

# B704 太陽の高分散分光観測～マカリとエクセルによる高精度波長付けの研究～

川口市立高等学校天文部 名城 愛莉 小田切 綺音 佐々木 一架 佐竹 優佳 三瓶 禅 山崎 ひなた (高2) 清水 梨央 富田 涼介 田中 千丸 (高1)

## 抄録

我々は太陽のNaD線(589nm)付近の高分散分光観測を行い、そこに多く存在する地球大気H<sub>2</sub>O吸収線の中心位置をサブピクセルの精度で求め、取得したスペクトルデータの高精度な波長付けを行った。また、太陽大気吸収線(Na, Ni, Ti)についてもその中心波長を同様の方法で求め、ドップラー効果による波長の偏移から太陽赤道上における自転速度1.94[km/s]を得た。以上の観測と解析は学校で保有する機材と汎用性の高いソフトウェアのみを用いることで行った。

## 1.観測

- 観測日時 2023年7月11日12時34分42秒～12時36分57秒(JST)
- 観測場所 本校屋上(埼玉県川口市)
- 観測装置 顧問製作の高分散分光器《資料1》
- 観測方法 分光器をスリットが南北方向になるように固定する。太陽の日周運動を利用して太陽を北半球と南半球に分け西側から東に向けてスリットスキャンし、約700枚のスペクトル画像を取得した。

