

小惑星探査機「はやぶさ」の地球スイングバイ時の光学観測について (改訂：2004.05.13)

吉川真 (JAXA)、松岡正敏、小湊隆 (NEC 航空宇宙システム)、大西隆史 (富士通)

概要

小惑星探査機「はやぶさ」は、2004 年 5 月 19 日に地球スイングバイを行う予定である。スイングバイ時には、高度 3700km くらいまで接近するが、そのときに光学望遠鏡で観測できる可能性がある。ここでは、その観測の可能性についての情報を提供する。このような観測は、火星探査機「のぞみ」の地球スイングバイの時にも行ったが、今回は、日本からの観測は条件があまりよくない。ハワイ、オーストラリア、南米から観測できる可能性があるので、可能な場合には観測を試みてもらいたい。

1. はじめに

ここでは、「はやぶさ」の地球スイングバイのときの光学観測に関する情報をまとめる。ここで示す情報は、現時点 (2004 年 5 月 12 日) での軌道計画に基づくものである。実際のスイングバイの時刻は、今後の軌道決定の結果によって変わることもありうるので、ここでの情報は 1 つの目安として欲しい。ただし、スイングバイ 1 週間前の情報であるので、大きく変化することはないと思われる。

2. 最接近の時刻と位置

「はやぶさ」の地球スイングバイは、2004 年 5 月 19 日に予定されている。地球に最接近する時刻は、世界時で 6 時 21 分 42 秒 (日本時間では 15 時 21 分 42 秒) であり、そのときの地球中心からの距離は、約 10100km である (地表からは、約 3700km)。「はやぶさ」の位置を地表に投影した地点をプロットしたものが図 1 である。

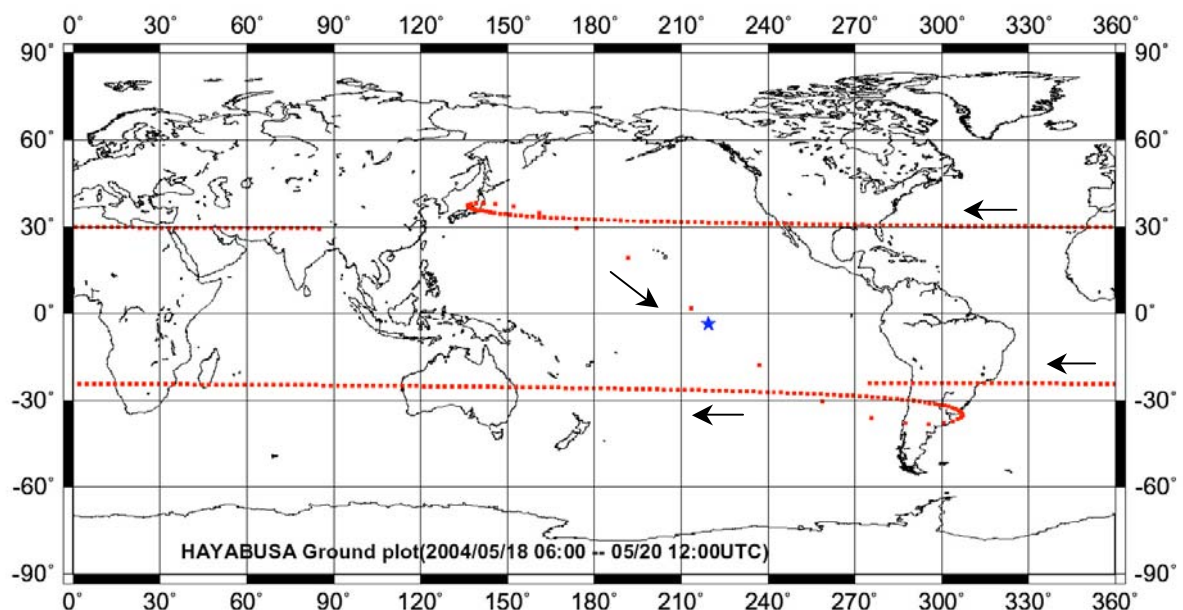


図 1 「はやぶさ」の直下点の軌跡

★印が最接近点である。

3. 光学観測の可能性

「はやぶさ」の地球スイングバイ時に光学観測を行うことができるかどうかについて、「はやぶさ」の可視時間帯について調べてみた。図2に、日本（臼田：UDSC、鹿児島：JKSC）、ハワイ（Subaru 望遠鏡）、チリ（サンチャゴ）、アメリカ西海岸（ゴールドストーン）、スペイン（マドリッド）、オーストラリア（キャンベラ）での「はやぶさ」の高度（Elevation）の時間変化を示す（グラフに書かれている時刻は世界時）。

