

# コンピューターシミュレーションを使った 土石流・崖崩れに関する教材の開発

萩原 彰\*

## はじめに

土石流・崖崩れなどのいわゆる斜面崩壊は、ほぼ毎年と言っても良いほど、日本各地で大きな人的・物的損害を出しており、洪水などと並んで代表的な災害の一つと考えることができる。

一方、新学習指導要領では地学で応用科学的な内容を大幅に導入することが予定されており、その中で災害教育が大きなウエートを占めてくることが予想され、その意味では斜面崩壊に関する教材の開発が必要となってくるといえよう。

ところで斜面崩壊はどこでもいつでも起こるというわけではなく、その起こる場所・時間は限定されている。そのため、現地見学は時間的・地理的制約などから困難な場合が多い。また現実の斜面崩壊は各種の条件が複雑に絡み合い、巨大なスケールで起こる現象であるため、直感的・全体的な把握が困難であると考えられる。

そこで、実験とコンピューターシミュレーションを併用した教材を開発し、斜面崩壊は各種条件(斜面の角度、地質、植生の有無)に規制されるということを視覚的に実感させ、理解させることを目指して試行を行って見た。

なお、試行した対象は地学を選択した3年生18人である。

## 1. 教材の概要と目的

まずコンピューターシミュレーションに必要な基礎的データを得るために、実験を行う。これは凝灰岩(裾花凝灰岩)起源の砂れきが同体積入った箱を4つ用意し、これを15度、30度、45度、60度にそれぞれ傾け、各箱に散水するという簡単なものである。水により砂れきどうしの内部摩擦は減少し、斜面は崩壊する。そのときまでに使用した水の量を計量することにより、何ℓの水により各斜面が崩壊するかを知ることができる。その値より

補間法で何度の斜面はどのくらいの水量で崩壊するかをデータ化する。このデータは箱のサイズ等の箱の条件に規制されているので、実際の裾花凝灰岩の崩壊のデータに基づき、コンピューター上の地形に雨を降らせ、どの程度崩壊が起こるか、シミュレーションを行う。また条件をいろいろに設定し、条件の違いによって、変化が起こるかどうかにシミュレーションを行う。

## 2. 実験

### (1) 材料と器具

材料としては裾花凝灰岩が風化してできた砂れきを使用した。これは4年前に大きな地滑り(地附山地滑り)とそれに伴う土石流を起こしたために、崩壊が起こる前の降水量、地形などのデータがあること、また分布地域が本校にも比較的近く、採取が容易であることによる。

縦63cm、横38cmの箱に、上述の砂れきを12cmの深さで敷き詰めた。各箱の砂れきの条件を等しくするために、採取した砂れきを1.0mm以下、1.0mm~2.0mm、2.0mm~4.0mm、4.0mm~6.73mm、6.73mm以上の径を持つ砂れきにふるい分け、各砂れきを5等分して、各箱に分配した。

斜面崩壊がいつ起こるかを判別するために10cmの棒(使いかたは後述)を各箱につき6本用意し、水をまく道具としてはジョウロ、水を計量するものとして3ℓのビーカーを使用した。

### (2) 方法

土を敷き詰めた箱を、それぞれ15度、30度、45度、60度の傾斜に傾ける。

次いで、箱の上端から21cm(箱の長さの1/3)離れた部分に、棒を3本、等間隔に3cmの深さで打ち込む。同様に上端から42cm(箱の長さの2/3)離れた部分に棒を打ち込む。

ビーカーで水を3ℓ計りとり、ジョウロに入れ、斜面全体にかかるようにジョウロの位置を変えながら散水する。水は表面を流下して土壌を侵食したり、土の内部に浸透して土壌粒子の内部摩擦を減少させ、斜面を崩壊させる。

