

生命科学分野における ICT 機器利用教材の開発と  
効果の検証

2013年1月

奥田宏志

生命科学分野における ICT 機器利用教材の開発と  
効果の検証

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

生命産業科学専攻

博士（学術）学位論文

奥 田 宏 志

## 目次

第1章 緒言	1
1.1 はじめに	1
1.2 本研究の目的	2
第2章 実験書と学習指導案による科学的体験活動の実態分析	3
2.1 緒言	3
2.2 方法	4
2.2.1 教科書の実験書の調査・分析	4
2.2.2 学習指導案の調査・分析	7
2.3 結果	7
2.3.1 教科書の実験書の分析結果	7
2.3.2 学習指導案の分析結果	8
2.4 考察	8
第3章 教材の開発	13
3.1 緒言	13
3.2 方法	14
3.2.1 研究対象の選定	14
3.2.2 予備調査	14
3.2.3 暗黙知の抽出	17
3.3 教材の作成	17
3.4 考察	18
第4章 ICT 機器利用教材使用の効果	29
4.1 緒言	29
4.2 方法	30
4.3 結果	30
4.3.1 成功課題数の比較	31

4.3.2	成功生徒数の比較	31
4.3.3	全作業時間の比較	34
4.3.4	教材時間の比較	34
4.3.5	実作業時間の比較	34
4.3.6	ロス材料数の比較	35
4.4	考察	41
第5章 総括		42
引用文献		44
引用URL		48
要約		50
論文業績目録		52
謝辞		57
付録資料		58

## 第1章

### 緒言

#### 1.1 はじめに

学習指導要領が改訂され、学校教育の現場では理数教育のさらなる充実が求められている(文部科学省 2008a, 2008b, 2011). 初等・中等教育における理科教育では、科学的素養、すなわち「自然界の事物・現象を理解するために必要な基礎的な知識」と「自然界の事物・現象に対する科学的な見方、考え方」を、科学的体験活動(観察・実験等)を通じて生徒に修得させ、さらに実際の場面において活用できる能力を身につけさせることを目指している. 次世代を担う人材育成の場面において、こうした理科教育が果たす役割は大きいと考えている.

しかし、高等学校の理科教育に関する調査において、観察・実験が教師主導で、生徒は与えられた手順を行っているだけの状態になっていると指摘されている(文部省 1999, 中央教育審議会 2004, 国立教育政策研究所 2007, 独立行政法人 科学技術振興機構 2010).

また、生命科学分野の観察・実験には、こうした教師主導の「与えられた手順」に従っているだけでは、生徒は納得のいく結果を得られないケースがある. 例えば、「体細胞分裂の観察」は、中学校(理科)・高等学校(生物)の教科書全てに記載されており、中学校の実施割合約70%、高等学校約60%と高く、重要な実験と考えられる(鳩貝 2011, 東京都教職員研修センター 2005). しかし、この実験に必要なプレパラート作成手順には、細胞の固定・解離・洗浄・染色・押しつぶすといった様々な作業が含まれているため、指導者側から最もやりにくい内容と指摘されている. この現状を改善するため、工程を少なくする方法等が開発・実践されているが、これらの実践においても失敗する生徒が10~15%程度おり、その原因として「押しつぶすときに横にずれた」、「押しつぶす力が弱い」といった点が報告されている(川上 加藤 2004, 東京都教職員研修センター 2005, 中武 中山 2006, 米澤ら 2006). このように、生きている素材を扱う生命科学分野の観察・実験では、個体差が生じやすく、また作業にコツが必要とされることもあるため、観察・実験の成否が大きく左右されることになる. 以上より、生徒は、実験書に書かれた手順を知ることではできても、教師が経験で得たコツを得る機会を十分与えられていないと推察される.

こうした経験で得たコツ等は、言語により表現が容易な知識(形式知)とは異なり、言語による表現や他者への伝達が困難な知識であると考えられており、暗黙知と呼ばれてい

る。(Polanyi 1958, 1966, Nonaka and Takeuchi 1995, Spear and Bowen 1999, Leonard and Swap 2005, 森 2005).

アジアの高等教育機関に関する報告では、こうした暗黙知は科学研究や教育において重要な役割を果たしていると考えられており、様々な手法により教師の暗黙知を共有化する試みがなされている(Zhang and Han 2008, Hara ら 2010). 日本においても、科学的知識の理解の点から、暗黙知が注目されている(中央教育審議会 2006, 文部科学省 2008c). しかしながら、日本の初等・中等教育における理科教育や理科実験に関する暗黙知の役割については十分研究されていないのが現状である.

## 1.2 本研究の目的

実際の場面において出会う諸問題を解決する能力は、観察・実験といった課題発見・仮説検証を行う場面において、繰り返し試行錯誤し、自分自身で課題を解決するといった成功体験を得ることで身につくと著者は、考えている.

一方現状では、生徒は生命科学分野の観察・実験に必要とされるコツ等といった暗黙知が十分与えられていないまま、試行錯誤を繰り返している. その結果、十分な成功体験を得られていない状態に陥っているものと推察される.

本研究では、このような現状を克服するため、従来与えていた知識(手順等)に加えて、教師が経験を通して身につけてきた暗黙知を観察・実験活動に取り入れることに注目した. 暗黙知を効果的に提供することにより、質の高い試行錯誤が繰り返され、生徒はより良い成功体験を獲得できると著者は、仮説提示したい.

具体的には、生きた素材を用いる観察・実験に絞り、教科書や学習指導案を用いての観察・実験の活動実態を明らかにし、暗黙知の抽出を試みた. そして、質の高い試行錯誤を可能とする新たな教材・環境を、ICT\*機器を用いて構築し、観察・実験における課題の成功率や作業時間等に対する効果を検証したい.

\* Information and Communication Technology の略. 情報コミュニケーション技術のこと.

## 第2章

### 実験書と学習指導案による科学的体験活動の実態分析

#### 2.1 緒言

初等・中等教育における理科教育で実施される科学的体験活動には、容易なものから高度なものまで様々なものがある。例えば高等学校（生命科学分野）における観察・実験には、素材をそのまま顕微鏡観察するものから、薬品処理、さらに特別な器具・装置（例えば電気泳動装置）を必要とするものまで多種多様なものが含まれている。

しかし、生命科学分野の観察・実験に関する全国調査によると、実施頻度の比較的高い観察・実験項目は「植物細胞の観察」、「原形質流動の観察」、「酵素の実験」そして「体細胞分裂の観察」の順であることが報告されている（鳩貝 2011）。全国的にみると高等学校において実施される観察・実験内容は、教科書に掲載されているベーシックなものであると考えられる。

しかし、この古くから教科書で扱われており、教師による実施頻度が高い「体細胞分裂の観察」は、一方で使う器具の多さや作業手順の煩雑さにより、従来の方法では上手くいかないと報告されている。そのため、実際は生徒が作業を実施しておらず、代替教材（市販のプレパラート）が用いられているといった実態が報告されている（東京都教職員研修センター 2005）。この実態は、想定する結果を得られない観察・実験では、教師はその要因を深く追求することなく代替教材を模索する傾向があるとの指摘通りである（鹿児島県総合教育センター 2004）。

この「体細胞分裂の観察」では、従来の方法、すなわち教科書の実験書に記載されているような一般的な作業手順を行った場合十分な成功体験を得られていないことから、教科書の実験書に作業に関する重要な情報や必要とされるコツ等が記載されていないことが大きく影響していると考えている。

さらに、こういったコツが必要とされる観察・実験の成果は、開始前に行われる教師の説明の仕方にも影響される。例えば、実験書に記載されていない重要情報や作業の動作等は、口頭でまたは演示実験（実演）によって伝えることが多い。一方で、演示実験を一度見ただけでは、何も習得することが出来ないとの報告もある（Sweller 1988, Taylor 1988, Chandler and Sweller 1991, Majerich and Schmuckler 2008）。

こうしたことから、教師が生徒に向けて説明を行う時期や方法等についても検討する必要

があると考えられる。

以上より、本章では「体細胞分裂の観察」が記載されている教科書を収集し、作業に関する重要情報、失敗の原因となりやすい「押しつぶし」作業に関する指示やコツ等の記載状況と水準を確認することを目的とした。

加えて、生徒に対して、いつ・どのように情報や実演を提示し指導しているのかについても確認するため、授業の組み立てをまとめた学習指導案\*を用いて確認することも試みた。

\* 学習指導案とは、授業の組み立て、すなわち授業者名・日時・場所・対象学級等、さらに単元の目標や単元全体の指導計画、本時の展開（授業の展開）、単元の評価等がまとめられたものである。その学習指導案において、もっとも重要な部分は「本時の展開」であり、この部分には、教師が授業を進めていく様子、例えばどのように指導・サポートするのか、さらに時間配分や予想される生徒の活動、使用する器具等がまとめられている。観察・実験に関する学習指導案を用いることで、指導実態を明らかにすることができると考えられる。

## 2.2 方法

### 2.2.1 教科書の実験書の調査・分析

#### (1) 調査対象

中学校の教科書（理科）5点、及び高等学校の教科書（生物基礎）5点の計10点の実験書を対象に調査を行った（表 2-1）。以下は、「体細胞分裂の観察」の作業手順を分類したものである。なお、今回は顕微鏡観察を行う前に行うプレパラート作成に関する作業を扱うこととした。

- ・固定 …植物（タマネギやニンニク等）の種子等を発根させ、その根の先端（根端）を固定液に浸ける。
- ・解離 …根端を解離液に入れ、約60℃で温める。
- ・洗浄 …根端を洗浄液に入れ、固定液・染色液を除去する。
- ・染色 …根端に染色液を滴下する。
- ・押しつぶし …根端の上にカバーガラス等をかぶせ、指で押して細胞を広げる。

表 2-1 調査対象一覧

校種	出版社名	教科書名	
(中)	大日本図書	理科の世界3年 (2012)	(4・大日本・理科922)
(中)	学校図書	中学校科学3 (2012)	(11・学図・理科923)
(中)	啓林館	未来へひろがる サイエンス3 (2012)	(61・啓林・理科926)
(中)	教育出版	自然の探究 中学校理科3 (2012)	(17・教出・理科924)
(中)	東京書籍	新しい科学 3年 (2012)	(2・東書・理科921)
(高)	第一学習社	高等学校 生物基礎 (2012)	(183・第一・生基308)
(高)	実教出版	高校生物基礎 (2012)	(7・実教・生基303)
(高)	啓林館	生物基礎 (2011)	(61・啓林館・生基304)
(高)	数研出版	生物基礎 (2012)	(104・数研・生基306)
(高)	東京書籍	生物基礎 (2012)	(2・東書・生基301)

・(中) は中学の教科書, (高) は高等学校の教科書を示している.

表 2-1 は, 実験書の調査・分析に使用した教科書の一覧を表している.

