

要旨

太陽の高分散分光観測を学校で保有する機材で行い、「マカリ」「MSエクセル」という汎用性の高いソフトウェアを使って解析した結果、太陽が差動自転していることの検出に成功した。

背景

太陽の高分散分光観測スペクトルデータからドップラー効果により太陽赤道の自転速度が1.94 [km/s]であることを9月に行われた埼玉県の研究発表会等で報告した。今回は太陽緯度南北15度ごとの自転角速度を求め、太陽の差動自転の検出を行った。

1.観測

2023年7月11日本校屋上（埼玉県川口市）で顧問製作の高分散分光器を用いて地球大気吸収線が多く見られるNa(D)線付近を西から東に向けて北半球と南半球に分けてスリットスキャンし、それぞれ約700枚のスペクトル画像を取得した。撮像したスペクトル画像より太陽面画像（ヘリオグラム）【図1】を作成し（顧問に依頼）、太陽面経緯度線を重ね、東西リムにおける各緯線の位置を決定、そこにおけるスペクトル画像【図2】を「マカリ」で一次処理、「MSエクセル」にて地球大気吸収線で波長付けを行い【図3】、太陽大気吸収線から求めた波長と改訂ローランド表^[1]の値との差のドップラー効果により、各緯度の速度を求めた。

