

私の星食観測の実際

My Actual Observations of Lunar Occultation

吉田秀敏(北海道札幌市)
Hidetoshi Yoshida (Sapporo, Hokkaido)

English text by DeepL translation and Google Translate

●北海道札幌市の吉田秀敏でございます。「私の星食観測の実際」ということでお話しさせていただきます。

●私の星食観測事始めは、1965年9月5日いて座のシグマ星2.1等星の潜入観測でした。以来今日まで1500個を超えましたが、

●ビデオ観測は約20年前から、CMOSカメラによる観測は1年ほど前から現在修行中というところです。

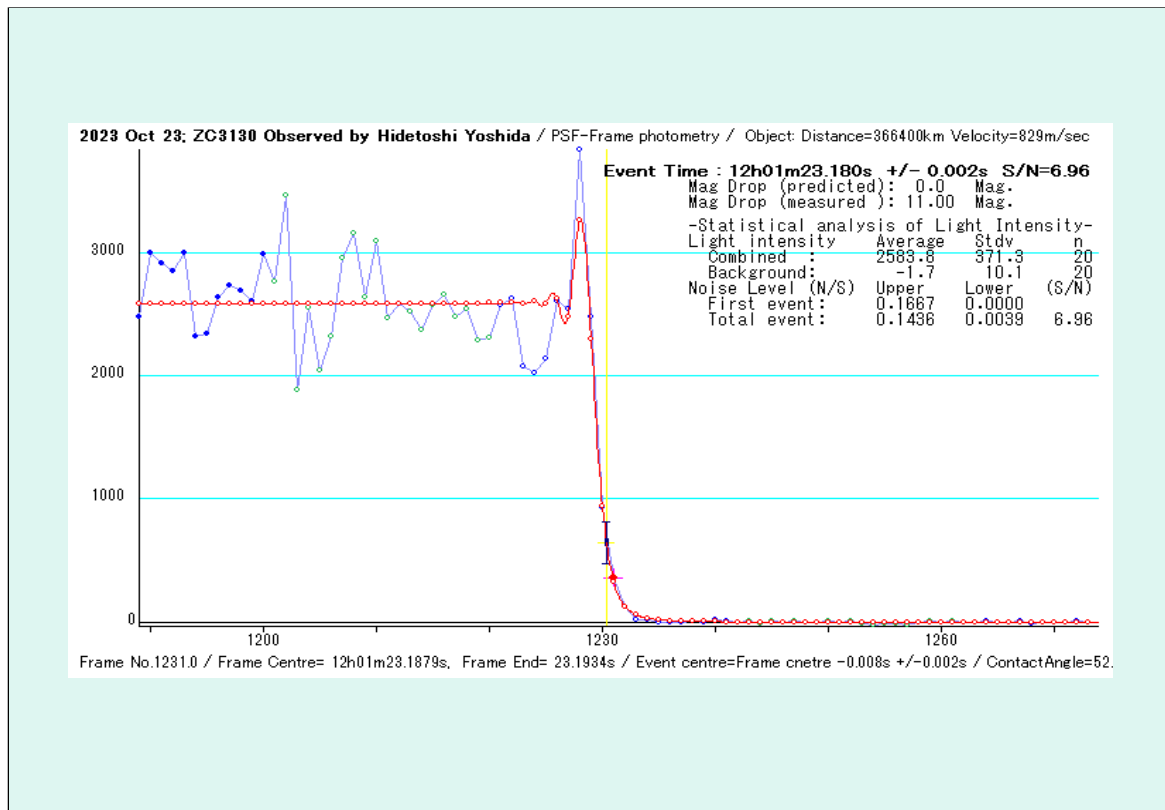
●機器の扱い解析などについてはベテランの方々が多数おられますが、「星食観測が大好きな男の話」としてお聞きいただけると幸いです。

