

科学史を題材にした基礎ゼミ授業実践

岩崎 信^{1)*}, 今野 文子²⁾

1) 東北大学高等教育開発推進センター (非常勤講師), 2) 東北大学大学院教育情報学教育部博士後期課程

概要

本基礎ゼミでは整理された学問体系の学習という通常の授業とは違い, 科学者の苦闘の歴史を科学的に明らかにする分野である科学史探究の疑似体験活動を通して, 受動的学びから主体的学びへの転換を目指した。さらに, 正解が比較的良くわかっている学問体系の天下りの学びから, 正解がよくわからない対象の探究的学びへの転換を目指した。この活動を通して, 既習や新規獲得知識を使って対象を理解し解釈をする, グループ活動の中で違う背景や専門領域のメンバーと調和して仕事を成し遂げる, 成果をまとめて他人に分かるように説明をすることを目標とした。本テーマは, ガリレオの運動論に文献調査で迫るだけでなく, その実験を再現して実感するという特徴を持っている。21年度の授業実施状況とその評価やアンケート結果と分析を報告する。

キーワード 基礎ゼミ, ガリレオ, 科学史, 実験, 授業設計と実践, 授業評価

1. はじめに

本報告は, 2009年度東北大学全学教育の少人数ゼミ型授業科目:「基礎ゼミ」の一授業 009 科学史へのアプローチ -ガリレオの運動概念と「運動実験」とその思考をたどる-の本著者(担当:T岩崎, TA:今野)による設計, 実践と経過, そして授業評価やアンケート結果と分析の実践報告である。

本授業では, 大きく, 調査2班と実験2班に分かれて取り組む構成とした。実験を含む基礎ゼミ実施は担当者にとって初の挑戦であり, 手さぐりの面が多々

あった。そうしたなかで, 特に文献調査関係の2班は, 大学一年生では殆ど経験しないと思われる多数の解説書から論文までの諸文献を読みまとめるという難事業に取り組んでくれ, とにかくまとめるところまで達した。一人が(調査中にいろいろ分かってきたようで)「面白くなってきた」とISTU^{1,2)} 掲示板に書いているのを見て, 教師としてのやりがいを感じた。また, 実験関係2班は, 通常のような既に用意されている実験装置を使うのではなく, それぞれがまず文献や論文を読み, 実験装置全体を構想し, 必要器具を注文し, 試行錯誤の実験をしながら, 実験方法や配置を固めていき, 何度かの実験を経て, ある程度の意味のある実験値群を得, 考察を経て独自の結論にたどり着いた。非常に不十分な期間と環境, 制約の中でこれほどの成果を得ることになるのは想像以上で, まさに正解のない探究的学びへの転換の実践であった。

なお, 4班の活動の成果は, 各班が締めくくりである発表会(最終試験, 7月13日)の前に成果資料として今野まで提出し, 各班はその印刷物を皆に示しながらそれに沿って発表を実施した。加えて, 10月の基礎ゼミ発表会³⁾では, 4班がそれぞれポスター発表を行った。

どのような形式の授業でも, それは, 受講学生を含む授業関係者の活動の総体であり, その成果もまた同様である。つまり, 授業を実りあるものにする責任は, 教師のみに一方的にあるのではなく, 受講学生諸君にもその一端はあるということを指摘したい。よって, 最後に先の提出印刷物に授業担当者のまえがきやまとめを添え, 付録として, 授業シラバス, 授業終了後の各班発表に対する学生間の相互評価や授業アンケート

*) 連絡先: 〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内41 東北大学高等教育開発推進センター iwasaki-shin@m.tains.tohoku.ac.jp

結果の3つを付して、関係者の共著物とした⁴⁾。

2. 本テーマの意味

2.1 科学史を取り上げる意味

基礎ゼミは、今や、東北大学の大学基礎教育の重要な柱として、平成14年度以来精力的に取り組まれてきている「学びの転換」を目指す授業である⁵⁾。この意味するところは、「学び」を受験中心型から大学での学びへ転換させることを目的とし、詰め込み型受験学習から、自発的な大学での学び、与えられた環境下で、指示に従い、主として聞くだけの授業や学びから、自ら計画し取り組む主体的の学びへの転換である。

筆者の考える「学びの転換」はこれに留まらない。まず、第一に正解が比較的良くわかっている対象（学問体系）の天下りの学びから、正解が殆どわからない対象の学び（探究：本当の学び）の体験という意味がある。これは研究大学型少人数教育にふさわしい⁶⁾、pp.86-87)。加えて三つの目標がある。(1)学んだこと（知識）を“使って”対象を理解し解釈をする。(2)グループ活動の中で、違う背景や専門領域のメンバーと調和して仕事を成し遂げる。(3)成果をまとめて他人に分かるように説明をする（コミュニケーション能力）。特に(1)は、広い多分野の知識の統合につながる。何れも、現在学士教育プログラムの成果（アウトカムズ）として国際的にも極めて重要視されている。もちろん、限られた時間であるから、授業中に解決できない疑問や謎が多数残る。これが個人にとっては次の学問への取り組みの直接的、間接的な原動力となると期待する。

ここでいう学問体系とは、簡単にいえば、主として理科系の正解が、かなり、あるいは、比較的わかっている対象である。しかしながら、それは整理されればされるほど、人間の存在が消え失せ、ある人にとっては味もそっけもない。

