

マルチエージェントプランニングにおける動的協調形態共存メカニズムの artisoc による評価

布施太章^{1*} 篠田孝祐¹ 諏訪博彦² 栗原聡¹
Takaaki Fuse¹ Kosuke Shinoda¹ Hirohiko Suwa² Satoshi Kurihara¹

¹ 電気通信大学大学院情報システム学研究科

¹ Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

² 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

² Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

1 はじめに

本研究は、アンビエントシステムを制御するためのマルチエージェントプランニングについて検討している。一般的に日常生活拠点では複数人が生活しており、その各個人の行動を円滑にサポートするインタラク션을自律的に実行することがアンビエントシステムの目的である。そのためには、生活拠点に設置された有限のインタラクティブデバイスを適切に操作できる能力が要求される。インタラクティブデバイスのプランニング技術には計画されたプランが環境変化によって実行不能にならないようにするための修正能力と時間制約下でプランニングする即応性が求められる。動的変化に対応した修正能力と時間制約下での即応性の2つの機能を実現することが、マルチエージェントプランニングの課題である。

本研究では、大域的視野でトップダウン的に協調動作を行う「中央制御型」と局所的視野を持つ個々のエージェントによるボトムアップ型の協調動作による「直接協調型」と「間接協調型」という3つの協調形態を効果的に連携させるマルチエージェントプランニング法の構築を目指す。

2 マルチエージェントプランニングにおける協調形態メカニズム

本節では、3つの協調形態について述べる(図1)。

既存のトップダウン的なプランニングには、環境情報をすべて把握した上で、目的を達成させるために全体のプランニングを行う中央制御型のプランニングがある。このタイプでは、矛盾がなく合理的なプランを生

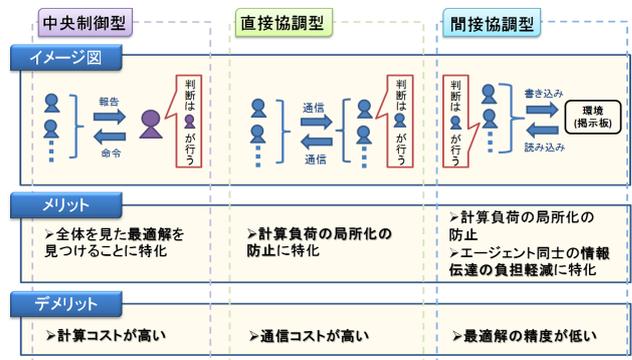


図1: マルチエージェントプランニングにおける協調メカニズムの特徴

成するために、各エージェントが生成したプランを一箇所に集約して協調を行う方法がいくつか提案されている [1][2]。中央制御型ではプランニングにかかる情報量と計算量の多さを中央に集中させてしまうため、プランニングにかかる時間が長くなってしまいが短所である。また、間接協調型では局所的な情報によってプランニングを行うため、プランの精度が低いことが短所である。しかし、中央制御型では豊富な情報から作られる精度の高いプランの生成が可能、間接協調型では素早いプランニングが可能という長所を持っている。

既存のボトムアップ的なプランニングの1つに、各エージェントが得られる局所的な情報から独立してプランニングを行い、相互に情報を交換するなどして直接的な方法を用いて協調動作を行う直接協調型のプランニングがある [3]。分散したエージェントがそれぞれにプランニングを行うため、各エージェントにかかる負荷は少なく済む。そのため、計算負荷の低減をすることが可能である。その一方で、各エージェント同士の相互の通信の情報を集中的に集めてプランニング

*連絡先: 電気通信大学大学院情報システム学研究科,
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1,
E-mail: fuses@ni.is.uec.ac.jp

を行う中央制御型に比べると、少ない局所的な情報でプランニングを実行しなければならないことからプランニングの精度は劣ってしまう。

既存のボトムアップ的なプランニングのもう一つに、直接協調型とは異なり、共有メモリを用いるなどして間接的な方法を用いて協調行動を行う間接協調型のプランニングがある。直接協調型と同様に、分散したエージェントがそれぞれにプランニングを行うため、各エージェントにかかる負荷は少なく済む。そのため、計算負荷の低減をすることが可能である。また、間接的な方法で協調行動を行うため、直接協調型で指摘される通信コストの増加も回避できる。一方で、情報を集中的に集めてプランニングを行う中央制御型や情報を交換して集めてプランニングを行う直接協調型に比べると、更に少ない局所的な情報でプランニングを実行しなければならないことからプランニングの精度は劣ってしまう。

