

実世界地理情報を利用した プレイヤーが自然に感じる Minecraft マップ上の土地利用の試み

栗原 司[†] 横山 大作[†]

[†] 明治大学大学院理工学研究科情報科学専攻 〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1

E-mail: †k.tsukasa980307@gmail.com, dyokoyama@meiji.ac.jp

あらまし Minecraft は立方体のブロックを自由に配置・編集して建築や街づくりを楽しめるゲームである。我々は、与えられた地形に対し、自動的に農地や人工建造物を配置して、プレイヤーがゲームを楽しめるようなマップを生成するタスクに取り組んでいる。そのための基礎技術として、プレイヤーが「自然である」と感じられる街の生成を目的とし、現実世界の土地利用状況を参考にして、農地と都市の割り当てを行うことを試みた。本論文では、世界中の土地の利用状況を網羅する Copernicus Global Land Service の提供する衛星からの観測データを利用したマップ生成手法を提案し、その問題点について議論する。

キーワード 地理データ活用, ゲーム・娯楽, ユーザ支援

1 はじめに

Minecraft¹ はゲームの世界が様々な種類の正方形のブロックで構成されているオープンワールドゲームである。このゲームには特定の目標がなく、サバイバル生活やブロックを自由に配置することで建築や街づくりを楽しむことができる。Minecraft の世界にはバイオームと呼ばれる気候帯が存在し、バイオームによって土壌や生成される植物の種類が変化するため、現実世界に近い植生や気候になっている。

Minecraft での建築や街づくりをテーマにした取り組みは多く、現代の日本の地方都市をイメージした都市「味噌汁市」[1] や県全体が津軽海峡にある 1 つの島という設定の「佐山県」[2] といった架空の都市を制作するプロジェクトがある。Minecraft のマップの自動生成に関する研究も盛んに行われており、DEM(数値標高モデル)や OpenStreetMap のデータを利用して、現実世界の地形などの特徴を残しつつデフォルメしたマップを自動的に生成するシステムが提案されている [3]。また Generative Design in Minecraft(GDMC) [4] という、Minecraft の未知のマップに対して、自動的にブロックを配置して建造物を作成することでプレイヤーがゲームを楽しめるような街を生成し、その完成度を競う大会が毎年開かれている。

GDMC がテーマにしているマップ生成において、多くの事例では「建造物を配置する場所の選定」と「選定した場所への建造物の配置」の機能に分けて構成することが通常である。建造物を配置する場所の選定においては、建造物の配置しやすさを考慮して平らな地形が選定されたり、何らかのアルゴリズムに基づいて手続き的に選定されることが多い。そのためマップを構成するバイオームが変化しても、地形が同じならば似たような構造の街が生成され、プレイヤーに既視感や違和感を与えるマップになりやすい。

Minecraft においてプレイヤーが「自然である」と感じられる街を生成するためにはバイオームを考慮して建造物を配置する場所を適切に選ぶ必要がある。そこで本研究では、現実の人間の居住地は周囲の環境や気候に適応している点に着目し、実世界の土地利用に基づき、Minecraft のマップに対して農地と都市の割り当てを行い、プレイヤーが自然に感じる土地利用を目指す。土地利用の推定方法として、マップ上のバイオームと実世界の土地利用データを比較して類似度を計測し、類似度の高いデータのうち上位 N 件を利用して都市と農地の土地利用を一度で割り当てる方法と、都市の土地利用を割り当てたのち、農地の都市利用を割り当てる方法の 2 種類を提案する。

比較対象として、既存手法を基にした平坦な地形の場所に配置する手法と一様な間隔で配置する手法を作成し、2 つの提案手法とともに 100 個のテストマップに対して土地利用の推定を行い、「不自然な土地利用になっていないか?」と「極端な土地利用になっていないか?」の 2 つの観点から減点方式で評価した。

前者は 2 段階で決定する手法が最も評価が高く、一括で決定する手法と平坦な場所に配置する手法が同率で 2 番目に評価が高かった。既存手法は河川の流れを無視している、バイオームが変化しても似た土地利用になるマップが多くみられたが、どちらの提案手法も河川に沿って土地利用が割り当てられるといった自然な土地利用になった。しかしどちらも海上に土地利用を割り当ててしまうことがあり、海沿いのマップでは不自然な土地利用になったものが目立った。2 段階で決定する手法は都市と農地が割り当てられる割合を制限したことで、過剰に土地利用を割り当てることがなくなり、一括で決定する手法より評価が高くなった。

後者は 2 段階で決定する手法が最も評価が低く、一括で決定する手法が次いで低かった。提案手法では、バイオームの分布によっては片方の土地利用しか割り当てられない場合があるため、既存手法よりも極端な土地利用のマップが生成されやすく、評価が低くなった。特に 2 段階で決定する手法では先に割り当

1: <https://minecraft.net/> (accessed:2023-01-03)

てた都市の土地利用を基準に農地の都市利用を割り当てる。そのため都市の土地利用が割り当てられない場合、一切土地利用が割り当てられないマップが生成されてしまうため、より低い評価になった。

これらの評価から、2段階で決定する手法は極端な土地利用になりやすく、有効なマップが限られているものの、既存手法よりも自然な土地利用の推定ができると言える。

本論文の構成は以下の通りである。2章では Minecraft や既存のマップ生成手法について紹介する。3章では提案する土地利用の割り当て手法の詳細を述べる。4章では提案手法による土地利用の推定を行い、その結果について主観的な評価を行う。また既存のマップ生成手法を用いて土地利用の推定を行い、提案手法による推定結果と比較を行う。5章でまとめを行う。

2 関連研究

2.1 Minecraft

Minecraft はゲームの世界が様々な種類の正方形のブロックで構成されているオープンワールドゲームである。このゲームには特定の目標がなく、モンスターと戦いながらサバイバル生活を楽しんだり、ブロックを自由に配置・編集して建築を楽しむことができる。Minecraft にはバイオームと呼ばれる気候帯が存在する。世界はいくつもの領域に分けられ、領域ごとにバイオームが設定される。バイオームによって土壌や生成される植物の種類が変化し、その中には「砂漠」や「ジャングル」といったバイオームがあり、現実世界に共通する植生や気候が存在する。

2.2 Generative Design in Minecraft

Generative Design in Minecraft は Minecraft の未知のマップに対して、自動的にブロックを配置して気候や地形に適した建造物を作成することで街を生成し、その適合度を競う大会である。提出された作品は、地形・環境への適応性、機能性、ストーリー性、街の景観の美しさの4つの基準に基づいて評価される。**地形・環境への適応性** ブロックを破壊して、与えられたマップの地形を大きく変えるといったことをせずに建造物を配置できているか、建造物の構造や使用されたブロックの材質が周囲の環境や気候を考慮しているか。

機能性 プレイヤの役に立つ機能を備えているか。例えば食料を得るための畑や道具を制作できる作業台といったサバイバル生活を補助する設備があるかといった点が評価される。

