

ハイパーグリッドモデルによる洪水氾濫の数値解析

Numerical analysis of flood with Hyper Grid Model

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 森川剛(Go Morikawa)
 北海道大学大学院工学研究院 正会員 木村一郎(Ichiro Kimura)
 北海道大学大学院工学研究院 フェロー 清水康行(Yasuyuki Shimizu)

1. 研究背景

近年、地球温暖化要因となり都市部でもゲリラ豪雨が観測されていることから、迅速な氾濫シミュレーションが求められている。氾濫シミュレーションは対象地形をいくつかの格子で区切り、各格子に対して環境データを反映させることで計算する方法が一般的である。従来は、観測技術の未発達から精度の高い観測結果を得ることはできなかった。

しかし近年、計測機器の急速な発達から正確な環境データを容易に得られるようになってきている。例えば、地形データに関しては、航空機によるレーダ測量を用いた LP データの取得や 3D スキャナーを用いた測量などにより正確な地形データが得ることができ、3D プリンターを用いることで容易にそれらのデータを再現できるようになってきている¹⁾²⁾。図 1³⁾⁴⁾は既存レーダの一つである C バンドレーダと新たに開発された X バンド MP レーダとの比較画像であり、レーダによる気象観測技術の進歩は明らかである。このように気象データも地形データと同様に、正確なデータを容易に得ることができるようになってきている。これらのデータを用いるために、従来のメッシュをより細かくする必要性が生まれ、その結果、より精度の高い計算結果を得られるようになった。

しかしその一方で、メッシュを細かくすることから計算量、計算時間がともに膨大なものになってしまうことが懸念されている。迅速な計算が求められる氾濫計算において、このことは大きな問題となっており、環境データの観測技術の開発に対して、迅速な計算方法の確立が大きく遅れをとっている。そこで提案されているのが粗い格子と細かい格子を組み合わせたハイパーグリッドモデルという計算方法である。

本研究では、ハイパーグリッドモデルによる計算結果が既存のソフトウェアと比較してどの程度正確に再現できるのか、また、計算時間がどれくらい短縮できるのかという点から、ハイパーグリッドモデルの妥当性を検証する。

2. ハイパーグリッドモデルについて

ハイパーグリッドモデルは、N. D. Volp らにより提唱された氾濫シミュレーションモデルである⁵⁾⁶⁾。図 2 にハイパーグリッドモデルの概要を示している。ハイパーグリッドモデルは粗い格子と細かい格子の二種類の格子を用いて流れを計算するのが特徴である。

細かい区間で大きく変化する粗度や河床高などの地形データを、細かいメッシュで格納し正確な数値を読み取

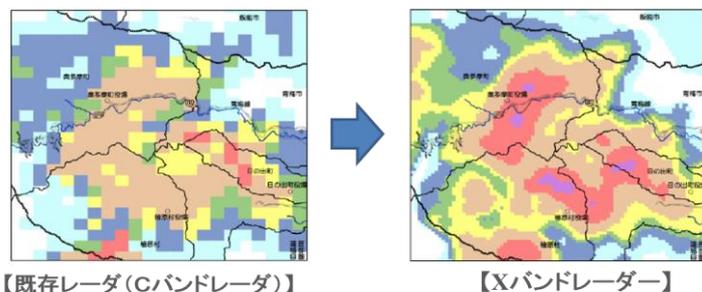


図 1 レーダの観測技術の進歩

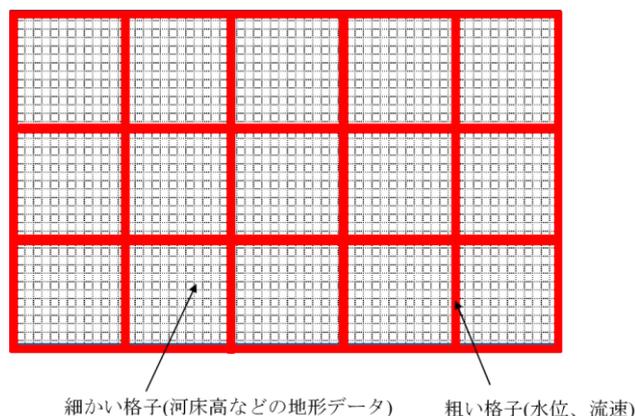


図 2 ハイパーグリッドモデルの概要

り、一般的に大まかな区間で変化する水位は粗いメッシュ内では一定とみなし、細かいメッシュ内の河床高と粗いメッシュ内の水位を用いて水深を計算する。また流速は粗いメッシュで計算し、無次元数を用いて細かいメッシュに離散化してそれぞれの細かなメッシュの流速を算定する。この計算法を用いることで細かいメッシュごとに計算するよりもはるかに計算時間が短縮される。また、計算精度については、細かいメッシュのみで計算したものに近い計算精度が得られることが期待されている。

