

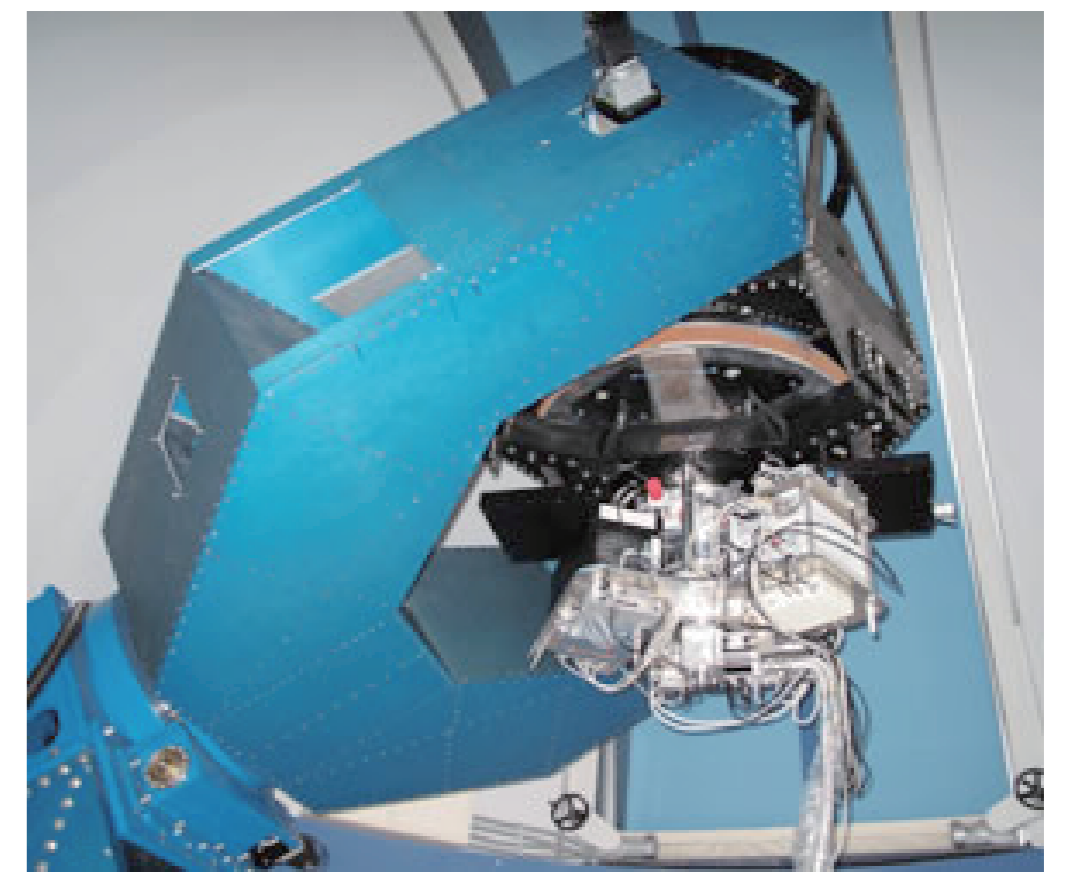
完全空乏型 CCD を用いた TDI 観測：人工天体観測への応用

奥村真一郎、西山広太、坂本 強（日本スペースガード協会・スペースガード研究センター*）、柳沢俊史（JAXA）、中屋秀彦（国立天文台）、田中 済（日本宇宙フォーラム）、高橋典嗣、吉川 真（日本スペースガード協会・スペースガード研究センター）

*日本スペースガード協会（スペースガード研究センター）は 2012 年 9 月 27 日付けをもって文部科学省科学研究費補助金取扱規程第 2 条に規定する研究機関として認定されました。

