

小惑星(3200)ファエトンの軌道と掩蔽予報

~なぜ函館になったのか~

佐藤 勲

史上初のファエトンによる掩蔽

小惑星(3200)ファエトンは、ふたご座流星群の母天体で、1.4年の公転周期で太陽の周りを回っているアポロ型の特異小惑星である。近日点距離は水星より太陽に近く、表面温度は700°Cにも熱せられる。そしてこの天体は、彗星のなれの果てなのか、それとも小惑星なのか、ナソに包まれた天体でもある。

そこでJAXAは、2020年代にファエトンに探査機をランデブーさせて観測するDESTINY+計画を立てているが、このミッションを成功させるために、実際に探査機による接近観測が行われる前に、地上からこの天体を詳しく観測することは、とても重要なことである。ファエトンは、2017年末に地球に接近し、この際に多くの観測が行われた。特にレーダー観測からは、この天体の3次元モデルが得られ、ソロバン玉のような形をしていることがわかったが、表面の反射率がよくわからないため、実際の大きさがどれくらいなのか、よくわかっていない。この天体の真の大きさと形を直接知る方法として、小惑星による恒星食(掩蔽)の観測がある。そしてこれまで、実際に探査機が到達する前に、(1)ケレス、(4)ベスタ、(433)エロス、(134340)冥王星、(486958)2014UM69などによる恒星食が観測され、実際の大きさと形が明らかにされたことがある。

ファエトンの推定直径は5kmと小さいため、掩蔽の継続時間が0.5秒程度以下と短く、また軌道の誤差も大きいと、これまでは恒星の掩蔽を十分な精度で予報して観測することは困難だったが、最近、位置天文衛星ガイアのカatalogがリリースされて、恒星の位置精度が極めて高精度になり、それによる恒星の掩蔽が現実的に観測可能なほどに予報の精度が向上した。実際問題としては、ビデオレート(1/30秒)で観測してファエトンの大きさを10%の精度で求めるには、掩蔽の継続時間が0.3秒以上、5%の精度で求めるには0.6秒以上必要となるが、このような条件を満たす現象としては、今年7月29日にアメリカ西部で見られる7等星の食と、8月21日に日本で見られる12等星の食が注目されている。以下、この現象の詳しい予報の計算について述べる。

非重力効果と相対論効果

ファエトンは、1983年に赤外線天文衛星「アイラス」によって発見された。その軌道は彗星のように離心率の大きな楕円で、近日点距離は0.19auと水星より太陽に近い。それまで、流星群の母天体は彗星であると考えられてきたが、ふたご座流星群の母天体であるファエトンは、見かけ上はコマのない小惑星状であったため、彗星が太陽に何度も接近して干からびてしまったのであろうと考えられてきた。しかし、近年、詳しい観測が進むにつれ、もともと彗星ではなく、小惑星起源であるとする説が有力となっている。



彗星か小惑星かを問わず、流星物質を放出している以上、その軌道には、ジェットの放出の反作用で軌道がずれる非重力効果が見られるはずである。また、水星より太陽に近づくため、太陽の重力による一般相対性理論の効果も現れる。実際に、ファエトンの軌道を分析すると、非重力効果や相対論効果を考慮した場合とそうでない場合とでは、軌道フィッティングの残差や掩蔽の予報にかなりの違いが生じる。

まず、非重力効果も相対論効果も入れない(純ニュートン的な)場合、発見以来約 5000 個ある光学位置観測のフィッティング後の平均残差は 1.3"であり、そのモデルによる 8 月 21 日の現象の予報掩蔽帯は、青森県内を通る予報となる。しかし、小惑星の軌道の残差は通常 0.5"以下となるので、軌道のフィッティングは悪いと言わざるをえない。これに非重力効果を入れると、残差は 0.4"と小さくなり、非重力係数 A1 が SN 比 100 以上で決定されるので、明らかに非重力効果があると言える。これによる予報掩蔽帯は長万部付近を通るものとなる。一方、相対論効果を考慮した場合、平均残差は 1.0"で掩蔽帯は札幌付近、さらに非重力効果も入れた場合は、平均残差は 0.4"で苫小牧付近を通る予報となる。

