



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	高大連携による国際バカロレアディプロマプログラム (IBDP) 化学の実践と検証(fulltext)
Author(s)	鮫島,朋美; 前田,優; 山田,道夫; 内田,大貴; 吉原,伸敏
Citation	東京学芸大学附属学校研究紀要, 47: 75-81
Issue Date	2020-07
URL	http://hdl.handle.net/2309/159375
Publisher	東京学芸大学附属学校研究会
Rights	

高大連携による国際バカロレアディプロマプログラム (IBDP) 化学の実践と検証

東京学芸大学附属国際中等教育学校	鮫 島 朋 美
東京学芸大学教育学部自然科学系分子化学分野	前 田 優
東京学芸大学教育学部自然科学系分子化学分野	山 田 道 夫
東京学芸大学教育学研究科教育実践専門職高度化専攻教科領域指導プログラム	内 田 大 貴
東京学芸大学理科教員高度支援センター	吉 原 伸 敏

目 次

1. はじめに	76
2. DP 化学について	76
3. 研究の目的	77
4. 実践研究の方法	77
4. 1 実践日時と対象生徒	77
4. 2 授業実践	77
5. 検証	79
6. おわりに	81
参考文献	81

高大連携による国際バカロレアディプロマプログラム (IBDP) 化学の実践と検証

東京学芸大学附属国際中等教育学校	鮫 島 朋 美
東京学芸大学教育学部自然科学系分子化学分野	前 田 優
東京学芸大学教育学部自然科学系分子化学分野	山 田 道 夫
東京学芸大学教育学研究科教育実践専門職高度化専攻教科領域指導プログラム	内 田 大 貴
東京学芸大学理科教員高度支援センター	吉 原 伸 敏

1. はじめに

国際バカロレア (International Baccalaureate, 以下 IB) は、国際バカロレア機構が提供する国際的な教育プログラムである¹⁾。IB は、生徒の年齢に応じて、3～12歳に Primary Years Programme (PYP), 11～16歳に Middle Years Programme (MYP), 16～19歳に Diploma Programme (DP) を提供している。東京学芸大学附属国際中等教育学校では、開校以来 IB プログラムを導入し、現在 MYP および DP の認定校となっている。

IB プログラムは、世界標準の教育プログラムであり、国際的に活躍できる人材を育成する上で優れたプログラムとして評価されている。また、IB の教育理念や手法は、学習指導要領の目指す方向性と軌を一にするものであり、語学力のみならず課題発見・解決能力、論理的思考力、コミュニケーション能力など、グローバル化に対応した素養・能力を育む上で適したものであるとされている²⁾。

本稿では、附属国際中等教育学校と大学との高大連携による DP 化学教材を作成し、その実践に基づき高大連携を通じた学習の効果を検証したので報告する。

2. DP 化学について

IB プログラムの理科では、IB 教育の理念でもある「より平和な世界の実現」のために解決すべき現実課題やそれに関する事象を整理し、それらの理解につながる学問的内容を DP Group4の学習内容として規定している (図1)。さらに IB のプログラムにおいては、その単元の文脈や探究の問いとして「社会への応用」や「現実社会の課題」が使用されるため、社会と学習内容との関連が明確である。そのため、学習者にとっては現実的な課題として、学習の動機付けがしやすい。つまり、教員は学習指導に当たって「解決すべき現実課題」や「それに関する事象」を生徒に明示することができ、生徒は「より平和な世界の実現」に向けた知識を現実社会と関連性を持たせつつ、基礎から学習できる構成になっている。

学習指導要領上³⁾の科目 (化学基礎および化学) と DP 化学を比較してみると、DP 化学の方が発展的な内容を扱う傾向にあり、エントロピー、ギブスエネルギー、混成軌道なども規定の学習内容に含まれる⁴⁾。一方で、学習指導要領では扱うことになっている無機化学全般が、DP 化学では単元として系統的に学習するという設定ではなく、周期律や個々の物質が取り上げられる度に個別に性質を学習することになっている。DP 化学で設定されている Options の各単元 (材料化学、生化学、エネルギー、医薬品の化学) においては、すべての単元に「定量化学」・「分析技術」・「環境問題」・「有機化学」の要素が含まれており、学習指導要領にはない単元構成になっている。例えば測定データの扱いにおいて、生データを得るための測定→データ処理 (表やグラフに変換する) →分析の一連の作業を学習する。ここで得られたデータに対して、誤差範囲や精度について生徒自身が考察し、得られた結果に基づいて実験方法の改善を検討しなければならない。そのため、滴定や物質同定など定量的