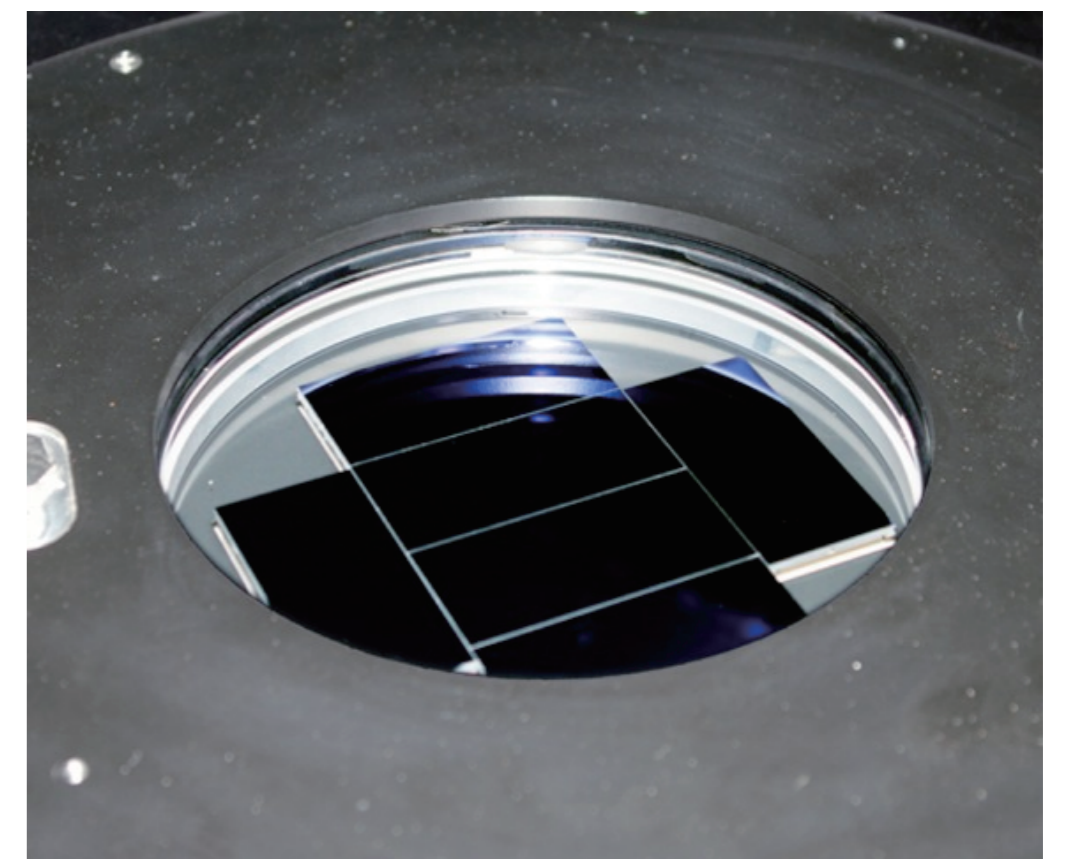
概略

美星スペースガードセンターでは 2000 年の開所以来、地球接近小惑星とスペースデブリなど人工天体の観測を行っている。2009 年には 1m 望遠鏡に新モザイク CCD カメラ「Volante」が導入され、使用されている。パラレル転送とシャッターのタイミングを調節することにより、このカメラに TDI 方式による読み出しを適用した。以下、TDI 方式を実現するための技術課題と人工天体観測への応用例について紹介する。



望遠鏡と観測装置の概要

1m 望遠鏡は赤道儀式架台、フォーカス式でカセグレン焦点にのみ装置を搭載する。クラシカルカセグレンに補正レンズを 5 枚使用し、合成口径比は 3 である。観測装置（モザイク CCD カメラ「Volante」）は浜ホト製完全空乏型 CCD を 4 枚実装して約 $1.1^\circ \times 2.3^\circ$ の視野を有している。データ取得エレクトロニクスは MESSIA5 と MFront2 である。シャッターは大型の羽根式であるためその開閉には時間がかかる。人工天体観測では時刻精度が要求されるので、シャッターの開閉センサと GPS を連動させ、1 回の露出に付き「シャッター開、開始」「シャッター開、終了」「シャッター閉、開始」「シャッター閉、終了」の 4 回、時刻を記録している。

