

国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡近赤外偏光分光観測装置の SQL-DB と連携した自動 pipeline 処理

○森田 諭、花岡庸一郎、桜井 隆、末松芳法
(国立天文台 太陽観測科学プロジェクト)

概要(Abstract)

国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡近赤外偏光分光観測装置は、近赤外域での複数の吸収線近傍での太陽全面フルストークススペクトルのモニター観測を 2010 年度より定期的に行っている。この装置は改修履歴も多く、各種情報がデータと共に分散保持されているため、pipeline 処理を統一的にかける際の弊害となっていた。観測ログ/装置改修履歴/観測データの統計処理情報を SQL-DB に吸い上げ pipeline と連携させたのでこれを報告する。取得データの品質管理にも使用する。

1. はじめに

国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡近赤外偏光分光観測装置(IR-Mag) [1] は、口径 15 cm 対物レンズ、高速偏光モジュレーター、エシエル型分光器、1 台ないし 2 台の高速読み出し近赤外カメラ(Xenics Xeva: InGaAs 素子, 640x512 pix, 90 fps, 14 bit ADC, ペルチェ冷却 250 K)からなる観測装置で、近赤外域での科学的に興味深い 2 つの波長域(He I 1.0830 μ m 及び Si I 1.0827 μ m 近傍、及び Fe I 1.5648 μ m 近傍)での太陽全面フルストークススペクトルのモニター観測を 2010 年度より定期的に行っている。現在、太陽全面偏光度マップを fits 形式にて公開しているが [2]、並行して 3 次元ベクトル磁場データを公開する準備を進めている。そのためには、適切に機器較正を行ったストークススペクトルデータを IR-Mag の全観測期間にわたり整備し、文献 [1] にて代表データに対し使用した Milne-Eddington Inversion Code 等に通すのだが、この装置は意外に改修履歴が多く、また、情報がデータディレクトリに分散保持されているため、pipeline 処理を均質にかける際の弊害となっていた。観測状況/装置状態/装置改修履歴を SQL データベース上に整備し、pipeline 処理と連携の上自動化したので、これを報告する。

2. 観測状況/装置状態/装置改修履歴 SQL データベース

観測状況/装置状態/装置改修履歴のデータベースは、MySQL 5.6 を用いたデータベース上の複数のテーブルとして構築した。表 1 にこれらテーブルの構成を示す。scan がメインのテーブルで、観測データに対する pipeline 処理実行時にはこのテーブルに query をかけ、処理に必要なパラメータを取得する。scan テーブルでは、太陽全面/部分スキャン観測各々に対しユニーク ID を割り当て、そのスキャンに含まれる各種データ、観測条件、使用光路、機器情報、データ格納相対パス等を紐つけている。各サブテーブルでは、各種ログを吸い上げ、取得データの一部に統計処理を行い、これらを基に更に scan テーブルを作り込む。上記作業は Linux OS 上で cronjob 化されており、日毎の観測の後自動実行される。2010 年の定常観測開始から現在までの全て (2021/1/29 時点で 7,304) のスキャンの情報を登録済。

テーブル名	データソース	カラム種 & 挿入単位	使用目的
scan	データディレクトリ, 装置改修履歴, 各種サブテーブル	ID, 時刻, 波長, 光路, 装置設定, 取得データ情報, 適用較正データ等 49 カラム, スキャン毎	IR-Mag 太陽面スキャン観測各種情報集約, pipeline からの参照, 処理内容記録
f0status	望遠鏡状態ログ	光量計, 各種温度等 14 カラム, 時系列	分散保持されたログの吸い上げ, 光量計情報提供
camtemp*	カメラ温度ログ	センサー温度, 冷却パラメータ等 14 カラム, 時系列	分散保持されたログの吸い上げ
dark*	ダークデータ、 camtemp テーブル	データ統計処理情報, センサー温度等 24 カラム, データ毎	scan テーブルサブテーブル, データ健全性管理等

