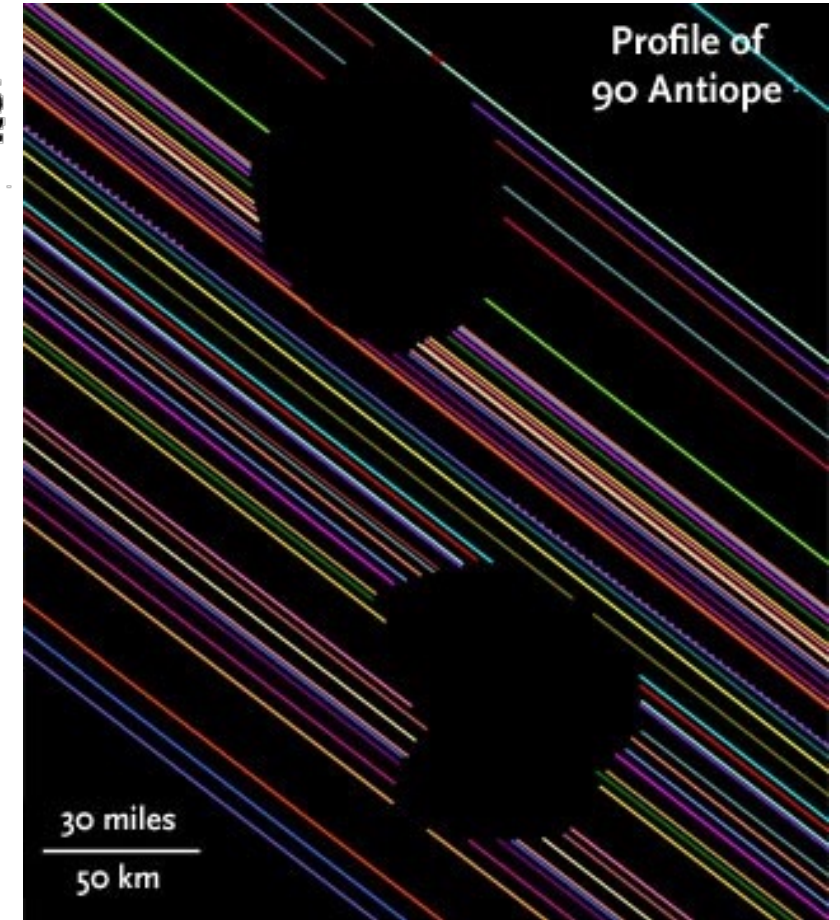


国際掩蔽観測協会 (IOTA)と掩蔽科学の発展

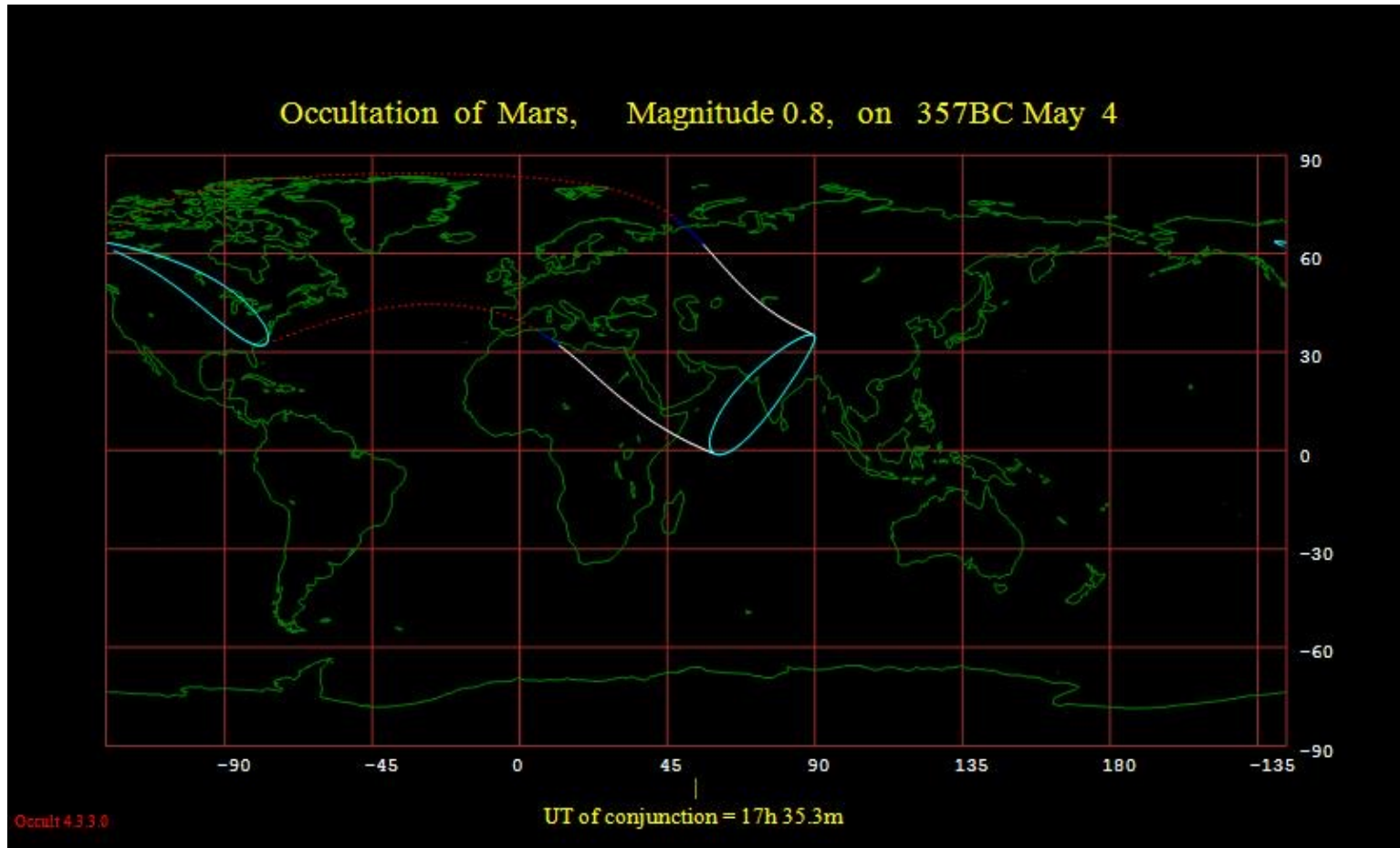


デビッド・W・ダナム、dunham (at) starpower (dot) net
IOTA and Intuitive Machines
IOTA/EA 2026/27年会
2026年8月30日



2011年7月19日、カリフォルニア州とオレゴン州で。カリフォルニア州ロックリンのシエラ・カレッジで開催されたIOTA会議の直後に起きた掩蔽。対象星は6等級のLQ Aquarii。多くの観測者がミニ観測システムを設置することができた。