## (2) 各作業における重要情報の記載状況の調査・分析

各作業に関する重要情報（表 2-2）が、実験書にどの程度記載されているかについて、下記の基準を用いて評価を行った。

- ・固定…「生きている時に近い状態を保存」の記載があれば（○），無ければ（×）とした。
- ・「解離」…「細胞一つ一つが離れやすくする」，「解離時間の長短による影響」の記載が両方あれば（○），どちらか一方は（△），どちらも無ければ（×）とした。
- ・「洗淨」…「染色を阻害する固定液や解離液を除去する」，「洗淨時間の長短による影響」の記載が両方あれば（○），どちらか一方は（△），どちらも無ければ（×）とした。
- ・「染色」…「核や染色体を赤紫色に染めるはたらきがある」，「染色時間の長短による影響」の記載が両方あれば（○），どちらか一方は（△），どちらも無ければ（×）とした。
- ・「押しつぶし」…「細胞を一層に広げる」，「押しつぶす力加減による影響」の記載が両方あれば（○），どちらか一方は（△），どちらも無ければ（×）とした。  
ただし、以下の記述は行動による結果が不明のため（×）に分類した。  
「強く押しつぶす」，「ゆっくり押しつぶす」，「静かに押しつぶす」

## (3) 押しつぶす作業に関する指示の記載状況の調査・分析

押しつぶす作業において、垂直に押さないと根端が横にずれ、細胞の破壊、染色体の切断を引き起こす。よって、押しつぶす方向の指示（垂直）があるかどうかを調べた。

## (4) 作業に必要とされるコツ等の記載の調査・分析

押しつぶし作業の最終目標は、細胞を一層に広げることである。この押しつぶす作業を完了させるタイミングは、例えば、根端の細胞の広がり具合、光にすかしたときの透明度等によって判断することが出来る。こうした、タイミングの見極め方（コツ）の記述があるかどうかを調べた。

## 2.2.2 学習指導案の調査・分析

### (1) 調査対象

学習指導案分析の対象は、各都道府県教育センターHPで公開されている「体細胞分裂の観察」の学習指導案8点とした(2012.8.15時点)。

内訳は東京都1点、新潟県1点、栃木県1点、岐阜県2点、石川県2点、鹿児島県1点である。

### (2) 教師による指導の実態調査・分析

各学習指導案の「本時の展開」部分を中心に、教師による作業開始前の「説明方法」、作業開始後の「机間指導<sup>#</sup>」に関する記載状況を分析した。

<sup>#</sup> 机間指導とは、一斉授業の形態の時、生徒の側まで近寄っていき学習状況にあわせて行う個人指導のことである。観察・実験の際には、グループ(班)で活動していることもあり、数名に対して行う場合もある。

## 2.3 結果

### 2.3.1 教科書の実験書の分析結果

表2-3は、10点の教科書における、各作業で必要とされる重要情報と、押しつぶす作業に関する指示の記載状況を整理したものである。

#### (1) 作業に関する重要情報の記載状況

作業目的や薬品の働きといった重要情報の全てを網羅した教科書は無く、作業の順序だけの記載に留まっていた。

また、押しつぶす力加減については、いくつかの実験書において「静かに」、「強く」等と記載されていた。しかし、素材に応じて押しつぶす力を加減することで組織が一層に広げられるが、そうした説明は示されていなかった。

#### (2) 押しつぶす作業に関する指示の記載状況

押しつぶす方向については、簡単な図や写真を用いて「垂直」と記載されている教科書は3点あった。残りの7点においては、図や写真から方向を推察する必要があった。

### (3) 作業に必要とされるコツ等の記載状況

押しつぶす作業を完了させるタイミングを見極め方（コツ）の記載は無かった。

#### 2.3.2 学習指導案の分析結果

学習指導案分析の結果（表 2-4）から見ると、4 点(E~H)において、「口頭」と「スライド資料」、「演示実験（実演）」を組み合わせで説明するといった記載がされていた。また実験中の「机間指導」については、3 点(F~H)において記載されていた。また、作業に関する説明は、観察・実験前に行われるが、開始後繰り返し説明するといった指導は記載されていないかった。

#### 2.4 考察

本章の調査の結果より、「体細胞分裂の観察」に関する教科書の実験書は、プレパラート作成を行う上で重要な情報は記載不完全で、押しつぶす作業に関する情報・指示も明確でなく、手順のみの記載となっていることが分かった。さらに、押しつぶす作業において要求されるコツ等（暗黙知）に関する記載は見られなかった。次に、生徒は教師の指示通りに作業を進めているが、疑問に思った事を、必要に応じて繰り返し確認できる機会は十分では無いことが明らかになった。このように明らかになった現状では、質の高い試行錯誤を通して、自分自身で課題を解決するといった成功体験を獲得させることは困難であると考えられる。

本章で扱った「体細胞分裂の観察」のプレパラート作成には、5つの作業手順に加え、4種類の試薬を用いる。それらの試薬は相互に影響しあうため（例えば固定液や解離液は染色を阻害する）、反応後に除去する必要がある。また、反応時間の長短により材料の状態（例えば洗浄時間が長ければ材料が固くなる等）に影響がでるため（表 2-2）、材料の大きさや状態によって各作業の反応時間を調節する必要がある。しかし、相互に影響を与える事や反応時間の長短について、教科書の実験書に記載されていないため（表 2-3）、生徒はいわれたままに材料と試薬を順番に指定された時間反応させるだけの活動になっていると考えられる。指示通り行った末にプレパラートが無事完成したとしても、生徒自身が試行錯誤する余地がなかったため、得られる達成感は小さいものになると推察される。

また、プレパラート作成の最終段階において、押しつぶす方向によって成否に大きく影

響がでると思われる。しかし、その情報を生徒が知らない場合、材料を何度提供されても無駄な試行錯誤を繰り返すに留まり、失敗体験のみ積み重なっていく。また、押しつぶしを完了させる判断基準が伝えられていないため、「静かに」・「ゆっくり」といった指示が記載されていても、カバーガラスを割らない程度の意味しかなく、細胞が一層になることにつながらないといえる。

こういった、実験書には記載されていない部分を、実験開始前に口頭で説明されることは、教育現場では良く行われていることである。しかし、必要に応じて質問をする機会が全員に与えられているわけではないため、誤った知識のもとで繰り返し試行錯誤する可能性が否定できない。また、開始前に一度に大量の情報を伝えたとしても、生徒の処理能力を超え、思ったような効果が得られないといった報告もされている (Sweller 1988)。

このような一連の結果から、質の高い試行錯誤を繰り返し、生徒に成功体験を獲得させるためには、重要な情報やコツ等 (暗黙知) を必要に応じて確認できる教材・環境作りが必要であると、著者は考える。

次章においては、上記を実現するための教材作りについて検討していきたい。

表 2-2 「体細胞分裂の観察」における各作業に関する重要情報

作業名	各作業に関する重要情報
固定	固定液 (酢酸, エタノール等) を使うことで, 根端の細胞の構造を 生きている時に近い状態に保つことができる.
解離	解離液 (希塩酸) を使うことで, 根端の細胞を一つ一つ離れやすく することができる. 時間が長いと細胞が破壊され, 染色も阻害さ れる. 短いと根端が固いままとなり, 押しつぶしても細胞が一層 に広がりにくい.
洗浄	洗浄液 (水) を使うことで, 染色を阻害する固定液や解離液を除去 することができる. 時間が長いと根端が固くなり, 短いと除去と 染色が不十分となる.
染色	染色液 (酢酸カーミン等) を使うことで, 核や染色体を赤紫色に染 めることができる. 時間が長いと根端が固くなり, 短いと色が薄 く観察が困難になる.
押しつぶし	押しつぶすことで根端の細胞を一層に広げ, 顕微鏡観察を容易に することができる. 押す力が強いと細胞が破壊され, 弱いと細胞が 重なり観察が困難になる.

表 2-2 は, それぞれの作業「固定」, 「解離」, 「洗浄」, 「染  
色」, 「押しつぶし」に使用する薬品の役割や作業の意味を  
表している.

表 2-3 教科書の実験書における  
「各作業の重要情報」と「押しつぶし作業に関する指示」の記載状況

実験書*	各作業に関する重要情報					押しつぶす作業に関する指示の記載状況
	固定	解離	洗浄	染色	押しつぶし	
KR (中学校)	○	△	×	△	×	押しつぶす方向について「垂直に」と具体的指示有り
GA (中学校)	×	△	×	×	×	
DG (高等学校)	×	×	×	×	×	
JS (高等学校)						具体的な指示無し
KR (高等学校)	○	△	×	×	△	
TS (高等学校)	×	×	×	×	△	
KS (中学校)						具体的な指示無し
DN (中学校)						
TS (中学校)	×	△	×	×	×	
SS (高等学校)						

- \* 教科書会社 KR:啓林館, GA:学校図書, DG: 第一学習社, JS: 実教出版,  
TS: 東京書籍, KS: 教育出版, DN:大日本図書, SS:数研出版
- ・ (中学校) は中学の教科書, (高等学校) は高等学校の教科書を示している.
  - ・ マーク ○: 記載有り, △: 一部記載有り, ×: 記載無し

表 2-3 は, 教科書に掲載されている「体細胞分裂の観察」の実験書における, 各作業の重要情報 (薬品の役割や作業の意味), 押しつぶし作業に関する指示の記載状況を表している.

表 2-4 学習指導書における  
教師による「説明方法」と「机間指導」の記載状況

各都道府県名	説明方法	机間指導
岐阜 1 (A)		
東京 (B)	口頭による説明	記載無し
石川 1 (C)		
石川 2 (D)		
栃木 (E)	口頭による説明＋スライド資料	
岐阜 2 (F)		
新潟 (G)	口頭による説明＋教材提示装置を用いて演示実験	記載有り
鹿児島 (H)	口頭による説明＋生徒の実験台の上で演示実験	

表 2-4 は、各都道府県教育センターHP で公開されている「体細胞分裂の観察」の学習指導案 8 点（東京都 1 点、新潟県 1 点、栃木県 1 点、岐阜県 2 点、石川県 2 点、鹿児島県 1 点）における、教師による作業開始前の「説明方法」、作業開始中の「机間指導」に関する記載状況を表している。

## 第3章 教材の開発

### 3.1 緒言

観察・実験の指導に求められる技能について、生命科学分野担当の高等学校理科教員に対して行ったアンケート調査によると、技能が十分あると思う、ややあると思うと肯定的に回答した教員の割合は、教職5年未満で36%、20年以上30年未満では63%と教職経験が長くなるに従い高くなっている（独立行政法人 科学技術振興機構 2010）。

このように現場での経験を通して、教師としての技能や知識（暗黙知）が蓄積されていくものと推察される。しかし、教師の知識は暗黙的・個人的なものであること（Robertson 2005）、教師は自分の暗黙知を知的財産として守ろうとする傾向があるとの報告より（Zhang 2008）、教師の持つ暗黙知は外に出ていきにくい傾向があると推察される。

こういった、教師の持つ暗黙知を抽出し、伝達可能な状態にし、理科教育の観察・実験といった科学的体験活動に応用させることを目指している。

次に、抽出した暗黙知を伝達可能な状態にするツールとしては、ICT 機器が考えられる。例えば、教育現場において、ICT 機器が学生の実験操作の予習や活動中の理解に役に立つこと（新井ら 2004、奥田 2008）、また動画が生物教育の情報源として生徒に有効な手段であること（Smith and Reiser 2005）、そして生徒が見逃した重要な情報を、ICT 機器であるコンピュータによる再生可能なインタラクティブ映像を提供することにより、生徒はより深い理解をつなぐといった報告がされている（Merkt and Schwan 2013, 2014）。

学校教育の現場において、ICT 機器を一人一台提供し、一斉授業形式から個別学習の形式へと転換することも可能といえる。

本章では、第2章の結果をもとに、以下の考えを反映させた新しい教材を開発することを目的とする。

- (1) 言語化が難しい教師の暗黙知を、図や映像を用いて伝達可能な状態にする。
- (2) 生徒が観察・実験に必要な情報や暗黙知を、ICT 機器を使う事で必要に応じていつでも確認できる学習環境を整える。

## 3.2 方法

### 3.2.1 研究対象の選定

第2章で用いた「体細胞分裂の観察」は、全ての中学校検定教科書に記載されている。そのため、作成した教材の効果を検証する際、被験者である生徒の経験知に差が生じている可能性がある。本章では、このような状況を踏まえ、中学校の教科書には記載されていない観察・実験項目である「巨大染色体：ユスリカのだ腺染色体の観察」を扱うことにした。以下は、その他の選定理由である。

- (1) 「だ腺染色体の観察」は、日本において、高等学校の観察・実験項目として教科書に古くから扱われていること。
- (2) 材料であるユスリカの幼虫（以下 アカムシ）に個体差があること。
- (3) 教師より与えられた手順をこなすだけでは、だ腺の摘出が困難であること。すなわち、教師の暗黙知が要求されること。
- (4) だ腺を摘出し、プレパラートを完成するまでにかかる時間が比較的短いこと。

次に、本章で扱う「ユスリカのだ腺染色体の観察」の内、アカムシからだ腺を摘出し、染色液を滴下するまでの過程を課題とすることにした。

また、この課題達成に至る作業手順を、以下の5つにわけることにした。

- ・ 作業1 (OP1) …スライドガラス上にアカムシを一匹置く。
- ・ 作業2 (OP2) …アカムシの幼虫の頭部をカミソリで胴体と切り離す。
- ・ 作業3-① (OP3-1) …アカムシの胴体からだ腺を押し出す。
- ・ 作業3-② (OP3-2) …だ腺以外のものを取り除く。
- ・ 作業4 (OP4) …だ腺に染色液を滴下する。

