

## マルチエージェント深層強化学習を用いた大規模都市型水害後における企業の行動制御

楊 少鋒<sup>1</sup>, 小川 芳樹<sup>2</sup>, 池内 幸司<sup>3</sup>, 秋山 祐樹<sup>4</sup>, 柴崎 亮介<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院 新領域創成科学研究科, <sup>2</sup> 東京大学 生産技術研究所

<sup>3</sup> 東京大学大学院 工学系研究科, <sup>4</sup> 東京大学 空間情報科学研究センター

連絡先: <sfyang@csis.u-tokyo.ac.jp>

**(1) 動機:** 近年, 自然災害, 特に水害の激甚化・多様化に伴い, サプライチェーンの寸断による間接的な経済被害が発生する事例が数多く見られるようになった(例: 2018年の「平成30年7月豪雨」, 2011年の「タイ洪水」). そのため, 発災後のサプライチェーンの早急な復旧が非常に重要である. そこで, 本稿では, 荒川洪水におけるサプライチェーンの効率的な復旧を目的とした企業の戦略獲得のために, 企業間取引データや道路, 災害などのビッグデータを組み合わせることで災害の被害波及及び復興過程のシミュレーション環境を構築する. また, マルチエージェント深層強化学習に基づいた企業の行動方針を提案し, 復旧過程における企業の意思決定の最適化を行う.

**(2) 研究対象地域:** 荒川流域における河川の氾濫による水害を対象とする. 荒川は都心部に近いため, 多くの企業が被害を受ける可能性がある.

**(3) 方法:** 企業間取引データ及び荒川氾濫シミュレーション解析データを用いて, 災害の被害波及から復旧過程のシミュレーション環境を構築する. 被災地である荒川流域に立地する約3万の企業とその取引先約17万の企業エージェントとする. シミュレーション期間は1Stepを1日と想定し, 2ヶ月間とする. 企業エージェントの生産力は生産関数に従い, 復興期間中は労働力及びライフライン(建物, 道路)の被災状況によって生産力も減少するとする. 発災後, 被災企業は取引先を失い, 復興するために「復興作業」, 「過去の取引先と契約する」, 「新取引先を開拓する」, 「事業拡大」, 「行動せず」の5種類の行動をとることができるとする. 次に, 個々の企業が発災から復興までの行動戦略を得るために, 深層強化学習の手法を用いてエージェントの行動の最適化を行う. エージェントは, 環境との相互作

用を通して, 自身の行動ポリシーの最適化を自ら行っていく. 深層強化学習のメリットは, 深層ニューラルネットワークを利用することで, 企業間取引のような大規模で複雑なシステムを処理することが可能な点にある. また, エージェント間での利害関係を考慮した行動を学習できるようにするため, Foerster et al. (2016)が考案したエージェント間の相互作用を考慮したマルチエージェント強化学習である Reinforcement inter-agent learning (RIAL)を使用する. このモデルは相互作用を行ったエージェント同士で情報を共有できる点が特徴である.

**(4) 結果:** 図1と図2は学習前後の回復率の推移の比較である. 学習後(図2)は学習前(図1)と比較して, 各業種において効率的に回復しており, 企業の行動が最適化されたことが確認できる. 今後の課題は, より実世界に近いシミュレーションを行うため, 企業の行動モデルや各パラメータの再検討を行う予定である. また, 災害事業継続計画(BCP)をモデルに取り込み, BCPの有効性評価を行いたい.

**(5) 使用したデータ:**

- ・ 企業概要データ, 企業間取引データ(株式会社帝国データバンク)
- ・ 荒川氾濫シミュレーション解析データ(国土交通省荒川河川事務所)

**(6) 謝辞:** 本研究は株式会社帝国データバンクとの共同研究の研究成果の一部である. また, 国土交通省荒川河川事務所よりデータ提供を受けて実施したものである. ここに記して謝意を表したい.

**(7) 参考文献:**

Foerster, J. N., Assael, Y. M., de Freitas, N. and Whiteson, S. (2016) Learning to communicate with deep multi-agent reinforcement learning. *CoRR*, abs/1605.06676.

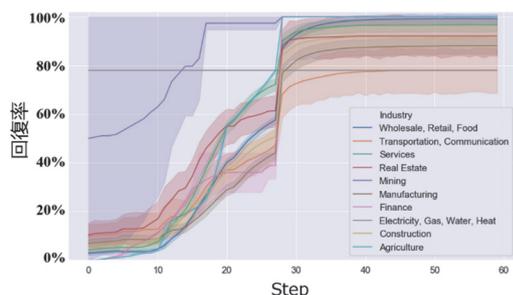


図1: 学習前(ランダムに行動)の復興状況

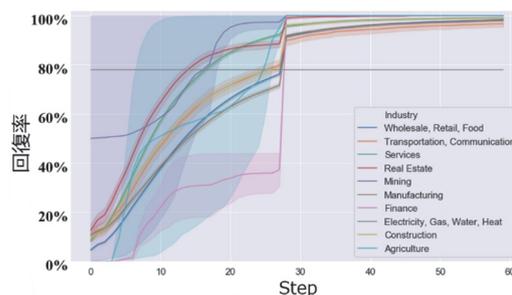


図2: 学習後(最適な行動)の復興状況