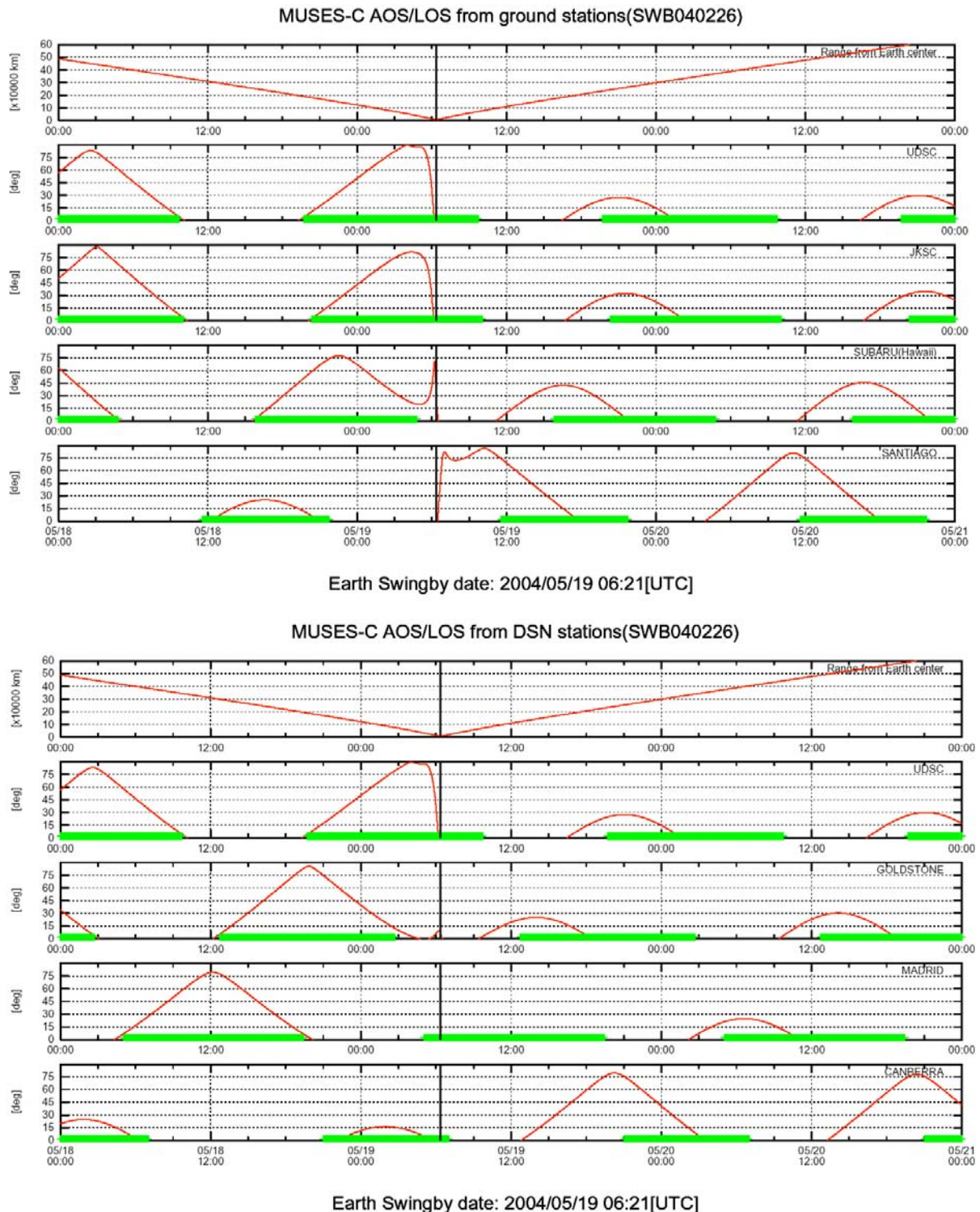


図2 各地における「はやぶさ」の高度変化

上下それぞれの図で、最も上段の図は、「はやぶさ」と地球の距離を示す。
各図の横軸に描かれている緑色の太い線は、昼間の時間帯を示す。（時刻は世界時）

「はやぶさ」は太陽方向から地球に接近するために、スイングバイ前は「はやぶさ」が可視となるのが昼間の時間帯に重なっている。スイングバイ後は、可視時間帯が夜の時間にもあるので、光学観測が可能となる。なるべく距離が地球に近い方がよいことも考慮すると、観測できる場所と時間帯は、おおよそ次のようになる。

