

1. 降雨空間分布を考慮した土石流・泥流モデルの開発（担当：竹林洋史）

(1) 基礎方程式・・・Morpho2DHの基礎方程式の修正点

Morpho2DHはMorpho2Dに土石流・泥流モデルを加えた計算ソルバーである。Morpho2DHは平面二次元の土石流・泥流モデルを主体とした解析ソルバーであり、斜面崩壊を初期条件とした土石流・泥流の流動・堆積過程を表現可能なモデルである。砂防ダム、堰、家屋などの構造物や地盤の浸食深さの平面分布などを考慮した解析が可能である。

降雨を考慮することによるMorpho2DHの基礎方程式への修正は、水及び土砂の混合物の質量保存則の修正によって行い、運動量保存則への修正は行わない。これは、降雨がもたらす運動量は土石流や泥流が有する運動量よりも遙かに小さいのが一般的なためである。降雨を考慮した水及び土砂の混合物の質量保存則は以下のようなものである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \frac{E}{c_*} + r \quad (1.1)$$

ここに、 t は時間、 x と y は流下方向と横断方向の座標、 h は土石流・泥流の流動深、 r は単位時間あたりの降水量、 u と v は x と y 方向における土石流・泥流の速度成分、 c_* は静止堆積層の砂礫の堆積濃度、 E は河床の浸食速度¹⁾である。

(2) iRICインターフェース

a) ポリゴンの設置による降雨の空間分布の考慮

降雨を考慮するため、Morpho2DHのdefinitionファイルを修正した。以下、iRICインターフェース上での操作方法を示す。

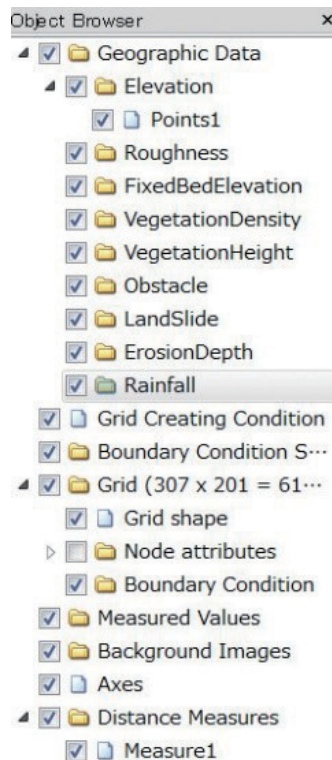


図1.1 Object Browserに降雨の項目（Rainfall）が表示されている様子

図1.1に示すように、Morpho2DHのdefinitionファイルを修正することにより、Object BrowserのGeographic Dataの下のErosionDepthの表示の下に降雨の項目（Rainfall）が追加された。

