

さんそうけん☆サタデーでみる水路堆積実験

森田 澄人¹⁾・中村 由美¹⁾・谷田部 信郎¹⁾・横張 亜希子²⁾・産総研広報部³⁾

1. はじめに

さんそうけん☆サタデー、略して「さんサタ」は、例年ならば多くの入場者を迎える産総研一般公開に代わるものとして、コロナ禍の2021年、産総研広報部の制作によってオンライン形式で開催された科学プログラムです。8月から12月まで5回の第3土曜日の午後、毎回3組の話題がライブ配信で取り上げられ、私たちは第4回にあたる11月20日を担当しました。タイトルを「水と砂がつくった自然のアート：透明水槽で大地の歴史を早送り」として、アクリル水路装置をつかった堆積実験をご紹介しました(第1図)。水による浸食・運搬・堆積の作用、そしてそれらによってつくられる地形の変化を学びます。

ここで使用した水路装置は、地質標本館の水路実験システムです。透明なアクリルで製作した細長い水路を傾け、その上位からポンプで水を流し、そこを流れる砂の様子を観察するというものです。いたってシンプルに見えるこのシステムですが、水路を河川に見立て、砂や礫の流れ方を観察するとともに、扇型に広げた下流の先に



第1図 第4回さんそうけん☆サタデーのポスター。

堰を設けることで、たまった水を海に見立てて河口から先に三角州ができる様子が観察できます。この水路実験システムは目代ほか(2006)で紹介された初期のシステムから改良が重ねられ、長年地質標本館のイベントや、産総研地質調査総合センターが例年各地で開催する地質情報展など、様々な場面で活用されてきました(澤田ほか, 2009; 宮地・澤田, 2010など)。現在の水路実験システムは、辻野ほか(2018)や辻野ほか(2020, 2021)に詳しく記述されています。

2. オンラインでの初の試み

通常のイベントなどで実施している水路実験であれば、周囲に聴衆を迎え、その様子を伺いながら演者は実験や解説が進められます。見たいところを見たい角度からじっくり観察でき、聴衆の反応に合わせてペースも変えられるのが本来この水路実験の良いところですが、この度の実験は、周囲に聴衆がなく、カメラだけを前にして、その向こうにいる視聴者に向かって実演する初めての試みになりました。そのため難しいポイントがいくつもあり、当日まではリハーサルと実験の流れの修正を幾度も繰り返すことになりました(写真1, 2)。

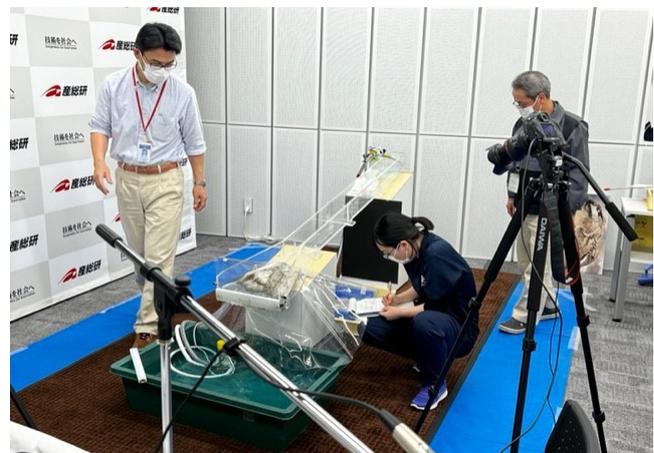


写真1 リハーサルの風景。装置の設定や実験の流れを入念に確認します。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター

2) 元 産総研 広報部、現 埼玉県立春日女子高等学校

3) 産総研 広報部

キーワード：地質標本館、博物館実習、学芸員、展示解説、展示標本清掃、岩石薄片、体験型学習



写真2 リハーサルの風景。カメラは5台。スタッフも手順の確認に手を抜きません。

水路実験では、水や砂の流れとともに地層が堆積していく様子や削剥されていく様子など、広く眺めてもらいたい時や一部に集中して見てほしい時があったり、また注目してほしいポイントが行ったり来たりもしますので、映像の撮り方にはかなり工夫がなされました。結果的に、水路は4台のカメラで捉えています(写真2)。3台が固定式で、そのうち1台は全景を、別の1台は海の部分を斜め横から、もう1台は海を真横から、残りの1台は可動式でその都度注目したいところにフォーカスします。カメラの操作や切り替え、さらにスーパー出しなどは、それらを手順よく操作するスタッフ達の腕の見せどころです。

いつものイベントならば30分余り掛かる一連の流れです。それを25分でまとめます。全体のストーリーは組み立てられるものの、演者が速く動いたところで砂は速く流れてくれるわけではありません。細かな水や砂の流れや堆積の進み方は自然まかせです。想定している現象が観察しやすい形で再現できるかどうかが今回のもう一つの難点でした。現場に聴衆がまったくいない環境で、視聴者がフォローできる速さ、そして解説に必要な言葉とそれに掛かる時間なども考慮して調整が続きまして。