3 提案モデル

中瀬ら [4] は、中央制御型と間接協調型に焦点を当てて協調形態メカニズムの変更型を提案しており、主に2つの協調形態の変更に特化した手法であった。提案手法のアルゴリズム (図 2) と概略図 (図 3) を示す。

3.1 中央制御型と間接協調型の共存型

空間が大規模化することを別の観点から見ると、複数の空間を1つの大規模空間と捉えることができる。このように想定すると、実世界ではそれぞれの空間において異なる協調形態を利用して意思決定をしている場合が考えられる。中瀬らの手法では、このような複数の協調形態が同時に存在している状態に対応することができなかった。そこで、提案手法では、複数の空間に対してそれぞれ中央制御型プランニングと間接協調型プランニングの変更型のアルゴリズムを適応する。

3.2 直接協調型の追加

また、3.1 節同様に、複数の空間に対して複数の協調形態による意思決定が共存する場合を考える。例えば、間接協調型プランニングにおける共有メモリが利用できない状況で、中央制御型プランニングの制御範囲外かつ、間接協調型プランニングが適応不可能な場合や、中央制御型プランニングの制御範囲外かつ、エージェント数が非常に少ない、エージェント同士の通信コストによる影響がほとんどない状況も想定できる。このように間接協調型プランニングよりも直接協調型プランニングを用いたほうが合理的な場合も考えられる。つ

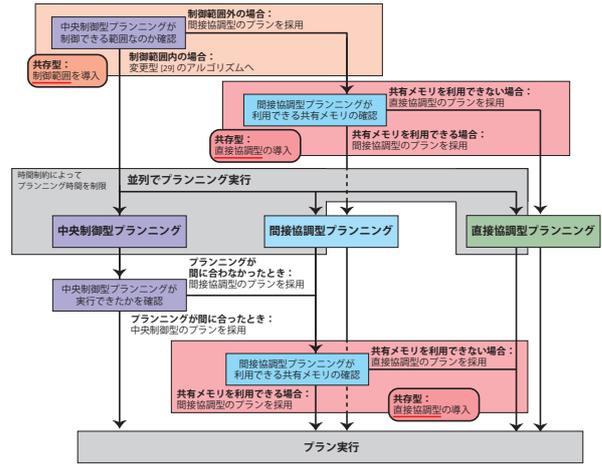


図 2: マルチエージェントプランニングにおける協調メカニズムの共存: アルゴリズム

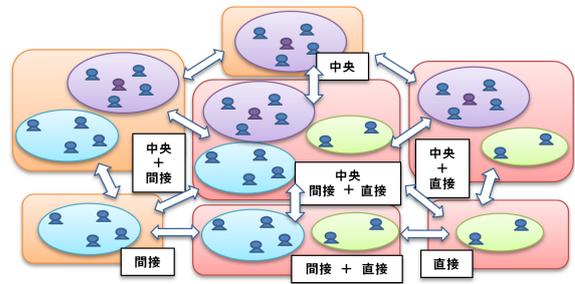


図 3: マルチエージェントプランニングにおける協調メカニズムの共存: 概略図

まり、直接協調型プランニングも含めた、3つの協調形態が同じ時刻の同じ空間に共存することは十分に考えられる。

4 評価用シミュレーション環境の構築: 中央制御型と間接協調型の共存型

本稿では、提案する図 2 のモデルを元に、マルチエージェントシミュレーションプラットフォームである artisoc にて、中央制御型と間接協調型の共存型の評価用シミュレーション環境を構築した。構築した環境について以下にまとめる。

4.1 エージェントの構成

実際のアンビエント環境を想定した際に、各エージェントはそれぞれ異なる能力を持っている。例えば、各エージェントは目的によって全く異なる作業を行うため、視野や計算処理能力が異なる。一口に能力といっても様々であることが想定される。

