

OASIS 光軸ずれの原因候補

柳澤 顕史

2000/01/06

概要

OASIS の光軸ずれに関してこれまでに分かっていることをまとめ、その原因の候補を挙げる。そして、今回の改修期間に行うべき作業の方針を大まかに決める。

目次

1	はじめに	1
2	これまでの実験結果	1
2.1	光軸がずれていることを示す直接証拠	1
2.2	光軸ずれの天頂距離依存とその再現性	2
3	光軸ずれの原因候補	5
3.1	平面鏡のセルへの固定方法	6
3.2	平面鏡セルの光学定盤への固定方法	6
3.3	光学定盤のクライオスタットへの固定方法	6
4	今後の作業方針	7

1 はじめに

OASIS は、望遠鏡の姿勢変化に伴って光軸ずれを起こす。望遠鏡を天頂から子午線に沿って南に 70 度程度傾けると、30 画素、すなわち 30 秒角のずれを生じる。このずれの影響は、撮像の際には望遠鏡の指向エラーおよび、有効径の損失としてあらわれる。後者は photometry をする際には extinction 補正が通常の方法ではできなくなるため、深刻な問題といえる。また、分光の際には中心波長のずれとして現れる。モーター系のクロストークを無くしても、光軸ずれによって中心波長の設定が出来なくなってしまう。観測の再現性向上をうたっている今回の改修作業にあって、この光軸ずれは解決しなければならない課題である。

2 これまでの実験結果

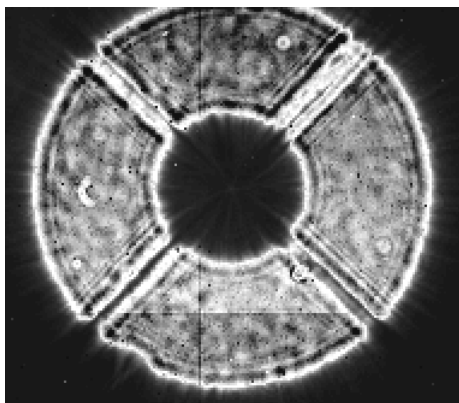
2.1 光軸がずれていることを示す直接証拠

図 1 は、光軸がずれることを示す直接的な証拠である。

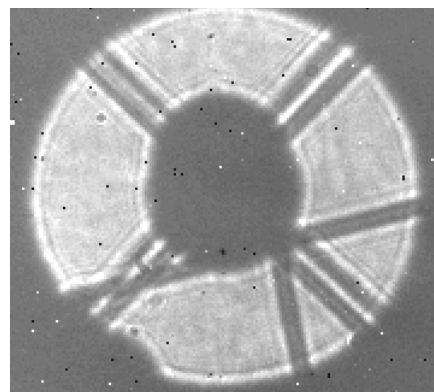
これらの2枚の図は imaging mode で恒星の off focus 画像を天頂距離を変えてとったものである。左はほぼ天頂で、右は天頂距離 69.4 度の画像である。

off-focus 画像は Cold stop mask 位置投影された主鏡像をみていると考えて良い。主鏡像は、明るい円盤の中心が一部黒く円状に抜けるとともに、2本の暗線が円盤の中心を通るように直交した像となる。これらの影は副鏡とスパイダーによってつくられる。この主鏡像の影の部分は $2\mu\text{m}$ よりも長い波長域では熱輻射をおこし、背景光として寄与するため、これらを隠すように cold mask を作成し設置する。よって、cold mask と主鏡像の影は同様のパターンとなる。都合の良いことに、主鏡像の中心(光軸)と、cold mask の中心は線の交点で知ることが出来る。

まず、天頂付近の画像では主鏡像と cold mask の中心はほぼ重なっており光軸中心が cold mask の中心を貫いているため、cold mask が有効に機能していることを示している。一方、天頂距離の大きな画像では両者がずれおり、cold mask が機能していない状態となっている。さらに、光のスループットが低下しており、有効径が姿勢によって変化してしまうことも示している。



alpha-Aur
z=15.9



alpha-Col
z=69.4

図 1: 恒星の off focus 画像を天頂距離を変えてとったもの。左は天頂付近 ($z = 15.9$) の画像で、右は天頂距離 69.4 度の画像である。ともに J-band image.