3. 研究概要

ハイパーグリッドモデルとの比較を行うために、ハイパーグリッドモデルに加えて、既存のソフトウェアの代表として iRIC の Nays2D Flood⁷⁾で細かいメッシュのケースと粗いメッシュのケースでそれぞれ計算を行い、結果を比較する。

3. 1 対象図形について

計算に用いる地形は 15000m 四方の地形で、計算領域内は規則的である 2 つの地形を作成し、それぞれを Case1 Case2 と設定した。

図 3 は、Case1 の地形を示している。この地形は X 方向に 1/1000 の一定勾配を持った平面地形である。

図 4 は、Case2 の地形を示している。この地形も Case1 と同様に X 方向に 1/1000 一定勾配を持った地形であるが、Case2 の地形は一定周期で波打たせている。波高は 1. 4m に設定した。

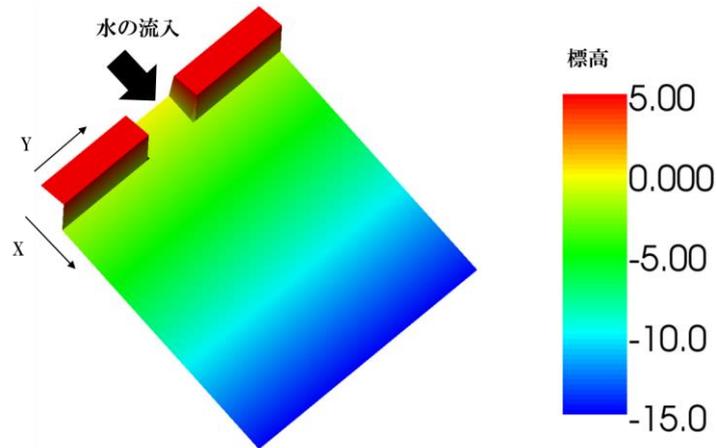


図 3 Case1 の対象地形

3. 2 条件設定

図 5 は対象地形でのハイパーグリッドモデルのメッシュの区切り方を示している。細かいメッシュは一辺が 150m 四方のメッシュで対象地形を 100×100 で区切っている。赤色の線の区切りは粗いメッシュを示している。粗いメッシュは一辺が 1500m 四方であり、対象地形を 10×10 で区切っている。

また、iRIC での計算で用いるメッシュの区切り方は、細かいメッシュのケースでは 100×100 で区切っていて、粗いメッシュのケースでは 20×20 で区切って計算を行った。

流入する流量は十分に水流するために 4000 m³/s で設定し、計算時間はおよそ 2 日間の 176400 秒で計算を行った。地形全体の粗度係数は 0.05 と設定した。

図 5 に示すように、流れ方向に対して横断方向の中心である Y=7500m における水深を比較することで、3 つの計算方法を定量的に比較する。

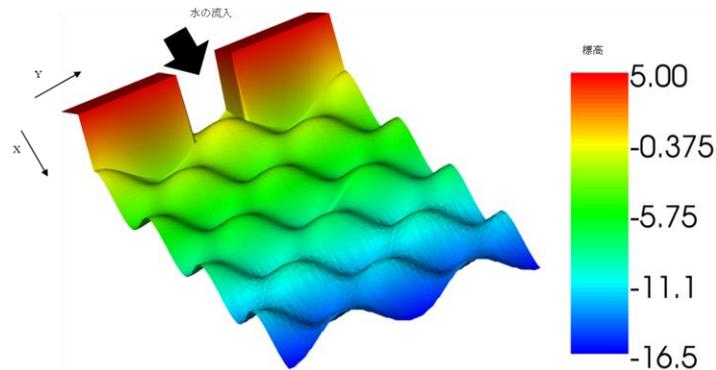


図 4 Case2 の対象地形

4. 計算結果

4. 1 Case1:平面地形

まずは計算時間について比較する。iRIC を用いて細かい格子でこの流れを計算したところ 3 分 47 秒要した。それに対して、ハイパーグリッドモデルで要した時間は 1 分 13 秒であり、計算時間の短縮というハイパーグリッドモデルの利点が活かされていることが確認された。

