

# 岡山 3.8m 新望遠鏡制御系のための多点温度計開発

京都大学理学研究科宇宙物理学教室 M1 出口和弘

## 1.岡山 3.8m 新望遠鏡に使われる分割鏡のメリットと技術的ハードル

我々は現在、京都大学を中心として国立天文台・岡山天体物理観測所に新技術を用いた口径 3.8m の可視・近赤外望遠鏡の建設を計画している(図 1)。新技術の一つとして望遠鏡の主鏡に一枚鏡ではなく、扇型のセグメントを組み合わせて一枚の円形の鏡にする分割鏡を採用している(図 2)。

この分割鏡のメリットとして従来一枚鏡では作成が困難な口径 10m 以上の主鏡を作成できることが挙げられるが、分割鏡実装のためには幾つもの技術的なハードルがあり、例えば隣接するセグメントの間に段差があれば像が乱れてしまう。この問題を解決するため、セグメント間の段差を数十 nm 程度にまで抑えることを目標として制御系を開発中である。

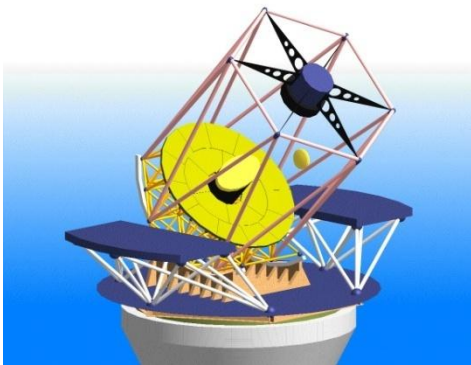


図 1 新望遠鏡完成予想図

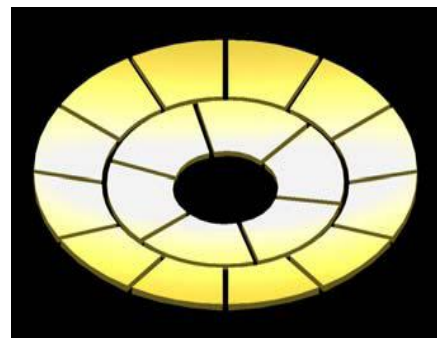


図 2 新望遠鏡主鏡の分割鏡

## 2.分割鏡の制御系

分割鏡の制御はそれぞれのセグメント間に取り付けたセンサー(図 3)で段差を計測し、その値をもとにセグメントの背面 3 点に取り付けたアクチュエータを動かして段差をなくすという方法で行う。これは一般的な方法だが、日本国内にはまだこの技術が存在しないため、我々は独自に位置制御の開発を行っている。

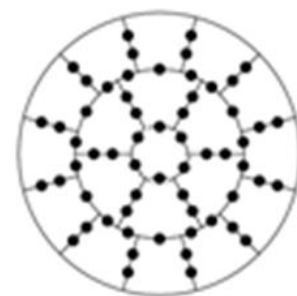


図 3 分割鏡のセンサー  
取り付け予定位置

## 3.制御系に用いるセンサーとその温度特性

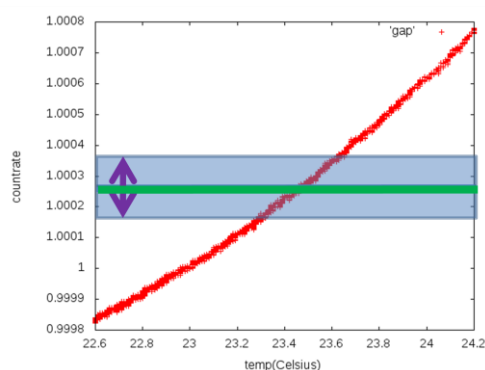
段差を計測するセンサーには温度特性がある。温度特性を調べるため、センサーが計測

する距離を一定に保ち温度を変化させた場合のセンサーのカウント(センサーが計測した距離)の変化を調べた(図 4)。実験で得られたセンサーの温度変化とカウント変化の一例をグラフ 1 に載せる。グラフにおいて赤いデータ点がセンサーのカウント値である。計測距離一定で実験を行ったので理想的にはカウント値は温度によらず一定になるのだが、実際はノイズの他に温度によるカウントの変動が見られた。

現在の制御系で要求されている精度は、例えば適当な温度の時のカウントを基準としてとった場合(グラフ 1 の緑の線)、青の領域で示される範囲に相当する。ノイズと温度特性が青い領域内に収まっていれば要求される精度が達成可能ということである。ノイズによる誤差は許容範囲内だが、温度によるカウント変化は温度が  $0.2^{\circ}\text{C}$  程度変動しただけで精度を満たせていなかった。そこで制御で目標とする精度を達成するために使用するセンサー全ての温度特性を調べ、各センサーの温度情報を得ることでセンサーの値を補正する方法が考案された。このために全てのセンサーの温度情報を知ること为目标に多点温度計を開発した。



