

Title	マルチエージェント系における集团的戦略変更に関する研究
Author(s)	吉田, 憲世
Citation	
Issue Date	2001-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1435
Rights	
Description	Supervisor: 東条 敏, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

マルチエージェント系における 集团的戦略変更に関する研究

指導教官 東条 敏 教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報処理学専攻

吉田 憲世

2001 年 2 月 15 日

要 旨

複数のエージェントからなる集団が、動的な環境の下で共通の目的を達成しようとする場合、個々のエージェントが直面している局所的問題の解決と、集団全体が持つ大域的目標の達成をうまく整合させる必要がある。

このような状況下における解法の 1 つとして、エージェントに複数の戦略を持たせ、環境の変化にあわせてエージェントが採るべき戦略を選択する方式が挙げられる。あるエージェントが、集団にとって不利益を及ぼすような臨界状態を感知したとき、このエージェントは他のエージェントに戦略を変更して臨界状態を回避させるための通信を行う。

この戦略変更の判断材料となる情報を送受信する方法として、二つのアプローチが考えられる。一つは大域的な通信を使って全てのエージェントに通信を行う方法で、系を構成するエージェントが全てが等しく情報を享受できるという長所を持つが、長距離通信や通信における情報分配による処理数の増大によって無視できない遅延を生み出すという短所を同時に併せ持つ。逆に、局所通信を使う方法は情報伝達に対する遅延は発生しないが、情報源から発生した情報が漸時拡散していくことから、エージェントの戦略変更に利用できる判断材料が空間上の位置によって異なる現象が起きてしまう。

そこで、本研究では局所通信系を使いつつも、その短所を補う方式について提案を行う。具体的には、緊急に必要ではなくても将来の戦略変更に利用できる可能性のある情報をあらかじめ流布させておくことで、実際にその情報が必要になったときに空間上の位置によって生じる受け取る情報量の格差を埋める方式の研究を行う。

実際に「エネルギー補給問題」題材にして実験を行い、提案モデルが実際に目的達成に有用であることを示すことができた。だが、この提案モデルは平常時から通信を頻繁に行うため、通信コストの総計が高くなってしまうという課題が残ってしまう結果となった。

目 次

1	はじめに	1
2	研究に関するサーベイ	3
2.1	研究の背景	3
2.2	エネルギー補給問題と Blind Hunger Dilemma	4
2.3	Blind Hunger Dilemma の特徴	6
3	シミュレーションでの基本モデル	9
3.1	系全体の設定	9
3.2	エージェントの戦略とアルゴリズム	11
3.2.1	通常型戦略	13
3.2.2	扇動者型戦略	14
3.2.3	移動型戦略	17
4	シミュレーションの結果と検証	19
4.1	各種パラメータについて	19
4.2	通信のコストに関する比較	20
4.3	待機時のエネルギー消費率に関する比較	22
4.4	提案モデルにおける情報の信頼度に関する比較	26
4.5	提案モデルにおける通信の可否を制御する閾値に関する比較	29
5	まとめ	34

第 1 章

はじめに

複数のエージェントからなる集団が、動的な環境変化の下で共通の目標を達成しようとする場合、個々のエージェントが直面している局所的問題の解決と、集団全体が持つ大域的目標の達成をうまく整合させる必要がある¹。

このような状況下における一つの解法として、全てのエージェントに複数の戦略を持たせておき、環境の変化に合わせてエージェントが取るべき戦略を選択する方法があげられる。

あるエージェントが、集団全体に不利益を及ぼすであろう臨界状態を感知したとき、この臨界状態の発生を他のエージェントに知らせる方法が二通り挙げられる。一つは臨界状態を感知したエージェントが大域的な通信を用いて全てのエージェントに情報を知らせる方法。もう一つは局所的な通信を用いて情報をエージェント間で次々と伝播させる方法である。前者の方法は、一つの情報源から出された情報（集団全体の意志決定の材料）を全てのエージェントが平等に享受できる長所がある一方、長距離通信や情報分配による処理数の増大により情報伝達に対する無視できない遅延が生み出されるという短所を持つ。逆に後者の方法は、情報伝達に対する遅延は発生しないが、情報源からの情報が漸時拡散してしていくことから、エージェントが戦略変更に利用できる材料が空間上の位置に応じて異なることになる。

そこで、本研究では局所通信であっても、戦略変更のための情報をより効果的に伝播できるモデルの提案を行う。具体的には、例え緊急に必要ではなくても、将来の環境の変化によって必要になってくる可能性のある情報をあらかじめ伝播させておくことで、空間上の位置によるエージェントの享受できる情報の格差を埋める研究を行う。

¹例えば、危険な区域で仕事を行うエージェントが故障が発生するような危険が近付いたと感知した場合、集団全体の目標のために動き続けるメリットよりもエージェントの故障によって集団全体の数が減少するデメリットが大きい場合がある。このとき危機に直面すると予測されるエージェントは一時的に作業を放棄し、危険をやり過ごす方がよいだろう。

以下, 第 2 章では研究の背景に関するサーベイ, 第 3 章では自分の提案するモデルの説明, 第 4 章ではこのモデルの検証を行う.

第 2 章

研究に関するサーベイ

2.1 研究の背景

前章で記述したように, エージェントに対して通信を行う際に, 2 通りのアプローチが考えられる.

環境の変化を察知したエージェントが残り全てのエージェントに対して通信を行なう方法の場合, 長距離の通信, 情報分配のために遅延が発生するが, この遅延は, 環境や系の設定次第で無制限に大きくなりうるものである.

そこで, 沼岡 [1] は, 局所通信を利用する方法で局所的な環境変化によって一部のエージェントが戦略を変更した場合に, 最終的に集団として新たに発生した戦略に移行することが可能であるかを研究した. 空間中に共有の補給基地が一箇所にのみ置かれている状況を考える. エージェントの目的は, 効率良くエネルギーの補給を行ない生存することである¹. 最悪の場合, 全てのエージェントが同時にエネルギー補給を必要とし, 一箇所に集まってくる. このとき, エネルギーを求めて補給基地に群がるエージェントと, 補給が終り補給基地から離れようとするエージェントの間で衝突が起こる.

この問題を Blind Hunger Dilemma と呼ぶ. 沼岡は, このとき”扇動者”と呼ばれる周囲に戦略変更を促す通信を発信するモードをエージェントに組み込むことで混雑を回避している. 扇動者モードには, エージェントが環境の変化によって集団全体に不利益を及ぼすような臨界状態を感知したときに切り替わる. このとき, 自身は環境の変化が及ぼす不利益 (Blind Hunger Dilemma で言うなら混雑) を回避する戦略型のみを採るようになり, かつ周囲にも扇動者モードに切り替わったことを知らせる通信を行う. これによって扇動者モードが伝播していき, 集団全体 (もしくは臨界状態と直接関係ある集団の一部) として臨

¹沼岡は, 自律ロボットを考えた場合, 定期的なエネルギー補給は重要な問題である, としている.

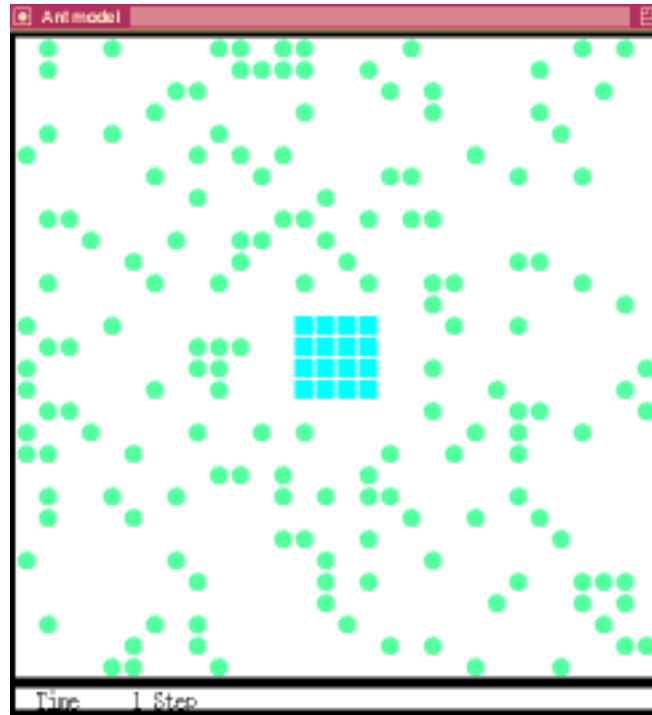


図 2.1: エネルギー補給問題

界状態を回避する方向へ戦略変更がなされる。

しかし, この Blind Hunger Dilemma の問題設定はエージェントが1ヶ所に集まりやすく, 局所通信のデメリットが表れにくい問題設定である。また, マルチエージェントを分散協調システムとして見た場合, 全てのエージェントが固まって動くという設定は現実でも例の少ない特殊な状況を想定した問題設定のように思える。

そこで, 本研究ではエージェントが戦略変更を促す際の通信の範囲を局所的なものにし, かつエージェントが比較的ばらけた状態でもうまく戦略の変更を行なうことが可能な方式の作成を目指す。

2.2 エネルギー補給問題と Blind Hunger Dilemma

詳しい問題設定を行う前に, ここでエネルギー補給問題と Blind Hunger Dilemma [2] に関してもう少し詳しい説明を行う。

エネルギー補給基地があり, そこでエネルギー補給口の数がそこに集まる可能性のあるエージェントの数に比べて十分小さい状況を考える。このような制約があるときに, エー

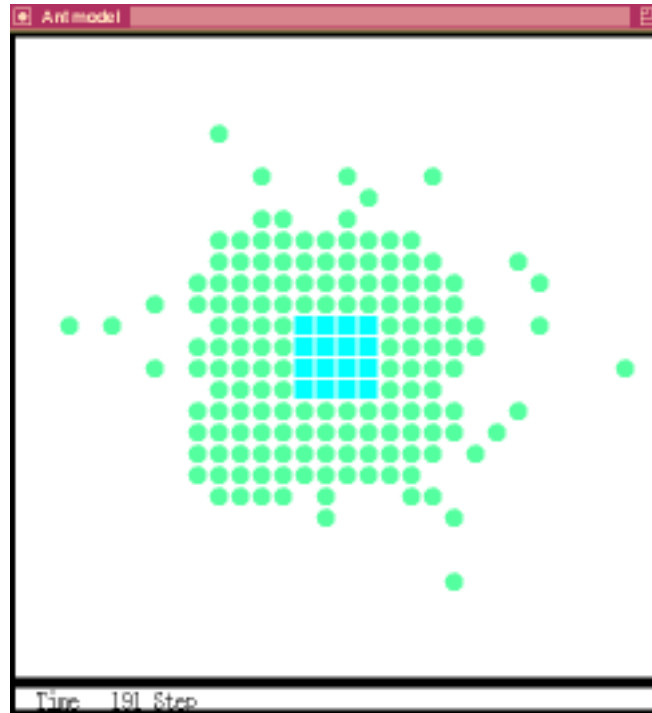


図 2.2: Blind Hunger Dilemma

エージェントはどのように行動すればエージェント全体として効率よくエネルギーの補給を行うことができるかという問題をエネルギー補給問題 (図 2.1) という。

補給基地からは常に何らかの刺激 (匂いや光, 信号など) を発している。この刺激は補給基地から離れる程距離の 2 乗に反比例して弱くなっていく。エージェントはこの刺激を参照することにより, エネルギー補給場所の方角 (これは, いわば嗅覚のようなもので正確な距離までは分からない) を知覚することができる。また, エージェントの視界と通信距離も限られたものとなる。このような限られた制約の中で, いかにしてエージェント全体として効率よくエネルギーを補給することができるかが問題の焦点となる。

