



## 分光実験でアクティブラーニング天文学

藤田あき美 (信州大学工学部)

## Spectroscopy Lab in an Activity-Based Astronomy Course

Akimi Fujita (Faculty of Engineering, Shinshu University)

## 概 要

天体からの光を集め分析することによって光の中に隠された情報を読み取り、その天体および天体間の様子を探求するのが天文（物理）学である。この分光学、そしてその基盤にある光と物質の相互作用の概念的理解を促すため、講義室内で輝線や吸収線を観測する実験ベースのグループ探求学習を、過去6年間に渡り実施してきた。分光実験とワークシートを中心とした学生主体の協同学習の効果を測るため、アメリカで開発された「光と分光学概念調査 (Light and Spectroscopy Concept Inventory-LSCI [1])」を実施した所、学生の学びのゲインは、アメリカの能動参加型授業におけるゲイン以上であった。このことは、天文学の基本概念を理解するためにも、実験・体験的要素が重要であることを示唆する。

## Abstract

Light is the main means by which astronomers study most astronomical phenomena. Thus, spectroscopy, the study of dispersed light based on the interaction between matter and light, lies at the heart of astrophysics. In order to promote the conceptual understanding of spectroscopy and its use in astronomy, "Spectroscopy Lab" is developed to observe emission and absorption lines in an ordinary classroom and has been incorporated into an introductory astronomy course for use by collaborative student learning groups. The effectiveness of this lab-based, learner-centered instruction as well as students' conceptual understanding are evaluated by a research-validated assessment tool, "Light and Spectroscopy Concept Inventory (LSCI) [1]," and the results demonstrate that the students' learning gains on this topic are greater than or equal to the gains observed in activity engagement astronomy courses at American universities. This suggests the importance of incorporating "hands-on," "eyes-on" observations/activities in astronomy courses.

(Received: 15 April, 2016, Accepted: 19 June, 2016)

## 1. はじめに

天文学は日米両国の大学における自然科学系教養科目として最も学生に人気のある科目の1つのである。ほとんどの学生はダークマター、ブラックホール、地球外生命などのかっこいい言葉に惹かれて、または星座を

学習する学問や占星学と勘違いして天文学の授業を選択するようだが、そんな学生に我々は何を教えるべきだろうか？宇宙空間、距離、時間そして形態を感覚として掴み、広大な宇宙における地球と太陽系の存在を考え、我々は星の子であることを知る。しかし、そ

れだけが目的ならば大学で学ぶ必要もないであろう。本やインターネット上で素晴らしい情報、画像、動画等が溢れているからである。教養としての天文学においても、学生は基本的物理法則を理解し、それらを適応し、宇宙の現象を探索する方法を学ぶべきではないだろうか？

天文学で最も重要な物理概念は光—電磁波—であると多くの天文学者は考える[2][3]。天文学者は天体が放つ光を分析することによって宇宙現象を解明していくからである。例えば、光には目に見える光（可視光）と目に見えない光（X線、赤外線、ラジオ波など）があり、目に見えない光で宇宙を観ると様々な姿が見えてくる。太陽の白い光も「太陽の光は赤い」という素朴概念を持っている学生も多いが一実は7色の光から成り、よく見ると、連続的に連なる7色の光も所々色が欠けていることがわかってくる。光の性質、そして光と物質の相互作用の物理概念を理解すると、例えば星の温度、化学組成、光度、大きさ、質量などを知ることができ、我々と星までの距離や星間空間に存在する物質の分布や物理量まで求めることができる。しかし天文学を学ぶ上で一番学生が躓くのがこの光の分野、特に分光学の分野であり[4]、例えば原子は吸収線を「放射」すると勘違いをし続ける学生も多い[5]。

学生は、実際に手足を使い、現実に関連する問題に取り組むことにより、最も効果的に物理概念を理解することが、数十年にわたる物理教育研究によって明らかになった[6][7]。天文学教育においても、例えば、アメリカのボストン大学の天文学入門の授業では、光と光学を探索する道具とソフトウェアを用いる Project LITE: Light Inquiry Through Experiment を使用し、能動参加的実験要素を取り入れている[8]。また、日本の中等教育においても、分光器を使った光の探索[9]や、