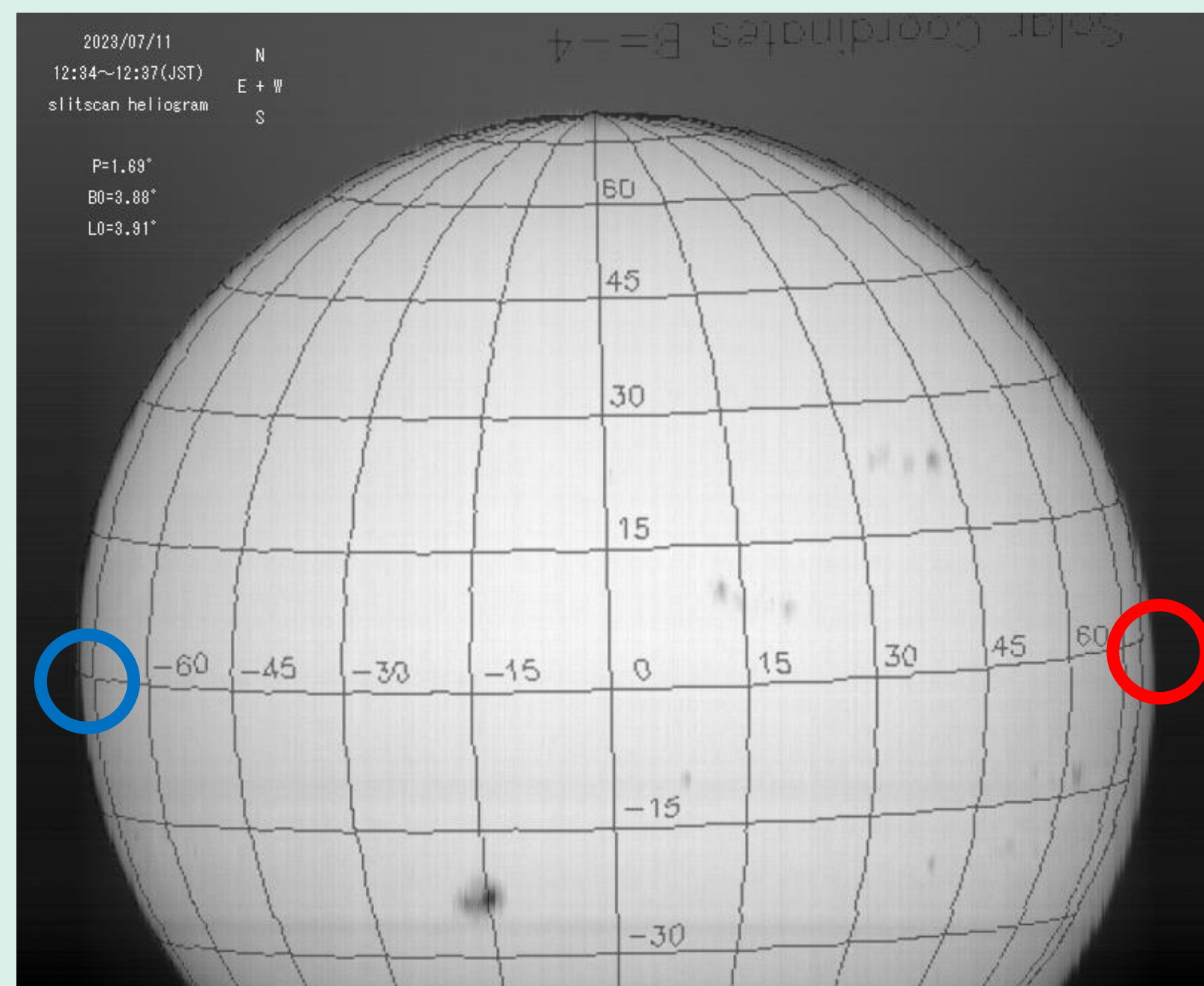
