

第6章 まとめ

本論文は、小惑星探査機はやぶさに搭載された近赤外線分光器の開発と小惑星イトカワ近傍で実施された観測の初期成果をまとめたものである。

第1章では、本研究の背景について、特に地上観測の観点から、小惑星のスペクトル観測の歴史と、そこから得られた小惑星の分類と表面物質の推定および隕石の関係について、現時点で明らかになっていることおよび問題点についてまとめた。小惑星の反射スペクトルデータは、小惑星の表面物質の鉱物種や隕石との関係を考える上では非常に有用なものであるが、地上観測ではそれらを空間分解することは難しく、特に隕石との対応を考える上では、見ているスケールのギャップが大きいいため、探査機による近接観測およびサンプルリターンによる直接探査が必要である。

第2章では、そのような背景から計画された小惑星探査機に搭載された近赤外線分光器の開発についてまとめた。観測波長域は小惑星の表面鉱物種を同定する上で重要な $1\mu\text{m}$ 帯と $2\mu\text{m}$ 帯を観測できる波長域に選び、観測視野サイズははやぶさミッションで計画されている小惑星の接近距離で十分空間分解して表面を観測できるサイズに設定した。具体的には観測波長域は $764\sim 2247\text{ nm}$ で、空間分解能は 0.1 度（小惑星からの距離 5 km において 9 m の分解能）である。製作された分光器について、性能評価試験を実施して、目的の性能が得られていることを確認し、小惑星表面で十分な S/N で観測できる分光器が開発できていることを確認した。また感度特性や波長ピクセル関係など、小惑星の観測データから小惑星の反射スペクトルを求める際に必要なデータも収集した。

第3章では、打ち上げ後、小惑星到着までの本分光器の運用についてまとめた。打ち上げ前後および航行中の較正ランプなどのデータをモニタすることにより、打ち上げ前に得られた本分光器の性能が維持できていることを確認した。また恒星や惑星、地球や月などの観測も実施し、得られたスペクトルは地上観測などで得られている結果とよく一致しており、本分光器が宇宙空間でも分光観測を実行できる装置であることを確認し、また小惑星到着後に小惑星反射スペクトルを測定できる能力があることを確認した。

第4章では、小惑星到着後の運用についてまとめた。小惑星近傍ではタッチダウンフェーズを除いて、小惑星からの距離 $50\text{ km}\sim 3.5\text{ km}$ の範囲で観測を行い、小惑星表面上の空間分解能で $90\text{ m}\sim 6\text{ m}$ の空間分解能で小惑星の全領域を観測することができた。また太陽位相角を変えた観測を実施し、これまで小惑星エロスでしか得られていなかった、太陽位相角に伴うスペクトルの赤化現象などを捉えることに成功した。低太陽位相角における急激な明るさの増加（opposition effect）も検出することができ、イトカワのようなレゴリスの少ない表面でも opposition effect が存在することは今後研究を進めるべき問題でもある。タッチダウンフェーズでは高度 40 m 程度までは本分光器でも十分な S/N のデータが取得できており、本分光器の有効径サイズ (27.2 mm) 程度の空間分解能の観測データが得られている。

第 5 章では、本分光器で得られた小惑星のイトカワの反射スペクトルについての初期成果をまとめた。本分光器で得られたイトカワの平均スペクトルは地上観測で得られていたスペクトルと全体的にはよく一致しており、分光器としての性能を改めて確認できた。またコンティニューム成分を取り除いたスペクトルは LL5 タイプの普通コンドライトである Alta'ameem 隕石とよく一致することを明らかにした。また、 $1\mu\text{m}$ 付近の吸収バンドの特徴に注目し、 950 nm 、 1050 nm 、 1250 nm の吸収係数の強度比を用いて、イトカワの反射スペクトルを解析すると同時に、輝石・カンラン石混合物や、普通コンドライトおよび始原的エイコンドライトの反射スペクトルのデータや小惑星エロスの反射スペクトルのデータと比較した。その結果、イトカワの表面物質の平均的なカンラン石 / (カンラン石+輝石) の値は 70~80% であり、エロスの値よりカンラン石の割合が多いことがわかった。隕石タイプとの比較では、普通コンドライトの中の LL コンドライトの領域にあり、始原的エイコンドライトの領域とはかなり離れていることもわかり、 $1\mu\text{m}$ 帯の特徴を見る限りにおいては、イトカワ表面に対応する隕石は LL コンドライトが尤もらしいということが分かった。

またイトカワに見られる 3 つの特徴的な領域 (Smooth 領域、Boulder 領域、Brighter 領域) のスペクトルを取得して、イトカワ表面の場所による反射スペクトルの違いについても調査した。その結果、Smooth 領域の反射スペクトルは他の領域に比べて反射率は低く、吸収バンドの深さが浅い特徴をもつこと、Boulder 領域は他の領域に比べて反射率は低く、スペクトルの傾きが赤いこと、Brighter 領域は他の領域に比べて反射率は高く、吸収バンドの深さも深いことがわかった。これらの 3 つの領域のスペクトルの違いは、表面の粒子サイズの違いや、宇宙風化の違いで説明できると考えられる。特に、Boulder 領域と Brighter 領域の宇宙風化進行度を見積もったところ、Brighter 領域は Boulder 領域に比べて宇宙風化の進行度が低い (表面年代が若い) と推測された。しかし、本研究で示した最も宇宙風化の進行度が低そうな領域のスペクトルでも LL5 コンドライトの反射スペクトルとは反射率の絶対値やスペクトルの傾きまでは一致することはなく、ある程度は宇宙風化が進んでしまっていることが確認された。しかし、イトカワの表面での反射率やスペクトルの傾きなどの場所による変化は 10% 以上あり、これらはこれまで探査機が訪れた S 型小惑星に比べると大きなものであった。一方、3 つの領域の吸収係数の強度比には大きな違いはなく、イトカワの表面での鉱物種の違いは検出されなかった。このことは、イトカワの表面は熔融による分化を経験していない始原的な物質である考えを支持するものであり、イトカワに対応する隕石が普通コンドライトである考えのひとつの根拠にもなっている。

