

Excel を用いた津波シミュレーション

岡本 義雄 (大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎)

1. はじめに

筆者は地学教材として用いる津波数値シミュレーションを多数開発してきた(岡本, 1999 など)。しかし, これらの計算は教育現場ではまだなじみの薄い LinuxOS の環境下で c 言語を用いた筆者開発の専用のプログラムで計算が行われた。その結果は素晴らしいものであるが, 学校で活用しようとするとその OS 環境とプログラミングスキルが必要であり, 一般に普及するとは考えられない。そこでこの計算プログラムを Windows 上の表計算ソフト Excel に移植することを考えた。

2. 計算論理

津波の数値計算の詳細は参考文献に詳しいので, ここでは実際に用いた計算のみを報告する。その計算式は Abe&Noguera(1992)の差分形式の以下の式を用いる。

運動方程式は

$$u(i,j,k) = u(i,j,k-1) - g \cdot \frac{t}{s} \{ \eta(i,j,k) - \eta(i-1,j,k) \}$$

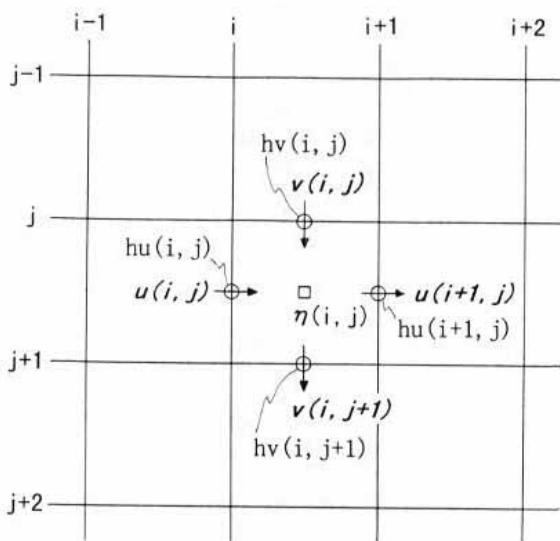
$$v(i,j,k) = v(i,j,k-1) - g \cdot \frac{t}{s} \{ \eta(i,j,k) - \eta(i,j-1,k) \}$$

連続の式は

$$\begin{aligned} \eta(i,j,k) - \eta(i,j,k-1) &= \frac{t}{s} \{ hu(i+1,j) \cdot u(i+1,j,k-1) - hu(i,j) \cdot u(i,j,k-1) \\ &\quad + hv(i,j+1) \cdot v(i,j+1,k-1) - hv(i,j) \cdot v(i,j,k-1) \} \end{aligned}$$

ここで, i, j は格子番地, $k, k-1$ は時間ステップ, t, s はそれぞれ時間と空間の差分量。

u, v は水の流速の x, y 成分, h は水深, η は静水面からの水位, t は時間, g は重力加速度である。また, その位置関係は, 岡本(1999)によれば下記のとおり。



運動方程式は、水深を格子に分けたデジタル地形上で津波波高の形成による水の流入を各格子毎に計算したものである。その際、水は連続物質なので、連続の式を連立させて波高と水の流速に関する2次元差分方程式を水深を境界条件に置いて解く。

本来は格子境界でメモリーが有限なこと（人工境界）による反射波が生じる。この処理はやっかいなので、このExcel上の計算では考慮しないことにした。（教育用にはそれほどの精度が不必要と判断した）

3. Excel 上での計算.

次に Windows 上の表計算ソフトウェア Excel 上での計算の概要を述べる。

上記計算論理をそのまま、Excel 上のシートに移植する。

）計算格子は表計算の行と列にそのまま移る。この際、数値や計算式の入力はコピーやペースト機能を最大限利用する。

）計算式を各格子に入力する。例えば波高の K7 格子の計算式は下記のとおり。

=K7-0.1*(AL7*L32-AJ7*K32+AK8*K63-AK6*K62)

