

大学初等物理教育への提言 高校物理教師の教育実践から

渡邊 儀輝*

北海道南茅部高等学校 (公立はこだて未来大学非常勤講師 兼務)

Proposal for physics education for freshman in the university -practical experience of a high school teacher of physics-

Yoshiteru Watanabe**

Hokkaido Minamikayabe Senior High School and Future University-Hakodate

Abstract I introduce a rare case in Japan in which a high school teacher taught basic physics in a science and engineering university. The curriculum included the development of physics in the 21st century, and it was basically prepared with physical resources from phenomena familiar to students. Moreover, audio visual resources on video tape and computer software were used. These contents with demonstrations roused the students' interest. A special course of thermodynamics and electromagnetics, which was closer to professional education and was open as an elective for students after the ordinary course, improved their logical thinking. This course also included recurrent education. The course also had a role as a counseling system using my experience as a senior high school teacher. It showed that such a course should be included as a general education course in physics in a science and engineering university. It is expected that this case will be a good model for teachers of general education.

(Received on February 12, 2002)

はじめに

高校理科教師になって10年目という節目(平成12年度)に,大学での初等物理学の講義「物理学入門」と情報系化学物質(半導体・液晶・プラスチック・セラミクス)の基礎講座「物質の科学」の2つを非常勤講師として担当することになった。そこには,高等学校業務の支障のない範囲(つまり年休処理)で大学の講義を持ち,かつセンター試験で満点近くとる学生か

ら,中学第1分野がおぼつかない学生まで,学科全員必修の一斉授業として受け持たなければならないこと,等様々な困難が待ち受けていた。

まさに10年間の高校物理教師としての私の生き様をかけた4ヶ月間であった。限りある時間の中での学生達との面談,メールのやりとり,様々な価値観を持つ大学の先生方との会話,すべてが初めてのことで,貴重な体験であった。高校教師の枠の中だけでは,また勤務する南茅部高校(全校生徒160名,教員

*) 連絡先: 041-1611 北海道茅部郡南茅部町字川汲1560 北海道南茅部高等学校

**) Correspondence: Hokkaido Minamikayabe Senior High School, Minamikayabe-cho, Kayabe-gun, Hokkaido 041-1611, JAPAN

数15名)という,小さな学校の中にただけでは,考えもつかなかったことで悩んだ。

本論文では,最初に高校物理教師が考えた大学初等物理学講義「物理学入門」はどのような内容だったのか,を紹介し,最後に高校物理教師として考える「大学理工系教養としての物理学とは」を提言したい。

大学の講義が高校との関連性を保ちながら,どのように行われるべきか。高校科目の選択制が強化される時代に,今後どのように向かわなければならぬのか。その参考の一助となれば,幸いである。

1. 「物理学入門」講義内容

1.1 シラバス決定までの経緯

平成12年度に函館市に開学した公立はこだて未来大学は,日本初の「複雑系科学科」を擁し,函館市を含む1市4町で構成される「広域連合体」で運営されている。この複雑系科学科入学生80名に対して,前期必修2単位で「物理学入門」が用意されていた(現在は選択科目)。

さて,物理学入門のイメージとは何であろうか。まがりなりにも「複雑系科学科」である。現在もっとも先進的な学問(学問といえるかどうかは,個人差があり,ここでは議論の対象としない)であり,数理カオスの世界,フラクタル図形に代表されるように数式はかなりのレベルのものを使い,高校物理程度は基本中の基本。古典力学,熱統計力学(全体を扱う複雑系にとって統計力学の考え方は必修),波動・電磁気は当然,ベクトル,テンソル,複素関数,線形どころか2階非線形微分方程式を解いて,離散化し,コンピューターでシミュレーションし,自然現象を解析する。その扱う範囲は広大であり,適応範囲は経済,交通,情報,物理,化学反応,生物個体,生態系,知能,等々枚挙にいとまがない。大学院で学ぶべき内容を学部レベルで学習する現在最も先駆的な理工系学部として開学した。