図 6, 7, 8 は Case1 の計算終了時の 3 種類の水深コンターを示している。3 つを比較すると、iRIC の 100×100 のメッシュで計算した結果が最もなめらかである。ハイパーグリッドモデルで計算した結果は、粗いメッシュで計算した結果よりも、細かなメッシュで計算した結果に近いことがわかる。

図 9 は、3 種類の Y=7500m 地点での縦断方向水深を定量的に比較したものである。iRIC の細かいメッシュで計算した水深に対して、ハイパーグリッドモデルは X=2000m 地点でおよそ 0.1m の差異が出ており、粗いメッシュでは X=2250m 地点でおよそ 0.13m の差異が出ていた。しかし、グラフの形状は粗い格子の計算結果のほうが、細かいメッシュで計算した結果に近いといえる。単純な平面地形ではハイパーグリッドモデルの利点が小さいことが確認できる。

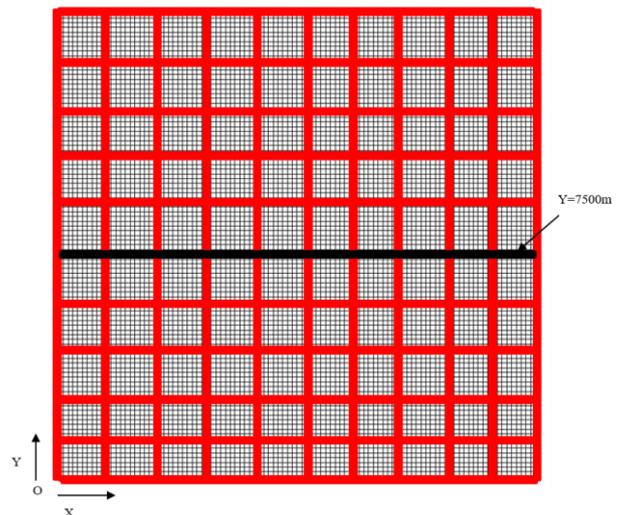


図 5 対象地形のハイパーグリッドモデルのメッシュの区切り方

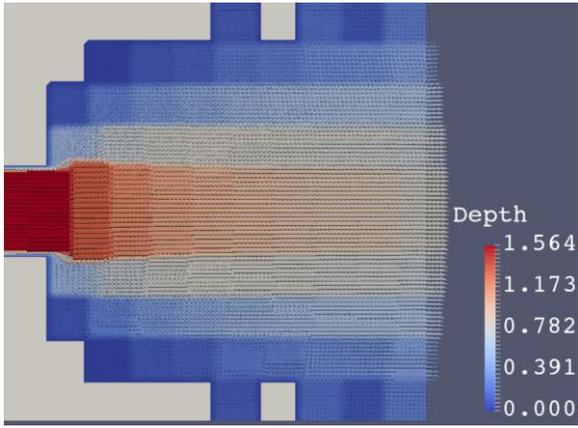


図 6 Case1 のハイパーグリッドモデルの水深コンター

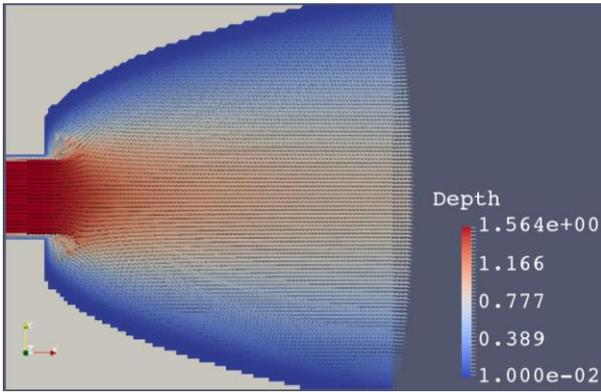


図 7 Case1 のiRIC の細かい格子の水深コンター

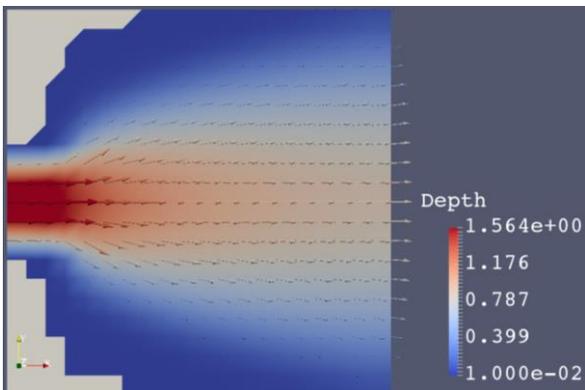


図 8 Case1 のiRIC の粗い格子の水深コンター

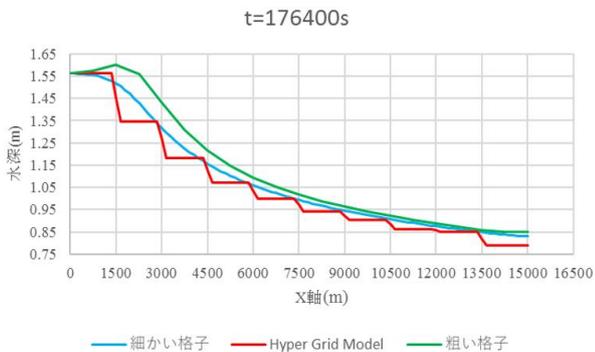


図 9 Y=7500m での X 軸と水深の関係性