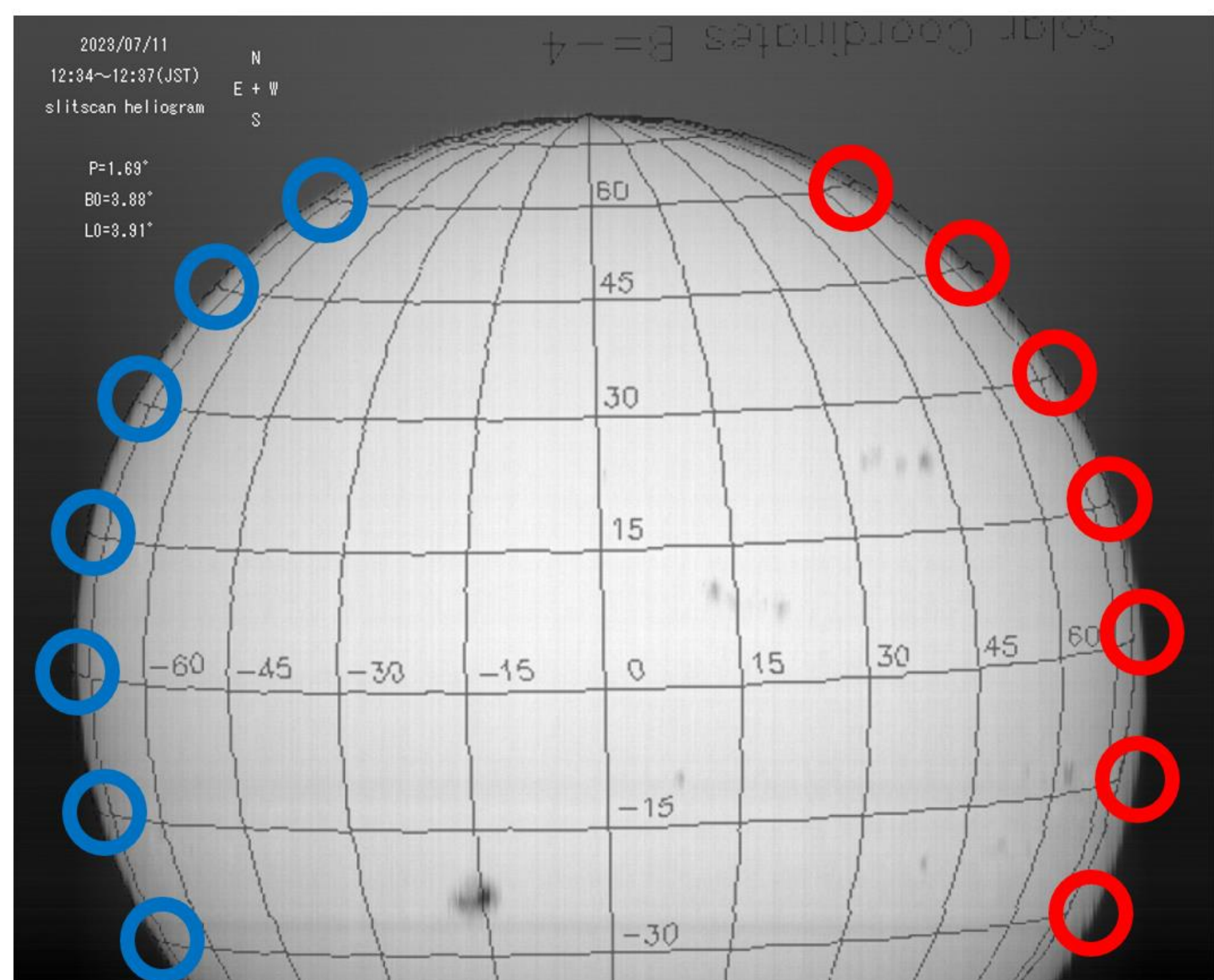
