

# 基礎科学科目「未履修クラス」の実態と対策（Ⅱ）

高等教育総合開発研究センター 副島 雄児，春木 理恵

**キーワード：**基礎科学科目，未履修クラス，自己診断調査

**Keywords:** fundamental science objects, inexperienced class, self-checking of understandings by students

**Abstracts:**

To confirm the situation of students understanding in inexperienced class (class for students who have not studied physics at high school on fundamental science objects) is effective for revising the method of lecturing. In the present report, we analyze the data of self-checking of understandings by students made for recent two years in the class of fundamental mechanics, and discuss key points of the lecturing method. In conclusion, for better managements of the class, it may be required to develop a qualitative change in lecturing curriculum and thus the new curriculum for the fundamental mechanics object to be launched in 2006 would be effective for the changes.

## 1. はじめに

平成16年度前期に実施した力学基礎「未履修クラス」では，受講生による「自己診断」調査を実施し，その結果をもとに未履修クラスにおける受講生の実態を明らかにし，今後の対策について検討した（大学教育，第11号，53 - 61）。本稿では，その結果をもとにした平成17年度と同クラスにおける講義での対策や改善がどのような成果を挙げたか，あるいは，どのような点で再検討が必要なかを議論したい。なお，以下では平成16年度と平成17年度における講義の形態や調査結果を頻繁に比較するので，平成16年度を“昨年”，平成17年度を“今年”と記述する。

## 2. 今年の講義内容

表 I に昨年と今年の講義シラバスを比較して示す。講義の内容は昨年と変わらないが，シラバスの記述形式を大きく変えた。これまで，シラバスには開講日の講義内容を表す用語を記載していたが，これまで力学を学習してこなかった未履修クラスを受講生にとっては，記載されている用語そのものが意味不明であると思われる。“何を習うのか”と言うことよりは，“どのようなことを勉強するのか”を明らかにするほうが，受講生にとっては具体的なイメージが湧くと考えた<sup>(\*)</sup>。昨年とのもう1点の違いは，力学の学習では難所と思われる角運動量，振動運動，惑星の運動に費やす時間を増やしたことである。これらの項目に対する時間的な制約で理解が進まなかった昨年の講義での反省を受けて，今年は十分な時間を設定した。

---

(\*) シラバスの作成方法については次の著書を参考にした。「成長するティップス先生 - 授業デザインのための秘訣集 - 」，池田輝政・戸田山和久・近田政博・中井俊樹著，玉川大学出版部（ISBN4 - 472 - 30257 - 8 C 2037）

表 I 昨年と今年のシラバスの比較 ( Web シラバスへの掲載内容 )