イトカワの表面物質が普通コンドライトの中でもカンラン石の割合が多い LL コンドライトに対応すると考えると、これまでの地上観測からはカンラン石の多い S 型小惑星は小惑星帯の内側に多く分布しているという研究 (Gaffey *et al.*, 1990) もあり、イトカワが小惑星帯の内側から今の軌道にやってきたという考えを支持することになる。軌道力学の研究からもイトカワが小惑星帯の内側からやってきたという考えがあり (Michel and Yoshikawa, 2006)、その考えとも一致する。

小惑星の表面物質を明らかにするためには、最終的にはサンプルリターンが成功して、イトカワの表面物質が地上の実験室で分析されるまで待つ必要があるが、本研究で開発した近赤外線分光器によって、観測された平均的なスペクトルおよび、空間分解されたスペクトルの結果から、イトカワの表面物質についての一定の見解を得ることができたと考えられる。

Appendix 1 小惑星イトカワの地上観測データのまとめ

はやぶさミッションの探査対象天体である小惑星(25143)Itokawa (発見当時の仮符号は 1998 SF36) は 1998 年 9 月に LINEAR (Lincoln Near-Earth Asteroid Research) プログラムによって発見された(Tichy *et al.*, 1998)。探査対象がこれまでの(10302)1989 ML からこの小惑星に変更された 2000 年 9 月時点では、発見時の位置測定から求められた軌道要素と自転に伴う変光を考慮していない絶対等級が 19.0 等であること以外の情報は全く無かった。

この小惑星は軌道が地球軌道と接するような Apollo 天体に属する近地球型小惑星であり、会合周期が約 3 年である。つまり発見された 1998 年の次の観測好機が 2001 年であった。軌道の計算から、1998 SF36 が 2001 年 3 月末に地球に 0.04AU まで近づき明るさも 14 等級台にまで明るくなることがわかっていた。2000 年の 12 月末から 2001 年 10 月ころまでの長期にわたって、20 等級より明るくなる期間が続き、様々な観測が実施できることが予想された。そこで、筆者らは海外の観測グループと連絡を取りながら様々な観測を実施した。

日本では、美星スペースガードセンターが 25 cm の望遠鏡を用いて 2 月の下旬から相対測光観測を実施し、いち早く自転周期が 12 時間程度であることを報告した(Yoshikawa *et al.*, 2001)。その後中村士氏を中心とする三鷹チームが教育用 50 cm 望遠鏡を用いて 2 月中旬から 3 月中旬にかけて集中的な連続測光観測を実施し、自転周期や形状の推定などに成果をあげた(Dermawan *et al.*, 2001, 2002)。筆者ら宇宙研を中心とするグループは木曾観測所とすばる観測所の協力を受けて、木曾観測所では 3 月下旬と 8 月に測光観測、すばる観測所では 12 月末に可視分光観測、3 月中旬に近赤外域の測光観測と L, M バンドの測光観測および L バンドの分光観測を実施した(Abe *et al.*, 2002b, 2002c; Ohba, 2002; Ohba *et al.*, 2003; Ishiguro *et al.*, 2002, 2003)。当初すばるでは、中間赤外域の測光観測も予定していたが、望遠鏡のトラブルで観測がキャンセルになった。そこで当時 ESO (Europe Southern Observatory) にいた関口朋彦氏の協力により 3 月中旬に ESO の 3.6m 望遠鏡を用いて N バンドの測光データを取得した(Sekiguchi *et al.*, 2001, 2003)。可視の分光観測と近赤外域の測光観測からはこの小惑星のスペクトルタイプについての情報が得られた、また L, M バンドの測光および N バンドの測光データから小惑星の熱輻射についての情報が得られ、小惑星の反射率、サイズ、表面温度、表面の熱特性を推定することが可能になった。可視の測光(変光)観測データでは、木曾や三鷹の観測データを総合的に観測することで自転軸の向きや形状の推定が可能になった。

海外では、ハワイ大の Tholen が 2000 年 7 月末にいち早く再検出に成功し、12 月まで精力的に位置観測を実施し、2001 年からの観測好機時の正確な位置予報を出すことに貢献した(Tholen *et al.*, 2000)。また Tholen は 12 月の時点で 1.5 時間の変光観測から自転周期が 3 時間以上あることを推定し、高速自転小惑星でないことも明らかにしている。

分光観測については、日本のすばる望遠鏡での FOCAS による観測が 2000 年 12 月末と一番早い実施で S タイプや D タイプに特有の赤い（右上がのり）スペクトルであることは判明したが(Abe *et al.*, 2002c; Ohba, 2002) S タイプに特有の 1 μ m 付近の吸収バンドをはっきりと捕らえることができず、MIT の Binzel(Binzel *et al.*, 2001a, 2001b; Binzel, 2001)、JPL の Hicks(Hicks *et al.*, 2001; Lowry, 2001, 2005)、JSC の Vilas(Vilas *et al.*, 2001; Kelley *et al.*, 2001; Lederer *et al.*, 2002; Jarvis *et al.*, 2004a, 2004b; Abell *et al.*, 2006)らのチームがそれぞれ独立に実施した可視および近赤外の分光観測の結果を待つことになった。3 月中旬に IAUC などでも報告された結果(Binzel *et al.*, 2001b; Binzel, 2001; Hicks *et al.*, 2001)からは Itokawa が S タイプであることがわかった。その後の詳細な解析でサブクラスが S(IV)であることもわかっている(Binzel *et al.*, 2001a)。