しかし、7 月 29 日にアメリカのカリフォルニアなどで見られた 7 等星の掩蔽で、実際に観測された掩蔽帯の位置は、これらの 4 通りのモデルから予報されたもののどれにも一致しなかった。それどころか、ジェット推進研究所(JPL)が最終的に発表した軌道要素には、非重力効果を含まないモデルが採用されていて、それによる予報がよく合っていたのである。これは一体どういうことなのだろうか。

ファエトンの不思議な軌道

19 世紀、水星の軌道には、ニュートン力学では説明できない不思議な現象が知られていた。それは、水星の近日点がニュートンの万有引力の法則から計算されたものより 100 年間に 10"も前進するというものであった。この水星の近日点移動の問題は、水星の内側にバルカンという未知の惑星があるからではないかと考えられ、皆既日食の際に詳しく搜索されたが、見つからなかった。

1915 年にアインシュタインが一般相対性理論を発表すると、水星の近日点移動や太陽の重力レンズ効果などが予言され、1919 年にはエディントンが皆既日食の観測で実際に重力レンズ効果を検出したのである。

その水星より太陽に接近するファエトンに、一般相対論の影響は欠かせない。非重力効果も間違いなくある。しかし、非重力効果を入れて計算すると合わない。この矛盾した結果は、ファエトンに何が起きているのかを読み解く上で、重要な手がかりを与える。

2019. 7. 29. (Mon) 11h12m UTC HIP 024973 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km	Star :	R.A.2000 = 05h20m54.72927s \pm 0.0004"
= 0.007"		Dec.2000 = +40°53'05.3690" \pm 0.0003"
error = 0.005"	Mv. = 7.27 mag	
Mv. = 16.4 mag	Sp. type = B9	
Vra = -848"/day	Var. = 7.29- 7.32 mag	
Vdec = +1097"/day	Sep. =	
dist. = 0.95189au	PA =	
type = Apollo	dmag =	
Sun : elong. = 46°	Partial duration =	
Moon : elong. = 21°	Diffraction 1/4 time = 0.018 sec	
sunlit = -10 %	Extinct. : Dur. = 0.5 sec	
Cond. : score = 66 pt.	drop = 9.1 mag	
Visibility : centerline = 52.83%	\pm 0.5sigma = 28.23%	\pm 2.0sigma = 2.25%
+0.5 r = 50.03%	\pm 1.0sigma = 15.13%	\pm 2.5sigma = 0.62%
N/S edge = 42.50%	\pm 1.5sigma = 6.52%	\pm 3.0sigma = 0.13%

11h03m40s - 11h21m20s step 1 min.

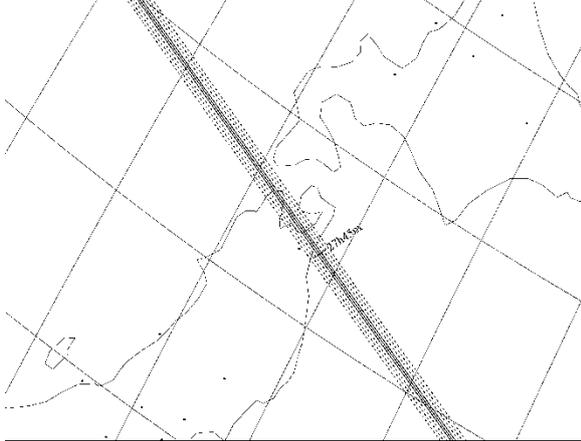


【7月29日にアメリカ西部で見られた HIP024973(7.3等)の掩蔽帯】

まず、ファエトン彗星ではなく、小惑星であると考えられている。そのため、彗星のように常時ジェットを吹いているのではなく、強烈に熱せられる近日点付近でのみ瞬間的にジェットを放出すると考えられている。実際、その仮説を支持する観測結果もある。とすれば、普段は非重力効果は働かず、まるでロケットがエンジンを瞬間的に吹かして別の軌道に遷移するようなイメージであると考えればよい。そうすれば、長期間では非重力効果が見られるのに、掩蔽の前後の短期間では非重力効果が働かないという矛盾を解決することができる。

