

イギリスの後期中等教育化学におけるデジタル教材・教具に関する研究

内海 志典^{*1}

本研究では、イギリスの後期中等教育段階化学におけるデジタル教材・教具について、広範かつ詳細に分析を行うことで、その特徴について明らかにすることを目的としている。その結果、(1) 生徒が学習すべき内容を具体的に示した単元の授業計画や単元計画に、デジタル教材・教具を用いた指導が体系的に位置づけられていること、(2) 観察・実験等のワークシートが豊富に提供されており、それらを教師が必要に応じて加筆・修正することができるようになっていること、(3) カリキュラムに関係の深い機関や団体等のウェブサイトの教材・教具へリンクがあり、自由に閲覧し、必要に応じてダウンロードして使用することができるようになっていること等が明らかとなった。得られた知見から、わが国におけるデジタル教材・教具の在り方について、(1) 教師や生徒がデジタル教材・教具を利用できる機会をさらに増やしていく必要があること、(2) 教師が指導において、どのようにデジタル教材・教具を用いるかについて検討する必要があることが示唆される。

〈キーワード〉後期中等教育化学、デジタル教材・教具、イギリス

1. はじめに—問題の所在と研究の目的—

『高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）』では、情報活用能力の育成を図るため、各学校において、コンピュータや情報通信ネットワークなどの情報手段を活用するために必要な環境を整え、これらを適切に活用した学習活動の充実を図ることを求めている（文部科学省, 2018）。

しかしながら、『平成 30 年度学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果』によると、授業に ICT を活用して指導する能力について、「できる」または「ややできる」と回答した教員の割合は、平均 69.7% となっており（文部科学省, 2019）、授業に ICT を活用して指導する教員の ICT 活用指導力に対する自信は高いとはいえない。

学校教育法等の一部を改正する法律（平成 30 年法律第 39 号）等の法令が平成 31 年度から施行され、児童生徒の学習の充実や、障害等により教科書を使用して学習することが困難な児童生徒の学習上の支援のため、一定の基準の下で、必要に応じ、紙の教科書に代えて学習者用デジタル教科書を使用することができるようになった

（文部科学省, 2020）。

デジタル教科書・教材は、これまで紙によって提供されてきた教科書や教材がデジタル化され、大型提示装置や学習者用コンピュータ等で活用できるようになり、動画やアニメーション等のデジタル環境ならではの多様な表現により効果的な学習が可能となるといった機能が挙げられ、それらの効果として、以下のことを挙げている（文部科学省, 2020）。

- ・動画・アニメーション・音声等を活用することで、子供の興味・関心の喚起につなげることができる。
- ・子供の考えを可視化し、議論を活性化することができる。
- ・多くのデータを集めることで教材のどの部分で理解につながっているのか等の検証に活用することも期待される。
- ・障害等により紙の教科書・教材を使用することが困難な子供にとっては、文字の拡大や音声の読み上げ等により学習上の困難の軽減が期待される。

教科等の指導における ICT の活用について、高等学校理科では、自然の事物・現象を科学的に探究するために必

^{*1} 岐阜大学教育学部

Study on Digital Teaching Materials for Upper Secondary School Chemistry in UK

要な資質・能力を育成するため、コンピュータや情報通信ネットワークなどの積極かつ適切な活用は効果的であり、ICT を効果的に活用した学習場面には、以下の5点を挙げている（文部科学省，2020）。

- ・検証計画を立案して実験を行う場面
- ・実験の結果を分析して解釈する場面
- ・観測しにくい現象などについて、シミュレーションを利用して探究する場面
- ・教材提示を行うことにより、学習内容についての理解を深める場面

このように、高等学校理科においても、ICT は生徒の様々な学習場面において活用されることが期待されている。

次に、教科書発行者が発行しているデジタル教科書の状況はどのようになっているだろうか。小学校理科では、6社すべての教科書発行者がデジタル教科書を発行している。中学校理科では、5社すべての教科書発行者がデジタル教科書を発行している。高等学校理科におけるデジタル教科書の発行状況を、表1に示す¹⁾。

表1 高等学校理科におけるデジタル教科書の発行状況
(筆者作成)

	A社	B社	C社	D社	E社
物理基礎	◇,○	×	○	◇,○	○
物 理	×	×	×	◇,○	○
化学基礎	◇,○	×	○	◇,○	○
化 学	◇,○	×	×	◇,○	○
生物基礎	◇,○	×	○	◇,○	○
生 物	◇,○	×	×	◇,○	○
地学基礎	×	×	○	◇,○	○
地 学	—	—	×	×	—

注) ○：指導用デジタル教科書，◇：学習者用デジタル教科書²⁾
 ×：デジタル教科書の取り扱いなし
 —：教科書の発行なし

高等学校理科については、科目によりデジタル教科書の発行状況が異なっている。これは、高等学校理科については、科目の履修が選択となっているため、履修者が少ない科目、つまり需要数が少ない科目については、教科書発行者がデジタル教科書の発行をしていないと考えられる。

