

(続紙 1)

京都大学	博士（情報学）	氏名	上田 健詞
論文題目	STUDIES ON REGULARIZED NEWTON-TYPE METHODS FOR UNCONSTRAINED MINIMIZATION PROBLEMS AND THEIR GLOBAL COMPLEXITY BOUNDS		
（論文内容の要旨） 制約なし最小化問題は数理計画の根幹をなすと同時に、様々な応用をもつ重要な問題である．この問題に対して、高速に高精度な解を与える手法の多くはニュートン法に基づいている．正則化ニュートン法は、ニュートン方程式を正則化することによって、安定的に解を求めることができる手法である．既存の正則化ニュートン法の多くは凸計画問題に対して開発されており、凸でない問題には適用できなかった．また、大域的な反復回数の上限は、制約なし最小化問題に対する解法の評価基準の一つであり、近年、盛んに研究されている．これは総合的な計算時間の見積もりを与える基準であり、特に大規模な問題に対する解法を評価する際に重要な役割を果たす． 本論文は、非凸な制約なし最小化問題に対して、新しい正則化ニュートン法を提案するとともに、その理論的性質、特に大域的な反復回数の上限の見積もりを与え、数値実験により、それらの妥当性を示したものであり、全7章から成っている． 第1章は序論であり、制約なし最小化問題に対するニュートン型手法と既存の研究成果および論文全体の構成を概説している．第2章では、本論文で用いる数学的事項、特にリプシッツ連続性、微分可能性とそれらに付随する性質を紹介している． 第3章と第4章では、非凸な制約なし最小化問題に対して、2種類の正則化ニュートン法を提案している．大域的収束性を保証するために、一方は直線探索を用いており、他方は正則化の際に用いるパラメータを各反復で調整している．適当な仮定の下で、それぞれの手法が大域的収束性や超一次収束性を持つことを示すと同時に、大域的な反復回数の上限を与えている．さらに、第4章では数値実験を行い、既存の手法に比べて、提案手法が少ない計算時間で最適解を見出すことを報告している． 第5章および第6章では、制約なし最小化問題の特別な場合である非線形最小二乗問題に対して、正則化ニュートン法の一種であるLevenberg-Marquardt (LM) 法を考えている．まず、第5章においてはヤコビアンを利用した既存のLM 法の大域的な反復回数の上限を与えている．続いて、第6章では、非線形相補性問題(NCP)など重要な応用を持つ微分不可能な方程式系に対して、一般化ヤコビアンを用いるLM 法を提案し、適当な条件の下で、大域的な反復回数の上限が微分可能なときと一致することを示している．また、得られた結果をNCP へ適用し、NCP に対するLM 法の大域的な反復回数の上限を与えている． 第7章は結論であり、本論文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、数理計画の基礎となる制約なし最小化問題および最小二乗問題に対して、新しい正則化ニュートン法を提案し、それらの手法の妥当性を理論的解析と数値実験により明らかにしたものであり、得られた主な結果は以下のとおりである。

1. 非凸な制約なし最小化問題に対して、直線探索を用いた正則化ニュートン法を提案した。適当な仮定の下で、それぞれの提案手法が大域的収束性や超一次収束性を持つことを示し、大域的な反復回数の上限を与えた。この上限はそれまでに知られていた正則化ニュートン法の上限よりも小さい。
2. 1と同様の問題に対して、信頼領域法のアイデアに基づく正則化ニュートン法を提案し、その理論的な性質を明らかにした。特に大域的な反復回数の上限は、適当な条件のもとでは、最急降下法やニュートン法の上限よりも小さくなることを示した。さらに、様々な数値実験をとおして、多くの既存手法に比べて、少ない計算回数で最適解が求められることを報告した。
3. 制約なし最小化問題の特別な場合である非線形最小二乗問題に対して、問題に含まれる写像のヤコビアンを利用したLevenberg-Marquardt (LM) 法の大域的な反復回数の上限を見積もった。
4. 非線形相補性問題(NCP)など重要な応用を持つ微分不可能な方程式系に対して、一般化ヤコビアンを用いるLM 法を提案し、適当な条件の下では、大域的な反復回数の上限が微分可能なとき(上記3の場合)と一致することを示した。得られた結果をNCP へ適用し、NCP に対するLM 法の大域的な反復回数の上限を与えた。

以上のように、本論文では、制約なし最小化問題および最小二乗問題に対して、新しい手法を提案するとともに、提案手法の理論的性質を解明し、数値実験によりその妥当性を確認しており、得られた成果は学術上および応用上極めて優れている。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2月21日に実施した論文内容とそれに関連する内容についての試問の結果合格と認めた。