2023 Oct 23 ZC3130 (r Mag 4.8) D

k=65+ CA=33N Alt=20
Exposure=11.1msec Gain=151/600



●まずは実際の観測例として、5秒ほどのビデオをご覧ください。記録をみるとこの日は薄曇りで、月縁は見えませんが左下が月になります。



●今のビデオのライトカーブになります。宮下さんからはとても美しいライトカーブとお褒めをいただいたものです。

1. 星食観測者激減の背景

Background of the sharp decrease in the number of Lunar Occultation observers

○天文趣味の多様化

Diversification of astronomical interests

○小惑星による恒星食の観測へのシフト(予報精度向上)

Shift to observation of stellar eclipses by asteroids

(improvement of forecast accuracy)

○観測結果が天文学的に活用されなくなった

Observations are no longer used for astronomical purposes

(ILOC → IOTA)

●ここからが本番になりますが、その前に、近年、月による星食を観測する方も少ないし、世界的にいろいろな情報をみても星食の話題が少ないように思います。

●たぶん、ここにあげたような理由によるものと思いますが、特に若い人にとっては、面白いというか興味のわく天体現象ではないのかなと思います。天体写真が全盛ですからね。

2. 私の観測の実際(手順)

my actual observation (procedure)

○観測機器・操作などは小惑星による食と共通

Observational instruments and operations are the same as those for eclipses by asteroids

○ ZWO ASI 290MM SharpCap

○ 望遠鏡は Meade 12インチ f/10 ACF → 880mm f/2.9

Telescope:

○ PCは Win11, CORE i7, SSD

○ GPS LEDは

ちょうちんコバンザメ (Lantern Sharksucker) + HACSTIP-GPS

●ここからは、観測の実際ということですが、機器などはみなさんと共通で何も変わりません。

●何か月か前からFを明るくしていますが、視野の横幅は21' ほどです。

2. 私の観測の実際(手順) **続き** continued

- Occult4 による予報は (dMag 1.5) を基本
Occult4 forecast is based on Correction to limiting magnitude (dMag 1.5)
- Moon map を印刷し観測に使用
Moon map is printed and used for observation
- XZ80Q 星図の使用(状況による)
XZ80Q star map is used (depending on the situation)
- 対象星の導入 露出 Gain 視野などの調整
Introduce the target star, adjust exposure, gain, field of view
(34.4 20.8 15.4 msec ほか)

●観測前の準備・流れは、このようになるかなと思います。具体的には次に紹介します。

Occult 4 による予報

- Occultation prediction for Sapporo(HOME)-1.5
- E. Longitude 141 21 21.0, Latitude 43 6 25.5, Alt. 15m: Telescope dia 30cm: dMag 1.5
- Events excluded: Daytime, Bright-limb

