

アンケートを通してみる学生の状況: 「自然現象の数学」に関して

A Lecture Questionnaire about Mathematics

新潟大学工学部
新潟生命歯学部
新潟生命歯学部

山田弘明 [1]
山下陽介
小野裕明

Niigata University
The Nippon Dental University
The Nippon Dental University

Hiroaki YAMADA
Yousuke YAMASHITA
Hiroaki ONO

(2013年11月18日受理)

abstract

一年生向け講義「自然現象の数学」で学生に対して約4年間に渡り実施した数学についてや、講義内容に関するアンケートを整理し、そこからわかる学生の数学や講義内容に対するイメージや状況を紹介することが本稿の主な目的である。

keywords: Mathematics, students, lecture, questionnaire, understanding

1 はじめに

まず経緯を簡単に紹介しよう。著者は、2010年度より日本歯科大学新潟生命歯学部の一年生向け講義「自然現象の数学」を担当している。それ以前の数学に関する科目名は「基礎関数解析学」「基礎数理」などであったが、高校での数学やその延長線上のことを単純に行うには無理があると思い、講義名を「自然現象の数学」と変えてもらった。数学の非常に基礎的な部分の話と実際にそれに関連する自然現象（場合によっては、社会現象）についての講義を行うために、このような講義名にしたわけである。

学生は多様なタイプの入学試験を経て入学してくるため、数学に関するレベルも様々である。例えば、AO入試や推薦入試¹では数学は課されない

¹AO入試や推薦入試での入学者に対しては、入学前に高校1年次の教科書の例題程度の簡単な問題を課しているが、1-2割の者が無回答だったり、十分な回答をしていないものもが

ため、高校では文科系であったり、社会人を経ている入学生も珍しくない²。従って、この講義は高校1年生までの数学の知識、すなわち数学I、数学Aの基礎知識でも十分理解できるように内容を構成して行く必要があると考え、「自然現象の数学」を始めた³。また、非常に幸運にもこのような考えと類似の視点により、数学者(上野健爾氏と高橋陽一郎氏)により書かれた著書(文献[2]、文献[3])をみつけることができたので、2011年度からこれらを教科書や参考書として部分的に使用している⁴。

従って手探りの部分もあり、学期初めと最後の講義時間の一部を使い学生にアンケートを書いて

目立ってきた。

²最近の4年間でみると、現役学生の割合は5-6割である。

³この講義のシラバスにも記してある一般目標は、「主に生命にかかわる身近な自然現象を理解するために、数理的表現や科学的思考法を修得する」、である。

⁴その中に出てくる言葉を援用して精神を表現すれば、次の様になろう。「厳密でなければ数学ではない、しかし、中身が豊かでなければ、数学を学ぶ価値はない。」

もらい、講義内容改良のための参考にしている。本報告は、約4年間のアンケートの結果を整理し、年度ごとの縦の変化や一部は他の科目との横の比較を可能にしたものである。

意図したわけではないが、2008年1月の中央教育課程審議会答申では、新科目の「数学活用」に関して次のように言及しており、この講義のねらいに通じるものがある [4]。

「数学活用」は、「数学基礎」の趣旨を生かし、その内容を更に発展させた科目として設け、数学と人間とのかかわりや、社会生活において数学が果たしている役割について理解させ、数学への興味や関心を高めるとともに、具体的な事象への活用を通して数学的な見方や考え方のよさを認識し数学を活用する態度を育てることをねらいとする。

2 数学の履修状況やイメージ

まず、入学直後の最初の講義のときに行ったアンケートの結果をみていく。

2.1 高校数学の履修状況

初めに、質問 (1-1) 「高校の数学科目で履修したものと、それに関して、内容を何パーセントぐらい理解しているか」である。ここで、記号 (1-1) などはそのアンケートの項目を表すものとし、本報告中ではこの記号で引用をする。高校の数学科目と内容に関しては、表 1 を参照されたい。

結果は図 1 にまとめてある。おおよそ、数学 A、数学 II、数学 B での傾向は数学 I と類似し、数学 C の傾向は数学 III と類似したため、ここでは数学 I、数学 III の結果のみを示してある。(他のデータは付録 A に表示してある。) 平均的な (自己申告) 理解度は、数学 I、数学 II、数学 III の順に、また数学 A、数学 B、数学 C の順に低くなる。そして、数学 III、数学 C に対する理解度は、本人の申告でも極端に低い。また、理解度の低い側の傾向は、年度に依らず同じであるが、理解度の高い側の傾向は、2012 と 2013 年度と比べ 2011 年度

