

# Excel VBA (オープンソース)による地球科学データの処理 - (3) 侵食地形「燭台石(台湾)」の生成シミュレーションを例にして -

茂野 博<sup>1)</sup>・須藤 茂<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

地質の侵食は、印象的な風景を様々に創り出す。世界的には、例えば米国南西部のグランド・キャニオン(河川侵食)、アフリカ南部のビクトリア滝(同)、イギリス南東部のセブン・シスターズの海岸線(海食)、スイス・アルプスのU字谷群(氷河侵食)、トルコ中央部のカッパドキア(ギョレメ)の特異な火山(火砕流堆積物など)の侵食地形(降水侵食)、中国南部の桂林・石林のカルスト地形(降水侵食・河川侵食)などがある。有名であり、その多くがユネスコの世界遺産などに指定されている。

中小規模の地質の侵食でも、奇抜な景観が形成される場合がある。最近、須藤(2008a, b)は地質ニュースの表紙・口絵・報文で、台湾の野柳ジオパーク(地質公園)の侵食地形を紹介した。その中で、「燭台石」の形状(第1図)は特に興味深い。日本では徳島県の「土柱」、宮崎県の「鬼の洗濯岩」などが、地質の侵食起源の珍しくまた面白いあるいは美しい景色として天然記念物になっている。

このような侵食地形の形成は、背景的には該当地域の地殻変動、気候など、直接的には侵食される地質の構成・分布、侵食する流体の特性・挙動などとともに、経過時間によって規定されているが、かなり



第1図 台湾の野柳ジオパーク(地質公園)の「燭台石」の写真。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門  
2) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: Excel, VBA, 生成モデル, シミュレーション, 侵食地形, 燭台石, 土柱, 鬼の洗濯岩, ジオパーク, 天然記念物

の程度数理モデル化が可能であり(例えば, 水谷, 2007; Pelletier, 2008), それに基づいて数値シミュレーションを行うことができる. 特に, 不均質に分布する地質・岩石を, 上方からの降水が確率的に削る結果として特異な景観が形成されるような単純な場合には, 非常に簡単なプログラムの作成によって, 簡易的に侵食地形の生成シミュレーションを行うことができる.

近年, 表計算ソフトであるMicrosoft社のExcelに付属するプログラム開発環境のVisual Basic for Applications (以下VBAと略記)の利用が様々な分野に広がっており, 数値シミュレーションへの適用(オープンソースでも活発となってきた(例えば, 白田ほか, 2003; 岩井ほか, 2005; 伊東・上江洲, 2006). これまでに茂野(2008, 2009)は, 「Excel VBA (オープンソース)による地球科学データの処理」の例として, (1)シェイプ図形を使用した水化学データの図化処理, (2)表上のセルの塗色を利用したメッシュデータの図化処理を紹介した.

本説では, 上記の地球科学データ処理のシリーズの第3回として, 侵食地形の生成シミュレーションの例を述べる. 以下の2.~4. では, かなり特異な対象であるが, 上述した台湾の野柳ジオパークに分布する「燭台石」の生成のモデル化と数値シミュレーションを中心に取り上げる. これにより作成したExcel VBAプログラムのモジュールを一部改変することによって, 5.~6. で徳島県の「土柱」と宮崎県の「鬼の洗濯岩」の簡易的な生成シミュレーションを試みた例を紹介する.

本説では, 誌面の制約などによってExcel VBAの使用方法などについては触れない. 必要に応じて, 草薙・青山(2000)などの基礎的な書籍を学習するとともに, 茂野(2008, 2009)の該当部分を参照されたい. なお, 今回の処理ではMicrosoft社のWindows XPを基本ソフトとして, Excel 2002のVBAを使用した場合が具体例となっている. 他の基本ソフトとExcelのバージョン(ただし, Excel 2007と2008を除く)の組合せによっても, 特に問題は生じないと思われる.

## 2. 野柳ジオパークと「コンクリーション」

須藤(2008a, b)は, 台湾の北部海岸に位置する野柳(YeliouまたはYehliu)ジオパークの侵食地形を紹

介した. 野柳ジオパークは, NE-SW方向に約1.5 km, NW-SE方向に約300mの規模の小半島で, 緩傾斜した新第三紀の海成堆積岩類が分布しており, 小規模の面白い侵食地形が様々に発達している. これらの侵食地形は, 主に(1)地層の母岩となっている砂岩と(2)その中に分布する各種の「コンクリーション(concretion)」との耐侵食強度の違いによって生じている.

「コンクリーション」とは, 堆積岩類(特に泥岩~砂岩)中に分布する異質の岩塊で, 主に堆積岩の生成過程で生成したと考えられているものである(ただし, 「コンクリーション」は複雑・多様であり, その中には岩石の形成後に各種の地下水の流動に伴う化学反応によって生成したものなども一部含まれるらしい).