以上、作業1～4が完了したプレパラートを「提出課題」と呼ぶことにする。

### 3.2.2 予備調査

どの作業に暗黙知が含まれているのか、また含まれている場合どういった内容なのかを調査するため、高校生11名を統制群と実験群にわけ、予備調査を行った。

調査に用いる教材として、作業手順とそれを説明するいくつかの図や写真を記載したプリントと、主な作業手順を示した動画を準備した。その際、動画は一人一人が必要に応じて

て繰り返しみることができる環境を整えた。

本章の予備調査においては、被験者である生徒が、繰り返し動画を見ることができる環境を提供するために、ICT 機器であるノート PC を用いる事にした。

具体的には、統制群はプリントのみ、実験群はプリントと動画を提供した。作業は全て生徒のみで行い、提出課題を 3 枚提出させた。だ腺摘出の成否は、教師が顕微鏡を用いて判定した。また、両群の被験者に対して、全作業終了後に以下の質問を黒板に記載し回答を得た。

- ・質問項目：最も困難と感じた作業名を答えなさい。

上記の予備調査終了後、両群の成功していた課題数（成功課題数）についてカイ 2 乗検定を行い比較した結果、差は生じなかった（表 3-1）。次に、困難な作業に関しては、11 名中 6 名が作業 3-②を、3 名が作業 2 と回答した。

これらの調査結果より、作業手順を動画で提供しても、教師の暗黙知が十分に提供されない場合に、成功課題数向上に貢献しないことが判明した。

以上より、アカムシからだ腺を取り出す作業には、教師の暗黙知が要求されること、そして、暗黙知はだ腺以外のものを取り除く作業（作業 3-②）、アカムシの頭部を切断する作業（作業 2）に含まれていると推察された。

表 3-1 提出課題数と成功課題数の比較

	提出課題数	成功課題数	SD
統制群 (N=5)	15	5	n. s
実験群 (N=6)	18	7	

※単位は枚

表 3-1 は、予備調査において、統制群 (N=5) と実験群 (N=6) から提出された課題数 (提出課題数) と、成功していた課題数 (成功課題数) を表している。両群の成功課題数についてカイ 2 乗検定 (df=1) を行い比較した結果、有意差は生じなかった。

### 3.2.3 暗黙知の抽出

「アカムシからだ腺を摘出し、染色液を滴下するまでの過程」の作業手順（作業 1：スライドガラス上にアカムシを一匹置く～ 作業 4：だ腺に染色液を滴下する）に含まれる暗黙知を分析・抽出する方法として、工業界の技能分析に用いられている訓練用技能分析手法 SAT (Skill Analysis Methods for Training) を用いることにした (森 2005)。この手法では、暗黙知の抽出にインタビューを用いている。

教師の経験知はしばしば暗黙的であり、インタビュー形式がこういった暗黙知を取り扱う上で有効であると報告されている (Meijer ら 1999, Zanting ら 2003)。生命科学分野の作業におけるコツを抽出する際においても、インタビュー形式を用いることが有効であると考え、SAT による抽出を試みた。なお、以下は SAT による分析・抽出法の概略である。

- (1) 熟練者 (本研究では、だ腺摘出に関する暗黙知を有するベテラン教師) の全ての動作・作業を動画として記録する。
- (2) 記録された動作・作業を見ながら、質問者が熟練者にインタビュー形式で暗黙知を引き出していく。
- (3) 抽出された暗黙知を、数値表現や図などを用いて伝達可能な状態にする。

### 3.3 教材の作成

以下の(1)～(5)の流れに従って、インタビュー形式により、熟練者から聞き出した作業の流れ、ポイントやコツといった部分を工程別技能分析表にまとめた。その後、図や動画を作成した。

- (1) 第一に、作業の全体像をつかませるページを作成する。作業のねらいや大まかな流れ、完成像、作業の標準時間などのアウトラインを明確に示す。
- (3) 第二に、作業環境をつかませるページを作成する。道具や材料、設備といった作業条件を示す。
- (3) 第三に、工程別の作業について工程別技能分析表を用いて、各作業のポイントを整理する (表 3-2)。
- (4) 工程別技能分析表にまとめたポイントが明確に伝わるように、数値表現を用いて図を作成する。

(5) 暗黙知を含む作業動画の作成は、短い時間で最大の効果が得られる動画を目指す。

インタビューで得た情報をもとに、熟練者の作業意図が伝わるような動画作りを行う。

以上の方法より、「アカムシからだ腺を摘出し、染色液を滴下するまでの過程」を含む ICT 機器利用教材（全 8 ページ：図 3-1 ～ 図 3-8）を完成させた。この新しい ICT 機器利用教材の再生には、タブレット PC を採用した。操作性が優れている事と、実験台のスペースを大きくとらない事による。

### 3.4 考察

インタビュー形式により暗黙知を抽出し、図や動画を用いて表現することで他者へ伝達可能な状態にすることができた。

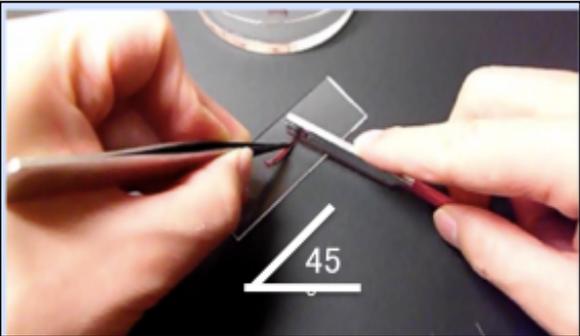
また、それらを再生する機器としてタブレット PC を用いることで、実験台のスペース節約と、必要に応じて映像や動画を確認できる環境を整える事が可能となった。

生徒にとって、日頃見ることも触ることもない幼虫を、普段使う事の少ないカミソリで切断する事は容易ではないと考えられる。一方で、指導する教師にとっては、観察・実験の指導経験を通して成功体験を有しているため、比較的容易に切断できてしまう。このように、経験豊富なベテラン教師は、こういった切断に必要とされるコツを既に持っており、無意識の内に幼虫に刃をあて切断していると考えられる。こういった指導する側と指導を受ける側とのギャップを埋めないまま作業手順を伝えたとしても、より良い指導を生徒に提供する事は困難といえる。その困難さは、本章の予備調査において、単に作業手順を撮影した動画では、生徒の課題成功率向上に貢献しなかったことから明らかになったといえる。暗黙知を表現するツールとして、図や写真、動画といったものが有効であるとの報告もある (Zhang and Han 2008)。しかし、動画を作成するベテラン教師自身が作業に必要とされる暗黙知に気づいていないため、効果的な動画にならなかったのが原因であると考えている。

インタビュー形式では、ベテラン教師が無意識に行っていた行動、例えば幼虫にあてるカミソリの刃の角度等を細かく聞き取られる。そうして無意識下で行われた行動に、具体的な数値表現を付加しながら、図や動画の完成に落とし込んでいく。そういったものを集合させ ICT 機器利用教材が完成したと考えている。

次章において、この ICT 機器利用教材の効果を、生徒に試行し検証する。

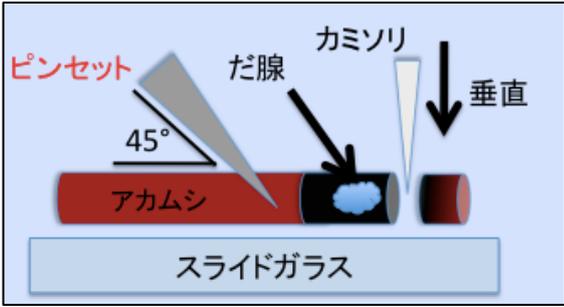
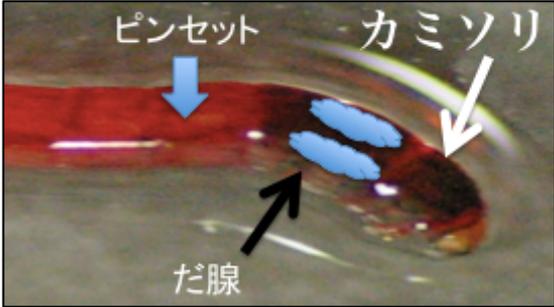
表 3-2 工程別技能分析表

工程別技能分析表			
工程	主な作業内容	具体的な行動の仕方	行動のポイント 判断の基準・数量化
カミソリで頭部を切り落とす.	幼虫の頭部を切断する.	利き手にカミソリ, もう一方の手にピンセットを持つ.	<p>ピンセットで幼虫の黒い部分と赤い部分の境界付近を押しつぶさない程度にしっかりとつまむ.</p> <p>スライドガラスは自分に対して, 約 <math>45^\circ</math> に傾ける.</p>  <p>ピンセットを幼虫に対して <math>45^\circ</math> の角度にあてる. 理由: 水平だとつまみにくい. 垂直だと作業しにくい.</p>

次ページに続く

表 3-2 は, 作業 2 (アカムシの幼虫の頭部をカミソリで胴体と切り離す) についての工程別作業分析表である. 分析表には, 熟練者の行動のポイントや, 数値表現を用いた写真・図が記載されている.

前頁の続き

工程別技能分析表			
工程	主な作業内容	具体的な行動の仕方	行動のポイント 判断の基準・数量化
カミソリで頭部を切り落とす。	幼虫の頭部を切断する。	切る  頭部が胴体から離れるまで切る。	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・利き手側にある頭部（下の図の白い矢印部分）をカミソリで切断する。</li> <li>・カミソリの刃は、スライドガラスに垂直に。</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>・切断に失敗した場合は、新しいスライドガラスを使い、作業1に戻る。</li> </ul>

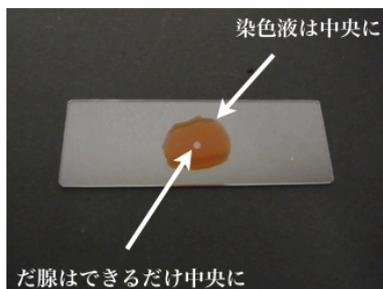
## アカムシのだ腺染色体観察用のプレパラート作成

(作業1～4)

### 作業のねらい

アカムシのだ腺染色体を観察するため、だ腺細胞をスライドガラスに取り出しプレパラートを作成する。

完成品 (作業1～4)



### 作業の大まかな流れ

- ・作業1：スライドガラス上にアカムシを1匹置く。
  - ・作業2：カミソリで頭部を切り落とす。
  - ・作業3：だ腺を分別する。
    - 3-①アカムシから、だ腺を押し出す
    - 3-②だ腺以外のものを取り除く
- ※ポイント だ腺が透明で見分けにくいので、よく観察する。
- ・作業4：染色液をかける。

### 提出方法

- ・作業1～4を繰り返し、染色液をかけたスライドガラスを**3枚提出する**。
- ※作業の最大時間は**30分**。

図3-1 ICT 機器利用教材の画面 (ページ1：全体像)

図3-1は、ICT 機器利用教材の画面 (ページ1：全体像) を表している。

作業のねらいや大まかな流れ、完成像、提出方法、そして作業の標準時間が示されている。

**①道具**

A:スライドガラス (10枚)

B: 染色液 (酢酸オルセイン溶液10ML)

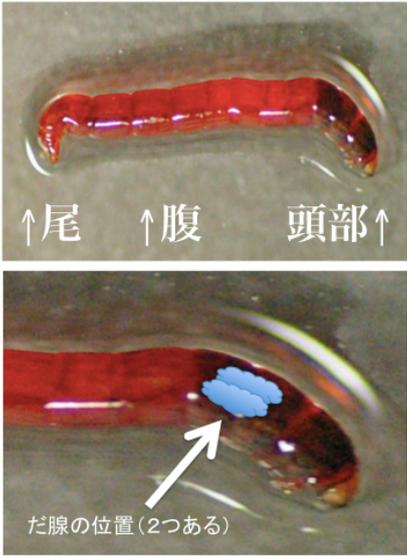
C: 扇型ろ紙 (5枚)

D:カミソリ (1本) 刃を直接素手で触らない。

E:ピンセット (2本) 先がとがっている。

F:アカムシ (10匹)

**②材料 アカムシ**



↑尾 ↑腹 頭部↑

だ腺の位置(2つある)

※だ腺は、実際は透明な色をしている。

2

図3-2 ICT 機器利用教材の画面 (ページ2:作業環境)

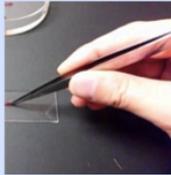
図3-2は、ICT 機器利用教材の画面 (ページ2) を表している。作業環境 (道具や材料といった作業条件) が示されている。

