

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	胡明（HU Ming）
論文題目	Studies on Multi-Leader-Follower Games and Related Issues （マルチリーダー・フォロワゲームとそれに関連する問題に関する研究）		
（論文内容の要旨） ゲーム理論は人間の意思決定や行動を科学的に分析するために用いられる理論であり、社会科学や工学のさまざまな分野で応用されている。特に、各プレイヤーが独自に自分のとるべき戦略を決定する非協力ゲームは最も基本的なゲームであり、その代表的なものとして、先手（リーダー）と後手（フォロワー）の2人のプレイヤーが存在するリーダー・フォロワゲームや先手・後手の区別なくN人のプレイヤーが同時に戦略を決定する非協力N人ゲーム（Nash ゲーム）がある。前者のゲームの解は Stackelberg 均衡、後者のゲームの解は Nash 均衡と呼ばれ、これらに対してはこれまで数多くの研究がなされているが、複数のリーダーと一人あるいは複数のフォロワーが存在するようなゲームは、現実に重要な応用が少なくないにも拘らず、その取扱いの困難さのため、あまり研究が行われていない。本論文は、複数のリーダーと一人のフォロワーが存在するマルチリーダー・フォロワゲームとそれに関連する問題に対して、解析および計算のための新しい方法を提案したものであり、全6章から成っている。 第1章は序論であり、Nash 均衡と Stackelberg 均衡、マルチリーダー・フォロワゲームおよびそれに密接に関連する均衡制約付き均衡問題について、従来の研究を概観するとともに、本論文全体の構成を概説している。 第2章では、数学的準備として、凸解析の基礎、および変分不等式と相補性問題に関連する基本的な性質を述べるとともに、Nash 均衡、マルチリーダー・フォロワゲーム、均衡制約付き均衡問題などを正式に定義し、さらに相補性条件を微分不可能な非線形方程式に再定式化する方法や微分不可能な方程式に対する平滑化法など、本論文を通してしばしば用いられる技法を説明している。 第3章では、フォロワーの最適化問題が等式制約条件のもとで凸2次目的関数を最小化する問題であり、さらにリーダーとフォロワーの目的関数の間に零和（zero sum）の関係があるような特殊な構造をもつマルチリーダー・フォロワゲームを取り扱っている。まず、このゲームが Nash 均衡問題に帰着できることを示し、次にそれを等価な変分不等式に再定式化することにより、均衡解の存在と一意性が成り立つための十分条件を与えている。さらに、電力市場モデルの例に対して数値実験を行い、提案したアプローチの有用性を示している。 第4章では、マルチリーダー・フォロワゲームと密接に関連する均衡制約つき均衡問題において、特に均衡制約条件がP行列を含む線形相補性条件で表される場合を考察している。P行列は正定値行列を拡張したものであり、いくつかの好ましい性質を			

もつことが知られている．本章では，先ずそのような特別なクラスの均衡制約つき均衡問題を等価な Nash 均衡問題に変換できることを示している．また，後者の問題は微分不可能な関数を含むため，平滑化と呼ばれる方法を用いて微分可能な問題で近似することを提案し，さらにそのようにして得られる近似均衡解が元の問題の均衡解に収束するための条件を明らかにしている．

第5章では，各リーダーが知りうる情報に不確実性が存在するようなマルチリーダー・フォロワーゲームを考察している．不確実性に関する最悪ケースを想定する，いわゆるロバスト最適化の考え方を適用し，さらに第3章で用いたものと同様の方法を用いて，問題を通常の Nash 均衡問題に再定式化できることを示している．このようにして得られた Nash 均衡問題を解析することにより，元の問題に対するロバスト均衡解の存在および一意性がそれぞれ成立するための十分条件を明らかにするとともに，作用素分割法に基づく数値解法を用いて計算実験を行った結果を報告している．

第6章は結論であり，本論文で得られた成果のまとめと今後の課題を述べている．

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、複数のリーダーと一人のフォロワーから成るマルチリーダー・フォロワーゲームとそれに関連する問題に対して、最適化理論の観点から、均衡解の解析と計算のための新しい方法を提案したものであり、得られた成果は以下のとおりである。

1. フォロワーの最適化問題が等式制約の凸2次最小化問題であり、さらにリーダーとフォロワーの目的関数の間に零和の関係があるような特殊な構造をもつマルチリーダー・フォロワーゲームが Nash 均衡問題に帰着できることを示し、均衡解の存在と一意性が成り立つための十分条件を与えた。さらに、電力市場モデルの例に対する数値実験により、提案した方法の有用性を示した。

2. 均衡制約条件が P 行列を含む線形相補性条件で表される特別なクラスの均衡制約つき均衡問題が微分不可能な Nash 均衡問題に変換できることを示した。さらに、平滑化法を用いてこの問題を微分可能な問題で近似することを提案し、さらにそのようにして得られる近似均衡解が元の問題の均衡解に収束するための条件を明らかにした。

3. 各リーダーが不確実的な情報をもつマルチリーダー・フォロワーゲームに対してロバスト最適化の考え方を適用し、問題が通常の Nash 均衡問題に再定式化できることを示した。さらに、元の問題に対するロバスト均衡解の存在および一意性がそれぞれ成立するための十分条件を与えるとともに、数値実験により提案した再定式化法の妥当性を確認した。

以上のように、本論文はゲーム理論における諸問題の中でも特に取り扱いが困難とされているマルチリーダー・フォロワーゲームとそれに関連する問題に対して、新しい均衡解の概念とそれを計算する方法を提案し、それらの有効性を数値実験により確認したものであり、得られた成果は学術上および応用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年7月27日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。