

ターン制ストラテジーゲームのための、遺伝的アルゴリズムによる対等なマップ自動生成

吉川 実¹ 竹内 聖悟²

概要: TUBSTAP は、一つのターンで複数の駒を動かすことができる、二人零和有限確定完全情報ゲームである。TUBSTAP では、マップを自由に作成できるが、その作成には複数の要素が複雑に組み合わせられ、先手と後手の対等性が保証されたマップの作成が困難である。本研究では、対等性を保証したマップを自動生成するために、遺伝的アルゴリズムを利用した。対等性を確認するために MilitaryStaffSystem を用い、その対戦結果を基に適応度を評価した。実験の結果、対等性を保証したマップの生成には失敗した。また、航空機ユニットを制限した場合、航空機ユニットを制限しないものより比較すると、適応度がやや高くなる結果が得られた。

Automated Equitable Map Generation for Turn-Based Strategy Games via Genetic Algorithms

MINORU YOSHIKAWA¹ SHOGO TAKEUCHI²

Abstract: TUBSTAP is a two-player zero-sum finite deterministic perfect-information game in which multiple pieces can be moved in a single turn. In TUBSTAP, maps can be freely created, but the creation process involves multiple complexly intertwined elements, making it difficult to design maps that guarantee equality between the first and second players. In this study, we utilized a genetic algorithm to automatically generate such challenging maps. To verify equality, we used the Military Staff System and evaluated fitness based on the results of matches. As a result of the experiments, the fitness stagnated at a low level. On the other hand, there were cases where a rapid increase in fitness was observed, but it was not carried over to the next generation. Additionally, when the use of aircraft units was restricted, slightly higher fitness values were obtained.

1. はじめに

ターン制ストラテジーゲームでは自由にカスタマイズ可能なマップ上でプレイヤーは複雑な戦略を練り上げることが求められる。これらのマップは単なるプレイエリアに留まらず、ゲームプレイの質や戦略性に大きな影響を与える重要な要素である。しかし自由にカスタマイズ可能なマップの作成は遊びごたえ、戦略、対等性、自然さなど考慮すべき点が非常に多い。プレイヤーはマップの地形、資源の配置、陣地の位置など、さまざまな要因を考慮して最適な戦略を策定する。そのため、マップの設計には遊びごたえ、戦

略、対等性、自然さなど、複数の観点からのバランスが求められる。

多彩な戦略を生み出すマップの作成は、多くのゲームデザイナーにとって困難な課題である。プレイヤーにとって魅力的かつ挑戦的なマップを作成するためには、高度なデザインスキルとゲームメカニクスに対する深い理解が必要とされる。対等性の欠如は、ゲームの公平性を損ね、プレイヤー間の競争を不均衡にする可能性がある。例えば、一方の陣営に過度に有利な地形が存在すると、その陣営は有利なスタートを切ることができ、ゲームの結果に大きな影響を与える可能性がある。

現在のところ、ターン制ストラテジーゲームにおけるマップ生成は異なる AI による対戦結果を用いた戦略の深さを

¹ 高知工科大学大学院 工学研究

² 高知工科大学 情報学群

追求した研究が見られる [1] が対等性を意識した高度な自動化は成功していない。自動生成されたマップはしばしばバランスが取れておらず、プレイヤーの満足度を低下させることがある。これにより、ゲームの公平性や対等性を確保した自動生成は大きな課題となっている。

この問題に対処するために、本研究ではターン制ストラテジーゲームの対等なマップ生成を自動化するため、勝率に着目し適応度を計算する遺伝的アルゴリズムを構築した。

2. TUBSTAP

ターン制戦略ゲーム 学術用基盤プロジェクト (TUBSTAP)[2] は北陸先端科学技術大学院大学 (JAIST) 池田研究室がターン制戦略ゲームの研究のため作成したゲームである。各プレイヤーは以下の勝利条件のいずれかを満たすことを目指す。

- 相手ユニットの全滅
- マップによって定義された指定ターン以上経過時に HP 閾値を上回る

ユニット数や座標, HP, 引き分け条件などはマップに依存する。ユニットによって攻撃することができない, または与えるダメージが異なる。

ダメージ計算式は以下の通りとなる。

$$\text{ダメージ} = \frac{\text{攻撃力} \times \text{攻撃ユニット HP} + 70}{100 + (\text{地形効果} \times \text{防御ユニット HP})}$$

