

1. はじめに

小・中学校理科の地球領域では、小学校理科第 6 学年の「土地のつくりと変化」や中学校理科第 1 学年「大地の成り立ちと変化」の学習単元で、地層を含む土地のつくりについて学習する^[1,2]。特に、中学校における地層に関する学習内容について中学校学習指導要領(平成 29 年告示)では、理科第 1 学年における「大地の成り立ちと変化」の「(イ) 身近な地形や地層、岩石の観察」において、「地層の様子やその構成物などから地層のでき方を考察し、重なり方や広がり方についての規則性を見いだして理解するとともに、地層とその中の化石を手掛かりとして過去の環境と地質年代を推定できることを理解すること。」と記載されている^[2]。つまり、中学校における地層に関する学習では、地層から得られる情報を手掛かりとして、三次元的な地層の構造を理解することが柱の一つとされている。

中学校理科第 1 学年「大地の成り立ちと変化」における学習では、現行中学校学習指導要領に記載されている通り地層の三次元構造の理解が第一義的に重要であるが、教科書やプリント等の紙面を用いた伝統的な指導方法では地層の情報を二次元的にしか提示することができない。実際に、寺島(2016)は、教育学部理科専修の大学生を対象として 2012 年度全国学力・学習状況調査の中学校理科の問題を回答させた結果、中学生と同様の誤答傾向があり、紙面上で地層の状態を平面的にイメージできても、奥行きを含めて立体的に地層の傾きをイメージすることに課題があると指摘している^[3]。つまり、紙面の二次元的な情報を基にした学習では、「重なり方」と「広がり方」といった地層の三次元構造を理解することに課題があると考えられる。

また、公立小・中学校における地学分野の野外実習の実施率の低迷が複数の先行研究によって明らかになっている^[4,5]。特に、中学校における地層の観察を目的とした野外実習については、実施のための時間の確保が困難であることや適当な露頭がないことなどから現実的には実施が難しいと指摘されている^[6]。すなわち、中学校における地層に関する学習では、実際に地質試料に触れることなく指導する場合が多いと考えられる。

当該単元の学習に関しては、地層の三次元的な構造を理解させるために、寒天を使った模型教材が開発されているが、地層の「広がり方」を面的に表示してその理解を促進する教材や、実際の地質データに基づいて三次元的に可視化する教材は、現時点では報告されていない。そこで本研究では、地層の三次元構造を視覚化し、地層の重なり方や広がり方の理解を促進する教材（以下、3D モデリング教材）を開発した。

さらに、この教材の開発にあたっては、学校が保持している地盤のボーリング試料や自治体で公表されている地質データなどの活用を念頭に置いて、全国の小・中学校で活用可能なものとなるようデザインした。これにより、地学教育の問題点として従来から指摘されてきた、地域格差や地域ごとの事情に起因する地層に関する学習の不平等性の解消に寄与するものと考えられる^[4-6]。

2. 教材の開発

2-1. 3D モデリング教材の機能と使用方法

本教材は、三次元空間に柱状図を表示し、柱状図間の同じ岩相の地層を面的につなげて表示することで、地層の「重なり方」と「広がり方」の理解を促進するようにデザインされた。

本教材の使用方法は、①三次元空間のスケールの設定、②二次元平面における地点の座標の設定、③地点ごとの地層の岩相・層厚（＝地層の厚さ）の設定、④面的に表示する地層の登録の4つの手順からなる（図1）。

手順①

データの登録

スケール、地点データ、地層データ、表示する平面の順に登録してください。

スケールの設定 地点データの登録 地層データの登録 表示する平面の登録

単位
メートル
自動○手動

深さ方向(下方向が正)
最大値 最小値

幅方向
幅方向の長さ

閉じる

手順②

データの登録

スケール、地点データ、地層データ、表示する平面の順に登録してください。

スケールの設定 地点データの登録 地層データの登録 表示する平面の登録

追加 削除

地点1: 地点A
y方向 4 x方向 2
地点1の名前、y方向、x方向を入力してください。

地点2: 地点B
y方向 6 x方向 2
地点2の名前、y方向、x方向を入力してください。

地点3: 地点C
y方向 4 x方向 5
地点3の名前、y方向、x方向を入力してください。

地点4: 地点D
y方向 6 x方向 5
地点4の名前、y方向、x方向を入力してください。

地点5: 地点E
y方向 7 x方向 7
地点5の名前、y方向、x方向を入力してください。

閉じる

手順③

地点Bのデータを編集

※地層を追加する際には右の「地層を追加」ボタンを押し、削除するにはそれぞれの行の「削除」ボタンを押してください。

地層を追加

番号	堆積物の上端の深さ	堆積物の下端の深さ	岩相	削除ボタン
1層目	10	15	砂岩層	削除
2層目	15	20	泥岩層	削除
3層目	20	25	凝灰岩層・火山灰層	削除
4層目	25	35	石灰岩層	削除
5層目	35	40	砂岩層	削除
6層目	40	55	泥岩層	削除