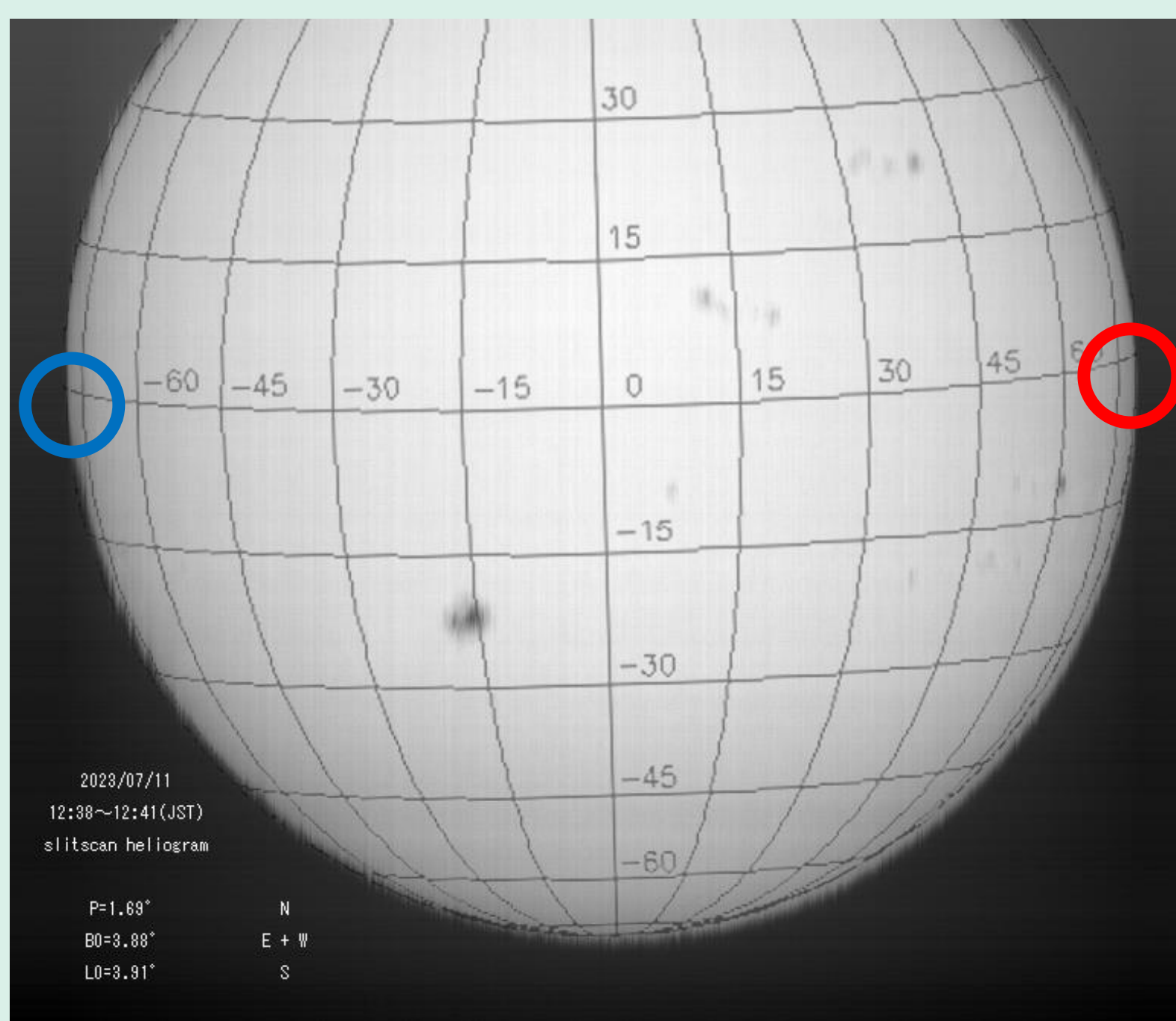