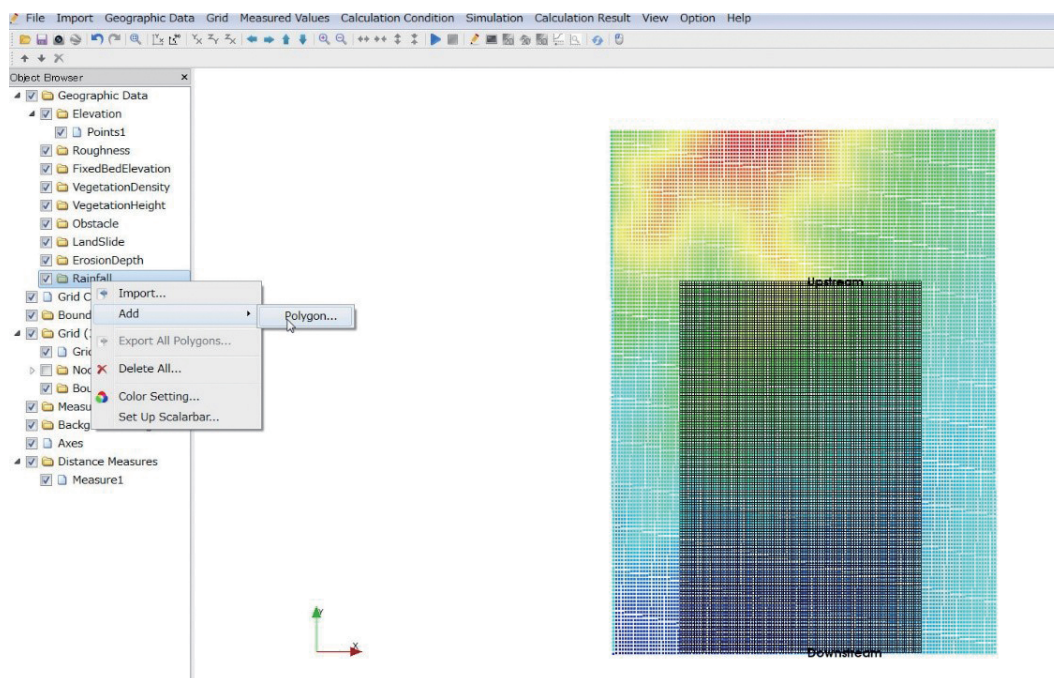


図1.2 Object Browserに降雨の項目（Rainfall）が表示されている様子

図1.2に示すように、Rainfallを右クリックし、AddからPolygonを選択する。

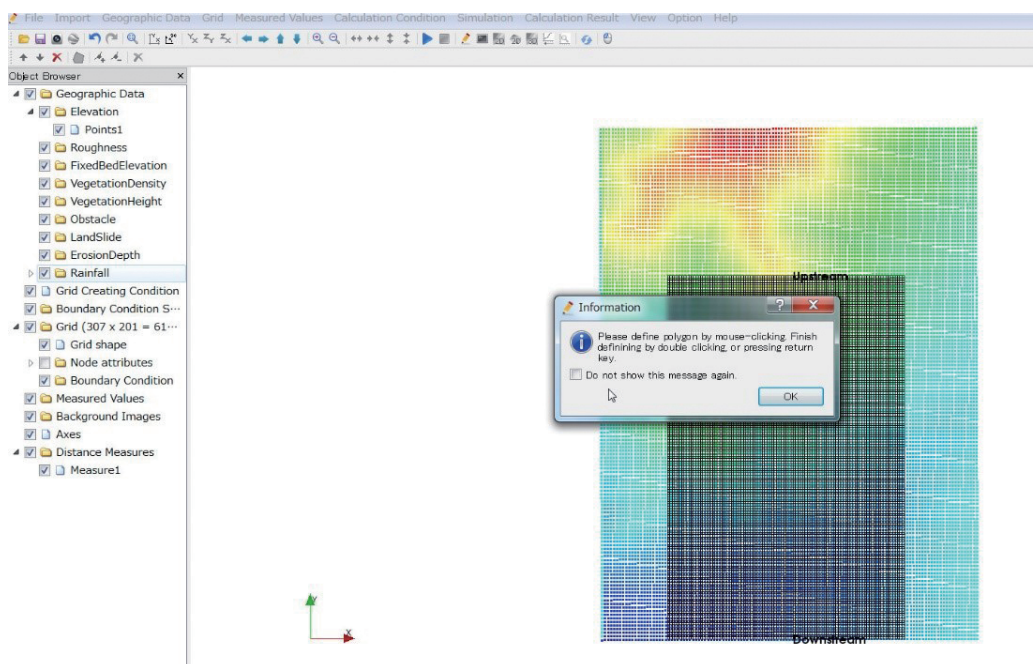


図1.3 ポリゴンの作成方法に関する情報が表示されている様子

図1.3に示すように、ポリゴンの作成方法に関する情報が表示されるのでOKを選択する。

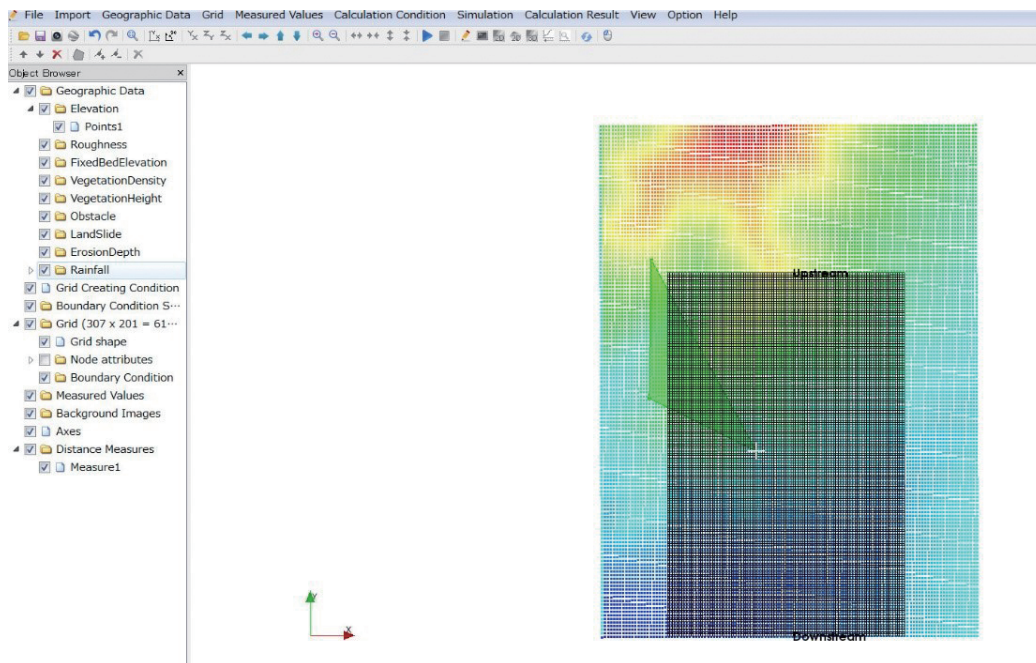


図1.4 ポリゴンを作成している様子

図1.4に示すように、他の変数のポリゴンの作成と同様に、マウスでクリックしながらポリゴンを作成する。

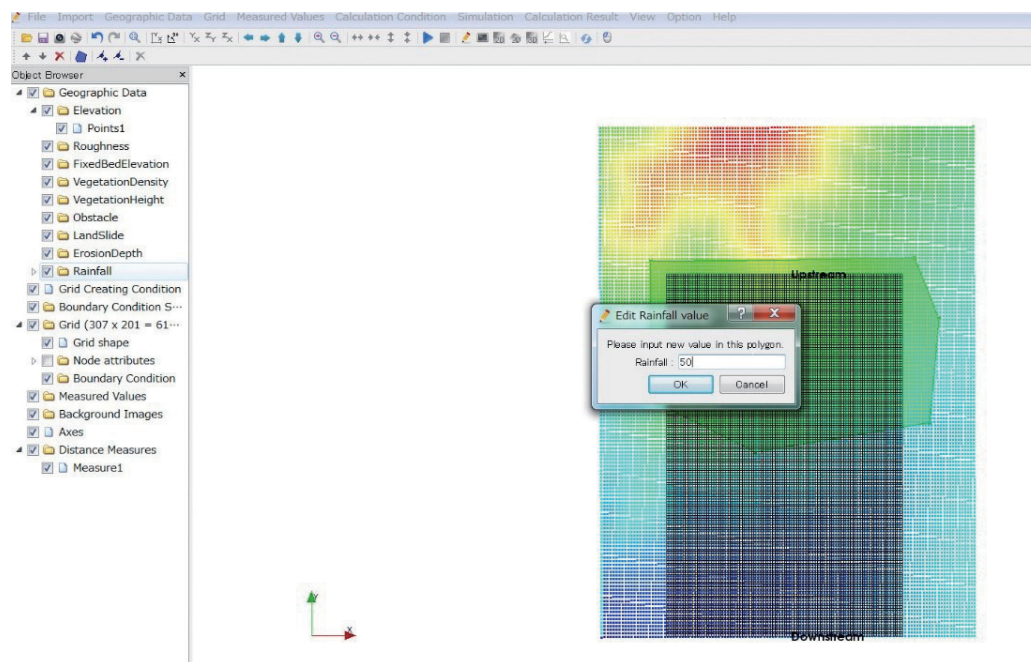


図1.5 降雨強度の設定

ポリゴンを作成し終わると図1.5に示すように降雨強度の値を入力するウィンドウがポップアップするので、降雨強度の値をmm/hの単位で入力する。なお、ソースコード内の降雨強度の値は、m/sに単位が変換されて使用されている。

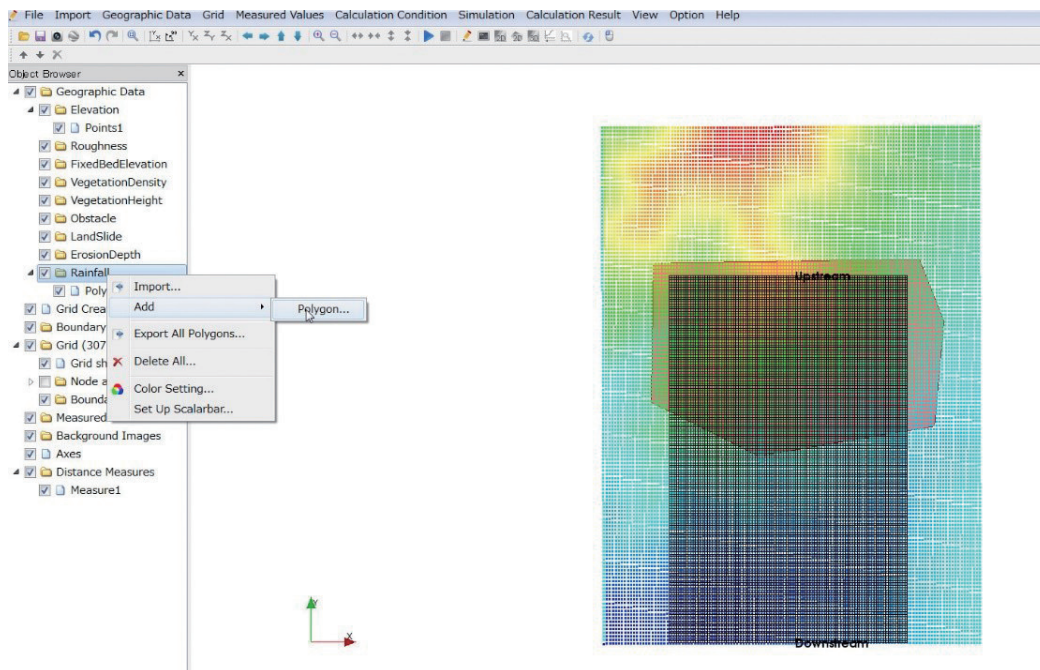


図1.6 二つ目のポリゴンの設定

一つのポリゴン内の降雨強度は空間的に一様である。そのため、降雨強度の空間変化を考慮するにはポリゴンを複数設定する必要がある。ここでは二つのポリゴンを設定し、降雨強度の空間分布を考慮する。二つ目のポリゴンは一つ目と同様に、図1.6に示すようにRainfallを右クリックし、AddからPolygonを選択する。