な実験においては、再現性の確保や高度な測定機器（赤外分光法（IR）、核磁気共鳴（NMR）、質量分析（MS）など）の使用も想定されている。しかし、これらの機器分析装置が設置されていない高等学校ではこれらの機器分析について座学にて学習するに留まっているのが現状である。以上の DP 化学の特徴から、日本の理科教育における IB 実践は大学や専門機関との連携が効果的であると考え、本実践研究の実施に至った。

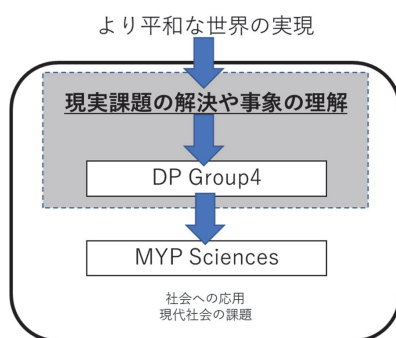


図1 IBプログラムの理科の構成

3. 研究の目的

高大連携による国際バカロレアディプロマプログラム（以下、IBDP）化学の授業プログラムの作成、実践および検証により、国内 IB 校の先進的事例を構築する。

4. 実践研究の方法

4. 1 実践日時と対象生徒

2019年7月の通常授業時間および8月に行った2日間の実験講座を用いて、作成した高大連携授業プログラムを実践した。対象生徒は、東京学芸大学附属国際中等教育学校5年 DP 化学選択者12名である。

4. 2 授業実践

4. 2. 1 概要

高等学校において有機化学の基礎から学習し、東京学芸大学にてエステル合成の実験および機器分析を用いた生成物の分析を行った。これらの学習について、生徒の理解度を自己評価から分析し、検証した。

4. 2. 2 DP 化学における該当トピック

本実践は、DP 化学の以下のトピックに該当する授業実践である。

トピック10 有機化学

10.1 有機化学の基礎

10.2 官能基の性質

トピック11 測定とデータ処理

11.3 有機化合物の分光学的同定

DP 化学における有機化学（トピック10）では、以下の表1に示す事柄を生徒が学修することが学習の目的とされている。炭素を含む化合物の化学として、官能基の相互変換が関わる構造、結合、化学反応を重要な要素として捉えている。分子モデリングソフト⁵⁾を用いて、有機化合物の構造を構築し、計算化学を用いてポテンシャルマップを作成し、電荷の偏りを視覚化する。そこから、それぞれの物質の反応性を論ずる。構造式の示し方、命名法、官能基の特徴など学習指導要領³⁾における取り扱いと共通する部分もあるが、電子のやり取りに着目させる扱いはより発展的である。

表1 DP化学における有機化学の学習⁴⁾

10.1 有機化学の基礎	10.2 官能基の性質
<ul style="list-style-type: none"> 同族列の化合物の沸点の傾向を説明すること。 実験式，分子式，構造式を区別すること。 アルカン，アルキン，ハロアルカン，アルコール，エーテル，アルデヒド，ケトン，エステル，カルボン酸，アミン，アミド，ニトリル，芳香族炭化水素など異なる化合物群を特定すること。 フェニル基，ヒドロキシ基，カルボニル基，カルボキシル基，カルボキサミド基，アルデヒド基，エステル基，エーテル基，アミノ基，シアノ基，アルキル基，アルケニル基，アルキニル基など分子中の一般的な官能基を特定すること。 有機分子の三次元モデルを構築すること。 IUPACの規則を用いて，直鎖および枝分かかれた異性体を命名すること。 ハロアルカンやアルコールにおける，第一級，第二級，第三級炭素原子およびアミンにおける第一級，第二級，第三級窒素原子を同定すること。 物理的および化学的証拠を用いてベンゼンの構造について論じること。 	<ul style="list-style-type: none"> 炭化水素の完全燃焼や不完全燃焼の反応式を書くこと。 光化学反応による均等開裂が関与するフリーラジカル置換反応の見地からハロゲンとメタンやエタンの反応を説明すること。 アルケンと水素やハロゲンとの反応および対称なアルケンとハロゲン化水素や水との反応式を書くこと。 アルケンの付加重合の要点を説明すること。 ポリマーとなるモノマーの構造と繰り返し単位の関係を説明すること。 アルコールの完全燃焼の反応式を書くこと。 第一級アルコールや第二級アルコールの酸化反応の化学式を書くこと。アルデヒドやカルボン酸生成物の単離における蒸留や還流について説明すること。 触媒（濃硫酸）の存在下でエステルを形成するアルコールとカルボン酸の縮合反応の反応式を書くこと。 ハロアルカンと水酸化ナトリウム水溶液の置換反応の反応式を書くこと。

