

188cm望遠鏡＋高分散分光器HIDES-F の向けの全自動観測システムの構築

前原裕之, 神戸栄治, 浮田信治, 黒田大介,
柳澤顕史, 筒井寛典, 泉浦秀行
(国立天文台・岡山)

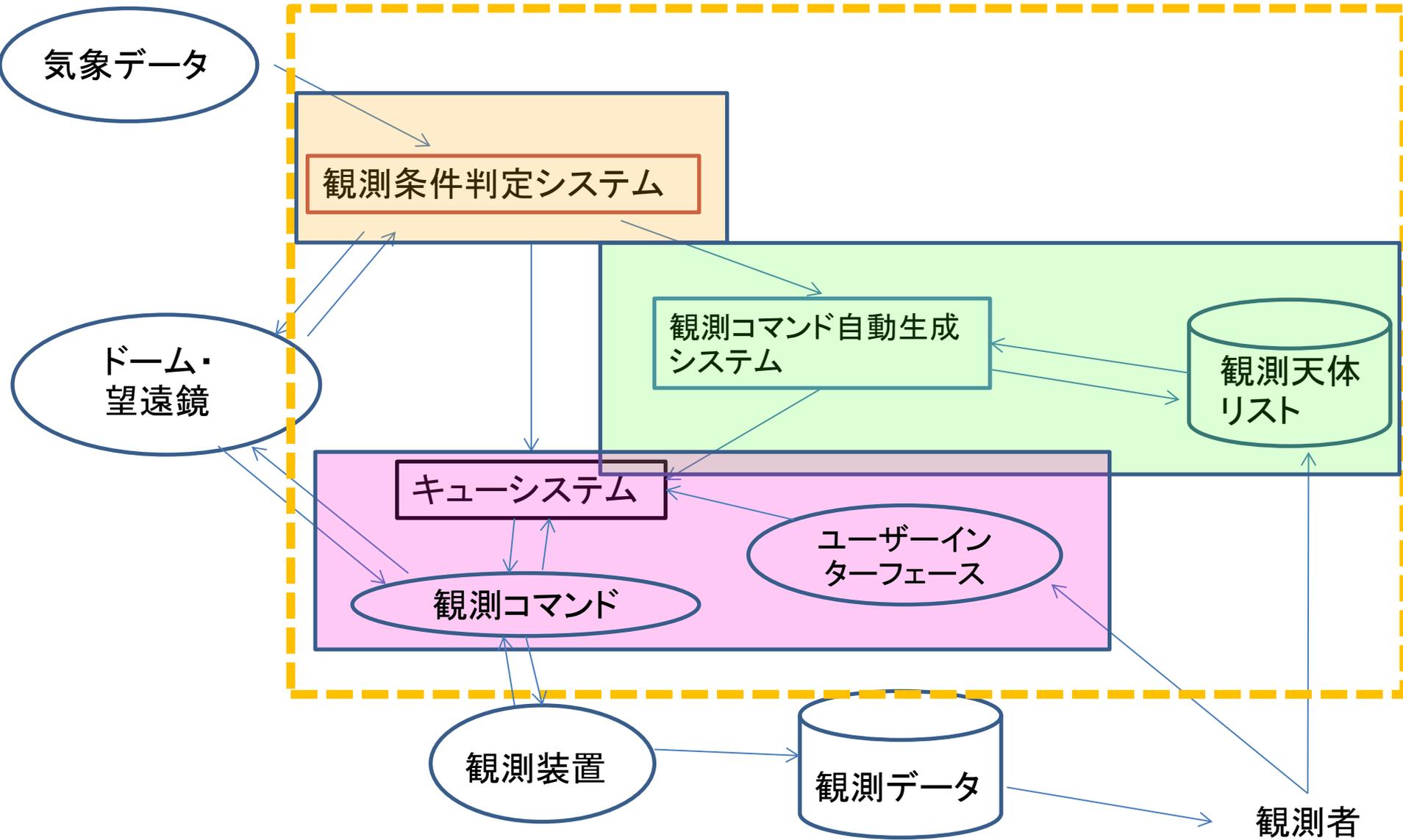
岡山188cm望遠鏡の自動化

- 従来の観測スタイル
 - 観測者が来所して(or リモートサイトから)望遠鏡・観測装置の制御ソフトを直接操作してデータを取得
- 観測の自動化で目標とする観測スタイル
 - 観測者は観測天体の座標や観測モード等のパラメーターを登録
 - 自動観測システム側で観測可能な天体を選び、観測の優先度を基に観測順序を決定し観測スクリプトを自動生成
 - キュー観測システムに登録し観測を実行
 - 観測は全てキューシステム経由で実行
 - TOO観測も(他の観測と優先度に差をつけることで)実現可能

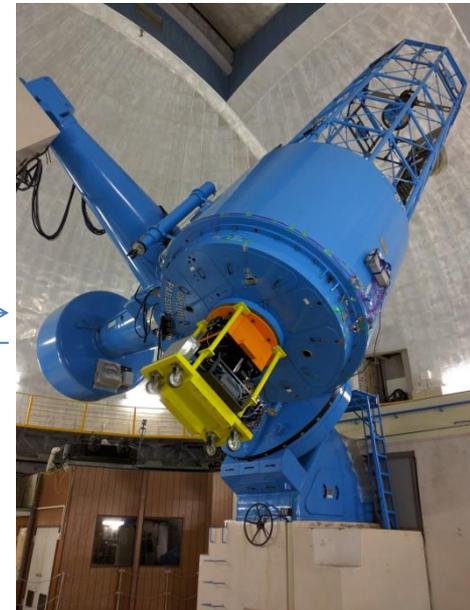
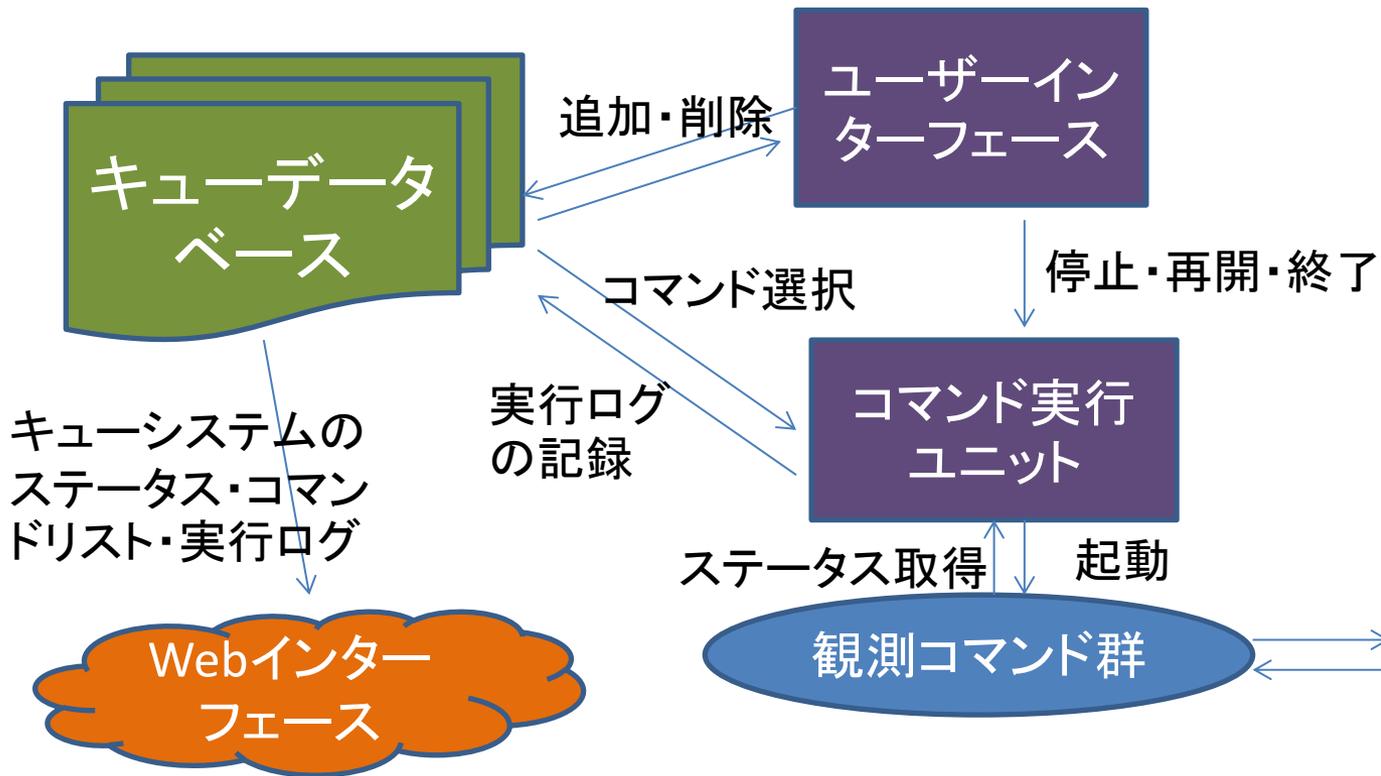
HIDES-Fをターゲットとした自動観測システム