古代の月による惑星掩蔽の観測



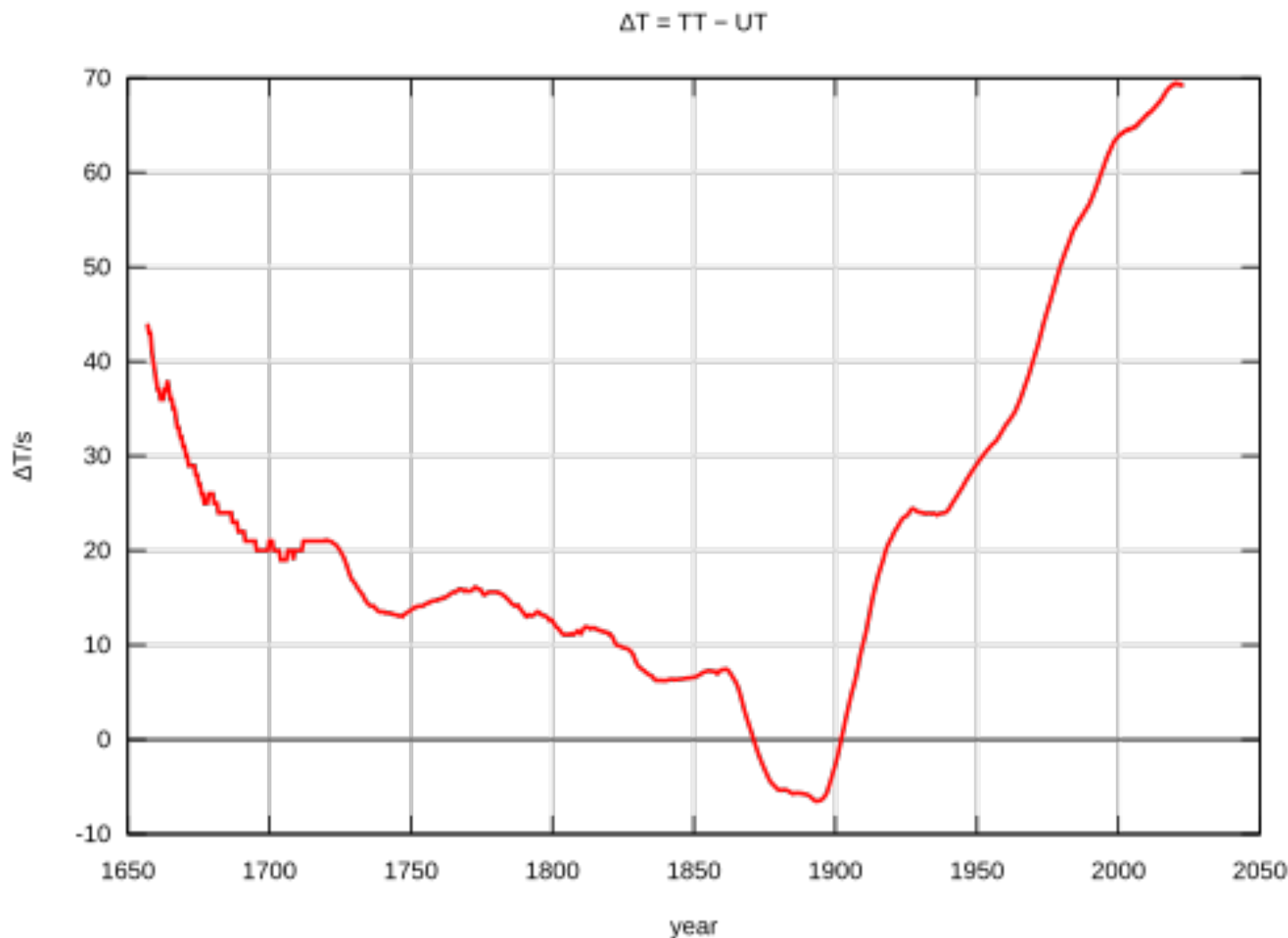
惑星（火星）が月によって掩蔽される現象の最古の観測記録は、紀元前357年5月4日にギリシャの哲学者アリストテレス（紀元前384年～322年）によって行われたものである。この観測により、彼は火星が月よりも遠くにあることを明確に実証した。



望遠鏡で見た火星が月によって隠される様子望遠鏡による（最近の観測）

Occult4によるアリストテレスの掩蔽予報の再現

ΔT – 掩蔽観測による地球自転の変動



この目的で利用可能な最も古い観測データは、**1623年7月5日**にパリ天文台で観測されたスピカの掩蔽である。原子時計から得られた時刻との比較は**1950年代**に始まった。

紀元前2000年頃からは、精度こそ低いものの、古い日食観測データを用いて ΔT が求められてきた。

地理的位置の測定

一時期、航海のために月食の観測が行われていたが、海上での経度測定には木星のガリレオ衛星の現象の方が有用であり、その後、これらはますます高精度な機械式クロノメーターに取って代わられた。

18th 世紀に行われたいくつかの掩蔽の時刻データは、天文観測（恒星通過の時刻測定、高度測定など）から決定された天文台の地理的位置の正確性を検証するために用いられた。

皆既日食および金環日食のシネマグラフィ（静止画を連続取得する）による観測は、**1920年代**、特に1946年から1954年にかけての日食において、**測地基準点を結びつける上で有望であることが初めて示されました。**

陸軍地図局(AMS)の拡張掩蔽観測プログラム、1955年～1966年

1950年代後半、AMSはプログラムを拡大し、北米、ハワイ、**日本**、**台湾**の測量システムを連携させて、多くの太平洋諸島の位置を特定しようと試みた。

このプログラムは極秘とされていた。これはカリフォルニアの試験場（ヴァンデンバーグ）からクワジェリン島などの島々へのICBM試験発射の精度を測定するために必要だったためである。

観測線に沿った月の縁の不確実性により、結果は期待ほど良好ではなく、1960年代後半には人工衛星測地学によるより精度の高い測定に取って代わられた。

このプロジェクトは1970年頃に機密解除され、プロジェクトの紙製海図記録や計算書などが収められた多数の箱は、当初は米国海軍天文台（USNO）、その後当施設の地下室に保管され、現在はメリーランド大学天文台に保管されている。

