

# 地理情報システムを統合した エージェントベースの 人口動態シミュレータの開発と オープンソース化による実験支援

春日 勇人 ( 情報処理学会会員 )  
WEST Stephen ( 岡山大学 )

## 1. 概要

歴史的な出来事を理解する上で人口動態は重要であるが、先史時代の人口復元は困難である。人口動態に関する仮説の検証が可能な Agent-based simulation (ABS) ソフトウェアを開発し OSS として一般公開する。ABS に GIS の機能を搭載し操作性と可視性を向上させ、値の変更のみで誰でも実験が行えるソフトウェアを目指す。先行研究の ABS より実行可能なエージェント数や実行可能領域を増加させ、要素数の大きい構造体のメモリサイズを小さくしキャッシュミスの少ないデータ構造で設計することで実行速度を向上させた。実験として弥生時代の人口動態に適用した結果、渡来人の人口規模の推定に有用であることが実証された。

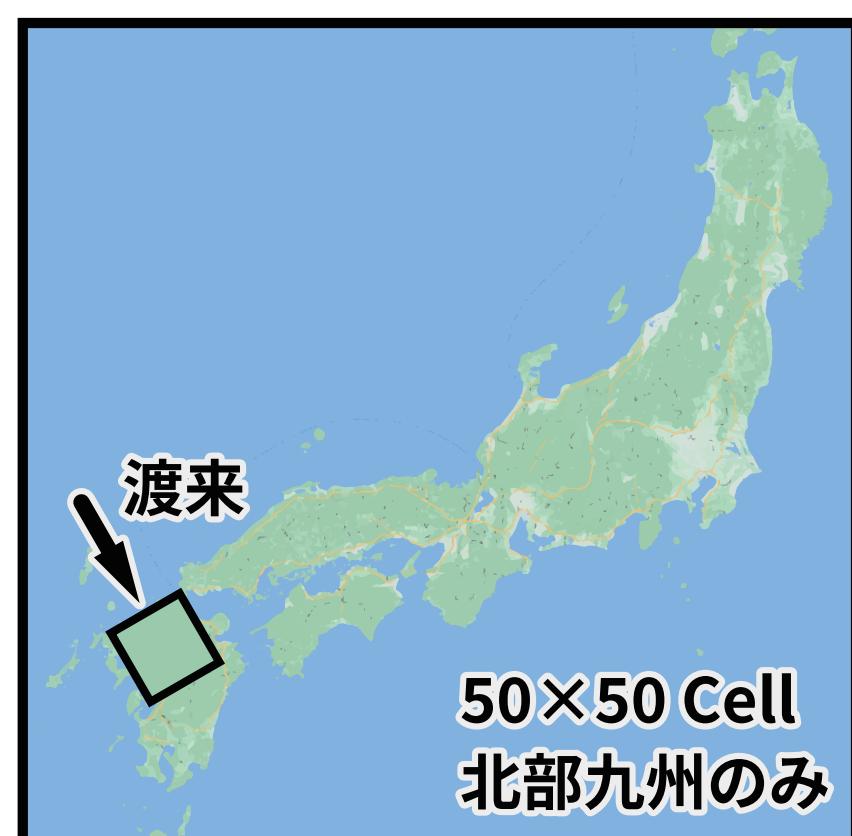
## 2. ソフトウェアの特徴

- 3大機能「暦（時間）」、「GIS（空間）」、「ABS（人間）」。
- 暦（時間）：**1日単位で指定可能。和暦、ユリウス暦、グレゴリオ暦、ヒジュラ暦、一部中国暦に対応。各時代の暦を見比べることが可能である。
- GIS（空間）：**空間情報を可視化する機能を持つ。地図、地物（静止物）、人物（運動物）に分けられ、画像形式及び CSV・TSV 形式の XYZ タイルに対応。地物は緯度と経度が書かれた CSV・TSV 形式に対応。
- ABS（人間）：**本ソフトウェアは時間情報を持った地物を表示するだけでなく、データを基に地図上で人口動態をシミュレーションすることも可能である。

