

水と砂を使った地層・地形の実験

目代 邦康¹⁾・野田 篤²⁾・田村 亨²⁾・中澤 努²⁾
角井 朝昭²⁾・中島 礼²⁾・井上 卓彦²⁾・利光 誠^{一²⁾}

1. はじめに

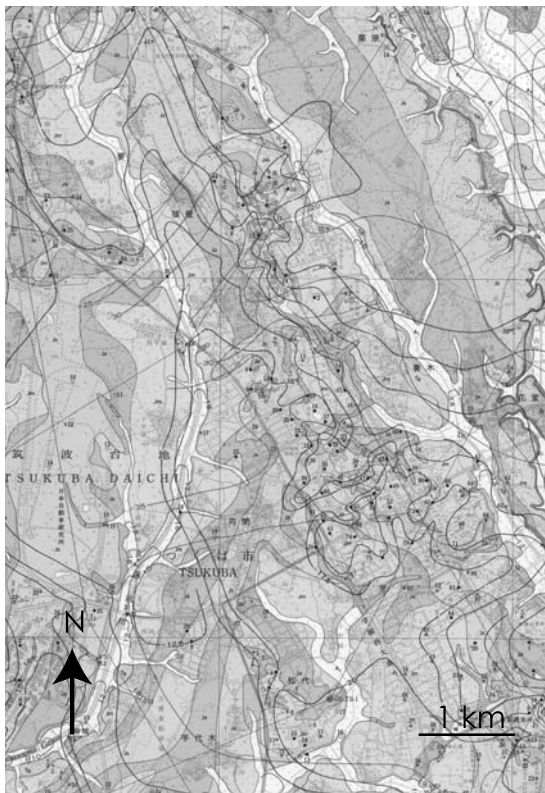
2006年7月22日の産総研一般公開日に、地質標本館玄関前で、砂と水を使った地層や地形を作る実験を行いました。流砂の振る舞いや堆積作用、砂の作る地形について解説をしながら実演するというものです。いずれも簡単な装置で、地層や地形がどのようにできるかを理解できます。ここでは当日行った、三角州の形成実験、沈降・堆積実験、安息角の実験、ウェーブリップルの形成実験、地震による丘を作る実験の方法について解説します。なお、2006年8月19日の地質標本館体験学習においても、ほぼ同様の実験を行いました。

2. 三角州の形成実験

筑波台地は、約10万年前の古鬼怒川^{ちようし}の鳥趾状三角州のあとです(池田ほか, 1982)。この事を踏まえ、実演ではまず、筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図(地質調査所, 1988; 以下、筑波の環境地質図)を用いてこの地域の成り立ちについて話し、その後水路を用いて三角州の形成過程を説明しました。水路では、特に三角州の前進過程を見せるため、水位を一定にして前置層が形成されていく過程の実験を行いました。

筑波台地の成り立ちについては、筑波の環境地質図を用いて、以下のような説明をします。「この地域は、関東ローム層の厚さが1.5~2mと薄く、10万年前頃の地形の様子を現在でもうかがい知ることができる。鳥趾状三角州は、旧河道とその周囲の後背湿地とから構成されている。旧河道は、主に砂勝ちだが、後背湿地は泥勝ちである。泥勝ちの後背湿地は地盤

沈下が進んだため、砂勝ちの旧河道の標高は周囲より1~2m高くなっている。『筑波の環境地質図』には、旧河道が上流から下流に向かって分岐する鳥趾状三角州の形態がよく見てとれる(第1図)。産業技術総合研究所をはじめとする研究学園都市の研究機関は泥勝ちの後背湿地の上に位置しているため地盤沈下が進行している(写真1)。」



第1図 地質図に現れる鳥趾状三角州の様子。地質調査所(1988)「筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図」を一部改変。

1) 産総研 地質標本館
2) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: アナログ実験, 堆積作用, 地形形成作用, 三角州, 沈降管, 安息角, ウェーブリップル, ミーママウンド