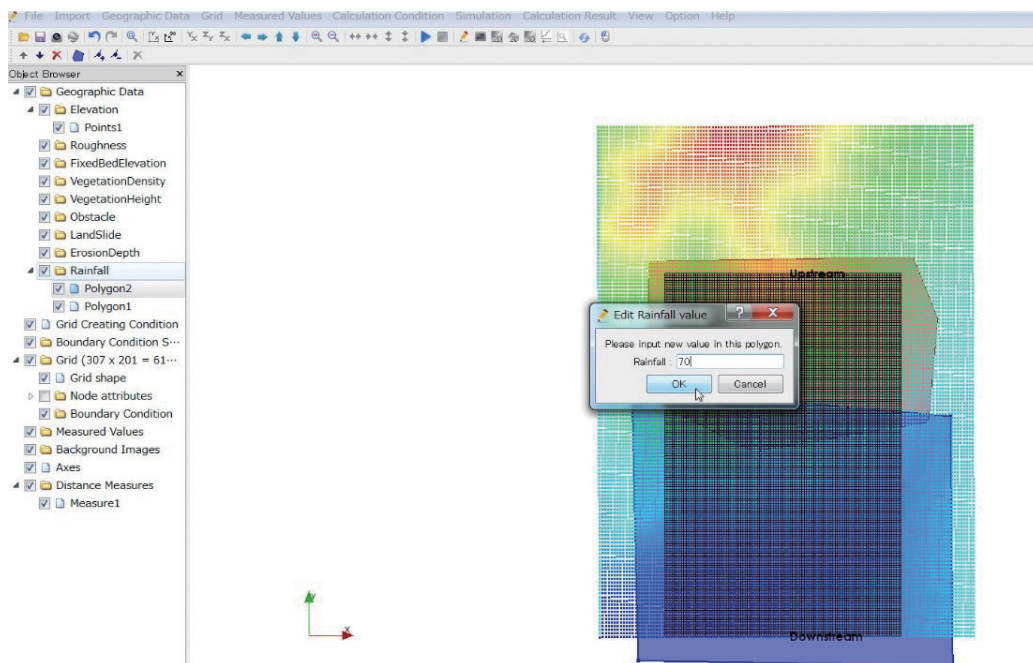


図1.7 二つ目のポリゴンの降雨強度の設定

二つ目のポリゴンを設定し終わると、一つ目のポリゴンと同様に、図1.7に示すように降雨強度の値を入力するウィンドウがポップアップするので、降雨強度の値をmm/hの単位で入力する。

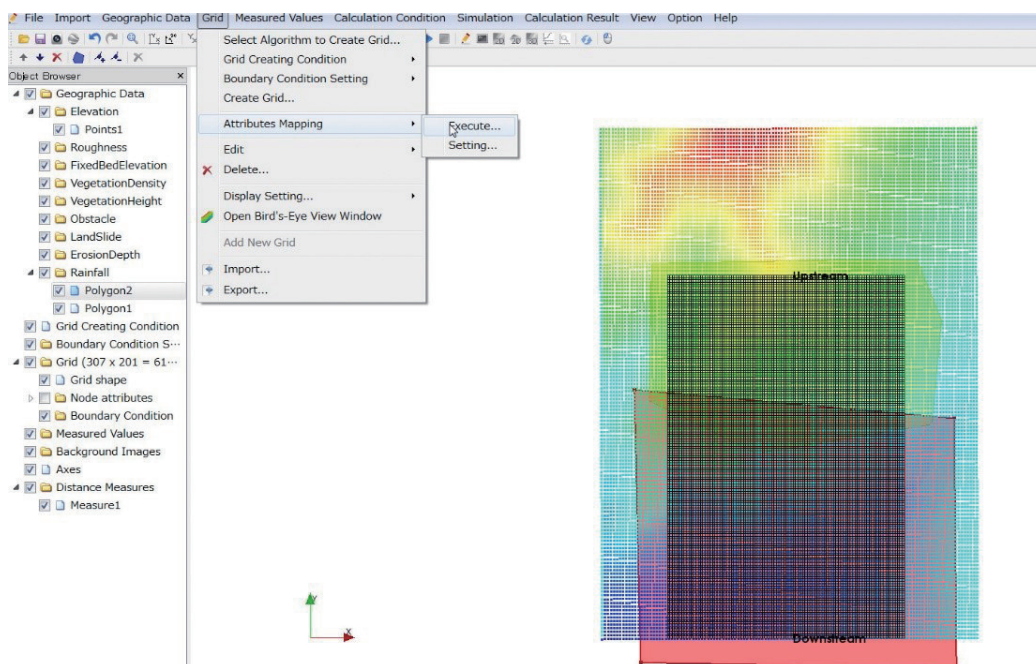


図1.8 計算格子に降雨強度の値を与える様子

次に、ポリゴンとして設定した降雨強度の値を計算格子に与える。図1.8に示すように、ひとつのGridから内ではAttributes Mappingを選択し、Executeを選択する。