可視近赤外域の分光については、このほか Tholen(Tholen *et al.*, 2001; Salyk and Tholen, 2002)や Open Univ.の Green *et al.*(2001)のグループが実施している。また Green らは L,M バンドの観測も実施している（まだ結果は報告されていない）。さらに Di Martino のグループは 4 月になってから N バンドでの多色測光を実施している(Müller *et al.*, 2006)。

また Lederer *et al.* (2005)は可視の多色測光のデータを総合解析して、B,V,R,I バンドの明るさの太陽位相角依存性を求め Hapke のパラメータ(Hapke, 1984)とアルベドを推定した。

小惑星の形状や自転軸の向き、詳細な自転周期の推定には、多くの変光観測データが必要である。変光観測データについては筆者らと Poznan Astronomical Observatory の Kwiatkowski が中心となってデータを収集し、総合解析を行った(Ohba *et al.*, 2003; Kaasalainen *et al.*, 2003)。

また JPL の Ostro らのグループは 3 月末から 4 月にかけて Arecibo と Goldstone を用いてレーダ観測を実施している(Ostro *et al.*, 2004)。

2001 年の観測では、小惑星 Itokawa について偏光観測を除く地上で実施できるほとんどの観測が実施された。これだけ短期間で集中的に多くの種類の観測が実施されたのは、観測対象が探査対象天体であることと、観測条件が非常に良かったことが理由に挙げられる。探査機打ち上げ後の 2004 年には、もう一度観測好機を迎え、偏光観測(Cellino *et al.*, 2005)をはじめとして、レーダの追観測(Ostro *et al.*, 2005)、熱赤外の追観測(Müller *et al.*, 2005)、変光データの追加取得(Nishihara *et al.*, 2005)、多色測光データの追加取得(Gill *et al.*, 2004; Thomas-Osip *et al.*, 2004, 2005)などが実施され、Itokawa のさまざまな物理量の推定が更新されている。

これまで報告されている観測結果を Table A1-1 にまとめる。

Table A1-1 : Summary of physical parameters obtained through ground-based observation of Itokawa.

イトカワの地上観測で得られた物理量のまとめ

物理量	推定値	文献
自転周期	P=12.16hrs P=12.15±0.03hrs P=12.12±0.02hrs P=12.13±0.02hrs P=12.132±0.0005hrs P=12.1324±0.0001hrs P=12.13237±0.00008hrs	Yoshikawa <i>et al.</i> (2001) Kwiatkowski (2001) Lowry <i>et al.</i> (2005) Dermawan <i>et al.</i> (2002) Kaasalainen <i>et al.</i> (2003) Nishihara <i>et al.</i> (2005) Kaasalainen <i>et al.</i> (2006)
自転軸の向き	$\beta = -75 \pm 12 \text{deg}$, $\lambda = 320 \pm 30 \text{deg}$ $\beta = -75 \pm 15 \text{deg}$, $\lambda = 320 \pm 30 \text{deg}$ または $\beta = -5 \pm 15 \text{deg}$, $\lambda = 230 \pm 15 \text{deg}$ $\beta = -84 \pm 5 \text{deg}$, $\lambda = 355 \text{deg}$ $\beta = -89 \pm 5 \text{deg}$, $\lambda = 330 \text{deg}$	Ohba <i>et al.</i> (2003) Ostro <i>et al.</i> (2001) Kaasalainen <i>et al.</i> (2003) Kaasalainen <i>et al.</i> (2006)
形状・サイズ	a/b>1.6 a/b=2.1, b/c=1.7 a/b>2.14 a/b=2.0, b/c=1.3 350±30m 620±140 x 280±60 x 160±30 m 548 x 312 x 276 m (±10%) 594 x 320 x 288 m (±10%) ~280m 520±50 x 270±30 x 230±20 m	Dermawan <i>et al.</i> (2002) Ohba <i>et al.</i> (2003) Lowry <i>et al.</i> (2005) Kaasalainen <i>et al.</i> (2003) Sekiguchi <i>et al.</i> (2003) Ishiguro <i>et al.</i> (2003) Ostro <i>et al.</i> (2004) Ostro <i>et al.</i> (2004) M. Müller <i>et al.</i> (2006) T. Müller <i>et al.</i> (2005)
反射率	[ジオメトリックアルベド] P _V =0.29(+0.09/-0.08) P _V =0.23(+0.07/-0.05) P _V =0.35±0.11 P _V =0.53±0.04, P _B =0.14±0.07 P _R =0.32±0.16, P _I =0.25±0.14 P _V =0.19(+0.11/-0.03) [ポラリメトリックアルベド] P _V =0.24±0.01 レーダアルベド $\sigma_{OC}=0.16 \pm 0.05$ $\sigma_{OC}=0.138 \pm 10\%$ [ボンドアルベド] A _V =0.07±0.01, A _B =0.01±0.01 A _R =0.04±0.02, A _I =0.03±0.02	Dermawan <i>et al.</i> (2002) Sekiguchi <i>et al.</i> (2003) Ishiguro <i>et al.</i> (2003) Lederer <i>et al.</i> (2005) T. Müller <i>et al.</i> (2005) Cellino <i>et al.</i> (2005) Ostro <i>et al.</i> (2004) Ostro <i>et al.</i> (2005) Lederer <i>et al.</i> (2005)
レーダ偏光度	$\mu_c = 0.26 \pm 0.04$	Ostro <i>et al.</i> (2004)
スロープパラメタ	G=0.17±0.07 G=0.29±0.14 G=0.25±0.05	Green <i>et al.</i> (2001) Dermawan <i>et al.</i> (2002) Nishihara <i>et al.</i> (2005)