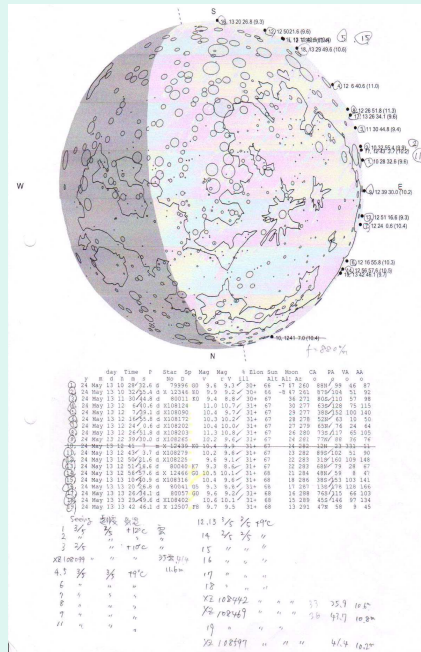
	day	Time	P	Star	Sp	Mag	Mag	%Elon	Sun	Moon	CA	PA	VA	AA	Libration	A	B	RV	Cct	durn	R.A. (J2000)	Dec	Mdist	SV										
-	y	m	d	h	m	s	No	D	V	r	V	ill	Alt	Alt	Az	o	o	o	o	L	B	m/o	m/o	/s	o	sec	h	m	s	o	m	s	Mn	m/s
-	24	May	13	10	28	32.6	d	79996	G0	9.6	9.3	30+	66	-7	47	260	88N	99	46	87	+5.3	-6.0	+1.1	-1.5	413	16.1	8	10	34.9	24	42	35	388.6	810.6
-	24	May	13	10	32	55.4	d	X 12346	K0	9.9	9.2	30+	66	-8	47	261	87S	104	51	92	+5.3	-6.0	+1.0	-1.6	424	11.2	8	10	41.4	24	40	26	388.7	815.6
-	24	May	13	11	30	44.8	d	80011	K0	9.4	8.8	30+	67	36	271	80S	110	57	98	+5.2	-5.9	+0.5	-1.8	467	4.0	8	12	23.3	24	27	57	389.7	885.7	
-	24	May	13	12	6	40.6	d	X108124		11.0	10.7	31+	67	30	277	63S	128	75	115	+5.2	-5.8	+0.0	-2.0	478	-13.9	8	13	22.9	24	16	58	390.5	932.3	
-	24	May	13	12	7	39.1	d	X108090		10.4	9.7	31+	67	29	277	38S	152	100	140	+5.2	-5.8	-0.4	-2.5	384	-38.9	8	13	2.7	24	12	31	390.5	933.9	
-	24	May	13	12	16	55.8	d	X108172		10.3	10.2	31+	67	28	278	52N	63	10	50	+5.1	-5.8	+1.0	-0.7	315	50.9	8	13	49.7	24	31	18	390.7	946.3	
-	24	May	13	12	24	0.6	d	X108202		10.4	10.0	31+	67	27	279	65N	76	24	64	+5.1	-5.8	+0.6	-1.1	402	37.2	8	14	9.6	24	26	31	390.8	955.5	
-	24	May	13	12	26	51.8	d	X108203		11.3	10.8	31+	67	26	280	73S	117	65	105	+5.1	-5.8	+0.0	-1.8	505	-4.2	8	14	10.0	24	15	15	390.9	959.1	
-	24	May	13	12	39	30.0	d	X108265		10.2	9.6	31+	67	24	281	77N	88	36	76	+5.1	-5.8	+0.3	-1.3	467	24.9	8	14	43.5	24	20	17	391.1	976.0	
-	24	May	13	12	41	7	m	X 12439	K0	10.4	9.9	31+	67	24	282	12N	23	331	11	+5.1	-5.8	+9.9	+9.9	000	90.0	8	14	8.2	24	34	43	391.2	979.6	
-	24	May	13	12	43	3.7	d	X108279		10.2	9.6	31+	67	23	282	89S	102	51	90	+5.1	-5.8	+0.1	-1.6	508	10.6	8	14	49.4	24	15	48	391.2	980.7	
-	24	May	13	12	50	21.6	d	X108225		9.6	9.1	31+	67	22	283	31S	160	109	148	+5.1	-5.8	-0.7	-2.5	353	-47.5	8	14	22.3	24	3	13	391.4	991.0	
-	24	May	13	12	51	16.6	d	80040	K7	9.3	8.6	31+	67	22	283	68N	79	28	67	+5.1	-5.8	+0.4	-1.2	436	33.5	8	15	6.9	24	20	17	391.4	991.8	
-	24	May	13	12	56	57.6	d	X 12466	G0	10.5	10.1	31+	68	21	284	48N	59	8	47	+5.1	-5.8	+0.7	-0.7	315	53.2	8	15	10.8	24	24	4	391.5	999.8	
-	24	May	13	13	10	40.9	d	X108316		10.4	9.6	31+	68	18	286	38S	153	103	141	+5.1	-5.7	-0.6	-2.2	405	-40.9	8	15	13.4	23	59	56	391.81017.9		
-	24	May	13	13	20	26.8	d	80041	G5	9.3	8.8	31+	68	17	287	13S	178	128	166	+5.1	-5.7	-1.3	-3.1	216	-66.5	8	15	6.5	23	56	18	392.11031.4		
-	24	May	13	13	26	34.1	d	80057	G0	9.6	9.2	31+	68	16	288	76S	115	66	103	+5.1	-5.7	-0.2	-1.6	545	-3.4	8	16	18.5	24	3	51	392.21038.6		
-	24	May	13	13	29	49.6	d	X108402		10.6	10.1	31+	68	15	289	45S	146	97	134	+5.1	-5.7	-0.6	-2.0	451	-34.6	8	16	2.5	23	56	59	392.21043.2		
-	24	May	13	13	42	46.1	d	X 12507	F8	9.7	9.5	31+	68	13	291	47N	58	9	45	+5.1	-5.7	+0.3	-0.7	330	53.7	8	16	50.8	24	15	12	392.51060.4		

