

センター試験（化学領域）に求められる「学力」について

櫻田 豪利, 石上 正敏, 倉元 直樹 (東北大学)

平成 28, 29 年度入試に実施されたセンター試験から、理科の中でも最も受験者数の多い「化学」を取り上げて設問を知識の活用、計算という技能の観点から分類し、センター試験に占めるそれらの比率からセンター試験の特色を明確にすることを試みた。その結果、知識に関わる問題が全体の7割を占めていた。また、計算問題も部分点を与えることを考慮できる問題は1割程度に止まっていた。総じて、センター試験「化学」の出題は「基礎学力を測る」という目的に添っていると言える。

1 問題

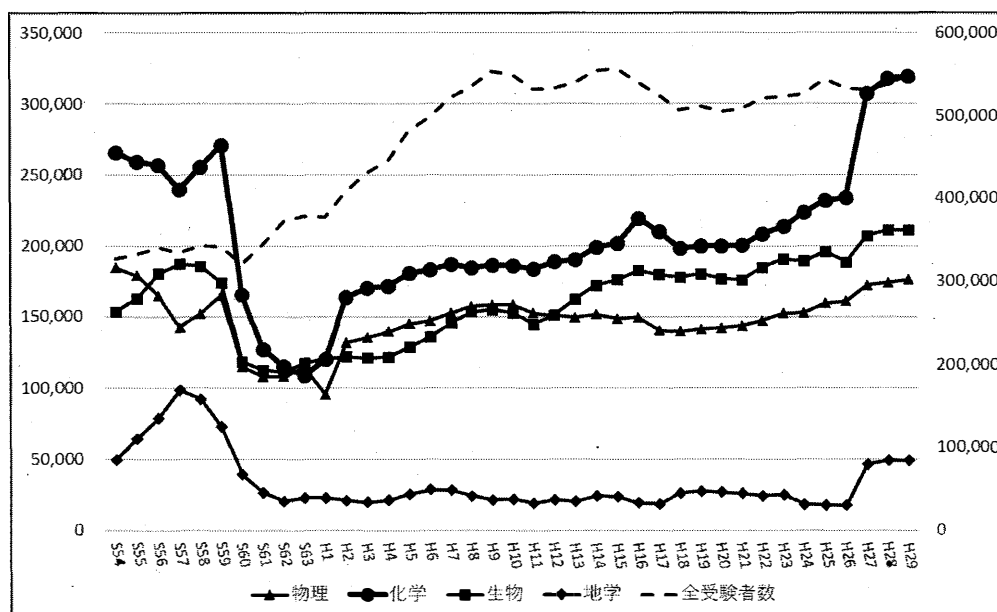
1.1 共通試験における化学の受験者数の変遷

大学入試センター試験（以後、「センター試験」とする）の前身となる共通第1次学力試験（以後、「共通1次」とする）は、当時、大学入試問題の出題に見られた難問奇問を排除し、大学入試を高校における学習の延長線上に位置づける目的で導入された。共通1次の後継として位置づけられるセンター試験もそのコンセプトが引き継がれており、中教審答申（中央教育審議会，2014）マークシートによる出題形式が全面的に批判されるまでは、試験問題の質が高く評価されてきた（例えば、中央教育審議会，2008）。

テストが遡及的に教育活動に影響を与えることは波及効果（washback effect）と呼ばれる。センター試験が高校教育に与える波及効果は絶大である。それは、ひとえに受験者数の多さに由来する。本稿で分析の対象とする「化学」の分野は共通1次の当初から理科の

選択科目の一つとして位置づけられてきた。選択科目には実質的に受験者がほとんどいない科目もあるが、化学領域はそのような少数科目とは対極の存在である。

図1は昭和54～平成29年度の理科の受験者数の変遷である。大学入試制度や学習指導要領の変更により、科目名や内容に変化がある。共通1次発足当初、理科は2科目が選択必答であった。昭和60年度から2年間は「理科I」+1科目の選択、その後は1科目選択となった。平成2年度にセンター試験に変わり、ア・ラ・カルト方式が本格化してからは3科目まで選択が可能となっていたが、平成24年度の時間割変更によって選択できる科目数は1～2科目となった。平成27年度からは現在の学習指導要領の下、「基礎」科目は2科目、「基礎なし」科目は1～2科目の選択が許される制度となっている。図1においては平成9～17年度に設けられた「A科目」は含まず、平成27年度以降は「基礎」「基礎なし」の双方を含む。