学科80名の入学者のうち,いくら物理が高校で履修されなくなってきたとはいえ(注1),ほとんど全員が数学はI,II,III,A,B,Cを履修してくるだろうし,高校物理IB,IIをとっているだろう。少なくとも数理をやらなければならない,という覚悟はあるだろう,と前年の秋くらいに考えていた。

しかし,いざ教壇に立って80人に対して行ったア

ンケートを見ると,物理は1/3の学生が履修していない。残り2/3でも1/6が物理IBまでしか履修しておらず,物理IIまで履修しているのは40人しかいなかった。しかし,その理由を聞くと「高校で物理が開講されていない」というものがほとんどであった。物理が嫌いで履修しなかった学生は,ほとんどいなかったのである。経済,生命系を学ぶ学生に対して「高校物理のような断片的な物理学の知識は,全く必要ないのであろう。物理学的な論理的な思考は必要であるが,具体的にファラデーの電磁誘導云々,などは使わない」と考えられている。では,論理的な思考を教授する「物理学入門」とは何か?と非常に悩んだ。

理系大学のホームページを見てみると,講義名「物理学入門」は主にベクトル解析を主とする展開で,簡単な古典力学をやっているようである。高校での物理履修者が少なくなっている今,物理って何?という学生が増え,中学校第1分野で学力が止まっている学生に対し,様々な大学が高校物理の補習をやっている(東大でさえ)。工学部,理学部なのに物理をやっけてこない,そんなことはもう珍しくないのである。

1.2 「物理学入門」シラバスとその修正

そこで,高校で物理を習っていないくても,物理学の体系全体をのぞくことができるような,まさにIntroduction of Physicsになるような「物理学入門」をやってみよう,ということにした。そう思い立ったのは,「個々の物理実験に対しては非常に興味を持って取り組むのであるが,それが単発の知識で終わってしまい,物理学全体の体系の中でどのような位置づけにあるのか,を深く考察することができない」ということを,科学の祭典や普段の高校物理授業の中で感じていたからである。その中で複雑系の基礎であるフラクタル,非線形,次元などの用語も入れた。その観点で準備したシラバスが表1の通りである。

一回目の講義が終わった後,たくさんの学生と話をした。電子メールでもアンケートをとり集約した。はっきり苦情を言ってくる学生もいる。「講義室がせまい」「液晶プロジェクターがうすい(全室標準装備ではあるが)」「先生の講義はレベルが低すぎる。これじゃ理工系大学との差はひろがるばかりだ」「講義レベルは上位1割がついていければいい」「何をしゃべっているのか,まるでわかりません」「高校物理をとっていない人にも配慮を」「もっと実験をたくさん

「やって楽しくやりたい」「複雑系に直接つながるような物理を」等々。アンケートの結果は次のとおりである。

問 = 物理学入門で何を教えてほしいのか？

- 答 = 1 . 高校物理の復習 (40人)
 2 . 大学初等物理・古典力学 (20人)
 3 . シラバスどおり (10人)
 4 . パソコンシミュレーション (5人)

5 . 量子力学などの近代物理学 (5人)

まず事務と交渉して大講義室(きれいにうつる液晶プロジェクター2面装備,実体投影器付き)で講義をすることにし,テキストの補習プリントを前の週に印刷し,予習用に渡した。そして以下のように講義を変更した(学生連絡掲示版用に私設のホームページを開設した)。