絶対等級	H _v =19.29±0.1 H _v =18.61±0.18 V _{R_max} =18.61±0.48, V _{R_min} =19.42±0.21	Green <i>et al.</i> (2001) Dermawan <i>et al.</i> (2002) Nishihara <i>et al.</i> (2005)
ピーミングパラメタ	$\eta=1.1$	Ishiguro <i>et al.</i> (2003)
熱慣性	$\Gamma=290\text{J/m}^2/\text{K/s}^{0.5}$ $\Gamma=350\text{J/m}^2/\text{K/s}^{0.5}$ $\Gamma=750\text{J/m}^2/\text{K/s}^{0.5}$	Ishiguro <i>et al.</i> (2003) M. Müller <i>et al.</i> (2006) T. Müller <i>et al.</i> (2005)
可視色指数	U·V=1.36±0.08, B·V=0.92±0.01 V·R=0.47±0.01, V·I=0.79±0.01 u·v=0.29, b·v=0.20, v·x=-0.06, v·p=0.06 B·V=0.17±0.04, V·R=0.15±0.06 V·I=-0.02±0.03 B·V=0.902±0.042, V·R=0.475±0.039 V·I=-0.725±0.012 B·V=0.94±0.05, V·R=0.40±0.06 V·I=-0.74±0.07	Green <i>et al.</i> (2001) Tholen <i>et al.</i> (2001) Ohba (2002) Dermawan <i>et al.</i> (2002) Lowry <i>et al.</i> (2005)
可視スロープ	S' ₆₀₀₀ =8.0±0.7%/100nm S' ₅₅₀₀₋₇₀₀₀ =9.3±0.3%/100nm	Ohba (2002) Lowry <i>et al.</i> (2005)
近赤外測光	V·J=1.40±0.02, J·H=0.46±0.02 H·K=0.51±0.02 J·H=0.49±0.04, H·K=0.02±0.04	Green <i>et al.</i> (2001) Ishiguro <i>et al.</i> (2003)
Band Area Ratio	0.40±0.02 0.56±0.16	Binzel <i>et al.</i> (2001) Abell <i>et al.</i> (2006)
Band I center	0.99±0.01 μm 0.99±0.005 μm	Binzel <i>et al.</i> (2001) Abell <i>et al.</i> (2006)
Band II center	2.01±0.02 μm	Abell <i>et al.</i> (2006)
スペクトルタイプ	S(IV) S S S or Q atypical S S(III)	Binzel <i>et al.</i> (2001) Dermawan <i>et al.</i> (2002) Ishiguro <i>et al.</i> (2003) Lowry <i>et al.</i> (2005) Lederer <i>et al.</i> (2005) Abell <i>et al.</i> (2006)

Appendix 2 NIRS のコマンド・テレメトリー一覧

はやぶさ探査機のコマンドには DC コマンド(引数無しのコマンド)と SM コマンド(引数ありのコマンド)がある。NIRS に関する DC コマンドを Table A2-1 に、SM コマンドを Table A2-2 にまとめる。

はやぶさから地上に届けられるテレメトリーのうちミッションパケットの内容については 2-6 章で述べたが、NIRS に関連する情報は HK パケットや NIX-E ステータスパケットの中にも記述されている。HK パケットで NIRS に関する部分を Table A2-3 に、NIX-E ステータスパケットで NIRS に関する部分を Table A2-4 にまとめる。

Table A2-1 : DC command relevant to NIRS.

NIRS に関連する DC コマンド

CMD-CODE	CMD NAME	FUNCTION
0030	STBY	Transition to 3CPU System ROM mode
0031	EXEC	Transition to 3CPU User ROM mode
0032	STBY-S	Transition to Single CPU System ROM mode
0033	EXEC-S	Transition to Single CPU User ROM mode
0034	ROM-WRITE	Transition to EEPROM Load mode
0035	ROM-DUMP	Transition to EEPROM Dump mode
0036	MON-ON	Transition to Monitor mode (used only for ground test)
0037	SINGLE-A	Transition to Single CPU mode of A
0038	SINGLE-B	Transition to Single CPU mode of B
0039	SINGLE-C	Transition to Single CPU mode of C
003A	ECC-ON	ECC function ON for DRAM
003B	ECC-OFF	ECC function OFF for DRAM
003C	WDT-FLG-CLR	CLEAR of Watch-dog-timer overflow flag
003D	1BIT-ERR-CLR	CLEAR of DRAM 1bit error count
003E	2BIT-ERR-CLR	CLEAR of DRAM 2bit error count
003F	SINGLE-ERR-CLR	CLEAR of Sync, Voter, System ROM error, Lutch-up flag
0040	RECON-FLG-CLR	CLEAR of Reconstruction flag
0041	CMD-ERR-CLR	CLEAR of Anomaly flag of CMD, Data Load, Dump
0042	REP-ENA	Report packet output ENABLE
0043	REP-DSA	Report packet output DISABLE
0048	TEST_DEBUG_ENA	Test Debugging Enabe
0080	NIRS_ON	NIRS Analog Power ON
0081	NIRS_OFF	NIRS Analog Power OFF
0082	NIRS_SHUT_ON	NIRS Shutter ON
0083	NIRS_SHUT_OFF	NIRS Shutter OFF
0084	NIRS_COOL_ON	NIRS Peltier Cooler ON
0085	NIRS_COOL_OFF	NIRS Peltier Cooler OFF
0086	NIRS_LAMP_ON	NIRS Calibration Lamp ON
0089	NRIS_LAMP_OFF	NIRS Calibration Lamp OFF
008A	NIRS_HK_FLG_RST	NIRS HK flag RESET
008B	NRIS_LED_ON	NIRS Calibration LED ON
008C	NIRS_LED_OFF	NIRS Calibration LED OFF
008D	NIRS_OBS_STRT	NIRS Observation START
008E	NIRS_OBS_STOP	NIRS Observation STOP
008F	NIRS_MEM_RST	NIRS Memory RESET