表 1: 高校の数学科目と主な内容。理科系の場合、1 年生で I と A、2 年生で II と B、3 年生で III (と場合によっては C) を履修することが標準である [4]。

科目名	主な内容
数学 I	数と式 二次関数 三角比
数学 A	個数の処理 確率
数学 II	指数 対数 図形と方程式 三角関数 微分初歩
数学 B	数列 ベクトル
数学 III	関数と極限 微分 積分
数学 C	確率 行列

が異なるなど、大きく年度に依存する傾向をもっている。すなわち、年度により 1 年生の数は異なることを考慮しても、高い理解度の人数が少ないなどの入学年度の「揺らぎ」は存在する。

次に、質問 (1-2) 「数学に対するイメージ」に対しては、「難しい」「理解できたら楽しい」の意見数が上位になっている。また、質問 (1-3) 「一番不安に思うことは？」に対して、「ついていけない」「留年」「授業」「試験」が上位に来て、それらに次ぐ「自然災害」「津波」「事故」を大きく上回るという結果であった⁵。(表 2 参照。)

一般に、数学 III をきちんと学ぶ学生は高校卒業生全体の 1 割といわれているため、微分積分に対する理解度の差は非常に大きいことが予想できる⁶。

2.2 その他の科目に関するアンケートの様子など

ここでは、数学以外の科目、特に理科に関する科目についての学生の履修状況や理解度などに関するアンケートの結果を整理しておく。表 3 は、

⁵ご存知のように、2011 年度に 3・11 の東日本大震災 (三陸大津波) や福島原発事故が起こっている。

⁶ちなみに、入学試験の範囲は、数学 I、数学 II がほとんどで、少なくとも最近の 6 年間は、指数関数、対数関数に関する出題はみられない [5]。

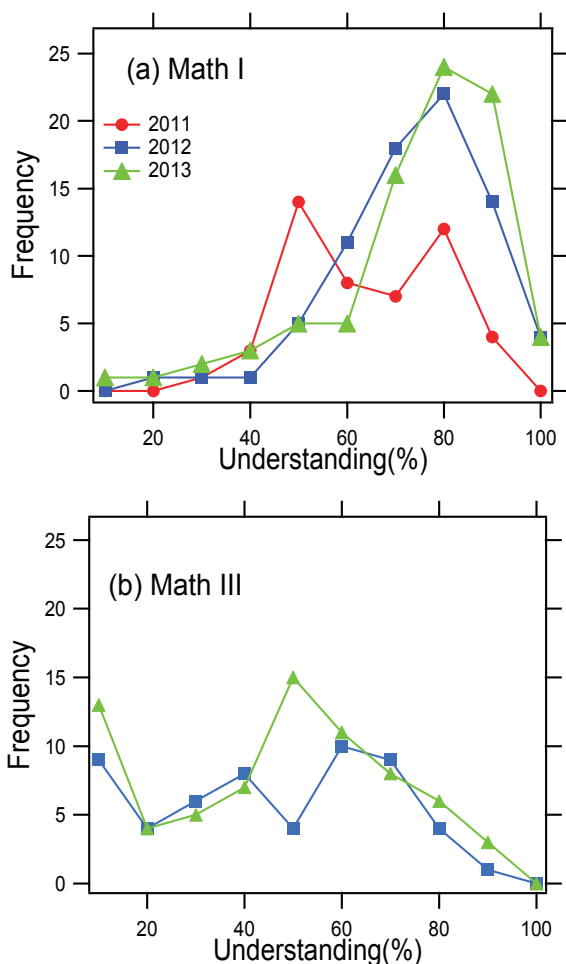


図 1: 入学直後アンケート。質問(1-1)「高校の数学科目で履修したものと、どれに関して、内容を何パーセントぐらい理解しているか」に対する結果。(a) 数学 I、(b) 数学 III のみ表示。他の数学科目に関しては付録 A に表示してある。縦軸は 10 パーセント刻みで表示した場合の人数を表す。各年度の 4 月時点での 1 年生の数は、2010 年度 61 人、2011 年度 53 人、2012 年度 80 人、2013 年度 84 人、である。年度により、アンケート内容や集計方法が多少異なる場合があるため、比較すべきもののみ表示。以降の表示においても同様である。