- ① 先行研究の人口動態 ABS
- ② 本論文の ABS の実行画面
- ③ XYZ タイルと本 GIS の構造
- ④ 本論文の ABS の仕組み

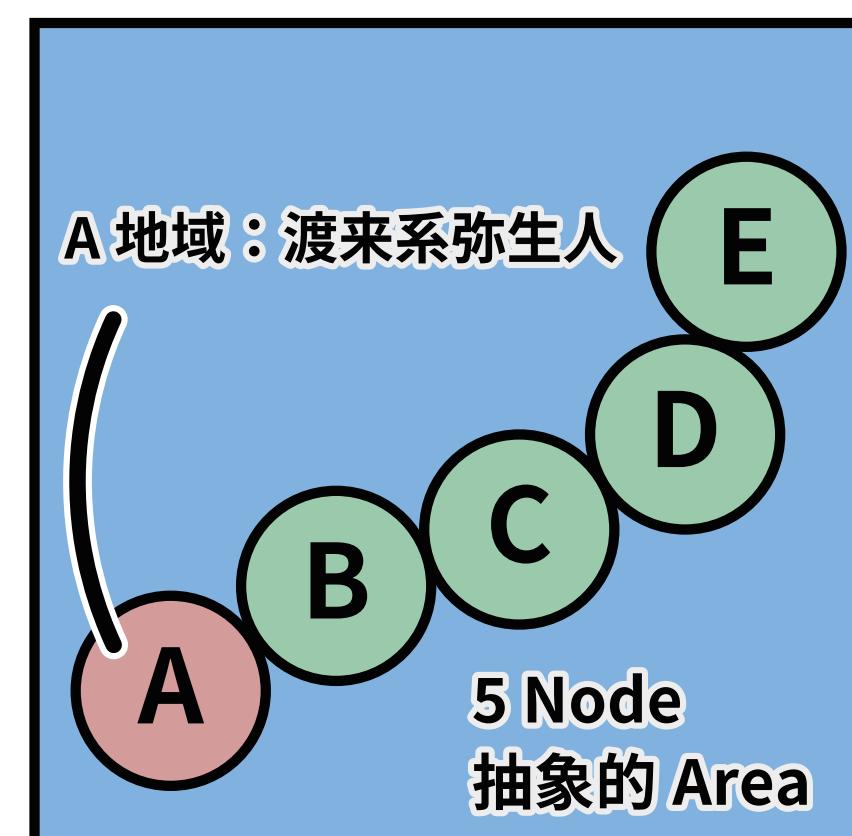
## 坂平・寺野 2014

坂平 2018



## 松本・笹倉 2016

West 2022・2024 の前身



## West 2022

West 2024