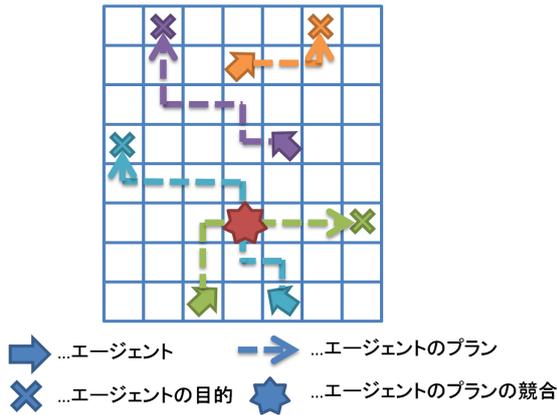


図 4: プランニング例

本研究では、目的を達成するためにプランニングを行うエージェントを行動エージェントと定義する。また、各行動エージェントの目的や能力の違いを経路探索の目的地や移動速度、目的達成までのタスクの違いとして表現する(図4)。行動エージェントは、自身の目的を達成するために経路(以後、プランと呼ぶ)を生成する。他の行動エージェントも同様にプランを生成するため、複数のエージェントが同じ時刻において同じタスクをこなさなければならないことが生じる。これを競合と呼び、本研究では、同時に同じ経路を移動することを指す。ある行動エージェントが作成したプランと他の行動エージェントが作成したプランにおいて競合が発生した場合、その競合を回避する必要がある。本研究では、競合回避の方法として中央制御型プランニングと間接協調型プランニングの2つを実装し評価する。

中央制御型プランニングにおいて行動エージェントの代わりに競合回避を図るエージェントをスケジューラエージェント、間接協調型プランニングにおいて共有メモリの役割を果たすものを掲示板と定義する。なおでは、スケジューラエージェントは視野を有している。この視野は制御可能範囲を示している。スケジューラエージェントは視野の範囲内の行動エージェント情報を受け取ることができる。また、一般に中央制御型プランニングは制御するエージェント数が増えるほどプランニング時間が長くなる。そこで本研究では、プランニング時間に制限を設けるために、スケジューラエージェントには制御可能エージェント数 θ を設ける。

4.2 実験環境

artisocにてシミュレーション環境を構築し、中央制御型と間接協調型の共存型の振る舞いを検証した。図5は、実験環境の一例として、 20×20 (400マス)の環境を用意し、障害物の数を環境に対して25%(100マ

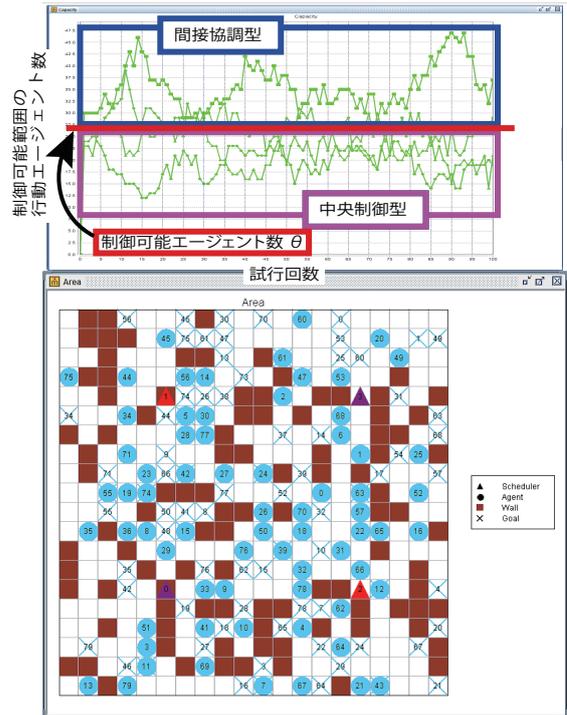


図 5: 実行動作例

ス/400マス)、行動エージェントを環境に対して20%(80マス/400マス)配置し、実行中の図である。また、障害物を■、スケジューラエージェントを▲、行動エージェントの位置を●、目的を×で示している。同じ番号の●と×が同一の行動エージェントの初期位置と目的を示している。また、シミュレーションの過程を図6に示す。

なお、図5の上図は、各スケジューラエージェントの制御状態を示している。縦軸はスケジューラエージェントの制御可能範囲内にある行動エージェントの数を、横軸は実行フェーズまでの試行回数を表している。スケジューラエージェントの制御可能範囲内にある行動エージェントの数が、制御可能エージェント数 θ を超えなければ、中央制御型プランニングを、 θ を超えると、間接協調型プランニングを採用している。