写真1 産総研構内の地盤沈下の様子。



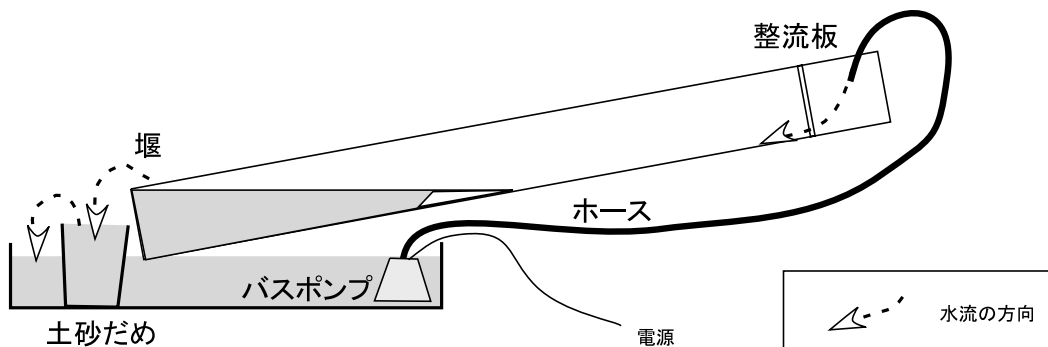
写真2 三角州形成実験の様子。

実験装置は、第2図のようなものです。水路の側面は地層が観察できるように透明にしてあります。下流端にはガムテープで堰を設けます。脚立を使って水路を適当な勾配に傾け、通水します。すると下流には池ができ、そこに水深の浅い流れが流れ込みます。この下流にできた池を海と見なし、浅い流れを川と見なします。下流には低水槽を置き、堰を越流した水は、そこに流れ込みます。水は、家庭用のバスポンプを使って循環させ、上流から再び流します。このような水路に、濾過砂(白)と粒径2mm程度の色の付いた細礫を混ぜたものを手で投入します。そうして、どのように砂が流れ堆積していくのかを見せます(写真2)。

実験を開始すると、ちょうど浅い流れ(川)から池(海)に変わるところに砂が堆積していきます。ここで砂は遠くに流れていってしまわないことを説明します。次に流れ方に注目させます。水深の浅い流れの

ところでは粒子の大きな細礫の方が砂よりも速く移動します。これは、粒子が大きいと水面近くのより強い流れを受けることができるためです。砂を次々と投入するうち、川から海に変わるところで三角州が発達していきます。実験では水路が二次元断面を示しているため、これがどうして三角州なのか理解しにくいところがあるので、実際の地形では上流から下流に三角形に広がっていくのだということを、地図や航空写真などを用いて説明します。次に水路側面からのぞき込み、三角州を作る地層の説明をします。そこには、三角州前置面と同じ勾配を持ち、白い砂と有色礫との縞々による斜交葉理が見られます(写真3)。斜交葉理の勾配は、地層が前置面の前進によって形成されたことを示していること、縞々は前述の砂と礫の篩い分けによってできることを説明します。

砂の堆積によって池がいっぱいになってくると、実験の締めくくりをします。浅い流れの途中で砂山を作



第2図 三角州形成実験装置の概要。



写真3 実験でつくられた斜交葉理。

ります。これは、土砂崩れによって形成されたものであると説明します。水路はその砂山によって堰止められるため、上流には堰止め湖ができます。この堰止め湖は、水位が上昇することで決壊します。結果、下流は大洪水となり、三角州の一部も壊れてしまいます。三角州の穏やかな堆積とは一転したダイナミックな地形の変化に参加者からは驚きの声が聞かれました。

人間の生活の場である平野の多くは、堆積作用によって作られた平坦面を起源としています。参加者は、ここで行った三角州の堆積実験を観察することで、平野がどのように形成されていくのかをイメージしやすくなります。

3. 沈降管を使った沈降・堆積実験

海や湖の底には、砂や泥の粒子がゆっくりと堆積してできた地層があります。粒子の沈み方はその大きさや密度、形状などに支配されます。この実験では、直径15cm、高さ180cmの透明アクリル製沈降管を用いて様々な種類の砂や礫、さらに貝殻、釘などの沈み方を見てもらいました(写真4)。事前に用意された様々な種類の砂礫、貝などを、各自、自由にカップに入れて、沈降管の上端から投入します。すると、水中で粒子の種類毎に分かれて沈降していきます。そして、沈降管の下端には、縞模様として「地層」があらわれます。砂や礫は、比重が同じであれば大きなものほど速く沈み、小さなものほど遅く沈むため、一枚の地層の中では下から上に向かって徐々に細粒化する



写真4 沈降管を使った実験の様子。

「級化」という現象が見られます。沈降管への一回の投入で一枚の地層ができることから、沈降管の底にたまった地層の枚数を数えることによって、今までの投入回数に分かります。このことは暴浪や津波などによってたまった地層の枚数から突発的な堆積イベントの頻度を知ることができるという、実際の地層の研究手法に結びつけて解説することができます。

軽石などの空隙の多いものは大きくてもゆっくり沈みます。場合によっては、浮いたまま沈まないものもあります。同じ粒径の砂でも比重に差があれば沈降速度は異なり、例えば黒い砂鉄は白い石英・長石質の砂粒子よりも早く沈みます。また、左右の殻が離れた二枚貝の殻を投入すると、水の抵抗があるため膨らんでいる側を下にしてゆらゆらと落ちてゆく様子が観察できます。そして実際の貝殻の地層や軽石の地層にもこのような産状が見られることを説明します。この実験は、このように地層のたまり方を体験的に学習できます。

