

小惑星による恒星食の観測

2010年 8月

浜野和天文台

Hamanowa Astronomical Observatory

小惑星による恒星食の観測

目 次

A. 小惑星による恒星食	Page—1
I 小惑星による恒星食とは	Page—1
II 小惑星による恒星食の観測で何が解明されるか	Page—3
III 小惑星による恒星食の予報	Page—3
IV 予報項目	
IV—1. 現象の予報時刻	Page—3
IV—2. 隠される恒星(目的星)	Page—3
IV—3. 小惑星	Page—4
IV—4. 現象継続時間	Page—4
IV—5. 減光等級	Page—4
IV—6. 掩蔽帯図	Page—5
B. 小惑星による恒星食の観測方法	Page—6
I 私達の観測機材について	Page—6
I—1. 望遠鏡	Page—6
I—2. CCDビデオカメラ	Page—7
I—3. 時刻保持機材	Page—7
I—4. 録画機材	Page—7
I—5. 観測地の位置情報	Page—8
II 観測について	Page—9
II—1. 予報の入手方法	Page—9
II—2. 観測計画	Page—9
II—3. 観測の事前調査	Page—9
II—4. 当日の観測-機材のセッティング-導入	Page—10
II—5. 当日の観測-観測本番	Page—10
II—6. 当日の観測-観測終了	Page—10
III 解析について	Page—10
III—1. モニター上での再確認	Page—10
III—2. ビデオのモニター上での解析	Page—11
III—3. Limovieを使用した解析	Page—11
IV 観測結果の報告	Page—12
IV—1. 観測結果報告のフォーマット	Page—12
C. 小惑星による恒星食観測の次のステップ	Page—13

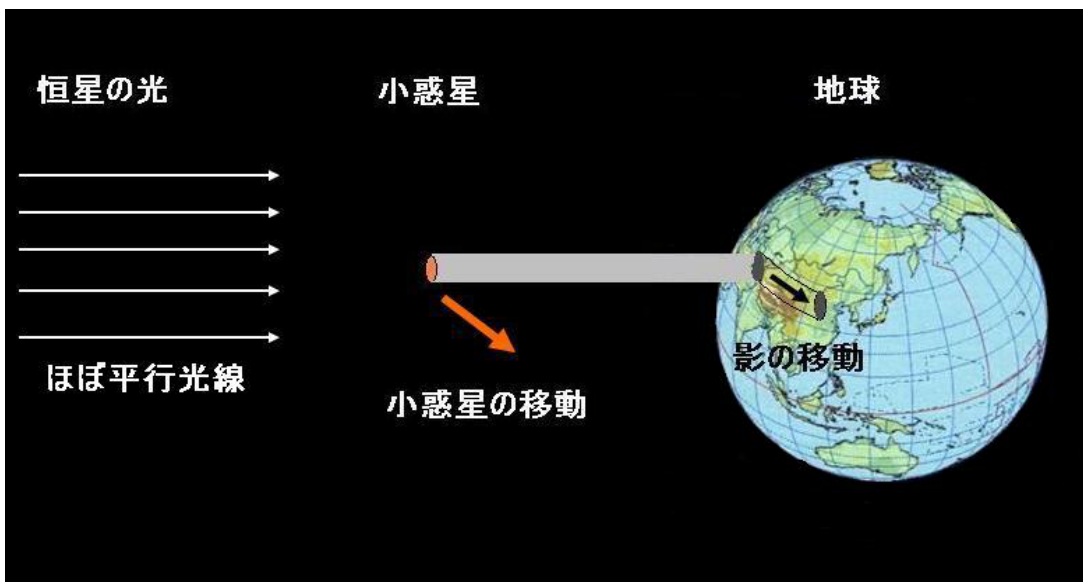
A. 小惑星による恒星食

I 小惑星による恒星食とは

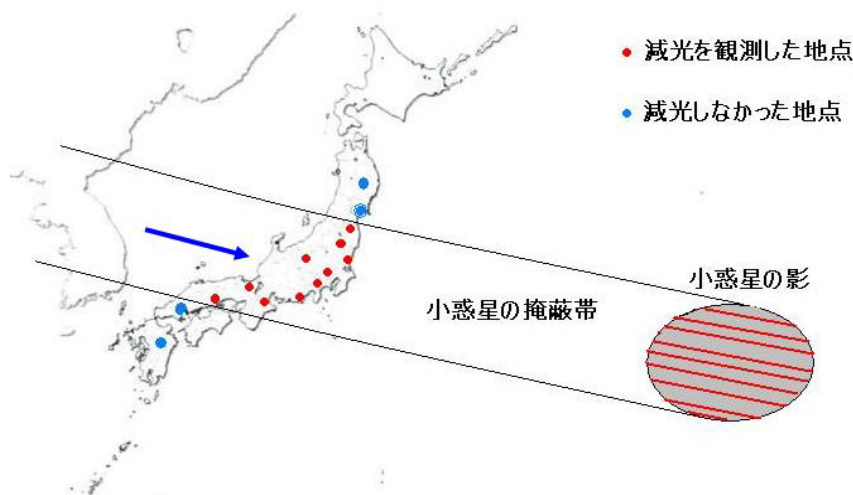
小惑星による恒星食の現象とは小惑星が天空の軌道上を運行して行くときに、遠くにある恒星を隠す現象です。日食は地球から太陽を見る時に、その間に月が入り込むことにより、太陽の光を遮蔽する現象ですが、小惑星による恒星食の場合は地球から恒星を見上げた時にその間に小惑星が入り込んで恒星を隠します。

恒星の直径はかなり大きいのですが無限遠にあり点光源と考えます。他方小惑星の直径は小さい（食の予報は数十kmから数百km）ですが、恒星に比べて遥かに近いので、大きさを観測することが出来ます。小惑星が恒星を隠すと言うことはすなわち面積体が点光源を隠すことになり、数秒から数十秒の間、食の現象が継続します。食の継続時間は小惑星の見かけの大きさと、小惑星の見かけの移動速度により変化します。