## 作業をしよう

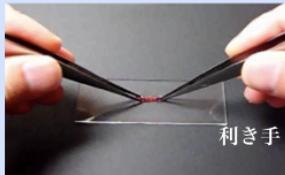
作業1：スライドガラス上にアカムシを1匹置く

### ポイント

- 動きの鈍いアカムシを選ぶ。
- ピンセットは下のように持つ。
  - 注：ピンセットの先はとがっているので突き刺さないように気をつける。

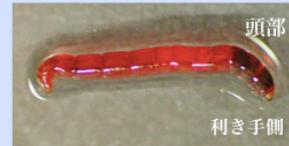


- スライドガラスの中央に頭部を利き手側に置く。



### ポイント

- 2つのピンセットで頭部（黒い部分）と尾を軽くつまみ、胴の部分が自然な直線状になるように整える。



- つまむ強さ＝ [アカムシがつぶれない程度]
- アカムシの胴を自然な直線状にする。  
(頭部と尾部は丸まっても構わない)

動画 (再生は中央をタッチ。再度見るときも同様)

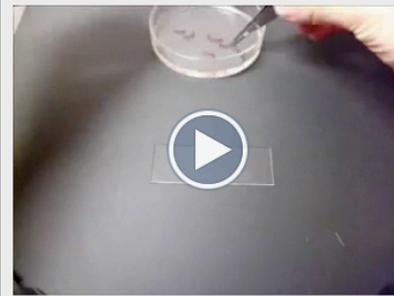


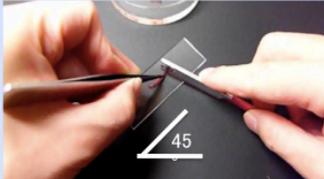
図3-3 ICT 機器利用教材の画面 (ページ3：作業1)

図3-3は、ICT 機器利用教材の画面 (ページ3：作業1 スライドガラス上にアカムシを一匹置く) を表している。左側から順に、アカムシを選び、ピンセットを用いて置くまでの流れが示されている。右下には、作業1に関する動画が組み込まれている。

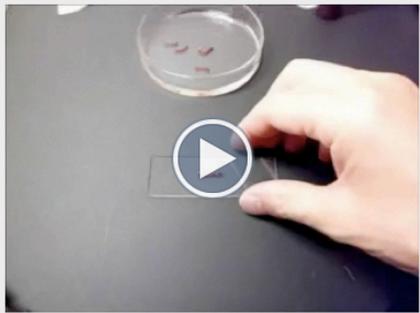
### 作業2：カミソリで頭部を切り落とす

**ポイント**

- 利き手にカミソリ，もう一方の手でピンセットを下のように持つ。
- 注：カミソリの刃の前や下に手を置かない。
- スライドガラスは自分に対して約45°に傾ける。

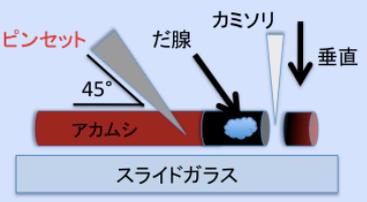


動画（再生は中央をタッチ。再度見るときも同様）



**ポイント**

- ピンセットでアカムシの黒い部分と赤い部分の境界付近を押しつぶさない程度にしっかりとつまむ。
- **ピンセットの角度は45度。**  
(水平だとつまみにくい。垂直だと作業しにくい。)



- 利き手側にある頭部（下の白い矢印部分）をカミソリで切断する。
- カミソリの刃はスライドガラスに垂直に。
- 切断に失敗した場合は、新しいスライドガラスを使い、作業1に戻る。

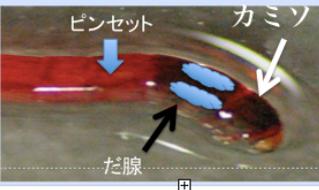


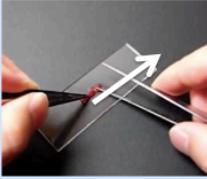
図3-4 ICT 機器利用教材の画面（ページ4：作業2）

図3-4は、ICT 機器利用教材の画面（ページ4：作業2 アカムシの幼虫の頭部をカミソリで胴体と切り離す）を表している。左側から順に、カミソリを用いて頭部を切断するまでの流れが示されている。左下には、作業2に関する動画が組み込まれている。

**作業3：だ腺の分別をする**  
**3-①：アカムシから、だ腺を押し出す。**

**ポイント**

- 利き手でもつピンセット先端の側面で、アカムシ胴体を進行方向に対してやや斜めにして。
- ピンセットで胴体を固定しながら。

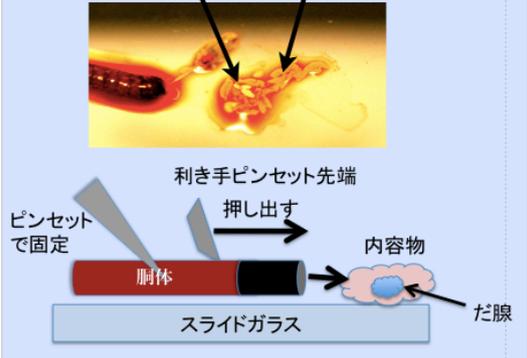


**動画**（再生は中央をタッチ 再度見るときも同様）



**ポイント**

- 胴体の半分程度の内容物が出た時点で止める。
- 内容物=だ腺 と 脂肪体+消化管



- 内容物の押し出しに失敗した場合は、新しいスライドガラスを使い、作業1に戻る。

5

図3-5 ICT 機器利用教材の画面（ページ5：作業3-①）

図3-5は、開発したICT 機器利用教材の画面（ページ5：作業3-① アカムシの胴体からだ腺を押し出す）を表している。左側から順に、カミソリを用いて胴体の内容物を押し出すまでの流れが示されている。左下には、作業3-①に関する動画が組み込まれている。

### 作業3：だ腺の分別をする

#### 3-②：だ腺以外のものを取り除く

**ポイント**

- スライドガラスを持ち上げ、扇型ろ紙を後ろで動かしながらだ腺を見分ける。
- 白の背景越しに見ると良い。

動画（再生は中央をタッチ。再度見るときも同様）

**ポイント**

- だ腺＝透明で矢じり形または三角形（ちぎれていることもある）
- 脂肪体＝不透明で乳白色。

- だ腺以外のものをろ紙で除去する。
- だ腺が見つからない場合は、新しいスライドガラスを使い、作業1に戻る。
- 不要な胴体は、中央部をピンセットでつまみシャーレに移動する。
- 水分が残っている場合、ろ紙で吸い取る。  
染色液の濃度が低くなるので。  
除去理由：脂肪体や消化管があると、  
①カバーガラスをかけた時気泡ができやすい  
②染色液をはじくため、染まりにくくなる。

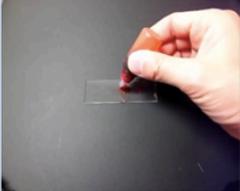
図3-6 ICT 機器利用教材の画面（ページ6：作業3-②）

図3-6は、ICT 機器利用教材の画面（ページ6：作業3-② だ腺以外のものを取り除く）が示されている。左側から順に、だ腺の見分け方、だ腺以外のものを取り除くまでの流れが示されている。左下には、作業3-②に関する動画が組み込まれている。

**作業4：染色液をかける**

**ポイント**

- だ腺の上からポリ滴ピンで2滴程度。



- 2滴（スライドガラス上でこの程度）



**ポイント**

- だ腺の5mm程度上から。
- 高い位置からかけると横に広がるから。
- 滴下した量が多い場合には、左の写真の程度になるよう紙で拭き取る。

**動画**（再生は中央をタッチ。再度見るときも同様）



**次のページ（提出方法）**

7

図3-7 ICT 機器利用教材の画面（ページ7：作業4）

図3-7は、開発したICT 機器利用教材の画面（ページ7：作業4 だ腺に染色液を滴下する）を表している。左側から順に、だ腺に染色液を滴下するまでの流れが示されている。右下には、作業4に関する動画が組み込まれている。

## 提出方法

### ポイント

- 作業1～4を繰り返し、完成したスライドガラス3枚をトレイに提出。(トレイは動かさない)
  - スライドガラスを傾けると染色液が垂れる。
- 完成した順番に写真のように、トレイに置く。
- 作業の最大時間は30分。
- 与えられた道具の範囲で行う。

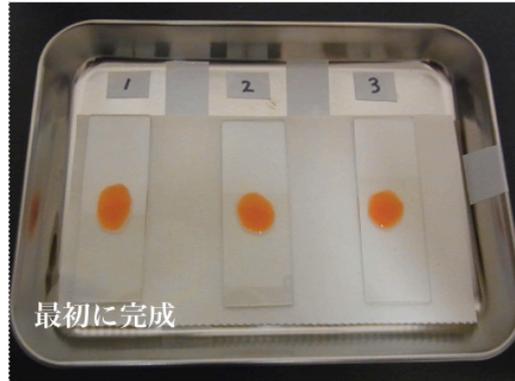
田

- トレイに3枚スライドガラスを置いた後、担当に作業が終わったことを知らせる。

田



作業終了です。



8

図3-8 ICT 機器利用教材の画面 (ページ8 : 提出方法)

図3-8は、ICT 機器利用教材の画面 (ページ8 : 提出方法) を表している。完成した課題の提出方法と作業終了時に関する注意事項が示されている。

## 第4章

### ICT 機器利用教材使用の効果

#### 4.1 緒言

一斉授業の形態では、教師は大勢の生徒の状況を把握し、観察・実験を安全に運営しなければならない。そういった状況において、生徒一人一人が行った成果物（例えば作成したプレパラートの完成度）をその場で評価することは難しいといえる。通常は実験プリント・ワークシートを配布し、スケッチや実験結果を記入・提出させることが多い。そして、提出されたものを授業後に見ることで、実施された観察・実験の様子を知る事が可能となる。

一方で、実験室の各実験台に一台の無線 LAN ノート PC を設置し、実験に必要な情報の検索に使用、さらに実験器具の操作ガイドを入れておく事で、教師に頼らず生徒に自主的に解決させる実践例も報告されている(新井ら 2004)。このように、ICT 機器の普及に伴い、指導する教師の負担を減らす様々な取り組みが行われている。

また、タブレット PC とプロジェクターを接続することで、板書内容を黒板に投影し、板書に使っていた時間を机間指導にあてるといった指導や、電子黒板を用いて生徒同士の対話を促すといった積極的な指導への応用も報告されている（東京都教職員研修センター 2010、中橋ら 2010）。

本研究の第3章で開発した ICT 機器利用教材は、従来の手順や、それを単に動画にしたものを生徒に提供するのではなく、観察・実験に必要な情報や教師の持つ暗黙知を含む映像・動画を提供することで、質の高い試行錯誤を体験できる環境作りを目指している。

本章では、この ICT 機器利用教材の効果の検証を、以下の6点について行った。

- ・ 成功した課題数（成功課題数）
- ・ 課題が1枚以上成功した生徒の数（成功生徒数）
- ・ 全課題を完了するまでの時間（全作業時間）
- ・ 実験書を見る・読む時間（教材時間）
- ・ 各作業を行う時間（実作業時間）
- ・ 課題提出に使用しなかった材料数（ロス材料数）

## 4.2 方法

高校生 67 名を対象に調査を実施した。また統制群と実験群の被験者の等質性を確保するように配慮した。調査は統制群 35 名を 5 グループ、実験群の 32 名を 4 グループに分けて実施した。

統制群の生徒は、教材として教科書に掲載されている「だ腺染色体の観察」の実験書と同程度の内容のものを使用し、実験群の生徒は ICT 機器利用教材を使用した（一人一台のタブレット PC を配布した）。課題は、「アカムシからだ腺を摘出し、染色液を滴下するまで」の過程とした。

検証の進め方は次の通りである。

- ・ 生徒を一斉に着席させ、開始の提示をした。終了は生徒本人の自己申告とした。
- ・ 使用材料数(頭部を切り離す作業を実施したアカムシの数)は最大 10 匹までとした。
- ・ 提出課題数は 3 枚とし、提出された順番に 1～3 の番号を割り振りした。
- ・ 生徒は一人で全作業を行い、教師は作業の判断に関わる質問には対応しなかった。
- ・ 使用する教材以外の器具（ピンセット数等）は両群ともに同一にした。
- ・ 同じ教室で両群が作業をする場合は、会話・情報交換はできないようにした。
- ・ 提出課題の成否は、教師が判断した。
- ・ 使用材料数の内、提出に使用した材料数（提出使用材料数）と、提出に使用しなかった材料数（ロス材料数）を計測した。
- ・ 課題を行う作業時間は約 30 分とした。
- ・ 作業を被験者毎にビデオカメラにより記録した。
- ・ 各作業にかかった時間は、記録映像をもとにストップウォッチにより計測した。