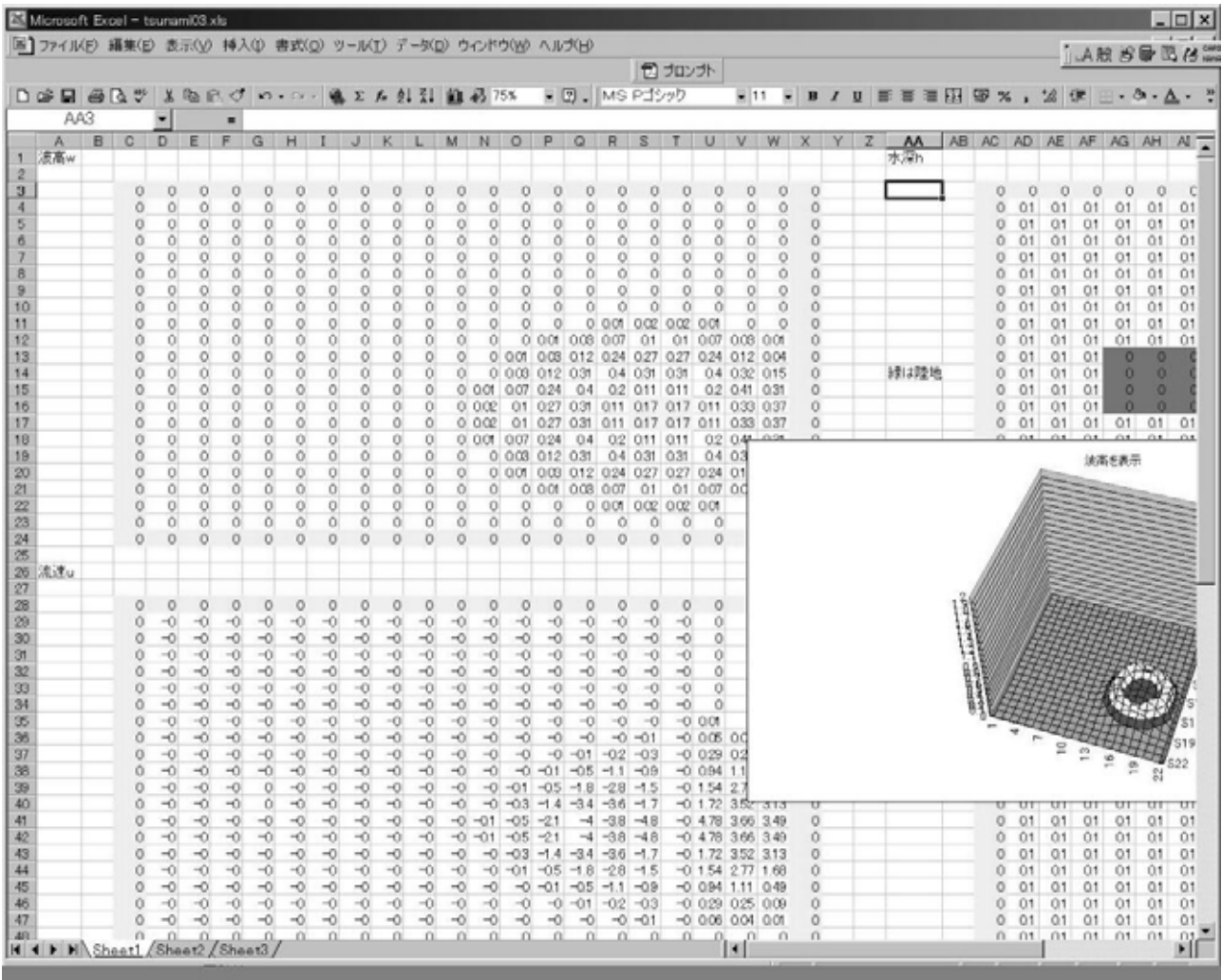
これを各格子にコピーしていく。

しかし、格子の境界では計算式が境界外の値を使うので入力できない。このあたりは工夫のいるところだが、筆者の場合、試作でもあるので、境界には0を数値で入力し、特別な配慮を行わなかった。波が全域に及ぶと、これによる反射波が境界から強くでて障害となる。しかし波の領域が境界内にとどまる範囲では影響はない。

なお、各格子の初期値は最初すべて0にしておく。

この作業を筆者は波高、流速（u,v 2成分）について、同じシート上にそれぞれ作成した（下図参照）。

）水深データは、適当な海底地形を作成すればよいが、最初はプールの底のような様な水深や、湾のような簡単な地形を数値を入れながら作成すればよい。また、水深は実際のデータを用いてもよいが、適当に規格化した値でもよい。筆者は全格子の幅を1とする規格量を用いた。なお、この時3D等高線グラフ機能を用いれば海底地形の凹凸を即座に確認できて便利である。