表 1: 各種テーブルの構成。*: カメラ毎にカメラ ID をつけて作成。

一方、dark テーブルは、全ダークデータの統計処理情報やカメラ冷却情報をデータファイル毎で記録している。scan テーブルとはスキャンに対するユニーク ID で紐づいている。このテーブルは観測データの品質管理にも利用され、赤外カメラのセンサー温度とダークのメジアン値の間の単調増加カーブを、全観測期間に対し集積したデータから導出、カメラ温度ログがない期間のスキャン観測に対するセンサー温度を、ダークメジアン値から推定し、scan テーブルの完備性を担保するのに使用されている。同様に、外気温上昇等でカメラセンサー温度が安定していなかったスキャン観測に対しては、カメラ温度ログの値から各スリットポジションでのデータのバイアスレベルを推定することにも利用可能。

3. SQL-DB 連携 pipeline 処理

ここでは較正 pipeline 処理の一例として、使用の近赤外カメラ (Xeva) 2 台のピクセル毎非線形応答補正を紹介する。図 1.a は文献 [3] で提案された手法を、センサーのピクセル毎に適用して求めた典型的

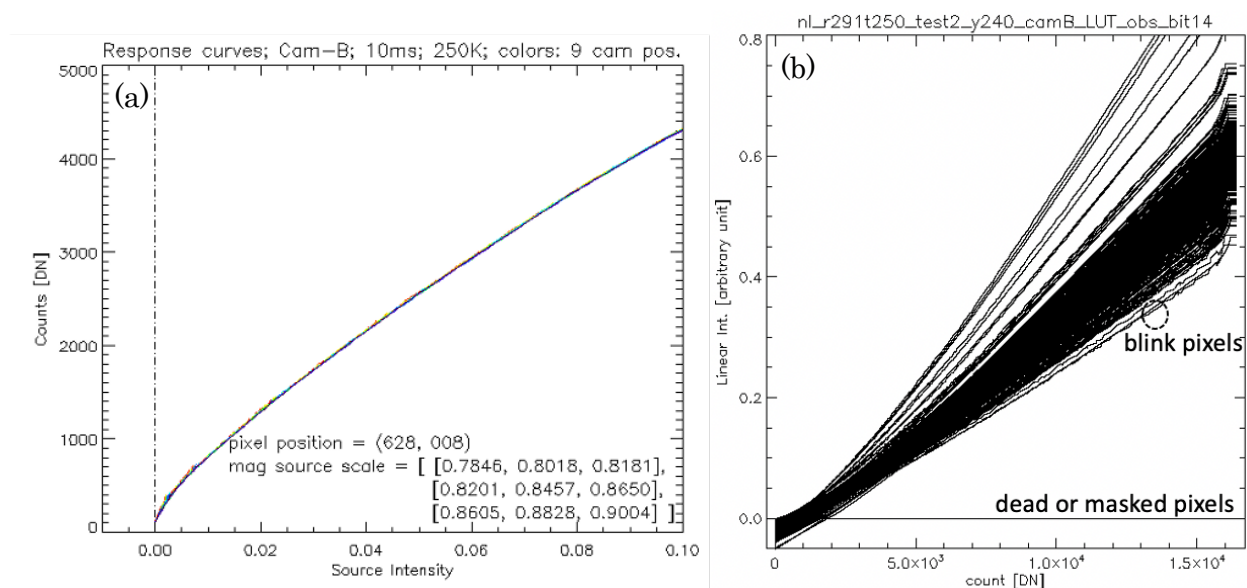


図 1: (a) 近赤外カメラ(Xeva)の典型的なピクセルの非線形応答曲線低カウント側拡大。縦軸がカウント数、横軸が線形化された入射光量, (b) 全てのピクセルに対し over plot したもの。横軸がカウント数。

