

ABSにおけるどろけいモデル

東京大学経済学部経済学科 4年 稲水 伸行
東京大学教養学部総合社会科学科 4年 上野 貴弘
東京大学教養学部総合社会科学科 4年 西 直史

1. はじめに

日本で古くから遊ばれているゲームに「どろけい」¹がある。参加者が「どろぼう」と「けいさつ」²に分かれ、「けいさつ」が「どろぼう」を追いかけて捕まえるこのゲームは、単純な「鬼ごっこ」とは違い、捕まった「どろぼう」を仲間が助けることが可能な点に醍醐味がある。TVゲームなど室内での遊びが盛んになった現在に至っても、このような魅力を持ったどろけいは、保育園児から小学校高学年に至るまで、幅広い層によって楽しまれている。

ここでは、このどろけいをABSでモデル化し、けいさつとどろぼう双方の戦略を作り上げることで、双方がどのような戦略を取るのが有効なのか、考察する。

2. 基本モデル

現実のどろけいの基本的なルールは以下の表1の通りである。

表1 どろけい基本ルール

参加者を泥棒と警察に分ける。

泥棒がフィールド内を逃げ、一定時間をおいてから警察は泥棒を追いかけて捕まえる。

警察は泥棒を捕まえたなら刑務所に連れていく。

まだ刑務所に入っていない泥棒は刑務所まで行くことで、捕まっている泥棒を解放することができる。

解放された泥棒は普通通り逃げるができる。

以上のルールを見れば分かるとおり、どろけいは鬼が逃げ手を追いかけて捕まえる単純な「鬼ごっこ」の延長上に位置するものである。そこでここではまず鬼ごっこモデルを作り、それを拡張させることで単純などろけいモデルの構築を試みる。

¹ 「どろけい」は地域によっては「けいどろ」と呼ばれる場合もあり、名古屋周辺では「どろじゅん」(どろぼうと巡査の略と推測される)と呼ばれることもある。また基本的に口承のゲームであるため、文章で書かれることは少なく、「どろけい」なのか、あるいは「ドロケイ」なのかも説が分かれる。ここではJDA(日本どろけい協会)の説に従い、「どろけい」という表記を採用する。

² 「どろけい」の「どろ」に関しては「どろぼう」の略であるという説が有力であるが、「けい」に関してはこれが「けいさつ」の略なのか、「刑事」の略なのか、説は分かれる。ここでは「けいさつ」説を採用する。

a. 鬼ごっこモデル

40×40 のマップ上で「鬼ごっこ」を行う。基本ルールは以下の表 2 の通り。

表 2 鬼ごっこルール

「鬼」エージェントと「逃げ手」エージェントを用意する。
鬼が数十秒数えている間に逃げ手は移動。
鬼は逃げ手を捕まえに行く。
逃げ手はマップ内で鬼から逃げる。

この「鬼ごっこ」を再現するため、逃げ手と鬼の 2 種類のエージェントを作り、初期状態では逃げ手をマップ上にランダムに配置し、鬼は基地(マップ上では $X=10, Y=10$) から一斉に出発させ、鬼には図 1 のような行動ルールを、逃げ手には図 2 のような行動ルールを持たせた。

図 1 「鬼」エージェント行動フローチャート

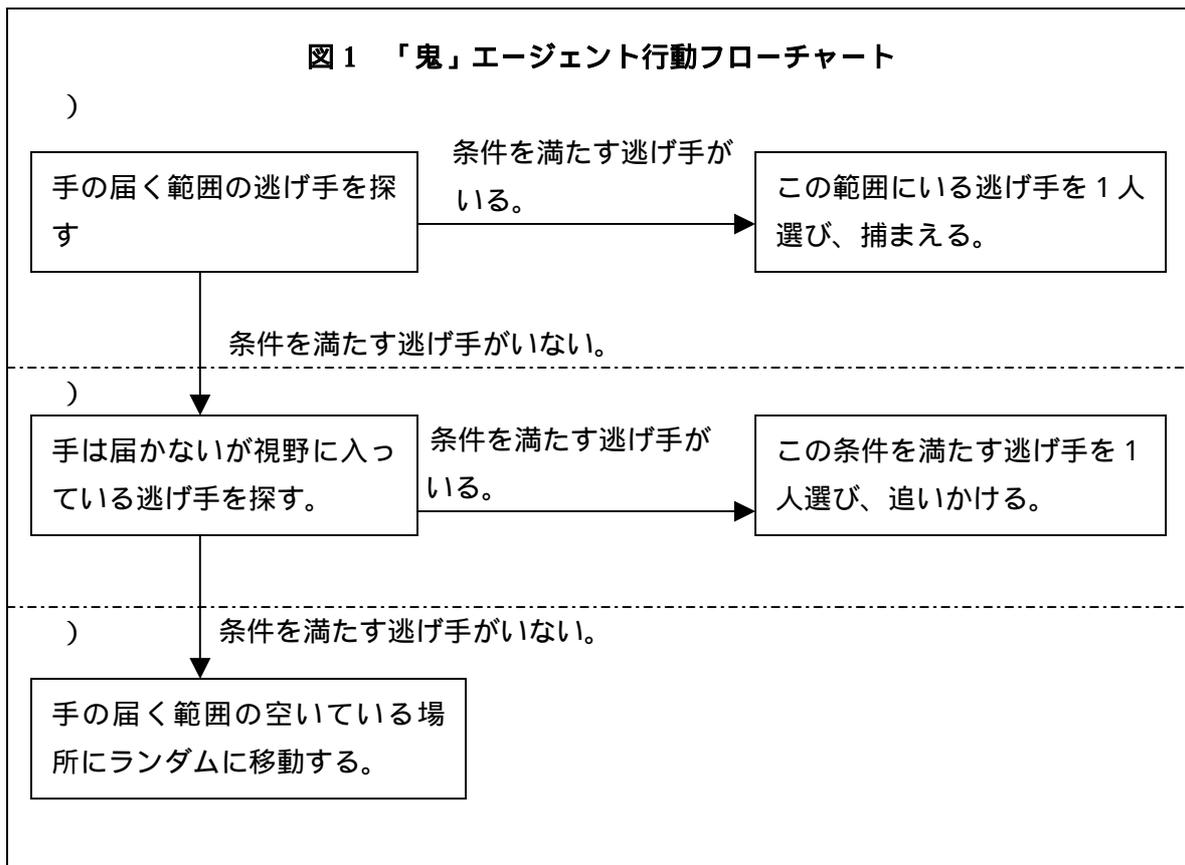
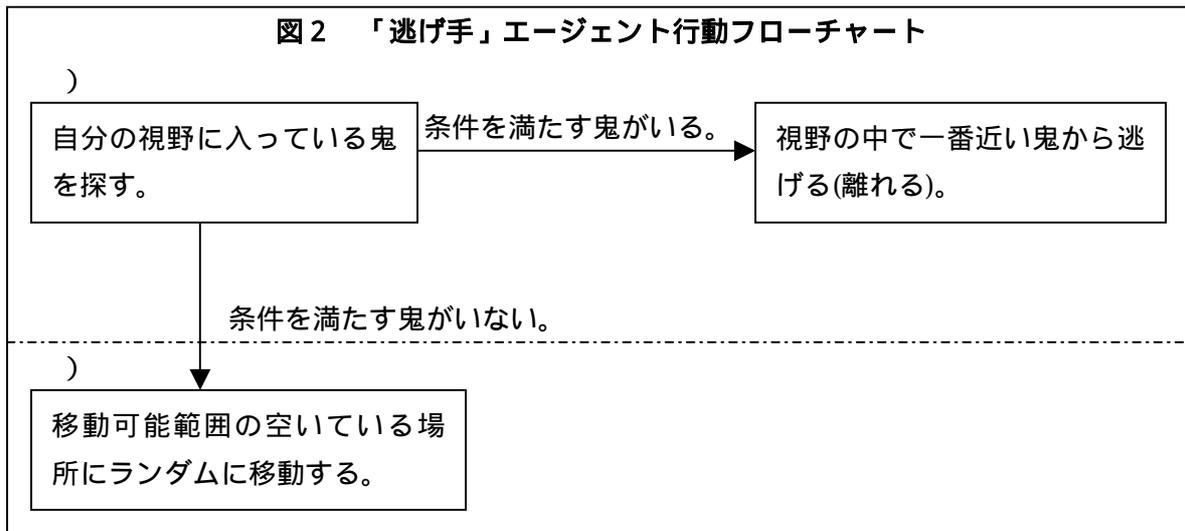


