

基礎科学科目「未履修クラス」の実態と対策

九州大学高等教育総合開発研究センター 副島 雄児

1. はじめに

大学入試センター試験の理科科目における科目選択制が、大学における基礎科学科目の実施に多大な課題を与えることになったのは既成の事実である。筆者は、九州大学における教養部の解体に伴って全学教育科目の力学基礎を担当するようになったが、そういえば何時の頃からか、講義が終わるとよく質問に来る学生が増え、その質問が、“当然高校の学習で身につけている”ことを前提とした講義に起因するものであることに驚かされるようになった。力学基礎の講義においては、その前提は、物理学あるいは力学に関わるものばかりではなく、それと同等に数学に関わるものでもあった。学生たちのこれらの質問は、最近では大学入試で物理を選択しなかったのに“なぜ大学に入って力学や電磁気学といった科目を履修しなければならぬのか”という苦情に変わってきている。

当時、筆者は大学入試センターで物理の作題委員を務めていたので、幸いにも高校の物理の教科書や中学の理科の教科書を精読する機会を得ていた。この任務は、高校で物理学を学習せずに理科系の学部に入ってくる学生が、物理学においてどのくらいの力量を持っていると考えればよいかを推測するのに役立った。学生たちが、力学基礎の学習をスタートするときに、何をどこまで知っていて、何をどのように理解できない状態であるかを考慮した講義の形態を模索することが可能であった。

同時に、九州大学の全学教育物理部会が、力学基礎に対して物理学を学習せずに入学した理科系学生のクラス、いわゆる「未履修クラス」を実施したのは適宜であったと思われる。未履修クラスの実施が遅れていれば、力学基礎をはじめとして、基礎科学科目の実施に多大な混乱を招いていたのではないかと想像する。当時、大学における学生の“学力低下”が話題となり、社会的な問題として騒がれた。九州大学における未履修クラスの実施は、その一つの対策として評価されたが、私たちの立場からするとそれは正しくない。これまでの未履修クラスの担当経験からすると、九州大学に入ってくる学生たちに学力の低下は感じられない。むしろ基礎科学科目における問題は、大学入試によって影響を受けた学生たちの学習の偏りを適宜把握せずに実施される、大学における講義の実施形態であると感じた。従って、未履修クラスの設定は基礎科学科目内容のレベルの低下を誘引するものではなく、講義の方法や講義形態の改善を促すべきものであると確信している。これについては、この報告の終わりに私見を述べてみたいと思う。

以下、平成16年度前期に担当した未履修クラスにおける力学基礎の実施をもとに、未履修クラスにおける学生の学習実態を明らかにし、続いて、それらの考察を通して今後の課題を議論する。

2. 平成16年度の力学基礎の内容

筆者が担当した平成16年度前期の力学基礎の内容を表 1 に示す。表には、4月当初に提示したシラバス（一部5月に変更した）と、実際に実施した内容とを対比した形で挙げている。また、参考

のために、全学教育科目の共通シラバスを表 1 に挙げた。

表 1 に見られるように、未履修クラスでは既履修クラスに比べてやや“レベルの低下した”共通シラバスが提示されている。しかし、筆者から見ると“レベルの低下した”という表現は不正確で、厳密には“数学的に煩雑な”内容を避けているように見える。基礎科学科目における力学の学習到達目標を、私たちの身の回りで起こる力学現象を論理的に把握することを目標とし、力学現象が運動方程式の積分によって説明されること、すなわちニュートンの運動の法則の重要性を認識し、これによって身の回りの力学現象、そして私たちの惑星の運動がみごとに説明されることに驚き、力学研究が近代の科学研究の礎となる方法論を確立したことを実感する、であるとすれば、未履修クラス用の共通シラバスに挙げられている項目は、あまり魅力的とは言えないのではないかと思う。力学が科学の理解に必要な基礎的概念を備え持っており、力学の学習が理科系を志す者には必須であること、しかしながら、学生たちが今後の専門教育において必ずしも力学そのものを武器とするとは限らないこと、を考えれば、力学基礎の学習が役に立つという意味で重要であることよりは、力学が魅力的な学問であることを訴えることは何倍も重要であり、基礎科学科目の使命はそんなところにあると考えても良いのではないか。この意味で、上に指摘した未履修クラスのための“レベル低下”はむしろ逆効果で、“苦手な”あるいは“嫌いな”物理学への更なる回避を産むことになるような気がしている。たとえば、共鳴現象や減衰振動を理解できること、重力と遠心力のポテンシャルで拘束された惑星の楕円運動を知ること、これから、太陽系の誕生や彗星の存在について思いをめぐらすことができること、これらは力学の魅力とその重要性を理解するためには欠