表 2: 質問(1-3)「数学に対するイメージ」、質問(1-3)「不安なこと」に対する結果。数字は同意見の人数。複数回答を含めたものである。ここで表示した意見は、同意見が 3 名以上のもの。

(1-2) イメージ	2010	2011	2012
難しい・苦手	24	13	18
好き・わかると楽しい	13	11	15
(1-3) 不安なこと *	2010	2011	2012
留年・ついていけるか	37	26	35
講義・テスト	-**	11	15
死	8	4	-
地震	0	6	4

* この質問は一般に不安なこと、怖いことを訊いたものであるが、数学の講義時間内での回答であることが影響しているのかもしれない。

** この年度では留年などと同じ分類に集計してある。

質問(2-1)「一番好きな科目、一番嫌いな科目」に対する結果である。年度に依らず一番好きな科目は生物である。また、特徴的なこととして、年度に依らず数学は好きな科目でも、嫌いな科目でも上位に来ることがわかる。数学は、他の科目よりも好きな学生と嫌いな学生に大きく二分される傾向があるといえる。これは、同じ理数系で計算を使う科目であるが、アンケートでも学生に嫌われる傾向が強い物理または化学とは異なる。

図 1 と同じ形式のアンケート(1-1)を理科の科目について質問した結果が図 2 である。化学や生物と比べて、物理の選択の少なさのみならず、理解度の低さがうかがえる。2013 年度に関しては、化学を一番好きな科目として挙げる学生が比較的多いことに対応して、その理解度も高いようである。

表 4 は、(2-2)「今一番知りたいこと。興味のあること。」という質問への結果である⁷。これにも高校などでの科目名で答える場合が目立つが、数学や物理に関連したものごとへの関心は高いといってもいい。既出の好きな科目・嫌いな科目では、物理・数学が上位にくることを考えると、「数理的な

⁷ 数学の講義に中であつたアンケートであるということの影響がどこかにあるかもしれない。

表 3: (2-1) 一番好きな科目、一番嫌いな科目。(…)内の数字はその科目が一番と回答した人数を表す。*4位として、英語(9)、物理(9)が続く。

	2010	2011	2012	2013
好き1位	生物(21)	生物(20)	生物(31)	生物(23)
好き2位	数学(12)	英語(12)	数学(27)	数学(21)
好き3位	英語(9)	数学(9)	英語(12)	化学(10)*
	2010	2011	2012	2013
嫌い1位	化学(22)	化学(16)	数学(23)	英語(21)
嫌い2位	英語(18)	物理(11)	化学(17)	数学(20)
嫌い3位	数学(10)	数学(10)	物理(16)	物理(19)
	物理(10)			

現象には興味はあるが、数式を計算してまでの労力を使い自ら理解を深めることはあまり好きになれない」ということかもしれない⁸。

表 4: (2-2) 今知りたいこと。興味のあること。

	2010	2011	2012
数学	18	13	5
宇宙	14	6	9
原発・放射線	21	4	3
人間	6	4	1
物理	5	4	1
生物	5	3	1
歯学	1	2	1
地震	0	2	-
地球外生命	11	2	0

3 関数の極限值、微分、積分に関するアンケート

2010 から 3 年間は、「自然現象の数学」の後期の中心的内容は微分積分である⁹。これまでのデータでも想像できるように、微分積分に関しては前期に関する事以上理解度の差がある上に、講

⁸あるいは、学校での授業がつまらないということかもしれない。

⁹講義回数にして 7-8 回である。

義が進むほど差が開いていくという実感がある。そのことを確かめるためにも、2013 年度は、後期の講義前に関数の極限值、微分、積分に関する以下の囲みで示した [1]、[2]、[3] のアンケートを行った。これらはほとんどは、高校の数学 II 及び数学 III の教科書の例題や説明レベルの問いである。