● 今晚は晴れそうとなったら、まず予報を出します。空の状況などを勘案してdMagの設定を1.0～2.0にします。

● ちなみに、口径30cmだと観測可能な星食の数は年間約4800個、20cmだと約2700個ほどで、潜入・出現はほぼ半数ずつです。

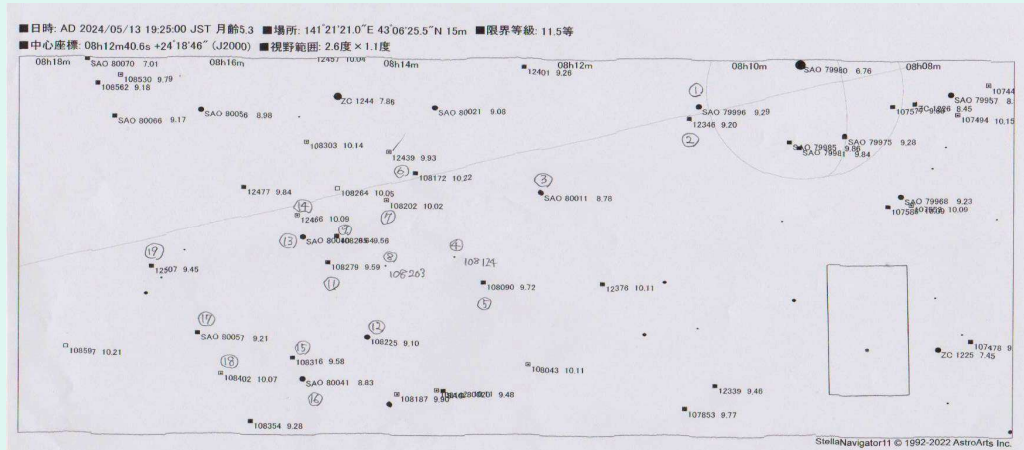
● 多少の薄雲があっても観測可能なので、観測機会が大変多いといえます。

Moon map



- 予報を出したら、実際に現場で使うMoonMapを作ります。
- 下の余白にはSeeing・透明度・気温・memoなどを記録しておきます。
- これは実際に観測に使ったものです。

XZ80Q 星図の使用



●観測の際には、次の観測に備えてできるだけ早く目的星を捉えて、状況に合わせて露出やゲイン、LEDの明るさなどを調整することが大事です。

●月が天球上をほぼ東西に動くとき(月の自転軸が南北に立っている)は次の星を見つけることは楽なのですが、予報数が多く月の自転軸が大きく傾いている時、特に暗い星や空の状況が良くない時は、結構大変です。