回	昨 年		今 年	
	実施	予 定 内 容	実施	予 定 内 容
1	4月12日	講義説明・受講届け受領	4月11日	第1章 = 物理学が対象とする自然界のスケール ( 大きさ ) について概観し、相対性理論・統計力学・量子力学が有効な自然界のスケールを認識しながら、力学が取り扱うスケールを再確認します。(第1回自己診断実施予定)
2	4月19日	世界のスケール 第1回自己診断	4月18日	第2章 = ニュートンが発見した万有引力の意味を考え、地球が私たちにもたらす万有引力 ( 重力 ) について導入を行います。
3	4月26日	万有引力	4月25日	第3章 = 力学を学習する際に重要な武器となる数学的な準備を行いながら、座標・速度・加速度について議論します。
4	5月10日	座標・速度・加速度	5月02日	第4章 = 速度・加速度を厳密に取り扱い、ニュートンが見出した3つの「運動の法則」について議論します。この法則に従わない物体の運動がいかに不自然なものであるか、漫画を題材に考えてみます。
5	5月17日	運動の法則	5月09日	第5章 + 第6章 = ニュートンの運動の法則から、日常的に私たちが経験する具体的な物体の運動に照らし合わせて考察します。ニュートンの「運動方程式」とよばれる重要な式を修得します。(第2回自己診断実施予定)
6	5月24日	運動方程式・自由落下	5月16日	第7章 = ここまでに修得した運動の法則は、地球以外の場所でも成り立つのでしょうか。運動の法則がそのままでは成り立たない世界について考えてみます。私たちが日常経験するガリレイ変換と、私たちには非常識と思えるローレンツ変換について勉強します。
7	5月31日	非慣性系 第2回自己診断	5月23日	第8章 = 私たちの地球自体もそうですが、円運動について考察します。どのような場合に円運動が起こるのかという議論を通して、太陽系の惑星の運動を連想してみましょう。
8	6月07日	( 休講 )	5月30日	第8章 = 円運動の続きを勉強します。車に乗っていてカーブするとき私たちは外側へ押されるように感じます。この様な力を感じるのとはなぜでしょうか。私たちが日常的に経験している、しかしよく実態の分からない「謎の力」について詳しく議論します。(第3回自己診断実施予定)
9	6月14日	円運動	6月06日	第9章 = 運動方程式が如何に重要な式であるかを調べてみます。物体が運動の法則にしたがって運動する間、決して増えもしない減りもしない物理量が存在することを導き出します。
10	6月21日	保存則	6月13日	第10章 = 現実の運動では、摩擦や空気抵抗など、運動を妨げる力がはたります。この様な力がはたらく場合の運動方程式について考え、式を解くことによって運動を考察します。これらの結果が、私たちの日常の経験に一致することを確認します。
11	6月28日	外力による運動 (1) 第3回自己診断	6月20日	A D 第1章 + A D 第2章 = コマは回っているとなぜ立っていられるのか。回転運動をしている物体が持つ不思議な性質について考えます。また、あなたの家の玄関の扉はどのような閉まり方をしますか？子供のときに遊んだブランコはどのようにして上手に揺らしましたか？この様な身近な問題を取り扱います。(第4回自己診断実施予定)
12	7月05日	外力による運動 (2)	6月27日	第11章 = いよいよ私たち地球の運動について考えてみましょう。太陽系の惑星の運動の謎に迫ります。
13	7月12日	惑星の運動または剛体の力学 第4回自己診断	7月04日	第11章 = 太陽系の惑星の運動、周期がとても長い彗星の運動、1回きり太陽系に姿を現す天体の運動など、万有引力がもたらす天体の運動について理解を深めます。
14	7月26日	定期試験	7月11日	力学の学習を終え、全体のまとめを行います。(第5回自己診断実施予定)
15			7月25日	定期試験

### 3. 実施結果

#### 3-1. 自己診断調査結果

自己診断調査は昨年と全く同じ方式で行った。調査用紙(図1)とその内容の説明を再掲しておく。自己診断の項目1~46は大まかに4つの群に分けられる。群①(1~11)は力学の基礎的事項で、これらを習得しなければ以降の学習内容の理解が困難となるものである。群②(12~25)は回転運動に関わる項目(12~16)、および運動量とエネルギーの保存に関する項目(17~25)であり、力学の体系的理解に必要な事項である。群③(26~34)は角運動量、振動運動、ケプラーの法則と惑星の運動に関する項目で、数学的に煩雑な取り扱いがあり、受講学生の理解がやや困難と予想される事項である。群④(35~46)は力学に登場する数学に関する項目で、特に前半は高校の数学で学習しているもの、後半は大学入学後に数学として学習するものである。自己診断の5段階評価については、1.全くわからない、2.よくわからない、3.少しわかる、4.だいたいわかる、5.よくわかる、とし、受講学生が自分の状況を自分でどのように診断するかを一任した。ただし、“わかる”の意味を、“人に内容を説明できる”こと、または、テキストのどこに説明があるかを知っていて“そこを見れば人に内容を説明できる”こととした。半期の受講期間中に、大胆な基準の変更をしないように注意を喚起した。また、場合によっては、“わかっている”つもりであったものが、学習を進めるにつれて、改めて“わかっていない”と気づくこともあり得ることと説明した。すなわち、定性的ではあるが、あくまでも“自己診断”という色彩を強調した。

