

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 磁気流体上の擬似ブラックホールの研究

氏 名 野田宗佑

論 文 内 容 の 要 旨

ブラックホールは一般相対性理論のアインシュタイン方程式によってその存在が予言される、事象の地平面に囲まれた時空の領域である。定常で軸対称なものはカーブラックホール時空とよばれ、質量と角運動量によって特徴付けられる。この時空には事象の地平面の外側にエルゴ領域とよばれる時間的キリングベクトルが空間的になる領域が存在する。この性質から、粒子や波のエネルギーに対応する保存量の符号が、ある観測者にとっては負になり得るために、カーブラックホールの角運動量ならびにエネルギーを引き抜くことが可能である。特に波を用いたエネルギーの引き抜きは **superradiance** とよばれ、エネルギー引き抜きの結果として波は増幅散乱される。

音速点を持つ流体の流れの上では、音波が音速点の下流から上流に伝播できないため、ブラックホール時空における波動現象を模倣することができる。これを流体ブラックホールとよぶ。完全流体上での流体ブラックホールは、音波を用いて定義される擬似的な計量を使って表現でき、流体力学の実験でブラックホール時空における波動現象を調べることが可能である。特に角運動量を持つ内向きの遷音速流の場合には、音波に対する擬似的なエルゴ領域が出現し、音波に対する **superradiance** が見られる場合がある。流体実験の立場とは逆に、流体における流れの安定性等の性質をブラックホール物理学における計算や概念を応用して解析する研究も進められている。しかしながら、天体への流体の降着等で重要になる磁場の効果を取り入れた磁気流体上での流体ブラックホールについては、これまでに解析が行われていなかった。

本研究では磁気流体波に対する流体ブラックホールを定義し、その性質を明らかにすることを目的とした。宇宙プラズマ等の理想磁気流体近似が十分適用できる状況に限定して、短波長磁気流体波の伝播の様子を表すアイコナル方程式の係数から、磁気流体ブラックホールに対する擬似的な計量を導出した。その結果、速い磁気音波と遅い磁気音波に対する計量はリーマン幾何学を一般化したフィンスラー幾何学の計量でまとめて書かれることを見出した。アイコナル方程式は磁気圧優勢もしくはガス圧優勢の場合には、速い磁気音波と遅い磁気音波それぞれに対するに方程式に分

離する。その係数として定義される速い磁気音波の計量は、完全流体の擬似的計量に磁場の効果を加えた形になり、磁気音速点を地平面とする流体ブラックホールが定義できる。一方遅い磁気音波は、移流型のアイコナル方程式に従うため背景流で決まる特性曲線に沿って伝播する。その性質から速い磁気音波に比べて次元が1つ低い擬似的な時空上の線素が定義できることを示した。また、その上で定義される時間的なキリングベクトルがヌルになる場所は遅い磁気音波の伝播速度がゼロになる点と一致していることが分かった。

さらに磁気音波に対する擬似的な時空を分類するために、具体的な背景流として流れの臨界点である **radial Alfvén point** を通る定常・軸対称な内向きの流れを考えた。この流れは **radial Alfvén point** における背景流の角速度と音速の2つのパラメータで分類される。また、流速の動径成分として動径座標の逆べきに比例する流れを選び、そのべき乗の指数と上記の2つのパラメータで磁気流体波に対する擬似的な時空の性質を分類した。その結果、速い磁気音波に対する擬似的な時空は、地平面に対応する磁気音速点が存在して流体ブラックホールになる場合と、磁気圧による効果で地平面ができず、流体ブラックホールにならない場合に分類されることを明らかにした。後者の場合には、擬似的な時空がブラックホール物理学におけるエルゴ領域不安定性とよばれる波の増幅散乱現象に起因する不安定性と等価な不安定性を導くことを示し、この不安定性が磁気回転不安定性として知られる局所的な不安定性がもとになるものではなく、磁気流体の流れの大域的な構造に起因するものであることを議論した。またこの流れの上には、遅い磁気音波に対する擬似的な時空上の時間的キリングベクトルがヌルになる特異な点が現れないことを確認した。