- ・ハワイで5月18日の日没直後、スイングバイ直前～最接近
- ・ハワイで5月19日の夜明け前、距離10万～15万 km
- ・南米（チリ）で5月19日の夜明け前、最接近～10万 km、高度は高い
- ・オーストラリアで5月20日の夜明け前、距離13万～24万 km、高度は高い
- ・日本では、5月20日の夜明け前、距離20万～25万 km、高度は低い

※上記の日付は現地時間で表記

ハワイと南米からなら接近距離が近いときに観測が可能であるが、オーストラリアや日本からは「はやぶさ」までの距離が遠くなってしまう。

ハワイ、サンチャゴ、キャンベラ、臼田、鹿児島からの観測について、数値データを以下に示す。ここでは、「はやぶさ」の方位角（AZ_ST：北が0度で東まわりに計測）、高度（EL_ST）、探査機までの距離（SC_Range）、太陽－探査機－地球がなす角（SPE）について、観測ができるような時間帯の20分間隔（一部10分間隔）のデータが記載されている。時刻は、世界時である。なお、分かりやすくするために「日の出」や「日没」と記載されているが、これは厳密に時刻を調べたものではない。

※以下のデータは、2004年月半ばの時点での軌道に基づいたものであるので、目安として扱ってほしい。

◆ハワイ（マウナケア）：夕方

ST-Range : 6382.28 [km]
 # ST-LONG. : 204.52 [Deg]
 # ST-LAT. : 19.83 [Deg]

#	-----									
# Epoch (UTC)			AZ_ST		EL_ST	SC_Range	SPE			
#	-----									
YYYY MM DD HH MM SS			deg.		deg.	km	deg.			
(日没)										
2004 05 19 04 30 00			302.11		21.10	40565.8	159.07			
2004 05 19 04 40 00			302.48		20.35	37390.0	158.06			
2004 05 19 04 50 00			302.81		19.85	34148.5	156.83			
2004 05 19 05 00 00			303.09		19.65	30831.3	155.33			
2004 05 19 05 10 00			303.27		19.87	27426.3	153.43			
2004 05 19 05 20 00			303.29		20.66	23918.8	150.98			
2004 05 19 05 30 00			303.03		22.31	20291.8	147.68			
2004 05 19 05 40 00			302.26		25.35	16527.8	143.00			
2004 05 19 05 50 00			300.34		30.93	12622.0	135.71			
2004 05 19 06 00 00			294.85		42.10	8647.4	122.48			
2004 05 19 06 10 00			260.82		66.66	5165.3	91.20			
2004 05 19 06 20 00			150.04		36.75	4920.4	30.97			
2004 05 19 06 30 00			136.82		1.80	8471.1	24.39			

◆ハワイ（マウナケア）：明け方

ST-Range : 6382.28 [km]

ST-LONG. : 204.52 [Deg]

ST-LAT. : 19.83 [Deg]

#	-----									
#	Epoch (UTC)					AZ_ST	EL_ST	SC_Range	SPE	
#	-----									
YYYY	MM	DD	HH	MM	SS	deg.	deg.	km	deg.	
2004	05	19	11	20	00	123.44	2.11	98464.2	80.49	
2004	05	19	11	40	00	124.97	5.84	103693.2	80.84	
2004	05	19	12	00	00	126.71	9.55	108887.5	81.15	
2004	05	19	12	20	00	128.69	13.21	114054.3	81.40	
2004	05	19	12	40	00	130.93	16.80	119200.3	81.62	
2004	05	19	13	00	00	133.44	20.30	124332.0	81.80	
2004	05	19	13	20	00	136.25	23.67	129454.9	81.95	
2004	05	19	13	40	00	139.39	26.89	134574.2	82.08	
2004	05	19	14	00	00	142.89	29.92	139694.8	82.19	
2004	05	19	14	20	00	146.76	32.73	144821.1	82.29	
2004	05	19	14	40	00	151.04	35.28	149956.8	82.37	
2004	05	19	15	00	00	155.72	37.51	155105.6	82.44	
2004	05	19	15	20	00	160.79	39.39	160270.4	82.50	
2004	05	19	15	40	00	166.22	40.87	165453.9	82.55	

(日の出)

◆サンチャゴ

ST-Range : 6372.51 [km]

ST-LONG. : 289.33 [Deg]

ST-LAT. : -32.98 [Deg]