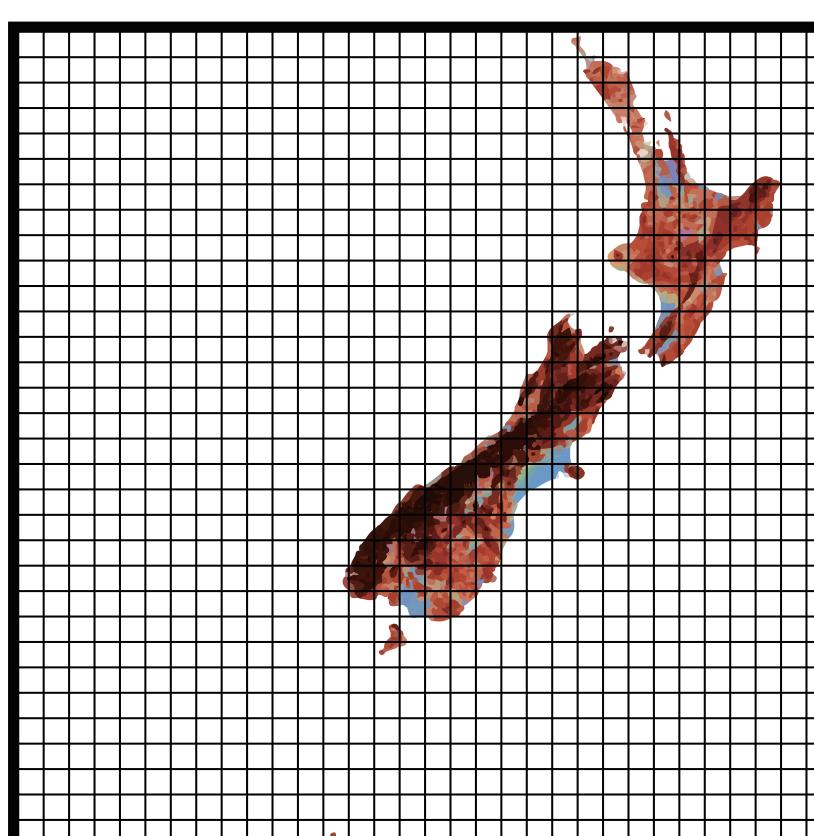
## 春日 2024

前身の春日 2020 は 900×720 Cell



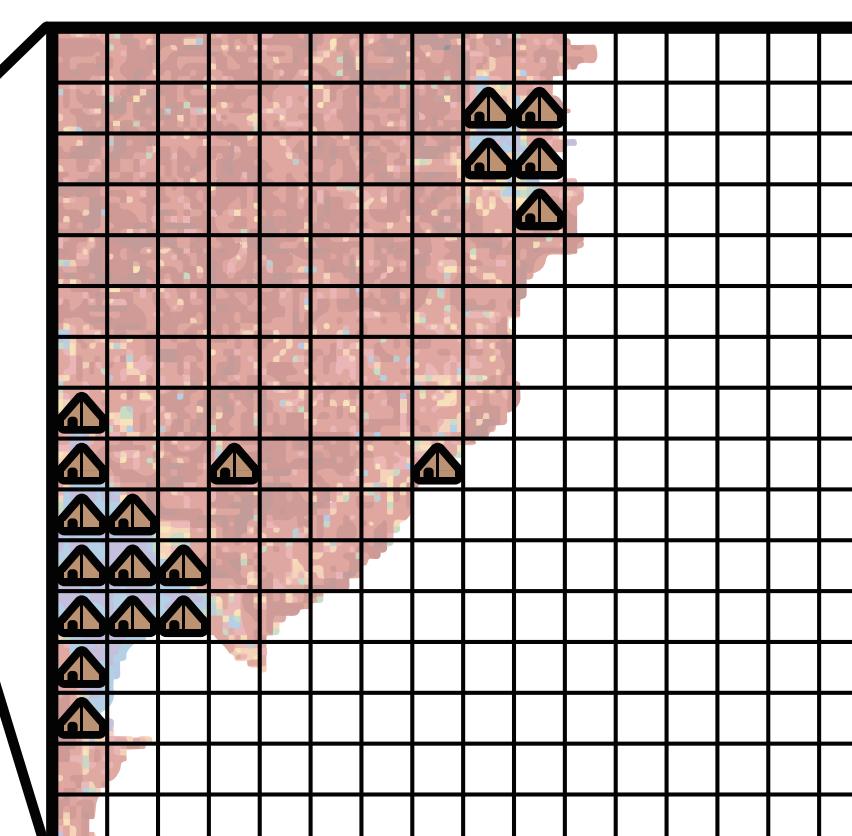
## Simulation 範囲

`std::unordered_map<u16, SettlementGrid>`



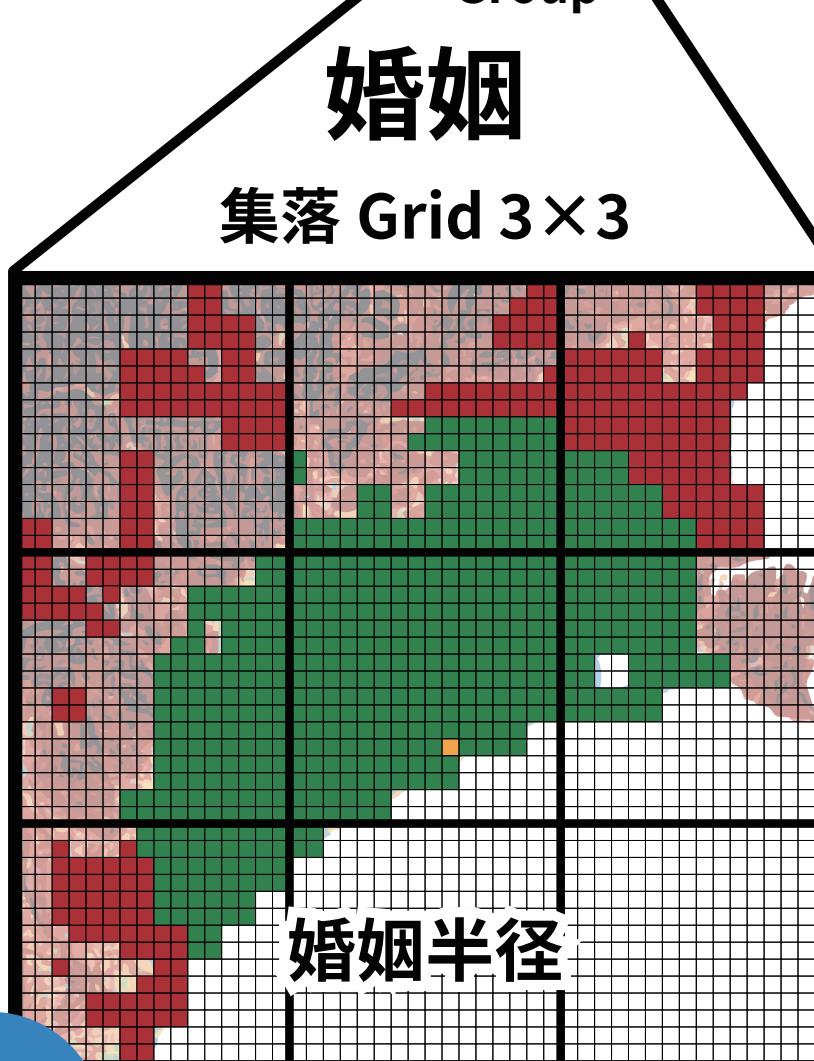