- 第Iフェーズ
 - キュー観測システムの実装
 - ユーザーが観測スクリプトを手動生成すればこの段階でもある程度の自動観測を実現
 - 完成済み
- 第IIフェーズ
 - 観測コマンドの自動生成システムの実装とキュー観測システムとの連動
 - ユーザーは天体リストのみを作成
 - コマンド自動生成システムは天体リストから観測可能な天体を選び、観測コマンドを自動生成しキューに登録
- 第IIIフェーズ
 - 天候など観測可能な条件の判断も自動化
 - 観測者の判断を介さない全自動観測

自動観測システムの全体像



キューシステムの概要



望遠鏡・ドーム・観測装置

観測コマンド自動生成システム

- 観測者の作成した観測天体リストから観測可能な天体を選択
 - 判断基準: 天体の高度 + 危険領域 + 月からの距離
 - 高度、月からの距離の閾値は観測者が設定可能
- 観測順を自動決定
 - 観測順の評価基準
 - 観測の優先度、残り観測可能時間、天体の高度が最大になる時間、観測可能な高度に達してからの経過時間などから7天体 or 累計観測時間の推定値が45分までの天体を選択
 - ドームの回転量、望遠鏡の移動量が最小になるように観測順を決定(評価時のドームスリット、望遠鏡の指向方向も考慮)
 - 途中で時間切れ(露出中に天体の高度が基準を下回る、危険領域に入る等)になる場合にはその天体は撮らない
- 5天体 or 累計観測時間の推定値が30分までの観測コマンドを生成してキューに自動登録

観測コマンド自動生成システム

- 一度に自動登録するのは5天体ないし30分先まで
 - 観測順の評価自体は7天体ないし45分先まで行い、5天体/30分先まで登録
 - 30分毎に観測天体リストの評価を行う
 - 観測のやり直し、観測天体の追加などを入れやすくなる
 - ドーム回転量、望遠鏡移動量の評価に計算コストがかかる(N!の計算が必要)
 - “巡回セールスマン問題” → 多項式時間で解く方法がない
 - 現実的には8-9天体くらいが上限？
 - 天気の急変などで途中で観測中断が入ることがあるので、長時間の観測をまとめて登録することにあまり意味がない
- Readout timeにポインティング、装置の設定変更(可能なもののみ)を並行して行うようなコマンドを自動生成

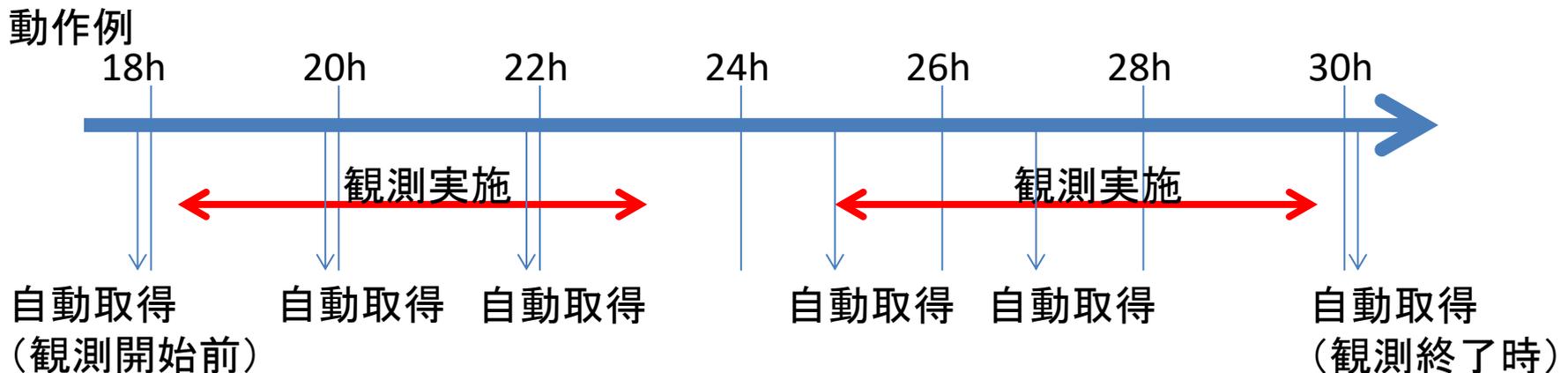
観測天体リストの項目

- ncont74用のターゲットリストを拡張

- 天体名
 - 分点 (未使用)
 - RA
 - DEC
 - PM_RA (未使用)
 - PM_DEC (未使用)
- ncont74の必須項目
- 等級 → オートガイダーの露出時間、NDフィルターの決定に使用
 - 露出時間 → **airmassによる補正を自動で行う**
 - I2cell (Y/N)
 - HIDES-F FILTER
 - Photon monitor (Y/N)
 - AG FILTER
 - 観測モード (HE/HR)
 - 優先度 (整数, 0-9)
 - 露出回数
 - PROP_ID
 - 観測者名
 - 観測時刻 (開始と終了を'-'で繋げて指定、JSTで24時以降はJST+24、デフォルトは16-31)
 - 月からの角距離の閾値 (デフォルトでは5度)
 - Comparisonを強制取得するかどうか (露出前、露出後、両方)

校正データ(Th-Ar)の自動取得

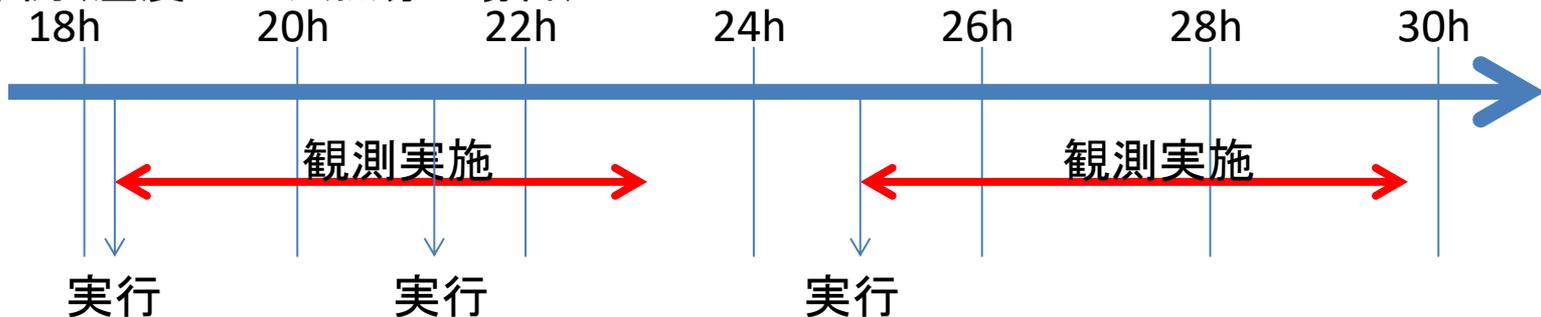
- 最後のcomparisonの取得から2時間以上経過すると天体を撮った後にcomparisonを自動取得
 - 28時以降は自動では撮らない(観測終了判断時に観測条件判定システムの方で自動取得する)
 - 観測開始前にも自動取得(観測条件判定システムで対応)



