# 研　究　報　告

令和　７　年　４　月　２２日

公益財団法人　前田記念工学振興財団

理 事 長　　岸　　利 治　　殿

研究代表者

所　属　：岐阜大学　工学部　社会基盤工学科

氏　名　：吉村　英人

研究課題名：3D デジタルデータを活用した河川・氾濫域の流れの三次元数値シミュレーション技術の開発

助成金額：　　１００万円

研究実施期間：自　令和６年４月１日　～　　至　令和７年３月 31 日

研究報告　令和６年度　i-construction 分野 No.4

# 3D デジタルデータを活用した河川・氾濫域の流れの三次元数値シミュレーション技術の開発

Development of three-dimensional numerical simulation technology for a flow in rivers and flooded areas using 3D digital data

岐阜大学工学部　助教　吉村 英人

## （研究計画ないし研究手法の概略）

### 1. はじめに

河川・氾濫域を対象とした流れの数値解析では平面二次元モデルが中心に用いられている．このモデルは大域的な流れを実用的な精度で予測できる一方で，河川構造物や建物周りの局所的な流れの予測は十分ではない．三次元モデルを用いれば局所的な流やそれに伴う河床変動，構造物や建物に作用する外力等を詳細に検討することが可能であるが，複雑な地形や構造物に対する格子生成と数値解析にかかるコストの大きさから，その利用は限定的である．

近年，インフラ分野における DX の導入により，3D 都市モデル PLATEAU[1)]や 3D 河川管内図[2)]といった 3D デジタルデータの整備・公開が大きく進展した．これらのデータから容易に河川・氾濫流の三次元数値解析を行うことができれば，河川・流域の計画・管理技術の高度化につながると考えられる．研究代表者はこれを実現するため，任意形状に対する自動格子生成と効率的な並列計算が可能なブロック型階層型直交格子を用いた三次元自由表面流れの数値解析モデル[3)]（以下，HCG モデル）を提案・開発している．

本研究では HCG モデルを 3D デジタルデータと連携させ，構造物や建物を含む河川・氾濫流の三次元数値解析を効率的に行うための技術を構築する．研究実施期間中には PLATEAU から階層型直交格子を自動生成するシステムを開発した．

### 2. 数値解析モデル

研究代表者が開発した HCG モデルでは，三次元空間を図-1(a)に示すようなブロック型の階層型直交格子で離散化する．一つのブロックには同数のセルが含まれており，ブロックを形状に合わせて再帰的に細分化していくことで，複雑形状に対する格子生成を自動で行うことができる．隣接するブロック間では図-1(b)に示すようにブロック境界の物理量を交換し，さらに，ブロックの大きさが異なる場合には，物理量を補間する．

流れの支配方程式には式(1)および式(2)に示す非圧縮性流体の連続の式および Navier-Stokes 方程式を用いる．

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\{2(\nu + \nu_t)S_{ij}\} + g_i, i = 1,2,3 \tag{2}$$

ただし，$t$は時間，$x_i$は各方向の座標（$x_1 = x$，$x_2 = y$および$x_3 = z$），$u_i$は流速の各方向成分（$u_1 = u$，$u_2 = v$および$u_3 = w$），$\rho$は密度，$p$は圧力，$\nu$は動粘性係数，$\nu_t$は渦粘性係数，$S_{ij}$はひずみ速度テンソル，$g_i$は重力加速度の各方向成分である．

自由表面の追跡には VOF (Volume of Fluid) 法を用い，式(3)に示す液相体積率$\alpha$の移流方程式を解く．

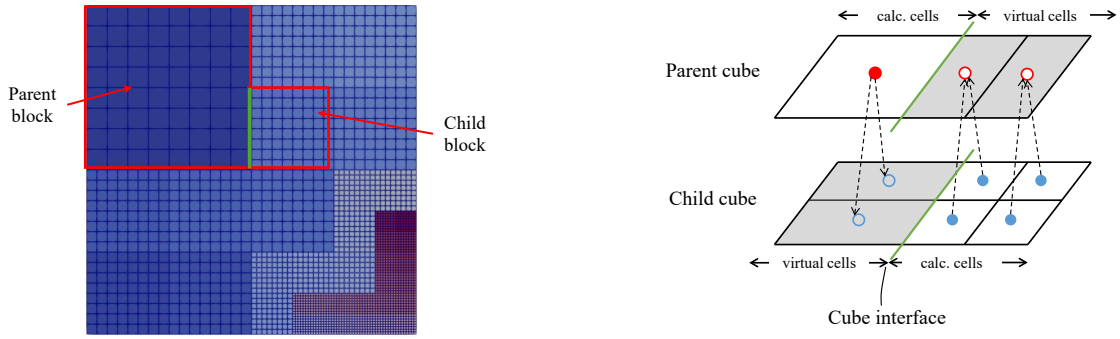


**図-1**　階層型直交格子の概要（左：階層型直交格子，右：ブロック境界における物理量の交換と補間）

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t}+\frac{\partial \alpha u_i}{\partial x_i}=0 \tag{3}$$

