

地質標本館における「地層の話」プログラム（前編） 三角州の形成と海水準変動の再現実験の紹介

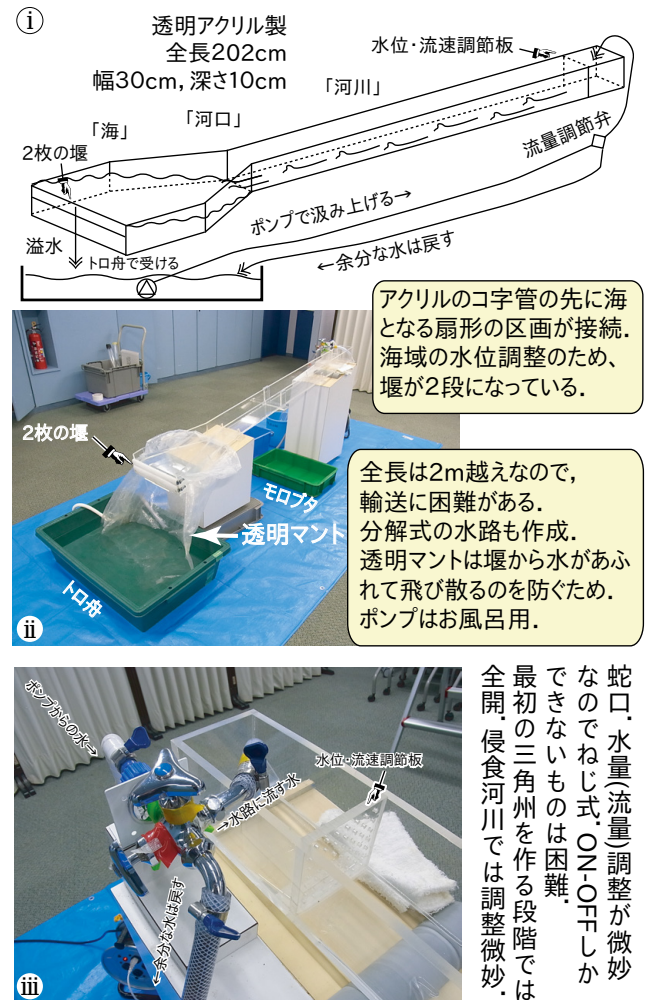
辻野 匠¹⁾・森尻 理恵²⁾・佐藤 隆司²⁾・高橋 誠²⁾・下川 浩一²⁾・須藤 茂³⁾・利光 誠一⁴⁾

1. はじめに

地質標本館では例年、地層のでき方の簡単な講義、低地と台地形成を再現する水路実験、ならびに標本館の見学を組み合わせた参加型学習の「地層の話」プログラムを実施してきており、主に近隣の小学校の校外学習として利用されています。このプログラムは小学生に限ったものではなく、中学生の申し込みもありますし、社会人にも好評です。一連のプログラムのうち水路実験は短時間で平野の成立ちについてイメージをもつことができるため、地質情報展や産総研一般公開などの市民向けのイベントでも実施されてきております。

さて、水路実験のようなアナログ実験は地形や地質への関心を喚起し理解を促進する上で有効な手法と思われる（池田，2011）。野外での観察はもちろん重要ですが、野外で観察される事象はいろいろな作用の総合されたものであり、かつ、ある時間断面でのスナップショットになります。そのため、見せたい事象がうまく発現していなかったり、様々な作用があるせいで学習者の視点をうまく誘導することが難しかったりします。一方で、実験は要素を限定し、注目すべき事象の視覚的な変化を追跡的に観察できるので、学習者の視点をうまく引き付け、理解を促すことができます。

ここでとりあげる水路実験は第1図の水路を使うもので三角州の発達と海水準変動による段丘の形成を再現するものです。水路は澤田ほか(2009)が原型ですが、細かな改良を加えています。厳密に同じではありませんが、地層の観察と水路実験は小学校5年生で習う「流水の動きと侵食・運搬・堆積作用」と6年生の「土地のつくりと変化」に対応しています(文部省，1998；文部科学省，2008)。学校現場を分析した大瀧・川村(2006)は、砂山実験に比べると水路実験装置はあまり使いこなされておらず普及もしていないと指摘しています。一方で、条件を整えた上で児童に観察のポイントを絞った的確な指導を行うに適して



アクリルのコ字管の先に海となる扇形の区画が接続。海域の水位調整のため、堰が2段になっている。

全長は2m越えなので、輸送に困難がある。分解式の水路も作成。透明マントは堰から水があふれて飛び散るのを防ぐため、ポンプはお風呂用。

蛇口、水量流量調整が微妙なのでねじ式ON/OFFしかできないものは困難。最初の三角州を作る段階では全開。侵食河川では調整微妙。

第1図 地質調査総合センター(地質標本館)の水路実験装置。
上段(i)はイラスト。中段(ii)は写真。下段(iii)は水量調整・分配装置(蛇口)。透明のアクリル製で、アクリル板は1cm厚、全長は202cm、幅30cm、深さ10cmである。アクリルのコの字管の先に海となる扇形の区画が接続している。汲み上げには電動ポンプ(家庭用の風呂水の汲み出し用ポンプ)を使用している(吐出量は10-15L/分、使用電力は25W程度)。海域の水位調整のため堰が2段になっている。堰にはシールとしてテフロン樹脂マットを巻いている。全長は2m越えなので輸送に困難があり、分解式の水路も作成してある。こちらは接続部から水漏れが目立ち、下に桶を置く必要があり、屋外での使用が望ましい。透明マントは飛散防止のため、堰から洩れる水を受ける。水量調整が微妙(後述の低海面期)なので蛇口をとりつけて微調整する。