《資料1》

## 2.解析方法

- スペクトル画像より吸収線のない波長の輝度データから資料2のヘリオグラムを作成。
- 太陽面経緯度線を重ね、東西リムにおける赤道の位置を決定。

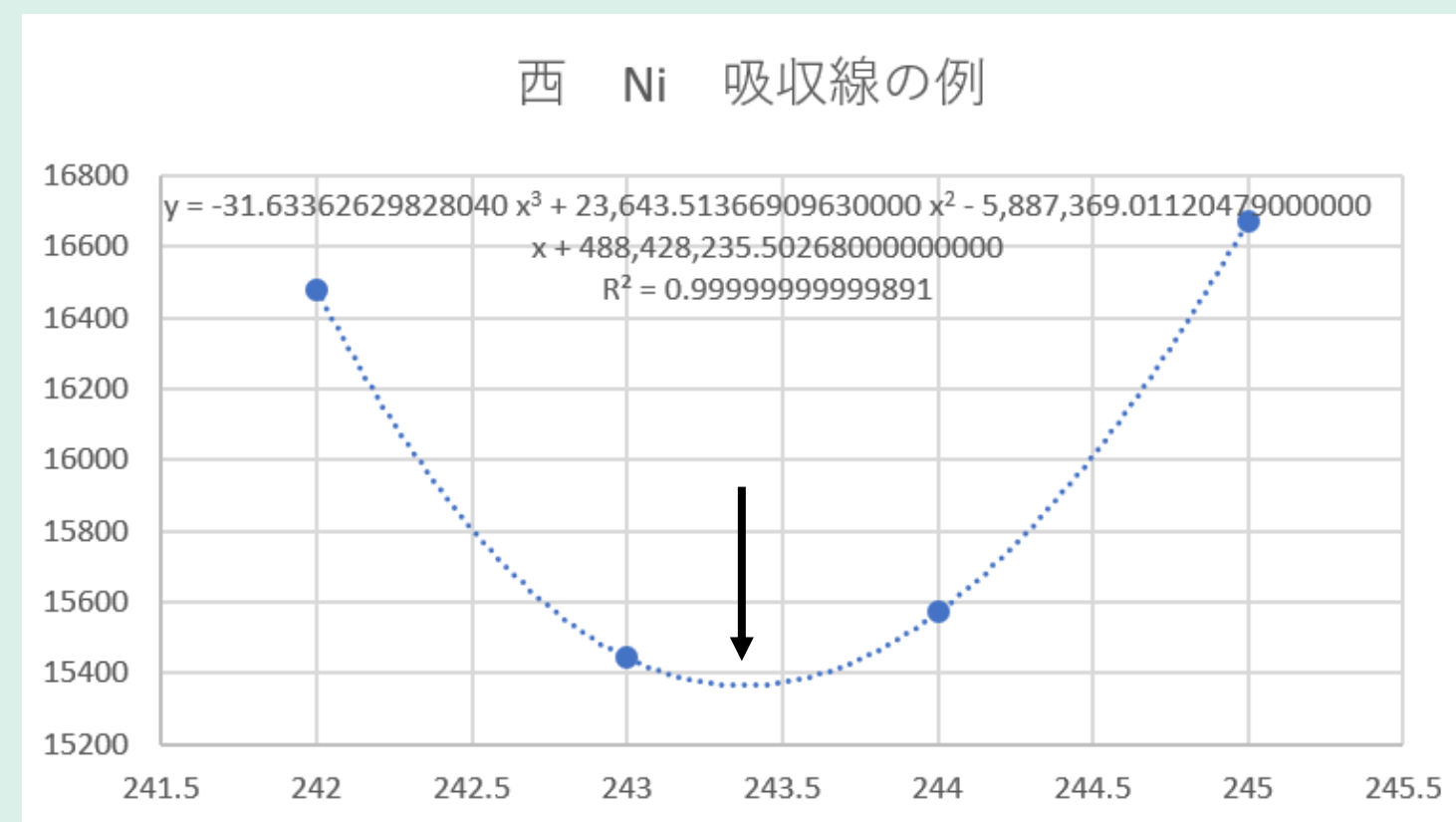
左の青○は地球に向かうブルーシフト  
右の赤○は地球から遠ざかるレッドシフト



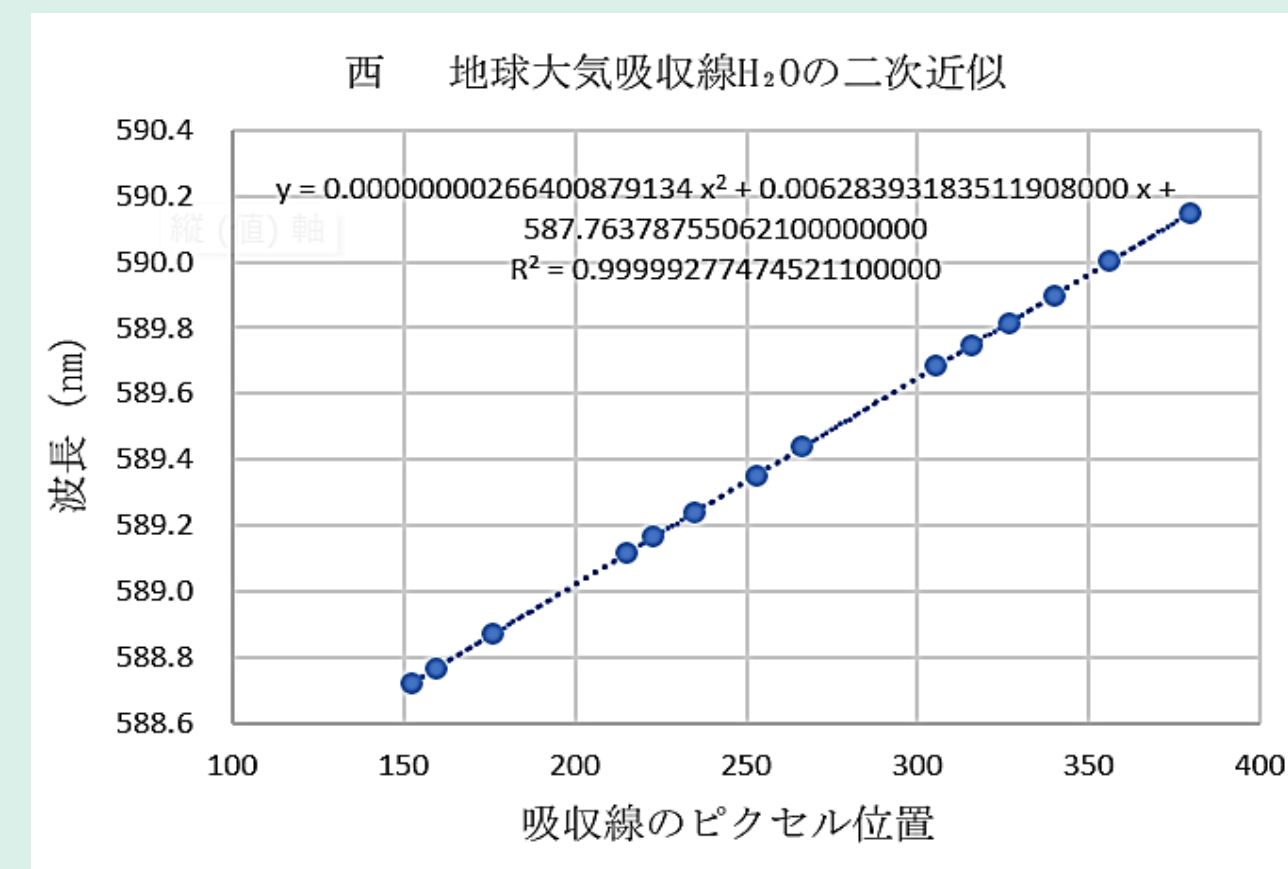
望遠鏡の視野が太陽全面を撮像できないため、北半球と南半球に分けて観測を行った。

《資料2》分光器を固定し太陽の日周運動により約2分間かけてスリットスキャン撮像した約700枚のスペクトル画像から吸収線の無い波長で作成した画像(ヘリオグラム)に太陽経緯度線を重ねたもの。図の丸印部分のスペクトルを解析した。

- 解析するスペクトル画像を「すばる画像処理ソフト：マカリ」<sup>(2)</sup>により1次処理(ダーク、フラット)を行う。
- 赤道に相当するスリット位置におけるスペクトル強度グラフを「マカリ」のグラフ機能で作成しcsvファイルとして出力する。
- そのcsvファイルを「エクセル」で開き、以降の解析はエクセルにて行う。
- 地球大気吸収線(ドップラー偏移なし)と太陽大気吸収線(ドップラー偏移あり)を資料3で示すよう高次関数近似し、その吸収線中央位置を小数点以下のサブピクセルの精度で求める。



