

ブラックホール連星SS433のジェットの変化

奈良県立青翔高等学校 2年 松尾唯那 森本千慧

1. 要旨

我々はブラックホール連星SS433について、本校の先輩方が観測してきた10年間のデータを整理し、Panferovによって求められたジェットの歳差運動の周期162.25日が今でも正しいのか調べることに、ジェットの放出の様子を詳しく解明することを目的に研究を行った。2012年～2021年にかけて観測してきた15日間のSS433のスペクトル画像を解析した結果、この10年でのジェットの歳差運動の周期は163.06日となり、Panferovが求めた値より約0.8日長くなっていることがわかった。さらに、2020年4月10日は好条件で観測したにもかかわらずジェットの輝線がほとんど見られなかったことから、輝線は強弱の変化を起こしており、その変化は歳差運動によるジェットの視線速度の大きさが小さい方が強くなる傾向があると結論付けた。

2. SS433とは

StephensonとSanduleakが1977年に出版した輝線星カタログの第433番目に登録されている天体で、わし座の方角、地球からおよそ1万8000光年離れた場所にあるブラックホール連星だと言われている。(図1. 2)

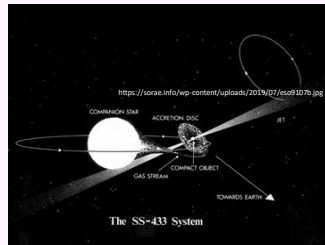


図1 SS433の位置



図2 SS433の想像図

3. 目的

- ・Panferovによって求められた周期162.25日が変化しているのかどうか調べることに。
- ・ジェットの強弱の変化の様子を解明すること
- ・ジェットの放出の様子を詳しく解明すること。

4. 方法〔I〕

- ①岡山県美星天文台でSS433のスペクトル画像を延べ8日間撮影した。
- ②「マカリ」(国立天文台・(株)アストロアーツ)を用いて、その画像の一次処理を行った。
- ③「Be Spec」(川端哲也氏)を用いて、そのスペクトル図を作成し、H α 輝線を特定した。
- ④H α 輝線の波長のずれを測定し、下のドップラー効果の式より、ジェットの視線速度 Δv (km/s)を求めた。

$$\Delta v = c \cdot \Delta \lambda / \lambda$$

7. 方法〔II〕

考察1を踏まえ、各観測日による輝線の強弱の変化を以下の方法で調べた。

- ①「Be Spec」で作成した各観測日のスペクトル図のデータをテキストデータにし、それを「Microsoft Excel」で読み込む。
- ② スペクトル図を参考にして、「Microsoft Excel」のデータから、連続光部、降着円盤のH α 輝線部、ジェット①のH α 輝線部、ジェット②のH α 輝線部を切り出す。
- ③ 区分積法により、降着円盤のH α 輝線部、ジェット①のH α 輝線部、ジェット②のH α 輝線部のそれぞれの面積を求める。
- ④ 降着円盤のH α 輝線部、ジェット①のH α 輝線部、ジェット②のH α 輝線部の等価幅(Å)(注5)をそれぞれ求める。

5. 結果〔I〕

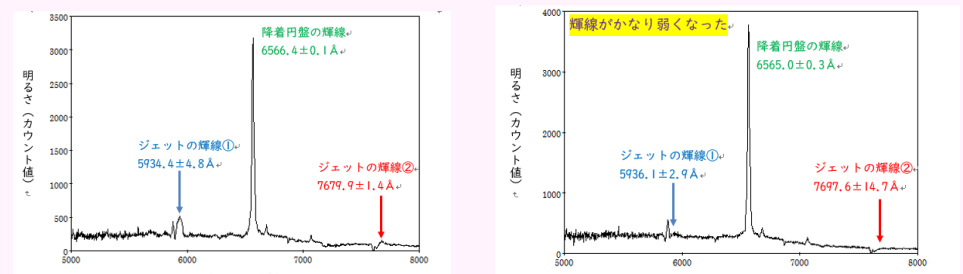


図3 2020年9月5日

図4 2020年4月10日

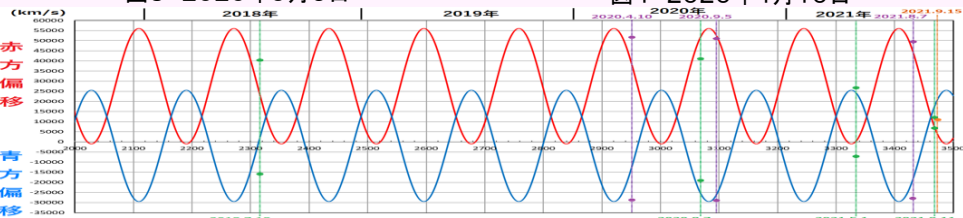
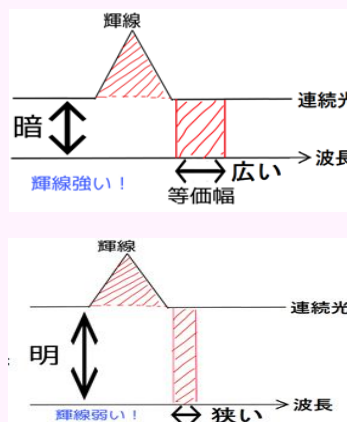