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

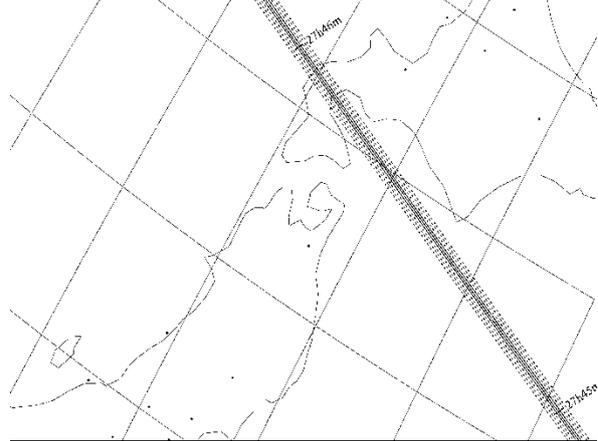
Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s + 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.005" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type = - mag
 Vra = -627"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. = - mag
 dist. = 1.00553au PA = - mag
 type = Apollo dmag = - mag
 Sun : elong. = 71° Partial duration = - mag
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 53 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 50.56% ±0.5sigma = 27.76% ±2.0sigma = 2.24%
 +0.5 r = 48.10% ±1.0sigma = 14.97% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 41.41% ±1.5sigma = 6.47% ±3.0sigma = 0.13%



【非相対論的、非重力なしの場合】

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s + 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.004" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type = - mag
 Vra = -627"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. = - mag
 dist. = 1.00554au PA = - mag
 type = Apollo dmag = - mag
 Sun : elong. = 71° Partial duration = - mag
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 54 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 60.65% +0.5sigma = 29.49% +2.0sigma = 2.26%
 +0.5 r = 56.49% ±1.0sigma = 15.53% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 45.60% ±1.5sigma = 6.61% ±3.0sigma = 0.13%



【非相対論的、非重力ありの場合】

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s + 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.008" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type = - mag
 Vra = -627"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. = - mag
 dist. = 1.00554au PA = - mag
 type = Apollo dmag = - mag
 Sun : elong. = 71° Partial duration = - mag
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 51 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 33.15% ±0.5sigma = 22.11% ±2.0sigma = 2.06%
 +0.5 r = 32.44% ±1.0sigma = 12.70% ±2.5sigma = 0.58%
 N/S edge = 30.41% ±1.5sigma = 5.76% ±3.0sigma = 0.13%



【相対論的、非重力なしの場合】

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s + 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.004" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type = - mag
 Vra = -627"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. = - mag
 dist. = 1.00554au PA = - mag
 type = Apollo dmag = - mag
 Sun : elong. = 71° Partial duration = - mag
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 54 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 60.65% +0.5sigma = 29.49% +2.0sigma = 2.26%
 +0.5 r = 56.49% ±1.0sigma = 15.53% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 45.60% ±1.5sigma = 6.61% ±3.0sigma = 0.13%