これに対し、科学史は科学者という生身の人間の苦闘の歴史や過程や人間の考えの相互関係を科学的に明らかにし、その思考過程を再構成する分野であり、それに触れることは、必然的に人間の苦悩を肌で感じ取ることになる点で別な魅力がある。もちろん、誤解が無いように言えば、科学史にもいわゆる有力な解釈と

しての定説が、通常の学問のいわば「正解」の役割を果たしている。ただし、新証拠の登場により、いくらでも後からひっくり返される運命にあるということもまた事実である。その意味では、「正解」が分からない、すなわち、ある種の根拠を基にして、自分の解釈を表明できる学問でもある。本基礎ゼミでは、疑似的にこれを体験する。

授業で取り上げるのはガリレオの運動論である。ガリレオはあまりにも著名であるが故に、誰でもある程度は知っているが、意外に知られていないのが位置運動論の具体的アプローチの方法やその実験的取り組みであり、科学史に限っても、無数に考えられるテーマの中でも大変良いものの一つであると思う。昨年度にその授業を構想⁷⁾・設計し、09年度に実践した。構想する段階で、いやおうなしに多くの文献に目を通したが、これをうまく授業に組み込めば、おのずと現代の学生達（特に理系）を、あまり行くことのない大学図書館に誘うことになる。いけば、自然に多くの本が目につれ、図書館への障壁が低くなる。さらに、文献を調査し、模範文を見て解釈し、報告書等の作成の参考にすれば、自然と学術論文級の高い表現力を獲得するこれは、井下がいう知識変換型ライティングスキルの獲得を意味する⁶⁾、pp.88-97)。

2.2 ガリレオ運動論を題材にした基礎ゼミ設計

2.2.1 ガリレオと彼の運動論

丁度09年はガリレオによる望遠鏡観測から400年目の国際天文年でもあった。しかし、筆者が取り上げる題材は、無関係ではないが、天文の話⁸⁾でもなく、例の宗教裁判でもない。彼が生涯をかけて取り組んだ物体の運動論そのものである。ピサの斜塔からの落下実験や、教会のランプの揺れを見ての振子の等時性の発見などの逸話や、高校物理の授業や教科書等でも紹介されている斜面の青銅球落下実験の方である。

ガリレオの著名な最後の著書『新科学対話』⁹⁾はよく知られている（原題から、『新科学論議』の方がふさわしい）。本授業の題材は、この『対話』の3日目と4日目のテーマ：（物体の）運動論の主題、等加速度運動と放射体運動である。この事項は、高校物理で習うことであり、比較的なじみのある事象である。

ガリレオは、ピサ大学時代から運動論の研究を開始し⁽¹⁰⁾, p.6), パドバ大学時代には精力的に多数の実験を行ったとされている。『新科学対話』は、その後の宗教裁判の時に執筆を開始し、没する直前に出版が叶った。ところで『新科学対話』でガリレオは再三実験という言葉を書き、“実験を重視した”と述べている⁷⁾。しかしながら、現代のように、彼は実験データを一つも公にはしていない。

2.2.2 ガリレオ手稿の存在と二つの実験

実は、彼は、上記の著書等の元原稿を残していた。また、それ以外にも、計算メモや実験を想像させるような図や数値やメモ（以上すべては「手稿 (MS Gal. 72)」と呼ばれている）を多数残していた（文献¹⁰⁾, pp.10-16)。失われたものも少なくないようではあるが、奇跡的にも現代まで遺され、前世紀70年代にそれらが整理され公開された。これにより、スティルマン・ドレイクの取り組み^{11, 12)}を中心に欧米で再現実験などを含めてさまざまな研究がなされ、ガリレオの素顔に迫る科学史研究が大きく進んだ。日本では、後発ではあるが、高橋が、この「手稿」に徹底的に迫り、欧米研究者の後追いではない高い成果を上げた。最近、分厚い著書として出版された¹⁰⁾。また、上記手稿が全部電子化され⁽¹⁰⁾, p.11) ウェブで公開されている¹³⁾。これらの存在が、筆者にガリレオを基礎ゼミで取り上げる強い動機を与えた。

多数の「手稿」群の中で、70から90年代にかけてのガリレオ研究にホットな話題を与えた代表がf107vとf116vと番号付けられた手稿である。前者には幾つか分類される数値群と図がのっているだけで、何の説明もない。ドレイクの推定によれば^{11, 12)}, f107vは、数値群はガリレオが実施した青銅球の溝付きの（緩い）斜面落下の実験数値とそれらの算出計算、そして（多分実験とは無関係な）図である。斜面の経路上に、8本の（可動の）弦楽器のガットのようなものを張り、球を静止から転がし、球がガット上を通過時に出すカタという音と、誰かがつくる～0.55秒毎の手か声（多分、行進曲）の拍子と合うようにガット位置を調整し、8個の等時間間隔中の球の移動距離の規則性を見出す実験とされている。記載された“実験データ”が、“球