なピクセルの非線形応答曲線の低カウント側を拡大表示したものである。低カウント側に強い非線形性があるが、我々は高速読み出しを行う為、このレンジでカメラを使用する。図 1.b は、ピクセル個数分の非線形応答曲線を求め **overplot** したものの。導出の際、光源に対するカメラの位置を複数変えながら同様の実験をし、得られた非線形応答曲線群の線形軸に対し、文献 [4] のフラットフィールドを合成するアルゴリズムを援用し、センサー固有のゲインマップ補正を織り込んである。図 1.a とは縦軸と横軸が入れ替わっている事に注意。カウント方向 14 bit 等間隔(つまりカウント毎)で作成されており、カウント数をポインタとして画像単位で高速に、線形化された光量値を返す **Look up table (LUT)**として使用する。実際の観測データは 24 枚/48 枚など積算して精度を上げているが、このデータを上記 LUT に通す際、カウント数を単純に積算枚数で除算して丸めると、稼いだ精度が無駄になってしまう。これを避けるには LUT の内挿が必要だが、ピクセル毎に異なる非線形応答曲線を用意した結果、処理時間に問題があった。だが、積算処理によるカウント数の増加は積算枚数に対して線形なので、元々カウント方向に等間隔メッシュである LUT に、画像単位での簡単な四則演算と剰余算を組み合わせる事により、高速に線形内挿を行うアルゴリズムを工夫し、現実的な処理時間で LUT 適用をかけられる様になった。

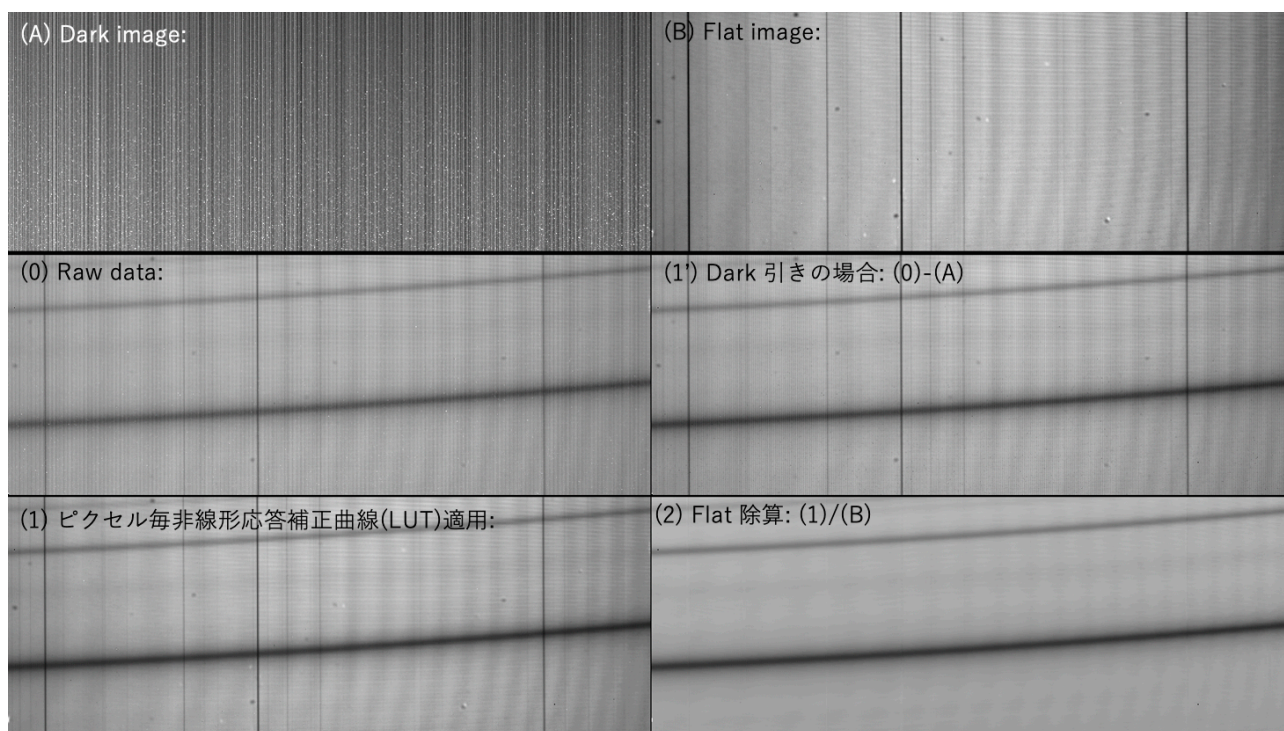


図 2：IR-Mag 較正レベル, (A)ダークイメージ, (B)機上で取得したフラットイメージ (ピクセル毎非線形感度補正 LUT 適用済), (0)Raw データ, (1')Raw データからダークイメージを減算, (1)Raw データにピクセル毎非線形感度補正 LUT を適用, (2) (1)をさらに(B)のフラットイメージで除算。