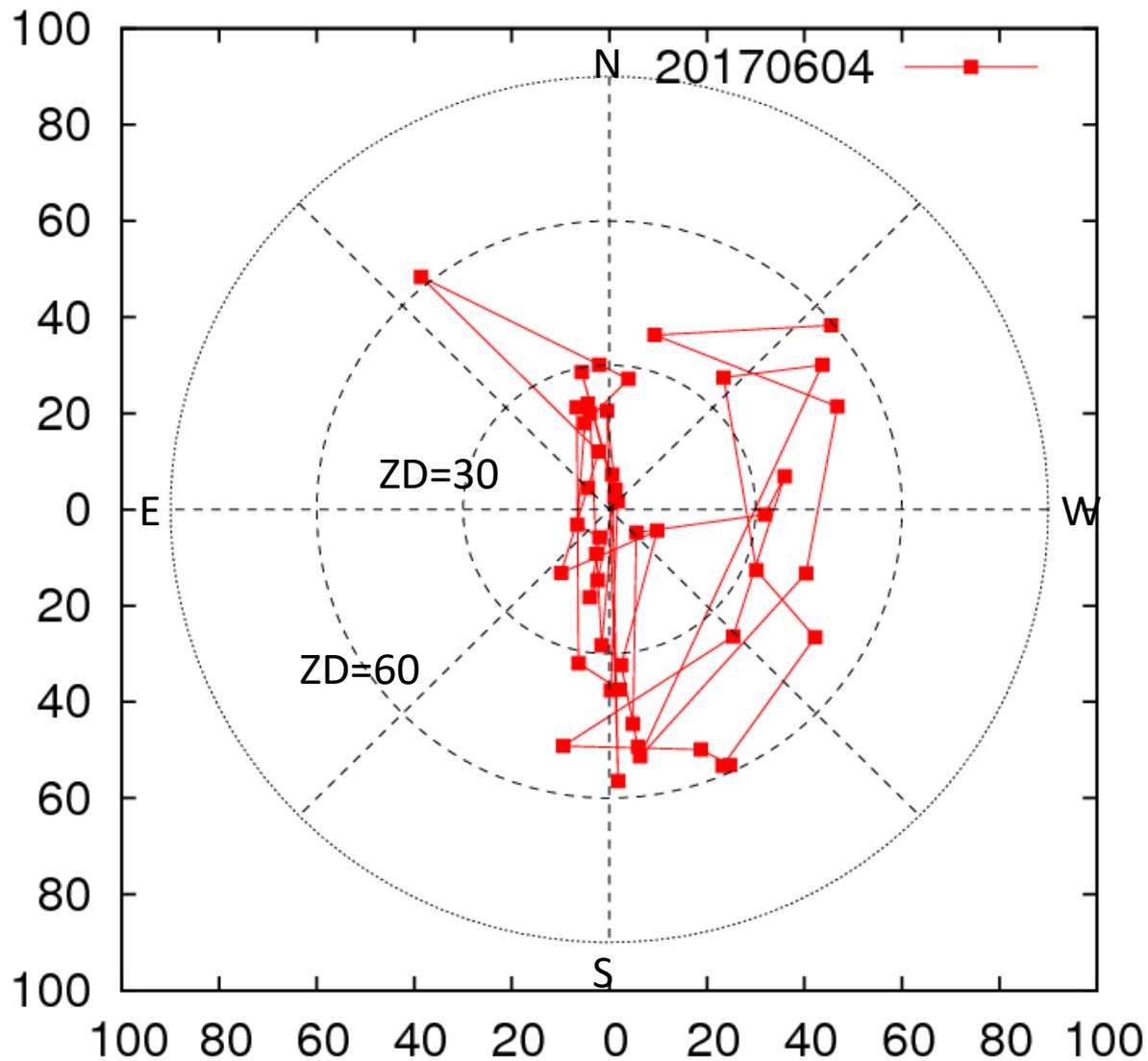
オートフォーカス

- 露出前にフォーカスチェックを実行するかどうか自動判断
 - 露出時間は観測天体の明るさから自動決定
- 鏡面温度センサによる推定が有効
 - 現在のフォーカス値と推定値の差が0.4mm以上あり、最後のオートフォーカス実施から1時間以上経過した場合に実行
- 鏡面温度センサによる推定が無効
 - 最後のオートフォーカス実施から3時間以上経過した場合に実行
 - 27時以降は実行しない(その晩初めての観測の場合は実行)

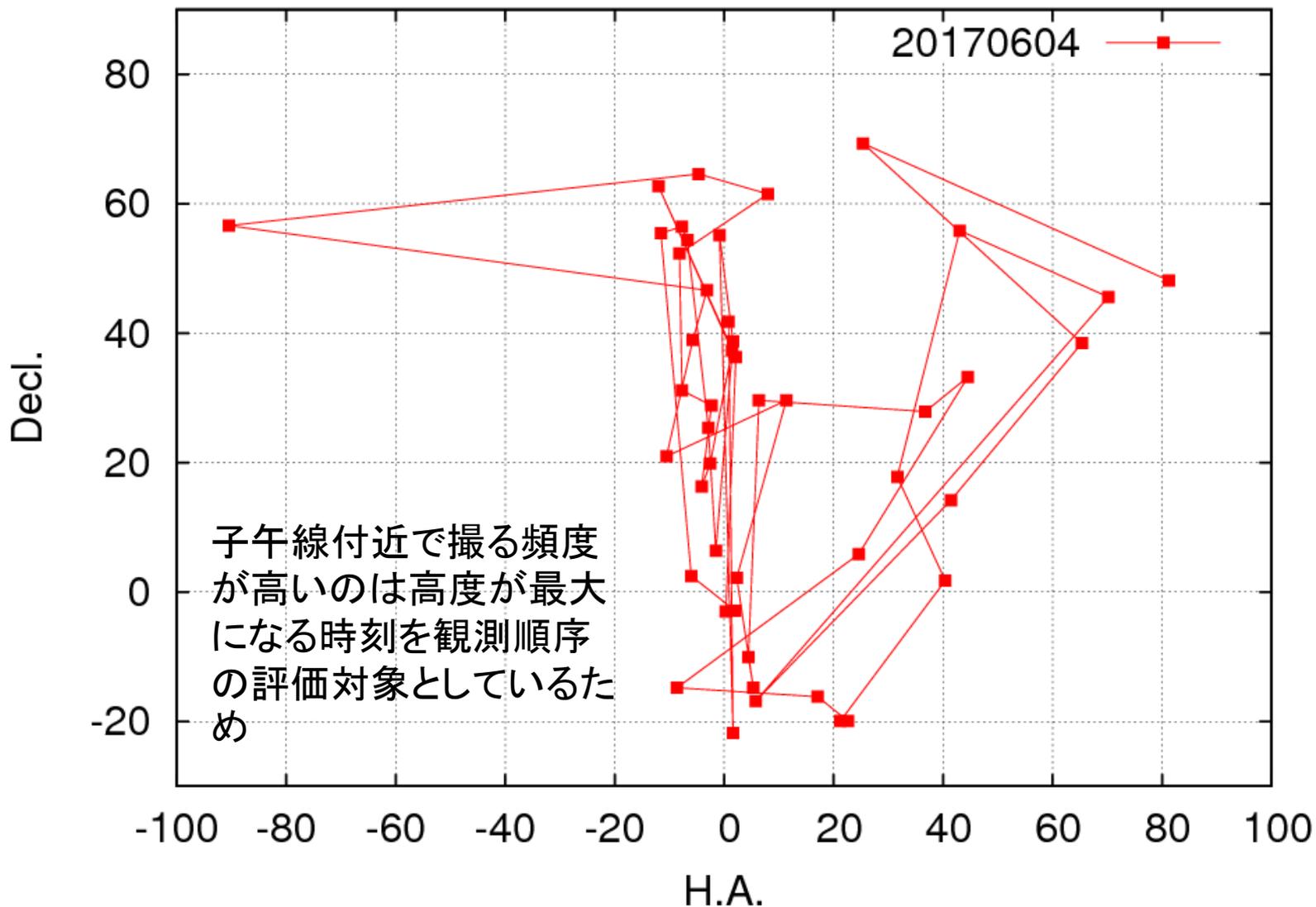
動作例(温度センサ無効の場合)