学籍番号	氏名					
1:	2:	3:	4:	5:		
	項 目	1.全くわからない	2.よくわからない	3.少しわかる	4.だいたい分かる	5.よくわかる
1	ケプラーの第1法則					
2	ケプラーの第2法則					
3	ケプラーの第3法則					
4	万有引力					
5	ニュートンの第1法則					
6	ニュートンの第2法則					
7	ニュートンの第3法則					
8	運動方程式					
9	重力加速度					
10	速度					
11	加速度					
12	ガリレイの相対性原理					
13	相対速度					
14	等速円運動					
15	遠心力					
16	コリオリ力					
17	保存力					
18	力とポテンシャルの関係					
19	運動量					
20	力積					
21	運動エネルギー					
22	ポテンシャルエネルギー					
23	力学的仕事					
24	運動量の保存則					
25	力学的エネルギーの保存則					
26	角運動量					
27	角運動量の保存則					
28	終端速度					
29	減衰振動					
30	過制動運動					
31	共鳴振動					
32	面積速度					
33	万有引力のポテンシャルエネルギー					
34	公転軌道					
35	デカルト座標					
36	円座標					
37	極(球)座標					
38	2階の線形微分方程式					
39	微分					
40	積分					
41	ベクトルの内積					
42	ベクトルの外積					
43	行列式					
44	行列を用いた座標変換					
45	微分方程式の一般解					
46	微分方程式の特殊解					

