

[事業報告]

大学初年次教育における電磁気学についての概念調査の実施報告

岸本 功, 笠置 映寛

山陽小野田市立山口東京理科大学 共通教育センター

Implementation Report on Brief Electricity and Magnetism Assessment in Introductory College Physics

Isao KISHIMOTO and Teruhiro KASAGI

Center for Liberal Arts and Sciences, Sanyo-Onoda City University

要 約

山陽小野田市立山口東京理科大学工学部1年生向けに開講している電磁気学の入門的講義において、電磁気学についての概念調査 (Brief Electricity and Magnetism Assessment, BEMA) を実施した結果を報告する。本調査の問題は全問選択式の出題形式であり、ここでは BEMA [Chabay-Sherwood (1997)] の日本語版 [土佐幸子訳 (2014)] を使用した。調査対象は、筆者らがそれぞれ授業を担当した成績上位クラスと下位クラスである。最初の授業時にプレテストを実施し、通常の授業の最後(定期試験の直前)にポストテストを実施した。ここでは、この調査のプレ・ポストテストの採点結果を統計的に処理し、BEMA の有効性を論じた文献で報告されている調査実施の解析例と比較する。さらに、本講義の中間試験(電気分野)と定期試験(磁気を含む分野)の採点結果との相関を調べ、その解析結果をまとめて報告する。

キーワード：大学初年次物理教育, 電磁気学についての概念調査, ゲイン

Keywords: introductory college physics, BEMA, average normalized gain

1. はじめに

山陽小野田市立山口東京理科大学（本学）工学部3学科（機械工学科・電気工学科・応用化学科）の1年生向けに、「物理学及び演習」（応用化学科は「物理学2及び演習」）として開講している電磁気学の入門的講義において、筆者らが担当したクラスの受講生に対し、電磁気学についての概念調査（プレテスト及びポストテスト）を実施した。その結果について報告する。

本調査の問題は、全問選択式の出題形式であり、オリジナルの Brief Electricity and Magnetism Assessment [Chabay-Sherwood (1997)] (BEMA) は英語で書かれているが、ここではその日本語版 [土佐幸子訳 (2014)] を使用した。調査対象は、本学の工学部3学科を合わせた物理の成績上位者のクラス (A1) と工学部電気工学科の物理の成績下位者のクラス (BE) であり、筆者らがそれぞれ授業を担当した。^{*1} クォーター制の第4期に週3コマずつ進める2019年度「物理学（物理学2）及び演習」の授業において、最初の授業時にプレテストを実施し、通常の授業の最後（定期試験の一つ前のコマ）にポストテストを実施した。このプレテストとポストテストは BEMA の同一の問題を用いており、解答時間はともに30分とした。

ここでは、このプレ・ポストテストの採点結果について統計データを示し、BEMA の有効性を論じた文献1) で報告されている調査実施の解析例と比較する。さらに、本講義の中間試験（電気分野）と定期試験（磁気を含む分野）の採点結果との相関を調べ、その解析結果をまとめて報告する。授業において、A1クラスでは学習シート・プロジェクトを活用した講義と（自主的に分かれた）グループでの演習を行い、BEクラスでは「伝統的な」黒板での講義と紙媒体の演習を行った。このことを踏まえて、BEMA プレ・ポストテストと中間・定期試験の結果を比較検討し、本学工学部における電磁気学の入門的講義の在り方についても述べる。

2. プレ・ポストテストの得点率の統計データ

ここでは、BEMA プレテスト及びポストテストを受験した学生：A1クラス55人、BEクラス25人の回答を調査報告対象とする。^{*2} BEMA の前半は電気分野からの出題で、後半は磁気を含む分野からの出題となっている。基本的な統計データは、表1のように