図2 「逃げ手」エージェント行動フローチャート



「鬼」エージェントの行動は上図のように、

)逃げ手の捕獲

)逃げ手の追跡

)空いている場所への移動

の3段階からなっている。一方「逃げ手」エージェントの行動は

)近くの鬼からの逃亡

)空いている場所への移動

の2段階からなっている。図1において手の届く範囲とは鬼が1ステップで移動できる範囲であり、ここでは自分の周り2マス以内、また、視野は自分の周り15マス以内とした。一方逃げ手の視野は自分の周り10マス以内、移動可能範囲は3マス以内とした。逃げ手の視野が鬼よりも狭いのは、逃げ手は鬼が見えていても、ある程度離れていれば逃げようと思わないと考えられるためである。また、捕まえられた逃げ手は鬼の基地に連れていかれる。

逃げ手が一番近い鬼から離れていく動作は、自分自身と視野内の一番近い鬼(以下、恐るべき鬼)の座標を比較し、

(自分のX座標) - (恐るべき鬼のX座標) > 0 自分のX座標 = 自分のX座標 + 3

(自分のX座標) - (恐るべき鬼のX座標) < 0 自分のX座標 = 自分のX座標 - 3

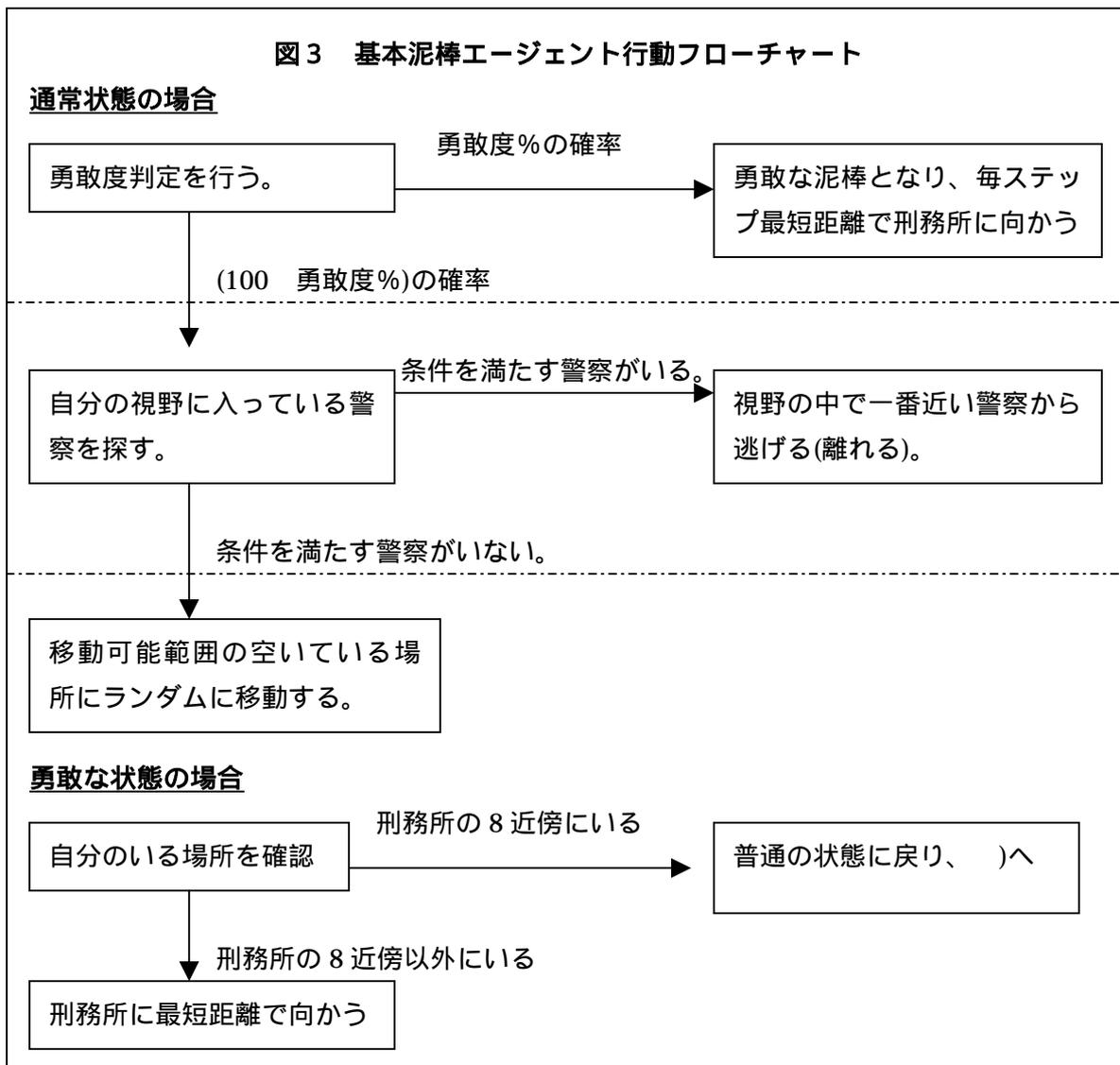
(自分のY座標) - (恐るべき鬼のY座標) > 0 自分のY座標 = 自分のY座標 + 3