の移動距離”が“静止からの経過時間の二乗”と比例する傾向を示していると解釈すれば、確かに極めて精度がよい。しかし、この「実験」の意図や実験の成否や意義などについては科学史家で意見が分かれている⁽¹⁰⁾, pp.95-99)。

f116vは、同じくドレイクによれば¹²⁾, ガリレオが実施した(30度の急な)斜面落下+屈曲器(斜面とテーブルをスムーズにつなぐ装置)+水平投射+床面での飛距離測定の実験に関わるもので、いかにもそれを示すような数本の投射体の軌道図、数値群と、それらの算出計算値群がある。この「実験」の意図やデータの意義についても、科学史家の間で議論が分かれており、詳しくは⁽¹⁰⁾, p.175)を参照されたい。

2.2.3 基礎ゼミでの科学史研究の疑似体験

いずれにしる、以上はあくまでも、現代人の解釈であり、ガリレオの本来の意図が何であったか、どんな文脈かは本人以外誰も知らない。しかし、それをただ分からないとするのではなく、さまざまな想像を働かせ、他の情報を加味して、より真実に迫ろうというのが科学史研究のアプローチであろう。もし、そこで得た解釈が今まで以上に、より多くの人々を納得させられれば、それがより真実に近いとするのが科学史研究であろう。

ガリレオは当時何を知っていて、何を知らなかったのか。何をしたかったのか、通説の二つの実験をしたとすれば、どんなふうにして、どのような実験データを得、それから何を結論として得たのか、彼の時代とはどんな時代なのか？何からどんな影響を受けたのか、ギリシャ時代から中世の数学幾何学の背景、自然哲学（特に自然学）は、何をどう説明していたのか。

さらに、二つの実験をできるだけ近代的な装置や、仕組みや材料を使わずに、あの時代に近づけて実験をしたら、本当にあのような実験データが得られるのか。もちろん、物理を習ってきた者は、その背景知識を大いにさまざまな解釈や構想に使ってもよい。

これらが基礎ゼミで学生達に体験してもらいたい取り組み内容であり、結果をまとめて、未熟でもよいから、果敢に自分達の見解を明らかにすることにある。

3. 授業実施状況と振り返り

3.1 授業実施状況

本テーマの09年度を受講生は理学部7, 工学部5, 医学部1, 経済学部2の計15名と教員1名とTA1名で実施された。第一日目で実施したアンケートによれば, 多くが「再現実験」やガリレオという表現に魅力を感じたことと, 取り組みも実験希望が多く, それ自体大変好ましい。手掛かりのために, 皆に文献の主だったもの(特に高橋¹⁰⁾)の一部を配布するとともに, 大学図書館には高橋の著書を相当数購入してもらった。全員が実験に取り組むことは不可能ではないが, シラバス¹⁴⁾の意図を示しつつ討論と希望を経て, 調査理論班8名, 実験班7名となった。各メンバーの調査2班と実験2班への所属は機械的に割り振った。どの班も特定学部が偏ることのないように配慮した。学生時代に他学部生の友人を持つことが視野を広げる意味でも非常に大切だからである。班内の相談でリーダーとサブリーダーを決めてもらい, 班活動に入った。

授業は概ねシラバス通りに進行させた。調査班は調査活動や班内討論が, 実験班では試行錯誤過程が必要で, ある程度長いまとまった時間があると好都合と考えられた。講義棟の耐震工事で, 一部土曜日も授業日になっていたが, 学生の意向を聞きつつ, 土曜日は実施せず, 臨機応変に, ある週の月曜日を2コマ用いるというような使い方をした。

途中の関門としては, 2回の中間報告を設けた。5回目の第1回は, 各自調べた事をまとめ, 皆に報告する。10回目の第2回は, 途中経過でもよいので, 班で調査結果, 実験結果をまとめて報告する。加えて, 報告書のまとめ方を講義した。

最終発表会は, 原則は各班で最終資料を皆に配り, それを参照しながら一班15分(発表は数人で分担してもよい)とした。ただし, 各班の中でテーマがかなり異なる調査や分担がある場合には, 2件を10分ずつの発表を認めるとした。

実際には, 7月13日に14回目+15回目の2コマを一緒にして実施した。最初のコマで各班独自の打ち合わせと発表練習と最終仕上げ, 次のコマを最終報告会とその相互評価⁽⁴⁾, pp.44-46)とした。発表後, 後で述べる授業評価シートへの記入と独自アンケートへの回

答を記入してもらった。

3.2 各班の活動状況

二つの調査班の内, 力学数学調査班では, 種々の意味でガリレオに影響を与えた科学哲学者・数学者として, アリストテレス, ユークリッド(比例論), アルキメデスを取り上げ, 紆余曲折の末, 最終的には, 焦点を絞って文献調査をすすめ, ガリレオがその批判の矛先を向けた, あるいは超える対象としてのアリストテレスの自然学と, 彼がよりどころにした数学, すなわち, ユークリッドの原論第V巻の比例論に着目した。彼等は, 担当者が参考文献として提示した16個の文献以外に独自に6個の文献を調べた。

アリストテレスの自然学の宇宙論では, その天動説を否定しつつ, ケプラーとは対照的に惑星の運動で最後まで円運動にこだわり, ユークリッドを部分的に支持した。一方, 物体の位置運動論では, ビュリダンの影響を強く受けつつ, アリストテレスを完全に乗り越えたまとめた。ガリレオが確信するための論理体系としてユークリッドの比例論に依拠したが, 一部定義を独自に拡張しそれによって時間二乗則に至ったとした。最後にガリレオの「人となり」を提示した内容⁽⁴⁾, pp.8-9)はユニークで興味深い。

