Bulletin of Aichi Univ. of Education, 67-I（Educational Sciences）, pp. 215 − 219, March, 2018

理科における資質・能力の評価に関する一考察 ―ドイツのアビトゥーア試験を手がかりとして―

遠藤 優介

理科教育講座

A Study on Evaluation of Competencies in Science Education —With Reference to Abitur Examination for Science Subjects in Germany—

Yusuke ENDO

Department of Science Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

Ⅰ．序

今次学習指導要領改訂にあっては、教育課程全体や各教科等の学びを通じて「何ができるようになるか」という観点から、子どもたちに求められる資質･能力の明確化が図られ、「知識・技能」、「思考力・判断力・表現力等」及び「学びに向かう力･人間性等」という三つの柱を基にした資質・能力観が示された（中央教育審議会、2016：27-31）。また、こうした資質・能力の育成状況をどのようにして見取っていくか、つまり評価活動の在り方についても重要な論点の一つに位置づけられ、単なるペーパーテストに留まらない多面的・多角的な評価の必要性が強調されている（中央教育審議会、2016：60-63）。もとより、それら評価の具体については、育成すべき資質・能力の明確化と併せて、各教科等の枠組みをベースに吟味されるところであるが、教科理科でもその在り方が模索されつつある[1)]。このように、新学習指導要領の実施を見据え、理科で育成すべき資質・能力の内実を踏まえながら、それに対応した評価活動の検討・展開が求められているのである。

こうした現状に鑑み、本稿では、今後わが国において望まれる理科で育成すべき資質・能力の評価について、ドイツの事例を取り上げ分析を加えながら、その具現化に向けて参考となり得る視点を抽出・考察することとする。殊に、ドイツに着目するのは、当該国では、OECD-PISAをはじめとする国際学力調査での成績不振を契機に、新たな能力概念である「コンピテンシー（独：Kompetenz）」概念を基軸に据えた大規模な（科学）教育改革がここ二十年来進められてきた背景があり、そこに見られるコンピテンシーの評価をめぐるあり様が、種々の示唆を与えてくれるものと考えられるためである。

Ⅱ．ドイツのアビトゥーア試験に見る科学系教科において育成すべき資質・能力観

ドイツの科学教育における資質・能力の具体的な評価に立ち入る前に、育成すべき資質・能力それ自体がどのように捉えられているのか、すなわち資質・能力観に係る側面について明らかにしておきたい。ここでは、常設各州文部大臣会議（以下、KMKと略記）が2004年に改訂・決議した、科学系教科（物理、化学及び生物）の新たな「アビトゥーア試験における統一的試験要求（以下、EPAと略記）」を取り上げ、そこに表れた育成すべき資質・能力観について見ていくこととする。周知のように、アビトゥーア試験は、ギムナジウム上級段階の修了資格認定試験であり、州毎に実施されるそれら試験の水準を確保するために設けられる連邦レベルの基準がEPAである（大髙、2012：48）。また、一方でこのEPAは、後期中等教育段階における連邦レベルの教育課程基準としての性格も持ち合わせている（藤井、2015：169）。

さて、先にも少し触れたが、これまで展開されてきた一連のドイツ教育改革にあっては、KMKが策定した「教育スタンダード（Bildungsstandards）」に象徴的に見られるように、新たな能力概念としてのコンピテンシー概念が重要な鍵となっている。それは、上述のEPAとて例外ではない。そもそも、昨今のドイツ教育改革の文脈で語られるコンピテンシー概念の理解は、専らWeinert（2001）による、特定の状況（文脈）で求められる認知的・非認知的要素双方を含む包括的な能力観に依拠しており、EPAもまたそれに基づいている（Köller、2007：20）。さらに付け加えておけば、これらコンピテンシー概念については、領域固有のものとして教科や専門領域に強く方向づけられている、