エネルギーを消費したエージェントは早く補給基地に取り付きたいのだが, 全体のエージェントの動きを知ることはできない。仮に多数のエージェントが一度にエネルギー補給が必要となり補給基地に集まった場合, 補給口により早くたどり着いたエージェント以外は, 補給基地周辺で凝集した形で, 順番を待つことになる。

エージェントが補給基地周辺で十分に秩序だった行動がとれるように設計されているならば, 列を作るなどして一定時間以内にエネルギーを必要としているエージェントが全て補給を行うよう行動することができるだろう。しかし, エージェントが非常にプリミティ

ブな行動しかとれない場合、補給を完了した一番内側のエージェントは周りを囲まれてしまい動きがとれなくなり、他のエージェントはそれら補給を完了したエージェントが補給口から動けないため補給できないという状態に陥る (図 2.2). この状態を Blind Hunger Dilemma と呼ぶ.

そこで、このような状態に陥らないように、集団として自発的にできるだけ効果的にその状態を回避するような機構が必要となる. 2.1 章で書いたように沼岡はエージェントに扇動者というモードを組み込むことによってこの問題を回避する研究を行っている. また、戦略変更とは観点が違うが、エージェントに単純な行動習性のみを与え、非線形ダイナミクスを用いることによって、秩序だった行動が自己組織化されないか調べる研究も栗原、岡田ら [4] によって行われている.

なお、この問題は設定はエージェント同士が接触、またはローカルな視覚と通信手段しか使えないような状況において共同作業をする場面を想定したものである. 例えば、未知の世界の探索や複雑な環境では構造が単純で丈夫なロボットを多数協調させる方がリスクが小さい. しかしながらうまく協調動作を行わないと目的を達成することはできない. このような場合にロボット間で常に大域的な通信が行える可能性は保証できず、集中制御系を考えることは妥当ではない.

2.3 Blind Hunger Dilemma の特徴

本研究では前出の論文との比較を行えるという観点から、Blind Hunger Dilemma に基づいた実験を行なうことにした. そこで、実験を行うにあたって、問題の特徴を調べた.

Blind Hunger Dilemma の設定から読みとれることは、「多数のエージェントに対して資源を提供する少数の窓口があり、この資源を巡って混雑が引き起こされる」というものである. そこで、実験の環境と似た事例が現実の世界にないか調べることにした. 人工的な世界よりも、できるだけ現実の世界をモデルに近い設定を用いた方が、現実世界への応用・フィールドバックが可能だからである.

以下は、自分で調べた、同様の性質 (多数のエージェントに対して資源を提供する少数の窓口があり、この資源を巡って混雑が引き起こされる) を持つシチュエーションの例である.

- 自家用車とガソリンスタンド
- 人間と食料品店・コンビニエンスストア・レストラン等
- 動物と餌場・砂漠のオアシス等

- 人間と ATM
- フリーのエンジニア・ライター等とその仕事

これらの例題は体 (機体) を動かすのに必ず必要になる資源を提供する類のものである。後者 2 つは貯金を引きおとしや給与の受け取りなど、生活を行なうために必要になってくる金銭の受渡しを行なうものである。このような全てのエージェントに対しての必需品を取り扱う場面・業界では、このような混雑が起こりやすく、また必需品の需要量もエージェントごとのばらつき (個体差) が少なく、コンピュータ上に再現しやすいと考えられる。

- レンタルビデオ店
- チケット売り場

また、必需品を供給しているわけではないが、このような娯楽・サービスを提供するところでも、人気があったり希少価値があれば同様の混雑が出来てくると考えられる。もっともこの場合、提供する資源は満足度などのあいまいなものになると考えられるので、パラメータなどの設定が上記のものより難しいと考えられる。

- 多数のユーザ・ジョブが少数のマシン・サーバにアクセスする
- 建築や工事等の資材とその補給

この 2 つは、何か物事を進めるために必要になってくる類のものである。これらは上記の必需品の供給する場合と同じく、供給される資源が無いと物事が先に進まなくなる性質があるため混雑が予想される。だが、場面によって必要な資源の量にばらつきがあったり、エージェント数自体が不定である場合があるなど、コンピュータ上での再現は若干難しいものと考えられる。

これらの事例に共通していえることは、(特に人間相手の時に) レジや ATM など列を作る窓口が存在することである。先ほど記述したように、資源の供給を受ける際に列をつくるのが最も効率が良いと思われるため、特に人間相手の時は同様のシチュエーションが多いと考えられる。しかし、人間も集中制御された存在ではなく、視界も有限なので、例えば補給基地を店舗単位の大きなもので考えれば、十分 Blind Hunger Dilemma と同様の状況を作り出すことが可能であると考えられる。

しかし、上記の例をそのままモデルとした場合でも、地域差などでパラメータが変化するので、問題設定が非常に難しくなってしまうおそれがある。加えて、「自家用車とガソリン

スタンド」の例や「人間と食料品店・コンビニエンスストア・レストラン等」の例などは、本人の不注意でもない限りエネルギー切れることなど無いことから分かるように、補給口の数が十分用意されている、問題に適さない (Blind Hunger Dilemma 自体が起こらない) 例も多くある。実際に日本の都道府県別面積 [12] と全国の給油所 (SS) 数 [13] をパラメータとして実験してみたが、特にエネルギー切れになるエージェントはでてこなかった。よって、これらの事例からうまく特徴をつかみ、抽象化することが大切だと思われる。

以下に、上記 9 つの問題に対して共通していると思われる性質を記述しておく。

- エネルギーを消費する時間に比べて、補給する時間はごく僅かですむ

生物においても機械においても、活動する時間に比べて補給のための時間はわずかで済む。

- 移動時のエネルギー消費量に比べて、待機時の消費量は少ない

生物の場合、起きて活動している時と寝ている時とでは寝ている時の方がエネルギー消費量は小さいし、機械は電源 off にすると消費量を限りなく 0 に近くすることができる。

- エージェントは基本的に、補給 → 離れる → 活動する → 補給に向かう、という行動を繰り返すことになる

単純に邪魔になるという理由の場合もあるが、仕事などやらなければならないことがある (人間)、その場に留まっていると危険である (自然界の動物) などの種々の理由で、補給を受けた後その場から離れないケースは非常に少ない。また、補給後に再び補給に戻るのはエネルギーが非常に少なくなってからである。エネルギーが少なくなってきたから徐々に補給基地との距離をつめるなどというケースはほとんどない。

第 3 章

シミュレーションでの基本モデル

3.1 系全体の設定

30 × 30 マスのフィールドに 160 体のエージェントと 16 個の補給口がある環境を考える. 補給口 1 個あたり 10 体のエージェントが補給に来るとするのは, 問題設定の大前提である「エネルギー補給口の数在那里に集まる可能性のあるエージェントの数に比べて十分小さい状況」に当てはまる. 9 マス内にエージェントが 1.6 体という密度も局所通信系を扱うのであれば, 十分現実的な数字である.

エージェントは 1step 毎に縦横斜めの 8 方向に動くか, その場に留まるかの 9 種類の行動のうち 1 つを選んで実行できる. エージェントは動けば 0.5%/step, 動かなければパラメータ $C_{stop}\%/step$ ($C_{stop} \leq 0.5$) のエネルギーを消費する. 時刻 t での移動に関するエネルギーの消費量を $C_{move}(t)$, エネルギーの最大値を $FULL$ とすると,

$$C_{move}(t) = \begin{cases} FULL \times 0.5\%, & \text{when agent move} \\ FULL \times C_{stop}\%, & \text{when agent don't move} \end{cases} \quad (3.1)$$

となる. 仮に, エージェントがたえず動きまわるなら, エージェントは 200step 弱に一度補給を受けなければならないことになる. 移動時に対して, 待機時はエネルギーの消費量が小さい. C_{stop} の値はエージェントがどのようなものを想定するかで変わってくる. 例えば, 動物や眠ったり機械が待機状態になったときは, その消費エネルギーは極わずかとなる. このような場合は C_{stop} は限りなく 0 に近くなる. 対して, 待機時もエージェントは何らかの仕事をしていると考えるのが自然だとするならば C_{stop} の値は 0.5 に近くなる.”移動”自体に必要なエネルギー量と, エージェントの仕事のエネルギー量の比が 2 : 3 ならば移動時

消費量 0.5 に対して C_{stop} は 0.3 になる¹ .

なお, C_{stop} の大きさの変更が必要なシミュレーションを行うとき以外は $C_{stop} = 0.25$ と値を固定して実験を行うことにする. これは, 人間の消費カロリー表 [14] において, ” 散歩 (歩く) ” の消費カロリーと ” 立ち仕事 ” の消費カロリーがほぼ同等だったからである. エージェントがロボットや機械であることを考えたとき, この値はエージェントの用途や仕事の内容によって如何様にも変動すると思われるので, 移動に必要なエネルギー消費量とエージェントが目的を達成するための仕事のエネルギー消費量を等価として単純化させてもらった.

また, エージェントが通信を行った場合にも, 一回の通信毎に一定の値のエネルギーを消費する. この値も実験時にパラメータとして変動させているが, パラメータを固定する場合は単純化のため $C_{com} = 0.25$ とさせてもらった. 局所通信という設定なのでエージェント同士の通信は, 発信元のエージェントの周囲 8 マスに存在するエージェントのみが受信できるものとする.

よって, 時刻 t でのエネルギーの値を $E(t)$, 通信に関するエネルギー消費量のパラメータを C_{com} , 時刻 t に $n(t)$ 体のエージェントに対して通信を行ったとすると,

$$E(t+1) = E(t) - C_{move}(t) - (C_{com} \times n(t)) \quad (3.2)$$

となる.

エージェントが感知できる事象は ” 視界内にどのエージェントが存在するか ” と ” 補給口から発生する刺激の大小 ” のみである. 前者はエージェントが接触しているか (通信できるか) と, 視界内にどの程度の密度でエージェントが存在するかの判断に, 後者は補給口の向きと補給口と近いか遠いか (いわば嗅覚のようなもので, 正確な距離は分からない) の判断に使用する.