注：理科各科目の受験者数は左端の主軸，共通1次，センター試験の全受験者数は右端の第2軸を参照

図1. 共通1次，センター試験における理科の受験者数の変遷

図1によれば、化学関係科目は一時期の例外を除いて理科の中で常に相対的に受験者数最大の科目であり続けてきたことがわかる。特に、理科2科目選択制であったが昭和59年度までと2科目選択が標準となった平成27年度以降には選択科目の中に化学を含む受験者が圧倒的多数を占めている。それは化学が理系の受験者からも文系の受験者からも選択されやすい科目であることに由来する。

図2は平成27～29年度の「基礎」と「基礎なし」の受験者数比率を示す。「基礎」を文系、「基礎なし」を理系の科目設定とみなすと、物理は理系、地学は文系、という特徴が顕著である。化学と生物には双方からの受験者があるが、生物は文系が2/3を占めるのに対し、化学は2/3が理系となっている。すなわち、必然的に、センター試験における化学領域の出題内容は、理系、文系を問わず、我が国における多くの大学進学希望者へ多大な波及効果を持つ構造となっている。

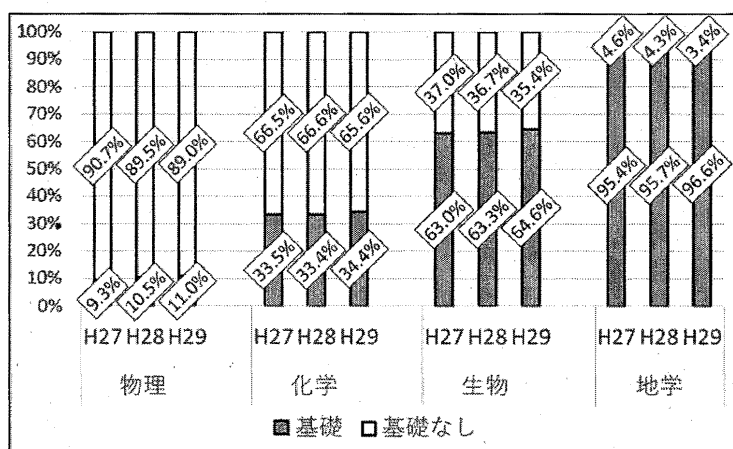


図2. 「基礎」「基礎なし」受験者数比率

1.2 「化学」の構成と測定する能力

センター試験における「化学」の試験問題は、総じて学ぶべき内容を万遍なくカバーするように配慮されている。例えば、センター試験の出題内容を数研出版の教科書の目次と対応させると、例年、第1問が「第1編 物質の状態」、第2問は「第2編 物質の変化」、第3問は「第3編 無機物質」、第4問は「第4編 有機化合物」、第5問は「第5編 天然有機化合物+第6編 合成高分子化合物」に対応する。選択問題である第6問と第7問は、第6問が「第6編 合成高分子化合物」、第7問が「第5編 天然有機化合物」となっている。年度によっては「化学基礎」の「酸化還元」の内容が第2問や第3問に含まれる。

受験対策としては、各単元からどの項目が出題され

やすいか、各単元の中での偏りをみることになるのだが、科目本来の学力以外の受験対策で大きく得点が左右されるならば、テストとしての妥当性に疑義が生じることになる。したがって、出題分野の幅広さと同様に重要となるのが、設問内容の構成とそれに対応した正答に至るために必要な学力、能力的要素である。それを化学の試験問題を通じて測定されている受験生の能力と考えるならば、そのような観点から具体的な出題内容に関して検討を行うことは、波及効果を重視する高大接続改革の視点からも重要な研究課題と言える。