実際の星のスペクトル分析を通じた学習[10]などが行われている。本論文では、光と物質の相互作用の概念的理解を深め、講義室内であらゆる光を分析し、宇宙現象を探索する方法を学ぶ分光実験（Spectroscopy Lab）を紹介すると共に、この分光実験前後の、学生の光と分光学に関する概念的理解度を測定した結果を示す。

## 2. 実施について

以下に紹介する分光実験は、アメリカのランシング大学の Teresa Schulz 教授と共に開発を始めたものである。著者はこの分光実験を取り入れた（現代）天文学入門授業（Astronomy 101）を、ランシング大学において2010年から2012年にかけて8コマ、岐阜大学において平成25年度前期1コマ、そして信州大学において平成26年度と27年度の前期1コマずつ担当した。また平成27年度前期には、工学部の修士1,2年生を対象に、同じ現代天文学入門授業を全て英語で行った（表1）。

表1 各大学における授業形態

	ランシング大	岐阜大	信州大	信州大(工)
対象	教養	教養	教養	修士
授業数	週2	週1	週1	週1
授業時間	150分	90分	90分	90分
学生数	30人前後	50人以下	50人以下	6人
言語	英語	日本語	日本語	英語

注：全大学において学期は15週

岐阜大学および信州大学では、教員の講義を極力控え、グループによる協同探求型の授業、「アクティブラーニング天文学

(Activity-Based Astronomy)」を目指している。小実験が授業に筋道をつけていくワークショップ方式[11]や、小課題とワークシートを基盤に、グループで議論をしながら探求するチュートリアル方式[12]、または、クイズ形式(ピア・インストラクション風[13])、劇などを取り入れ、能動参加型のカリキュラムを開発している。チュートリアル方式のワークシートは、‘Lecture-Tutorials for Introductory Astronomy[14]’から抜粋し、著者の許可を得て訳したものを使用している。

また、教科書は一切使っていない。一方、学内の e-Learning ネットワーク上に、使用するパワーポイント及び関連する文献や動画などをどんどんアップしていく。天文学入門における学生の理解度は、教科書の有無に相関関係がないという研究結果があるからである[15]。

分光をして光から情報を得るには、光と物質の相互作用を理解する必要がある。つまり、教養レベルにおいても、簡単な原子構造を理解し、ガスが連続放射する、あるいは輝線を発する、または吸収線を生み出す物理的状況(キルヒホッフの法則)を理解しなければならない。よって、全 15 週の 2 週、合計 3 時間を使って分光実験を行い、同時に ‘Lecture-Tutorials for Introductory Astronomy’ から原子構造を学ぶための「光と原子(Light and Atoms)」とキルヒホッフの法則を学ぶための「スペクトルタイプ(Type of Spectra)」のワークシートを使いチュートリアルも行う。実験は 4-5 人のグループで取り組む。分光を学ぶ前に、学生は電磁波の性質や黒体放射について学び、白熱灯、蛍光灯、LED、ブラックライトなど身近にある光源を分光グラスで観察し、連続スペクトルと輝線スペクトルの違いに触れている。

### 3. 分光実験

分光実験は輝線実験と吸収線実験とにわかれ、それぞれのワークシートを用意している。アメリカから取り寄せることができる格子約 5315 本/cm の分光グラスを使用する(図 1: 単価 35 セント)。スペクトル実験結果(可視光)を記録するために色鉛筆も使用している。



図 1 分光グラス[16]

#### 3.1 輝線スペクトル

輝線実験にはアメリカの大学の基礎物理学授業で必ず使われる高電圧電源装置とスペクトル管を使う(図 2)。とても高価だが(特に日本では)実際に目であらゆる単一ガスが発する輝線を見ることは「百聞は一見にしかず」の効果があると思われる。

主に水素で成り立つ宇宙を観察するには水素線が非常に役に立つ。特に水素 Balmer 線は可視光領域にあり、中でも最も明るい  $H\alpha$  輝線は 652nm の波長(赤)にあるので有用である。例えば  $H\alpha$  輝線を使い、放射や衝撃波で電離した水素ガスを探索することができる。なぜ外からエネルギー(電圧、放射、衝撃波など)を受けた水素原子は、輝線を発するのか? 分光実験: 輝線スペクトルのワークシートに誘導され、この状況そして原子構造を学習する。このワークシートの一部を図 3 に示す。

