


世界最高地点の望遠鏡で解き明かす中性子星合体の元素合成

	研究代表者	東京大学・大学院理学系研究科 (理学部) ・教授	
		土居 守 (どい まもる)	研究者番号:00242090
	研究課題情報	課題番号: 23H05432	研究期間: 2023年度~2027年度
		キーワード: 中性子星合体、元素合成、近赤外線分光、重力波追観測	

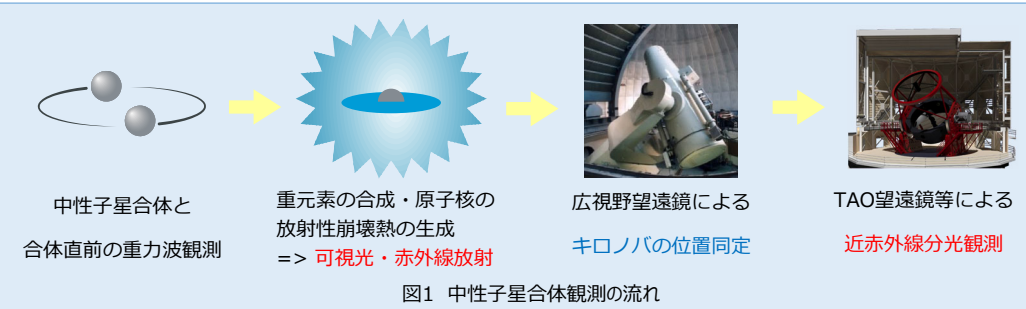
なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

世界最高地点に建設する口径6.5mTAO望遠鏡を用いて中性子星合体後の元素合成研究を系統的に行う。本研究計画によって近赤外線撮像分光装置SWIMSの感度を約3倍高くし、様々な質量の中性子星合体現象の時間進化を含めた0.9~2.5μmのスペクトル10例以上を取得、ランタンやセリウムなどの特徴に注目しながら理論モデルとの詳細比較を行い、合成される元素を特定することにより鉄よりも重い元素の起源を解明する。以下、背景・目的と研究手法を含めて紹介していく。

●中性子星合体観測

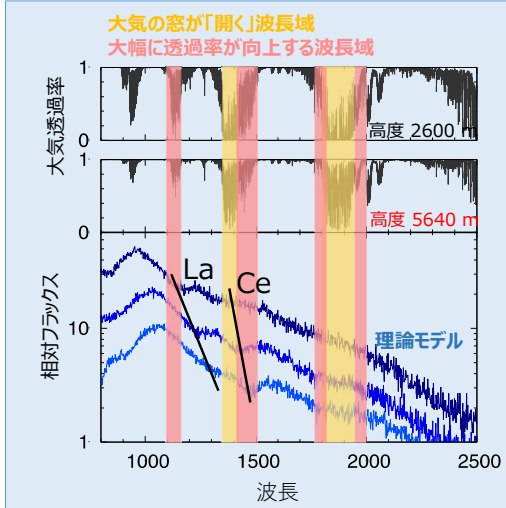
中性子星合体は大変希な現象であるが、合体で生じる重力波の直接観測が重力波望遠鏡 (aLIGO, Virgo, KAGRA等) で可能となってきた。合体後は鉄よりも重い重元素が合成され原子核の放射性崩壊熱により可視光・赤外線で輝く (キロノバ)。可視光やX線などの広視野観測で位置が同定された中性子星合体に対して近赤外線の分光観測を行うことで、重元素合成の現場を調べることが可能となった。



●近赤外線スペクトルとTAO望遠鏡の特長

中性子星合体残光の近赤外線のスペクトルの理論計算 (Domoto, Tanaka et al. 2022) によると、図2下図のようにランタン (La) ・セリウム (Ce) が近赤外線波長域で特徴的なスペクトルを示すことが予想されている。しかしながら予想される波長域は図2上に示すように、通常の高さの観測所からの観測では大気透過率が低い。そこで本研究では世界最高地点 (5640m) に建設され、最も大気透過率が高いTAO望遠鏡を用いることとした。