補給基地の上下左右には補給口が設置されており, エージェントはここに取り付くことによって補給を受けることができる. 1 体のエージェントが補給を終えるのに 1step の時間がかかる. 例えば, 自動車は給油無しでも何時間もかけて走行することができるのに, 給油は (タンクの容量にもよるが) もの 10 分弱ですんでしまったり, 電池式の機械の電池交換がものの数分で終わるように, 機械の稼働率を考えた場合約 200step 弱に 1step の補給行動という値は現実的な値だと考えられる² .

¹ エージェントは移動時も変わらず何らかの活動をしており, 動く場合は ” 移動 ” + ” 仕事 ” 分の消費量. 立ち止まっている場合は ” 仕事 ” 分のみを消費すると考える.

² エージェントが (現在の技術での) 充電式のロボットだと仮定した場合などは, この値は不自然かもしれない

研究の目的が,” エージェントが1箇所に集まらなくとも局所通信系で戦略の変更を行える方式の提案” なので,16の補給口が全てフィールドの中央に集まっている場合と,補給口を4個ずつ4箇所に分散させてエージェントがフィールド上にまんべん無く存在する場合の2パターンを比較して実験を行う.

3.2 エージェントの戦略とアルゴリズム

本研究では,比較のためにエージェントを3種類用意する.

- 戦略を1種類(通常型戦略)しか持たないもの

Blind Hunger Dilemma に直面しても戦略変更して事態を改善できないものである. 通常型戦略は,補給を終えた後に補給基地から離れるように行動し,エージェントが感知する刺激値を参照して,補給基地からある程度離れたと判断してからランダムに動くようになる.エネルギーがある閾値以下になったときに補給を受けるために補給基地に向かう行動を行う.

このエージェントは,関数 $flag_1$ と $flag_2$ (p12 参照) を *on* にできない.

- 沼岡が実験した,通常型戦略の他に扇動者戦略を持ったもの

Blind Hunger Dilemma に直面したとき,混雑の内側にいるエージェントから逃げ道を開けてもらうために,エネルギーが少ないエージェントであっても一時的に補給口から離れる行動をとるように戦略変更を行う通信を発信する.扇動者戦略自体が補給口から離れる動きをするようにできており,これが伝播することによって混雑が解消される(図 ?? 参照).

このエージェントは $flag_2$ (p12 参照) を *on* にできない.

- 本研究が提案するモデル

通常型,扇動者の2つの戦略の他に,混雑の外側で Blind Hunger Dilemma に直面したエージェントが,混雑を解消するためにすいている補給口を目指す3種類目の戦略を有する.この戦略を有効に活用するためには,補給を終えたエージェントが視界の中にどれだけのエージェントが存在するかを確認し,すいていると判断すればその情報を広めるための通信を行わなければならない.

このタイプのエージェントが補給を終えたとき,その時刻 t での補給口 $SB(x, y)$ から見える視界内のエージェントの数 $Num(x, y, t)$ がある閾値 Few 以下の場合,その

補給口を” すいている補給口” としてその座標を記憶しておき, エージェント中に伝播させていく (p11 参照). ただし, 補給口の混み具合は時間が経つ毎に変化するものであるため, 時間が経つほどその情報は信頼できないものとなる. そのため, エージェントは” すいている補給口の座標” の情報だけでなく, ” 残り何 step 後までその情報が信用できるか” という基準 (仮にこれを情報の信頼度呼ぶ) を同時に持たなければならない. 情報の信頼度 $Trust(t)$ はすいている補給口を感知したときにパラメータ $Hold$ と同値になり, 以後 1step 毎に 1 ずつ減っていく.

$$Trust(t) = \begin{cases} Hold, & Num(x, y, t) \leq Few \text{ when supply energy} \\ Trust(t-1) - 1, & \text{other} \end{cases} \quad (3.3)$$

エージェントは $Trust(t) > 0$ かつ, $E(t) > M$ の間³, すいている補給口の座標 $SB(x, y)$ と $Trust(t)$ の情報を伝播させていき, $Trust(t) \leq 0$ になればその情報を破棄する.

この方式は通信の回数が増える性質上, 多少余分なエネルギーを使わなければならないが, 前もって戦略変更に必要な情報を広めておくことで” 効率良くエネルギーの補給を行い, できるだけ多くのエージェントを生き残らせる” という目的に非常に有効に作用すると思われる.

戦略変更を行うべきかどうかの評価には, $flag_1(t)$, $flag_2(t)$ という関数を用いる.

$flag_1(t)$ は混雑の内側で, $flag_2(t)$ は混雑の外側でそれぞれ Blind Hunger Dilemma を感知したときに 1 となる関数で, これらの致命的な状態を回避する戦略変更を行う条件となっている. $flag_1(t)$ は移動方向 $D(t)$ の値が 4 以外 (4 はプログラム中で動かない, もしくは動けないことを示す. つまりエージェントが移動が可能) になったとき, $flag_2(t)$ はエージェントの座標 $A(x, y)$ が目的地 (すいている補給口) の座標 $SB(x, y)$ に近付いたときに 0 になる.

$$flag_1(t) = \begin{cases} 0, & D(t) \neq 4 \\ 1, & \text{when agent can't leave supply base} \\ flag_1(t-1), & \text{other} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$flag_2(t) = \begin{cases} 0, & (|SB(x) - A(x)| \leq 1) \wedge (|SB(y) - A(y)| \leq 1) \\ 1, & \text{when agent can't approach supply base} \\ flag_2(t-1), & \text{other} \end{cases} \quad (3.5)$$

³通信にエネルギーが消耗されるため, ある程度エネルギーに余裕がないと通信ができないようにするため. M はパラメータ (閾値).

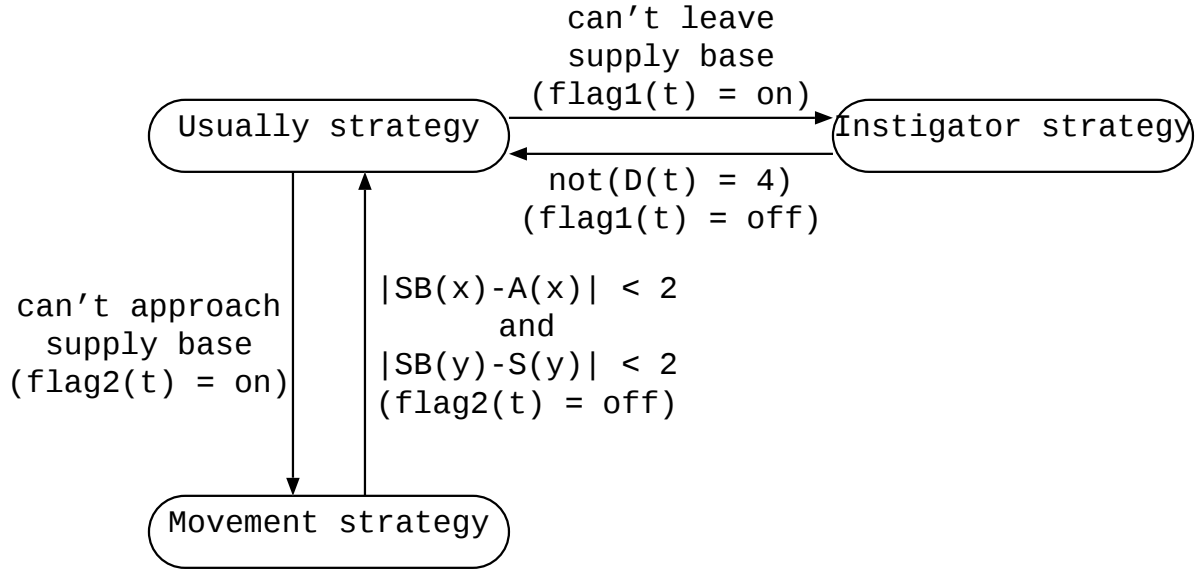


図 3.1: 戦略変更条件

3.2.1 通常型戦略

通常型戦略では, エネルギーが少なくなったら補給基地へ近付き, 補給を受けた後は補給基地から離れ, ある程度離れたと判断したときランダムに動くような戦略である.

エージェントは, まずエネルギーの残量 $E(t)$ を調べ, ある閾値 $Hungry$ 以下だと空腹状態 (図 3.2 の Hungry condition) となり, 補給基地に近付こうとする. 空腹状態では, エージェント自身が存在するマスを含む周囲 9 マスの刺激の値を大きい順にソートし, 各移動方向への優先順位を決定する. 次に, 優先順位の高い順からそのマスが空いているか調べ, 空いている中で一番優先順位の高いマスへ移動を行う. このとき, エージェントが現在のマスより刺激値の大きいマスへ移動できず, 同じマスにとどまる行動をとった場合, 補給基地の付近が混雑していると判断し, $flag_2(t)$ の値を 1 にする.

エージェントが空腹状態でない場合, 次に現在受けている刺激の量 $F(t)$ を参照し, ある閾値 N 以上だと補給基地に近い場所にいると判断して, 刺激の小さい方向へ移動しようとする (図 3.2 の Escape mode). この状態では, 上記とは逆にエージェント自身が存在するマスを含む周囲 9 マスの刺激の値を小さい順にソートして各移動方向への優先順位を決定する. 周囲のすいているマスの中で最も優先順位の高いところへ移動を行う. このとき, エージェントが現在のマスより刺激値の大きいマスへ移動できず, 同じマスにとどまる行動をとった場合, 補給基地の付近が混雑していると判断し, $flag_1(t)$ を 1 にする.

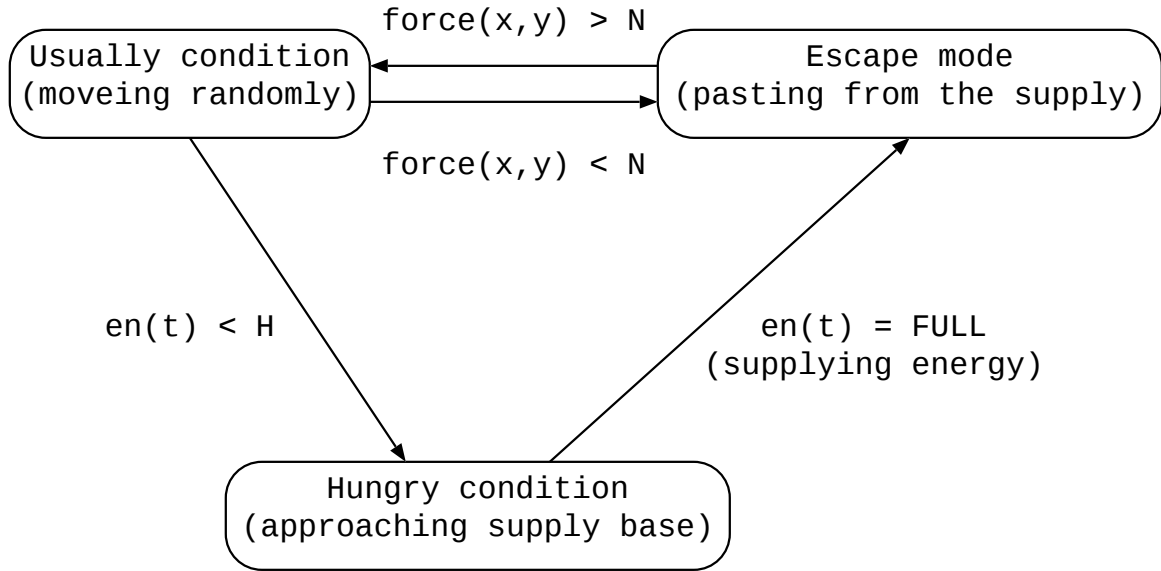


図 3.2: 通常型戦略の状態変更条件

上記の2つの状態に当てはまらない場合は、ランダムに動く (図3.2 の Usually condition).