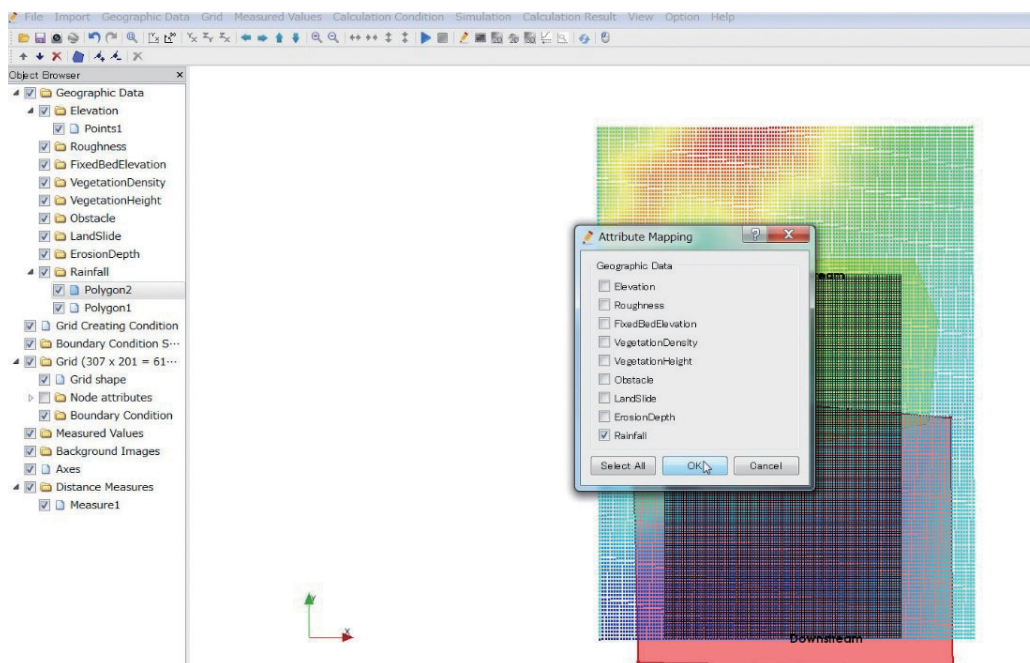


図1.9 Attributes Mappingウィンドウ

Attributes Mappingウィンドウがポップアップするので、Rainfallをチェックし、OKを選択する。

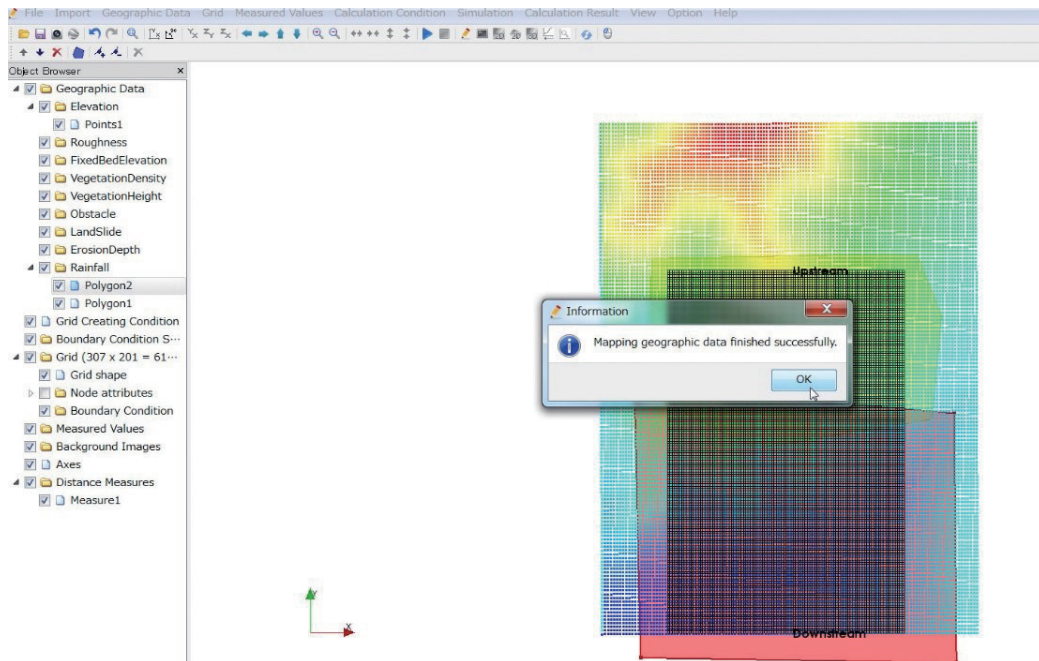


図1.10 計算格子に降雨強度が適切に与えられたことを示すウィンドウ

ポリゴンとして設定した降雨強度の値が計算格子に適切に与えることができると、図1.10に示すようなウィンドウがポップアップする。

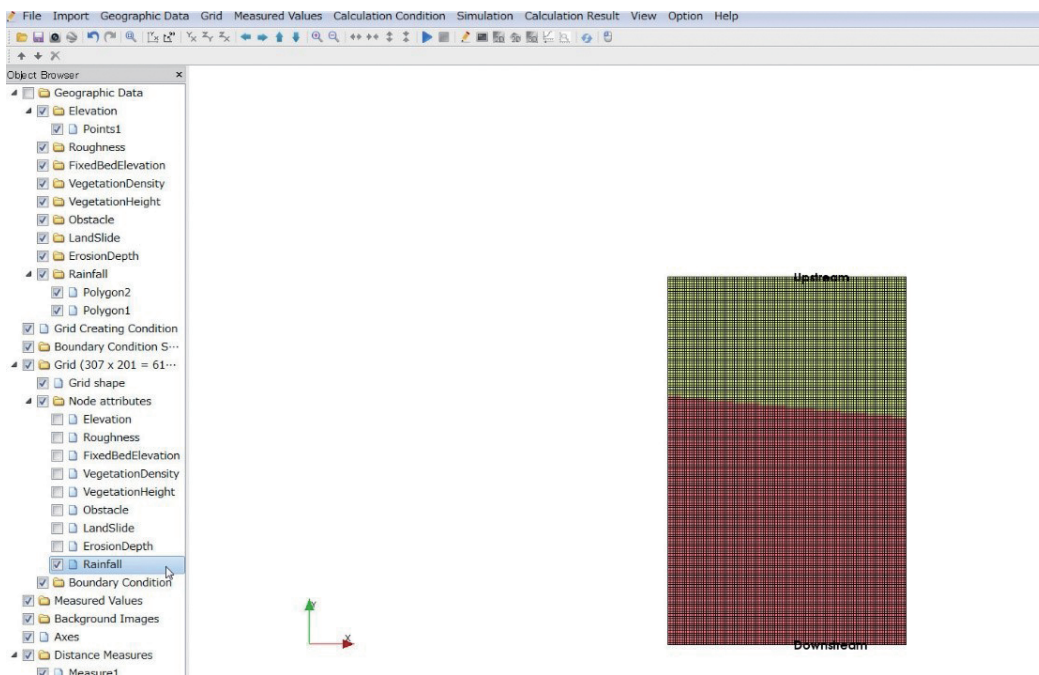


図1.11 計算格子に降雨強度が与えられたことを示されている様子

計算格子に降雨強度が適切に与えられたことを確認するには、Object BrowserのGridの下のNode attributesの下にRainfallをチェックする。図1.11に示すように、計算格子に与えられた降雨強度の値がコンターで表示される。このとき、Geographic Dataのチェックをオフにしておく。

b) 降雨強度の平面分布データを読み込むことによる降雨の空間分布の考慮

上述の方法でさらに詳細な降雨の空間分布を考慮するためには、非常に多くのポリゴンを設定する必要があります。降雨の詳細な空間分布を考慮するのが困難である。そこで、降雨強度の詳細な平面分布データを読み込むことによって、降雨の空間分布を考慮することも可能となっている。