表1 syllabus of Introduction of Physics for Future University-Hakodate

<p>目 標</p>	<p>高校までの物理学の知識を整理し,複雑系科学を学ぶために必要な物理学の基礎を身につける。</p> <p>高校まで学習する「物理学」は,いわゆる「古典力学」「熱力学」「波動学」「電磁気学」「原子物理学」の5単元の基礎基本を体系立てて組み立てられている。その根本にあるのはニュートン力学と呼ばれ,ひとつの美しい形を完成している。しかし,今日の現代物理は,主に量子力学に重点が置かれ,また,複雑系物理もこれまで学習してきたニュートン力学では説明のつかない現象を探索している。今まで学んできた物理とあまりに相違点が多く,とまどう学生も多いであろう。</p> <p>その点をふまえ,この講座は高校までの物理と現代物理(複雑系,原子核分野)の橋渡しの授業を展開する。初歩的な数学を使い,演示実験,ビデオ視聴を取り入れ,わかりやすく,そしてスムーズに従来の知識体系から移行できるよう,以下の6つの章で授業を構成する。</p>
<p>(1) 力学</p> <p>(2) 振動と波動</p> <p>(3) 形と流れ</p> <p>(4) 熱とエネルギー</p> <p>(5) 電磁気と相対論</p> <p>(6) 量子力学と素粒子物理学</p>	<p>1. ガリレオの実績・サイクロイド・運動量論争</p> <p>2. 運動の3法則・角運動量保存則</p> <p>3. 共振と自励振動・光の粒子説と波動説</p> <p>4. 光の放出と吸収・レーザー・CD・SOR</p> <p>5. ものの大きさと強さ・圧縮と伸び・フラクタル</p> <p>6. 層流と乱流・非線形の微分方程式・乱流とカオス</p> <p>7. ファジィ・確率と分子・熱力学第1法則</p> <p>8. 熱力学第2法則・マックスウェルの悪魔</p> <p>9. マックスウェルの方程式・ヘルツの実験</p> <p>10. エーテル・エネルギーと質量・ブラックホール</p> <p>11. 不確定性原理・フェルミ粒子・超流動・超伝導</p> <p>12. クォーク・弱い力・大統一理論・四つの力</p>

- (1) 90分講義の前半はシラバス通りにおこなう。簡素な解説とその内容に関するビデオ視聴が中心。前の週に講義内容を印刷したものを配布するので、予習が大前提。本来90分でやる内容を45分でおこなう。
- (2) 90分講義の後半は、理工系大学で使用している物理学概説の講義と同等のものをおこなう。時間の関係で古典力学しかできないが、後期に学習する「ベクトル解析」の予習的な講義にする。別の日に特別補講として複雑系科学に必要と思われる「基礎流体力学」「基礎熱力学」「電磁気におけるマクスウェル方程式」をおこなう。
講義内容：運動方程式，ポテンシャル，保存力
基礎流体力学：ベルヌーイ，粘性流体
基礎熱力学：第2法則，エントロピー
マクスウェル方程式：4つの式の解釈と数式的な意味
- (3) 前期が終了したあと、夏季休業中に表計算ソフトを使ったカオス図形，フラクタル図形，線形・非線形微分方程式の解法，テイラー，マクローリン展開のやり方の特別補講を1日かけて実施する。
- (4) 高校物理の補習を毎週水曜日講義が終了した後，問題集を中心に120分おこない，物理IB，IIの範囲をカバーする（16：30～18：30）。

よりレベルの高いところをめざしたい人のために(2)を，シミュレーションをやりたい人のために(3)を，高校物理の学習・復習をしたい人のために(4)を，そしてあまり物理をガリガリやらない人のために(1)を用意した。講師にとっては一日がかりの，まさに「物理づけ」である。学生は，講義をベースに自分の興味に応じて，特別補講，高校物理補習を受け，自分の力で基礎学力を高めていった。また，リクエストもあり，高校数学をベースにした「大学初等電磁気学（ベクトル解析初歩）講座」も後期の夕方に実施した（これはゼミ形式）。

2. サイエンスデモと演説

2.1 サイエンスデモの意義と内容

担当した講義は「物理学入門」と「物質の科学」であるが，その講義の中で実験をやったとしても，10名近くの大講義室の片隅で行うのでは効果がない。そこで，講義が終了した直後，12：40～13：05まで

の25分間，未来大学1階のプレゼンテーションベイで，今日学習した内容に直結する「演示実験」を学生達の前で披露し，また体験してもらおう，という目的でデモンストレーションが始まった（写真1，写真2）。物理学入門のスケジュールと，その内容にあわせて組み立て，「話術」と「実験組み立て」「ストーリー的な展開」を重視して，挑戦した。