手順④

データの登録

スケール、地点データ、地層データ、表示する平面の順に登録してください。

スケールの設定 地点データの登録 地層データの登録 表示する平面の登録

1つめの地点 2つめの地点 3つめの地点
地点A 地点B 地点C

表示する地層の組み合わせ

追加 削除

組番号	層の種類	地点A	地点B	地点C
1組目	砂岩層	0m-5m	10m-15m	5m-10m

閉じる

図1 教材を使用する際に表示されるウィンドウ。

手順①から④における入力内容は、2章2節に後述する仮想的な堆積場のデータの一部である。

手順①では、柱状図の二次元平面内の位置、すなわち座標を設定する。ここでは、実際の地質データを活用することを想定してその座標を2種類の方法で設定できるようにした。1点目は、ボーリング試料や自治体で公表されている地質データを活用することを想定し、地点の座標を緯度・経度で設定できるようにした。2点目は、地点ごとの緯度・経度がほとんど変わらないようなごく狭い面積の地質データを表示できるよう、その座標をメートル単位で設定できるようにした。座標をメートル単位で設定する場合には、二次元平面内に任意の原点を設定し、各地点の座標を入力することとした。

手順②では、手順①で設定したスケール（緯度・経度もしくはメートル単位）にあわせて、柱状図を表示する地点の名称とその座標を登録する。

手順③では、地点ごとの柱状図を作成するのに必要となる地層の岩相と層厚の2種類のデータを設定する。岩相は、小中学校の理科の教科書に記載されているものを参照し、砂岩層、泥岩層、れき岩層、石灰岩層、凝灰岩層・火山灰層、ローム層、その他の層の7種類から選択できるように実装した。

手順④では、手順①から③で設定した各地点の柱状図の情報をもとに、同じ岩相の地層をつなげて面的に表示するための設定を行う。まず、最初に任意の3地点を選択し、3本の柱状図の同じ岩相の部分をつなげることとする。

2-2. 3Dモデリング教材の実践

3Dモデリング教材の実際の挙動について記す。ここでは、教材の機能を紹介するために仮想的な堆積場を設定した。具体的には、仮想的な堆積場を、火山灰層を含む砂泥互層（すなわち、海底で砂岩層と泥岩層が交互に堆積し、一部に火山灰層を含む堆積物）とした。また、座標平面上における地点Aから地点Eの5つの地点を設定した。各地点の座標を表1に、岩相柱状図を図2に示した。

表1及び図2に示したデータに基づいて3Dモデルを作成した（図3）。図3Cには地点AからCの一番表層に近い砂岩層をつなげた面（3Dモデル）を、図3Dには、同じく地点AからCの一番表層に近い砂岩層、第2層の泥岩層、第3層の凝灰岩層・火山灰層の3つの地層をつなげた面（3Dモデル）を示した。

図3では、三次元空間内の鉛直方向（Z軸方向）を堆積物の深度とし、各地点の柱状図を三次元的にモデリングしている。各画面をドラッグすることで、任意の角度で3Dモデルを見ることができる。また、図3Cに示した3Dモデルを、その他の地点の組み合わせにも適用すれば、地層の「広がり方」の理解が促進されと考えられる。また、図3Dに示した3Dモデルでは、凝灰岩層・火山灰層をかき層とすることで、それ以外の地層（砂岩層及び泥岩層）がほかの地点のどの地層と接続するのかを判断することができる。これによって、地層の「重なり方」の理解が促進されるものと考えられる。