【相対論的、非重力ありの場合】

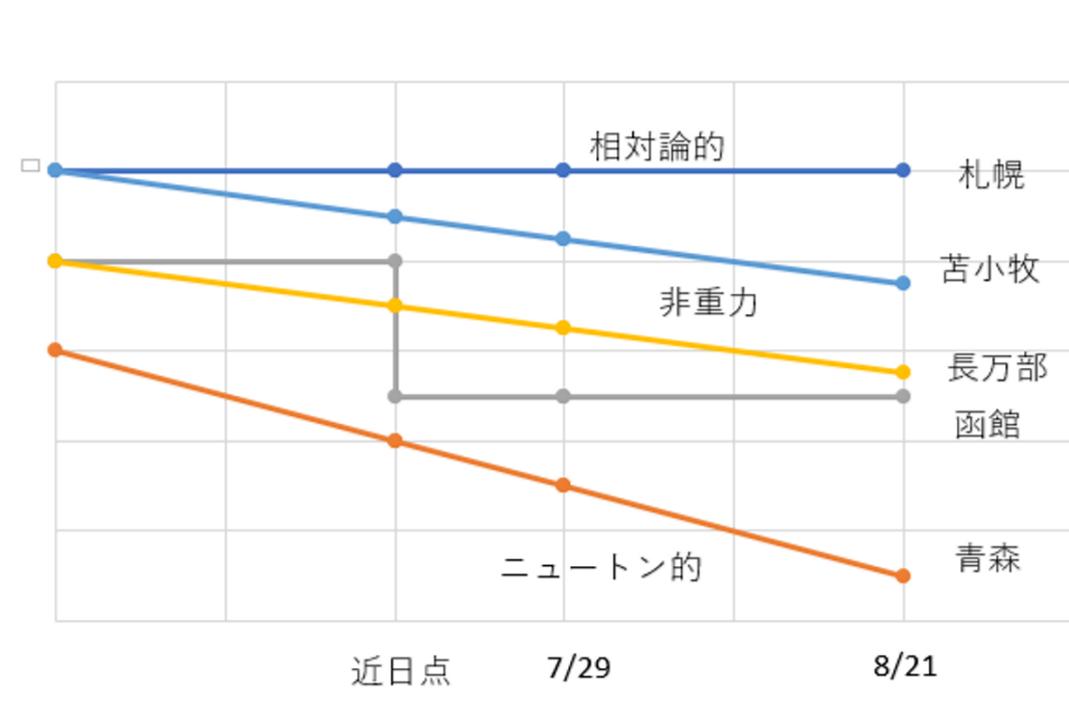
なぜ函館なのか

7月29日にアメリカ西部で見られた7等星の掩蔽は、史上初にして当面最も明るい恒星のファエトンによる掩蔽であり、最初にこのような好条件の現象が起こったことは、極めて幸運だった。この現象は、国際掩蔽観測協会(IOTA)のメンバーらによって、どこを通っても大丈夫というくらいの大規模な布陣が敷かれ、結果的に5か所で観測に成功して、直径約5kmの断面が明らかにされた。この際にJPLによって発表された軌道要素は、前述の4通りのモデルのどれとも違っていった。その理由は、ファエトンは近日点付近でジェットを吹くたびに、ロケットのように違う軌道に遷移するので、一つの軌道要素で全体をうまく表現することができないからである。

そこで、JPLが発表した7月29日元期の軌道要素を出発点として、8月21日に日本で見られる現象の予報を計算してみると、非重力も相対論も入れない場合は青森県を通るのに対し、非重力効果を入れると八雲付近を、相対論効果を入れると函館付近を通る予報となる。そこで、相対論あり非重力なしのモデルを採用すべきなので、最終的に掩蔽帯は函館付近を通るものと予想されたのである。すなわち、青森と函館の差は、相対論効果によるものである。

このように、筆者が函館予想を出したのは7月25日のことだったが、実際に青森県内を予定していた遠征計画が変更されたのは、8月7日以降のことである。その背景には、計画責任者がアメリカの予報ばかりを信用していたことがある。しかし、筆者は、ずっと以前からプレストン予報には相対論が入っていないという欠陥があることに気が付いていたので、その予報は信用できないと考えていた。

掩蔽帯が津軽海峡を越えたことは、車で遠征を計画していた人にとっては、時間とお金をかけてフェリーに乗らなければならないことになり、ハードルが高くなって、北海道への遠征をあきらめた観測者もいた。



【予報掩蔽帯のズレの概念図】

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s ± 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.010" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type =
 Vra = -627"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. =
 dist. = 1.00553au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 71° Partial duration =
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 50 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 28.81% ±0.5sigma = 19.06% ±2.0sigma = 1.91%
 ±0.5 r = 26.44% ±1.0sigma = 11.27% ±2.5sigma = 0.55%
 N/S edge = 25.34% ±1.5sigma = 5.24% ±3.0sigma = 0.12%

27h30m40s - 27h51m50s step 1 min.



【非相対論的、非重力なしの場合】

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s ± 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.004" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type =
 Vra = -630"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. =
 dist. = 1.00552au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 71° Partial duration =
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 54 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 60.65% ±0.5sigma = 29.49% ±2.0sigma = 2.26%
 ±0.5 r = 56.49% ±1.0sigma = 15.53% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 45.60% ±1.5sigma = 6.61% ±3.0sigma = 0.13%

27h31m10s - 27h52m30s step 1 min.

