

# JARE54 で持ち込む LX200ACF の制御ソフトの開発

沖田博文

2012/2/18

2012/6/14 加筆訂正

## 1 Abstract

8" LX200-ACF を購入して Linux PC からコマンドを送るソフト meade を開発した。調査の結果ハンドコントローラーを用いて初期アライメントを実行する Auto Align のほか、PC からコマンドだけで初期アライメントを完了させる “Zero Star Alignment” が実行できることが分かった。定性的な試験観測の結果、導入精度・追尾精度ともに Auto Align はほぼ完璧なのに対し Zero Star Alignment は導入精度で  $1^\circ$  程度の誤差、追尾精度で 1 時間に  $0.3^\circ$  程度の追尾不良がみられることがわかった。しかし Zero Star Alignment の追尾誤差は天の北極の位置を間違えたことによる追尾エラーであり、天体の追尾自体は 1 時間あたり約  $0.3^\circ$  程度の精度で出来た。また南極での運用を考えた場合、Auto Align で初期アライメントを行って観測を実行する場合には急な電源喪失に備えて無停電電源装置の併用が必要になることもわかった。

## 2 イントロダクション

第 54 次日本南極地域観測隊 (2012 年 11 月 ~ 2013 年 3 月に実施、以降 JARE54) では内陸ドームふじ基地への旅行が計画されている。JARE54 での主目的は先の第 53 次隊 (JARE53) において砕氷船「しらせ」によって輸送した赤外線望遠鏡観測システムをドームふじ基地に設営し、無人リモート観測装置を立ち上げることである。これに加えて JARE52 に引き続き JARE54 においても天文学的なサイト調査を実施する必要があると筆者は考えている。

そこでサイト調査として冬期の  $C_T^2$  の測定及び DIMM 観測を提案する。本レポートによって DIMM 観測を行う望遠鏡の制御ソフト及び初期アライメント・天体追尾について、現段階の開発状況を示す。

## 3 DIMM の原理

DIMM の測定原理は Tohoku-DIMM のレポートにあるのでそちらを参照されたい。省略。

## 4 Meade 8" LX200-ACF

DIMM 観測を行う為にはある程度の精度で天体を追尾する望遠鏡が必要である。そこで我々は JARE54 で持ちこむ望遠鏡として Meade 8" LX200-ACF を選定した。選定理由は以下である。

Baud Rate	9600
Parity	NONE
Number of Data Bits	8
Number of Stop Bits	1
Flow Control	NONE

表 1 RS232C の設定値

- 口径 200mm、焦点距離 2,000mm と DIMM 観測に適切なスペックを有している
- フォーク式 (経緯台式) なのでドイツ式赤道儀のような Telescope East/West の問題がない
- シリアル通信規格は LX200 コマンドとして広く公開されデファクトスタンダードとなっている<sup>\*1</sup>
- LX200 コマンドを送ることで天体の導入・追尾が可能
- 別売のマイクロフォーカサーを用いればピント調節も制御可能
- GPS、磁北センサー、水準器を搭載し、初期アライメントを自動で実行できる (と思われる)
- 上記全て込み込みで約 34 万円とコストパフォーマンスがよい

そこで Linux PC からコマンドを送ることで LX200-ACF を制御し、初期アライメント・天体導入・天体追尾・フォーカス調整を行う事を考える。

8" LX200-ACF の詳細なスペックはマニュアル<sup>\*2</sup>に載っているなので省略する。ソフト開発で重要となる RS232C の設定値のみ表 1 に示す。また図 1 に実験の様子を示す。



図 1 8" LX200-ACF を Linux PC から制御する実験の様子

<sup>\*1</sup> Meade Telescope Serial Command Protocol Revision 2010.10

<http://www.meade.com/support/TelescopeProtocol.2010-10.pdf>

<sup>\*2</sup> [http://www.meade.com/manuals/TelescopeManuals/LXseries/LX200-ACF\\_manual.pdf](http://www.meade.com/manuals/TelescopeManuals/LXseries/LX200-ACF_manual.pdf)

## 5 RS232C-6 ピンモジュラーコネクタの自作

LX200-ACF と RS232C を繋ぐには専用のケーブルが必要となる。メーカー純正のケーブルもあるが、LX200(いわゆる Classic、初代モデル) のマニュアル P.54 <sup>\*3</sup> に記載されているので自作した。表 2 はケーブル配線の際のピン番号の対応を示したものである。自作したケーブルを図 2 に示す。