ガリレオ運動論調査班は, ガリレオが, 自然落下法則, 振子の等時性の発見, 慣性の法則を如何にして発見し, 確認したかを探った。1自然落下法則はアリストテレスの考えを否定することを出発点として発見され, 実験を行うことで正しい結論に達した; 2振子の等時性は, 父の実験を手伝った際に, 発想し, その後実験をして確認したと思われる; 3慣性の法則は, 1と同じく, アリストテレスの考えを否定することを出発点としたが, 思考実験により定理を確立した, とした。例えば, 振子は逸話の教会のランプの揺れではなく, 音楽家の父が, 弦の張力と音程の関係を調べる実験をしたことにつきあい, その時のメモにもあるように, 振り子を発想したとするものである。

まとめの中で, 「我々が物理を学ぶ場は高校…; ここでは, 教科書に載った確かな証明をされたうえでの理論を機械的に学んでいる。できあいのものを受け入れるのはとても簡単で便利なものだが, ガリレオの言

わせるとそれは科学の本質を失っているに等しいことかもしれない」と述べて逸話を紹介しているのは⁽⁴⁾, p.16) 実に印象深い。

実験担当の2班は、先のf116vとf107vが「示唆する実験」の再現課題に取り組んだ。どちらも高橋やドレイク等の文献や原著英論文¹¹⁾等を読み、それ等を参考に自分達の実験装置や材料を提案してもらい、教員と調整の上、事務を通してホームセンター等から市販品を購入し、理科共通実験棟の一隅を借りて組み立てと数度の実験を行った。幾つかの試行錯誤と変更を経て、6月の後半で、両班とも、有る程度のレベルに達し、それぞれ有意な実験データを得た。

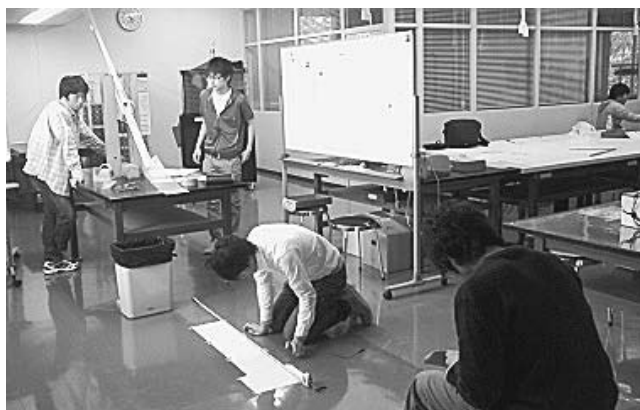


写真1：ガリレオf116v再現実験班の様子

f116vの再現実験班は、2m程の長さの木製の家庭用階段手すり用の丸棒2本を束ねて“溝”にアルミ製のL字型アングル沿わせて経路を作り、教員が用意した太い角材でつくった手製の固定装置に固定し、全体を実験テーブルの上に置き、30度に傾けた経路を作って試行実験を開始した。結局、一番の問題は屈曲器で、最初はプラスチック製の薄いファイルケースを用いた。写真1はその時期のもので、鋼球を高さHの位置から落下させ、球がテーブル端から飛び出し、床のカーボン紙の上の白紙の裏に跡をつける。テーブル端から距離Lを測っているところである。その後の試行錯誤の結果、一様となるべき L^2 とHの比に小さいが無視できない系統的ずれが残り、その説明がつかず、結論は、ガリレオはこの実験から落下距離時間二乗比例則の見解に達していないのではないかと考えた⁽⁴⁾, p.24)。



写真2：ガリレオf107v再現実験班の様子

f107vの再現実験班は、実験機の上で、同様の経路の片方をブロックの上に置いて坂を作り、ガットの代わりに絹糸を張って、鋼球を転がしてテストを行った。

写真2はその時期のもので、行進曲をスピーカ（左下）で聞きながら、実験をしているところである。測定データとしては、音（リズム）の基準の不安定さが最後まで問題となり、後で述べるとおり、振り子の利用にたどり着いてある程度の安定的データを得、結果としては、ガリレオは落下距離時間二乗比例則の見解に達したと結論した⁽⁴⁾, p.31)。

3.3 基礎ゼミ中の指導について

基礎ゼミは一年生の学びの転換（受動から能動へ）を促すのが目的であり、それに沿って、班の取り組み内容について指導や指図はあまりしていない。ただし、実験グループ向けではあるが、全員の共通教材として、質点の運動ではなく、まだ一年生ではやっていない、剛体球の回転運動のシミュレーション文献¹⁵⁾の情報は提供した。

ただし、既述のように斜面の落下実験班については、拍子の時間基準信号についての問題に突き当たっていた。ドレイクの言う行進曲ではあまりうまくいかず、メトロノームはもちろん比較的良いのだが、再現実験としては問題があるなどで、なかなか“良い結果”が得られず、粘りながら悩んでいた。そこで「ガリレオは振り子の等時性を発見しており、振り子は時刻基準に使えるのでは。ガリレオも使ったかもしれない」と示唆したところ、議論の末、鋼球を錘にして振り子を自作し、それを用いた実験で最終結果を得た。