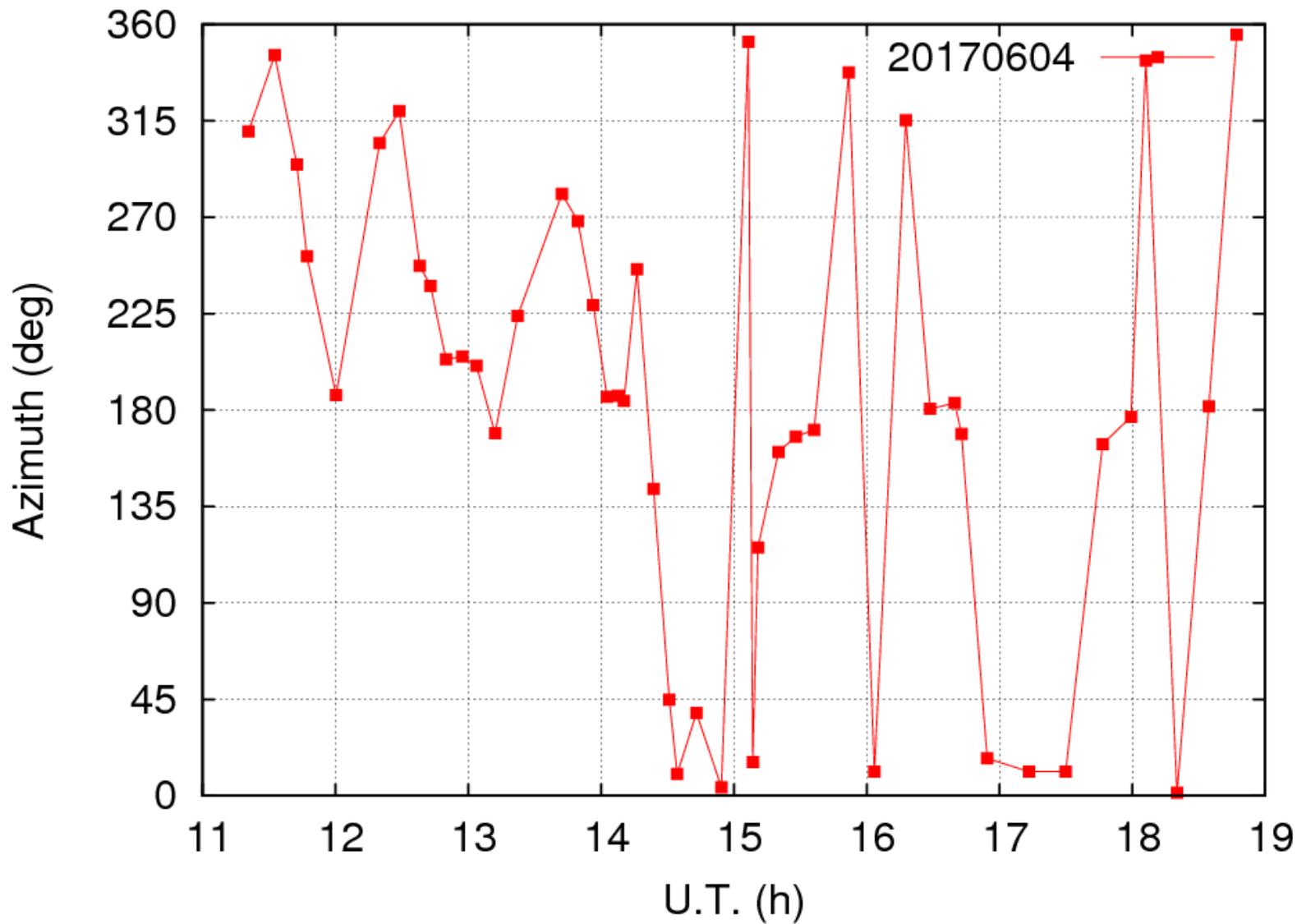
観測順序の自動決定の例(alt-az)



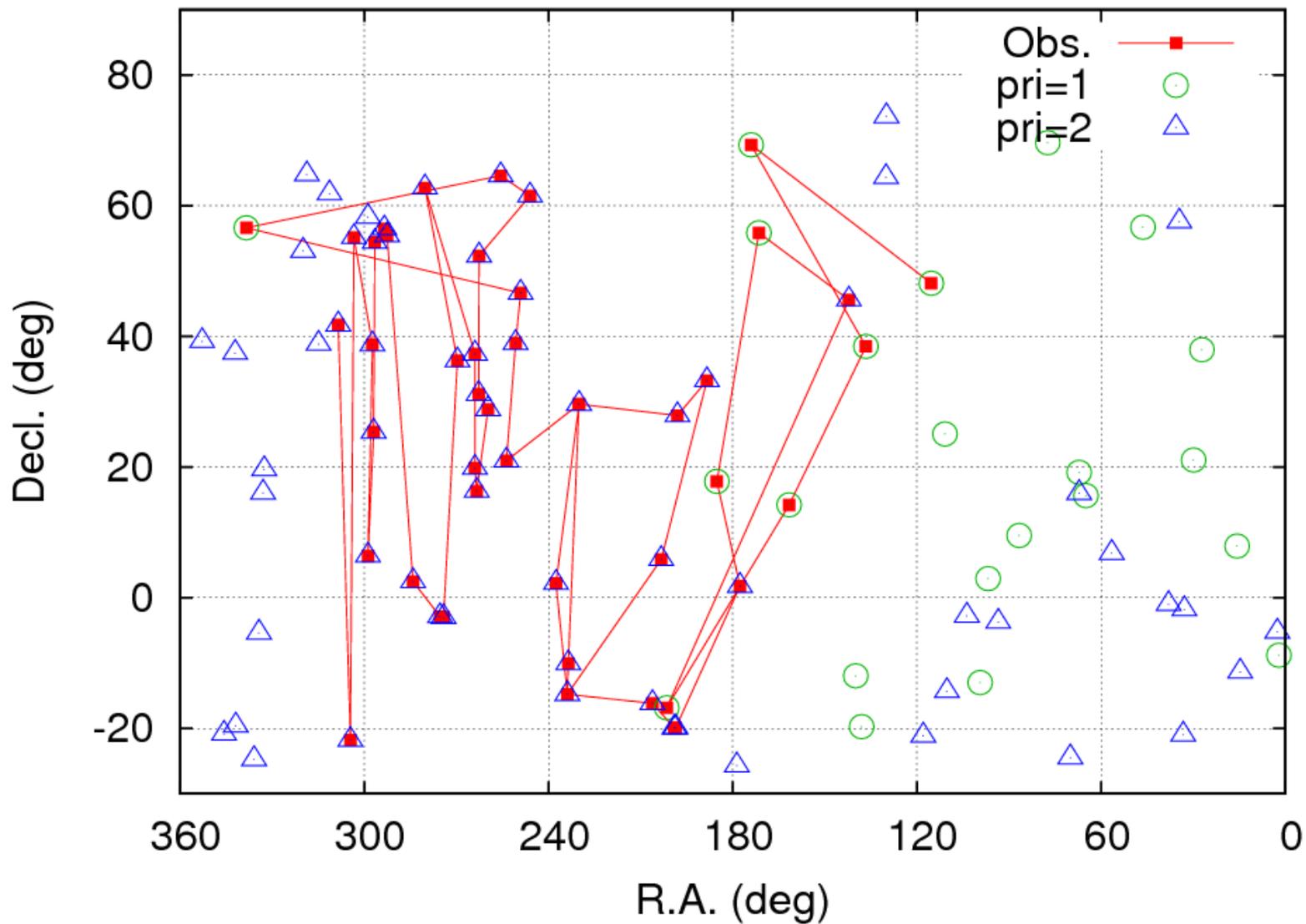
観測順序の自動決定の例(dec-ha)