これは大好評であった。学生だけではなく，学科長，学長も含め，多くの（常時100人以上）参加者がいた。このプレゼンテーションベイは，1階の真ん中にあり，赤緑青（RGB）色をしたクレーターのよう形状のものである。まさに実験指導の得意な私のために設計してくれた場所である。内容は表2の通りである。

最初は少なかったのであるが，だんだんと欲が出てきてしまい，量が増えてきた。代表的な演示実験を行った。このサイエンスデモはすべて講義と連動している。講義の内容を，その直後にデモで見せたり体験させた。決して無計画にやったのではない。講義と遊離した実験は単なる遊びになってしまうからである。このデモは学生はもとより未来大学の先生方がまず驚いた。このような教育方法を初めて見る方ばかりだったのである。演示実験というものは「百発百中」「一目瞭然」「原理簡単」でなければいけない。意味のない羅列もただ混乱するだけである。実験を数多くやればよいというものでもない。

このデモで最も気を付けていたこと，それはストーリー性である。それには「話術」が大変大きなポイントである。未来大学には盲目の先生がいらっしゃる。その先生も毎時間「見に」ではなく，「聞き」にきておられた。先生曰く「渡辺先生の話聞いていれば，たとえ目が見えなくても，その現象が頭に浮かぶ。素晴らしい」。そのため，毎回メモ程度原稿を用意し，頭の中でストーリーを組み立てて「演出」していた。前日の夜9時くらいに未来大学へ行き，実験道具をセット調整する。当日のデモは百発百中ではなければならない。帰宅は午前2時というときもあった。

毎週がチャレンジであった。25分間のサイエンスショーを講義と関連づけて，12回連続で行う。しかも本来の高校授業の「片手間」でやらなければならない。今までの高校物理実験の蓄積と科学の祭典（注2）で養われた「話術」のお陰で乗りきった。



写真 1. 参加者は常時 100 人以上であった



写真 2. サイエンス・デモンストレーション

表 2. Thema and contents of Science Demonstration

(1) 慣性の法則	輪と鉛筆・風船付きミニホバークラフト・人が乗れるホバークラフト
(2) 角運動量保存の法則	車輪を使ったジャイロ効果, 角運動量保存・ベンハムのコマ
(3) 波と光	プラスチックばねで横波・縦波・牛乳パックカメラ・スペクトルの観察
(4) 電磁波	ヘルツの実験・光通信・ファイバーケーブル・光電効果・ブラックライト
(5) 音	あんま機の定常波・ベースを弾いて弦の定常波・アクリルパイプで閉管の定常波 演説 (大学生とは何か?)
(6) 圧力	エアフレッシュを使った簡易真空実験・10 m の水柱
(7) 流体	ベルヌーイの定理・扇風機で紙風船を浮かす・マグヌス効果
(8) 電磁誘導	紙コップスピーカー, マイク・相互誘導・縄跳び発電, 自転車発電
(9) 磁石	本多光太郎の話・ネオジウム磁石・地下鉄のキップの裏・磁性体を削り出す。
(10) 共振現象	共振振り子, 磁石の共振振り子・LC 回路・金属顕微鏡で CD の裏を観察
(11) 液体窒素	二酸化炭素とドライアイス・液体酸素・超伝導物質とマイスナー効果
(12) 惑星の運動	自作エアテーブルを使った惑星の楕円運動・円運動・自作 GM 管 演説 その 2 「物理学とは何か? 」

2.2 学生に対する演説と学生の反応

さて、デモの中で私は2回ほど演説している。5月中旬の1回目は学生とのメールの中で、「大学の講義全部が難しくついていけない」「この大学に来たのは間違いだった」という悩みの相談が多くなり(高校教師ということで話しやすかったのであろう、多くの学生から相談を受けた)趣味のペースでソロを披露した後、こんなことを学生全員に向かって話した。

今、大学と高校との差に押しつぶされそうになっている学生はたくさんいるでしょう。一人じゃありません。たくさん、そして全国にもたくさんいるのです。私もそうでした。大学の勉強の壁はとても高く、厚く、呆然と見ているだけの人もいるでしょう。あせる必要はないです。人にはそれぞれペースがあります。でもチャレンジする姿勢は持ち続けて下さい。遊びも学びも120%だ!