図 4 センサー(中央)と距離一定の状態を試験した様子



グラフ 1 センサーの温度特性(赤)と要求される精度(青の範囲)

#### 4. 温度計の性能目標

温度計に要求される性能をまとめる。

分割鏡に使用予定のセンサーはセグメント間に取り付ける分が 60 個(図 3 参照)、またセグメント背面のアクチュエータにもとりつけるので、18 枚のセグメントの背面に 3 個ずつで 54 個。計 114 個のセンサーを用いる予定である。このため最低 114 カ所の温度を計測できる多点温度計である必要がある。

温度精度はセンサーの温度特性から最低  $0.2^{\circ}\text{C}$  の精度があれば制御に要求される距離精度でセンサーの補正が可能と考えられるが、余裕を持たせて  $0.1^{\circ}\text{C}$  を目標とした。また対応する温度範囲は岡山の気温情報を参考に  $-10^{\circ}\text{C}$  から  $35^{\circ}\text{C}$  とした。

## 5.使用する温度計

使用する温度計は図 5 のような  $1/16^{\circ}\text{C}$  の温度分解能を持つ TO-92 パッケージのデジタル温度計である。この温度計をセンサーの数だけ用意し、図 6 のようにそれぞれのセンサーに取り付け温度情報を読み取れるよう配線を行い、PC で制御して多点温度計とする。

この温度計はそれぞれの個体に ID が設定されているので PC から出る一本のライン上に複数の温度計を設置しても個別に通信を行うことができる。また信号線が電源供給線を兼ねているので最低 2 線のみで通信が可能である。このことを利用して 3 本(6 線)程度のラインで全ての温度計の配線を行うことを考えている。これはセンサーとアクチュエータの制御のための配線で煩雑になることが予想される分割鏡背面に設置しなければならない温度計として有利に働くと思われる。

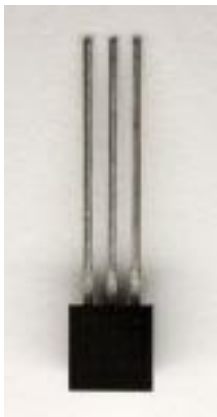


図 5 使用したデジタル温度計

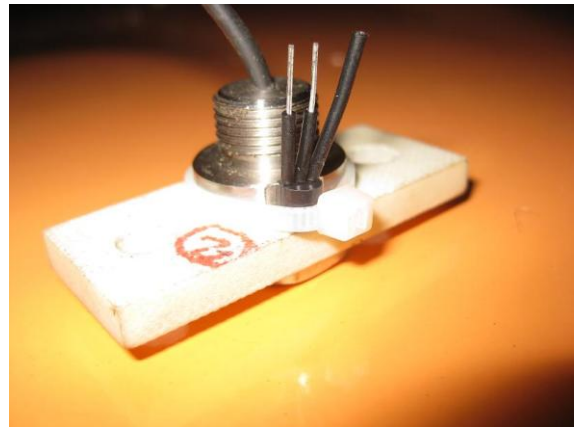
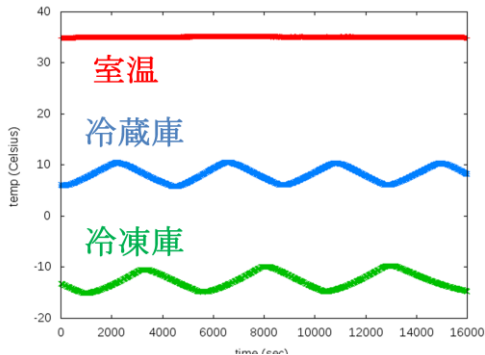


図 6 センサーに温度計を取り付けたところ

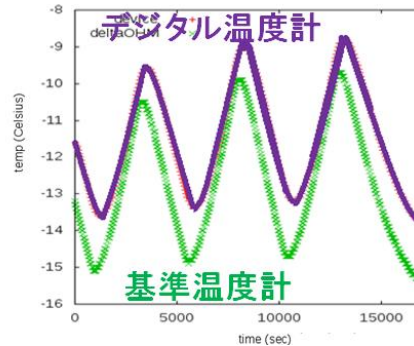
## 6.温度計のキャリブレーション

使用したデジタル温度計の温度精度が  $0.1^{\circ}\text{C}$  となるよう、別の温度計(基準温度計とする)を用いてキャリブレーションを行った。当初は室温、冷蔵庫内、冷凍庫内の各環境で温度データを取り、それをフィッティングすれば十分だと考えられていた。しかし実際に試験を行うと、室温に比べて冷凍庫内と冷蔵庫内は温度が安定せず、時間変化が激しいということがわかった(グラフ 2)。