また、学生はミステリーガスとして用意されたヘリウム、酸素、ネオン、クリプトンガスなどを観察し、既知の原子のスペクトル(図 4)と比較しながらミステリーガスの正体を

つきとめる。全て正解したグループには追加点が与えられる。追加点を狙い、学生たちもさらにやる気が出てくるようである。

最後には、スペクトル管に2種類のガスを入れて発光するとどんなスペクトルがみられるか、輝線を発する宇宙天体そしてその状況を説明せよ、などの応用問題に取り組む。



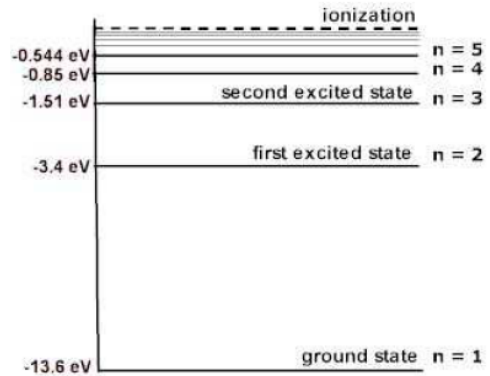
図2 高電圧電源装置と水素スペクトル管  
カラー写真でみると、水素ガスが赤ピンク色に発光しているのがわかる。

### 3.2 吸収線スペクトル

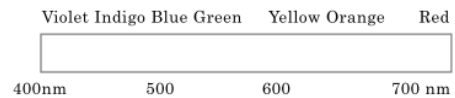
学生にとって吸収線はさらに難しい概念である(原子は吸収線を放射するか?[5])。例えば恒星からの光を観察すると、視線にある低密度ガス(恒星大気や星間ガス)があり、そのガスを構成する原子が背景放射の一定値のエネルギーを吸収すると、吸収線スペクトルがみられる、という物理状況を理解する必要がある。このために、一定の光を吸収する、イギリス Lee Filter 社による舞台、演出照明用の Lee Theatre Color Filters を使い白熱灯

A. (6 pts) ガス: **HYDROGEN** (水素: 宇宙で一番豊富にある原子)

最初にこの輝くガスを分光グラスを使わずに観察します。このガスの色は何色ですか?

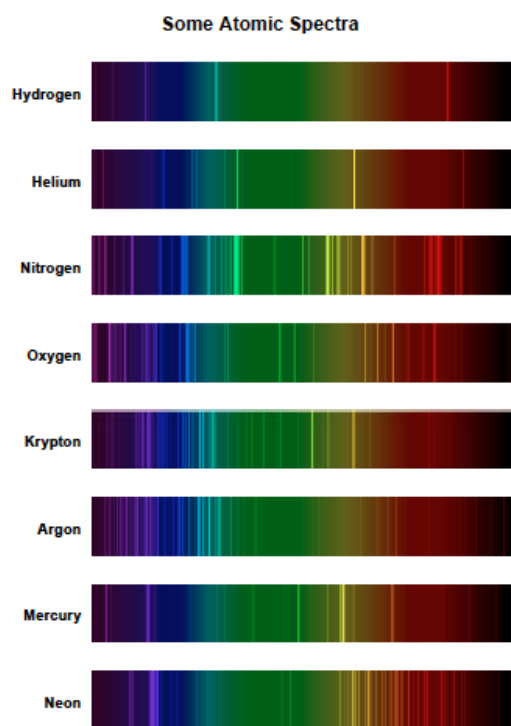


(2 pts) 次にそのガスを分光グラスで観察し、観察された輝線を色鉛筆で描きなさい。最低3つの輝線を確認するように。



1. (2 pts) これらの輝線の名称は?
2. (2 pts) それぞれの輝線はどう発せられたか(電子がどのエネルギー準位からどのエネルギー準位に遷移をしたのか)、下の水素模型に矢印を使って示しなさい(矢印は遷移の方向を向いているように)。それぞれの遷移の矢印の横にその輝線の色を書きなさい。

図3 輝線スペクトルのワークシートの一部  
ワークシートには Part I:理論と Part II:実験 A, B, C がある。ここには Part II 実験 A の一部を示した。



Source: Koppau, Joachim. *Spectra of Gas Discharges*. 21 June 2007. 25 Sept 2007.  
<http://astro.u-strasbg.fr/~koppau/discharge/>.