RS232C	意味	6 ピンモジュラー
#2	PC 受信データ	#5
#3	PC 送信データ	#3
#5	GND	#4

表 2 ケーブル配線のピン番号の対応



図 2 自作した RS232C-6 ピンモジュラーコネクタ

## 6 USB シリアル変換ケーブル

LX200-ACF との接続は自作ケーブルを介し、RS232C コネクタからシリアル通信で行う。ここで実験に用いた Linux PC(Ubuntu 10.10 kernel 2.6 もしくは Vine Linux 4.2 kernel 2.6) 及び Windows PC(Windows 7 Professional) には RS232C コネクタを搭載していなかったため USB シリアル変換ケーブルを用いて実験を行った。USB シリアル変換ケーブルには秋月電子通商取り扱いの USB シリアル変換ケーブル [グレー色] を用いた。入手が容易で 900 円と安価であったのが選定の理由である。なお変換チップは Prolific PL2303 が使用されている。Prolific のウェブサイト<sup>\*4</sup> で最新の Windows 用ドライバが入手出来る。また Linux (kernel 2.6 から?) の場合は特に設定をしなくても USB に差すと/dev/ttyUSB0 もしくは/dev/ttyUSB1 として認識される。

<sup>\*3</sup> [http://www.meade.com/manuals/TelescopeManuals/LXseries/LX200\\_Classic\\_Manual.pdf](http://www.meade.com/manuals/TelescopeManuals/LXseries/LX200_Classic_Manual.pdf)

<sup>\*4</sup> <http://www.prolific.com.tw/eng/downloads.asp?ID=31>

## 7 Linux PC から LX200-ACF にコマンドを送受信するソフト

LX200-ACF と Windows PC は Tera Term<sup>\*5</sup>を用いれば簡単に実現できる。Linux PC を用いて通信する場合はここで述べるソフトを使用する。C 言語を使用して作成した。引数 1 は LX200 コマンド本文、引数 2 に `-s` (送信のみで受信のないコマンドの場合) もしくは `-r` (送信後に受信する必要があるコマンドの場合)、引数 3 に LX200 コマンドの文字数を指定して実行する。実行すると RS232C を経由してコマンドの送受信が行われ、LX200-ACF は所定の動作をし、`-r` の場合は標準出力に受信した文字列が出力される。このソースを以下に示す。

```
/* rs232c_LX200_new.c */

#include <stdio.h>
#include <termios.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[] ){
    struct termios tio;
    int fd;
    FILE *fpp;
    char callback[256]="Z";

    fd=open("/dev/ttyUSB0",O_RDWR | O_NOCTTY);
    fpp=fopen("/dev/ttyUSB0","r");
    if(fd<0){
        printf("Error: Cannot open the Serial Device\n");
        return -1;
    }

    tio.c_cflag = B9600 | CS8 | CREAD | CLOCAL ;
    tio.c_iflag = 0;
    tio.c_oflag = 0;
    tio.c_lflag = 0;
    tio.c_cc[VMIN] =0;
    tio.c_cc[VTIME] =1;
    tcsetattr(fd, TCSANOW, &tio);
```

---

<sup>\*5</sup> <http://sourceforge.jp/projects/ttssh2/>

```

if(strcmp(argv[2],"-s")==0){
    write(fd,argv[1],atoi(argv[3]));
}
else if(strcmp(argv[2],"-r")==0){
    write(fd,argv[1],atoi(argv[3]));
    while(callback[0]!='Z'){
        fgets(callback,sizeof(callback),fpp);
    }
    printf("%s\n",callback);
}

close(fd);
fclose(fpp);
return 0;
}

```

コンパイルと実行 (例) 及び実行結果 (例) を以下に示す。

```

$ gcc -o meade rs232c_LX200_new.c
$ ./meade :GL# -r 4
$ 23:12:56#

```

なお Ubuntu にバグがあり /dev/ttyUSB0 の設定がうまく Linux PC に伝わらない事があるようだ。そこで上記ソフトを実行する前に

```
$ stty -F /dev/ttyUSB0 clocal
```

と入力して予め /dev/ttyUSB0 の設定を変更しておくとうまく実行できる。また Vine Linux だとうまく実行できない事があるのでその場合は root 権限で実行するとよい。

以降、本章で述べた Linux PC から LX200-ACF にコマンドを送受信するソフトを meade と呼ぶ。

## 8 LX200-ACF の設定

ハンドコントローラーを用いたり meade でコマンドを送信したりして色々と LX200-ACF の操作を試した。以下に変更の必要がある LX200-ACF の設定を示す。