●そんな時に、これが役に立ちます。月と観測予定の恒星が表示されている星図で観測順番ごとに番号もつけています。

●月齢や口径に合わせて観測可能な等級までを表示できるよう、XZ星表を作り変え、星名なども予報に合わせて観測本位にしています。

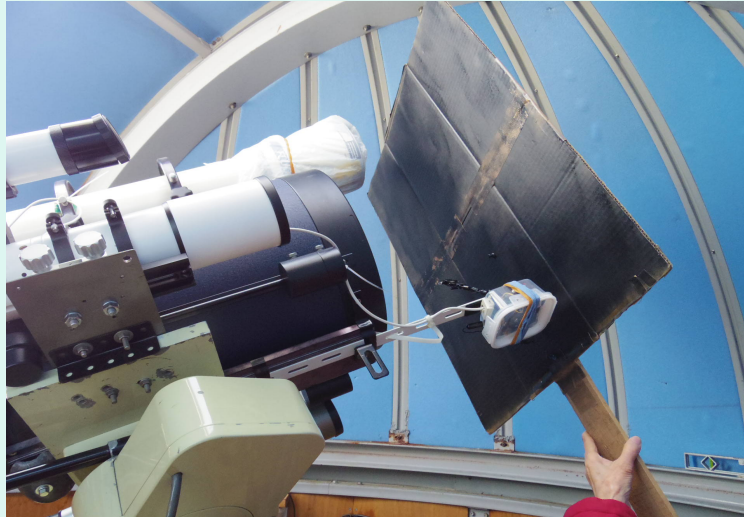
2. 私の観測の実際(手順) **続き** continued

- 現象時刻10数秒ほど前から露出開始
Start exposure 10 seconds before the time of the event
- 現象完了10秒後からLED発光
LED light emission from 10 sec. after the completion of the event
- その後(6秒前後程度)大うちわで鏡筒先を覆う
After that (for about 6 seconds) cover the tip of the telescope tube with a large fan
- 露出開始から90秒後に自動停止
Automatic shutdown 90 seconds after the start of exposure

●実際の観測に入りますが、LEDの発光は現象の前後に行い測光することが推奨されていますが、コバンザメ装置一式を使っているので現象後だけの発光にしています。

●1観測90秒の録画を基本にしていますが、現象が連続している場合など状況に応じて変更しています。

大うちわ large fan

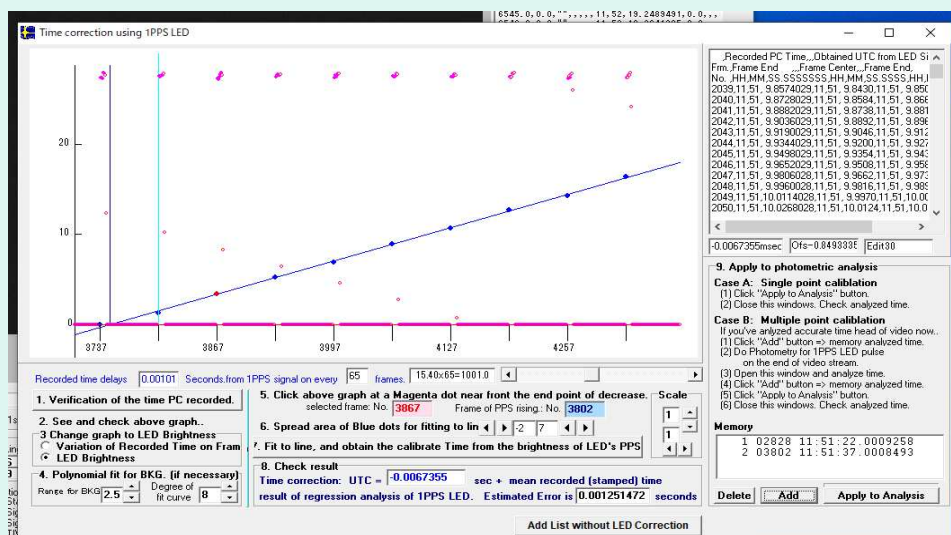


●星食観測の場合、傍に月があるので視野が明るくなるのが普通です。また、雲の通過、薄雲などの影響も大きくLED測光に支障があることも多いです。

●LEDにキャップをかぶせたり布をかぶせたりもしましたが、行きついたのが「大うちわ」です。

●結局、録画の3分の2は真っ暗な視野に1秒毎の光が入るということです。

検量線の状況



●検量線をみて分かる通り効果は抜群できれいに安定的なものが得られます。

3. 測 光 Metering

○現象直近の星像を選択して10秒巻き戻し 測光開始

Select the most recent star image and rewind 10 sec. to start metering

○PSF測光, Meteor/Lunar limbモード, Anchorモード

(星像・バックグラウンドの状況により適宜)

(Appropriate depending on star image and background conditions)