図4 原子スペクトル

からの連続放射を観察する(図5)。白熱灯は高温高密度の天体(恒星など)として、また、カラーフィルターは分光観測をする観測者と天体の間にある低密度ガス雲のモデルとみなすことができる(図6)。それぞれのカラーフィルターが生み出す吸収線スペクトルの予想を立てた後、実際に観察した結果を図7の吸収線スペクトル表と比較する。ここでも、全て正解のグループには追加点を与える。

吸収線スペクトルのワークシートは、最後のグループチャレンジ問題へと学生を誘導する。宇宙空間にある水素ガス雲による Lyman $\alpha$ 吸収線(紫外線 $\lambda=121\text{nm}$ )を地上の望遠鏡で観測できるか? 観察できる場合もできない場合もあるが、それぞれ理由は何か、どういう状況で観察できるか、できないかを



図5 Lee Theatre Color Filters



図6 白熱灯と分光グラス

説明せよ、というものである。学生は、あらゆる波長帯の望遠鏡と地球の大気の関係及びドップラー効果について学んでいるが、ファシリテーターである教員の誘導なしにはとても難しい問題である。しかし、'hands-on' 'eyes-on' 実験を通して学んだ概念を、現実問題に応用する術を学なければ科学ではない。例えば Ly $\alpha$ 吸収線を使って銀河間ガス(Ly $\alpha$  forest clouds)の分布や再電離の歴史を探求したり、効率よく遠方銀河(Lyman break galaxies)を発見した例がある。グループで議論しながら、宇宙を探求する方法を学ぶのである。

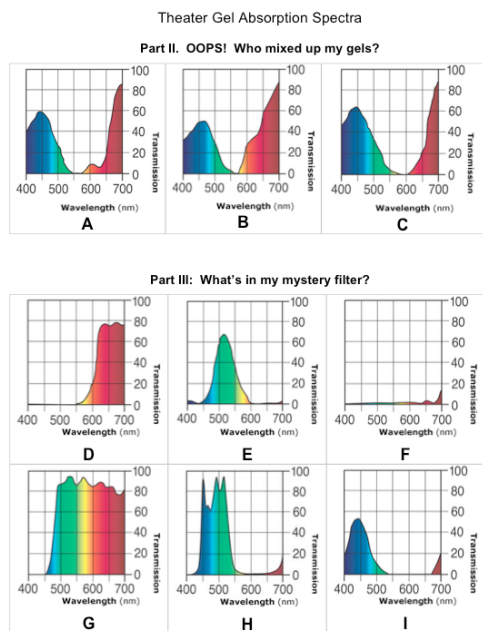


図7 Lee Filters 吸収スペクトル

それぞれのフィルターの波長ごとの透過率を表す。

#### 4. 光と分光学概念調査結果

この分光実験を通じた協同学習により、学生は光及び分光学の基礎概念を理解することができたか、そして光を分析して宇宙を探索するという天文学の全体像を把握できたか、が問題である。よって、平成 26~27 年度信州大学において、研究により検証された Light and Spectroscopy Concept Inventory (LSCI: 光と分光学概念調査) [1]を和訳したものを使い、学生の光と分光学概念の理解度を調査した。LSCIは全 26 の多肢選択問題から成る。電磁波(光)、原子(物質)構造、そして光と物質の相互作用(輝線・吸収線)、黒体放射(連続放射)、ステファンボルツマンの法則、ウィーンの法則、さらにこれらの法則に基づいた星の光度、温度(色)、大きさの関係(HR 図)、ドップラーシフトの基本概念を理

解しているかが問われる。この調査は分光実験事前事後である、天文学入門授業第 1 週と第 15 週目に行った。

表 2 に信州大学で平成 26 年度に実施した教養科目 (S14)、平成 27 年度に実施した教養科目 (S15) と修士生対象の選択科目 (S15MA) における LSCI の結果を示す。N は受講生数で、Pre は事前調査そして Post は事後調査における正答率のクラス平均(%), また Gain (ゲイン) は事後調査平均から事前調査平均を引いた差 (=Post-Pre) で、正答率の伸びを示す。<g>は規格化されたゲインであり、得点上昇の可能な最大上昇幅に対する比を、授業の有効性の指標として、以下のように定義される [18]:

$$\langle g \rangle = (\text{Post}\% - \text{Pre}\%) \div (100 - \text{Pre}\%).$$

