

時空間的推移現象を理解するための タイムラプス動画を活用した教材の提案

—小学校第5学年「メダカのたんじょう」を例に—

Utilization of Time-lapse Movies to Aid Understanding of Spatiotemporal Transitions in Science Education:
Teaching the “Development of Medaka Embryos” to Fifth-grade Elementary School Students

竹内 雅貴*1 倉田 智子*2

要 旨

小学校5年理科の「動物の誕生」の単元では、生命の連続性を理解する取り組みとして、メダカの個体発生を学習する。通常、メダカの飼育観察と、胚発生を顕微鏡下で観察する活動が一般的である。しかし、メダカの飼育や胚の観察指導に困難を感じる教員は多く、そのため、児童が観察する時間・内容が不十分な場合も多い。そもそも小学校教育において、胚発生の経時的变化を続けて観察することは不可能であり、実際には断片的な観察と教科書の図に頼って理解することとなる。このような課題を踏まえ、教材として顕微鏡下で撮影したタイムラプス動画を併用することを提案する。本動画を用いることにより、断片的な観察に対して参照すべき場面を明示し、観察できなかった発生過程を連続的に理解することが可能となる。このような動画の活用は、ICT教育の実践として、また、視覚的情報を用いたTEACCHの視点にも合致する手法として、今後の理科授業で実践されることが期待される。

Keywords : 生命の連続性, ICT, メダカのたんじょう, タイムラプス動画, 視覚優位
continuity of life, ICT, development of Medaka fishes, time-lapse movie,
visual dominance

1. 研究背景

1.1 小学校教育における「動物の誕生」の位置付け

小学校理科第5学年の「B 生命・地球」領域では、生命の連続性、流れる水の働き、気象現象の規則性についての理解を図り、観察、実験などに関する基本的な技術を身に付けるとともに、主に予想や仮説を基に、解決の方法を発想するといった問題解決の力や生命を尊重する態度、主体的に問題解決しようとする態度を養うことを目標としている（文部科学省、2018a）。この中で、「生命」についての基本的な概念等を柱とした内容として、動植物の有性生殖による子孫形成と個体発生・成長を学ぶ。具体的には、「B (1) 植物の発芽、成長、結実」と並び、「B (2) 動物の誕生」において、魚の飼育・観察や人の発生についての資料を学習する中で、胚や胎児の様子に着目し、時間の経過と関係付けて動物の発生や成長を調べる活動を通して、それらについての理解を図り、観察、実験などに関する技能を身に付けることなどがねらいとされている（文部科学省、2018a）。これらは、第4学年「季節と生物」

*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床検査学科

*2 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 基礎生物学研究所 広報室

の学習から引き続く内容であり、中学校理科第2分野の「生物の成長と殖え方」の学習へとつながる。

本稿で注目する「B(2)動物の誕生」の単元では、主にメダカを用いた「(ア)卵の中の成長」として、動物に雌雄があり受精により生命が誕生すること(受精)、受精卵は時間が経つにつれて中の様子に変化しながら体を作っていくこと(発生)、孵化した子どもはやがて成長して親となり、生命が繰り返されていること(世代)を学習する。加えて「(イ)母体内の成長」では、ヒト胎児の母体内での成長を時間経過と関連づけて学習する。したがってこの単元では、メダカなどの身近な魚を飼育し、魚が産んだ卵を継続して観察し、その時間変化について調べることが児童の主な活動となる。指導上の留意点として、観察の計画を立て、継続的に調べるようにすることや、魚の卵の内部の変化を観察する際に、実体顕微鏡などの観察器具を適切に操作できるように指導することなどもあげられている(文部科学省, 2018b)。

