

はやぶさ2の受信電波から感じるスイングバイ

和歌山信愛高等学校

西川 紗布、西村 舞（高2）、北村 美優、中口 朋美（高1）

要 旨

和歌山大学が受信した、はやぶさ2が発した電波のドップラー効果の解析を行った。観測周波数は送信周波数より全体的に大きかったが、時間によってドップラー効果の程度が大小に変化することが確認された。この変化から、和歌山局からはやぶさ2が観測可能な時間帯においては、はやぶさ2と地球中心の相対距離は近づき続けたが、自転の影響により、はやぶさ2と地表の和歌山局との相対距離の変化量が一定ではなかったと考えられる。また観測データが不連続にジャンプする事象を発見した。

1. はじめに（研究のきっかけ）

2015年12月3日、小天体「りゅうぐう」を目指すはやぶさ2のスイングバイが地球近傍で実施された。和歌山大学には全国的にも珍しいXバンドから衛星や探査機の追尾が可能な電波受信設備があり、これを用いて観測したはやぶさ2の電波の解析を本学で実施してみないかとの提案があった。この課題に興味を持ち、4人で研究を始めた。

2. 観測方法

和歌山大学が保有する12mアンテナを用いて、はやぶさ2の発信するXバンドの電波を受信し、スペクトラムアナライザーを用いて受信電波付近の周波数を観測した。はやぶさ2が発信していると思われる電波の周波数変化により、スイングバイによる和歌山大学局との相対速度の変化に伴うドップラーシフト量を計測した。

3. 観測データの傾向

ドップラーシフト後の周波数帯域付近を観測し、見つかったピークを中心に観測を行った。しかし、はやぶさ2が地球に近づくとつれ、更に大きなピークが観測されはじめた。このことから、最初に観測したのはサブキャリアであり、後から出現したピークがメインキャリアであったと考えられる。観測開始後、14時22分にサブキャリアが見え始めた。15時38分～17時40分に周波数が大きくなる方向にサブキャリアがシフトした。18時40分～19時02分まではサブキャリア、メインキャリア(18時55分出現)のピークが共に、周波数の小さくなる方向にシフトし、19時03分にはピークが消失した。

4. 分析結果1、ドップラーシフトの方向

和歌山大学での観測は、地球に最接近した19時08分より前の19時04分頃までであるため、地球とはやぶさ2との相対距離は近づいており、はやぶさ2のドップラーシフトは波長が短くなる傾向にあると考えられる。しかし実際に観測データを見ると、サブキャリアのピークは、18時29分を境に周波数が大きくなる方向から小さくなる方向に変化していた。これは地球の自転により、和歌山局とはやぶさ2の相対速度が大きくなる方向から小さくなる方向に切り替わったためではないかとられる（図1）

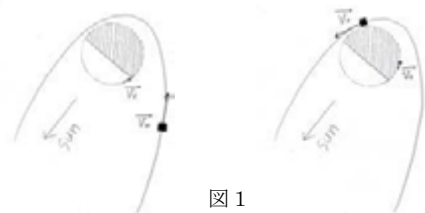


図1

左図でははやぶさ2の相対速度と和歌山局の自転の速度ベクトルがほぼ同じ向きを向いている。対して右図では、互いに打ち消す向きを向いている。

5. 分析結果2、ドップラー効果からわかること

電磁波のドップラーシフト量は数式(①)で表される。そこから、はやぶさ2と和歌山大学局の相対速度を求めることが出来る。

$$\text{ドップラーシフトの式} \quad f' = f \sqrt{\frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v \cos \theta}{c}}} \cdots \cdots \text{①}$$

一例を挙げると、19時02分におけるメインキャリアの周波数のドップラーシフト量($f' - f$)は0.235MHzであったので相対速度は16.7km/sであることが分かった。

6. 分析結果3 周波数のジャンプ

観測データを詳細に調べると、19時00分頃に周波数がジャンプするように切り替わっていることがわかった。このとき、はやぶさ2が発している電波に関わると思われるサブキャリアも併せて、一斉にジャンプをしている。はやぶさ2は地球接近時にローゲインアンテナを利用していたと言われているが、地球の向きに応じて、これらのアンテナを切り替えて利用したのではないかと考えられる。はやぶさ2公式twitterによると18時07分頃にローゲインアンテナを切り替えたとの書き込みがあるが、我々が観測したジャンプとは時間が合わない。はやぶさ2のローゲインアンテナの向きを考えたとき、切替えが2回行われたとは考えにくいため(図2)、実際の切替えは18時07分ではなく19時00分頃に行われた可能性があると考えられる。

7. まとめ・今後の課題

今回、我々は和歌山大学の受信設備を用いて、はやぶさ2が発している電波のドップラー効果を解析した。データからはやぶさ2と和歌山大学局との相対速度が変化したことにより、ドップラーシフトしていることがわかった。今後は電磁波でドップラーシフトが起こる理由を、原理より深く考えていきたい。またより詳細にデータを精査し、更なる分析を実施したい。

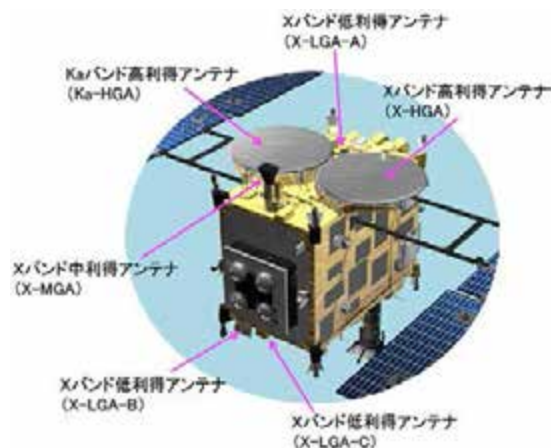


図2

8. 謝辞

本研究を行うにあたり、指導してくださった和歌山大学の秋山演亮先生・富田晃彦先生・尾久土正己先生・京都府立大博士課程の井上真求様、観測をしてくださった和歌山大学の佐藤奈穂子様、森田克己様、また、和歌山信愛高等学校で指導してくださった佐藤佳子先生、吉田晋先生にお世話になりました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

参考

- 1) 図2の出典 <http://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/instruments.html>
- 2) はやぶさ2 twitter https://twitter.com/haya2_jaxa?lang=ja