<p>[1] 次の各命題に対し、正しいと思う番号に○、間違っていると思う番号に×、正誤（あるいは言葉や記号の意味）が分からないときは△を記せ。</p> <p>(1) 正の実数 a に対して、$a^x = e^{x \log a}$.</p> <p>(2) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{e^x}{x^{64}} = \infty$.</p> <p>(3) ある自然数 n に対して、$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{e^x}{x^n} = 1$.</p> <p>(4) 任意の自然数 n に対して、$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\log x}{x^n} = 0$.</p> <p>(5) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\log x}{\sqrt[64]{x}} = \infty$.</p> <p>(6) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sin x}{x} = 0$. (7) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\cos x}{x} = 1$.</p> <p>(8) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$. (9) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\cos x}{x} = 0$.</p> <p>(10) $\int \log x dx = x \log x - x$.</p> <p>(11) $\frac{d}{dx} \log x = \frac{1}{x}$.</p> <p>(12) $\frac{d}{dx} x^x = x^x (\log x + 1)$.</p>

表 5 に問題 [1] についての結果を示す。これを見ると、77 人中全問正答者は 0 人で、12 人がこの質問内容に関する科目を履修していないなどの理

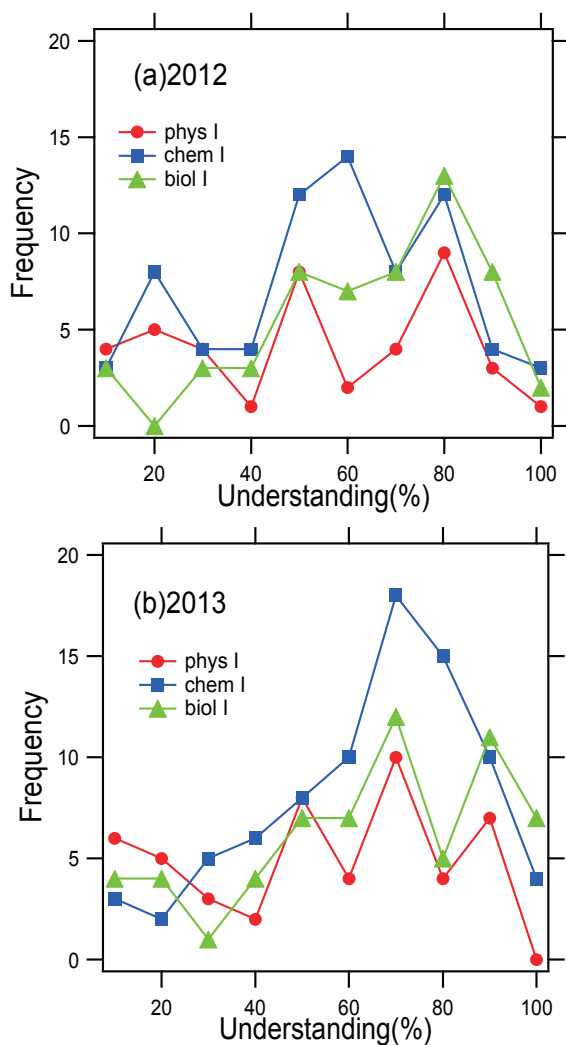


図 2: 入学直後アンケート理科。(1-1)「高校の理科科目で履修したものと、どれに関して、内容を何パーセントぐらい理解しているか」の結果。物理 I、化学 I、生物 I のみ表示。(a)2012 年度、(b)2013 年度で科目による違いがわかるように重ねて表示している。物理 II、化学 II、生物 II もそれぞれ傾向は類似している。それらは、付録 A にある。

由で、ほぼ全ての問題に対して△と回答した。具体的な正答数の数の頻度分布を、図 6 に示す。特に、指数関数、対数関数やそれらの極限に関する理解が十分でないと思われる結果であった。

表 5: 2013 年度での [1] に関する結果。数字はそれぞれの記号を答えた人数。77 人中 12 人が、この内容内容に関する科目を履修していないなどの理由で、ほぼ全ての問題に対して△と回答。

[1]	○	×	△	正解
問題 (1)	49	11	17	○
問題 (2)	29	34	14	○
問題 (3)	9	49	19	×
問題 (4)	39	14	24	○
問題 (5)	26	25	26	×
問題 (6)	31	27	19	○
問題 (7)	17	38	22	×
問題 (8)	47	12	18	○
問題 (9)	28	29	20	×
問題 (10)	34	20	23	○
問題 (11)	50	6	21	○
問題 (12)	12	26	39	○