1.2 教材としてのメダカ

メダカは日本原産の淡水魚であり、童謡の題材になるなど、昔から身近な存在である。入手・飼育・観察の容易さに加え雌雄の判別が容易なことから、従来のフナなどから、現在はメダカを小学校理科学習に用いるようになったと考えられる(太田, 2015)。これまでに発行された小学校理科の各社の検定教科書(毛利・大橋ほか, 2019a など)の全てで、動物の誕生の学習に用いる魚としてメダカが取り扱われている(岩間ほか, 2009)。メダカの成魚は比較的小さな水槽でも多数生育することが可能で、水温 25°C前後の環境下で適切に飼育管理すると、数週間～1カ月程度の期間で何度も繰り返し多数の卵を産卵する。その卵は直径 1.2mm 程度で卵膜が透明であるため、内部の卵割および胚発生の観察が容易である。

近年、メダカの飼育やその卵を観察する上での留意点や工夫(岩松, 2014)、卵の成長を観察、記録する効果的な方法として、携帯電話やスマートフォンのカメラを利用した顕微鏡観察の方法(小林, 2019)、タブレット PC を接続した顕微鏡でメダカの卵を観察し、電子黒板を用いて教室全体で共有する授業実践例(森戸・佐伯, 2019)、スマートフォンカメラ用小型マクロレンズの応用(寺島, 2020)などが報告されている。一方で、NHK for school (<https://www.nhk.or.jp/school/>) など、web ページ上の動画コンテンツの充実に加え、これら動画コンテンツを活用した授業展開(阪東・掛川・森山, 2015)も提案されている。観察法以外では、目的の発生段階の観察が可能な固定胚を作成する方法とその利用例が提案されている(中村ほか, 2017)。また、メダカの卵を簡単に採卵し管理する方法として、チャック付きポリ袋を利用する簡便な方法(岩崎・鳩貝, 2018)が考案されており、現行の小学校理科の教科書でも多くで紹介されている(毛利・大橋ほか, 2019a, など)。これらを活用し、1人1卵を管理する学習効果も報告されている(水口, 2022)。

1.3 生物分野の単元の指導に関する課題

小・中学校教師が指導上困難を感じる事項の調査が、清水(2002)により報告されている。現学習指導要領への改訂以前の調査であるが、小学校生物分野においては、第4学年(1)

イ「植物の成長と季節」、第5学年(2)ア「魚の卵の成長」、第3学年(1)ア、イ「昆虫や植物の育ち方とつくり」について、指導の難しさが突出して高いことが明らかである。第5学年(2)ア「魚の卵の成長」は、現在では前述の「B(2)動物の誕生(ア)卵の中の成長」の単元へ内容を踏襲して引き継がれている。魚の卵の成長に関する指導に困難を感じる主な理由として、メダカが死んでしまうなどの飼育・観察の問題、教材内容についての知識不足が原因と指摘されている(清水, 2002)。さらに、他の報告においても同様の傾向があることが指摘されており、生物の飼育や観察のための視聴覚教材を求める声も多い(人見・伊東, 2008)。指導自信度(入江・尾竹・小林, 2008)に関する調査でも、同様の傾向が見取れる。また、小学校教員免許状取得希望者に対する小学校理科の観察・実験経験の有無に関する調査では、メダカの卵の中を観察して変化する様子を見たことがない学生の割合は34.5%にのぼる。ほとんどの学生が植物の栽培(94.0%)や観察(96.4%)の経験がある一方、バッタやトンボの育ちかた(卵→幼虫→成虫)の観察経験がない(63.1%)、チョウの育ちかた(卵→幼虫→さなぎ→成虫)の観察経験がない(41.7%)、解剖顕微鏡を使ったことがない(40.5%)に次いで多いことが報告されている(金子, 2003)。

児童の学習内容の習得状況に関する調査では、魚の卵の成長に関して、「メダカの卵の中には、はじめから小さなメダカがはいっているか?」という問いに対し、「はいっている」または「わからない」と回答した児童は、M小学校の低学年・中学年(未習者)で共に約7割、K小学校・T小学校の第5学年児童(未習者)の割合は、約4割に至るという調査結果が報告されている(岩間ほか, 2009)。しかし、K小学校・T小学校の既習者は、学習後9ヵ月経過しても9割の児童が正確な知識を保持していた。産卵直後のメダカ卵を観察できなかったM小学校では、学習後10ヶ月~20ヶ月経過後に正確な知識を保持する児童の割合が約半数と比較的低く抑えられてしまう(岩間ほか, 2009)。以上の結果は、メダカの卵の成長を実際に観察させることは、児童が確かな知識を身に付ける上で不可欠な経験と言えるが、一方で、メダカの飼育・観察を正確に実行できなかった場合、児童が正確な知識を得られないかもしれないことを意味している。