図5 ユリウス日とSS433の視線速度の関係

※赤と青の曲線・・・Panferov(2013)による計算値
3色の縦線・・・観測日 点・・・ジェットの速度

8. 結果〔II〕

2020年4月10日のジェット①・②のH α 輝線の誤差の範囲が大きいのは、輝線自体が弱かったためである。よってジェットの等価幅だけでなく、降着円盤の等価幅も日によって変化しているといえる。



観測日	降着円盤のH α 輝線の等価幅(Å)			ジェット①のH α 輝線の等価幅(Å)			ジェット②のH α 輝線の等価幅(Å)		
	番号	測定値	標準偏差	測定値	平均	標準偏差	測定値	平均	標準偏差
2018/7/18	L07	381.0	325.2 ± 78.8	47.3	47.3	0.1	32.8	33.1	0.5
2020/4/10	L09	265.6	320.6 ± 19.7	8.3	7.1	1.7	2.1	3.0	1.3
	L14	348.4	320.6 ± 19.7	5.9	7.1	1.7	3.9	3.0	1.3
2020/8/7	L12	229.0	228.0 ± 33.7	48.3	40.9	10.5	23.4	24.7	1.8
	L14	180.4	228.0 ± 33.7	33.4	40.9	10.5	26.0	24.7	1.8
2020/9/5	L21	276.7	276.7 ± 45.5	20.3	34.1	19.5	19.6	19.1	0.7
	L22	341.1	276.7 ± 45.5	47.8	34.1	19.5	18.6	19.1	0.7
2021/5/1	L27	240.6	240.6 ± 4.8	55.0	54.4	0.8	64.5	64.9	0.6
	L29	233.8	240.6 ± 4.8	63.8	54.4	0.8	65.4	64.9	0.6
2021/8/7	L13	263.0	263.0 ± 4.6	55.2	54.1	1.0	10.0	10.4	0.3
	L14	254.2	263.0 ± 4.6	53.5	54.1	1.0	10.7	10.4	0.3
2021/9/11	L12	217.5	217.5 ± 5.7	58.7	58.7	—	54.0	54.0	—
	L07	452.6	462.6 ± 5.7	147.2	148.8	1.6	—	—	—
2021/9/15	L08	472.3	462.6 ± 5.7	148.9	148.8	0.1	—	—	—
	L10	472.6	462.6 ± 5.7	148.9	148.8	0.1	—	—	—

表1 降着円盤とジェットの等価幅

6. 考察〔I〕

- 2021年8月7日と2013年8月2日の8日前が同位相であると判断し、この間に18周期が存在すると考え、以下の計算を行った。
- ・2013年7月25日(2013年8月2日の8日前) JD=2,456,498日
- ・2021年8月7日 JD=2459433日
- (2,459,433 - 2,456,498) ÷ 18 = 163.06日

- 2020年4月10日に取得したスペクトル画像では、好条件で観測したにもかかわらずジェットの輝線がほとんど見られなかった
- ⇒輝線は強弱の変化を起こしており、その変化は歳差運動によるジェットの視線速度の大きさが小さい方が強くなる傾向がある。

9. 考察〔II〕

降着円盤やジェットの輝線が日によって変化することについて以下の三つの理由を考えた。

- ①ブラックホールが恒星によって隠されることによって輝線が弱くなった。
 - ②ジェットの歳差運動により、ジェットが視線に対して垂直になると地球からの見かけの面積が広がるため、輝線が強くなる。
 - ③恒星からのガスの供給量が増えると降着円盤やジェットの密度が大きくなるため、輝線が強くなる。
- しかし、伴星による食が起こったと仮定すると、ジェットの輝線だけでなく、降着円盤の輝線も弱くなるはずである。よって、理由①は棄却され、②③が原因である可能性が高い。

10. 今後の展望

SS433について継続的に分光観測を行うことにより、ジェットの歳差運動の周期の変化の特徴やジェットや降着円盤のH α 輝線が強弱の変化の理由について突き詰めていきたいと考える。

11. 謝辞

本研究を行うにあたり、国立大阪教育大学の福江教授、松本准教授にご指導いただきました。また、岡山美星天文台の前野研究員、伊藤研究員に観測のご指導をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

12. 参考文献

福江純ら『超・宇宙を解く—現代天文学演習』恒星社厚生閣(2014) A.A.Panferov, Deceleration of SS 433 radio jets (2013)
岡崎将大ら『分光観測によるSS433のジェットの変化』(日本天文学会第19回)(ジュニアセッション予稿集)(2017)