図1 習熟度調査用紙

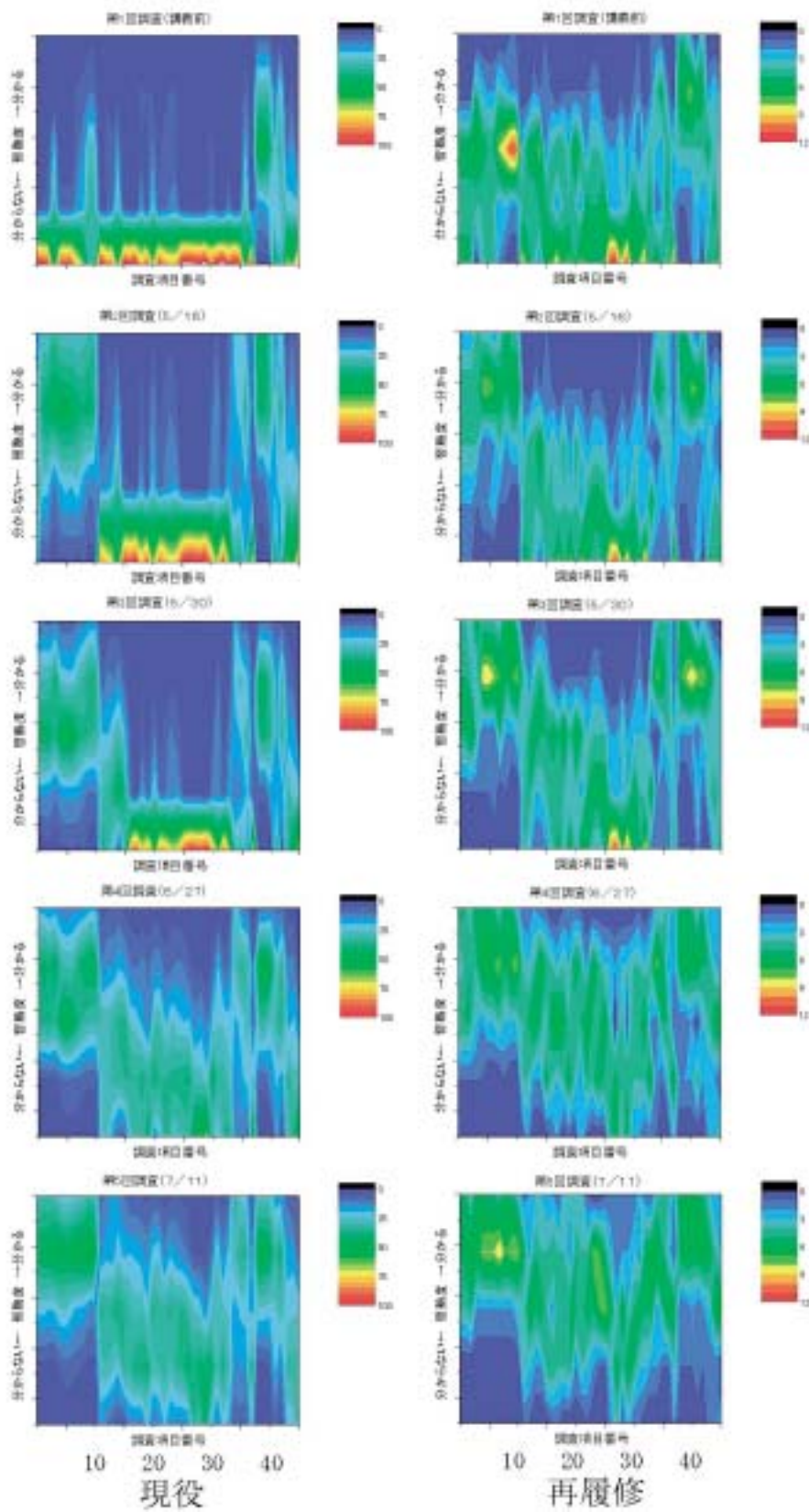


図2 習熟度調査結果。現役107名，再履修16名（横軸の項目番号の内容は本文に記載）

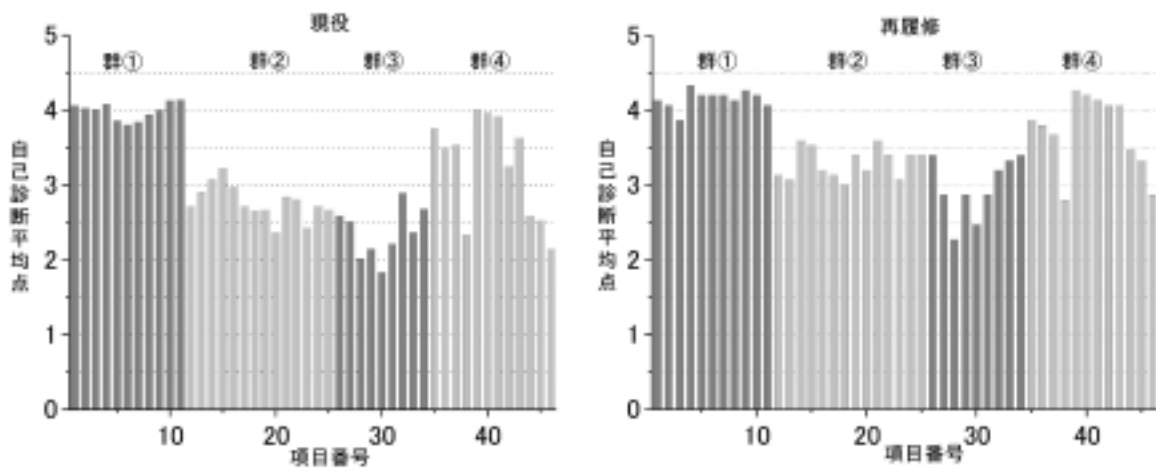


図3 最終自己診断点の平均値

図2に調査結果を示す。受講学生数は123名で、このうち現役107名、再履修16名である。調査は表Iのシラバスに示した時期に5回行った。昨年同様、現役と再履修を分離して処理している。まず現役について見てみる。第1回調査のように、数学の前半部分と速度・加速度を除くほとんどの項目で「全くわからない」または「よくわからない」状況から学習を進めることになる。我々は、この状況を認識した上で講義をスタートすることが重要であると考え。すなわち、頼りになるのは、日常生活で習得されている速度と加速度の感覚と、高校の数学で習得されている微分と積分およびベクトルの基礎的な知識である。例えば、「自由落下に関する運動をおぼろげながらも認知している」状況ではないと考えたほうが良い。講義が進むにつれて学習が進んでいく状況は第2回調査以降に見られる。第2回の調査までには群①の基礎的な事項について理解が深まり、力学の学習を進めるスタートラインに達したと見られる。第3回以降順次理解が進み、併せて関連するベクトルに関する数学の理解も進んでいくが、最終的に群②,群③の習熟度の向上は芳しくなく、したがって微分方程式の一般的理解についても理解が浅いままになる。

