

論文審査の結果の要旨

氏名 林 利憲

本論文は、これまでに観測されていない、連星ブラックホール(BBH)の周りを3体目の恒星やパルサーが公転する階層的重力三体系を、恒星の視線速度の変動やパルサーからの信号の到来時刻の揺らぎから、隠れたBBHを観測的に探索する方法を提案するとともに、そのような三体系の安定性について議論するものとなっている。

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションである。本論文の動機やこれまでの研究の状況、そして各章の研究内容の概要を説明している。重力三体系研究の歴史の説明や、近年BBHの合体が重力波観測によって多数発見されていること、重い恒星が2体三体系として発見されていることが説明され、現在までに発見されていないBBHと恒星・パルサーからなる系が存在しうる興味深い系であることが説明されている。

第2章では、まず現在までに実際に観測されている多体系で、伴星が直接観測されていない実例のレビューがされている。続いて、GaiaやTESSによる探索の提案についてのレビューがされている。次に、BBHと恒星からなる三体系の形成シナリオについて、質量放出やBBH形成前の共通外層での進化過程、超新星爆発時の反跳後の三体系の生き残り率など不確定要素が多数あり、そのような系が恒星の三体系からどの程度の割合で形成されるかは不明な点が多いことが説明されている。また、星団中での多体効果によって形成される三体系も、割合としては多くはないかもしれないが、そのようなBBH・恒星系もあり得ると論じている。

第3章からが研究の本題となっている。3章では3体がすべて同一平面上にある場合にBBHの外側に円運動する恒星がある状況が設定されている。この円軌道は厳密なものではなく、内側が連星系であることにより外側の恒星が2体ケプラー運動から速度のずれが生じ、観測者が観測する視線速度の短期変動となる。その視線速度の短期変動を検出するための新しい方法として、ケプラー運動である場合の視線速度変動成分を、解析的なテンプレートを用いて差し引くのではなく、データを元にフィッティングによって成分を求め、それをデータから差し引き、残差の視線速度変動成分を求めるという方法を提案している。その結果、内側のBBHによる3体目の恒星の視線速度の周期変動成分がデータのピリオドグラムを計算することで検出できることが示されている。さらに不規則な観測の頻度や雑音など実際に近いものを想定した擬似

観測データにより、3体効果による視線速度変動が検出できることが確認されている。

第4章では、三体系の節の歳差運動や Zeipel-Kozai-Lidov(ZKL)振動により生じる長周期の視線速度変動の検出可能性について調べてられている。まず3体が同一平面にある場合について、視線速度の長期変動のフィッティングにより決まる3体目の近点引数のずれが内側のBBH検出に使えることをしめした。また、同一平面にない場合にBBHと3体目の軌道面の歳差運動によって生じる視線速度変動をしらべ、その変動周期はおおよそZKL振動の時間スケールと一致し、その振幅は100km/sのオーダーにし、その変動は考察されたモデルでは10年スケールの観測で検出可能とされた。

第5章ではBBHの外側をパルサーが公転運動する場合のBBHの探索方法が議論され、隠れたBBHは短期間のレーマー遅れの変調によって検出できることが分かった。また、シャピロ遅れが検出できれば軌道面の傾きや質量を決めることが分かった。さらに現在観測されている連星パルサーについて、タイミングデータの残差から伴星が実はBBHであるという仮説をどの程度制限できるか検証されている。その結果、パルサーの起動周期がおおよそ1日以下で、パルサータイミングの精度がマイクロ秒程度であれば、非常に短い軌道周期のBBHまで検出可能であるとされている。

第6章では階層的三体系の不安定性の時間スケールについて調べられている。不安定性の時間スケールとはここでは三体系が解体するまでの時間のことを指す。特に以前の研究で提唱された、ランダムウォークモデル(RW)による不安定性タイムスケールを、3体運動を数値的に解いて得られる解体までの時間との比較が行われた。その結果、内側のBBHと外側の星の軌道運動が順行の場合には、2つの時間はよく一致しているが、逆行の場合や、軌道面が直行している場合にはあまり一致しないことがわかった。直行する場合は解体時間がRWより短くなり、逆行の場合は解体時間がRWより長くなることが示されている。これらはRWの適用限界を示しているものと結論づけられている。

最後に第7章はまとめにあてられている。

なお、本論文には須藤氏、汪氏との共同研究が含まれるが、これらの研究は論文提出者が主体的に計算及び検証を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。