2. タイムラプス動画を用いたメダカ胚発生の学習

2.1 「生命の連続性」を観察することの限界

教師が指導上困難を感じる単元に共通するのは、世代から次世代へ、または受精卵から個体への「生命の連続性」を含むものである。連続性とはすなわち空間的変化の時間的推移であり、観察によりその変遷を理解することは難しい。例えば、メダカの発生は $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、pH 7の条件下で、受精から孵化までに8~9日間かかる(蒲生・寺島, 1963)。昆虫の変態のような瞬間的な変化とは異なり、その間の連続的で微細な形態変化の結果として、受精卵からメダカ個体が形づくられる。通常、小学校の学習時間における観察は数日ごとに行われるため、観察時の構造を理解できることと、形態的・空間的な変化の連続性を感じ取ることには

乖離がある。そのうえ、メダカ胚は三次元の構造のため、解剖顕微鏡下の観察において常に視点が変わることも考慮しなければならない。

そのため、図1に示すような観察と観察の間におきる変化は、実物の観察以外の方法で補われる必要がある。そこで、ICT教育充足の観点から（北澤ほか，2019）の補足教材として、専門機関で作成された胚発生タイムラプス動画の活用を提案する。この試みは、ASD児が視覚的に学習すると考える TEACCH プログラムの見解と一致し、様々な学習特性をもつ児童にとって効果的であると考えている。