上記の碎屑性堆積岩は, 堆積-埋没過程を通じた圧力・温度上昇により, 続成作用と呼ばれる堆積物の孔隙率・透水性の減少, 各種変質鉱物の生成, 堆積物中の流体の流動(特に水の排出)などによって生成する. 堆積物中に有機物に富んだ生物の遺骸(群)などが存在すると, この続成過程で(特にその初期に), そこから還元性有機ガス( $\text{CH}_4$ など)のほか, 酸性ガス( $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{S}$ ), 有機酸(酢酸など), アンモニアなどが漸次発生し, それが周囲に拡散・流動して堆積物中の各種鉱物を溶解し, 各種の陽イオン・陰イオンを周辺に移動させる. これらのイオン(特に, Fe, Mn, Mg, Ca,  $\text{SiO}_2$ など)は, より外側周辺の中性領域の岩石中で反応・沈殿し, 元の岩石(母岩)とは異なる岩塊を形成することとなる.

「コンクリーション」(その中心部には動物・植物化石が発見される場合が少なくない)は, このような一連の物理的・化学的な過程で生成した硬質岩塊の総称である. 「コンクリーション」の規模・形状・内部構造・組成などは, 上述した特殊流体の発生源の規模・組成, 堆積物の孔隙率・透水性・化学組成, 堆積岩の形成史(埋没深度・到達温度)などによって様々に変化する.

このように多様な「コンクリーション」について, 世界的に多数の研究があり(例えば, Weeks, 1957), インターネット-WWWで英語の「concretion」を検索することによって調べることができる. 日本においても多様な「コンクリーション」が, 各地で報告されている(例えば, 青柳ほか, 1970; Hirabayashi, 1977; 田口ほか, 1980; 上田ほか, 2005). なお, 「コンクリーション

ン)に類似した地質学の用語に「ノジュール (nodule, 団塊)」があるが、本説では上記の成因との関連性が強い「コンクリーション」を用いた。

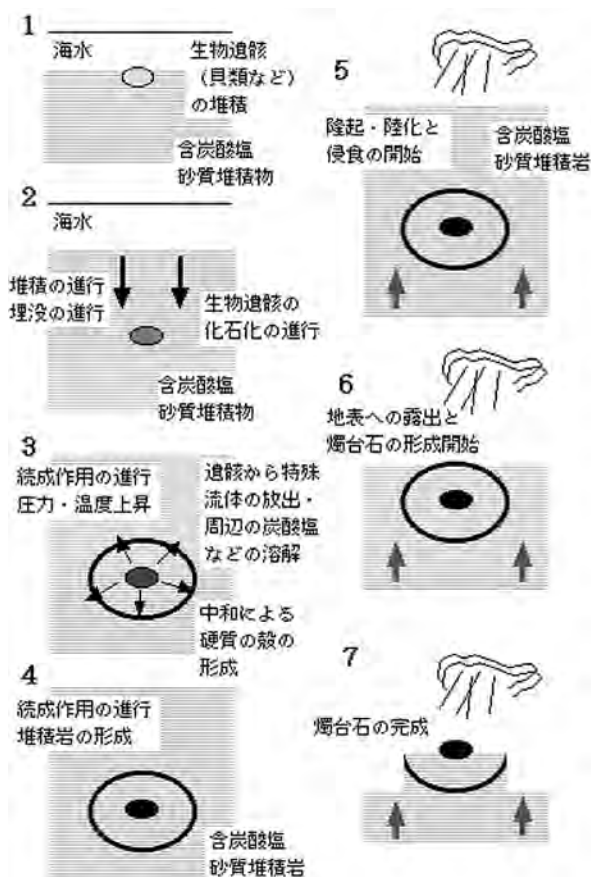
野柳ジオパークでは、「コンクリーション」として様々な形態のものが分布している。多くの「コンクリーション」は塊状で、典型的には球状(例えば、須藤(2008b)の第16図の「珠岩」;同様のものは世界各地に分布しキャノンボールなどと呼ばれる)のものがあり、孤立した生物の遺骸などを中心に拡散移動が卓越するような等方的に透水性が低い環境で生成したと考えられる。一方、「コンクリーション」が板状(層状・脈状)に発達する場合もあり(須藤(2008a)の写真5の「豆腐岩」),比較的大きな断裂に特殊流体が移動・集積するような異方性が高い環境で生成したと考えられる。また、不規則な形態をとる場合もある(須藤(2008a)の写真6の「しょうが岩」)。

### 3. 「燭台石」の生成モデル

今回の主要な検討対象とした野柳ジオパークの「燭台石」(第1図)について、2次元垂直断面図に基づく生成モデルを第2図に示す。モデルの前半(左側の1~4時階)は、2. で述べた基本的な「コンクリーション(球状)」の生成機構の考え方に沿っている。モデルの後半(右側の5~7時階)は、地域の隆起、地表への露出化・侵食である。須藤(2008b)は、野柳地域の地質形成史を1)沈降時期(2000~1900万年前)、2)埋没時期、3)構造活動時期(~600万年前)、4)風化侵食時期(数万年前以降)に区分している。概略的に、今回のモデルの1~4時階は1)~2)の時期に、5時階は3)の時期に、6~7時階は4)の時期に対応すると考えられる。

第2図に示したように、各「燭台石」の原球状「コンクリーション」は、地球(あるいは卵)と類似した3層の内部構造を持っていたと推測される。まず、(1)中心に「核」として耐侵食性が最も高い部分が存在し、(2)それを「マントル」として耐侵食性の低い部分が取り囲み、(3)その外側に「地殻」として、耐侵食性がかなり高い部分が存在する。「コンクリーション」の外の母岩(砂岩)の耐侵食性は、最も低い。

