

1. 序論

押し物系パズルの一つである倉庫番 (Sokoban) は, 1×1 ブロック「荷物」および「壁」の配置と, 目標位置の集合および操作キャラ「番人」の位置が与えられたときに, 全ての荷物を目標位置に移動させることを目的とするパズルゲームである. 番人の移動先に荷物があつたとき, 先が空いていれば, 荷物は隣のスペースに押されて移動する. 一方, 先が空いていなければ番人はそちらに動けない. すべての目標位置に荷物を置く一連の手順を見つけることがこのゲームの目標である.

倉庫番の解法を求める手法は, 小田原らが部分マップの手詰まり判定法を提案している 4) が, 倉庫番自体は本質的に PSPACE 完全 3) であり, 荷物の個数が大きくなると解くことができない. また, 複数の荷物を同時に押せたり, 押した荷物が滑ったりといった条件を加えたいくつかの変形倉庫番に対する計算量も求められている.

本研究では, 番人が 2 人おり, 2 人が協力すれば同時に 2 つ荷物を押せるという条件を加えた二人倉庫番, および床との摩擦が無く一度荷物押すと障害物が無い限り延々滑るという条件を加えた滑る倉庫番に対してその計算量を検証する.

2. 倉庫番ゲームの理論と計算量

本研究では代表的な PSPACE 完全問題である非決定的制約論理問題 (NCL) を倉庫番に帰着させることを目指す. すなわち, 任意の NCL 問題に対し, それが解を持つときのみ解を持つような荷物の並び方が作成できるかを検証する.

本研究では NCL 問題を倉庫番に帰着させるためには, OR 演算に相当する荷物の並び「OR ガジェット」および AND 演算に相当する荷物の並び「AND ガジェット」を作成する. 各ガジェットには複数の「入口」と「出口」があり, OR ガジェットは入口のどれか一つから番人が来るとガジェット内の荷物を手詰まり状態にすることなく出口に抜けることができ, AND ガジェットは全ての入口から番人が入ったときのみガジェット内の荷物を手詰まり状態にすることなくガジェットを通り抜けられるようにする.

3. 結果・考察

本研究では, 二人倉庫番と滑る倉庫番の AND パターンと OR パターンを表すガジェットを作成した. 図 1 に二人倉庫番の AND ガジェットを示す. 図 1 中の記号が書いてあるブロックが荷物であり, 記号の無い部分は壁である.

図 1 の左半分は, F および G が動かせたときのみ手詰まり状態にならずに C を動かせるようにする AND 論理を実現する配置であり, 右半分は番人が二人いるときのみ荷物を動かせるようにする配置である. まず左半分は, 手詰ま

り状態にならずに C を左に動かすためには, あらかじめ F, D を左, G, E を上に動かすことで, C を手詰まり状態になることなく左に動かすことができる. 一方, 右半分では C のある領域に入るためには B を左に動かす必要があるが, そのためには A を上に動かす必要がある. しかし, 番人が 1 人しかいない場合, A を上に動かしてしまうとその後 A を動かすことができず, 手詰まり状態になってしまう. 一方, 番人が 2 人いる場合, 番人の 1 人が A の上の隙間に待機しておくことで, A を上に動かした後再び A を元の位置に戻すことができる. 以上のことから, AND ガジェットは番人が 2 人おり, かつ F との両方を動かせる場合のみ C を動かすことができる. OR ガジェットも同様の手法でブロックを配置できる. これらのガジェットを用いて, 任意の NCL 問題を二人倉庫番に還元することができるため, 二人倉庫番は PSPACE 完全であることが示される.

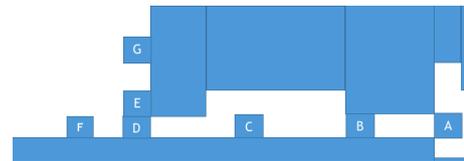


図 1 二人倉庫番の AND ガジェット

4. 結論

本研究では, 二人倉庫番および滑る倉庫番は PSPACE 完全であることを示した. 今後の課題は, 倉庫版と類似ゲームの計算量を検証して行きたい.

参考文献

- 1) ロバート・A・ハーン, エリック・D・ドメイン: ゲームとパズルの計算量, 近代科学社 (2011).
- 2) 村瀬芳生, 松原仁, 平賀謙: 「倉庫番」の問題の自動作成, 情報処理学会論文誌, No.3, Vol.39, pp. 567-574 (1998). <http://id.nii.ac.jp/1001/00013161/>
- 3) J.C.Culberson: Sokoban is PSPACE-complete, Proc. International Conference of Fun with Algorithms, pp.65-76 (1998)
- 4) 小田原大, 金子知適, 川合慧: 倉庫番における部分マップの組み合わせに基づく手詰まり判定法, 情報処理学会 研究報告, Vol.2004GI-12, pp.33-40 (2004) <http://id.nii.ac.jp/1001/00058546/>