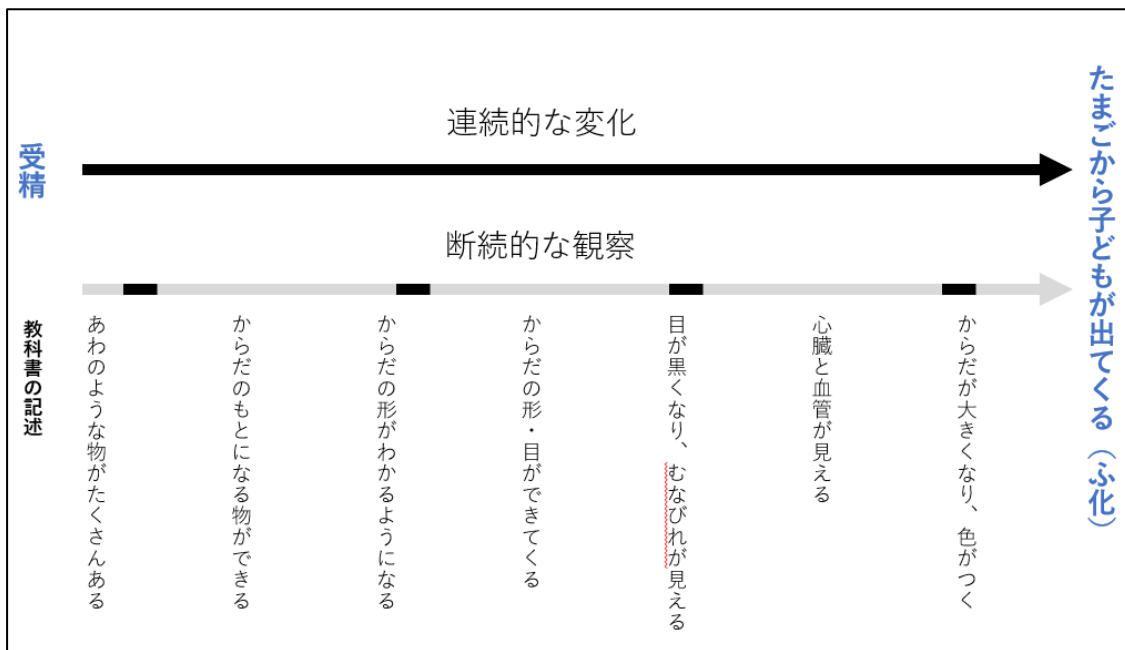


図1 メダカ胚観察による連続的な変化の捉え方

観察(黒)の後、観察していない時間(灰色)における微細な変化の積み重ねによって、次の観察時(黒)の構造が決定する。

2.2 教材として用いているタイムラプス動画

本研究では、大学共同利用機関法人自然科学研究機構の基礎生物学研究所で撮影されたタイムラプス動画(表1)を用いることを想定する。タイムラプス動画とは、微速度撮影した静止画像を繋げて作成した動画であり、メダカの発生のように微細で緩やかな変化を撮影するのに適している。各発生段階で適したインターバルを設け、数十～数百枚の静止画像を撮影し、動画としている。この動画へ小学校教育で注目すべき内容を補足的に記述し、顕微鏡観察と併用することを提案する。このような動画を用いれば、再生により観察するだけ

表1 メダカとゼブラフィッシュの胚発生タイムラプス動画

動画タイトル	内容	受精後の時間	動画時間
メダカ No.1	卵膜あり. 1細胞からおおよその体ができるまで.	30分～60時間	4分間
メダカ No.2	卵膜なし. 背側から頭部形成や体節の分節など.	30時間～70時間	40秒間
メダカ No.3	No.2の頭部を拡大. 脳・眼胞・耳石の形成など.	30時間～70時間	40秒間
メダカ No.4	No.2の胴尾部を拡大. 体節形成や体軸伸長など.	30時間～70時間	40秒間
メダカ No.5	卵膜なし. 側方から胚の成長の様子を全体的に.	50時間～150時間	100秒間
ゼブラフィッシュ No.1	卵膜あり. 卵割からエピボリー, 原腸形成など.	15分～9時間	2分11秒間
ゼブラフィッシュ No.2	卵膜なし. 側方から胚の成長の様子を全体的に.	9時間～11.5時間	44秒間
ゼブラフィッシュ No.3	No.2の体節形成を拡大. 分節は正確に30分ごと.	9時間～12時間	24秒間
ゼブラフィッシュ No.4	No.2の頭部形成を拡大. 眼の形成過程が鮮明.	9時間～12時間	24秒間

でなく、静止や巻き戻しが可能であるため、観察者（教員や児童）が胚発生の連続性をいつでもコントロールして再現できる。

さらに発展的には、メダカより観察しやすい魚（ゼブラフィッシュ, Kimmel, C.B. et al, 1995) のタイムラプス動画を比較対象とすることでより理解が深まると考えられる。インド原産のゼブラフィッシュは、実験動物として非常に扱い易いコイ科の小型淡水魚である。メダカと比較し、卵膜に絨毛や付着毛が無く、卵黄に油滴（油球）も無いため、透明で観察に適している。入手・飼育も容易で且つ多産であるため、本単元の観察対象として、メダカに拘らずゼブラフィッシュを導入することも検討されるべきと考える。