他方、「理科ねっとわーく」（<http://www.rikanet.jst.go.jp/>）では、採択している教科書に関係なく、授業で使うことができる理科教育用デジタル教材を多数収集したウェブサイトを開設し、非営利・教育目的という条件のもとで、無償で利用できるようになっている。

内海（2013）は、後期中等教育段階の「化学」における日本とイギリスの各国のデジタル指導書を比較し、その違いについて分析し、授業づくりにおけるデジタル指導書の役割について論じている。しかしながら、この先行研究では、イギリスの後期中等教育段階の「化学」の教科書発行者が発行しているデジタル指導書に限定した研究であり、試験委員会（資格付与団体）やカリキュラム開発を行った機関など、採択している教科書を用いている教師を支援するウェブサイトに掲載されているものを含めて、教師が授業で取り扱うデジタル教材・教具の全体像を明らかにしていない。

本研究では、イギリス³⁾の後期中等教育段階の「化学」におけるデジタル教材・教具について、広範かつ詳細に分析を行うことで、その特徴について明らかにし、わが国におけるデジタル教材・教具の在り方における示唆を得ることを目的としている。

2. 研究の方法

本研究では、試験委員会の1つである OCR（Oxford, Cambridge and RSA Examinations）の後期中等教育段階（A・レベル）における「化学」の ChemistryA と ChemistryB（Salters）の2つのカリキュラムのデジタル教材・教具を分析の対象とした。デジタル教材・教具は、教科書発行者が発行した生徒用自習書や教師用指導書に付属していたり⁴⁾、OCR が提案する外部の機関や団体等のウェブサイトや、中心となりカリキュラム開発を行った大学が開設している教師を支援するウェブサイトに掲載されたりしている。本研究では、これらのデジタル教材・教具について分析を行った。

3. カリキュラムで用いられる教材・教具

ChemistryA で用いられる教材・教具の中で、教科書発行者が発行したものを、表2に示す。

表2 ChemistryAの教科書発行者が発行した教材・教具
(筆者作成)

教材・教具	媒 体	分 類	対象
<i>Student Book</i>	紙	教科書	生徒
<i>Exam Cafe</i>	CD-ROM	自習書	生徒
<i>Teacher Support</i>	CD-ROM	指導書	教師

ChemistryA では、指導書は、紙媒体のものは発行されておらず、デジタル指導書である“Teacher Support”のみが発行されている。生徒用デジタル教材・教具としては、教科書に付属した“Exam Café” (CD-ROM) がある。また、OCR 発行のデジタル教材・教具としては、詳述書をもとに発行された“Support Material”がある。

ChemistryB (Salters)で用いられる教材・教具の中で、教科書発行者が発行したものを、表3に示す。

表3 ChemistryB (Salters)の教科書発行者が発行した教材・教具 (筆者作成)

教材・教具	媒体	分類	対象
<i>Chemical Storylines</i>	紙	教科書	生徒
<i>Chemical Ideas</i>	紙	教科書	教師
<i>Support Pack</i>	紙, CD-ROM	指導書	教師
<i>Interactive Presentations</i>	CD-ROM	教科書関連データ	教師

教材・教具としては、文脈を提供する“Chemical Storylines”，科学的な考えや科学的概念といった化学の原理が説明されている“Chemical Ideas”，生徒が観察・実験などの活動に用いる“Activities”に加え、教師と実習助手の指導書である“Teacher’s and Technician’s Guide”がある。この“Activities”と“Teacher’s and Technician’s Guide”は、“Support Pack”に収録されている。“Chemical Storylines”は、科学的な考えや科学的概念とスキルを発展させる文脈を提供する中心的な役割を担い、“Chemical Ideas”，あるいは“Activities”における生徒の学習内容を提示している。これらの関係を図1に示す。

また、これら以外の教材・教具として、OCR 発行のデジタル教材・教具としては、詳述書をもとに発行された“Support Material”がある。さらに、その他のデジタル教

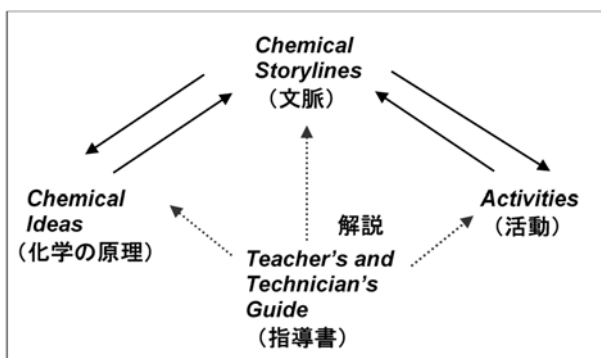


図1 ChemistryB(Salters)で用いられる教材教具の構造 (Burton ら, 1995 : 227 を改変)