ダメージ計算式からわかるようにユニット HP によって相手に与えるダメージが変動する。

ダメージ計算順は攻撃を仕掛けられた側が先にダメージを受け, その後相手に対して攻撃が可能なユニットであれば反撃を行う。またこのゲームは将棋やチェスと異なり 1 ターンの間自身の手持ちの駒すべてを動かすことが可能である。そのため 1 ターンあたりに動かせる合法手の数は, 所属するユニット数の階乗である。更に HP によって与えるダメージが変化するため攻撃順が重要となる。

特筆すべきユニットとして戦闘機, 攻撃機が挙げられる。戦闘機, 攻撃機 (以後まとめて航空機) は戦車や歩兵と比較して広い移動範囲と侵入可能な地形が多い, そして航空機を攻撃可能なユニットが制限されていることが特徴である。広い移動範囲は様々な戦闘に介入可能とし, なおかつ容易に地上ユニットから退避することが可能となる。侵入可能な地形が多い事により地上ユニットには侵入できない位置に逃げる事が可能である。また航空機を攻撃可能なユニットは戦闘機と対空戦車のみである。攻撃機は地上ユニットすべてを攻撃することができる, その一方戦闘機を攻撃できない。そのため地上ユニットには基本的には存在しない, 双方が干渉できない, 一方的な攻撃が可能などの組み合わせが発生する。

3. 関連研究

本研究との関連として, TUBSTAP における遺伝的アルゴリズムを用いたマップ自動生成について, そして遺伝的アルゴリズムのステージ生成について記述する。

3.1 TUBSTAP における自動生成

田口らの研究では [1], TUBSTAP におけるマップの自動生成に焦点を当てたものである。この研究の主な目的は, 遊びごたえのあるマップを作成することにあり, そのために強さの異なる AI 同士を対戦させる手法を採用した。研究チームは, より戦略的に深く考えることが可能な強い AI が勝利し, それに対して戦略的に劣る弱い AI が敗北するマップを最適なものとして選定した。彼らは, このようなマップがプレイヤーにとって遊びごたえがあると考えた。このプロジェクトでは, 被験者を募集し, 10 世代にわたる試行を経て, 遊びごたえのあるマップの作成に成功した。しかし, このプロセスで生み出されたマップは, 人間の目には不自然な地形と映るものが多く, この点が今後の研究課題として挙げられている。この結果から, AI を用いたマップ生成技術が持つ可能性と同時に, その適用にあたっての課題が明らかになった。

3.2 遺伝的アルゴリズムと人間らしい AI プレイヤを用いた 2D シューティングゲームのステージ生成

池田らの研究 [3] では, 2D シューティングゲーム (STG) のステージを自動生成を試みた。この研究では, 単に難易度を調整するだけではなく, ステージの面白さにも注目し, 実際にプレイヤーにプレイしてもらい, その面白さを評価してもらう方法を採用した。研究チームは, 面白いと感じられるステージに必要な要素を考察し, それに適した適応度関数を開発した。また特徴的な技術として, 出現する敵や弾のパターンを単独で扱うのではなく, 群としての塊で管理することにより, STG 特有のゲーム性を保持しつつ新しいマップを生成するアプローチを取っている。

この研究の結果, 一定の難易度を保ちつつも, STG の魅力を損なわないマップの作成に成功した。これは, 適切な適応度関数を設計することにより, ゲームマップの自動生成が可能であることを示している。

4. 提案内容

本研究ではターン制ストラテジーゲームのマップ生成において, 引き分けが起りにくく, なおかつ両陣営の勝率が 50% に近くなるように, AI 同士の対戦結果を用いて最適化する遺伝的アルゴリズム (以後 GA) を利用した自動生成を提案する。

先攻, 後攻双方の AI を同じにして対戦を行う。

対戦結果から以下の計算式に基づいて適応度を計算する。

$$\text{適応度} = 1 - (|\text{先攻勝率} - \text{後攻勝率}| + \text{引き分け率})$$

この適応度では以下のような MAP を高く評価する。

- 引き分け率が低い MAP
- 先攻勝率と後攻勝率の差が小さい MAP

この計算式を用いることで、引き分けが起りにくく、なおかつ両陣営の勝率が 50% に近いマップを高く評価する。最大値は 1, 最小 0 である。

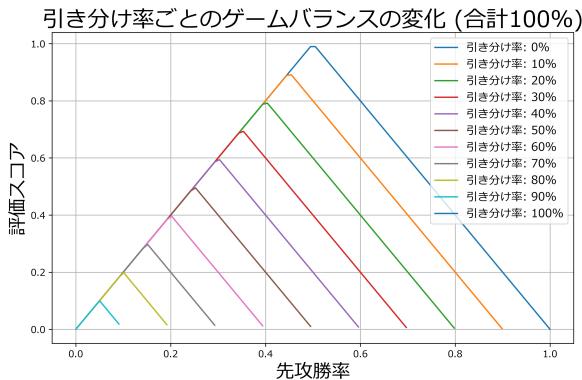


図 1 引き分け率別

5. 実験

提案手法を実装し、ユニット制限や使用する AI を変更し実験を行った。作成したマップは TUBSTAP に組み込まれている MilitaryStaffSystem, M-UCT を使用して評価する。以下にその手法の概要を述べる。