なった。ここで、BEMA のプレテスト (pre), ポストテスト (post), プレテスト前半 (pre_(E)), ポストテスト前半 (post_(E)), プレテスト後半 (pre_(M)), ポストテスト後半 (post_(M)) の結果と中間試験（中間）、定期試験（定期）の結果を示している。数値は全て得点率 (%) として規格化してある。 \bar{x}_{A1} , \bar{x}_{BE} , \bar{x} は、それぞれ A1 クラス, BE クラス, A1 と BE クラス全体の得点率の平均値であり、 σ_{A1} , σ_{BE} , σ は、それぞれ A1 クラス, BE クラス, A1 と BE クラス全体の標準偏差である。

表1. プレ・ポストテストと中間・定期試験の結果

	\bar{x}_{A1}	σ_{A1}	\bar{x}_{BE}	σ_{BE}	\bar{x}	σ
pre	35.0	13.2	26.0	9.8	32.2	12.9
post	45.6	16.0	31.9	15.4	41.3	17.0
pre _(E)	37.2	13.7	31.2	10.2	35.3	13.0
post _(E)	47.2	15.0	37.5	15.6	44.1	15.8
pre _(M)	31.1	19.7	17.1	11.3	26.7	18.7
post _(M)	42.8	23.2	22.2	19.6	36.4	24.1
中間	79.4	10.8	48.6	7.9	69.8	17.4
定期	75.7	7.7	60.7	6.8	71.0	10.2

表1より、いずれの行においても $\bar{x}_{A1} > \bar{x}_{BE}$ となっており、得点率の平均値の大小関係は、クラス分けの段階での成績順位と変わっていない。つまり、A1, BE クラスそれぞれの授業効果により成績が平均的に逆転する、ということは生じなかった。また、表1の標準偏差に着目すると、ほとんど $\sigma_{A1} > \sigma_{BE}$ となっており、A1クラスのほうが得点率のばらつきが大きい。BEMA のプレテストとポストテストを比較すると、（全体、前半、後半いずれも）ポストテストのほうが得点率の標準偏差が大きくなっており、授業効果により、受講者の理解度の差が開いたと解釈できる。

BEMA プレテストとポストテストの結果をもとに、文献2) に従って、ゲイン (average normalized gain) $\langle g \rangle$ を

$$\langle g \rangle = \frac{\langle \text{post} \rangle - \langle \text{pre} \rangle}{100 - \langle \text{pre} \rangle}$$

のように定義する。ここで、 $\langle \text{pre} \rangle$, $\langle \text{post} \rangle$ はそれぞれプレテスト、ポストテストの得点率 (%) の平均を表す。ゲイン $\langle g \rangle$ は、成績の伸びの余地に対し、授

業後どれだけ伸びたかを表す比であり、この数値で授業効果を比較することができると考えられている。表1に対応するゲイン $\langle g \rangle$ を表2にまとめた。

表2. BEMA とその前半 (E), 後半 (M) のゲイン $\langle g \rangle$

	A1	BE	A1, BE 全体
BEMA	0.1631	0.0793	0.1345
(E)	0.1585	0.0917	0.1363
(M)	0.1703	0.0614	0.1318

表2より、A1クラスのBEMA、(E)、(M)のゲイン $\langle g \rangle$ はいずれもBEクラスより大きくなっており、A1クラスのほうがBEクラスよりも授業効果が大きかったことがわかる。また、表2のA1列、BE列それぞれに着目すると、A1クラスでは(M)のほうが(E)よりもゲイン $\langle g \rangle$ が大きい、BEクラスでは逆に(E)のほうが(M)よりゲイン $\langle g \rangle$ が大きい。このことは、「成績上位者(A1クラスの受講者)は、電気分野はすでにある程度わかっており、授業によって磁気を含む分野の理解が進んだ。一方、成績下位者(BEクラスの受講者)は、もともと電磁気学全体がわかっておらず、授業によって電気分野が多少わかるようになったが、磁気を含む分野の理解は不十分であった。」ということを表しているとして解釈できる。

表2のゲイン $\langle g \rangle$ の数値は、いずれも0.3未満であり、文献2)では“Low-g”に分類される。したがって、まずは“Medium-g” ($0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$) に相当する授業効果を目指す必要があるだろう。