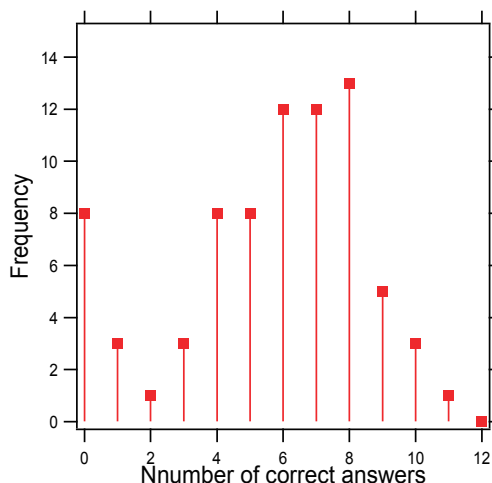


図 3: 問題 [1] に対する正答数の頻度分布。横軸が正答数、縦軸が度数。

[2] 関数 $y = f(x)$ の $x = x_0$ での微分係数の

定義や意味を理解しているか、次の中から番号で記せ。

- 1、聞いたこともない。
- 2、聞いたことはあるが忘れた。
- 3、自信はないが大体わかっている。
- 4、知っている。説明できる。

[3] 関数 $y = f(x)$ の区間 $[a, b]$ での定積分の定義や意味を理解しているか、次の中から番号で記せ。

- 1、聞いたこともない。
- 2、聞いたことはあるが忘れた。
- 3、自信はないが大体わかっている。
- 4、知っている。説明できる。

表6に質問[2]、質問[3]についての結果を示す。これをみると、どちらかといえば、積分よりも微分に関する理解や認識が不足しているであろうと思われるが、これも微分係数の定義を与える極限の概念が理解できていないせいであろうと推測できる。

表6: 質問[2]、質問[3]に関する結果。数字はそれぞれの記号を答えた人数。

	1	2	3	4
問題 [2]	7	53	16	1
問題 [3]	4	38	28	7

4 講義の最後のアンケート

「自然現象の数学」の講義は、前期は2クラスに分けて行い、後期は1クラス（2013年度は84人）で行っている。具体的な内容はシラバスを参照されたい。本節では、通年で行った最後の講義のときに行ったアンケートに対する回答を整理した結果を示す。図4は、2012年度に関して、(4-1)「講義全体としては、おおよそ何パーセントくらい理解できたか」を前期、後期ごと質問した結果で

ある。加えて、(4-2)「あなたにとって、この講義の難易度を10段階で表すといくつか。」に関する質問への回答も表している。前期・後期に対する大きな異差は存在せず、全体としてやや難しい講義であると感じる傾向がわかる。

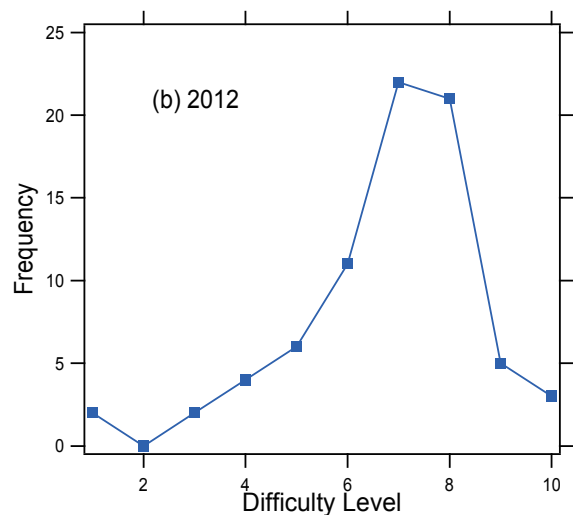
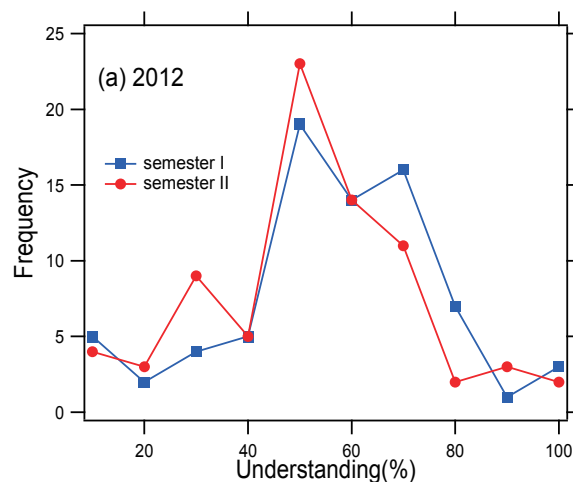


