

大学教育におけるブリッジ科目の開発

理学研究院教授 小田垣 孝

キーワード: 未履修者問題, ブリッジ科目, 数学的手法, (2 + 1) 次元の講義, バーチャルラボラトリー

Freshmen without physics education, Bridging course, Mathematical methods, Lecture in (2+1)-dimensions, Virtual laboratory

Abstract: A remedial curriculum for freshmen is developed to compensate missing knowledge of physics and mathematical technique. A virtual laboratory is explained briefly, which helps students to intuitively understand time dependent phenomena.

1. はじめに

高校教育のカリキュラムの多様化が一層進み, さらに大学において種々の入学試験が積極的に導入されたことにより, 新入生の学力やバックグラウンドがかってない程度に広がっている。学生のもつ知識と講義が前提とする知識との間のギャップには, 看過できないほど大きくなっているものがある。

一方, 大学の講義の内容は, これまで担当者に任されることが多く, 相互に関連する科目であっても, 内容の整合性を図るといふ努力はほとんどされないのが実状である。特に第1学期に開講される理系科目で必要となる数学の手法が, 第2学期や第3学期にしか現れない, あるは全く触れられないということもある。すなわち, 講義の間に本来あるべきではない大きなギャップが生じていることが多い。

このような知識や手法のギャップを埋め, カリキュラムのスムーズな展開を図る科目を総称してブリッジ科目と呼ぶことにする。

本稿では, これらのギャップが最も顕著に存在する物理学に対して, 基礎科学科目物理学実施部会および物理学部門で過去6年ほどの間に開発してきた二つのブリッジ科目の基本的考え方を紹介する。また, これらの科目の講義を分かり易くするために, IT技術を用いて開発した「時間軸を用いた(2 + 1)次元の講義法」についても簡単に紹介する。

2. 二つの大きなギャップ

(1) 高校物理未履修問題

どの理系学部的基础科学教育においても, 物理学, 特に力学は必須である。一方, 高校で物理を受講せずに九州大学の理系学部に入学者がかなりの割合で存在する。表1は, 過去6年間の入学者について高校物理未履修者の割合を示す。生物学が主要な科目となっている学部, 学科の新入生の中で, 高校物理未履修者の割合はかなり大きくなっている。

これまで, このような状況にもかかわらず高校における履修を考慮に入れることなく同じ講義を

表1 高校物理未履修者の割合(%)

学 部	1999	2000	2001	2002	2003	2004
理 物理	0	5	0	3	0	2
化学	27	29	23	32	24	11
地惑	18	17	18	14	20	20
数学	13	11	8	9	6	6
生物	53	86	72	77	93	76
医	36	28	22	23	29	18
薬	49	38	38	42	34	25
歯	33	36	39	21	31	51
農	51	57	54	58	64	53

受講させていたため、高校物理未履修者に生じるフラストレーションが大きな問題となっていた。高等学校のカリキュラムの多様化に対応するために、九州大学ではアドミッションポリシーの下、多様な学生を入学させており、中等教育におけるカリキュラムと高等教育をいかに整合させるかは大きな課題となっていた。

(2)関連科目との時間的不整合

基礎科目における自然科学科目で必要となる数学的手法が、基礎科学科目として提供される数学科目で取り上げられない、あるいは必要となる時期よりもかなり遅い時期にしか触れられず、初年次の講義と数学の講義の間にギャップが存在することは、教養部時代から解決されずに放置されてきた問題である。例えば、微分方程式の解法、テイラー展開を用いた近似法や偏微分などは、物理学の講義の早い時期に出てくるが、通常の数学体系の中での講義ではそれほど重要視されず、また講義で出てくるのはかなり遅くなる。

これらの問題は、九州大学に限らず全国のすべての大学で見られる積年の問題であり、どの大学も解決に苦慮しているのが現状であろう。

3.ブリッジ科目

物理学実施部会および物理学部門では、アドミッションポリシーと整合した基礎科目を提供するために、これらの二つのギャップを埋めるブリッジ科目を開発した。ブリッジ科目の開発の概念を図1にまとめておく。

(1)未履修者クラス開講

力学および電磁気学について、大学の基礎教育として行われる内容と高校物理で取り上げられている内容の比較を表2に示した。この表からわかるように、高校物理と大学の基礎物理で取り上げられる現象は、ほぼ同じである。高校物理の授業では、比較的簡単な法則やそれから導かれる公式を説明し、いかに公式を適用するかに重点が置かれる。一方、大学の講義では、基本法則を微分方程式で表すこと、あるいはそれを解いて結果を得ることが中心課題となる。また、大学の講義では高校で学んだ公式を用いることはなく、高校の数学で履修する微積分の知識さえあれば講義をス