Table A2-2 : SM command relevant to NIRS.

NIRSに関連する SM コマンド

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_OBS_PARM (CH-ID:0097H) (NIXSTAT:W26)	SW MODE	LIDAR FLAG	DARK SUB	DEV	MAX- MIN		FLASH FLAG	RAW MODE
	1	HIST	LIDAR	ON	ON	ON	FLASH	RAW
	0	PIXEL	NORM	OFF	OFF	OFF	NORM	STACK

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_STCK_SET (CH-ID:0098H) (NIXSTAT:W75)	STACK COUNT INDEX							

※スタック回数は、2のN乗（Nは本パラメータ）に設定される。

※実際の運用においては、プリアンプ利得・暗電流・ノイズの状況により異なるが、0AH程度が限界。それを超えると、内部計算でオーバーフローを起こす。

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_SHUT_MOD (CH-ID:0099H) (HK: W213 B0-1)	N/A						00:CHOP 01:CLOSE 10:OPEN 11:OPEN	

※shutter_offのときは、このパラメータ設定によらず、常に shutter は Open 状態。shutter_on でも、obs_mode が cal のときは、Closeのみ有効で、それ以外は Open 状態となる。

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_COOL_PID (CH-ID:009AH) (HK:W214 B1-3)	N/A				00 : open - 1.25V 01 : open - 1.60V 02 : open - 2.00V 03 : open - 2.50V 08 : close - -19.0 C (-23 C) 09 : close - -9.5 C (-14 C) 0a : close - +1.0 C (-4 C) 0b : close - +13.0 C (+7 C)			

※close 制御で周囲温度が目標温度より低い場合は、ペルチエは駆動されず、検出器温度は周囲温度と同じ温度のままになる。

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_LIS_GAIN (CH-ID:009BH) (HK:W214 B4-5)	N/A						00:x1 (x1.08) 01:x4 (x4.20) 10:x9 (x9.06) 11:x19.5 (x19.54)	

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_LAMP_GAIN (CH-ID:009C11) (HK:W214 B6-7)	N/A						00:1.0V 01:2.1V 10:3.0V 11:4.0V	

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_INTG_TIME (CH-ID:009D11) (NIXSTAT:W76)	INTEGRATION TIME							

- ※ 積分時間は、次の NIRS_OBS_MOD が NORMAL の場合は $(1+N) \times 256 \mu \text{sec}$ 、NIRS_OBS_MOD が CAL の場合は $(1+N) \times 256 + 4 \mu \text{sec}$ (N は本パラメータ) に設定される。
- ※ [設定可能上限] NIRS_OBS_MOD が NORMAL の場合は、0xDF 以下にしなければならない。NIRS_OBS_MOD が CAL の場合は、0xFF まで許される。
- ※ [設定可能下限] NIRS_OBS_MOD が CAL の場合、0x62 以下にすると FIFO_FULL が発生する。

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_OBS_MOD (CH-ID:009E11) (HK:W215 B0)	N/A							1: NORM 0: CAL

- ※ NIRS_OBS_MOD の NORMAL とは、シャッター駆動回路に同期した状態で積分が行われることを意味し、CAL は同期しない状態で積分が行われることを意味する。

Command Name	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
NIRS_HIST_PARM (CH-ID:009F11) (NIXSTAT:W74)	History Data Interval				History Data Count			

- ※ HIST モードにおいては、FIFO に書き込まれたデータのうち、 $2^N + 1$ (N : History Data Interval) 個おきのデータ(H/W HK)のみが読み込まれる。
- ※ 読み込まれた H/W HK データは、10 個で一つのデータセットとなり、さらにデータセットが 6 個集まって 1 バケットとなる。作られるデータセットの数は、 2^C (C : History Data Count) になる。従って、作られるバケットの数は、おおよそ $2^C / 6$ 。

Table A2-3 : HK telemetry relevant to NIRS.