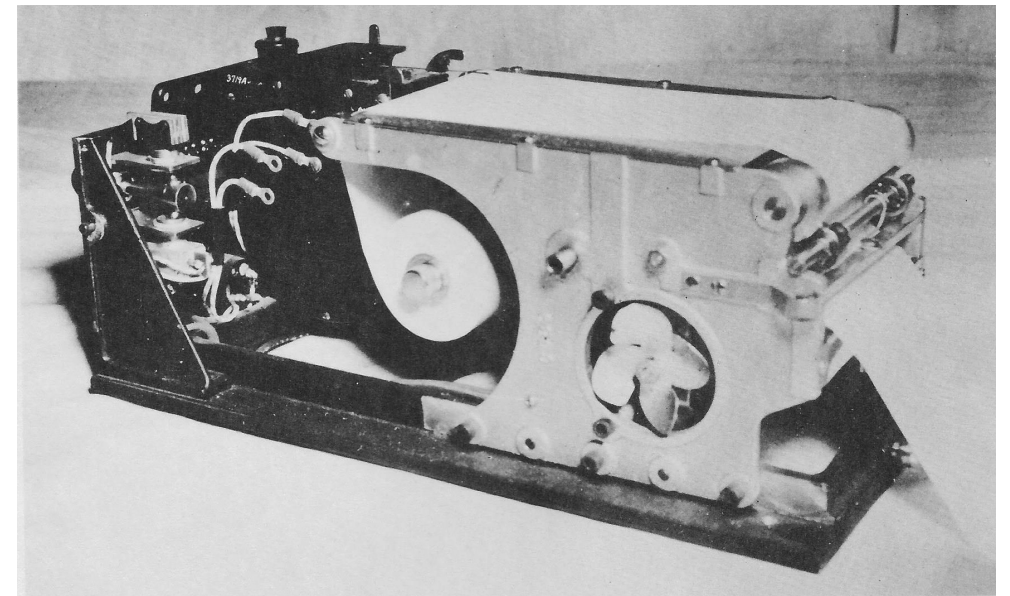
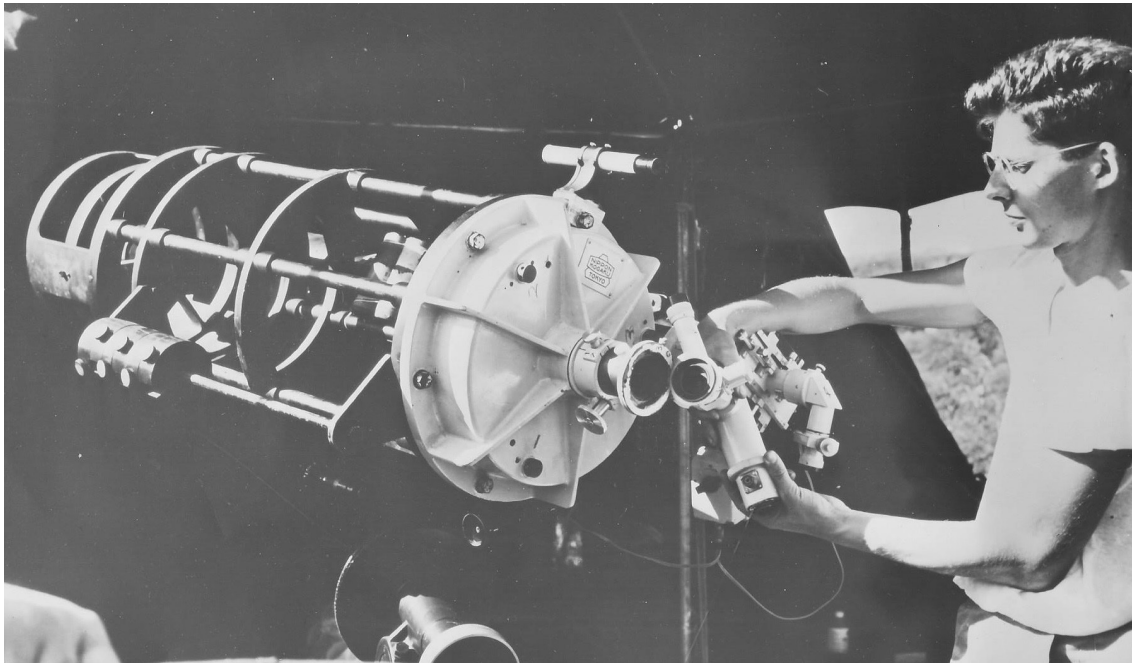


FIGURE 34.—View of oscillograph with cover removed and one pen unit taken out to show connections.

天文学への関心の始まり

幼い頃から、私は漠然と天文学に興味を持っていました。1950年代初頭、10歳頃、南カリフォルニアに住むボーイスカウトだった私は、砂漠へのキャンプ旅行で「北十字」を目撃し、空に描かれた星座の模様を認識したことを覚えています。

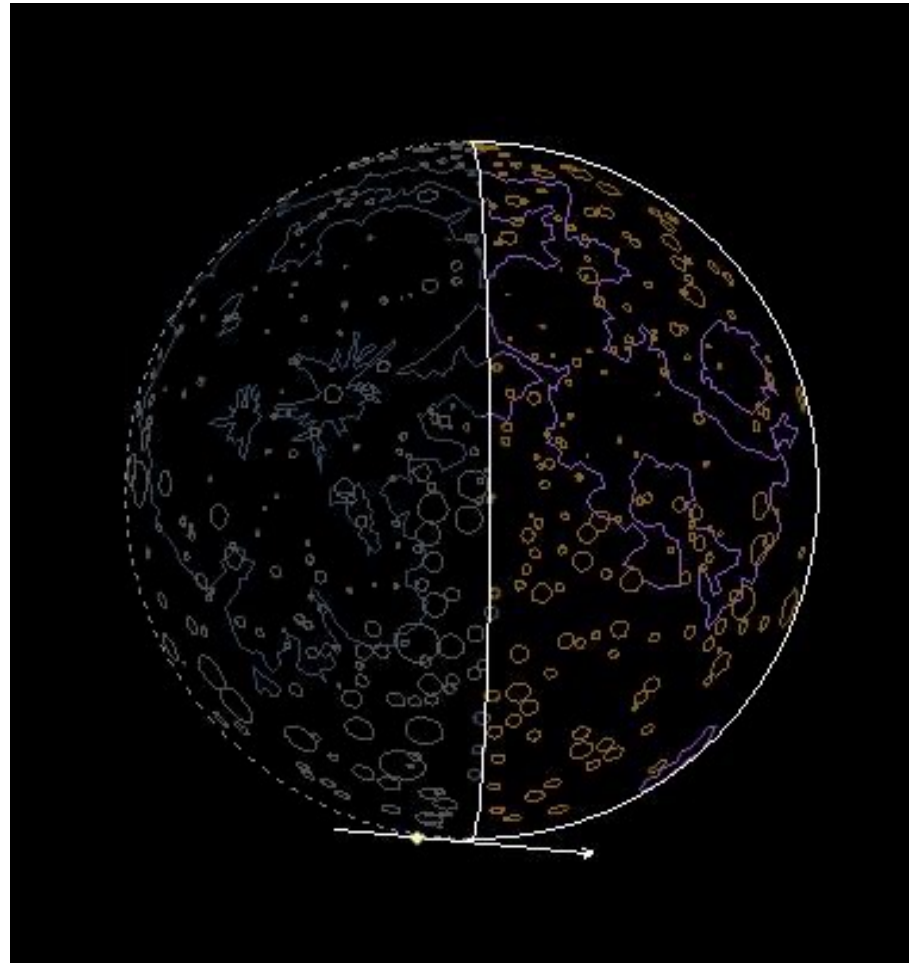
1954年と1955年、私はパキスタンのカラチに住んでいました。当時、土木技師だった父は、対外援助プログラムに携わっていました。メキシコまではわずか150kmの距離でしたが、両親にはそこへ行く気は全くなかったため、私が初めて訪れた外国は日本でした。カラチへ向かう途中の寄港地として横浜に立ち寄ったのです。