BEMAの各問に対する回答に関して、difficulty index P と discrimination index D を

$$P = \frac{N_H + N_L}{N}, \quad D = \frac{N_H - N_L}{N/2}$$

のように定義する。ここで、 N は受験者数を表し、 N_H と N_L は次のように定める。受験者のうち、BEMAポストテストの点数が中央値より上の人の集合を H とし、中央値より下の人の集合を L とする。BEMAの各問について、正答者のうち、 H に属する人の数を N_H とし、 L に属する人の数を N_L とする。このとき、 $0 \leq N_H \leq N/2$ 、 $0 \leq N_L \leq N/2$ が満たされることに注意する。difficulty index P は、その定義から $0 \leq P \leq 1$ を満たし、その間の正答者数を受験者数で割ったものになっており、その間の難易度を表してい

る。discrimination index D は、その定義から $-1 \leq D \leq 1$ を満たし、その間の識別力を測るものである。特に、 $D=1$ となるのは $N_H=N/2$ かつ $N_L=0$ となる場合で、BEMA全体の成績上位グループの人が全員正答で、かつ、下位グループの人が全員誤答の場合であり、その間の識別力が最も高いことを表す。また、 $D=-1$ となるのは $N_H=0$ かつ $N_L=N/2$ となる場合で、BEMA全体の成績上位グループの人が全員誤答で、かつ、下位グループの人が全員正答の場合であり、その間の識別力が最も低いことを表す。このことを踏まえると、 $D < 0$ となる間は、全体の理解の乏しい人のほうがより正答するものなので、理解力を測るものとして理想的ではない間といえるだろう。

図1、図2は、それぞれ N を A1クラスとBEクラスの受験者数の合計、つまり、 $N=80$ としたときの、BEMAの各問に対する difficulty index P と discrimination index D である。

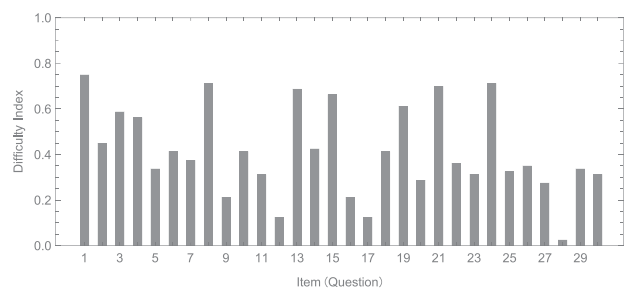


図1. BEMA各問の difficulty index P

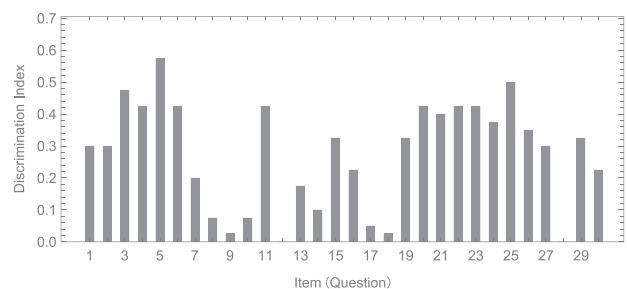


図2. BEMA各問の discrimination index D

この図1、図2は、文献1)のFIG.2、FIG.3に対応するものである。図2において、discrimination index D が負となる間はなかった。図1における difficulty index P の平均 \bar{P} と図2における discrimination index D の平均 \bar{D} は

$$\bar{P} = 0.41, \quad \bar{D} = 0.28 \quad (1)$$

であった。なお、difficulty index P は0.3から0.9の

間の値が望ましいとされており^{1,3)}, (1) の第 1 式の 0.41 はこの区間に入っているが, 図 1 をみると, 0.3 よりも小さい間が複数含まれている。BEMA は今回の受験者にとって, 難しすぎる間が少し含まれていたが概ね適当な難易度だったといえるだろう。一方, discrimination index D は, 0.3 以上が望ましいとされており^{1,3)}, (1) の第 2 式の 0.28 はこれをわずかに満たしていないことから, BEMA は今回の受験者にとって, 識別力がやや足りない間となっていた, ということがわかった。