ストーリー性 その街の背景やマップ全体の世界観を思い起こさせることができるか。

街の景観の美しさ 建造物・都市構造の美しさやデザインに一貫性があるか。

2.3 GDMC に投稿されたマップ生成手法

Minecraft のマップ生成手法は概ね「建造物を配置する場所の選定」と「建造物の配置」からなる。ここでは過去に GDMC に投稿された手法での建造物を配置する場所の選定方法について紹介する。[5]

2.3.1 Immersive and Realist Minecraft Settlement Generator

与えられたマップを 500×500 ブロックごとの領域に分割し、その領域ごとに街を生成していく手法。分割した領域ごとに以下の手順で建造物を配置する。まず街を配置する場所として、領域内で隣接するブロック同士の高低差が1ブロックである地形(プレイヤーが歩いて移動できる地形)を探す。その場所の中から最初に建造物を配置する位置を探す。そしてこの最初の建造物との距離が一定値以下になるようにランダムに建造物を配置する。



図 1: 2.3.1 を用いて生成されたマップ

2.3.2 AgentCraft: An Agent-Based Minecraft Settlement Generator

マルチエージェントシミュレーションを利用して、現実世界の都市形成を模倣することでもっともらしい街を生成する手法。まず与えられたマップから、建造物を配置する場所としてエージェントが歩き回れる程度に平坦で障害物がない地形などの基準を満たす場所を探す。エージェントは選ばれた地形を歩き回りながら、目的地までプレイヤーの移動時間を最小にする、既存の道路と接続されている、行き来が可能であるといった条件を満たすように道路網を構築する。この道路網を構築していく過程で、建築に必要なブロックを集める、ブロックを配置して建造物を作る、木を植える、休憩するなど様々な行動を取りながら他のエージェントと交流し、街を生成していく。



図 2: 2.3.2 を用いて生成されたマップ

2.3.3 Settlement Generator V1

poisson disc sampling と A*アルゴリズムを用いて建造物を配置する場所とそれらを繋ぐ道を決定する手法。点同士が一定

の距離以上離れている点群をランダムに生成する poisson disc sampling を用いて、建造物を配置する位置を決定する。建造物同士の距離を A* アルゴリズムを用いて求め、その距離を辺のコストとして重み付きグラフを構築する。そしてグラフから求めた最小全域木をもとに道を配置する。



図 3: 2.3.3 を用いて生成されたマップ

3 土地利用の割り当て方法

建造物を配置する場所を選定する際に平坦な地形を選ぶ、手続的に選ぶといった手法を用いて生成された街は周囲の環境や気候を考慮されていない。そのためマップを構成するバイオームが変化しても、似たような構造の街が生成されてしまう。2.3.1 の手法を用いたマップ生成の結果を図 4 に示す。左側の画像は黒い部分が住宅などの建造物、赤い部分が農場などの建造物が配置してあることを表している。また右側の画像はマップの標高をヒートマップ形式で表している。カラーバーの範囲は高さ 62 ブロック (海面) ~ 100 ブロックである。この手法では平坦な場所にランダムに建造物を配置しているため、街の構造も似通ったものになっている。またバイオームが変化しても住宅や農場の割合もほとんど変化していない。そのためプレイヤーに既視感や違和感を与えるマップになりやすい。

Minecraft においてプレイヤーが「自然である」と感じられる街を生成するためには、バイオームを考慮して建造物を配置する場所を適切に選ぶ必要がある。そこで本研究では現実の人間の居住地は周囲の環境や気候に適応している点に着目し、実世界の土地利用に基づき、Minecraft のマップに対して農地と都市の割り当てを行い、プレイヤーが自然に感じる土地利用を試みる。ここではマップ上のバイオームと実世界の土地利用を比較し、計測した類似度を用いて、土地利用の推定を行う方法について述べる。

3.1 マップ生成手法の概要

Minecraft のマップ生成手法は概ね以下の手順からなる。

建造物を配置する場所の選定 建造物を配置する場所を Minecraft のマップ上から選ぶ。Generative Design in Minecraft [4] では、建造物の配置しやすさを考慮して平坦な地形を選定するアルゴリズムが一般的である。

建造物の配置 土、石材、木材、ドアといった様々な種類のブロックを組み合わせて配置していき、住居や畑を作成する。またプ

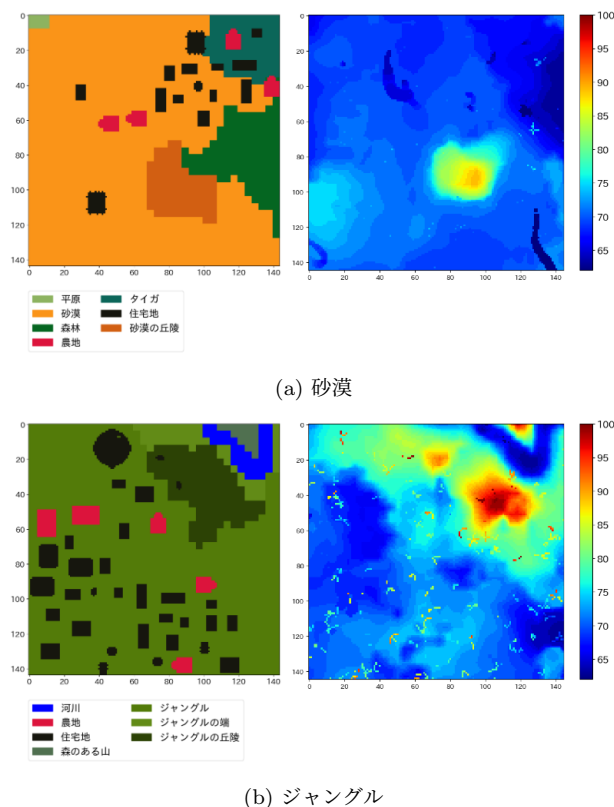


図 4: 2.3.1 を用いて生成したマップ (左から建造物の位置関係、標高ヒートマップ)

レイヤの移動を快適にする道路や橋といったゲームのプレイを助ける設備なども作成する。

提案手法は「建造物を配置する場所の選定」を実世界の土地利用を参考に行う。

3.2 土地利用メッシュデータ

本研究では、世界中の土地の利用状況を網羅する Copernicus Global Land Service の提供する衛星からの観測データである Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe [6] を利用した。これは地表面の $60^{\circ}N, 180^{\circ}W \sim 80^{\circ}S, 180^{\circ}E$ の領域を緯度及び経度方向に 100 m 間隔に分割したメッシュデータである。各メッシュは表 1 に示す 23 種類の土地利用区分に分類され、対応するマップコードが割り振られる。このデータでは閉鎖林は樹林で覆われている土地の面積の割合が 70% より多い土地、疎林は樹林で覆われている土地の面積の割合が 15 ~ 70% の土地と定義される。