4.2.1 前処理過程

前処理では、行動エージェントおよび動作環境の初期配置を行う。シミュレーションが開始されると、空間内に障害物を生成する。この壁は、空間が同じ大きさであれば他の条件が変化しても固定するように設定した。スケジューラエージェントの位置は任意でできるが、行動エージェント毎に初期位置と目的の位置をランダムに設定した。このとき、障害物、スケジューラエージェント、行動エージェントの初期位置、行動

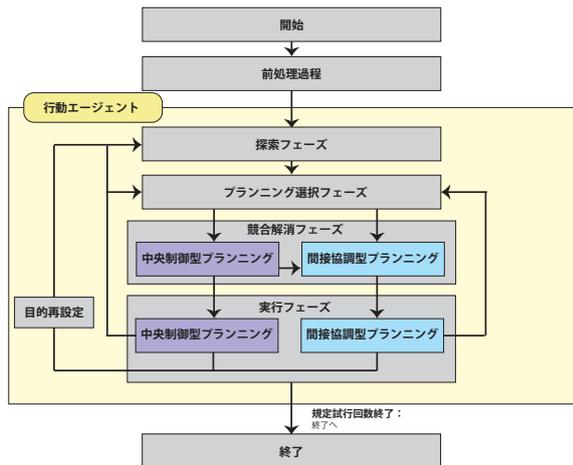


図 6: シミュレーションの過程

エージェントの目的の位置は同じマスに重複して配置されないようにしておいた。

4.2.2 行動エージェントの振る舞い

行動エージェントは図 6 に示したように、探索、プランニング選択、競合解消、実行の 4 つのフェーズによって振る舞いを決定する。以下にそれぞれのフェーズについて簡単に説明する。

探索フェーズ

探索フェーズは、行動エージェントの現在の位置と目的の位置を読み込み、プランを生成するフェーズである。プラン作成には A*探索を用いている。このときにはまだ他の行動エージェントとのプランに競合は解消されていない。プランを生成した後、次に行動する位置とその後の目的に達するまでの行動数を掲示板に書き込む。ここで書き込むその後の目的に達するまでの行動数が競合が生じた際の優先基準となる。

プランニング選択フェーズ

プランニング選択フェーズは、自身がスケジューラエージェントの視野内、つまり制御可能範囲内に位置するか否か読み込み、次の競合解消フェーズにて競合を解消する協調形態を選択するフェーズである。制御可能範囲内であれば、中央制御型プランニングを選択し、制御可能範囲外であれば、間接協調型プランニングを選択する。

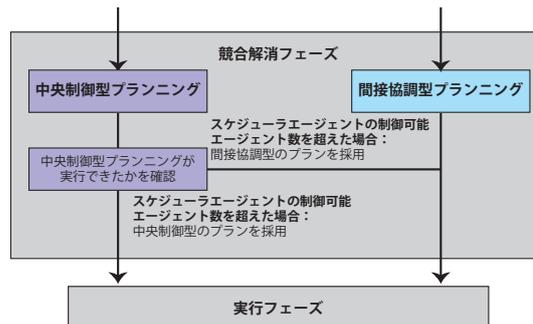


図 7: 競合解消フェーズ

競合解消フェーズ

競合解消フェーズは、プランに競合があった場合に、回避するフェーズである。ここでは、スケジューラエージェントの制御可能エージェント数 = θ によって、中央制御型プランニングか間接協調型プランニングのどちらかを選択する (図 7)。中央制御型プランニングでは、行動エージェントのプラン全てを比較し、間接協調型プランニングでは、行動エージェントの直後のプランのみを比較し競合を回避している。

中央制御型プランニングの場合、スケジューラエージェントが行動エージェントの現在のプランを読み込み、競合を回避する。

間接協調型プランニングの場合、掲示板の情報を読み込み、プランに競合があった場合、目的に達するまでの行動数を元に競合を回避する。

実行フェーズ

実行フェーズは、自身の現在のプランに従って目的まで推移していくフェーズである。このフェーズの過程を図 8 に示す。

まず、設定した試行回数に達している場合はシミュレーションを終了する。設定した試行回数に満たなければ次の処理に移る。

競合検索フェーズにて競合がなかった場合、もしくは間接協調型プランニングで競合はあったが、自身のプランのほうが優先順位が高かった場合、プランを実行する。プラン実行後、中央制御型プランニング、間接協調型プランニングにかかわらず、作成したプランの次のタスクを掲示板に書き込む。プラン実行によって目的を達成していた場合、目的を新たに配置し、探索フェーズに移行する。目的を達成していない場合は、作成したプランは保持したまま、プランニング選択フェーズに移行する。