実験は XXX のマシンで行い、コードは python を使用した。MilitaryStaffSystem を用いた場合 1 世代あたり約 1 時間ほどで完了する。

遺伝的アルゴリズム中のマップの評価は実際に対戦を行って評価を行い、勝率を持って対等性を評価する。1 マップあたり 100 試合を先攻、後攻変更せずに行う。この 100 試合の対戦における結果から勝率を計測する。

実験における遺伝的アルゴリズムの設定として 30 世代繰り返し、1 世代あたり 100 個体とした。またマップのサイズは縦、横 6 マスに設定した。引き分け条件は、公開されている他のマップと比較すると短い値として設定し、10 ターン以上経過した場合引き分け判定を行う。双方のユニットの HP の合計が 10 以上離れていない限り引き分けとなる。

またユニット制限を用意し、適応した実験、しない実験をそれぞれ行った。ユニット制限は航空機ユニットを排除するもの、航空機ユニットを排除せずすべてのユニットで MAP 作成を行うものを用意した。航空機ユニットを排除する理由としては、一方的な攻撃や逃げる戦略を取ることが有効であり、これらの特徴は引き分け率、また勝敗の差

が増加する可能性が高いためである。

その他に別 AI による適応度の変化が見られるか確認するために MilitaryStaffSystem のみではなく、M-UCT でも実験を行った。

具体的な実験は以下のような手順を追って行う。

- (1) 第一世代を生成する。地形制限に従い指定されたサイズにランダムに地形を割り当てる。その後侵入できないマス以外に指定された数の以下のユニットをランダムに配置する。この際の HP やユニット種はランダムに決定される。
- (2) 生成された MAP を AutoBattle フォルダに移動する。先手、後手の AI を MilitaryStaffSystem に設定。10 試合、先手後手交代なしの条件で試合を行う。これらを 10 ウィンドウに起動して合計 100 試合を行う。
- (3) 1MAP あたり合計 100 試合行い試合結果を統合する。その後、計算式に応じて適応度を計算する
- (4) トーナメント方式を用いて交叉の親となる個体を選択する。
- (5) 交叉を行い遺伝子を生成する。
- (6) 遺伝子から MAP として保存する際に以下の条件で.tb-smap ファイルに書き込むかを決定する。
 - ユニットの座標から配置される予定の地形を確認する。配置しようとしているユニット種が侵入可能でない場合、そのユニットは.tb-smap ファイルには書き込まない。
- (7) (2) から (6) を指定世代数まで繰り返す。

交叉は以下のように行う

- MAP 部分と UNIT 部分を分割する。
- MAP 部分に注目し、縦方向のつながりを取り除いて地形情報を一行に並べる。この時、元の二次元の MAP での左上から開始し、右方向に進んで行の終点まで並べる。行の終点に到達したら、次の行の左端に移動し、同様に右方向に読み取る。これを最終行に到達するまで繰り返し、地形情報を横に並べる。
- 一点交叉を行うために MAP 上で一点を選択する。
- 決定した座標で前半、後半に分割する。
- 親 A の前半、親 B の後半を子 A、親 B の後半、親 A の前半を子 B とする。
- UNIT 部分は決定した座標を元に親 A の前半部分、親 B の後半部分に該当するユニットを子 A、親 B の前半部分、親 A の後半部分に該当するユニットを子 B にわたす。

突然変異は以下のように行う

- MAP 部分と UNIT 部分を分割する。
- MAP 部分に注目をする。
- 地形一つ一つを指定された確率で突然変異の抽選を行う。
- 突然変異を実行する場合は最初に指定した地形制限か