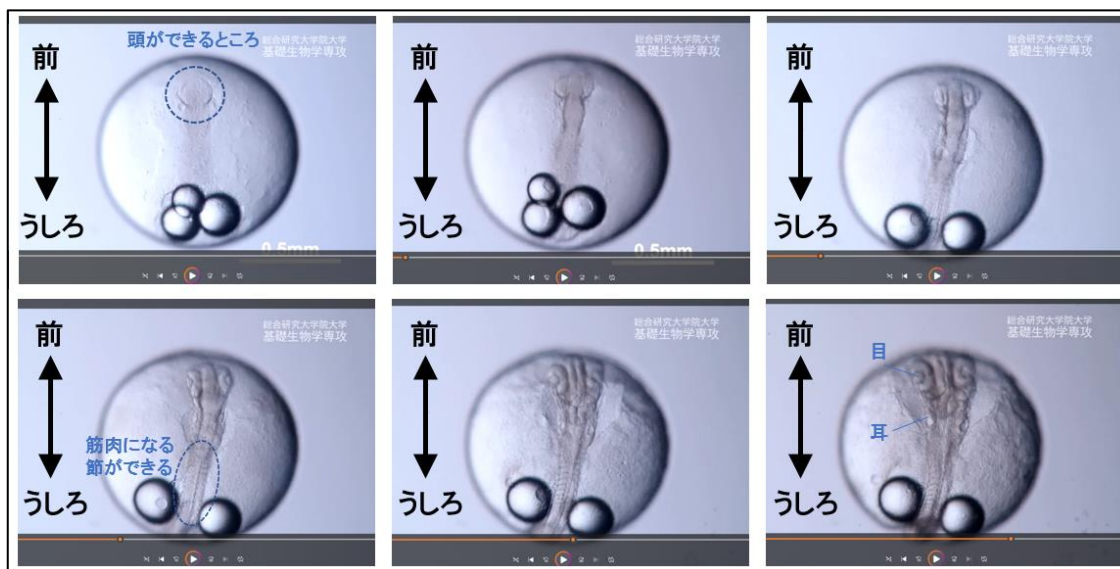


図2 メダカ胚発生タイムラプス動画への補足記入例

表1の「メダカ No.2」動画の一部のキャプチャー画像。胚を背中側から見ていることを理解させ、胚体の成長と同時に、前後・左右の位置に対して局所的な構造が形成されていく様子を観察できる。

2.3 記録カードの工夫と授業の実践

観察記録：メダカのたまごの中の様子

① 観察した日時：__月__日__時 名前_____

② 顕微鏡で観察したたまごの中をスケッチ 受精（ 月 日 時）
 けんび鏡（ 倍）
 水温（ ℃）

*観察して気付いたことも記入しよう。（頭・尾、右・左なども予想）

③ 動画のいつと同じくらい？： 動画__番の、およそ__分__秒

④ 受精した後、どのぐらいの状態？： およそ__日目の__時間とおなじ

⑤ たまごの中の変化の速さは？： 予想より 速い・予定通り・遅い

⑥ この前の段階はどんな様子？： _____

⑦ この後はどのように変化する？： _____

図3 記録カードのフォーマット例

図3へ記録カードのフォーマットを例示し、これに従って以下、授業で工夫する点を順に説明する。① 観察した日時：指導書にも「日付を記入することによって時間的な視点で変化の大きさを捉えたり、変化の順序を調べたりできたことを想起することで、採取した卵にも採取した日付を記入することの大切さにきづけるようにしたい」（毛利・大橋ほか，2019b）とあるように、「生命の連続性」を理解する上で時間的概念が非常に重要となる。ただし、採取は観察者側の時間であり、現象側の時間とリンクさせる必要があるため、後述の受精後時間を推測することが求められる。② 顕微鏡で観察したたまごの中をスケッチ：ここでは実際の観察結果として、顕微鏡下の胚をスケッチする。スケッチにおいても、注目すべき形質などはこの後の項目（③～⑤）を埋めて、各自で確認できるように指導する。本欄余白に気付いたことを記入し、関連する箇所を直線で指す等、図中に明示する。これにより、気付いたことが反映されたスケッチを描くという意識付けができる。前後・左右などの体軸につ

指導書によると、記録カードは個人準備とされている（毛利・大橋ほか，2019b）。しかし、記録の仕方は学習の方向性や試料観察における観点を示す上で重要であるため、自由記述ではなく、指導側から記録カードのフォーマットを提示したほうが学習効果は高くなると考えた。このように記述すべき内容を明示することは、ASD児など多様な児童を含む普通学級で使用する際に有効であると考えられる。例えば、TEACCHプログラムでは、ASD児の学習様式の違いに prompt dependent である（Mesibov G.B., et al., 2004）との見解がある。記録カードをフォーマット化し、項目別に記録を指示する試みは、適切なプロンプト（補助刺激）の提供であり、TEACCHプログラムに対応した指導方法であると考えられる。