《資料3》

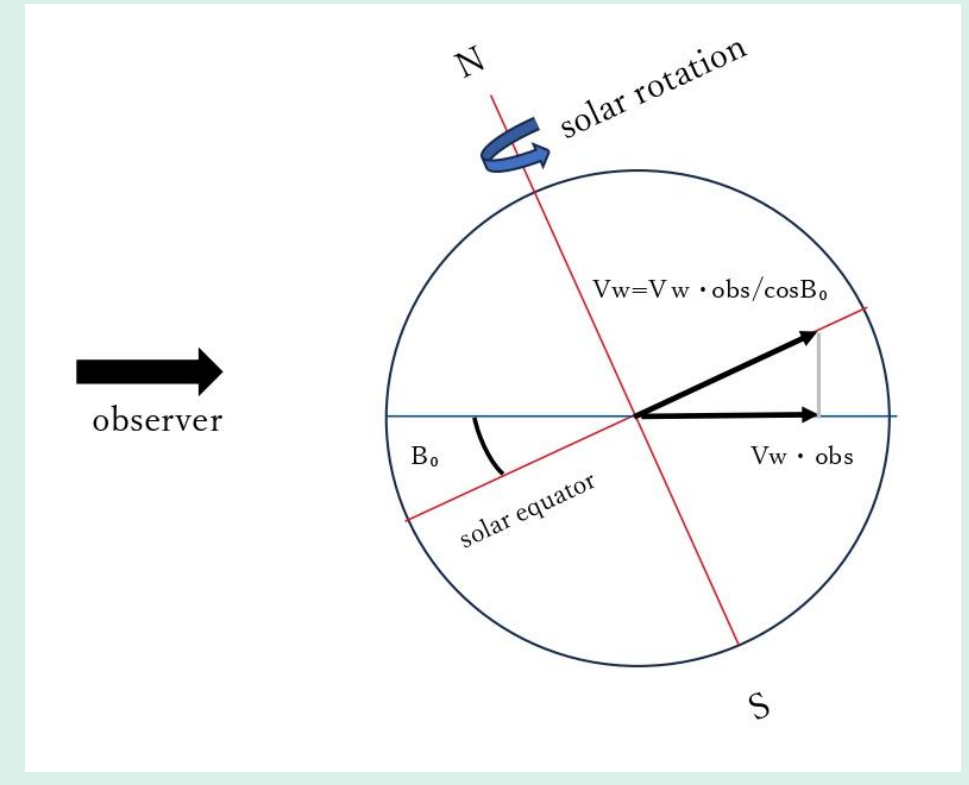


《資料4》

- 求めた地球大気吸収線のピクセル位置と改訂ローランド表<sup>(3)</sup>における波長値との関係を二次関数で近似し、資料4で示すようにピクセル位置と波長の関係を数式化する。
- 太陽大気吸収線 Na(D1), Ni, Tiの中心位置も同様に求め、ピクセル位置と波長の関係式に代入し、その波長を求める。求めた波長と改訂ローランド表の値との差がドップラー効果による偏移となる。
- ドップラー効果による速度の式は  $V = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$  (cは真空中の光速)である。

## 3.結果

- 観測した太陽東西リムの赤道上速度 $V_W$ 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。 $V_W$ と $V_E$ の絶対値が等しいとすれば、 $\frac{V_W - V_E}{2}$ が地球から見た自転速度 $V_{obs}$ と考えられ、 $V_{obs} = 1.93$  [km/s]となり、さらに観測時の太陽面中心緯度 $B_0$ が $3.88^\circ$ であったことより、資料6のように太陽赤道上での自転速度 $V$ は  $V = \frac{V_{obs}}{\cos B_0}$  より  $V = 1.94$  [km/s] が求まった。



《資料6》

### 《資料7-1》北半球

東側	元素	ピクセル位置	ローランド表による波長 $\lambda_1$ (nm)	観測による波長 $\lambda_2$ (nm)	差( $\lambda_2 - \lambda_1$ )	青方偏移速度 $V_E$ (km/s)
	Ni	241.784630	589.2883	589.2851793	-0.0031207	-1.5876338
	Na(D1)	290.508806	589.5940	589.5913515	-0.0026485	-1.3466997
	TiI	343.982518	589.9304	589.9270236	-0.0033764	-1.7158232

元素	青方偏移速度 $V_E$	赤方偏移速度 $V_W$	自転速度( $V_W - V_E$ )/2(km/s)
Ni	-1.5876338	2.5527420	2.0701879
Na(D1)	-1.3466997	1.2743529	1.3105263
TiI	-1.7158232	3.1767033	2.4462633

平均値  
 $V_{obs} = 1.94$  [km/s]

### 《資料7-2》南半球

東側	元素	ピクセル位置	ローランド表による波長 $\lambda_1$ (nm)	観測による波長 $\lambda_2$ (nm)	差( $\lambda_2 - \lambda_1$ )	青方偏移速度 $V_E$ (km/s)
	Ni	243.080043	589.2883	589.285711	-0.0025878	-1.3170147
	Na(D1)	291.479011	589.5940	589.589439	-0.00456137	-2.3193518
	TiI	345.498087	589.9304	589.928388	-0.00201166	-1.0222944