○以降の作業は小惑星による食とほぼ同様

The following operations are almost the same as those for eclipses
by asteroids

●観測後のLED測光ですが、基本的には小惑星の食の場合と何ら異なることはないというところです。

●気を付けていることは、潜入など現象時には月縁の明るさに影響されて測光領域が「うろちょろ」することもあるので、現象直前(直近)の星像を選択する(覚えさせる)ようにしています。測光領域は小さく・細くを心がけています。

●ライトカーブの解析などについては共通なので省略します。

●とにかく、星食観測は小惑星の恒星食の観測に比べて楽というか簡単です。

4. その他参考など

Points to note

○薄雲 月縁 微光星 シーイングの影響など、良好な観測条件は稀

Good observation conditions are rare due to thin clouds, moon's rim, faint stars, seeing, etc

○実際の観測では試行錯誤と経験が必要としか言えない

Actual observation requires trial and error and experience

○「星食観測ハンドブック」の「ビデオ観測のしかた」の復習を勧めます

Review “How to make video observations” in the “Handbook of Lunar Occultation Observations” is recommended

○星食観測の事例、解析に関する事例が参考になる

Examples of Lunar Occultation observation and analysis are helpful

●全体を通じた参考事項になりますが、ほとんどの天体観測に共通だと思いますが、いい条件・状況で観測できることは滅多にないということです。これらの状況に合わせていろいろ設定をするわけですが、「試行錯誤」といえば格好はいいのですが、実際は失敗を経験して(重ねて)いい結果につなげていくというところだと思います。

●また、「小惑星による掩蔽観測マニュアル」は大変参考になることはもちろんですが、「星食観測ハンドブック」の「ビデオ観測のしかた」は、Limovieが使われ始めたころからのものですが、基本的なことが分かりやすく書かれておりますので特に初心者の方は、今一度復習されるといいと思います。

●さらに、2006年の国立天文台報に掲載された「ビデオ画像用光量測定ソフトウェアLimovieの開発と星食観測への応用」も読むべきものだと思います。

●蛇足になるかと思いますが、Limovieの操作すなわちノウハウ・ハウツウをきちんと覚えることは大切ですが、掩蔽という現象全般の基本や解析や整約などの原理などについても、大いに興味を持つことが必要かと思います。このことは、私自身にとっても自戒すべきことでもあります。

●なお、天体観測の教科書シリーズの「星食・月食・日食観測」もお勧めします。

5. 星食観測の勧め

Recommendation for Lunar Occultation observation

○新たな重星が見つかる可能性がある

There is a possibility of finding a new Double Star

・国内での同時観測が必要

Simultaneous observation in Japan is necessary

・欧米とは時差(夜と昼) オセアニアとは視差がありすぎる

Time difference from Europe and the U.S. Too much parallax with Oceania

・東アジアの観測者との協同に期待

Cooperation with East Asian observers is expected

●最初に、星食観測者が少ないと話しましたが、今日のテーマは、どちらかというと「星食観測の勧め」なのかなと思います。

●今日のメンバーの中にも、かつては精力的に取り組んでいた方もおりますので、ぜひ復活していただきたいものと思います。

●星食観測は、たしかに単純で天体観測(観望)としては、それほど面白い・楽しいものではないのかもしれませんが。

●みなさんをご存じのことですが、あらためて、星食観測でも重星が見つかるよとコマーシャルします。

●特に南北に長い日本で同時観測が成立すると、重星の様子・位置角や角距離を求めることができます。

●欧米とは時差(夜と昼)、オセアニアとは視差がありすぎて同時観測は成立しないのですが、今日参加されておられる東アジアの方々と共に観測できると大きな成果が上がると思います。