第1図の写真では、奥の3つの典型的な「燭台石」のほかに、右手前に「核」が消失して「マントル」と「地殻」の下半部のみとなった「燭台石」の残骸が見える。



第2図 「燭台石」の生成の垂直断面図モデル。左側の1~4は、沈降に伴う地層と「コンクリーション」の生成の時階を、右側の5~7は、隆起に伴う侵食と「燭台石」の生成の時階を示す。

また、須藤(2008a)の写真9は、「マントル」と「地殻」の上半部が侵食された「燭台石」生成の初期段階と考えられるもの(須藤(2008a)の例えによれば、カルデラと再生ドーム状)を示している。

今回の生成モデルでは、侵食作用は主に降水によっており、垂直上方から確率的に発生すると想定した。実際のところでは、野柳ジオパークの「燭台石」は海岸に分布しており、波浪が侵食に大きく寄与している可能性がある。同地域の「女王頭」の細い首(須藤(2008a)の写真1)などは、波浪による側方からの侵食の寄与を示唆している。なお、地表付近を風に跳ばされる砂粒による側方侵食もあるかもしれない。さらに、直射日光・昼夜温度変化などによる風化作用が侵食に寄与している可能性もある。しかし、これら

```

'●1. 「燭台石」の形成シミュレーション・プログラム
Dim NX, NY, TMax As Integer '対象時空間の規模パラメータ
Dim RTy(10) As Integer '分布する岩石の種類
Dim RStr(10) As Double '岩石の耐侵食強度
Dim CR(10), CG(10), CB(10) As Integer '岩石塗色のRGB値
Dim REX(200, 100) As Integer '岩石の空間分布
Dim LLevel(200) As Integer '地表面の水準分布
Dim CRSt(200) As Double '地表岩石の補正強度

'●2. この部分はシミュレーションの対象によって修正が必要 ↓
Sub Shokudaiishi_Main() '処理のメイン・モジュール *****
    NX = 100 '処理空間の列数
    NY = 100 '処理空間の行数
    TMax = 200 '処理時間のステップ数

    '岩石の種類によって耐侵食強度と塗色のRGB値を与える
    RTy(0) = 0: RStr(0) = 0#: CR(0) = 255: CG(0) = 255: CB(0) = 255
    RTy(1) = 1: RStr(1) = 0.5: CR(1) = 220: CG(1) = 220: CB(1) = 150
    RTy(2) = 2: RStr(2) = 0.95: CR(2) = 0: CG(2) = 0: CB(2) = 0
    RTy(3) = 3: RStr(3) = 0.75: CR(3) = 200: CG(3) = 200: CB(3) = 200
    RTy(4) = 4: RStr(4) = 0.88: CR(4) = 100: CG(4) = 100: CB(4) = 100
    RTy(5) = 5: RStr(5) = 0.95: CR(5) = 220: CG(5) = 140: CB(5) = 0

    '●2. の終わり ----- ↑

    For I = 1 To NX
        LLevel(I) = 1 '初期地表面の水準分布
    Next I

    Worksheets("sheet1").Select
    Cells.RowHeight = 4#: Cells.ColumnWidth = 0.4
    Randomize

    InitialC '初期の岩石分布の設定モジュールへ
    Graph0 '初期の岩石分布の描画モジュールへ
    For KK = 1 To TMax '時間の経過による処理の繰り返し -----
        TChange '経時変化の計算・描画モジュールへ
        DoEvents 'OSの処理に一時的に帰る
    Next KK

End Sub

Sub InitialC() '初期の岩石分布の設定モジュール *****
    For J = 1 To NY
        For I = 1 To NX
            REX(I, J) = RTy(1) '母岩の砂岩(軟質)の分布
        Next I
    Next J

    '●3. この部分はシミュレーションの対象によって修正が必要 ↓
    X0 = 40: Y0 = 40 '球状コンクリーションの中心位置
    NR1 = 12 '球状コンクリーションの核の半径
    NR2 = 30 '球状コンクリーションの殻内側の半径
    NR3 = 38 '球状コンクリーションの殻外側の半径
    For J = X0 - NR3 To Y0 + NR3
        For I = X0 - NR3 To X0 + NR3
            R = (J - Y0) ^ 2 + (I - X0) ^ 2
            If (R <= NR1 ^ 2) Then
                REX(I, J) = RTy(2) '核(特に硬質)の分布
            ElseIf ((R <= NR2 ^ 2) And (R >= NR1 ^ 2)) Then
                REX(I, J) = RTy(3) 'マントル(軟質)の分布
            ElseIf ((R <= NR3 ^ 2) And (R >= NR2 ^ 2)) Then
                REX(I, J) = RTy(4) '硬質の分布
            Else
                REX(I, J) = RTy(5)
            End If
        Next I
    Next J

End Sub

'●3. の終わり ----- ↑
End Sub

Sub Graph0() '初期の岩石分布の描画モジュール *****
    For J = 1 To NY
        For I = 1 To NX
            K = REX(I, J)
            Cells(J, I).Interior.Color = RGB(CR(K), CG(K), CB(K))
        Next I
    Next J

End Sub

Sub TChange() '経時変化の計算・描画モジュール *****
    For I = 1 To NX
        '侵食への地表面の凹凸の影響の処理
        If (I = 1) Then
            Grad = LLevel(I) - LLevel(I + 1)
        ElseIf (I = NX) Then
            Grad = LLevel(I) - LLevel(I - 1)
        Else
            Grad = LLevel(I) * 2 - LLevel(I - 1) - LLevel(I + 1)
        End If
        CRSt(I) = RStr(REX(I, LLevel(I))) * (1# + 0.1 * Grad)
        '凸部は侵食され易い
    Next I

    '●4. 「鬼の洗濯岩」ではこの部分にプログラムの追加が必要。
    For I = 1 To NX
        '侵食の計算・描画
        If (Rnd() > CRSt(I)) Then
            REX(I, LLevel(I)) = RTy(0) '侵食を受けた部分の分布

            K = REX(I, LLevel(I))
            Cells(LLevel(I), I).Interior.Color = RGB(CR(K), CG(K), CB(K))

            LLevel(I) = LLevel(I) + 1
            If (LLevel(I) > NY) Then LLevel(I) = NY
        Else
            End If
        Next I

    End Sub