再履修では状況がかなり異なっている。基本的な事項の理解を持ちながら再学習が進められるようすが良くわかるが、第2回から第4回調査までほとんど状況に変化がみられないのは特徴的である。講義内容の習得が進まないのは、現役のときに理解できなかった項目(すなわち、落第の原因となった学習内容)と同じ項目の理解が進まないからだと思像される。しかし、最終的には全体的にかなり良い水準に達していると言える。図3に、最終自己診断46項目の平均点(1~5の平均値)を示した。

### 3 - 2 . 期末試験の結果

図4に出席状況と期末試験の得点状況を示した。昨年同様、出席点は40点、期末試験は60点満点である。この結果も昨年同様で、出席のよし悪しと得点の高低には相関が無いといえる。図5には最終得点の度数分布を示した。ほぼガウス分布的である。

図6は期末試験問題の正答分布状況を示したものである。図の縦軸は上方から下方へ試験の得点の高低の順に並べている。横軸は問題番号で、大問が5問で、問1に小問が10題、問2に5題、問

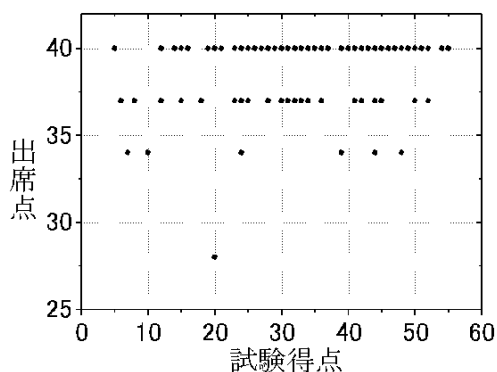


図4 出席状況と期末試験成績の相関

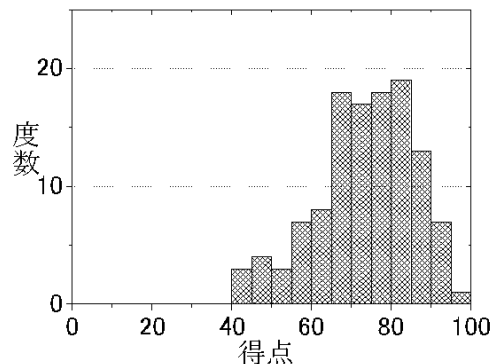


図5 最終得点の度数分布

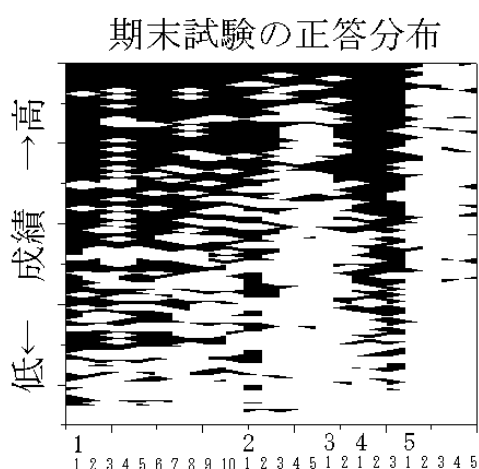


図6 期末試験の正答分布，縦軸は得点，横軸は問題番号で問題番号と問題内容は本文に記述している

3に2題，問4に3題，問5に5題あることを示している。問1は与えられた物理量のMKS単位を問う問題で，力学の基本的な物理量を理解しているかを問うている。問2は与えられた状況の運動方程式を書き下す問題で，学習成果が力学のスタート地点に達しているかを問う。問3は抵抗のある落下運動に関する問題で，代表的な力学現象が習得されているかを問う。問4は惑星の運動に関する問題で，座標に対する万有引力と遠心力のポテンシャル曲線の意味と，その解釈ができるかを問う。問5は力学の学習で習得した事象を総合的に必要とするややレベルの高い5問の応用問題で，力学の知識ではなく，力学現象への理解力を問う問題である。図で黒く塗りつぶしているのが正答箇所である。不合格者については力