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門
2) 産総研 地質調査総合センター 地質情報基盤センター
3) 元職員
4) 産総研 地質調査総合センター 研究戦略部

キーワード：地質標本館，小学校校外学習，水路実験，デルタ，海水準変動

いる、とも述べており、水路実験には大きな可能性があると考えられます。

ところが、新型コロナウイルスへの感染防止対策が求められる状況において、水路実験の実施が今年度は難しくなっています。地質標本館での知見や経験が途絶えるのを危惧してこの度、実験とそれに随伴するプログラムの簡単な報告をしたいと思えます。また、学校現場や教育に携わる方が独自に展開する場合には装置類を複製する必要があります。ここでは授業と実験のほか装置類についても簡単に触れます。さらに、実験には砂が必要で、この砂は例えば砂浜の砂をそのまま使うのではなく、様々な工夫と改良が加えられています。この砂については後編で報告します。この実験装置・活動が、他の機関においても継承されることを期待しています。

2. 実験をはじめた経緯

「地層の話」プログラムの原型は2005年から2008年まで地質標本館に在籍した目代邦康氏(現・東北学院大学)が、前職の筑波大学陸域環境研究センターでの経験をもとに始めたもの(目代ほか, 2006)です。最初期は各種の一般公開・イベントなどにおいて、斜面崩壊・土石流・河川の侵食と堆積など、様々な実験が職員の手によって実施さ

第1表 地質標本館における小学校への水路実験の実績

年度	学校数	人数
2006	13	864
2007	16	798
2008	19	998
2009	20	859
2010	26	1382
2011	21	1031
2012	22	1162
2013	14	546
2014	16	606
2015	16	655
2016	15	652
2017	19	965
2018	18	1084
2019	15	953

れてきました(住田, 2010)。水路実験もその1つでしたが、小学校の学習プログラムに沿う形で、著者の1人である須藤を中心にとりまとめ現在の様式に収斂していきました(澤田, 2009)。

「地層の話」プログラムを目的とした小学校の受け入れ実績を第1表に示します。だいたい毎年15校程度、600人程度の児童がこのプログラムに参加しています。2010年度は26校、1382人でした。評判を聞いて、奈良県の高校や長野県の小学校が関東への旅行の際に地質標本館を訪れて水路実験を見学していったこともありました。プログラムを実施する際に注意すべきは学校の規模で、1学年が15人くらいの小規模校もあれば、100人以上の学校もあり、実験や見学の運用は随分と異なります。1回の実験での理想的な見学者の上限は20人程度で、30～40人となると十分観察する余地のない児童が出ることが危惧されます。そのような大人数のクラスはいくつかのグループに分かれて実験することが望ましく、時には多目的室(常用)だけでなく、ホールを使用し、研究者にも応援いただいたこともあります。