実際、大気減光の観測データからも、その傾向が伺える。図 2 は、ある晩の大気減光の様子で、星の instrumental magnitude を airmass に対してプロットした図である (Okumura *et al.* 2000)。各バンドともに、airmass が 1.6 よりも大きいところでは、回帰直線からのデータ点がしたにずれている様子がわかる。したにずれる、つまり等級差がおおきくなるということは、検出器に照射された明るさが減少したことを意味する。このずれこそが、有効径損失に起因するとおもわれる。

2.2 光軸ずれの天頂距離依存とその再現性

望遠鏡の姿勢変化に伴う光軸ずれを定量評価するために次の2つの実験を行った。

1. 望遠鏡を南北に振った場合の光軸ずれの検出
2. 望遠鏡を東西に振った場合の光軸ずれの検出

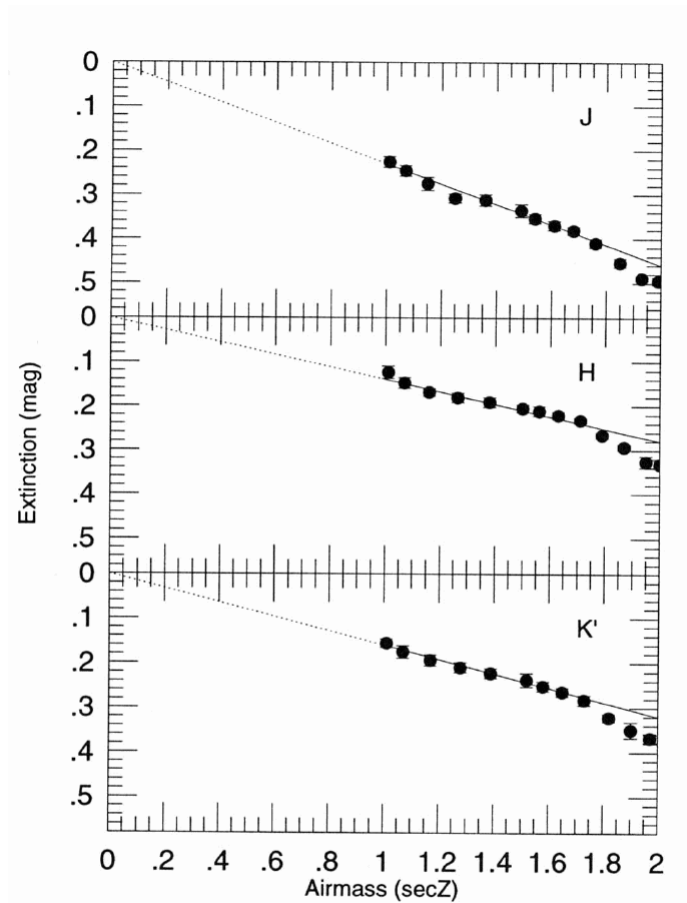


Fig. 16. Atmospheric extinction in the J, H, and K' bands.

図 2: OASIS で得られた大気減光線 (Okumura *et al.* 2000)。Airmass=1.7(天頂距離 54度) 付近からデータ点の折れ曲がりが始まることに注目。

光軸ずれの検出方法 ずれは、次のように検出した。まず、OASIS の望遠鏡焦点部にスリットをいれ、これを撮像出来るようにする。スリットはクライオスタットに対して動かないと仮定できる¹ので、望遠鏡の姿勢を変化させた際に検出机上のスリットの決像位置がずれるようであれば、それは OASIS のクライオスタット内の光軸変化に起因する。この状態で、望遠鏡の姿勢を変化させ、movie mode で画像を取得し、スリット端の座標値を読んだ。

望遠鏡を南北に振った場合の光軸ずれ 図 3 は、子午線に沿って望遠鏡を動かした際の決像位置のずれ (y-方向のみ、つまり南北方向) を示している。図の縦軸はスリット位置の y 座標値で、横軸は赤緯 (天頂距離) である。

図中の実線は $\Delta\delta = 10$ で動かした際のスリット y 座標値の変化を示している。一方、白抜きの四角は、 $\Delta\delta = 20$ で望遠鏡を子午線に沿って複数回動かしたときの y 座標値である。これは再現

¹仮に検出器上で結像位置が 30 画素分ずれたとする。これは、角度の 30arcsec に相当し、焦点面での動きは 5mm に相当する。スリットホイールの取り付けは強固なものとはいいがたいが、5mm 動くことはかなり考えにくい