1954年6月と1955年6月には部分日食を目撃しましたが、私の興味を本当に掻き立てたのは、友人の完全版辞書を見たことでした。「星」の項目をめくったとき、300個近い名前がついた星のリストが載っているのを見て、驚嘆しました。私は、当時光害がほとんどなかったカラチの郊外にある、私たちが住んでいた場所の澄んだ砂漠の空で、できるだけ多くの名前のある星を見つけたいと決心しました。さらに詳しく学ぶために、星図や天文学の本をいくつか手に入れました。1955年12月、帰国途中にヨーロッパのさまざまな国を旅した際、独学で覚えたのと同じ星や星座を目にし、天文学は一生涯の追求(熱中するもの)になるのだと実感しました。

1957年10月29日にカリフォルニア州ラ・カニャダの自宅の裏庭で観測した、 β^1 Capricorni に続いて、 β^2 Capricorni の3.1等級の掩蔽が起こることを予想していた。しかし、実際には接近に留まり、太平洋標準時午後9時47分に最小距離5"を記録しただけだった。

その光景には驚かされました。月の動きが見え、その星はまるで月のライプニッツ山脈の上空を飛ぶ宇宙船のように見えました。それは天体の動きをリアルタイムで目撃した瞬間でした。

1957年10月29日に山羊座で起こった掩蔽現象



1957年10月29日の β^2 Capricorni の掩蔽の南限



なぜ予測されていたにもかかわらず、 β^2 Capricorniの食が観測されなかったのかと考えていました。その予測は私がいる場所の北西300 kmにある観測所を対象としたものであり、私より東500 kmにある別の観測所では現象が観測されないことに気づきました。そこで、南端付近の月の山脈によって星が複数回隠れる「接食」が起きているのではないかという考えが浮かびました。その地点は、私が観測した位置からわずか数km北にあるはずでした。誰かがそれらの軌道を計算してくれれば素晴らしいと思いましたが、自分にはそんな複雑なことは到底できないだろうとも考えていた。若さゆえ、将来の自分の能力を過小評価していたのです。

スプートニク1号、これも1957年10月



スプートニク1号は、
1957年10月4日にソビエト連邦が打ち上げた、
人類史上初の人工衛星

スミソニアン天体物理観測所の ムーンウォッチ・プロジェクト

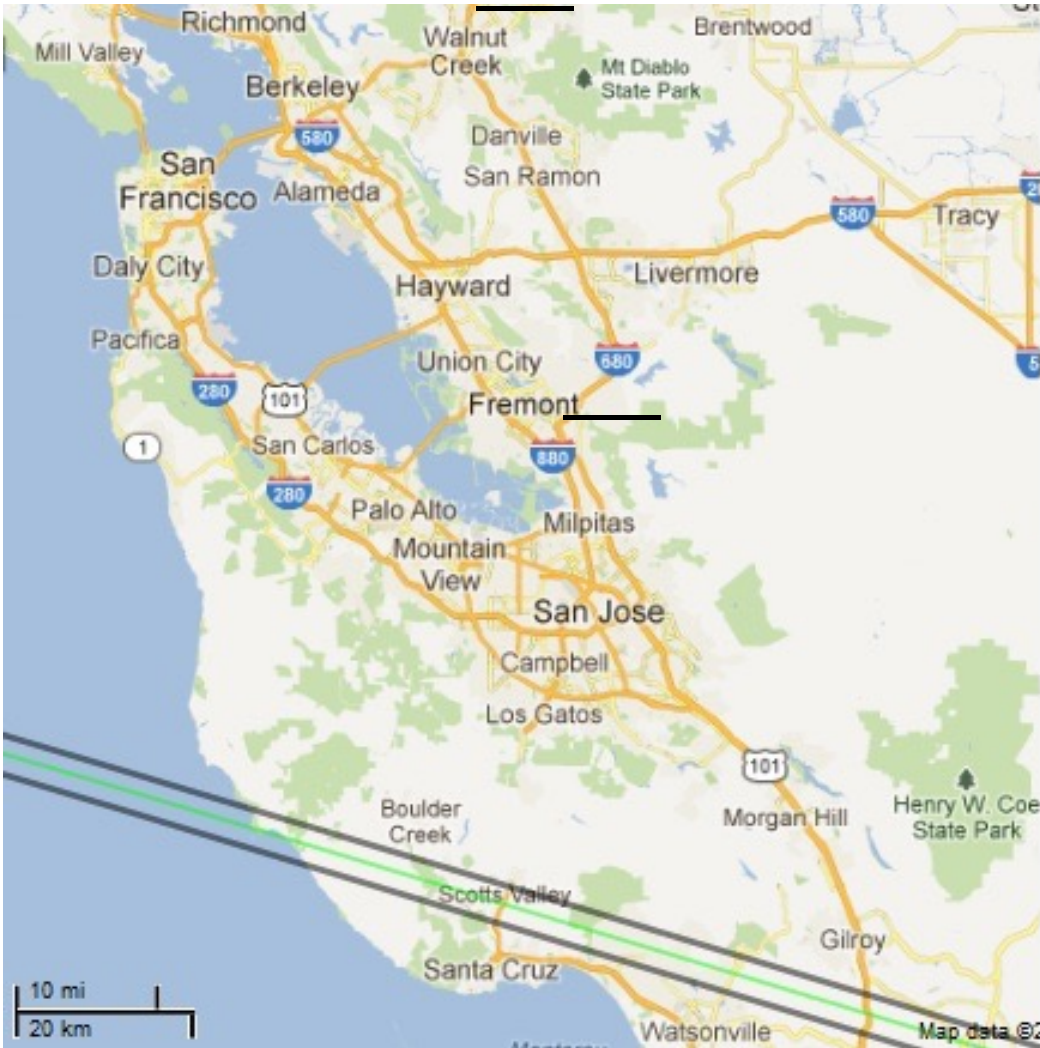


私はサクラメント・ムーンウォッチ・チームで、正確な視測による時刻測定と楕円軌道の基礎を学びました（父は1958年から1960年までカリフォルニア州政府に勤務していました）。これが、ISEE-3（初のハロー軌道ミッションであり、後に彗星を初めて探査したミッション）や、小惑星433エロスを周回・着陸した初のミッションであるNEARなど、斬新なスペースミッションの軌道計算に携わる私のキャリアの礎となりました。

ISEE-3 (International Sun-Earth Explorer 3)

ハロー軌道：宇宙力学におけるラグランジュ点 (L1、L2、L3) のまわりを周期的に周回する3次元的な軌道

1959年から1962年にかけてカリフォルニアで観測されたアルデバラン接食現象の最後の回は、1962年3月12日に発生しました。これが私の軌道計算の最初の試みでした。