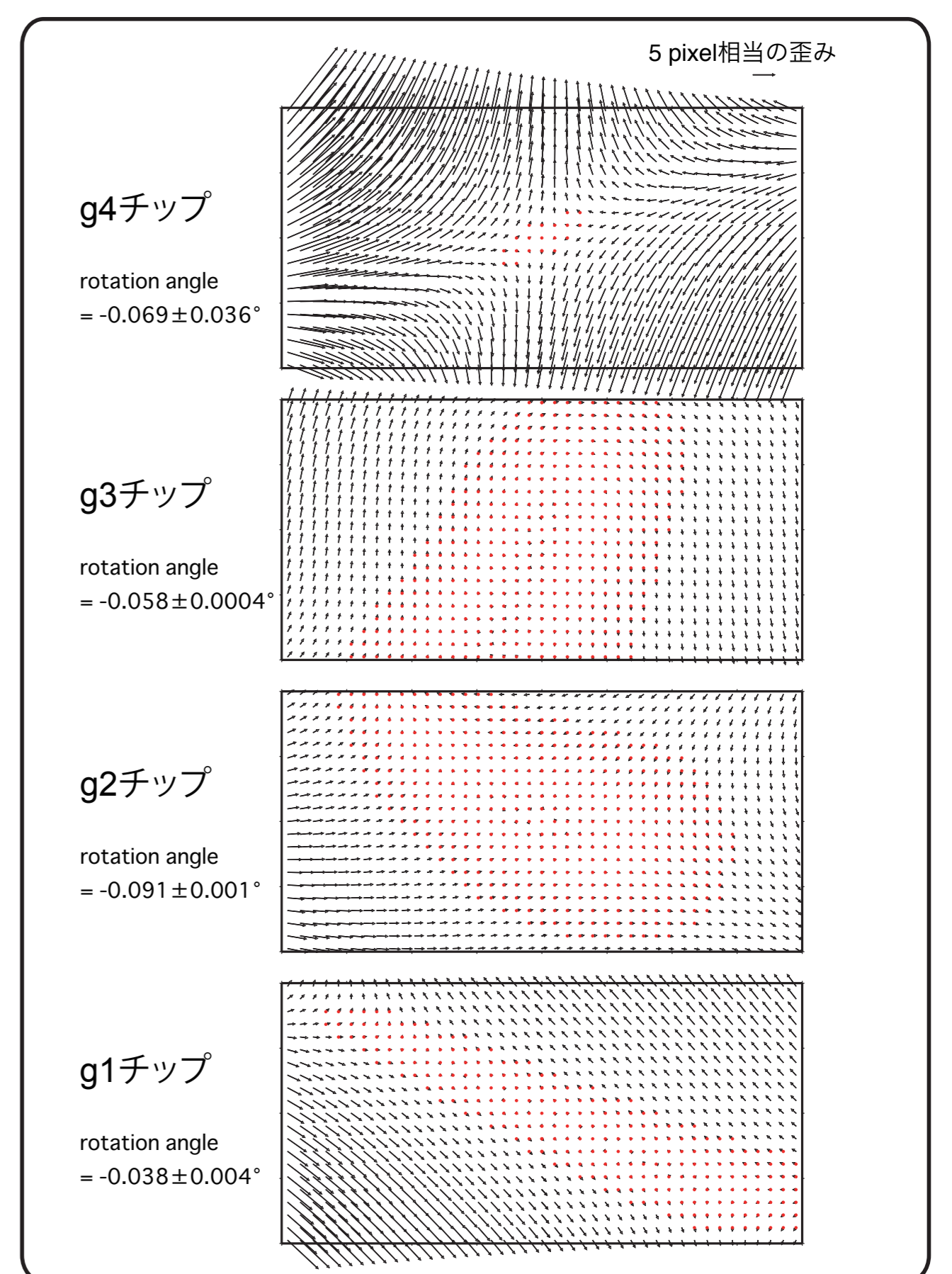


TDI について

TDI (Time Delay Integration, Drift Scan とも言う) とは、露光しながら CCD の電荷転送を行い、視野内で移動する撮影対象の速度・方向に対して電荷転送速度を一致させることにより移動対象を点状に撮像し、感度をあげる読み出し方式である。実現するためにはパラレル転送タイミングの調節とシャッター開閉のタイミングを変える必要がある。パラレル転送タイミングの調節は、クロックパターンそのものやシリアル転送部分を変えてしまうと読み出しの特性が変わってしまうのでこれを避け、MESSIA における spv の中で、パラレル転送のパターンを指定しているループの中に「wait」「loop」コマンドを組み込んで転送タイミングを遅らせる事により実現している。シャッターは転送開始と同時に開くように設定した。また、読み出し時間短縮のため、シャッターを閉じた後に転送速度を元に戻すような設定とした。

TDI 観測実現に向けて必要な評価

TDI 観測を実施するにあたり、焦点面上での歪みを評価する必要がある。歪みが大きいと、撮影対象物体の移動速度と転送速度がたとえ一致していても像が点状にならないからである。右図は 4 枚の CCD チップ (g1~g4) 上において歪みを評価し、各チップの中心に対する歪みを 100pixel グリッドで図示したものである。矢印の長さは 5pixel 相当のずれを表す。赤い●印で示したのは、CCD 上で光学歪みが 1pixel 以内 (2x2 ビニングの場合) におさまる範囲であり、●印で示された範囲がおおよそ、TDI モード観測に適した領域であると言える。