```

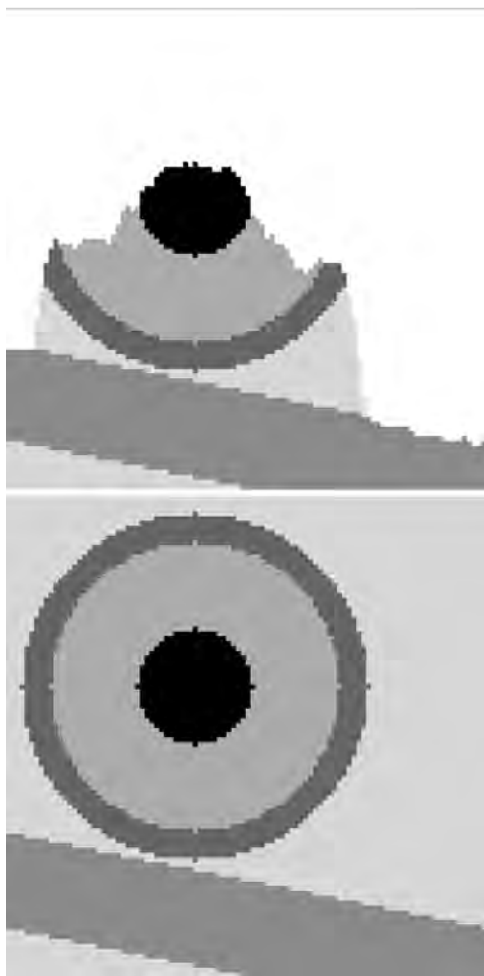
第3図 「燭台石」の生成シミュレーション(垂直断面図)プログラムのソースコード。ファイル名はSim\_Shokudaiishi\_Form.xls (VBAプログラムを含む)である。●1. ～●4. は、第7図の「土柱」と第10図の「鬼の洗濯岩」の生成シミュレーション・プログラムで修正を行った部分に対応する。

の寄与がかなり大きいとしても、侵食が上方から確率的に発生しているとみなせる環境に「燭台石」があれば、今回の生成モデルは適用が可能であろう。

#### 4. 「燭台石」の生成シミュレーション

上述した3. のモデル(2次元垂直断面図)に基づいて、今回Excel VBAで作成した「燭台石」の生成シミュレーション・プログラムのソースコードを第3図に示す。このVBAプログラムを含むExcelファイルの名前を、Sim\_Shokudaiishi\_Form.xlsとした。本プログラムの手法は、モンテカルロ法を使用した2次元セルオートマタの一種と見ることができる。

本プログラムでは、処理を4つにモジュール化し、(1) 主要部(Sub Shokudaiishi\_Main()), (2) 初期の岩石分布の設定部(Sub InitialC()), (3) 初期の岩石分布の描画部(Sub Graph0()), (4) 侵食による経時変化の計算・描画部(Sub TChange())の各サブプログラムとした。詳しくは、第3図のソースコード(多くの注釈付き)を参照されたい。主要な変数・パラメータの宣言は、先頭部にまとめられている。(3)・(4)の描画はExcel表のセルの塗色によった。なお、上記(2)の処理については、代わりにデータを直接キーボードからExcel表の各セルに打ち込む(あるいはカット&ペーストする)方法も可能である(ただし、上記(1)・(2)のソースコードの一部修正なども必要とな



第4図 「燭台石」の生成シミュレーション結果(垂直断面図)の一例。下図に開始状態, 上図に終了状態を示す。

る)。

プログラムの中心である(4)の経時変化の計算の後半部では、流体の侵食力に当たる乱数 (Rnd 命令により0.0~1.0)を発生させて、地表面(セル)に分布する岩石の耐侵食強度に当たる数値(岩石の種類によって0.5~1.0)と比較した。前者が後者よりも大きい場合には、その部分の岩石(セル)は侵食されて地表面が下がる(1行下のセルへ進む)こととした。この処理を、各時間ステップ毎に各列について行った。