特に、センター試験の化学領域の問題では、何らかの公式を利用して計算を行い、正解を求めることが要求される設問が出題される。計算の技能が化学領域で大切な能力であるにしても、化学の知識が関与する余地なしに計算力のみで得点が左右されるような設問は化学の問題として適切とは言えない。さらに、センター試験の誤答選択肢の中には、化学的な知識が十分であっても、計算ミスによって正答と誤認される解が含まれている。「化学の学力」を適切に測定するという意味では、本来、そのような誤答には一定の部分点を与えるべきという考え方もできる(櫻田, 2017)。

そこで、本研究では、センター試験「化学」の各問に対して、正解を得るために必要な能力に着目して、各設問が化学分野の知識と計算力のいずれを重視しているのか、定性的な分析を加えることとした。

なお、本稿で分析対象とするのは「基礎なし」の「化学」、すなわち、基本的に理系で学び、理系分野の大学に進学する受験生が選択する科目である。

2. 目的

本研究では、平成28年1月と平成29年1月に実施されたセンター試験本試験(それぞれ「平成28年度問題」「平成29年度問題」とする)について、試験の問いに答えるために必要とされる要素に基づく分類を試みる。具体的には「経験によるものも含めた知識」「知識を活用する技能」「適切に関係式を活用できる技能」「いくつかの関係式を関連させる技能」に着目し、各設問について、それらの要素の必要性の有無から分類を行う。その際、計算を伴うものについては、選択肢についての検討も行なった。

なお、化学も含む理系記述式の問題について同様の分析を行った研究として倉元・森田(2004)がある。「作問スペック」として示された観点は、理系の他教科・科目との共通性を重視して設定されたもので、本研究の観点や方法とは一致していない。したがって、本研究の分類基準は独自に作成したものである。

3. 方法

各設問について、以下の6観点による分類を行う。分類は化学について専門知識を持つ第1著者が行った。

1. 直接的に知識を問う問題 (知識問題)
2. 知識を組み合わせて判断する問題 (知識問題)
3. 公式などに適切に数値を当てはめれば良い問題 (計算問題)
4. 以上の3のタイプの中で、部分点を与えることができる問題
5. いくつかの関係式を組み合わせることが求められる問題
6. 以上の5のタイプの中で、部分点を与えることができる問題

なお、部分点を与える基準については異論が出る可能性もあるが、本稿ではこれ以上触れないこととする。

4. 結果

4.1 平成28年度センター試験問題

平成28年度の問題について分類した結果を表1、表2に示す。平均点は54.48点、標準偏差は20.94点である。なお、分類にあたり、大学入試センター(2016)、河合塾(2016)を参照した。

表1 平成28年度 化学の問題(1)

大問	設問	1	2	3	4	5	6
第1問	問1	1	○				
	問2	2	○				
	問3	3					○
	問4	4	○				
	問5	5			○		
	問6	6	○				
第2問	問1	1			○		
	問2	2	○				
	問3	3					○
	問4	4			○		
	問5	5		○			
	問6	6			○		
件数		4	2	3	1	1	1
総件数		15	6	5	3	2	1

表1に示した第1問と第2問は「第1編 物質の状態」「第2編 物質の変化」という一般に理論化学といわれる分野からの出題となっている。第3問~第7

問の表2は「第3編 無機物質」「第4編 有機物質」「第5編 天然有機化合物」「合成高分子化合物」という具体的な物質を扱う分野からの出題となっている。

表2 平成28年度 化学の問題(2)

大問	設問	1	2	3	4	5	6
第3問	問1	1	○				
	問2	2	○				
	問3a	3	○				
		4	○				
	問3b	5			○		
	問4	6		○			
第4問	問5	7		○			
	問6	8				○	
	問1	1	○				
	問2	2	○				
	問3	3					○
	問4	4		○			
第5問	問5	5	○				
	問1	1	○				
第6問	問2	2	○				
	問1	1			○		
第7問	問2	2	○				
	問1	1				○	
件数		11	4	2	2	1	0
総件数		15	6	5	3	2	1