図 3.3 にこの戦略のフローチャートを示す. $approachSB$ はエージェントの周囲9マスを刺激の大きい順ソートして移動方向の優先順位を決め補給基地に近付こうとする行動, $leaveSB$ はその逆順ソートで移動方向の優先度を決め補給基地から遠ざかろうとする行動である. $D(t)$ は時刻 t で進んだ方向を示し, 0 は左上, 1 は上, 2 は右上, 3 は左, 4 は中央 (動かず), 5 は右, 6 は左下, 7 は下, 8 は右下を示す. また提案モデルの場合, 移動の後さらに通信可能範囲にエージェントがいないか調べ, 伝えるべき情報があれば ($Trust(t) > 0$) 通信を行い情報を伝播させる行動をとる.

3.2.2 扇動者型戦略

補給を終えた後, その場から脱出できない状況を感じた ($F(t) > N, D(t) = 4$) ときに, エージェントは扇動者戦略を採るようになる.

まず, 自分の座標の刺激より値の大きい方向 (つまり補給口より遠ざかる方向) のエージェントに同じ扇動者型戦略を採るように ($flag_1(t) = 1$ にパラメータを変えるように) 戦略変更を促す通信を行う. その後, 扇動者自身は補給口から遠ざかろうとする行動 (通常型戦略の escape mode と同じ行動) をとる. このときエージェントの移動方向が $D(t) \neq 4$, つまり移動が可能であったときに混雑が解消されたと判断して $flag_1(t) = 0$ となる.

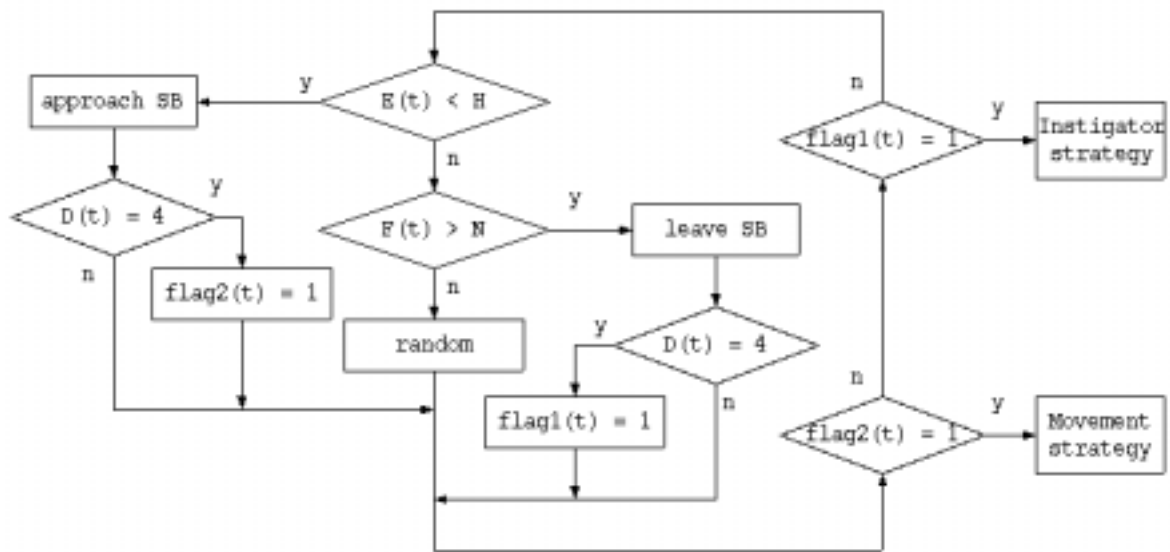


図 3.3: 通常型戦略のアルゴリズム

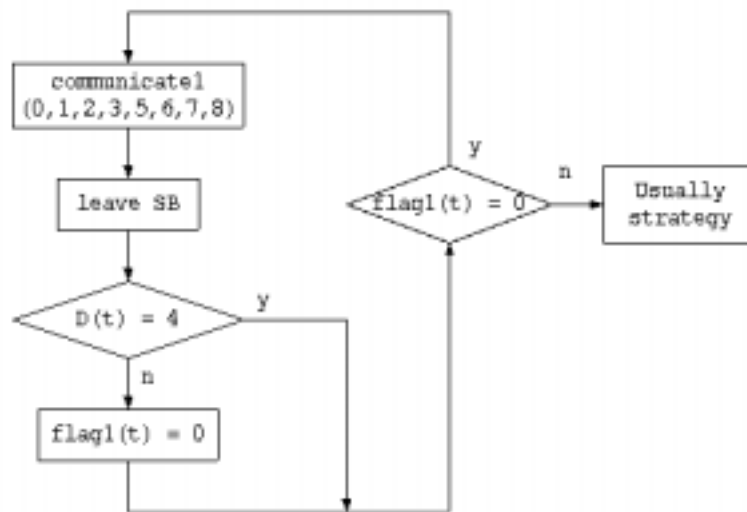


図 3.4: 扇動者型戦略のアルゴリズム

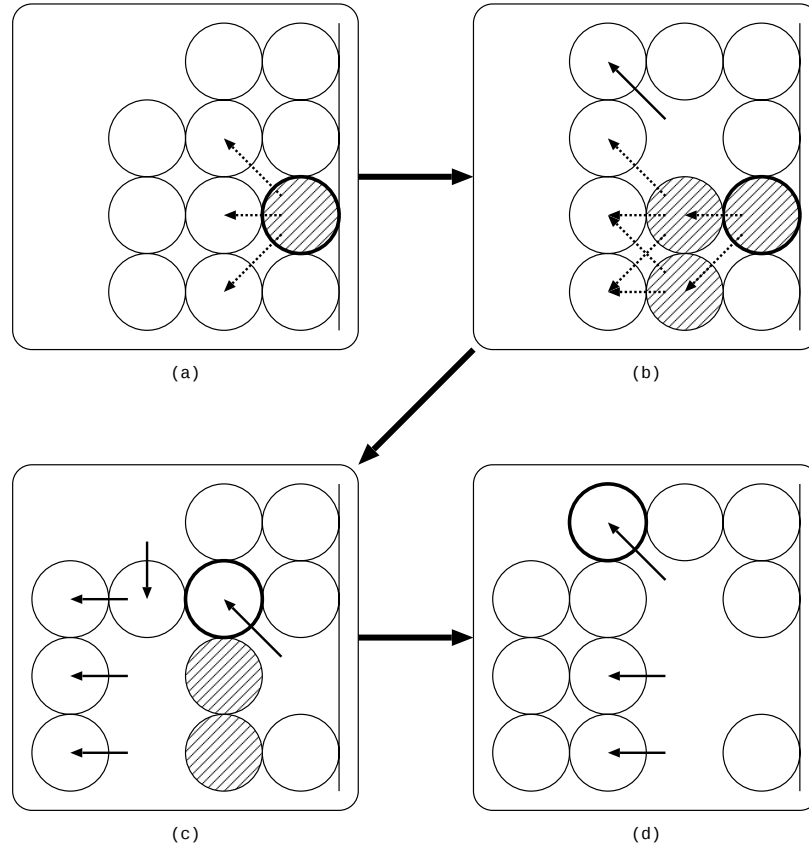


図 3.5: 扇動者が混雑を解消する様子

図 3.4 にこの戦略のフローチャートを示す. $communicate1(0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8)$ は, 方向 0 ~ 3, 5 ~ 8 にいるエージェントのうち, 刺激値が自分の座標より高い方向にいるものだけにのみ通信を行う関数である.

実際にこのエージェントが混雑を解消するのは, 補給口に取り付くエージェントの 2 層目, 3 層目のエージェントにこの扇動者戦略が伝染していき, 外側から脱出口が開く形になると思われる.

図 3.5 はこの様子を示している. 図中, 太線の $\circ$ で示した補給済エージェントが戦略変更のための通信を外側のエージェントに向かって発信している (a). 通信を受信したエージェントはそれぞれ外側へ脱出しようと移動を開始したり, さらに扇動者になって外側への脱出口を開けようと通信を開始する (b). そうして開けられた脱出口を補給済エージェントが通過し, 開いた空間へまだ補給を終わっていないエージェントが入り込む (c)(d).