例えば、<g>=0.5 である授業においては、初期正答率平均値から 50%の上昇が見られたことを意味する。調査結果は、シャピロ・ウィルク検定により、有意水準が 5%以上なので、正規分布であると仮定する。t は t 検定値で事前と事後の平均が、ランダムサンプリングによる変動ではなく、統計的に有意であることを示すが、この t 分布において 95%信頼区間の外側に来る確率 p(有意差)を求めることにより、p<5%であれば統計的に有意であると言える。

S14 は工学部において学部 2 年生以上を対象に行った授業であり、受講生が極端に少ない。これは、信州大学工学部生は 1 年次を松本キャンパスで過ごし 2 年次から工学部のある長野キャンパス(移動に 1 時間以上要する)に移るため、全ての教養必修単位数は 1 年次に取得するよう指示を受けているからである。S15 は松本キャンパスで行った。一方 S15MA は工学部修士生を対象に全て英語で行われた。

表 2 LSCI の結果

	N	Pre (%)	Post (%)	Gain (%)	<g>	t	P
S14	7	27.5	54.9	27.4	0.38	5.34	0.001
S15	28	32.1	63.3	31.2	0.46	10.44	0.000
S15MA	5	27.7	73.8	46.1	0.64	5.41	0.003

英語における教育を受けてきた留学生 4 名 (1 名は家庭の事情により 14 週から来られなくなった) と英語による教育を受けたことのない日本人学生 2 名が受講したが、留学生と日本人学生の間成績の差異はなかった。

図 8 は LSCI における正答率の伸び(ゲイン)を事前テストの正答率に対してプロットしたものである。本調査の事前平均は 27.5% から 32.1% で、事後平均は 54.9% から 73.8% である。t 検定によると、有意差は  $p \sim 0.001 \ll 0.05$  であり、本調査の正答率の伸びは統計的に有意であることを示す。

また、同じ図 8 に、LSCI の開発者の一人である Bardar (2008:B08) が、2005~2006 年に 26 大学 34 コースで行った調査結果[16]をプロットした。また、Rudolph (2013:R13) の調査結果[15]の<g>の直線も示した。B08 Active Engagement (AE) はピアインストラクションを使用したか、もしくは伝統的講義の中で Project LITE を宿題として課した能動的参加型授業の結果である。Lecture Tutorials(LT)を使用した能動参加的授業は、B08 Active Engagement LT (AE LT) として別の表記をする。B08 Traditional (T) は伝統的講義の授業結果であり、B08 Online for Teachers は天文教員を対象にオンラインで行った授業結果である。R13 は LT を使用し教科書を一切使わなかった授業の結果である。図より明らかなのは、何らかの能動参加的要素を取り入れた授業におけるゲインは、

伝統的講義におけるゲインよりも大きいことである。この結果は、Hake (1998) [18]やメリーランド大学の物理教育研究グループ[19]による、力学概念理解度調査 (FCI: Force Concept Inventory) を用いた各教育手法の比較研究結果と一致している。

さらに、分光実験を取り入れた授業のゲインは B08 や R13 のゲイン以上であることがわかる。規格化ゲイン平均を比べると、

$$\langle g \rangle_s = 0.49 \pm 0.11 \text{sd}^1$$

for S14, S15, S15MA (n=3)

$$\langle g \rangle_{AE} = 0.27 \pm 0.10 \text{sd}$$

for B08 AE (n=5)

$$\langle g \rangle_{AE LT} = 0.24 \pm 0.10 \text{sd}$$

for B08 AE LT (n=6)

$$\langle g \rangle_T = 0.15 \pm 0.06 \text{sd}$$

for B08 T ( $p < 0.05$ )<sup>2</sup> (n=16)