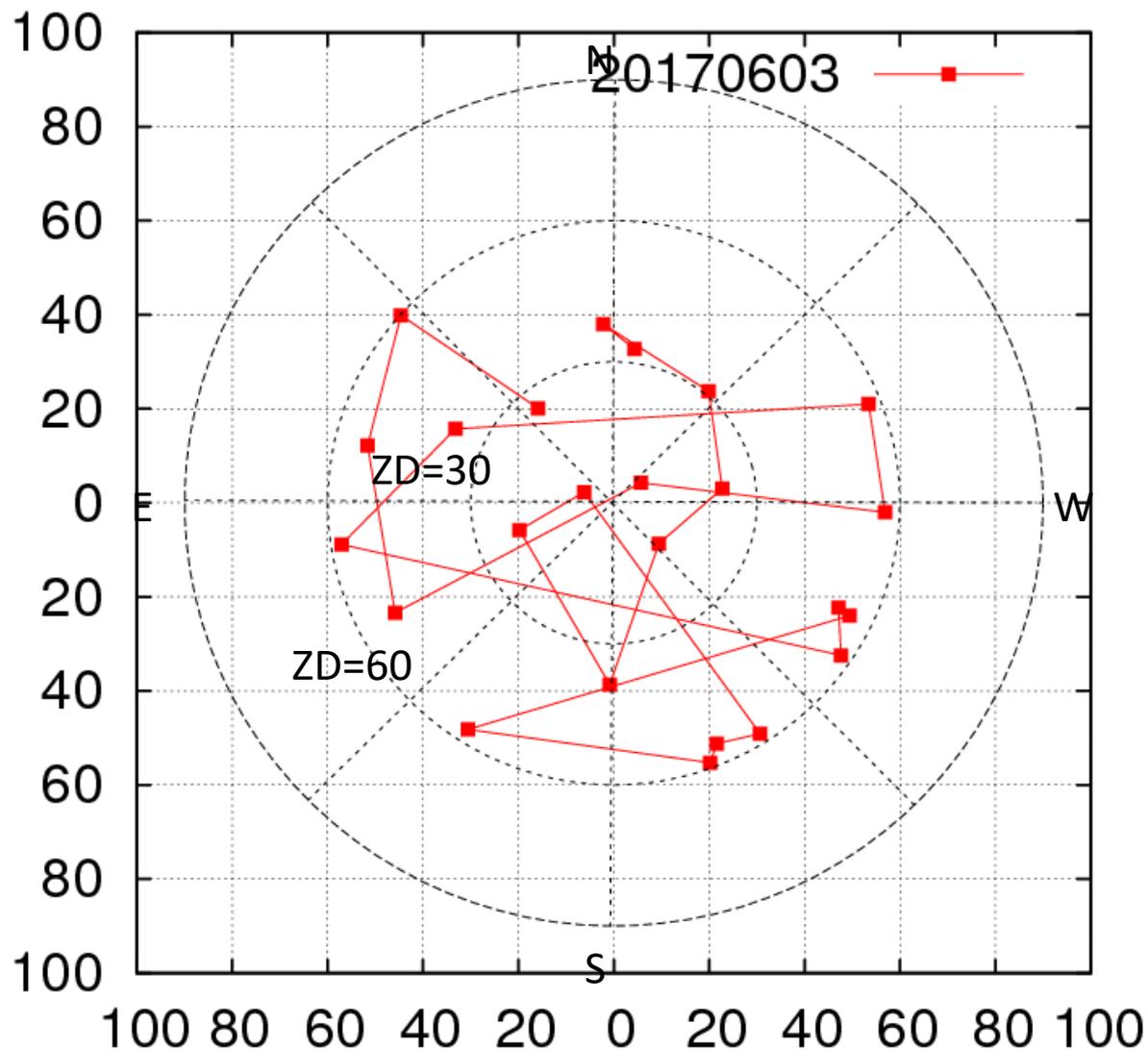
観測順序の自動決定の例(az-ut)