### 8.1 GPS Alignment

後述の Park Position を用いる場合、LX200-ACF に搭載の GPS のセッティングを変更する必要がある。LX200-ACF は GPS によって時刻・日付・経度・緯度を決定するが、それを行うタイミングをここで決める。GPS Alignment はハンドコントローラーから設定する。[Setup Menu]→[Telescope]→[GPS Alignment] で設定する。デフォルトでは [On] になっているのでこれを [AtStartup] に変更する。なおこの設定をしないと

Park Position から望遠鏡を再起動したときに時刻・日付の情報が正しくなく望遠鏡が正しい方向に向かない。はじめ [AtStartup] に設定する事を知らずいぶんと苦労した。

## 8.2 Calibrate Sensors

磁北センサー、水準器のキャリブレーションを行うメニュー。LX200-ACF の磁北センサーや水準器は鏡筒に取り付けられているのではなく架台部に取り付けられているため、光軸を磁北や水平に向けるためにはキャリブレーションが絶対に必要であると言える。Calibrate Sensors はハンドコントローラーから行う。なお実行時に北極星が観測可能でなければならない。[Setup Menu]→[Telescope]→[Calibrate Sensors] で設定する。選択すると LX200-ACF はしばらく動いて初期設定を行った後に北極星を導入する。ここで北極星をハンドコントローラーを用いて視野中心に導入し、[Enter] キーを押すとキャリブレーションは終了する。ちなみに南半球でやる場合は  $\sigma$  Octans (はちぶんぎ座  $\sigma$  星、5.5 等)、赤経  $21^h 08^m 46.84^s$ 、赤緯  $-88^\circ 57' 23.4''$  (2000 年分点) を用いればよいと Yahoo! GROUPS “LX200GPS”<sup>\*6</sup> に記述がある。なお北極星は赤経  $02^h 31^m 49.12^s$ 、赤緯  $+89^\circ 15' 50.6''$  (2000 年分点) である。

Calibrate Sensors を実行したあとはアライメント時の天体の導入精度が大幅に向上した。最初は約  $5^\circ$  程度常に東に偏って天体導入されていたが、Calibrate Sensors を実行後は  $\pm 1^\circ$  程度の精度で天体導入されるようになった。

## 8.3 Train Drive

まだ試していないが水平軸・垂直軸のバックラッシュを調べて LX200-ACF に学習させる機能と思われる。これも導入精度の向上に重要と思われる。

# 9 重要な LX200 コマンド

LX200 コマンドは Meade Telescope Serial Command Protocol Revision 2010.10 に詳細が書かれている。今回の開発目的で使用するであろうコマンドのみ抜粋しその意味とあわせて表 3 に示す。なお意味は今回の開発目的に合わせてかなり意識しているのでオリジナルの意味も適時参照すること。特に重要なコマンドに対してはその詳細をここに述べる。

## 9.1 :hS#コマンドと:hP#コマンド

:hS#とは今望遠鏡が向いている方向を Park Position と定義するコマンドである。通常 LX200-ACF は電源を入れる都度メモリーがリセットされ初期アライメントをやり直さなければならない。望遠鏡を動かさないユーザーにとってこれは不便なので Park Position が用意されている。Park Position は望遠鏡の電源を Off する時に望遠鏡は:hS#で定義した方向を向き、かつ次回 On にするまで一切望遠鏡を動かさないという約束で前回の初期アライメント情報を引き継ぐことができるといった機能である。使い方は最初に Park Position にしたい方向に望遠鏡を向けて:hS#コマンドを送る。

```
$ ./meade :hS# -s 4
```