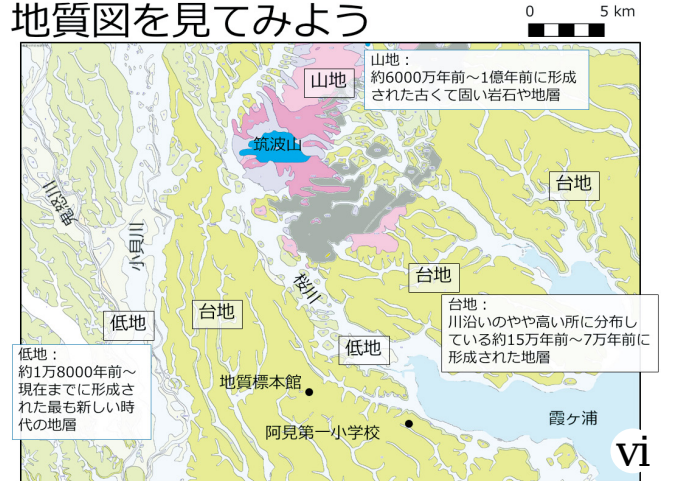
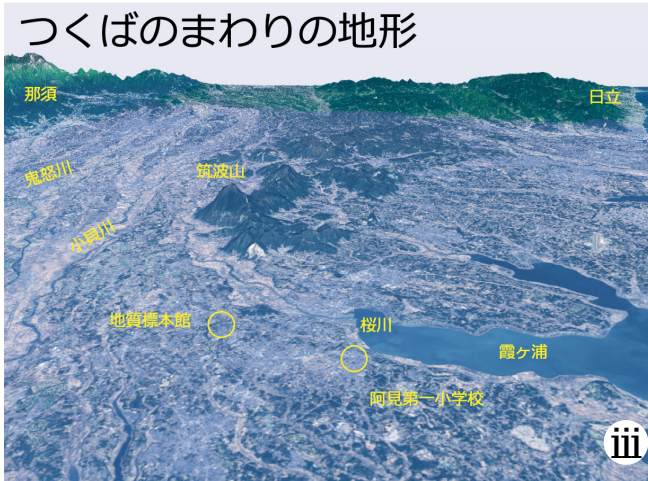
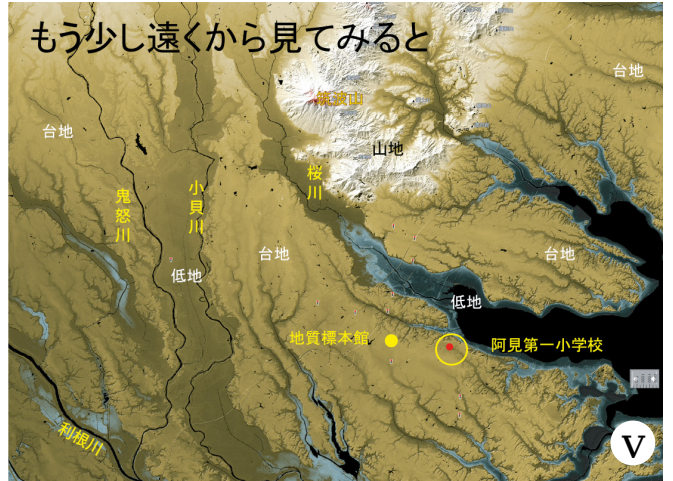
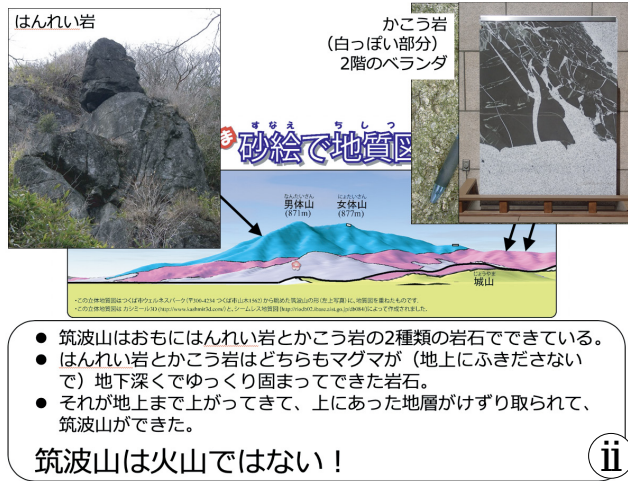
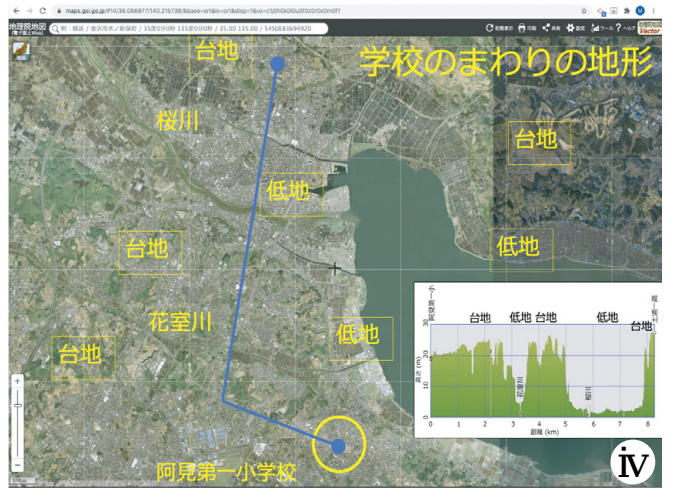
3. 講義

小学校の校外学習では地質標本館での滞在時間は90分～120分です。地層の講義・水路実験・館内見学を、それぞれ30分程度ずつ時間を割当てており、学校の人数にあわせて1班が20人以下になるようにしています。上記の講義・実験・見学サイクルの運用の関係で、実験してから講義を聞く、あるいは講義を聞いてから実験する、の2通りのパターンがあります。説明の順番や掘り下げ方など若干の違いはありますがここでは講義→実験の際の講義について簡単に述べます。講義は構造的には「つかみ」、「地形と地質」、「堆積作用」の3つの部分からなります。

なお、この実験・講義も含め、地質標本館の小中学生むけのメニューではクイズを頻繁に出して児童・生徒に見学のポイントを示し、考えてもらうようにしています。

3.1 つかみ

最初の「つかみ」は、つくば市近隣の小学生がほとんどですから、筑波山(第2図i)です。筑波山は火山でしょうか。火山ではないでしょうか。現在では筑波山を構成する岩石は深成岩なので火山説は否定されておりますが、かつては、円錐状の地形から火山と考える人もいました。そこで、筑波山は火山かどうか尋ねることにしています。個々の回答の集計はとっておりませんが、印象では筑波山に近



第2図 講義で使用するスライドの一部（カラー）。

これ以外にもスライドがあり、最初に館内案内・注意をするほか、周辺のくわしい地形の段彩図や地層の写真や地層の概念図、地質標本館の標本や展示物紹介、島弧における地震の発生メカニズム（文部科学省地震本部、素材集 #3004）もスライドで説明する。2018年のハワイの噴火など、タイムリーなものについては動画で紹介することもある。i) つかみの筑波“火山？”。ii) 地質（岩石）で火山でないことがわかる。iii) 郷土の地形（地理院地図）。iv) 航空写真に地形区分を示したもの。インセットは国土地理院の国土基盤情報 DEM を地形描画ソフトカシミール 3D (<http://www.kashmir3d.com/>, 閲覧日：2020年8月27日) で作画した小学校を横断するプロファイル。v) 広域地形を国土基盤情報 DEM にもとづいて段彩図表現したもの。地形描画ソフトカシミール 3D (<http://www.kashmir3d.com/>, 閲覧日：2020年8月27日) で作画。vi) 同じ範囲の地質図。20万分の1日本シームレス地質図 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/>, 閲覧日：2020年8月27日) を基図として山地、台地及び低地の地形区分に特徴的に認められる地質を説明している。