表 1 平成16年度前期の力学基礎シラバス

期 日	予定内容	実施内容
4月12日	講義説明・受講届け受領	
4月19日	世界のスケール	物理学が対象とする世界 第1回自己診断
4月26日	万有引力	万有引力の法則
5月10日	座標・速度・加速度	単位・座標系・速度・加速度
5月17日	運動の法則	ニュートンの運動の法則
5月24日	運動方程式・自由落下	運動方程式・自由落下・振り子
5月31日	非慣性系 第2回自己診断を実施します	ガリレイ変換・相対性理論 第2回自己診断
6月07日	出張のため休講にします 以降予定を繰り下げます	
6月14日	円運動	向心力・遠心力・コリオリ力
6月21日	保存則	運動量・力積・エネルギー・仕事・ 角運動量
6月28日	外力による運動 ⁽¹⁾ 第3回自己診断を実施します	摩擦・抵抗のある運動 第3回自己診断
7月05日	外力による運動 ⁽²⁾	振動運動・共鳴
7月12日	惑星の運動または剛体の力学 第4回自己診断を実施します	惑星の運動 第4回自己診断
7月26日	定期試験	定期試験実施

表Ⅱ 平成16年度力学基礎の共通シラバス

<p>【物理学】</p> <p>力学基礎力学基礎【2単位】</p> <p>専攻教育の授業内容との連携および高等学校での履修を配慮して、次の2つの種類のクラスを設けます。対象学生・クラス割等については別に指示します。</p> <p>A：高等学校物理Ⅰ及びⅡ，もしくはこれに相当する内容の履修者を対象とするクラス B：A以外を対象とするクラス</p> <p>A：高等学校物理Ⅰ及びⅡ，もしくはこれに相当する内容の履修者を対象とするクラス</p> <p>このクラスでは、力学の学習に必要な数学的学習をした後、質点に関する力学の基本法則とその具体的応用例を微積分や解析幾何等の数学的手法を用いて考察し、物理学における自然の論理的体系的理解への基礎を学びます。基本的には、以下の4項目を学習します。力学基礎演習とあわせて履修することが望まれます。</p> <p>(1)序論：物理学の世界，物理学の特徴，現代社会における役割等，単位系 (2)運動の記述と数学的準備：座標系極座標(平面)，力とベクトル，内積外積，力と釣合い，位置ベクトル，速度ベクトル，加速度ベクトル(接線，法線加速度)，関数の展開 (3)ニュートンの運動方程式とその解法：慣性の法則と運動方程式，微分方程式の解法，放物運動，単振動，単振り子，束縛運動，抵抗(摩擦)のある時の運動，減衰振動，強制振動 (4)エネルギーと保存則：仕事と運動エネルギー，保存力とポテンシャル，偏微分，力学的エネルギーの保存則，エネルギーの拡散</p> <p>以上は、必ず学びますが、以下の質点系剛体に関する基本法則等は、学習進度の状況等に会わせて適宜学習します。</p> <p>(5)運動の相対性と慣性力：ガリレイ変換と回転座標系，慣性力(遠心力とコリオリの力)，万有引力と惑星の運動力 (6)2質点の運動：重心運動，運動量と角運動量，運動量保存則と衝突，重心運動と相対運動，2質点系のエネルギー (7)質点系の運動：重心運動と相対運動，内力と外力，運動量保存則と衝突，角運動量，質点系のエネルギー(8)剛体とその運動：剛体とそのつりあい，剛体の運動の自由度と運動方程式，多角運動量と慣性モーメント，固定軸の周りの剛体の回転，剛体の平面運動</p> <p>B：A以外を対象とするクラス</p> <p>このクラスでは、物理学の基本概念の一つである物体に働く力と速度，エネルギー，運動量，角運動量等の保存則等を中心に簡単な演習を行いつつ講義します。