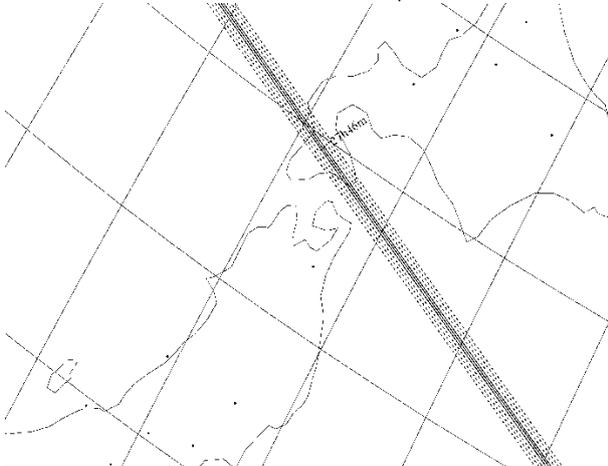


【非相対論的、非重力ありの場合】

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s ± 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.005" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type =
 Vra = -626"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. =
 dist. = 1.00554au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 71° Partial duration =
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 53 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 50.56% ±0.5sigma = 27.78% ±2.0sigma = 2.24%
 ±0.5 r = 48.10% ±1.0sigma = 14.97% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 41.41% ±1.5sigma = 6.47% ±3.0sigma = 0.13%

27h31m20s - 27h52m40s step 1 min.



【相対論的、非重力なしの場合】

2019. 8. 21. (Wed) 27h41m JST
UCAC4 160564245 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 05h00m23.86574s ± 0.0003"
 = 0.007" Dec.2000 = +46°55'53.6333" ± 0.0002"
 error = 0.004" Mv. = 11.73 mag
 Mv. = 16.9 mag Sp. type =
 Vra = -626"/day Var. = - mag
 Vdec = +886"/day Sep. =
 dist. = 1.00554au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 71° Partial duration =
 Moon : elong. = 50° Diffraction 1/4 time = 0.022 sec
 sunlit = -68 % Extinct. : Dur. = 0.6 sec
 Cond. : score = 54 pt. drop = 5.2 mag
 Visibility : centerline = 60.65% ±0.5sigma = 29.49% ±2.0sigma = 2.26%
 ±0.5 r = 56.49% ±1.0sigma = 15.53% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 45.60% ±1.5sigma = 6.61% ±3.0sigma = 0.13%

27h31m20s - 27h52m40s step 1 min.



【相対論的、非重力ありの場合】

8月21日の現象の直前にJPLが発表した8月21日元期の軌道では、掩蔽帯はやや北側の大沼公園付近を通る予報となっていた。しかし、この軌道要素を使って直近の光学位置観測の残差を調べてみると、南へずれている傾向がみられたため、この予報より南へずれるだろうと予想された。このため、函館市内と大沼公園の間はどこかを通るので、その間に均等に布陣すべしという提案をおこなった。そして最終的な予報は、ほぼこの予想に沿ったものとなった。

日本海側の方が晴れる

だか、お盆を過ぎると東北地方には秋雨前線が停滞して晴天率が下がるという例年の傾向もあった。この時期、風は南東方向から吹くため、山脈の東側に風がぶつかって雨が降りやすく、日本海側の方が晴れやすい。台風が接近した8月15日には、フェーン現象によって山形県鶴岡市で今年最高の40.4℃を記録していた。現象の前日も、函館山がかすむくらいの低い雲が立ちこめ、停滞前線特有の細かい雨が降っていた。このため、このまま函館付近で布陣しても晴れないと考え、西側の日本海岸沿いに変更することが検討された。この地域は山がちで平地が少なく、望遠鏡を展開するのに適した場所が少ないと考えられたが、結果的には十分な数の観測ポイントを確保することができた。