図1．物理学におけるブリッジ科目開発の概念図
赤線が大きなギャップを示し、そこを橋渡しするのがブリッジ科目である。

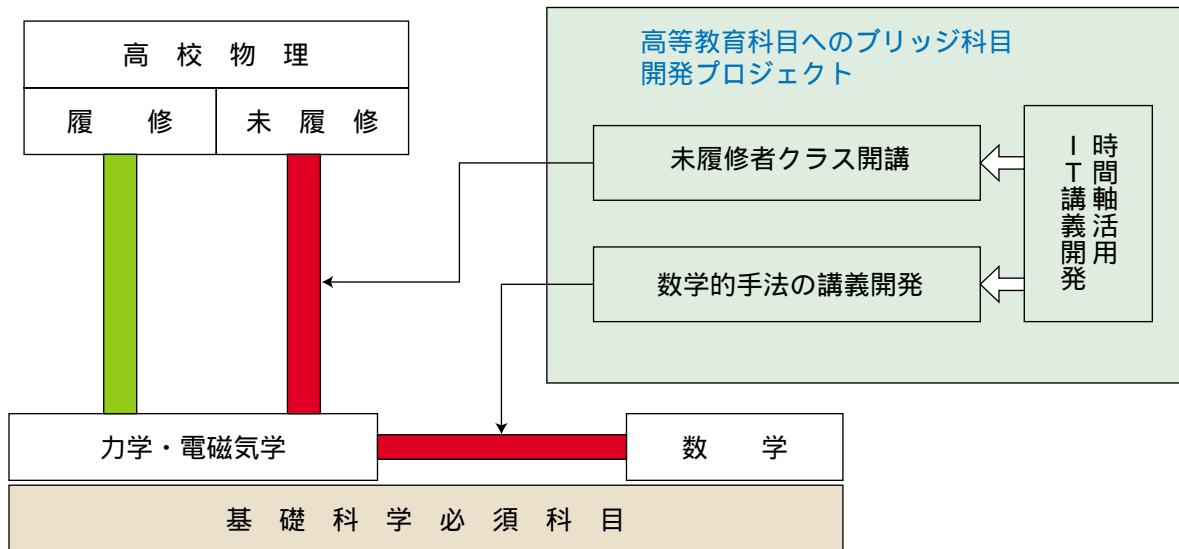


表2 力学，電磁気学についての高校物理と大学基礎科目との比較

	高校物理*	大学の基礎科目
力学	重力場内の運動 力の釣り合い 剛体に働く力の釣り合い 運動の法則 衝突 エネルギー保存 等速円運動，慣性力 単振動 束縛運動 万有引力，ケプラーの法則	運動の三法則 抵抗のある運動 単振動，減衰振動 エネルギー保存 束縛運動 非慣性系と見かけの力 角運動量 質点系 (惑星の運動) (簡単な剛体の運動)
電磁気学	クーロンの法則 電場，電位，電位差 コンデンサー，静電エネルギー オームの法則，直流回路 半導体 磁場 アンペールの法則 ローレンツ力 電磁誘導 交流回路，共振 電磁波	クーロンの法則 電場，静電ポテンシャル ガウスの法則 コンデンサー，静電エネルギー 誘電体 RC回路，定常電流 キルヒホッフの法則 静磁場 定常電流と磁場 アンペールの法則 ピオ・サバールの法則 変位電流 電磁誘導，ファラデーの法則 LCR回路 マクスウェルの方程式 (電磁場のエネルギー) (電磁波)

()内の内容は，基礎科目としては取り上げられないことが多い。

*：新指導要領による高校物理もほぼ同じ内容である。

ムーズに行うことができる。

未履修者クラスの開講に際し、

- 1) 中学の理科学習で得ている知識
- 2) 高校の物理学の内容(何を知らないのかを知るため)
- 3) 高校で学習している道具としての数学の知識

を教員が予め知っておくことが重要である。さらに講義の中では、

- 1) 最初に、力学、電磁気学の学習内容の全体像を把握させること
- 2) 数学的手法を明確に理解させること
- 3) ニュートンの運動方程式の重要性を認識させること
- 4) エネルギー保存則の導出を理解させること
- 5) 電気、磁気に関わる現象が統一的な基本法則に帰着することを理解させること
- 6) 経験との対応を明らかにしながら、現実にかかる現象を理解させること

が求められる。担当者は、これらのことを念頭においた周到な講義計画を立てることが望まれる。

(2) 数学的手法の講義開発

力学や電磁気学の講義では、微積分や線形代数の手法が必要となるが、講義の中でその解説に時間を十分取ることにはできない。大学初年次の学生に、必要となる数学的手法を早い時期に習得させることによって、力学や電磁気学の講義の理解を格段に向上させることができる。このことを目的に開発したのが「基礎科学のための数学的手法」¹⁾である。主要な講義項目は、表3に示すとおりである。

表3 基礎科学のための数学的手法の内容

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. 運動法則 微分方程式2. 力とポテンシャル 偏微分3. 振り子の運動 テイラー展開4. いろいろな振動 2階線形常微分方程式5. 連成振動 固有値と固有ベクトル6. 回転座標系と角運動量 ベクトルの外積および重積分7. ベクトル場と発散・回転 ベクトル解析8. フェルマーの原理と変分原理 オイラー方程式 |
|--|