性を確認するために行った実験であり、 $\Delta\delta$ を大きくしたのは実験に時間かけるを短くするためである。

この実験から次のことがわかる。

1. ずれ量は天頂に対しては非対称な分布となっている。
2. 望遠鏡を高赤緯から南に動かすと、ずれの絶対量が大きくなる傾向にある。ずれは、天頂距離 $z > 40$ で突然大きくなる。
3. 望遠鏡指向の履歴が認められる。たとえば、子午線上で $\delta = 5$ の位置に望遠鏡を指向させるばあいを考える。すると、北から指向する場合と南から指向する場合には決像位置が異なることがわかる。望遠鏡を $\Delta\delta = 20$ で繰り返し振った実験結果からは、北から向けた場合と南から向けた場合とでは、毎回結像位置の微妙な変化 (最大 2pixel 程度) があるものの、差が 2.5 画素程度あり有意に大きい。つまり、履歴は大まかには再現するものの、微小な変化が付随することを示している。

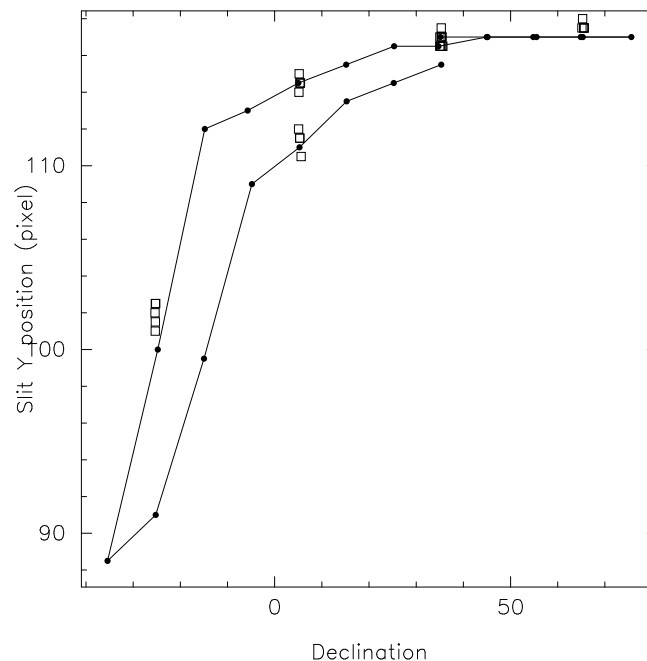


図 3: スリット像決像位置の天頂距離依存性。実験時の H.A.=0 に固定

望遠鏡を東西に振った場合の光軸ずれ 図 4 は、望遠鏡の赤緯を $\delta = 34.5$ に固定した後、赤経軸を動かした際の決像位置のずれを示している。この実験では、とくに RA 方向 (x-方向) の変化を知りたかった、y 方向のスリットずれとともに、x 方向のずれも測定しプロットした。図の縦軸はスリット位置の座標値で、横軸は時角 (Hour Angle) である。望遠鏡は、次のように動かした。まず西方向に (HA が増える方向、HA=+5 まで) 振ったのち、東方向 (HA が減る方向、HA=-6 まで) へ振り、最後に HA=-1 まで戻した。

この実験から次のことがわかる。

1. x-方向のずれの量は最大 2 画素程度で、望遠鏡の姿勢にほとんど依存しない。
2. 一方、y-方向のずれ量は大きく、この実験での最大差は 18 画素程度である。