材・教具としては、Chemistry B (Salters)のカリキュラム開発を中心として行ったヨーク大学科学教育グループの支援センターのウェブサイト (<http://www.york.ac.uk/org/seg/salters/chemistry/>) には、教師が提供した教材・教具が掲載されている。

4. カリキュラムの特徴

ChemistryA と ChemistryB (Salters)のカリキュラムの違いについて、より詳細にみてみる。表4は、ChemistryB (Salters)の単元「海洋 (The Oceans)」において学習する科学的概念が、ChemistryA ではどのように対応しているかを示したものである。

① OCR ChemistryA

ChemistryA では、「原子と反応」，「電子，結合，構造」，「エネルギー」，「反応速度」のように、科学的概念のまとまりで、モジュールが構成され、科学的概念を学習の中心として系統的に学習が展開される伝統的な指導法が用いられる。

②OCR ChemistryB(Salters)

Chemistry B (Salters) では、生徒の学習の出発点として、文脈や科学の適用が用いられ、その後、科学的概念について学習する「文脈を基盤とするアプローチ (context-based approach)」を採用している (Bennett ら, 2007)。

ChemistryB (Salters)の単元「海洋」では、海水からなる広大な海洋が多くの物質の循環、気候の影響などの海洋に関するダイナミックな事物・現象がストーリーとして取り扱われている。生徒は、まずこれらの海洋に関する文脈について学習し、続いて“Chemical Ideas”を用いて、その文脈を理解するために、溶解、エントロピー、化学平衡といった科学的概念等の化学の原理について学習したり、“Activities”を用いて、溶媒の極性と溶解性、水蒸気のエントロピー変化の測定、塩酸と酢酸の pH 測定、緩衝溶液の pH 測定などの実験・観察を行ったりする学習活動が展開される。

つまり、ChemistryB (Salters)で用いられる教材・教具の構造は、図1に示しているように、生徒の学習は、“Chemical Storylines”を中心として展開される。

表4 ChemistryB (Salters)の単元「海洋(The Oceans)」において学習する科学的概念と対応する
ChemistryA の科学的概念の関係 (筆者作成)

ChemistryA	ChemistryB (Salters)
AS-レベル	A2-レベル
1.1 モジュール 1: 原子と反応 1.1.3 酸 ・酸と塩基	(O) 海洋 (The Oceans) 塩, 二酸化炭素を含み化学物質の循環と pH の維持における海洋の役割, つまり地球上の生命に対する海洋の重要性の学習を行う. このモジュールにおける <i>chemical ideas</i> の取り扱い ・溶解 ・酸・塩基の化学平衡と pH ・エントロピー ・二酸化炭素の処分
1.2 モジュール 2: 電子, 結合, 構造 1.2.1 電子構造 ・イオン化エネルギー, エネルギー準位, 電子殻, 小軌道, 軌道, 電子配置 1.2.2 結合と構造 ・イオン結合, 共有結合, 単分子とイオンの形, 電気陰性度, 分子間力	主な学習内容 ・結合と構造 水の水素結合, 水の異常な物理的特性, 溶解度, 水和 ・エネルギー論 水溶液中のエンタルピー変化, 格子エンタルピー, イオンの溶媒におけるエンタルピー変化 ・無機化学と周期表 (復習) イオン化エネルギー, 周期表, NO_3^- や SO_4^{2-} などのイオン ・化学平衡 プレンステッド・ローリーの定義, 強酸と強塩基, 弱酸, 酸の解離定数, pH, 緩衝溶液, 大気中の二酸化炭素を減少させる様々な取り組み
A2-レベル	
5.1 モジュール 1: 反応速度, 化学平衡, pH 5.1.1 どれくらい速いか? ・反応の次数, 反応速度式, 速度定数, 律速段階 5.1.2 どれくらいか? ・化学平衡の濃度, 平衡定数 K_c 5.1.3 酸, 塩基, 緩衝溶液 ・酸・塩基の化学平衡, 酸の強さ (K_a を含む), pH の決定, 滴定曲線と緩衝溶液	

5. デジタル教材・教具の分析

(1) 教科書発行者が発行した教師用デジタル教材・教具

① OCR Chemistry A

ChemistryA の “Teacher Support” の収録内容を表 5 に示す.

“Teacher Support” では, 1 週間ごとの「授業計画 (Teaching scheme)」が作成されており, 1 週間に行う学習内容に関する教科書および詳述書との関連, HSW⁵⁾の取り扱い, 指導の順序, 学習形態, ICT を用いた活動, 観察・実験等の活動等の指導方略について詳細に取り扱われている。「観察・実験ワークシート」では, 生徒用, 教師用, 実験助手用の 3 種類があり, 観察・実験も AS-レベルでは 30 項目, A2-レベルでは 29 項目を収録している.