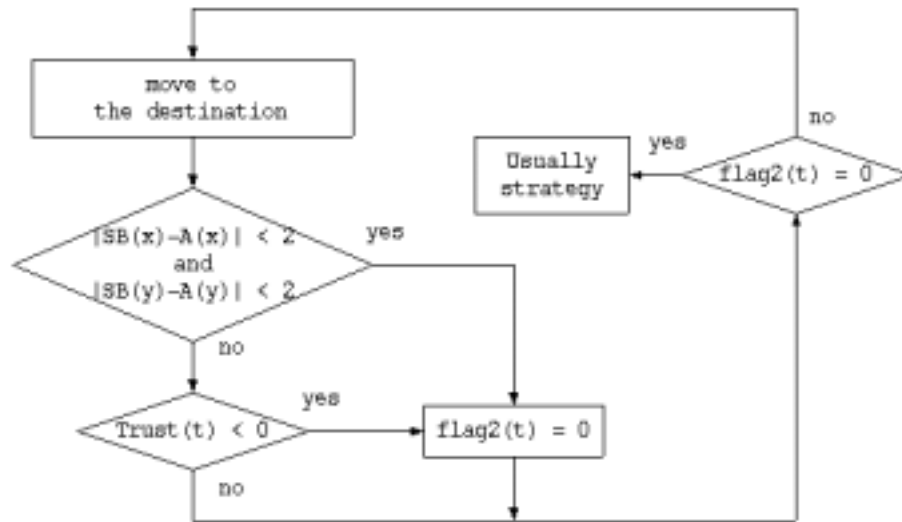


図 3.6: 移動型戦略のアルゴリズム

3.2.3 移動型戦略

補給をしようと補給基地に近付こうとして混雑を感知し、かつ、今取り付こうとしている補給口以外に現在すいているであろう補給口の位置を知っている場合、エージェントはこの戦略を採るようになる。

エージェントは、まず現在値と目的地の差から目的地へ到着するための方向を計算し、優先順位をソートする。もし、移動方向に邪魔なエージェントなどの障害物が存在するようなら、右手法⁴を用いて迂回するようにする。さらに、エージェントが通信を行う余裕がある ($E(t) > M$) と判断した場合、すいている補給口の位置を教える通信も行う。そして、目的地の近くについたとき ($(|SB(x) - A(x)| \leq 1) \wedge (|SB(y) - A(y)| \leq 1)$)、もしくは情報の信頼度が無くなったとき ($Trust(t) < 0$) に $flag_2(t) = 0$ となって通常型戦略に戻る。

図 3.6 にこの戦略のフローチャートを示す。 *movetothedestination* は、目的地に移動するための方向を計算し、右手法で障害物を迂回するよう移動方向を計算する関数である。

この移動型戦略は、エージェントが空腹状態 ($E(t) < H$) になってから現れる戦略であるが、もし空腹状態になる閾値 *Hungry* よりも通信を行う余裕があると判断する閾値 M の方が小さい場合、この戦略に切り替わる瞬間は、外側から混雑を解消する (戦略変更を促

⁴右側の壁に沿って移動する手法

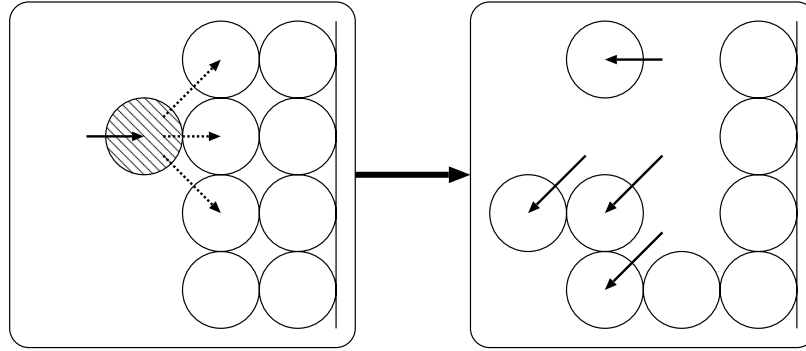


図 3.7: パラメータ $Hungry < M$ の場合の移動型戦略に切り替わる瞬間

す) 扇動者になりうる (図 3.7).

もしこれが実現すれば, ”あるエージェントが集団全体に不利益を及ぼすであろう臨界状態を感知したとき, この臨界状態の発生をできるだけ早く他のエージェントに知らせる” というエージェントの戦略変更に関する研究の目的と, ”緊急に必要ではなくても, 将来の環境の変化によって必要になってくる可能性のある情報をあらかじめ伝播させておくことで, 局所通信系であっても空間上の位置によるエージェントの享受できる情報の格差を埋める” という本研究の目的とをうまく両立させることができると考えられる.

第 4 章

シミュレーションの結果と検証

4.1 各種パラメータについて

ここで各種パラメータについて設定しておく. 比較実験においてパラメータの変更を行うとき以外はこの値を守ることとする.

まず, エージェントの稼働率を考えると, すぐに空腹状態になって補給に向かうのは効率がいいとは言えない. 一方でなかなか補給に向かわないように設計するとエネルギーが切れるエージェントが続出してしまう. エージェントが動かないときのエネルギー消費量 C_{stop} を $0.25(\%)$, 1 回の通信のエネルギー消費量 C_{com} を $0.25(\%)$ としたとき, 補給口 16 個を全て中央に集めた場合 (以後これを World 1 と呼ぶ) は 空腹状態となる閾値 $Hungry$ が $20(\%)$ で, 補給口を 4 箇所に 4 個ずつ分散させた場合 (以後これを World 2 と呼ぶ) では $Hungry = 15(\%)$ で比較可能で, かつエネルギー切れのエージェントが少なめの結果が得られた. よって, これらの値でシミュレーションするのが現実世界でもフィールドバックしやすいと考えられるので, このパラメータで実験を行う.

前出の $C_{stop} = 0.25(\%)$ (移動時の半分) という値は, 移動時は”移動” と”仕事” に, 待機時は”仕事” にのみエネルギーを使っていると考えたとき, ”移動” の消費エネルギーと”仕事” の消費エネルギーを等価に設定したため. $C_{com} = 0.25(\%)$ も”通信” と”仕事” のエネルギー消費量を等価とした. 人間のカロリー消費量 [14] が大体この値になっているので参考とさせてもらった. これらのパラメータはエージェントをどんな機械 (もしくは生物) と想定するかで変わってくるものなので単純化させてもらった.

提案モデルで新しく得られた”すいている補給口”の情報を何 step 保持するかを決める $Hold$ の値は上記パラメータのとき 20 前後で最も良い数値が出たので $Hold = 20(step)$ を使った.

” すいている補給口” の情報をやりとりする通信を行う余力 (エネルギー) があるかどうかを判断する閾値 M は空腹と同時に状態が切り替わるという設定が自然だと感じたので *Hungry* と同じ値を使った。

エージェントの視界は周囲 1 マスのみで、補給が終った後、視界内に (自分を含め) 2 体以下のエージェントしかいなかった場合に、エージェントはその補給口を” すいている” と認識する。

以下の実験結果は、10000step の実験を 100 回試行した結果である。

4.2 通信のコストに関する比較

まず始めに、提案モデルがうまく働くのか¹ 調べる意味も含めて、1 回の通信にかかるコスト C_{com} を変化させて性能を比較してみた。

はじめに、16ヶ所の補給口を全て中央に固めたフィールドにて実験を行った (表 4.1, 図 4.1)。その結果、扇動者モデルと比べて、通信の機会が多くなったことによってエネルギーの減少が速くなり、頻繁に補給基地は向かわなければならなくなるが、” 集団全体に不利益をもたらす臨界状態を回避するのに役に立つ情報を事前に広めておくことで、局所通信系であっても情報空間上の位置における戦略変更の判断に使える情報の格差を埋める” という当初の目的はひとまず達成できたと考えられる。

エージェントが 1ヶ所に集まりやすい設定であるせいか、通信コストが上がるにつれて、必要以上の通信が仇になってかえってエネルギー切れが起こりやすくなったようだが、通信のコストが移動や作業に使うエネルギー量を越えてもある程度までは扇動者モデルよりもよい結果を残した。

表 4.2, 図 4.2 は、同じ実験を補給口が分散された状態で行ったものである。補給口が分散されたため、混雑はある程度解消される設定ではあるが、局所通信系では情報の伝達がやりにくい状況であるとも考えられる。

結果は、World 1 で実験したものよりもよいものであった。 C_{com} の数値を上げていっても、かなり上昇させるまでは扇動者モデルより死亡エージェント数が少なく、*Hungry* と M のパラメータは World 1 よりも生存に不利なのだが $C_{com} \leq 0.6$ までは補給の回数、エージェントの死亡数ともにより結果を示した²。この結果は、環境の設定的に単純に混雑が解

¹仮に通信のコストが 0 でも沼岡の扇動者モデルより効率が悪いようならば、わざわざ通信回数を増やしてまで改良した意味がなくなってしまう

²World 1 の $C_{com} \geq 0.8$ の平均補給回数の減少はあまりにも多くのエージェントがエネルギー切れになった結果なので、一概に比較できないと思われる

$C_{com} =$		0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%
無通信モデル	平均補給回数	3.260	3.260	3.260	3.260	3.260	3.260
	平均死亡数	144.00	144.00	144.00	144.00	144.00	144.00
扇動者モデル	平均補給回数	44.979	42.576	40.420	38.687	36.181	38.703
	平均死亡数	27.25	36.09	42.50	49.59	57.01	50.37
提案モデル	平均補給回数	52.806	66.064	79.810	66.064	102.525	89.070
	平均死亡数	4.17	6.90	9.07	6.90	18.06	17.82
$C_{com} =$		0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	
無通信モデル	平均補給回数	3.260	3.260	3.260	3.260	3.260	
	平均死亡数	144.00	144.00	144.00	144.00	144.00	
扇動者モデル	平均補給回数	31.863	33.119	25.977	26.811	20.242	
	平均死亡数	71.54	68.80	90.44	90.88	112.92	
提案モデル	平均補給回数	108.146	83.913	68.964	43.008	25.225	
	平均死亡数	47.02	87.54	110.35	135.73	144.74	

パラメータ : $Hungry = 20(\%)$, $M = 20(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.1: World 1 での通信コストの比較による各モデルの性能の比較

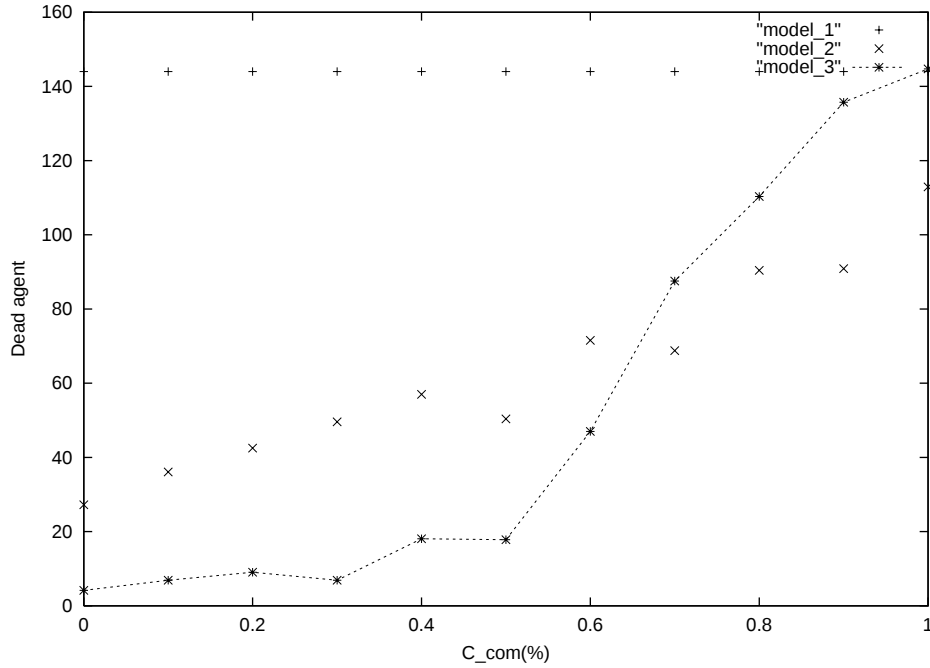


図 4.1: World 1 での通信コストの比較による各モデルの性能の比較

消された結果だけではなく、補給基地の混み具合に偏りが現れた場面で他の補給基地に移動する場面が実際に見られたので、情報のやり取りもうまく機能しているものと思われる。