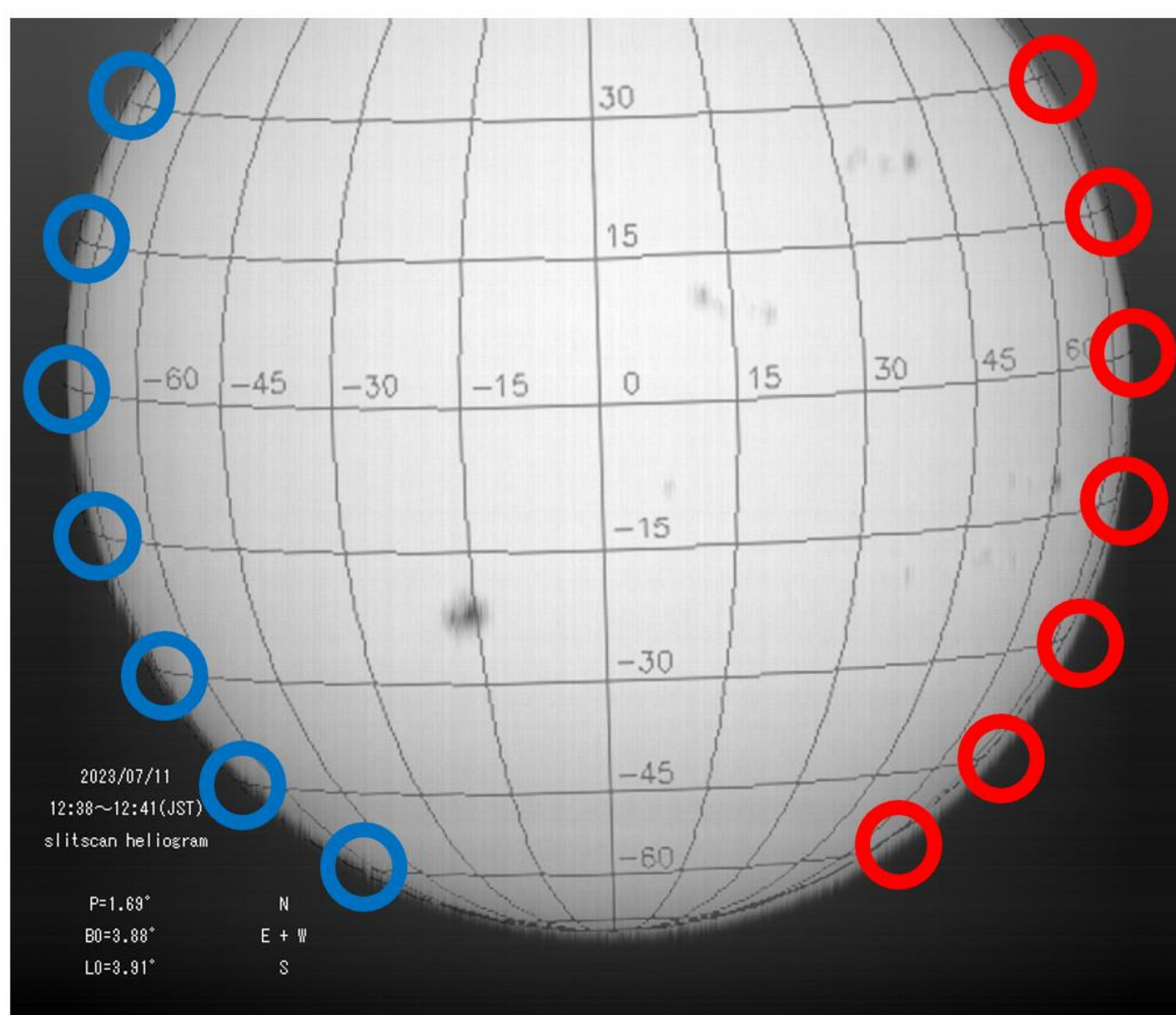


