

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2017～2020
課題番号：17H01790
研究課題名（和文）動的環境におけるロバストなチーム編成に関する研究

研究課題名（英文）Dynamic Robust Team Formation

研究代表者

沖本 天太 (Okimoto, Tenda)

神戸大学・海事科学研究科・准教授

研究者番号：10632432

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

研究成果の概要（和文）：チーム編成問題とは、異なるスキルをもつエージェントの集合から、与えられたタスク集合を達成するような部分集合（チーム）を決定する完全集合被覆問題である。本研究では、ロバスト性を考慮したロバストなチーム編成問題に関する基礎研究を実施した。さらに、与えられたエージェントの集合を社会的余剰が最大化されるように、いくつかのグループに分割する提携構造形成問題（完全集合分割問題）に関する基礎研究も実施した。これらの本研究成果は国内外の難関国際会議やジャーナルに論文が採録され、最優秀論文賞をいくつか受賞した。応用研究では、DMAT編成やスケジューリング問題に関する研究を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、チーム編成問題において多目的最適化及び動的環境を考慮した点が新しく、特に、ロバスト性を考慮したチーム編成・提携構造形成や、これらの問題を動的環境へと拡張した研究は寡聞にして見当たらない。本研究の発展により、動的環境の変化及びロバスト性を考慮した、より現実的なチーム編成・提携構造形成問題の定式化が可能となり、人工知能・計算機科学をはじめ、経済学、工学（制御）、生態学等の様々な方面への展開が期待できる。自然災害や人災に対してロバスト性を考慮することは重要な問題であり、本研究は、その基盤となる理論的研究を実現しており、今後、多くの研究分野で展開されると考える。

研究成果の概要（英文）：How to form a team for achieving a given set of tasks is an important issue in multi-agent systems. Team formation (i.e. set covering problem) is the problem of selecting a group of agents, where each agent is characterized by a set of capabilities; the objective is to achieve a given set of tasks, where each task is made precise by a set of capabilities necessary for managing it. In this work, we investigated the theoretical work for the robust team formation. Additionally, we studied the coalition formation problem (i.e. set partitioning problem) which involves partitioning a set of agents into coalitions so that the social surplus is maximized. Several papers are accepted in top conferences and top journal. Also, we obtained several best paper awards for our research. Finally, DAMT formation and nurse and sport scheduling problems are also investigated as our application problems.

研究分野：人工知能

キーワード：マルチエージェントシステム チーム編成 提携構造形成 ロバスト性 不確実性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マルチエージェントシステムとは、エージェントと呼ばれる複数の自律的な主体(例えば、人間や知的なプログラム等)の相互作用に関する研究分野であり、計算機科学、人工知能、経済学、生態学、社会学等の分野も関連する学際的な研究分野である。マルチエージェントシステムを支える基礎理論に、どのようにチームを編成するかというチーム編成問題と呼ばれるアプローチがある。チーム編成問題とは、異なるスキルをもつエージェントの集合から、与えられたタスク集合を達成するような部分集合(チーム)を決定する問題である。この問題は完全集合被覆問題と等価な問題として知られており、人工知能分野における最も権威のある国際会議 IJCAI や AAAI, マルチエージェントシステム分野の最難関国際会議である AAMAS 等で毎年関連研究が発表される、現在最も活発な研究分野の1つである。

実世界に存在する様々なチーム編成問題では、与えられたタスク集合を達成するだけでなく、チーム編成にかかる人件費や編成されたチームのロバスト性など、異なる評価基準を同時に考慮する場合が存在する。また、これらの多くは動的に変化する場合が多く、動的環境における異なる評価基準を考慮した動的なチーム編成を考える必要がある。申請者は、世界に先駆け、ロバストなチーム編成に関するフレームワークを提案した。しかし、この問題を解く効率的なアルゴリズムは未だ存在せず、動的環境への拡張も寡聞にして見当たらない。

2. 研究の目的

ロバストなチーム編成問題では、チーム編成にかかるコスト及び、チームのロバスト性を同時に最適化する必要があるが、この問題を解く効率的なアルゴリズムは未だ存在しない。また、実世界に存在する様々なチーム編成問題の多くは、動的に変化するため、動的環境におけるチーム編成の研究は重要である。ロバストなチーム編成アルゴリズムや、動的なチーム編成に関する既存研究は少なく、ロバスト性を考慮した動的なチーム編成問題は存在しない。そこで本研究では、まずロバストなチーム編成問題を解く効率的なアルゴリズムを開発する。次に、動的環境におけるロバストなチーム編成問題を定式化し、この問題を解く効率的なアルゴリズムを開発する。最後に、応用研究として、災害派遣医療チーム(Disaster Medical Assistance Team; DMAT)編成問題を定式化し、DMAT 編成ソフトを開発する。