図4: (a)2012年度の講義について、(4-1)「おおよそ何パーセントくらい理解できたか」、(b)(4-2)「この講義の難易度を10段階で表した場合何段階か」の回答の頻度分布。難易度は10が難、1が易。(もちろん、試験や成績と関係なく試験前に自分の感覚で答えてもらっている。)

表7は、上記の質問(4-1)と(4-2)に関する回答の平均値を2010年度から2013年度までの4年間分を表したものである。2010年度から2012年

度まで、どの年度でも前期の方の理解度が後期の理解度より高い。これはやはり、微積分がわからないという学生が多いということであろう。また、年度ごとに感じる難易度の平均値が小さくなっているのは、理解度が上昇してきていることの裏返しかもしれない。

表 7: 質問 (4-1) と (4-2) について、平均難易度 (1 が易で 10 が難)・平均理解度 (パーセント)。

	2010	2011	2012	2013*
難易度	7.5	7.2	6.8	6.9
理解度 (前期)	43	53	56	52
理解度 (後期)	37	47	52	

* 2013 年度に関しては、前期試験直前の講義でとったデータである。

質問 (4-3) 「おもしろいと感じたもの、興味を持った内容を挙げよ。(いくつでもよい。)」に関しては、表 8 にまとめてある。具体的内容はここでは明記しないので、シラバスを参照されたい [7]。年度により 1 割程度の実際に行った講義内容の違いや順序の変更はあるが、前期の中盤で行うフィボナッチ数列や黄金比に興味深かったものとして選ぶことが多い。後期の最後に行う内容の「確率」も興味深かったと選ぶ学生も多いが、講義最後に訊いたゆえに印象に残っているという可能性もある。しかし、後期に多くの時間を使い行っている微分・積分に関するものは不人気ようである。

上記以外の質問として、「前期 (A クラス、B クラス別々)、後期 (A クラス、B クラス合同) の講義体制であったが、どちらの体制の方がよかったか。」に対しては、どちらでもいい、または、前期より後期の方がよいと答えた学生数の方がやや多いという結果であった。これは、講義中に指名されて当てられることを嫌う学生がその機会が少ない後期の講義を好んだ結果かもしれない。また、質問「数学に対するイメージは変化しましたか?、どう変わりましたか?」に対しては、いずれの年度でも 7 割以上の学生が、「変化した」という回答であった。最後に、「感想」として何でもよいから

表 8: (4-3) 「おもしろいと感じたもの、興味を持った内容」。数字は人数を表す。図形に関しては、行っていない年度もある。

内容	2010	2011	2012	2013*
確率	9	9	38	-
黄金比	25	14	35	33
フィボナッチ数列	21	8	23	24
オーダー評価	5	5	12	21
微分積分	7	11	5	-
フラクタル	2	21	6	-
数の多様性	1	7	6	13
等比級数	0	2	5	7
ネットワーク	11	2	4	-
図形関係	6	5	-	-

* 2013 年度に関しては、前期のみのデータのため、後期で行う確率や微分積分などーで表示したものは含まれていない。

回答してもらったことから主なものを挙げておく。(2011 年度、2013 年度前期での同意見数をカッコの中の数字で示している。) また、主に 1 人のみの回答があった少数意見を付録 A に列記した。

感想 (括弧内の数字は同意見の人数)

- ・ 今までの数学と違い、楽しかった (9+12)
- ・ 難しかった (8+14)
- ・ 楽しかった、意欲的に参加できた (4+9)
- ・ もっと問題を解きたい (3+3)
- ・ 画像・教材がわかりやすかった (2+3)
- ・ 根本的な考え方が理解できた (1+3)
- ・ 数学に興味を持った・もっと知りたい (3)
- ・ クイズや例が面白かった・もっと知りたい (3)
- ・ 視野が広がり深く考えることができた (2)
- ・ よくわからなくなった (2)

5 おわりに

既に記したように、「後期は合同形式の講義で、講義に対応する演習や実験などの科目がない」など、本講義は理科系の他の科目と異なる講義形式である。また、入学時に数学の覚えのある学生と無い学生に二極分化しており、その「差」や「理解度」は講義の進行で益々開いていく傾向がある。実現可能性は別の話として、このことに対する今後の対応としては次のようなことが考えられる。