(自分のY座標) - (恐るべき鬼のY座標) < 0 自分のY座標 = 自分のY座標 - 3

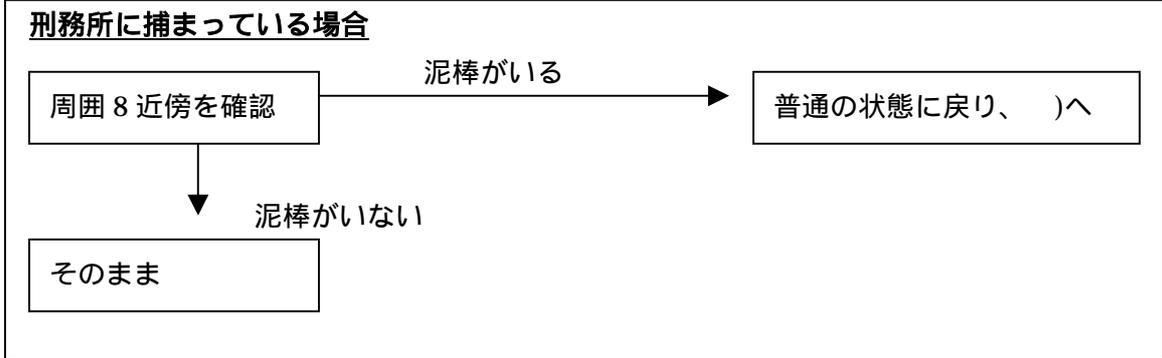
という行動を行うことで実現させた。鬼が逃げ手を追いかける動作や以下に登場する泥棒が警察から逃げる動作、警察が泥棒を追いかける動作、勇敢な泥棒が刑務所に近づく動作なども基本的に同じ原則で実現させている。

b. 単純どろけいモデル

以上の鬼ごっこモデルを利用しつつ、表 1 で示されたルールで行われる基本的などろけいのモデルを考える。「警察」エージェントは鬼ごっこモデルで作った「鬼」エージェントをそのまま用いることが可能である。一方「泥棒」エージェントは鬼ごっこモデルで作った「逃げ手」エージェントの行動ルールに加え、時には刑務所(鬼ごっこモデルにおける鬼の基地)に捕まった仲間を助けに行くという行動ルールを追加してやる必要がある。そこで、泥棒の中に勇敢度(%)³という変数を設定してやり、毎ステップの始めに勇敢度%の確率で泥棒が勇敢な泥棒になり、刑務所に向かって移動するという追加ルールを加える。刑務所の 8 近傍まで達した勇敢な泥棒は再び普通の泥棒に戻る。また、刑務所に入っている泥棒は毎ステップ周囲 8 近傍を見、そこに一人でも他の泥棒がいる場合は解放されて普通の泥棒に戻る。ルールのフローチャートは以下の図 3 の通り。

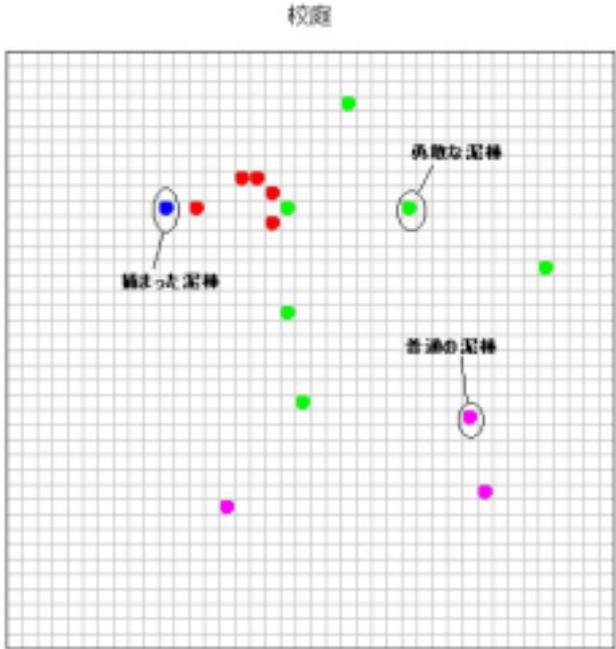


³ 0 勇敢度 100



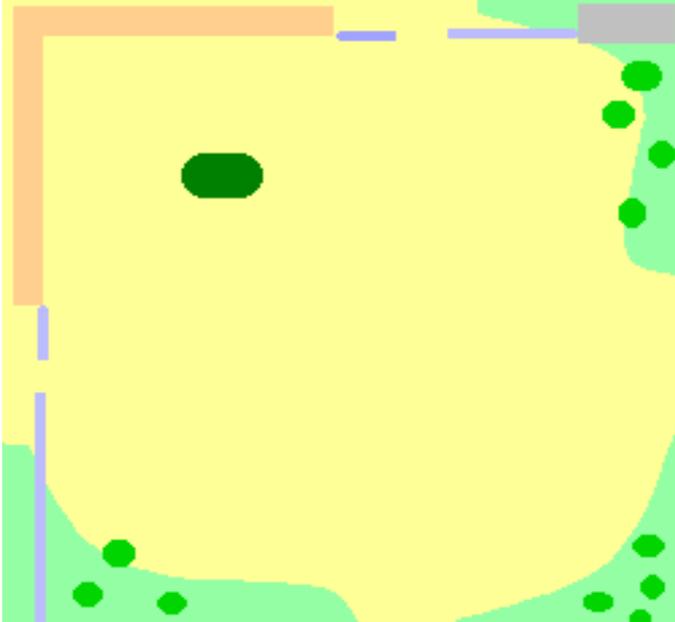
なお、マップ中では警察は赤色、普通の泥棒は紫色、勇敢な泥棒は緑色、捕まった泥棒は青色で表される(図 4)。

図 4 単純どろけいモデル画面



3. 拡張モデル～より現実的なモデルへ

以上、単純などろけいモデルを構築してきたが、現実のどろけいは学校の校庭など、ある程度隠れ場がある場所で行われる。そこで以下のような校庭マップを構築した。ここでは、校庭の隅に木々を配置し、泥棒は隠れることができるようにした。