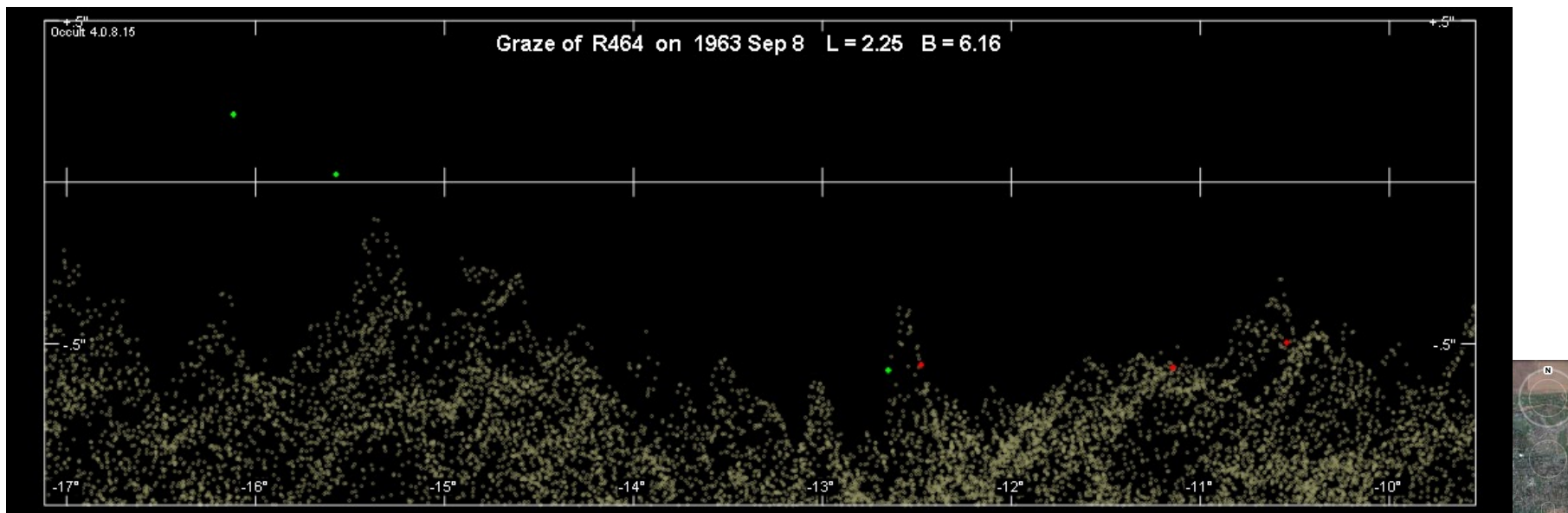


私はこの現象の直前に、カリフォルニア大学バークレー校で立体幾何学のコースを修了したばかりで、もしかしたらこの接食現象を計算できるかもしれないと気付きました。三角関数表と使い勝手の悪いマーチャント製計算機を使った手計算は予想以上に難しく、サンタクルーズ付近の接食軌道を導き出したのは、観測のわずか2時間前でした。車を持っていなかったのも、大学院生に車で連れて行ってもらおうよう頼みましたが、限界地点にはたどり着けませんでした。そこでパロアルト（**Palo Alto**）で車を止めて、私は急いで60mmの屈折望遠鏡をセットアップすると、明るい側にアルデバランがまるで蛇口から滴り落ちる雫のように現れました。これは限界地点に十分近く、星の視直径が見えるほどだと気づきました！
接食観測を追いかける戦いが始まった！

マーチャント製計算機
Marchant calculator

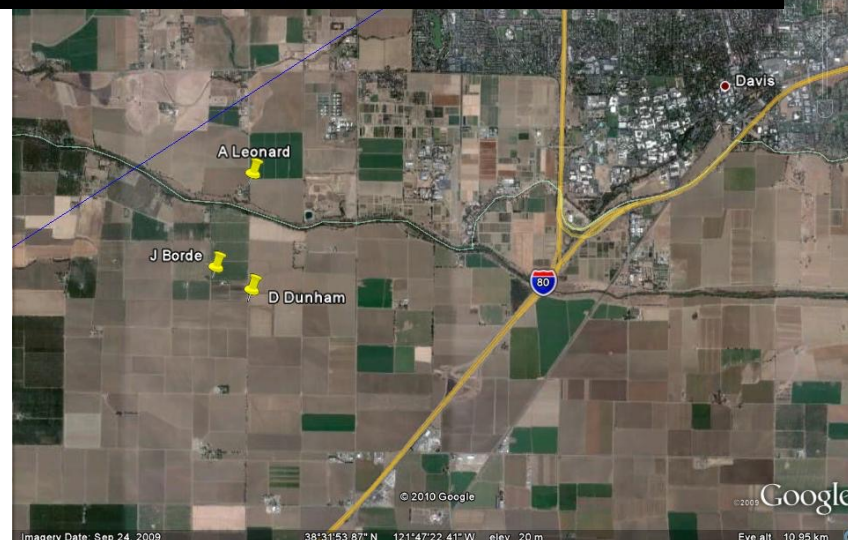


観測者が観測地まで赴いて初めて成功した月の暗縁での接食
1963年9月8日、6.1等星ZC 464の接食（カリフォルニア州デビスにて）。



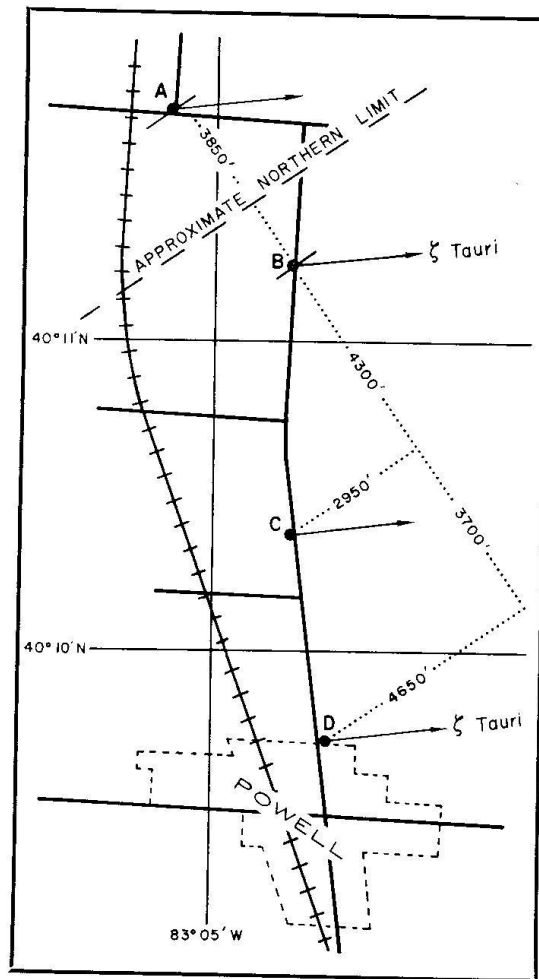
ついに、**cusp angle 15N**、月面の72%が日照されているこの接食で、正確な観測時刻が記録されました。