まず、力，速度及び加速度を理解し、ニュートンの運動方程式から始めて基礎的問題を解きます。身近な力学現象を取り上げ、基本的な法則や事項の説明をしながら進めていきます。基本的には以下の4項目を学習します。</p> <p>(1)序論：物理学の世界，物理学の特徴，現代社会における役割等，単位系 (2)力と運動：力とは何か，力の合成則，力のつりあい，座標系，質点と位置ベクトル，速度ベクトル，加速度ベクトル，ベクトルの内積演習 (3)運動の法則(ニュートンの運動方程式)：慣性の法則と運動方程式，運動量と力積，放物運動，等速円運動，単振動，単振り子，束縛運動，演習 (4)エネルギーと保存則：仕事と仕事率，運動エネルギー，力学的エネルギー保存則，保存力とポテンシャル，物理量と保存則，演習</p> <p>以上は必ず学びますが、以下の質点系，剛体に関する基本法則等は、学習進度の状況等に会わせて適宜学習します。</p> <p>(5)力のモーメントと角運動量：力のモーメント，角運動量，角運動量の保存則と面積速度，万有引力と惑星の運動の定性的理解(Kepler)，演習 (6)質点系の運動(二体問題を中心として)：重心，重心運動と相対運動，運動量保存則と衝突，角運動量，演習 (7)剛体の運動：力のつりあいと回転，剛体の運動の自由度，角運動量と慣性モーメント，固定軸のある周りの剛体の回転，演習</p>
--

かすことができない項目だと思う。この観点から、表に示したシラバスに従った講義を行っている。数学的に複雑な項目は、数学的取り扱いの全てのプロセス(微分方程式を完全に解くこと)を理解させる必要は無く、そこから導かれる力学現象の完全な把握に大きな意義があると考えている。

表に示したシラバスの特徴は、第5回目までの講義の進行が非常にゆっくりとしていることである。この進度では後半の講義の時間的制約に悪影響を与えてしまうのは事実である。しかし、前半の基礎的なことが把握できないままでは、後半の学習内容をどのようにゆっくりと丁寧にやっても無意味であると考え、冒険的ではあったが、あえてこのシラバスに従った講義を実施した。また、講義を実施するに当たり、適切なテキストを用いることも重要である。未履修クラスにおける講義の進行を意識したテキストを自作し、ここ数年これを用いてきた。テキストを書いてみると、どうしても内容を盛りだくさんにしてしまう。この結果、実際の講義では扱わない内容があちらこちらに散らばり、自習をする学生たちには混乱を招くようである。今年度、これまでに準備したテキス

トを大幅に改定し、力学を学ぶ上でのエッセンスと思われる項目を厳選し、これらを説明するための補足的記述を増やした形式にした。表のシラバスは、このテキストに合致した形式になっている。

なお、テキストは、惑星の運動または剛体力学のどちらか一方を選択する形式としている。受講生のクラスによっては、これらの一方を選択して講義するようにした方が、負担を軽減することができると思われる。たとえば、工学部のクラス（工学部は入試科目に物理を指定しているので未履修クラスはないが）であれば剛体力学を選択した方が良い。このレポートのクラスは農学部対象であったので、惑星の運動を選択した。

