

演習と自習室を活用した統計力学Ⅱの授業

理学部物理学科

大野 義章

1 はじめに

このたびは、平成21年度「学長教育賞」を受賞させていただき、また「大学教育研究年報」に寄稿する機会を与えていただき、誠にありがとうございました。受賞の対象となった授業は、理学部物理学科の専門科目として開講されている「統計力学Ⅱ」です。主専攻プログラム「物理学」では、必修科目として、1、2年次に力学、電磁気学、物理数学、3年次に量子力学、統計力学、物理学実験が開講されていますが、その中でも特に量子力学と統計力学は21世紀に誕生した新しい物理概念と複雑な数学が駆使された科目で、物理学科の学生にとっては最難関の授業となっています。このような科目を修得するには、残念ながら楽な近道はありません。受講者が自ら手を動かして数式のフォローや演習問題などに取り組み、時間をかけて繰り返し学習することが重要です。そのため、平成20年度に「統計力学Ⅱ」を新たに担当することになった際に、授業内容を出来るだけ分かり易くするように努力することはもちろんですが、それに加えて、受講者の繰り返し学習を後押ししサポートする授業システムを作りたいと考えました。この授業を担当して未だ2年ですので、色々と改善すべき点は多いと思いますが、現在行っている授業内容および授業システムについて以下にご報告しますので、ご意見やご批判等いただければ幸いです。

2 授業内容について

「統計力学Ⅱ」の内容を説明するには、たくさんの数式や図がどうしても必要となります。数式等を出来るだけ省略せずに詳しく黒板に記述しながら、最後まで受講者の集中力をとぎれさせずに講義を進めることは、なかなか難しいことです。本講義では、受講者が黒板にたくさん書かれた数式や図をノートにとることへの目的意識を持たせるとともに、膨大な数式の羅列によって講義内容への興味や関心を失わせることの無いように、以下のような方針で授業を行っています。

- 黒板に数式や図を見やすく分かりやすく記述し、受講者がとったノートが後で自習や演習科目のレポート（後述）のために必ず役立てられるようにする。

- 授業の開始時に5分程度の小テストを行い、当日の講義で必要となる予備知識を確認するとともに、講義内容に関する伏線を張る。
- 当日の講義で説明する理論や法則の誕生以前には何が謎であったか問題提起し、その謎がどのようにして解明されたのか、発見や解明のプロセスを最初に話し、時間に余裕があれば受講者に考察させ、講義内容に対する興味や関心を高める。
- 最後のまとめで、講義で導いた理論や法則により説明された点を確認すると共に、まだ説明出来ない問題点があることを指摘し、それが次週以降の講義で解明されることを予告して、今後の展開を期待させる。

上記の方針に基づいて行った具体的な講義の例として、図1に示すような固体のモル比熱に対するアインシュタインの理論とデュボイの理論に関する講義の概略を以下に示します。

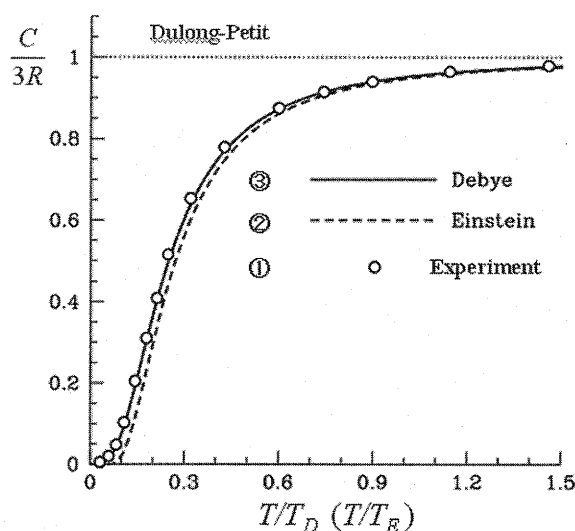


図1 固体のモル比熱の温度依存性

(例1) アインシュタインの理論：

- 1) 小テストで、古典統計力学のエネルギー等分配則（1期の統計力学Ⅰの内容）により固体のモル比熱に対するデュロンプティの法則 $C = 3R$ が成り立つことを確認する。[復習と伏線]
- 2) デュロンプティの法則と実験結果（図1の①）