いては必ず記述するように指導する。受精：本単元では、「たまごを産む様子」の紹介があり、「受精」を理解することも重要であるが、小学校教育で生殖行動をコントロールして観察胚の受精時間を把握することは困難であると考えられる。後述するように、タイムラプス動画を用いれば発生段階（受精後時間）を同定できるため、受精した日付を最初の観察時に推測して記録する。同じ胚（もしくはそれと同時に採取した同腹の胚）を用いた後の観察では、これを受精した日付として用いる。けんび鏡：スケッチした倍率を記録する。水温：メダカ卵の保管時や観察時の水温を記録する。③ 動画のいつと同じくらい？：観察しているメダカ胚の状態を教科書の写真やタイムラプス動画の胚と見比べ、おおよそ同じくらいの発生段階がどの動画におけるどの時間かを考える。④ 受精した後、どのくらい？：教科書においても発生段階の記述は受精後時間であらわされているように、観察胚がどのような発生段階にあるかを確認するためには、おおよその受精後時間を把握する必要がある（受精後時間＝発生段階）。そのため、②で明らかとなった動画の胚発生を参照し、おおよその受精後時間を推測しここに記録する。さらに、最初の観察における受精後時間の推測によって、これまであいまいであった胚発生のスタート時（＝いつ受精がおきたのか）がある程度明確になる。例えば、最初の観察胚が受精後 30 時間後の様子と一致するのであれば、その観察日時から 30 時間前にその胚の受精がおきたと考えられる。これを上項の受精として記録する。前述したように、ここで推測した受精時間は、同じメダカ胚を続けて観察する際の指標とすることができる。⑤ たまごの中の変化の速さは？：胚発生が正常で、且つ、同じ温度で管理されれば、その胚の発生は受精後の経過時間に従ってほぼ同じ速度で進行する。二回目以降の観察では、最初の観察で推測した受精時間からの経過時間が、「実際の受精後時間」である。一方で、胚の発生状態から“発生段階としての受精後時間”を②・③で観察毎に推測する。ここで、“実際の受精後時間”と“発生段階としての受精後時間”にずれが生じている場合は、発生速度が正常でないと考えられる。これを、「速い・予定通り・遅い」として記録する。発生速度に異常があれば、まず温度との関係を考察させることができる。また、発生速度の異常から発生の異常に気付くことができれば、観察胚の注意深いスケッチとして反映できる。その後の経過によっては、発生が停止する場合や死んでしまう場合でも、観察を続けることが重要であると考えられる。生命の誕生過程の神秘性など、情緒的な「生命を尊重する態度」を養うという側面からも、胚の観察は正常発生でのみ有効である訳ではない。ただし、異常胚の観察者も正常胚発生を学習できる環境にすることに留意しなければならない。⑥ この前の段階はどんな感じ？・⑦ このあとはどのように変化する？：ここにある観察した胚がどのような発生段階を経て存在し（⑥）、次にどのような発生段階へ移行するのか（⑦）を予測させ、自由に表現させる。これまでに観察胚とタイムラプス動画中の胚を関連づけること（③・④）ができていたので、その前の段階－動画を巻き戻して観察－と、現在、その後の段階－動画を再生して観察－の連続性を意識的に調べて考えさせる。このように時間の推移と空間的な変化を関連づけることが、「生命の連続性」を理解することの本質であると考えられる。ここで説明した記録カードの活用は、小学 5 年生が個人で理解することは