4.1.1 計算が関わる問題について

まず、判断が難しい、計算がかかわる問題に関する第1問の問3については、檜田(2017)で述べたとおりである。

第1問の問5は以下の式を用いて正解を導く。

$$\frac{M \text{の原子量}}{\text{アボガドロ定数}} \times (8.3 \times 10^{22}) = 7.2$$

原子量の値がモル質量の値と等しいことが理解できていれば、原子1個の質量を求めることができ、正解を得るので、「3」に分類した。

第2問の問1は左辺と右辺の物質を完全燃焼させるために必要な酸素を加えたときの左辺と右辺の総エネルギーが完全燃焼後のエネルギーより燃焼熱分高くなることに気づけば、

$$3 \times 1300 = 3268 + Q$$

が得られる。気づかなければ

$$3 \times (-1300) = (-3268) + Q$$

となる。単に値を当てはめるのではなく、エネルギーの関係、例えば、エネルギー図が理解できていることが求められている。エネルギーの差が燃焼熱であることとその大小関係の2点の理解が必要であるので、「4」に分類した。

第2問の間3は1kJの発熱量において生成する二酸化炭素の物質が多い順に並べる問題であるが、二酸化炭素1molを生じたときの熱量の小さい順に並べると正解に辿り着きやすい。計算は

各物質の燃焼熱

各物質1molから生じる二酸化炭素の物質質量

となる。4種類の物質についてこの計算をしなければならぬので「5」に分類した。

第2問の間4は酢酸の電離度が1より十分に小さいと明示されているので、次の計算をすれば正解の値が得られる。

$$\text{平衡定数の値} \times \frac{\text{酢酸分子の濃度}}{\text{水素イオン濃度}}$$

したがって

$$\text{平衡定数の値} \times \frac{\text{酢酸の物質質量}}{\text{水素イオンの物質質量}}$$

でもよいが、電離平衡の式に値を代入するだけなので、「3」に分類した。

第2問の間6は、同じ物質量の還元剤を異なる酸化剤の水溶液で酸化したときの酸化剤の水溶液の体積の比を求める問題であるが、同じ物質量の還元剤と反応しているため、酸化剤が受け取る電子の物質量が等しいことに気付けばよい。

このとき、酸化剤が受け取る電子の物質量を表す次の式を用いる。

$$\text{酸化剤の物質質量} \times \text{価数}$$

ここでは、問題文の読み取りミスによる誤答は部分点の対象とはしなかったため、「3」に分類した。なお、この内容は化学基礎の学習内容である。

第3問の間3bは化合物Aがわからないと解けない問題であるがAが炭酸水素ナトリウムであるとわかっているものとして考える。ナトリウムイオンの物質

量が変化しないことに着目することで生成する炭酸ナトリウムの物質質量が炭酸水素ナトリウムの物質質量の半分であることがわかる。ここまですれば、後は比例計算であるが、炭酸イオンの物質質量が変化しないと勘違いする可能性がある。しかし、この場合、反応についてわかっていないと判断できるため、部分点の対象にはならないので、「3」に分類した。

第3問の間6は、鉄ミョウバン1molから硫酸バリウム2molが沈殿することが判断できることが重要である。この変化の量の関係から鉄ミョウバンの質量が求められるが、結晶水を含めることを忘れやすいので、量の関係がわかっているか結晶水の分を考慮できるかが評価の観点となるため、「4」に分類した。

第4問の間3は、油脂1molあたりに付加した水素の量を求める操作と油脂の構造から炭化水素基1つに付加した水素原子の数を求める操作、そして、不飽和結合の数と式の間を組み合わせることで正解が得られる。ただし、水素が付加したことから、①が正解出ないことがわかり、②と③は不飽和結合がいずれも1つ含まれている式なので正解ではない。したがって、④と⑤の二択の問題となる。このような理由から「5」に分類した。