なお、上記(4)の経時変化の計算の前半部では、その時点での地表面の凸凹を隣接点(セル)間の比高計算によって求めて、急凸部の侵食速度が大きくな

るように各点(セル)の岩石の強度に当たる数値を1次式を用いて補正した。この調整処理を行わない場合は、乱数の特性によって時間ステップが進むに従って地表面が次第に粗くなり、数値シミュレーションによってもっともらしい「燭台石」を作成することが困難であった。

上記のプログラムの各種のパラメータ値を試行錯誤的に調整し(第3図の値は最終のものを示す)、「燭台石」の形態に類似するようになったシミュレーション結果の一例を第4図に示す。第4図では、経時変化として開始時点および終了時点のシミュレーション結果を並べて表示した。

### 5. 「土柱(徳島県)」の生成シミュレーション

第5図に、吉田(2004)の報文から国の天然記念物である徳島県の「阿波の土柱」の写真を示す。「阿波の土柱」は県の北部、讃岐山脈の南麓に位置しており、徳島自動車道の阿波パーキングエリアの近傍に分布しているため、容易に見学することができる(講談社, 2003)。

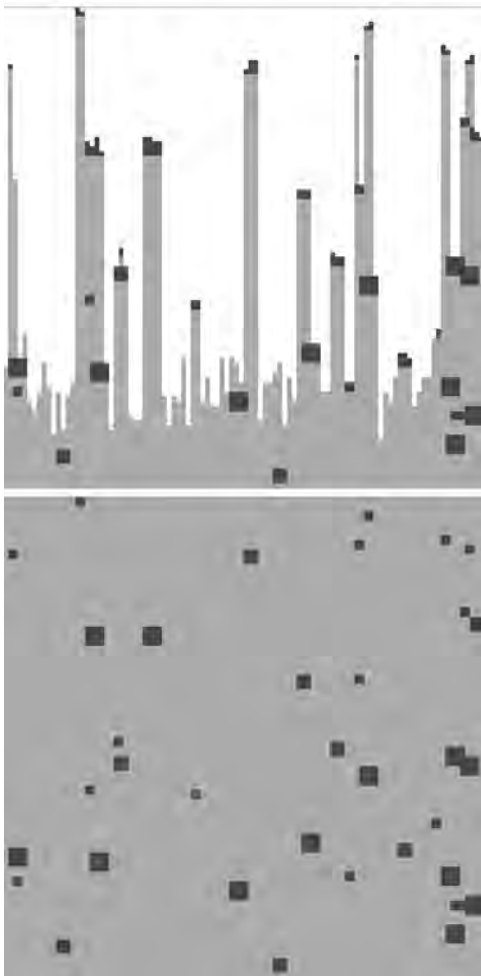
「阿波の土柱」は、土柱層と呼ばれる第四紀の礫層~砂礫層が侵食されて生成したものである。該当地域の土柱層は、中央構造線の活断層運動に伴われて北方の讃岐山脈が隆起することによって発達した吉野川左岸支流群の合流扇状地の堆積物(最大厚さ約80m)であると考えられている(例えば、吉田, 2004)。岡田ほか編(2004, p.273)は、「阿波の土柱」は北方の父尾活断層と南方の土柱断層(両者ともに中央構造線に平行)の間の地域に分布し、発達する断層や節理からの侵食に起因して、雨洗の影響を強く受けていると推定している。恐らく「阿波の土柱」は降水によって土柱層が垂直的に侵食されることによって発生し、侵食地が漸次水平的に移動して、現在の位置で顕在化しているものであろう。

今回、基本的に降水による垂直方向からの確率的な侵食が卓越すると想定し、3.~4.に述べた簡易的なモデル(2次元垂直断面図)化と数値シミュレーションの手法を用いて、「土柱」についても生成シミュレーションを試みた。第6図に、試行錯誤の中から得られた、「土柱」の生成シミュレーション結果の一例(開始時点と終了時点)を示す。

今回上記の「土柱」の生成シミュレーションのため



第5図 国の天然記念物、徳島県の「土柱」の写真、吉田 (2004) の写真2を使用した。



第6図 「土柱」の生成シミュレーション結果 (垂直断面図) の一例。下図に開始状態, 上図に終了状態を示す。

```

● 1. 「土柱」の形成シミュレーション・プログラム

● 2. この部分はシミュレーションの対象によって修正が必要 ↓
Sub Dochu_Main()      '処理のメイン・モジュール *****
    NX = 100          '処理空間の列数
    NY = 100          '処理空間の行数
    TMax = 100        '処理時間のステップ数

    '岩石の種類によって耐侵食強度と差色のRGB値を与える
    RTy(0) = 0: RStr(0) = 0#: CR(0) = 255: CG(0) = 255: CB(0) = 255
    RTy(1) = 1: RStr(1) = 0.2: CR(1) = 220: CG(1) = 220: CB(1) = 150
    RTy(2) = 2: RStr(2) = 0.99: CR(2) = 220: CG(2) = 140: CB(2) = 0
    ● 2. の終わり ----- ↑

● 3. この部分はシミュレーションの対象によって修正が必要 ↓
    NNMax = 40        '礫 (硬質) の数
    For NN = 1 To NNMax
        X0 = Int(NX * Rnd()) + 1
        Y0 = Int(NY * Rnd()) + 1
        NR = Int(3 * Rnd()) + 1
        If ((Y0 + NR) > NY) Then GoTo 201
        If ((X0 + NR) > NX) Then GoTo 201
        For J = Y0 To Y0 + NR
            For I = X0 To X0 + NR
                RE<(I, J) = RTy(2) '礫 (硬質) の分布
            Next I
        Next J
    Next NN
    ● 3. の終わり ----- ↓
    
```