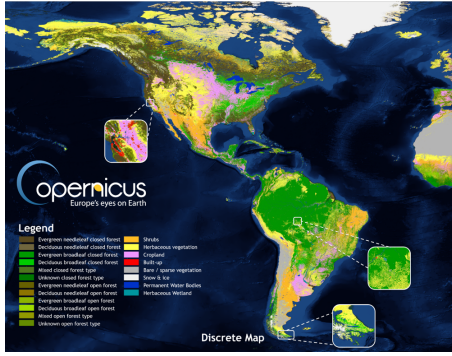


図 5: 土地利用メッシュデータ²



図 6: プレイヤの視点 (描画距離は 144 ブロック)



図 7: プレイヤとセルと同じサイズの家

3.3 類似度の定義

類似度は、比較したい土地利用が割り当てられたメッシュの周囲の土地利用の面積比と Minecraft のマップ上の土地利用を割り当てたい領域の周囲の土地利用の面積比をベクトルとして表現し、そのコサイン類似度として定義する。土地利用メッシュデータの面積比は 23 種の土地利用区分の、比較したいデータに占める面積の割合を計算して求める。Minecraft のマップの面積比は周囲の地表面に割り当てられたバイオームを名前や生える木の種類などをもとに対応する利用区分に変換し、上と同様に占める面積の割合を計算して求める。

表 1: 土地利用区分の対応

衛星データの土地利用区分	Minecraft のバイオーム
データなし	奈落
常緑針葉樹林 (閉鎖林)	タイガ, タイガの丘陵, タイガの山, 雪のタイガ, 雪のタイガの丘陵, 雪のタイガの山, 巨大樹のタイガ, 巨大樹のタイガの丘陵, 巨大トウヒのタイガ, 巨大トウヒのタイガの丘陵, 雪山, 氷樹
常緑広葉樹林 (閉鎖林)	ジャングル, ジャングルの丘陵, 変異したジャングル
落葉針葉樹林 (閉鎖林)	なし
落葉広葉樹林 (閉鎖林)	森林, 森のある丘陵, シラカバの森, シラカバの森の丘陵, 巨大シラカバの森, 巨大シラカバの丘陵, 暗い森, 暗い森の丘陵
混合 (閉鎖林)	なし
不明 (閉鎖林)	竹林, 竹林の丘, 山麓
常緑針葉樹林 (疎林)	山岳, 森のある山
常緑広葉樹林 (疎林)	ジャングルの端, 変異したジャングルの端
落葉針葉樹林 (疎林)	なし
落葉広葉樹林 (疎林)	花の森
混合 (疎林)	なし
不明 (疎林)	砂利の山, 砂利の山+
灌木地	砂浜, サバンナ, サバンナの高原, 荒廃したサバンナ, 荒廃したサバンナの高原, 侵食された荒野
草本植物	平原, ひまわり平原
草本湿地	沼地, 沼地の丘陵
コケ・地衣類	ツンドラ
なし・まばらな植生	石の海岸, 砂漠, 砂漠の丘陵, 荒野, 荒野の高原, 変異した荒野の高原, 森のある荒野の高原, 変異した森のある荒野の高原
農地	なし
都市	なし
雪・氷	凍った海, 凍った深海, 凍った川, 雪の砂浜
湖・池・川	河川, 砂漠の湖
海	海洋, 深海, 冷たい海, 冷たい深海, ぬるい海, ぬるい深海, 暖かい海, 暖かい深海

3.4 土地利用の割り当て手法

与えられた Minecraft のマップに対して農地と都市の土地を割り当てることを試みる。割り当てるマップの大きさはプレイヤが一度に眺められる範囲を意図し、144×144 ブロックの大きさとした。図 6 は Minecraft の描画距離を 144 ブロックに設定したときのプレイヤの視点である。描画距離はプレイヤから半径何ブロックの範囲まで描画するのかという設定である。土地利用の割り当ては以下の手順で行う。

- (1) 144×144 ブロックの領域を 8×8 ブロックの間隔で等分割する (以下分割した領域をセルと呼ぶ)。このセル 1 つ 1 つに土地利用を割り当てていく。セルの大きさは 2.3.1 の手法で使われている最も小さい家が収まる大きさとした。(図 7)
- (2) セルをランダムに 1 つ選択して、隣接する 8 個のセルを取り出す。この 8 個のセルに含まれるバイオームを取り出し、3.3 の手法を用いて 3.4.2 でサンプリングした土地利用メッシュデータと比較する。
- (3) 比較したデータの中で最もコサイン類似度が高いものを選び、後述の条件を満たすならば、そのデータの中心となるメッシュの土地利用をセルの土地利用として仮定する。
- (4) (2), (3) の操作を全てのセルが評価されるまで繰り返す。
- (5) 仮定した土地利用をもとに、後述の方法でセルの土地利用を割り当てる。

Minecraft のマップと土地利用メッシュデータの類似度を計測するうえで、面積比を計算する範囲などのパラメータは予備実験を行って決定している。

3.4.1 縮尺について

筆者らが過去に行った研究 [7] では、実世界の大きな土地

2 : <https://land.copernicus.eu/global/products/lc> (accessed:2023-01-03)

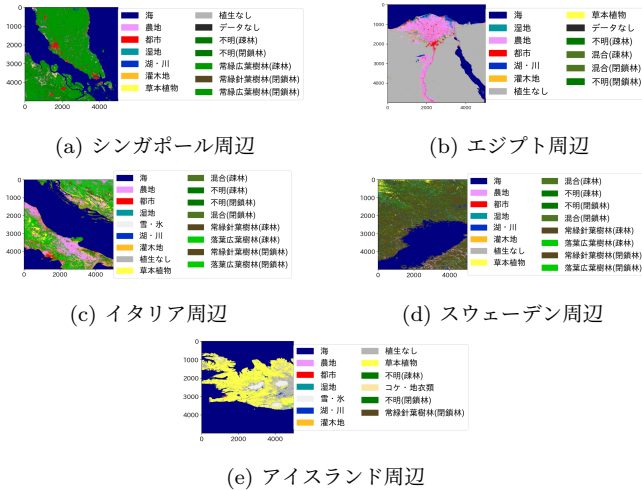


図 8: 抜粋した土地利用メッシュデータ

表 2: 比較する土地利用メッシュデータの件数

土地利用データの範囲	サンプリングするデータの件数	中心が農地		中心が都市	
		件数	割合	件数	割合
シンガポール周辺	約 5°N, 100°E ~ 00°N, 105°E	1152	8.6%	848	7.3%
エジプト周辺	約 32°N, 29°E ~ 約 27°N, 34°E	1727	12.3%	273	1.6%
イタリア周辺	約 45°N, 13°E ~ 40°N, 19°E	1683	12.3%	317	1.9%
スウェーデン周辺	約 68°N, 20°E ~ 63°N, 25°E	1852	12.4%	148	0.8%
アイスランド周辺	約 67°N, 23°W ~ 62°N, 18°W	1430	12.4%	570	4.0%