3. 研究の方法

本研究ではロバスト性を考慮したチーム編成問題に対して、次の3つの研究課題を実施した。さらに、チーム編成の関連研究として、提携構造形成問題におけるロバスト性や動的環境、具体的には確率を考慮した問題へのアプローチも実施した。提携構造形成問題とは、協力ゲーム理論を支える基礎理論であり、与えられたエージェントの集合を、社会的余剰が最大化されるように、どのように分割するか(グループを編成するか)という問題であり、完全集合分割問題と等価な問題として知られている。この問題もチーム編成と同様に、IJCAI, AAAI, AAMAS 等の難関国際会議で毎年関連研究が発表されている研究分野の1つである。

(A) ロバストなチーム編成アルゴリズムの開発：従来のチーム編成問題では、チーム編成にかかるコストの最小化を目的としていたが(単一目的)、ロバストなチーム編成問題では、チーム編成にかかるコストに加え、ロバスト性を考慮する必要がある(多目的)。単一目的のチーム編成アルゴリズムは数多く存在するが、多目的チーム編成アルゴリズムに関する研究はほとんど存在しない。研究課題(A)では、チーム編成コストの最小化及び、ロバスト性の最大化を同時に考慮した2目的チーム編成アルゴリズムを開発する。

- (B) 動的環境におけるロバストなチーム編成問題の定式化とアルゴリズムの開発：ロバストなチーム編成に関する研究は新しく、動的環境へと拡張した既存研究はほとんどない。申請者は、チームが達成すべきタスク集合が動的に変化する動的なチーム編成問題を提案したが、この問題ではロバスト性は考慮されていない。そこで、本研究課題では、既存研究を拡張し、ロバストなチーム編成問題と動的なチーム編成問題を基に、動的環境におけるロバストなチーム編成問題を定式化し、チーム編成アルゴリズムを開発する。
- (C) 災害派遣医療チーム編成問題：災害派遣医療チーム(Disaster Medical Assistance Team; DMAT)とは大規模な災害時に被災者の生命を守るための救急医療を行う、専門的な訓練を受けた医療チームを指す。DMAT は医師 1 名、看護師 2 名、事務職員 1 名の計 4 名からなり、その活動期間は移動時間を除き 48 時間以内が基本とされている。また災害の規模に応じて、DMAT の活動が長期間（例えば、1 週間）に及ぶ場合、DMAT2 次隊、3 次隊が追加派遣される。平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災では、全国各地から約 340 チームの DMAT が被災地に派遣され、3 月 11 日から 12 日間にわたり救急医療活動が行われた。どのように DMAT を編成するかは災害時において重要な課題の 1 つである。DMAT は被災地域の都道府県や厚生労働省の派遣要請に基づき、DMAT 指定医療機関で資格をもつスタッフから編成される。しかし、資格をもつスタッフは他の医療機関にも数多く存在し、複数の医療機関のスタッフから DMAT を編成することも可能である。例えば、DMAT 指定医療機関に存在する DMAT 資格をもつ医師が手術中や病気等で出勤不可能な場合、他の医療機関の医師を加えることにより、DMAT 編成が可能となる。しかし、どの医療機関から誰（医師、看護師、事務職員）を何名選ぶかは簡単な問題ではない。そこで本研究課題では、応用研究として、兵庫県を対象とした DMAT 編成ソフトを開発する。

4. 研究成果

【平成 29 年度】

申請書に提案した研究課題(A)ロバストなチーム編成アルゴリズムの開発、(B)動的環境におけるロバストなチーム編成の定式化とアルゴリズムの開発及び、(C)災害派遣医療チーム編成問題の研究をそれぞれ研究計画に沿って実施した。研究課題(A)に関しては、多目的(分散)制約最適化アルゴリズムに基づくアプローチとして、単一目的の分散制約最適化問題の代表的なアルゴリズムである動的計画法に基づく DPOP を多目的へと拡張したアルゴリズムを開発した。チーム編成問題を含む提携ゲームは分散制約最適化問題として表現可能であり、本年度はチーム編成問題へ適用可能な多目的分散制約最適化アルゴリズムを開発した。本研究成果はマルチエージェントシステム分野の最難関国際会議である International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS-2018)に論文が採録された。研究課題(B)に関しては、動的環境におけるチーム編成問題として、チーム編成におけるレジリエンスを考慮した recoverable team formation のフレームワークを提案した。従来のロバストなチーム編成は動的環境におけるプロアクティブなアプローチであるのに対し、recoverable team formation はリアクティブなアプローチとなる。本研究成果も AAMAS-2018 に論文が採録された。研究課題(C)に関しては、DMAT に関する情報収集及び、南海トラフを想定した実データに基づく DMAT 編成シミュレーションを実施した。その他にも、神戸大学海事科学部の研究者を対象とした共同研究チーム編成ツールの開発も行った。