## 集落 Grid

`std::vector<Settlement>`



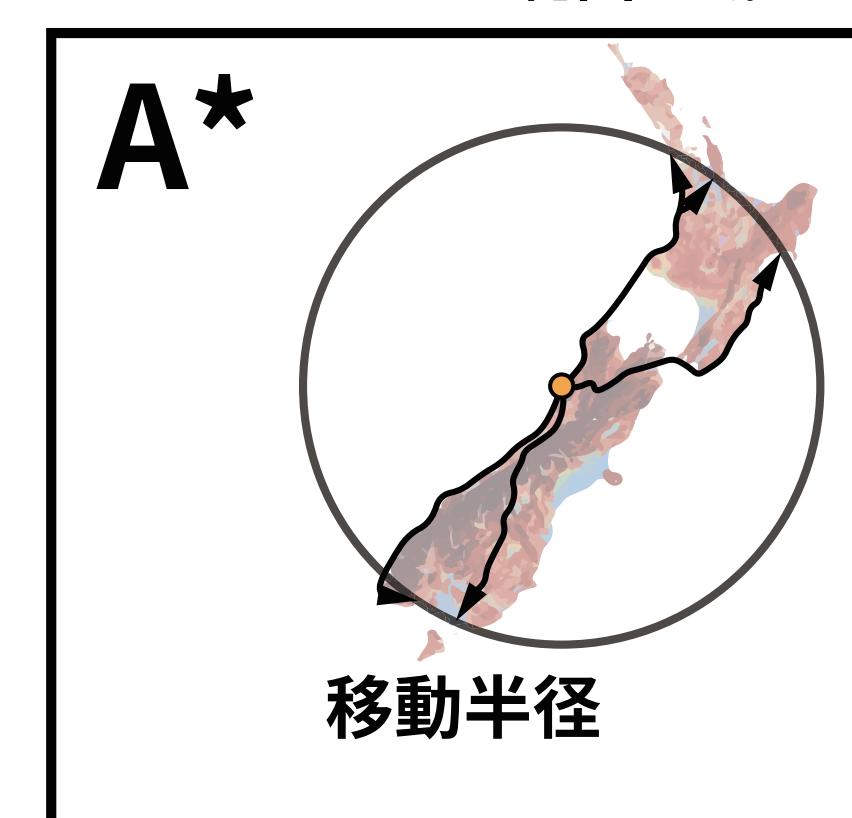
## 婚姻

集落 Grid 3×3

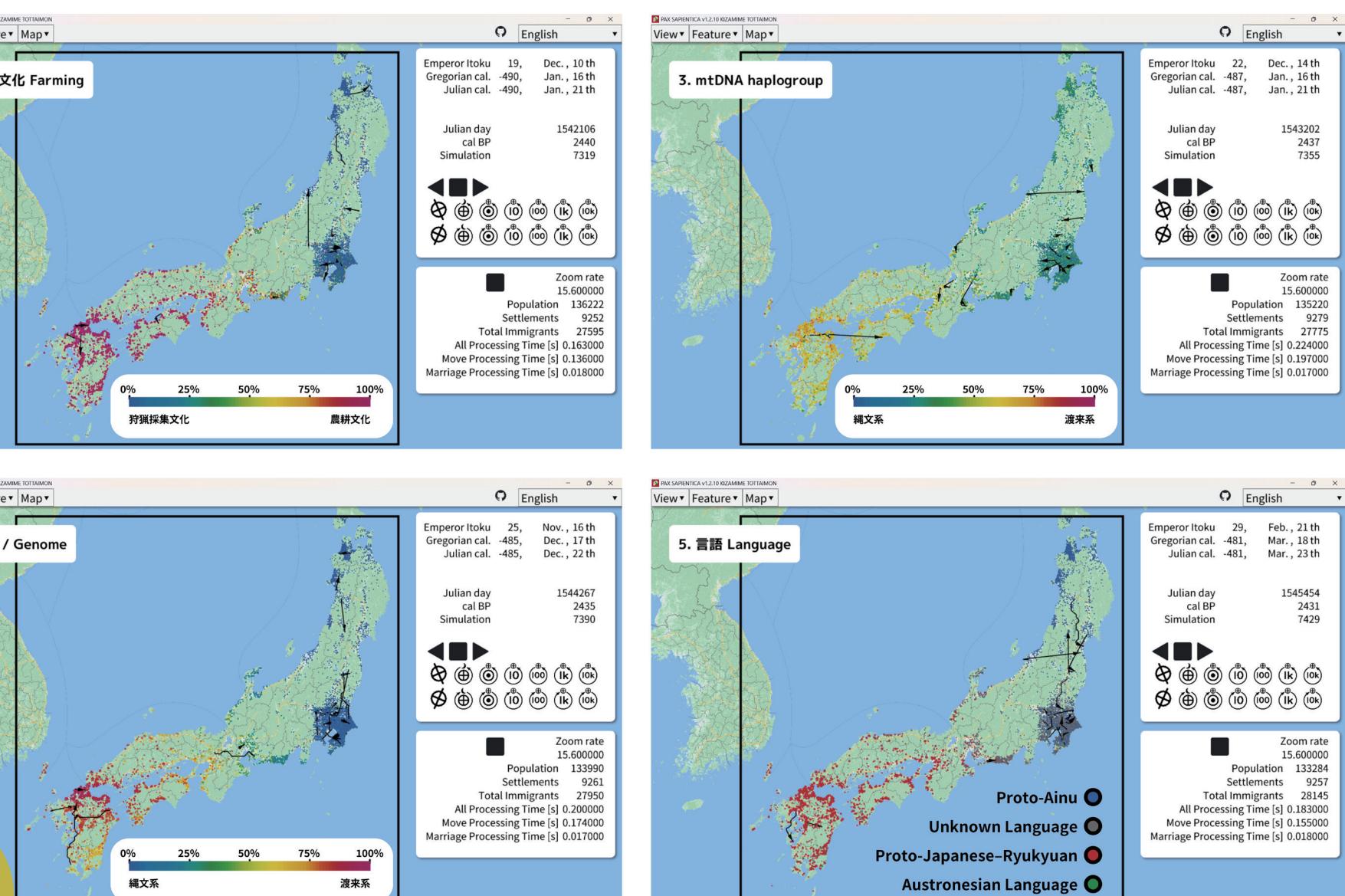


## 集団移動

Simulation 範囲全域



4

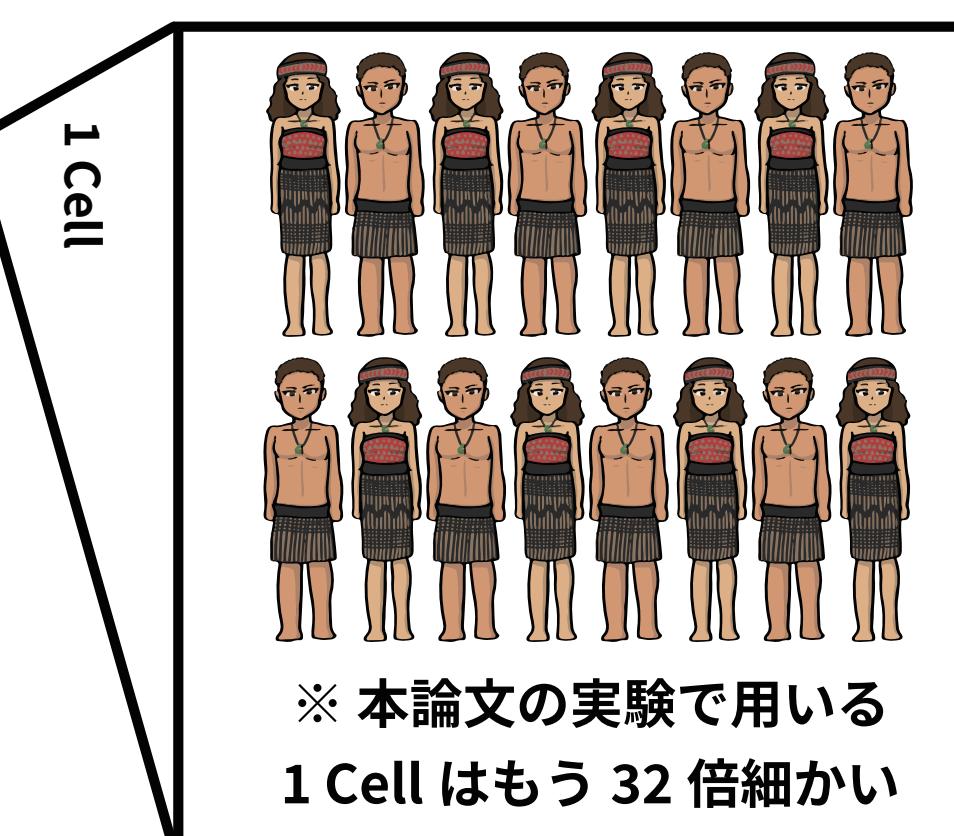


2

3