## 4.3 結果

調査結果の分析にあたり、以下の生徒は除外することとした。その結果、統制群、実験群ともに被験者である生徒数は 28 名となった。

- ・ 全ての作業をビデオカメラで撮影できなかった生徒
- ・ 作業をリタイヤした生徒
- ・ 使用材料数が 10 匹を超えた生徒
- ・ 提出課題を 3 枚終了できなかった生徒
- ・ 教師の指示に従わなかった生徒

#### 4.3.1 成功課題数の比較

表 4-1 は両群の提出課題数と成功課題数の比較を表している。実験群の成功課題数は、統制群と比べると多いことが分かる。

両群の提出課題数と成功課題数の比についてカイ 2 乗検定 ( $df=1$ ) を行ったところ、1% 水準で有意差が認められた。従って ICT 機器利用教材は成功課題数の増加に貢献したと指摘できる。

#### 4.3.2 成功生徒数の比較

図 4-1 は、両群の作業進行に伴う成功生徒数の比較を表している。実験群において、作業進行に伴い成功生徒数が増加していることがわかる。次に、両群の成功生徒数について、それぞれ比率の差の検定を行ったところ、提出課題 2 では 5%水準、提出課題 3 では 1%水準で有意差が認められた。以上より、作業進行に伴い、ICT 機器利用教材が成功生徒数増加に貢献したと指摘できる。

表 4-1 提出課題数と成功課題数の比較

	提出課題数	成功課題数	SD
統制群 (N=28)	84	28	
実験群 (N=28)	84	48	**

※単位は枚

\*\*：  $p < 0.01$

表 4-1 は、統制群 (N=28) と実験群 (N=28) の提出した課題数 (提出課題数) と、成功していた課題数 (成功課題数) を表している。両群の提出課題数と成功課題数の比についてカイ 2 乗検定 ( $df=1$ ) を行ったところ、1% 水準で有意差が認められた。

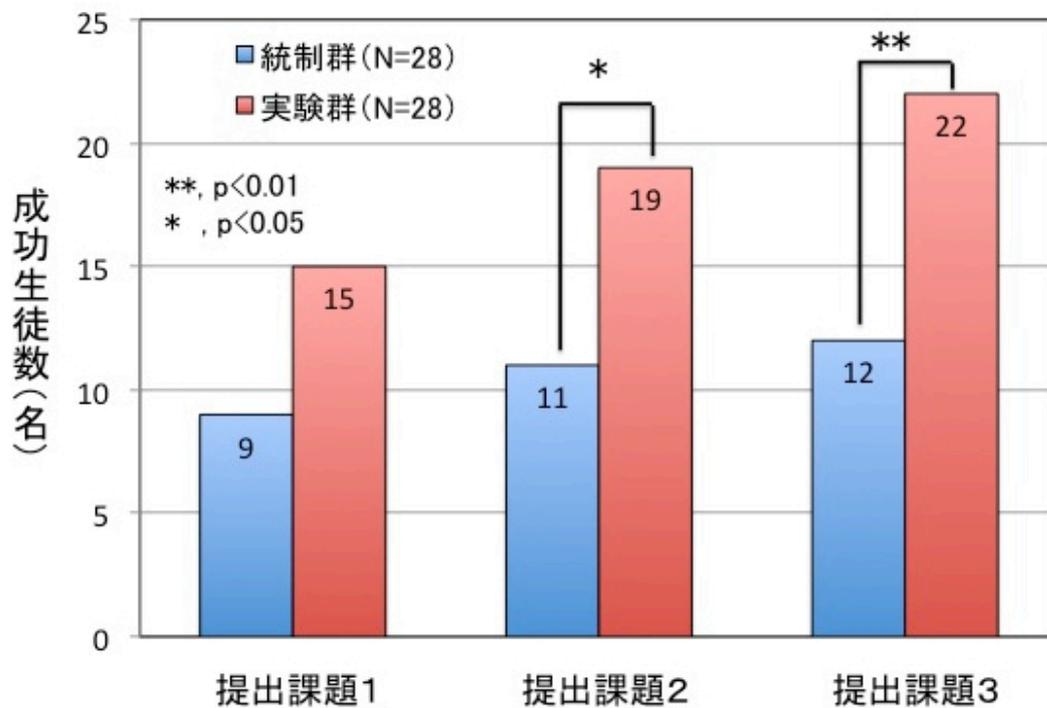


図 4-1 成功生徒数の比較

図 4-1 は、統制群 (N=28) と実験群 (N=28) の作業進行に伴う 1 枚以上成功した生徒数 (成功生徒数) の比較を表している。実験群において、作業進行に伴い成功生徒数が増加していることがわかる。

両群の成功生徒数について、それぞれ比率の差の検定を行ったところ、提出課題 2 では 5% 水準、提出課題 3 では 1% 水準で有意差が認められた。

#### 4.3.3 全作業時間の比較

図4-2は、両群の全作業時間、教材時間及び実作業時間について比較を行ったものである。両群の全作業時間(統制群 1290 秒, 実験群 1383 秒)について、Mann-Whitney 検定を行ったところ、有意差は認められなかった。一方で、両群の実作業時間と教材時間の比についてカイ2乗検定 (df=1) を行ったところ、1%水準で有意差が認められた。

このことから、ICT 機器利用教材は、全作業時間の減少に貢献できなかった。また、実験群では、ICT 機器利用教材を見る・読む時間の割合が高いことが判明した。

#### 4.3.4 教材時間の比較

図4-3は、両群の教材時間の比較を表している。初期の作業において、実験群の教材時間は統制群よりかなり長い。しかしながら、作業進行に伴い、その差は無くなっていった。両群の提出課題1に要した教材時間(統制群 32 秒, 実験群 107 秒)について、Mann-Whitney 検定を行ったところ、1%水準で有意差が認められた。このことから、生徒は、作業初期においてICT 機器利用教材にある情報のうち、課題の達成に重要なものを選び出すことに時間がかかっていると考えられる。

#### 4.3.5 実作業時間の比較

図4-4は、両群の実作業時間の比較を表している。初期の作業において、実験群の実作業時間は統制群より長い。しかしながら、作業進行に伴い、その差は無くなっていった。両群の提出課題1に要した実作業時間(統制群 185 秒, 実験群 249 秒)について、Mann-Whitney 検定を行ったところ、1%水準で有意差が認められた。

次に、統制群の実作業時間は、作業進行に伴う減少は見られなかった(185 秒 - 181 秒)。一方、実験群では減少が確認された(249 秒 - 185 秒)。実験群におけるこれらの実作業時間の違いを調べるため、提出課題1の実作業時間(249 秒)と提出課題3の実作業時間(185 秒)についてWilcoxon 検定を行ったところ、1%水準で有意差が認められた。このことにより、両群の実作業時間の違いは、作業初期のみにおいてだけだということが分かった。

次に、作業初期における実作業時間の違いの原因を調べるために、両群の提出課題1と提出課題3における作業項目毎(作業1~4)の実作業時間を求めた。(図4-5)

これらの時間構成の違いを調べるため、両群についてWilcoxon 検定を行ったところ、実験群の作業3-②について1%水準で有意差が認められた。このことから、実験群において

作業進行に伴い作業3-②（だ腺以外のものを取り除く）の実作業時間が減少したと指摘できる。このことにより、ICT 機器利用教材に含まれる動画を見ることにより、だ腺を分別する作業に特有の暗黙知を、生徒は獲得できたと推察される。

#### 4.3.6 ロス材料数の比較

表4-2は両群の提出に使用した材料数（提出使用材料数）と課題提出に使用しなかった材料数（ロス材料数）の比較を表している。実験群のロス材料数は、統制群と比べると少ないことが分かる。両群の提出使用材料数とロス材料数の比についてカイ2乗検定(df=1)を行ったところ、1%水準で有意差が認められた。従ってICT 機器利用教材はロス材料数の減少、すなわち無駄な試行錯誤回数減少に貢献したと推察される。

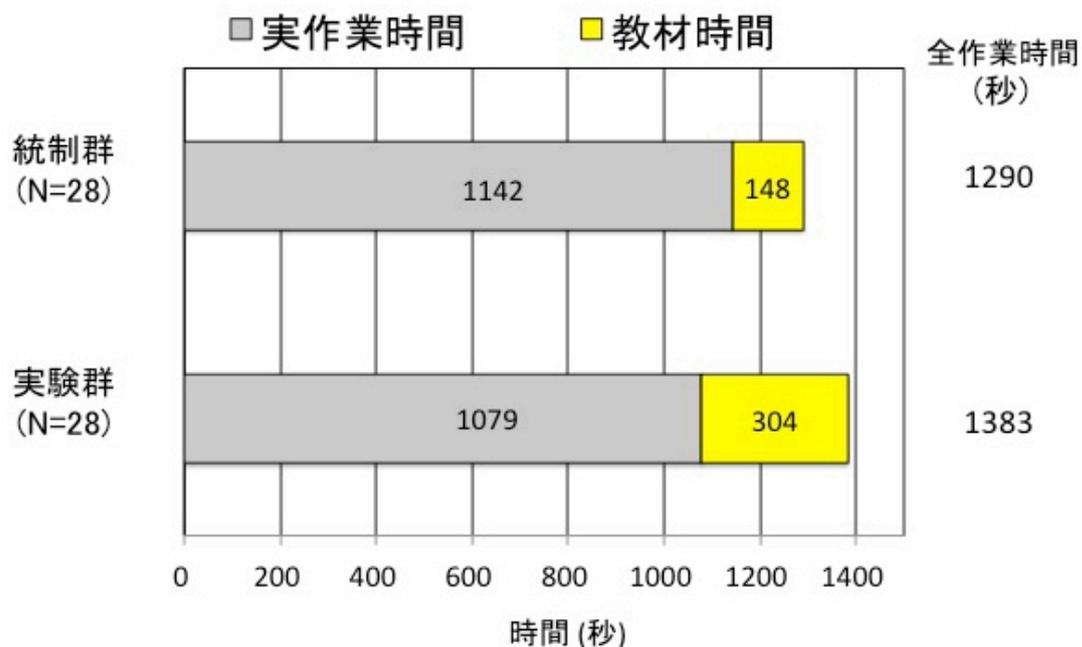


図 4-2 全作業時間，教材時間，実作業時間の比較

図 4-2 は、両群の全作業時間 (秒)，教材時間 (秒) 及び実作業時間 (秒) について比較を表している。

両群の全作業時間(統制群 1290 秒，実験群 1383 秒)について、Mann-Whitney 検定を行った結果、有意差は認められなかった。

両群の実作業時間と教材時間の比についてカイ 2 乗検定 (df=1) を行ったところ、1%水準で有意差が認められた。

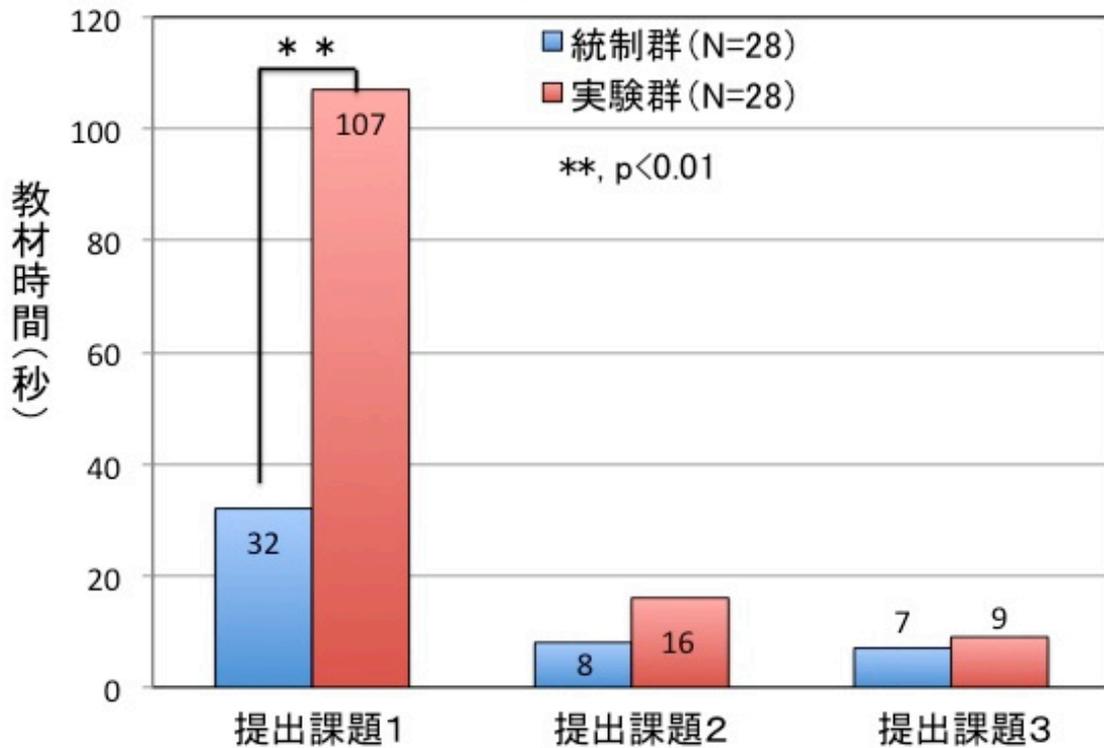


図 4-3 教材時間の比較

図 4-3 は、統制群 (N=28) と実験群 (N=28) の教材時間 (秒) の比較を表している。両群の提出課題 1 に要した教材時間 (統制群 32 秒, 実験群 107 秒) について, Mann-Whitney 検定を行ったところ, 1%水準で有意差が認められた。