補給口の混雑の差というのは、World 1 のようなエージェントが 1ヶ所に集まるような環境では起こりにくいと考えられる。その点では”すいている補給口の情報” というものは World 2 の方が有効に活用できると思われる。そして、シミュレーションの結果で実際によい結果を出しているということは、その情報をエージェントが 1ヶ所に集まらない(分散した)場面でも局所通信系でうまく情報のやり取りを行うことができていることを示していると思われる。

4.3 待機時のエネルギー消費率に関する比較

次に、エージェントが待機時のときに消費するエネルギー量 C_{stop} のパラメータを変更して比較する実験を行った。

この C_{stop} の値の変動はエージェントにどんなものを想定するかに関わってくるパラメータである。このシミュレーションではエージェントのエネルギー補給時の行動のみを

$C_{com} =$		0%	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	1.0%
無通信モデル	平均補給回数	6.082	6.082	6.082	6.082	6.082	6.082
	平均死亡数	144.99	144.99	144.99	144.99	144.99	144.99
扇動者モデル	平均補給回数	50.314	49.707	48.765	47.700	47.354	45.739
	平均死亡数	8.11	10.21	13.53	17.21	18.43	23.36
提案モデル	平均補給回数	51.384	76.906	76.535	100.637	121.517	137.437
	平均死亡数	2.61	3.83	3.49	5.28	8.28	13.77
$C_{com} =$		1.2%	1.4%	1.6%	1.8%	2.0%	
無通信モデル	平均補給回数	6.082	6.082	6.082	6.082	6.082	
	平均死亡数	144.99	144.99	144.99	144.99	144.99	
扇動者モデル	平均補給回数	45.622	44.523	43.403	43.512	42.585	
	平均死亡数	23.62	27.91	32.66	30.77	34.37	
提案モデル	平均補給回数	150.221	139.086	122.590	102.093	85.764	
	平均死亡数	31.76	50.85	70.05	85.96	96.69	

パラメータ : $Hungry = 15(\%)$, $M = 15(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.2: World 2 での通信コストの比較による各モデルの性能の比較

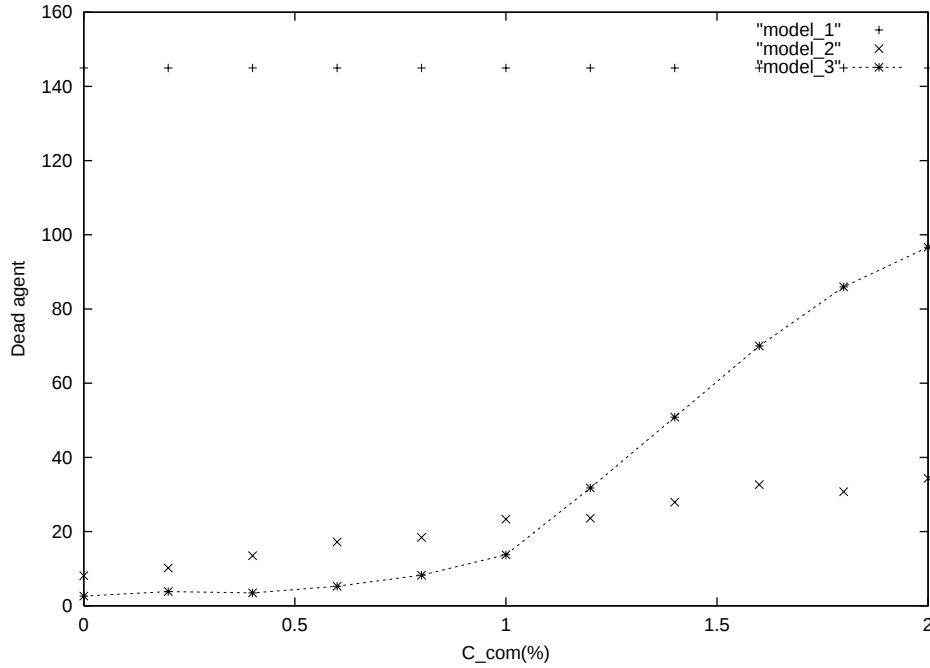


図 4.2: World 2 での通信コストの比較による各モデルの性能の比較

問題にしているが、マルチエージェント系がある目的を達成するために作られるものと考ええると、待機時も何らかの仕事を行っていると考えるのが妥当だろう。そこで例えばエージェントは自動車で補給基地にはガソリンを補給に来ると想定すれば、自動車の停止中の仕事（というには弊害があるが）はすぐに発進できるようにアイドリング状態にいることぐらいなので、さして C_{stop} の数値は高くないものと思われる。また、エージェントが調査用のロボットか何かで、停止中も周囲を監視して難しい計算を行っている想定すれば、待機時でも多くのエネルギーが消費されていると考えられる。

今回の実験ではエネルギー補給問題のみに焦点を当てているので、 C_{stop} の値がエージェントが移動しているときのエネルギー消費量（1step 毎に保有エネルギー最大値の 0.5%）を上回る場面は想定しないことにする³。

表 4.3、図 4.3 は補給口がフィールドの中央に収集している状態でこの実験を行った結果である。この結果を見ると、 C_{stop} の値が増加することによって加速度的に結果が悪くなっていくのがわかる。

³移動しているときよりも、エネルギー補給の順番待ちの方がエネルギーのコストがかかるというのは不自然であるため

$C_{stop} =$		0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%
無通信モデル	平均補給回数	11.989	3.079	2.678	3.823	4.987	6.363
	平均死亡数	7.54	139.68	144.02	144.01	144.00	144.00
扇動者モデル	平均補給回数	50.157	50.750	48.818	24.654	3.137	1.739
	平均死亡数	1.59	3.94	14.30	94.59	156.32	158.21
提案モデル	平均補給回数	90.424	89.910	86.717	79.107	31.781	8.474
	平均死亡数	1.61	3.88	9.32	22.21	111.89	149.60

パラメータ : $Hungry = 20(\%)$, $M = 20(\%)$, $C_{com} = 0.25(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.3: World 1 での待機状態でのエネルギー消費率の比較による各モデルの性能の比較

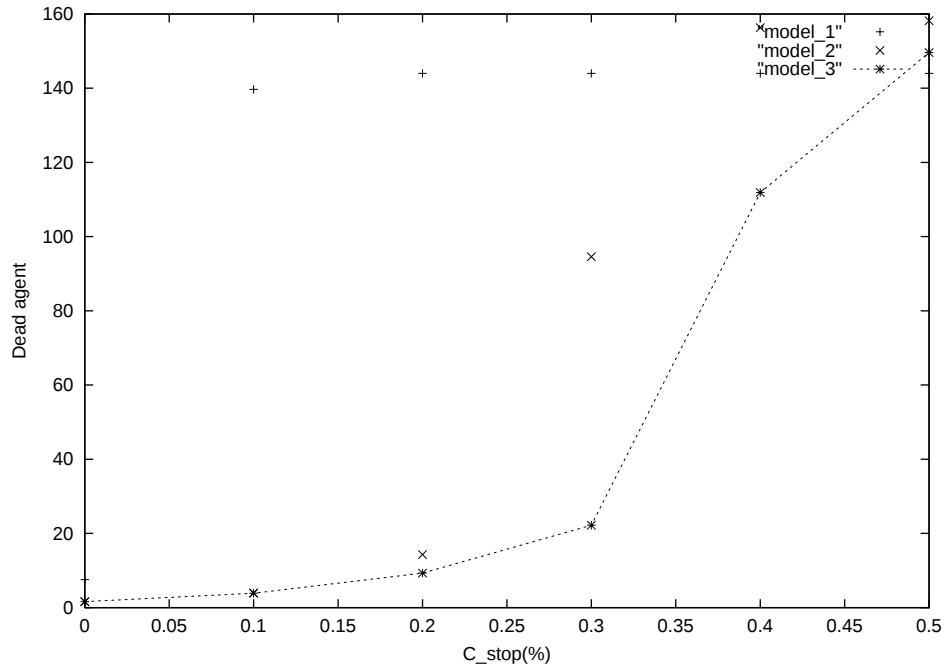


図 4.3: World 1 での待機状態でのエネルギー消費率の比較による各モデルの性能の比較

$C_{stop} =$		0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%
無通信モデル	平均補給回数	40.231	26.466	7.833	41.192	4.299	5.38
	平均死亡数	13.71	84.91	142.99	148.52	147.04	146.14
扇動者モデル	平均補給回数	47.783	48.870	49.517	40.231	44.848	35.209
	平均死亡数	3.51	6.08	7.92	15.85	34.45	76.22
提案モデル	平均補給回数	81.873	83.102	83.614	81.308	70.049	57.501
	平均死亡数	0.60	0.86	2.10	7.02	24.10	48.47

パラメータ : $Hungry = 15(\%)$, $M = 15(\%)$, $C_{com} = 0.25(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.4: World 2 での待機状態でのエネルギー消費率の比較による各モデルの性能の比較

表 4.4 , 図 4.4 は同じ実験を補給口が分散した状態で行った結果である. ここでも World 1 と比べればやや緩やかではあるが, 同じく C_{stop} が大きくなるにつれて死亡エージェント数の傾きが大きくなっている.

以上の結果を見ると, エージェントの移動時のエネルギー消費量と比べて, 待機時のエネルギー消費量が増えても, さして影響が無いことが分かった.

ただしこの結果によって, 通信コストさえそれなりに低く押えられるならば, エージェントが待機状態のとき何も活動をしていないものであっても, 何か活動をしているものであっても, どちらの場合でも本研究の提案モデルは扇動者モデルよりもよい働きを示すことがわかった.

4.4 提案モデルにおける情報の信頼度に関する比較

マルチエージェント系は, エージェントが相互作用しあっているので, 1 体のエージェントにしてみれば, さまざまなエージェントが影響しあっているその環境は動的なものある. そのような状況で情報を広めるにあたって, その情報をどれだけ保持しているかというのは重要な話である.

