

一般財団法人日本産業科学研究所研究助成 研究成果報告書 2021年3月31日

研究題目： 拡張矛盾許容モデル検査技術の開発と臨床推論・知識検証技法の確立
(Developments of extended inconsistency-tolerant model-checking technologies and clinical reasoning/knowledge verification methods)

研究代表者： 上出哲広

所属・職名： 帝京大学工学部情報電子工学科・准教授

<研究の背景>

本研究では、数理論理学の基礎理論に基づいた新たな矛盾許容モデル検査技術を開発し、その技術を用いて臨床医学に資する臨床推論・知識検証技法を確立する。本研究では、まず基盤となる理論および技術として、矛盾許容論理の基礎理論とそれを応用したソフトウェア検証技術である矛盾許容モデル検査技術を扱う。本研究で扱う臨床推論は、医師が疾患を診断するための思考過程であり、臨床知識は、臨床医学オントロジーなどを基盤として構造化された臨床データである。これら臨床推論・知識に現れる「病気」「健康」の概念はあいまいな概念であり矛盾した内容を含んでいる。例えば、健康という概念については、健康でかつ健康でないという矛盾した状態（「未病」に対応する状態）が存在し得る。これらを適切に扱うためには矛盾許容モデル検査技術が有効である。そして、この技術を用いることにより臨床推論・知識の正当性を検証することは、当該推論・知識から得られる結果に対する正当性を厳密かつ説明可能な形で担保する上で必要となる。特に、推論結果に対する正当性を厳密に説明することは、臨床医学のような人命に関わるミッションクリティカルな分野で必要とされている。

<研究の目的>

本研究の目的は、新たな拡張矛盾許容モデル検査技術を開発することおよびその技術を基にして臨床推論・知識の正当性を検証する方法を確立することである。本研究では、開発する技術の基礎となる技術として、矛盾許容時間論理をベースにした矛盾許容モデル検査技術を扱う。同技術は Easterbrook らによって 2001 年頃モデル検査技術の拡張として開発されたものである。一方、臨床推論・知識を適切に扱うには矛盾許容性以外にも、臨床医学オントロジーの階層を表現するための階層性や病気治癒の可能性などを表現する確率性などを扱える必要がある。そこで、本研究では、矛盾許容モデル検査技術の基盤となる論理体系を階層性や確率性を扱えるように拡張する。そしてその拡張された論理体系を用いたモデル検査アルゴリズムに関する基本的な性質を明らかにする。さらに本研究では、そのような拡張矛盾許容モデル検査技術を用いて実際の臨床に基づいた臨床推論や臨床医学オントロジーに基づいた臨床知識の正当性を検証する効果的な方法を確立する。そのような方法として、従来の標準的なモデル検査器をいくつか組み合わせる方法を提案する。

<拡張矛盾許容モデル検査技術の開発>

矛盾許容モデル検査技術は、矛盾状態を適切に扱うことが可能なモデル検査技術の拡張であり、ソフトウェア要求分析や矛盾状態を考慮した並行システムの検証に役立つことが知られている。本研究では、まず従来の矛盾許容モデル検査技術の枠組みを階層性と確率性を扱えるように拡張した。これを実現するため、新たな拡張矛盾許容時間論理とそれに関連する翻訳アルゴリズムを開発した。それら拡張矛盾許容時間論理と翻訳アルゴリズムはこれまで申請者らが開発してきたものを拡張することにより開発した。この枠組みにより、提案する拡張矛盾許容モデル検査技術に付随するアルゴリズムを従来の標準的なモデル検査技術に付随するアルゴリズムに帰着することが可能になった。

<臨床推論・知識検証技法の確立>

本研究では、上記で提案した拡張矛盾許容モデル検査技術を用いることによる新たな臨床推論・知識の検証技法を提案した。臨床推論・知識に現れる病気や健康の概念は矛盾した内容を含んでいる。これらを扱うために従来、矛盾許容論理が使用されてきた。しかしそのような臨床に付随する矛盾許容性の概念をモデル検査技術へ適用する研究は申請者らの研究以外ほとんど行われてこなかった。そこで、本研究では、まず臨床推論に関する従来の応用研究の内容を拡張矛盾許容モデル検査技術の枠組みに移植した。そして、それら移植した内容を階層性と確率性を考慮して詳細化した。次に、実際の臨床推論モデルおよび臨床医学オントロジーを基にした具体例を設定し、それらを効果的に検証する方法を模索した。そして、上記で提案した論理と翻訳アルゴリズムを用いる検証法を提案した。これにより、標準的なモデル検査器である SPIN, NuSMV および PRISM を組み合わせて用いる臨床推論・知識検証技法に対する理論的正当性を示すことができた。

<研究業績>

[1] Norihiro Kamide and Noriko Yamamoto, Inconsistency-tolerant hierarchical probabilistic computation tree logic and its application to model checking, Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2021), Volume 2, pp. 490-499, Science and Technology Publications, 2021.

[2] 山本ノリコ, Khoo Nee Kwan, 楊奕偉, 石野寛人, 神戸勢大, 上出哲広, 矛盾許容階層確率モデル検査技術を用いた臨床推論・知識検証技法の提案, 情報処理学会, 研究報告数理モデル化と問題解決(MPS), 2021-MPS-132(2), pp. 1-6, 2021.

[3] 山本ノリコ, Khoo Nee Kwan, 楊奕偉, 石野寛人, 神戸勢大, 上出哲広, 矛盾許容階層確率 CTL モデル検査に対する論理と具体例, 情報処理学会第 83 回全国大会予稿集 2B-02, pp. 1-115-1-116, 2021.