11.3における有機化合物の分光学的同定では，分光法が化合物の構造の決定，物質の組成の分析，化合物の純度の決定に用いることが可能であることを学び，百分率組成のデータ，MS，¹H-NMRやIRから化合物の構造的特徴に関する情報を導き出すことが課せられている。これは学習指導要領上には無い取り扱いであり，物質の同定を目的とした学習内容である。

4. 2. 3 授業の流れ

本授業実践は，有機化学の基礎に相当する部分を東京学芸大学附属国際中等学校の教員が担当し，合成実験や測定機器を用いるエステル合成に関する化学実験を東京学芸大学の教員が担当した。DP化学では，図1のIBプログラムの理科の構成にも示されるように，現実課題の解決や事象の理解のために学習内容が規定されている。これは本稿で扱う單元においても同様であり，薬や香料など生活で広く活用されている有機化合物への理解を促すための基礎を高校側⁴⁾で担当し，現実事象を扱う場面，すなわち合成実験や機器分析を用いた物質の構造や組成の分析を含む実験・演習を大学側で担当した。授業実践のプロセスを表2に示す。

表2 授業実践のプロセス

	内容	担当
1	有機化合物とは何か？	附属国際中等教員
2	分子モデリングソフト Spartan を用いた3次元化	附属国際中等教員
3	飽和化合物と不飽和化合物 ヘキサンと1-ヘキセンの比較実験	附属国際中等教員
4	脂肪族化合物と芳香族化合物 シクロヘキサンとベンゼンの比較実験	附属国際中等教員

5	官能基の存在 ・アルコールとフェノールの比較実験 ・アルコールの酸化について ・エステル化について	附属国際中等教員
6	分子構造の違いによる物理的性質の違いについて ・分子間力の比較	附属国際中等教員
7	有機化合物の分光学的同定 ・質量分析 (MS), 赤外分光法 (IR), 核磁気共鳴 ($^1\text{H-NMR}$) に関する基礎とスペクトルの読み方	附属国際中等教員
8	エステルの合成実験と機器分析を用いた評価	大学教員

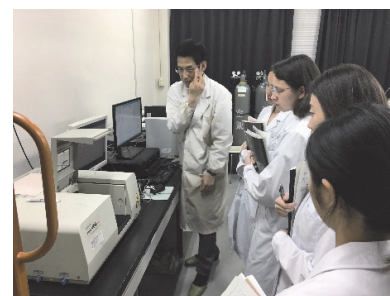
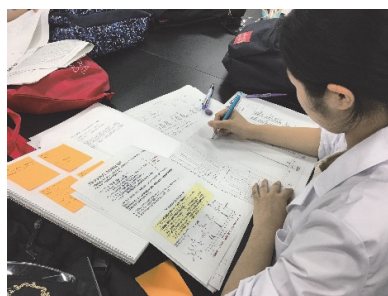


図2 授業（実験）における生徒の様子

4. 2. 4 大学での実験

有機合成に関する生徒実験として、その簡便性や観察の観点から、Fischer 法によるエステル合成⁶⁾ が取り上げられることが多い。また、液相の分離や香りの変化を確認するといった定性的な分析によるエステル合成の確認も広く行われている。今回行った実験では、アルコールとカルボン酸を酸触媒存在下、加熱してエステルを合成し、分液操作などで単離精製したエステルを、IR および NMR によって分析した。また、IR や NMR 分析の基礎や帰属に関する説明を行った後、NMR の結果から純度の評価と収率の算出を行った。

5. 検証

IB プログラムにおいて育成する資質・能力の視点は、評価規準と同じ「知識・理解」「分析・評価」「研究スキル」の3つである。高等学校での授業と大学でのエステル合成とその分析について学習した後に、実験ノートへの記述をもとに、以下のルーブリックを用いた教員による評価を実施した。この評価の過程においても、高校教員と大学教員で意見交換を行い評価の標準化を図った。また、参加生徒に対して質問紙調査を用いた検証を行った。