\* 長野県須坂高等学校

6本の棒のうちどれか3本が倒れたら、崩壊が起こったとみなし、それが起こった時点で、ジョウロからピーカーに水を戻すと、何lの水で崩壊が起こったかが分かるので、それを記録する。水が少なすぎて崩壊が起こらない場合には更にこれを繰り返す。なお棒は斜面上の固定された構造物を意味しており、それが倒れることは斜面を構成する土が下方へ移動すること、すなわち斜面崩壊を意味すると考えた。目で見ているだけでは、どの時点で崩壊が起こったかという判定が実験者によって異なってくる可能性があるため、統一的な基準を設定したわけである。また角度を上述のように設定したのは、シミュレーションで仮想的に地滑りを起こさせる高社山の斜面が3度~60度であり、一方、崖崩れは30度以上、土石流は15度以上でそのほとんどが発生するので、崩壊の発生する下限を15度、上限を60度と考えることができるからである。(地滑りも斜面崩壊の一種であるが、この実験はわずかの時間に大量に降水させるものであり、地滑り性の崩壊を考えるには適さない実験であるため、地滑りは対象外とした)

### (3) 実験の結果と補正

15度、30度、45度、60度の各角度の斜面における崩壊に必要な水の量はそれぞれ40.1l、25.3l、9.1l、2.7lであった。これを降水量(mm)になおすと137.9mm、91.3mm、32.8mm、9.7mmとなる。

これらの角度以外の角度の斜面の崩壊に関しては、測定した各降水量を直線で結んだグラフに従うものと考えている(補間法)。なお15度未満では崖崩れ・土石流は起こらないと仮定している。

ところでこれは室内実験の結果であり、実際の斜面崩壊とは斜面の規模も違い、また崩壊の時間的スケールも大きく異なり、補正を要する。実験で使用した裾花凝灰岩の場合、地附山地滑りの際に起こった土石流は24度の角度の斜面で、449.5mmの降水量(梅雨期)があった後に起こっている。グラフ上でこの角度の斜面を崩壊させる雨量は109.4mmであり、4.1倍に当たる。そこで実験斜面における崩壊角度と雨量の関係が実際の斜面でも成り立つと仮定して、実験で算出した崩壊に要する雨量を全体的に4.1倍し、実際の斜面での崩壊に要する雨量とする。

## 3. シミュレーション

このシミュレーションは個人ごとに行うこともできるが、実際の授業では、班ごとにわかれ、班内で互いにシミュレーションの結果を見合うことが容易なようにディスプレイを横一列に並べ、班内で雨量、地質などの選択

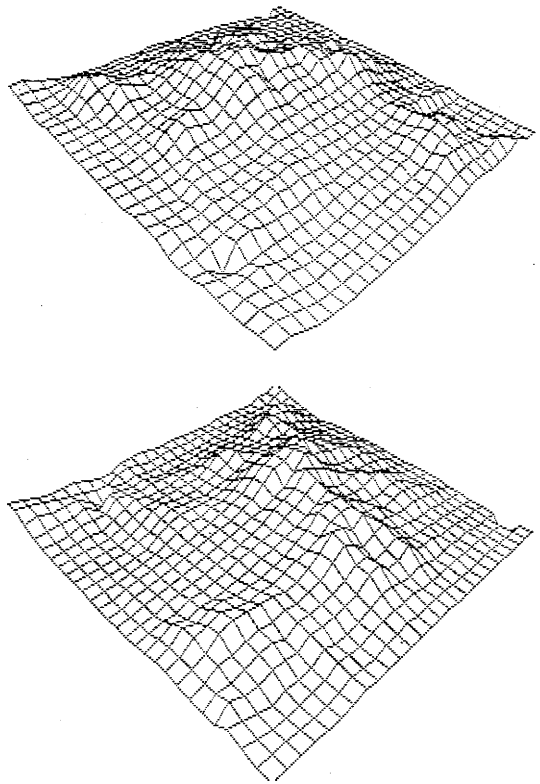


図1 飯山から見た高社山(上)と木島から見た高社山(下)