3. 第1段階：水路実験スタート

オンラインでの実演は地質標本館の森田と中村が務めました(写真3)。イントロとして水路実験システムの概要を説明すると、まずは水流のある水路(川)の上にブレンドされた砂を置いて流していきます。砂は小さなお玉ですくって、時間に間隔をおきながら置いていきます(写真4)。ここが最初の「観察のポイント」です。使用している砂は地質



写真3 本番スタート。司会のナツミン(右下)とグッチー(左下)に支えられ、番組が進みます。



写真4 本番風景。4台のカメラが水路を捉えています。ここは手動カメラが河川を流れる砂の動きにズームイン。カメラの切り替えなど、他のスタッフも集中しています。

標本館の特別なブレンドです。大きな黒い粒と小さな白い粒が水の流れによってそれぞれ異なった動きをします。一見すると、ブレンド砂は水流のある水路の上でさらさらと流されていくように見えますが、よく観察すると、大きな黒い粒は断面積が大きいため水流によって速く流され、小さな白い粒は水路の底に沈み気味になり比較的ゆっくりと流されます。

砂が流れていった先の扇型の部分は堰で水がたまって海になっているため、砂はどこかに堆積することになります。ここでは一方的な解説一辺倒でなく、視聴者にも考えていただくクイズを準備しました。砂はどこにたまるのでしょうか(写真5)。この問題はいつものイベント時にも聴衆の皆さんに問い掛けてみるのですが、大人の方でも予想が外れる場合があります。ヒントとして、水たまり(海)の中央に少量の砂を落としてみると、きれいな輪を描いて広がります。

さて、河口から海に出た砂は河口の近くから次々と堆積

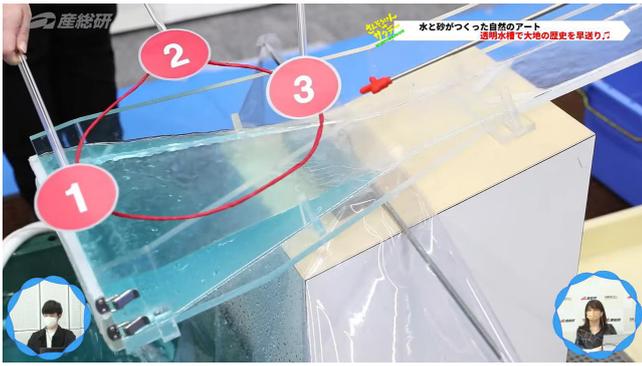


写真5 視聴者にクイズ。河口から海に出た砂が堆積する場合は？
①水路の末端、海の一番深いところに堆積する。②水のたまった海全体に散らばって堆積する。③川から海にたどり着いた河口の近くに堆積する。さてどれでしょうか？

していきます。ここでの「観察のポイント」は、水面よりも高く砂は堆積しないということ。水の高さが堆積面をコントロールしています。石がゴロゴロと転がっている河原に行ってみると、水面よりもかなり高いところに円礫が積み重なっていることがあります。それらは大水の時に運ばれてきたもので、上部には流された時の水面を示す平坦な面が残されているかもしれません。水路実験で流された砂は、河口から前進するように積み重なっていきますので、前線部では安息角を示す斜めの地層(前置層)が成長していきます(写真6)。このようにして河口付近に成長した地層が三角州です。間隔をおきながら砂を流しますので、それぞれの砂の塊が水の流れによって分級しながら堆積するため、横から見ると前置層は斜めのしましま層を示します。ここでは、砂を置く間隔を十分に空けながらも、水流の流速を通常よりも上げることで速やかに粒子が分級するように調整しました。

4. 第2段階：海水準の変動

三角州が十分に発達すると、横から見た断面では、上面がちょうど海面の高さで平らな三角形の地層が出来上がりました(写真6)。ここからは海水準を変化させてみます。地球上で繰り返される気候変動によって、寒い時期には極地方の氷床が発達することで海水準が低くなります。逆に暖かい時期にはそれらが解けて海水準が高くなるのが知られています。今からたった2万年ほど昔では、現在に比べて海水準が100 m以上低かったと推定されています。この水路実験システムに備えられている堰は二段式になっていて、上の堰だけを外すことによって海面の高さを下げる