図2 高度2600mおよび5640mにおける大気透過率 (上) と、理論モデルにより期待される近赤外線波長域のスペクトル (下)。



●観測装置の感度向上

中性子星合体の重力波観測は近い将来の感度向上が期待され、第五期 (O5) では200メガパーセク (6.3億光年) 程度の距離までの合体の検出が可能となると予想されている。その場合、近赤外線2.1.5等級程度までの暗い中性子星合体残光 (キロノバ) の観測ができることが望ましい。

そこでTAO望遠鏡の近赤外線撮像分光装置SWIMSに現在よりも高い波長分解能のモードを導入し、主要な雑音源となっているOH等の夜光をマスクした後に波長分解能を落とすと、図3に示すように感度が約3倍向上し、数時間の観測でランタンやセリウムの特徴を調べる観測を実現することができる。

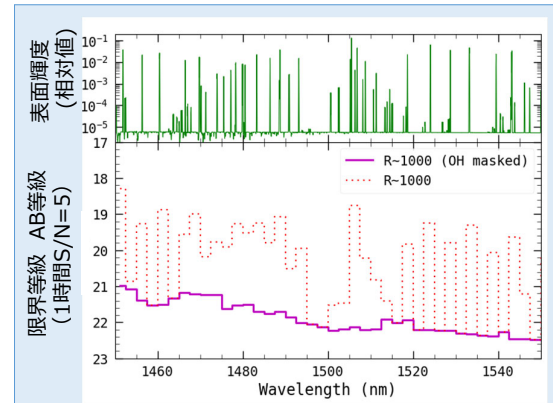
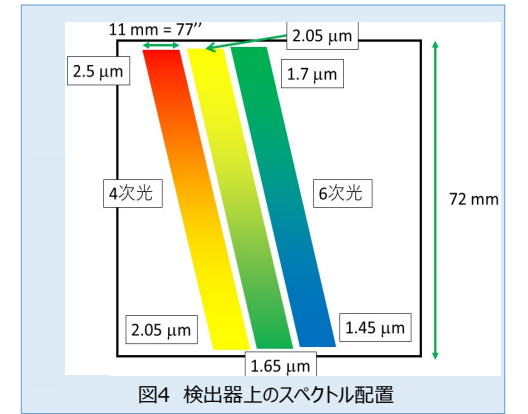


図3 大気夜光とTAO/SWIMSの限界等級

●高い波長分解能の実現

TAO望遠鏡SWIMSの波長分解能は現状では $\lambda/\Delta\lambda \sim 1000$ 程度である。これを約4倍高くすることで感度向上が可能となる。このためには回折格子を用いる際の次数 (= 光路差/波長) を現状の1次ではなく4次から6次を用いるエシェル方式の分光モードを採用することによって実現できる。ただし、その際には図4のようにスペクトルが広がり、特にSWIMSの赤側チャンネルでは現状の2個の検出器では近赤外線波長域全体を覆うことができず、新たに2個の検出器を追加することにより実現する。

2個の検出器を追加することにより撮像モードや低分散多天体分光モードでの視野も広がり、様々な科学観測へも貢献できる。



この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

中性子星合体の観測が詳細に行われたのは、これまで、2017年に重力波望遠鏡 (aLIGO, Virgo) で発見されたGW170817の一例のみである。中性子星合体における元素合成や中性子星の状態方程式などを調べていくためには、異なる質量の中性子星が合体する場合、あるいは違った視線方向から観測した場合など、少なくとも10例程度の詳細観測が望まれる。重力波望遠鏡の第五期 (O5) の観測においては中性子星合体は200メガパーセク (6.3億光年) を越えて年間10個程度発見できると期待できる。そこでTAO望遠鏡SWIMS分光撮像装置の分光の波長分解能を高くて高感度化を実現し、第五期中性子星合体の可視赤外線残光 (キロノバ) を10例以上、0.9~2.5μmのスペクトルを時間変化を含めてTAO望遠鏡SWIMSで取得する。特にランタンやセリウムなど、合成される元素のスペクトル的な特徴に注目しながら、各合体における赤外線スペクトルおよび重力波や他の電磁波放射を説明できるような理論モデルを構築していき、鉄よりも重い元素の合成過程を理解する。また、中性子星の半径によって重元素の合成パターンが異なることから、中性子星の状態方程式にも制限を与えていく。