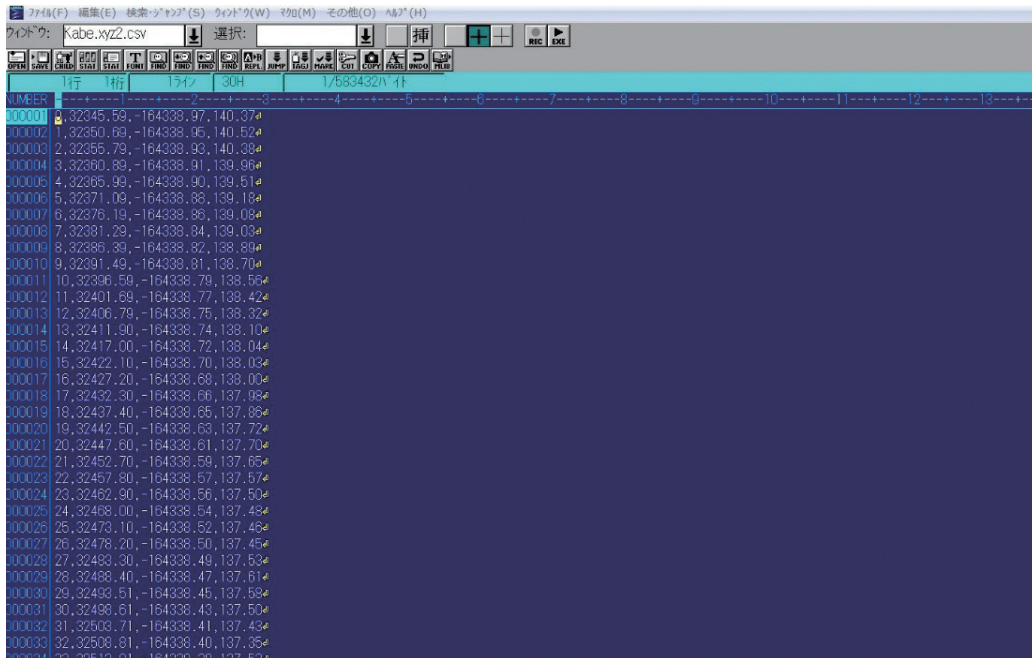


図1.12 降雨強度の平面分布データの例

図1.12に示すような降雨強度の平面分布データを準備する。データフォーマットは、DEMデータと同様であり、DEMデータでは地盤高の値となる部分に降雨強度の値をmm/hの単位で入力する。