●なお、同時観測が成立しなくても、数年程度以内の観測であれば世界の観測と合わせると重星の位置角などの状況(連星)の目安が得られます。

私の星食観測で新たに重星の様相が見られた例

An example of a new Double Star aspect in my Lunar Occultation observations

星名 Star name	観測日 Observation date	今後の当該星の星食予報（国内） Forecast for the future
・ SA0109416	2024 Feb 13	2045年以降
・ XZ81562	2023 Mar 28	2026 Sep 05 , 2026 Nov 26 , 2027 Jan 20
・ XZ71387	2022 Aug 20	2028 Dec 02 , 2029 Feb 22
・ XZ77605	2022 Aug 21	2027 Nov 16 , 2028 Jan 10 , 2040 Dec 18 （6重連星）
・ ZC2117	2022 May 15	2040 Sep 11
・ SA077026	2022 Mar 10	2029 Jan 26
・ XZ77065	2021 Oct 25	2028 Apr 01 , 2028 Jul 19
・ SA077400	2020 Nov 04	2045年以降
・ SA097883	2019 Mar 17	2027 Jan 22
・ ZC2441	2015 Sep 20	2034 Mar 12 , 2034 Jun 02 , 2034 Aug 23
・ ZC2814	2012 Oct 21	2031 Aug 01
・ ZC432	2012 Mar 26	2031 Jan 03
・ XZ19203	2011 Jun 11	2027 May 17 , 2028 Feb 14 , 2028 Apr 09

●これまでの観測で重星の様相を示すライトカーブが得られた例ですが、一番上のものは宮下さんと同時観測が成立して主星・伴星の位置関係が得られましたが、新しい重星を見つけた可能性が高いです。

●私が楽しみにしているのは6重連星と書いてあるもので、角距離の下限值として**0.09"** が得られています。次の2回は北海道だけで**2040年**だと**90歳**を超えてしまいます。

●特定の恒星の星食観測は、白道の移動の関係で周期があり息の長い話になりますが、星食観測が少なくなったことによるのか星食観測による重星のレポートも**5年**近く出ていません。

5. 星食観測の勧め

continued

○星食観測が再び天文学などに役立つ日が来るかもしれない

Lunar Occultation observation may be useful for astronomy again

・CMOSカメラとLED測光で高い観測精度

High observation accuracy with CMOS camera and LED photometry

・近年の O-C が意味するものは？

What does the recent O-C mean?

●星食観測の勧めということなので、少し大げさに表現してみました。星食を観測するということは、潜入など現象の時刻における月と恒星と地球（観測者）の位置関係を観測しているということだと思います。

●職場の人などから何の観測しているのと聴かれた時、月の測量のようなことをしていると応え38万キロかなたの月の位置を200メートルくらいの正確さだと説明していました。測量を仕事にしている人も驚いていました。眼視観測ですから良くてこの程度の観測でした。

●最近では、CMOSカメラとLED測光で100分の1秒(0.01秒・10msec)の精度を得ることが容易ですから、先ほどの論法(月はその公転軌道上を1秒間に1000mちょっとの速さで動いている。)からいくと、10メートルほどの正確さで測量しているということになります。眼視観測の20～30倍の精度ですね。

ただ実際の観測は動いている地球から動いている月の影だということは忘れないでください。

●現在では、すべての基本となる時刻系をはじめとし月の位置、恒星の位置、地球の運動などは私たちの想像を超えるオーダーで知られている・管理されているといえます。

ということは、これらの正確な数値を基にした星食の予報時刻と正確な観測時刻の差は、極めて小さくなる、限りなくゼロに近づくはずだといえます。O-Cですね。

2024 Jan-Jun の観測(215 event)から

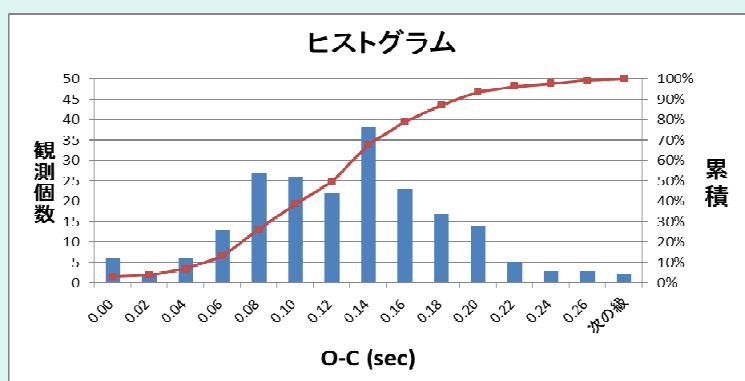
From observation (215 events) on Jan-Jun 2024