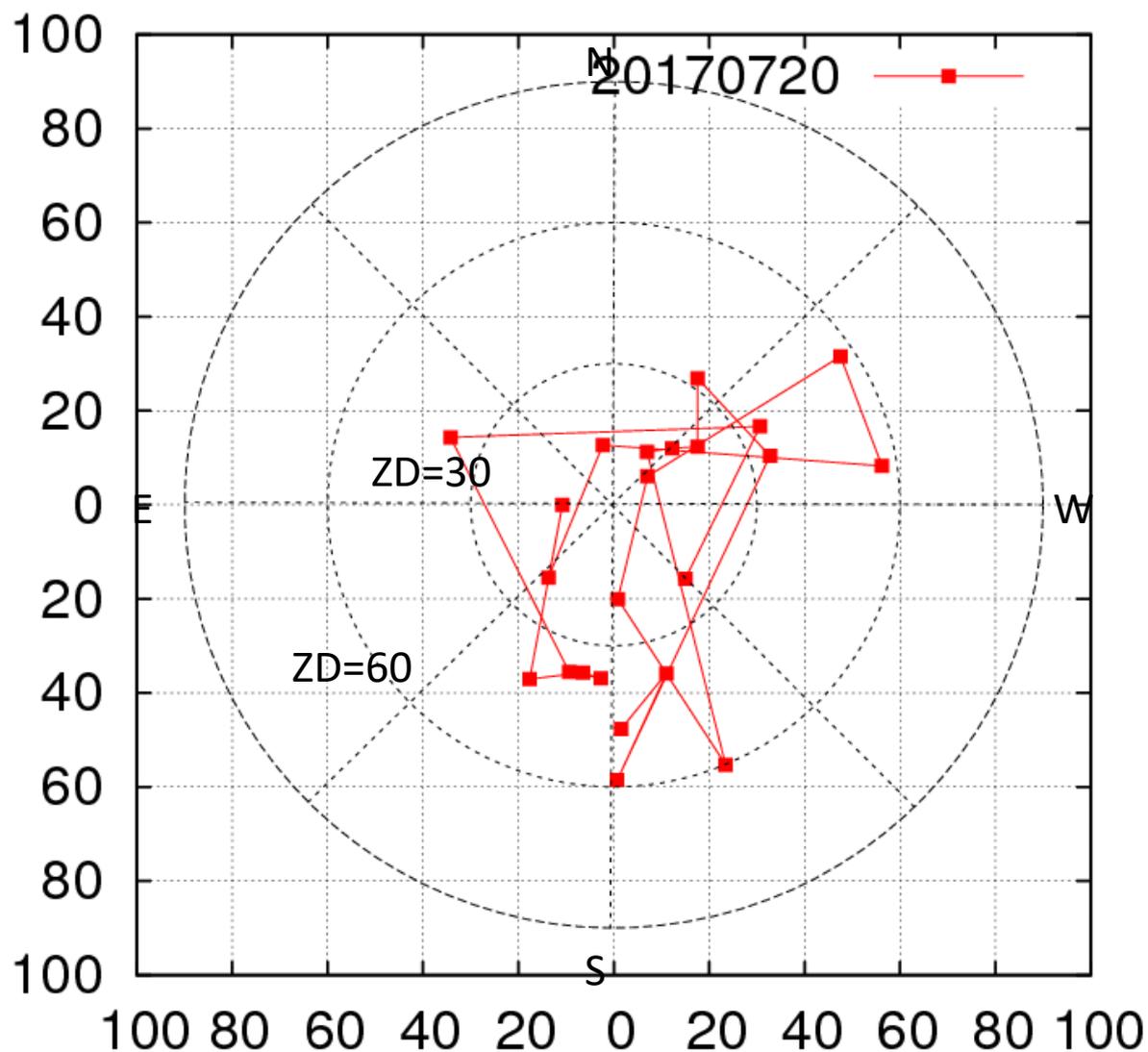
観測天体の選択例



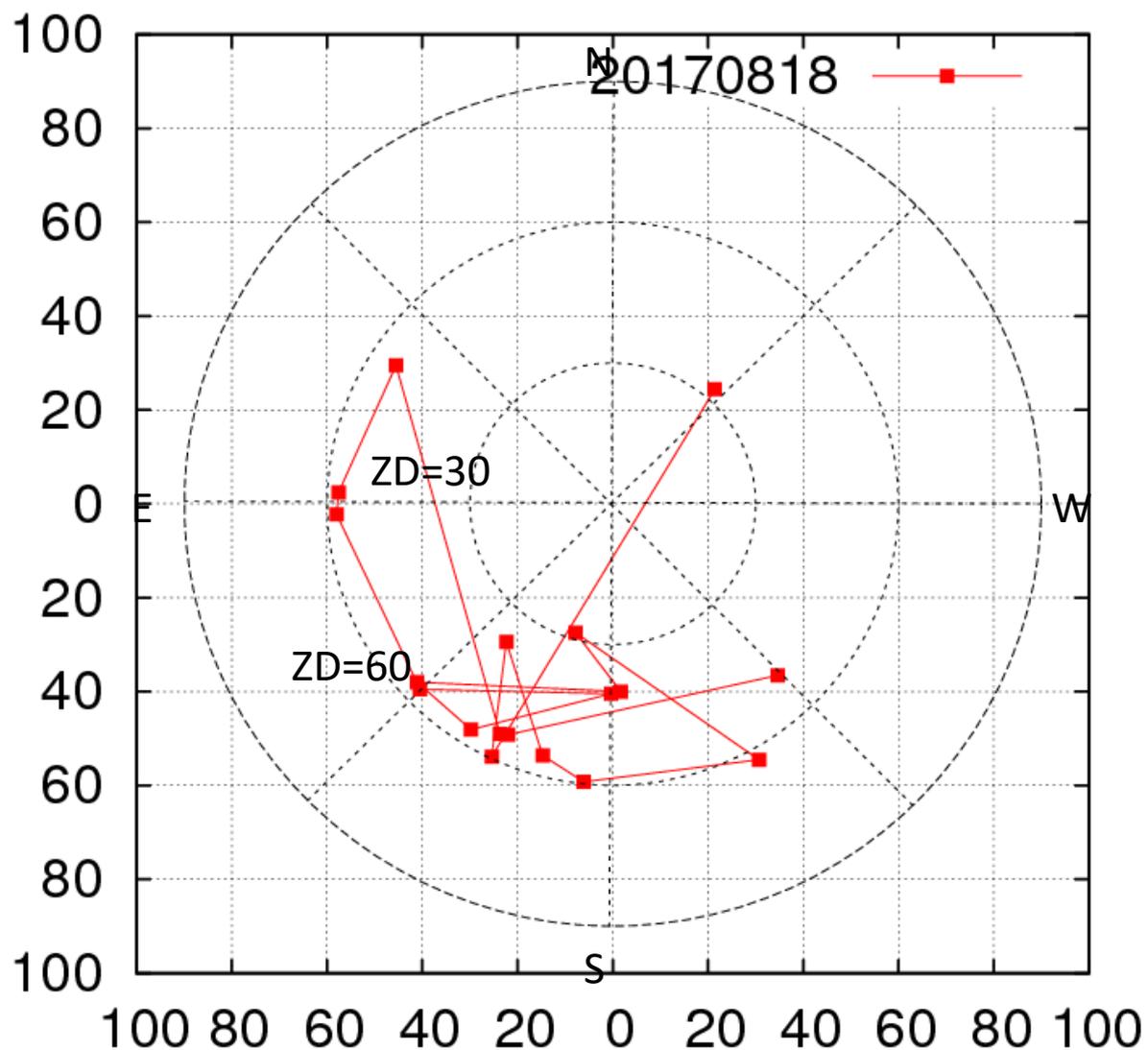
観測順序の自動決定の例(alt-az)



観測順序の自動決定の例(alt-az)



観測順序の自動決定の例(alt-az)



観測条件判定システム

- 観測条件の判定
 - 気象観測データ
 - 気象レーダー(気象庁のWebサイトのデータ)
 - リモート・ローカルスイッチ、人感センサー、計算機稼働状態(bizen, dome74plc)
 - 太陽高度
- ドームスリットの開閉
 - 直接実行する場合とキューシステム経由で実行する場合がある
- キューシステムの休止・再開
- 校正用データの取得(キューシステム経由)
 - 観測開始前、観測終了後
- 観測コマンド自動生成プログラムの実行(キューシステム経由)

観測条件判定システム

- 夜間の観測中は観測条件を4段階に判定

- 観測開始

- ドームスリットを開けて観測を開始する。

- 観測継続

- 自動でドームスリットは開けない。
- 観測実行中の場合は中止しない。

- 観測一時停止

- ミラーカバーを閉め、望遠鏡をREST位置に移動、ドームスリットは 0° に向ける。
- ドームスリットは閉めない
- キュー経由で実行(実行中の観測が終わるまで待つ)