3. 実施結果

3-1. 出席状況と期末試験の相関，得点度数分布

図1に出席状況と期末試験の得点状況を示した。出席点（講義中のレポート提出による）は40点，期末試験は60点満点である。このクラスの受講生総数は98名で，農学部の学生を対象としている。出席点の平均は38点，得点の平均は26点（100点満点に換算して44点）である。出席の良し悪しと得点の良し悪しには相関が無いように見える。

図2の得点度数分布には，いわゆる60点の駆け込み合格を除いては，擬似ガウス分布が見られる。高得点側に裾野が無いのは，角運動量に関する問題を殆どの学生が正解していなかったことによる。期末試験の平均点は期待したほど良くなかった。駆け込み合格（出席点が30点以上で，出席点と試験得点の合計が55点以上60点未満のものは60点とした）による60点の度数が60点度数の3割程度であることを考慮すると，図2の55点から60点未満が度数12程度になって，ガウス関数型となる。最終的に不合格者数は16名で，16%であった。

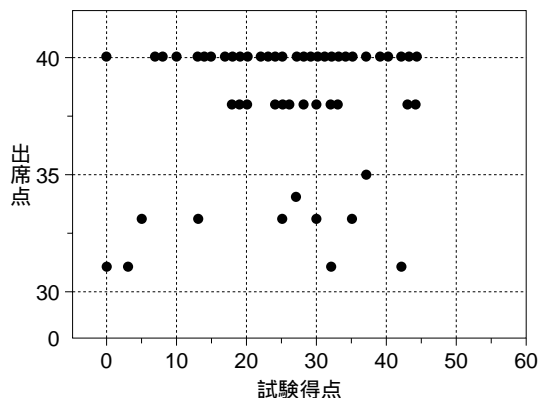


図1 出席点と期末試験得点の相関

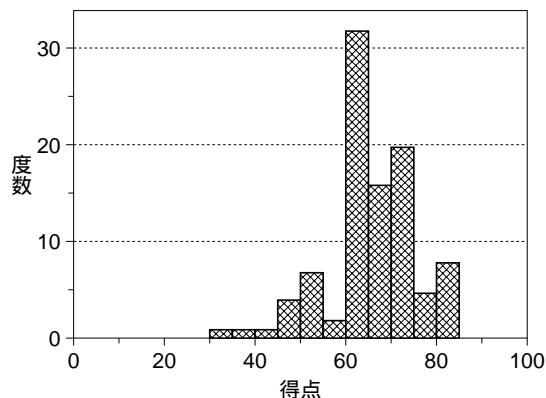


図2 最終得点の度数分布

3-2. 習熟度状況調査結果

表に示したシラバスの中に，第1回から第4回までの自己診断という記述がある。これは，図3に示したアンケートを実施したものである。力学の学習に関わる46項目（用語）を用意し，これについて自己診断の形式で5段階評価を行った。自己診断は，講義前，講義の途中で2回程度，講義の最後，に行うのが有効と考えた。

自己診断の項目は4つの項目群からなる。項目群 1～11は力学の基礎事項で，これを習得しな

ければ力学の魅力に関わる以降の学習内容の理解が難しくなるものである。項目群 12～16は回転運動に関わる項目，および17～25は運動量とエネルギーの保存則に関する項目であり，力学の体系的

理解に必要な事項である。項目群 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，学生たちの理解がやや困難と思われる事項である。項目群 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ある程度学習しているもの，後半は，大学の入学後に数学として学習するものである。力学の学習進度と，数学の学習進度は必ずしも整合していないことを考慮すると，必要な数学的内容を力学の中で取り扱うことが必要である。

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．だいたい分かる，5．よくわかる，とし，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。また，目安としては，“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。診断の定量性にはやや疑問の残る形ではあったが，各学生が自己診断の基準を途中で大きく変えることが無ければ，定性的な傾向はつかめると判断した。

この調査の結果を図4にまとめた。受講生98名のうち，再履修生が23名いたので，現役75名と区別して分析することにした。これによって，未履修クラスの特徴と同時に，再履修生の特徴をつかむことができると期待したからである。図4では，左が現役学生，右が再履修学生についての結果で，上から下へ第1回から第4回までの調査結果を並べている。