Mean clock correction from xx event times

197 -0.12 secs $\pm$ 0.06 secs

Mean residual of xx events involving single stars

202 -36 mas $\pm$ 38 mas



●私の観測結果のO-Cの分布状況です。その平均は+0.12secです。月が遅れて進んでいるということです。

●目耳法で眼視観測していた1998～2000年の140個ほどのO-Cの平均は-0.15sec(偏差は大きい)です。

●ビデオ観測と眼視観測でこの差は大きいとみるか小さいとみるかの判断はさておいて、

●話を身近にするために先ほどの手法でいうと、今度は、北緯43度の私の観測地の移動速度と月の影の移動速度の差(相対速度)平均683mを考慮すると、ビデオ観測では82m、眼視観測では102mの精度で月縁を測定したことになります。

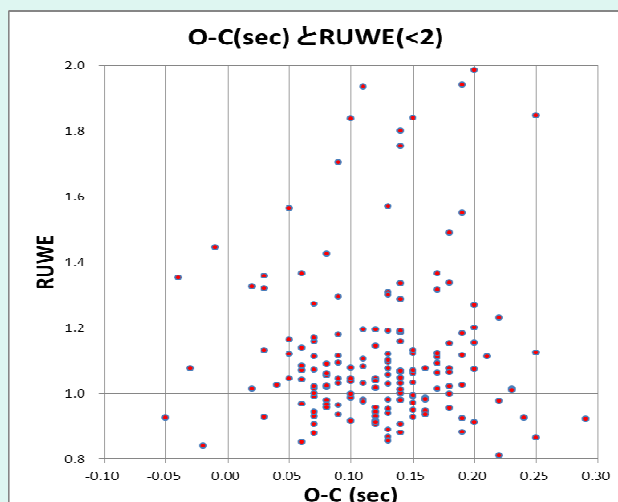
●この数字をみてしまうと、いろいろ工夫してビデオ観測しているのにこの程度の精度しか出ていないのかと思うと、観測意欲をそがれてしまいかねません。

●Occult4の整約に何か原因があるのかというのも、根拠がないうえ無責任な指摘になるのだと思います。

Gaia の位置精度を表わすRUWE と O-C (sec) との関係

Relationship between RUWE and O-C (sec), the positional accuracy of Gaia

相関係数 Correlation coefficient **-0.17** = 相関はほとんどない Almost no correlation



精度 accuracy

O-C(mas) 30~40mas

Gaia 0.01~0.03mas

↓

星食(限界線は除く)からは
相関関係は出ない?

No correlations are
produced from lunar
occultation (except for
grazing) ?

●整約に使われているGaia星表には位置精度を表わすRUWE(ルーウイ)という数値が載っています。O-Cとの相関をみようとしたのがこのグラフです。

●案の定、相関はないということですが、Gaia のデータによる恒星の位置、年周視差、固有運動の精度が、それぞれ0.01~0.03masとされているのでの精度のレベルが異なるものを比べたということになるのでしょう。

●限界線星食の整約では月縁プロフィールに補正を加えなければならぬものが多くなっています。サンプル数が少なく相関関係は不明。

●ここで多少強調したいのは、星食という現象を構成する基本的な要素(位置や時系)がきわめて正確なはずなのに、観測結果が一定の傾向を示すのは何故なのかということです。何が潜んでいるのでしょうか。

●例えが適切かどうかわかりませんが、月と地球そして恒星は同じ土俵の上にいるのだろうか、もっと言えば、月の土俵と恒星の土俵が50mとか100mとか離れている土俵で相撲を取っているのではないかと思います。

●最後にとんでもない話になりましたが、わたしたちは、できるだけ正確な星食観測を続けるだけということを結論として終わります。

終わります

The End

ありがとうございました
Thank you very much.

ありがとうございました。