であり、サンプル数 (n) が少ないとはいえ、本調査による規格化ゲインは、B08 能動参加的授業による規格化ゲインのおよそ 2 倍である。R13 の規格化ゲイン  $\langle g \rangle_r = 0.38$  に比べても高い。

<sup>1</sup> sd=standard deviation 標準偏差

<sup>2</sup> B08 の伝統的講義授業の結果で統計的に有意なものだけを選択



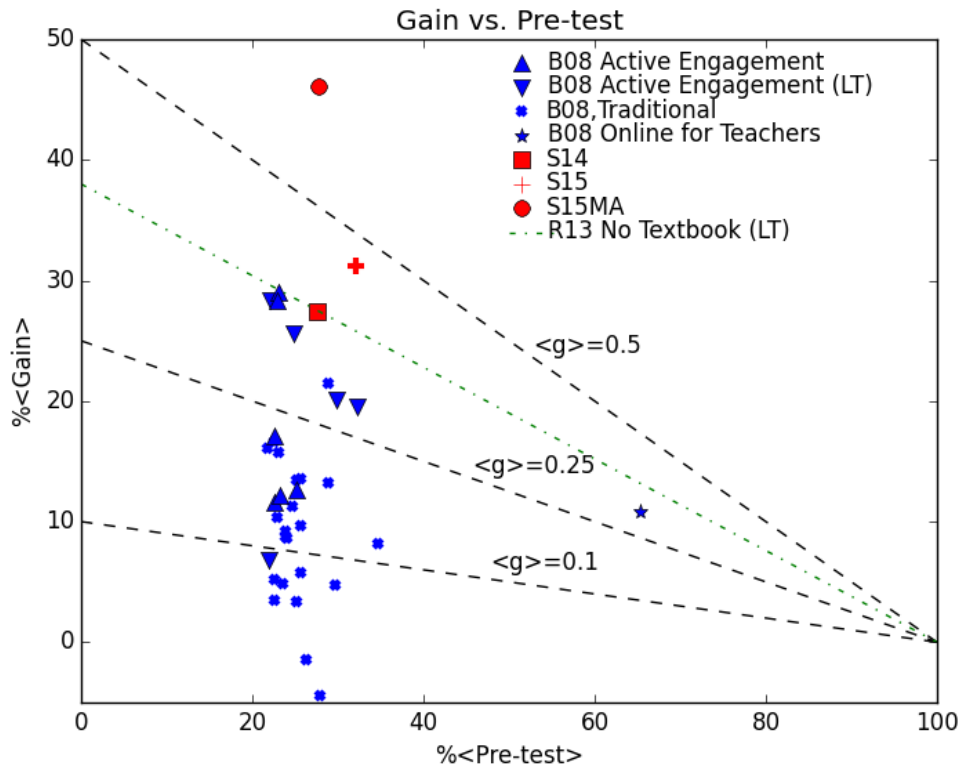


図 8 LSCI で測定した教育法の効果

事前調査の値 (Pre) に対する事後調査平均から事前調査平均を引いた差、ゲイン (Gain) の分布を表す。ダッシュ線は<g>の一定値 0.1, 0.25, 0.5 を示す。

5. 考察

分光実験を取り入れた授業の高ゲインは、分光実験の教育効果によるものかどうかを識別する必要がある。高ゲインの要因として考えられるのは、1) 受講生数、2) 15 週中に LSCI が取り扱う天文物理概念を学んだ時間数、そして 3) Lecture Tutorials (LT) の使用である。

1) S15MA のゲインは 46.1% であり特に高い。これは、教員 1 人に対して 5-6 人の少人数授業であり、教員が 1 人 1 人の学生の学びのプロセスに注意を払いフォローアップができたからという可能性がある。しかし、受講生が 7 人であった S14 のゲインは 27.4% であ

り、B08 のゲイン最高値に相当するものではあるが、S15MA のゲインの 6 割に満たない。また、受講生 28 人の S15 のゲインは 31.2% であり、S14 よりも B08 のゲイン最高値よりも高い。一方、期末テスト、ワークシート等の結果から判断すると、修士生と学部生の能力及び理解度に差異はなかった。最終成績が秀であった学部生は 6 名いるが(全員 S15)、修士生は 0 名である。ただし、本研究で分析対象とした 3 例のみからは、小受講生数がどの程度、高ゲインに寄与したのかは結論付けがたい。