「観察・実験ワークシート」は, すべてが Word で作成されており, 教師は必要に応じて, 加筆・修正を行うこと

ができるようになっている. また, 教科書に掲載されている図版を JPEG で取り扱っている「図版データ」を収録している (内海, 2013) .

② OCR Chemistry B (Salters)

ChemistryB(Salters)の “Support Pack” の収録内容を表 6 に示す.

“Support Pack” では, 授業における各単元における “Chemical Storylines”, “Chemical Ideas” 及び “Activities” の 3 つの教材・教具の取り扱いが複雑となっているため, それらの教材・教具の具体的な取り扱いを詳細に示した「単元計画 (Map of the module)」を収録している. 「観察・実験ワークシート」では, 観察・実験が AS-レベルでは 45 項目, A2-レベルでは 72 項目を収録している. 「観察・実験ワークシート」は, すべてが Word と PDF の両方で作成されており, 教師は必要に応じて, Word のものを用いて, 加筆・修正を行うことができるようになっている. また, “Interactive Presentations”

表5 Chemistry A の *Teacher Support* の収録内容 (内海, 2013 : 24 を改変)

収録内容	取り扱い内容の概略	ファイル形式
授業計画	1 週間の学習内容の概略を収録している.	Word
HSW の取り扱い	詳述書における HSW に関する指示と教師による指導方略を収録している.	Word
GCSE からの移行	GCSE から A・レベルへの移行についての示唆を収録している.	Word
週間計画	1 週間で取り扱う学習内容について, 指導方略等を収録している.	Word
1 週間の学習計画と学習成果	1 週間の学習計画と期待される学習成果を収録している.	PowerPoint
観察・実験ワークシート	観察・実験のワークシートを収録している.	Word
図版データ	教科書で取り扱われている図版を収録している.	JPEG

表6 Chemistry B (Salters) *Support Pack* と *Interactive Presentations* の収録内容 (内海, 2013 : 24 を改変)

<i>Support Pack</i>		
収録内容	取り扱い内容の概略	ファイル形式
単元計画	単元における教材・教具の取り扱いの具体を収録している.	Word, PDF
単元の取り扱い	単元における科学的概念の取り扱い, 問題の解答と解説を収録している.	Word, PDF
HSW の取り扱い	詳述書における HSW に関する指示と教師による指導方略を収録している.	Word, PDF
観察・実験ワークシート	観察・実験のワークシートを収録している.	Word, PDF
図版データ	教科書で取り扱われている図版を収録している.	PDF
科学的概念の取り扱い	科学的概念の取り扱いの一覧表を収録している.	Word, PDF
観察・実験における安全指導	観察・実験におけるリスク評価を収録している.	PDF
単元テストと解答	単元終了後に行う単元テストと解答を収録している.	Word, PDF
データシート	授業で用いるデータを収録している.	PDF
<i>Interactive Presentations</i>		
収録内容	取り扱い内容の概略	ファイル形式
動画コンテンツ	教科書で取り扱われている実験のビデオを収録している.	Flash
アニメーションスライド	生徒の学習を支援するスライドデータを収録している.	Flash, PowerPoint

では, 教科書で取り扱われている実験をビデオにした「動画コンテンツ」と, 教科書で学習する内容をスライドにしたものを授業中にプロジェクターでスクリーンに投影する「アニメーションスライド」が多数収録されている (内海, 2013) .

(2) 教科書発行者が発行した生徒用デジタル教材・教具

① OCR Chemistry A

教科書に付属した“Exam Café”は, 学外試験⁶⁾で生徒の能力を最大限引き出すことへのアドバイス, 支援教材, 学習活動を提供している. その収録内容を, 表 7 に示す.

“Exam Café”は, 3 つの内容に分けられており, 「(a) リラックスして, 準備」では試験の準備の助けとなる情報と学習活動, 「(b) 学習を更新」では教科に関する知識を向上させる助言とガイダンス, 「(c) 結果! 可能性に到達」では試験において可能性を最大にすることへの助言と活動が取り扱われている. これらは, 学外試験を強く意識したものとされており, 生徒が学外試験対策に用いることができるようになっていく.

② OCR Chemistry B (Salters)

OCR Chemistry A の“Exam Café”のように生徒が自由に利用できるデジタル教材・教具は発行されていない.