い学校の児童ほど正しく理解しており、離れた学校では火山と誤解している人も若干名いるようです。

説明では、他のイベントで用いている砂絵の筑波山の地質図(芝原ほか, 2013)と岩石の写真(第2図 ii, 場合によっては偏光顕微鏡写真)も提示しながら、火山の写真や噴火の映像なども駆使して火山と深成岩からなる山の違いを説明していきます。なお、深成岩や火山の詳しい内容は中学校1年生の「大地のなりたちと変化」で学習する内容ですので地質標本館に来館した児童には先取り学習になります。この説明はどの順番でも同じです。

3.2 地形と地質

次に本題の地形と堆積作用の話題に移ります。まず、地形から入ります。このプログラムを始めたころは、段彩図を示して平地といっても高いところと低いところがあることを示していましたが、最近の講義ではWeb上にある学校周辺の航空写真(第2図 iii)を見せて、より視覚的に自分たちの身近な地形に興味をもってもらうことから始めています。更に、学校(台地にあることが多い)から近くの河川(低地を伴う)を通して対岸の台地に至る地形断面図を提示します。第2図 iv では霞ヶ浦そばのある小学校を例に、台地を通して、土浦で霞ヶ浦に注ぐ桜川をまたいで、反対側の台地を通る断面図を提示しています。こうしてみると台地は定高性が顕著で、ここでは20 mの標高になっており、低地はこの例では桜川低地だけですが数mの標高になっていることがわかります。

学校の近くの地形で低地と台地のイメージをつかんだら、茨城県南部地域全体の地形で概観します(第2図 v)。ここでは段彩図で示しています。

次に、同じ範囲で地質図(第2図 vi)を見せます。地質図を見ると、台地と低地とで地層が違えることがわかります。ここでは簡単に地層ができた年代が違えることだけ触れています。また、つくば市には筑波山があり、山地は台地とも低地とも違う岩石が分布していることが地質図からわかります。台地の地層としては貝化石を伴う地層が発達することを化石床の写真を示し(第3図 i)、台地の地層の一部は海の地層だったことを児童に印象づけます。小学校の立地によっては環境地質図(第3図 ii, 宇野沢ほか, 1988)を例に引いて、台地と低地とでは地層が異なり、貝化石を産する地層は平面図(地質図)では川沿いに僅かにあるだけに見えますが、断面図(第3図 iii)で見ると水平方向に広く拡がっていることを図示していきます。

また、GSJの近くの花室川で発見されたナウマンゾウの白歯のレプリカ(第3図 iv)を児童に廻して、これが何か

あててもらおうクイズをします。廻すのは時間がかかるので、講義が始まるとすぐに児童に渡します。答えにまったく見当がつかない学校もありますし、簡単に当ててしまう学校もありますが、板がいくつも重なりあった咬板がとても奇妙に見えるようです。これでヤスリのように草をすり潰すんだよ、と説明し、ゾウの臼歯は人間のように垂直方向に歯が抜けるのではなく、水平方向に歯が抜けること、一生のうちで5回、歯が生えかわることに触れます。これは一見すると脱線にも見えるのですが、われわれの講義・実験では、このような脱線を適宜加えています。それは、地球科学は総合の学なので、様々な入口があり、どれかをとっかかりとして興味をもってもらうことが大事だと考えているからです。たとえば地形・地層に興味がなくとも化石に興味があるならば地層や地形に興味を惹き起こせることができます。見学も同じ狙いがあり、水路も地形も化石も興味がないけれど鉱物には興味を示す児童もいます。そこを入口として地学への関心を誘引したいと考えています。さて、ナウマンゾウの化石をとりあげたのも単なる脱線ではなくて、古環境を推定する証拠に使います。ゾウは陸上の生き物なので、ゾウが産出した地層は陸の地層である蓋然性が高いからです。

3.3 堆積作用

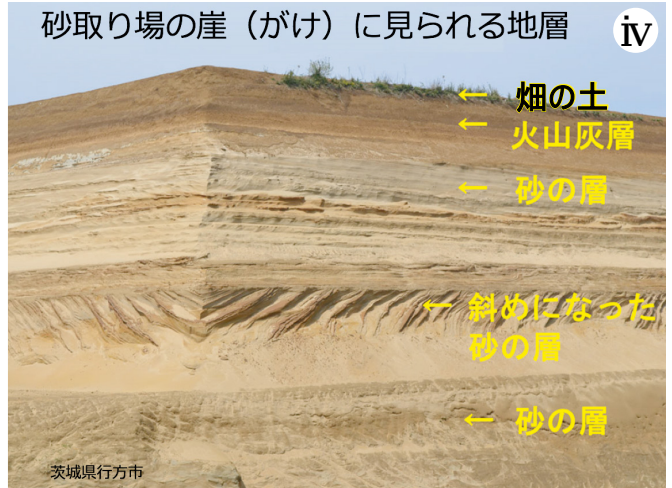
堆積作用の説明は水路実験の説明と重複するところが多いので、ここでは重複のないところだけ簡単に述べます。

地層の説明として最初にあげるのは行方市にある採土場の露頭です(第3図 iv)。ここは上から、地表の畑の土の下に、赤褐色の成層した火山灰層、平行葉理が発達した砂の層、上より少し粗めの砂層、斜層理が発達した砂の層、ショベルの跡がついてよくわからない砂層が発達していることが示されます。このような砂の層がどうやってたまったか水路実験でみてみよう、というわけです。講義が先の場合、地層とは碎屑物が堆積したもので、地層累重の法則がなりたっていること、先程の化石床(第3図 i)やナウマンゾウの臼歯の化石(第3図 vi)などから地層から環境がわかることなどを総括します(第3図 v)。