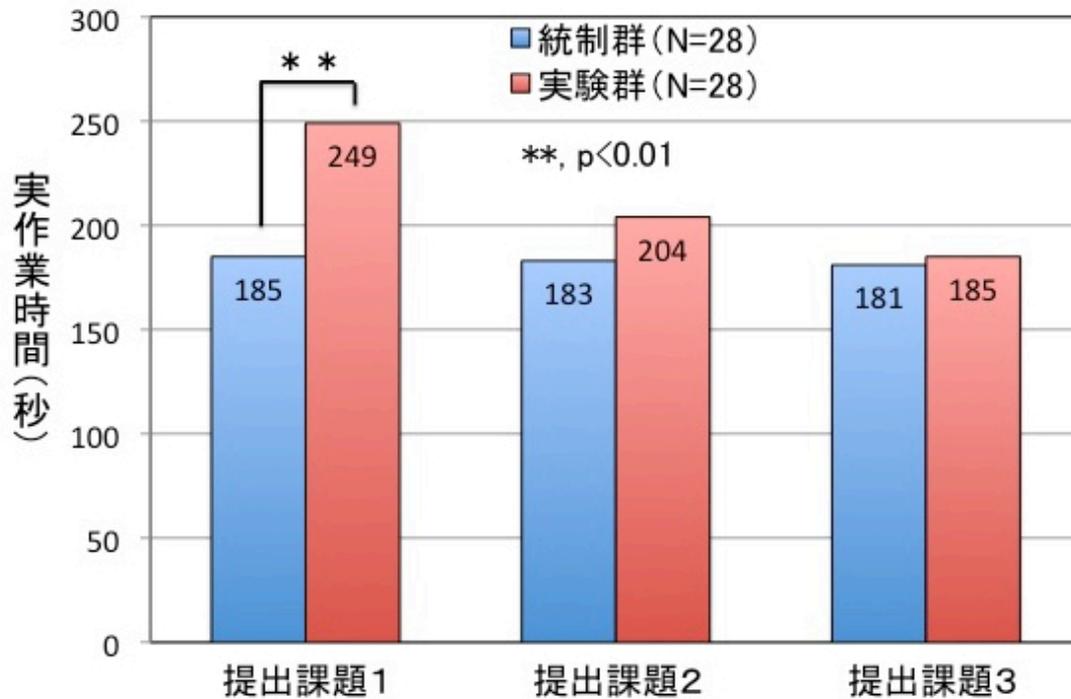


図 4-4 実作業時間の比較

図 4-4 は、統制群 (N=28) と実験群 (N=28) の実作業時間 (秒) の比較を表している。

両群の提出課題 1 に要した実作業時間(統制群 185 秒, 実験群 249 秒)について, Mann-Whitney 検定を行ったところ, 1%水準で有意差が認められた。

実験群における実作業時間の違いを調べるため, 提出課題 1 の実作業時間(249 秒)と提出課題 3 の実作業時間 (185 秒) について Wilcoxon 検定を行ったところ, 1%水準で有意差が認められた。

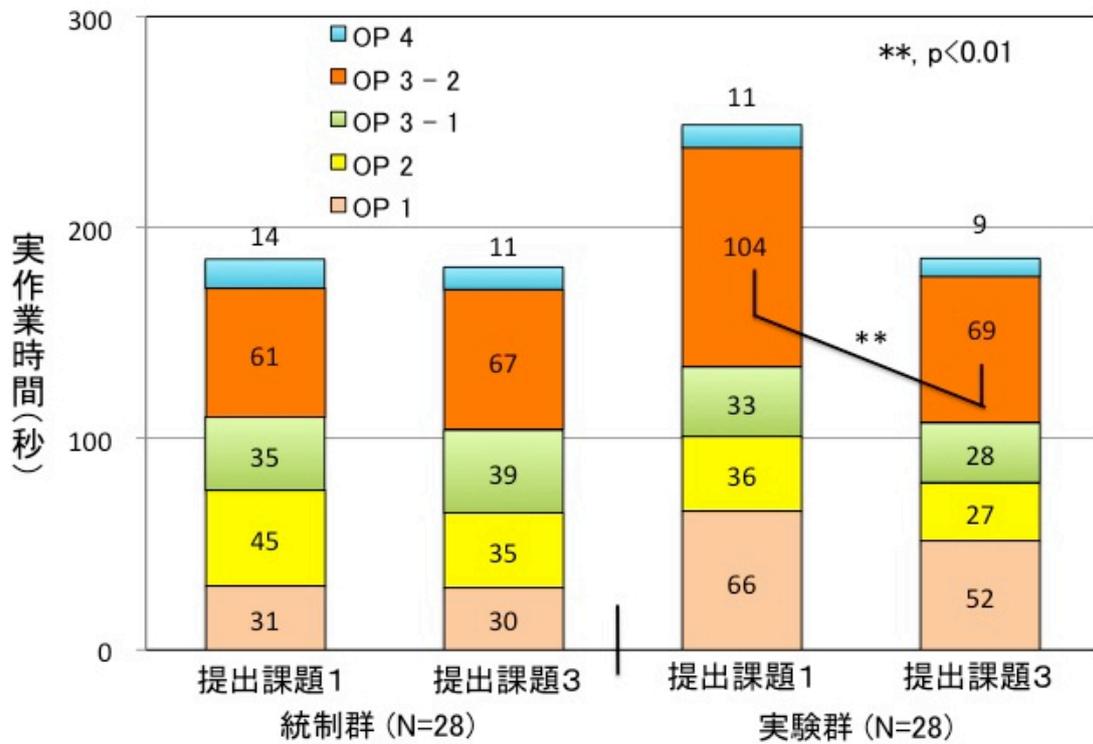


図 4-5 両群の提出課題 1 と提出課題 3 における  
作業項目毎（作業 1～4）の実作業時間比較

図 4-5 は、統制群 (N=28) と実験群 (N=28) の提出課題 1 と提出課題 3 における作業毎（作業 1～4）の実作業時間（秒）の比較を表している。両群の実作業時間の構成の違いについて Wilcoxon 検定を行ったところ、実験群の作業 3-②について 1%水準で有意差が認められた。

表 4-2 両群の提出使用材料数とロス材料数の比較

	提出使用材料数	ロス材料数	SD
統制群 (N=28)	84	116	**
実験群 (N=28)	84	62	

※単位は匹

\*\*：  $p < 0.01$

表 4-2 は、統制群 (N=28) と実験群 (N=28) の提出に使用した材料数 (提出使用材料数) と課題提出に使用しなかった材料数 (ロス材料数) の比較を表している。

両群の提出使用材料数とロス材料数の比についてカイ 2 乗検定 (df=1) を行ったところ、1%水準で有意差が認められた。

#### 4.4 考察

本章では、インタビュー形式で抽出した暗黙知を、操作性の高い ICT 機器で必要に応じて繰り返し確認出来る環境を整備した。そして、この ICT 機器利用教材を用いることで、課題の成功率向上や無駄になる材料数削減といった改善が確認できた。実験群における高い成功率は、暗黙知が含まれた教材を確認することによって獲得した知識・技能が効果的に活用され、適切な判断が継続して行われたためと推察される。加えて、無駄になる材料数が削減したことについては、無駄な動きや失敗が少なくなったからと考える。

以上より、ベテランの持つ暗黙知を教材に効果的に融合させることにより、無駄な試行錯誤の回数が減り、質の高い成功体験を獲得できる環境を実現することが可能となった。

反面、作業初期において、教材に含まれる映像や動画を見る時間がかかることがわかった。そのため、全作業時間削減にはつながらなかった。しかし、それは作業に追われるのではなく、教材の情報を適切に選択しながら、自ら考え工夫しながら作業している結果ととらえることができる。そして、後期の作業では、その知識・技能の習得の成果が結実し、最終的に全作業時間では統制群とほぼ同じになったと推察できる。

各教科・科目の特性に合わせた教材を開発・実践する上で、ICT 機器を有効に活用することが求められている(文部科学省 2008c, 2008d)。学校教育現場においても ICT 機器(電子黒板, 実物投影機)の導入が年々進められている(文部科学省 2012)。こうした ICT 機器の導入に伴い、クラス全体で観察・実験に関するビデオを視聴する指導に加え、ICT 機器を用いて生徒個々が実験を行う指導、クラス全体に対する電子黒板を使った指導、そして生徒個々にデジタル教科書を与える指導へと発展しつつある。ICT 機器を用いることで、全体から個々に対する指導へと多様な可能性が生まれてきたが、実際の教育現場が追いついていない面があり、現実には全国的な普及にまでは至っていないと考えられる。こうした環境改善及び適正な資源の投資が今後の課題であると考ええる。

## 第5章 総括

初等・中等教育における理科教育では、「自然界の事物・現象を理解するために必要な基礎的な知識」と「自然界の事物・現象に対する科学的な見方、考え方」を、観察・実験といった科学的体験活動を通じて生徒に修得させ、実際の場面において出会う諸問題を解決する能力を身につけさせたいと考えている。

しかし、実際には教師主導で与えられた手順を行うだけの、シナリオ通りの活動が行われており、生命科学分野の観察・実験において、繰り返し試行錯誤し自分自身で質の高い成功体験を獲得することが困難な状況になっていると考えている。これは、観察・実験に必要とされる知識や、教師が経験を通して身につけてきたコツ等が十分与えられていないまま試行錯誤を繰り返しているためであり、結果として十分な成功体験を得られていない実態が生じているといえる。こうした経験で得たコツ等は、言語により表現が容易な知識（形式知）とは異なり、言語による表現や他者への伝達が困難な知識であると考えられており、暗黙知と呼ばれている (Polanyi 1958, 1966, Nonaka and Takeuchi 1995, Spear and Bowen 1999, Leonard and Swap 2005, 森 2005)。

本研究では、このような現状を克服するため、生命科学分野の観察・実験指導において、従来与えていた手順に加えて、各作業に関する重要な情報や、教師がもつ暗黙知を観察・実験活動に取り入れることに注目した。暗黙知を効果的に提供することにより、質の高い試行錯誤が繰り返され、生徒はより良い成功体験を獲得できると考えた。新たな教材開発を行うにあたり、実験書と学習指導案による科学的体験活動の実態分析、暗黙知の抽出とICT 機器を用いての教材開発、そして課題の成功率や作業時間等に対する効果の検証を行った。

生命科学分野の代表的な実験である「体細胞分裂の観察」について分析を行った結果、生徒が使用している教科書の実験書は、プレパラート作成を行う上で重要な情報は記載不完全で、押しつぶし作業に関する情報・指示も明確でなく、手順のみの記載となっていることが分かった。さらに、押しつぶし作業において要求されるコツ等（暗黙知）に関する記載は見られなかった。次に学習指導案の分析結果より、生徒は教師の指示通りに作業を進めているが、疑問に思った事を、必要に応じて繰り返し確認できる機会は十分では無い