第7図 「土柱」の生成シミュレーション (垂直断面図) プログラムのソースコードの一部。ファイル名は Sim\_Dochu\_Form.xls (VBAプログラムを含む) である。第3図の「燭台石」の生成シミュレーション・プログラムの●1. ~●3. の部分について、修正分のみを示す。

に、VBAプログラムを含むExcelファイル (Sim\_Dochu\_Form.xls) を作成した。第7図には、第3図の「燭台石」の生成シミュレーション・プログラムのソースコードから変更した部分のみを示す。すなわち、(1) 主要部 (Sub Dochu\_Main (); ●2.) では、岩石の種類と耐侵食強度パラメータ値などが変更され、(2) 初期の岩石分布の設定 (Sub InitialC (); ●3.) では硬質の大きな礫を含む軟弱地層 (砂礫層) の垂直断面分布をシミュレーションするように変更されている。なお、大きな礫の初期分布はランダムとなっている。



第8図 国の天然記念物、宮崎県の「鬼の洗濯岩」の写真。

### 6. 「鬼の洗濯岩 (宮崎県)」の生成シミュレーション

第8図に国の天然記念物である宮崎県の「鬼の洗濯岩」(あるいは「鬼の洗濯板」, 「波状岩」, 正式には「青島の隆起海床と奇形波蝕痕」と呼ばれる)の写真を示す。「鬼の洗濯岩」は、太平洋(日向灘)に小さく突き出した青島(宮崎市中心部から南東約10km; 陸繋島)の周辺とその南方(巾着島まで約8kmの間)に分布しており(講談社, 2003), 全国的にも有名な観光地(日南国立公園の一部)となっている。

「鬼の洗濯岩」は宮崎群層上部の青島層(新第三系)の砂岩・泥岩の規則的な互層が、侵食を受けて生成した波食棚である。「鬼の洗濯岩」の特異な形態の形成機構については、高橋(1975, 1976)などによる詳しい研究がある。高橋(1975)によれば、青島の「鬼の洗濯岩」は潮間帯の上半部に位置し、岩石の侵食は、峰部(平均高潮位の付近に分布)となっている砂岩層では日射に関連した風化による表層部の強度低下を介した波浪や風による磨耗、谷部(平均海面の少し下方に分布)となっている泥岩層では表層部の乾湿破砕で分離した小岩片の波浪による除去が主因と推測されている。また、砂岩層の突出の程度は、その崩壊の原因となる砂岩層の節理の間隔に制約されていることなども指摘されている。

なお、高橋(1975)が述べているように「鬼の洗濯岩」の特異な形態の(現在の)生成機構と本地域の波食棚の(地史的な)生成機構とは分けて考える必要がある。後者については本説の対象外となるが、本地域は巨視的に北方の沈降域の宮崎平野と南西方の



第9図 「鬼の洗濯岩」の生成シミュレーション結果(垂直断面図)の一例。下図に開始状態, 上図に終了状態を示す。

```

● 1. 「鬼の洗濯岩」の形成シミュレーション・プログラム
● 2. この部分はシミュレーションの対象によって修正が必要 ↓
Sub Oninosentakuiwa_Main() 処理のメイン・モジュール *****
NX = 200                      '処理空間の列数
NY = 50                       '処理空間の行数
TMax = 200                    '処理時間のステップ数

'岩石の種類によって耐侵食強度と塗色のRGB値を与える
RTy(0) = 0: RStr(0) = 0#: CR(0) = 255: CG(0) = 255: CB(0) = 255
RTy(1) = 1: RStr(1) = 0.2: CR(1) = 220: CG(1) = 220: CB(1) = 150
RTy(2) = 2: RStr(2) = 0.99: CR(2) = 220: CG(2) = 140: CB(2) = 0
● 2. の終わり ----- ↑

● 3. この部分はシミュレーションの対象によって修正が必要 ↓
NNMax = 20                    '互層の枚数
NATH = 8                      '互層の厚さ
NSTH = 4                      '砂岩層(硬質)の厚さ
For NN = 1 To NNMax
  For NTH = 1 To NSTH
    For I = 1 To NX
      J = Int(0.3 * I) - 60 * NN * NATH - NTH
      If (J < 1) Then GoTo 301
      If (J > NY) Then GoTo 301
      REX(I, J) = RTy(2) '砂岩層(硬質)の分布
    Next I
  Next NTH
Next NN
● 3. の終わり ----- ↑

● 4. 「鬼の洗濯岩」では以下のプログラムを追加 ↓
LMax = 0                      '最深深度の計算
For I = 1 To NX
  If (LLevel(I) > LMax) Then
    LMax = LLevel(I)
  Else
    End If
Next I
For I = 1 To NX
  Diff = LMax - LLevel(I)
  CRSt(I) = CRSt(I) * (1# - 0.02 * Diff)
Next I
'水深の侵食への影響の処理
'浅ければ侵食され易い
● 4. の終わり ----- ↑