結果的には、この地域でも雲が多くて観測には成功しなかったが、観測地の選定にはベストが尽くされ、正しい選択だったと考えている。

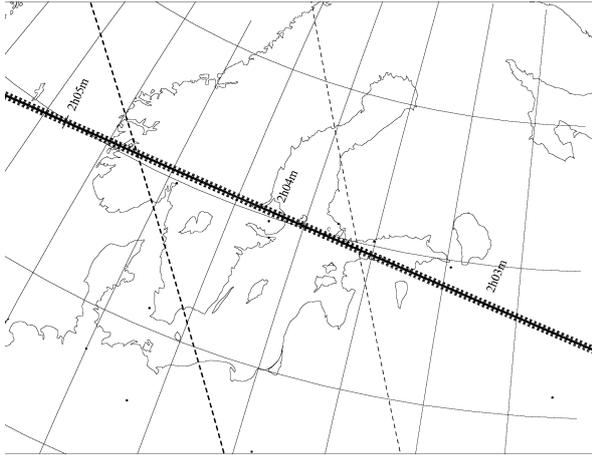
今後の予報

史上最小クラスの直径5kmというファエトンによる掩蔽は、その観測の難しさから、これまで予報も観測もされてこなかったが、今回観測に成功したことから、一躍注目される現象となった。今後の現象としては、今年9月13日に北欧で、9月14日にアメリカのフロリダとメキシコで、それぞれ0.4秒間の現象が予報されている。日本でも、10月15日と16日に東日本でわずか0.2秒間の現象が見られる。これ以外にも現象は多数起こるが、0.3秒以下の現象では、たとえ観測されてもその大きさや形を十分な精度で求めることは難しく、また予算も限られているため、観測すべき現象を選択することが重要となる。

来年は、注目すべき現象はなく、2021年以降になる。また、7等星という明るい星の掩蔽も2029年までは起こらない。晴天率が高く、アクセスしやすい場所で起こる、なるべく明るくて継続時間の長い現象に注目することが重要となる。

2019. 9. 13. (Fri) 02h10m UTC
TYC 334100182 by (3200) Phaethon

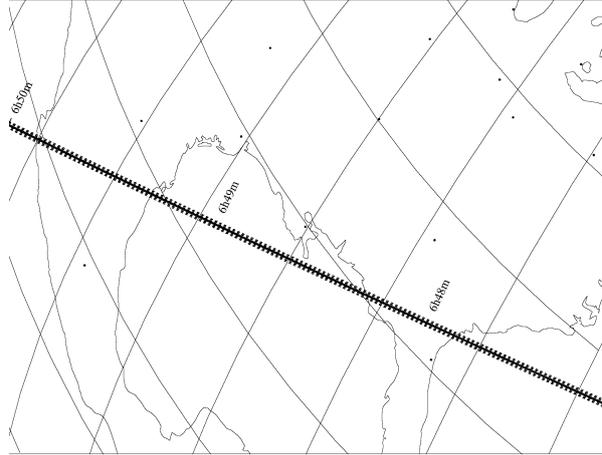
Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 04h20m31.19446s ± 0.0010"
 = 0.007" Dec.2000 = +52°11'27.4028" ± 0.0010"
 error = 0.005" Mv. = 9.31 mag
 Mv. = 17.0 mag Sp. type =
 Vra = -1565"/day Var. = - mag
 Vdec = +733"/day Sep. =
 dist. = 0.96112au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 96° Partial duration =
 Moon : elong. = 96° Diffraction 1/4 time = 0.014 sec
 sunlit = +99 % Extinct. : Dur. = 0.4 sec
 Cond. : score = 62 pt. drop = 7.7 mag
 Visibility : centerline = 51.70% ±0.5sigma = 28.00% ±2.0sigma = 2.24%
 +0.5 r = 49.08% ±1.0sigma = 15.05% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 41.97% ±1.5sigma = 6.50% ±3.0sigma = 0.13%