#	-----									
#	Epoch (UTC)					AZ_ST	EL_ST	SC_Range	SPE	
#	-----									
YYYY	MM	DD	HH	MM	SS	deg.	deg.	km	deg.	
2004	05	19	06	30	00	274.19	7.55	7879.8	55.90	
2004	05	19	06	40	00	266.43	45.50	7563.0	19.54	
2004	05	19	06	50	00	248.02	72.54	9628.9	20.82	
2004	05	19	07	00	00	186.71	82.45	12725.3	35.58	
2004	05	19	07	20	00	119.68	75.99	19556.9	51.41	
2004	05	19	07	40	00	108.55	72.65	26343.9	59.25	
2004	05	19	08	00	00	102.85	72.22	32926.5	63.96	
2004	05	19	08	20	00	98.37	73.30	39320.4	67.12	
2004	05	19	08	40	00	94.00	75.26	45560.4	69.42	
2004	05	19	09	00	00	88.99	77.75	51678.0	71.16	
2004	05	19	09	20	00	82.15	80.57	57698.8	72.53	
2004	05	19	09	40	00	70.42	83.51	63643.2	73.64	
2004	05	19	10	00	00	42.66	86.09	69527.4	74.56	
2004	05	19	10	20	00	343.44	86.48	75364.6	75.34	
2004	05	19	10	40	00	307.54	83.96	81165.2	76.01	
2004	05	19	11	00	00	293.58	80.53	86937.9	76.59	
2004	05	19	11	20	00	286.30	76.83	92689.3	77.11	
2004	05	19	11	40	00	281.54	73.00	98425.2	77.57	
2004	05	19	12	00	00	277.99	69.09	104149.9	77.99	

(日の出)

◆キャンベラ

ST-Range : 6378.00 [km]

ST-LONG. : 148.98 [Deg]

ST-LAT. : -35.40 [Deg]

# Epoch (UTC)	AZ_ST	EL_ST	SC_Range	SPE
---------------	-------	-------	----------	-----

YYYY MM DD HH MM SS	deg.	deg.	km	deg.
2004 05 19 13 00 00	120.50	2.13	126289.3	83.03
2004 05 19 13 20 00	117.89	5.43	131389.7	83.32
2004 05 19 13 40 00	115.35	8.85	136453.0	83.57
2004 05 19 14 00 00	112.87	12.37	141483.9	83.79
2004 05 19 14 20 00	110.43	15.98	146487.1	83.98
2004 05 19 14 40 00	108.03	19.67	151467.0	84.14
2004 05 19 15 00 00	105.65	23.44	156428.1	84.28
2004 05 19 15 20 00	103.27	27.27	161374.7	84.39
2004 05 19 15 40 00	100.88	31.16	166311.0	84.49
2004 05 19 16 00 00	98.44	35.09	171240.8	84.57
2004 05 19 16 20 00	95.93	39.07	176168.2	84.63
2004 05 19 16 40 00	93.31	43.08	181096.7	84.68
2004 05 19 17 00 00	90.52	47.10	186030.0	84.72
2004 05 19 17 20 00	87.51	51.14	190971.2	84.75
2004 05 19 17 40 00	84.18	55.18	195923.4	84.77
2004 05 19 18 00 00	80.37	59.20	200889.5	84.78
2004 05 19 18 20 00	75.87	63.17	205872.0	84.79
2004 05 19 18 40 00	70.32	67.06	210873.3	84.79
2004 05 19 19 00 00	63.12	70.79	215895.3	84.79
2004 05 19 19 20 00	53.25	74.24	220939.9	84.79
2004 05 19 19 40 00	39.06	77.17	226008.4	84.78
2004 05 19 20 00 00	18.90	79.13	231102.0	84.78
2004 05 19 20 20 00	354.20	79.56	236221.5	84.77
2004 05 19 20 40 00	331.31	78.27	241367.5	84.77
2004 05 19 21 00 00	314.37	75.73	246540.2	84.77

(日の出)

◆臼田

ST-Range : 6378.00 [km]

ST-LONG. : 138.50 [Deg]

ST-LAT. : 36.00 [Deg]

#	-----									
#	Epoch (UTC)						AZ_ST	EL_ST	SC_Range	SPE
#	-----									
YYYY	MM	DD	HH	MM	SS	deg.	deg.	km	deg.	
2004	05	19	16	40	00	126.70	2.19	185158.2	84.16	
2004	05	19	17	00	00	129.72	5.38	190047.7	84.23	
2004	05	19	17	20	00	132.90	8.45	194939.8	84.28	
2004	05	19	17	40	00	136.27	11.37	199837.7	84.33	
2004	05	19	18	00	00	139.83	14.13	204744.5	84.36	
2004	05	19	18	20	00	143.60	16.69	209663.2	84.39	
2004	05	19	18	40	00	147.58	19.04	214596.5	84.41	
2004	05	19	19	00	00	151.77	21.15	219546.9	84.43	
2004	05	19	19	20	00	156.16	23.00	224516.6	84.44	
2004	05	19	19	40	00	160.75	24.57	229507.5	84.44	
2004	05	19	20	00	00	165.51	25.82	234521.4	84.45	