```

第10図 「鬼の洗濯岩」の生成シミュレーション(垂直断面図)プログラムのソースコードの一部。ファイル名はSim\_Oninosentakuiwa\_Form.xls (VBAプログラムを含む)である。第3図の「燭台石」の生成シミュレーション・プログラムの●1.~●4.の部分について、修正・追加分のみを示す。

隆起域の鰐塚山地との境界域の海岸部にあたり、特異的に長期間隆起速度と海食速度とが均衡してきた可能性が指摘される。

今回、基本的には垂直方向からの確率的な侵食が卓越すると想定し、3. ~4. に述べた簡易的なモデル

(2次元垂直断面図)化と数値シミュレーションの手法を用いて、「鬼の洗濯岩」についても生成シミュレーションを試みた。第9図に、試行錯誤の中から得られた「鬼の洗濯岩」の生成シミュレーション結果(開始時点と終了時点)の一例を示す。

今回上記の「鬼の洗濯岩」の生成シミュレーションのために、VBAプログラムを含むExcelファイル(Sim\_Oninosentakuiwa\_Form.xls)を作成した。第10図には、第3図の「燭台石」の生成シミュレーション・プログラムのソースコードから変更した部分のみを示す。すなわち(1)主要部(Sub Oninosentakuiwa\_Main()); ●2.)では、対象の特性に応じて使用するExcel表の範囲を200列×50行にするとともに、岩石の種類と耐侵食強度パラメータ値などが変更され、(2)初期の岩石分布の設定(Sub InitialC()); ●3.)では砂岩・泥岩の薄い互層の垂直断面分布をシミュレーションするように変更されている。

「燭台石」の場合とは異なって、「鬼の洗濯岩」の場合には、地表面の凸凹について急凸部の侵食速度を大きくする処理だけでは、妥当性の高いシミュレーション結果が得られなかった。上述したように潮干帯に位置する「鬼の洗濯岩」については、潮汐や波浪も侵食に影響を与えていると考えられる。この効果に対応して、各時間ステップごとに標高が最も低い点を基準に、標高が高い点ほど侵食速度が1次関数的に大きくなる補正項をプログラムに加える(第10図の下部の●4.;第3図のSub TChange()を比較参照)ことによって、より妥当性が高い第9図のシミュレーション結果(終了時点)が得られた。

なお、第9図のシミュレーション結果では、侵食が進行して「鬼の洗濯岩」全体の標高が漸次低下して(海中に没して)いる点に問題が残っている。上述したように恐らく「鬼の洗濯岩」では、侵食と拮抗した地盤の隆起(あるいは海水準の低下)が生じて、かなりの長期間その標高は潮干帯の位置に定常化しており、これを明示的に数理モデルとプログラムに組み込むことが望ましい。

## 7. おわりに

本説では、「Excel VBA(オープンソース)による地球科学データの処理」のシリーズの第3回として、特異的な侵食地形の生成シミュレーションを試みた例を

紹介した。本説が、Excel VBAによるプログラミングの事例としてのみならず、地球科学(特に地質学)分野の多様な現象の理解のためのモデル化と数値シミュレーション手法の普及に何らかの寄与ができれば幸いである。

自作のあるいはオープンソースのプログラムは、必要に応じて改良・拡張が比較的容易に可能な点が大きな長所の一つである。本説では、4.で述べたプログラムを5.・6.の事例のシミュレーションにも拡張的に利用した。さらに、今回のプログラムを様々に改良することが可能である。今後の利用のために上記プログラムについて改善した方が良いと思われる点としては、シミュレーションの進行と同時に時間ステップを画面表示すること、任意の時点でシミュレーションの一時停止・表示画面の保存を可能とすること、岩石の耐侵食強度パラメータの表現をより分かり易い形式(相対的に1, 2, 10, 100など)に改変すること、岩石の種類とそのパラメータ値・初期値分布の設定作業のために分かり易いインターフェースを構築することなどがある。興味を持たれた読者には、他の侵食地形事例へのプログラムの拡張的応用とともに、様々なプログラムの改良を試みていただければ幸いである。

近年、特異性の高い様々な地質景観が、日本においても従来の自然公園や天然記念物に加えて、ジオパーク(地質公園)、「日本の地質百選」などとして改めて脚光を浴びつつある。このような特異な地質景観については、いくつかの特異な条件が揃った環境においてのみ発達すると考えられ、その生成機構の総合的な理解が基礎的にもまた保全の目的でも重要と思われる。本説で紹介した手法が、その手段の一つとして今後貢献できれば幸いである。また、近年望まれている学校教育における地学教育の充実化などに向けても、本説が一つの参考となれば幸いである。

なお、今回の簡易的な侵食モデル化に基づく数値シミュレーションは、基本的にまだ概念的な性格が強いもので、侵食の規模・速度について具体的なスケールが与えられていないことに注意されたい。今回のモデルと数値シミュレーション結果は、現地での地形計測データなどの比較・検討を行ったものではない。従って、必ずしも現象を正しく表現していない可能性があることにもご留意願いたい。