これは、2010年のIOTA会議でデイブ・ゴルト氏（Dave Gault）が現在の接食アーカイブについて行った発表から引用したものです。



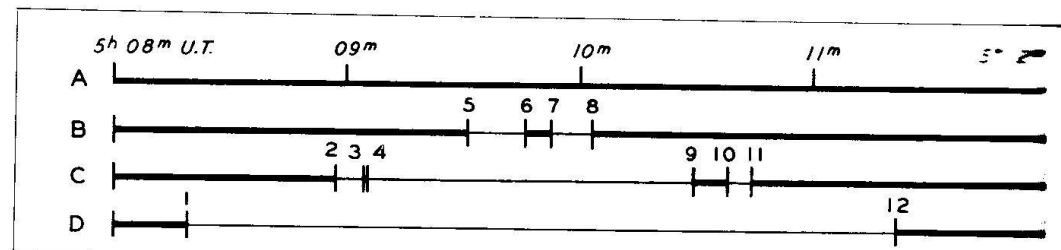
これは、1963年10月8日のゼータ・タウリの接食に関する記事（『S&T』1963年12月号掲載）の2ページの記事のうちの2ページ目（370ページ）です

この初期の出版物における成功の報告がきっかけとなり、全米各地で、自分たちの地域で接食現象の観測が始まりました。



near the predicted geographical limit.

Early on the evening of October 7th, the following members of the Columbus society gathered with telescopes and other equipment: Barnett Golding, John Kissel,



Charles Legg, Larry Ochs, Mike Peugh, Dan Sagstetter, and Steve Yanocek. Allen Austin, Butch Hall, and John Morris of the Worthington High School Astronomy Club, and Dan McGrath of Bishop Watterson High School in Columbus, also joined our group.

We observed with a 6-inch refractor and two 6-inch and one 4-inch reflectors. A two-man team recorded CHU time signals on tape, while the other groups had

OBSERVED CONTACT TIMES

Contact (see chart)	Universal time*	Station on Map
1	5 ^h 08 ^m 19 ^s .5	D
2	5 08 57.2	C
3	5 09 04.5	C
4	5 09 05.0	C
5	5 09 31.1	B
6	5 09 45.8	B
7	5 09 52.8	B
8	5 10 03.1	B
9	5 10 29.0	C
10	5 10 38.0	C
11	5 10 44.0	C
12	5 11 21.5	D

*Italics denote disappearances, all others are reappearances.

a timekeeper, observation recorder, observer.

As the predicted time of contact approached, one observer thought the moon was missing Zeta, for the illuminated portion of its disk had already passed the star, creating the illusion that the dark part was also missing. However, the star had not reached the predicted contact position, angle, and his location eventually proved to be a proper one.

The southernmost station, D, had a simple occultation lasting 3^m 05^s, as shown in the accompanying diagram and table. There was a deep graze at C, where Zeta Tauri was hidden three times for 1^m 47^s. The observer at B, near the northern limit, saw two disappearances in 12 seconds. Zeta was not occulted at A, north of the predicted limit.

Our society has additional information available to interested persons. We would also like to hear from other successful observers of this occultation.

BARNETT GOLDING

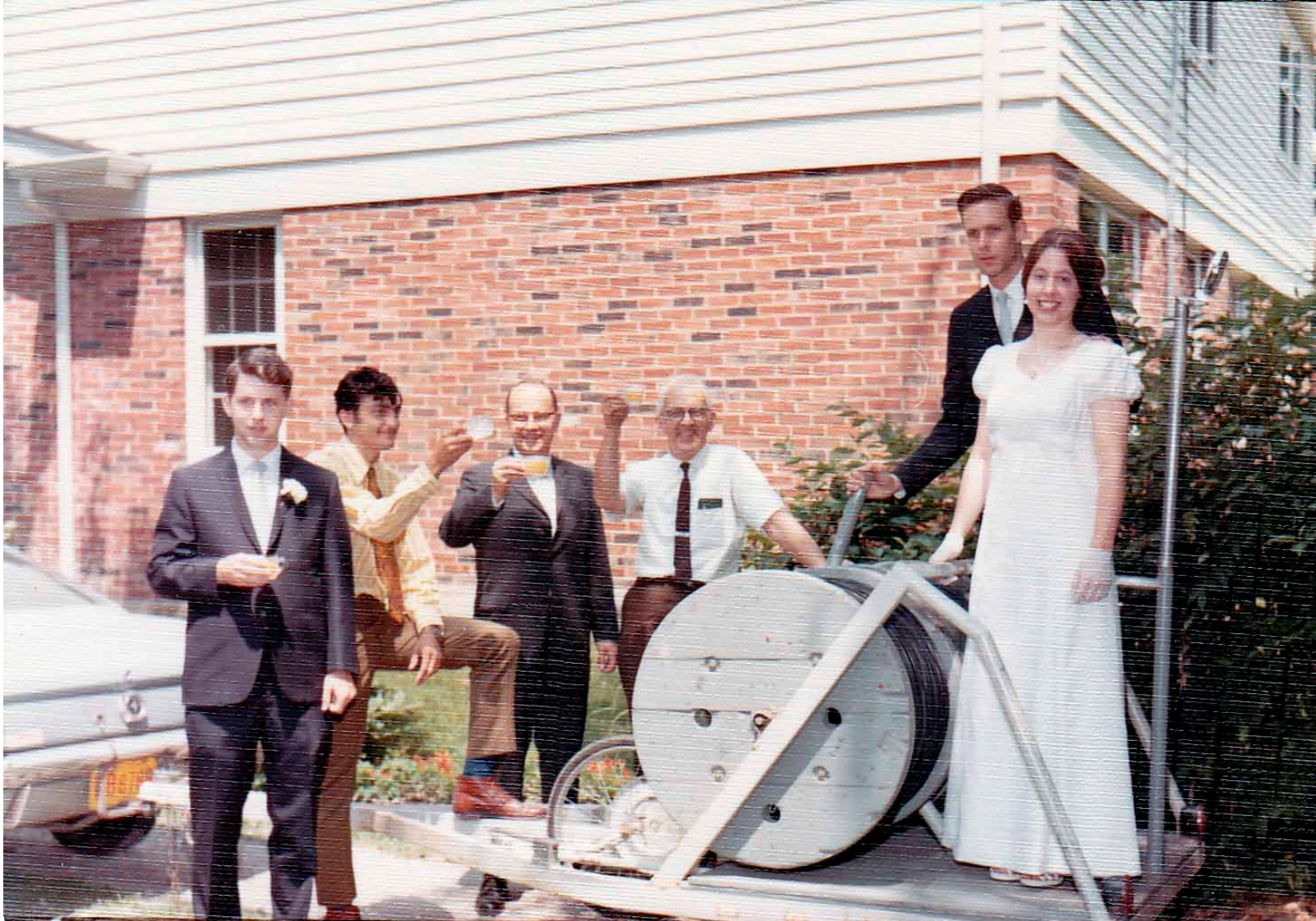
111 Richards
Columbus, Ohio

1965年から、接食の観測のためのケーブルシステムが開発され始めました。最初は米国海軍天文台（USNO）で、その後、カリフォルニア州の3つの天文クラブ（リバーサイド、サンタバーバラ、マウント・ディアブロ天文協会）、ウィスコンシン州ミルウォーキーで。