ブロック内はスタガード格子を用いた有限差分法で離散化される．空間離散化には二次精度中心差分を，時間離散化には移流項に二次精度 Adams–Bashforth 法，粘性項に Crank–Nicolson 法をそれぞれ用いる．速度と圧力のカップリングには Fractional Step 法を用いる．

**（実験調査によって得られた新しい知見）**

### 3. 3D 都市モデル PLATEAU からの格子生成

本研究では国土交通省が公開する 3D 都市モデル PLATEAU のデータから，数値解析で用いる階層型直交格子を自動生成するシステムを開発した．PLATEAU のデータは 3D 都市モデルの標準データ形式である CityGML 形式で配布されている．一方，格子生成にはポリゴンデータを用いるため，CityGML ファイルからポリゴンデータの STL ファイルに変換した後，格子生成を行った．以下および**図-2** に，PLATEAU のデータから格子生成を行う処理の流れを示す．

(1) CityGML の座標変換

PLATEAU のデータは緯度経度座標系に基づいている．一方，数値解析は平面直角座標系で行われるため，CityGML ファイルを平面直角座標系に変換する．座標変換には東京都が公開する citygml-tools を用いた．

(2) CityJSON への変換

次に，CityGML ファイルを JSON 形式の CityJSON ファイルへ変換する．これは，以降の処理でファイルに含まれているデータの抽出に，Python の cjio モジュールを用いるためである．CityJSON への変換には座標変換と同様に citygml-tools を用いた．

(3) STL への変換

PLATEAU のデータには様々な情報のデータが含まれているが，解析では基本的に建物と地形データを用いる．また，建物にはその表現レベルに応じて，LOD (Level of Details) 0 から 2 のデータがあるが，本研究では LOD1 のソリッドデータを用いる．したがって，CityJSON ファイルから解析に必要な建物（LOD1）と地形データのみを抽出し，各データをポリゴンに