利用と比較するため 100 m メッシュの [6] を新たに 10 km メッシュに変換したところ、一部が不自然なデータになってしまったため、土地利用メッシュデータの縮尺を変換せずに使用した。

3.4.2 比較する土地利用メッシュデータ

世界の特徴的な気候の地域の土地利用と比較するため、シンガポール周辺 (約 5°N, 100°E ~ 00°N, 105°E)、エジプト周辺 (約 32°N, 29°E ~ 約 27°N, 34°E)、イタリア周辺 (約 45°N, 13°E ~ 40°N, 19°E)、スウェーデン周辺 (約 68°N, 20°E ~ 63°N, 25°E)、アイスランド周辺 (約 67°N, 23°W ~ 62°N, 18°W) の 5 つの範囲の土地利用メッシュデータを抜粋して使用する。(図 8) この 5 つのデータに対して以下の操作を行い、比較するデータを生成する。まず土地利用メッシュデータに含まれる農地または都市であるメッシュ全てに対して、このメッシュを中心とした 11 × 11 の範囲を取り出す。次にその土地利用メッシュデータ全体に含まれる農地、都市の占める割合に合わせて、取り出したデータから中心の土地利用が農地、都市となるものを合計 2000 件ランダムにサンプリングした。(表 2)

3.4.3 土地利用データを採用する条件

筆者らの過去の研究 [7] では土地利用の割り当てるデータを選ぶ際に、マップ上のバイオームと実世界の土地利用メッシュデータを比較して類似度を計測したのち、類似度に閾値を設け、閾値を超えたデータを利用する方法と類似度の高いデータのうち、上位 N 件を利用する方法の 2 通りを実装し比較した。前者はバイオームの分布が一般的なマップではバイオームと土地利用データの類似度の分布が狭くなり、閾値による選別が難しいため、今回は後者の選ぶ土地利用メッシュデータの件数を制限す

る方法を採用する。

この手法では、まず土地利用の割り当てる領域に対して、それぞれ土地利用メッシュデータとの類似度を計測する。その中の類似度が α 以上となるものから、類似度が高いものから N 件のデータを使用し土地利用を割り当てる。ここで類似度を α 以上としているのは類似度が極端に低いデータ使用しないためである。今回の実験では $N = 259, \alpha = 0.9$ とした。 N は土地利用を割り当てるマップを占めるセルの数の約 80% とした。

3.4.4 土地利用を割り当てる方法

今回は仮の土地利用をもとにセルの最終的な土地利用を決定する方法について、マップに割り当てられる農地と都市の割合を調整するため次の 2 の方法を実装して比較した。

a) 一括で決定

仮の土地利用をそのままセルの最終的な土地利用として決定する方法。

b) 2 段階で決定

仮の土地利用をもとに、都市の土地利用を割り当てたのち、農地の土地利用を割り当てる方法。都市の土地利用は以下の手順で決定する。

(1) 都市として仮定したセルのうち、最も類似度が高いものを 1 つ選び、都市として決定する。最も類似度が高いセルが複数存在する場合はランダムに選ぶ。

(2) 残りの都市として仮定したセルのうち、最も類似度が高いものを 1 つ選び、都市として決定する。最も類似度が高いセルが複数存在する場合は、既に都市を割り当てたセル群と距離が最も近いものを 1 つ選ぶ。この距離は「セルの中心の地表面の座標」をセルの座標、「セル群に含まれるセルの重心」をセル群の座標としたときの 2 点間のユークリッド距離とする。

(3) 都市として決定したセルの数が N 個になる、もしくは都市として仮定したセルがなくなるまで (2) の操作を繰り返す。Minecraft 内に出現する村の範囲が 48 × 48 ブロックであり、これがセル 6 × 6 個分の大きさなので、今回は $N = 36$ とした。

次に農地の都市利用は以下の手順で決定する。

(1) 農地として仮定したセルのうち、最も類似度が高いものを 1 つ選び、農地として決定する。最も類似度が高いセルが複数存在する場合は、ランダムに選んだ都市として決定したセルに、距離が最も近いものを農地として決定する。距離はセルの中心の地表面の座標間のユークリッド距離とする。

(2) 都市として決定したセルの数と農地として決定したセルの数の割合が 1 : 4 になる、もしくは農地として仮定したセルがなくなるまで (1) の操作を繰り返す。この割合は比較する土地利用メッシュデータの件数 (表 2) の割合に基づいて決定した。

4 生成されるマップの主観的評価

2 つの手法について、100 個のマップを用いて、生成された土地利用の自然さについて主観的な評価を行った。また既存のマップ生成手法を用いて同様のマップに対して土地利用の推定を行い、その結果について比較を行った。マップは各バイオームで生成される木の種類をもとに分類した次の 4 つのバイオーム

ムのグループごとに 25 個ずつランダムに生成した。

ジャングル系 主にジャングルや竹林といった名がつくバイオームで構成されている。現実世界の熱帯に近い。

砂漠系 主に砂漠や荒野、サバンナといった名がつくバイオームで構成されている。現実世界の乾燥帯に近い。

平原系 主に森林や平原、森の名がつくバイオームで構成されている。現実世界の温帯に近い。

ツンドラ系 主にツンドラやタイガの名がつくバイオームで構成されている。現実世界の冷帯、寒帯に近い。

4.1 比較対象の既存手法

既存手法の「建造物を配置する場所の選定」方法を用いて土地利用の割り当てを行う。3.4の手法と同様に、まず 144×144 ブロックの領域を 8×8 ブロックの間隔で等分割する (以下分割した領域をセルと呼ぶ)。このセル1つ1つに土地利用を割り当てていく。

4.1.1 平坦な地形の場所に建造物を配置する手法 (2.3.1)

既存手法を基にまず以下の手順で都市の土地利用の割り当てを行う。

(1) プレイヤが歩いて移動できる、つまり隣接するブロック同士の高差が1ブロックである地形 (以下平坦な地形と呼ぶ) のセルをランダム1つ選ぶ。

(2) (1) で選んだセルを中心とした 11×11 個のセルのうち、平坦な地形のセルの数が36個以上なら、そのセルに都市の土地利用を割り当てる。

(3) 最初の土地利用の割り当てられるまで (1)、(2) の操作を繰り返す。

(4) 前回の操作で都市を割り当てたセルを中心とした 5×5 個のセルに含まれる平坦な地形のセルをランダムに1つ選び、都市の土地利用を割り当てる。

(5) 都市が割り当てられたセルの数が36個になるまで、(4) の操作を繰り返す。

次に以下の手順で農地の土地利用の割り当てを行う。

(1) 都市が割り当てられたセルからランダムに1つ選ぶ。

(2) まだ土地利用が割り当てられていない平坦なセルのうち、(1) で選んだセルと最も距離が近いセルを選び、農地を割り当てる。距離はセルの中心の地表面の座標間のユークリッド距離とする。

(3) 都市として割り当てたセルの数と農地として割り当てたセルの数の割合が1:4になるまで (1) と (2) の操作を繰り返す。

4.1.2 一様な間隔で建造物を配置する手法 (2.3.3)

既存手法を基にまず以下の手順で都市の土地利用の割り当てを行う。

(1) ランダムにセルを選び、そのセルを中心とした 9×9 個のセルの中に都市を割り当てたものが存在しなければ、都市を割り当てる。

(2) 都市の土地利用を割り当てられるセルがなくなる、もしくは都市を割り当てられたセルの数が36個になるまで (1) の操作を繰り返す。

表 3: 極端な土地利用になっていないか?

