

1.85m電波望遠鏡における ROS2を用いた新制御システムの駆動精度試験

Performance evaluation for the ROS2-based new control system on the 1.85m radio telescope

大阪府立大学 生命環境科学域 理学類 物理科学課程 電波天文学研究室 1211305023 岡本結人 Yuito Okamoto

1. 研究の背景

分子雲観測による星形成過程解明を目的とした電波望遠鏡の観測において、望遠鏡の指向誤差は小さく抑える必要がある。大阪公立大学が所有し、長野県に所在する1.85m電波望遠鏡は、学生主体で開発・運営されている。この望遠鏡の制御システムはROS2 (Robot Operating System 2)へのバージョンアップに伴い、新たな制御システムが開発・搭載された。

本研究では、この新制御システムの動作確認を目的として、光学ポインティングと太陽スキャンの駆動精度試験を実施し、指向誤差の補正を確認した。また、望遠鏡制御の利便性向上のため、制御システムに追加機能の開発も行った。



写真：1.85m電波望遠鏡
長野県野辺山

2. 望遠鏡の指向誤差

指向誤差とは、望遠鏡が向いている方向と目標天体の方向のズレのことを表す。指向誤差の原因として、主に設置による誤差や重力によるアンテナの変形などが挙げられる。

観測の正確性を担保するためにも、指向誤差を抑えることが要求される。

・指向誤差の目標値

望遠鏡の指向誤差の許容範囲は分解能(視力)の約10分の1とされる。

観測周波数帯[GHz]	分解能[分角]	[秒角]
230	2.95	177
345	1.97	118

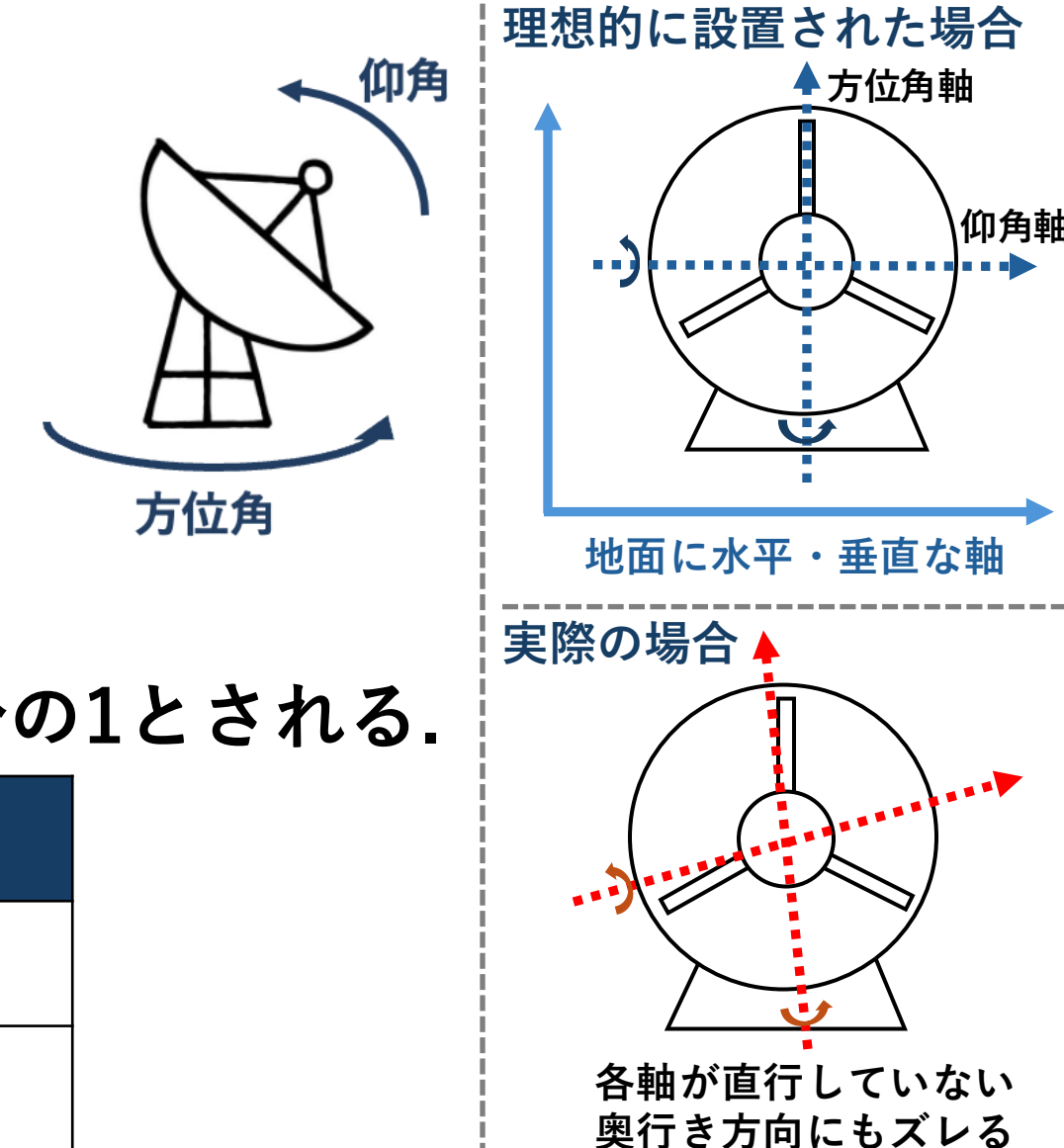
よって、周波数が小さい(波長が短い)と分解能が小さくなる。今回は、1.85m電波望遠鏡での345GHz帯の観測を想定し、指向誤差の許容範囲を約10秒角とした。