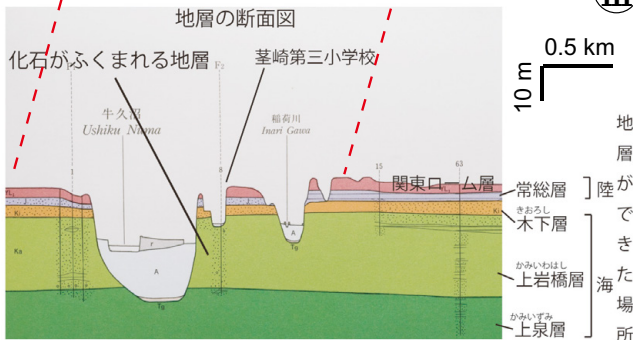
実験を先にする場合は、先に述べた地形・地質の話をつにわけて、間に、この堆積作用の説明を加えます。具体的には、身近な地形の説明をし、台地と低地の概念を理解してから、実験を復習する形で堆積作用の説明をし、堆積作用を踏まえて、広域の地形や地質を理解し、貝の化石床やナウマンゾウの臼歯の化石から、海になったり陸地になったりとした環境変遷を経て現在に至ったことを理解します。



貝が生きていたころ
(約12万年前)、
このあたりは海だった!



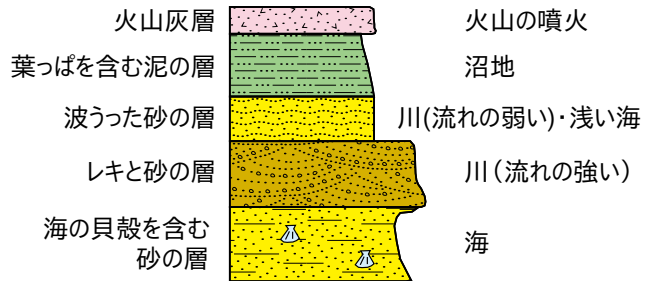
地質図を見てみよう



上岩橋層は現在では木下層と一緒にされています。
木下層は約13万年前の間氷期に浅い海でたまった地層です。

地層からわかること

地層とはレキ、砂、ねん土、火山灰などが層になってたまったもの。ふつうは下にあるものほど古い



その土地の成り立ち・歴史がわかる

ナウマンゾウの上あごの
歯の化石でした。



- 花室川の約3万年前の地層から見つかった。
- このあたりでゾウが生きていた時代があった。
- そのころはこのあたりは、今と同じように、陸だった。

第3図 講義で使用するスライドの一部（続き）。

- つくば周辺で散点的に露出する化石床の紹介。ここ以外に葦崎地域の写真を紹介することも多い。
- 学校周辺の地質図（筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図，宇野沢ほか，1988）。身近な地域から台地と低地の違いを直感的に把握できるように。
- その断面図。
- 地層とは何か，地層から何がわかるか。環境の変遷がわかることを主に紹介。
- 地層からわかることイメージ図。
- ナウマン象が発見された場所。鳥観図は国土地理院の国土基盤情報 DEM を地形描画ソフトカシミール3D (<http://www.kashmir3d.com/>，閲覧日：2020年8月27日) で作画。

3.4 見学とその他の説明

見学に際しての諸注意、地質標本館での見学の見どころ、日本で地震が多いわけ、などの説明をして講義をしめくくっています。見どころとしてはいろいろな岩石や鉱物、化石、特にデスモスチルスの化石、牡鹿半島の褶曲のレプリカなどを紹介しています。地震については、環太平洋の地震の分布を示し、次に日本周辺では海溝に地震が集中していることを指摘し、海洋プレート沈み込みのモデル図を用いて、プレート境界型地震(海溝型地震)や内陸の活断層地震などを説明しています。

また、見学では講義で触れた地震の震源分布をホールの震源分布模型で実見し、第一展示室から順番に見てまわります。いろいろな地質時代の化石(化石タイムトンネル)、デスモスチルス、富士山の立体模型、第四展示室の鉱物などが人気ですが、基本的には児童の関心を重視して見学するようにしています。

4. 水路実験

4.1 実験装置

実験装置の主役はもちろん水路装置(第1図)で、これはアクリル製の特注品(澤田ほか, 2009)です。電動ポンプ(家庭用の風呂水の汲み出し用ポンプ)を用いて水を循環させて水流を維持します。水路の長さは2 m程度で、幅・深さともに10 cmの方形の溝となっており、最下流部だけ幅30 cmに広がる扇型になっています。方形の溝の部分が川のアナロジーで扇型の部分は海のアナロジーとなっています。扇型のところの末端には堰が設けてあります。堰は上下にわかれており、上側の堰(3 cm)だけを外すと、水位が下がり、海水準の低下を模すことができます。さらに、この水路は約10度傾いています。このため、堰の高さが一番高い時、方形の溝と扇型の接合部付近に河口が来ます。また、透明なアクリル製なので、三角州の内部の地層の堆積の様子を横から見るすることができます。堰から溢れた水は80 Lのトロ舟(第1図中段参照)で受けて、電動ポンプでトロ舟から汲み出して水路の最上流で流します。

この装置で工夫されているところ(いわゆるノウハウ)で特筆すべき点は3つあります。1つめは、上で述べた堰(第1図中段)です。堰により海水準変動を模すことができますのですが、初期の水路ではしばしば水漏れに悩まされました。現在ではテフロン樹脂のシートを巻くことで漏水を防いでいます。地質標本館では水路は2組保有しており、片方は1 mで分離できるものになっていますが、この接続部にもテフロンを使用して漏水を防いでいます。た