まずは現役学生についての調査結果を分析してみよう。第1回調査では，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」である。これは，未履修クラスにおける力学学習のスタートラインが，既履修クラスのそれとは全く異なるであろうことを示している。既履修クラスにおける調査を実施していないので確定はできな

学籍番号	氏名					
1:4/19	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	過剰振動					
31	共振振動					
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	微分方程式の特解					

図3 習熟度チェック用紙

いが、既履修クラスでは項目5～13、および項目19～25についてはある程度理解があるものと想像される。微分・積分・ベクトルといった数学についての基礎的な学習がなされていることは救いである。もし、この項目についてもスタートラインが後退していれば、力学基礎の講義は数学の学習から始めることになるであろう。項目群 についての学習を終えた5月31日に実施した第2回の調査では、これらの項目についての理解が進んでおり、平均的に「3. 少しわかる」状況になっている。第3回の調査では、項目群 までの理解が進み、同時に項目群 の理解が少し進展している様子が伺える。すなわち、力学の学習に基礎となる項目は、学習内容の進展によって繰り返しその必要性が認識されるために、いわゆる復習という形で習得されていると言える。このことは第4回調査においても、項目群 , 項目群 に理解の進行があることでよくわかる。最終的には、項目群 の前半、すなわち角運動量と振動運動に関する理解と、これに関連して項目群 の後半、すなわち微分方程式の理解が進まなかった結果となった。これらの項目は、力学基礎の学習においては難所と呼ぶにふさわしいものであるが、この講義では、講義時間の制約が大きな影響を与えていると考えている。つまり、7月5日、7月12日に実施した講義内容は、更に2回程度の時間をかけてゆっくりと丁寧に進めるべきだったと反省している。

次に再履修生についての調査結果をみてみよう。第1回の調査結果をみると、現役生との特徴的な差異はスタートラインでの状況がかなり違っていることが明らかである。項目群 の後半と項目群 の後半については、前年度の学習成果が保持されている。すなわち、自由落下などの簡単な運動方程式の理解と運動量・力学的エネルギーの保存則についてはある程度理解が保障されている。逆に、ケプラーの法則に関する項目と項目群 角運動量と振動運動については、ほとんど理解していない。この調査結果は、再履修生が前年度にどのような状況で不合格となったかを知る材料となる。第2回調査の結果で顕著なのは、項目群 の再学習によって、それらとともにそれに関連する部分で急速な理解が進んでいることである。基礎的事項の再学習によって、前年度の学習内容がよく思い出されているのではないかと考えられる。この状況は、第3回、第4回の調査にも見られ、最終的に現役生よりは高い自己診断結果となっている。

これらの調査は、講義担当者が学生の学習の進行状況を把握するのに有効であったと同時に、学生自身にも学習状況の把握に役立ったようである。習熟度チェック用紙には特に学生自身が記述をするようなスペースは用意しなかったが、空白に自らの診断結果について感想を書き込んでいる者がいた。チェック用紙への記入によって自分の学習状況が遅れていることに気付いた、どの項目について復習が必要か分かった、などの記述が主な内容であった。

この調査結果のまとめとして、各項目における最終自己診断成績（受講生が診断した、各項目の1～5得点の平均値）を図5（現役）、図6（再履修）に示しておく。46項目全体についての平均点は現役生3.0、再履修生3.6であった。

4. おわりに

自己診断の調査結果は、この講義が決して当初の目的を果たしていないことを示している。特に項目群 についての成績不良は、講義全体に対するこの項目への時間配分の不適切によるものだと判断している。項目群 に対する時間配分を十分に行うことを、あえて“冒険”として実施したが、