の図を黒板に記述し、低温でモル比熱 C が $3R$ より小さくなるのは量子論誕生以前の19世紀には謎であったことを指摘する。[問題提起]

- 3) 量子論では、エネルギーがとびとびになることが関係しているのではないか？ [考察]
- 4) 1907年に量子論に基づくアインシュタインの理論が初めてこの謎を明らかにし、これが新しい量子概念の承認に役立ったことを説明する。[解明のプロセス]
- 5) アインシュタイン模型（固体中の原子が3方向に独立に同じ角振動数 ω で振動する調和振動子と仮定する）に基づいて、調和振動子系の比熱を計算する。[数式]
- 6) アインシュタイン模型の計算結果を2)の図に書き加えて記述し（図1の②）、実験結果（図1の①）をほぼ説明できることを確認する。一方で、低温の極限ではくい違いがあることも指摘する（これは、次週以降のデバイの理論で解明される）。[結論と今後の展開]

(例2) デバイの理論：

- 1) 小テストで、プランクの理論（前回の授業の内容）により空洞放射のエネルギーが温度の4乗に比例することを確認する。[復習と伏線]
- 2) アインシュタインの理論（図1の②）と実験結果（図1の①）の図を黒板に記述し、アインシュタイン模型では低温の極限 $T \rightarrow 0$ で比熱は指数関数的に0に近づくが、実験結果は T の3乗に比例し、くい違いがあることを指摘する。[問題提起]
- 3) アインシュタイン模型では、原子が独立に振動すると仮定したことに問題があるのではないか？ [考察]
- 4) 1912年にデバイは格子振動を連続弾性体の弾性波と近似し、低温の極限で固体の比熱が T の3乗に比例する（エネルギーは T の4乗に比例する）ことも含めて説明した。[解明のプロセス]
- 5) 連続弾性体の基準振動を用いて、前週のプランクの空洞放射の理論と同様の方法で比熱を計算する。この際、空洞放射との類似点と相違点についても議論する。[数式]
- 6) デバイ模型の計算結果を2)の図に書き加えて記述し（図1の③）、実験結果（図1の①）を良く説明できることを確認する。一方、金属の場合には、低温の極限でさらに T に比例する比熱が観測されることを指摘する（金属の比熱については、次週以降のフェルミ統計で説明される）。[結論と今後の展開]

講義時間の大部分は、5)の数式を用いた理論の導出に費やされますが、受講者が何のために膨大な計算

をしているのか見失わないためにも、1)～4)のプロセスで目的意識を持たせることは重要です。また、6)の結論において、解明された点だけ説明するのではなく、未解明の問題があることも指摘することは、次週以降の講義への繋がりをもたせるだけでなく、批判的精神を養うためにも意味があると考えています。

3 授業システムについて

主専攻プログラム「物理学」では、全ての必修科目に対応する演習科目が設置されています。これにより、受講者が講義で学習した内容を、演習問題を解くことによりさらに理解を深めることができます。講義科目と演習科目は通常は別の教員が担当していますが、平成20年度に「統計力学Ⅱ」を新たに担当することになった際に、対応する「統計力学演習Ⅱ」も同時に担当できるように変更してもらいました。また、物理学科では学生が授業の課題などを自学自習する場として「自習室・質問コーナー」を設置しており、図2のように大学院生がチューター（TA）として常駐して、疑問点などをその場で助言してもらえるようしています。特に、平成20年度には中野博章先生が代表者として授業改善プロジェクト「演習授業とタイアップした、自習室・質問コーナー方式による学習支援と学年間交流の促進」が採択され、TAが大幅に増員されることになりましたので、この「自習室・質問コーナー」を「統計力学Ⅱ」および「統計力学演習Ⅱ」と連携して積極的に活用することにしました。