らランダムに選択する。

- UNIT 部分に注目する。
- ユニットデータは X 座標, Y 座標, ユニット種類, 所属, HP, 行動終了フラグに分けられるがそれぞれ指定された確率で突然変異の抽選を行う。
- 突然変異を実行する場合は以下の条件に従い変更を行う。
 - X, Y 座標を変更する場合は, MAP サイズの中に収まる範囲でランダムに変更する。
 - ユニット種類を変更する場合は, 最初に指定したユニット制限に従いランダムに変更を行う。
 - 所属と行動終了フラグを変更する場合は, 0, 1 の中でランダムに変更する。
 - HP を変更する場合は, ユニット種類を確認し定義してあるユニット種類別 HP 制限内にランダムに変更する。

6. 結果と考察

本研究で行った自動マップ生成について実験結果と考察を記述する。

ユニット制限を行わない, MilitaryStaffSystem での実験は 2 回。ユニット制限を行った, MilitaryStaffSystem での実験は 3 回。ユニット制限を行わない, M-UCT での実験は 2 回行った。

また結果を掲載する上で大多数が多く世代で最大適応度が 0 となっており, その中で比較的变化のある実験結果を掲載する。

6.1 ユニット制限を行わない場合の実験結果と考察

ユニット制限を行わない場合の適応度の変化は, 図 2 に示されている通りである。本図では, 横軸に世代を, 縦軸に適応度を取っており, 各世代における最大適応度, 最小適応度, 及び平均適応度をプロットしている。この GA (遺伝的アルゴリズム) の生成過程では, 適応度の動きに関していくつかの傾向が見られる。

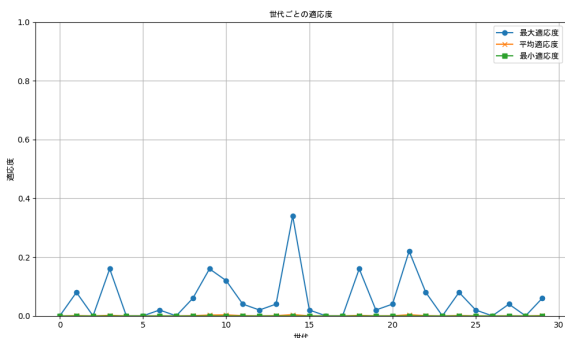


図 2 ユニット制限無しの適応度変化

まず, 平均適応度および最小適応度については, 世代が進

むにつれて変化が見られないことがわかる。これは, この GA において, 全体の適応度が最低値周辺で変化が見られない。一方で, 最大適応度に関しては, 平均適応度と比較すると増減が見られるが, 増加した世代の次の世代には他と同じような適応度に減少した。この動きは, 進化の各段階において, 個体群の中に比較的適応度の高い個体が一時的に現れるものの, それらが次の世代に引き継がれるわけではないことが考察できる。またこのような現象は, GA の探索空間における探索の多様性が保たれていることを示す一方で, 最適解に到達するまでの道りがまだ不安定である可能性がある。

加えて, この適応度の変動が激しいことから, 選択圧が強い設定となっている可能性もある。この強い選択圧が原因となって, 個体群の中で一部の個体が非常に高い適応度を持つ一方で, それらの個体が長期的には安定した繁栄を見せないという特徴的な挙動が現れることが予想される。

これらの結果から, ユニット制限を行わない場合における適応度の変動は, 個体群の多様性を維持するための重要な要素は機能していると言える。しかしながら, 改善を目指すためには, 交叉や突然変異のパラメータ調整, または選択圧の緩和が必要である可能性がある。

6.2 航空機ユニット制限を行った場合の実験結果と考察

ユニット制限を行い戦闘機と攻撃機を取り除き遺伝的アルゴリズムを行った際の適応度の変化は, 図 3 に示されている通りである。横軸を世代, 縦軸を適応度としてプロットし, 最大適応度, 平均適応度, 最小適応度をそれぞれ視覚化した。この制約下において適応度の動向にはいくつかの特徴的な挙動が見られる。

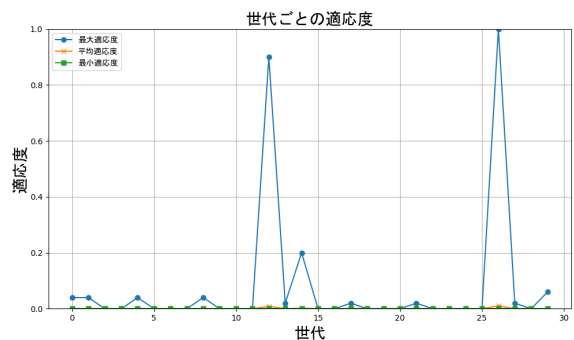


図 3 航空機ユニット制限を行った際の適応度変化

まず, 最大適応度については, 13 世代目, 26 世代目周辺において適応度 0.8 を超えていることが確認できる。しかし, そのほかの世代においては, 最大適応度は平均, 最小適応度と同じように 0 と近い値となっている。これは, 進化の過程で一時的に適応度の高い個体が発生するものの, その効果が長続きせず, 次世代には持ち越されないことがわかる。