図1 太陽面経緯度線を重ねたヘリオグラム



図の丸印部分のスペクトルを解析。左の青○は地球に向かうブルーシフト、右の赤○は地球から遠ざかるレッドシフト。望遠鏡の視野が太陽全面を撮像できないため、北半球と南半球に分けて観測。

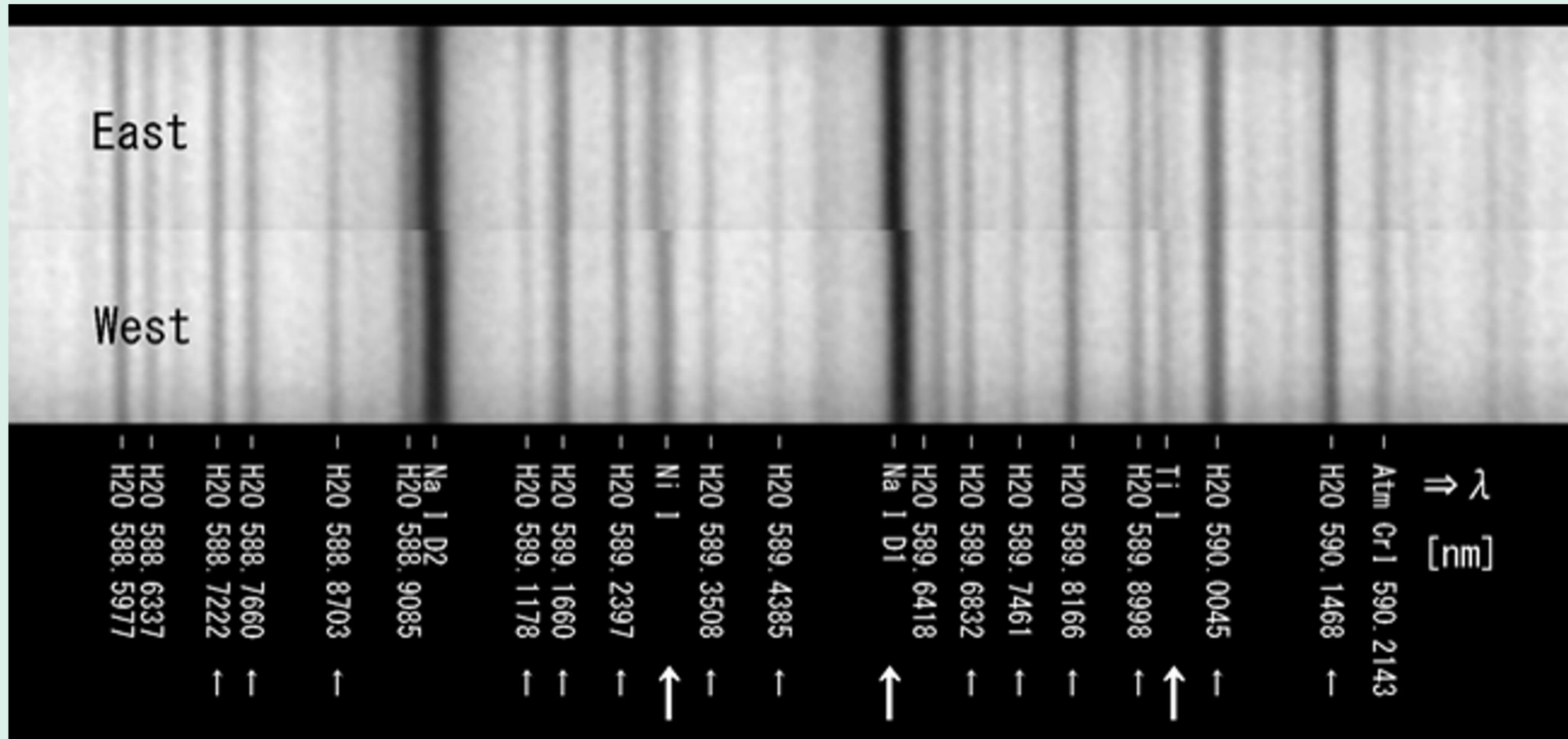


図2 太陽の東西リムにおける赤道上のスペクトル画像

図の小さい矢印は波長決定に使用した地球大気の水素吸収線、大きい矢印は太陽自転速度の計算に用いた太陽大気吸収線である。太陽大気吸収線のみ、ドップラー効果による吸収線位置のずれが見られる。

2.解析

吸収線中心位置はその輝度データを高次関数近似し、中心位置をサブピクセルまで求めて精度を上げた【図4】。観測した太陽東西リムの速度 v_w と v_e には地球自転と公転によるドップラー効果、太陽重力赤方偏移が重なっているが、 v_w と v_e の差 $v_w - v_e$ を求めることにより、これらはキャンセルされる^[2]。さらに観測時の太陽面中心緯度 B_0 ^[3]の補正を行い、太陽半径^[4]と緯度より各緯度における自転角速度を求めた。