この実験で言えば, どの補給口がすいているかという事象が動的なものであり, その情報は時間が経つにつれて信頼できなくなる. 当然, そのような情報を長時間保持しているのは無駄であると思われる. しかし, この研究の目的が, 「集団全体に不利益をもたらすある臨界状態 (この実験で言えば補給基地の混雑) を回避するのに役に立つ情報を」 前もって

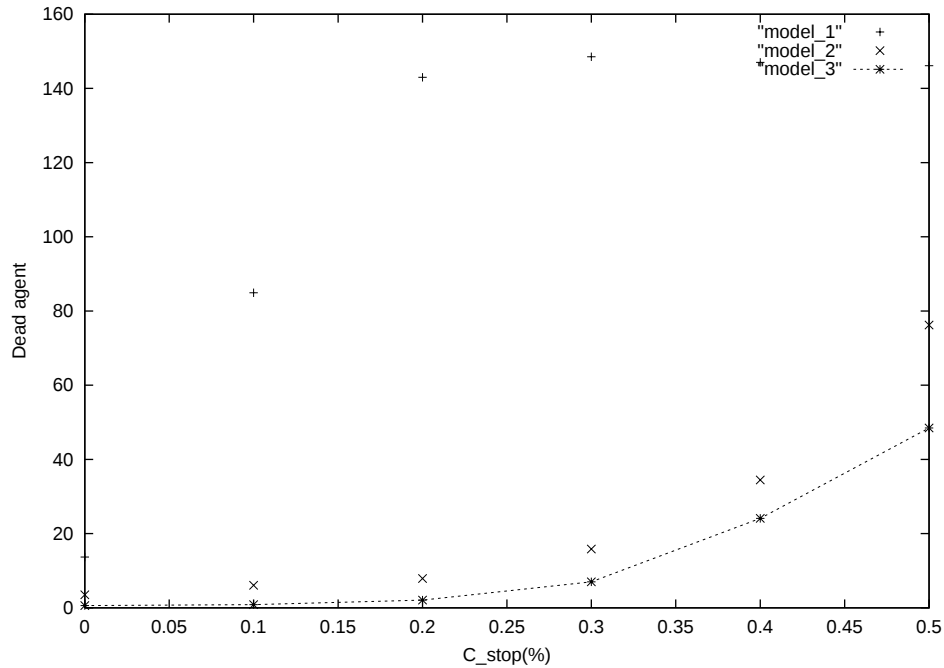


図 4.4: World 2 での待機状態でのエネルギー消費率の比較による各モデルの性能の比較

広めておくことで局所通信系であっても情報空間上の位置関係によって生まれる情報の格差を取り消し, うまく戦略変更を促す」というものであるため, すぐに破棄しすぎるとうまく情報を利用することができなくなってしまう.

そこで, ここでは情報をどれだけ保持するか, その期間を決めるパラメータ *Hold* を変更し, 比較する実験を行う.

エージェントはすいている補給口を見つけたときに, その情報を *Hold* の値と同じ step 保持し, 通信で周囲に広めることとなる. 1step ごとにその情報を保持する期限が減っていく, その値がそのままその情報の信頼度となる. エージェントが情報を発信するときは, この信頼度も同時に発信され, 何 step 前の情報かが受け手にも分かるようになる. エージェントがある情報を保持しているときに別のエージェントから情報が送られて来たときは, より新しい方 (信頼度の高い方) を覚えることにする.

このパラメータは本研究で提案する提案モデルにのみ存在するパラメータなので, 他のモデルとの比較は行わない. ただし, *Hold* = 0 はすいた場所の情報を持たないということなので, 扇動者モデルと同義となる.

表 4.5, 表 4.6 は, それぞれ補給基地が中央に集中的に存在する環境と, 補給基地を 4ヶ

$Hold =$	0step	5step	8step	10step	12step	13step
平均補給回数	36.979	45.293	58.583	70.104	76.643	78.926
平均死亡数	55.01	38.03	25.31	15.27	13.07	12.74
$Hold =$	15step	20step	30step	40step	50step	100step
平均補給回数	82.810	85.815	86.568	84.752	86.163	84.752
平均死亡数	11.43	11.19	11.76	15.59	13.19	14.70

パラメータ : $Hungry = 20(\%)$, $M = 20(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $C_{com} = 0.25(\%)$

表 4.5: World 1 での情報の信頼度の比較による性能の比較

$Hold =$	0step	10step	13step	15step	17step	18step
平均補給回数	49.645	65.755	73.296	76.887	79.833	80.850
平均死亡数	10.81	10.82	9.73	8.83	6.35	5.65
$Hold =$	20step	25step	30step	40step	50step	100step
平均補給回数	82.664	84.116	83.988	84.295	83.914	84.568
平均死亡数	4.33	4.10	4.62	4.36	5.04	4.37

パラメータ : $Hungry = 15(\%)$, $M = 15(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $C_{com} = 0.25(\%)$

表 4.6: World 2 での情報の信頼度の比較による性能の比較

所に分散させて配置した環境とでこの実験を行った結果で, 図 4.5 はそのグラフである.

これらを見ると, 大体 15 ~ 20step 前後で結果が最もよくなっていて, 後はその値より少し結果が悪くなっているが大体横ばいになっている. これは, 情報の保持期限が 15step より短いと, 情報の破棄が早すぎてうまく情報を利用できず, 50 ステップを超えたあたりからは, 古い情報を持っていてもそのうち新しい情報が手に入るという平衡状態に陥ったものと考えられる.

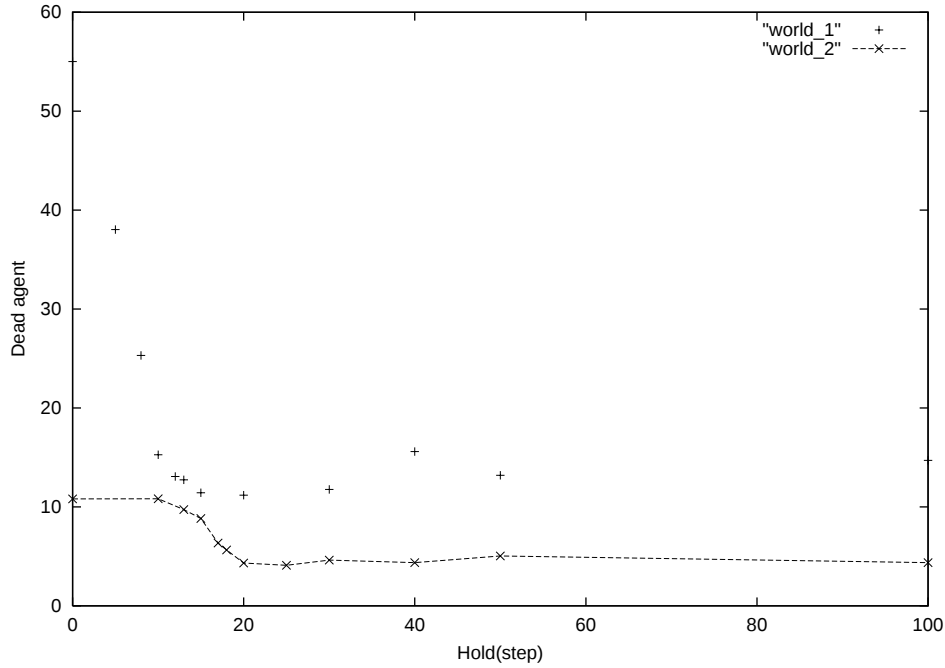


図 4.5: 情報の信頼度の比較による性能の比較

4.5 提案モデルにおける通信の可否を制御する閾値に関する比較

エージェントが通信を行うとき, その通信のコストに応じたエネルギーが失われると考えるのが自然である. しかし, あまりにエネルギーが少ないときに無理に通信を行ってエネルギーを失う事態は避けたい. そこで, 扇動者戦略のような緊急に臨界状態を抜け出したときは別として, 普段の通信を行う際には $E(t) < M$ の時は通信を行わないという閾値 (パラメータ) M を設定する.

17 で述べたように, $Hungry > M$ の時に良い結果が示されれば, それはエネルギー補給問題において前もって感知し, 広めておいた情報を利用し, 扇動者と同じ要領で集団的戦略変更が可能であることを示す. これが可能だとすると, 今までは他のエージェントが拾ってきた情報を, 受け取った後は個人の戦略変更の判断にしか利用していなかったが, (少なくともエネルギー補給問題では) エージェント間を介して広められた遠くの場所の情報を集団での利用も可能であることを示すことになる.

なお, $M = 100(\%)$ のときは扇動者戦略以外のときは通信を行わなくなり, さらに $Hold$

$M =$	10%	15%	17%	18%	19%	20%	25%	30%
平均補給回数	42.948	77.283	81.701	84.897	84.473	85.815	81.752	77.928
平均死亡数	87.96	23.22	18.56	12.87	13.15	11.19	11.62	12.46
$M =$	50%	70%	90%	95%	97%	98%	99%	100%
平均補給回数	67.468	59.837	53.039	50.427	48.906	46.419	44.809	41.521
平均死亡数	11.21	11.47	13.13	15.90	18.85	26.77	30.33	39.12

パラメータ : $Hungry = 20(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $C_{com} = 0.25(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.7: World 1 での通信の可否を制御する閾値の比較による性能の比較

$M =$	5%	10%	14%	15%	16%	17%	18%
平均補給回数	52.721	76.845	82.761	82.664	82.495	81.194	80.189
平均死亡数	52.30	12.31	4.47	4.33	3.82	3.87	4.28
$M =$	20%	40%	60%	80%	90%	95%	100%
平均補給回数	78.729	67.331	59.286	54.851	52.839	51.388	50.022
平均死亡数	5.57	7.68	10.14	9.71	8.75	9.50	9.26

パラメータ : $Hungry = 15(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $C_{com} = 0.25(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.8: World 2 での通信の可否を制御する閾値の比較による性能の比較

のパラメータがエージェントの補給間隔よりも短い場合は自分自身でもその情報を使わなくなるので、実質扇動者モデルと同義となる。また、このパラメータも提案モデルにのみ存在するものなので、他のモデルとの比較は行わない。

表 4.7 と表 4.8 は、それぞれ補給基地が中央に集中的に存在する環境と、補給基地を 4ヶ所に分散させて配置した環境とでこの実験を行った結果で、図 4.6 はそのグラフである。

この結果を見ると、 M が少なすぎるときは結果が悪いが、だいたい $M = Hungry$ の付近で一番結果がよくなり、 $M = 100(\%)$ 付近で再び結果が悪くなっている。

結果が悪くなる寸前まで通信を行うことができれば、情報を有効に使うことができると考えられるが、このパラメータではだいたい $M = Hungry$ あたりが限度だという結果が得られた。

先程書いたように、うまく $Hungry > M$ でもよい結果がでるか関心があったので、パラ

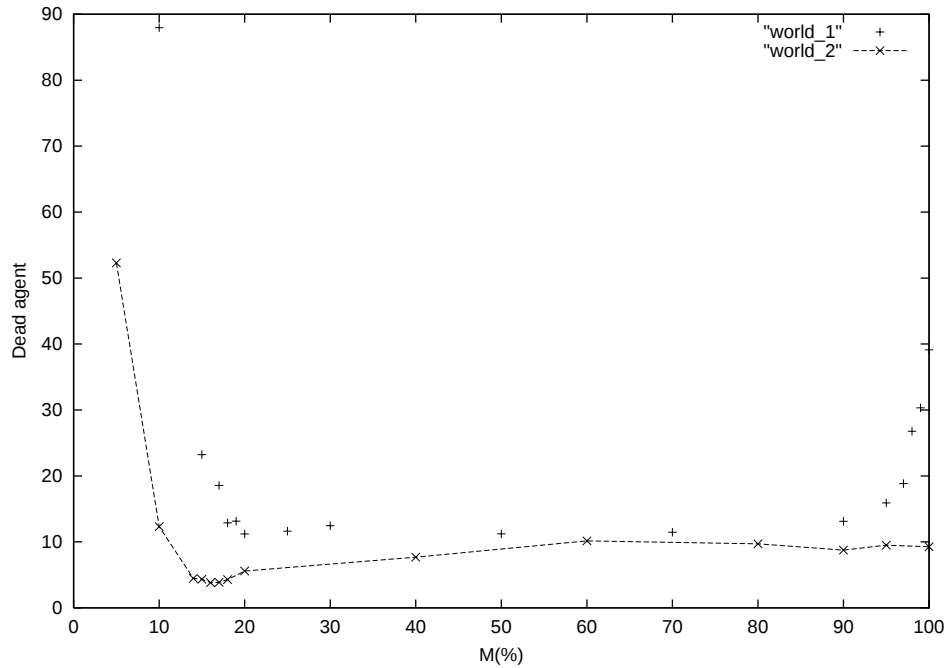


図 4.6: 通信の可否を制御する閾値の比較による性能の比較

メータを変えて再び実験を行ってみた。

M は通信を制御する閾値であるので, これを下げるには通信のコストも同時に下げるのがよいと思われる. そこで $C_{com} = 0$ としてみて実際にそのようなことが可能なのかを検証してみた.