この時間変化が試験した温度計の反応速度に対し十分遅ければ問題なかったのだが、たとえば冷凍庫のデータでデジタル温度計と基準温度計の時間変化を比較してやると、両者の間にタイムラグがあることがわかった(グラフ 3)。これでは要求される精度でキャリブレーションを行うことができない。恒温槽など適切な温度環境があればよかったのだが、なかったので、試験方法を工夫してデータを取り直した。



グラフ 2 各環境においた時の  
基準温度計の温度変化



グラフ 3 基準温度計とデジタル  
温度計の時間変化比較

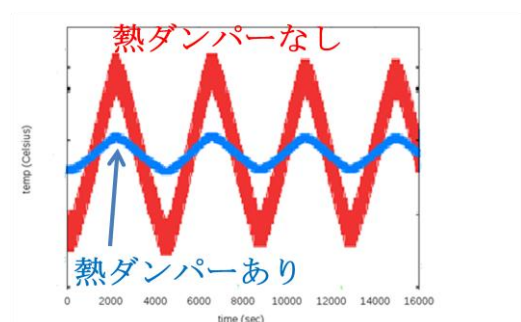
## 6-2.ハードウェア面での改善

温度の変動が小さくなることを狙い、デジタル温度計と基準温度計の両方をそれまでより熱容量の大きい物体で覆った。具体的にはデジタル温度計と基準温度計を防水した上で水に沈め、冷蔵庫内のデータを取り直した。また氷水を用いて温度を0°C付近で安定させた場合(図7)のデータも追加した。

これは水が熱ダンパーの役割を果たすことを期待して行ったものだが、期待通り温度の変動幅は水に入れる前よりも小さくなった(グラフ4)。この場合、温度の変動幅を5.0°Cから0.3°C程度まで抑えることができた。ただし水はあくまで熱ダンパーとしてしか機能せず、断熱効果はない。凍結してしまうので冷凍庫内での再試験は行っていないが、これは水をエタノールなどに変えれば解決する。また容器全体を断熱材で覆えばさらに温度が安定することが期待できる。これら点を改良した試験は現在進めている最中である。



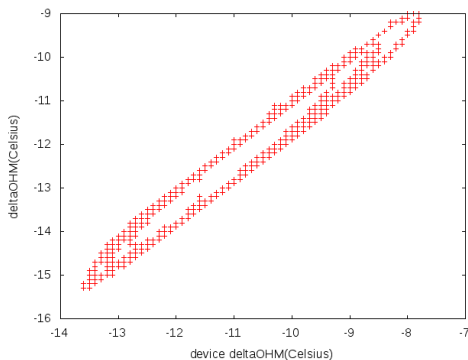
図7 氷水に沈めた状態で0°C付近の  
データをとった試験の様子



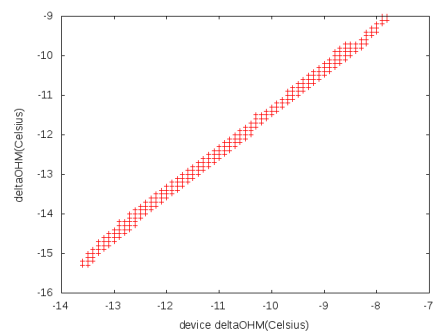
グラフ 4 熱ダンパーありの場合となしの  
場合の温度変化比較(冷蔵庫)

### 6-3 ソフトウェア面での改善

グラフ 3 の状態から縦軸を基準温度計の温度、横軸をデジタル温度計の温度でとしてプロットしてやるとグラフ 5 のようになる。時間差があるため基準温度計の温度とデジタル温度計の温度が一対一対応しておらず、このままではキャリブレーションを行うことができない。そこで基準温度計とデジタル温度計の間に一定の時間差  $t$  が存在するとして  $t$  を求め、これでデータの補正を行った。時間差  $t$  はグラフ 5 におけるグラフの描く面積が最少になる場合を条件として求めた。この集団でたとえばグラフ 5 のデータを補正するとグラフ 6 のようになる。基準温度計の温度とデジタル温度計の温度対応が改善された。