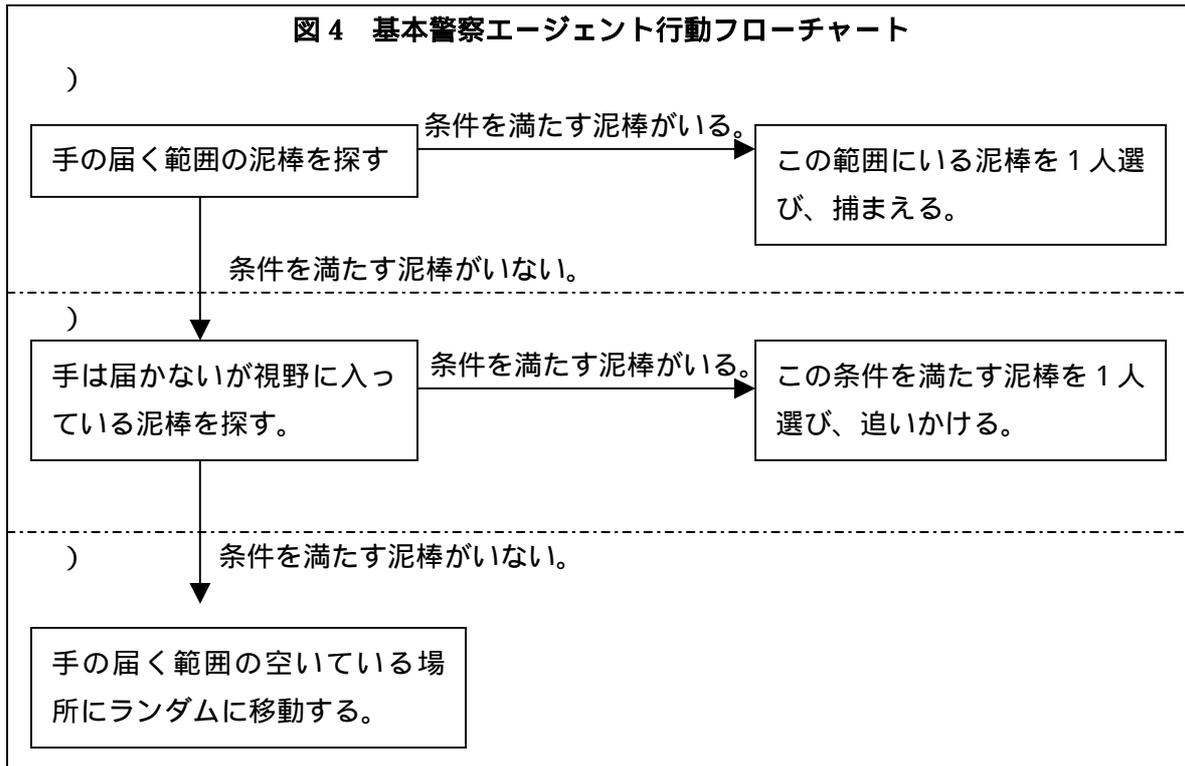


「校庭マップ」

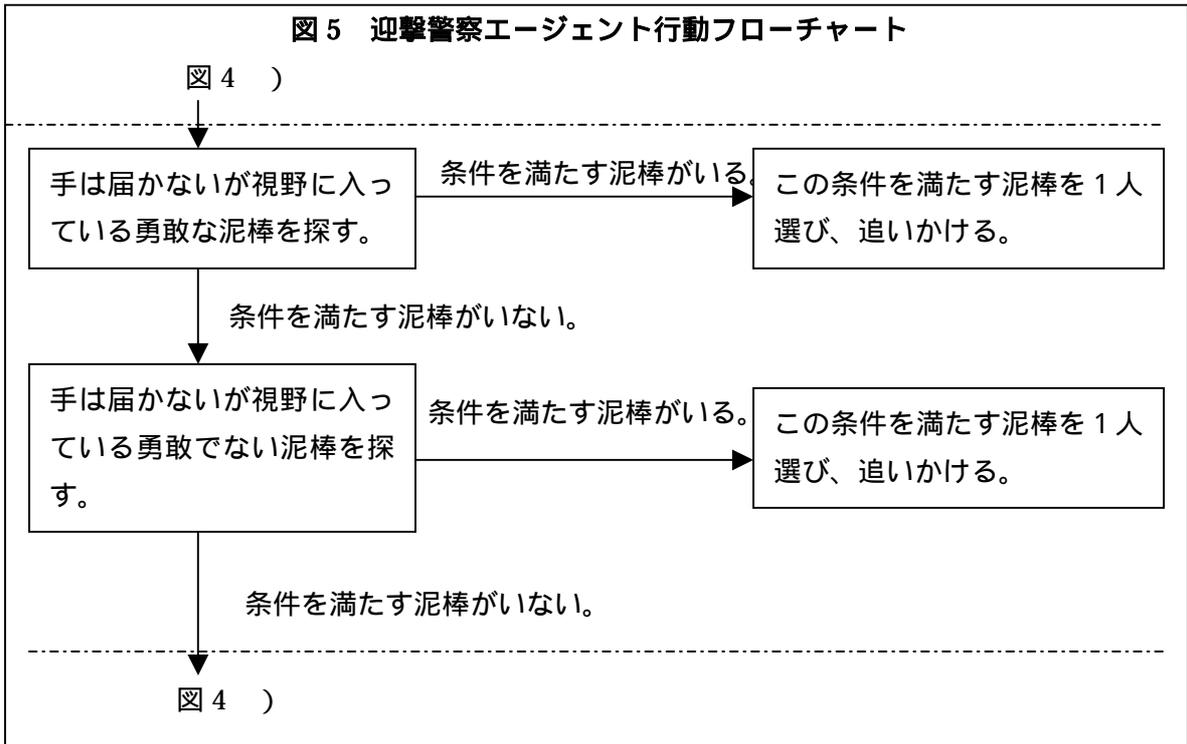
また、以下で説明するように、警察と泥棒それぞれについていくつかの行動ルールを加え、考察することにした。

a:警察の行動ルール

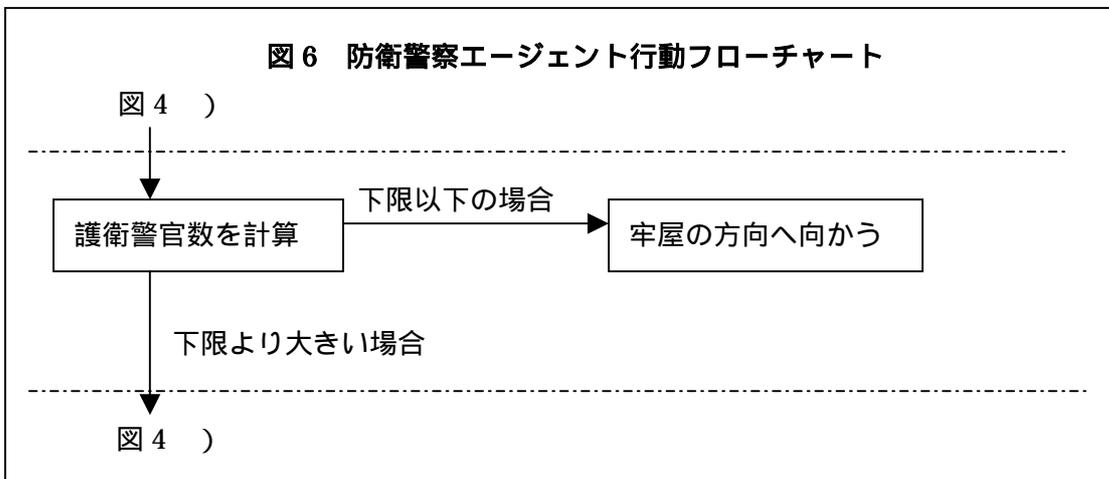
今回、基本警察エージェント、迎撃警察エージェント、防衛警察エージェントの3種類の警察エージェントを用意した。ただ、後2者は基本警察をベースに構成されている。前節中、単純どろけいモデルで使用した警察エージェント、つまり鬼ごっこモデルの鬼エージェントが基本警察エージェントである(図4)



警察にとっては単なる泥棒よりも、捕まった仲間を助けるため、刑務所に向かって突撃してくる泥棒のほうが脅威である。そこで刑務所に向かってくる泥棒を優先的に追いかけるようにしたのが迎撃警察エージェントである。迎撃警察エージェントは、図4の)において視野に入っている泥棒を探す際、牢屋に向かってくる勇敢な泥棒を優先的に追いかけるようになっている(図5)