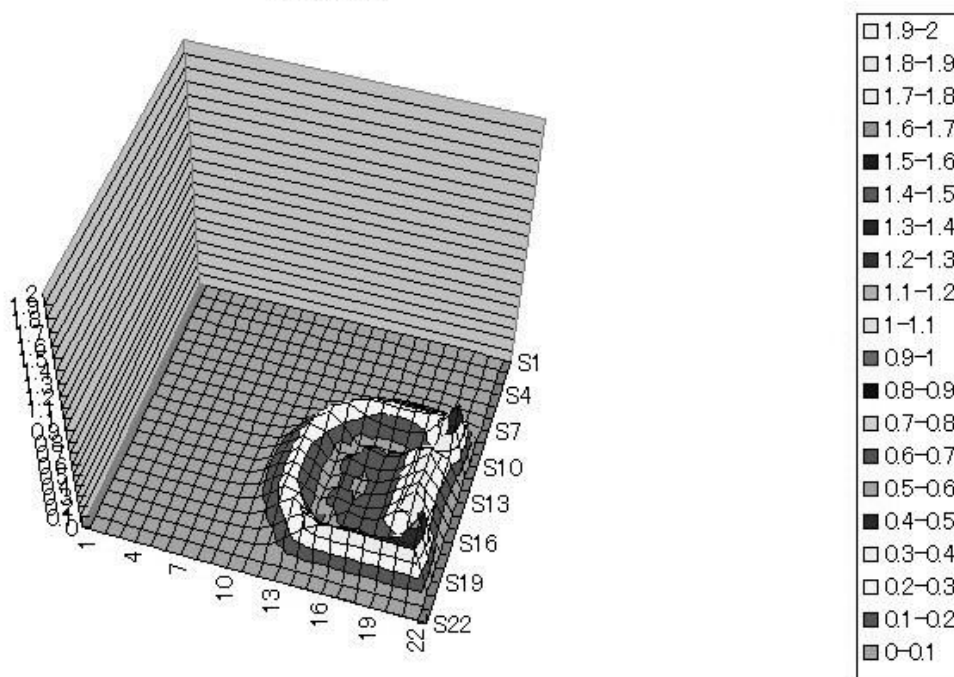
さて、入力が終われば、いよいよ、波高の一部に数値を代入して、津波のシミュレーションを行う。

まずすべて0が入った波高の格子のうち、波源としたい場所の数値を変化させる。これは最初は1箇所か数箇所でよい。

3D 等高線グラフ機能を用いて、波高の格子のみ3D グラフ表示する。初期値の値が入っていることも確認できる。

あとは、再計算機能（F9）を押すことですべての格子の再計算が可能で、時間経過に伴う波の伝播を3Dグラフ上で見ることができ、大変教育的である。下の図を参照（波が広がっているが境界で反射波が生じている）。

波高を表示



注意点

エクセルの再計算機能はあと戻りができない．従って最初の画面等を何らかの形でセーブしておく必要がある．

また，水深データと流速データは厳密には同じ格子にはない．むしろこの両者は半格子ずれた場所に置かれている（スタガードグリッドと呼ばれる）．本来はこの部分も厳密に定義されるべきであるが，教材として定性的な津波伝播をみせるだけなら，無視しても差し支えないと思う．

4．終わりに

Excel を用いるこの計算では，海底地形や，波源の初期値を簡単に変更することができ，教室で用いる教材として大変優れている．生徒毎にさまざまな地形を入力させ，津波の伝播の違いを調べさせることもできる．また，計算や入力ミスは，グラフの変化で簡単に見つけることが可能であり，この点も従来のこの種の計算に比べて非常に簡単な処理で終わる．

ただ，従来の計算でも難しい，格子境界での変数の値の定義は難しい．本格的な数値計算にこの方法を用いるときの改良点である．なお，この計算についての質問は下記のアドレスにしていきたい．

連絡先：yossi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

参考文献

- 岡本義雄: パーソナルコンピュータによる津波の数値シミュレーション 奥尻島周辺海域 ,
地学教育 , 52 , 53-62 , 1999
- 岡本義雄 : パーソナルコンピュータによる津波の数値シミュレーション Linux を用いた広
域格子 , 地学教育 , 52 , 177-190 , 1999
- 森下 悦生 : Excel で学ぶ流体力学 , 丸善 , 2000