- 新潟生命歯学部で生物、物理、化学などの理科系科目で行っているように、講義に対応する演習科目を設けてクラス分けして指導する、特に苦手な学生の対応を十分行うことが必要であろう。ただし、これで学力差が埋まるわけではない。むしろ、これを行っても数学好きな学生の理解度が大きく上昇するため、学力差はより広がると思われる。実際、著者の印象では講義が進めば進むほど理解度の差が開くと思う。特に、微分積分については大きな差ができる[6]。試験などのため、苦手な学生ほど、意味を分からずただ覚えようとするからである。
- 数学が相当苦手な学生に対しては、家庭教師的にチューターが講義の復習や練習問題を通して、根気よく理解をさせる努力が要るかもしれない。
- 科目間の連携を強くする。実験データの整理や考察にはグラフや指数関数、対数関数の理解が必要になる。例えば、物理のみならず、生物や化学はもちろん、経済学や環境問題でも微分方程式を使い現象を理解していくわけであるから、他の科目を通じて数学の重要性を実感できるようにする。
- 消極的な策としては、後期は数学を選択科目にする。

そもそも、なぜ歯学部の学生に数学が必要なのか。Stein は数学のレベルを6段階に分け、どのような職業にどのようなレベルの数学が必要とされるかを調べた[8]。そのレベルの概略は「レベル1」が「算数の初歩」、「レベル2」が「分数と小数」、「レベル3」が「高校の数学、代数の一部」、「レベ

ル4」が「代数、三角法、幾何」、「レベル5」が「解析学の一部、微積分学、統計学」(1年の微積分学、半期の統計学)、「レベル6」が「大学の数学課程の核心(3年の微積分学、半期の抽象代数学、半期の統計学)、であった¹⁰。(詳しいレベル5とレベル6内容は下の囲みをみよ。)レベル2は日常生活に役立つレベルで、レベル4が大学入学レベルであり、レベル5とレベル6で、三角法や微分積分が現れている。

数学レベル5と6の内容

レベル5:

“代数”では指数と対数、数学的帰納法、二項定理、順列。“微積分”では代数関数の微分と積分。“統計”では度数分布、正規曲線、分散分析、相互変換、カイ自乗法、標本論、因子分析法

レベル6:

“高等微積分学”で一ま極限、連続性、陰関数定理、微分方程式、無限級数、複素変数。“現代代数学”では群、環、体、線形代数。“統計学”では実験計画、統計的推論、計量経済学

それによると、医師・歯科医師はレベル5になる。つまり、医療診断や医療統計にも精通しなければいけないであろうから、かなり高い数学の技能が要求されると想像できる。ちなみに、エンジニアや理科系の研究者がレベル6である。またこれは、実務的なことのみならず、医師や歯科医師に対して、広い知識と教養が求められているともいえる。文献[8]に紹介されている、数学を専攻したある医師は次のように言っている。「医学では解決法が見つかるまで徹底的に分析せねばならない問題に直面する。この過程は数学とよく似ている。」

¹⁰もちろん、Saunders が指摘するように、同じ職業でもそれに就く個人の数学のレベルは様々である。

A 他の数学及び理科の科目における結果

結果を列挙しておく。図5に、数学II、数学A、数学B、数学Cに対する結果を示す。図6に、物理II、化学II、生物IIに対する結果を示す。いずれも本文で用いたものと同じ表示方法である。囲みに、本講義「自然現象の数学」の最後にとったアンケートでの感想に記された少数意見を列記してある。

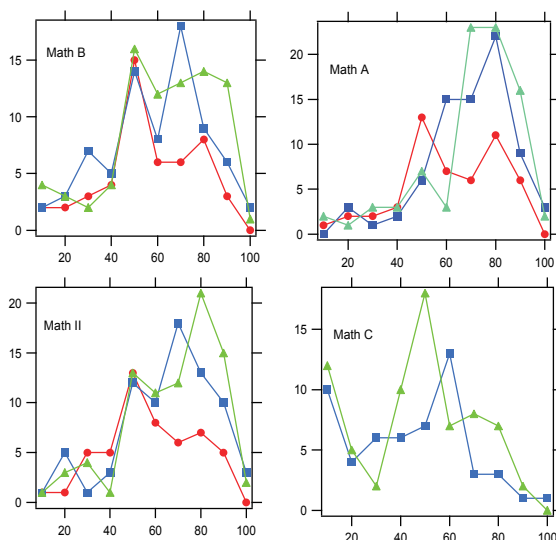


図5: 入学直後アンケートによる理解度の頻度分布。(1-1)「高校の数学科目で履修したものと、どれに関して、内容を何パーセントぐらい理解しているか」の結果。(a) 数学II、(b) 数学A、(c) 数学B、(d) 数学C。赤が2011年度、青が2012年度、緑が2013年度に対応する。