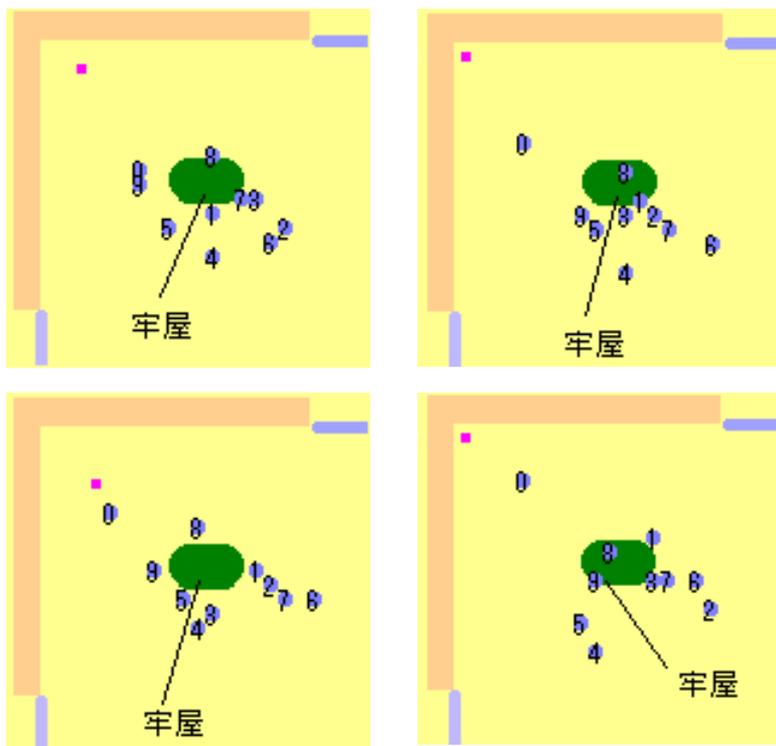
基本警察エージェント、迎撃警察エージェントは共に刑務所を守ることよりも積極的に泥棒を捕まえることを重視している。しかし現実には刑務所を守る警察エージェントもいたほうが協力なのではないか？そこで防衛警察エージェントでは基本警察エージェントの行動フローチャート図4中、)の代わりに牢屋を守るかどうかの選択をさせるようになってきている。「警察が牢屋にくっつき続けるのは反則」という小学生一般でのルールを踏襲すべく以下のようなWorld変数を利用して、味方を見ながら適度に牢屋に戻るという守備役になった小学生の思考を定式化した。Worldのもとに護衛警官数と護衛警官数下限という変数を用意する。護衛警官率とは牢屋のまわり1マス以内にいる警察の数である。上記の段階)に達した場合、各エージェントは護衛警官数を計算し直し、これがコントロールパネルで決めた護衛警官数下限以下の場合、牢屋に向かうようにする(図6)。



このようなルールにすることで「牢屋にくっついて守り続けるのは反則」をクリアして牢屋の守備ができるのかは以下の理由による。護衛警官数が下限以下の場合、どの守備警察も誰かが牢屋にたどり着くまで牢屋に向かう。誰かがたどり着くと、護衛警官数 > 下限になるので、今度はどの防衛警察も牢屋を守らずに段階) に向かう。すると再び、護衛警官数が下限以下となるので牢屋に向かうようになる。この結果、どの防衛警察も牢屋に引き寄せられるが、牢屋に接している防衛警察はすぐに交代するようになり、上記の反則ルールを回避して守備ができるようになる(図 7)。

なおこの防衛警察は近くにいる泥棒は捕まえるが遠くの泥棒を追いかけないので、次節のシミュレーションでは単独では使用せず、基本警察と混ぜて使用する(今回の場合、基本警察 10 人と防衛警察 5 人を混ぜる)。

図 7 牢屋に引き寄せられながらも牢屋に張り付かない防衛警察の連続写真
(牢屋に接続しているのが 1 3 4 9 と変わっていくのがわかる)



b:泥棒の行動ルール

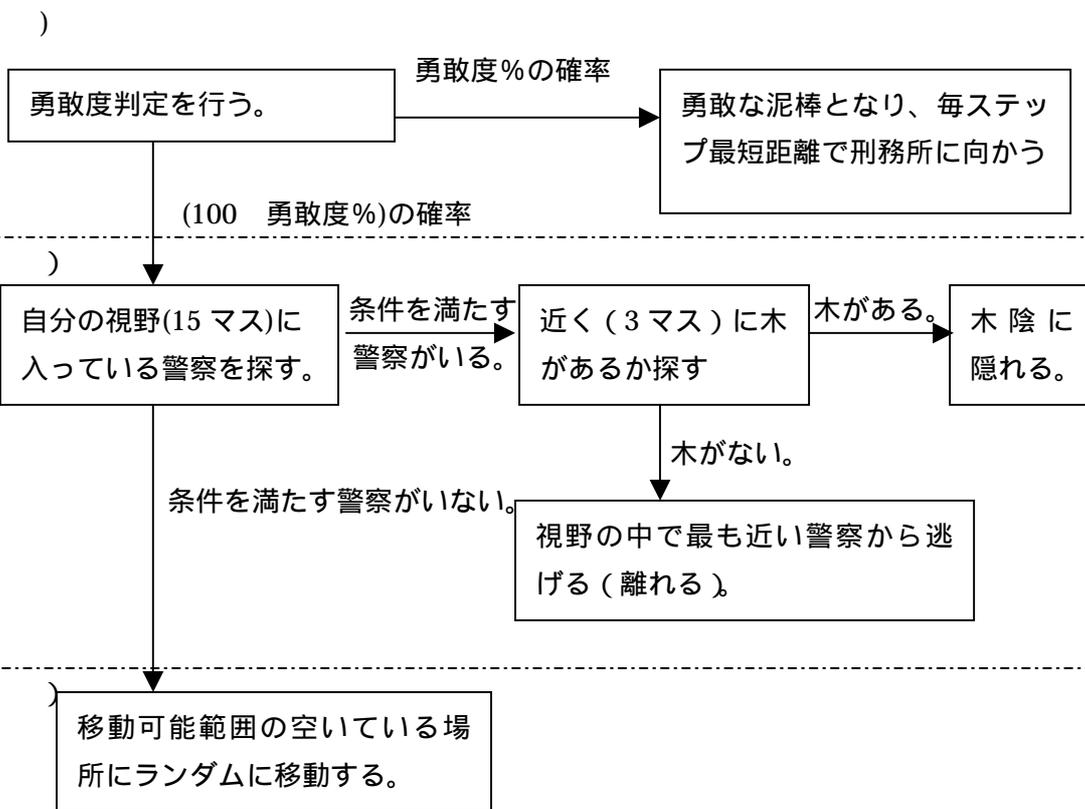
まず、木陰に隠れることができるということで、泥棒には以下のようなルールを付け加えた。木に隠れる際であるが、勇敢なのに隠れるのはおかしいので、勇敢ではない泥棒のみが、警察から追いかけている時に近くに木があったら隠れるということにした。ただ、警察に追いかけていないときは木陰に隠れることはしないし、木のある方向へ移動するというものもない。木に隠れている際の行動であるが、木陰に隠れていても、警察がすぐ近くにまで迫ってきたら、こらえきれずに飛び出してしまうということにした。隠れているとはいえ、木陰であるから見つかるのは時間の問題である。それならいっそのこと移動したほうが捕まらない可能性があるかと判断すると言うわけである。ただ、隠れる場所は校庭の隅であるため、追い詰められないように、単に「警察とは反対方向に逃げる」ということはしないようにした。あと、視野の範囲内に警察がいない場合は隠れるのをやめて移動をはじめることにした。

今回、泥棒については猪突猛進な泥棒エージェント、慎重な泥棒エージェント、バラバラ行動の泥棒エージェントの 3 種類を用意し、またどの泥棒エージェントにも適用できる戦法として、周りにある一定の人数の泥棒がいる場合に一斉に刑務所に突撃を仕掛ける「連携攻撃」を用意した（隠れている泥棒も参加する）。

前節の基本どろけいモデルで使用した泥棒エージェントが猪突猛進な泥棒エージェントである。ここで「猪突猛進」と言うのは、このエージェントは一旦勇敢になると、たとえ警察が近づいてきても刑務所の周囲 8 近傍に達するか、あるいは警察に捕まるまでひたすら最短距離で刑務所に向かうからである(図 8)。