中間報告を行う段階に入ってから、取り組みの最終成果の報告資料をまとめ方について、特に形式に関しての指導を行った。常に自分達の調査や実験の目的や目標は何か考え、漠然としたものではなく、具体的に何なのかを明らかにし、その段階で得られた結論、まとめは何なのか、そして、それに至るまでに用いた文献は何なのかはつきりと示すこと、全体の内容はタイトルを含めて、ラフなものから、徐々に改訂していくことをガイドした。特に、実験班については、最後の“良い結果”だけを報告するのではなく、初期の試行錯誤の段階の記録も廃棄せずに記載すること、できれば系統的測定計画、“不確定さ”の推定を行うことなどを示唆したが、不確定さの推定はなされなかった。

4. 授業評価やアンケート結果概要と分析

科目委員会が行う学生の授業評価と、実施者が行った独自アンケートと学生の目標達成度の自己評価について報告する。

4.1 学生の授業評価結果と分析

平成21年度奇数 Semester 東北大学全学教育授業評価集計表の数値を紹介する。授業評価結果の平均値は4.40であり、基礎ゼミ科目全体平均4.25、全学教育科目全体平均4.03と比べて高いので概ね良いと言える。

詳しく項目ごとに、本テーマ、基礎ゼミ平均、全体平均の数値を並べると、以下の通り（各項目記号の略称は筆者による；数値は少数以下第3位切り捨て）：
A1（出席率）：5.00, 4.92, 4.78；A2（意欲的取り組み）：4.46, 4.27, 3.90；A3（質問/自習）：4.20, 3.42, 3.23；A4（関連学習）：4.73, 3.80, 3.41；A5（評価資格）：5.00, 4.95, 4.81；B1（授業内容系統性）：4.00, 4.14, 4.10；B2（良く準備）：4.20, 4.25, 4.20；B3（説明理解容易）：3.93, 4.06, 3.82；B4（聞き取り容易）：4.40, 4.39, 4.11；B5（進度適切）：4.26, 4.23, 4.02；B6（シラバス基本）：4.40, 4.22, 4.17；B7（板書字読容易）：4.50, 4.26, 3.91；B8（視聴覚機器有効）：4.42, 4.42, 4.04；B9（プリント等の適切性）：4.50, 4.25, 4.05；B10（TA支援）：4.86, 4.14, 3.77；C1（有意義度）：4.06, 4.38, 4.06；C2（熱意）：4.60, 4.34,

4.11；C3（満足度）：4.06, 4.25, 3.95；C4（理解度）：4.13, 3.92, 3.64；C5（総合的）：3.93, 4.24, 3.97；D1（履修都合）：4.71, 4.30, 4.52であった。上記下線を引いたA2, A3, A4, B6, B7, B9, B10, C2, D1など9項目がかなり高く、特にA2, A3, A4が高いのは基礎ゼミの目的と合致している。

B10はTA（筆者今野）の役割であるが、際立って高い。今野が教育情報学大学院D3で経験深いこともあるが、ISTUを良く知っていることと、一年生の不安をなくすことに工夫をこらしたことが大きいと考えられる。今野と学生とのやり取りのデータについて、メールでの対応件数と対応者数は、課題提出（資料添付による提出/到着確認）：12件（10名）；課題提出における対面での対応依頼：7件（4名）；資料などのコピー・印刷作業の依頼：2件（2名）；課題提出方法に関する質問：1件（1名）；授業における発表方法に関する質問：1件（1名）で、代表的な質問が、課題レポートの受取り確認であった。これは、メールにファイルを添付して送付するという作業を初めて行った学生が多かったこと、ISTUのシステムの利用が初めてだったことなどが理由と解釈できる。

一方で、C1, C3, C5が平均値より有意に低いのは残念である。低い直接の原因はこれらの項目で、一名が1や2の評価をしたことによる。よく見ると、B項目の一部にも1や2の評価がある。この評価を与えた学生は、もしかしたら同じ個人かもしれない。これはもちろん確認は不可能だが、授業中のきめ細かな対話や途中のアンケート等で、単数あるいは複数の学生の問題や悩みを発見できたかもしれない。この点は、大きな反省の材料である。

4.2 学生の授業終了後アンケートと分析

これは主として今野が設計し最後の自己評価の部分を岩崎が目標達成度の項（4.3で触れる）を追加した。詳しい設問内容と結果とその分析は報告書を参照されたい⁽⁴⁾（pp.37-43）。以下の各解答項目の前のかっこの中の数字は回答者数で、無回答項目は除外してある。

動機付けに役立ったこと：[8] 時間中の教師のアドバイス・コメント；[8] 積極的取組みのグループメンバー；[7] 時間中のグループ内討論；[5] ISTU掲示

板での意見・情報交換；[4] 時間外のグループ内討論；[4] 中間発表会；[3] ISTU掲示板での教師アドバイス・コメント；[2] 資料収集作業；[3] 実験；[2] その他：授業の途中でグループ活動に入った時に他のメンバーに迷惑をかけたくなかった；調査をしていく上で明らかになっていく真実；筆者らの分析コメント（以下同じ）：教師からのフィードバックが効果的に機能していた。積極的メンバーの活動も動機づけとなっており、班作業の中でお互いを高めあう活動が概ねできていた。さらに、「時間中の班内討論」，「掲示板での意見・情報交換」も動機づけに役立った。