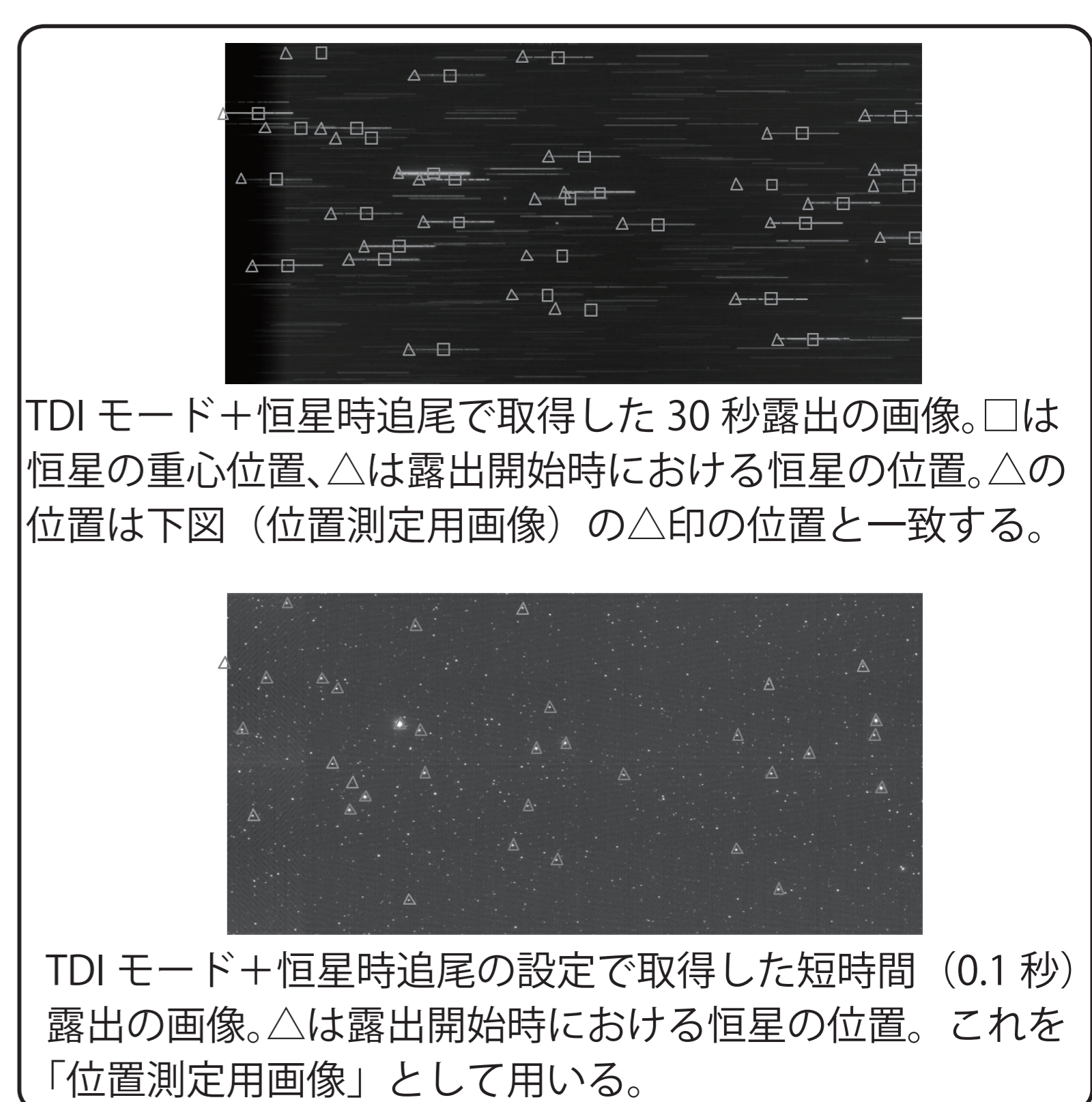