図8 猪突猛進な泥棒エージェント行動フローチャート

通常状態の場合



勇敢な状態の場合

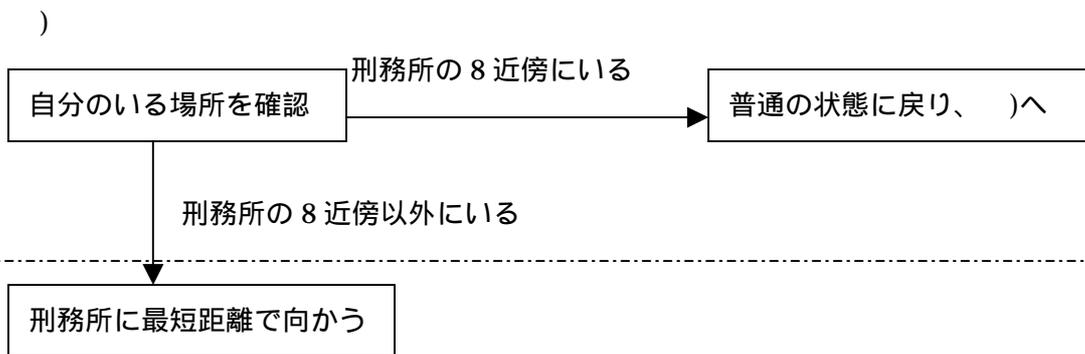
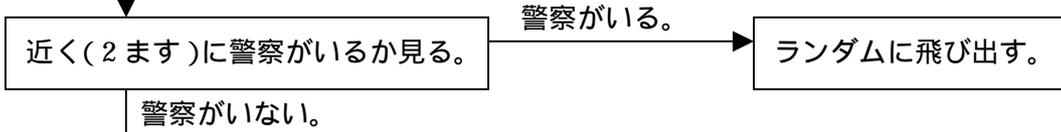


図8 猪突猛進な泥棒エージェント行動フローチャート続き

木陰に隠れている場合

) 図8)

)



)

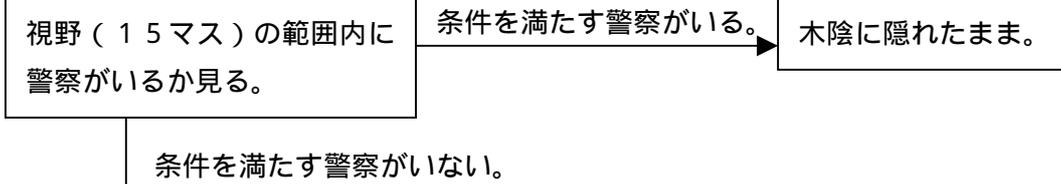
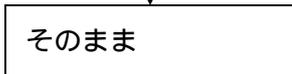
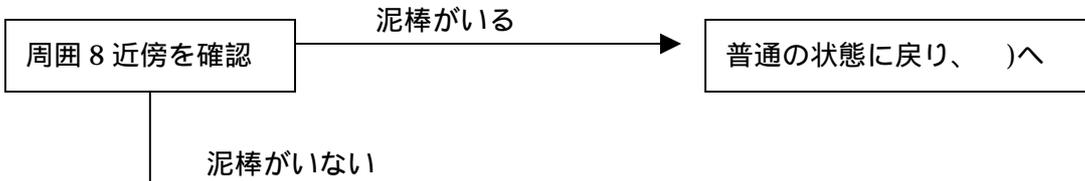


図8)

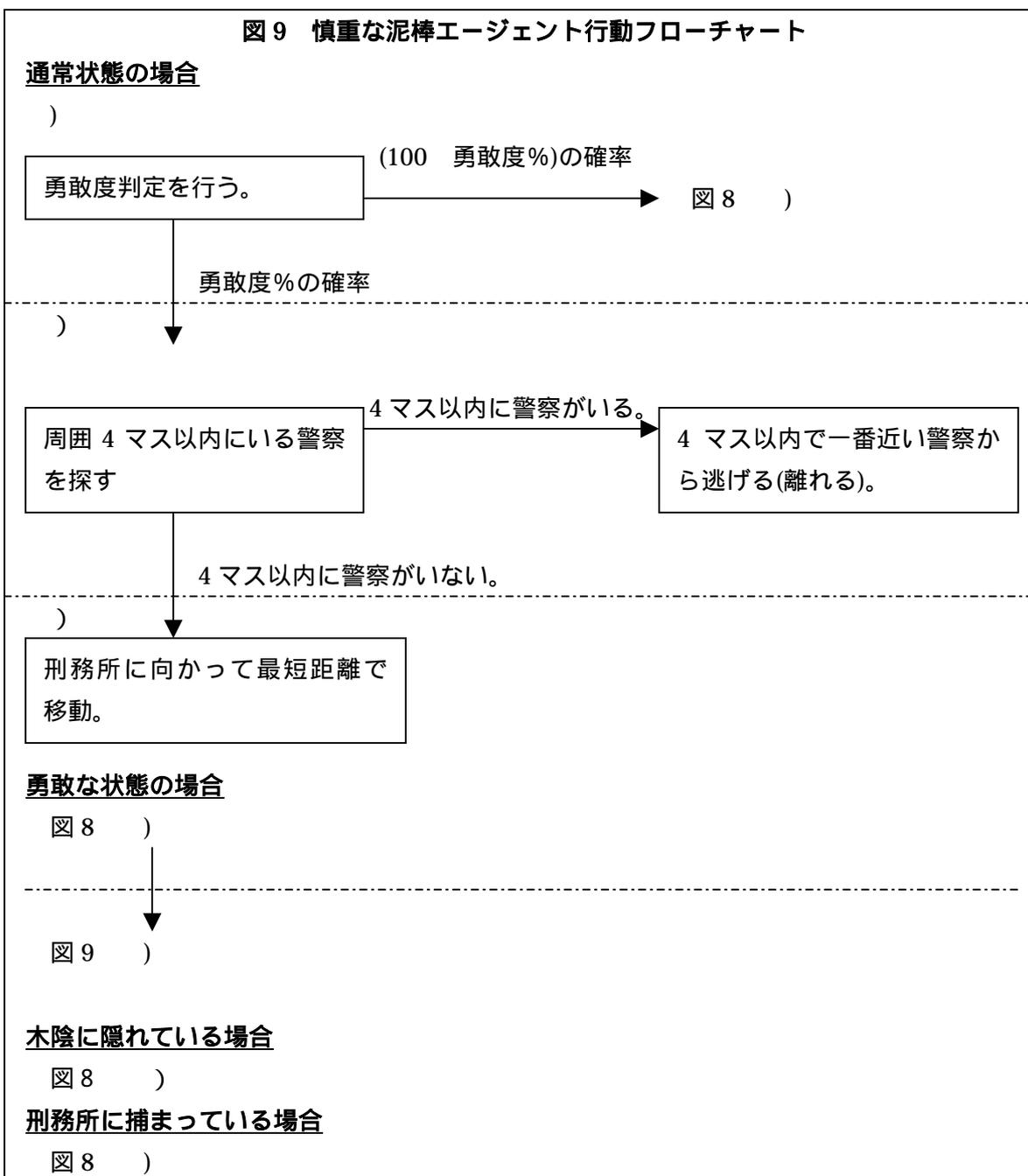
刑務所に捕まっている場合

)