<sup>\*6</sup> <http://tech.groups.yahoo.com/group/LX200GPS/116589>

コマンド (引数 1)	引数 2	引数 3	意味
:Aa#	-r	4	Automatic Alignment
:AA#	-s	4	追尾開始
:AL#	-s	4	追尾停止
:GW#	-r	4	Alignment Status
:CM#	-r	4	Sync
:hP#	-s	4	Park Position へ移動して望遠鏡を終了
:hS#	-s	4	現在位置を Park Position として設定
:I#	-s	3	望遠鏡の電源リセット
:M<x>#	-s	4	望遠鏡の駆動 (<x>=e,n,s,w)
:Q<x>#	-s	4	駆動停止 (<x>=e,n,s,w)
:R<x>#	-s	4	駆動速度 (<x>=S,M,C,G)
:Sw<x>#	-r	4	望遠鏡の最大駆動速度 (<x>=2..8)
:Sd<sDD*MM:SS>#	-r	13	目標天体の赤緯を入力、s=+, -
:Sr<HH:MM:SS>#	-r	12	目標天体の赤経を入力
:MS#	-r	4	目標天体を導入
:Q#	-s	3	目標天体導入を停止
:F+#	-s	4	フォーカス (内側へ)
:F-#	-s	4	フォーカス (外側へ)
:FQ#	-s	4	フォーカス停止
:F<x>#	-s	4	フォーカス速度 (<x>=1,2,3,4)、4 が最速
:GA#	-r	4	望遠鏡の高度
:GZ#	-r	4	望遠鏡の方位角 (左手系北基準)
:GD#	-r	4	望遠鏡の赤緯
:GR#	-r	4	望遠鏡の赤経
:Gd#	-r	4	目標天体の赤緯
:Gr#	-r	4	目標天体の赤経
:GC#	-r	4	年月日
:GL#	-r	4	時刻
:GG#	-r	4	時差 (日本の場合-9)
:GH#	-r	4	サマータイム (日本の場合 0)
:Gg#	-r	4	観測地の経度 (西回り)
:Gt#	-r	4	観測地の緯度
:GS#	-r	4	恒星時

表 3 主な LX200 コマンド

これで Park Position の設定は完了である。

次に実際に望遠鏡を Park Position に向けて観測を終了したい場合は:hP#コマンドを送る。

```
$ ./meade :hP# -s 4
```

望遠鏡はしばらく動いたあと最終的に:hS#コマンドで指定した方向を向き、電源 Off を待つだけの状態となる。

なお電源をいったん Off にした後、電源を再び On にすると初期アライメントを経ずに天体の導入や追尾が可能となる。但し天体の追尾は:AA#コマンドを送るか天体を導入 (:MC#コマンド) しないと開始されない。

## 9.2 :I#コマンド

:hP#コマンドを実行後は望遠鏡の電源をいったん Off にしないと何も操作を受け付けない。これを解除するには物理的に電源を On/Off するか、もしくは:I#コマンドを送ればよい。

```
$ ./meade :I# -s 3
```

## 9.3 :Aa#コマンド

:Aa#コマンドを実行するとしばらく望遠鏡は自動的に動き、磁北センサーによる望遠鏡の方位検出・傾斜センサーによる望遠鏡の傾斜角検出、GPS による観測地の経度緯度と観測日時の測定が一通り行われて望遠鏡の向いている方向が  $\pm 1^\circ$  程度の精度で決定される。このコマンド実行後天体を導入すると天体追尾も開始する。しかしなぜか:Aa#コマンドを実行した後は日付と時刻が正しくない。これを回避するため色々試した。その結果 Park Position と組み合わせると正しい日付・時刻で望遠鏡が向いている方向を正しく認識することが出来る事が判明した。

```
$ ./meade :Aa# -r 4
```

```
$ ./meade :hS# -s 4
```

```
$ ./meade :hP# -s 4
```

```
$ ./meade :I# -s 3
```

と順に実行すれば良い。なお表 3 では記していないが、:Aa#コマンドまたは:I#コマンドを実行直後の 1 回目の天体導入時に:LM#コマンドや:LC#コマンドで天体名から座標を入力して天体導入しようとした場合、:Gr#や:Gd#では正しい値が入っていると表示されても実際は望遠鏡は違う方向を向き、正しく天体を導入できないことがある。出来る限り天体はその赤経赤緯を:Sr#コマンド、:Sd#コマンドで直接指定するべきである。

# 10 初期アライメントの方法

## 10.1 Automatic Alignment (Auto Align)

これは通常の LX200-ACF のアライメント方法である。LX200-ACF の電源を On にしてしばらくするとハンドコントローラーに “Press 0 to align or Mode for Menu” と表示されるので [0] キーを押す。すると

LX200-ACF はしばらく動いて初期設定を行った後に LX200-ACF は自動的に 1 つ目の天体を導入する。この星を視野中心に導入し [Enter] キーを押すと次に 2 つめの天体を自動的に導入する。これも同様に視野中心に導入して [Enter] キーを押すと “Alignment successful” と表示され、アライメントは完了する。

使い方のヒントとしては、アライメントに用いる星が何か知りたい場合は [?] キーを押すとその天体名が表示される。もしこの星が見えない・分からない場合は [△] キー又は [▽] を押すと他の星を導入し直す。