減点数	評価項目
-2	都市が割り当てられたセルが存在しない
-1	都市が割り当てられたセルが存在するが、 N_u 個未満しかない
-2	農地が割り当てられたセルが存在しない
-1	農地が割り当てられたセルが存在するが、 N_c 個未満しかない

$N_u = 36, N_c = N_u \times 4$

表 4: 不自然な土地利用になっていないか?

減点数	評価項目
-2	農地が割り当てられたセルが存在するが、水源 (海や川) がない
-1	農地が割り当てられたセルが存在するが、水源が N_w ブロック未満しかない
-1	中心のバイオームが河川であるセルに、土地利用を割り当てている
-1	中心のバイオームが海であるセルに、土地利用を割り当てている

$N_w =$ 農地が割り当てられているセルの数

次に以下の手順で農地の土地利用の割り当てを行う。

(1) 都市が割り当てられたセルからランダムに1つ選ぶ。

(2) まだ土地利用が割り当てられていないセルのうち、(1) で選んだセルと最も距離が近いセルを選び、農地を割り当てる。距離はセルの中心の地表面の座標間のユークリッド距離とする。

(3) 都市として割り当てたセルの数と農地として割り当てたセルの数の割合が1:4になるまで (1) と (2) の操作を繰り返す。

2つの手法のパラメータは公開されている投稿作品を基に決定した。

4.2 評価基準

評価基準は土地利用を割り当てたセルの範囲内に建造物を配置することを考慮して、以下の2つの観点から評価する。評価は減点方式で行い、点数の幅が1~5点になるように設定した。

4.2.1 極端な土地利用になっていないか?

生成したマップの土地利用が農地もしくは都市しかないといった極端な土地利用になっていないか、5点を基準として以下の項目について評価する。

4.2.2 不自然な土地利用になっていないか?

生成したマップが建造物を配置できない場所に土地利用を割り当てている、水源が存在しないマップに農地を割り当てているといった不自然な土地利用になっていないか、5点を基準として以下の項目について評価する。

Minecraftでは農作物を栽培するには半径4ブロック以内に水源が必要であり、 1×1 の大きさの水源で最大で約 9×9 の大きさの農地を作成できる。そこで農地として割り当てられたセル1個につき、 1×1 ブロックの大きさの水源が必要とし、評価の基準とした。

表 5: 4.2.1 に基づくマップの評価の平均点数

手法	極端な土地利用になっていないか?				
	ジャングル系	砂漠系	平原系	ツンドラ系	全体
一括で決定	3.36	3.56	3.72	3.76	3.6
2段階で決定	3.4	2.68	3.36	3.8	3.31
平坦な場所	3.92	4.72	4.52	4.36	4.38
一様な間隔	4	4	4	4	4

太字は各カテゴリでの最高得点

表 6: 4.2.2 に基づくマップの評価の平均点数

手法	不自然な土地利用になっていないか?				
	ジャングル系	砂漠系	平原系	ツンドラ系	全体
一括で決定	4.6	3.84	3.48	4.2	4.03
2段階で決定	4.64	4.88	4.24	4.36	4.53
平坦な場所	4.32	3.92	3.76	4.12	4.03
一様な間隔	3.96	3.92	3.72	4.04	3.91

太字は各カテゴリでの最高得点

4.3 case study

表 5, 6 に全マップとバイオームのグループごとの評価の平均点数を示す. 図 9, 10 に, 一括で決定する, 2段階で決定する手法ごとに, 2つの評価基準の各減点項目に当てはまるマップの数を示す.

表 6 より, 「不自然な土地利用になっていないか?」という観点では 2段階で決定する手法は最も評価が高くなった. 次いで同点で一括で決定する手法, 平坦な場所に配置する手法となった. 表 5 より, 「極端な土地利用になっていないか?」という観点では 2段階で決定する手法は最も評価が低く, 次いで一括で決定する手法の評価が低かった.

既存手法と比べて, 提案手法は都市もしくは農地のどちらかが存在しないような極端な土地利用になりやすく, 有効なマップが限られているものの, 自然な土地利用を推定できると言える.

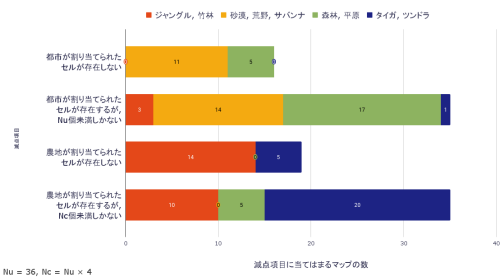
4.3.1 提案手法によって生成されるマップの主観的な評価

図 11, 図 12 に 2段階で決定する手法で土地利用を推定したマップのうち, バイオームのグループごとに最も評価が高かったマップ, 低かったマップを抜粋して示す. またそのマップに対する一括で決定する手法による推定結果も一緒に示す. 赤い枠線内が土地利用を推定した 144 × 144 ブロックの領域である. 図 13 に図 12d のマップにおいて, 海上のセルに農地を割り当てた際に使用された土地利用メッシュデータを示す.

図 11 より, 提案手法は, 概ね陸地に対して土地利用を配置できており, 河川を考慮した細かい土地利用を推定できている. 特に 2段階で決定する手法は, 都市と農地を割り当てられるセルの割合を制限したことによって, 一括で決定する手法よりも自然な土地利用になった. またバイオームの変化に伴って街の構造も変化しているため, 既存手法が抱える異なるバイオームでも地形が同じなら街の構造が同じになる, という不自然さは得意なマップに限り, 解消できていると考えられる.

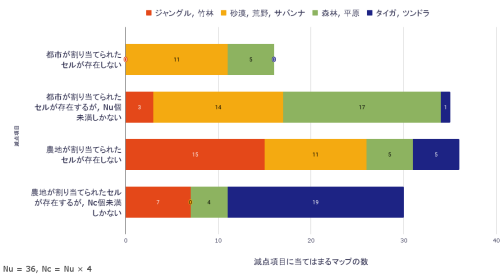
また「砂漠系」や「平原系」のグループのマップは農地の都市利用の割合が多く, 都市の都市利用の割合が非常に少ない.(図

極端な土地利用になっていないか?