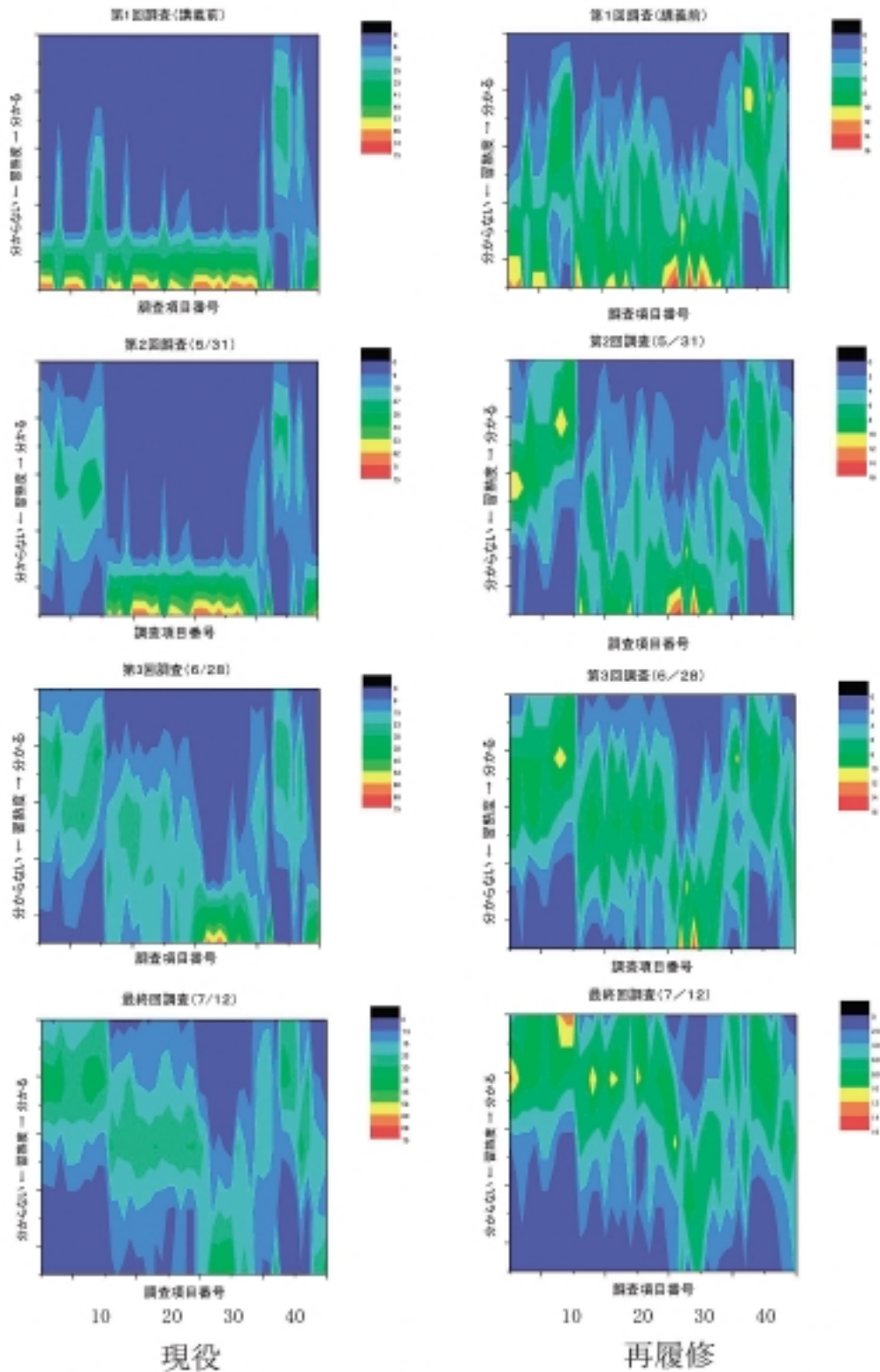


図4 習熟度チェックの時間的推移。現役75名，再履修23名。横軸の項目番号は，
 1～11：力学の基礎事項
 12～16：体系的理解に必要な事項
 26～34：数学的に煩雑な取り扱いがある事項
 35～46：数学に関する事項