ことが明らかになった。以上より、質の高い試行錯誤を通して、自分自身で課題を解決するといった成功体験を獲得させることが困難であることが明らかになった。

暗黙知は、教師自身においても自覚がないため、普段は意識されない中で発揮されている。こういった性質を持つ暗黙知を、他者がインタビューすることにより抽出し、図や動画を用いて表現することで他者へ伝達可能な状態にすることができた。

こうして、生命科学分野の観察・実験活動「だ腺染色体の観察」において、従来与えられていた知識（手順等）に加え、作業の重要情報や教師が経験によって蓄積したコツ等といった知識（暗黙知）を、ICT 機器を用いて取り入れることにより、観察・実験の課題の成功率向上、作業時間と無駄になる材料数の削減効果があることを検証した。結果から、暗黙知を効果的に提供することにより、質の高い試行錯誤が行われ、生徒がより良い成功体験を獲得できる環境を実現することが可能となった。

生命科学分野にしぼり、ベテラン教師の暗黙知を搭載した ICT 機器利用教材は、観察・実験といった活動において十分な威力を発揮する事を明らかにできた。このことにより、生徒はベテラン教師の指導と同等の指導を受ける事が可能となった。こうしたタブレット型教材は、個別性・情報の質からみても有効と思えるが、実際には普及していない。

本来、学習は個人が目標を達成することが重要である。しかし、現状の一斉授業では集団が目標達成できているかを評価している。そのため、一斉に提示して全員に対して同じ方法で評価する形式を用いてきた。しかし、今後こうした ICT 機器の普及に伴い一人一人の達成度が異なる授業形態に対する評価方法が求められると思われる。こうした ICT 機器を用いての個別学習方法の普及には、学習効果を評価する方法も同時に開発する必要があると考えている。

今後の課題としては、こうしたことを踏まえた ICT 機器利用教材と評価法の開発。暗黙知の共有化が教師の指導力向上にどのように反映するかを検証していきたい。

## 引用文献

- 新井加受子・衣笠治子・伊藤剛和（2004） 学生が実験を自主的に進めるためのマルチメディア教材の開発と評価, 日本教育工学会論文誌 28(3), pp. 245-252.
- Chandler, P. and Sweller, J. (1991) Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction* 8 (4), pp. 293-332.
- 独立行政法人 科学技術振興機構（2010） 平成20年度 高等学校理科教員実態調査報告書.
- Hara, N., Alsarhan, H., Kilburn, J., Ynalvez, M., Ynalvez, R. and Chen, K. H. (2010) Learning tacit knowledge in life science graduate programs in Taiwan. *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology* 47(1), pp. 1-5.
- 鳩貝太郎（2011） 生命尊重の態度を育成する体系的な生物学習プログラムの開発と評価に関する調査研究 研究成果報告書.
- 鹿児島県総合教育センター（2004） 児童生徒の自然に対する探究心を高め, 理解を深める観察, 実験の開発, 研究紀要, 第107号.
- 川上昭吾・加藤万幸（2004） 「スライドガラス押しつぶし法」を用いた体細胞分裂観察方法の改善と中学校における実践的研究, 愛知教育大学教育実践総合センター紀要, 第7号, pp. 175-180.
- 国立教育政策研究所（2007） 生きるための知識と技能 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2006年調査国際結果報告書, ぎょうせい.
- Leonard, D. and Swap, W. (2005) *Deep Smarts: How to Cultivate and Transfer Enduring Business Wisdom*, Harvard Business School Press, Walthertown.

- Majerich, D. M. and Schmuckler, J. S. (2008) *Compendium of Science Demonstration-Related Research from 1918 to 2008*, Xlibris Corporation, United States.
- Meijer, P. C., Verloop, N. and Beijaard, D. (1999) Exploring language teachers' practical knowledge about teaching reading comprehension. *Teaching and Teacher Education* 15(1), pp. 59-84.
- Merkt, M. and Schwan, S. (2013) Training the use of interactive videos: effects on mastering different tasks. *Instructional Science*. in press.
- Merkt, M. and Schwan, S. (2014) How does interactivity in videos affect task performance? *Computers in Human Behavior* 31, pp.172-181.
- 文部科学省 (2008a) 小学校学習指導要領, 東京書籍.
- 文部科学省 (2008b) 中学校学習指導要領, 東山書房.
- 文部科学省 (2011) 高等学校学習指導要領, 東山書房.
- 文部省 (1999) 中学校学習指導要領 (平成10年12月) 解説 - 理科編, pp. 11.
- 森和夫 (2005) 技術・技能伝承ハンドブック, JIPM ソリューション.
- 中橋雄・寺嶋浩介・中川一史・太田泉 (2010) 電子黒板で発表する学習者の思考と対話を促す指導方略, *日本教育工学会論文誌* 33(4), pp. 373-382.
- 中武享弘・中山迅 (2006) 中学校での体細胞分裂における問題点: 生徒の「観察」結果に見られる理論負荷性, *日本科学教育学会研究会報告*, Vol, 21 No. 2, pp. 35-40.

- Nonaka, I. and Takeuchi H. (1995) *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- 奥田宏志(2008) 理科教育と情報教育の融合による新しい生物教育, 遺伝 62(1), pp. 89-93.
- Polanyi, M. (1958) *Personal Knowledge*, University of Chicago Press, Chicago.
- Polanyi, M. (1966) *The Tacit Dimension*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Robertson, S. L. (2005) Re-imagining and rescripting the future of educational: global knowledge economy discourses and the challenge to education systems. *Comparative Education* 41(2): pp. 151-170.
- Smith, B. K. and Reiser, B. J. (2005) Explaining behavior through observational investigation and theory articulation. *The Journal of the Learning Sciences* 14(3): pp. 315-360.
- Spear, S. and Bowen, H. K. (1999) Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harvard Business Review*, September-October.
- Sweller, J. (1988) Cognitive loads during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science* 12: pp. 257-285.
- Taylor, C. (1988) *The Art and Science of Lecture Demonstration*, Taylor & Francis, New York, London.
- 東京都教職員研修センター (2005) 平成 16 年度教育研究員研究報告書 理科, pp. 14-24.
- 東京都教職員研修センター (2010) 教育指導実践事例集.

米澤義彦・春木幸恵・白石奈那・キジト マコバ エドモンド (2006) 中学校における細胞分裂観察法の改良：材料の保存と染色方法の工夫, 生物教育 46 (4): pp.199-205.

Zanting, A., Verloop, N. and Vermunt, J. D. (2003) Using interviews and concept maps to access mentor teachers' practical knowledge. Higher Education 46(2): pp.195-214.

Zhang, L. and Han, Z. (2008) Analysis on the management of college teachers' tacit knowledge. International Education Studies 1(3): pp.21-24.

## 引用 URL

中央教育審議会（2004） 初等中等教育分科会 教育過程部会 理科専門部会（第2回）  
議事録・配布資料

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/014/siryu/04071201.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/014/siryu/04071201.htm)  
<accessed 21/02/2013>

中央教育審議会（2006） 初等中等教育分科会教育課程部会 審議経過報告（骨子）

<http://www.moj.go.jp/content/000004256.pdf> <accessed 21/02/2013>

文部科学省（2008c） 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  
要領等の改善について（答申）

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2009/05/12/1216828\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2009/05/12/1216828_1.pdf) <accessed 21/02/2013>

文部科学省（2008d） 学力向上 ICT 活用指導ハンドブック

<http://www.cec.or.jp/cecre/monbu/19ict.html> <accessed 15/08/2012>

文部科学省（2012） 平成23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）.

[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/zyouhou/1323235.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1323235.htm)  
<accessed 20/01/2013>

<都道府県教育センター>

岐阜県総合教育センター

[http://www.gifu-net.ed.jp/ssd/sien/gakuryoku.../06science4\\_biology1.doc](http://www.gifu-net.ed.jp/ssd/sien/gakuryoku.../06science4_biology1.doc)  
<accessed 15/08/2012>

[http://www.gifu-net.ed.jp/ssd/sien/hyouka\\_kou/files/05science4\\_biology.pdf](http://www.gifu-net.ed.jp/ssd/sien/hyouka_kou/files/05science4_biology.pdf)  
<accessed 15/08/2012>

石川県教育センター

<http://search.ishikawa-c.ed.jp/data/sidouan/H15/h15t005.pdf>

<accessed 15/08/2012>

<http://search.ishikawa-c.ed.jp/data/sidouan/H19/h190063.pdf>

<accessed 15/08/2012>

鹿児島県総合教育センター

<http://www.edu.pref.kagoshima.jp/curriculum/rika/chuu/tyuugaku2/kyouzai/01page/page19.htm>

<accessed 15/08/2012>

新潟県立教育センター

<http://www.nipec.nein.ed.jp/sidouan/03kou/06rika/h21/23kanke.pdf>

<accessed 15/08/2012>

栃木県総合教育センター

<http://www.tochigi-edu.ed.jp/hiroba/plan/detail.php?plan=B004-0046>

<accessed 15/08/2012>

東京都教職員研修センター

<http://www.kyoiku-kensyu.metro.tokyo.jp/09seika/reports/files/kenkyuin/chu/rika/h16chu-rika.pdf>

<accessed 15/08/2012>

## 要 約

### 背景

学習指導要領が改訂され、学校教育の現場では理数教育のさらなる充実が求められている。一方で、高等学校の理科教育に関する調査において、観察・実験が教師主導で、生徒は与えられた手順を行っているだけの状態になっていると指摘されている。

また、生命科学分野の観察・実験には、こうした教師主導の「与えられた手順」に従っているだけでは、生徒は納得のいく結果を得られないケースがある。生きている素材を扱う生命科学分野の観察・実験では、個体差が生じやすく、また作業にコツが必要とされることもあるため、観察・実験の成否が大きく左右されることになる。現状では、生徒は、教師に与えられた手順を知ることではできても、生命科学分野の観察・実験に必要とされるコツ等といった暗黙知が十分与えられていないまま、試行錯誤を繰り返している。その結果、十分な成功体験を得られていない状態に陥っていると推察される。

本研究では、このような現状を克服するため、従来与えていた知識に加えて、教師が経験を通して身につけてきた暗黙知を観察・実験活動に取り入れることに注目した。従来与えていた知識（手順等）に加え、暗黙知を効果的に提供することにより、質の高い試行錯誤が繰り返され、生徒はより良い成功体験を獲得できると考えている。

具体的には、生きた素材を用いる観察・実験に絞り、質の高い試行錯誤を可能とする新たな教材・環境を、ICT 機器を用いて構築し、観察・実験における課題の成功率や作業時間等に対する効果を検証した。

### 教科書・学習指導案の調査・分析

生命科学分野の代表的な実験である「体細胞分裂の観察」を例に、観察・実験の指導実態を分析した。教科書の実験書は、実験を行う上で重要な情報は記載不完全で、作業に関する情報・指示も明確でないこと、記載内容が教科書会社毎に異なっていること、そして作業において要求される暗黙知に関する記載はほとんど見られなかったことが明らかになった。

学習指導案分析では、観察・実験活動は、生徒にとっては指示された通りに作業を進める活動になっていること、教師の説明後に暗黙知を含む可能性のある説明を繰り返し確認できる機会は無いことが明らかになった。

## ICT 機器利用教材の開発・効果の検証

ベテラン教師の持つ重要な暗黙知を、インタビュー形式による手法を用いて分析・抽出し、ICT 機器で必要に応じて繰り返し確認出来る教材・環境を整備した。そして、この ICT 機器利用教材を用いることで、課題の成功率向上や無駄となる材料数削減といった改善が確認できた。ベテランの持つ暗黙知を教材に効果的に融合させることにより、無駄な試行錯誤が減り、質の高い成功体験を提供する環境を実現する事ができた。

反面、作業初期において、ICT 機器利用教材に含まれる写真・図や動画を見る・読む時間がかかることがわかった。そのため、全作業時間削減にはつながらなかった。しかし、それは作業に追われるのではなく、教材の情報を適切に選択しながら、自ら考え工夫しながら作業している結果ととらえることができる。そして、後期の作業では、その知識・技能の習得の成果が結実し、最終的に全作業時間では統制群とほぼ同じになったと推察できる。その結果、質の高い試行錯誤を通して、生徒自身で成功体験を獲得することが可能となる環境作りが実現できたといえる。

## 今後の課題

生命科学分野にばかり、ベテラン教師の暗黙知を搭載した ICT 機器利用教材は、観察・実験といった活動において十分な威力を発揮する事を明らかにできた。こうしたタブレット型教材は、個別性・情報の質からみても有効と思える。しかし、実際には普及していない。

本来、学習は個人が目標を達成することが重要であるが、現状の一斉授業では集団が目標達成できているかを評価している。そのため、一斉に提示して全員に対して同じ方法で評価する形式を用いてきた。しかし、今後こうした ICT 機器の普及に伴い一人一人の達成度が異なる授業形態に対する評価方法が求められると思われる。こうした ICT 機器を用いた個別学習方法の普及には、学習効果を評価する方法も同時に開発する必要があると考えている。今後の課題としては、ICT 機器利用教材と評価法の開発、暗黙知の共有化が教師の指導力向上にどのように反映するか等を検証していきたい。

## 論文業績目録

Hiroshi Okuda (accepted December 30, 2013) A Lab Guiding Tool for a Life Science Experiment that Possibly Provides Teachers' Tacit Knowledge: Evaluation of Its Efficacy for Auto-tutorial Support in Upper Secondary School, *Asian Journal of Biology*.