【平成 30 年度】

平成 30 年度の研究実施計画に記載した研究課題 (1) 動的環境における提携ゲームの定式化とアルゴリズムの開発, (2) 確率的な提携構造形成問題及び, (3) 応用研究として ナース・スケジューリング問題をそれぞれ実施した。まず, チーム編成問題を含む協力ゲーム理論における代表的な枠組みである提携構造形成問題の研究に従事した。研究課題 (1) 及び (2) では, 提携構造形成問題における確率を考慮した確率的な提携構造形成問題のフレームワーク及び, 解精度を保証する近似解法を開発した。また, ロバスト性を考慮したロバストな提携構造形成問題のフレームワークを提案し, ロバスト性と最適性を同時に考慮した多目的最適化アルゴリズムを開発した。さらに, 提携構造形成問題における特性関数の簡略表記法に基づく確率的提携構造形成問題のフレームワークを提案し, この問題を解く効率的なアルゴリズムを開発した。本研究成果はエージェントの応用分野に関する国際会議 International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2018) に 2 本の論文が採録され, その内の 1 本は最優秀論文賞に選ばれた。また, 知識表現に関する最難関国際会議 International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2018) にも論文が採録された。さらに, 特性関数の簡略表記法に基づく確率的提携構造形成問題に関する研究では, 情報学及び情報科学分野における, 国内で最も権威のある船井ベストペーパー賞を受賞した。

【令和元年度】

令和元年度の研究実施計画に記載した研究課題 (B) の動的環境におけるロバストなチーム編成・提携形ゲームの定式化とアルゴリズムの開発及び, 研究課題 (C) の応用研究 (特に, スケジューリング問題に関する研究) に従事した。まず研究課題 (B) に関しては, 前年度からの続きとして提携形ゲームの代表的なフレームワークである提携構造形成問題の研究を実施した。具体的には, 任意のエージェントの欠席率とロバスト性を考慮した確率的提携構造形成問題のフレームワークを提案し, 解精度を保証する近似アルゴリズムを開発した。本研究成果はマルチエージェントシステム分野のトップジャーナルである Autonomous Agents and Multi-Agent Systems に論文が掲載された。さらに, エージェントのタイプ (能力) に着目した, エージェントのタイプを用いた特性関数の簡略表記法に基づく確率的提携構造形成に関する研究を実施した。本研究成果は電子情報通信学会和文論文誌 D に論文が掲載された。これらの研究は, 昨年度に国際・国内学会で発表した研究成果を拡張したものであり, 本年度は, その拡張版がジャーナル論文として採録された。応用研究では, ロバスト性を包括するレジリエントなナース・スケジューリング問題や, U12 ミニバスケットボールにおけるリーグ戦作成問題に着手し, 本研究成果は International Symposium on Scheduling 2019 (ISS 2019) に論文が採録された。

【令和 2 年度】

令和元年度の研究実施計画を継続して行った。まず研究課題 (B) に関しては, 提携形ゲームの代表的なフレームワークである提携構造形成問題の研究を実施した。具体的には, 任意のエージェントの欠席率を考慮した提携構造形成問題の理論的研究を行った。本研究成果はマルチエージェントシステム分野のトップジャーナルである Autonomous Agents and Multi-Agent Systems に論文が掲載された。さらに, エージェントのタイプ (能力) に着目した, エージェントのタイプを用いた特性関数の簡略表記法に基づく制限付き提携構造形成に関する研究を実施した。本研究成果は電子情報通信学会和文論文誌 D に論文が掲載された。