戸惑ったこと：[9] 発表資料の作成方法，[8] 資料収集の方法，[8] 自分の意見や調査結果のまとめ方，[7] ISTUの利用方法，[4] 自分の意見や調査結果の発表の方法，[3] 討論の進め方，[1] TAとの接し方，[1] 他の学生との接し方；自分たちの調査結果を適切な形式にまとめ人前で発表するという活動が，多くの者にとって初めての経験なのか，戸惑いが見られる。同様に、「資料収集の方法」，「自分の意見や調査結果のまとめ方」が新鮮であった。本授業における教師と学生との対話の戸惑いはゼロで概ね円滑だった。

身についたこと：[11] 自分の意見や調査結果の発表の方法；[10] 資料収集の方法；[9] 発表資料の作成方法；[8] ISTUの利用方法；[4] ディスカッションの進め方；[3] 自分の意見や調査結果のまとめ方；[1] 他の学生との接し方；これから，自身で目的を設定して調査を実施し，その結果を他者に伝えるという活動を通して，必要な各手法を学べたと実感。

もっと学んでみたいこと：[7] 発表資料の作成方法；[5] 自分の意見や調査結果のまとめ方；[5] 自分の意見や調査結果の発表の方法；[4] ディスカッションの進め方；[2] 資料収集の方法；[2] ガリレオについて→（具体的に）ガリレオ自身が何を考えていたのか；振り子，落体，慣性以外の法則の発見までの道のり；[1] 科学史について→（具体的に）他の科学者に関しても多くの関連，実験があるはずなので学びたい；本授業における発表の経験が，より効果的に実施するための手法を学ぶ動機づけになっている。また，今回は調査できなかったガリレオのエピソードや，他の科学者について学ぶことに深く広い興味を持った。

改善した方がよいこと：[4] 授業の進め方 →（具体的に）授業で集まる時間も情報収集に使えるればよい（理由：何回か調べる時間に使いたいと思うときがあった），授業時間中にグループで話し合う時間をもう少し多くする（理由：グループ内で話をまとめる時間がとりにくかったから），授業でガリレオについても少し授業をして欲しい；シラバスの記述内容 →（具体的に）全員が実験するわけではないから「ガリレオ追体験」という記述をやめた方がよい，月3～5と書くと，週に3限あるように見える；発表会の方法 →（具体的に）90分で終わるようにする（理由：時間がのびて予定がずれた）；ISTUの利用方法 →（具体的に）最初の授業で使い方をもう少し詳しく説明してもらえるとよい。

本ゼミの場合，東北大学eラーニングの仕組み：ISTUを活用したことにも特徴がある。特に，その掲示板はよく活用してもらった。教員からの連絡だけでなく，班毎のスレッドで，班メンバーの相互連絡（単純な連絡や励ましや（途中版も含む）発表資料のアップや分析資料の相互閲覧など）に用いられた。投稿記事はすべて授業関係者に公開である。総計では，力学数学班：74（7）件；ガリレオ理論班：46（5）件；投射体実験班40（10）件，斜面落下実験47（9）件の投稿があった。カッコ内の数字は，授業担当者またはTAからの質問への回答や，お知らせやコメントの回数である。また，授業担当者から別の記事やお知らせや共通情報提供を18件行った。

アンケートによれば，ISTUは，他学部間にまたがるメンバーで構成されたグループ活動に比較的有効に機能していたことが分かる。

4.3 目標達成度についての5段階自己評価

最後に，目標達成度の5段階自己評価を調査した⁽⁴⁾，pp.41-43)。全体として考えをまとめる：71.4%が「達成できた」，「まあまあ達成できた」と回答。班別にみると，理論班がもっともポジティブで，実験班は厳しい評価をしている。調査資料の分析が主な活動内容であった理論班と，実際に実験を行う必要があった実験班との活動内容の違いのためと推測される。

可能な限り実験を再現し，結果をどう解釈できるか

明らかにする：64.3%が「達成できた」、「まあまあ達成できた」と回答。理論班と力学・数学班では、「実験を実施していない」ことから、本項目の回答を無記入とした回答者がいたため、無回答が2件。班別では、実験班はポジティブな評価をしている。本授業における実験の取組み自体は有意義であった。

まとめたものを他の人に伝えること：64.3%が「達成できた」、「まあまあ達成できた」と回答。理論班がポジティブに対し、実験班は「どちらともいえない」との回答が多く、発表の方法に関して改善が必要。

自由記述：この基礎ゼミで今後必要となる情報収集や資料をまとめる方法などをまなぶことができ、有意義だったと思います；ありがとうございます、とても楽しかったです；どうもありがとうございました；実験や調査は大変だったけど、それなりに形になるものができてよかったです。

目標達成度についての自己評価では、おおむね高いレベルにあるが、正直な気持ちとして1や2と低いものも散見された。これは、授業評価の項で取り上げた学生（単数又は複数）かもしれない。何れにしろ、本基礎ゼミではテーマという大枠が与えられているだけで、班の目標設定から、それへの接近の仕方、途中成果の情報交換、意見交換、分析、考察、それ等を集約して、班としての一つの見解にまとめていくという作業は極めて高度な集団的問題解決過程である。この難しいテーマ、困難な課題を考えると、全体としては、この達成度で十分だろう。