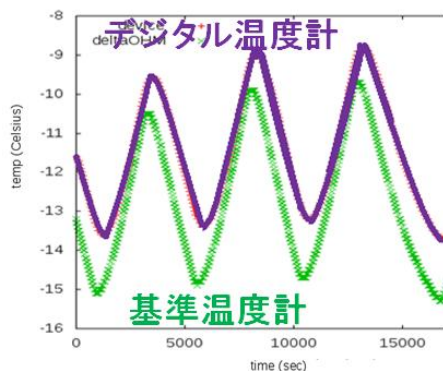


グラフ 5 基準温度計とデジタル温度計の同時時間対応

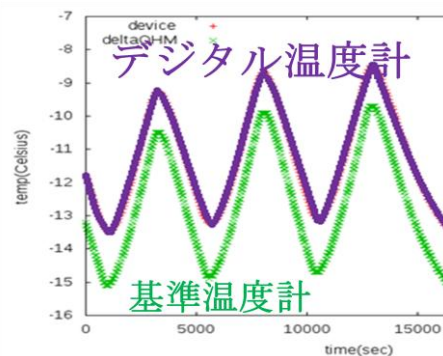


グラフ 6 グラフ 5 を時間差  $t$  で補正した場合

得られた時間差  $t$  でグラフ 3 を補正してやるとグラフ 7 のようになる。得られた  $t$  によって時間差の補正ができていることが確認できる。



グラフ 3 基準温度計とデジタル温度計の時間変化比較



グラフ 7 グラフ 3 を時間差  $t$  で補正した場合

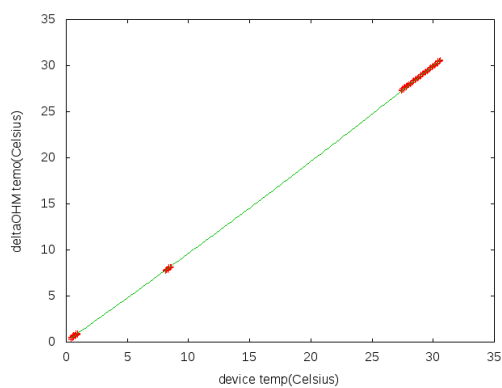
この時間差補正の処理を 6-2 のようなハードウェアを改善して得られたデータに対して行った。



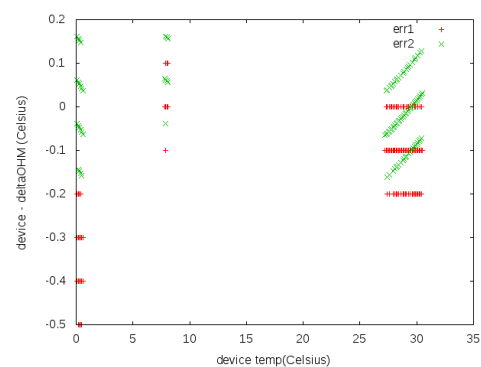
#### 6-4. キャリブレーション結果

室温、冷蔵庫、氷水の各環境で温度データを取りそれを二次関数で近似した結果をグラフ 8 に示す。赤のプロット点がデータ点、緑が近似曲線である。尚、6-2 や 6-3 のような改善を行っても冷蔵庫のデータは上手く補正できなかつたので今回の結果には含めていない。冷蔵庫内については現在試験中である。

横軸にデジタル温度計、縦軸にデジタル温度計と基準温度計の差をとるとグラフ 9 のようになる。赤いデータ点が二次関数の近似に使ったデータ点、緑がそのデータ点を近似した関数でそれぞれ補正した場合のデータ点である。



グラフ 8 得られたデータ点と近似曲線



グラフ 9 近似曲線による誤差の補正結果

グラフ 9 の温度計の場合、精度  $0.2^{\circ}\text{C}$  程度でキャリブレーションができたようである。現在 14 個の温度計に対しキャリブレーションを行ったが、うち 10 個で精度  $0.2^{\circ}\text{C}$ 、4 個で精度  $0.3^{\circ}\text{C}$  程度となった。

#### 7. まとめと今後

分割鏡に使われるセンサーの温度特性を補正するために多点温度計を作成し、それぞれのデジタル温度計について温度精度  $0.1^{\circ}\text{C}$  を目標にキャリブレーションを行った。結果は最高でも温度精度  $0.2^{\circ}\text{C}$  程度であった。これでもセンサーの温度特性を要求される距離精度で補正することは可能と思われるが、やはり余裕を持たせるためにも精度  $0.1^{\circ}\text{C}$  まで改善したい。改善案としては試験環境の温度変動を  $0.1^{\circ}\text{C}$  未満に抑えることが考えられており、現在取り組み中である。