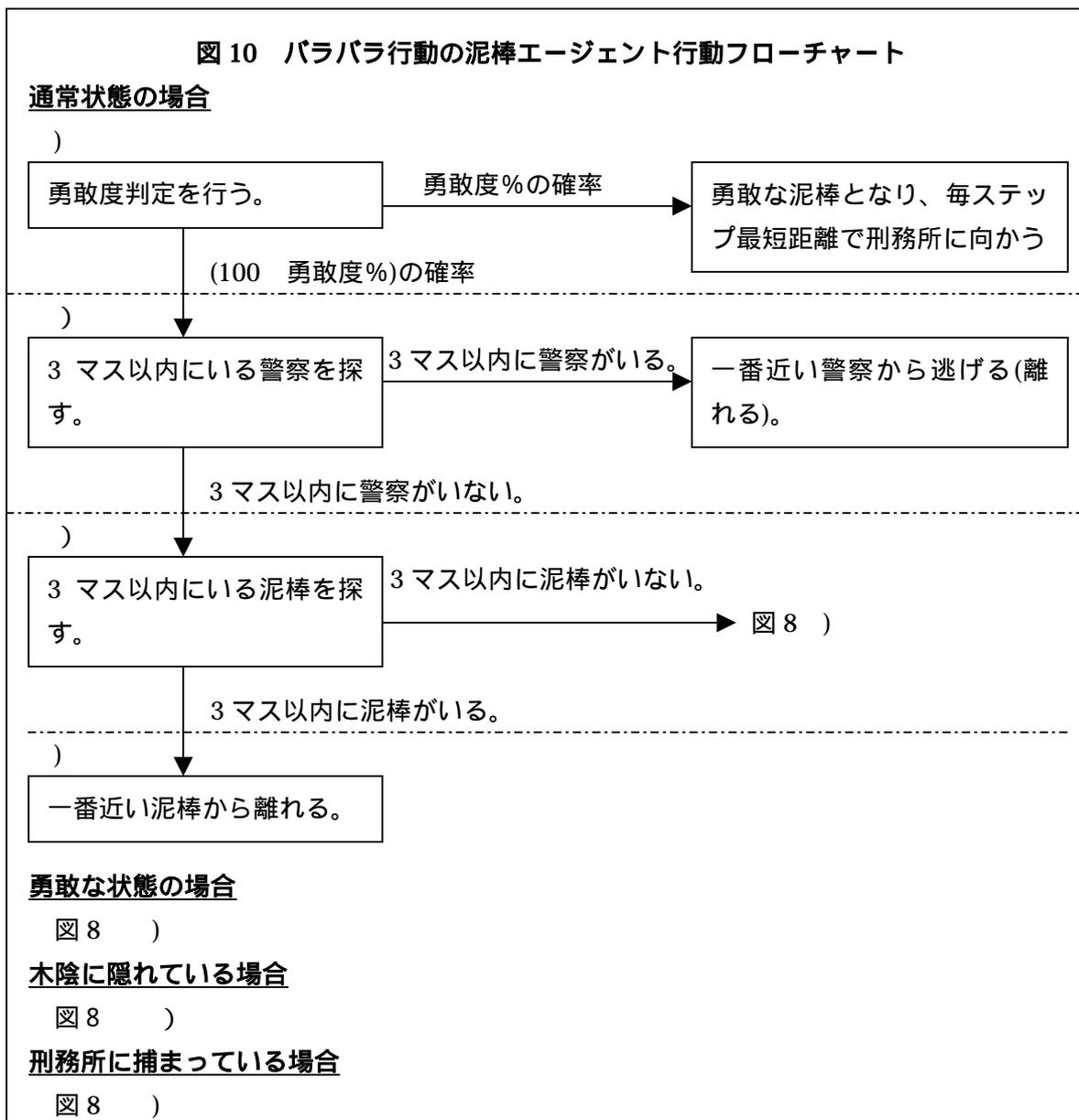


では、泥棒エージェントが刑務所に向かっている場合でも、警察が近くにきた場合には警察から離れる行動を取った場合はどうなるか？ 慎重な泥棒エージェントは勇敢になった場合も周囲 4 マス以内(警察が 2 ステップで追いつける距離)に警察がいる場合は刑務所に向かう行動ではなく、警察から離れる行動を取り、警察が自分の周囲 4 マス以内にいなかった時点で再び刑務所に向かうという行動を取る(図 9)。ここで泥棒の普段の視野 10 マスより視野が狭くなっているのは、刑務所に向かって走っているときには周囲への注意が払われにくくなるという解釈に基づくものである。

図 9 慎重な泥棒エージェント行動フローチャート

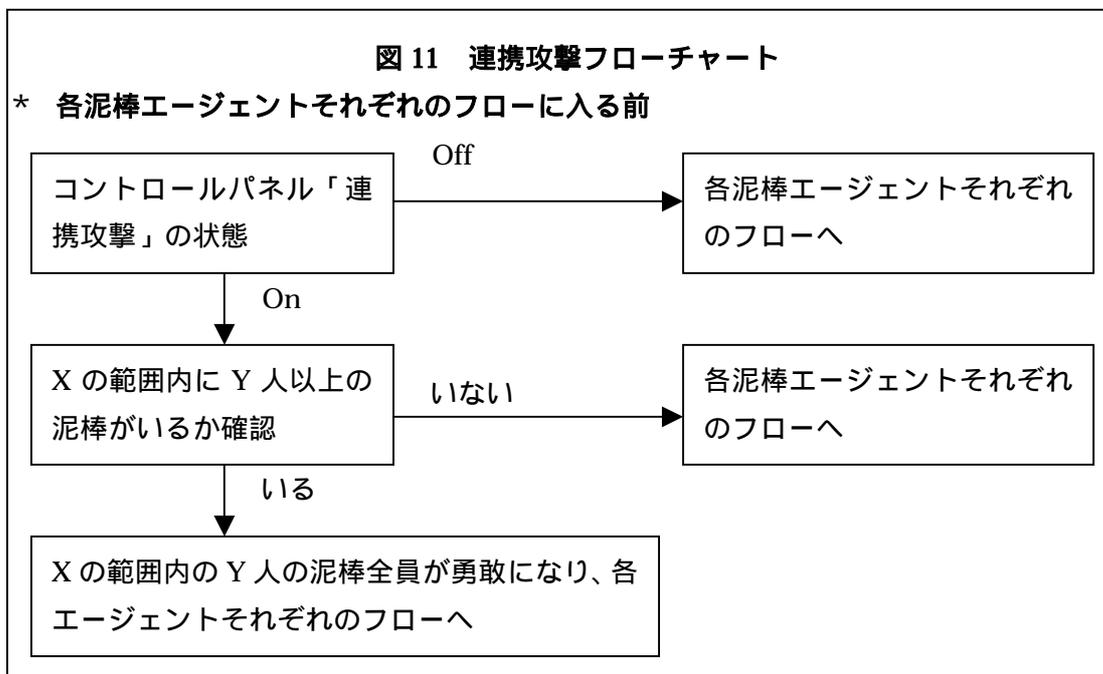


泥棒は互いにあまりに近くにいたり、同時に警察にマップのすみに追い詰められ、一網打尽に捕まえてしまう恐れがある。そこでバラバラ行動の泥棒エージェントには、3マス以内(1ステップで泥棒が移動できる範囲)に警察がおらず、かつ他の泥棒がいる場合には、その泥棒から離れる行動を取るようなプログラムを組んだ(図 10)。



