

氏名	もり さわ よし ゆき 森 澤 理 之
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2442 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 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	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Thick domain walls in black hole spacetime (ブラックホール時空中の厚いドメインウォールの研究)
論文調査委員	(主 査) 教授 中村卓史 教授 川合 光 教授 小玉英雄

### 論 文 内 容 の 要 旨

位相的欠陥は対称性の破れを伴う相転移によって一般的に生じる。単極子、コスミックストリング、ドメインウォール等が位相的欠陥の具体例として知られている。これらの位相的欠陥は宇宙初期に生成される可能性があり、宇宙のダークマター、ダークエネルギーの起源、さらには、宇宙の大規模構造の起源となるものとして盛んに研究されてきた。

中でもドメインウォールやコスミックストリングのような空間的広がりを持った位相的欠陥は、その張力がエネルギー密度と同程度の大きさを持つ相対論的な対象で、ニュートン的な描像では記述できない。一方、ブラックホールは一般相対論が重要な強い重力場を持つ天体で、その質量としては、太陽質量の 1 億倍程度の大質量ブラックホールから、彗星の質量程度のミニブラックホールまで、いろんな種類のもが理論的にも観測的にも議論されてきた。つまり、現在の宇宙の中には、ブラックホールと相対論的なドメインウォールやコスミックストリングのような位相的欠陥が共存している可能性がある。もしそうなら、それらがどのように相互作用するのかという問題は、ラザフォード散乱のような物理学上の基本的な問題である。

このような観点から、コスミックストリングとブラックホールの相互作用に関しては、散乱過程におけるダイナミクスや臨界衝突係数、衝突後の定常的な配位、重力波の放出効率などについて広範な研究がなされてきた。一方、ドメインウォールとブラックホールの相互作用に関しては、定常的に共存する状況について、ドメインウォールが無限に薄く一様であり、南部-後藤作用に従う幾何学的な面であるとして単純化した取り扱いがなされている程度であった。

申請論文は、ドメインウォールとブラックホールの相互作用系に対して、ドメインウォールを非線型スカラー場として扱い、ブラックホール時空中に存在するドメインウォールを表す非線型スカラー場を数値的に求めることに初めて成功した。またドメインウォールの厚さを考慮にいと、厚さを無視した取り扱いの場合と解が定性的にも異なる場合があることを発見した。

申請論文では、 $\phi^4$  型のポテンシャルを持った実スカラー場を用い、シュワルツシルド時空を背景とした定常軸対称な非線型スカラー場を考え、場の配位を決定する非線型楕円型の方程式を導いた。これを離散化し緩和法を用いることで、数値解を求めている。このときに用いる境界条件の定式化も新しいものである。解析は、ドメインウォールがブラックホールの赤道面にあると制限した場合、その制限を解除した場合の二段階に分けて行われている。どちらの場合にも、数値解を求めることに成功し、結果はそれぞれ次のようになっている。

ウォールが赤道面に一致する場合：南部-後藤作用による取り扱いは、ウォールの芯の位置を記述することができる。しかし、ウォールがブラックホールのホライズン半径よりもずっと厚くなると、エネルギー密度の分布がウォールの芯に沿って一様ではなく、南部-後藤作用による取り扱いは不適當である。

ウォールが赤道面に一致しない場合：ウォールがブラックホールのホライズン半径よりもずっと厚いときでも、ウォールの芯の位置がブラックホールからウォールの厚さ程度以上離れていれば、南部-後藤作用による取り扱いと大きな差は認め

られない。一方、ウォールの芯がブラックホールに近くなると、南部-後藤作用による取り扱いは不適當になり、ウォールの芯の位置を正しく記述することも、ウォールが一樣であると仮定することもできない。

これらの結果は、ブラックホール時空中にドメインウォール解が存在することを示すとともに、このような非一樣強重力場中のドメインウォールを南部-後藤作用では記述できない場合があることを示しており、ドメインウォールとブラックホールの相互作用系に対する理解を深める上で新しい知見をもたらしている。

### 論文審査の結果の要旨

この問題にはドメインウォールの厚さとブラックホールの大きさの2つのパラメーターがある。星の重力崩壊で出来るブラックホールにおいては前者は後者に比べて十分小さいので厚さを無視した南部-後藤作用による取り扱いは妥当と推定されるが、本来ドメインウォール解は非線型スカラー場で記述されるべきで、その場合ブラックホールに突き刺さるドメインウォールの解が存在するかどうかは非自明なことであった。申請論文は数値計算によって解が存在することを初めて示したものであり、評価できる。また、スカラー場の非線型ポテンシャルとしても2つの場合を計算して結果が非線型ポテンシャルの詳細に依らないことも示した。

ブラックホールには、宇宙の初期に形成されたミニブラックホールもありうると考えられている。ミニブラックホールは、ダークマターの候補であるし、ポーキング放射による反陽子の起源やガンマ線バーストの起源の候補でもある。申請論文ではこの場合ドメインウォールの厚さがミニブラックホールの大きさより大きくなる場合があることに着目した。そして、解の存在のみならず、解自体が厚さを無視した南部-後藤作用によるものとは異なる場合があることを示した。これは、新しい知見であり、評価できる。

次に、ドメインウォールが必ずしも赤道面に無い場合を計算している。この場合、ドメインウォールが赤道面から十分離れた場合には非線型楕円型の数値解は簡単に収束するが、赤道面に近い場合には収束困難であった。これを解決するために、ドメインウォールが赤道面から十分離れた場合の解を少しずつずらした値を次の位置での初期条件とする技法を発見して、ドメインウォールが赤道面に極めて近い場合の解も得ることに成功している。この計算技法は今後も、多くの応用ができるので、評価できる。

ドメインウォールがブラックホールにぶつかるといった、動的な場合が重力波の放出とも関係して今後の大きな興味であるが、申請論文によって、動的な場合の計算の初期データを与えることが可能になった。また、一般に解が厚さを無視した南部-後藤作用と異なるという知見は動的な場合にも解が厚さを無視した近似とはトポロジカルにも違う可能性を予測させる。また、ここで得られた解はブレーンワールドでのブラックホールの問題との関連も期待できる。

参考論文は、カルツアクライン粒子の過剰生産問題と3次元重力の隠れた対称性の問題についてであり、どれも申請論文と一般相対論の問題として関連するものである。

よって本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認められるものである。

主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。