第6問の間1は、共重合させたアクリロニトリルをa mol、ブタジエンをb molとすると炭素と窒素原子の物質量の比は

$$(3a + 4b) : a = 19 : 1$$

となる。これを解けば良いので、「2」に分類した。

第7問の間1は、分子のグリシンがペプチド結合し、鎖状のトリペプチドを生成すると脱水によって水2分子小さくなることに気づかなければならない。そのことを忘れた場合、部分点を与えるかどうかは意見の分かれるところだが、ここでは「4」に分類した。

4.1.2 平成28年度問題の構成

平成28年度の問題については、設問総数32問のうち、知識問題21問、計算問題11問である。計算問題のうち、部分点を設定できる問題は4問となる。なお、選択問題も合わせた数である。「第1編 物質の状態」、「第2編 物質の変化」からは13問出題され、そのうち、知識問題が6問、計算問題が6問、部分点を設定できる計算問題が2問である。

無機、有機、高分子の分野からは、知識問題が15問、計算問題が5問、部分点を設定できる計算問題が2問である。

4.2 平成 29 年度センター試験問題

平成 29 年度問題については表 3, 表 4 のようになる。平均点は 51.94 点, 標準偏差は 20.86 点である。なお, 分類にあたり, 大学入試センター (2017b), 河合塾 (2017) を参照した。

表 3 は「第 1 編 物質の状態」, 「第 2 編 物質の変化」という一般に理論化学といわれる分野であり, 表 4 は無機, 有機, 高分子の分野である。

表 3 平成 29 年度 化学の問題 (1)

大問	設問	1	2	3	4	5	6
第 1 問	問 1a	1	○				
	問 1b	2		○			
	問 2	3			○		
	問 3	4	○				
	問 4a	5		○			
	問 4b	6		○			
	問 5	7					
第 2 問	問 1	1				○	
	問 2	2	○				
	問 3a	3			○		
	問 3b	4					○
	問 4	4	○				
	問 5	5		○			
	問 6	6			○		
件数		4	4	4	1	0	2
総件数		18	7	7	1	2	2

4.2.1 計算が関わる問題について

第 1 問の問 2 は立方体である単位格子の一边の長さ と面の対角線の長さの関係がわかれば正解の値が得られるので, 「3」に分類した。

第 1 問の問 5 は平成 28 年度第 1 問の問 3 と同様に水蒸気圧が一定値であることを考慮しなければならない。ただ, 温度が一定なのでボイルの法則を利用して窒素の分圧を求めることになる。よって「6」に分類した。

第 1 問の問 6 は溶質の電離を考慮する必要がなく, 次の式を変形して, 密度を求めれば良いので「3」に分類した。

$$\text{凝固点降下} = \text{モル凝固点降下} \times \left(\frac{x}{M}\right) \times \left(\frac{100}{10 \times \text{密度}}\right)$$

表 4 平成 29 年度 化学の問題 (2)

大問	設問	1	2	3	4	5	6
第 3 問	問 1	1	○				
		2	○				
	問 2	3	○				
		問 3	4	○			
	問 4	5			○		
		問 5	6				
問 6	7		○				
	問 1	1	○				
問 2		2		○			
	問 3	3	○				
問 4		4	○				
	問 5	5	○				
問 6		6	○				
	問 7	7					○
問 8		8	○				
	問 9	9	○				
第 5 問		問 1	1	○			
	問 2	2	○				
第 6 問	問 1	1	○				
	問 2	2			○		
第 7 問	問 1	1		○			
	問 2	2			○		
件数		14	3	3	0	2	0
総件数		18	7	7	1	2	2

第 2 問の問 1 は, 物質のエネルギーが原子の状態よりも低いことから各物質の化学式に当てはめる値が結合エネルギーの和に -1 をかけた値となることがわかれば容易に正解が得られる。ただ, -1 をかけ忘れることも想定されるので「4」に分類した。

第 2 問の問 3 の a と b は, グラフからすぐに解が得られるように見えるが, グラフから読み取った値に分解する過酸化水素と発生する酸素の物質量の関係を考慮し, 反応した過酸化水素の物質量を考えなければならない。a は濃度を求める計算なので「3」に, b は求める反応速度の単位にあった計算をしなければならないので「6」に分類した。