表 1 仮想の堆積場の条件設定

地点名	X 座標 (m)	Y 座標 (m)
地点 A	2	4
地点 B	2	6
地点 C	5	4
地点 D	5	6
地点 E	7	8

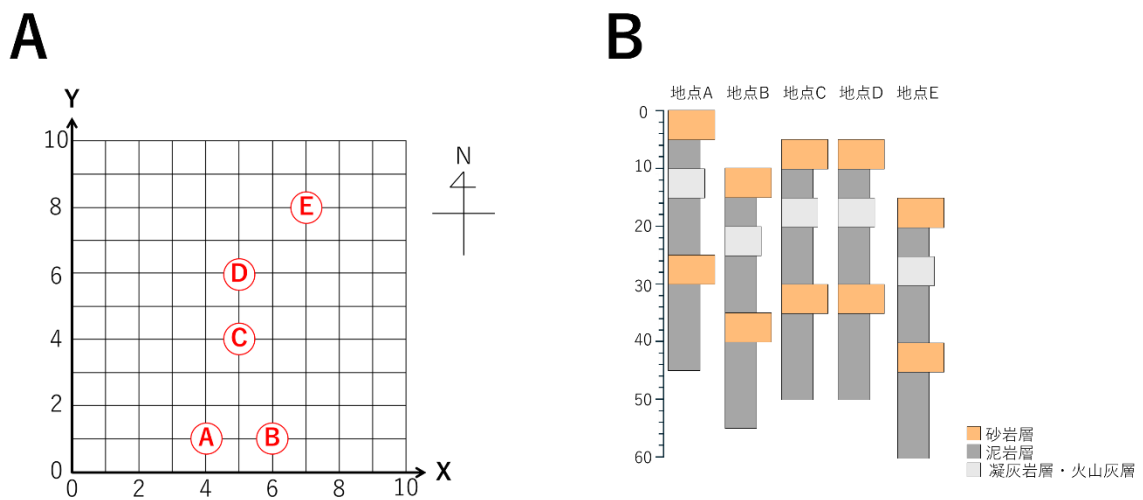


図 2 仮想的な堆積場に関する情報。

A: 地点 A から E の座標平面上の位置。B: 地点 A から E の柱状図。

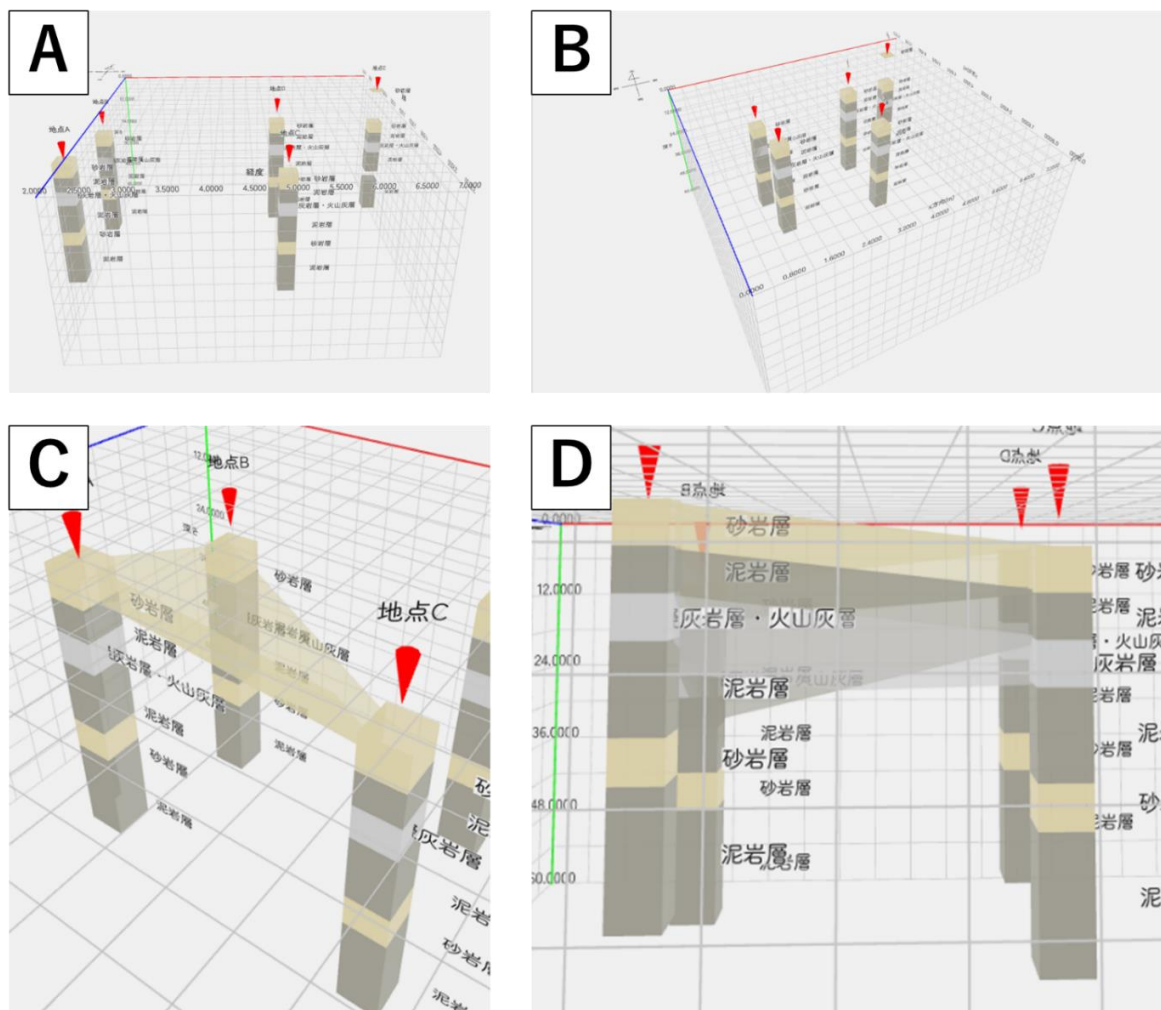


図3 仮想的な堆積場のデータをもとに表示した地層の3Dモデル。

基準面における各地点の標高はすべて0mとし、標高の補正の必要がない条件とした。A：真南から見た場合の地層の3Dモデル。B：南西から見た場合の地層の3Dモデル。C：地点AからCの3Dモデルのうち、一番表層に近い砂岩層をつなげて面的に表示した3Dモデル。面的に表示することで地層の傾きを三次元的に表示することができる。D：地点AからCの3Dモデルのうち、一番表層に近い砂岩層、泥岩層、凝灰岩層・火山灰層の3つの地層をつなげて面的に表示した3Dモデル。

3. 授業実践

3-1. 対象者の概要

開発した教材の効果を予察的に検証するために、教材を用いた授業実践を行った。授業実践は、東京都内公立小学校（2校）の理科の授業において、第6学年の児童60名を対象に行った。児童は学習用端末を日常的に使用しているため、教材の利用を含む端末の操作は円滑に進められた。

3-2. 授業構成と学習内容