表 4.9 と表 4.10, 図 4.7 がその結果である.

World 1 では残念ながら, 例えよさそうな数値でも, どれも誤差の範囲に入ってしまうような数値しか得られなかったが, World 2 では M に低くい値が入っていてもいい結果を検出することができた.

これによって, 通信コストを低く押えるという条件はあるものの, エネルギー補給問題において事前に広められた情報を使っても集団的戦略変更が可能であることが分かった.

$M =$	10%	15%	17%	18%	19%	20%	22%	25%
平均補給回数	51.989	52.114	52.531	52.746	52.322	52.741	52.563	52.824
平均死亡数	6.64	6.23	5.14	4.36	4.69	4.38	4.93	4.12
$M =$	30%	40%	60%	80%	95%	99%	99.5%	100%
平均補給回数	52.395	52.769	52.615	52.388	52.581	52.402	50.866	48.918
平均死亡数	4.56	4.30	4.79	6.12	4.84	5.37	10.17	15.81

パラメータ : $Hungry = 20(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $C_{com} = 0(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.9: 通信コスト 0 のときの World 1 での通信の可否を制御する閾値の比較による性能の比較

$M =$	5%	10%	12%	13%	14%	15%	16%	17%
平均補給回数	51.395	51.366	51.456	51.373	51.491	51.383	51.252	51.369
平均死亡数	2.59	2.60	2.28	2.72	2.36	2.66	3.31	2.84
$M =$	18%	20%	40%	60%	80%	95%	98%	100%
平均補給回数	51.359	51.140	50.890	50.831	50.654	50.353	50.331	50.363
平均死亡数	2.86	3.86	6.13	6.47	7.08	8.52	8.83	8.73

パラメータ : $Hungry = 15(\%)$, $C_{stop} = 0.25(\%)$, $C_{com} = 0(\%)$, $Hold = 20(step)$

表 4.10: 通信コスト 0 のときの World 2 での通信の可否を制御する閾値の比較による性能の比較

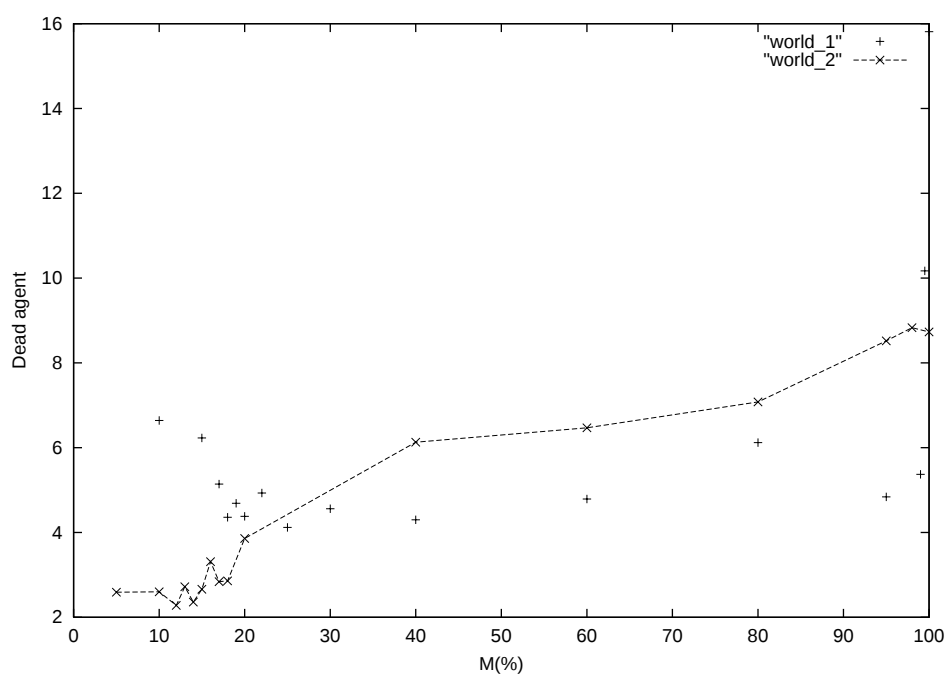


図 4.7: 通信コスト 0 での, 通信の可否を制御する閾値の比較による性能の比較

第 5 章

まとめ

マルチエージェント系において、集団全体に対して不利益を及ぼすような臨界状態を感知したとき、それを回避する手法として、エージェントにいくつかの戦略を持たせておき、状況に応じて使い分けさせる方法がある。しかし、戦略変更に関する情報（臨海状態の出現そのものの情報だったり、戦略変更の判断材料であったり）を、集団全体（もしくはその情報が必要であると考えられる一団）に発信する仮定で問題が発生する。方法としては2通りあるが、大域的な通信を使用すると無視できない遅延が発生し、局所的な通信を使用すると空間上の位置によってエージェントの受け取れる情報に格差が生じるとそれぞれ短所を持っている。

そこで本研究では、前もって戦略変更に役立ちそうな情報をエージェント間にやりとりさせておくことで、空間上の位置によって生じる受け取る情報の格差を（情報が必要になるであろう瞬間までに）できるだけ埋めておく手法を提案した。マルチエージェントを用いる際に起こりうるであろう問題として「エネルギー補給問題」を取り上げて、実際にこのモデルと局所通信系のマルチエージェントのモデルとした扇動者モデルの比較実験を行い、一部通信コストが高いときを除いて、提案モデルが扇動者モデル以上により結果を出すことも確認した。特に、扇動者モデルは局所通信系が対処しやすい Blind Hunger Dilemma に問題の焦点を絞って、エージェントの情報伝達空間上の配置がほぼ固定された状態で情報の伝達を行うことに特化した処理を行うのに対し、本研究のモデルではエージェントがある程度分散していても可能な限り平等に情報を享受できるように、役に立ちそうな情報をあらかじめ噂のように流布しておく手法をとった。

この手法は、通信に遅延を生じさせないという局所通信系の長所をそのままに、系全体のエージェントの全てが平等に必要な情報を享受できるという大域的通信系の長所に近づくことのできる手法だと考えられる。そのため、マルチエージェント系に目的を達成させる

という意味では、扇動者モデルよりも理想的である。

しかし、一方で情報を流布させる過程で頻繁に通信を行うため、扇動者モデルと比べて通信にかかるコストの総計が無視できないくらい大きなものになってしまう欠点が出てしまった。実際に 4.2 章の実験中でも、通信のコストを大きくするほど加速度的に提案モデルの結果が悪くなっていき、1 回の通信のコストがあまりにも大きくなった場合は通信によって必要以上にエネルギーを消耗し、補給基地に到着する前にエネルギー切れを起こしてしまうエージェントも現れた。

そこで、今後の課題として通信コストの削減が挙げられる。通信関係のアルゴリズムの改善や、エージェントの自己組織化による通信網の形成など、少ない通信回数で効率的に情報を広めることができれば、系全体としての通信コストの総量が減らせるものと考えられる。

参考文献

- [1] 沼岡 千里, 局所通信系における集団的戦略変更, マルチエージェントと協調計算 III, pp151–163, 近代科学社, 1993.
- [2] Chisato Numaoka, Introducing the Blind Hunger Dilemma: Agents' Properties and Pergormance, In Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems(ICMAS-95), pp290–296, AAAI Press, 1995.
- [3] Chisato Numaoka, Bacterial Evolution Algorithm for Rapod Adaption, 7th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World(MAAMAW'96),pp139-148, 1996.
- [4] 栗原 聡, 岡田 美智男, 自立エージェントの協調動作による自己組織化について, マルチエージェントと協調計算 IV, pp185–194, 近代科学社, 1994.
- [5] 車谷 浩一, マルチエージェントシステムの自己再編問題—アリ・コロニーの採餌行動, bit 別冊「協調プログラミング例題集」10 章, pp89–101 共立出版, 1994.
- [6] 久保 正男, 嘉数 侑昇, 蟻の餌争奪ゲームによるマルチエージェントシステムの協調動作評価, 情報処理学会論文誌, vol.35, No.8, pp1555–1566, 情報処理学会, 1994.
- [7] 大沢 英一, 沼岡 千里, 石田 亨, 分散人工知能における標準的小問題, コンピュータソフトウェア vol.10 No.3, pp3–19, 岩波書店, 1993.
- [8] Genesereth, M.R., Ginsberg, M.L.,Rosenschen, J.S., Cooperation Without Communication, Proceedings of the Fifth National Conference on Artificial Intelligence(AAAI-86), pp51–57, 1986.
- [9] Rosenschein, J.S., Genesereth, M.R., Deals Among Rational Agents, Proceedings of the Nineth International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI-85), pp91–99, 1985.

- [10] Nathan Griffiths, Michael Luck, Cooperative Plan Selection Through Trust
9th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent
World(MAAMAW'99), pp162–174, 1999.
- [11] Carles Sierra, Peyman Faratin, Nick R. Jennings, A Service-Oriented Negotiation
Model between Autonomous Agents, 8th European Workshop on Modelling Au-
tonomous Agents in a Multi-Agent World(MAAMAW'97), pp17–35, 1997.
- [12] <http://www.stat.go.jp/data/nenkan/01.htm>
- [13] http://www.sekiyu.or.jp/topics/data_a.html
- [14] <http://www.people.or.jp/alice/syohical.htm>