の際、誰が何mmの雨を降らせるか、誰がどの地質を選ぶかについて話し合うことになっておこなった。

シミュレーションの内容は以下の通りである。

### (1) 立体地図の提示

本校近くには高社山という山がある。このシミュレーションでは生徒の興味を喚起するため、身近な山である高社山を斜面崩壊を起こさせる対象として想定している。

まず高社山の地形データにより作られたワイヤーフレーム型立体地図(フレームの一片は120m)を4つの方向(木島平側、飯山側、中野側、山ノ内側)のどれから見るとするかを選択させる(図1に例として木島平側と飯山側から見た場合を上げる)。この際、見る方向は、班内で統一する。

### (2) 雨を降らせる

雨量(累積雨量)として適当に値を入力し、地図の各フレームが斜面崩壊をおこすかどうかシミュレートしてみる。崩壊を起こしたフレームは赤く塗られるので明瞭にそれと分かる。この時には班内で、100mm降らせる者、200mm降らせる者というようにできるだけ雨量の

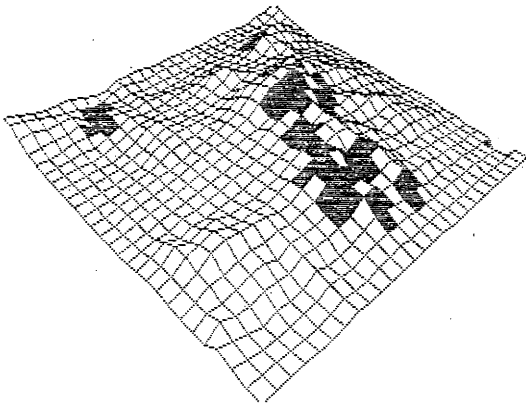


図2 雨量170mm, 地質が凝灰岩で植生が無い場合の崩壊シミュレーション結果

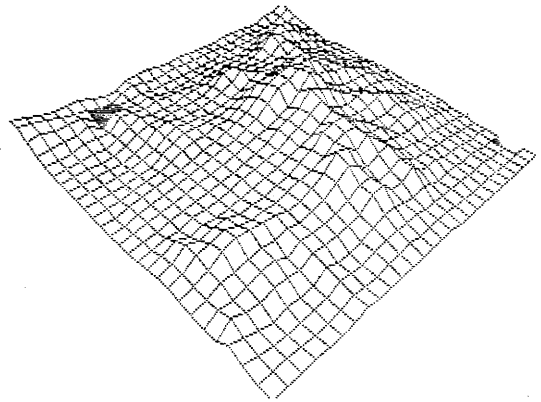


図3 雨量170mm, 地質が凝灰岩で植生がある場合の崩壊シミュレーション結果

範囲を広く取って、雨量により斜面崩壊がどう異なるか、互いの画面を見せ合って観察する。

そして崩壊した斜面の数（シミュレーションが終了すると表示される）を記録する。（以下(3), (4)も同じ。）

図2にシミュレーション結果を例示する。（雨量170mmの場合）

(3) 植生の影響のシミュレーション

(2)までは地質が凝灰岩、植生はなしという前提でシミュレーションを行ったが、(3)では前2者はそのまま、生植生が存在する場合に崩壊の様子がどう変化するかを見てみる。そのため、雨量は(2)の雨量と同量とする。図3に例示する。

(4) 地質の影響のシミュレーション

地質を花崗岩、安山岩、玄武岩、石英安山岩、石灰岩、チャート、れき岩というように、岩種をいろいろ変化させて、崩壊の様子がどう変化するかを見てみる。また斜面が破碎帯に属する場合の崩壊の様子も見る。ここでは降らせる雨量は一つに統一し、同じ雨量で岩種により崩壊の様子がどう異なるか見てみる。図4にその一部を例示する。（雨量170mmで安山岩とチャートの場合）

(5) シミュレーションのまとめ

特にまとめる必要はないとも思われるが、授業では植生の有無・地質の違いにより、なぜ崩壊箇所の多少が生じるのかを風化への抵抗の相違、浸透雨量の多少、根茎による土壌の保持により説明した。