開学間もない学校は、先輩からの情報もなく、試行錯誤の連続である。先生方も一生懸命で、非常勤講師としても十分それはわかる。日本で一番最初の複雑系学科ということもあり、そのゆらぎが学生達も不安にさせていると考え、またちょうど5月病の時期ということもあり、私の人生観も踏まえて演説した。おおいにテンションをあげて、学生達に訴えた。

サイエンスデモの一番最後の回には、別の観点から演説をした。複雑系が多岐に渡りすぎ、物理学を軽視する風潮が学生達、教官達の間に流れたと感じたのである。学科長と色々話をする中で、それを深く感じ、最後のデモでそのことを伝えようと思ったのである。これは完全に原稿を用意した。詳しくは頁末のweb pageを参照していただきたい。

物理というと、客観的なデータ処理があり、数学手法を使った解析があり...とまるでそこには人としての情がないように感じられます。でも本当にそうなのでしょうか? 物理学発展における過去・現在・未来の時間の流れは、科学者の「情」の流れだと私は考えています。デービー、ファラデーの師弟関係、ボルタとガルバーニ、ニュートンとホイエンス、ニュートンとデカルト、フック、ボアアとアインシュタイン。論争は

していましたが、お互いに尊重、尊敬しあっていたのも事実です。認め合っていたのです。その連続と続く情の支え合い、ぶつかり合いが、物理学を発展させてきたのです。物理が無機的なものであるとすると、ここまで人を引きつけ、ある時はボルツマンのように命を失い、というものは絶対生まれません。絶対生まれません。

物理学には、もう一つ大事な四方八方、空間の広がり、というものがあります。それは数多くの物理関連法則に対応します。ガリレオ、チコブラーエ、ケプラー、ニュートンによる重力の考え、マックスウェルによる電磁場の統一、ワインバーグらによる弱い力と電磁気力の統一、強い力、弱い力、電磁気力、重力の統一(これはアインシュタインの夢でした。死ぬ直前まで彼は計算していました)。普遍性といわれる側面がこの部分です。

古来中国では「宇=空間の広がり、宙=時間の流れ」をさすそうです。決して天空を指すものではありません。人をとりまく時間も含めた森羅万象が「宇宙」なのです。まさに物理学とは「宇宙を探究する学問、そしてその探究方法は自然科学の土台」なのです。21世紀には力の統一、そして最後に残された謎=時間と空間が統一されるでしょう。

今、新しい科学の見方=複雑系という見方が世界に脚光をあびています。ニュートンがアインシュタインが切り捨てた微小項、乱雑さをも記述することができ、コンピューターでシミュレーションすることができる画期的な見方です。でもそれは特別な見方ではありません。物理学の王道=力学・熱力学・波動・電磁気学・核物理・量子力学・素粒子物理の上に立脚してこそ価値があり、意味がある、と私は考えています。そこを踏み外したとき、新しい見方は科学ではなく、オカルト・宗教の世界へ暴走する危険さもあるのです。

決して足下がゆらいではいけません。きらびやかな世界に踊らされてはいけません。基礎基本を固め、本を読んで知識をつけ、友人達、先生達と議論しよう。交流しよう。孤立しちゃだめだ。深めよう。そして暗記という受験の電極をはずそう。新しい見方は、ちょっとしたことで「井の中の蛙」になってしまう。

物理学は深く、広い。

そして、その深さを、広さを考えられる「人」は素晴らしい。人間こそ美しい。

人が作る、お互いに生かされている「社会」はもっと素晴らしい。

人を生命をとりまく自然は素晴らしい。

地球は素晴らしい。

宇宙は素晴らしい。

余計な邪念を入れず、「素直」にそう言える。

そんな「人」になってほしい。

「物理学入門」で伝えた「小さな小さな炎」を胸に大学を卒業し、この函館から、日本へ、世界へ複雑系という新しい見方を持ち羽ばたいていくことを高校の一教員として祈っています。