【9月13日に北欧で見られる9等星の掩蔽帯】

2019. 9. 14. (Sat) 06h43m UTC
UCAC4 166165564 by (3200) Phaethon

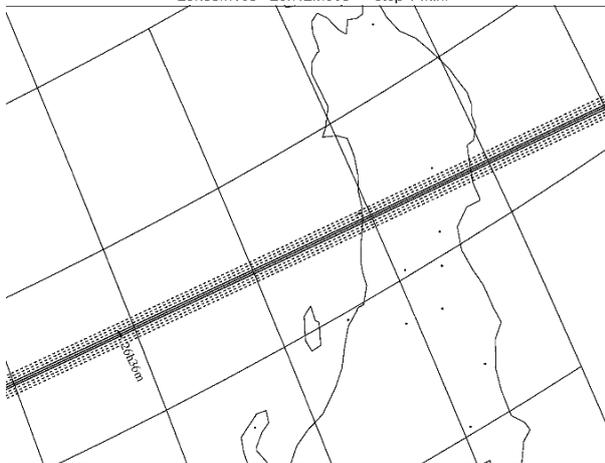
Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 04h17m02.98930s ± 0.0010"
 = 0.007" Dec.2000 = +52°25'51.9519" ± 0.0010"
 error = 0.005" Mv. = 9.74 mag
 Mv. = 17.0 mag Sp. type =
 Vra = -1838"/day Var. = - mag
 Vdec = +704"/day Sep. =
 dist. = 0.95784au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 97° Partial duration =
 Moon : elong. = 84° Diffraction 1/4 time = 0.014 sec
 sunlit = -100 % Extinct. : Dur. = 0.4 sec
 Cond. : score = 60 pt. drop = 7.3 mag
 Visibility : centerline = 51.89% ±0.5sigma = 28.04% ±2.0sigma = 2.24%
 +0.5 r = 49.24% ±1.0sigma = 15.07% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 42.06% ±1.5sigma = 6.50% ±3.0sigma = 0.13%



【9月14日に北米で見られる10等星の掩蔽帯】

2019. 10. 15. (Tue) 26h33m JST
UCAC4 165107624* by (3200) Phaethon

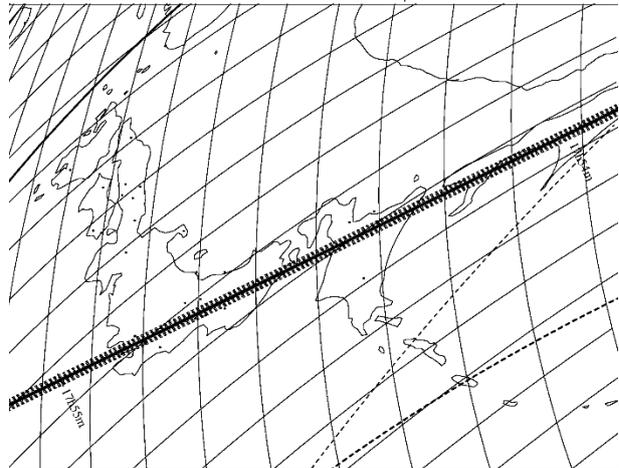
Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 01h58m15.13850s ± 0.0010"
 = 0.007" Dec.2000 = +51°19'44.4070" ± 0.0010"
 error = 0.005" Mv. = 11.46 mag
 Mv. = 16.8 mag Sp. type =
 Vra = -2631"/day Var. = - mag
 Vdec = -1261"/day Sep. =
 dist. = 0.93057au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 136° Partial duration =
 Moon : elong. = 41° Diffraction 1/4 time = 0.009 sec
 sunlit = -97 % Extinct. : Dur. = 0.2 sec
 Cond. : score = 49 pt. drop = 5.3 mag
 Visibility : centerline = 53.16% ±0.5sigma = 28.30% ±2.0sigma = 2.25%
 +0.5 r = 50.31% ±1.0sigma = 15.15% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 42.65% ±1.5sigma = 6.52% ±3.0sigma = 0.13%



【10月15日に東北で見られる11等星の掩蔽帯】

2019. 10. 16. (Wed) 17h53m JST
UCAC4 164891935 by (3200) Phaethon

Asteroid : Diam. = 5 km Star : R.A.2000 = 01h55m18.45716s ± 0.0010"
 = 0.007" Dec.2000 = +51°05'57.0358" ± 0.0010"
 error = 0.005" Mv. = 11.87 mag
 Mv. = 16.8 mag Sp. type =
 Vra = -2610"/day Var. = - mag
 Vdec = -1314"/day Sep. =
 dist. = 0.93237au PA =
 type = Apollo dmag =
 Sun : elong. = 137° Partial duration =
 Moon : elong. = 40° Diffraction 1/4 time = 0.009 sec
 sunlit = -94 % Extinct. : Dur. = 0.2 sec
 Cond. : score = 47 pt. drop = 4.9 mag
 Visibility : centerline = 53.04% ±0.5sigma = 28.27% ±2.0sigma = 2.25%
 +0.5 r = 50.21% ±1.0sigma = 15.14% ±2.5sigma = 0.62%
 N/S edge = 42.59% ±1.5sigma = 6.52% ±3.0sigma = 0.13%



【10月16日に東日本で見られる12等星の掩蔽帯】