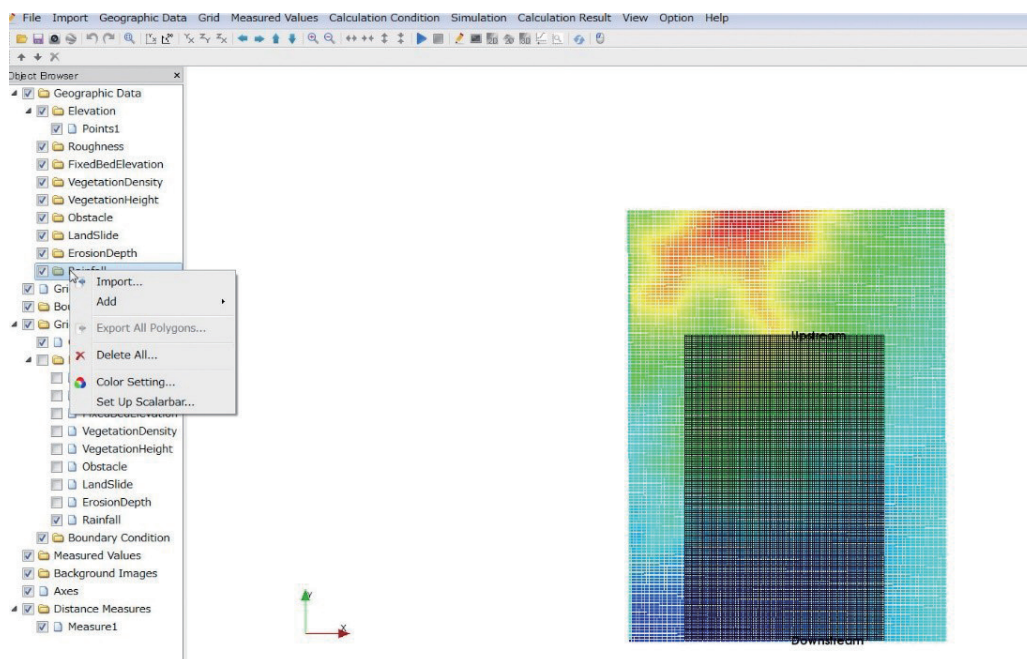


図1.13 降雨強度の平面分布データの読み込み

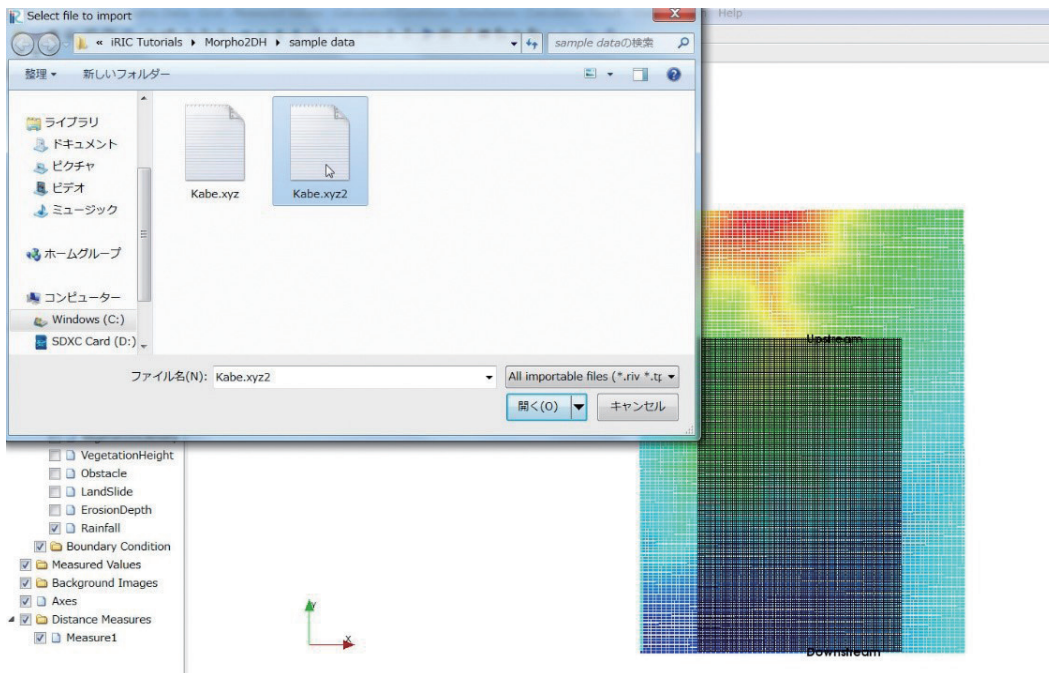


図1.14 降雨強度の平面分布データの選択

図1.13に示すように、Rainfallを右クリックし、Importを選択する。

図1.14に示すように、データファイル選択ウィンドウがポップアップするので、準備しておいた降雨強度の平面分布データを選択する。

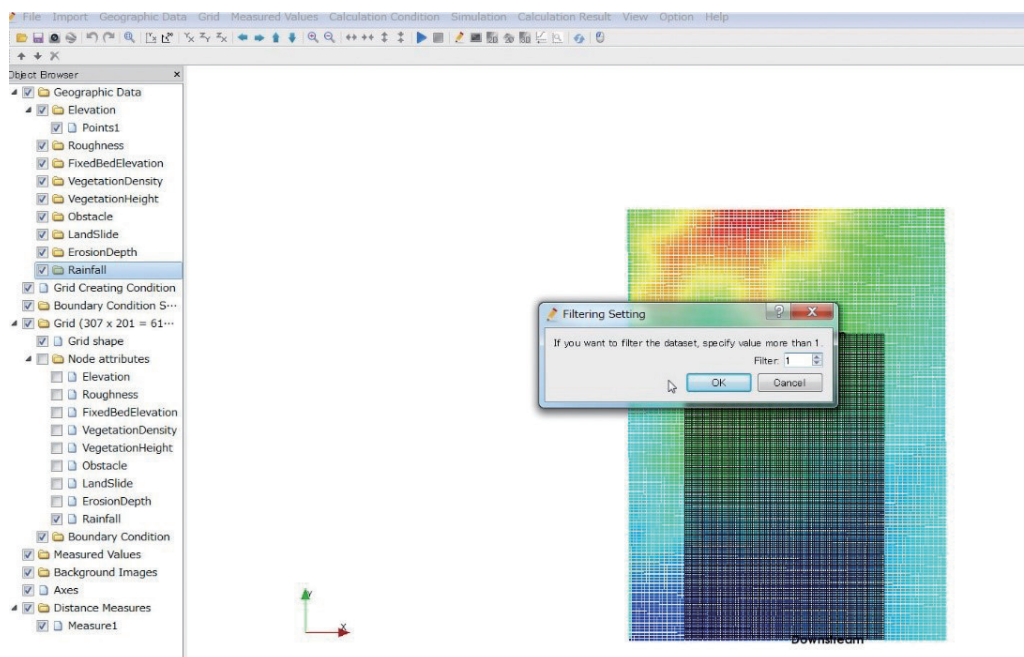


図1.15 データのフィルタリング

図1.15に示すように、データのフィルタリングウィンドウがポップアップするので、データが大きすぎる場合は、適切なサイズにフィルタリングする。

ポリゴンによる設定時と同様に、図1.8～図1.10に示したような作業によって、降雨強度の値を計算格子に与える。

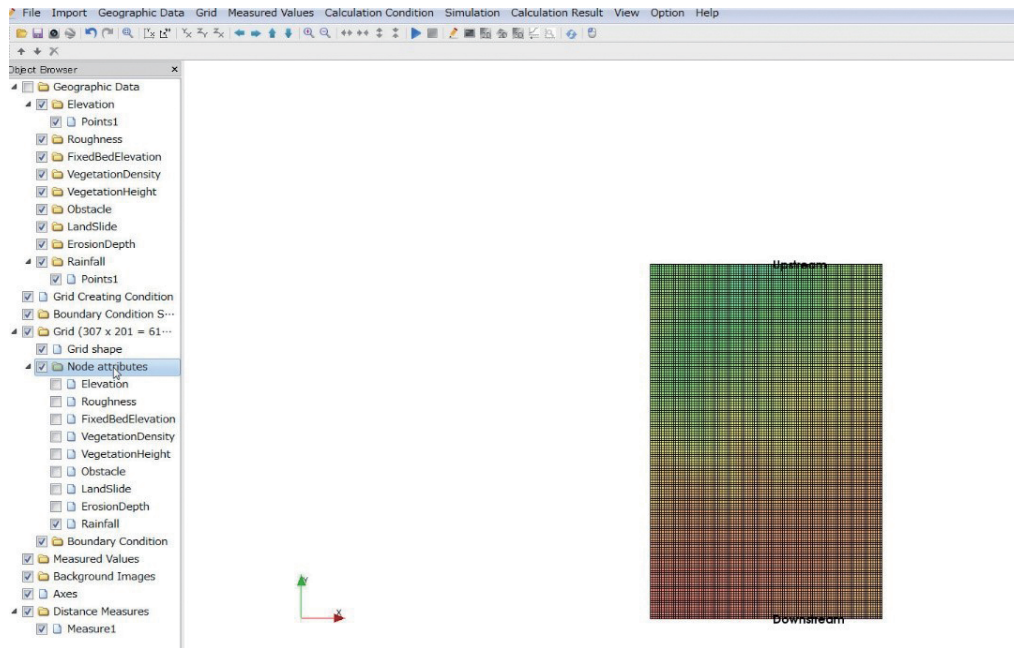


図1.16 計算格子に降雨強度が与えられたことを示されている様子

Object BrowserのGridの下にNode attributesの下にRainfallをチェックすると図1.16に示すように、計算格子に与えられた降雨強度の値がコンターで表示される。

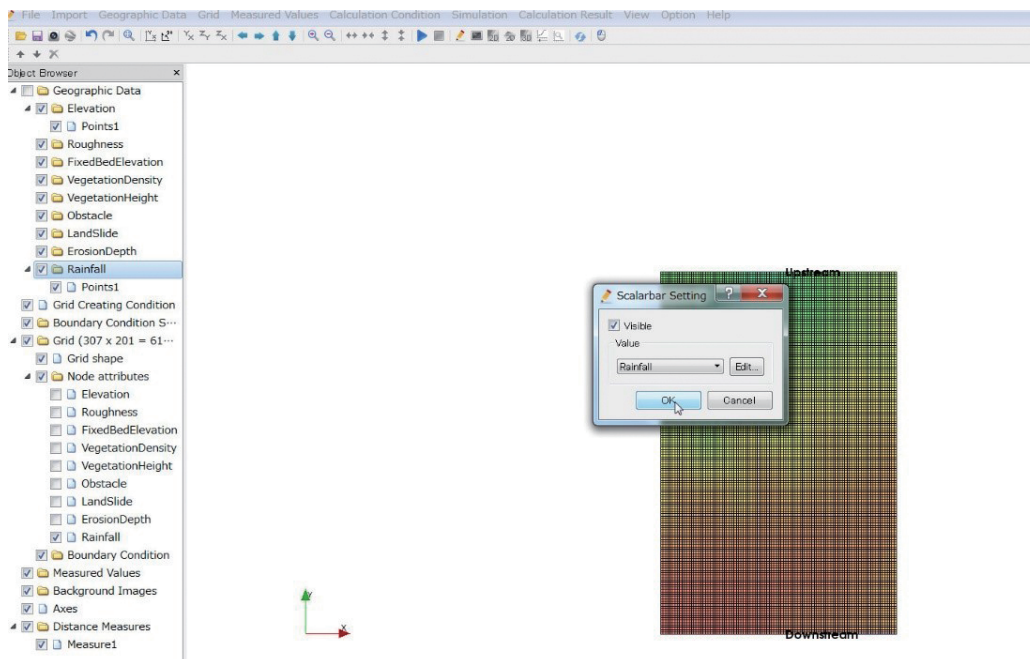


図1.17 コンター凡例の表示方法

コンターの凡例を示すには、Object BrowserのGeographical Dataの下にRainfallを右クリックすると、図1.17に示すようなウィンドウがポップアップするため、Rainfallを選択してOKを押す。