以上、3種類の泥棒エージェントを作ってきたが、泥棒の刑務所への突撃は基本的に個人で行うため、刑務所に到達するまでに警察に捕まってしまう可能性が高い。そこで近くにいる泥棒と共同して一斉に刑務所に向かう戦法もプログラムした。これがコントロールパネルで選択できる「連携攻撃」である。コントロールパネルで連携攻撃を On にすると、各泥棒エージェントは毎ステップ始めに自分の周囲を見渡し、あらかじめ設定した範囲(X)

にあらかじめ設定した数(Y)の泥棒がいる場合、全員が勇敢な泥棒になって刑務所に向かうようになる(図 11)。



4. 考察

では、これらの行動ルールを持った警察と泥棒を隠れ家の存在するマップにおいて戦わせるとどうなるのか？今回作成したモデルでは、警察エージェント、泥棒エージェントともに複数の異なるルールを持つエージェントを動かすことも可能であるが、ここでは警察側には

基本警察エージェントのみによる攻撃

迎撃警察エージェントのみによる攻撃

防衛警察エージェントと基本警察エージェントの組み合わせによる攻撃と刑務所防衛の役割分担

という3つの戦略を用意、一方泥棒側には

猪突猛進な泥棒エージェントのみによる逃亡・解放

慎重な泥棒エージェントのみによる逃亡・解放

バラバラ行動の泥棒エージェントのみによる逃亡・解放

という3つの戦略を用意した。それぞれの戦略に対し、勇敢度は5%と15%の両方を試した。つまり泥棒の行動パターンは $3 \times 2 = 6$ 通り存在することになり、警察と泥棒の対戦パターンは $3 \times 6 = 18$ 通り存在する。

また、警察エージェントの初期数は15、泥棒エージェントの初期数は30とした。防衛警察エージェントが参加する警察の戦略においては、防衛警察エージェントを5人、基本警

察エージェントを 10 人とした。泥棒の連携攻撃は自身から 5 マスの範囲内に 10 人以上の泥棒がいる場合に発動することにし、コントロールパネルは常に On にした。

以上の条件の下で、各対戦パターンについて 100 回の試行を行い、泥棒エージェントが全員捕まってシミュレーションが終了するまでの平均ステップ数を計算したのが以下の表 3 である。

表3 シミュレーション結果(終了までの平均ステップ数)

	基本警察	迎撃警察	防衛警察
猪突 5	101.41	85.71	76.72
猪突 15	47.07	83.43	34.39
慎重 5	107.43	62.37	66.91
慎重 15	81.86	45.95	36.72
バラバラ 5	96.53	81.63	79.54
バラバラ 15	45.59	78.32	32.21

猪突 5=勇敢度 5%の猪突猛進な泥棒エージェント 30 人

猪突 15=勇敢度 15%の猪突猛進な泥棒エージェント 30 人

慎重 5=勇敢度 5%の慎重な泥棒エージェント 30 人

慎重 15=勇敢度 15%の慎重な泥棒エージェント 30 人

バラバラ 5=勇敢度 5%のバラバラ行動の泥棒エージェント 30 人

バラバラ 15=勇敢度 15%のバラバラ行動の泥棒エージェント 30 人

基本警察=基本警察エージェント 15 人

迎撃警察=迎撃警察エージェント 15 人

防衛警察=基本警察エージェント 10 人+防衛警察エージェント 5 人

以上の結果から明らかに分かるのは、

勇敢度は小さいほうがエージェントは泥棒は全体として長く生き残る。

泥棒をひたすら追いかけるだけでなく、刑務所を守る警察も加えることで終了ステップ数が小さくなり、特に勇敢度が高い泥棒に対して有効である。

迎撃警察は基本警察より強い傾向にあるが、弱点もある。

ということである。

まず に関してであるが、これは今回マップ上に隠れ家が設定されているためであると考えられる。泥棒はたとえ隠れ家に隠れても、勇敢な泥棒になってしまえば隠れ家から出ていく。よって勇敢になる確率が高いほど、隠れ家から出てしまい、警察につかまってしまう可能性が高くなる。一人だけ勇敢になって隠れ家から出ていっても、刑務所に到達する前に警察に捕まってしまう場合が多い。ただし、勇敢度をさらに極端にあげた場合、一

度に刑務所に向かう泥棒の数が増えるため、警察が対処しきれなくなり、刑務所に到達できる泥棒が出てきてどろけいは長く続くようになるかもしれない。今回、「連携攻撃」は周囲 5 マス以内に泥棒が 10 人以上という、かなりきつい条件が満たされないと実行されないため、実際に行われたことは少なかった。ただし、実行された場合には何人かの犠牲を伴いながらも、数人の泥棒が刑務所まで到達できることが多いようである。

に関しては直感的にも納得が行く。勇敢度が高い泥棒に対して有効であるのは、勇敢度の高い泥棒は牢屋に近づく可能性が高いために守備警察に駆逐されやすいためである。

基本警察と迎撃警察を見比べた場合、迎撃警察のほうが戦略として有効であるように思われる。勇敢な泥棒は刑務所に到達して捕まえた泥棒を解放させてしまう可能性があるため、勇敢な泥棒を優先させて捕まえたほうが早く泥棒を全滅させられるというのももっともであろう。ただし、猪突 15 とバラバラ 15 に対しては基本警察より弱くなっている。勇敢度が 15 の場合はすぐに全泥棒が勇敢な状態になってしまうので、迎撃警察は基本警察と変わらない動きをする。しかし、牢屋解放直後は泥棒は通常の状態に戻って、牢屋の周りに散らばるが、迎撃警察はこの泥棒たちよりも牢屋から離れた緑色の泥棒を追いかける。その結果、牢屋の周りが手薄になって解放を繰り返すので終了までのステップ数が大きくなる。慎重 15 に対しては基本警察より強いがこのタイプの泥棒は勇敢な状態になって警察を感知するまでは牢屋に近づくが、すぐに迎撃警察に近づかれるためになかなか牢屋に近づけない。そのため牢屋と木の間の領域にいることが多くなり、駆逐されやすくなるためである。

なお、今回は防衛警察戦略は防衛警察エージェントと基本警察エージェントで行ったが、基本警察エージェントを迎撃警察エージェントで行えば、さらに有効な戦略になるかもしれない。

5. 結び

以上、ABS でどろけいモデルを構築し、警察、泥棒双方のいくつかの戦略で対戦を行ってみた。すでに指摘したように、現在のモデルでは別々の行動ルールを持つエージェントを同時に動かすことも可能である(たとえば基本警察エージェント、迎撃警察エージェント、防衛警察エージェント、猪突猛進な泥棒エージェント、慎重な泥棒エージェント、バラバラ行動の泥棒エージェントを一斉に行動させる)。また、今回プログラミングした行動ルール以外にも、有効であると考えられる行動ルールもある。泥棒の勇敢度に関しても、もっとさまざまな度合いで試行を行ってみると面白い結果が出てくるかもしれない。これらを考慮しつつ、今後さらなるモデルの精緻化を図ることが有用であろう。