なお, 文献 1) に記載されている例では, Carnegie Mellon University (1997) で $N=189$, $\bar{x}=45$, $\sigma=20$, $\bar{P}=0.47$, $\bar{D}=0.34$ となっており, North Carolina State University (2003) で $N=245$, $\bar{x}=39$, $\sigma=20$, $\bar{P}=0.34$, $\bar{D}=0.32$ となっている。一方, 今回の本学の A1, BE クラス全体 ($N=80$) の結果 (表 1 右, 式 (1)) は, $\bar{x}=41.3$, $\sigma=17.0$, $\bar{P}=0.41$, $\bar{D}=0.28$ であり, 上記の例と比べて, 得点率の標準偏差 σ と discrimination index の平均 \bar{D} がやや小さくなっているが, 得点率の平均 \bar{x} , difficulty index の平均 \bar{P} については, 大体同等であった。このことは, BEMA が考案されて 20 年以上経過した現在, 日本においても, 電磁気学の入門的内容の理解度を測るのに概ね有効であることを示している, と考えられる。

3. プレ・ポストテスト, 中間・定期試験の相関

BEMA のプレテスト (pre), ポストテスト (post), プレテスト前半 (pre_(E)), ポストテスト前半 (post_(E)), プレテスト後半 (pre_(M)), ポストテスト後半 (post_(M)) の結果と中間試験 (中間), 定期試験 (定期) の間の相関係数 (ピアソンの積率相関係数) を表 3 (A1 クラス) と表 4 (BE クラス) に示した。この表 3, 表 4 において, 統計的有意性は * <0.05 , ** <0.01 とした。

表 3. Correlation Coefficient (A1)

	pre	post	pre _(E)	post _(E)	pre _(M)	post _(M)	中間	定期
pre	1	0.680**	0.858**	0.642**	0.788**	0.564**	0.379**	0.122
post	-	1	0.556**	0.901**	0.569**	0.876**	0.566**	0.424**
pre _(E)	-	-	1	0.569**	0.361**	0.413**	0.407**	0.128
post _(E)	-	-	-	1	0.485**	0.581**	0.514**	0.315*
pre _(M)	-	-	-	-	1	0.530**	0.200	0.068
post _(M)	-	-	-	-	-	1	0.491**	0.447**
中間	-	-	-	-	-	-	1	0.567**
定期	-	-	-	-	-	-	-	1

表 4. Correlation Coefficient (BE)

	pre	post	pre _(E)	post _(E)	pre _(M)	post _(M)	中間	定期
pre	1	0.749**	0.950**	0.701**	0.873**	0.642**	0.240	0.175
post	-	1	0.667**	0.930**	0.723**	0.864**	0.357	0.298
pre _(E)	-	-	1	0.630**	0.677**	0.564**	0.180	0.194
post _(E)	-	-	-	1	0.668**	0.619**	0.329	0.264
pre _(M)	-	-	-	-	1	0.632**	0.283	0.110
post _(M)	-	-	-	-	-	1	0.313	0.275
中間	-	-	-	-	-	-	1	0.509**
定期	-	-	-	-	-	-	-	1

表 3, 表 4 より, A1 クラス, BE クラスともに, BEMA のプレ・ポストテスト及びそれらの前半・後半は互いに相関が強く, また, 中間試験と定期試験の相関が強いことがわかる。これは, 当然予想される結果だろう。表 3 より, A1 クラスの特徴として, 中間試験と BEMA プレ・ポストテスト (特に前半) との相関が強く, また, 定期試験と BEMA ポストテスト (特に後半) との相関が強いことがわかる。中間・定期試験は授業効果を表しているのので, A1 クラスではこの授業効果が BEMA ポストテストに反映された, と考えられる。表 4 より, BE クラスの特徴として, 中間試験と BEMA との相関, 及び, 定期試験と BEMA との相関は, ともに強くないことがわかる。これは, BE クラスでは, 授業効果が BEMA にあまり反映されなかったことを表している。