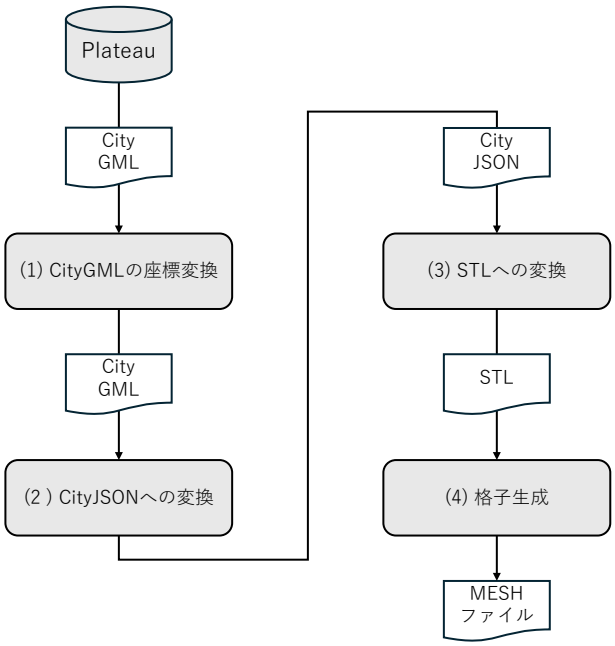


**図-2**　3D 都市モデル PLATEAU を用いた格子生成処理の流れ

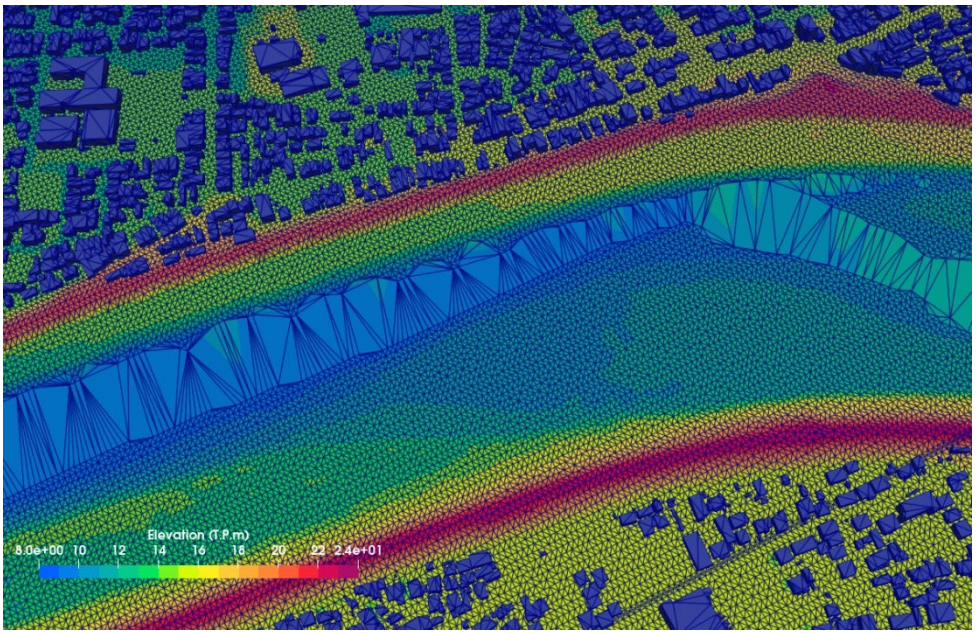


**図-3**　CityGML から作成された建物と地形データを含む STL ファイルの可視化

分割した後，STL ファイルへ変換する．以上の処理により作成された STL ファイルの可視化結果の例を**図-3** に示す．建物と地形が適切にポリゴンデータに変換されていることが確認できる．なお，(1)–(3)の一連の処理は自動で実行が可能である．

(4) 格子生成

作成した STL ファイルを用いて以下の流れで階層型直交格子を自動生成する．まず，解析領域を指定し，ルートブロックと呼ばれる最もサイズのブロックを設定する．次に，このブロックにポリゴンデータが交差するかあるいは含まれる場合には，ブロックを 8 分割し，ブロック内のセルサイズも 1/2 にする．指定の細分化レベルに達するまで，各ブロックに対し

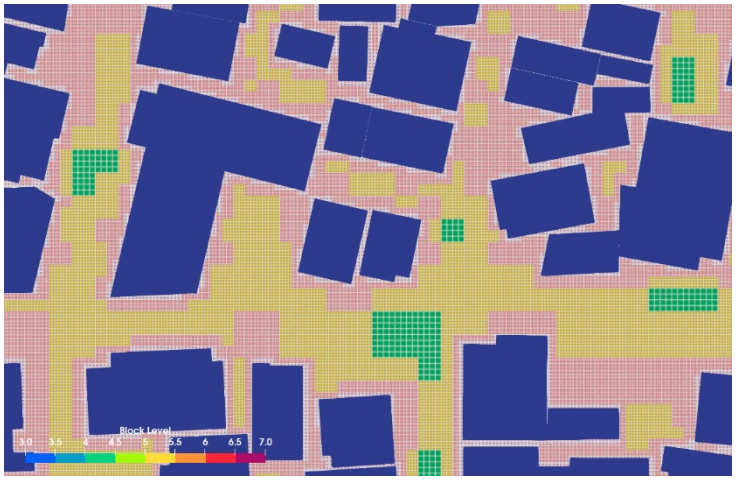


**図-4**　CityGML から生成された建物周りの階層型直交格子
（色はブロックの細分化レベルを示す）

て同様の処理を再帰的に行う．最後に，ポリゴンデータと交差するセルを壁面セルとし，壁面セルで囲まれた領域は固体セルとして取り除く．残った領域のセルを流体セルとして，解析に用いる．なお，以上の処理は今後大規模なデータを扱っていくことを想定し，MPI (Message Passing Interface) による並列化を行い，処理の高速化を図った．

PLATEAU の CityGML から生成された階層型直交格子（最大細分化レベル 7）の例を**図-4** に示す．複雑な配置をする建物の周囲や，建物間の路地にサイズの小さい格子が生成されているのが確認できる．

## 4. おわりに

本研究では，3D デジタルデータを活用した効率的な河川・氾濫流の三次元数値解析技術の構築を目指し，3D 都市モデル PLATEAU から階層型直交格子を自動生成するシステムを開発した．本システムでは，PLATEAU の任意領域における建物・地形データの取得から格子生成までをシームレスに行うことが可能である．

なお，本システムで生成した格子を用いた検証計算は研究実施期間中に行えなかったため，今後進めて行く予定である．また，PLATEAU のデータには河道のデータが含まれていないため，別途河道データを取り入れていくことが今後の課題である．

## 参考文献

1)　国土交通省：PLATEAU, https://www.mlit.go.jp/plateau/
2)　国土交通省 関東地方整備局 荒川下流河川事務所：荒川下流 GIS オープンデータポータル, https://gis-opendata-arage.hub.arcgis.com/
3)　Yoshimura, H. and Fujita, I.: Numerical simulation of free surface flow by a volume-of-fluid method using hierarchical cartesian grids, *Journal of JSCE Special Issue (Applied Mechanics)*, Vol. 12, No. 2, 23-15041, 2024.

## （発表論文）

検証計算結果を含めた成果を学術雑誌へ投稿予定