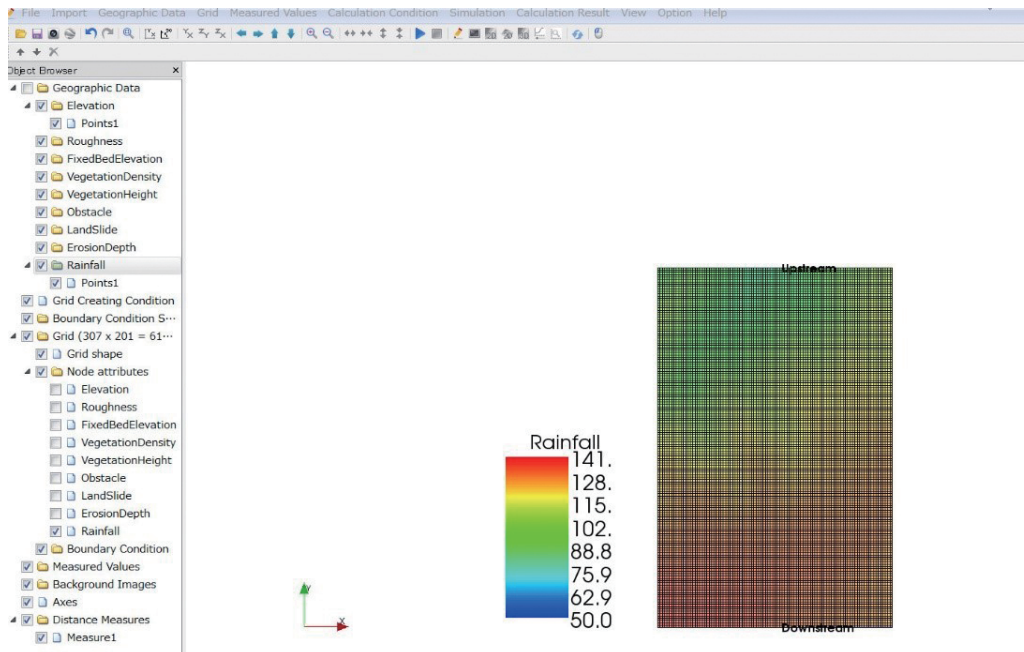


図1.18 計算格子に降雨強度が与えられたことを示されている様子

図1.18に示すように、降雨強度のコンターの凡例が表示される。

(3) 本章のまとめ

Morpho2DHのソルバーおよびdefinitionファイルを改良し、降雨空間分布を考慮できる土石流・泥流モデルを開発した。また、降雨空間分布を考慮する場合のiRICインターフェース上での操作方法を説明した。

参考文献

- 1) 江頭進治・伊藤隆郭：土石流の数値シミュレーション, 日本流体力学会数値流体力学部門Web会誌, 第12巻, 第2号, pp. 33-43, 2004.

2. 植生を考慮した土石流・泥流流動モデルの開発（担当：竹林洋史）

(1) 基礎方程式・・・Morpho2DHの基礎方程式の修正点

植生を考慮することによるMorpho2DHの基礎方程式への修正は、水及び土砂の混合物の運動量保存則に対してのみ行う。これは、植生が非常に密生している場合においても、単位体積当たりの植生が占める体積は非常に小さいため、質量保存則に植生の影響を考慮しないためである。植生は、流れに対して抗力として働くため、運動量保存則では抗力項として評価される。植生を考慮した水及び土砂の混合物の運動量保存則は以下のようなものである。

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu u}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} - \frac{F_{vx}}{\rho_m} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hvv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} - \frac{F_{vy}}{\rho_m} \quad (2.2)$$

ここに、 g は重力、 z_b は河床位である。 P は圧力であり、静水圧近似を用いる。 F_{vx} と F_{vy} は x と y 方向における植生の効力成分であり、以下のようなものである¹⁾²⁾。

$$F_{vx} = F_v \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (2.3)$$

$$F_{vy} = F_v \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (2.4)$$

$$\frac{F_v}{\rho} = \frac{1}{2} C_{dv} \lambda_v (u^2 + v^2) h_w \quad (2.5)$$

ここに、 C_{dv} ($\cong 1.0$) は形状抗力係数、 λ_v は植生密生度である。

(2) iRICインターフェース

植生を考慮する場合のiRICインターフェース上での操作方法は、Morpho2Dの条件設定ウィンドウ等を利用するため、Morpho2Dと同様である。植生として設定する条件は、植生密生度と植生の高さであり、これらは図1.1に示したObject BrowserのGeographic Dataの下のVegetationDensityとVegetationHeightからポリゴンを設定する。なお、VegetationDensityとVegetationHeightからポリゴンを設定するだけでは植生は考慮されない。図2.1に示すように、ポリゴン設定後にCalculation ConditionウィンドウのVegetationにおいてVegetation DensityとVegetation HeightをEnabledに変更することによって、植生が考慮されることとなる。

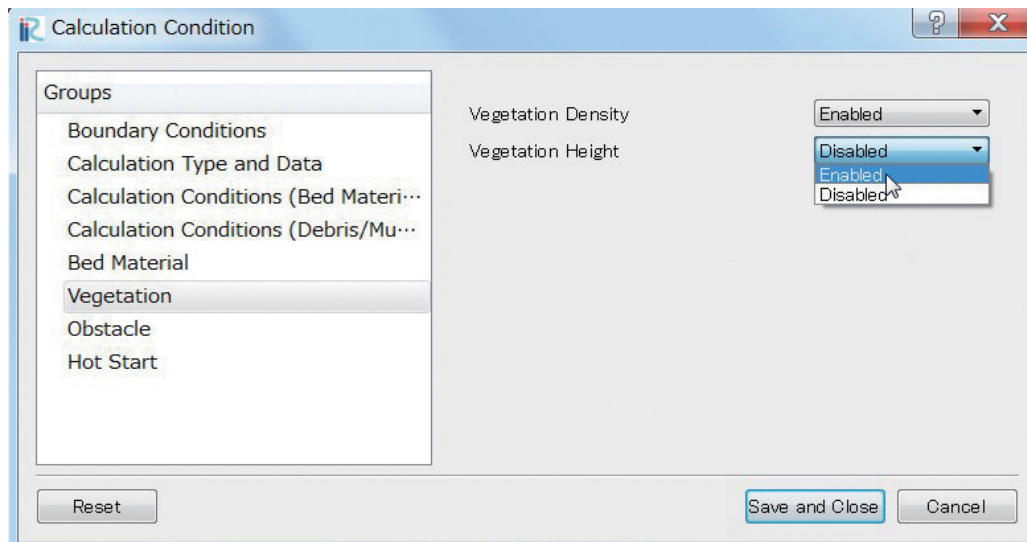


図2.1 植生の考慮

図2.1に示すようなCalculation Conditionウィンドウでの設定によって、植生がある場合と無い場合の両者の計算を実施することが可能となる。

(3) 本章のまとめ

Morpho2DHのソルバーを改良し、植生を考慮した土石流・泥流流動モデルの開発した。また、植生を考慮する場合のiRICインターフェース上での操作方法を説明した。