本授業の場合、成果発表はあえてパワーポイントによるものにしなかった。成果をしっかりと文章表現を含めて報告書にまとめるという訓練が殆どできていないという一年生の共通課題を多年認識しており、なによりも先ずレポートのまとめ方の学びに徹する方が今後の大学生活においては優先されるべきと判断したからである。成果のまとめがいい加減にもかかわらず、パワーポイント発表が一見立派だという事例が無いわけでもない。アンケートで、報告書のまとめ方に戸惑ったという回答が高い割合であることから上の見解が裏付けられていると考えている。

4.4 課題

反省として、指摘されているように、実験を2班だけに制約したのは、授業担当者のこのテーマの未経験さ故の不安からである。また、特に実験を含む場合、毎週1コマでは時間的に厳しいため、各班の判断で、随時で長く作業ができるように、 $3 + (4 + 5)$ (コマ)を想定して、シラバスの授業時間の表現とした。これが分かりにくい表現となった。

実験の場合には、役割分担をしっかりとし、得られた実験値の分析や検討をその場で行い、議論して、次の実験方法への暫定指針をその場で得ることと、その時の記録を残し、次回までに分析方法を準備してることが必須であることが分かった。このあたりの取り組みや粘りの差が二つの実験班で得られた結論に差が出たと思われる。教師の見るところ、f116v再現班の最終的な屈曲部分の強度がまだ十分でなく、鋼球の速度、即ちH依存性を作りだしたと推測している。

実験班に比べて、調査班との触れ合いが十分とはいえなかった。しかし、多く触れ合うことは、いつの間にか教師が誘導してしまいがちになる。彼らが悩みながらも独自にいろいろ調査をしていたので、深入りを恐れた結果であるが、討論不足の感がある。

多様な学部生で構成されることと、さまざまの個性を持った学生が来ていることに対する一般的な対応の問題がある。グループを構成すると、かならずリーダー的な活動をするものと、理解が少々遅れること等がきっかけとなったりして、引込み思案の学生が出現する。あまりリーダーが主導すると、後者の意見が採用されにくく、結局、下働きをこなすだけになりがちである。有る限られた時間に一つの目標を達成させるというタスクをこなすには、仕方のない面がある。一方で、消極的な学生には、この機会に少しでも積極的な取り組みをしてほしいという教師の希望もある。消極的な学生の活性化について今回試みたのは、班の共通報告書をまとめるだけでなく、個人の独自調査や分析結果やレポートも別途提出できる場所を用意し、その活動も評価することであった。ISTUを活用して、教員だけが閲覧できる提出箱を用意した。5人が提出した。中に、内容がよく班の報告書に反映するとなお良いから積極的に提案したらどうかと励まし、実現した

例もあった。

基礎ゼミ発表会への参加は、科目委員会では学生の自由意志としていたが、本テーマでは成績には関係しないが義務とした。それは、ある程度状況を知っている仲間内での発表ではなく、事情や経過を知らない人達に向けての伝達に本当の意味があり、かつ勉強になるからである。

残念ながら、ポスター発表会は低調に終わった。企画系の支援を受け実験装置を展示するなど熱心に取り組んだ一つの実験班以外は、「発表資料」の印刷物を広いボードに貼っただけの、とてもポスターとは言えない代物が展示された。しかし、発表会の時期が遅れて10月末では学生達の意気が上がらないのも、仕方がないかもしれない。

5. おわりに

総じて、担当教員の試行錯誤の段階の授業であり、種々の反省、改善すべき点も見出されたが、概ね、基礎ゼミの目的と目標は達成されたと自認している。先に、低評価をした一部の学生のことを取り上げた。注意すべきは、このような学生を少なくすることのみ集中すると良くない点である。誰にも満点の授業などありえず、この種の学生は、教師にいろいろと反省の機会を与える貴重な存在である。

幸い次年度も実施の機会を与えられたので、成果報告書を次の受講者への教科書としながら、初年度の反省を踏まえてタイトル（科学史探究－ガリレオはいつどのようにして飛翔体のパラボラ軌道を確認したか？－）と構成を少し変えて行うことにしている。先の、評価の相対的に低かった意義、満足、総合等の低い項目の向上を目指したい。ただし、教師が自分の考えを押しつけるのではなく、今回の報告のまとめにもあるように、意義や総合的な価値を学生達が自ら取り組むことにより、見つけることが大切である。

そのために、教師との対話や発表の機会を多くし、自分が取り組んでいることの意義を見出し、個々人が自分の存在感や貢献の場所を見出し、その結果として高い達成感が感じられるようにしたい。課題は、一年生は教師の前での発言に慣れていないという問題である。ただし、21年度のFDワークショップなどで示唆

されたことだが、彼等も準備していれば必ずしもそうでもないことが分かった。予め討論の内容をしっかりと確認し準備させることと、質問をしてから、まず手元のノートにメモを書かせることを試みたい。

図書館のゼミ室を借りて、ゼミを実施し、共通の課題が生まれたら直ぐ館内で資料（雑誌を含む）を探索して、借りてきて解を見つけることもやってみたい。

実験は全員にやってもらう。ただし、今年度のような実験再現の探索課題では、非常に時間がかかり無理なので、筆者が基礎ゼミの実験グループの実験場所の横で試行しながら高校生向けに開発した実験内容¹⁶⁾をやってもらう予定である。