学的物理量と運動方程式の習得がなされていないことがわかるが，半期の講義でも初歩的な事項についての学習がなされなかったことについては，この講義への課題提供と受け止めるべきである。合格者の中にも，運動方程式の記述ができていない者がいることにも注意が必要である。また，期待に反して，問5についての正答は希有であった。

#### 4. 昨年との比較

本稿の主眼は昨年と今年の比較にある。重複するが，図6に習熟度推移の図を昨年と今年についての比較を示す。昨年は調査を4回しか行っていないので，直接比較することはできないが，図では大まかな比較ができるような配置で，各調査時点での結果を配列した。左2列が現役，右2列が再履修で，それぞれの列では左が昨年，右が今年である。一見して，両年におけるパターンの推移がほとんど同じであることがわかる。特に現役では，第1回の調査結果は詳細にわたってまでほぼ同一で，したがって，講義の開始時における未履修クラス受講生の本質的な状況を示していると考えられる。最終的な結果もほぼ同じであることから，昨年の結果を受けて改良した講義時間の配分変更の効果については次のことが言える。(1)力学の学習開始時において非常に緩やかなペースで講

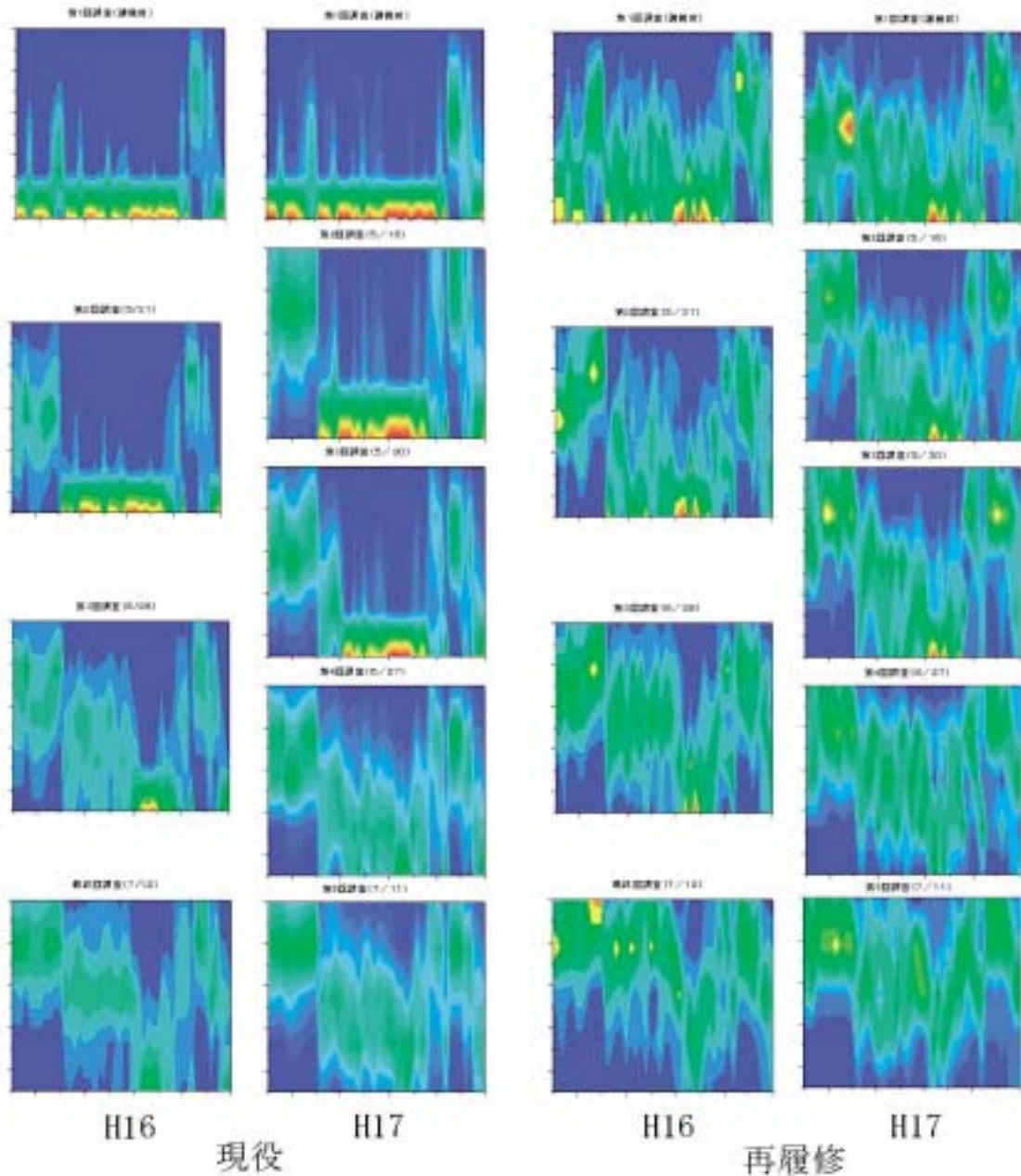


図7 昨年と今年の比較

義を進めることは、理解度の飛躍的向上を期待するほどの成果はない、(2)数学的に煩雑な群④に時間をかけた丁寧な講義をしても、理解度は期待するほど深まらない。すなわち、今年の試みは、こちらが期待した効果を上げてはいないと言わざるを得ない。強いて成果を見出すならば、群③について昨年より今年の方が平均点がやや向上している点が上げられる。時間配分によって群③の理解度を顕著に上げるには、さらに時間をかけるか、または、演習などを取り込むような講義の質的な改善が必要であろう。