これは1966年にリバーサイド天文協会が砂漠へ行った観測遠征の様子です。白いジャケットを着ているのが私です。観測は肉眼で行われ、中央観測所で音響信号が記録されました。

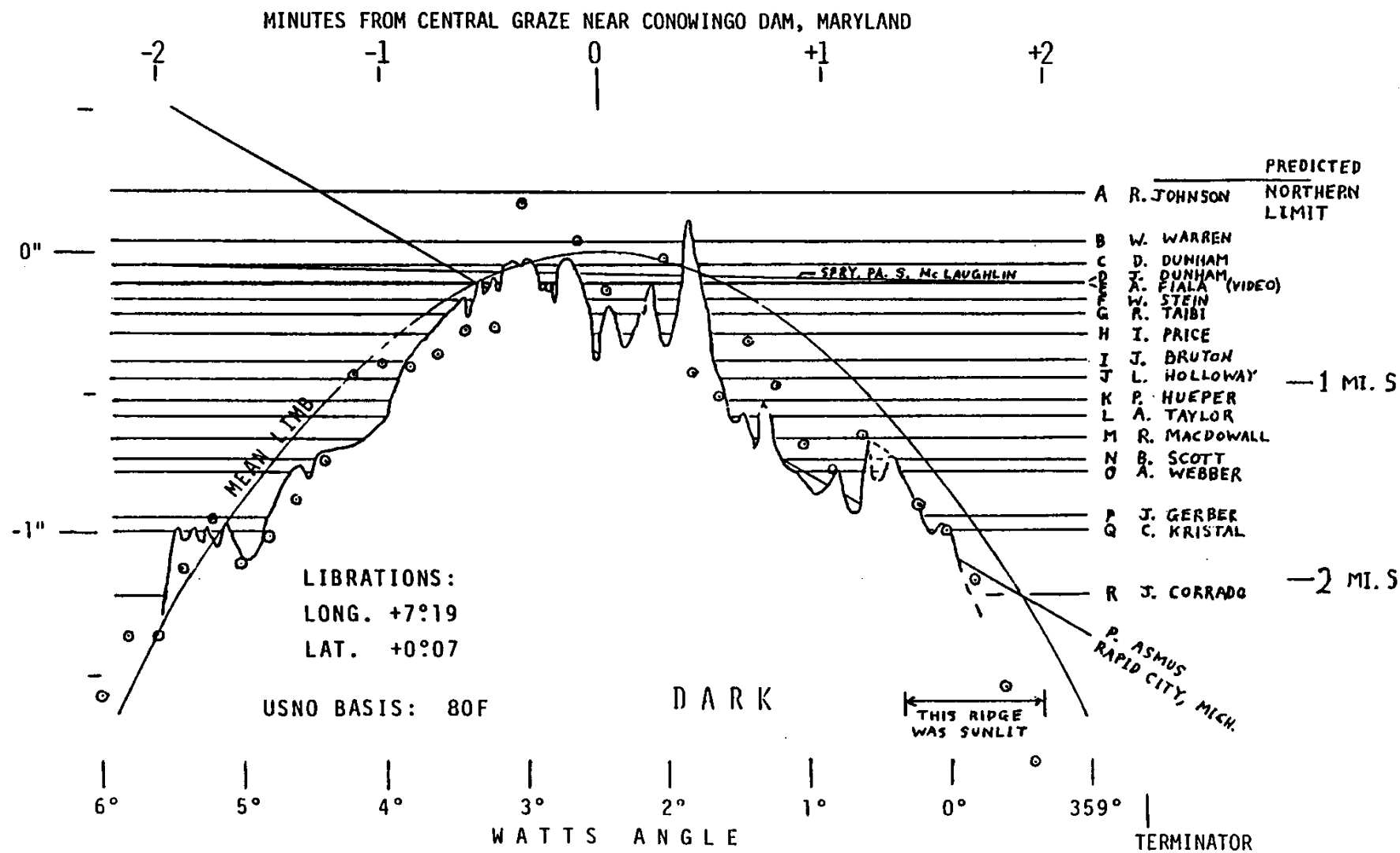
1970年7月11日、イリノイ州ハイランドパークでの結婚式で、ミルウォーキー・ケーブル社のトレーラーの上に立つ私たち



左から順に、トム・ヴァン・フランドーン（Tom Van Flandern）、ロナルド・アビレア（Ronald Abileah）、ホーマー・ダボール（Homer DaBoll）、エドワード・ハルバッハ（Edward Halbach）、デビッドとジョーン・ダナム（David and Joan Dunham）。

5年後、この場所でH. ダボール（H. DaBoll）、ビューロン・スティーブンス（Buron Stevens）、ジョン・フェルプス（John Phelps）、そして私によって、予報や『Occultation Newsletter』の郵送費用を賄うための会費制組織としてIOTAが設立されました。

かに座デルタ星の接食観測による月の輪郭—1981年5月9日～10日
 米国海軍天文台（USNO）のアラン・フィアラ（Alan Fiala）は、この接食中に発生した複数の現象を初めてビデオ録画し、7つの「D（潜入）」と7つの「R（出現）」を捉えた