ISTUの活用は、非常に効果が高いので、学生は慣れるまでに時間がかかる問題をTAの協力で克服したい。

最終的なクラス内成果発表（最終試験）では、ポスター発表（ポスター提示と口頭説明）を目指す。これは、共通の「基礎ゼミ発表会」が、ポスター発表が基本だからである。学生間の相互評価で高い評価を得た2グループ程度には、基礎ゼミ発表会でスライドを使った口頭発表にも挑戦をしてもらいたい。勿論、共同報告書（印刷製本する）用の報告資料をしっかりと作ることが先決であることは、本年度と同じである。

本年度の受講者が将来如何なる領域で、どんな仕事に取り組むか分からないが、これ等の経験を生かしてほしいし、生かすに違いないと確信しエールを送る。

謝辞

教務の大山様を初め、教務・会計・企画事務、警務員室関係の多くの皆さまに支えて頂いた。図書資料購入や閲覧では付属図書館の沼田様他に、学生理科実験棟二階南実験室の使用では、関根教授や小林助手、及び南実験担当者の皆さまに、ISTU活用では同支援室の舟山様にお世話になった。実験班が用いたメトロノームは、仙台第二高等学校から物理教諭戸田慶三先生を通じて貸与していただいた。これ等の方々に深く謝意を表したい。

このような授業の実践機会と支援費用を与えていただいた、高等教育開発推進センター木島センター長および科目責任者の関内教授、ならびに全学教育関係者

に深く謝意を表する。

最後に、今回のテーマは担当教員が最も楽しんだこと、そして多くのことを学ぶ機会をくれた学生諸君に感謝したい。

参考文献

- 1) 注：東北大学eラーニングの仕組み (<http://www.istu.jp/>)で、多様な教育に活用できる。詳しくは「ISTU 配信可能な授業・研修等一覧」参照。
- 2) 三石大, 岩崎信, 東北大学インターネットスクールの実践と課題, メディア教育研究, Vol.1 (1), (2004) pp.19-29.
- 3) 基礎ゼミ発表会 <http://www2.he.tohoku.ac.jp/center/kisosemi/kisosemi2009.pdf>
- 4) 岩崎信・今野文子 (編著), (経) 佐々木泉, 高村一志, (医) 佐藤佳明, (理) 泉谷義寿, 大岡将人, 齋藤真貴, 田高義, 中尾亮介, 松村裕二, 村岡広輝, (工) 金子裕太, 釣巻瑤一郎, 原田学思, 金原圭佑, 鯉淵遼著, 2009 東北大学全学教育基礎ゼミ授業成果報告書, JRIL-09-001 (2009) pp.1-46.
- 5) 東北大学特色ある大学教育支援プログラム「学びの転換」を育む研究大学型少人数教育～基礎ゼミを起点とした「大学での学び」の構築：<http://www.he.tohoku.ac.jp/center/tgpm/>.
- 6) 井下千以子, 研究大学における「書く力考える力」の育成と「実践型FD」-学習観の転換・発展観の転換・デザイン観の転換-, 大学における「学びの転換」と言語・思考・表現, 東北大学高等教育開発推進センター編, 東北大学出版会 (2009).
- 7) 岩崎信, ガリレオの落下実験と科学史教育-大学基礎ゼミ授業に向けて-, 東北物理教育, 18号(2009, 3), pp.17-22.
- 8) 注：別の土佐誠名誉教授担当基礎ゼミで取り上げられている, 008「宇宙の探求-ガリレオ追体験-」 <http://www.he.tohoku.ac.jp/center/tgpm/mov07.html>.
- 9) ガリレオ・ガリレイ, 今野武雄・日田節次訳, 新科学対話 (上下), 岩波文庫 (1937, 48; 2007).
- 10) 高橋憲一, ガリレオの迷宮-自然は数学の言語で書かれているか?, 共立出版 (2006).
- 11) Stillman Drake, The Role of Music in Galileo's Experiments A hitherto unpublished page of Galileo's working notes, preserved in Florence, implies a remarkably simple scheme for equalizing short time intervals. The secret of his success, it now appears, was a song, Scientific American, 232 (1975) pp.98-104.
- 12) スチルマン・ドレイク, 田中一郎訳, ガリレオの生涯①②③, 共立出版 (1984-85).
- 13) Galileo Galilei's Notes on Motion, Joint Project of Biblioteca Nazionale Centrale, Florence Istituto e Museo di Storia della Scienza, Florence & Max Planck Institute for the History of Science, Berlin. <http://www.imss.fi.it/ms72/index.html>.
- 14) 本基礎ゼミシラバス：<http://zengaku-sy.he.tohoku.ac.jp/syllabus/syllabus/search/SyllabusInfo.do?nendo=2009&kogikey=Z0080>.
- 15) OpenGLで作る力学アニメーション入門, 森北出版(株), <http://www.morikita.co.jp/mkj/84561.html>.
- 16) 岩崎信, ガリレオ新科学対話と手稿は物理実験教材の宝庫 - 斜面落下とパラボラ軌道描画実験および解析の提案 -, 東北物理教育; 19号 (2010, 3), pp.5-13.