駆動試験から指向誤差を求め、その結果を補正式でFittingして機差パラメータ推定することでシステム上で補正をする。

$$\begin{aligned} dx &= a_1 \sin(El) + a_2 + a_3 \cos(El) + b_1 \sin(Az) \sin(El) - b_2 \cos(Az) \sin(El) + c_1 \sin(Az - El) + c_2 \cos(Az - El) + d_1 \\ dy &= b_1 \cos(Az) + b_2 \sin(Az) + b_3 + g_1 El + c_1 \cos(Az - El) - c_2 \sin(Az - El) + d_2 \\ dAz &= dx / \cos(El) \quad dy = dEl \end{aligned}$$

機差パラメータ

a_1 : Az軸, El軸の非直交性
 a_2 : Az軸と光学軸の非直交性
 a_3 : Az方向のエンコーダーオフセット(ズレ)
 b_1 : 南北方向のAz軸の傾き
 b_2 : 東西方向のEl軸の傾き
 b_3 : El方向のエンコーダーオフセット
 g_1 : 重力によるたわみ
 d_1 : 電波光学系とガイド光学望遠鏡のAz方向のオフセット(dAzの単純平均)
 d_2 : 電波光学系とガイド光学望遠鏡のEl方向のオフセット(dElの単純平均)
 c_1 : 光学系の軸とホーン位置の東西方向のズレ
 c_2 : 光学系の軸とホーン位置の南北方向のズレ