NIRSに関連するHKテレメトリ

HK:W213 NIRSHK0

	TLM NAME	FUNCTION
B0	NIRS_SHUT_MOD	NIRS Shutter Mode
B1		00:chop, 01:close, 10:open, 11:open
B2	NIRS_LED_ON	NIRS LED ON/OFF (0 : OFF, 1 : ON)
B3	NIRS_LAMP_ON	NIRS Lamp ON/OFF (0 : OFF, 1 : ON)
B4	NIRS_STRT	NIRS Observation STRT/STOP (0 : STOP, 1 : START)
B5	NIRS_TEC_ON	NIRS TEC ON/OFF (0 : OFF, 1 : ON)
B6	NIRS_SHUT_ON	NIRS Shutter ON/OFF (0 : OFF, 1 : ON)
B7	NIRS_PW_ON	NIRS Analog ON/OFF (0 : OFF, 1 : ON)

※ B4 (NIRS_STRT) はソフトウェア設定値、それ以外はH/W HKの値により決まる。

HK:W213 NIRSHK1

	TLM NAME	FUNCTION
B0	NIRS_CMD_ERR	NIRS Command error (0 : NON, 1 : ERROR)
B1	NIRS_PID	NIRS Cooler Mode
B2		000:open_1.25V, 001:open_1.60V, 010:open_2.00V,
B3		011:open_2.50V, 100:close_-19C, 101:close_-9.5C, 110:close_+1.0C, 111:close_+13C
B4	NIRS_LIS_GAIN	NIRS LIS Gain
B5		00:x1, 01:x9, 10:x19.5, 11:x4
B6	NIRS_LAMP_GAIN	NIRS Calibration Lamp Gain
B7		00:1.0V, 01:2.1V, 10:3.0V, 11:4.0V

※ B0(NIRS_CMD_ERR)は、NIRS_STRT (HK:W213, B4)=1の時に、NIRS_OBS_STOP, NIRS_OFF, NIRS_HK_FLG_RST (全てDC)以外のコマンドが来るとセットされるソフトウェア設定値。NIRS_HK_FLG_RSTによりリセットされる。B1~B7はH/W HKの値により決まる。

HK:W213 NIRSHK2

	TLM NAME	FUNCTION
B0	NIRS_OBS_MOD	NIRS Observation Mode (0 : CAL, 1 : NORMAL)
B1	NIRS_MEM_EMPTY	NIRS Memory Empty Flag (0 : NON, 1 : EMPTY)
B2	NIRS_FIFO_EMPTY	NIRS FIFO Empty Flag (0:NON, 1:EMPTY)
B3	NIRS_DCPG_BUSY	NIRS DCPG Busy Flag (0:NON, 1:BUSY)
B4	NIRS_OPT_HI	NIRS Optics Temperature Too High (0:NORMAL, 1:TOO_HIGH)
B5	NIRS_OPT_LO	NIRS Optics Temperature Too Low (0:NORMAL, 1:TOO_LOW)
B6	NIRS_MEM_FULL	NIRS Memory Full Flag (0:NON, 1:FULL)
B7	NIRS_FIFO_FULL	NIRS FIFO Full Flag (0:NON, 1:FULL)

※ B1 および B6 はソフトウェア内部の状況により決まる。それ以外はH/W HKの値により決まる。

※ B1 : NIRS_MEM_EMPTYとB6 : NIRS_MEM_FULLは、NIX-Eソフトウェアの内、NIRS用内部バッファの状況を示している。それとは別にテレメトリ用バッファがあるが、その状況には依存しない。NIRS_MEM_EMPTYは、バケット発生レートが特に大きくないかぎり（基本的にRAWモード

以外)は、1 (EMPTY) が正常。ただし、時々0 (NON) になっても特に異常ではない。NIRS_MEM_FULL は、通常0 (NON) になるはず。1 (FULL) は、テレメトリ・レートが想定されたものより小さいか、運用計画に誤りがあった場合などに考えられる。メモリ領域のサイズは約1M バイト(1024 X 1024 = 1,048,576 Byte)。溜まっているデータがメモリ領域サイズの約90%を越えたところで、休止状態になり FIFO からのデータが読まれなくなる。読み込み再開はメモリ領域サイズの約70%になった時点で行われる(このとき FIFO_RESET が1回行われる)。

- ※ B2 : NIRS_FIFO_EMPTY と B3 : NIRS_DCPG_BUSY は、HK が読みこまれた瞬間の値であり、どちらも 0 と 1 の両方を取りうる。NIRS_DCPG_BUSY は、1 (BUSY) になり続けなければ正常。NIRS_FIFO_EMPTY は、NIRS_STRT (HK:W213, B4)=1 の場合はほとんど 1 (EMPTY) で時々0 (NON) になるのが正常、NIRS_STRT (HK:W213, B4)=0 の場合は 0 (NON) になるのが正常。
- ※ B4 : NIRS_OPT_HI は、NIRS_OPT_TMP (NIX_STAT : W77)が、0x2213 (光学系温度 = $(8723-6573.7)/107.05 = +20.08$ °C) 以上になれば 1、それ以外は 0。ただし、LED_ON の時は OFF の時に比べて NIRS_OPT_TMP (NIX_STAT : W77)が 3~9 度高く出力されるために、光学系の温度が実際に+20°Cを超えていないにも関わらず、NIRS_OPT_HI が 1 になる可能性があることに注意。
- ※ B5 : NIRS_OPT_LO は、NIRS_OPT_TMP (NIX_STAT : W77)が、0x08f3 (光学系温度 = $(2291-6573.7)/107.05 = -40.00$ °C) 以下になれば 1、それ以外は 0。
- ※ B7 : NIRS_FIFO_FULL は、HK が読みこまれた瞬間の値であり、NIRS_STRT (HK:W213, B4)=1 の場合は 0 (NON) が正常。NIRS_STRT (HK:W213, B4)=0 の場合は 1 (FULL) が正常。

HK:W217 HK ANALOG

WORD	BIT Start	BIT Num.	TLM NAME	FUNCTION
217	0	4	NIRS_LIS_TMP0	NIRS LIS Temperature
217	4	4	NIRS_INTG_TIME0	NIRS Integration Time

- ※ それぞれ NIRS_LIS_TMP (NIX_STAT : W79)、および、NIRS_INTEG_TIME (NIX_STAT : W76) の最上位 4 ビットのみに対応。

Table A2-4 NIX-E status telemetry relevant to NIRS.