児童の通う小学校が建っている土地の下にも地層が広がっていることを見出すことを授業の目的とし、1時間構成で行った。はじめに、小学校が立っている土地に関する映像を視聴し、土地が層を形成していることを見出した。その後、自分たちの学校周辺の土地の様子を見て気付いたことを話し合い、小学校が建っている土地以外の地域の土地の下にも、地層が広がっているのか問題を設定し、紙の資料を基に分かることを記録したり話し合ったりした。その後に、開発した地層3Dモデリング教材を使用した。まとめとして、地域の土地の下にも地層が広がっていることや地層の厚さが違うことなどを確認した。

3-2. 授業構成と学習内容

開発した教材の教育効果の評価を目的として、授業実践後に児童全員を対象として、児童本人の同意を得たうえで Google Forms を用いたアンケート調査を実施した。アンケートの質問項目は、吉川ほか（2016）を参考に作成した^[7]。具体的には、当該授業に対する楽しさ、理解度、積極性、興味の4項目について、その度合いを「よくできた」、「できた」、「ややできなかった」、「できなかった」の4件法で調査した。

アンケート調査の結果、無回答の児童が2名おり、授業に対する質問4項目における肯定的な項目（「よくできた」および「できた」）を選択した児童は、楽しさが94.8%、理解度が93.1%、積極性が89.7%、興味が94.8%であった（図4）。いずれの項目においても、肯定的な回答者の割合は約90%となっており、児童の学習に非常に効果的であると考えられる。しかし、児童が地層の「重なり方」や「広がり方」などの学習内容をどの程度理解しているのかは明らかになっていないため、今後のさらなる検証の余地がある。