参考までに受講生が 50 人以上と 50 人以下の授業数と、それぞれの平均受講生数を表 3



表 3 受講生数 (N) の比較

	N > 50	平均 学生 数 (人)	N < 50	平均 学生 数 (人)
Traditional	5	125	11	27
AE	5	98	6	33
AE LT+R13	4+1	84	2	30
S14, S15,S15MA	0	—	3	13

に記した。B08 の調査では、様々なサイズの授業が調査対象になっている。

2) 信州大学においては LSCI の調査に含まれる天文学概念 (4 章) を学習するのに、360 分、つまり、全授業時間の 26% を使用した (15 週、週 90 分)。B08 の授業内容は明らかではないが、R13 においては 420 分、全授業時間の 18% を使用している (10 週、週 2 × 120 分)。日本とアメリカでは授業形態が異なり、アメリカの大学における天文学入門授業では、全授業時間も履修内容も共に約 2 倍で、取得できる単位も 1.5~2 倍である。よって、信州大学において LSCI に関連する課題を学ぶ時間数が比較的にかつたわけではない。

3) 信州大学では、分光実験と同時に、LT から「光と原子 (Light and Atoms)」と「スペクトルタイプ (Type of Spectra)」のワークシートを使いチュートリアルも行った。分光実験とは別に、LSCI の調査に含まれる概念を扱う LT ワークシートは 5 つ使用した。本調査における規格化ゲインは  $\langle g \rangle_s = 0.49 \pm 0.11sd$  であり、アメリカで LT を活用した授業の規格化ゲイン、 $\langle g \rangle_{LT} = 0.24 \pm 0.10sd$  と  $\langle g \rangle_R = 0.38$  以上の値である。よって、LT によるチュートリアルが、本調査の高ゲインの唯一の要因ではないことを示唆している。

高ゲインに関するこれらの可能な要因に対して、われわれは、本研究で分析対象とした 3 例の授業における分光実験を取り入れた教育手法の効果が大きいのではないかと考える。

ここで行った分光実験を用いた教育手法は、Pricilla W. Laws (Dickinson College) が開発した、実験や小課題が授業の筋道をつけていくワークショップ方式 [11] の要素を多く含む。大学初年次力学授業においては、このワークショップ方式による学生の概念理解度の上昇率は、伝統的講義による上昇率のおよそ 2-3 倍以上であり、ワークショップ方式導入後期の上昇率に関しては、チュートリアル方式による上昇率に比べてもおよそ 2 倍であるという研究結果がある [19]。このことは、学生が実際に手足を使い、現実問題 (real-world problems) に取り組みながら、物理法則を発見していくという、誘導発見型授業の高い教育効果を意味している。本論文における調査結果は、力学授業においてのみならず、天文学授業においても、実験・体験要素を取り入れることの重要性を示している。

ただし、われわれのこれまでの実践結果だけからは、高ゲインの要因として、先述した少人数教育の寄与の可能性に加え、今回の受講生集団の何らかの特性や授業者の特性などがあつた可能性も排除できない。分光実験のみの教育効果を明らかにするには、LSCI 調査を日本の他大学においても行い、結果を比較する必要がある。

## 6. おわりに

天文学は観測科学である。つまり、天文学で扱う光は「現実」“real-world” のものであり、天文学の「問題」“problems” を解くことは、はこの光を分析して情報を抽出することである。このため、大学教育においても、実際の光を用いて問題を解くことが望ましい。しかし、教養や初年次教育レベルで、実際に

望遠鏡を使い学習するのは不可能に近い。多くの大学には望遠鏡もなければ、夜中に授業を行うことはできないからである。よって、ほとんどの天文学授業は伝統的講義によって行われているのが現状である。しかし、それは、実際のボール（現実）を使ってドリブルやシュートをする（問題）ことなく、バスケットボールを学ぶせるようなものである。また、大学初年次物理学及び天文学授業において、伝統的講義による教育効果が低いことが明らかになっている。これらのことは、教員は、従来の授業に何らかの能動参加的要素を導入していくべきであることを意味している。初年次の天文学授業のみならず、著者は、高教育効果が望めるワークショップ方式を、力学（教養）の授業にも導入することを試みている[20]。

