

氏名	櫛 範 敬
学位(専攻分野)	博士 (情報学)
学位記番号	情博第286号
学位授与の日付	平成20年1月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科複雑系科学専攻
学位論文題目	Scattering problem for the Maxwell equations outside a moving obstacle (運動する物体に対するマクスウェル方程式の散乱問題)
論文調査委員	(主査) 教授 磯 祐介 教授 木上 淳 教授 西村直志

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、非一様な電磁場を運動する物体に関し、Maxwell方程式に基づく電磁場散乱問題を、順問題と逆問題の両面から論じている。本研究では、波動の物体散乱に関するLax-Phillipsの理論をMaxwell方程式の場合に拡張するもので、数学解析の視点から電磁場における物体散乱問題を精密に検討し、順問題については散乱作用素の構成に関するの結果を、逆問題については先験情報として散乱作用素の存在を仮定した上で散乱物体の再構成に関するの結果を、それぞれ独立に与えた。

偏微分方程式論における物体散乱問題の研究は、既知物体による波の散乱を解析する順問題と、散乱波の観測から未知物体の情報を引き出すことを目指す逆問題とに大別される。Lax-Phillipsの理論では、散乱作用素の存在および構成が前者に対応し、散乱作用素による散乱物体の決定が後者に対応する。このLax-Phillipsによる枠組みの中では、静止物体による波動場の散乱が関数解析的に論じられ、散乱作用素の存在やその性質が論じられるとともにその具体的な構成も示され、さらに逆問題として散乱作用素から散乱物体の一意的な同定が示されている。特に、散乱物体の凸包については、支持関数による再構成表示も与えられることが知られている。物体が運動している場合についても、運動する物体が適当な条件を満たしている場合については散乱作用素の構成が可能であり、しかもその散乱作用素から散乱物体の凸包の再構成表示が得られることも知られている。一方、本研究論じられるMaxwell方程式に関する物体散乱問題については、媒質が均質一様な場合および物体が静止している場合についてのみ、考察がなされていた。このような状況の下、本論文では、非一様な電磁場を物体がある条件下で運動する場合についてMaxwell方程式に関する物体散乱問題を順問題と逆問題との両面から論じている。

本論文では、まず、物体が非一様場を運動している場合について、Maxwell方程式が一意的な解をもち、そのエネルギーが有限時間内においては有界であることを与えた。これにより、電磁場の時間発展を表す作用素を定義することが可能となり、順問題と逆問題の双方において、電磁場の時間発展を数学的に表現することが可能となった。

順問題に関しては、本研究では、まず、外部領域における電磁場のエネルギーが時間に依存せずに有界であり、しかもその任意の有界領域におけるエネルギー（局所エネルギー）が時間発展にともなって減衰するという状況下では、非発散場に対して散乱作用素を定義することができることを示した。また、特に物体の運動が周期的である場合については、非発散場に対して散乱作用素が対応させる場が再び非発散場となることも示した。

逆問題に関しては、散乱作用素からの散乱物体の凸包の再構成表示を与えた。ここでは順問題において散乱作用素を定義するために課された条件が物体や媒質に関する条件にはなっていないため、この条件を逆問題の際の物体や媒質に課すべき先験情報としては採用することはできない。そこで、本論文では、逆問題を考察する際には、順問題で課した条件とは独立して、非発散場上で散乱作用素が定義できるという条件を先験情報として課した上で問題を考察した。この先験情報の下では、波動方程式や媒質が一様な場合と同様に、散乱作用素を積分作用素を用いて表現することが可能であり、その積分核の台および特異台を調べることを通して散乱物体の凸包の再構成表示が得られることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

申請者の研究は、時間に依存する電磁場中を物体が運動するとき、その物体による電磁場散乱をMaxwell方程式で記述して数学的に解析するもので、散乱作用素の存在に関する順問題解析と、運動する散乱物体の凸包の再構成に関する逆問題からなっている。具体的には時間依存のMaxwell方程式の物体散乱問題に対して、波動場におけるLax-Phillips理論をMaxwell方程式の場合に拡張しようとするものである。

真空状態の様な電磁場の場合は、Maxwell方程式は波動方程式の連立系に帰着されるため、これまでもLax-Phillips理論の拡張の試み話されていたが、非一様場においてしかも散乱物体が運動する場合の散乱理論については、未解決のままであった。申請者は、この問題に対して順問題については自然な形で肯定的な回答を与え、逆問題については波動場の場合よりも厳しい先験条件を与えるものの、Lax-Phillips理論の拡張となる成果を与えている。具体的には順問題では局所エネルギーの時間的な減衰を仮定した場合には散乱作用素が定義されることを証明し、物体の運動が周期的である場合については、非発散場に対して散乱作用素が対応させる場が再び非発散場となることまで示した。これによって、運動についての制限はあるものの、散乱作用素が定義され、順問題の適切性が示されたことになる。しかしながら、ここでの議論の仮定は物体や電磁場の物性に対する明示的な条件ではないため、逆問題解析においては散乱作用素の存在を先験情報として採用せざるを得ないという制約となる。この点がLax-Phillips理論の完全な拡張になっていない部分ではあるが、この先験情報下では支持函数から散乱物体の凸方が再構成されることも示され、永らく未解決であった問題に対する一つの回答を与えている。

以上を総合し、申請者の得た成果は、時間依存の電磁場散乱に関する数学解析において未解決問題の回答を含めた新たな知見を与えるものであり、また逆問題解析としても新たな知見を与えるものにもなっている。

論文調査委員会は平成19年12月26日に公聴会を行ない、研究内容と関連する専攻学術に対する質疑応答を行なった。これにより、研究成果は応用解析学において高い水準にあり、また研究の過程において申請者は高い学識の涵養を行なったことも認められた。これらを総合し、申請者の論文は京都大学博士（情報学）の申請に相応しい研究内容との結論に達した。