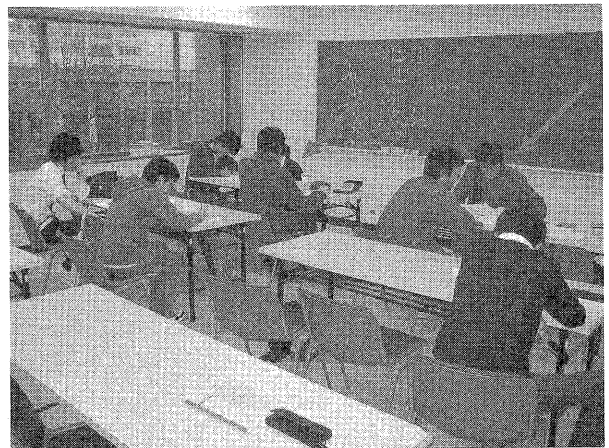


図2 自習室・質問コーナー（矢印はTAの大学院生）

具体的には、図3に示すように「統計力学Ⅱ」→「統計力学演習Ⅱ」→「自習室・質問コーナー」を1週間サイクルで進行していく授業システムをとっています。この授業システムのポイントは2つあります。1つは、1週間サイクルにより、「統計力学Ⅱ」の講義を行った同じ週に、その講義内容に関する演習を「統計力学演習Ⅱ」で実施して理解を深め、さらに同じ週の「自

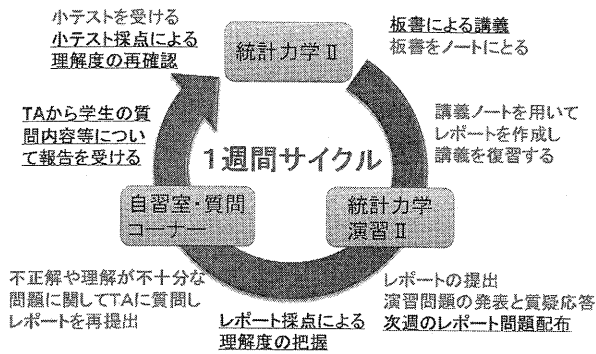


図3 「統計力学Ⅱ」「統計力学演習Ⅱ」「自習室・質問コーナー」の連携による授業システム。下線は教員側、下線無しは学生側の実施項目。

習室・質問コーナー」で疑問点をTAに質問するなどして講義内容を十分に修得した上で、次週の講義に臨むことができる点です。講義内容は毎週の積み重ねで構成されていきますので、前週までの内容が理解できていなければ、講義を聴いても毎週どんどん分からなくなってしまいます。毎回の講義内容をその週に確実に修得していく1週間サイクルは、講義について行けなくなる受講者をできるだけ減らすための方法として有効だと思います。

もう1つのポイントは、レポートの活用です。講義内容を確認する基本問題を、毎週レポートとして講義と同じ週の演習時間に提出させます。レポート問題は、その講義の前週の演習時間に配布しておきますので、講義の時には受講者はレポート問題を知っています。そのレポート問題を見れば、本日の講義のポイントが分かりますし、板書の内容がそのままレポート問題の

解答になるように記述されていきますので、受講者が板書を熱心にとる動機にもなります。さらに、採点したレポートは「自習室・質問コーナー」でTAが受講者に返却し、受講者がその場で間違えた問題を解き直して再提出すれば、加点することにしました。これは、「自習室・質問コーナー」の利用者を大幅に増やすきっかけとなりました。また、「統計力学Ⅱ」を主に担当するTAは私の研究室の大学院生に依頼しましたので、受講者から受けた質問内容や理解が不十分な点など随時TAから報告を受け、それを直ちに講義にフィードバックすることができた点も非常に良かったと思います。

4 おわりに

新潟大学に着任して7年になりますが、新潟大学の学生の真面目さ、熱心さにはいつも感心させられます。集中講義に来られた他大学の先生方からも、「新潟大学の学生さんは熱心に聴いてくれて気持ち良く講義が出来た。」等のご意見を頂いています。受講生にとってはかなり厳しいと思われる本講義の授業方針や授業システムは、この様な真面目で熱心な学生の存在が前提となっていることは言うまでもありません。また、「自習室・質問コーナー」のTAとして熱心に（時には夜遅くまで）学生の質問や相談に答えてくれている大学院生の存在がなければ、この授業システムは成り立ちません。今年度も8名の大学院生が協力してくれる予定です。さらに、「自習室・質問コーナー」の世話人である中野博章先生には、予算やTAの配置など、色々とお世話になっています。皆さんにはこの場を借りて心より感謝したいと思います。