3. 光学ポインティング：指向誤差の補正

目的：光学望遠鏡とカメラで天体を撮影し、望遠鏡の指向誤差を小さくする

手順：1. カメラで全天に渡り均等に天体を撮影する

2. 撮影された画像中心を望遠鏡の方向とする

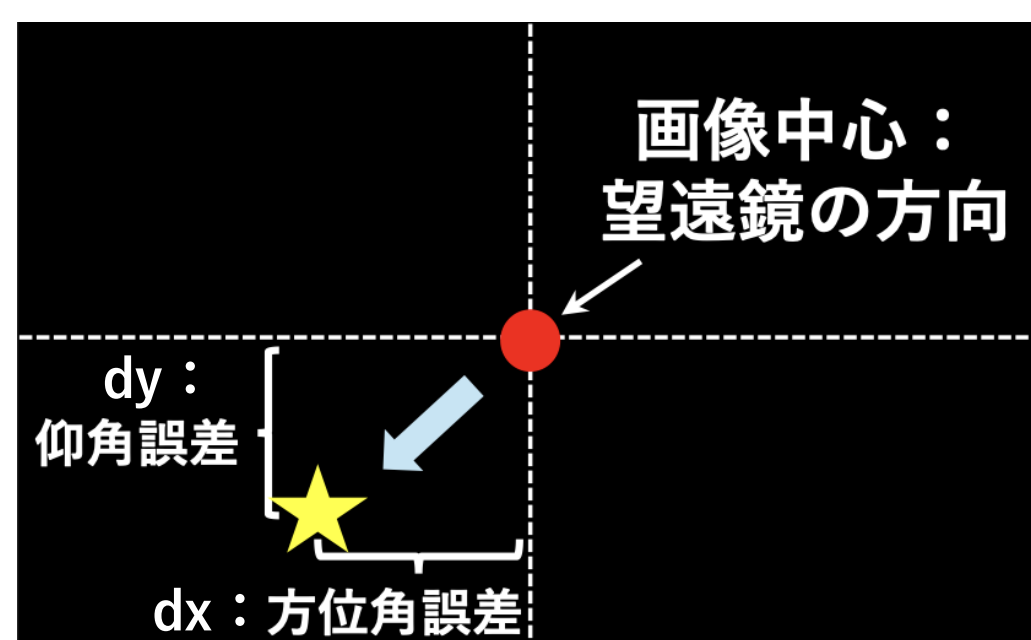
3. 画像から天体の輝度重心を求める

4. 画像中心と天体の輝度重心からアンテナの指向誤差が求まる