一方で、競合検索フェーズにて競合があった場合、協調形態によって遷移が異なる。間接協調型プランニングの場合は、優先順位が低いとき、プランニング選択

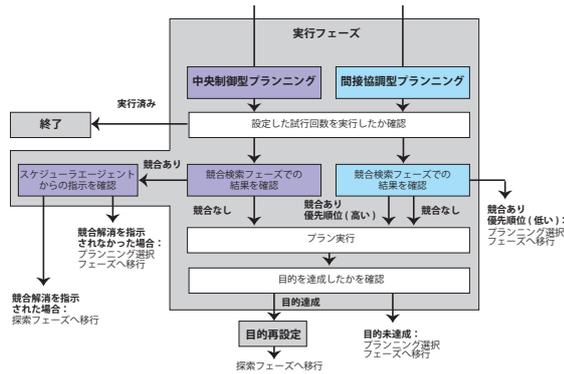


図 8: 実行フェーズ

フェーズに移行する。中央制御型プランニングの場合は、スケジューラエージェントからプランを変更するように指示があった場合、探索フェーズに移行する。スケジューラエージェントから指示ない場合、プランを実行することなく、プランニング選択フェーズに移行する。

つまり、中央制御型プランニングの場合、競合生じた際には、競合が生じた位置を制御しているスケジューラエージェントの制御可能範囲内の行動エージェントは、競合が全て解消されるまでプランの実行ができないことを意味する。これは、全体最適を目指す代わりにプランニング時間を要する、中央制御型プランニングの特徴を表している。

5 実験と考察

5.1 実験 1: 制御可能エージェント数の違いによる各協調形態の共存の様子

実験環境として、 20×20 の環境を用意し、障害物の数を環境に対して 25% で固定し、スケジューラエージェントを 4 つ用意した。そこに、行動エージェントを 1, 4, 20, 40, 60, 80, 100 つで任意で配置し、スケジューラエージェントが行動エージェントを制御できる値として、制御可能エージェント数 θ を設け、0, 10, 20, 40 で任意に変更し、実行フェーズまでの行動回数を 100 として実験を行った (表 1)。なお、行動エー

表 1: 実験環境 1

プランニング空間	20×20 (うち障害物 25%)
行動エージェント数	1, 4, 20, 40, 60, 80, 100
行動回数	100
スケジューラエージェント数	4
制御可能エージェント数 θ	0, 10, 20, 40

ジェントは、目的に到達すると、次の目的を生成し、実行終了まで行動し続ける。

表 4 の実験環境の条件に対して、以下の 2 項目の検証をした。

- プランニング精度：
目的達成までの理想と実行結果の差
- プランニング実行時間：
目的を達成したエージェント数

上記の 2 つの検討項目に対して、表 2, 3 と図 11, 12 にまとめた。図 11, 12 の横軸は、実行フェーズまでの行動回数を示している。そして、縦軸ではそれぞれ、図 11 ではプランニング精度の尺度である、最初にプランニングした本来のプランと競合を回避した結果実際に行動したプランとの差を、図 12 ではプランニング実行時間の尺度である、行動回数 100 回の間で行動エージェントが目的に到達した回数を示している。

なお、表 2~3 の **紫色** は行動回数 100 回の間で全て中央制御型と同様の動きを、**水色** は行動回数 100 回の間で全て間接協調型と同様の動きを、**黄色** は行動回数 100 回の間で中央制御型と間接協調型が共存した動きをしている。また、プランニング精度は小さいほど、行動エージェントが目的に到達した回数は多いほど、より良い結果を示していることになる。

5.1.1 実験 1: プランニング精度

プランニング精度をみると、スケジューラエージェントが行動エージェントを制御できる値である、制御可能しきい値 θ が大きくなるほど、つまり中央制御型の割合が大きくなるほど、目的までの理想ステップ数と到達ステップ数の差が小さくなっている。

5.1.2 実験 1: プランニング実行時間

プランニング実行時間を見ると、スケジューラエージェントが行動エージェントを制御できる値である、制御可能しきい値 θ が小さくなるほど、つまり間接協調型の割合が大きくなるほど、行動完了したエージェント数が増加している。

5.1.3 実験 1: 考察

同じ行動エージェント数でみると、**紫色** 部分や **水色** はどの実験結果に対してもスケジューラエージェントが行動エージェントを制御できる値である、制御可能しきい値 θ に影響を受けていない。一方で、行動エージェント数が 60 と 100 のとき **黄色** が複数存