だし、いくぶんかは漏水するので、下に水受けのモロブタ(第1図中段参照)を置いていますが、絶対に水を漏らしてはいけな環境では使用できません。分離式の装置は水漏れの危険があるのですが、2 mの長さの水路は普通の乗用車に積載しにくいので、外部イベントでの使用はほぼ分離式の水路を用いています。

2つめは、ポンプで汲み上げた水を循環させる時に、流量を調節するための蛇口(第1図下段)をつけていることです。初期のころは水を流す時だけポンプを作動させていましたが、水を吸いあげるまでタイムラグがあったり空気を吸ってしまったりとトラブルがありました。また、水量の調節もポンプに負荷をかけて無理やりやっていたのですが、この蛇口を取り付けてタイムラグのトラブルがほとんどなくなり、水量の調節もやりやすくなりました。具体的には常にポンプを作動させ、水路に水流が必要なときは水路に、そうでない時はトロ舟に還流させるように、配管に分岐を導入して、蛇口を2つ(水路への蛇口と、還流させる蛇口)とりつけています。また、水路の上流には水位・流速調整板を設けて、ポンプの脈動を拾わないようにしつつ、一定の割合で水が流れるようにしています。

3つめは、水路の下流部(海のアナロジー)の下に、透明なビニールのマントを引いていることです(第1図中段)。堰から溢水すると水が撥ねたり伝ったりして、結構、まわりが濡れてしまいます。些細なことですが、児童によってはそういうところで忌避感情を惹起してしまうため地質標本館としても気を遣っています。また、ポンプは30分程度の運転を想定しています。通常の実験では30分で終了し、うちポンピングしている時間は20分もないので問題ないのですが、イベントなどで運転しっぱなしだと負荷がかかりすぎるので注意が必要です。

実験に使う砂は中粒砂と細礫を重量比で6:4~7:3で混合したものを使っています。この比率だと海水準低下時に斜面崩壊を起こしにくいことが経験上わかっています。また、使用中粒砂は濡れても白さが保たれていることが重要です。堆積の専門家であれば色がわかりにくくてもラミナを認識することは可能ですが、生徒・児童にとって堆積物の色は重要で、同系色だと粒度の違いによるラミナが見にくく識別に困難があるという指摘があります(小山, 2006; 石原, 2008)。詳しくは後編で、地質標本館で使用している砂の組織や粒径分布や安息角、色調、選定条件について述べます。

4.2 実験

実験では最初に水路を使うのではなく(もちろん、目の

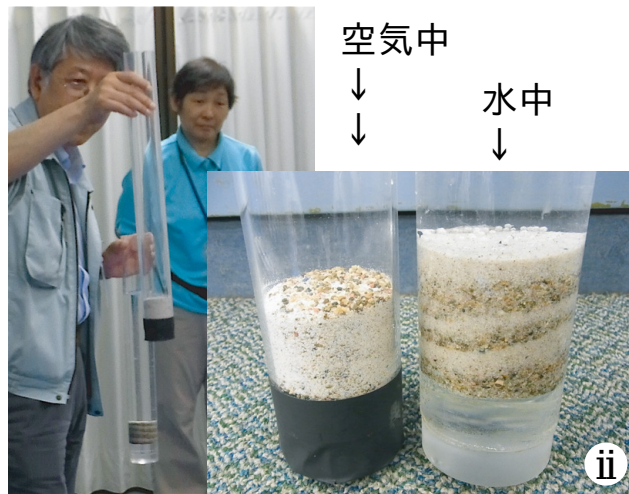
前にある水路の説明は最初にしますが（第4図 i），空気中と水中で砂を落した時の挙動の観察から始めます（第4図 ii）. 50 cm 程度のアクリルパイプを2本用意し，片方はそのまま（空気），もう片方は水を入れて，パイプモダルの粒径分布をもつ“砂”（後述）を落します. 砂を落とす前に，児童にはどのように落ちるか予想しよう，と質問します. ストークスの法則を知らなくても，空気中と水中だと空気中のほうが早く落下することはわかります. 一方で，水中だと目に見えて分級が起きるので，児童はしばしば歓声をあげます. 砂のうち，大きい粒子が先に落ちるか，小さい粒子が先に落ちるか，よく観察しましょうと指示を出して，数回落してみます. そして落した回数が地層として記録されることがわかります.

なお，空気中でも分級作用は働きますが水中に比して小さいので数10 cmを落ちる間には分級は見えません. 一方で，火山灰など上空高く巻き上げられた粒子については

空気中でも分級作用で目に見えて粒径が違ってくるので，同じ原理が作用していることを学びます.

続いて本題の水路です. 上流部から，上述の“砂”を次々に投入して堆積作用を見るのがこの実験の主旨です. 水路は川のアナロジーとなっていて，水路の上部が川の上流，中間部が中流，下部が下流で，扇形の部分が海，と説明します. 水路の上部に砂を入れることは，上流で山が削られて川に流れ込むことを示しています. 更に，直管部分と扇型部分が接合するところ，すなわち，川と海が接合するところを何と呼ぶか，児童に尋ねてみます（答えは河口，第1図 i）. また，砂を投入する前に，砂がどのように流されて，最終的にどこに堆積するか，児童に問いかけます. 海底（扇部）の最深部にたまると答える児童が目立ちますが，はたして，やってみると答えは河口です. 予想を外した児童はその意外性に驚くようです. そこで，なぜ河口にたまるのか，砂の動きを観察することで考えてみましょう，と問いかけます. ここで連続的な投入に移行します（第5図 i）. 多くの児童は活発で，並んで投入してもらいます. 1回の砂は料理用のおたま（第5図 i のインセット）1つ分です. だいたい，15～20回くらい投入すると実験は終了になりますが，人数が多いと1回も投入できないことがあるので，おたまに盛る砂を調整して対応します.