現象が起こされた時は地球上に小惑星の本影が投影され、その影が移動して行きます。このようにしてそのときの小惑星の断面が実物大の影として地球に投影されているのです。



図一1 小惑星による恒星食の原理



図一2 地球に投影された小惑星の影

I-1 小惑星の移動と恒星食

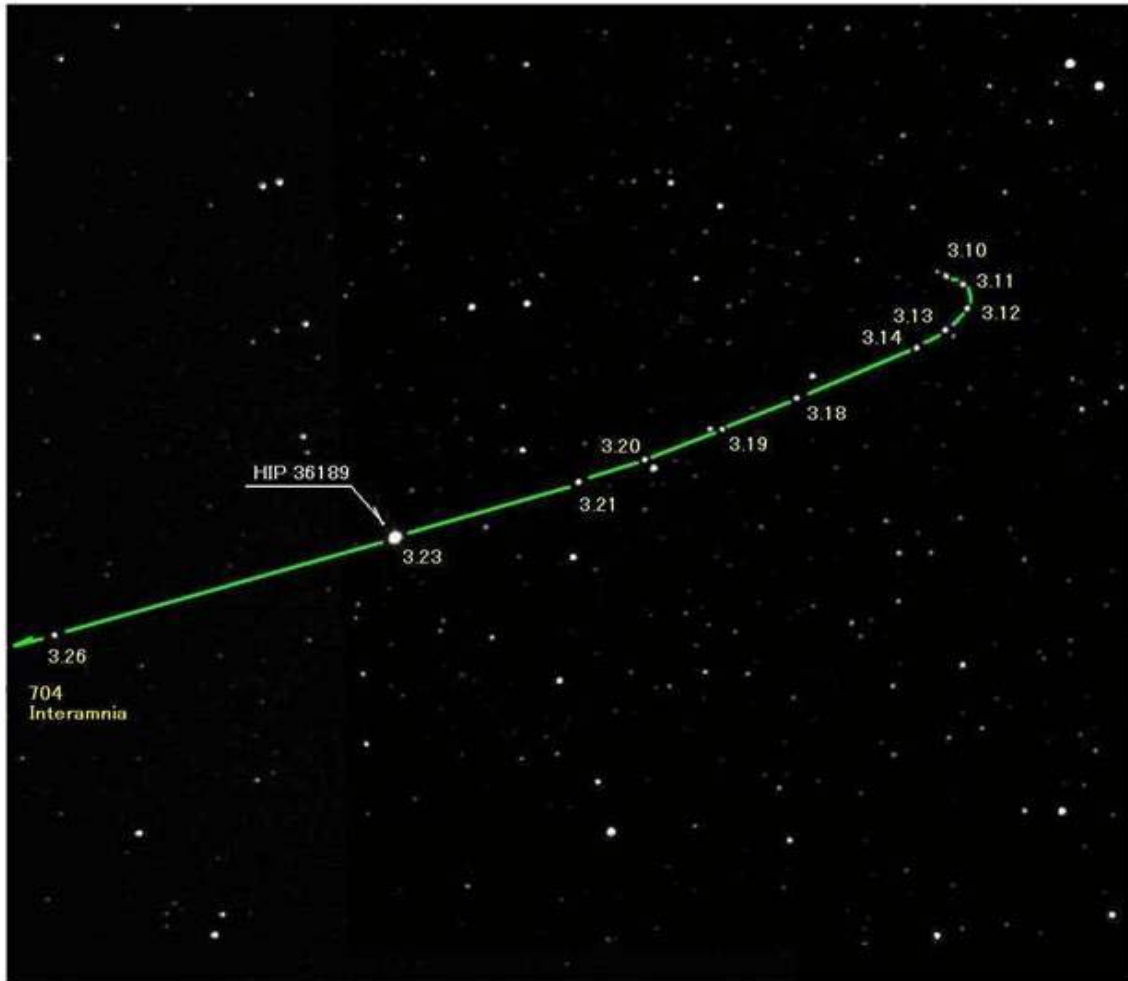


図-3 (704)Interamnia の移動

2003年3月の(704) Interamniaの移動. 10フレーム合成(比較明)
Pellow 40cm F4.5 直焦点 + Fuji S II Pro Hamanowa A. O.

図-3は(704) Interamniaの2003年3月の移動を実際に撮影して重ね合わせた写真です。
(704) Interamniaは写真のように天空を移動して、2003年3月23日 午後6時42分(JST)に恒星HIP36189を隠し、日本の数多くの地点でその観測に成功し、重要な成果を挙げました。

写真のように複雑な軌跡を描いて移動する小惑星が、その運行途上で明るめの恒星を隠す現象を小惑星による恒星食と言います。予報者はこの現象を予報するために小惑星の軌道要素を基にして天空上の小惑星の軌道を計算し、その経路と重なる恒星を探し出しています。

また小惑星の直径は大きいものでも数百kmなので、地球上のどこで観測するかも考慮しなければなりません。

小惑星の見かけの大きさは角度の1秒未満であり、その小惑星がほぼ点光源と考えられる恒星を隠す現象を予報し観測するのですから、かなり困難な作業です。しかしながら観測に成功した場合は他のどの観測よりも正確な情報を引き出すことができます。

II 小惑星による恒星食の観測で何が解明されるか

小惑星による恒星食の観測結果から、恒星の位置、小惑星の位置、及び小惑星の断面形状を解明することが出来ます。また恒星が近接した連星系であることや、小惑星が連星であることや衛星を持つ事なども解明できる可能性があります。

ただしこれらの観測結果は科学的に優秀で、客観性がなければいけません。その為には複数地点で観測に成功し、さらにお互いの観測結果に整合性がある事が重要です。

小惑星による恒星食の観測から、直接的に得られる情報は以上の項目ですが、小惑星の自転軸の向きや3軸比を求める事などさらなるサイエンスに高める可能性を秘めています。これらの説明は後で行うことにします。

III 小惑星による恒星食の予報

恒星食の予報は世界中の複数の観測者が計算し、公開しています。

予報を計算するためには、小惑星の軌道要素、小惑星の仮定の大きさ(絶対等級とスペクトル型から計算で求める)と、恒星の位置座標(星表)、そして予報期間の要素が必要です。小惑星の軌道要素は小惑星の位置観測をもとに、小惑星センターから出され、定期的に更新されています。また、恒星の位置座標は、衛星による恒星の位置観測をもとに数種類の星表が存在しています。例えばチコ星表(TYC)、ヒッパルコス星表(HIP)、そしてアメリカ海軍天文台のUCAC2やUCAC3などです。

予報計算はPC上で小惑星の軌道要素と大きさを基に、小惑星を連続的に運行させます。そして星表の恒星の座標に重なるポイントを探して行くのです。

予報者によって予報の位置が多少ずれていることが頻繁にあります。その原因は予報者が採用した小惑星の位置観測や軌道要素が少しずつ異なっていることに起因しています。

また全ての予報者にかかわる要因として恒星の位置の残差の問題があります。すなわち恒星の位置も確実ではなく、誤差が含まれていることが挙げられます。

IV 予報項目

IV-1. 現象の予報時刻

最初に現象が予報されている日付けと時刻の項目があります。食現象は隠される恒星と隠す小惑星が視線方向に一致しなければ起こりません。従ってその時刻でなければ観測することは出来ないのです。ただし記載してある時刻は掩蔽帯が日本を通過する時間帯で幅をもたせてあります。

ある観測地における予報時間を推測するためには、予報図の掩蔽帯に通過時刻が添付してありますから、この図で大体の見当をつけます。ここで大事なことは、読み取った予報時刻を中心として、前後各3分程度の観測を行うのが良いでしょう。

予報誤差による現象の時刻のズレに対応するためと、小惑星が未知の衛星を持っている可能性があり、思わぬ副産物もたらされる事もあるからです。

IV-2. 隠される恒星(目的星)