以上より, 第 2 節で述べたゲイン $\langle g \rangle$ に関する考察と合わせて, BE クラスよりも, A1 クラスのほうが, (特に磁気を含む分野の) 理解度が授業効果により深まった, と考えられる。

4. おわりに

第 2 節, 第 3 節における BEMA プレ・ポストテストの結果とその考察から, A1 クラスと BE クラスの授業を比較した際, A1 のほうが授業の効果があつた, と判断できる。第 1 節で述べたように, BE クラスでは黒板での講義と紙媒体の演習による伝統的なスタイルの授業だったのに対し, A1 クラスでは学習シート, プロジェクタ等を活用し, グループでの演習も取り入れた, より工夫した授業形態であった。

電磁気学において, (特に磁気を含む分野では) 電場・磁場の大きさだけでなく向きが重要であるが, 初学者にとって誤解しやすい部分である, とと思われる。黒板や紙に平面的に描いた図で, 誤解のないように説明することは自明ではなく, 正確な内容が伝わりにくい。

ベクトル解析に慣れ親しんだ受講者がマクスウェル方程式に基づいて電磁気学を理解していく、という段階であれば、伝統的な授業形態でも誤解は少ないと思われるが、本講義（本学工学部1年生向けの「物理学（物理学2）及び演習」）では、使える数学が微分積分・線形代数の初等的な内容に限られている。そのような場合、プロジェクト等を用いて、立体的にわかりやすい図を効果的に見せる工夫をして授業を進めることは有効であろう。

授業においてグループに分けて議論させる場合、その受講者が電磁気学の内容をある程度理解できていることが必要だろう。全然わかっていない者同士が議論しても、授業という限られた時間内では有意義な結果は得られないと思われるからである。今回の例で、A1クラスという成績上位者のクラスでは、グループ学習が機能したようであるが、BEクラスのような成績下位者のクラスでグループ学習を行う際は、授業者による適切なヒントやアドバイス等を多めにすべきかもしれない。

本講義は第4期に週3コマずつ進めるものであるが、扱う電磁気学の内容が広範囲に渡るため、授業時間に余裕がない、と感じている。そのため、アクティブ・ラーニング的な要素を取り入れた授業にしようとする、受講者が予習をしてくることを前提としなければならないかもしれない。また、2020年度は新型コロナウイルスの影響でオンライン授業となったため、「伝統的な」授業実施は不可能となり、新たな授業形態を強いられている。いずれにせよ、本学の学生が対応可能な形で現実的な方法による授業の改善を試みたい。

今回の調査で、BEMA プレ・ポストテストが授業効果を測るのに使えそうなのが判明したので、今後も機会があれば実施して解析し、本学学生の電磁気学の理解が深まるような教育を目指したい。

謝 辞

電磁気学についての概念調査に関する情報を提供していただいた新潟大学教育学部の土佐幸子教授に感謝いたします。調査対象の講義科目についてお世話になった山陽小野田市立山口東京理科大学共通教育センターの金田和博教授に感謝いたします。なお、本研究はJSPS 科研費 JP19H01711 の助成を受けたものです。

注

- *1. A1 クラスの授業は笠置が担当し、BE クラスの授業は岸本が担当した。
- *2. 実際の受講者はこれより多いが、以下で比較するために、プレ・ポストテストおよび中間・定期試験を全て受験した学生を対象とした。

参考文献

- 1) Lin Ding, Ruth Chabay, Bruce Sherwood, Robert Beichner: Evaluating an electricity and magnetism assessment tool : Brief electricity and magnetism assessment, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **2**, 010105 (2006)
- 2) Richard R. Hake: Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *Am. J. Phys.* **66**, 64 (1998)
- 3) Rodney L. Doran: *Basic Measurement and Evaluation of Science Instruction*, NSTA, Washington, DC (1980)