(a) 一括で決定する手法

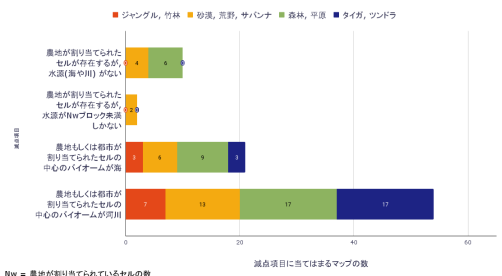
極端な土地利用になっていないか?



(b) 2段階で決定する手法

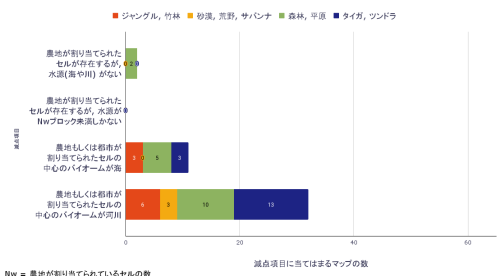
図 9: 4.2.1 の減点項目に当てはまるマップの数

不自然な土地利用になっていないか?



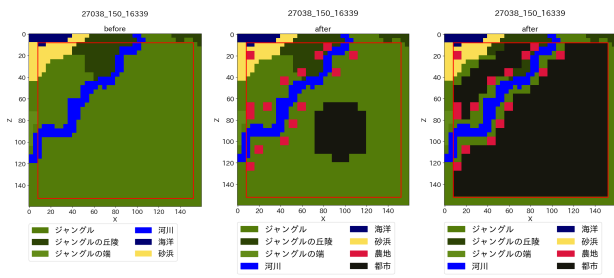
(a) 一括で決定する手法

不自然な土地利用になっていないか?

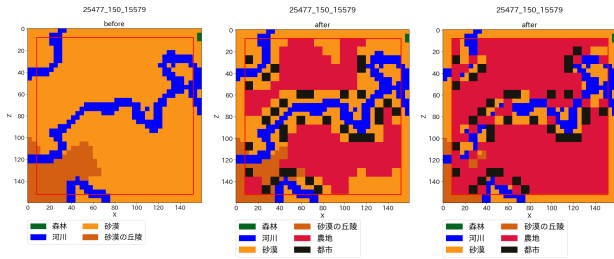


(b) 2段階で決定する手法

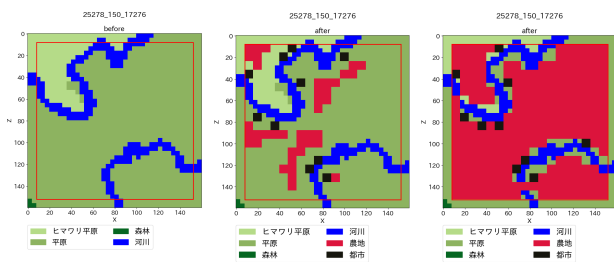
図 10: 4.2.2 の減点項目に当てはまるマップの数



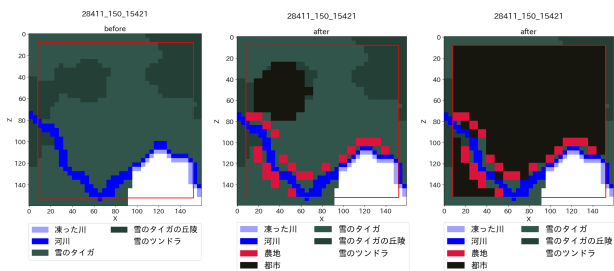
(a) ジャングル系



(b) 砂漠系



(c) 平原系

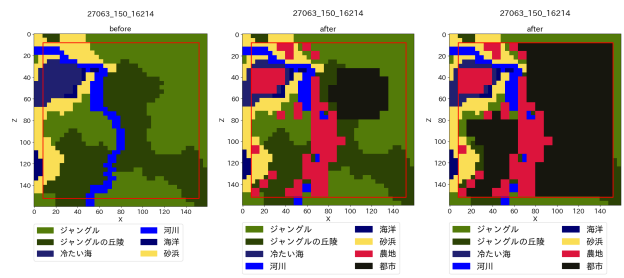


(d) ツンドラ系

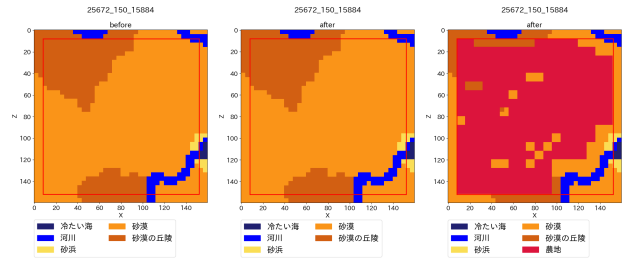
図 11: 2段階で決定する手法のうち最も評価が高いマップ (左から元のマップ, 2段階で決定する手法, 一括で決定する手法の結果)

11b, 11c) 一方で「ジャングル系」や「ツンドラ系」のグループは都市の割合が多く、農地の割合が非常に少ない。(図 11a, 11d) これは比較した土地利用メッシュデータのうち、中心が都市、農地であるものの割合を反映していると考えられる。例えば、図 11 の「ジャングル系」グループのマップの土地利用の推定に使用されたと考えられるシンガポール周辺 (図 8a) からは中心が都市であるものを 848 件、農地であるものを 1152 件サンプリングしている。一方で「砂漠系」のマップの土地利用の推定に使用されたと考えられるエジプト周辺 (図 8b) からは中心が都市であるものを 273 件、農地であるものを 1727 件サンプリングしている。

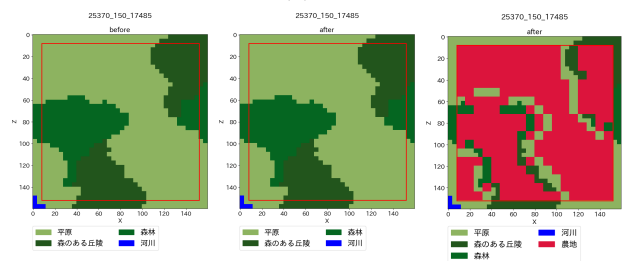
図 9a, 9b より、都市の土地利用を割り当てられたセルがない、



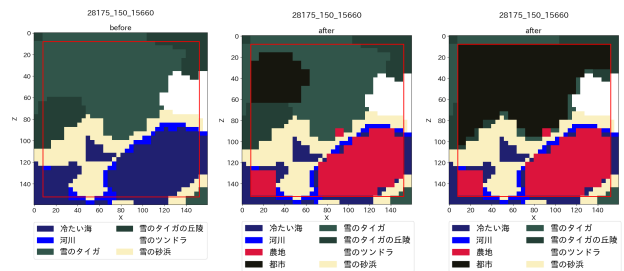
(a) ジャングル系



(b) 砂漠系



(c) 平原系



(d) ツンドラ系

図 12: 2段階で決定する手法のうち最も評価が低いマップ (左から元のマップ, 2段階で決定する手法, 一括で決定する手法の結果)