ルーブリックを用いた教員による生徒の評価平均は7点満点で以下に示す通りであった。高大連携の成果となる<分析と評価>について、NMR スペクトルの読み取りとその結果を用いた収率の算出の理解度を分析したところ、6.6点と非常に高い評価であることが示され、今回の実験により高い学習効果が得られたことが示された。

<知識と理解>

0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。
1～2	選んだエステルの合成に際し、実験1～3で学んだ原理への理解が非常に乏しい。
3～4	選んだエステルの合成に際し、実験1～3で学んだ原理への理解を一部適用することができているが、その能力は低い。
5～6	選んだエステルの合成に際し、実験1～3で学んだ原理をほぼ理解し、概ね適用できている。
7	選んだエステルの合成に際し、実験1～3で学んだ原理を完璧に理解し、使いこなしている。

<分析と評価>

0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。
1～2	<ul style="list-style-type: none"> 生成物の収率を算出する方法を理解していない。 NMR スペクトルの読み取り方を理解していない。
3～4	<ul style="list-style-type: none"> 生成物の収率の算出方法はある程度理解しているが、正しく算出できていない。 NMR スペクトルの読み取り方をある程度理解しているが、正しくは読み取れていない。
5～6	<ul style="list-style-type: none"> 生成物の収率の算出方法を理解し、正しく算出できている。 NMR スペクトルの読み取り方を理解し、正しくは読みとれている。
7	<ul style="list-style-type: none"> 生成物の収率の算出方法を理解し、正しく算出できている。さらにその過程を示し、根拠を持って分析および評価している。 NMR スペクトルの読み取り方を理解し、正しくは読みとれている。さらにその過程を示し、根拠を持って分析および評価している。

<研究スキル>

0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。
1～2	<ul style="list-style-type: none"> 任意のエステル合成に対して、忍耐力、責任感、環境への配慮に欠ける。 実験方法、実験中の変化や測定結果の記録がほとんどない。
3～4	<ul style="list-style-type: none"> 任意のエステル合成に対して、忍耐力、責任感、環境への配慮に欠ける部分がある。 実験方法、実験中の変化や測定結果の記録が十分でない。
5～6	<ul style="list-style-type: none"> 任意のエステル合成に対して、忍耐力、責任感、環境への配慮を示し取り組むことができた。 実験方法、実験中の変化や測定結果の記録をほぼとることができている。
7	<ul style="list-style-type: none"> 任意のエステル合成に対して、忍耐力、責任感、環境への配慮を完璧に示し取り組むことができた。 実験方法、実験中の変化や測定結果の記録を十分にとることができている。

知識と理解	分析と評価	研究スキル
6.6	6.6	6.5

参加生徒に対して、どの程度 DP 化学のねらいが達成されるかについて質問紙により調査した結果を以下の図 3 に示す。その結果、すべてを網羅するには至っていないが、達成度について一定の高大連携の取り組みの効果が表れたと言える。このうち、「科学技術の特徴づける知識体系、方法、および手法を習得する」「化学技術の特徴づける知識体系・方法・および手法を応用し活用する」「科学情報を分析、評価、統合する能力を身に付ける」の3項目については、達成されるもしくはやや達成されとの回答が主であり、有機化合物に関する知識の整理やエステルの合成方法の習得を生徒自身が実感できていると言える。また、高大連携を通じた今回の実験の感想について質問紙により調査したところ、「NMR スペクトルを読めるようになった」ことを挙げた生徒が多く、これはテキストを読んだだけでは身につけにくい技能が実際に測定してみることによって定着しやすくなることを示唆している。また、回答の中には「化学に自分からのめり込む事が出来るようになった。もっと研究したい、と探究心が生まれた。」との感想もあり、これらの記載は、生徒が主体的に活動できるように実験や分析のプロセスに重きを置いたことによる成果でないかと考える。また、これらの大学での実験や分析がスムーズに実施できた背景として重要なことは、高等学校教員と大学教員が事前に相互に学習の内容を確認・意見交換をして、高等学校教員がこれらの実験や分析を念頭において表2の授業プロセスに記載した1～7の学習を計画・実施したためと考えられる。