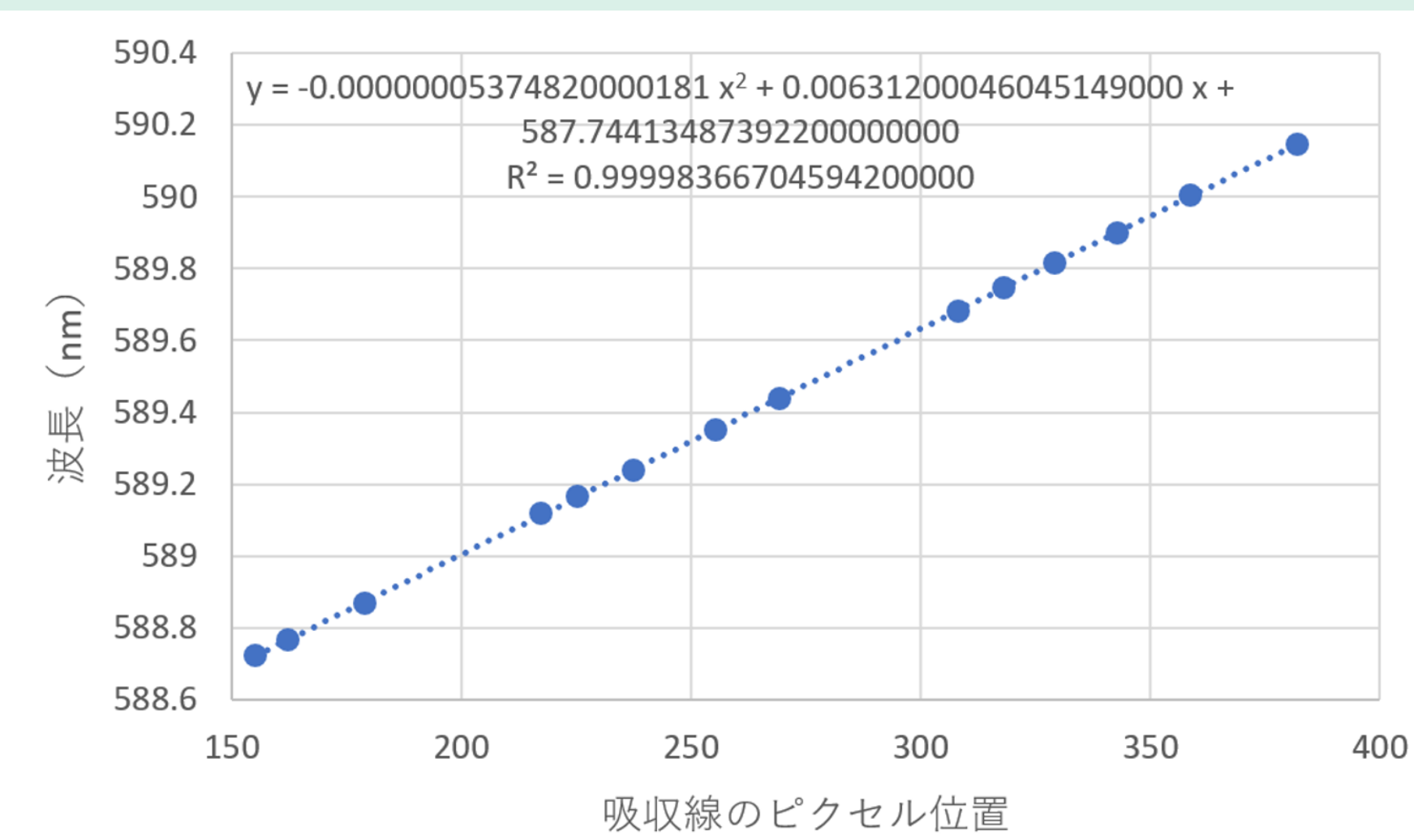


図3 太陽大気吸収線H₂Oの二次近似

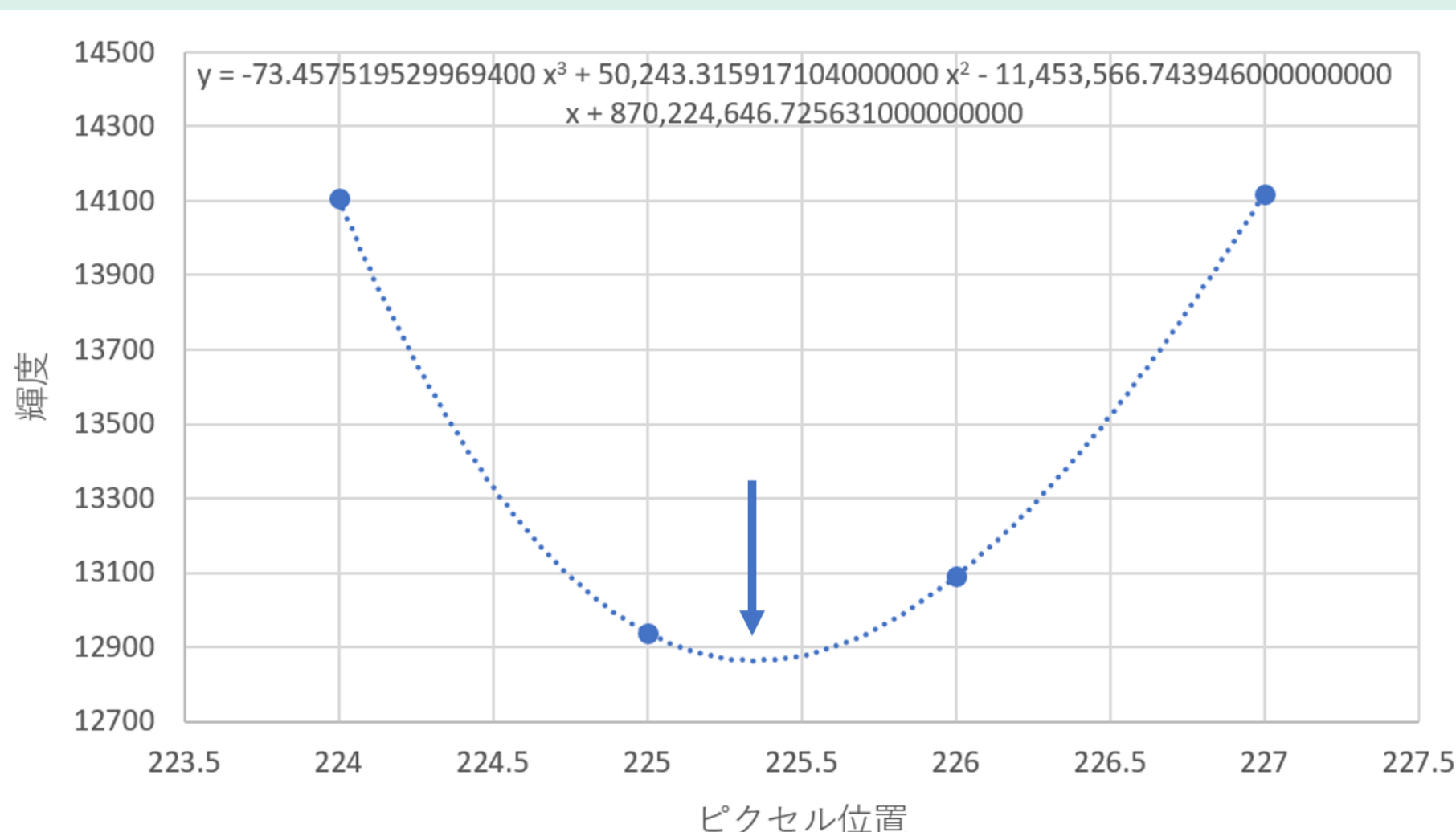


図4 吸収線の例（H₂O 589.1660nm）

3.結果と考察

結果は【図5】のようになった。南北半球双方において赤道に近いほど角速度が大きく、高緯度になるにつれて小さくなるという差動自転の傾向が見られた。また、北半球の方が緯度による変化が小さいという結果になった。