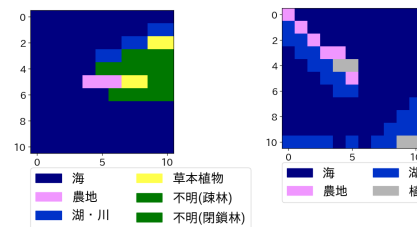


図 13: 図 12d で海上に農地を割り当てた際に使用された土地利用メッシュデータ

存在するが基準値より少ないマップが「砂漠系」や「平原系」のグループに多いことがわかる。これらのグループのマップのうち、図 12b, 12c のように河川や海などの水源の存在しない

マップは10個存在し、そのうち8個は農地の土地利用しか割り当てられていなかった。一方で農地の土地利用を割り当てられたセルがない、存在するが基準値より少ないマップは「ジャングル系」や「ツンドラ系」のグループに多いことがわかる。これらのグループのマップのうち、水源の存在しないマップは8個存在し、すべて都市の土地利用しか割り当てられていなかった。さらに図11より、評価の高いマップはいずれも水源に沿って農地もしくは都市が割り当てられ、その周りを囲うようにもう片方の土地利用が割り当てられる傾向がみられることを踏まえると、バイオームの分布の偏りに関係なく、水源が存在しないマップは極端な土地利用になりやすいと考えられる。

既存手法はいずれも土地利用を割り当てる候補となるセルが十分に存在すれば、都市と農地の両方が割り当てられるが、提案手法はバイオームの分布によっては、都市か農地のどちらかが存在しない極端なマップが生成されてしまう。特に、2段階で決定する手法ではセルに都市の土地利用を割り当てたのち、そのセルの数を基に農地の都市利用を割り当てる。そのため都市の土地利用の候補となるセルが存在しない場合、土地利用が一切割り当てられないマップが生成されてしまう。(図12b, 12c) 建造物を配置する場所の選定方法としては一括で決定する手法より改善されたと言えるが、推定可能なマップとそうでないマップがはっきりと分かれる結果となった。

[7]では縮尺を変換する際に生成された不自然な土地利用メッシュデータを採用したために海上に土地利用が割り当てられてしまったが、今回は図13のように海に突き出した陸地の先端部に農地が存在するような地形のデータを採用したために海上に農地が割り当てられてしまった。このように加工していないデータでも海上に土地利用が割り当てられてしまうことから、周囲の土地利用の面積比という情報だけではセルが陸上か海上を判別するのは難しいと考えられる。

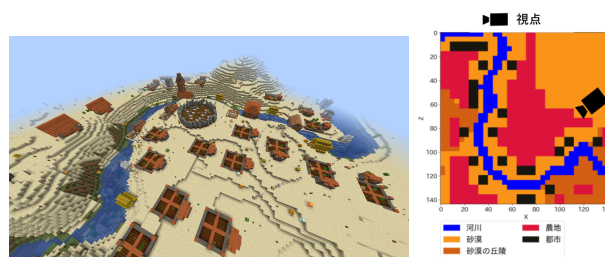
4.4 提案手法を用いて生成した3Dマップ

2段階で決定する手法を用いて、実際に建造物を配置した3Dマップを生成した。図14に生成した3Dマップを示す。左図が右図の「視点」から見た3Dマップである。

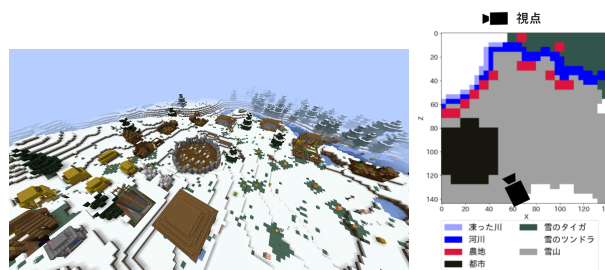
建造物の配置は2.3.1の手法を用いた。都市が割り当てられた領域には家やその他の施設を配置し、農地が割り当てられた領域には畑を配置した。また全ての建造物に対して、建造物の中心が土地利用が割り当てられた領域の範囲内に収まるように設定した。

生成した3Dマップも評価実験同様に、周囲の河川等を考慮した自然な土地利用ができていると考えられる。しかしバイオーム上は陸地でも、実際は河川が侵食している地形があり、結果的に河川上に建造物を配置してしまっている箇所も見られた。

バイオームごとに街の構造や、畑(農地)と家やその他の施設(都市)の割合が変化している様子が分かりやすく、プレイヤーに既視感を感じさせにくいと考えられる。



(a) 砂漠系



(b) ツンドラ系

図14: 2段階で決定する手法を用いて生成した3Dマップ

5 おわりに

本研究ではプレイヤーが自然に感じる土地利用を目指し、マップ上のバイオームと実世界の土地利用データを比較して類似度を計測し、類似度の高いデータのうち上位N件を利用して都市と農地の土地利用を一度で割り当てる方法と、都市の土地利用を割り当てたのち、農地の都市利用を割り当てる方法の2通りで土地利用の推定を試みた。

比較対象として、既存手法を基にした平坦な地形の場所に配置する手法と一様な間隔で配置する手法を作成し、2つの提案手法とともに100個のテストマップに対して土地利用の推定を行い、「不自然な土地利用になっていないか?」と「極端な土地利用になっていないか?」の2つの観点から減点方式で評価した。

前者は2段階で決定する手法が最も評価が高く、一括で決定する手法と平坦な場所に配置する手法が同率で2番目に評価が高かった。既存手法は河川の流れを無視している、バイオームが変化しても似た土地利用のマップが多くみられたが、どちらの提案手法も河川に沿って土地利用が割り当てられるといった自然な土地利用になった。しかしどちらも海上に土地利用を割り当ててしまうことがあったため、海沿いのマップでは不自然な土地利用になったものが目立った。一括で決定する手法はマップ全体に土地利用を割り当ててしまうことがあったが、2段階で決定する手法は土地利用が割り当てられる範囲を制限したため、過剰に土地利用を割り当てることがなくなり、より評価が高くなった。

後者は2段階で決定する手法が最も評価が低く、一括で決定する手法が次いで低かった。2つの提案手法では、実世界の土地利用データとの類似度の計測結果によっては片方の土地利用しか割り当てられない場合があった。その結果バイオームに關

係なく土地利用が割り当てられる既存手法と比べて、極端な土地利用のマップが多くなり評価が低くなった。2段階で決定する手法では先に割り当てた都市の土地利用を基準に農地の都市利用を割り当てる。そのため都市の土地利用が割り当てられなかった場合、一切土地利用が割り当てられないマップが生成されてしまうため、より低い評価になった。

特に2段階で決定する手法は、片方の土地利用しか存在しないといった極端な土地利用になりやすく、有効なマップが限られているものの、既存手法よりも自然な土地利用の推定ができると言える。