第 2 問の問 6 は, 酸化還元反応に関する内容であり, 化学基礎の範囲である。反応式を作るためのヒントが与えられている。また, 硫化水素が過剰にあることも示されている。したがって,

硫化水素の物質質量 - 二酸化硫黄の物質質量×2

の値が求める残った硫化水素の物質質量である。なお、ミリモル単位で考えると計算しやすい。

第3問の問4は、沈殿した硫化銅の物質質量と黄銅中の銅の物質質量が等しいことがわかれば解が得られるので、「3」に分類した。

第3問の問5は、題材は化学の無機となっているが、化学基礎の内容である。反応式がかけなくても酸化数の関係から酸化マンガン(IV)と塩素の物質質量の比がわかり、発生した塩素の物質質量が求められる。その値から体積を求める。二つの段階があるので「5」に分類した。

第4問の問4は、ブタンと同じ炭素原子数の化合物Aを完全燃焼させたときの発生した二酸化炭素と水の質量比から化合物Aに含まれる水素原子数が決定できる。この値とブタンの持つ水素原子数との差から解が得られるので「5」に分類した。

第7問の問2は、マルトースが二糖類であることを思い出せば、あとは計算に必要な量の関係が問題文に示されているので「3」に分類した。

4.2.2 平成29年度問題の構成

平成29年の化学の問題については、問いの数37問のうち、知識問題25問、計算問題12問である。その計算問題のうち、部分点を設定できる問題は3問となる。なお、選択問題も合わせた数である。「第1編 物質の状態」、「第2編 物質の変化」からは15問出題され、そのうち、知識問題が8問、計算問題が7問、部分点を設定できる計算問題が3である。

無機、有機、高分子の分野からは、知識問題が17問、計算問題が5問、部分点を設定できる計算問題が0問である。

4.3 問題構成のバランス

表5に知識問題と計算問題の出題構成を示す。

知識問題の割合は、平成28年度が66%、平成29年度は68%、計算問題は平成28年度が34%、平成29年度は32%であった。

その中で、部分点を設定できそうな問題は、平成28年度に13%見られた。平成29年度は8%であった。

5. 考察

化学の平均点は、平成28年度は54.48点、平成29年度は51.94点である。センター試験の科目の出題について、おおむね受験者全体の得点率が60%程

表5 知識問題、計算問題の割合

		物質の状態 物質の変化		無機、有機 高分子		全体		計
		知識	計算	知識	計算	知識	計算	
		H28	設問数	6	6	15	5	
		19%	19%	47%	16%	66%	34%	
H29	設問数	8	7	17	5	25	12	37
		22%	19%	46%	14%	68%	32%	

表6 知識問題、計算問題の割合 (第6問選択)

		物質の状態 物質の変化		無機、有機 高分子		全体		計
		知識	計算	知識	計算	知識	計算	
		H28	設問数	6	6	14	4	
		20%	20%	47%	13%	67%	33%	
H29	設問数	8	7	16	4	24	11	35
		23%	20%	46%	11%	69%	31%	

表7 知識問題、計算問題の割合 (第7問選択)

		物質の状態 物質の変化		無機、有機 高分子		全体		計
		知識	計算	知識	計算	知識	計算	
		H28	設問数	6	6	13	4	
		21%	21%	45%	14%	66%	34%	
H29	設問数	8	7	16	4	24	11	35
		23%	20%	46%	11%	69%	31%	

度になることを目標に作成されていることを考えると、妥当な数値である。その中で「知識問題」の割合は、選択問題を考慮すると表6、表7に示したようにそれぞれ66%、69%となっている。少なくとも直近の2年間を見た範囲では、年度によって構成比が大きく食い違うようなことも見られない。

また、部分点を設定できそうな計算問題が10%程度なので、センター試験では高校化学の応用よりも基本的なところをみていることを示している。試験時間と受験者の学力層が幅広くなっていることを考えれば、十分に配慮された妥当な出題と言えるだろう。

