

氏名(本籍)	Yiyang Jia		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 9812 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Map Folding Variations: Flat-foldability of Box-pleated Patterns and Validity of Overlapping Orders (地図折り問題に関する研究: 45 度格子パターンの平坦折り可能性と重なり順の妥当性判定問題)		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	三谷純
副査	明治大学 客員研究員	学術博士(数学)	奈良知恵
副査	北陸先端科学技術大学院大学 教授	博士(理学)	上原隆平
副査	筑波大学 教授	工学博士	工藤博幸
副査	筑波大学 准教授	博士(情報理工学)	金森由博

論文の要旨

審査対象論文は、計算折り紙の分野における地図折り問題に関する研究をまとめたものである。計算折り紙の分野では、平坦折り可能性の判定問題が最も重要な問題の一つであり、とくに折り線の配置を格子パターン上に限定した地図折り問題は、いまだ未解決問題である。本論文では、この地図折り問題に関係する諸問題に対して、平坦に折り畳まれた状態の存在と折り畳まれた状態に至る折り畳む操作の存在の同等性に基づき、大域的な平坦折り可能性について二つの側面から研究されている。一つは、平坦折り可能性と呼ばれる特定の展開図が平坦折り可能であるかの判定であり、もう一つは重なり順序の有効性と呼ばれる、与えられた展開図の面(折り線に囲まれた多角形)に与えられた順序が平坦折りした状態の面の重なり順序と対応付け可能であるかの判定である。平坦折り可能性を判定する問題において、局所的な平坦折り可能性は解析可能であり、単頂点の近傍の平坦折り可能性は線形時間で判定できる。ただし、展開図中のすべての頂点が局所平坦折り可能だとしても、それを対象とする大域的な平坦折り可能性の判定は一般に NP 困難である。本論文では展開図に含まれる折り線の配置を直交等間隔格子パターンおよびその各格子の対角線を含むパターンに対し、山谷割り当ての有無および格子数の制限について異なる複数の問題を研究することで、NP 困難性が生じる境界を明らかにしようとしている。本論文では、このような試みを通し、地図折り問題に関係する複数の新しい問題を提案し、それらに対する解法と計算量を明らかにしている。

審査の要旨

【批評】

本論文では、地図折り問題に関係する複数の新しい問題を提案し、それらについての解法を示している。それらは以下のように大きく4つにまとめられる。

1. 平坦折り可能性について、 $1 \times n$ および $2 \times n$ の Box-pleating 展開図における局所的な平坦折り可能性と大域的な平坦折り可能性の同値関係を証明した。またそれぞれに、大域的な平坦折り可能性を判定する線形時間の解法を示した。
2. 全ての折り線が存在する Box-pleating 展開図に関する、一般的な折り操作で到着できる重なり順序の有効性の判定問題について、線形時間の解法を示した。
3. 部分層単純折りでも到着できる地図の重なり順序の有効性の判定問題について、線形時間の解法を示した。
4. 部分層単純折りでも到着できる地図の外周部の重なり順序の有効性の判定問題について、線形時間の解法を示した。

上記のように、地図折り問題に関係する複数の問題を提案し、それらに対する解を示し計算量を明らかにした。とくに、 $2 \times n$ の Box-pleating 展開図について、局所的な平坦折り可能性と大域的な平坦折り可能性の同値関係を示した意義は大きく、一般の $m \times n$ の問題の困難さとの境界に対する意味ある示唆を与えた。また、与えられた重なり順の有効性を判定するという問題に対して、その複数のバリエーションを自ら提案し、計算機科学分野におけるその問題の広がりや価値を十分に示した。それらに対して慎重な議論を重ね、解法およびその計算量を明らかにした。また、計算量を論じる際に必要となる折り操作の定義において、「単純折り」が可能とする幾何学的な操作について考察し、部分層単純折り、および、Unfold (展開) 操作を含む単純折りの場合に関する、到達可能な状態の同値性に対する考察も行っている。

地図折り問題自体は未解決であるものの、本論文は、それに関係する諸問題に対して解法を示すとともに、新しい問題の提案を通して、計算折り紙の分野に大きく貢献するものであると評価できる。また、得られた知見が工学分野に応用できる可能性についても示している。以上のように、本論文では新規性・有用性が認められる複数の手法が提案され、博士論文として十分な内容を擁していると判断できる。

【最終試験の結果】

令和3年2月5日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。