表 1 ユニット制限を行わない場合の実験時の各変数

世代数	個体数	トーナメントサイズ	交叉方法	突然変異の確率
20	100	5	一点交叉	5%
地形制限	終了ターン数	引き分け条件 HP	マップサイズ	陣営ユニット数
なし	10	10	6×6	4:4

一方、平均適応度および最小適応度については、世代を通じてほとんど変動がなく、低い値に留まっている。これにより、個体群全体の適応度分布が、範囲内で均一化していることが示される。

ユニット制限を行った事により最大適応度の絶対値は、制限を行わないものと比べ、大きくなっている。そのため航空機ユニットのない場合より対等性を確保しやすいことが言える。

6.3 M-UCT を利用した実験

ユニット制限を行わず、AI を M-UCT に変更し遺伝的アルゴリズムを行った際の適応度の変化は図 4 に示されている通りである。横軸を世代、縦軸を適応度としてプロットし、最大適応度、平均適応度、最小適応度をそれぞれ視覚化した。この制約下において適応度の動向にはいくつかの特徴的な挙動が見られる。

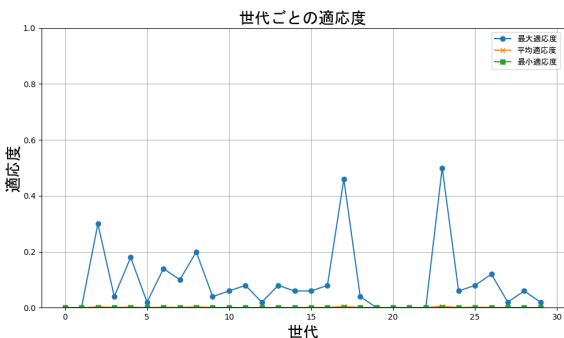


図 4 M-UCT を利用しユニット制限を行わない場合の適応度変化

MilitaryStaffSystem を用いたユニット制限を行わない場合の適応度と異なり、M-UCT を用いた場合最大適応度 0.4 以上、0.6 以下の個体が見られる。このことはやや改善が見られるが M-UCT, MilitaryStaffSystem 問わず提案手法を利用した対等性を保証したマップの自動生成には成功していないことを示している。

7. まとめ

TUBSTAP における対等性が保証されたマップの自動生成に関して研究されていなかった。マップ作成には遊びごたえ、戦略、自然さなど考慮する点が多く、困難である。そのため本研究では、遺伝的アルゴリズムによる先攻と後攻の勝率が同等なマップ自動生成をユニット制限あり、なしで行った。ユニット制限は戦闘機、攻撃機に対して行った。これらのユニットは非常に移動範囲が大きく、なおかつ敵

ユニットの種別によっては一方的な攻撃となるためマップ上の勝率に偏りが生まれる可能性が高いためである。実験の結果、ユニット制限の有無に関わらず最大適応度の変動が見られ、長期的な適応度の改善にはつながっていないことがわかった。

本研究ではトーナメントサイズやマップサイズを固定している、また使用する AI を固定している為、最適なトーナメントサイズやマップサイズ、ユニット種毎の HP 上限の設定を見直すことで適応度の向上が見られる可能性がある。

また 2 次元である TUBSTAP のマップに対して、1 次元に変換した後に再度 2 次元に変換することで縦の関係性が失われている可能性が非常に高い。この点に関して 1 点を決定しその点から見て右下とそれ以外に分割するなど 2 次元での交叉を実装し実験を行うことで縦方向の関係性を維持した交叉が実現できる可能性がある。

参考文献

- [1] 田口 紫織, 佐藤 直之: GA を用いたターン制ストラテジーゲームのマップ自動生成, 情報処理学会研究報告 (2019).
- [2] JAIST 池田研: ターン制戦略ゲーム 学術用基盤プロジェクト, <https://www.jaist.ac.jp/is/labs/ikedalab/tbs/> (2024/10 月閲覧).
- [3] 吉田 友太, 池田 心: 遺伝的アルゴリズムと人間らしい AI プレイヤを用いた 2D シューティングゲームのステージ生成, 情報処理学会研究報告 (2020).