予報には恒星の星表番号(TYC xxxx, HIP xxxx, UCAC2 xxxxなど)、位置座標(赤経・赤緯)および恒星の等級が記載されています。実際の観測にあたり目的の恒星を導入する為に、この位置座標が必要になります。また観測の難度に関わるのが恒星の明るさ(等級)のデータです。せんだい宇宙館から入手する予報は、恒星の等級限界を12.5等級までとしています。また佐藤勲氏の予報は13.5等級まで掲載されています。

観測者は自分の機材による最微光等級を限定するためのテストを行うと良いでしょう。ただし、この限界等級は空の透明度やエアマス(地平高度)、恒星のスペクトル型、さらにはピント位置や気温等の諸条件で変化しますので、とりあえずチャレンジして見る事が最善策であると考えています。

- * 観測に使用するCCDビデオカメラには気温が低いほど感度が上がる特性があります。従って夏場の気温条件はCCDの感度を悪化させることとなります。参考として覚えておくと良いでしょう。

IV-3. 小惑星

小惑星の項目には、小惑星の登録番号と名称、小惑星の等級(主にMv:V等級)、そして直径(km)が記載されています。

食の予報が出されるのは概ね登録番号が1千番台の小惑星までに限定されています。それ以降の小惑星は位置観測の数が少ないために予報精度が悪くなってしまうことが原因しています。

さて小惑星の直径は小惑星までの距離と、そのときの光度を基本にして小惑星の絶対等級を求め、さらにスペクトル型を基準にして予測されています。従って実際に探査機で観測された小惑星以外は、あくまでも予測値が公開されています。

小惑星による恒星食の観測の結果が良好であれば(複数の観測成功により断面形状が求められた場合)、直径を確定することが出来ます。この観測精度は地上観測としては最も高精度の観測です。

過去の観測結果は小惑星の直径の予測値とほぼ同じ場合が多いのですが、予測値に対して多少異なる結果が得られることも数多くあります。

IV-4. 現象継続時間

減光継続時間とも言います。恒星が小惑星に隠されて減光(消滅)してから、現象が終わり復光するまでに要する時間のことです。小惑星による恒星食の観測は、この開始時刻と終了時刻を精度良く観測することを最大の目的としています。

現象継続時間は小惑星の大きさと小惑星までの距離、そして小惑星の見かけの運行速度によって変化します。一般的に継続時間は数秒から数十秒程度です。

IV-5. 減光等級

食現象に伴う光度の変化を見ると現象前には恒星自体の光度ですが、恒星が小惑星に隠されると小惑星自体の光度になります、このときに何等級暗くなるかの目安の数値を減光等級と言います。

厳密に言うと恒星に小惑星が近寄るときは恒星と小惑星それぞれの等級として見えていますが、小惑星と恒星が分離不可能なまで近寄ると光が合成されて恒星の光度よりも少し明るくなり、次に現象が起こると恒星が隠されて小惑星自体の光度となります。合成等級から小惑星の等級を差し引いた値を減光等級としています。

実際にいくつかの予報を見ると、小惑星の等級から恒星の等級を差し引いても減光等級と少し差がある場合が多く、この様なケースは合成等級が影響しているためです。

IV-6. 掩蔽帯図

日本付近の地図に実線2本の帯が引かれています。この実線に囲まれた地域が掩蔽帯の予報経路です。また破線で記載されているのが統計的な 1σ の範囲です。掩蔽経路は初期の予報と、さらに新たな条件を加えて計算し直した改良予報があります。観測をされる皆さんは直前に出される改良予報に重きを置いて観測計画を立てましょう。

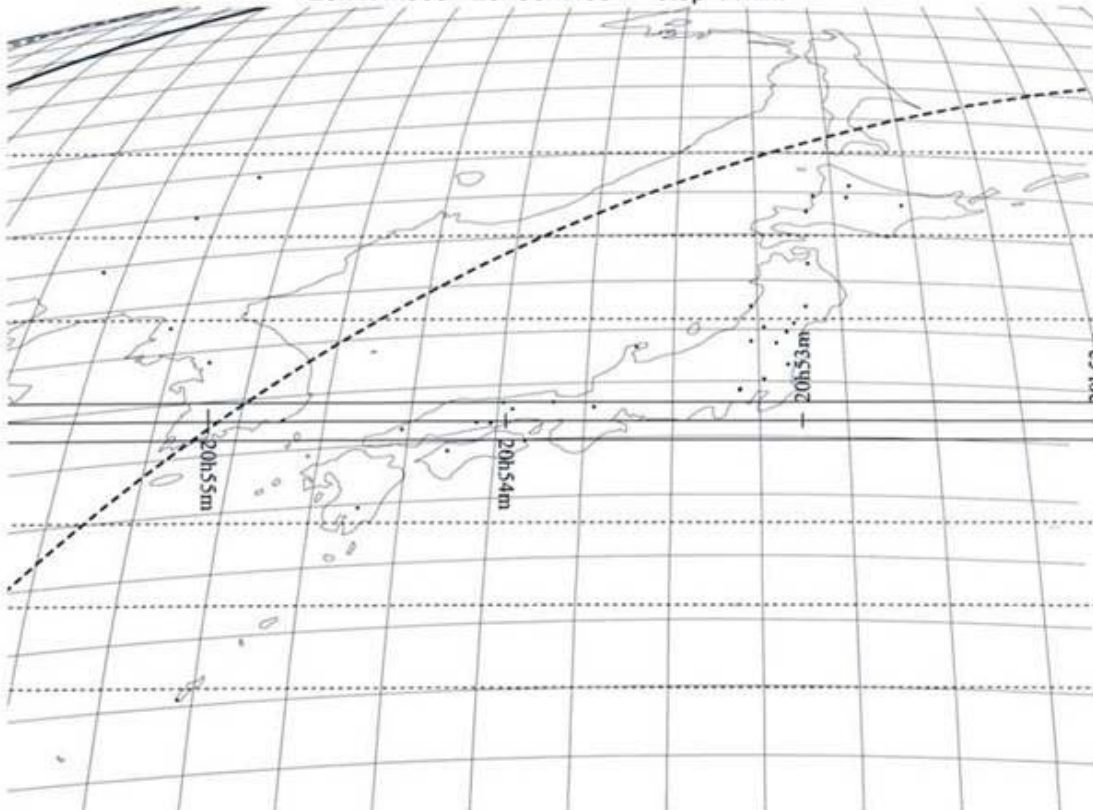
また予報者によって掩蔽帯の位置が若干ずれていることに気がつくでしょう。これは各予報者が小惑星の位置観測の結果を選択して使用していたり、計算に用いる情報の重みが異なっている為に生じてきます。まあ我々観測者はいろいろな結果を想定して、まずは観測を行いましょう。