連続的な投入では繰り返し同じ現象が起きていることを児童と一緒に確認します. 投入された砂は水流で洗われて流されますが（第5図 ii），粒の大きさと流れる速さに違いがあるか児童に問いかけます. 砂は斉一ではないですが，大きな粒径の砂から下流に移動し，細かい砂は最後に流されます. それが繰り返し起きるわけです. なぜ砂は堆積するのが河口なのか，流れる様子をヒントにして児童に問いかけます. 河口では川幅が広がるので流速が急に減し，流れていた砂が堆積する，と答える児童もいます. 繰り返していくと，水面に近い，浅いところの砂は運ばれて更に海側に移動していきます. こうして堆積物が沖側に堆積していったものが三角州です（第5図 iii，第6図）. 専門的には水面に近く浅いところは頂置面といい，沖側に移動していった先の斜面を前置面といい，そこにできた地層をそれぞれ頂置層，前置層といいます. ここでは名称には触れずに，先の斜面では砂が層になって前進していくことを目視で確認します. また，この地層は斜めになっていることにも注目してもらいます（第6図）. アクリルパイプで作った地層は水平でしたから，それとは違い，講義で触れた斜めになった地層（第3図 iv）は，このような場所で形成される，ということ学習します. アクリルパイプでは粒径が大きい砂が先に落下しますが，水路では粒径が



第4図 実験の様子.

i) 実験風景. ii) 沈降管に“砂”を落す実験. 児童に実際に“砂”を落してもらった. “砂”は細礫と中粒砂の混合物で，空気中を落下する砂は成層しないが，水中では分級がおり，成層して堆積. 児童から歓声があがることもある.



第5図 実験の様子(続き).
 i) 水路への“砂”の投入風景. 実際に児童に投入してもらうむ児童もあるがガラスによりけり. インセットは投入に使用する“おたま”で図のように卵型のほうがよい. 円形の“おたま”は使いにくい. ここでは柄を曲げて児童が使いやすいようにしている(矢印). ii) 投入された“砂”が流れる様子. iii) 流れた“砂”が河口で堆積し三角州が発達する様子.

大きい砂が流れの先の方で堆積する違いにも注意を向けます.

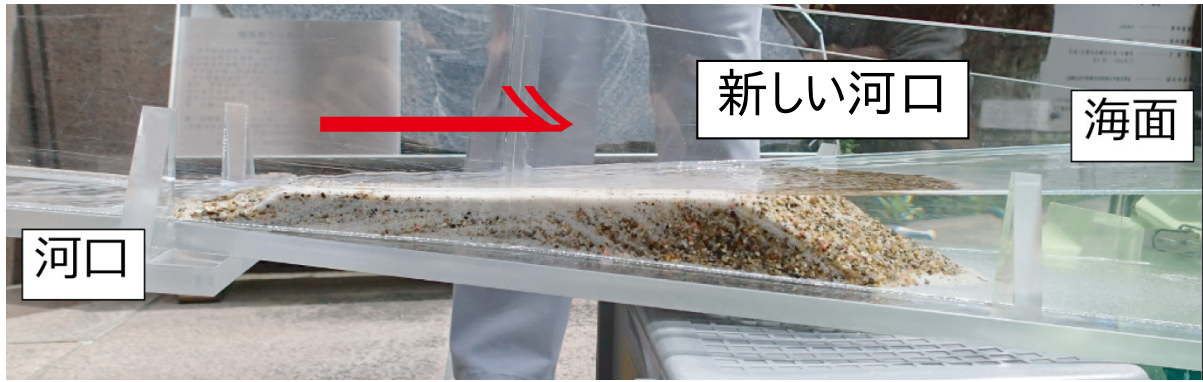
三角州の形態についての学習がひととおり終わったら、水流を止めて、上下にわかれる堰の上側だけを外して、水位(海水準)を下げます(第7図i). これは氷期のアナロジーであり、頂置層が離水する様子が観察できます. この水位を下げる際のコツとしては、乱暴・急激な動作は禁物で、ゆっくり下げることです(時間が押している時は特に手際よくしたいところです). さもないと前置層が斜面崩壊を起こし、続く実験が壊滅的に不可能になります. 目立った斜面崩壊を起こすことなく低海面期を実現できたら、次に、微弱な水流を加えます. この時に蛇口が活躍します. 蛇口がないと最大水流でしか流せません. 水路への蛇口で水流を絞った分は、還流の蛇口を解放して過度に水圧が高まらないようにしています. この時の蛇口の加減は、反応の時間差やその時のポンプの調子、三角州の発達程度もあって、やや難易度が高いので、経験を重ねておくことが重要でしょう.

さて、微弱な水流は三角州に至ると、流れた部分だけを侵食し、谷が下刻されていく侵食河川の様相を呈します(第7図iii). 谷壁は多少後退したり、流路が振れたりして谷底が拡がります. こうしてできたのが低地です. 侵食された砂は更に下流に移動して、新しい河口で新しい三角州が発達します(第7図ii). 古い頂置層は取り残されて段丘(台地)になります. この地形的な特徴を自分たちの住んでいる町、たとえば霞ヶ浦西岸地域にあてはめてみると、川ぞいの桜川低地と、川と川に挟まれた筑波台地、そして霞ヶ浦に流れこむ河口に発達する三角州に対応することがわかります(第2図v).

