

数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用  
2020年度採択研究代表者

2022年度  
年次報告書

川本 裕輔

産業技術総合研究所 情報・人間工学領域  
主任研究員

統計解析プログラムのための形式検証手法

## 研究成果の概要

プログラムが意図どおりに動作するかどうかを数理的に厳密に検証する手法として、形式検証手法が盛んに研究され、様々な種類のソフトウェアの検証に利用されてきた。本研究では、統計解析を行うプログラムの正しさを数理的に厳密に定義し、検証するための形式検証手法を構築することを目指している。

第三年次(2022年4月～2023年3月)は、前年度に引き続き、形式検証の基礎となるアサーション論理とプログラム論理を検討・改良し、その数理的性質を明らかにするとともに、形式検証ツールの設計と実装に取り組んだ。まず、統計的仮説検定を行うプログラムの正しさを検証するために前年度に構築した信念ホア論理 BHL に対して、相対完全性を満たすように改良を加えた。特に、汎用性の高い単純な公理を導入し、複雑な公理を取り除いた。また、統計的因果推論を行うプログラムの正しさを検証するための様相論理 StaCL を定義し、その健全な演繹体系を構築した。この演繹体系を用いると、Pearl の do 計算の規則などを演繹的に導出できることを示した。さらに、統計解析プログラムの形式検証ツールの設計とコア部分の実装を行なった。また、統計的機械学習を扱うプログラムの正しさ、特にセキュリティを実現するための注意事項の系統的な整理にも取り組んだ。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Yusuke Kawamoto, Tetsuya Sato, and Kohei Suenaga. Sound and Relatively Complete Belief Hoare Logic for Statistical Hypothesis Testing Programs. arXiv:2208.07074, 2022.  
<https://arxiv.org/abs/2208.07074>
- 2) Yusuke Kawamoto, Tetsuya Sato, and Kohei Suenaga. Formalizing Statistical Causality via Modal Logic. Proceedings of the 18th European Conference on Logics in Artificial Intelligence (JELIA 2023), 2023.  
<https://arxiv.org/abs/2210.16751>
- 3) Yusuke Kawamoto, Kazumasa Miyake, Koichi Konishi, and Yutaka Oiwa. Threats, Vulnerabilities, and Controls of Machine Learning Based Systems: A Survey and Taxonomy. arXiv:2301.07474, 2023. <https://arxiv.org/abs/2301.07474>