(日の出)

◆鹿児島

ST-Range : 6378.00 [km]

ST-LONG. : 131.08 [Deg]

ST-LAT. : 31.25 [Deg]

#	-----									
#	Epoch (UTC)						AZ_ST	EL_ST	SC_Range	SPE
#	-----									
YYYY	MM	DD	HH	MM	SS	deg.	deg.	km	deg.	
2004	05	19	17	00	00	124.78	3.33	190275.6	84.45	
2004	05	19	17	20	00	127.52	6.78	195123.1	84.51	
2004	05	19	17	40	00	130.44	10.12	199973.4	84.56	
2004	05	19	18	00	00	133.57	13.33	204829.9	84.59	
2004	05	19	18	20	00	136.92	16.38	209695.9	84.62	
2004	05	19	18	40	00	140.51	19.25	214574.6	84.64	
2004	05	19	19	00	00	144.34	21.92	219468.8	84.65	
2004	05	19	19	20	00	148.44	24.34	224381.3	84.65	
2004	05	19	19	40	00	152.79	26.51	229314.4	84.65	
2004	05	19	20	00	00	157.39	28.38	234270.4	84.65	
2004	05	19	20	20	00	162.23	29.93	239251.0	84.64	
2004	05	19	20	40	00	167.27	31.13	244257.8	84.63	
2004	05	19	21	00	00	172.47	31.96	249292.2	84.62	
2004	05	19	21	20	00	177.78	32.40	254355.1	84.62	
2004	05	19	21	40	00	183.13	32.44	259447.2	84.61	

(日の出)

4. 明るさ

人工衛星や探査機のような人工的な物体を光学観測する場合、事前にその明るさを予測するのは難しい。それは、反射面の角度によって反射光の強さがかなり変化するため、探査機の姿勢を正確に知るとともに、表面の反射特性や、複雑な形状の物体からの反射光についての解析が必要であるからである。また、そもそも光学観測は想定されていないので、事前に光学観測に関するデータも取得されていない。さらには、探査機の姿勢が実際にどのようなかは、ある程度ミッションが進まないと確定されない。したがって、ここでは参考情報として2つを挙げるのみにする。

◆参考情報1：「はやぶさ」の軌道

地球に相対的な「はやぶさ」の軌道を図3と図3bに示す。スイングバイ後は、太陽の光はほぼ直角方向から当たることになる。このことは、前節の表のSPE角の値からも分かる。