表1　EPA化学において明示されているコンピテンシー

「専門知識」：化学の知識を活用する。 受験者は… ・物質変化に関する事実、概念、法則そして理論を挙げる。 ・物質の構造、性質及び利用の間にある関係を認識する。 ・化学反応の指標や経過、条件依存に関する知識を活用する。 ・化学内部での縦の結びつき、並びに他の授業教科との横の結びつきの可能性を認識し、利用する。 ・教科特有の基本概念に基づいて、物質や化学反応について得られた知識を構造化する。	「専門の方法」：化学の認識方法を利用する。 受験者は… ・自主的に化学実験を計画し、実施し、観察し、記述し、そして評価することができる。 ・化学の事態を記述し、説明するために適切なモデルを活用する。 ・粒子レベルで化学反応を解釈する。 ・仮説を立て、予想を記述し、これを実験的に検証することができる。 ・数学的方法や範例的な化学の課題を解決するための援助を活用する。 ・測定、モデル形成、計算もしくはシミュレーションのためにコンピューターを利用する。
「コミュニケーション」：化学の中でそして化学についてコミュニケーションする。 受験者は… ・専門用語を適切に使用して、具体的な化学の事態を記述し、実例を用いて分かりやすく説明する。 ・事物に即して論理的にアーギュメントし、筋道を立てて化学の事態や問題設定を根拠づける。 ・化学の知識、自らの立場や熟慮の結果、並びに学習や活動の成果を相手や状況に応じてプレゼンテーションする。 ・化学の事態や認識を様々な形(記号、式、方程式、表、ダイヤグラム、グラフ、スケッチ、シミュレーション）で表す。 ・専門のテキストやグラフによる表現を解釈し、そこから結論を導くことができる。 ・情報源を利用し、核となる言明を認識し、目的に合わせてかつ批判的に情報を選択し、これらを獲得された知識と結びつける。	「省察」：化学の関連について省察する。 受験者は… ・異なる視点から言明を考察し、これらを化学の知識に基づいて事実に即して評価する。 ・乏しくなりつつある資源を背景として、重要な原料を獲得したり加工したりする方法を検討し、評価する。 ・食糧確保、エネルギー供給、材料生産に対する、並びに情報テクノロジーやバイオテクノロジーにおける応用化学の社会的関連や意義を認識し、記述する。 ・生命現象を説明するために化学の知識を利用する。 ・持続可能性の意味において、技術の結果、経済的なアスペクト、そして物質循環を判断する。

（出典：KMK、2004b：5-6を基に筆者作成）

適切な手法を用いて測定され得るものとして捉えられている、といった諸点も指摘されるところである（遠藤、2017：55）。

では、科学系教科のEPAに示されたコンピテンシーの内容について、もう少し詳しく見てみよう。基本的に、物理、化学及び生物の各EPAでは、育成すべきコンピテンシー、言い換えればアビトゥーア試験で問われるべきコンピテンシーの大枠として、四つのコンピテンシー領域が設定されている（KMK、2004a、2004b、2004c）。具体的には、「専門知識（Fachkenntnisse）」、「専門の方法（Fachmethoden）」、「コミュニケーション（Kommunikation）」及び「省察（Reflexion）」である[2)]。これら四領域ごとに、「受験者は…する（できる）」という形式で、個々のコンピテンシーが明示されるに至っている。

表1は、例としてEPA化学に示されたコンピテンシーの内容を整理し、まとめたものである。化学の専門概念、知識の習得・活用はもとより、自然事象についての探究を進めていく上で求められる教科（化学）特有の方法の理解・体得、情報の適切な利用やコミュニケーション様式の理解・実践、そして化学と社会との関連についての認識、それらについての判断・評価といった多岐に渡る内容が盛り込まれている様相が窺える。その一方で、わが国において示された資質・能力の柱の一つである「学びに向かう力・人間性等」に相当するような、主として情意面や態度面に係る内容については、独立して明示される形とはなっていない。いずれにせよしかし、2004年のEPA改訂とともに新設され、その重要性がとりわけ強調される「コミュニケーション」や「省察」領域（藤井、2015：169）を含め、科学系教科において育成が目指されるコンピテンシーの内容の豊かさは、特筆すべきものであると思われる。そしてまた、その豊かさゆえにこそ、それらコンピテンシーの育成状況を適切に見取っていくために、多面的な評価の実施が期待され、想定されているものと考えられる。

