

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	岩佐 真生
論文題目	Lidov-Kozai mechanism in shrinking Massive Black Hole binaries		
(論文内容の要旨)			
<p>大質量ブラックホール連星は銀河の合体に際し形成され、最終的には重力波を放出して合体すると考えられている天体である。進化段階によっては、大質量ブラックホールの周りには星団が付随していることが期待されている。近年、単独の大質量ブラックホールに比べて、それらが連星を為している段階で落ちていく星の割合が大きくなることが示唆されており、本学位論文の主題であるLidov-Kozai mechanismが重要な役割を果たす可能性がある。</p> <p>Lidov-Kozai mechanismは連星に対して3体目が十分に離れた距離にある階層的三体系において実現され、内連星の軌道傾斜角と離心率が振動する現象である。初期条件に応じて離心率の振動は非常に大きな振幅となり、円軌道もこのmechanismの結果、1に近い離心率を取ることが可能になる。本学位論文では、特に、巨大ブラックホールと太陽質量程度の天体からなる内連星に対し、3体目として別の巨大ブラックホールが存在するという状況に注目する。このような場合、離心率が1に近づき内連星の近点距離が非常に短くなると、太陽質量程度の天体が大質量ブラックホールによって潮汐破壊される、あるいは強い重力波源になることが期待される。しかし、本研究対象においては、ニュートン重力に従う3体系に対する単純なLidov-Kozai mechanismがそのまま働くわけではない。一般に、Lidov-Kozai mechanismは非ケプラーポテンシャルの存在により抑制され、最大離心率が減少することが知られている。大質量ブラックホール連星の場合、相対論的補正項と星団が作るポテンシャルが非ケプラーポテンシャルに該当する。また、Lidov-Kozai mechanismは遠方の3体目である外天体からの潮汐力により生じる現象なので、外天体が遠いほど相対的に抑制される。</p> <p>大質量ブラックホール連星は動力的摩擦、星の散乱などにより連星間の距離を徐々に縮めていく。つまり、外天体と内連星の距離が縮まる。したがって、Lidov-Kozai mechanismは初期に抑制されているが、外軌道の収縮にともない、徐々に有効になっていくと考えられる。しかし、この遷移については十分な理解が得られてはいなかった。</p> <p>本学位論文では永年摂動論の下、断熱的に軌道収縮する大質量ブラックホール連星が星団内の個々の星の運動に対してどのような影響を及ぼすか調べた。数値計算より、星団内の星の離心率は急激に励起されうること、また、それらの途中の進化パスが初期条件に強く依存していることを確認した。さらに、位相空間構造の解析的な分析の結果、進化パスの強い初期条件依存性は、分岐線を交差することによる確率的な分岐に起因することを明らかにした。この分岐線は通常のLidov-Kozai mechanismにおいて現われることはなく、星団のポテンシャル、および、相対論的補正の効果と同時に加えることで初めて現れた。さらに、分岐線の交差は、離心率の急激な励起の原因にもなっていることも明らかにし、潮汐破壊や重力波放出などの宇宙物理学的現象にとって重要となりうることを示した。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

銀河中心に存在する巨大ブラックホールに対して大きな離心率を持って接近する天体は様々な意味で興味深い天体である。まず、最近、直接観測された重力波については、将来の宇宙での観測によって巨大ブラックホール近傍を運動する天体からの重力波も直接検出されることが期待されている。巨大ブラックホールに対して大きな離心率をもって接近する天体からの重力波は巨大ブラックホールの時空構造をプローブするものとして重要である。また、そのような天体は潮汐破壊を受け、そのときの電磁波放射が観測される可能性がある。近接連星の最終段階での軌道の発展としては重力波放射による反作用が重要な役割を果たすと考えられるが、重力波放射による反作用は軌道離心率を低減するはたらきがあるため、離心率の大きな連星を生み出す機構としては、重力的な散乱でいきなり離心率の大きな近接軌道に移ることが考えられるが、第二の道筋として、本学位論文で議論されている Lidov-Kozai mechanism が注目されている。

Lidov-Kozai mechanism は 3 体目の永年的な摂動の効果で内連星の軌道の離心率と軌道傾斜角の間に振動を起こす現象である。この現象の発見は古いが、上記のような動機から、近年再び注目されている。ここでは、3 体目として巨大ブラックホールを考える。巨大ブラックホールはほぼすべての銀河に付随していると思われ、銀河の合体とともに、巨大ブラックホール同士の連星合体は我々の宇宙の中で頻繁に起こっている現象だと期待される。Lidov-Kozai mechanism は 3 体目の潮汐相互作用によって引き起こされるため、巨大ブラックホール連星が動力学摩擦等で進化し、距離を縮めると効果が大きくなる。一方で、周辺の星団が作る重力ポテンシャルの影響や、相対論的補正の影響は Lidov-Kozai mechanism を妨げるようにはたらく。

本学位論文では、上記の競合する仮定を考慮し、内連星の軌道進化を永年摂動論によって調べている。具体的には (1) 数値計算により、星団内の星の離心率が急激に励起される場合が存在し、その進化経路は強い初期条件依存性を持つことを明らかにした。(2) 断熱不変量に着目した位相空間の構造の解析により、進化が初期条件に依存する原因を、分岐線の交差による確率的な分岐に起因することを明らかにした。このタイプの分岐線は周辺の星団が作る重力ポテンシャル、および、相対論的補正の効果を加えることで初めて現れるものである。(3) 分岐線の交差により離心率の急激な増加を説明することが可能であり、潮汐破壊や重力波放出などの宇宙物理学的現象における Lidov-Kozai mechanism 重要性をより明らかにした。

上記の研究は十分に独創的であり、その成果の今後の応用も期待される。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る。また、平成30年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 年 月 日以降