また、最初に1.で述べたように侵食地形の形成機構には様々なものがあるが、例えば日本の山地(火



山・非火山)においては、渓谷-河川の流水侵食や斜面崩壊・地滑りなどが卓越していると考えられる(例えば、水谷, 2007)。このようなより複雑な対象に対しては、本説のモデルとシミュレーション・プログラムの単純な適用は妥当ではなく、現象に対応した別のモデルやシミュレーション手法(例えば、水谷, 2007)が必要と考えられるので注意を願いたい。

本説には直接関係しないが、茂野(1995)、茂野・佐々木(2005)などは地形の形成に関連した対象について非常に簡単なモデル化-数値シミュレーションを試みている。非常に異なる観点からのモデル化-数値シミュレーションの手法と結果の例として、この機会に参考文献に含めて紹介とした。

**付記:** 本説で紹介したVBAプログラムを含むExcelファイル群を、茂野(2008, 2009)の場合と同様に今後電子公開の予定です。関心のある方は、WWWホームページ(<http://staff/aist.go.jp/hiroshi-shigeno/>)をご覧ください。

#### 文 献

- 青柳宏一・佐藤富人・風間利栄(1970): 秋田油田地域における炭酸塩岩の分布とその成因。石油技術協会誌, **35**, 67-76。
- Hirabayashi, K. (1977): Sedimentological and geochemical study on carbonate concretions in the Joban coal-field and Oga Peninsula, Northeast Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 3*, **13**, 183-226。
- 伊東 章・上江洲一也(2006): Excelで気軽に化学工業。丸善, 176p。
- 岩井 裕・大村高弘・小林健一・富村寿夫・羽田光明・平澤茂樹・吉田英生(2005): エクセルとマウスでできる熱流体のシミュレーション(CD-ROM付)。丸善, 149p。
- 講談社(2003): 自然紀行日本の天然記念物。講談社, 399p。
- 草薙信照・青山千彰(2000): Excel VBAによるWindowsプログラミング。サイエンス社, 240p。
- 水谷武司(2007): 数理地形学-地形の生成機構と数値計算-。古今書院, 199p。
- 岡田篤正・田中真吾・成瀬敏郎・太田陽子 編(2004): 日本の地形6 近畿・中国・四国。東大出版会, 383p。
- Pelletier, J. (2008): *Quantitative Modeling of Earth Surface Processes*. Cambridge Univ. Press, 295p。
- 茂野 博(1995): 温泉沈殿物による棚田状テラス生成の機構と数値シミュレーション。地熱, **32**, 317-336。
- 茂野 博・佐々木宗建(2005): 「フラクチャー」と「フラクタル」の関係? -1次元競争成長モデル数値シミュレーションによる検討。地質ニュース, no.612, 22-31。
- 茂野 博(2008): Excel VBA(オープンソース)による地球科学データの処理 - (1) 水化学データの図化を例にして-。地質ニュース, no.652, 21-30。
- 茂野 博(2009): Excel VBA(オープンソース)による地球科学データの処理 - (2) 標高・地質メッシュデータの組合せ図化を例にして-。地質ニュース, no.656, 29-38。
- 須藤 茂(2008a): 野柳, 北投温泉, 台湾のジオパーク。地質ニュース, no.648, 1-4。
- 須藤 茂(2008b): 野柳, 大屯火山群, 北投温泉など, 台湾のジオパークめぐり。地質ニュース, no.648, 6-19。
- 田口一雄・鹿野和彦・林田進男(1980): 秋田県亀田油田産のマンガン殻をもった炭酸塩ノジュール。地質学雑誌, **86**, 545-553。
- 高橋健一(1975): 日南海岸青島の「波状岩」の形成機構。地理学評論, **48**, 43-62。
- 高橋健一(1976): 波蝕棚における差別侵蝕 -とくに日南海岸青島の波蝕棚について-。中央大学理工学部紀要, **19**, 253-316。
- 上田庸平・ジェンキンス, R. G.・安藤寿男・横山芳春(2005): 常磐堆積盆外側陸棚におけるメタン起源の炭酸塩コンクリーションと化学合成群集: 茨城県北部中新統高久層群九面層の例。化石, **78**, 47-58。
- 白田昭司・伊藤 敏・井上祥史(2003): Excelで学ぶ理工系シミュレーション入門(CD-ROM付)。CQ出版社, 183p。
- Weeks, L. G. (1957): Origin of carbonate concretions in shales, Magdalena Valley, Colombia. *Bull. Geol. Soc. Ame.*, **68**, 95-102。
- 吉田史郎(2004): 徳島県中央構造線沿いの「阿波の土柱」。地質ニュース, no.600, 62-65。
- SHIGENO Hiroshi and SUTO Shigeru (2009): Processing earth-sciences data using Excel VBA in an "open source" manner: (3) A case study on simulating the formation of erosion topography "Sea Candles" in Taiwan.

<受付: 2008年12月25日>

#### 訂 正

地質ニュースで出版された著者(茂野)の報文に、下記の誤りがありました。お詫びして訂正します。

(1) 地質ニュース, no.648, p.33.

(誤) 新妻新明 (正) 新妻信明

(2) 地質ニュース, no.656, p.19. ほか

(誤) スラバー (正) スリバー(またはスリヴァー)  
(英語では, sliver)