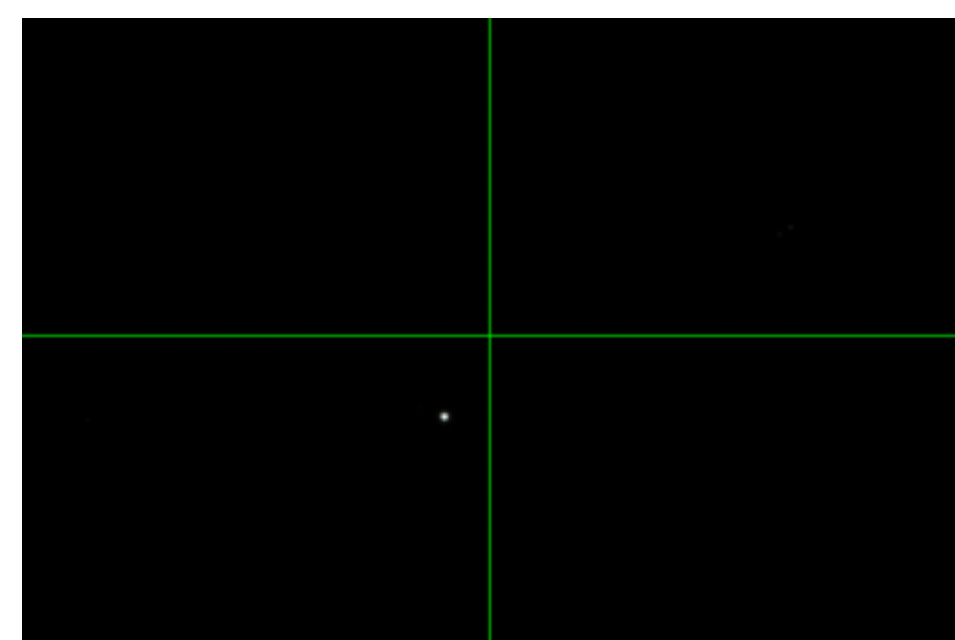
5. 指向誤差を補正式でFittingし、補正を行う



光学望遠鏡とカメラで
写真を撮影

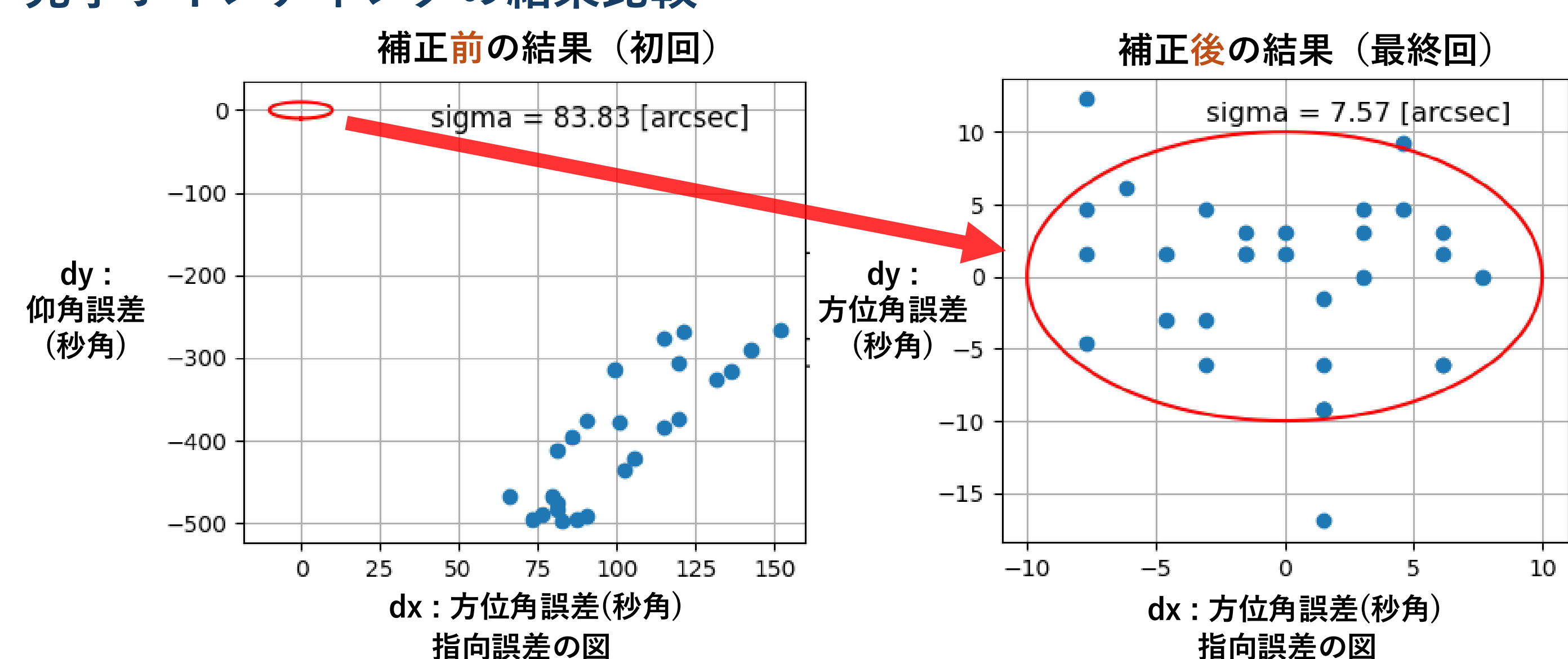


撮影した天体画像のイメージ図



実際の天体画像の拡大図
(緑の線は画像中心を表す)