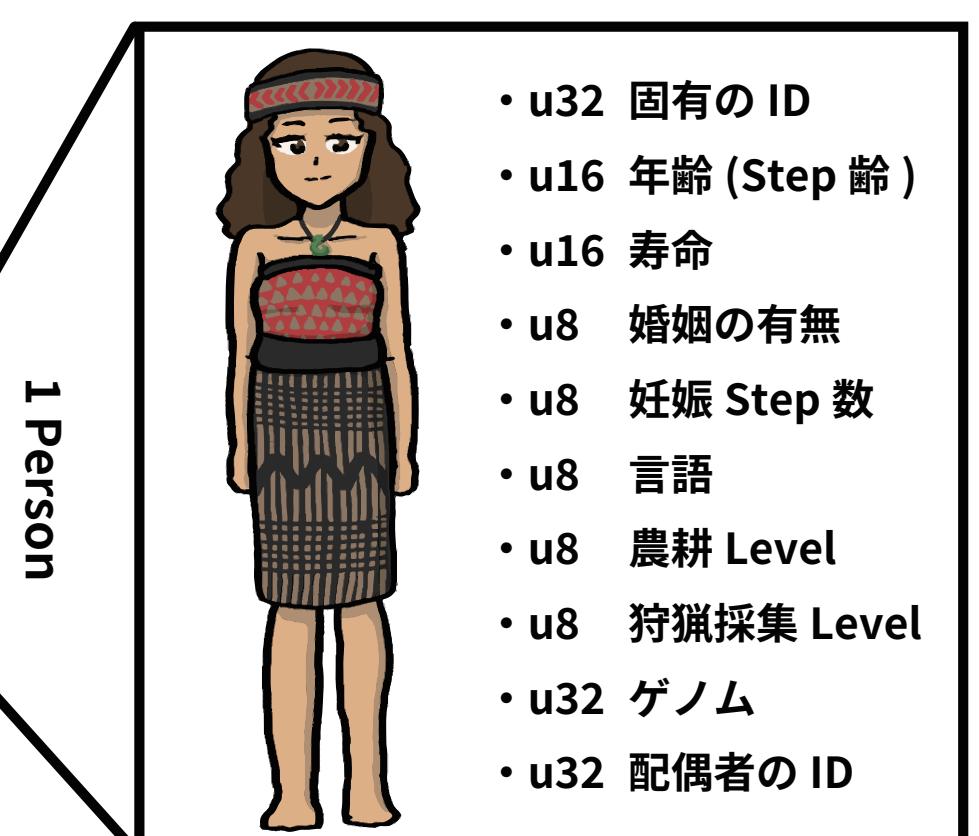
## 集落・集団

`std::vector<Agent>`



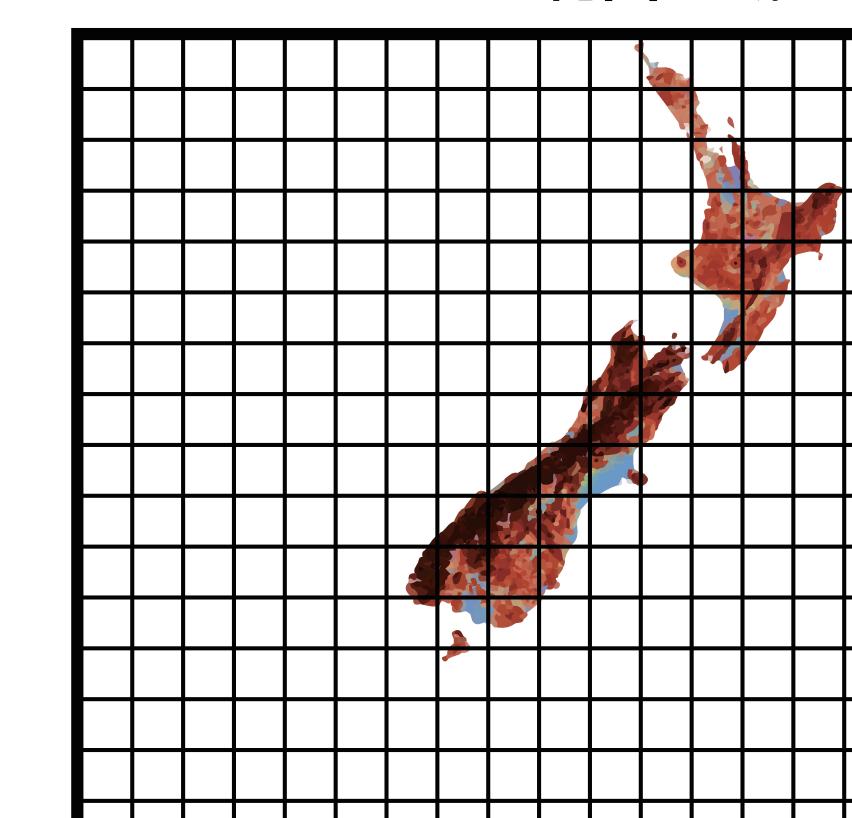
## 人間 Agent

`Agent`



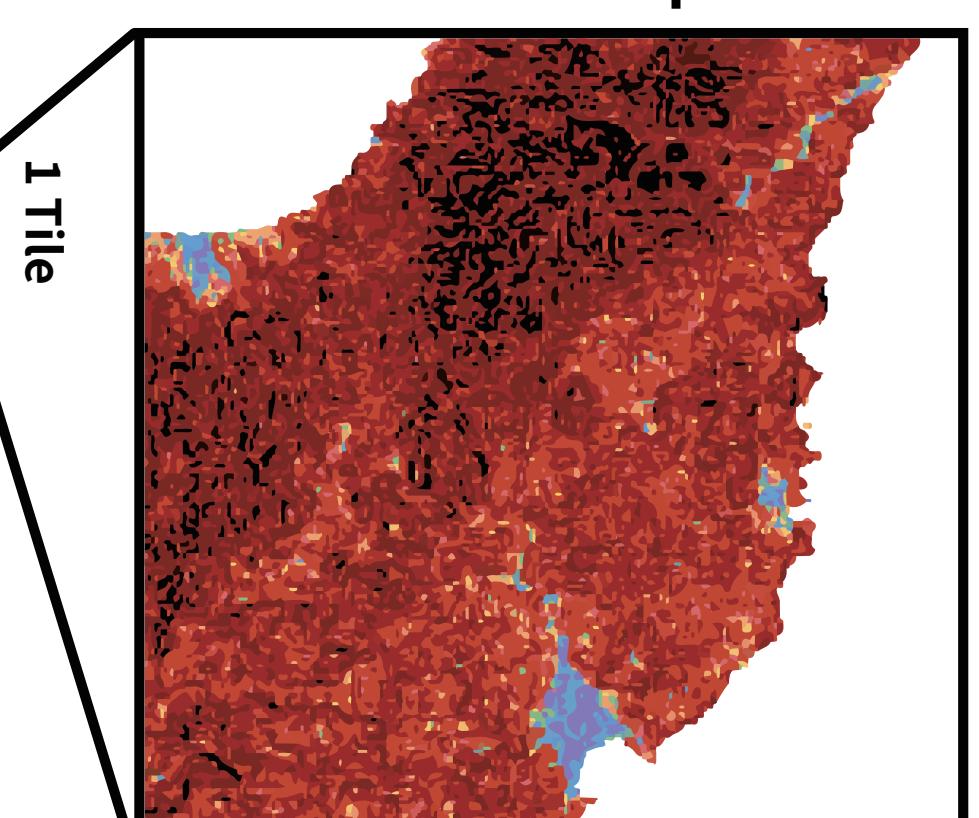
## XYZ Tiles

Simulation 範囲全域



## Zoom Level 8

256 × 256px