元素	青方偏移速度 $V_E$	赤方偏移速度 $V_W$	自転速度( $V_W - V_E$ )/2(km/s)
Ni	-1.3170147	2.6194121	1.9682134
Na(D1)	-2.3193518	1.1761367	1.7477442
TiI	-1.0222944	3.1055339	2.0639142

平均値  
 $V_{obs} = 1.92$  [km/s]

## 4.考察

- 測定結果を見ると、Na(D<sub>1</sub>)の速度が多くの誤差を含んでいるように見える。これは吸収線の幅が広く、中心波長の決定精度が悪いためであると考えた。今後は吸収線幅の小さいNi, Tiのみで速度を求めることも検討したい。
- 南北半球の各太陽吸収線から求めた自転速度 $V_{obs}$ に着目すると、南半球で求めた各 $V_{obs}$ は北半球で求めた各 $V_{obs}$ に比べて、各 $V_{obs}$ のばらつきが小さくなった。これは、我々が解析に慣れ始め、求めた吸収線中心位置の精度が上がったためであると考えられる。

## 5.結論と今後の展望

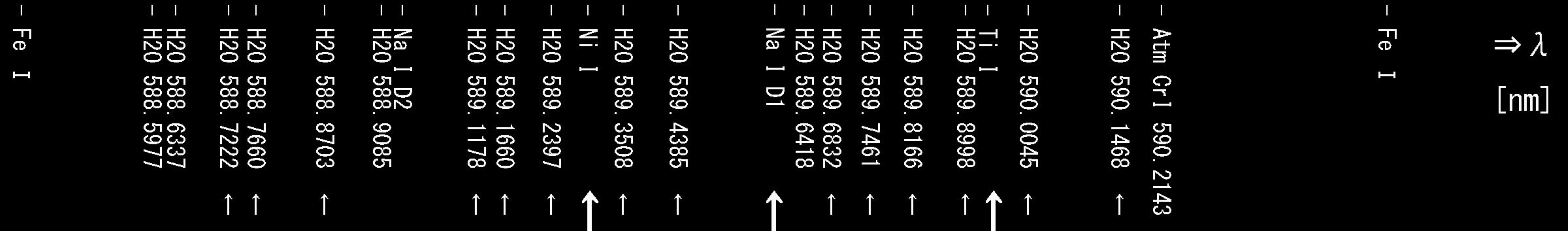
- 太陽の赤道における自転速度がNa(D<sub>1</sub>), Ni, Tiの平均値をとり、1.94 [km/s]であることを学校で保有する機材と、国立天文台がフリーソフトとして提供している解析ソフト「マカリ」、マイクロソフト「エクセル」のみで求めることが出来た。これは、一般に知られている太陽の自転速度1.99 [km/s]と近い値である。
- 今後は、他の緯度における速さから緯度ごとの自転角速度を求め、太陽の差動自転、さらにはその南北半球における違いの検出にも挑戦したい。

## 6.参考文献

- 太陽の自転軸 [https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/sun\\_spin.cgi](https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/sun_spin.cgi)
- マカリ <https://makalii.mtk.nao.ac.jp>
- 改定ローランド表 <http://www.astrosurf.com/spectroheli/atlas-en.php>
- 天文教育 2016年9月号、差動回転の検出、西村昌能

East

West



《資料5》太陽の東西リムにおける赤道上のスペクトルを比較した。地球大気吸収線(H<sub>2</sub>O)はドップラー効果を起こさないの一致しているが、太陽大気吸収線(Na, Ni, Fe, Ti)は太陽自転によるドップラー効果により東側(East)は短波長側(左:ブルーシフト…近づく)、西側(West)は長波長側(右:レッドシフト…遠ざかる)にずれていることが分かる。この偏移量から太陽赤道上の自転速度を求めた。図の小さい矢印(↑)は波長決定に使用した地球大気H<sub>2</sub>O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。画像の端に位置し、誤差が大きい吸収線と複数の吸収線でブレンドしていた吸収線は、使用するデータから除外した。