2年後、IOTAは
 テキサス州で正式に法人化され、501c条項に基づく教育・科学研究団体として免税資格を取得した。

丸点は、ワッツ（Watts）が予測したリム補正值

Link: <https://vimeo.com/209854850>

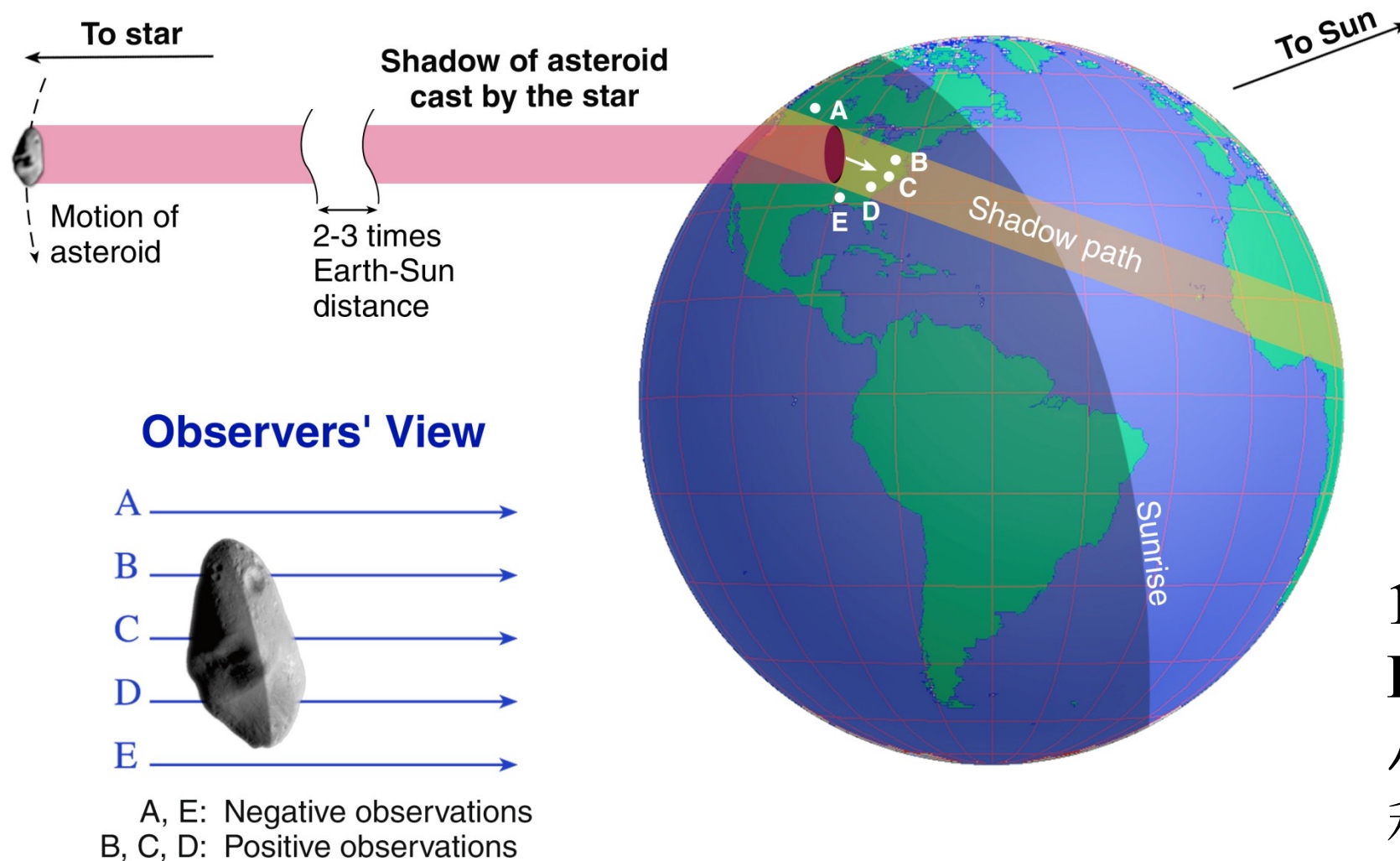
Grazing Occultation of Aldebaran

March 5, 2017 4:16 UT

5つの観測地点から得られた驚くべき同期映像
@カナダ・オンタリオ州ミシサガ
作成：アンドレアス・ガダ（Andreas Gada）



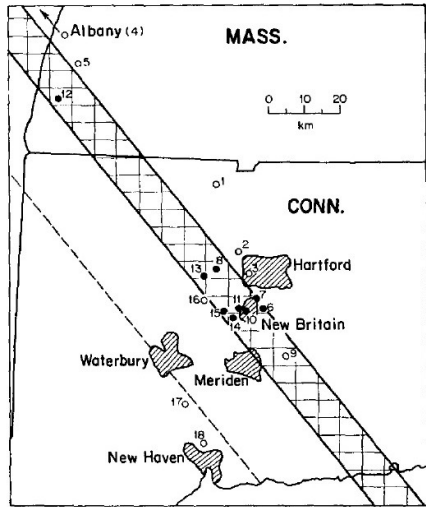
Geometry of an Asteroid Occultation



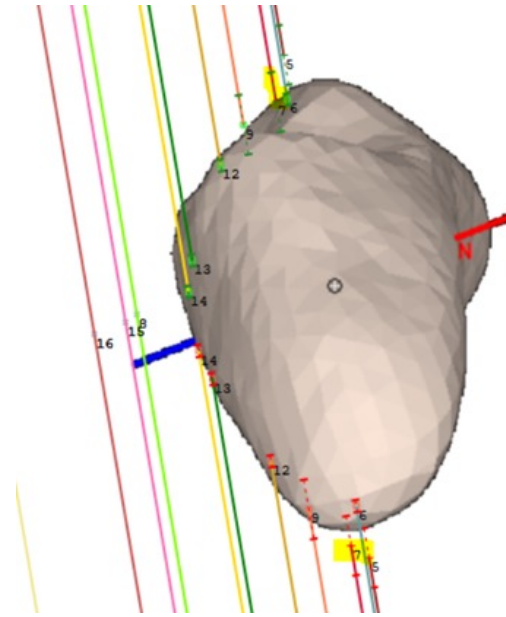
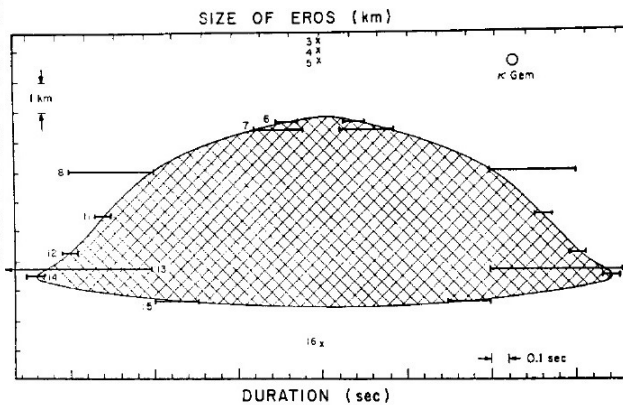
1970年代後半から、
IOTAはその焦点を
小惑星の掩蔽観測へと
移した

近地球小惑星による最初の掩蔽観測

1975年1月24日、エロス(Eros)によるふたご座κ星の掩蔽



O'Learyら著、
『Icarus』第28巻、pp.
133-146 (1976)



これは、初めて成功した
移動式多地点小惑星掩蔽観測
キャンペーンであり、米国コ
ネチカット州およびマサチュ
ーセッツ州で実施された。

5	M. McGrath, ne
6	R. Gurka, near
7	P. Backus, nes
8 (M)	F. Jettner, ne
9	R. Dragon, nes
12	D. R. Morrisor
13	D. Yard, near
14	Phil Dombrowsk
15 (M)	H. Schwartz, r
16 (M)	C. Boccadoro,

左図は、1976年の『Icarus』誌の論文に掲載された観測者配置図および天球面プロット。右図は、NEAR-Shoemakerのデータから導出されたエロスの形状モデルに合致する弦を用いた、現代の天球面プロット。これは、初めて、複数の観測点から観測された小惑星による掩蔽現象でした。特に、ブライアン・オリアリー（Brian O'Leary）が率いるパイオニア・バレー・カレッジ群が展開した観測点は、移動式観測者によるこのような現象の観測において、初めて成功した協調的な取り組みでした。この観測結果（現在は偽陰性と判明している）から、オリアリーらによって示されたのは誤った扁平な形状でした。この後、別の近地球小惑星（NEO）による掩蔽が観測されるまでには、44年の歳月を要しました。