## 2. シミュレーション変数の定義

空間は本州島、四国島、九州島の全領域を扱う。1セルは約 125m。使用地図データは傾斜、陸地、令制国。地区は令制国で区分。傾斜 14 度以下に人間と集団が生成。存在コストは農耕民が 1/80、狩猟採集民が 1/25 とし、1 を超えると半分が同じ集落 Grid 内の別セルに移動する。開始は前 1101 年。初期人口は Koyama (1978) を使用。渡来人の流入地域は筑前。月間渡来人数を実験変数とする。

## 3. 考察

- 渡來開始年：**負の相関は人口、渡來系比率であり、最も妥当な値はなく渡來開始年の想定に月間渡来人数を合わせる必要がある。
- 月間渡來人数：**正の相関は人口、渡來系比率、農耕拡散「5 ~ 10 人」が最も妥当。
- 婚姻居住形態：**正の相関は人口で、負の相関は渡來系比率。「選択的居住婚」が最も妥当。
- 婚姻可能距離：**正の相関は人口、負の相関は渡來系比率。
- 月間集団移動率：**正の相関は農耕拡散で、負の相関は渡來系比率。「0.21%」が最も妥当。
- 集団移動距離：**正の相関は農耕拡散で、負の相関は渡來系比率。「<200km」は最も妥当。
- 農耕文化継承率：**正の相関は人口で、負の相関は農耕拡散である。「50%」が最も妥当。

## 4. 結論

PAX SAPIENTICA は、先行研究よりも具体的な人口動態シミュレーションを可能にした。本実験では、弥生時代前半期における渡来人の人口規模が明らかになったが、他の人口動態に関する仮説の検証も可能である。