5. 中締めとして

中野・江口(2015)は地学教育法の研究の過程で、実験器具の宅配(「ジオラボ宅配便」)を推進し、実際に借り出した実験器具で授業実践を行なった藤井(2014)の例をあげ、事前に製作者から実演をまじえてガイダンスを受けても実験に失敗することもあり、マニュアル化しにくい実験のコツについて触れています. この報告でも実験のコツについては十分伝えられなかったかもしれません. 是非、事前の準備を複数回行っていただければと思います.

今回、紹介したようなメートルスケールの規模の水路実験は小学校単位でなく、市町村の教育センター程度の規模で運用するのが望ましいと考えられます. 水路の維持に手間がかかりますし、理科教育に熱心な教員が常にその



第6図 実験により形成された三角州。
当初の河口が埋積されて河口が海側に前進し、新しい河口となって、それまで海であった地域が低地になっていることを理解させる。



学校で勤務しているということはありません。本報告は学校現場ではより簡単な水路実験装置の開発の参考になるかもしれません。

境(2006)は市販装置による水路実験は高額かつ準備・片付けに手間がかかるため簡単な方法が必要ということで、「たまるん」という卓上の水路実験装置を開発しています。20 cm × 10 cm × 10 cm のプラスチックケース (MD ケース) とペットボトルからなるコンパクトなものです。石原(2008)は「ツモルくん」という紙の A4 サイズの断面積で幅 8 cm のスリムな水路実験装置、横山(2013)は「ち・そうなんです」という小型 (A4 の底面積) の水路実験装置を開発しています。かわいいネーミングも普及上のポイントかもしれません。

新型コロナウイルスへの感染防止対策により地質標本館の水路実験も現在休止中です。より小型の水路実験で三密を避けることが有効なのかもしれませんし、地質標本館の水路を運用できるような状態・方法が見つかるかもしれません。いずれにしても地質標本館として、社会に地球科学を普及する貢献を続けていきたいと考えます。次回は、水路実験に使用する“砂”について検討した結果を報告します。

第7図 海退を実験で再現する様子。

- i) 堰を1段解除し、水位を下げる様子。堰はテフロンシートで巻いて水漏れしないようにしている。
- ii) 海退により渚が海側に前進し、そこに新しく三角州が発達している様子。
- iii) 同じ状態を海側から鳥瞰した様子。高海面期に形成された三角州は台地として取り残される。あひるの在所在が台地である。台地の一部を河川が侵食し、新しい河口には新しい三角州が形成されている。

文 献

- 藤井宣至 (2014) 「ジオラボ宅配便」を利用した授業実践：小学校第 6 学年「大地のつくりと変化」. フォーラム理科教育, 15, 61-68.
- 池田 宏 (2011) 地形を見る目を小型実験で磨こう. 第四紀研究, 50, 209-219.
- 石原 清 (2008) 生徒の興味を惹く地学実験器具の開発 (2 年次). 島根県教育センター平成 20 年度研究紀要, 13p.
- 小山ちさと (2006) 児童一人ひとりが実感を伴って学べる理科の授業づくり. 神奈川県立総合教育センター長期研修員研究報告, 4, 33-36.
- 目代邦康・野田 篤・田村 亨・中澤 努・角井朝昭・中島 礼・井上卓彦・利光誠一 (2006) 水と砂を使った地層・地形の実験. 地質ニュース, no. 627, 35-39.
- 文部科学省 (2008) 小学校学習指導要領. 文部科学省 (初等中等教育局教育課程課). 東京都, 104p.
- 文部省 (1998) 小学校学習指導要領. 文部省 (初等中等教育局教育課程課). 東京都, 108p.
- 中野英之・江口はるみ (2015) 学習事項を有機的につなぐ地学教材の有効的な活用方法を探る～小学校第 6 学年「土地のつくりと変化」の単元の教育実践を通して. 地学教育, 68, 129-143.
- 大瀧 学・川村寿郎 (2006) 川の流れとはたらきを知るための流水モデル実験器の再検討. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 9, 67-76.
- 境 智洋 (2006) 200 円でできる堆積実験器「たまるん」とその実践. 北海道立理科教育センター研究紀要, no. 18, 75-82.
- 澤田結基・宮地良典・森尻理恵・吉川秀樹・玉生志郎・青木正博・兼子紗知・古谷美智明 (2009) 地質標本館の小学校見学対応と水路実験. 地質ニュース, no. 657, 45-48.
- 芝原暁彦・住田達哉・加藤碩一・大和田 朗・佐藤卓見 (2013) 3D 模型と砂絵で楽しむ筑波山のジオー地質図を立体的に理解するための砂絵教材の開発とイベントでの活用一. GSJ 地質ニュース, 2, 279-281.
- 住田達哉 (2010) 産総研つくばセンター平成 21 年度一般公開において地質分野ブースで活躍した実験装置とアイテムについて. 地質ニュース, no. 671, 1-7.
- 宇野沢 昭・磯部一洋・遠藤秀典・田口雄作・永井 茂・石井武政・相原輝雄・岡 重文 (1988) 2 万 5 千分の 1 筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図. 特殊地質図, 23-2, 地質調査所.
- 横山 光 (2013) 堆積実験装置「ち・そうなんです」の開発. 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要, no. 25, 88-93.

TUZINO Taqumi, MORIJIRI Rie, SATOH Takashi, TAKAHASHI Makoto, SHIMOKAWA Koichi, SUTO Shigeru and TOSHIMITSU Seiichi (2020) Flume experiment in Geological Museum, AIST, GSJ (Part 1) – Geomorphic development of a delta as response to sea level change.

(受付:2020年10月26日)