それでは先生は高校へ帰ります。

今までどうもありがとう。

講義は終わりました。

さようなら。

これらを聞いた学生からこんなメールが届いた。

不真面目な学生でした。何度か遅刻をしました。何度か講義中に意識がなくなりました。一所懸命でありたいといつでも思っています。第一に学問をすることを目的に大学へ来ました。私は物理学科志望でした。幸せに生きるためには主体的に生きよう。そのためには生きている状況の認識を深めること、その行為過程自体が必要であろう。まず、てはじめに物理学をやろう。と思ったからです。けれど、今期最も内容の濃かった本講義への取り組み方が生活における主体性のなさを物語っています。大学在籍中に物理学だけは徹底的に学ぼうと思っています。なのに、この前期、日常生活に追われ、全くに墮落してました。デモンストレーションで『人間こそはすばらしい』と仰られた。その言葉が重く感じられます。

学生はわかっているのである。少なくともこの一期生達は。物理学が理学の基礎であるということも、自ら学ばなければならないということも、複雑系科学科という前人未踏の領域に踏み込んでいくことも。

そしてその不安におしつぶされそうになっていることも。

3. 大学初等物理学とは

大学の講義に対して初めて挑戦した高校物理教師として以下を提言したい。

- (1) ビデオ、パソコン付液晶プロジェクターを装備した教室で、学生数 40 人以下（高校では 30 人学級への署名運動が盛んである）で講義を実施する。100 人のようなマンモス講義では、基礎科目の講義は不可能である。未来大の夏期集中講義で私は 200 人の講義を担当したが、気の遠くなる思いがした。
- (2) 物理学の発展と知識は自然科学の土台である、という信念を持ち、そのことを教授するための実験（演示実験でも可）を中心とする講義を行う。これが物理教養の土台となる。高校物理レベルではなく、相対論、素粒子、宇宙論まで話題をひろげ、密室の講義室ではなく、屋外、屋内のオープンスペースを利用できればなおよい。
- (3) 論理的、数理的思考を教授するためのゼミ形式演習講義（古典力学、電磁気学）をおこなう。(2) だけでは理学の力をつけることはできない。その中で現在小中で決定的に不足している「ドリル学習」を取り入れる。
- (4) 中高の理科・数学課程（学生が受けてきた教育課程）を知り、高校と大学の橋渡しの講義ができ、かつ (2) (3) のできる教育専門の教師を養成する。これが急務である。
- (5) その教師は、入学した学生に対してカウンセリングができる教師であることが条件である。教師の仕事は「知識を教授すること」以上に「相談にのってあげること」である、という自覚を持つ教師でなければならない。

おわりに

前述した提言内容のすべてを大学教官に求めることは無理であろう。しかし、学生は訴えている。少なくとも私には訴えてきた。高校の理科授業から連動したわかりやすい講義と、その講義内容の意味する将来的なビジョンと、担任制を兼ね備えた相談の窓

口となる教育者を。

できないのならばそのような教師を養成するか、高校中学教員を公的な手当をして、積極的に大学に呼ぶしかない。時間はないのである。平成15年度からの新しい高校教育課程をとって入学する平成18年度大学入学生に対する対策をしっかりとっておかなければ、間違いなく理工系大学は存亡の危機をむかえることになる。高校物理教師の警告ととらえていただきたい。

注

1. 鶴岡森昭, 永田敏夫, 細川敏幸, 小野寺彰: 「大

学・高校理科教育の危機 - 高校における理科離れの実状 - 」, 『高等教育ジャーナル』1 (1996) p105。

2. 青少年のための科学の祭典・北海道「科学の祭典」実行委員会, 日本物理教育学会北海道支部, ホクサイテック財団, 日本科学技術振興財団, 北海道新聞社などが主催となり, 毎年6月から11月, 全道各地で開催されている。2001年度は羽幌, 函館, 岩内, 室蘭, 札幌, 帯広, 北見, 釧路で開催された。1993年からの活動は次のweb pageで見える事ができる:

http://www.infosnow.ne.jp/w_teru/fes/fesindex.htm

本実践の詳細はweb page

http://www.infosnow.ne.jp/w_teru/mirai/hunnseenn.htmに公開してあります。