- 観測中止

- ミラーカバーを閉め、望遠鏡をREST位置に移動、ドームスリットは 0° に向ける。
- ドームスリットを閉める。
- キュー経由で実行と即時実行の2通り

晴



雨

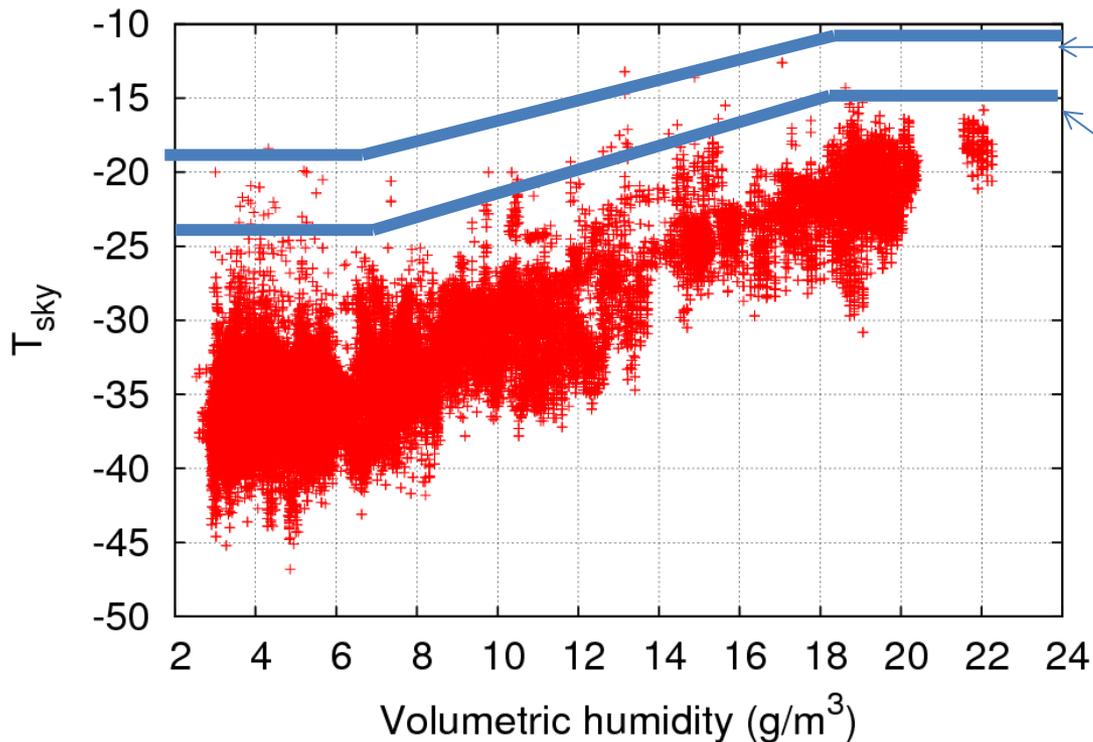


観測条件判定(気象関係)

- 降水
 - 過去10分間の観測値を使用
 - 低感度センサー(4台)の検出数の和と高感度センサー(3台)の検出数の和をチェック
 - 低感度センサー: のべ1回でも検知したら降水あり
 - 高感度センサー: 10分でのべ5回以上検知したら降水あり
 - データが取れない場合は降水ありと判断
- 雲センサー
 - 過去5分間の赤外線放射強度を使用。閾値3つ
 - ドーム & MC開、MC閉、ドーム閉
 - データが取れない場合はドーム閉と判断
- 湿度
 - 過去5分間の湿度を使用。閾値2つ
 - ドーム & MC開、ドーム閉
 - データが取れない場合はドーム閉と判断
- 気象レーダー
 - 15分後のレーダーエコーの予測データを使用。閾値3つ
 - ドーム & MC開、MC閉、ドーム閉
 - データが取れない場合は観測条件の判定には使用しない

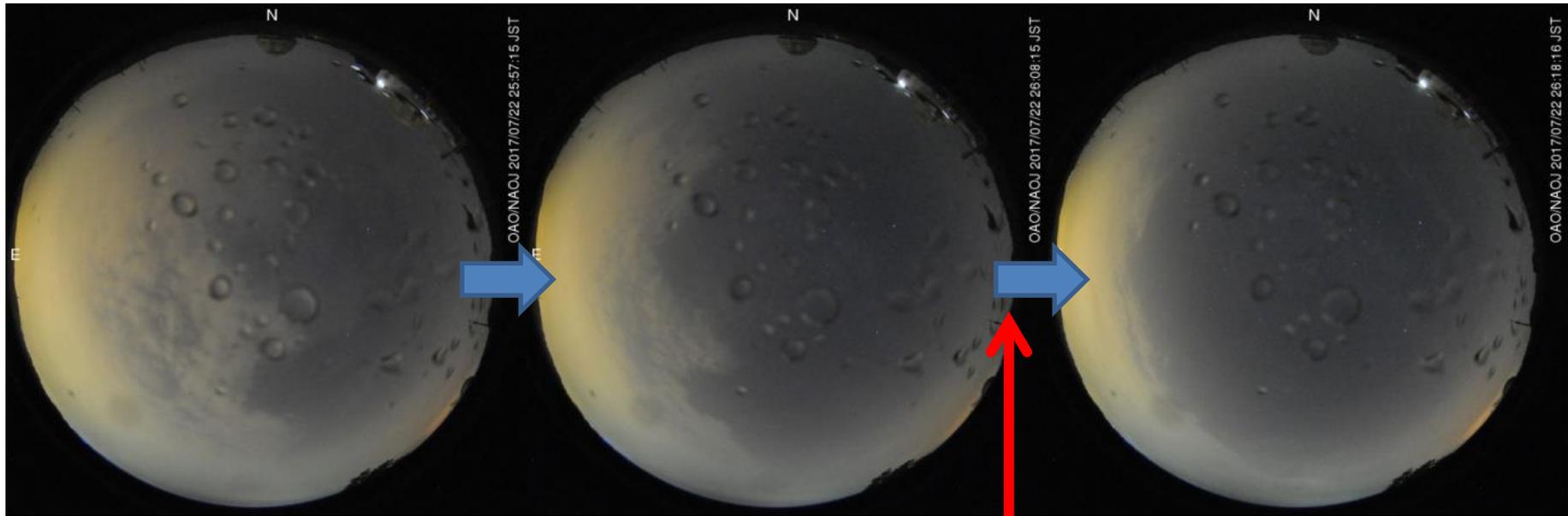
晴れ・曇りの閾値

- 水蒸気量を考慮した空の放射温度と外気温との差で評価
 - Boltwood cloud sensor2を使用して1分おきに測定
 - 過去2年分の観測を行っていた時の空の放射温度は水蒸気量に相関がある



晴れ・曇りの閾値

- 7/22の例



25:57
Tsky=-10.3

26:08
Tsky=-15.1

26:18
Tsky=-17.8

26:11 ドームスリット開

観測条件判定(気象)の状態遷移表

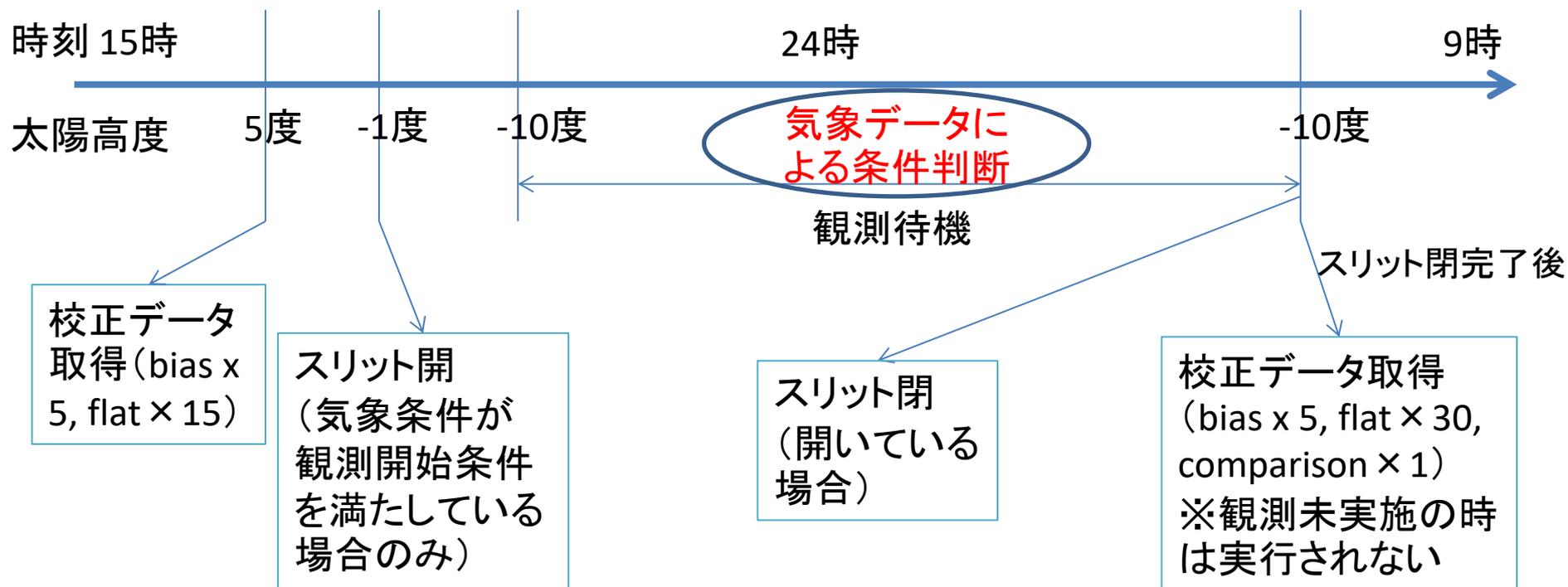
	観測開始	観測継続	観測一時停止	観測中止
雲(ドーム・MC開) & レーダー(ドーム・MC開) & 湿度(ドーム開) & 降水(なし)		観測開始	観測開始	観測開始
(雲(MC閉) レーダー(MC閉)) & 降水(なし)	観測一時停止	観測一時停止		
(雲(ドーム閉) レーダー(ドーム閉) 湿度(ドーム閉)) & 降水(なし)	観測中止 (キュー経由)	観測中止 (キュー経由)	観測中止 (キュー経由)	
降水(あり)	観測中止 (即時実行)	観測中止 (即時実行)	観測中止 (即時実行)	