## 10.2 Zero Star Alignment

前述の:Aa#、:hS#、hP#、I#コマンドを用いて初期アライメントすることを Zero Star Alignment と定義する。このアライメント方法の特徴は全て PC からのコマンドで行い、ハンドコントローラーの操作や人間の判断を必要としない点である。

```
$ ./meade :Aa# -r 4
$ ./meade :hS# -s 4
$ ./meade :hP# -s 4
$ ./meade :I# -s 3
```

## 11 メリット・デメリット

前章に示したとおり初期アライメントとして Auto Align もしくは Zero Star Alignment の 2 通りが考えられる。そこで以下に示す項目毎にメリット・デメリットを比較し検討する。検討のために 2012 年 2 月 14 日及び 15 日に試験観測を実施した。初期評価を行う為であったので肉眼による定性的な比較のみ実施した。図 3 は 8” LX200-AFC を Linux PC から制御して天体観測する様子の写真である。



図 3 8” LX200-AFC を Linux PC から制御して天体観測する様子

## 11.1 導入精度

### 11.1.1 Auto Align

Auto Align を行ったあとハンドコントローラーで天体を導入してその精度を検証した。2、3 天体に対して導入実験をおこなったが常にほぼ視野中心に導入することができた。8" LX200-ACF には付属の 26mm のアイピース及び天頂プリズムを取り付けて観測した。倍率は約 77 倍、実視野約  $0.65^\circ$  であり、他の観測も同様である。

### 11.1.2 Zero Star Alignment

Zero Star Alignment を実行してコマンドラインから天体を導入しその精度を検証した。2、3 天体に対して導入実験を行ったがアイピースの視野内に導入できることはまれで、ファインダーで確認したところ  $1^\circ$  程度の導入誤差が常に観測された。よって Zero Star Alignment の導入精度はあまり高くないことがわかった。

## 11.2 追尾精度

### 11.2.1 Auto Align

Auto Align を行ったあとハンドコントローラーで天体を導入して天体を視野中央にし、1 時間後の天体の位置から追尾精度を検証した。観測は 2 回実行したが 2 回ともほぼ視野中央で観測された。今回の定性的な評価では追尾誤差を求めることが出来ないくらい、ほぼ完璧に追尾していた。

### 11.2.2 Zero Star Alignment

Zero Star Alignment を実行してコマンドラインから天体を導入して天体を視野中央にし、1 時間後の天体の位置から追尾精度を検証した。観測を 2 回実施したが 2 回とも 1 時間後天体は視野のギリギリ端で観測された。アイピースの実視野は約  $0.65^\circ$  なので 1 時間で  $0.3^\circ$  程度動いた事になる。この結果から追尾精度も余り良くないことが分かった。しかしこの結果は Zero Star Alignment で天の北極の位置が正確に認識されず、時角  $H_p$ 、離角  $\epsilon_p$  (両方とも未知量) を天の北極として認識したために生じた追尾誤差だと考えられる。この場合 LX200-ACF は赤道儀として正しく機能しており、極軸さえ正確であれば天体の追尾を正しく実行できたということになる。いずれにせよ 1 時間に  $15^\circ$  動く天体を  $0.3^\circ$  の精度で追尾出来たことが分かった。

## 11.3 無停電電源装置の必要性

Auto Align を実行するためにはハンドコントローラーを用いて天体を視野中央に導入する必要があるため Auto Align を完全無人で行う事はできない。よって電源を切る場合は Park Position を利用して初期アライメントを記録する必要がある。しかし南極での使用を考えた場合急に電源が落ちるリスクがある。その場合アライメント情報を失ってしまうので無停電電源装置を用いる必要がある。電源が落ちる前に LX200-ACF を Park Position に向けておき、電源回復後に復帰するのである。

Zero Star Alignment の場合はもともと初期アライメントの情報は精度が低いためわざわざ無停電電源装置を設置する必要は無いと考える。電源回復後、再度初期アライメントを実行することになる。

## 11.4 まとめ

8” LX200-ACF を購入して Linux PC からコマンドを送るソフト meade を開発した。初期アライメントとして Auto Align、“Zero Star Alignment” の 2 通りが選択できることがわかった。Auto Align の導入精度・追尾精度がほぼ完璧なのに対し、Zero Star Alignment は導入精度で  $1^\circ$  程度の誤差、追尾精度で 1 時間に  $0.3^\circ$  程度の追尾不良があることがわかった。南極での運用を考えた場合、Auto Align を用いる場合は急な電源喪失に備えて無停電電源装置の併用が必要になることがわかった。