表7 “Exam Café”の収録内容 (筆者作成)

(a) リラックスして, 準備
・ 復習の計画
・ 発展と挑戦 (Stretch and Challenge)
・ 用語解説
・ 内容のチェックリスト
(b) 学習を更新
・ 復習のフラッシュ・カード
・ 多肢選択問題
・ 語彙テスト
・ 教科書の解答
(c) 結果! 可能性に到達
・ 生徒用解答例
・ 基本を正しく理解する
・ 実的なスキルを構築する
・ 試験委員からの助言
・ 自分を高める (Stretch yourself)

(3) 試験委員会が提案するデジタル教材・教具

試験委員会である OCR が提案する外部の機関や団

表8 ChemistryA の“Support Material”(Ritchie, 2009)から一部抜粋 (筆者作成)

配当 時間	20 時間	項目	GCE Chemistry A: H434, F325: 化学平衡, エネルギー, 原理 5.1.2 どれくらいか? (How Far?)
学習内容 の概略	指導と宿題の提案		教材の提案
緩衝剤: 反応, 使用, 計算	<ul style="list-style-type: none"> 生徒は、緩衝作用での酸・塩基の効果を調査する実験を行い、緩衝作用の定義を提案することができる。 特定の教材を用いて、どのように緩衝作用がはたらくかを説明する。生徒は共役の酸・塩基を特定することができる。 事例：血液の緩衝作用：グループで、生徒は、血液の緩衝作用を説明する短時間のプレゼンテーションを準備できる。 K_a の値が与えられると、生徒は異なった緩衝液の pH を計算するべきである。 生徒は、必要な量・濃度を計算することで与えられた pH の緩衝液を調整することができる。 酸あるいは塩基が緩衝液に加えられると、結果として生じる pH を計算できる (全体積の変化がないとして)。 		<ul style="list-style-type: none"> ILPAC ‘Advanced Practical Chemistry’: 酸と塩基を緩衝液に加え、pH メーターを用いて変化を測定する。 http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/animations/HOAcbuffer.html は、酢酸と塩基の緩衝液のアニメーションを提供している (shockwave が必要である)。 http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/acidbasepH/pHbuffer20.html は、対話方式の緩衝作用のアニメーションを提供している。 ILPAC ‘Advanced Practical Chemistry’ 緩衝液を準備する。

体等のウェブサイトにあるデジタル教材・教具は、詳述書をもとに発行された“Support Material”にリンクされている。

① OCR Chemistry A

“Support Material”では、各単元の「学習計画 (Lesson Plan)」が示されている。単元「化学平衡, エネルギー, 原理」における 2 節「どれくらいか? (How Far?)」の「学習計画」を表 8 に示す。

「学習計画」では、配当時間、学習内容の概略、指導と宿題の提案、教材の提案、注意のポイントが取り扱われている。教材の提案は、この節に関連するアニメーション、デモンストレーション等の外部のウェブサイトのデジタル教材・教具とリンクしており、教師は必要に応じてダウンロードして使用することができるようになっている。

② OCR Chemistry B (Salters)

“Support Material”では、各単元の「指導計画 (Scheme of Work)」が示されている。単元「海洋 (The Oceans)」における O 3 節「海のにおい (The smell of the sea!)」と O 4 節「海洋—安全な炭素の貯蔵? (The oceans- a safe carbon store?)」の「指導計画」を表 9 に示す。

「指導計画」では、配当時間、指導と宿題の提案、ソルターズ (Salters) 以外の教材、詳述書の記述と注意のポイントが取り扱われている。ソルターズ以外の教材は、こ

の節に関連するアニメーション、デモンストレーション、学習の復習や補強に用いるワークシート、学習のまとめ等の外部のウェブサイトのデジタル教材・教具とリンクしており、教師は必要に応じてダウンロードして使用することができるようになっている。

(4) その他のデジタル教材・教具

① OCR Chemistry A

ChemistryA のカリキュラムの支援は、OCR に限定されているため、その他の機関では、ChemistryA に関するデジタル教材・教具を作成していない。

② OCR Chemistry B (Salters)

ChemistryB (Salters) のカリキュラム開発は、ヨーク大学科学教育グループを中心として行われ、カリキュラムを採択している学校の教師をサポートするために、支援センターがヨーク大学に置かれている。支援センターでは、初めてこのカリキュラムを教える教師のための現職研修、電話や電子メールを通じた助言サービス、ニュースレター、ウェブサイトの運営等の支援を行っている (Bennett ら, 2005)。

教師を支援するウェブサイトには、“DIY Resources” (<http://www.york.ac.uk/org/seg/salters/chemistry/DIYResources/DIYResources.htm>) があり、カリキュラムを採択している教師が提供した “Chemical Storylines” や

表9 ChemistryB(Salters) の“Support Material”(Denby ら, 2009)から一部抜粋 (筆者作成)