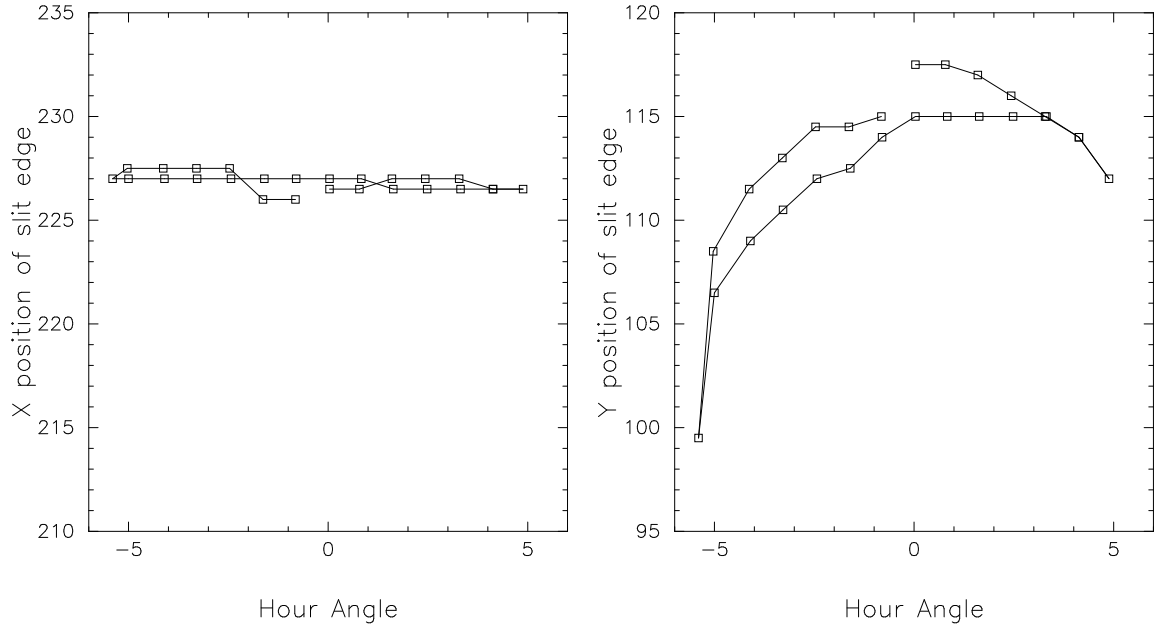


図 4: スリット像決像位置の時角依存性。実験時の $\delta = 34.5$ に固定。

実験のまとめ まとめると、

光軸ずれは、望遠鏡の動きに対してほぼ再現し、指向の履歴を伴うとともに、毎回微小な変化が付随する。軸のずれは画像に対して y 方向に卓越している。

といえる。

y 方向に卓越するということは、OASIS クライオスタット内部の光学定盤面に対して、平行な成分が卓越することを意味している。では、次に原因を考える。

3 光軸ずれの原因候補

原因候補として以下の 3 つが挙げられる。

1. 平面鏡の固定方法
2. 平面鏡セルの光学定盤への固定方法
3. 光学定盤のクライオスタットへの固定方法

3.1 平面鏡のセルへの固定方法

鏡がセルの中で動いていることが考えられる。山下さんによれば、以前セルに納めた鏡が冷却時に割れたことがあったので現在はあまり強く押えていないらしい。たしかに、現在使用している平面鏡のうちスリットから3番目の鏡は、側面が割れてえぐれている。したがって、望遠鏡の姿勢変化にともない、セル内で動く可能性は高い。

3.2 平面鏡セルの光学定盤への固定方法

OASIS の4枚の平面鏡のうち、スリットに近い方から1番目と2番目の鏡は、既成品のティルトステージに固定されている。ジェネシアの武山さんによると、このティルトステージには望遠鏡の姿勢変化にともなうティルトの変化があることが確認²されている。ティルトステージにはバネが採用されており、そこに固定された平面ミラーの傾りを手で変えることが出来る。バネの弾性は低温で小さくなることから、姿勢変化を起こす原因の有力な候補であるといえる。とくに、天頂距離 $z > 40$ で変化で、大きくスリット結像位置がずれる現象に関しては、前置光学系の M2 が寄与している可能性が高い(図5参照。)

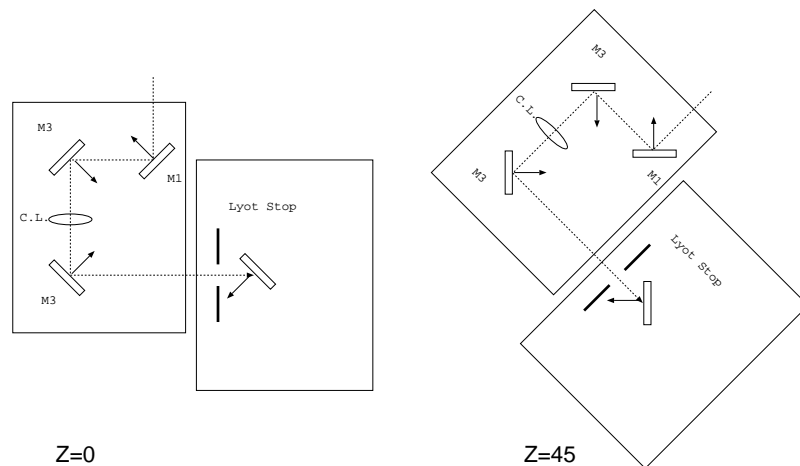


図 5: 望遠鏡の姿勢変化にともなう光学素子の姿勢変化。MX はミラーで、矢印記号は鏡面の向きを示す。

3.3 光学定盤のクライオスタットへの固定方法

OASIS では、前置光学系とカメラ部のそれぞれに光学定盤が設けられている。そのため、それらが相対的にずれても光軸ずれの原因となり得る。とくに光学定盤の面に垂直な方向を回転軸として、回転成分があると容易に光軸ずれとなる(図6参照)。