観測した7月では黒点相対数が北半球の方が南半球より大きかったため、南北半球に速度の差が生まれたことと関係していることが疑われた^[5]。

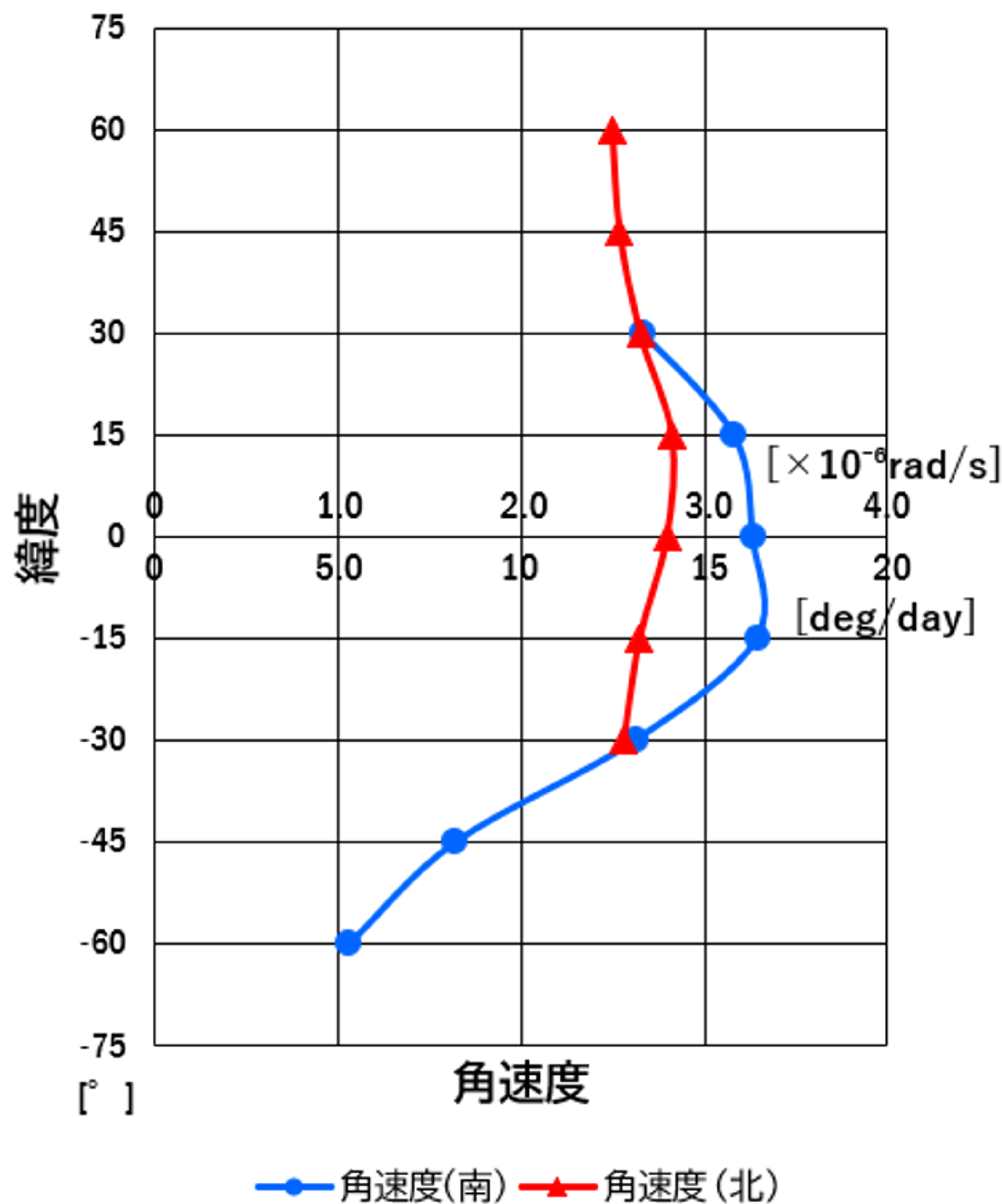


図5 緯度と自転角速度の関係

4.結論と今後の課題

学校で保有する機材と、国立天文台がフリーソフトとして提供している解析ソフト「マカリ」、「MSエクセル」のみを使用して太陽の差動自転を検出することができた。

しかし、ヘリオグラムの歪みにより、経緯度線を太陽リムに正確に一致させられないことや、大気の揺らぎなどの要因で画像のスリット方向の変動が大きく解析するスペクトル位置決定が難しいなどの問題があった。

今後の課題として、観測や解析の数を増やし、それらのデータの平均値として結果を求めて精度を上げるとともに、エラーバーの表示もできるようにしたい。

5.参考文献

[1]改定ローランド表

<http://www.astrosurf.com/spectroheli/atlas-en.php>

[2]西村昌能 天文教育 2016年9月号 p.8、差動回転の検出

[3]太陽の自転軸

https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgibin/koyomi/cande/sun_spin.cgi

[4]理科年表 2016年 国立天文台編 p.78

[5]国立天文台 三鷹太陽地上観測

https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/mitaka_solar/sunspots/number/mtkdaily2023.txt