表 2: 実験 1 : プランニング精度

行動エージェント	$\theta = 0$	$\theta = 10$	$\theta = 20$	$\theta = 30$	$\theta = 40$
100	673	673	420	783	676
80	400	400	368	345	345
60	86	86	248	257	257
40	107	54	49	49	49
20	12	20	13	13	13
4	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0

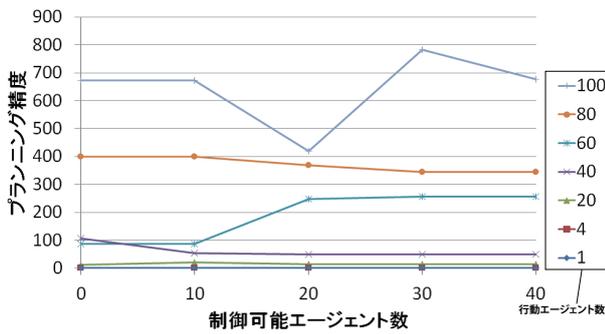


図 9: 実験 1 : プランニング精度

表 3: 実験 1 : プランニング実行時間

行動エージェント	$\theta = 0$	$\theta = 10$	$\theta = 20$	$\theta = 30$	$\theta = 40$
100	771	771	769	712	721
80	610	610	600	641	641
60	489	494	444	438	438
40	312	306	306	306	306
20	149	153	154	154	154
4	28	28	28	28	28
1	6	6	6	6	6

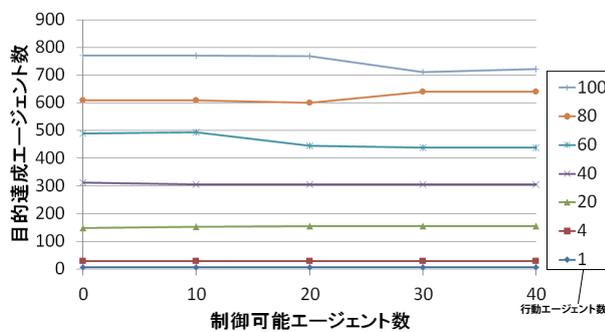


図 10: 実験 1 : プランニング実行時間

在するが、スケジューラエージェントが行動エージェントを制御できる値である、制御可能しきい値 θ に大きく影響を受けている。これは、中央制御型と間接協調型が共存した動きをしている場合は、どちらの型の割合が大きいかによって結果に大きな影響を与えていることが考えられる。

そこで、次節に中央制御型と間接協調型の共存型の動きのより詳細な分析をまとめる。

5.2 実験 2 :

中央制御型と間接協調型の共存型の分析

実験 1 にて、スケジューラエージェントの制御可能エージェント数の違いにより、中央制御型プランニングと間接協調型プランニングの共存型の協調形態が変化することを確認した。また、中央制御型や間接協調型単独の場合には、行動エージェント数が同じであれば、制御可能エージェント数の違いによるプランニング精度とプランニング時間の変化は見られなかった。しかし、2つの協調形態が共存している場合、行動エージェント数が同じであっても、制御可能エージェント数の違いにより、明確な変化が確認できた。

そこで、行動エージェント数を 100 に固定した際に共存型であった、 θ の全てに対してより詳細な分析を行った。その結果実験環境は表 4 となった。

表 4: 実験環境 2

プランニング空間	20 × 20(うち障害物 25%)
行動エージェント数	100
行動回数	100
スケジューラエージェント数	4
制御可能エージェント数 θ	11~40

5.2.1 実験 2 : プランニング精度

プランニング精度の結果を図 11 に示す。縦軸のプランニング精度は、行動エージェントが最初にプランニングした本来のプランと競合を回避した結果実際に行動したプランとの差を指している。よって、数値が小さいほうがプランニングの精度は良いといえる。図 11 を見ると、表 4 の実験環境では、中央制御型と間接協調の違いによるプランニング精度の差は殆どなかった。しかし、共存型にすると、 θ の違いによって、プランニング精度が大きく異なった。この要因としては、共存型の場合、目的達成エージェントの数が θ の違いによって変化することが考えられる。