この講義(物理学科1年生に「物理学入門」として講義されている)は、数学体系の一分野としての微積分学や線形代数ではなく、様々な自然現象をまず体験させ、現象を理解するために必要な手段として数学を展開する。役立つ数学であることを認識させつつ学ばせることにより、数学と物理学とのギャップを埋めることができる。体系としての数学の講義では同時に扱えない微積分、ベクトル解析、線形代数などを、応用上の必要性という共通項で一つの講義として教授することは全く新しい試みであり、すべての大学の理科系基礎教育の標準となるべきものである。

4.(2+1)次元の講義法の開発

高校物理未履修者は、そもそも物理が苦手であり、物理と聞くだけで毛嫌いする者が多い。このような受講者に対する講義では、できるだけ身の回りの現象や体験を題材とする議論が必要である。しかし、100人規模の大学の講義では、卓上実験はかなり困難であり、従来は板書と口述だけの講義が多かった。最近、著者は新しい演示媒体としてIT技術を活用したバーチャルラボラトリー(VL)を提案している。²⁾VLは、様々な現象の時間発展や関数・図形の振舞などを、講義の進行にあわせてインタラクティブに教室のスクリーン上に表示させるものであり、VLにより学生に何を議論しているのかを直感的に理解させることができる。

表4は、講義に用いられる演示媒体の比較をまとめたものであるが、VLの優位性は歴然としている。

表4 講義で用いられる演示媒体の比較²⁾

媒体	次元	長所・短所
教科書, 板書	2	時間発展が示せない パラメーターの変更ができない 示せる図の数が限られる
教卓実験	3+1	理想化できず, 失敗することもある 大きな教室では用いられない 微視的な現象は演示できない 準備に時間がかかる
ビデオ	2+0.5 [*]	失敗がない 講義がビデオの進行に縛られる 配布・アップデートが困難である
VL	2+1	巨視的・微視的時間変化を示せる 失敗がない アップデートが容易にできる いつでも, どこでも利用できる

*時間発展を自由にコントロールできないという意味で0.5次元とした。

5. おわりに

平成10年に始めたこの開発プロジェクトでは、(1)力学の未履修者用カリキュラム、(2)基礎科学のための数学的手法、(3)時間軸を講義に用いるITを活用した(2+1)次元の講義法を開発し、また今年度からは(4)未履修者用電磁気学を開講している。物理学実施部会では、年度初めに担当者会議を開催し、未履修者クラスの担当者に趣旨の説明と講義法の解説を行っている。これらの科目の検証は、基礎科学科目に関するFDや物理学実施部会において行ってきた。検証で次のようなことが明らかになっている。

[1] 新入生のフラストレーションの緩和

ブリッジ科目を提供することによって、高校物理未履修者の感じるフラストレーションが緩和されるとともに、基礎科学科目の本質的な部分を身につけさせて、専攻教育科目のスムーズな導入が可能となった。これまでの履修者と未履修者を区別しない講義では、未履修者の授業に対する不満

は圧倒的に多かった。未履修者クラス開設後は、履修者クラス、未履修者クラスの授業評価はほぼ同程度となっている。³⁾

[2] 実践的数学の習得

公理体系や論理構造に主眼を置く数学ではなく、必要性に裏打ちされた、実践的に用いる手法として数学を学び、基礎科学科目の理解を向上させることができている。

[3] 「なるほど」と思う理解

時間軸を講義の用いること及びコンピュータグラフィックスの利用によって、直感的に理解させることが可能となった。特に、 $(2 + 1)$ 次元の講義はIT技術の最も有効的な活用であり、多くの他の分野へ発展している。⁴⁾

一方、実際の講義において、不満も多く聞かれる。一つは、「物理をやりたくないから今の学部(学科)を選んだのに何故大学で物理をやらねばならないのか」というものである。この不満は、それぞれの専門領域の導入科目でその必要性を十分説明することで解消できるであろう。また、いくつかの未履修者クラスでは、担当教員が未履修者クラス編成の意味を十分理解せず、既履修者にするのと同じ講義を行った。学生から、「極めてわかりにくい講義であった」という不満も聞いている。担当者会議における事前説明で、担当者に十分講義の意図を理解して頂くことや講義順序の工夫などさらなる講義法の改善が必要である。

ブリッジ科目は、大学の抱える二つの大きなギャップを埋めるのに有効であることが実践的に示された。教育は、そもそも知識を接続しつつ、新しい知識を与えるものであり、さらに可能ならば、与えられる知識の増加率も連続させた講義が求められる。「獅子の子落とし」のような教育は、もはや許されない。

謝 辞

高校物理未履修者用講義の開発や現状分析をして頂いた、高等教育総合開発研究センターの副島雄児教授、理学研究院物理学部門の篠崎文重教授に感謝致します。

文 献

- 1) 小田垣 孝「基礎科学のための数学的手法」(裳華房, 2000); 小田垣孝“基礎科学のための数学的手法”, 大学教育, No.7, 39 - 41 (2001).
- 2) 小田垣 孝“統計力学のためのバーチャルラボラトリーの開発 - $(2 + 1)$ 次元の講義”, 大学の物理教育 vol10 - 3, 159 - 162 (2004).
- 3) 九州大学教育情報 No.13 (2004) など.
- 4) 小田垣 孝「統計力学」(裳華房, 2003).