難しいと感じられるかもしれないが、クラス全体での議論を行うことを前提に教員が適切に活用すれば、「生命の連続性」を感じられる授業を行うために有効であると考ええる。

3. 時空間的推移の理解を深めるための発展的学習

3.1 メダカ胚の3次元構造を理解する

空間的な構造は、3次元で理解する必要がある。これはメダカ胚においても例外ではなく、受精卵という球状の構造から、その一部に「からだのもととなる物」（胚体）ができることで非対称性の顕現が始まり、卵黄という大きな胚体外の領域を伴いながら前後・背腹・左右（立体における縦・横・高さと同じ）の体軸に沿って各構造を構築する。このような立体構造の変化は、従来の教科書など紙媒体で表現しきれないために実物の観察が重視されている。しかし、手に取って立体を実感できない小さなメダカ胚を顕微鏡で観察する場合、観察者は立体を十分に意識し難いと考えられる。たとえ双眼実体顕微鏡の操作に熟達し、立体視することができたとしても、一方向からのみの観察にとどまる。この問題を解決するために、今後、ICT教育の拡充によってVRを用いた教育が進むのを待つのではなく、ここでも現状の手軽なICT教材であるタイムラプス動画の活用を提案する。

スケッチした顕微鏡観察時の胚と、同程度の発生段階にある動画中の胚を比較することはすでに述べたとおりである。他にもいくつかの方向から胚を観察して比較してもよいが、動画で体軸の方向性を明示しておけば、比較対象としての基準になる。同じ発生段階で、胚の向き：背側（胚体側）・腹側（卵黄を透過して胚を観察）・側方側（背腹の違いを観察）・前側・後側、その他体軸に対して斜めからなど、が異なる胚をいくつか観察できれば、三次元的な構造を推測できる。このような観察結果を表現する方法として、「スケッチした胚について、反対側から見た様子も予想してスケッチしてみよう」といった発展的な課題を与えることが有効であると考ええる。

3.2 その他の発展的学習

他にも、「発生段階前後についても⑥・⑦の予想に沿ってスケッチしてみよう」・「目はいつからいつの間に、どのようにできるのか考えよう」・「からだのもとになる部分はいつからいつの間に、どのようにできるのか考えよう」など、タイムラプス動画の利用を前提とした課題を考えることができる。さらに、ゼブラフィッシュ胚発生との比較による考察として、「メダカとゼブラフィッシュのたまごの中での成長で、同じところや違うところを見つけよう」といった提案も有効である。さらに、5年生理科「B(2)動物の誕生」においては、本稿で扱った「(ア)卵の中の成長」(メダカの個体発生)に続いて「(イ)母体内の成長」(ヒトの個体発生)を学習する。メダカ胚発生の理解向上により、これら2つの「動物の誕生」をより強く関連付けて考えられるようになれば、発生現象のエッセンスを理解することへ繋がるだけでなく、多様な生物の根源やその進化といった大きな「生命の連続性」を考えるきっかけを与える指導が可能であると考えている。

4. 学習効果についての考察

本稿では、ICT教材としてのメダカ胚発生タイムラプス動画の利用を提案した。これらの動画は、動画そのものを観察対象とすることが可能な精度（経過時間の正確性・発生段階の同定・注目すべき形態にフォーカス）で、発生学を専門とする研究者によって撮影されている。小学校教育での利用を前提に撮影されていないことで、逆に、視覚的に非常に多くの情報を含んでおり、読み取る側にその能力や意欲があれば無数の情報を引き出すことができると考えている。このような教材はICT教育の利点として、授業時間内外で繰り返し活用でき、リアリティーをもってイメージを膨らませることに貢献し、主体的に興味を掘り下げることができる。また、度々記述したように、ASD児を含む多様な児童を指導する上で、TEACCHプログラムの視点が重要であると考えている。本稿で注目した個体発生や「生命の連続性」についても、言葉による概念ではなく詳細な視覚情報として与えることが、そのものを理解すること以上に驚きや感動を与える刺激にもなり、結果として学習効果を向上させると考えている。さらに、本教材の学習効果を高めるための記録カードを適切なプロンプトの提供と位置づけ、考えて記録すべき項目を具体的に提示した。これら本稿で示した教材を児童の自由な発想を抑制することなく活用できれば、どのような背景をもつ児童にも情報を伝えられるような、教育の公正さを担保された学習指導に役立つであろうと期待している。