光学ポインティングの結果比較



赤い丸は目標の範囲(10秒角)、青の点は各天体における望遠鏡の指向誤差

光学ポインティングによる補正の結果、初回の大きなズレがなくなり、多くの天体で目標値である10秒角の範囲に指向誤差を収めることができた。

4. 太陽スキャン：光軸と電波軸の補正

目的：電波を用いて光軸と電波軸の補正を行う

光学的な補正では十分ではないため、最終的に電波を用いて試験を行うことで、指向誤差の補正を確認する。

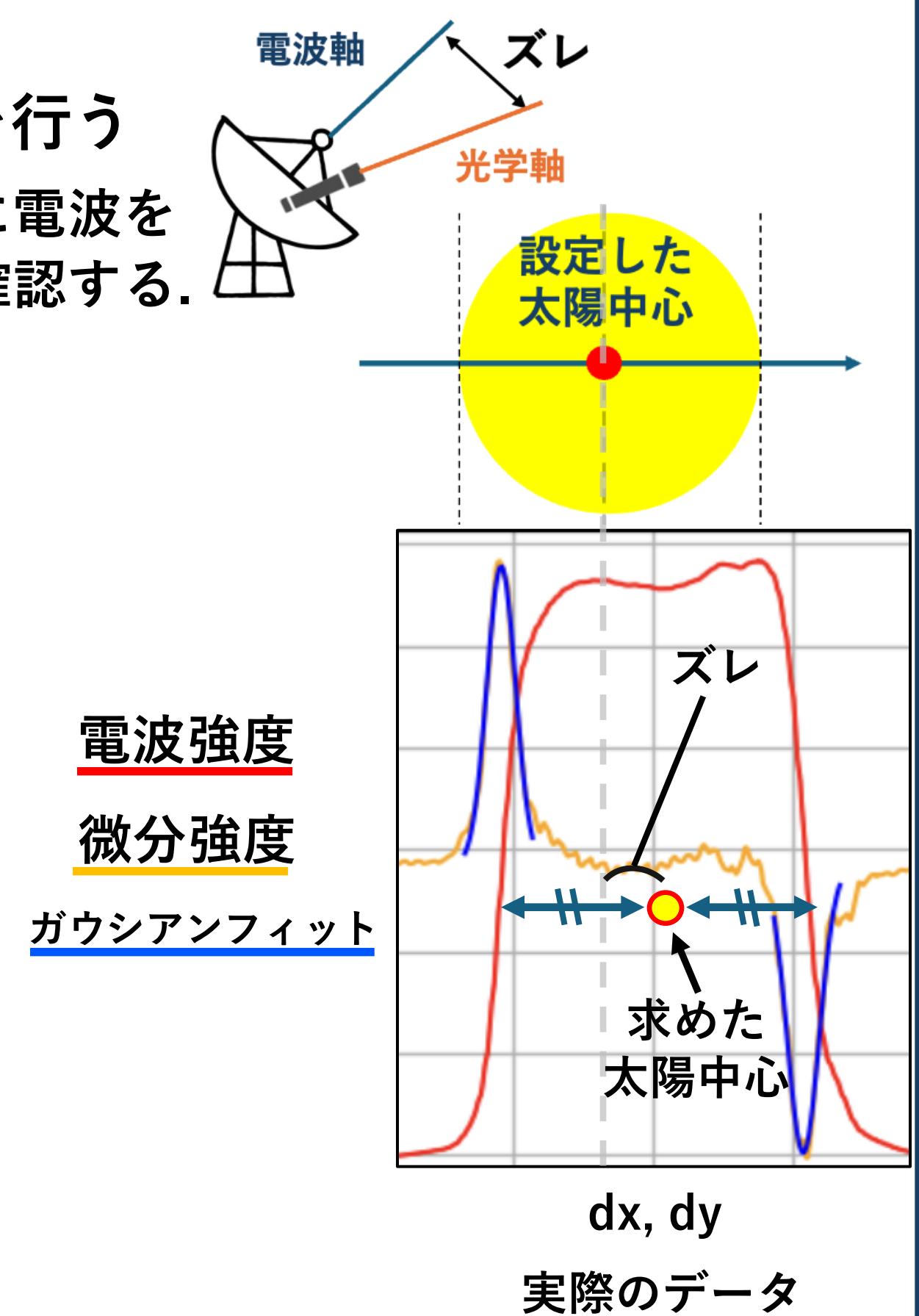
手順：

1. 太陽の中心を設定し、太陽の端から端まで観測をする

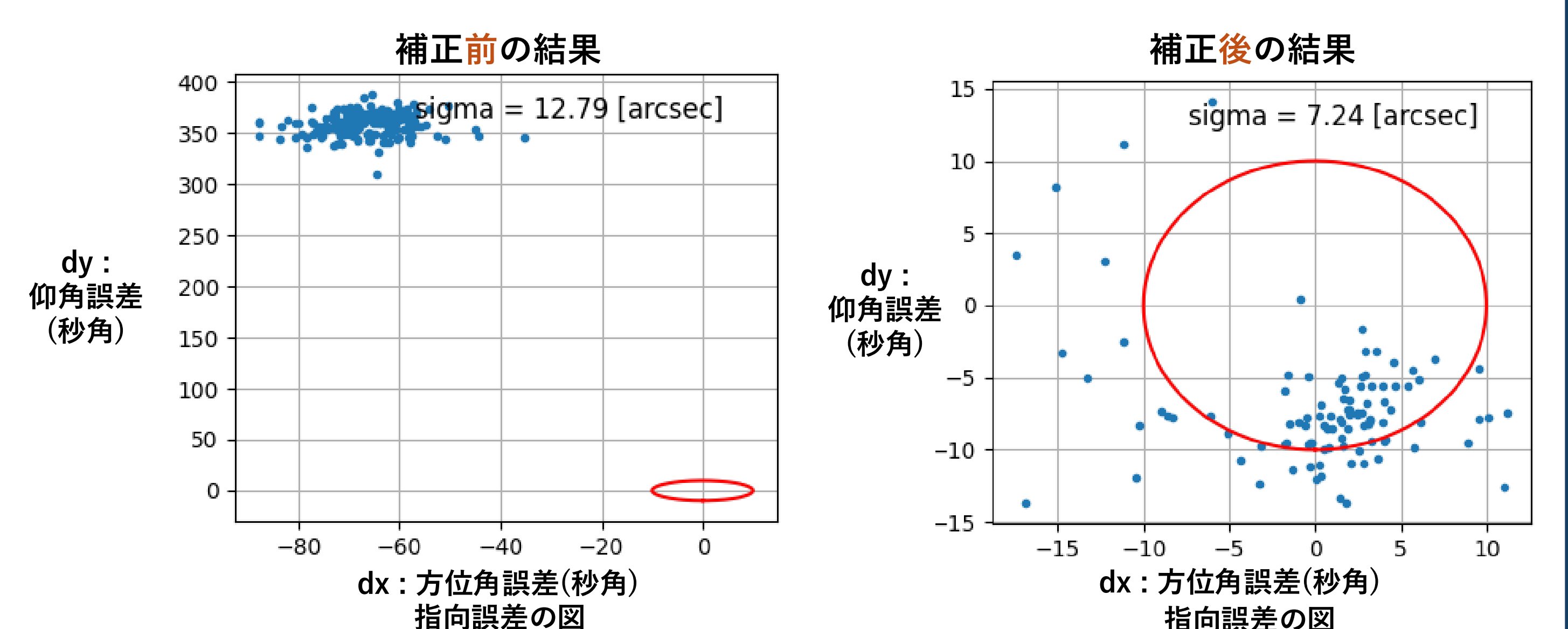
2. 得られた電波強度を微分し、それをガウシアンフィッティングする

3. 2つのガウシアンから中点を求め、それを太陽中心とする

4. その太陽中心と最初に設定した太陽中心の誤差を指向誤差とする