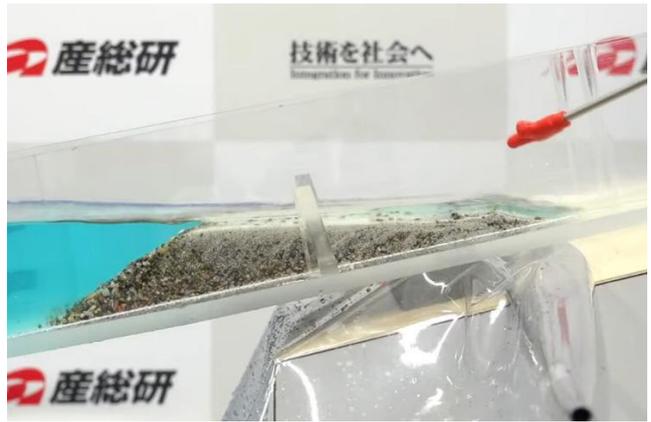


写真6 三角州を構成する地層は斜めのしましまを示す前置層で特徴づけられます。



写真7 三角州に堆積した地層は海水準が下がってむき出しの台地になると、河川によって削られ谷地形をつくりはじめます。

ことができます(辻野ほか, 2018)。堰をゆっくり取り外しながら水を静かに抜くことによって海面は下がり、海面の高さで形成された三角州は干上がって台地になりました。海水準を下げる作業は少々時間が掛かりますが、この手順を急いで進めると地層の大崩壊が起きてしまいます。そのため、ここでは水流を一旦止めて、静かに丁寧に水を抜きます。

続いて台地に改めて緩やかな水流をつくると、水の流れが台地を刻んで小さな河川となり、谷地形をつくりだしました(写真7)。ここで新たな「観察のポイント」です。先にも述べたように、水面の高さが地層の高さをコントロールしますので、海水準が下がってむき出しになった部分は水の流れによって削剥されます。現在の海に面した平野の多くには、縄文海進時やそれ以前の高海水準時に形成された台地(段丘層)が存在し、のちに発達した河川によってそれらを削ってできた谷地形が発達しています。これによって

できた段差の地形は河岸段丘です。実験はこのような姿をデモしており、ずっと続けていると台地のすべてが削剥され、低くなった海面の高さに合わせた平坦な地形になってしまいます。

この後、実験では再び上の堰を設置して、ゆっくり静かに海水準を元の高さに戻します。

5. 小休止：円筒実験で粒子の沈降を見る

海水準を調整している間に、間延びしないよう別の実験をはさんでみました。水路実験のテーマは水による浸食・運搬・堆積の作用を学ぶことですが、ここでは水路装置の代わりに透明な円筒を2本用意して、一方は空のまま、他方に水を入れ、そこにお玉ですくったブレンド砂を入れました。すると、空の円筒の底に積もったブレンド砂には大きな変化は見られませんが、水を入れた円筒では砂がゆっくりと沈み、その過程で分級が起こるため、しましまの地層が堆積しました(写真8)。「観察のポイント」は、水の中では大きな粒ほど速く沈み、小さな粒はゆっくり沈むことです。これはストークスの法則と呼ばれますが、大学の専門課程で習うためここでは言葉の紹介だけにとどめました。

6. 第3段階：海退－海進によるシーケンスの完成

円筒実験を進めている間に、水路実験装置では元の高さまで海面が上がリ、削られた台地は再び水に沈みました。ここで改めてスロープに砂を流していきます。これは初めに三角州をつくった時と同じ作法です。海面の高さが砂の堆積面をコントロールしますので、ここでも新たに高

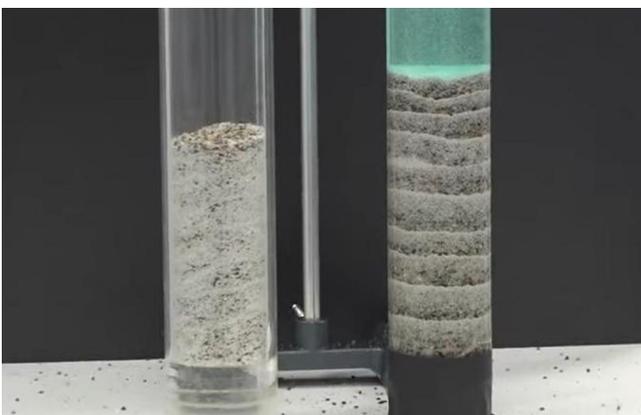


写真8 海水準が変化している間に円筒を使った堆積実験をします。お玉ですくった砂を円筒の中に繰り返し入れていきますが、空中と水中では砂のたまっていく様子が違うようです。