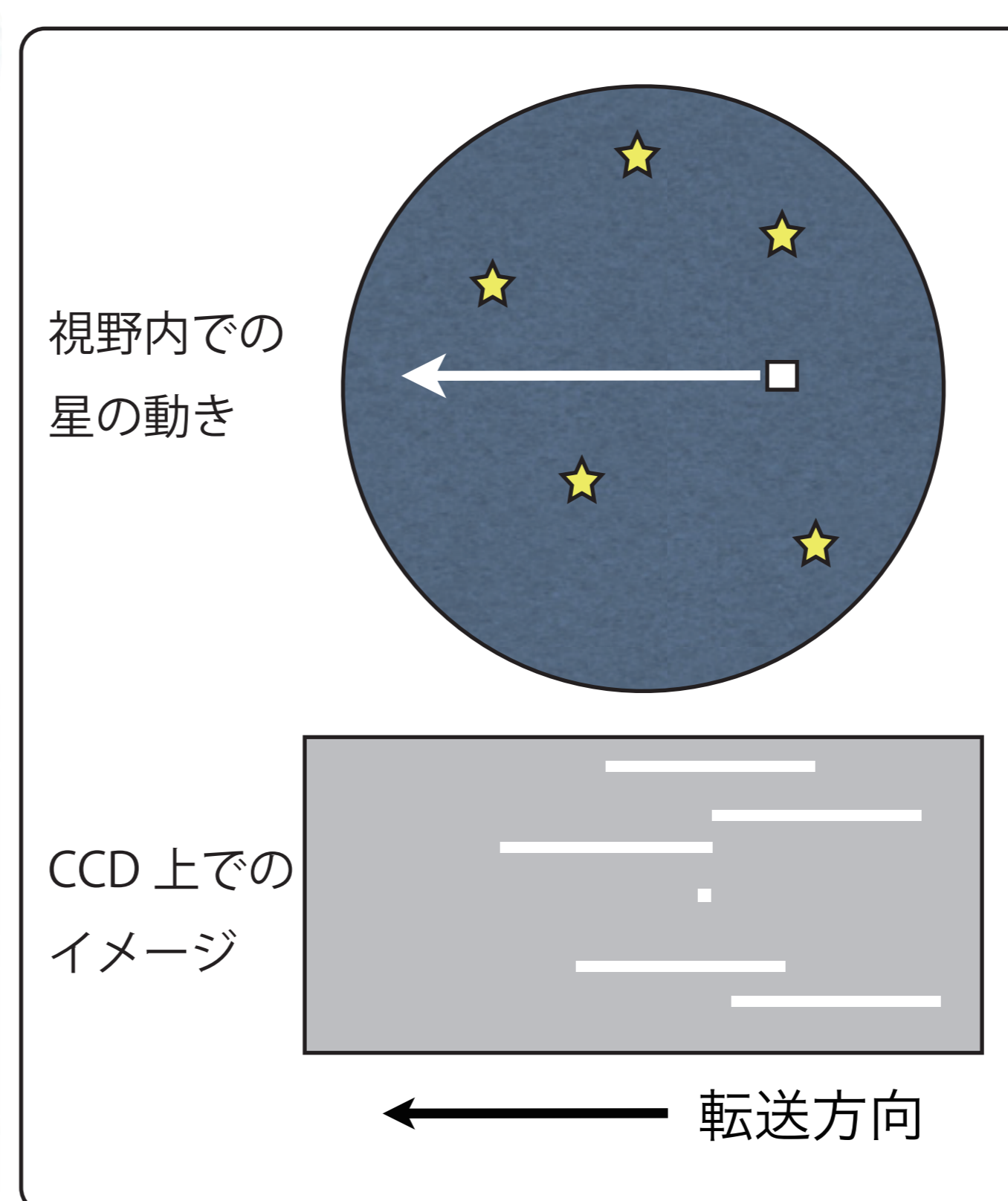
天文観測への TDI の応用例