謝 辞

本稿で紹介した動画を作成頂いた基礎生物学研究所の田中実研究室、高田慎治研究室およびライフムービー株式会社の皆様にお礼申し上げます。

文 献

- 文部科学省（2018a），小学校学習指導要領（平成29年告示）。
- 文部科学省（2018b），小学校学習指導要領（平成29年告示）解説。
- 清水誠（2002），新学習指導要領「理科」実施上の課題—小・中学校教師が指導上困難を感じる事項の調査から—，科学教育研究，26(2)，pp144—152
- 人見久城・伊東明彦（2008），小中学校の理科指導に関する教員の意識，宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要，31，pp189—198
- 入江薫・尾竹良一・小林辰至（2008），小学校新規採用教員の理科指導に関する実態—理科の有用感・探究的 態度・理科指導の自信度の観点から—，理科教育学研究，48(3)，pp13—23
- 金子博美（2003），小学校教諭免許取得希望学生の理科 実験・観察の経験，文教大学教育学部紀要，37，pp5—10
- 岩間淳子・松原静郎・福地昭輝・下條隆嗣（2009），小学校理科における「動物の発生（魚）」に関する教材の分析—科学的概念を形成し生命観を養う教科書の開発をめざして—，科学

教育研究, 33(1), pp73-85

太田雄久 (2015), 小学校理科教材「メダカ」の価値とその学習で獲得させたい「生命」についての見方や概念, 人間教育学研究, 3, pp115-121

毛利衛・大橋まりほか 101 名 (2019a), 新しい理科 5, 東京書籍

岩松鷹司 (2014), 理科の教材としてのメダカの適切な活用—五年生の理科「メダカのたんじょう」—, 愛知教育大学教育創造開発機構紀要, 4, pp37-46

小林秀明 (2019), 携帯電話のカメラを利用した顕微鏡観察—小学校理科における顕微鏡観察方法の検討—, 文教大学教育学部紀要, 第 52 集別集, pp171-178

森戸幹, 佐伯英人 (2019), タブレット顕微鏡と電子黒板を使った理科授業—小学校第 5 学年「動物の誕生」において—, 日本科学教育学会研究報告会研究報告, 33(6), pp17-22

寺島幸生 (2020), スマートフォンカメラ用小型マクロレンズを用いたメダカの卵の観察, 鳴門教育大学学校教育研究紀要 34, pp37-40

阪東哲也・掛川淳一・森山潤 (2015), 動画コンテンツ教材の視聴時における学習方略に対する意識付けの効果に関する実践的検討—小学校 5 年生理科「メダカのたんじょう」を事例として—, 兵庫教育大学学校教育学研究, 28, pp31-37

中村依子・須山実咲・向平和・日詰雅博 (2017), 小学校における胚発生の観察方法に関する実践的研究—固定胚の活用方法の提案—, 生物教育, 59(1), pp2-9

岩崎正彦・鳩貝太郎 (2018), 生命尊重の態度を育てるメダカの教材化について—教室で採卵するための飼育と発生過程の観察法—, 生物教育, 59(2), pp110-113

水口達也 (2022), 生命を尊重する態度を高める「My メダカ」—小学校理科第 5 学年「魚のたんじょう」の学習を通して—, 愛媛大学教育学部附属科学教育研究センター紀要, Vol.1

蒲生英男・寺島郁子 (1963), メダカ *Oryzias latipes* の正常初期発生段階, 魚類学雑誌, 10 (2-6), pp31-38_21

北澤武・藤谷哲・福本徹 (2019), 小学校理科教育法における ICT 活用指導力向上を目指した模擬授業の効果分析, 科学教育研究, 43, 2, pp92-103

Charles B. Kimmel, William W. Ballard, Sethr. Kimmel, Bonnie Ullmann, Thomas F. Schilling (1995), Stages of Embryonic Development of the Zebrafish, DEVELOPMENTAL DYNAMICS, 203, pp253-310

Gary B. Mesibov, Victoria Shea, Eric Schopler (2004), “The TEACCH approach to autism spectrum disorders”, Springer, ISBN: 0-306-48646-6

毛利衛・大橋まりほか 101 名 (2019b), 新しい理科 5 教師用指導書, 東京書籍

(2023 年 9 月 16 日 受理)