平成 26～27 年度に信州大学で実施したアクティブラーニング天文学授業では、全授業時間等の制限から、アメリカランシング大学で行っていた実際の星・銀河のスペクトル分析を省いていた。日本の大学において、日本の授業形態で授業を担当し始めて数年になるが、より多くの課題、より多くの情報を一方的に伝達しても、結局学生は自分が興味のある 1～2 の情報しか覚えていない。一方、本研究によって、分光実験による学生主体の協同学習の教育効果は高いことが明らかになった。今年度は、教員からの講義は 20～30 分以下に抑える予定である。また、実際のスペクトル分析も取り入れるカリキュラムを組んでいる。情報伝達はできる限りネット上で予習として行い(反転授業)、学生が主体として現実問題に取り組む、“hands-on” “eyes-on” さらに“brains-on” の天文学授業、ワークショップ天文学の開発を目指している。

本研究は、科学研究費補助金「基盤研究 C」（課題番号 26350191）の助成を受けて行った。

## 文 献

- [1] E. Barder, E. E. Prather, K. Brecher, & T. F. Slater (2007) ‘Development and Validation of the Light and Spectroscopy Concept Inventory,’ *Astronomy Education Review*, 5, 2, 103
- [2] T. F. Slater, J. P. Adams, G. Brissenden, & Duncan, D. (2001) ‘What Topics Are Taught in Introductory Astronomy Courses?’ *The Physics Teacher*, 39, 52.
- [3] M. Zeilik & V. J. Morris-Dueer (2005) ‘What Are Essential Concepts in Astronomy 101?: A New Approach to Find Consensus from Two Different Samples of Instructors,’ *Astronomy Education Review*, 2(3), 61.
- [4] M. Zeilik, C. Schau, & N. Mattern (1998) ‘Misconceptions and Their Change in University-Level Astronomy Courses,’ *The Physics Teacher*, 36, 12.
- [5] K. Brecher (1991) ‘Do Atoms Really “Emit” Absorption Lines?’ *The Physics Teacher*, 29, 454.
- [6] L.C. McDermott (1998) ‘Oersted Medal Lecture 2001: Physics Education Research—The Key to Student Learning,’ *Am. J. Phys.* 69(11), 1127
- [7] E. Redish (2003) ‘Teaching Physics with Physics Suite’ *Wiley*
- [8] Project LITE <http://lite.bu.edu/>
- [9] 西村晶能 (2011) 「星のスペクトル実習（その 1）」*天文教育* vol. 23 No. 2, 46
- [10] 福江純 (2011) 「実習 星のスペクトル分類」*天文教育* vol. 23 No. 1, 34
- [11] P. W. Laws (2004) ‘Workshop Physics Activity Guide Core Volume with Module 1&2,’ *John Wiley & Sons*
- [12] L.C. McDermott (1993) ‘How We Teach and How Students Learn—Closing the

- Gap,' *Am. J. Phys.* 61, 295
- [13] E. Mazur (2009) 'Farewell, Lecture?' *Science* 323 5910 50
- [14] E. E. Prather, T. F. Slater, J. P. Adams & G. Brissenden (2013) 'Lecture-Tutorials for Introductory Astronomy, Third Edition,' *Pearson Education*
- [15] A. L. Rudolph (2013) 'Do You Always Need a Textbook to Teach Astro 101?,' *Astronomy Education Review*, 12(1)
- [16] Rainbow Symphony Store  
<http://www.rainbowsymphony.com/>
- [17] E. M. Bardar (2008) 'First Results from the Light and Spectroscopy Concept Inventory,' *Astronomy Education Review*, 2(6)
- [18] R. Hake (1998) 'Interactive-Engagement versus Traditional Methods: A six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses,' *Am. J. Phys.* 66, 64
- [19] J. M. Saul & E. F. Redish (1997) 'Final Evaluation Report for FIPSE Grant #P116P50026: Evaluation of the Workshop Physics Dissemination Project,' *University of Maryland*
- [20] 藤田あき美 (2016) 「空手で力学—誘導発見型ワークショップ物理の導入—」 *大学の物理教育*, 22-2, 83



藤田 あき美

\* \* \* \* \*