以上のような資質・能力観の内実を踏まえ、次章では、そうした資質・能力の評価に向けた具体的方途について見ていくこととする。

Ⅲ．資質・能力の育成状況を見取るための評価の具体

1. アビトゥーア試験における筆記試験と口述試験

アビトゥーア試験の形態は、筆記試験と口述試験からなる[3)]。科学系教科に関して言えば、筆記、口述いずれの試験においても、その評価対象は先述のコンピテンシー四領域すべてに及んでいなければならないが、特に筆記試験では「専門知識」と「専門の方法」、口述試験では「コミュニケーション」と「省察」の各領域に重点が置かれている（大髙、2012：49）。また、例えばEPA化学によると、口述試験に関しては、コンピテンシー四領域に加えて、次のような事項についての評価が求められるという。すなわち、①化学の知識や技能の範囲と質、②事実に即し矛盾のない表現の構成、③説明の分かりやすさ、プレゼンテーション方法の適切な使用、④本質的なものを強調し、言葉で分かりやすくかつ論理的に解決策を発表することができる能力、⑤化学の問題に対する理解、並びに関連を認識し表現したり、化学的事態を判断したり、質問や異議に柔軟に対応したり、しかるべき支援を取り上げたりする能力、⑥試験過程における自主性と創造性、である（KMK、2004b:20）。このように、化学に関連したディスコースや課題に取り組む際の自主性や創造性といった態度的側面については、試験官とのやり取りを通じた口述試験によって評価していく姿勢が見て取れる。

では、筆記試験と口述試験の具体について、EPA化学に付された課題事例を参考にしながら見てみよう（個々の課題事例の詳細については、藤井（2015:174-177）及び遠藤（2017：44）も参照されたい）。

まず、筆記試験に関する課題事例としては、重点コース（Leistungkurs）用の「輸送車両用燃料」、「浴室用シリコン」、「空気電池」及び「スルファサラジン」、基礎コース（Grundkurs）用の「ドライクリーニング」、「膨張材の調査」及び「クエン酸」の計七つが挙げられている（KMK、2004b：22-51）。重点コース用の「スルファサラジン」を例にとると、クローン病等の治療薬として用いられるスルファサラジンに関する説明文（物性や構造、効能）が基礎資料として提示され、それを基にスルファサラジンが示す挙動を説明したり、その経口投与をめぐる問題性を評価するような課題が設定されている。

一方、口述試験に関する課題事例としては、重点コース用の「化学反応時のエネルギー変化」、基礎コース用の「緩衝システム」及び「界面活性剤」の計三つが挙げられている（KMK、2004b：52-61）。例えば、基礎コース用の「緩衝システム」では、pHメーターの取扱説明書の抜粋や化学反応式を用いた呼吸のスキーム（ヘモグロビンと酸素の反応等）、緩衝作用を表すグラフが基礎資料として提示されるとともに、課題に関連する実験器具や試薬が提供される。その上で、血液中における緩衝システムの意義を説明したり、実際にpHメーターの校正に使用する緩衝溶液を自ら調製し、その緩衝効果を検証するような課題が設定されている。

こうした筆記、口述試験の課題事例の内容を踏まえ、資質・能力の評価という観点から指摘し得る点について述べておきたい。

第一に、リアリティある具体的な状況、文脈を設定し、そこでの課題解決活動を通して生徒達のコンピテンシーを評価しようとしている点である。筆記試験と口述試験とでは性格の違いがあるものの、この点においては一定の共通性があると考えられる。確かに、試験という枠組みの中で設定される状況、文脈の真正性という点に関しては、さらなる議論の余地があるにせよ、こうした評価の方向性は、様々な現実的な状況や文脈で知識やスキルを使いこなせる能力を評価する「パフォーマンス評価」（ハート、2012:54）に通じるものがある。とりわけ、口述試験では、実際に実験を計画し、遂行するような課題が設定されており、パフォーマンス評価の色彩がより強く表れているものと言えよう。そもそも、育成すべきコンピテンシーそのものの捉え方に立ち返ってみれば、それは特定の状況、文脈と不可分な関係にあった。つまり、現実世界における具体的な状況、文脈においてそれを発揮できるか否かが肝要であり、だからこそコンピテンシーの育成状況を評価する場面でも、そうした状況、文脈が必然的に求められるものと考えられる。

第二に、課題解決における最終的な成果だけではなく、そのプロセスに関しても評価の対象としている点である。例えば、先述のように、課題に取り組む中で見られる生徒の自主性や創造性といった要素も、口述試験において評価が求められるものの一つして位置づけられている。このように、課題解決のプロセスにも目を向けることで、よりトータルな面からの評価が図られているものと考えられる。

2. バイエルン州アビトゥーア試験におけるコロキウム試験

バイエルン州では、アビトゥーア試験における口述試験の一形態として、「コロキウム（Kolloquium）」試験が実施されている。このコロキウム試験では、二名の試験官（受験する生徒の教科担当教師）同席の下、おおよそ図1に示したような流れで試験が進められる（Gerl、2015:ⅩⅦ-ⅩⅨ）。試験は二つの部分に大別さ

前半部
- ①生徒への課題の提示（試験開始30分前）
- ②生徒による発表に向けた準備（試験開始までの約30分）
  ※電卓、周期表、州文部省認可の科学公式集は自由に使用可
- ③課題に対する生徒の発表（約10分）
- ④発表に関する質疑・応答（約5分）