4. 安息角の実験

乾燥した砂は、静かに積み上げていくと約32度の勾配を作ります。この角度を安息角といいます。砂



写真5 安息角の実験の様子。

粒子間の摩擦によりこの角度が維持されていると考えられています。この実験では、漏斗を使ってゆっくりと砂を積み上げて、その角度を測ってもらいました(写真5)。ここでは砂山は、高さに関係なく勾配が一定するということを実感してもらうために、2段階で角度を測ってもらいました。まずは漏斗を使ってゆっくりと砂を積み上げ、まだ小山の状態のときに、傾斜計で斜面の角度を測ってもらいます。そしてさらに砂を積み上げて大きな砂山になった時点でまた測ります。これで2回の測定で角度が変わらないことを実際に知ることができます。とても単純な実験ですが、好奇心旺盛なお子さんたちに角度の測定をお願いすると喜んで測ってくれます。また、実際に山地では30度前後の傾斜の斜面が多いことを説明すると、さらに多くの方が納得してくれました。そして、次には水槽の中に砂山を作りました。今回用意した傾斜計は水中では使えない仕様だったため、実際の傾斜の測定はできませんでしたが、水中では空気中にくらべて安息角が小さい(傾斜が緩い)ことを、目視でもほとんどの人に理解していただけました。これは粒子に浮力が生じるため、粒子間のかみ合わせが弱くなり、空中と同傾斜の斜面を維持できないことによります。大雨が降って地下水圧の上昇により斜面崩壊が起きやすくなることを連想させることができます。

5. ウェーブリップルの形成実験

ウェーブリップルとは、波打ち際のさざ波のような交互に向きの変わる波の働きによって作られる、対称的な高まりを持つ微地形のことです。このような地



写真6 ウェーブリップル形成実験の様子。

形は水深の浅い場所でしか作られないため、地層中に存在する場合は古水深を測る指標となります。このウェーブリップルを作る実験では、ガラスの水槽の下に“ころ”をおいたものが簡便なためよく用いられます(たとえばAllen, 1985)。今回は、下面に4つのタイヤがついている衣装ケースを用いて実験を行いました(写真6)。砂鉄の混じっている海岸の砂を底面に敷き詰め、水を入れて左右に振動させます。ケースを規則的に振動させると、中の水が海岸に打ち寄せる波のように左右に動き、水の渦を作ります。渦と渦の合間は水の高さ変化が小さいため、流速が小さく、砂粒子はほとんど動きません。一方、渦の軸部は水の高さ変化が大きいため、流速が速く、粒子が左右に動きます。このため、重い砂鉄や粗粒な粒子は谷の部分に残り、細粒で軽い粒子は峰の部分に濃集します。このようにして、波が砂の表面に形成する規則的な起伏、つまりウェーブリップルを作ることができます。衣装ケースを揺らすことによって形成されるリップルの波長(峰の間隔)は、砂の大きさ(粒径)や揺らし方(波の周期)、水の量(水深)などによって変化します。様々なタイプのケースを用意して多様な砂の表情を、手軽に机上で観察することができます。

6. 地震による丘をつくる実験

米国カリフォルニア州セントラルバレー北部に、高さ1~3m、直径数m~15mの丘が一面に広がっています。これは、ミーマウンド(ミーマ塚)と呼ばれています。この丘は、直下型地震により形成されたという仮説が提示されています(Berg, 1990; 池田, 2001)。



写真7 地震による丘を作る実験の様子。



写真8 プラスチックトレー内にできた砂の高まり。

このような丘が形成される様子を簡単に再現する実験を行いました(写真7)。100円ショップで売っているプラスチックのトレーに、細砂を薄く敷きます。そしてそのトレーの底を下から指で軽く数回たたくと、徐々に砂が集まってきて小さな高まりを作ります(写真8)。振動の進行波と反射波の峰と峰が一致した場所は砂が激しく動かされ、峰と谷が一致した場所に砂が集まっていくためです。このミーマウンドの成因の定説はまだありませんが、今回行ったような実験を工夫していくことでそのメカニズムの解明が進むかもしれません。

7. おわりに

地層や地形の形成過程は、非常に長い年月がかかるものであるか、あるいはとても巨大であるため、全容を見ることが容易ではありません。しかし、実験は、変化過程を観察することができるので、時空間スケールの大きな地球科学的現象を理解するには、非常に良い方法です。同じ実験を見ていても、専門家と小学生では感じるものが違うというのも実験のおもしろいところです。簡便かつわかりやすい地層や地形の形成実験を今後も開発していきたいと思ひます。教

壇で様々な工夫をされている小中高等学校の教員の方とも情報交換を進めたいと思っておりますので、関心をお持ちの方は、著者までお気軽にご連絡下さい。

謝辞：実験水路と沈降管は筑波大学陸域環境研究センターより貸していただきました。また、実験の内容に関して池田宏博士から多くのご助言を得ました。厚くお礼申し上げます。

文 献

- Allen, J. R. L. (1985) : Principles of physical sedimentology. The Blackburn Press 272p.
 Berg, A. W. (1990) : Formation of Mima mounds: a seismic hypothesis. *Geology*, 18, 281-284.
 地質調査所 (1988) : 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。
 池田 宏 (2001) : 地形を見る目。古今書院, 158p.
 池田 宏・水谷かおり・園田洋一・伊勢屋ふじこ (1982) : 筑波台地の地形発達-“古霞ヶ浦”の鳥趾状三角州。筑波の環境研究, 6, 150-156.

MOKUDAI Kuniyasu, NODA Atsushi, TAMURA Toru, NAKAZAWA Tsutomu, SUMI Tomoaki, NAKASHIMA Rei, INOUE Takahiko and TOSHIMITSU Seiichi (2006) : Experiments of sedimentation and mass movement.

<受付：2006年9月1日>