観測結果が予報者にフィードバックされることで改良がなされて、より正確な予報が出されることにつながります。

2010. 8. 9. (Mon) 21h02m JST
 UCAC3 045187500 by (1911) Schubart

Asteroid : Diam. = 80 km	Star :	R.A.2000 = 18h30m13.6548s + 0.047"
= 0.029"		Dec.2000 = -23°16'28.559" ± 0.061"
error = 0.017"	Mr. = 13.43 mag	
Mv. = 16.9 mag	Sp. type =	
Vra = -5.2'/day	Var. = - mag	
Vdec = -0.1'/day	Sep. =	
dist. = 3.80971AU	PA =	
group = Hilda	dmag =	
Sun : elong. = 140°	Partial duration =	
Moon : elong. = 149°	Diffraction 1/4 time = 0.040 sec	
sunlit = -1%	Extinct. : Dur. = 8.1 sec	
Cond. : score = 76 pt.	drop = 3.5 mag	
Visibility : centerline = 18.05%	+0.5sigma = 13.91%	+2.0sigma = 1.57%
+0.5 r = 17.93%	+1.0sigma = 8.60%	+2.5sigma = 0.47%
N/S edge = 17.59%	+1.5sigma = 4.16%	+3.0sigma = 0.11%

20h47m30s - 20h58m40s step 1 min.



B. 小惑星による恒星食の観測方法

以下の解説は小惑星による恒星食の観測方法の中で、ビデオ観測の手法について述べています。ビデオ観測とはすなわちCCDビデオカメラを使用して、ビデオやDVカメラに画像を録画し、また時刻保持の為にGHS時計を用い、これらをビデオやDVカメラにインポーズすることを基本にしています。

小惑星による恒星食の観測の最終目的は、多くの観測者とともに優れた観測成果を上げることにより、観測結果をサイエンスとして高めることにあります。

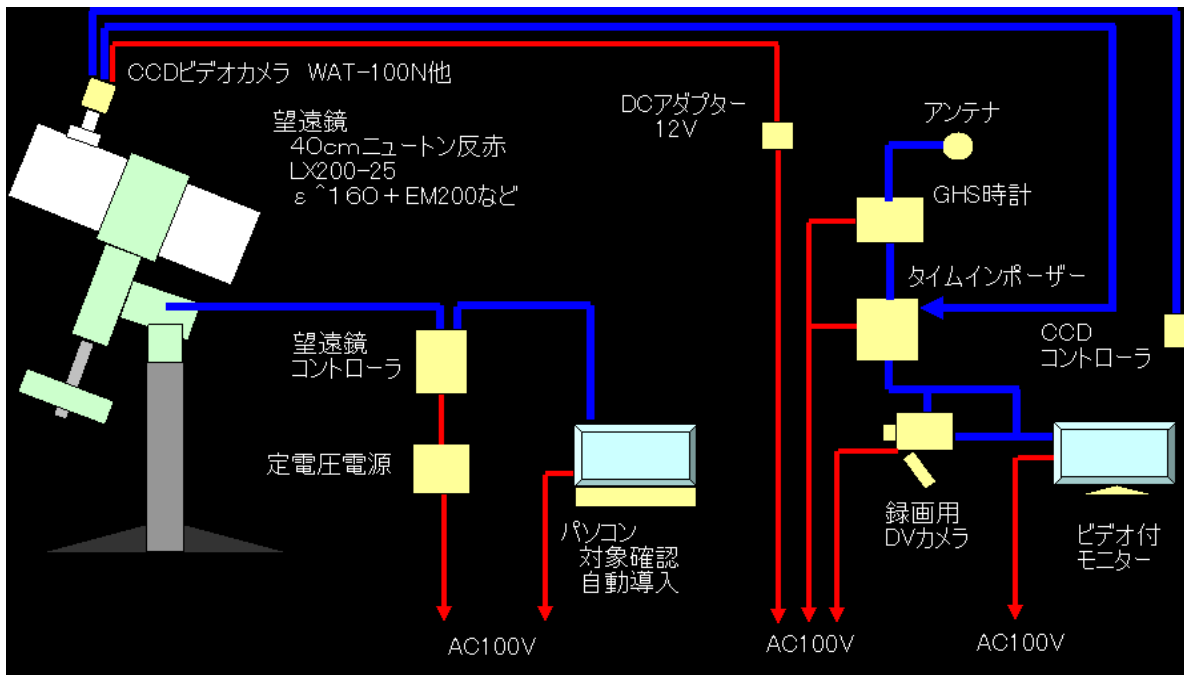
以下の解説には私たち浜野和天文台の小惑星観測チームが、多くの観測成果を上げる中で構築して来た内容、いわゆる現場の声も多く取り込みました。

観測の手法には眼視観測と発声法を組み合わせたものもあり、熟練者は素晴らしい成果を上げていますが、ビデオ観測を行うことで観測の後で繰り返し確認することが出来ること、個人誤差が少ないことで観測の客観性を保つことが出来ますから、これから観測に挑む皆さんには是非ともビデオ観測で観測を行って頂きたいと思えます。

発声法： 短波放送の報時刻音をレコーダーに録音しながら望遠鏡を覗き、現象の開始と終了の双方で発声し録音する方法です。 目で確認してから発声するまでの時間に個人差がありますので、その遅れ時間を補正する必要があります

I 私達の観測機材について

私たち浜野和天文台で小惑星による恒星食の観測に使用している機材を示します。



図一4 浜野和天文台の観測機材

I-1. 望遠鏡

私たちが使用する望遠鏡は対象星の等級により、または遠征観測か定点観測(天文台)かにより使い分けています。これらのシステムによる観測可能な最微光等級を下の表に示します。空の状態などの要因で変化しますので、最良の空における目安とと考えてください。

各望遠鏡による最微光等級 (WAT-100N 使用)

望遠鏡の名称	口径 (cm)	F値	最微光	備考
0.4m-Pellow	40	4.0	13.4等級	
LX200-25	25	3.3	12.5等級	F10をF3.3に変換
ε-160	16	3.3	11.8等級	



図一五 Mead LX200-25と観測機器
(主に遠征観測で使用)

観測に用いる望遠鏡の口径は できるだけ大きい方が最微光等級の点で有利ですし、モニター上の恒星の写り具合も明るくなり、解析を行うことが楽になります。また空の状態が多少悪くなくても集光力が大きいために対象星を捉え続けていますので、観測成功の有力な助けとなります。

また望遠鏡の焦点距離は、視野が広く取れ対象の確認が容易になることから、短焦点を用いた観測の方がが楽でしょう。

観測の効率化を図る為に望遠鏡は 星図ソフトをインストールしてあるPCと接続して 自動導入を行います。また、このPCにはあらかじめ対象星周辺の星図を登録しておきます。そしてCCDカメラの画像を表示したモニターと比較照合しています。この作業により 対象星を確実に導入することが可能となり、観測の失敗を確実に防止します。

I-2. CCDビデオカメラ

観測を行うビデオカメラは時間分解能を良くする為に 基本的にCCDビデオカメラを使用しています。ワテック社のWAT-100Nが基本性能において最も有用です(最低被写体照度:0.001Lux)。さらに蓄積可能なタイプもあり、暗めの対象星の観測において有効ですが、数フレームの蓄積を行う事により時間分解能が低下します。しかしながら小口径の望遠鏡を用いた観測には 非常に有効な選択となるでしょう。

