ところで、北大の千葉先生も東北人ですが、非常に弁が立つので見習わなければ、と思います。爪の垢でも煎じて飲ませてもらった方が良いかもしれませんね。)。特に、後半の演習については、「熱炉体系の均質化、ダメゼツタイ」を感じてもらうところから始まり、最終的に「NR近似バンザイ、等価原理バンザイ」を実感できれば、と考えていたが、準備した演習の設問が多かったことや、双方向的な取り組みを中途半端に取り入れたことで時間的な余裕がなく消化不良になってしまい、皆様には分かりにくかった部分が多かったのでは、と感じている。

以上、今回の夏期セミナー講師を振り返ると反省ばかりであり、参加された皆様には色々

と手際の悪さ等でご迷惑をお掛けしたと思う。しかしながら、今回講義のテーマである断面積作成に関して、私が説明したのは序の口も序の口の部分であるが、私の拙い講義を通して、断面積作成の基礎を雰囲気だけでも理解してもらえていれば、また、さらに断面積作成の深淵へ興味を持ち、研究として取り組まれる方が現れれば幸甚である。