高野雅子・大島輝義・奥田宏志・山野井貴浩・武村政春（2011） DNA ファイバー法を用いたDNA複製を目で見て学ぶ生徒実験の開発, *生物教育*, 51 (3), pp. 12-24.

## 紀要

蓮沼一美・松島淳一・佐藤正行・奥田宏志・谷村優太・橋本裕子（2010） 大学研究機関と連携した科学館活用授業の開発, *日本理科教育学会 全国大会論文集*, 第8号, pp. 321.

佐藤正行・谷村優太・蓮沼一美・橋本裕子・奥田宏志・若月聡（2010） 地域の科学技術教育資源を活用した学習支援の提案, *日本理科教育学会 全国大会論文集*, 第8号, pp. 128.

佐藤正行・長谷川成樹・奥田宏志（2010） スーパーサイエンスハイスクールの開発プログラムの分析, *年会論文集（日本科学教育学会）*, 34巻, pp. 407-408.

奥田宏志（2011） 情報教育と理科教育の融合プログラムの開発, *平成22年度芝浦工業大学柏中学高等学校研究紀要*, pp. 29-33.

佐藤正行・奥田宏志・西村美東士・河村泉・森和夫（2011） クドバス手法を用いた理科教員に必要な能力の分析, *日本理科教育学会全国大会論文集*, 第9号, pp. 333.

奥田宏志・佐藤正行（2011） 国際科学オリンピック実技試験体験講座の実施, *日本理科教育学会 全国大会論文集*, 第9号, pp. 349.

佐藤正行・谷村優太・橋本裕子・奥田宏志（2011） 科学館を活用した学習支援システムの開発, 年会論文集（日本科学教育学会）, 35 巻, pp. 273-274.

佐藤正行・奥田宏志・岡部真里亞（2012） 「思考・判断・表現」の育成を目指す地域の教育資源を活用した学習プログラムの開発, 日本理科教育学会 全国大会論文集, 第 10 号, pp. 150.

奥田宏志（2012） 生命科学分野における ICT 機器を用いた暗黙知を含む教材開発, 日本理科教育学会 全国大会論文集, 第 10 号, pp. 387.

#### 書籍・雑誌

松香光夫・齋藤淳一・奥田宏志（2006） 国際生物学オリンピック (IBO) 第 17 回アルゼンチン大会参加記, 遺伝 60(6), pp. 82-87.

奥田宏志（2008） 理科教育と情報教育の融合による新しい生物教育, 遺伝 62(1), pp. 89-93.

奥田宏志（2009） iPod touch を使ったモバイルラーニング, 学習情報研究, 9 月号, 210 号, pp. 32-35.

奥田宏志（2009） iPod touch を使ったモバイルラーニング, 技術教室, 57(5) 682号, pp. 36-43.

#### 教育情報誌

奥田宏志（2005） 日本は科学で世界をリードし続けられるか?, 理科通信サイエンスネット, 数研出版, 第 25 号, pp. 2-5.

奥田宏志 (2005) 芝浦工業大学柏高等学校 SSH 実践報告, 科学技術教育, 千葉県総合教育センター, 通巻 216 号, pp. 19-21.

奥田宏志 (2005) SSH における遺伝子リテラシー教育プログラムの開発, Bio Radiations, 日本バイオ・ラッド ラボラトリー株式会社, 6 号, pp. 46-47.

奥田宏志 (2007) 学校における ICT 活用 実験手順を HP で確認-安全な実験のために-, ニューサポート 高校理科, 東京書籍, Vol. 8, pp. 10-11.

奥田宏志 (2012) 理科における ICT 利用教育の実践, 中学理科通信リンク, 教育出版, 秋号, pp. 7-10.

#### 学 会 発 表

奥田宏志 (2004) Genetic literacy education programs using the Internet, 20<sup>th</sup> Biennial Conference of The Asian Association for Biology Education.

奥田宏志 (2005) SSH における生命科学授業・実験の実践報告, 第 78 回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

奥田宏志 (2006) 見てわかる 立体 3D 理科実験の開発, 第 80 回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

奥田宏志 (2007) 情報教育と生物教育の融合を目指した実験・観察プログラムの開発, 第 82 回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

都築功・松香光夫・鳩貝太郎・小林興・齋藤淳一・奥田宏志・佐藤由紀夫・吉崎誠 (2007) 国際生物学オリンピック (IBO) 国内第一次選抜について, 第 82 回日本生物教育学会 (SBSEJ) 全国大会口頭・ポスター発表.

奥田宏志 (2008) 実験手順をHPで確認-安全な実験のために, 第84回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

奥田宏志 (2008) Integrated approaches for project-based-learning(PBL), Intel ISEF 2008 International Science and Engineering Fair, Educator Academy Shop Talk.

都築功・奥田宏志・鳩貝太郎・吉崎誠・齋藤淳一・佐藤由紀夫・長谷川仁子・松香光夫 (2008), 第19回国際生物学オリンピック(IBO)インド大会(2008)の国内選抜及びつくば大会(2009)への取組, 第84回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭・ポスター発表.

奥田宏志 (2009) 遺伝子リテラシー教育プログラムと実験安全性向上プログラム実践告, 第86回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

奥田宏志 (2010) 国際生物学オリンピック国内予選(生物チャレンジ)第2次試験(実技試験)再現実験実施報告, 第88回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

蓮沼一美・松島淳一・佐藤正行・奥田宏志・谷村優太・橋本裕子 (2010) 大学研究機関と連携した科学館活用授業の開発, 日本理科教育学会 第60回全国大会口頭発表.

佐藤正行・谷村優太・蓮沼一美・橋本裕子・奥田宏志・若月聡 (2010) 地域の科学技術教育資源を活用した学習支援の提案, 日本理科教育学会 第60回全国大会口頭発表.

奥田宏志 (2011) 国際生物学オリンピック国内予選(生物チャレンジ2010)第二次試験(実技試験)実施報告, 第90回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

穂坂明德・佐藤正行・奥田宏志 (2011) 科学系博物館, 科学館の適正配置と学習支援システムの開発, 第22回大会日本環境教育学会口頭発表.

佐藤正行・奥田宏志・西村美東士・河村泉・森和夫（2011）， クドバス手法を用いた理科  
教員に必要な能力の分析，日本理科教育学会 第61回全国大会口頭発表.

奥田宏志・佐藤正行（2011） 国際科学オリンピック実技試験体験講座の実施，日本理科  
教育学会 第61回全国大会口頭発表.

佐藤正行・谷村優太・橋本裕子・奥田宏志（2011） 科学館を活用した学習支援システ  
ムの開発，第35回年会日本科学教育学会口頭発表.

奥田宏志（2011） Integration of ICT and Science Education, Asia Science Educator  
Academy2011, Seoul, Republic of Korea.

奥田宏志（2012） 国際生物学オリンピック国内選考（日本生物学オリンピック 2011）  
予選・本選実施報告，第92回日本生物教育学会(SBSEJ)全国大会口頭発表.

岡部真里亜・奥田宏志・佐藤正行（2012） 中高大連携による地域の教育資源を活用した  
環境教育プログラムの開発，第23回日本環境教育学会全国大会口頭発表.

奥田宏志（2012） 生命科学分野におけるICT機器を用いた暗黙知を含む教材開発，日本理  
科教育学会 第62回全国大会口頭発表.

佐藤正行・奥田宏志・岡部真里亜（2012） 「思考・判断・表現」の育成を目指す地域の  
教育資源を活用した学習プログラムの開発」，日本理科教育学会 第62回全国大会口頭  
発表.

## 謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、懇親なるご指導、ご校閲くださった筑波大学 渡邊和男教授に厚く御礼申し上げます。

また、筑波大学 小野道之准教授、杉浦則夫教授、中村幸治教授、和田洋教授には、細やかなご助言とお励ましをいただいたことに、深く御礼申し上げます。

さらに、研究活動において多くのご助言と励ましをくださいました芝浦工業大学 佐藤正行教授、聖徳大学 西村美東士教授、そして株式会社 技術・技能教育研究所 森和夫氏に深く感謝いたします。

本研究の重要なデータをなっている実験にご協力くださった多くの方々に感謝申し上げ、研究活動を応援してくれた家族に心より感謝いたします。

本論文に関する研究活動の機会を与えてくださった、芝浦工業大学柏高等学校 校長 菅沢茂氏に深く感謝いたします。

## 付 録 資 料

### 1. ICT 機器利用教材 動画キャプチャー画像 (第3章)

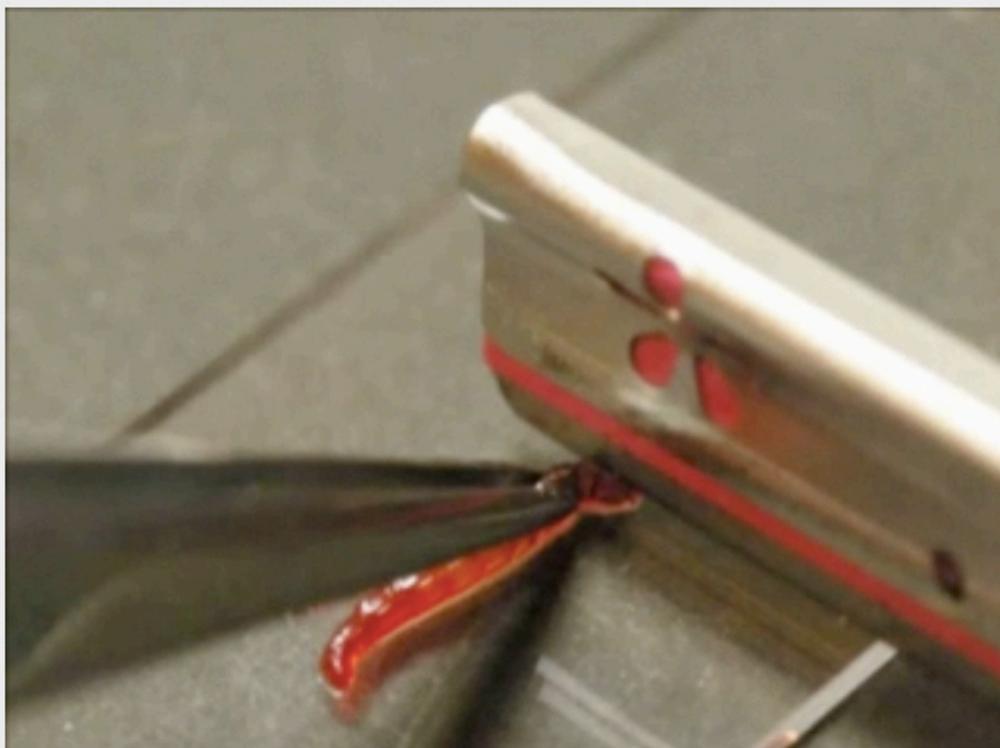
(ページ4 : 作業2 アカムシの幼虫の頭部をカミソリで胴体と切り離す)

### 2. ICT 機器利用教材 動画キャプチャー画像 (第3章)

(ページ6 : 作業3-② だ腺以外のものを取り除く)

付録資料1

動画（再生は中央をタッチ。再度見るときも同様）



付録資料2