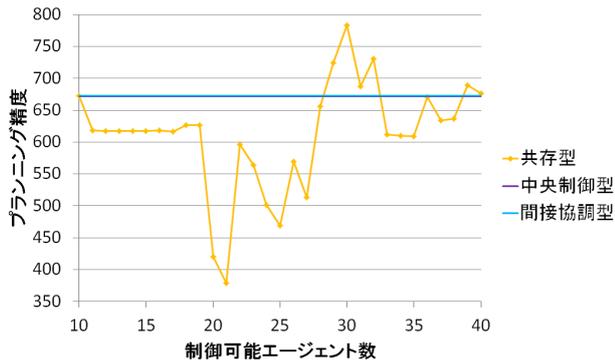


図 11: 実験 2 : プランニング精度

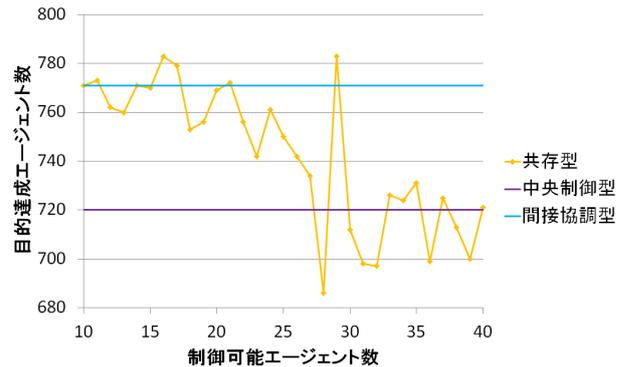


図 12: 実験 2 : プランニング実行時間

5.2.2 実験 2 : プランニング実行時間

プランニング時間の結果を図 11 に示す。縦軸の目的達成エージェント数は、実装した環境ではプランニング実行時間の評価関数といえる。より数値の大きいほうがプランニング実行時間が短いといえる。同時に、競合を即応的に解消したことを示しており、一般的に間接協調型のほうがプランニング実行時間は短くなる。これは、中央制御型の場合、競合生じた際には、競合が生じた位置を制御しているスケジューラエージェントの制御可能範囲内の行動エージェントは、競合が全て解消されるまでプランの実行ができないためである。

5.2.3 実験 2 : 考察

共存型における中央制御型と間接協調型の割合は、 θ が大きいほど直接協調型が、 θ が小さいほど間接協調型が占める割合が多くなる。プランニング時間の結果に関しては、 θ が大きいほど直接協調型単独の、 θ が小さいほど間接協調型単独の結果に近づくと見ることが出来るが、プランニング精度に関しては同様の法則が一概に当てはまるとは言い難い。これは、今回想定している状況が大規模空間になった際の中央制御型の統率を司るエージェントが複数存在する状況であるため、そもそも中央制御型単独の場合でも空間全体の最適解を出すことが困難であり、その際には共存型を導入することでプランニング精度が向上する可能性を示しているのではないかと考えられる。

6 まとめと今後の展開

本研究では、中瀬 [4] らの中央制御型と間接協調型の変異型を拡張し、中央制御型と間接協調型、直接協調型の 3 つの協調形態が同時に存在しうる共存するモデルを提案した。artisoC にて提案したモデルのシミュレーション環境を構築し、中央制御型と間接協調型の共存型の分析を行った。実験では、プランニング精度とプランニング時間の検証を行い、大規模空間になった際の中央制御型の統率を司るエージェントが複数存在する状況では、共存型を導入することでプランニング精度が向上する可能性を示した。

今後の展望としては、本研究にて提案した直接協調型も含めた 3 つの協調形態が共存するモデルの実装と評価を行うことが考えられる。

参考文献

- [1] M. P. Georgeff, "Communication and interaction in multi-agent planning", the Third National Conference on Artificial Intelligence, pp.125-129, 1983.
- [2] Mohamed Elkawagy and Susanne Biundo, "Hybrid Multi-agent Planning", Multiagent System Technologies 9th German Conference, MATES 2011, Berlin, Germany, October 6-7, 2011. Proceedings, pp.16-28, 2011.
- [3] Jeffrey S. Cox and Edmund H. Durfee, "An efficient algorithm for multiagent plan coordination", Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS05), pp.828-835, 2005.
- [4] 中瀬 絢哉, 沼尾 正行, 栗原 聡, マルチエージェントプランニングにおける協調形態の動的変更メカニズムの提案, Workshop of Social System and Information Technology (WSSIT-13), 2013.