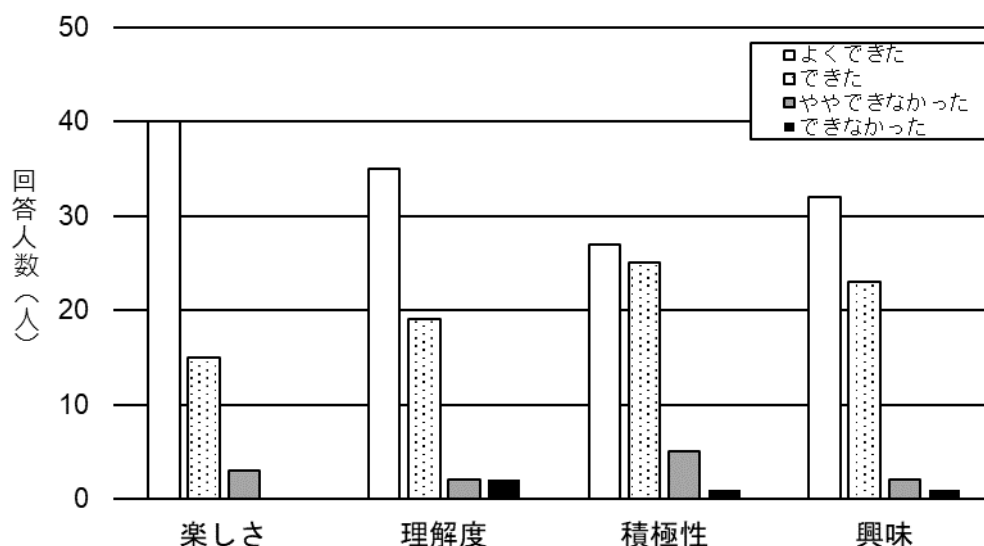


図4 授業実践後のアンケート調査の回答結果。

5. まとめ

本研究では、三次元構造の理解が第一義的に重要である地層の学習において、教科書やプリント等の紙面を用いた従来の伝統的な指導方法では地層の情報を二次元的にしか提示できなかった現状を打破するために地層を三次元的に表示する 3D モデルを開発した。小学生を対象とした授業実践により得られたデータをもとに予察的考察として、教材を用いた授業の楽しさ、教材を用いたことによる学習内容の理解度、教材を用いたことによる授業内容への積極性および学習内容への興味のいずれの項目においても正の影響を及ぼしていると考えられる結果を得た。しかし、児童が地層の「重なり方」や「広がり方」などの学習内容をどの程度理解しているのかは明らかになっていないため、今後のさらなる検証の余地がある。

6. 附記

今後、本研究にて開発した教材による教育効果の詳細について、本教材のアクセス方法とともに公表予定である。

7. 謝辞

共同研究者である泉賢太郎氏、工藤周一氏、吉田賢二氏の協力によって、本研究における教材を開発することができた。また、授業を実践して下さった先生方や児童のみなさんの協力なくして、この研究を実施することはできなかった。この場を借りて、心より感謝申し上げる。また、本研究は第 62 回下中科学研究助成金の助成を受けた。

8. 引用文献

- [1] 文部科学省. 2018a. 小学校学習指導要領. 東洋館出版社.
- [2] 文部科学省. 2018b. 中学校学習指導要領. 東山書房.
- [3] 寺島幸生. 2016. 全国学力・学習状況調査を用いた A 大学学校教育学部理科教育専修生の理科の学力調査. 鳴門教育大学学校教育研究紀要, 30, 105-112.
- [4] 宮下治. 1999. 地学野外学習の実施上の課題とその改善に向けて—東京都公立学校の実態調査から—. 地学教育, 52, 63-71.
- [5] 三次徳二. 2008. 小・中学校理科における地層の野外観察の実態. 地質学雑誌, 114(4), 149-156.
- [6] 辻口俊夫 & 藤則雄. 1991. 中学校理科における地学野外実習について. 金沢大学教育学部紀要 教育科学編, 40, 133-149.
- [7] 吉川武憲, 岡崎和子, 香西武, 村田. 2016. 中学生による堆積相モデルを活用した堆積環境の推定. 地学教育, 68, 4, 171-184.



西澤 輝
(にしざわ こう)

<略歴>

1998 年 千葉県生まれ
2017 年 千葉県立船橋高等学校卒業
2017 年 千葉大学教育学部 入学
2021 年 千葉大学教育学部 卒業
2021 年 千葉大学大学院教育学研究科修士課程 入学
千葉大学教育学部附属中学校 非常勤講師
2023 年 千葉大学大学院教育学研究科修士課程 修了
2023 年 市川市立大洲中学校 教諭
現在に至る