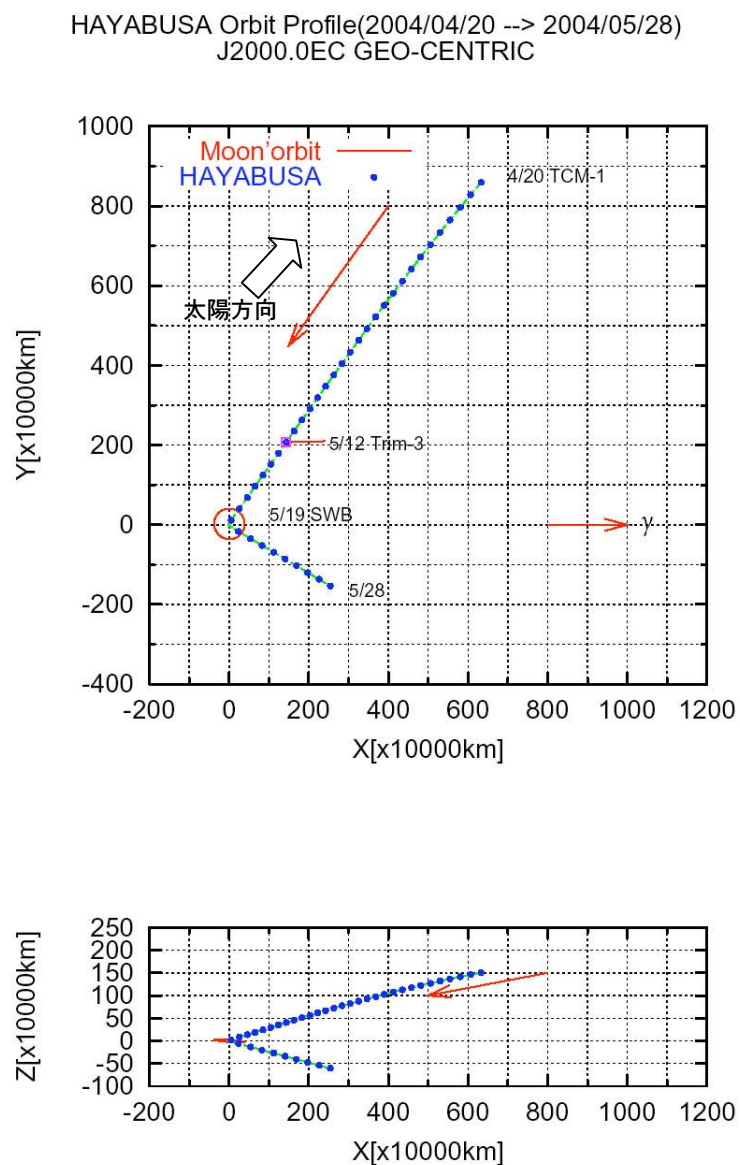


図3 スイングバイ時の地球に対する「はやぶさ」の軌道
上は黄道に投影したもので、下は黄道に垂直な面に投影したものの。