4. 本シミュレーションのポイント

(1) 88シリーズの制約への対処

本校はPC8801MK IIを備えている。立体地図を描くにはMAPSを使用した

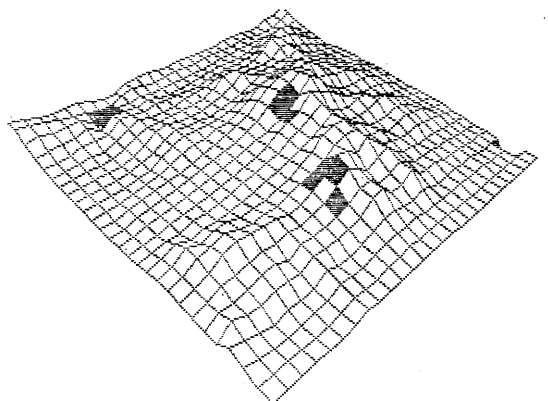
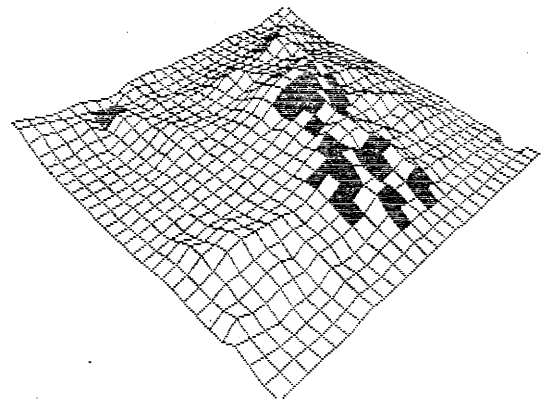


図4 雨量が170mmで植生が無く、地質が安山岩の場合(上)と地質がチャートの場合(下)のシミュレーション結果

めに1つの地図を描くの

に時間を要し、授業で実用的に使うことは難しい。そこで高社山を見る視点を、4つの

方向(北東—飯山側, 北西—木島平側, 南東—山ノ内側, 南西—中野側), に固定し, 各地点から見た地図の座標をあらかじめ記憶させて, 必要に応じ, それを呼び出すように設定した。

## (2) 斜面崩壊の計算

立体地図はワイヤーフレームモデルで描いてあるが, 各フレームには斜面傾斜角から実験に基づいて算出した限界雨量(この雨量を越えると斜面崩壊が起こる)が格納してある。この雨量からシミュレーションの時に入力する雨量を差し引き, その値がマイナスとなった場合には, そのフレームは斜面崩壊が起こったとみなした。

## (3) 隣接するフレームへの影響

斜面崩壊によって流出する土砂は通常, 崩壊の発生した場所の最大傾斜にそって他の地域へ移動する。そこで斜面の最大傾斜角とその傾斜がどのフレームに向いているかを判別する変数とが各フレームに格納してあり, 崩壊が起こったフレームから土石流が移動するように設定してある。また土石流の堆積状況の調査によると, 傾斜10度以下では堆積区間となっているので, 10度以下になると, 土石流が停止するようになっている。

## (4) 条件を変えることによる斜面崩壊への影響

植生, 地質の変化による影響は, 既に砂防工学などで得られている地質別崩壊率のデータに基づき, 実験から得られた限界降水量(地質が凝灰岩で植生がない場合)に一定の係数を掛けることにより得られるようになっている。植生がある場合には係数2, 玄武岩は2.09, 花こう岩は0.56, 石英安山岩は0.43, チャートは1.44というように係数を設定する。すなわち, 例えば花こう岩の場合をとってみれば, 限界降水量は凝灰岩の0.56倍であり, それだけ崩れやすいことになる。

## 5. 教材の評価

シミュレーションの感想を自由記述で生徒に書いてもらった。その結果を記す。なおシミュレーション実施時にはインフルエンザの最盛期であり, この感想を書かせた時も13人の出席者であった。従って感想も13人分しかない。