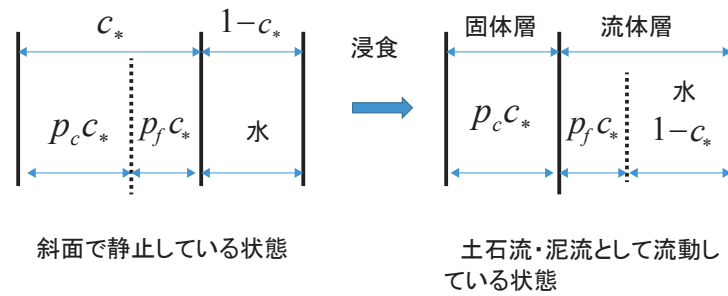
参考文献

- 1) Takebayashi, H. and Okabe, T. Braided streams with vegetation presence under unsteady flow, Water Management, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Publishing , Volume 162, Issue 3, pp. 189-198, 2009.
- 2) 清水義彦, 辻本哲郎 : 植生対を伴う流れ場の平面2次元解析, 水工学論文集, 第39巻, pp.513-518, 1995.

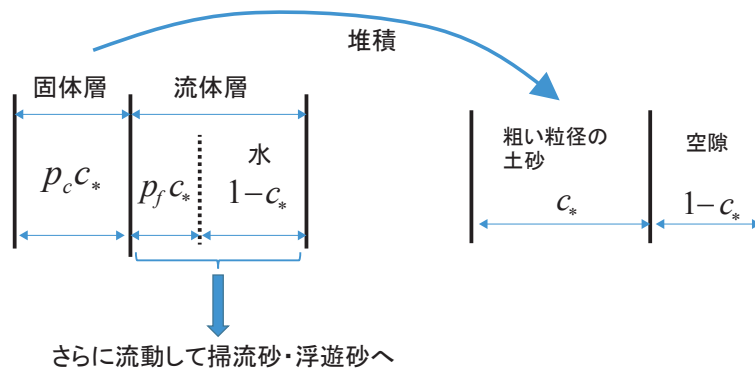
3. 土石流・泥流モデルと掃流砂・浮遊砂モデルのカップリング（担当：竹林洋史）

(1) 基礎方程式・・・Morpho2DHの基礎方程式の修正点

土石流・泥流として流下した水と土砂の混合物は、土砂濃度の低下とともに掃流砂・浮遊砂と変化する。ここでは、土石流・泥流として流下した水と土砂の混合物が、緩勾配域で堆積するときに降伏応力が大きい粒径の大きい土砂のみが堆積し、水と混合することによって流体のように振る舞う細粒土砂と水は粒径の大きい土砂の空隙を抜け、下流に流下して掃流砂および浮遊砂となると考える。図3.1にこれらのプロセスを模式的に表す。



(a) 浸食過程



(b) 粗い土砂の堆積過程と細流土砂と水の掃流砂・浮遊砂への変化

図3.1 土石流・泥流から掃流砂・浮遊砂への変化

これらの過程を導入すると、浸食過程における水と土砂の混合物の質量保存則は、以下のようなになる。なお、ここでは降雨は無視している。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = \frac{E}{c_*} \quad (3.1)$$

浸食過程における粗い土砂の質量保存則は、以下のようなになる。

$$\frac{\partial c_c h}{\partial t} + \frac{\partial c_c uh}{\partial x} + \frac{\partial c_c vh}{\partial y} = p_c E \quad (3.2)$$

浸食過程における細かい土砂の質量保存則は、以下のようなになる。

$$\frac{\partial c_f(1-c_c)h}{\partial t} + \frac{\partial c_f(1-c_c)uh}{\partial x} + \frac{\partial c_f(1-c_c)vh}{\partial y} = p_f E \quad (3.3)$$

ここに、 c_c は流動中の粗い土砂の体積濃度、 c_f は流動中の細かい土砂の体積濃度、 p_c は斜面における粗い土砂の存在率、 p_f は斜面における細かい土砂の存在率である。なお、 p_c と p_f には以下の関係がある。

$$p_c + p_f = 1 \quad (3.4)$$

堆積過程における水と土砂の混合物の質量保存則は、浸食過程と同一である。一方、堆積過程における粗い土砂の質量保存則は、以下のようになる。

$$\frac{\partial c_c h}{\partial t} + \frac{\partial c_c u h}{\partial x} + \frac{\partial c_c v h}{\partial y} = E \quad (3.5)$$

堆積過程における細かい土砂の質量保存則は、以下のようになる。

$$\frac{\partial c_f(1-c_c)h}{\partial t} + \frac{\partial c_f(1-c_c)uh}{\partial x} + \frac{\partial c_f(1-c_c)vh}{\partial y} = \frac{1-c_*}{c_*} c_f E \quad (3.6)$$

(2) iRICインターフェース

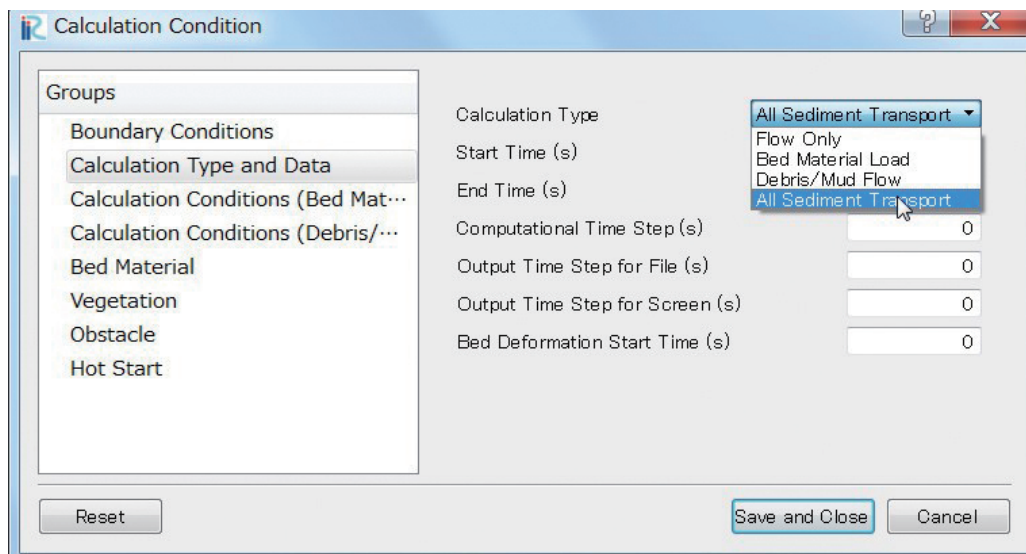


図3.2 土石流・泥流モデルと掃流砂・浮遊砂モデルのカップリングモデルの選択ウィンドウ

図3.2に示すようなCalculation Conditionウィンドウで「All Sediment Transport」を選択することによって、土石流・泥流モデルと掃流砂・浮遊砂モデルのカップリングモデルの計算を実施することが可能となる。

(3) 本章のまとめ

土石流・泥流モデルと掃流砂・浮遊砂モデルをカップリングさせる新しいフレームワークについて説明し、基礎方程式の修正点について説明した。