4. 2 Case2:規則的に波打った地形

計算時間について比較する。iRIC を用いて細かい格子で流れを計算すると、4 分 20 秒要した。それに対して、ハイパーグリッドモデルで要した時間は 1 分 37 秒であり、計算時間の短縮は確認できる。また地形が複雑になったことで、Case1 の短縮時間よりも 5 秒ほど短縮されていることが確認できる。

図 10, 11, 12 は、Case2 の計算終了時の水深コンターを示している。Case1 同様、細かなメッシュで計算した結果が最もなめらかであり、粗いメッシュで計算した結果は水深が過度に平滑化されている。ハイパーグリッドモデルで計算した結果は、基礎式は粗い格子で解かれているにもかかわらず、細かい格子の地形高低が反映されていることが確認された。

図 13 は Y=7500m 地点での縦断方向水深を定量的に比較したものである。すべてのグラフにおいて規則的な凹凸が確認できる。表 1 は、図 13 のグラフにおける各凸部分の最大値を示している。粗い格子で計算した水深は、細かい格子で計算した水深よりも小さいことから、各凸部分での最大値を過小評価している可能性が示唆される。一方で、ハイパーグリッドモデルで計算した水深の各凸部分での最大値は細かい格子での計算結果に近い値となった。

しかしながら、図 13 から読み取れるように X=1500m, 6000m, 9000m, 13500m の地点でハイパーグリッドモデルの計算した水深は 0m に落ち込んでしまっていることが確認できる。これらの X 地点はちょうどハイパーグリッドモデルの粗い格子の境界点である。このように粗い格子の境界点で不連続になってしまうという課題がハイパーグリッドモデルにはあると言える。