NIRSに関連するNIX-Eステータステレメトリ

Word	Bit 先頭	Bit 数	Status / Analog	TLM NAME	FUNCTION
26	0	1	Status	NIRS_SW_MODE	0 : PIXEL DATA MODE 1 : H/W HK HISTORY MODE
26	1	1	Status	NIRS_LIDAR_FLAG	0 : NORMAL MODE 1 : LIDAR MODE
26	2	1	Status	NIRS_DARK_SUB	0 : DARK SUBTRACT OFF 1 : DARK SUBTRACT ON
26	3	1	Status	NIRS_MEAN_DEV	0 : DEVIATION OUTPUT OFF 1 : DEVIATION OUTPUT ON
26	4	1	Status	NIRS_MAX_MIN	0 : MAX-MIN OUTPUT OFF 1 : MAX-MIN OUTPUT ON
26	5	1	Status		
26	6	1	Status	NIRS_FLASH_FLAG	0 : NORMAL MODE 1 : FLASH MODE
26	7	1	Status	NIRS_RAW_MODE	0 : STACK MODE 1 : RAW MODE
74	0	4	Analog	NIRS_HIST_INT	NIRS History Data Interval
74	4	4	Analog	NIRS_HIST_CNT	NIRS History Data Count
75	0	8	Analog	NIRS_STCK_COUNT	NIRS Stack Index
76	0	8	Analog	NIRS_INTG_TIME	NIRS Integration Time
77	0	16	Analog	NIRS_OPT_TMP	NIRS OPT Temperature
79	0	16	Analog	NIRS_LIS_TMP	NIRS LIS Temperature
81	0	16	Analog	NIRS_PEL_CUR	NIRS Peltier Current
83	0	16	Analog	NIRS_SHT_CUR	NIRS Shutter Current
85	0	16	Analog	NIRS_LAMP_CUR	NIRS LAMP Current
87	0	16	Analog	NIRS_LED_CUR	NIRS LED Current
89	0	16	Analog	NIRS_FIFO_R_CNT	NIRS FIFO reset count
97	0	24	Analog	TLM_RD_PTR2	TLM Read Pointer Address for NIRS
100	0	24	Analog	TLM_WR_PTR2	TLM Write Pointer Address for NIRS
108	0	16	Analog	NIRS_DATA_01	NIRS Data Ch014[0-63]
110	0	16	Analog	NIRS_DATA_02	NIRS Data Ch015[0-63]
112	0	16	Analog	NIRS_DATA_03	NIRS Data Ch016[0-63]
114	0	16	Analog	NIRS_DATA_04	NIRS Data Ch017[0-63]
116	0	16	Analog	NIRS_DATA_05	NIRS Data Ch018[0-63]
118	0	16	Analog	NIRS_DATA_06	NIRS Data Ch019[0-63]
120	0	16	Analog	NIRS_DATA_07	NIRS Data Ch020[0-63]
122	0	16	Analog	NIRS_DATA_08	NIRS Data Ch021[0-63]
124	0	16	Analog	NIRS_DATA_09	NIRS Data Ch022[0-63]

※NIRS_FIFO_R_CNTはOBS_STRTの際に1つ増える。またMEM_FULLになってデータ取得が休止した後再開した場合も1つ増える。

Appendix 3 NIRS の観測パラメータ一覧

Table A3-1 に打ち上げ後小惑星到着までに行った観測における観測パラメータをまとめる。また Table A3-2 に小惑星滞在中に行った観測における観測パラメータをまとめる。

Table A3-2 : NIRS observational parameter during rendezvous phase.