太陽スキャンの結果比較

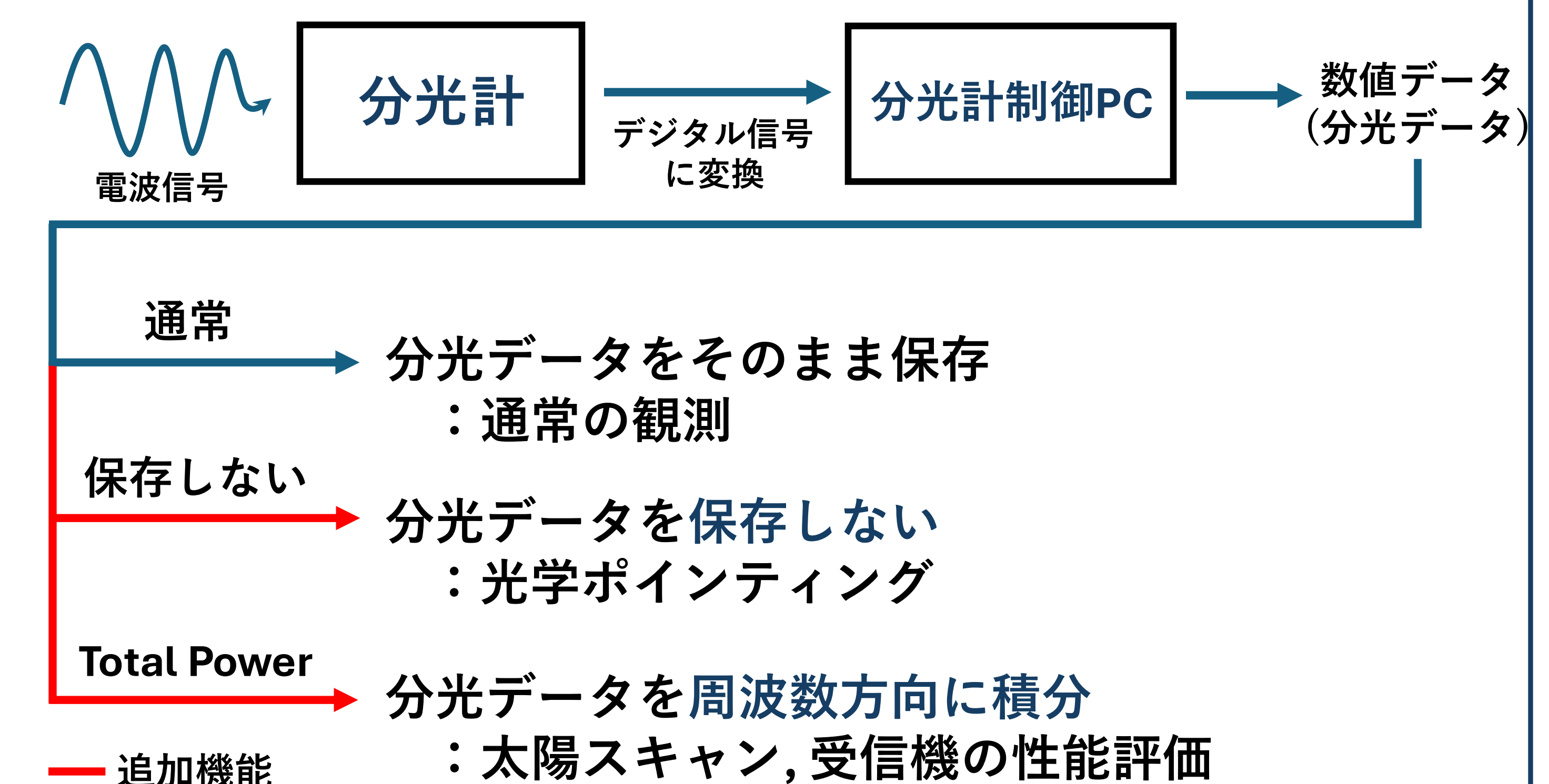


赤い丸は目標の範囲(10秒角)、青の点は各天体における望遠鏡の指向誤差

光軸と電波軸の補正の結果、指向誤差の分散が約13秒角から約7秒角まで小さくなり10秒角の範囲に収まり、問題なく補正することができた

5. 制御システムの機能開発

1.85m電波望遠鏡では主にROS2とPythonで構成された制御システムによって、観測や試験が行われている。今回はこの望遠鏡制御システムの追加機能を2つ開発した。



1. 分光データを保存しない機能

光学ポインティングや受信機の試験のときに分光データを保存しない機能

2. Total Powerモード

分光データを周波数方向に積分したTotal Powerを計算してから、保存する機能

6. まとめと今後

・新制御システムを搭載した1.85m電波望遠鏡を用いて、望遠鏡の駆動試験である光学ポインティングと太陽スキャンを行った結果、問題なく動作し、指向誤差を補正できた。

Using a 1.85m radio telescope with a newly implemented control system, we conducted optical and sun-scan radio pointings to evaluate the telescope's drive performance. The results confirmed that the system functioned properly and successfully corrected pointing errors.

・1.85m望遠鏡を用いた試験観測, 科学的観測

Test observations and scientific observations using the 1.85m telescope