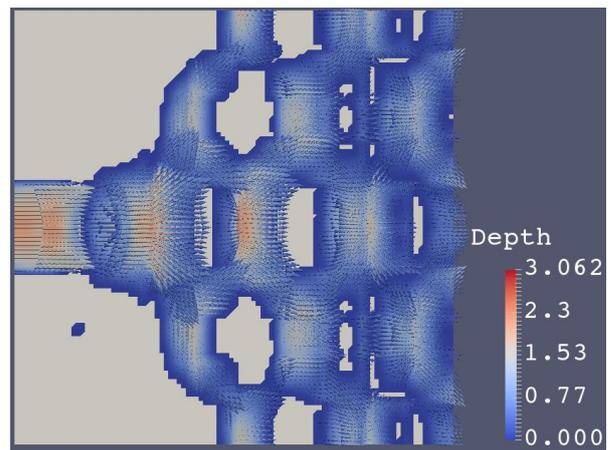


図 10 Case2 のハイパーグリッドモデルの水深コンター

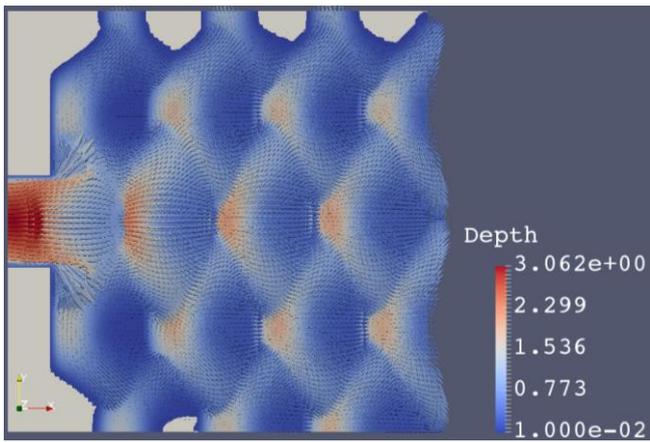


図 11 Case2 の iRIC の細かい格子の水深コンター

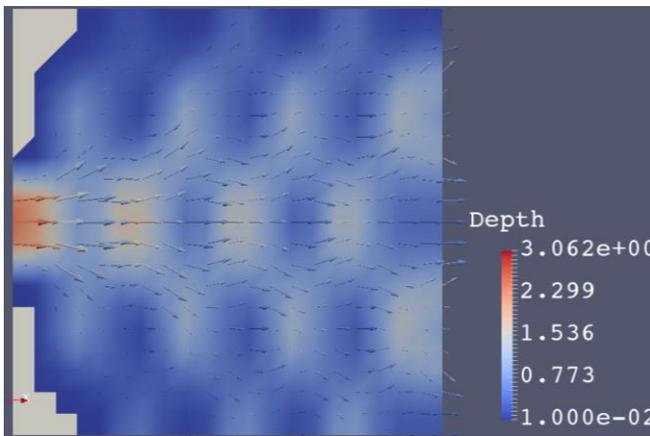


図 12 Case2 の iRIC の粗い格子の水深コンター

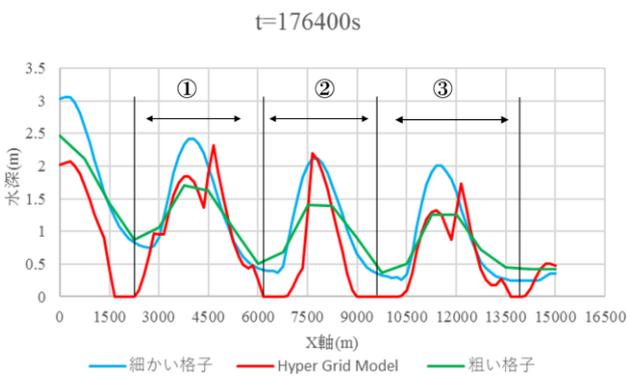


図 13 Y=7500m での X 軸と水深の関係性

表 1 グラフの各凸部分の最大値

	①	②	③
ハイパーグリッド	2.32m	2.2m	1.73m
細かい格子	2.42m	2.12m	2.01m
粗い格子	1.71m	1.41m	1.26m

5. 結論

今回、単純な平面地形と規則正しく波打たせた地形の 2 つの地形において、ハイパーグリッドモデル、そして iRIC を用いた、細かいメッシュ、粗いメッシュの 3 つの手法で計算を行い、計算結果と計算時間を比較することでハイパーグリッドモデルの妥当性について考察した。以下、本研究で得られた主な結論を示す。

1. ハイパーグリッドモデルを用いることで、iRIC の細かいメッシュを設定したものと比較して計算時間が短縮することが確認できた。
2. 計算時間短縮の観点について、Case1 の場合よりも Case2 の場合の計算時間が短縮されていることから、実際の地形を対象にハイパーグリッドモデルを用いると、より計算時間が短縮され、災害時の迅速な計算が期待される。
3. 複雑な地形において、ハイパーグリッドモデルで計算した水深の最大値は、細格子で計算した結果の最大値に近い結果となる。粗格子では水深の最大値を過小評価する恐れが示唆された。
4. ハイパーグリッドモデルにおいて、水深や流速を求める粗いメッシュの境界上で数値が 0 に落ち込んでしまい、差異が大きくなってしまいうことや、単純な地形では不連続に水深を求めてしまうなど、いくつかの問題点が指摘された。

参考文献

- 1) 三浦心・川村育男・木村一郎・三浦敦禎：扇状地に発達した密集市街地における氾濫解析手法に関する検討，水工学論文集，第 55 巻，pp.S_979-S_984，2011。
- 2) 桑田優希，木村一郎，清水康行，土木学会北海道支部，技術研究発表会概要，pp.1-4，2014。
- 3) 国土交通省報道発表資料：
<http://www.mlit.go.jp/common/001010011.pdf>
- 4) 桑田優希：高解像降雨データを反映した氾濫シミュレーションモデル 2016。
- 5) N. D. Volp, B. C. van Prooijen, G. S. Stelling: A finite volume approach for shallow water flow accounting for high-resolution bathymetry and roughness data, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 49, 4126–4135, doi:10.1002/wrcr.20324, 2013.
- 6) Malik Ahmad Ali, Ichiro Kimura & Yasuyuki Shimizu: Flood modelling using sub-grid based finite volume approach & constrained interpolation profile method, River Flow 2016 – Constantinescu, Garcia & Hanes (Eds), pp. 1891-1895, 2016.
- 7) Homepage of iRIC Project Changing River Science, <http://i-ric.org/ja/> 2016.