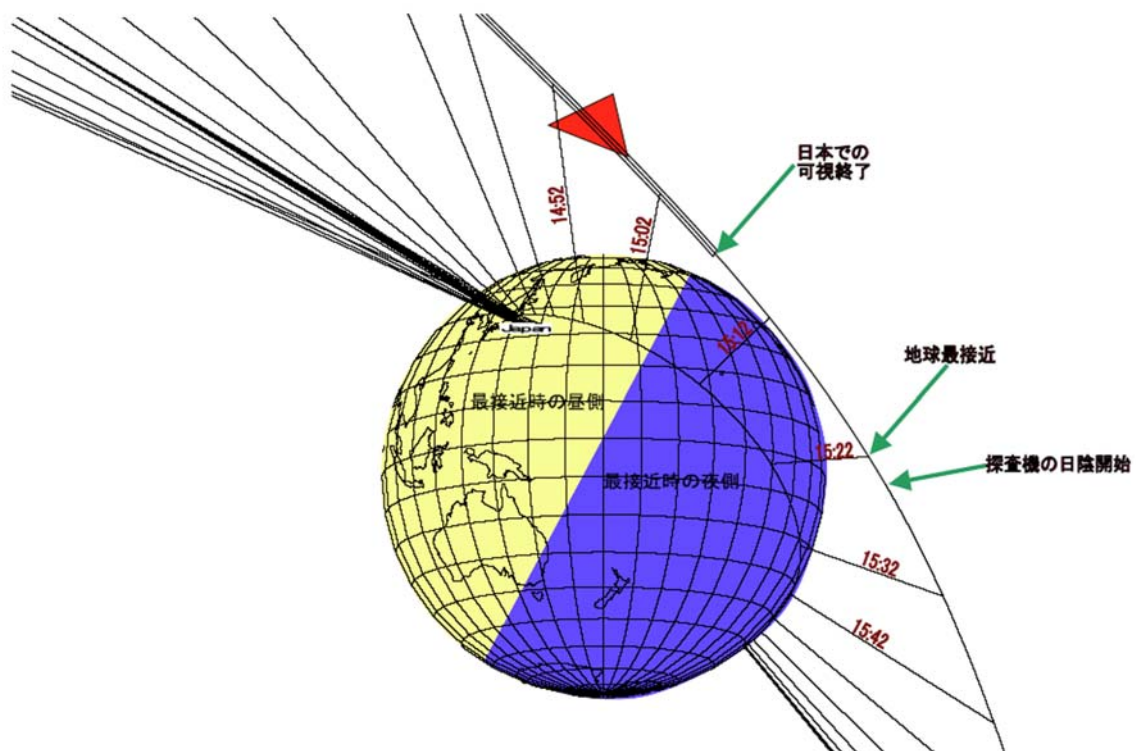
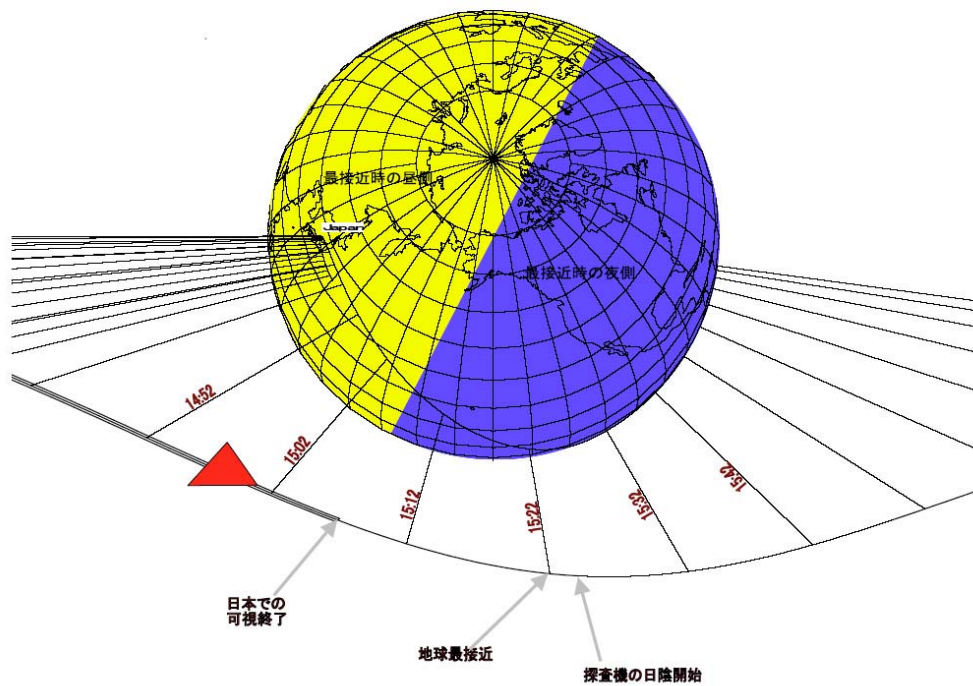