再履修についても兩年を比較して同じ傾向が見られるが、昨年に比べ初期において群①の状況が良好であること、最終的に群③、群④の平均点が高くなっていることは成果であると言える。私見としては、ここで試みた講義の改良は、「未履修クラス」の現役受講生に対してよりも、再履修生

にその効果があったということではないかと考える。このことは、従来の講義の形態を保持しながらでの改善では、未履修クラスに対する抜本的な対策にはなり得ないおそれがあることを示唆していると捉えている。

## 5．平成18年度以降の対応について

平成18年度以降の新指導要領に基づく課程では、数学のベクトルに関する学習が究めて希薄であると聞いている。したがって、先に述べたこれまでの未履修クラスでの武器の一つ（数学の基礎的修得がなされていること）がさらに脆弱になることが予想される。このことは、上で述べた<sup>(1)</sup>についての考察が、次年度以降には成立しないことを示しているかもしれない。これまでに学生からの多数意見として、講義時間中に演習などを取り入れ理解を深めさせて欲しいというのがあったのは事実である。そうであろうとは感じているが、実際には盛りだくさんの講義内容をこなさなければならぬ講義スケジュールの時間的制約から、演習を行う時間を確保することは不可能で、学生の自発的な自習に頼らざるを得ないのが現実であった。平成18年度に一部の学部で力学基礎と力学基礎演習をセットにした、週2回の講義体制がスタートすることは、講義の質的な改善として大変興味深い。未履修クラスにおける理解とその定着に有効であろうと期待する。この改善の利点を活かすには、講義に密着した演習を行うために同じ講師が両方を担当するのが得策だと予想する。力学基礎に限らず電磁気学などの基礎科学科目において、今後この種の調査を継続し、平成18年度以降における課題の抽出を進める必要があると感じている。