また私たちはごく稀に冷却にCCDカメラでの流し撮りも行いますが、ここでは触れません。



図一六 望遠鏡に接続したWAT-100N
接眼部にはF10をF3.3にするフォーカルレデュースを取り付けています

I-3. 時刻保持機材

GHS時計を用いて時刻と観測地の緯度・経度及び高度の情報を得ています。数個の衛星からの信号を受信しますので、観測場所は出来るだけ空の開けた場所を選びます。GHS時計の報時信号をビデオにインポーズさせるためにタイムインポージャーTIVIを使用しています。これらの時刻精度は1/100秒ですが、ビデオに録画した場合にはビデオのタイムレートの1/30秒が時刻精度となります。

I-4. 録画機材

観測結果に対して客観的な評価を行うために、ビデオに録画することを基本にしています。私達は観測にあたりビデオ付きテレビとDVカメラを併用しています。DVカメラに録画しておいて、後でPCにキャプチャすることにより、「Limovie」を使用して高精度な光度変化の解析を行うことが可能です。

ただしDVカメラの液晶画面は小さいので、微光星の場合は確認が不可能となってしまいます。このような場合は、まずビデオ付きテレビで対象を確認しその後DVカメラに切り替えたり、またはそのままビデオに録画して、観測後にPCにキャプチャしています。

{注} limovie : 宮下氏が開発したビデオ画像の光度解析ソフトです。フリーソフトで氏のURLからダウンロードして使用することができます。掩蔽観測の現場で大きな成果を挙げていますし、操作環境なども丁寧に解説してありますので是非導入されることを望みます。

I-5. 観測地の位置情報

小惑星による恒星食の観測でもうひとつ大事な項目があります。それは地球上のどこで観測を行ったかを明らかにすることです。いわゆる経度、緯度、標高のデータを明示することです。

経度や緯度の値は先だって世界測地系に変更されました。小惑星による恒星食の観測は世界中で行われていますし、また掩蔽帯が数カ国を横断していることも多くありますので、観測の報告は世界測地系の位置データを使用しましょう。

世界測地系で目的地の緯度、経度、標高を求めるために、2万5千分の1の地図から読み取ることでも出来ますが、前に述べたGHS時計にはこれらを瞬時、かつ客観的に表示する機能があります。GHS時計やタイムインポーターが入手困難な場合は筆者にmailをいただければ取次ぎを致します。



図一七 私たちが使用している時刻保持と録画用機材

- ①: GHS時計 (正確な時刻と位置情報を衛星より受信する)
- ②: GHS時計用アンテナ (5~7個の衛星からの信号を受信する)
- ③: タイムインポーターTIVI (GHS時計の情報をモニターに表示、録画する機能)
- ④: DVカメラ (画像と情報を録画する)
- ⑤: 液晶モニター (ビデオの画像を拡大して表示する)
- ⑥: 自動導入及び対象確認用のPC (星図ソフトがインストールしてある)
- ⑦: 時刻再確認用の電波時計

II 観測について

II-1. 予報の入手方法

世界的に見るとかなり多くの研究者が小惑星による食の現象を予報しています。でも通常は日本国内で観測する訳ですから、日本国内における予報が抜粋してある方が便利です。さらに現象の直前に改良予報(予報の補正)や、特殊な情報(小惑星が衛星を持つ等)が発行される事から、本書では下記の2件をご紹介します。

- ・佐藤勲氏による予報: 宮坂氏のURL [[minor planet at 366](#)] に掲載されています。
 - ・Preston氏による予報: [[せんだい宇宙館](#)] のURLに掲載されています。
- * いずれも検索エンジンで上記の [] を検索すればたどることが出来ます。

II-2. 観測計画

小惑星による恒星食の予報は複数の研究者から発信されています。これらの予報は最新の小惑星の軌道要素と精密な恒星の位置データから算出されます。最近はUCAC星表による優れた恒星の位置が配信され、また定常的な小惑星の位置観測のおかげで、予報制度が格段に良くなりました。しかしながら位置観測精度に起因する残差の影響で、予報位置から多少ずれる場合が多くあります。(食の観測結果から、これらのデータを改良することが観測の目的のひとつですから、外れるのもまた楽し!とを考えます)

さて予報者によって採用するデータ(恒星の位置と小惑星の軌道要素)や処理が異なり、その結果それぞれの掩蔽の予報帯が異なります。そこで私達は複数の予報を比較しながら観測計画を練っています。

掩蔽の予報帯が私達の観測所またはその近辺の場合は、観測所による定点観測を行います。また興味の深い対象や現象の場合は遠征観測に出かけます。この場合に観測地選びは遠征先の観測者の位置と重ならないように観測位置を選定します。観測の目的のひとつが小惑星の断面形状を精度良く求めることにあります、従って食観測の結果に得られる走査線は多い方が良く、このことには特に注意しています。

(観測にあたり小惑星の移動方向に対して垂直方向に分散して布陣するのが望ましい、その結果得られる小惑星の断面を解析する走査線が多くなる。このことは小惑星による恒星食の観測成功例の整約図を見ると一目で理解できるでしょう)

II-3. 観測の事前調査

事前にノートパソコンの星図ソフトで当日の対照星を含む星野を作成し保存しておきます。このとき当日の観測で使用する機材による画角も表示しておきます。可能な場合は現象日以前に機材を組み立てて、対象星を導入し確認します。その後使用した機材はひとまとめにしておきます、これで当日の観測は快適なものとなります。

大事な観測に付きまとう失敗のうちで一番大きな要因は天候不順によるものですが、次に多いのは準備不足“言うなればヒューマンエラー”です。これらを徹底的に排除する努力が重要です。

遠征観測を計画するときは、行先の地図をよく研究しておきます。たとえば現象が地平高度の低い所で起こされる場合はそちらの方面が開けていること、さらに観測する方向に光害の要因が無いことなどです。この作業は案外と楽しいものです。また前にも述べましたが、他の定点観測の仲間と観測位置が重複しないように努力します。

- * 小惑星による恒星食の観測は、多くの観測位置で観測に成功すれば素晴らしい成果をもたらします。また観測に成功しないで通過(減光が観測されなかった)した場合でも大事な観測結果です。特に通過の観測の結果小惑星の北及び南端を制限できた場合は、減光観測に成功した場合と同じ重要性を持ちます。

II-4. 当日の観測-機材のセッティング-導入

機材の組み立てや観測装置の立ち上げ等の観測の準備はできるだけ余裕をもって行います。ここであせってしまうことが観測失敗の大きな原因となります。

望遠鏡を立ち上げたら目的星を導入します。私は事前に準備しておいた星図ソフトを開いて、周辺の恒星との位置関係で断定します。視野に適切な星が無い場合は、少しだけ望遠鏡を振ってみます。