光学定盤は、前置光学系とカメラ部のそれぞれで3点で支持されている。支持材料はともにガラスエポキシであるが、形状が2種類ある。一つは円柱(中は空洞。4cm ϕ , 2mm thick, 4cm tall)で、もう一つは四角柱(4cm角。6面のうち、4面のみ使用されている。天板と底板はアルミ製、でそ

²MUSE で得られた経験にもとづく。しかし、ズレの程度は不明のままである

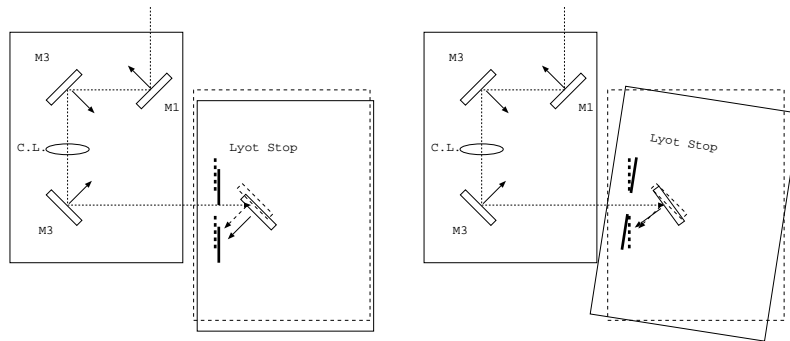


図 6: 望遠鏡の姿勢変化にともない光学定盤が、ずれ、回転することによって光軸を生じる様子。

これらの間をガラスエポキシの 2 枚の板が中心をはさんでお互いに面を向き合わせるように取り付けられている) である (図 7 参照)。前者は不動点として機能し、後者は冷却に伴うクライオスタット壁と光学定盤に生じるストレスを開放するように設置されている。

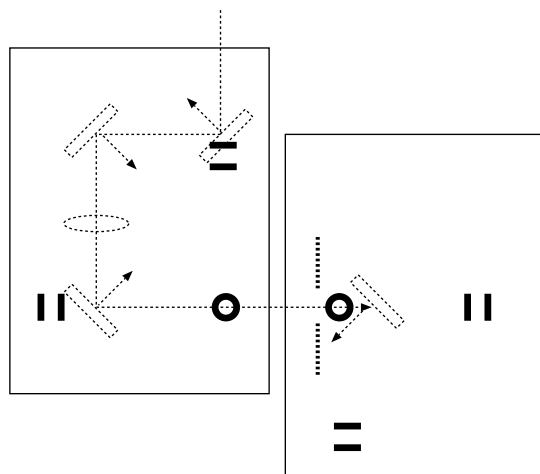


図 7: OASIS 光学定盤のクライオスタットへの固定方法。○は円柱形状の支持具、平行線は四角柱の支持具を示す。

とくに、円柱部は前置光学系もカメラ部もお互いに Cold stop 付近に設けられているため、相対的なずれは生じにくい設計となっている。また、四角柱も光学定盤の重力方向への移動を生じにくい配置となっているため、光学定盤の固定方法が原因でずれる可能性は低い。しかしながら、実験にて検証するひつようは十分あると考える。

4 今後の作業方針

2つ挙げられる。一つは、原因をさらに追求することである。以上で挙げた 3つの可能性のうちどれが一番きいているのかを調べる必要があるだろう。また、それぞれの改修方法を考えておく必要がある。

より詳細な原因の追求 とりあえずは常温で実験を試みることを最初に取り組む課題と考える。そこで、次のような実験を行うことを提案する。

平面鏡の固定方法、および、平面鏡の光学定盤への固定方法については、オートコリメータを利用した実験が考えられる。たとえば、板の端にオートコリメータを装着し、反対側の端に OASIS の平面鏡を固定する。この板をいろいろな姿勢に傾けて、面の姿勢変化をオートコリメータで測定する。

また、光学定盤のクライオスタットへの固定方法、についてはレーザー変移計を利用する。クライオスタット外壁にレーザー変移計をとりつけ、光学定盤との距離をはかれるようにする。クライオスタット外壁をさまざまな姿勢に変化させ、その距離を測定するのである。

他の観測装置における平面鏡固定方法の調査 平面鏡を光学定盤に固定する方法を採用している観測装置は沢山あるはずである。そこで、それらの方法を調査し、OASIS に応用できるようにする。SUBARU の観測装置が参考になるだろう。