<受賞歴>

- 1) 令和 4 年度 千葉大学 成績優秀者に対する学長表彰
- 2) 令和 5 年度 日本地学教育学会 若手学術賞

<研究歴>

所属学会

- 1) 日本理科教育学会
- 2) 日本地学教育学会
- 3) 日本コンピュータ利用教育学会

助成金獲得実績

- 1) 令和 3 年度 教育学部 - 附属学校園間連携研究「興味・関心の向上を目的とした生痕化石の教材利用に関する実践的研究」
- 2) 令和 3 年度 公益財団法人 教科書研究センター 大学院生の教科書研究論文助成金「中等教育段階の理科の教科書における化石の取り扱いに関する研究」
- 3) 令和 4 年度 教育学部 - 附属学校園間連携研究「中学校理科における動的デジタル教材の開発とその効果の検証 -生徒個人の ICT 端末での使用を目指して-」
- 4) 令和 4 年度 公益財団法人 武田科学振興財団 2022 年度中学校理科教育振興助成「中学校理科第 2 分野地学領域における動的デジタル教材の開発と実践 -生徒個人の端末での使用を目指して-」
- 5) 2023 年 (令和 5 年度) 下中科学研究助成金「地層の学習における新たなアプローチ: 地質構造の 3D モデリング教材の開発・実践・普及」

学会発表

- 1) **西澤輝**, 吉本一紀, & 泉賢太郎., 2021. 高等学校における生痕化石と古生物を結びつける教材の開発-ニホンスナモグリの行動と生痕化石 *Ophiomorpha* の関連に注目して. 日本理科教育学会全国大会発表論文集第 19 号, 269.
- 2) 森重比奈, 野村裕美子, **西澤輝**., & 加藤 徹也., 2021, 科学的探究の過程を体験から学ぶ 日本語版 Expedition Mundus の実践. 日本科学教育学会第 45 回年会, 日本科学教育学会年会論文集, 397-398. https://doi.org/10.14935/jssep.45.0_397

- 3) **西澤輝**, & 泉賢太郎., 2022. 数理モデルに基づく海洋ベントスの糞食行動の要因の考察：中生代以降の摂食効率化の可能性. 日本古生物学会 2022 年年会 講演予稿集, 19.
- 4) **西澤輝**, 香取慶則, 吉本一紀, & 泉賢太郎., 2022. 中学生を対象とした化石の認識および誤概念調査-化石の指導における留意点の提案-. 日本理科教育学会全国大会発表論文集第 20 号, 387.
- 5) 吉田賢二, **西澤輝**, & 三野弘文., 2022. Processing を用いた物理シミュレーション教材の制作と授業実践 -凸レンズの働きを例にして-. 日本科学教育学会第 46 回年会, 日本科学教育学会年会論文集, 381-384.
- 6) **西澤輝**, & 泉賢太郎., 2023. 中生代以降の深海ベントスの糞食による摂食効率化現象の検証：新たな数理モデルの構築と解析. 日本古生物学会 2023 年例会 講演予稿集, 47.
- 7) **西澤輝**, & 泉賢太郎., 2024. 生痕化石 *Macaronichnus* 形成者による選択採餌メカニズム：摂食行動を模擬する理論モデルの構築と解析. 日本古生物学会 2024 年例会 講演予稿集, 26.
- 8) 泉賢太郎, & **西澤輝**., 2024. 堆積物食者の摂食に伴う粒子分配率の理論的考察：生痕化石 *Macaronichnus* を例に. 日本古生物学会 2024 年例会 講演予稿集, 26.

査読付き原著論文

- 1) **西澤輝**, & 香取慶則., 2022. 中学生の化石に関する認識と誤概念に関する研究. 理科教育学研究, 63(2), 373-340. <https://doi.org/10.11639/sjst.22016>
- 2) **西澤輝**., 2022. 生痕化石を用いた授業の開発と実践. 地学教育. 75(2), 73-82. https://doi.org/10.18904/chigakukyoiku.75.2_73
- 3) **西澤輝**, 吉田賢二, & 三野弘文., 2022. 堆積環境の推定を目的とした VR 露頭観察プログラムの開発と実践-新第三系千倉層群白間津層における事例-. コンピュータ&エデュケーション, 53, 58-63. <https://doi.org/10.14949/konpyutariyoukyouiku.53.58>
- 4) **Nishizawa, K.**, & Izumi, K. 2023. Numerical model reveals the potential factors of ingestion of fecal sediments by deep-sea deposit-feeding benthos: Implications for composite trace fossils. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 616C, 111475. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111475>

プレスリリース

- 1) 「糞化石の中にある糞化石」ができる条件を数理モデルで解明～深海の底生生物の糞食行動の要因を読み解く～ https://www.chiba-u.ac.jp/about/files/pdf/20230320_1.pdf

<勤務校> 学校名 市川市立大洲中学校
住所 〒272-0032 千葉県市川市大洲 4 丁目 21-5