次に時刻保持の機材を立ち上げます。私はGHS時計とタイムインポージャーTIVIを愛用していますが、固定電話の時刻信号も有効です。また携帯TELや電波時計は、表示される時刻に多少の誤差を生じますが、やむなく使用するときは、その旨を報告に記入します。ここで重要なのはモニターやDVカメラの液晶にインポーズし表示されている時刻を再チェックすることです。私は携帯TELで秒までの時刻を確認しています。

II-5. 当日の観測-観測本番

観測(録画)は現象の予報時刻の前後3分(計6分)程度は行いたいものです。予報時刻から多少ずれて現象が起こされることも多く発生します、また小惑星の未知の衛星による食がごく稀に起こされます。

全ての準備が整うとあとは現象時刻を待つのですが、この数分間の緊張感をたっぷり楽しみます。観測の成否も大事ですが、この時間帯のワクワク感は一回味わうとクセになってしまいます。とは言っても観測を行っているのですから、最終段階の各部の再チェックを必ず行います。また時々対象星付近の空を見上げます。雲の発生状況、空の透明度、大気の揺らぎなども観測ノートに記入しておけば万全です。またその方向に電線などの障害物が無いことも重要です。

さあ、現象時刻！ 私は現象の前後1分間は特にモニターを凝視します。観測に成功すると対象星はスッと消え(または暗くなり)すこし後で再び明るさを取り戻します。この消え方や再出現の過程も非常に重要な要素を含みます。つまり小惑星が未知の連星系であったり、その表面形状に起因する光の回折現象や、隠された恒星が未知の連星系であることなどの情報が含まれている可能性があるからです。

観測が終了したら再び空の状態をチェックします。それから私は機材を撤収する前にその場で録画されたビデオを再生して再度の確認を行っています。

II-6. 当日の観測-観測終了

まだ観測の興奮がさめやらない時間帯ですが観測の終了です。各観測機材の電源を切って接続コードなどを取り外します。これらの作業は解説するまでもないと思いますので、次の章に移ります。

ただし遠征観測の場合は忘れ物の無いように、もう一度周辺をチェックします。明るめの懐中電氣などがあれば重宝します。また何と言っても大事なことは観測地にゴミを残さないことです。ゴミ袋を持参して最後の見回り作業を忘れないください。

III 解析について

III-1. モニター上での再確認

ビデオやDVカメラを再生して現象の成否をもう一度確認します。ここで可能ならばこれらの画像をビデオからPCにキャプチャします。その結果、前に述べたlimovieを使用した高精度かつ客観的な解析を行うことが可能になります。

明確に現象を記録した、もしくは現象が疑わしい場合は次に解析を行います。 →Ⅲ-2項
全く変化が見られない場合でも大事な観測結果ですので報告を行います。 →Ⅳ章

ここで重要なことは減光の大小です。食による減光が大きい場合はモニター上でもはっきりと減光または消滅の確認ができます。他方、減光が浅い(1等級未満の僅かな減光)場合はモニターでの確認が困難になりますのでlimovieを使用して詳しい解析をする必要があります。

Ⅲ-2. ビデオのモニター上での解析

対象星が明るく減光等級も大きい場合には、ビデオをコマ送りして確認することが可能です。この場合は繰り返し再生して現象が始まる時間と減少が終了する時間を解析します。ここで注意を要するのは、減光の開始や終了時間またはその双方において緩やかに変化する場合もあります。

この現象は小惑星の形状や恒星の特質を観測した可能性がありますので、その旨の報告をしましょう。

例えば、

減光開始時刻: 22時15分12.35秒から 22時15分12.41秒までの2Fr ゆるやかな減光
減光終了時刻: 22時15分15.52秒から 22時15分15.58秒までの2Fr ゆるやかな復光
という具合です。

実際の観測例として土星の第Ⅲ衛星Tethysによる8等級の恒星食をご紹介します。小惑星による食ではありませんが、主惑星の衛星による恒星食の実例として、とても貴重な観測です。

下の写真で土星の輪の左斜め上に写っているのが恒星とTethysです。左の写真は食の直前で両者が接近し分離不可能な状態です。そして写真中央が食の最中で、Tethysが恒星を隠した状態です。すなわちTethys本体の明るさまで減光している状態です。写真右は食が終わり恒星が再び明るさを取り戻した状態で、3枚の写真から食の前後と食の最中の光度差が明らかに比較することができます。



図一8 土星の第Ⅲ衛星Tethysによる恒星 TYC1310-02435-1 の食

2002年12月16日 Pellow 40cm Newtonian Ref, + WAT 100N
hamanowa A. O.

Ⅲ-3. Limovieを使用した解析

減光の状況が不明確である場合は、limovie を用いて解析を行うとより客観性を持った結果が得られます。またⅢ-2. の場合でも limovie を用いて解析を行うことで、さらに正確な解析を行うことができ、詳細な情報を引き出すことが可能です。

この解析は画像データをPCにキャプチャしてあることと、PCに limovie を使用する環境が出来ていることが条件になります。詳しくは宮下氏のURLに環境作成と解析の方法が詳しく記載されていますので、是非、ご参照してください。

ここでの解析も現象の成否、現象時刻、及び減光や復光の特徴を求めます。

IV 観測結果の報告

日本には小惑星の恒星食の観測結果を受けて集約や総合解析そして発表しているサイトが数箇所あります。観測結果は大切な情報ですので是非報告をしていただきたいと思います。観測結果を集約した結果、小惑星や恒星に関する優秀で貴重な情報が得られるのですから。

現実的にはⅡ-1.で紹介した2箇所のURLで観測報告の受付のためのメールアドレスが付記されていますので、この2箇所に送れば良いでしょう。

IV-1. 観測結果報告のフォーマット

観測結果の報告には特定のフォーマットはありませんが、最低限必要な項目があります。以下にその項目を記載し、参考に過去の報告の実例も添付します。これだけの観測結果の情報があれば完璧な報告です。

小惑星による恒星食の報告フォーマット

1. 現象:	小惑星番号、名称、等級. 恒星名称、等級
2. 観測日時:	年月日(曜日)
3. 観測時間:	ビデオ観測の収録時間帯 (必要があれば備考)
4. 時刻保持:	使用した時刻保持の機器 (必要があれば備考)
5. 観測機材:	使用した望遠鏡とビデオカメラの情報
6. 天候:	天候、雲量、透明度、シンチレーションの目安
7. 観測結果:	減光確認または通過 (確実性:5段階) 減光確認の場合: 潜入時刻(その確実性) 及び出現時刻(その確実性) (備考: 潜入出現の様子)
8. 観測者:	観測者名
9. 予報者:	参考にした予報者名

小惑星による恒星食の報告フォーマット(実例)

