

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (総合学術)	氏名	呂 文若 (ロ ブンワカ)
論文題目	A Study on Mathematical Models and Analysis for a Nonlinear Representation Theory on the Size and Apportionment of Parliaments (議会の規模と議席配分に対する非線形代表理論の数理モデルと解析に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>This thesis addresses two critical issues on determining an optimal size of a parliament (Q1) and devising a method for equitable seat apportionment among subgroups (Q2). Traditional views have long held that the size of a parliament could be arbitrary and that seats should be allocated proportionally based on subgroup sizes. However, recent insights challenge these norms, suggesting a sublinear relationship between the size (or seats) and the population. This led to a Nonlinear Representative Theory (NRT), developed by Zhao, Tanimoto, and the author in 2023. Chapter 1 of this thesis provides an introduction on the parliament system, an overview of the literature and the scope of the thesis. A detailed literature review, including a description on the NRT, is given in Chapter 2.</p> <p>Chapter 3 provides an extensive empirical study on a social network-based model by Zhao (2016) for studying issue Q1. That model uses social network to model society. The optimal size of a parliament for the society is modelled by the size <math>\lambda</math> of a minimum set of nodes that can reach a majority of nodes within distance <math>\kappa</math> defined by the maximum distance such that no single node can reach a majority of nodes within distance <math>\kappa</math>. This thesis improves existing methods for finding <math>\kappa</math> and <math>\lambda</math> and use them to study a large number of real-world social networks. It confirms <math>\kappa = 2</math> for most networks studied, suggesting representation in social networks is easy. It also empirically shows that <math>\lambda</math> scales sublinearly to the size of the social network.</p> <p>Chapter 4 studies another model by Zhao &amp; Peng (2020) that can provide a theoretical estimation on the parliament's size, which explains the sublinearity observed in practice. One assumption used by this model is on the existence of a pyramid structure with height <math>\kappa</math>. This thesis provides a rigid definition for pyramid structure and a study on its existence with a large number of real-world social networks. It supports the sublinearity of the parliament's size. Moreover, it finds difference between real-world social networks and popular models including Barabasi-Albert and Watts-Strogatz models. This suggests that those models are not sufficient to model real-world networks. To address this problem, it proposes a novel model.</p> <p>Chapter 5 considers issue Q2 and generalizes existing methods (the Adam's etc) for proportional apportionment to the NRT. A comprehensive study is conducted on the 2024 election of the European Parliament (EP), which adopted a type of sublinear representation called the degressive proportionality (DP) but suffers a criticism on its "individual inequality." This thesis contributes a theoretical support and practical proposals that justify the DP.</p> <p>Chapter 6 reports the practical implications of NRT explored through the Oversea Internship and the Project-Based Research. It reveals that while the public grasps the concept of sublinearity in parliament's size, they struggle to understand its implications for equality in seat distribution. Finally, Chapter 7 summarizes the thesis with some discussions.</p> <p>In summary, this thesis provides comprehensive mathematical and empirical support for NRT, addressing significant gaps in the literature and laying a foundation for future parliamentary design reforms aimed at achieving true representational equality.</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、数理手法を用いて議会の規模及び議席配分問題を研究した成果をまとめたものである。評価できる点は次のとおりである。

1. 議会の規模と議席配分について、独自の理論として非線形代表理論 (Nonlinear Representation Theory、以下NRT)を提示した。NRTは、適切な議会規模は人口の非線形関係にある非線形議会規模理論と、適切な議席配分も人口の非線形関係にある非線形議席配分理論の二つから成る。このNRTは、過去二世紀以上続いてきた主流の認識（議会の規模は任意でよいが、議席は人口に比例して配分せねば平等でないこと）に挑戦するものである。本論文では、非線形議会規模理論に関する先行研究を過去80年に遡ってレビューしたうえで、適切な議会規模が人口の劣線形関係にあることをデータによって確認した。また、非線形議席配分理論に関しては、James Madisonが約240年前に示した思想から近年欧州議会等に採用された逓減比例 (Degressive Proportionality, 以下DP)、趙亮・谷本明子氏・申請者が連名で発表した実数非線形議席配分法までを考察したうえで提示した。
2. 非線形議会規模理論の応用可能性とその実証研究の結果を示した。劣線形議会規模について、社会現象としては長らく観察されてきたが、その理論はまだ十分に確立されていない。これまでゲーム理論や経済理論、投票理論などの観点から様々なモデルが提案されてきたが、本論文では、ある人が別の人を代表できるか否かが社会的距離によって決まると仮定した先行研究のモデルに着目して理論的改善を与えた。さらに、同モデルで大規模な実社会ネットワークを評価した。その結果、人間社会にある代表のピラミッド構造が劣線形な議会規模を作る原因であることを示唆した。また、その過程で得られたピラミッド構造が、ほかの社会ネットワークの研究にも有用であることを明らかにした。
3. 非線形議席配分理論に基づく整数議席配分法を開発した。現在主流になっている人口比例配分のために開発された方法 (Adam法等) をNRTの枠組に拡張し、その適用例としてDPのための議席配分法を開発した。長らく非難されてきたDPの不平等問題について理論的な解決策を示した研究は管見の限り前例がない。
4. 武者修行とPBRの実践活動を通じて、NRTの社会実装に関する重要な課題を示した。これらの活動により、多くの人々が、現実社会に現れている劣線形議会規模については理解を示すものの、それが劣線形議席配分を導く論理は理解できないことが明らかになり、NRTの社会実装について今後の課題を示すことができた。

以上のように、本論文は、議会の規模と議席配分に関する非線形代表理論に対して、先行研究に欠けていた数理モデルを提案または改善し、理論解析と実証実験、並びに実践活動による分析を示した研究成果であり、議会制度や選挙の検討に関する研究の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（総合学術）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年3月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問した結果、合格と認めた。

なお、本論文は京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。