ここで、受験する側の立場に立って、仮に得点の目標を80%に設定した場合、知識を問う問題と一般的な関係式に当てはめる計算問題に正解することでほぼ達成可能となる。このことは、大学入試センターが示すセンター試験の目的に添った出題がなされていることを示していると言えるのではないだろうか。

現在、大学入試においてもいわゆる「学力の3要素」をバランスよく出題することが求められている。学力検査という範囲では、センター試験が主として「知識・技能」を測定し、個別試験で主として「思考力・

判断力・表現力」を測定するという役割分担が望ましい。個別試験では、例えば、グラフを描くなど、センター試験のようなマークシート方式の制約を超えた能力を問うことによって、センター試験と個別試験が試験として補い合えるものとなる。すなわち、個別試験が十全に機能する限り、少なくとも化学領域においては「センター試験+個別試験」という組み合わせを念頭に置いた受験勉強を促す制度は、高校教育に対して望ましい波及効果を持つと考えられる。

以上のような本研究の成果を踏まえれば、センター試験に代わるとされる新しい共通試験においては、現在以上のより広い学力の評価ができる試験になることを求める必要はない。共通試験において基本的なことは評価されているという前提に立った個別試験を行うことで、入試の仕組みがより良いものとなることが期待できる。逆に言えば、現在、許されているセンター試験のみで選抜を行うような制度を今後も継続した場合、そこで欠けてしまうのはどういった能力かということについては、今後も検討していく余地がある。

さらに、本研究はあくまでも出題者側の視点に立ったものである。今後、十分な検証を行うためには、テストの本質に鑑みて、実際に受験者が解答した結果を分析して検証を加える必要があることも付言しておく。

文献

中央教育審議会 (2008). 『学士課程教育の構築に向けて (答申)』平成20年12月24日

< http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1354191.htm >

中央教育審議会 (2014). 『新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について——すべての若者が夢や目標を芽吹かせ、未来に花開かせるために—— (答申)』2014年12月22日

< http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/01/14/1354191.pdf >

大学入試センター (2016). 平成28年度大学入試センター試験志願者数及び受験者数等 大学入試センター 2016年2月4日

<<http://www.dnc.ac.jp/albums/abm.php?f=abm00006898.pdf&n=別添2：【試験情報】平成28年度大学入試センター試験実施結果の概要.pdf>> (2017年4月5日)

大学入試センター (2017a). 平成29年度大学入試センター試験志願者数及び受験者数等 大学入試センタ

ー 2017年2月2日

<<http://www.dnc.ac.jp/albums/abm.php?f=abm00009105.pdf&n=別添2：【修正・試験情報】平成29年度大学入試センター試験実施結果の概要%2B%2B-%2Bコピー.pdf>> (2017年4月5日)
大学入試センター (2017b). 平成28年度試験問題評価委員会報告書 (本試験)

<<http://www.dnc.ac.jp/albums/abm.php?f=abm00007320.pdf&n=第1高等学校教科担当教員の意見・評価.pdf>> (2017年4月5日)

樫田豪利 (2017). 高校から見た大学入試, 東北大学高度教養教育・学生支援機構編, 大学入試における共通試験, 東北大学出版会, 141-149.

河合塾 (2016). 平成28年度大学入試センター試験問題「化学」, 河合塾 解答速報 TOP 2016年度大学入試センター試験速報 (2016年1月17日)

<<http://kaisoku.kawai-juku.ac.jp/nyushi/center/16/>> (2017年1月16日)

河合塾 (2017). 平成29年度大学入試センター試験問題「化学」, 河合塾 解答速報 TOP 2017年度大学入試センター試験速報 (2017年1月15日)

<http://nyushi.nikkei.co.jp/center/17/2/exam/431_0.pdf> (2017年1月16日)

倉元直樹・森田康夫 (2004). 高校と大学をつなぐ入試問題設計のための開発研究, 大学入試研究ジャーナル, 14, 31-36.

謝辞

本研究は JSPS 科研費, 課題番号 JP16H02051 の助成に基づく研究成果の一部である。