1. 現象:	(1585) Union(14.2等)によるTYC 022800256(12.10等)の掩蔽
2. 観測日時:	2009年 1月20日(火曜日)
3. 観測時間:	22時53分~23時55分30秒までビデオ観測 (事前に冷却CCDにて対象星に接近する小惑星を確認)
4. 時刻保持:	GHS時計でTIVIを同期しモニターにインポーズ (その後時刻を携帯TELで再確認)
5. 観測機材:	Pellow 40cm F=4.5 ニュートン直焦点 + WAT100N
6. 天候:	快晴(雲量0/10) 透明度 最良 シンチレーション 中
7. 観測結果:	減光を観測しました (確実性5/5) 潜入: 22時53分58.05秒 +/- 1Fr から 出現: 22時54分00.62秒 +/- 1Fr までの2.57秒 +/- 1Fr 間 (スッと消えてポンと出現)
8. 観測者:	浜野和 弘巳 細井 克昌 浜野和 博子
9. 予報者:	佐藤勲氏、Preston氏

C. 小惑星による恒星食観測の次のステップ (小惑星による恒星食観測結果のより高度な利用法)

A-Ⅱの項目で小惑星による恒星食の観測で恒星の位置や小惑星の位置すなわち軌道要素が改良されること、そして小惑星の断面形状や恒星が未知の連星系であること、また小惑星が未知の衛星を持つことなどが解明されることについて述べました。またA-Ⅲ-2の項目でも小惑星の形状の解析に小惑星による恒星食の観測が優秀な成果を挙げていることを説明しました。

さて観測の結果求めた断面形状だけで小惑星の全体の大きさを論じることは出来ません。小惑星が球体もしくは回転楕円体であれば、小惑星の自転に伴う断面形状は変化しませんが、小惑星の実体は複雑な形をしています。形状がまだ解明されていない小惑星を議論するときには小惑星を3軸不等の楕円対($a>b>c$)と仮定して評価を進めます。そして実際に探査機などにより実際に観測された小惑星の姿はかなり複雑な姿をしています。従って断面形状は小惑星の自転に伴い変化して行くのです。小惑星食の観測でその断面形状が優秀に解明されても、それはあくまでもその自転位相における断面を捉えたものなのです。

私たち浜野和天文台はこの件を重く見えています。そこで小惑星による恒星食観測の結果、優秀に小惑星の断面が求められた場合は、直後にその小惑星のライトカーブ観測を実施します。

その結果小惑星の自転周期と、そのときの光度の変化量を求めます。そこで時間軸を食が起こされた日時まで逆行させれば、食が引き起こされた時の小惑星の位相を求めることができ、小惑星の立体形状解析のための優秀なデータとして後世に残ります。

同じ小惑星が再び恒星を隠し、その現象も優秀に食の観測が行われて小惑星の断面形状が求められると、小惑星の3軸比や自転軸の向きが求められる可能性があります。

この手法は佐藤勲氏が提唱されていて、実際に複数の小惑星の実態が解明されています。

氏によれば異なった位相において、2度の小惑星による恒星食の観測と、一度の測光観測がそれぞれ優秀に行われれば、小惑星の自転軸の向きや3軸比などが求められ、さらなるサイエンスへの道が開かれるとのことです。

小惑星による恒星食観測結果の科学的な解析(例)

佐藤勲氏と浜野和天文台の解析より

次に小惑星による恒星食の観測結果に対して、より科学的な解析を行う事により解明された小惑星と恒星の姿の実例として、2003年3月の(704) Interamniaによる HIP 36189の掩蔽現象を例に挙げます。この小惑星による恒星食は1996年にアメリカでも観測されています。

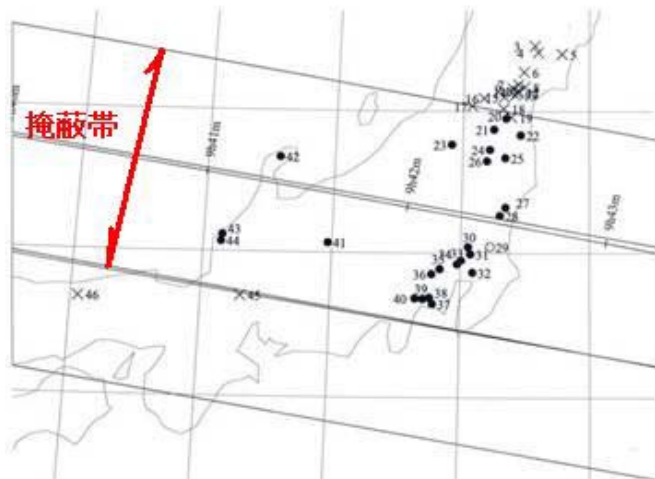
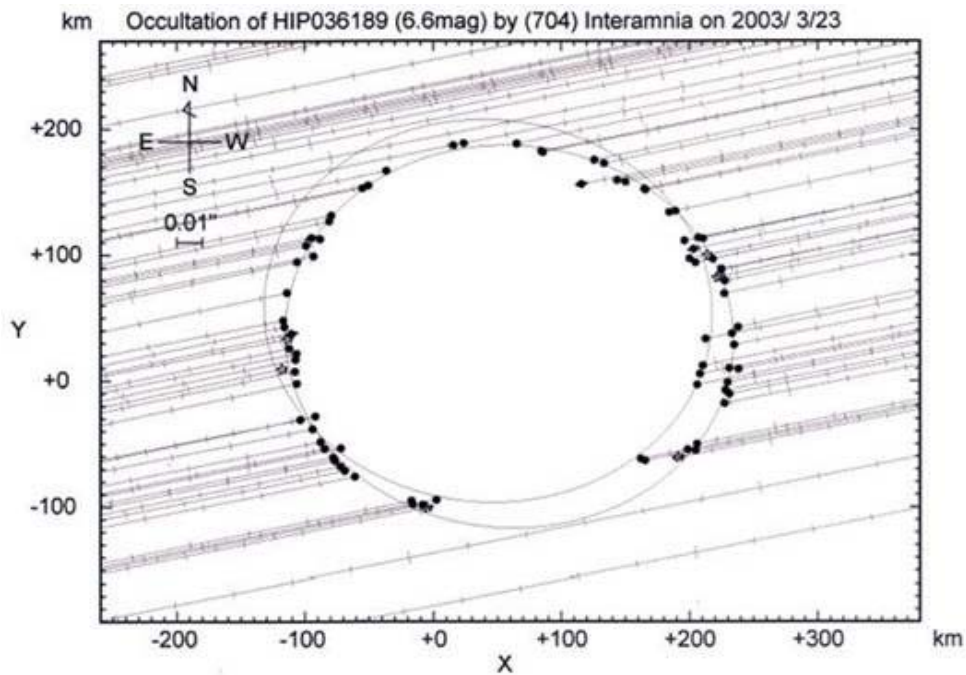
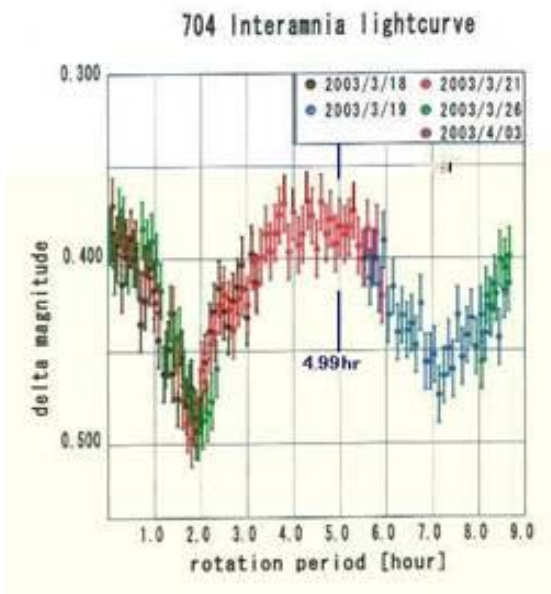