図 3b スイングバイ時の拡大図

時刻は、2004 年 5 月 19 日の日本時間で示されている。地表と探査機の軌道を結んでいる線は、各時刻における探査機と地球中心とを結んだ線である。10 分ごとに線が描かれている。

スイングバイ後の姿勢は、ハイゲインアンテナや太陽電池のパドルが太陽方向を向く姿勢になる可能性が高い。特に、面積が広い太陽電池のパドルが太陽の方向を向くと地球からは真横になってしまうため、光学観測にとっては不利な条件である。

図4にスイングバイ後の「はやぶさ」、地球、月の位置関係や太陽光線の当たり方の想像図を示す。これは、スペースアート・クリエイターの池下氏によって描かれたものであるが、直感的にはほぼこのようになるものと考えられる。



図4 スイングバイ直後の想像図
(池下章裕氏作成)

なお、5月19日の6時24分から6時50分までの26分間は、「はやぶさ」は地球の影に入るために、光学観測はできない。

参考までに、「はやぶさ」の軌道図を図5に示す。これは計画時のものであるが、スイングバイによる軌道の変化についてはほぼこの図に示されるようになっていいると考えてよい。

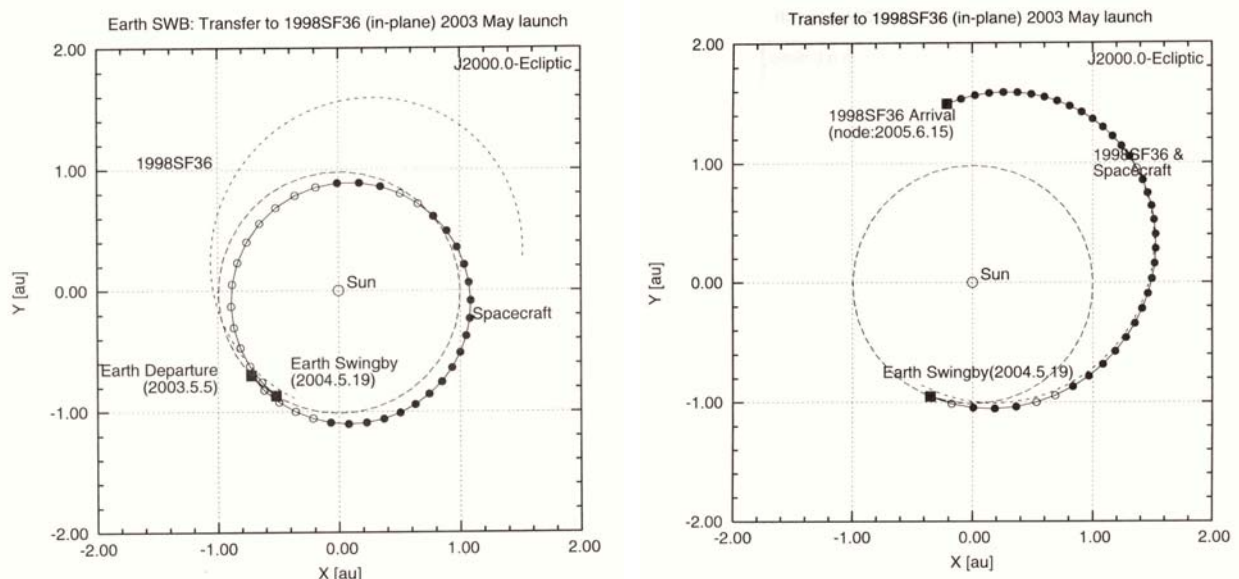


図5 「はやぶさ」の軌道

左は打ち上げから地球スイングバイまでの軌道図で、右がスイングバイから小惑星到着までの軌道図である。日付は計画段階のものである。

◆参考情報 2：火星探査機「のぞみ」の場合

火星探査機「のぞみ」が地球スイングバイを行ったとき(2002 年 12 月 21 日および 2003 年 6 月 19 日)に、光学観測を試みた。残念ながら天候に恵まれなかったが、2003 年 6 月 19 日の観測では、唯一、愛媛県の久万高原天体観測館での撮影に成功した。このときの写真が図 6 にある 2 枚である。この撮影が行われたときの「のぞみ」までの距離は約 53000km であったが、撮影された明るさは 15 等～16 等であると思われる。

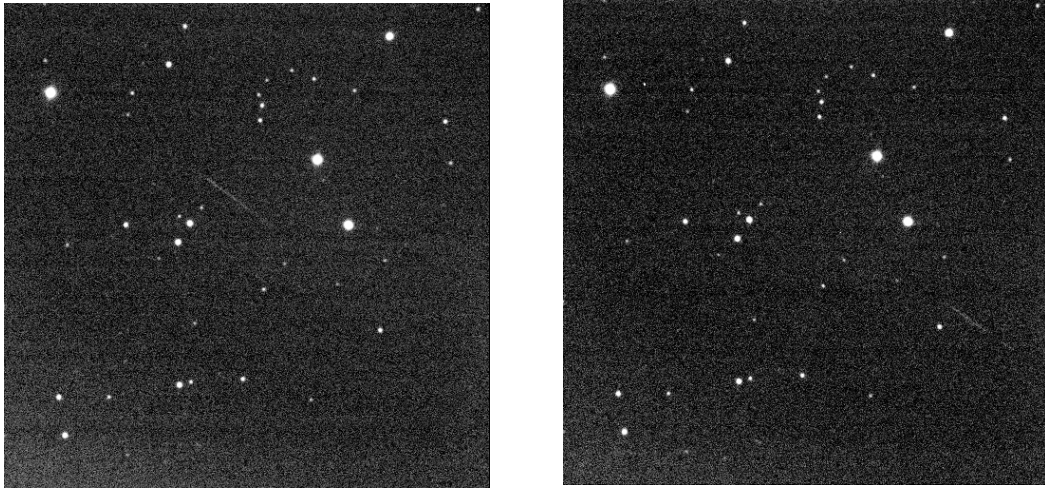


図 6 「のぞみ」の地球スイングバイ時(2003 年 6 月 19 日)の観測

撮影時刻は、左が 20 時 39 分 16 秒で、右が 51 秒。露出時間は 12 秒。恒星追尾。

愛媛県、久万高原天体観測館の口径 60cm の望遠鏡にて撮影。視野は約 12 分角。

(撮影者：中村彰正氏)

※情報提供について

「はやぶさ」のスイングバイ時に光学観測を試みられる方には、「はやぶさ」の予想位置の情報（赤経、赤緯、高度、方位角）を時系列で提供致します。次の6つの項目についてお知らせください。

- (1) 氏名
- (2) 連絡先（メールアドレス、電話、FAX など）
- (3) 観測を行う場所の緯度、経度、高度
- (4) データの時間間隔
- (5) いつまでに情報が必要か
- (6) 使用される機材の視野（参考にするだけですので、おおよそで結構です）

連絡は、電子メールで吉川（下記）までお願いします。なるべくスイングバイが近づいてからの方が、予想位置は正確になります。なお、可能な範囲で対応させていただきたいと思いますが、衛星運用などのために迅速に対応できないこともあるかと思いますので、あらかじめご了承ください。

吉川 真 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 ISAS/JAXA
宇宙情報・エネルギー工学研究系
〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1
TEL&FAX : 042-759-8341
e-mail : makoto@pub.isas.jaxa.jp / yoshikawa.makoto@jaxa.jp

この文書は

http://ast6093.nav.isas.jaxa.jp/hayabusa_opt/
から取得することができます。