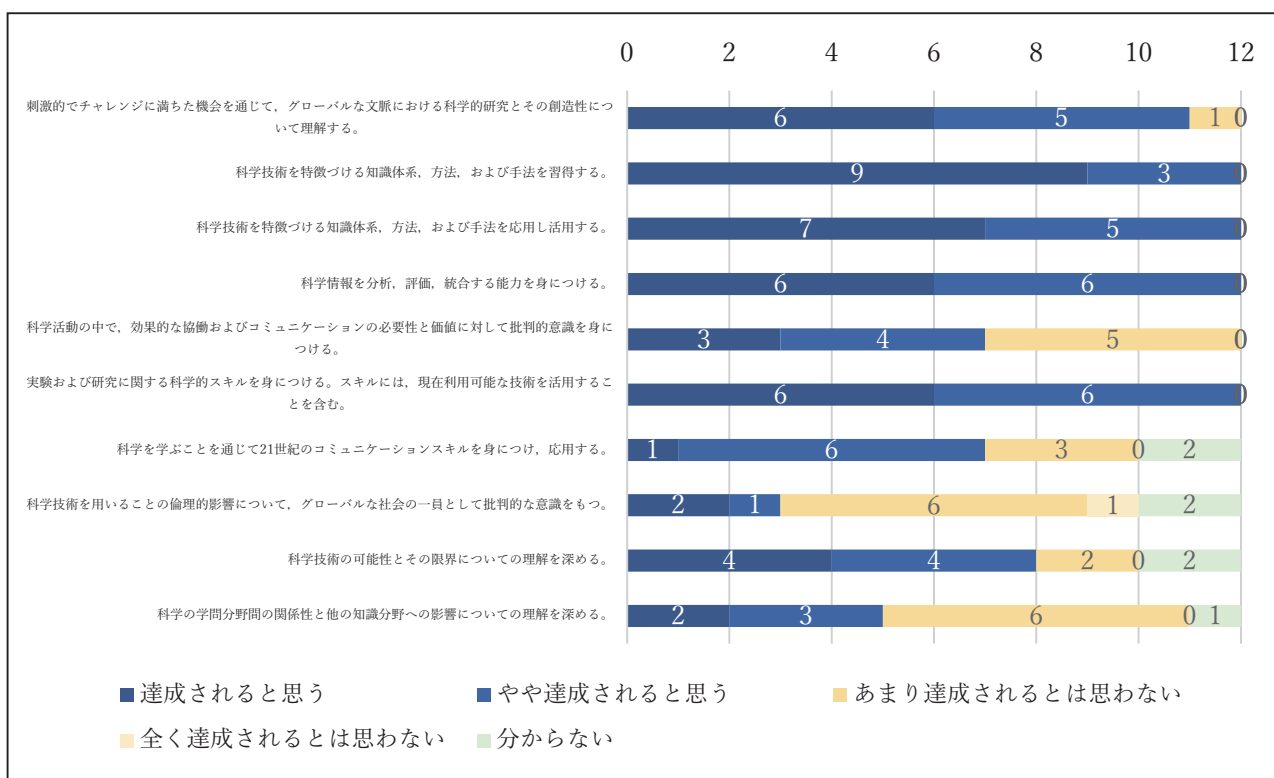


図3 DP化学の狙いに対する達成度

6. おわりに

本研究では、高等学校における授業と大学にある機器分析装置を使った実験授業を組み合わせ、高校生が自ら合成したエステルの構造や純度、収率を算出するといった一連の学習を行い、IB化学の学習項目や目標を体験的に学ぶプログラムを作成した。DP化学では、学習指導要領上の科目と比べて、より発展的な内容を扱うことや、例えば測定データの扱いでは、生データを得るための測定、データ処理、分析まで求められる。特に、分光光度計などの機器分析装置を組み込んだ授業、実験、分析は、高校化学の現場だけでできることではないので、専門知識を有する大学教員との連携および種々の測定機器を有する大学施設の活用が有効である。

参考文献

- 1) 文部科学省 IB 教育推進コンソーシアム, <https://ibconsortium.mext.go.jp/about-ib/>, 2020年1月2日閲覧
- 2) 文部科学省, 文部科学白書平成30年度
- 3) 文部科学省, 高等学校学習指導要領, 平成30年3月公示
- 4) IBO, 「化学」指導の手引き 2016年第1回評価
- 5) Spartan Student Edition Version 6 for Windows, Wavefunction, Inc., Irvine, CA, 2011.
- 6) E. Fischer, A. Speier, *Ber.* 1895, 28, 3252.