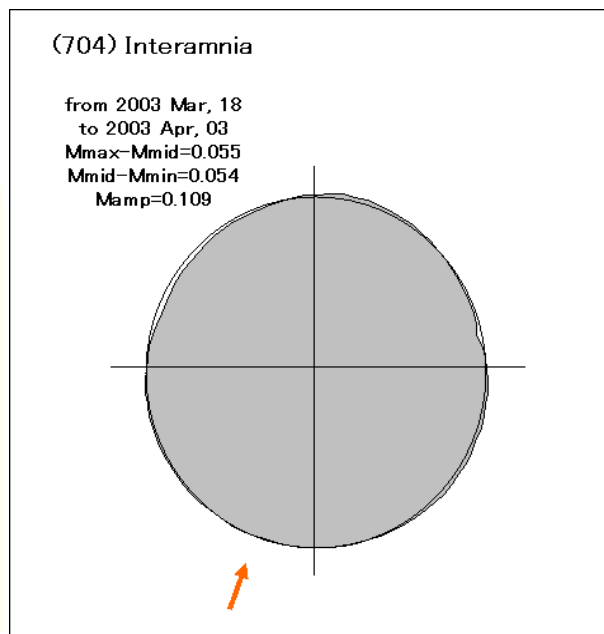
図-9 実際に観測された掩蔽帯 (佐藤勲氏による解析)



図一10 食の観測結果解明されたInteramniaと恒星（佐藤勲氏による解析）
 解析の結果Interamniaの明確な断面形状と恒星が連星であることが判明した



図一11 食現象前後のInteramniaのライトカーブ
 (浜野和天文台)



図一12 ライトカーブより求めたInteramniaの断面形状
 (浜野和天文台)

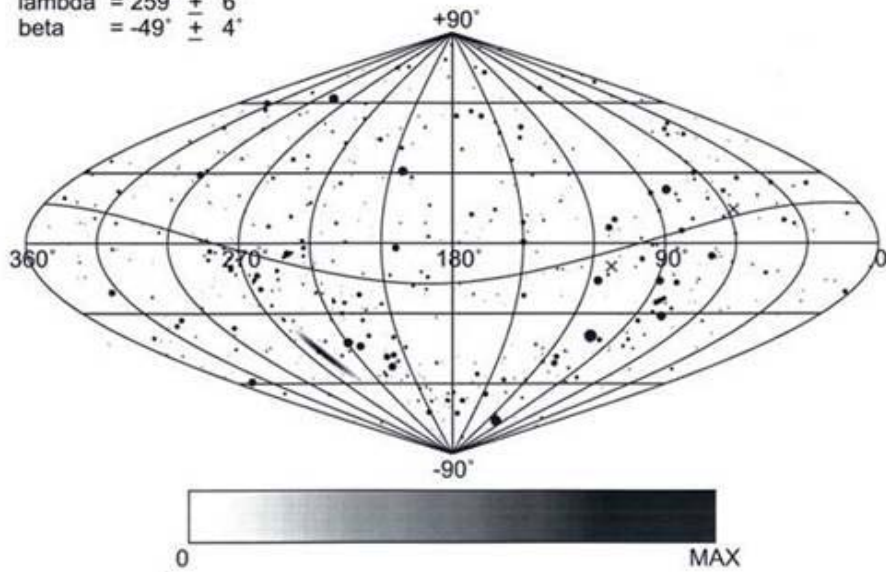
Probability distribution of orientation of spin vector of (704) Interamnia (ecliptic coordinates)

(occultation : 2003/3/23 , 1996/12/17)

(lightcurve : 2003 , 1996 , 1993 , 1974 , 1969)

lambda = $259^\circ \pm 6^\circ$

beta = $-49^\circ \pm 4^\circ$

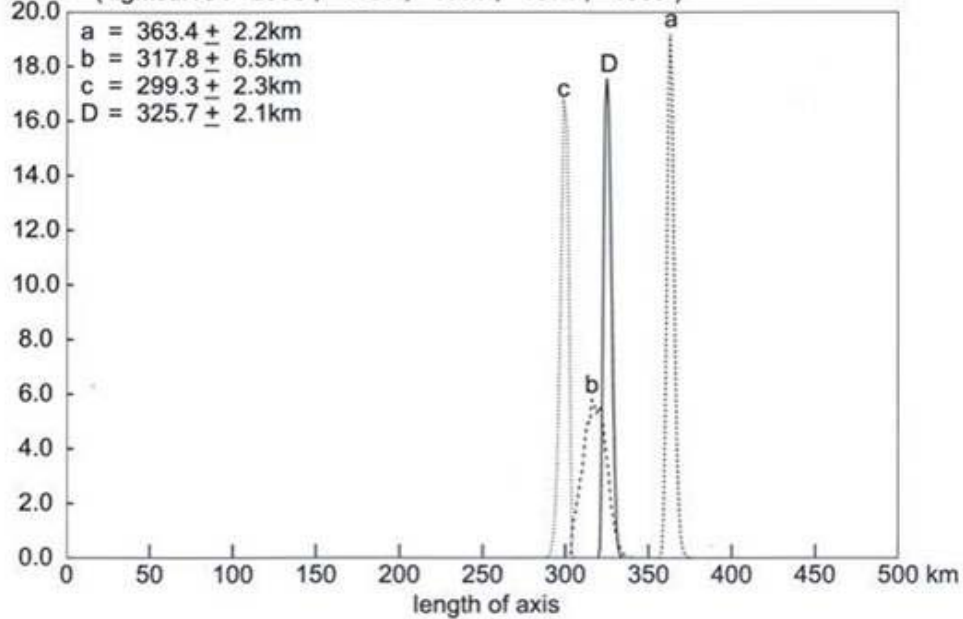


図一13 食とライトカーブの観測結果解明されたInteramniaの自転軸の向き
(佐藤勲氏による解析)

Probability distribution of lengths of principal axes of (704) Interamnia

(occultation : 2003/3/23 , 1996/12/17)

(lightcurve : 2003 , 1996 , 1993 , 1974 , 1969)



図一14 食とライトカーブの観測結果解明されたInteramniaの3軸比 (佐藤勲氏による解析)