後半部
- ⑤ギムナジウム上級段階で学習したテーマに関する質疑・応答（約15分）

図1　コロキウム試験（化学）の流れ
（出典：Gerl、2015：ⅩⅦ－ⅩⅨを基に筆者作成）

れ、主として前半は設定された課題に対する生徒の発表とそれに対する質疑、後半はギムナジウム上級段階での学習内容に関する質疑となっている。また、評価に際しては、生徒が有する専門知識や能力と並んで、特に対話能力が重視されている（Gerl、2015：ⅩⅩⅡ）。

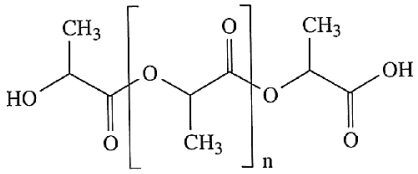
では、これらコロキウム試験では、いかなる課題が用いられているのであろうか。化学の課題事例を取り上げながら見てみよう。

以下の図2は、化学のコロキウム試験における課題事例の内容を、いくつかまとめたものである。これらを見ると、日常生活や社会と比較的関連深いテーマを選択しながら、EPA化学に示された課題事例同様、やはり現実世界における具体的な状況、文脈を提示してその中での課題解決を求めている様相が窺える。それに対して、EPA化学の口述試験と比べると、図表やグラフをはじめ課題に取り組む際に提示される基礎資料は、わずかしかない。また、実験器具や試薬についても、特段提供されているわけではない。このような形式では、確かに、資料に基づいて分析・解釈を行ったり、実際に実験を遂行したりといったコンピテンシーの側面については、十分に評価しきれないということも想定され得る。しかし、裏を返せばむしろ、そうした資料の少なさゆえにこそ、生徒達にとっては、それまでの学習を通して蓄積してきた知識を総動員することが前提として必要になるし、しかも、それらを基にして短時間で的確なプレゼンテーションを構想・展開し、試験官と適切に対話するといった能力までもが求められることになるのである。いずれにせよ、筆記試験では捉えることがおよそ困難なコンピテンシーを、

【コロキウム試験（例1）：合成物質】

例えば、ポリプロピレン（=PP）のような旧来の包装材は、非常に長期間に渡って生態系の中で保持され続け、決して微生物に分解されることがないため、包装材としての合成物質についてはますます批判的な議論が展開されている。それらはとりわけ海洋中に蓄積され、海洋生物及び鳥類によって食物と一緒に摂取されてしまう。

こうした理由から、生物によって分解され得るバイオラクチド（=PLAs）が意義をもつようになる。これらは酵素によってモノマーに分解され、バクテリアのエサとして役立ち得る。以下の式は、典型的なPLAsを示している：



PPと上記PLAは、加熱した際に類似した挙動を示す。それゆえ、加工品を製造するために、溶融した合成物質が型に流し込まれ、そこで硬化させられる。ポリプロピレンと上記PLAの製造機構を言葉で表しなさい！また、PLA及びPPの熱的性質について、自分で選んだダイカスト（噴入鋳造法）に不向きな別の合成物質との比較を行いなさい！

【コロキウム試験（例2）：油脂と界面活性剤】

せっけんの洗浄作用は、すでに古代ローマ期に認識されていたが、せっけんの製造がヨーロッパにおいて決定的な広まりを見せたのは、ルイ14世の治世のはじめ頃であった。

適切な構造式を用いて、軟せっけんの製造方法を表しなさい。洗浄能力を有した界面活性剤としての軟せっけんの作用の仕方を説明し、なぜ軟せっけんは、もはや現代の洗剤の中でほとんど使用されないのかについて議論しなさい。

【コロキウム試験（例3）：電気化学的な発電】

車両技術の中では、電気モーターが未来のエネルギー源として称賛されている。それについて、燃料電池もしくは今日すでに用いられている鉛蓄電池は電源として役立ち得よう。

燃料電池と鉛蓄電池の構造及び機能の仕方を比較し、二つのエネルギー源のうち、どちらが電気自動車で使用するのにより適しているかを議論しなさい。

図2　コロキウム試験（化学）の課題事例
（出典：Gerl、2015：25-31を基に筆者作成）

複合的に見取っていくことが企図されているものと考えられる。

Ⅳ．結語

以上、ドイツにおける科学系教科のアビトゥーア試験に着目しながら、資質・能力としてのコンピテンシーの評価をめぐる様相について探ってきた。とりわけ、現実世界のリアリティある状況、文脈を設定し、そこでの生徒達の課題解決をトータルに見取っていくような、パフォーマンス評価に通じる手法を用いて育成すべきコンピテンシーの包括的な評価を図っている点は、特筆に値しよう。わが国において育成が目指される資質・能力も、社会の様々な状況下で生きて働くものを想定するならば、やはりその評価にあっては、上述のような具体的な状況、文脈の設定が一つの重要な鍵を握ることになるのではないだろうか。