配当 時間	8時間	項目	STORY O 3 海のおい (The smell of the sea!) STORY O 4 海洋 — 安全な炭素の貯蔵? (The oceans - a safe carbon store?)	
学習内容の 概略	指導と宿題の提案		ソルターズ (Salters) 以外の教材	詳述書の記述と注意のポイント
9 + 10 + (11)	<p>追加の授業には、計算を練習する追加の時間が与えられるが、同様に2つの活動の話し合いも与えられる。</p> <ul style="list-style-type: none">・p175 問 2, 4に答えて, IDEAS 7.2 「化学平衡と濃度」を復習する。・IDEAS 8.2 p185-187 「弱酸」「強いまたは濃い?」から新しい教材へ導入する。・p189 問 2-7 を通じて勉強する。・生徒は, ACT O4.1 「弱酸についてさらに見出す」を行う。・STORY O4 p137 「安定した状態に保つ (Keeping things steady)」を読む。生徒は, 自分の言葉では, 活動とストーリーをともに関連させるべきである。・生徒は, ACT O4.2 「酸生水溶液を分類する (Classifying acid solutions)」を用いて理解を強化する。最初のソルターズでない活動が第5課で行われていれば, この活動は既に扱われている。		<ul style="list-style-type: none">・http://www.knockhardy.org.uk/assets/08/ABASE.PDF 6 ページ先でこの授業からの教材を調査し, それを拡張する。・ http://www.knockhardy.org.uk/assets/ACIDSPDF は, 役に立つまとめのワークシートである。・http://media4sci.org/Creative%20Problem%20Solving/CPS-27.pdf・http://media4sci.org/Creative%20Problem%20Solving/CPS-21.pdf・http://media4sci.org/Classic%20Chem%20Demos/CCD-10.pdf 項目にある畏敬と驚きを加えるデモンストレーション・http://www.chemsheets.co.uk/A2407.doc	<p>履修者は, 以下のことができるべきである。</p> <ul style="list-style-type: none">・用語「弱酸」(水中でイオンになるときの式を書く), 電離定数 K_a と pK_a を説明し, 使用する。・用語「pH」を説明し, 使用し, 与えられたデータを使用し, 弱酸の pH を計算する (簡単な式を用いてなされた近似に気づいて, 用語 pH, K_a と2つの他のもののからの濃度を計算することを含む)。・水における二酸化炭素の溶解の世界的な影響について話し合い, 燃料の経済的使用, 代替燃料の使用 (水素を含む), CO_2 の捕獲と貯蔵, 増加した光合成を含む大気中の CO_2 レベルを削減する様々なアプローチと関係する利点とリスクを話し合い, 説明する。
12	<ul style="list-style-type: none">・IDEAS 8.3 p189-191 「緩衝液」を通して勉強する。・多くの生徒が困難であると考えているので, この時点でクラスにおいて問題を行うことは役に立つであろう。成績の良い生徒には, ACT O4.3 「緩衝液を調査する」を行う。		<ul style="list-style-type: none">・http://www.chemsheets.co.uk/A2408.doc 緩衝液・http://www.knockhardy.org.uk/assets/08/BUF.PDF・http://www.creative-chemistry.org.uk/alevel/module4/documents/N-ch4-07.pdf 緩衝作用を実際にみること。・http://www.chembio.uoguelph.ca/educmat/chm19104/chemtoons/ct6.htm は, 緩衝作用の9つのアニメーションにリンクしている。・http://www.chembio.uoguelph.ca/educmat/chm19104/chemtoons/ct6.htm 緩衝作用のシミュレーションである。生徒は, 自宅での個人指導を通して, 勉強をすることで, この授業からの活動を強化することができる。	<p>履修者は, 以下のことができるべきである。</p> <ul style="list-style-type: none">・弱酸とその塩の水溶液の緩衝液について (i)用語「緩衝作用」の意味を説明する。(ii)どのように緩衝作用がはたらくか説明する (日常生活の適用において)。(iii)緩衝液の計算を行う。

“Chemical Ideas” に対応した教材・教具が掲載されており, 教師が自由に利用することができる。“DIY Resources” に掲載されている “Chemical Storylines” の各単元におけるデジタル教材・教具数を表 10 に示す。

“DIY Resources” では, AS・レベルでは 107 項目, A2-レベルでは 107 項目と, デジタル教材・教具がかなり豊富に掲載されている。

また, “DIY Resources” において, A2-レベルの単元「海洋」に関する “DIY Resources” に掲載されている教材・教具を表 11 に示す。その取り扱い内容については, PowerPoint で作成されたプレゼンテーションが多いが, Word で作成されたゲーム教材, 復習のワークシート, 学

習のまとめ等も多数掲載されている。

また, 教師を支援するウェブサイトには, “The Essential Chemical Industry - online” (<http://www.essentialchemicalindustry.org/>) があり, 現在の工業的製造プロセスと最新技術を扱った世界の主要な化学工業製品, それらの使用と製造について参考となる資料を掲載している。これは, ヨーク大学化学部内にある独立非営利団体である CIEC Promoting Science により作成されている。このウェブサイトでは, 化学工業のキーとなる, 「工業のプロセス」, 「原料とその利用」, 「必要不可欠な化学製品 (Basic chemical)」, 「高分子化合物」, 「金属」の5つのテーマで 76 項目に関する最新の情報を検索