図 2 にピクセル毎非線形応答補正の効果を紹介する。図 2.0 及び図 2.A では、隣り合うカラム間で異なるレジスタ起因のパターンが強く目立つ。通常のダーク引きを行ったのが図 2.1' なのだが、カラム方向のパターンは非線形な応答にも含まれているので、この処理では除去できず、特に吸収線の底で顕著に残る。一方で、ピクセル毎非線形応答補正 LUT を適用した図 2.1 では、カラム方向のパターンは消えており、十分に効果があることがわかる。図 2.2 は、機上で取得したフラットイメージ(図 2.B)で更

に除算したもので、LUT 取得実験時と機上の光学系との差異を補正している。

観測データに対する較正 pipeline 処理実行時には、処理に必要なパラメーターを前述 scan テーブルに適宜 query をかけて取得する。ピクセル毎での非線形応答補正 LUT 適用の場合は、そのスキャン観測で使用する (1)カメラの ID、(2)センサー温度、(3)積算枚数、(4)適切なダークイメージの情報を query する。太陽全面をスキャンしたデータセットには、2252 スリット位置の偏光観測データ(偏光変調 8 種)と各種較正データが含まれるが、ネットワーク越しのデータ読み込み、ピクセル毎非線形応答補正適用、fits 形式でのデータ保存の処理を 7 分 30 秒程度の時間で実行することに成功している。正常に完了した較正処理に対しては処理に用いた各種較正ファイル名を、ハードウェア/データ/較正処理の不調があるデータセットにはそれぞれフラグを、scan テーブルに記録しており、必要なデータのみ後で処理をやり直すことも可能である。pipeline 処理は Linux OS 上で cronjob 化されており自動実行が可能。現在までに、カメラエレキ交換後の 2014 年から 2019 年までのデータに対し上記処理が完了している。

4. まとめと展望

国立天文台三鷹太陽フレア望遠鏡近赤外偏光分光観測装置(IR-Mag)は、3 次元ベクトル磁場データの公開準備を進めている。その一環として、過去に取得した全観測データの均質的な pipeline 処理によるストークススペクトルデータ作成の為、観測状況/装置状態/装置改修履歴のデータベースを整備し、これと連携する pipeline を作成した。データベースに関しては、全スキャン観測の関連情報(取得したデータの品質や実行した較正処理の情報を含む)を集約した scan テーブル(カラム数 49)と、これを作り込むためのサブテーブル(3 種 6 個)を作成した。2010 年の観測開始から現在までの全てのデータに対して情報吸い上げが完了しており、日毎の観測に対する情報追加も自動化されている。サブテーブルの情報はデータの品質管理にも利用されている。scan テーブルと連携して自動動作する較正 pipeline は、フラットホームとピクセル毎非線形応答補正モジュールが完成している。カメラエレキ交換後の 2014 年から 2019 年末までの約 4,900 スキャン観測のデータに適用済。今後、機上光学系フラットモジュール(含スペクトルの傾き補正)、偏光復調モジュールを、使用実績のあるコードから順次移植し、全観測期間にわたる較正済ストークススペクトルデータを、文献 [1] の Stokes inversion コードに提供していく。

参考文献

- [1] T. Sakurai, Y. Hanaoka, T. Arai, M. Hagino, T. Kawate, N. Kitagawa, T. Kobiki, M. Miyashita, S. Morita, K. Otsuji, K. Shinoda, I. Suzuki, K. Yaji, T. Yamasaki, T. Fukuda, M. Noguchi, N. Takeyama, Y. Kanai, T. Yamamuro: Infrared Spectro-Polarimeter on the Solar Flare Telescope at NAOJ/Mitaka, PASJ, 70, 58 (2018).
- [2] https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/db_cal.html#irmag
- [3] Y. Hanaoka, I. Suzuki, T. Sakurai: Practical Method to Derive Nonlinear Response Functions of Cameras for Scientific Imaging, ApOpt, 50, 2401-2407 (2011).
- [4] J. R. Kuhn, H. Lin, D. Lorz: Gain Calibrating Nonuniform Image-array Data Using Only the Image Data, PASP, 103, 1097 (1991).