【総括】

新型コロナウイルス感染症拡大の影響により, 令和元年及び 2 年度の対面での研究打ち合わせ

や、研究成果発表会、ディスカッション等が困難となった。国内外の学会への参加も延期・オンラインとなり、研究者とのディスカッションの場は予定より大きく減ったが、Zoom等のオンライン会議を実施することで対応し、申請書に記載した研究計画は概ね実行することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Kouki Matsumura, Tenda Okimoto, Katsutoshi Hirayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Bounded Approximate Algorithm for Probabilistic Coalition Structure Generation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 In proceedings of the 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2018), Springer	6. 最初と最後の頁 123-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-03098-8_8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nicolas Schwind, Tenda Okimoto, Katsutoshi Hirayama, Katsumi Inoue, Jean-Marie Lagniez, Pierre Marquis	4. 巻 -
2. 論文標題 Probabilistic Coalition Structure Generation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 In proceedings of the 16th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2018)	6. 最初と最後の頁 663-664
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tenda Okimoto, Nicolas Schwind, Emir Demirovic, Katsumi Inoue, Pierre Marquis	4. 巻 -
2. 論文標題 Robust Coalition Structure Generation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 In proceedings of the 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2018), Springer	6. 最初と最後の頁 140-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-03098-8_9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 沖本 天太, 上田 俊, 平山 勝敏, 藤本 真育, 豊島 大弥	4. 巻 -
2. 論文標題 エージェントのタイプに基づく確率的提携構造形成問題	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第17回科学技術フォーラム (FIT-2018)	6. 最初と最後の頁 25-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 沖本 天太, 平山 勝敏, 番原 睦則, 井上 克巳	4. 巻 -
2. 論文標題 レジリエントなナース・スケジューリング問題	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第17回科学技術フォーラム (FIT-2018)	6. 最初と最後の頁 37-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toshihiro Matsui, Marius Silaghi, Tenda Okimoto, Katsumi Hirayama, Makoto Yokoo, Hiroshi Matsuo	4. 巻 158
2. 論文標題 Leximin Multiple Objective DCOPs on Factor Graphs for Preferences of Agents	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fundamenta Informaticae	6. 最初と最後の頁 63-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/FI-2018-1642	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Mutsunori Banbara, Katsumi Inoue, Benjamin Kaufmann, Tenda Okimoto, Torsten Schaub, Takehide Soh, Naoyuki Tamura, and Philipp Wanko	4. 巻 -
2. 論文標題 teaspoon: Solving the Curriculum-Based Course Timetabling Problems with Answer Set Programming	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annals of Operations Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10479-018-2757-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Emir Demirovic, Nicolas Schwind, Tenda Okimoto, Katsumi Inoue	4. 巻 -
2. 論文標題 Recoverable Team Formation: Building Teams Resilient to Change	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 In proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2018)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Maxime Clement, Tenda Okimoto, Katsumi Inoue	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-Objective Distributed Pseudo-Tree Optimization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 In proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2018)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Maxime Clement, Tenda Okimoto, Katsumi Inoue	4. 巻 E100-D, 12
2. 論文標題 Distributed Pareto Local Search for Multi-Objective DCOPs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2897-2905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2016AGP0006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Kouki Matsumura
2. 発表標題 Bounded Approximate Algorithm for Probabilistic Coalition Structure Generation
3. 学会等名 The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nicolas Schwind
2. 発表標題 Probabilistic Coalition Structure Generation
3. 学会等名 16th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tenda Okimoto
2. 発表標題 Robust Coalition Structure Generation
3. 学会等名 The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖本 天太
2. 発表標題 エージェントのタイプに基づく確率的提携構造形成問題
3. 学会等名 第17回科学技術フォーラム (FIT-2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖本 天太
2. 発表標題 レジリエントなナース・スケジューリング問題
3. 学会等名 第17回科学技術フォーラム (FIT-2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村 昂輝
2. 発表標題 確率的な提携構造形成問題における精度保証付き近似解法の提案
3. 学会等名 人工知能学会全国大会 (JSAI 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村 昂輝
2. 発表標題 確率的な提携構造形成問題の解法
3. 学会等名 情報処理学会第 80 回全国大会 (IP SJ 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中 悠介
2. 発表標題 公平性を考慮した麻酔科医スケジューリング問題に関する一検討
3. 学会等名 情報処理学会第 80 回全国大会 (IP SJ 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉崎 大貴
2. 発表標題 共同研究チーム編成ツールの開発
3. 学会等名 情報処理学会第 80 回全国大会 (IP SJ 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小浦 隆之
2. 発表標題 列生成法と LP ラウンディングによる提携構造形成アルゴリズム
3. 学会等名 情報処理学会第 80 回全国大会 (IP SJ 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖本 天太
2. 発表標題 不確実性を考慮した提携構造形成問題に関する一検討
3. 学会等名 人工知能学会全国大会 (JSAI 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 沖本 天太
2. 発表標題 確率的な提携構造形成フレームワークの提案
3. 学会等名 第16回科学技術フォーラム (FIT-2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平山 勝敏
2. 発表標題 MC-nets における利得分配: 上界保証付き - コアを求めるアルゴリズム
3. 学会等名 Joint Agent Workshop and Symposium (JAWS 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Maxime Clement
2. 発表標題 Comparing Multi-Objective Decision Methods using a Simulation of Dynamic Sensor Network
3. 学会等名 人工知能学会全国大会 (JSAI 2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nicolas Schwind
2. 発表標題 Building Teams Resilient to Change
3. 学会等名 人工知能学会全国大会 (JSAI 2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神戸大学HP http://www.maritime.kobe-u.ac.jp/professors/okimoto.html Tenda Okimoto https://tendaokimoto.jimdo.com 神戸大学HP http://www.maritime.kobe-u.ac.jp/professors/okimoto.html Tenda Okimoto https://tendaokimoto.jimdo.com
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	平山 勝敏 (Hirayama Katsutoshi) (00273813)	神戸大学・海事科学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	井上 克巳 (Inoue Katsumi) (10252321)	国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・教授 (62615)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------