この中ではまず「植物を植えた場合や地質を変えた場合など, いろいろな状況の崩れた数により, どの岩が崩れやすいのかよく分かった」のように, 崩れかたの違いが分かったとする者が9人, 「各方向から見た地形が実物のように地図になって表れた点は見やすく良かった。」のように, 具体的・立体的で良かったとする者が11人, コンピューター・グラフィクスを操作すること自体に興味を覚えたとする者が3人, 処理スピードが遅か

ったとする者12人, 航空写真のように地形がもっと分かるようにしてほしいとする者1人, 崩れの部分の拡大図を出してもらいたいとするもの1人, 「もっと考える感じのがよかった」とする者1人である。以上のことから考えると, シミュレーションは速度が遅いということを除けば, 概ね肯定的に受け入れられたと考える事ができる。しかし, 「もっと考える感じのがよかった」の感想が示すように, このシミュレーションには, 生徒が考えて結論を出すという所がなく, この点を改善せねばならないと考えている。

## 6. 終わりに

地学で教材として取り上げる事象の中には, 現象自体がまだよく分かっていなかったり, 現象が複雑すぎて, 教材としてのシミュレーションに適用しにくい部分も多い(斜面崩壊や大気のみなど)。

今回試行してみた教材の場合には, まだ未知の部分が多い斜面崩壊に対して, ミニ・スケールの実験を現実の斜面に対応するものとして定量的に扱ってシミュレーションを行っており, そのような乱暴なことをしていないものかどうかについて, 当然批判はあるものと思われる。しかし, シミュレーションを使えば理解しやすくなったり, イメージが把握しやすくなるようなものについては, シミュレーションが必ずしも現実を性格に模写するとは限らないということを生徒に伝えておくという条件付きならば, 敢えて教材としてシミュレーションを導入しても良いのではないかと考え, 本教材を試行した。

今後, 実験の方法, シミュレーションに要する時間の改善などを更に進めてゆく予定である。

なお, 本研究は文部省科学研究費補助金(奨励研究B, 課題番号62916017)を受けている。

研究を進めるにあたり, 多大なる助言を頂いた飯山南高等学校の中村公一教諭に厚く感謝の意を表する。

## 参考文献

- (1) 井上公夫・中筋章人・松村和樹(1988):土砂災害調査マニュアル, p.106, 鹿島出版会。
- (2) 大久保駿・安江朝光(1974):急傾斜地崩壊における災害の実態, 地滑り10, 3, 42—47。
- (3) 長野市地附山地滑り災害記録刊行会(1986):長野市地附山地滑り災害報告, p.78, グラビア信州。
- (4) 矢野義男他(1983):砂防・地滑り防止・急傾斜地崩壊防止工事ポケットブック, p.41, p.49, p.51, 山海堂。

荻原 彰：コンピューターシミュレーションを使った地滑り・崖崩れに関する教材の開発 地学教育 42巻, 6号, 251~255, 1989.

[キーワード] 地滑り, 崖崩れ, 地学教育, コンピューターシミュレーション, 災害教育

[要旨] コンピューターシミュレーションを使用して, 地滑り・崖崩れに関する教材の開発を行った。まず $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ の各角度の斜面を設定し, 降水による斜面崩壊の生徒実験を行い, 各斜面の崩壊に要する雨量を決定した。そして補間法により前述の角度以外の斜面についても崩壊雨量を算出した。更に実際の斜面崩壊のデータにより, 崩壊雨量に補正を加えた。

一方, 学校近くの山についてワイヤーフレーム型の立体地図をコンピューター上に作成しておき, 上述の手順で作成したデータに基づいて, 地図の各フレームに角度・岩質・崩壊雨量を格納した。

次いで立体地図上に雨を降らせて, 崩壊を起こしてみるシミュレーションを行わせ, 降水量・植生の有無・岩質の変化により, 崩壊の様子がどう変化するか班ごとに観察させた。

教材を試行してみた結果, 生徒からは肯定的評価を得ることができた。

Akira OGIWARA: Development of Teaching Material Concerning Landslides with Computer Simulation. *Educ. Earth Sci.*, 42(6), 251~255, 1989.