TDI 方式を応用した有名な例は、SDSS サーベイである。パラレル転送方向を焦点面上で東→西の方向に設定し、転送速度を日周運動に同期させることにより、望遠鏡を止めたままで広い領域の観測が可能となる。露出しながら転送（読み出し）をするのでデータ読みだしのためのロスタイムがなく、時間効率の良いサーベイ観測が可能となる。また、露出・読み出しを連続で続けることにより、赤経方向には帯状にいくらかでも長いデータを取得することができる。

人工天体観測への応用例 1 静止軌道物体の深観測

一般に静止軌道物体を観測する際には望遠鏡停止にする。対象物体は点状に写るが、位置座標の基準となる恒星は伸びて写る。この場合、露出を長くすればするほど背景の星像が伸びてしまい、星の重心の位置を使って位置座標を決定する方法では精度が悪くなる。

望遠鏡を恒星時追尾状態とし、TDI 方式によりパラレル転送方向を焦点面上で西→東の方向に設定して転送速度を日周運動に同期させることにより、静止軌道にある人工天体を点状に撮影することが出来る。望遠鏡を停止させて通常の読み出しをした場合と同じような画像となるが、この場合には恒星時追尾なので画像を何枚取得しても背景の恒星が必ず同じ位置に来るため、短い露出で「位置測定用画像」を取得しておけばこれをもとに位置座標を決定することが出来、精度の良い位置測定が可能となる。そのため位置精度を落とさずに暗い天体まで観測することが出来る。



人工天体観測への応用例 2 短時間変光観測

視野内で移動している物体を撮像するための TDI であるが、発想を転換し、視野内で停止している天体に対し TDI で読み出しを行い、あえて伸びた像とすることにより露出時間中の光度変化を捉えることが出来る。視野内で静止している物体の像は、TDI 読み出しにより露出時間と転送速度に比例した長さに伸びる。この星像のプロファイルを調べる事により短時間での光度変化を見ることが出来る。この時、背景に写る恒星のプロファイルから露出時間中の大気変動を補正することが出来る。また、望遠鏡が追尾さえすれば、動きの速い低軌道の人工天体にも適用できる。