感想 (少数意見)

- ・ 苦手感が強まった
- ・ 数学がやっぱり好き
- ・ 確率が好きなのにテストに出なくて残念
- ・ 授業はわかってもテストはできなかった
- ・ いままでの数学と違い大変だった
- ・ 課題がとて大変だった
- ・ 微分積分が意外に楽しい
- ・ 傘は嫌
- ・ 数学は自然だった
- ・ 自由度が高くおもしろかった

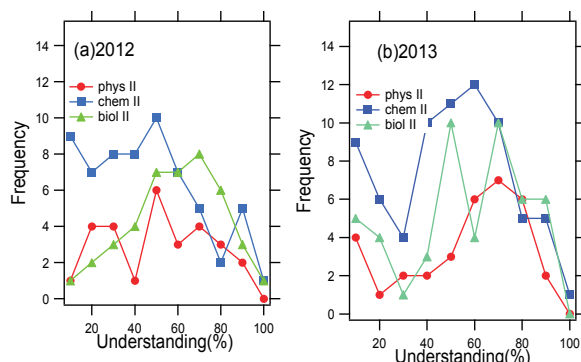


図6: 入学直後アンケートによる理解度の頻度分布。(1-1)「高校の理科科目で履修したものと、どれに関して、内容を何パーセントぐらい理解しているか」の物理II、化学II、生物IIに関する結果。(a)2012年度、(b)2013年度による違いがわかるように重ねて表示している。

- ・ いろいろな視点から数学を学べた
- ・ 自分の考えがあまかった・予想外だった
- ・ 常識的な矛盾ほど難解
- ・ 数学の世界の広さに驚いた
- ・ 独創的な授業だった
- ・ 板書をきれいに書いてほしい
- ・ ひらめきが大切だと思った
- ・ 本物の数学に触れることができた
- ・ 問題を解くだけが数学ではないと思った
- ・ 世の中は矛盾だらけだと思った
- ・ 論理的に物事を考える必要性和難しさを体感した

謝辞

講義を聴講し、アンケートに回答してくれた学生に感謝します。アンケート項目のいくつかは既に講義の内容や進め方の改善に利用していますが、さらにより魅力ある講義にしていきたいと思っています。また、本稿の掲載に関してご面倒をおかけした、本誌編集員の方々に感謝します。

参考文献

[1] 日本歯科大学新潟生命歯学部非常勤講師「自然現象の数学」担当。E-mail: hya-

mada[at]uranus.dti.ne.jp

- [2] 上野 健爾 「数学フィールドワーク—調べてみよう、考えてみよう」 (日本評論社 2008)。
- [3] 高橋陽一郎「変化をとらえる」 (東京図書 2011)。
- [4] 「高等学校学習指導要領解説 数学編」(文部科学省 2008)。
- [5] 歯学部日本歯科大学日本歯科大学新潟歯学部 2014年度(みすず学苑中央教育研究所 2013)。
- [6] 山田弘明、大学の物理教育 **16**, 172(2010)。詳しい説明は山田のホームページにある。ここでは、主に新潟大学工学部での化学系学生への物理学の講義に関して議論している。
- [7] 山田弘明、「自然現象の数学」準備中。
- [8] Sherman K. Stein (原著), 関口 香里 (翻訳) 「数の力—暮らしの中の楽しい数学」 (海文堂出版 1997) 。この本の中でも引用している「どのような職業でどのような数学が必要とされるか」を調べた先駆的な著書、Hal Saunders, *When Are We Ever Gonna Have to Use This?*, (Goodyear Pub Co; 3rd edition 1996) また、<http://readingmonkey.blog45.fc2.com/blog-entry-625.html> にある表「job-math-table.jpg」も参考になる。