観測条件判定 (keiko0.oao)

- keiko0.oao.nao.ac.jpからステータスを取得
 - DIOモニタ
 - 人感センサー、リモート/ローカルスイッチが全てブレーク
 - ネットワークモニタ
 - bizen, dome74plcが正常
 - DIO、ネットワークの両者が正常なら観測可能
 - それ以外は観測不可
- 観測不可時の動作
 - キュー: 登録済みコマンドをすべて削除してキューシステムをシャットダウン
 - ドーム、望遠鏡: 停止 (※スリットが開いていても閉めない)
 - ポインティング用コマンドでもkeiko0.oao.nao.ac.jpのステータスはチェックしており、異常検知時は実行不可 or 実行中なら停止
 - メールで観測不可状態になったことを通知

観測条件判定(太陽高度)

- 太陽高度-10度以下の間は観測待機状態
 - この間は気象条件による観測条件判断を実施する
- 夕方の太陽高度-1度でドームスリットを開ける
 - 気象条件が観測開始条件を満たしている場合のみ
- 観測開始前(太陽高度5度)と観測終了時(太陽高度-10度)に校正データを自動取得



観測条件判定(全体)

人感センサー、リモートローカルスイッチ
計算機の判定

OK

太陽高度+時刻の判定

観測待機

気象条件判定

- 観測開始
- 継続
- 一時停止
- 中止

➤ スリット開

気象条件判定

- スリット閉
- 校正データ取得
- Etc.

NG

- エラー通知
- ドーム・望遠鏡停止
- キュー削除

観測条件判定システム

- 夜間かつ晴れている時の動作

- キューシステムが実行状態にあるかどうかチェック
 - 休止状態の場合は再開
- コマンド自動生成プログラムをキューの一番最後に追加
 - 前の観測が全て終了した段階でコマンド自動生成プログラムが観測天体リストを再評価してコマンド生成・キューに追加
 - 既にコマンド自動生成プログラムがキューに入っていれば何もしない

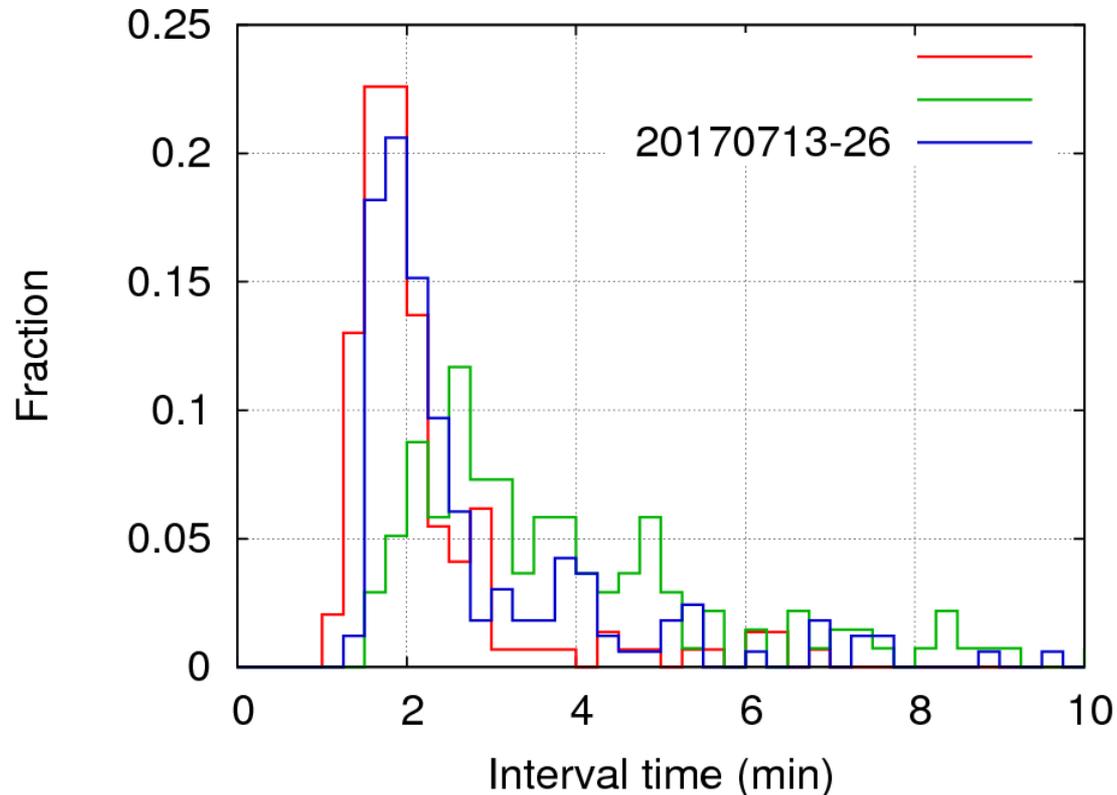
- 天候悪化時の動作

- 現在進行中の露出に関するコマンド以外をキューから削除
- ミラーカバーを閉める、REST位置に向ける、ドームスリットを閉める等の動作をキューに登録
 - 降水検知の場合とキューシステムが稼働していない場合はキューを介さず直接実行(露出進行中でも)

観測効率の比較

(露出終了から次の露出開始までの時間)

- 2分弱が最頻値
 - ポインティングや装置の設定変更を同時並行してCCD読み出し中に行うことで高効率化を実現。
 - 熟練観測者と同程度の観測孤立を達成。



トラブル (2017/07)

- 自動観測システム自体のバグ
 - 観測天体の高度のソフトリミット(危険領域まで許可してしまう)
 - 露出中に観測中断→再開を行うと中断処理がキャンセルされない
 - 観測中断をはさむとI2cell-in, -outのフォーカス位置がおかしくなる
 - 降雨判断のバグ(1台のみが連続して検出した場合も降水と判断)
- HidesFiberMain
 - HE→HR切り替え、フィルター交換時にMOVINGのまま止まってしまう(2回)
 - 観測の一番最初にBIASを取ろうとするとフリーズ(1回)
- AutoGuiderMain
 - フィルター交換時にMOVINGのまま止まってしまう(2回)
- ncont74
 - ポインティングの途中で危険領域に入って止まる
 - ポインティングの途中で止まる

まとめ

- 自動観測システムの構成要素である
 - 観測コマンド自動生成システム
 - 観測条件判定システムを作成した。
- 現時点で観測開始から終了までの一通りの動作を全自動で実行可能
 - 異なる観測モード(HE/HR、12cellあり/なし)も混在可能
- 観測効率は熟練観測者による操作と同程度
 - 観測天体の分布によってはやや効率が悪いこともある
- 今後の課題
 - データ品質の評価および自動観測ログとの統合
 - 観測者が要求するS/Nになっていない場合の撮り直し機能の実装