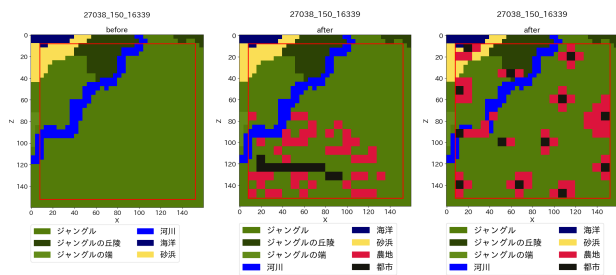
2つの提案手法では海上に土地利用を割り当ててしまったため、土地利用メッシュデータ以外にほかの実世界地理情報を加えることで海沿いのマップでも自然な土地利用の推定ができるように改良を試みたい。

文 献

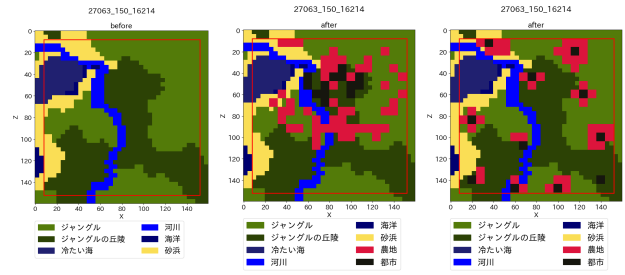
- [1] 味噌汁市：味噌汁市，入手先 <<https://misosiru.amebaownd.com/>> (参照 2023-01-03) .
- [2] 佐山制作委員会：ホーム — sayama-city, 入手先 <<https://www.sayama.city/>> (参照 2023-01-03) .
- [3] Sindre Helleborg, Tellef Møllerup Åmdal and Simon McCallum.: NTNU Open: RealMaps: Using real maps in Minecraft, NTNU Open, available from <<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/294600/>> (accessed 2023-01-03).
- [4] Christoph Salge, Michael Cerny Green, Rodrigo Canaan, and Julian Togelius.: Generative design in minecraft (GDMC): settlement generation competition, In Proceedings of the 13th International Conference on the Foundations of Digital Games, ACM, p.49(2018).
- [5] The GDMC Competition.: Settlement Generation Challenge 2021 Entry Descriptions, the Generative Design in Minecraft Competition Wiki, available from <<https://gendesignmc.wikidot.com/wiki:2021-settlement-generation-competition#toc15/>> (accessed 2023-01-03).
- [6] Marcel Buchhorn, Bruno Smets, Luc Bertels, Bert De Roo, Myroslava Lesiv, Nandin-Erdene Tsendbazar, Martin Herold and Steffen Fritz.: Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe (V3.0.1), DOI:10.5281/zenodo.3939050(2020).
- [7] 栗原 司, 横山 大作：実世界地理情報を利用した Minecraft でのマップ生成の試み, 情報処理学会プログラミング・シンポジウム予稿集, Vol.63, pp.23-31 (2022) .

付 録

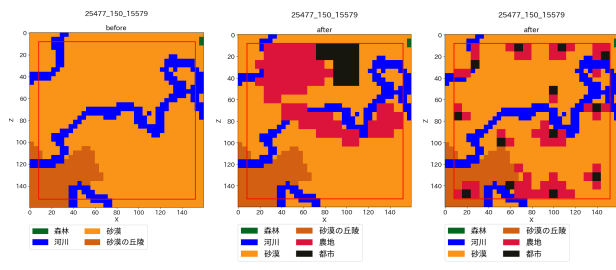
A 比較対象の既存手法によって生成されるマップ



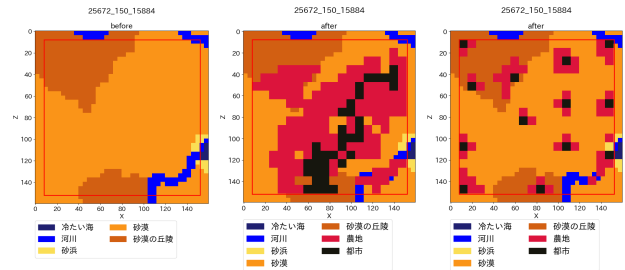
(a) ジャングル系



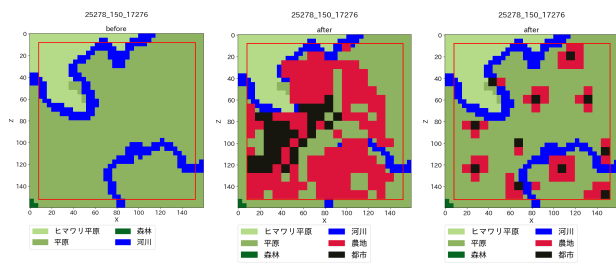
(a) ジャングル系



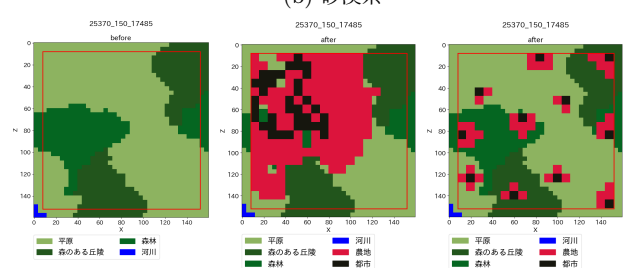
(b) 砂漠系



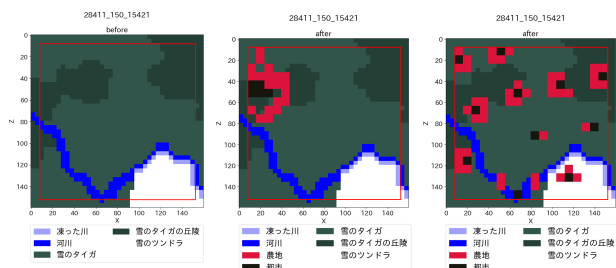
(b) 砂漠系



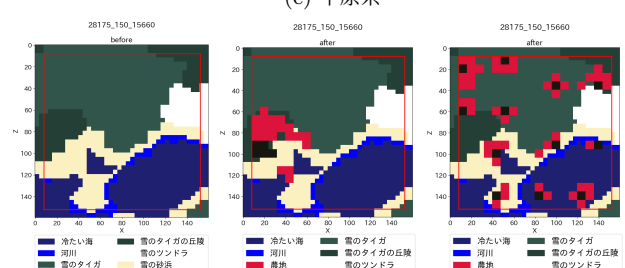
(c) 平原系



(c) 平原系



(d) ツンドラ系



(d) ツンドラ系

図 A.1: 図 11 のマップに対する既存手法の推定結果 (左から元のマップ, 平坦な場所に配置する手法, 一様な間隔で配置する手法)

図 A.2: 図 12 のマップに対する既存手法の推定結果 (左から元のマップ, 平坦な場所に配置する手法, 一様な間隔で配置する手法)