表 10 “DIY Resources”に掲載されているデジタル教材・教具数 (筆者作成)

AS-レベル				A2-レベル			
単元	PP	W	その他	単元	PP	W	その他
EL	2 8	1 0	2	WN	1 1	5	
DF	6	3	1	MR	4	4	
ES	1 2	1 1	1	TL	8	8	2
PR	1 0	5		SS	8	1 6	
A	7	1 1		AI	4	4	
計	6 3	4 0	4	CD	7	3	
	1 0 7			O	6	5	
				MD	7	4	
				IND		1	
				計	5 5	5 0	2
					1 0 7		

(出典 : http://www.york.ac.uk/org/seg/salters/chemistry/DIYResources/AS_%20Storylinetable.htm と http://www.york.ac.uk/org/seg/salters/chemistry/DIYResources/A2_%20Storylinetable.htm から筆者が作成した。)

注) 単元は, “Chemical Storylines”の各単元を, PP は Power Point を, W は Word を表している。

できるように設計されている。

6. 考察

イギリスの後期中等教育段階の「化学」におけるデジタル教材・教具の分析から, デジタル教材・教具の特徴として, 次の3点が挙げられる。

1 つ目は, 生徒が学習すべき内容を具体的に示した単元の授業計画や単元計画に, デジタル教材・教具を用いた

指導が体系的に位置づけられていることである。Bennett ら (2005) は, カリキュラム変更において最も大きな障壁は, (変更に対して) 気が進まない教師であるとし, これは変更に対して教えることへの準備, つまり変更した以降の支援の欠如によるものであると指摘している。Fullan (1983) は, 「適切に最後までやり通すことなく, あまりに多くの教育のイノベーションが行われてきた…責任者は, 持続的な (最初だけでない) 支援を含めて, 積極的な支援の特定の形態を示さなければならない…」と指摘している。ChemistryA と ChemistryB (Salters) の2つのカリキュラムは, 授業計画や単元計画に, デジタル教材・教具を用いた指導が体系的に位置づけられており, 教師への一定の支援態勢が整っているといえるであろう。

2 つ目は, 観察・実験等のワークシートが豊富に提供されており, それらを教師が必要に応じて加筆・修正することができるようになっていることである。これは, 授業に用いる教材・教具を伝統的に教師が作成してきたイギリスにおいても, ITC の活用が積極的に進められ, デジタル教材・教具を収録したデジタル指導書が発行されたためであると考えられる。

3 つ目は, カリキュラムに関係の深い機関や団体等のウェブサイトの教材・教具へリンクがあり, 自由に閲覧し, 必要に応じてダウンロードして使用することができ

表 11 “DIY Resources”に掲載されている A2-レベルの単元「海洋」に関する教材・教具 (筆者作成)

教材	ファイル形式	テーマの説明
学習計画 O (海洋)	Word	学習計画
O2 (CI 5.1 and 4.5)	Power Point	単元「海洋」の始めに用いて, 溶液中のイオンを復習し, その後, 溶液中のエネルギー変化を学習する。
O2 (CI 4.5)	Power Point	イオンの大きさを取り扱っている。Chemical Ideas 4.5 に関連しており, 指導内容として求められているものより詳細かもしれない。
O2 (CI 4.5)	Power Point	溶液中のエネルギー変化を取り扱っている。
O3 (CI 8.2)	Word	酸・塩基の既習事項を復習するために, 導入で用いる活動である。すべての母音を X で置き換えて, 箇条書きで書かれている。
O3 (CI 8.2)	Word	切って, 分割されたカードがある。生徒は, 酸解離定数 K_a の式の答えとなるようにカードを並べる。
O4 (CI 8.3)	Word	Chemical Ideas 8.3 (緩衝溶液) のまとめのワークシートである。
O4 (CI 8.3)	Power Point	緩衝溶液の pH の計算を網羅している。
O4 (CI 8.2 and 8.3)	Word	間違いがある $[H^+]$ と pH の計算 の問いの答えを訂正する。
O5 (CI 4.4)	Power Point	エントロピーの重要なプレゼンテーションである。
O5 (CI 4.4)	Power Point	A2-レベルのエントロピーにより焦点をあてている。

るようになっていることである。カリキュラム開発では、開発者が多くのデジタル教材・教具を発行し、カリキュラムを採択している教師に提供することには限界があるため、外部の機関や団体等のウェブサイトへリンクすることで、デジタル教材・教具を利用できる機会を増やしている。また、化学と実社会・実生活との関連については、外部の機関や団体等のウェブサイトを利用することで、最新の情報を入手し、教材・教具として利用できるという利点がある。