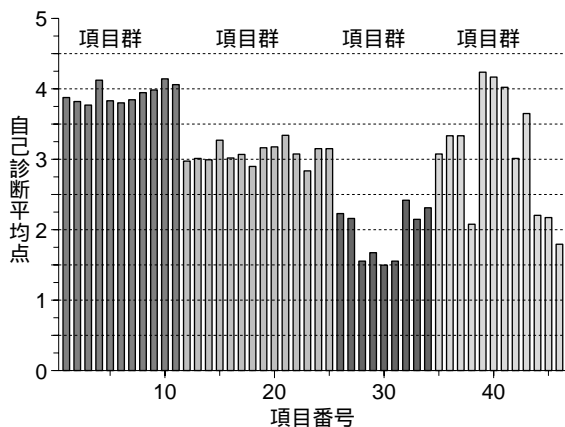


図5 自己診断点の平均（現役）

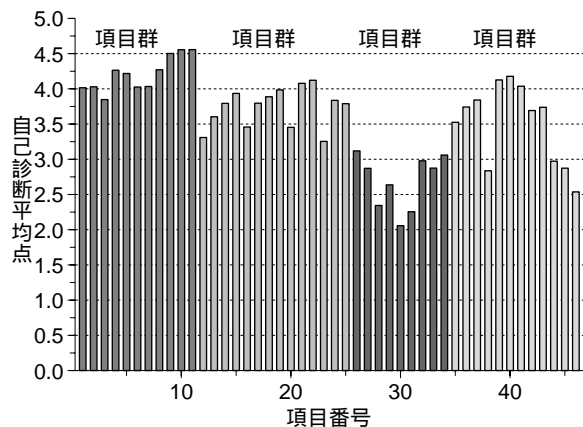


図6 自己診断点の平均（再履修）

この冒険はやや無謀であったかもしれない。結果として、この講義で受講生に力学の魅力を伝えることができたのか、これについては授業評価の結果を吟味することになりそうである。しかし、このデータを介して、ここで行った講義の実態と受講生の学習進行状況の実態を把握することができたのは、今後への大きな参考になると考える。

未履修クラスの設置に伴って、常に議論の対象となるのは既履修クラスとのレベル差である。両クラスを「力学基礎」という同じ講義名で扱うのは、問題があると知りながらもダブルスタンダード化を公認しているという懸念である。しかし、この問題について議論する場合には、単にクラスわけによるレベル格差の質を問うだけではなく、基礎科学科目の設置目的を明示し、そこから期待される教育効果を明らかにした上で考えていかなければならないと思う。最初に述べたように、未履修クラスの設定は基礎科学科目内容のレベルの低下を誘引するものではなく、講義の方法や講義形態の改善を促すべきものであると確信している。基礎科学科目の最終目的が「学生が科学科目の履修を通して、その魅力を捉え、その結果として科学学習の重要性に気付くこと」であるならば、本質的な問題は、学習内容のレベルや学習内容の項目の詳細だけではないといえる。この最終目的を達成するための講義内容の選定や講義方法の工夫について、クラス担当者間で十分に議論することが重要である。この際、実質的に議論しなければならないのは、

- (1)未履修クラスと既履修クラスの格差とは何か
- (2)未履修クラス間の格差はあるのか
- であり、これらを議論するためには、
- (3)クラス間の格差とともに、担当教員による格差の問題は無いのか
- (4)基礎科学科目の位置づけをどのように共通認識として捉えるのか

という点を明らかにしなければならない。このためには、年度始めに行われている実施部会での検討会を、単に講義の担当割や方針確認に留めず、より頻繁に開催し、科目教育開発の場として捉え直した方が良い。

平成18年度問題を間近に迎え、基礎科学科目の実施の大幅な変更を検討しなければならない。理念と方針に説得力を持ち、この変更が基礎科学の教育に効果をもたらすためには、問題の実態を明らかにし、その対応に柔軟に臨む必要があると考えている。早急に実質的行動を起こす最終段階に

入っていることを認識したい。