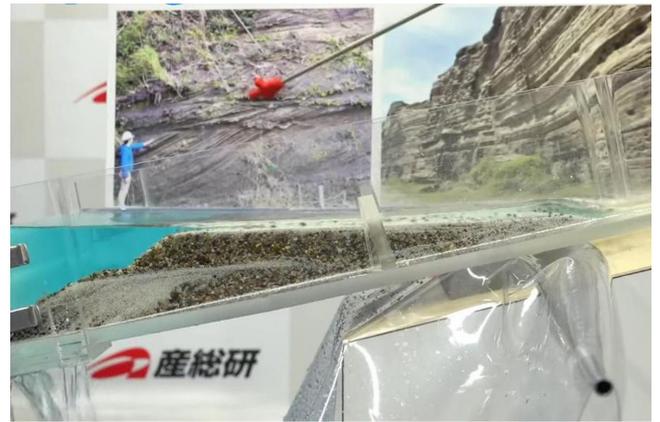


写真9 河口付近での一連のシーケンスの形成を観察してきた結果、最後には二階建てのしましま層になりました。

くなった水面を上面の平坦面にして地層がたまっていきます。斜めのしましま層をつくる前置層が前進して再び大きく三角州が発達すると、上方から見た外見は第1段階でつくられた地層と同じ様相です。しかし「観察のポイント」は横から見たところにあり、三角州の形成にはじまり、海退による浸食と海進による堆積によって、二階建てのしましま層で構成される一連のシーケンスが形成されました(写真9)。

7. クロージング

一通りの実験が終わると残った時間は質問コーナーです。生配信ではチャット欄にリアルタイムでコメントが入ってくるので、それに回答するという方法でした。視聴者が見えない形式での実験でしたが、ここで受けた質問が視聴者の反応を知る一つの目安になりました。

イベントとしてのさんそうけん☆サタデーは生配信でしたが、その動画は産総研広報部の動画サイトにアップされています。上述の一連の流れは当日の生配信の流れに沿って述べていますが、大部分を割愛して示しているとともに言葉だけでは分からない点も多数あるかと思われます。ご興味のある方は「さんサタ」で検索、または後述の動画サイトURL(産総研広報, 2021a)からアクセスしてご覧ください。また、この動画内で回答できなかった質問への回答も別動画としてアップされています(産総研広報, 2021b)。

8. 水路実験システムの可能性

通常の地質標本館イベントの進行に比べると「さんサタ」

での水路実験は非常に速い展開で、海退-海進の流れを一巡させ、二階建てシーケンスの形成まで進めてみました。しかし、この水路実験システムにはまだまだ色んな現象を再現できるポテンシャルがあります。海水準が変動し、海退時には台地の縁辺部を刻み込むように谷地形が形成されますが、この谷頭浸食を分かりやすく完璧な姿で再現する方法を開発し、2021年にはNHKの番組でご披露しました。また、地質標本館では新たに平面型の水路実験システムも導入しました。次元が広がりましたので、こちらも現在いるような可能性を試しているところです。

9. おわりに

産総研一般公開が開催できない中、オンラインで初めて試みた水路実験でしたが、その分、反省点は山ほどあり、もう一度トライしてみたい思いがあるものの、やはり水路実験は聴衆をお迎えして行うのが一番です。はやく感染症拡大の不安がなくなり、皆さんの笑顔を見ながら実演できる日を楽しみにしています。最後に、当日司会を務めていただいたナツミンとグッチーにはとても明るく楽しい進行をしていただきました。視聴者にも大変好評でした。そして、配信をご覧いただいた視聴者の皆様に感謝いたします。様々な地質の情報がつまった地質標本館にもぜひお越しください。

文 献

宮地良典・澤田結基(2010)水路実験の魅力～一般公開での反応～. 地質ニュース, no. 671, 15-16.
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.

産総研広報(2021a)【産総研公式】第4回さんそうけん☆サタデー～あつまれ!科学フレンズ～. <https://youtu.be/WW0W2tlo20I> (閲覧日:2022年4月28日)
産総研広報(2021b)さんそうけん☆サタデー第4回「水と砂がつくった自然のアート 透明水槽で大地の歴史を早送り♪」質問に答えたよ【産総研公式】. <https://youtu.be/VabmwEY9y9s> (閲覧日:2022年4月28日)
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.
辻野 匠・森尻理恵・佐藤隆司・高橋 誠・下川浩一(2018)地質標本館での水路実験:紹介と砂の選定. 日本地質学会第125年学術大会講演要旨, 576.
辻野 匠・森尻理恵・佐藤隆司・高橋 誠・下川浩一・須藤 茂・利光誠一(2020)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. GSJ 地質ニュース, 9, 317-326.
辻野 匠・森尻理恵・佐藤隆司・高橋 誠・下川浩一・須藤 茂・利光誠一(2021)地質標本館における「地層の話」プログラム(後編)三角州形成と海水準変動の再現実験に適切な“砂”の検討. GSJ 地質ニュース, 10, 109-117.

MORITA Sumito, NAKAMURA Yumi, YATABE Nobuo, YOKOHARI Akiko and Public Relation Department, AIST (2022) Program of experimental flume at Sansoken-Saturday Program.

(受付:2022年5月9日)