7. わが国の化学教育に対する示唆

考察において、明らかにしたイギリスの後期中等教育段階の「化学」におけるデジタル教材・教具の特徴について、わが国のデジタル教材・教具と対応させることで、わが国のデジタル教材・教具に対する示唆について考えてみる。

イギリスのデジタル教材・教具の特徴の1つ目として挙げた「単元の授業計画等に、デジタル教材・教具を用いた指導が体系的に位置づけていること」と、2つ目として挙げた「観察・実験等のワークシートが加筆・修正することができるようになっていること」については、わが国では教科書発行者が発行しているデジタル教科書や教師用指導書に付属しているCD-ROMやDVDに収録することで既に対応がなされている。

3つ目として挙げた「カリキュラムに関係の深い機関や団体等のウェブサイトへのリンクがあること」については、わが国では教科書発行者のウェブサイトでは限定的であるが、他方で指導に有益な教材・教具を作成し、ウェブサイトで公開している外部の機関や団体等も多く見られる。この課題を克服するためには、教科書発行者が外部の機関や団体等のウェブサイトへリンクし、ネットワークを拡げていくことで、教師や生徒がデジタル教材・教具を利用できる機会をさらに増やしていく必要があるだろう。そして、教師は指導において、どのようにデジタル教材・教具を用いるかについても検討していく必要があるだろう。

8. おわりに

イギリスの **Chemistry B (Salters)** では、他のカリキュラムを採択している学校の教師にも教材・教具が利用できるように、2008年のカリキュラム基準の改訂以前からCD-ROMのデジタル指導書が発行されていた。一方、**Chemistry A** では、2008年のカリキュラム基準の改訂以前には指導書が発行されていなかったが、カリキュラム基準の改訂に伴って、CD-ROMのデジタル指導書が発行されている。授業に用いる教材・教具を伝統的に教師が作成してきたイギリスにおいても、ICTの活用が積極的に進められており、今後、さらにその充実が図られていくと考えられる。

附記

本研究の一部は、公益財団法人中央研究所 教科書研究奨励金の助成を受けて行ったものである。

註

- 1) 小学校、中学校、高等学校のデジタル教科書の有無については、各教科書発行者のウェブサイトから調査した。
- 2) A社の学習者用デジタル教科書は、「学校教育法等の一部を改正する法律」（2019年4月1日施行）に基づいて発行されたものではない。
- 3) 本論文では、イギリスとは、主としてイングランドおよびウェールズを指している。
- 4) 分析に用いた教科書発行者が発行したデジタル教材・教具は、以下のものである。

・ Chemistry A

Gent, D. & Ritchie, R. (Ed.). (2008). *OCR A2 Chemistry A Student Book and Exam Cafe CD.*

Ritchie, R. (2009). *OCR Chemistry A2 Teacher Support* [CD-ROM], Heinemann.

・ Chemistry B (Salters)

Denby, D., Harriss, F., Otter, C. & Stephenson, K. (2009). *Salters Advanced Chemistry: Support Pack A2*, Heinemann.

Otter, C. & Saunders, N. (2009). *Interactive Presentations for Salters A2* [CD-ROM], Heinemann.

- 5) HSW は、How Science Works（科学はどのように機能するか）の略である。

- 6) A-レベルでは、1年目のAS-レベル、2年目のA2-レベルの各学年において、1月と6月に学外試験が行われる。

引用文献

- Bennett, J., Gräselb, C., Parchmann, I. & Waddington, D. (2005). Context-based and Conventional Approaches to Teaching Chemistry: Comparing Teachers' Views, *International Journal of Science Education*, 27(13), 1521-1547.
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-based and STS Approaches to Science Teaching, *Science Education*, 91(3), 347-370.
- Burton, W.G., Holman, J.S., Pilling, G.M., & Waddington, D.J. (1995). Salters Advanced Chemistry: A Revolution in Pre-college Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 72(3), 227.
- Fullan, M..(1983). Implementation und Evaluation von Curricula: USA und Kanada. In: U. Hameyer, K.Frey & H. Haft (eds.). *Handbuch der Curriculum-forschung.*, Weinheim: Beltz, 489-499.
- 文部科学省 (2018) 『高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)』, 東山書房.
- 文部科学省 (2019) 『平成 30 年度学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果 (概要)』 .Retrieved from https://www.mext.go.jp/content/20191224-mxt_jogai01-100013287_048.pdf (accessed 2020. 08. 10)
- 文部科学省 (2020) 『教育の情報化に関する手引ー追補版ー』 . Retrieved from https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/mext_00117.html (accessed 2020. 08. 10)
- 内海志典 (2013) 「高等学校化学のデジタル教師用指導書に関する日本とイギリスにおける比較研究」『中研紀要 教科書フォーラム』第 11 号, 18-29.