一方、アビトゥーア試験のように、資質・能力がどの程度育成されたか、つまり育成状況に関する最終的な判断という意味での評価と並んで、資質・能力の育成そのものに資するような評価の展開も求められている。堀（2017：9）は、資質・能力を育てるための評価がこれまでほとんど行われてこなかったことを問題点として指摘し、指導の機能をもつ評価観の重要性に言及している。従来の指導と評価の一体化という視座からも、理科の教授・学習と評価との絶えざる往還がなお必要とされるであろうし、その意味での評価の在り方が問われることとなろう。その際、むろんわが国の文脈に即した検討を要するにせよ、例えば、先に述べてきたドイツのアビトゥーア試験に見られるような課題事例を、教授・学習と評価の両面で活用することも、一つの視点として考えられる。いずれにせよ、理科で目指すべき資質・能力の育成を実り豊かなものにするために、その評価面についての一体的検討が引き続き望まれよう。

附記

本稿は、日本科学教育学会第39回年会における発表内容の一部をベースとし、その後の考察から得られた新たな知見を加え、再構成したものである。

註

1）例えば、一般社団法人日本理科教育学会が発行する月刊誌『理科の教育（2017年8月号）』では、「今までの評価・これからの評価」という特集を組み、理科における今後の評価の在り方を検討している。

2）EPA生物に限っては、コンピテンシー領域「専門の方法」に代わって「方法（Methoden）」という名称の領域が設定されており、当該領域は「教科特有のコンピテンシー（Fachspezifische Kompetenzen）」、「自然科学のコンピテンシー（Naturwissenschaftliche Kompetenzen）」及び「一般的なコンピテンシー（Allgemeine Kompetenzen）」の三つに区分されている（KMK、2004a：6-7）。

3）当該試験は、各州の規定によって四教科ないし五教科で行われる。その内、最低三教科が筆記試験教科、一教科が口述試験教科とされ、両者が重複してはならない（大高、2012：49）。

引用参考文献

中央教育審議会（2016）『幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）』。

ダイアン・ハート著、田中耕治監訳（2012）『パフォーマンス評価入門―「真正の評価」論からの提案―』、ミネルヴァ書房。

遠藤優介（2017）「コンピテンシーを基盤とするドイツ科学教育改革の展開」、大高泉編著、『理科教育基礎論研究』、協同出版、51-65頁。

遠藤優介（2017）「ドイツ後期中等化学カリキュラムにおけるコンピテンシーの育成とその評価―「コミュニケーション」及び「評価／省察」領域に着目して―」、『科学教育研究』、第41巻、第1号、36-46頁。

藤井浩樹（2015）「理科の大学入学試験」、宮野純次・藤井浩樹共著、『ドイツの理科教育―その伝統と革新―』、風間書房、165-177頁。

Gerl, T. (2015) *Abitur 2016 Original-Prüfungsaufgaben mit Lösungen, Gymnasium Bayern, Chemie, Mit Aufgaben zum Kolloquium*, Stark.

堀哲夫（2017）「教育評価のこれまでとこれから」、『理科の教育』、8月号、9-13頁。

KMK (2004a) *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie*.

KMK (2004b) *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie*.

KMK (2004c) *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik*.

Köller, O. (2007) Bildungsstandards, einheitliche Prüfungsanforderungen und Qualitätssicherung in der Sekundarstufe II, Benner, D., (Hrsg.) *Bildungsstandards. Instrumente zur Qualitätssicherung im Bildungswesen. Chencen und Grenzen – Beispiele und Perspektiven*, Schöningh, S. 13–28.

大高泉（2012）「ドイツにおける科学の学力の捉え方」、日本理科教育学会編著、『今こそ理科の学力を問う―新しい学力を育成する視点』、東洋館出版社、46-51頁。

Weinert, F. E. (2001) Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit, Weinert, F. E. (Hrsg), *Leistungsmessungen in Schulen*, Beltz, S. 17–31.

（2017年9月25日受理）