小惑星滞在中の観測における NIRS の観測パラメータ

Data file name	Obs.time.UT	Data file name	Obs.date	Obs.time.UT	US temp	Shutter	Integ	Lamp	LED	mean	std	max_min_stack	data_hist	FLASH	LIDAR	Lamp Gain	LIS Gain
2364638009	2005 9 10	2364638144	2005 9 10	5 09 11	15 chop		57 344	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2364638937	2005 9 10	2364802150	2005 9 10	6 34 26	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2365344848	2005 9 10	2366800870	2005 9 10	23 54 36	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	10 data	OFF	OFF	1V	
2366809462	2005 9 10	2367183129	2005 9 11	3 13 41	15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	10 data	OFF	OFF	1V	
2367185257	2005 9 11	2368594035	2005 9 11	15 29 13	15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	8 data	OFF	OFF	1V	
2368599430	2005 9 11	2369565820	2005 9 11	23 54 39	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	10 data	OFF	OFF	1V	
2369333888	2005 9 11	2369810636	2005 9 12	2 02 09	15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	10 data	OFF	OFF	1V	
2369816307	2005 9 12	2371011408	2005 9 12	12 28 14	15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	8 data	OFF	OFF	1V	
2371016600	2005 9 12	2372636035	2005 9 13	2 33 40	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	10 data	OFF	OFF	1V	
2372640598	2005 9 13	2402903574	2005 9 24	1 18 09	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	10 data	OFF	OFF	1V	
2402906195	2005 9 24	2403409254	2005 9 24	5 42 04	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2403414595	2005 9 24	240592972	2005 9 25	3 45 49	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2405956557	2005 9 25	2428292331	2005 10 3	5 23 57	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	10 data	OFF	OFF	1V	
2433511897	2005 10 5	2434222233	2005 10 5	9 10 06	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	9 data	OFF	OFF	1V	
243424384	2005 10 5	243592923	2005 10 5	23 58 45	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2436142560	2005 10 6	2436929417	2005 10 6	8 40 03	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2436931808	2005 10 6	2438456553	2005 10 6	21 54 53	15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	6 data	OFF	OFF	1V	
2439231772	2005 10 7	2440075958	2005 10 7	11 58 38	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2442088868	2005 10 8	2451842300	2005 10 11	18 07 00	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	6 data	OFF	OFF	1V	
2452917305	2005 10 12	2454778374	2005 10 12	19 55 58	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2455547700	2005 10 13	2457546882	2005 10 13	19 38 08	-15 chop		16 896	OFF	OFF	ON	ON	ON	6 data	OFF	OFF	1V	
2458229971	2005 10 14	2460435600	2005 10 14	20 42 34	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2461712672	2005 10 15	2471522265	2005 10 18	20 56 32	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	6 data	OFF	OFF	1V	
2472630950	2005 10 19	2474938118	2005 10 20	2 35 47	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	
2480708627	2005 10 22	2485443430	2005 10 23	21 46 58	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	6 data	OFF	OFF	1V	
2486174486	2005 10 24	2493712028	2005 10 26	21 33 22	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2494104339	2005 10 27	2498320306	2005 10 28	22 15 46	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2499798883	2005 10 29	2502339160	2005 10 30	0 26 34	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	6 data	OFF	OFF	1V	
2503077612	2005 10 30	2503078684	2005 10 30	6 51 43	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503079948	2005 10 30	2503083171	2005 10 30	6 54 04	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503084012	2005 10 30	2503087235	2005 10 30	6 56 10	-15 chop		51 2	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503088076	2005 10 30	2503089152	2005 10 30	6 57 10	-15 chop		51 2	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503091436	2005 10 30	2503094659	2005 10 30	7 00 03	-15 chop		51 2	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503095417	2005 10 30	2503096492	2005 10 30	7 01 00	-15 chop		57 344	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503097497	2005 10 30	2503098572	2005 10 30	7 02 04	-15 chop		57 344	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503098577	2005 10 30	2503100652	2005 10 30	7 03 10	-15 chop		38 4	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503101657	2005 10 30	2503102732	2005 10 30	7 04 14	-15 chop		12 8	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503103737	2005 10 30	2503104812	2005 10 30	7 05 20	-15 chop		6 4	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503105817	2005 10 30	2503106892	2005 10 30	7 06 34	-15 chop		2 56	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503107900	2005 10 30	2503108976	2005 10 30	7 07 39	-15 chop		1 28	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503109977	2005 10 30	2503111052	2005 10 30	7 08 44	-15 chop		0 51 2	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503124108	2005 10 30	2503122848	2005 10 30	7 14 44	-23 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503128176	2005 10 30	2503127331	2005 10 30	7 17 04	-23 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503132236	2005 10 30	2503131398	2005 10 30	7 19 10	-23 chop		51 2	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503135596	2005 10 30	2503133312	2005 10 30	7 20 10	-23 chop		51 2	OFF	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503139577	2005 10 30	2503138819	2005 10 30	7 23 03	-23 chop		25 6	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	1V	
2503141660	2005 10 30	2503140652	2005 10 30	7 24 00	-23 chop		57 344	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503143740	2005 10 30	2503142736	2005 10 30	7 25 05	-23 chop		57 344	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503145817	2005 10 30	2503144816	2005 10 30	7 26 10	-23 chop		51 2	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503147897	2005 10 30	2503146892	2005 10 30	7 27 14	-23 chop		38 4	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503149977	2005 10 30	2503148972	2005 10 30	7 28 20	-23 chop		6 4	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503152057	2005 10 30	2503151049	2005 10 30	7 29 34	-23 chop		2 56	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503154137	2005 10 30	2503153132	2005 10 30	7 30 39	-23 chop		1 28	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503159769	2005 10 30	2503155212	2005 10 30	7 31 11	-23 chop		0 51 2	ON	OFF	ON	ON	ON	7 data	OFF	OFF	3V	
2503159769	2005 10 30	2503161244	2005 10 30	7 34 13	-15 chop		25 6	OFF	OFF	ON	ON	ON	5 data	OFF	OFF	1V	

Start		End																				
Data_file_name	Obs.date	Obs.time:UT	Data_file_name	Obs.date	Obs.time:UT	LIS.temp	Shutter	Integ	Lamp	LED	mean	std	max	min	stack	data_hght	FLASH	LIDAR	Lamp	Gain	LIS	Gain
2503162064	2005 10 30	7:35:17	2503165376	2005 10 30	7:37:01	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2503165329	2005 10 30	7:39:24	2503169620	2005 10 30	7:41:01	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	5 data	OFF	ON	IV			
2503169668	2005 10 30	7:41:13	2503173056	2005 10 30	7:43:06	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2503173209	2005 10 30	7:43:10	2503176835	2005 10 30	7:44:36	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	5 data	OFF	ON	IV			
2503177465	2005 10 30	7:45:13	2503180220	2005 10 30	7:46:08	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2503180889	2005 10 30	7:45:23	2503182636	2005 10 30	20:19:07	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	5 data	OFF	ON	IV			
2503199008	2005 10 30	5:08:50	2510374880	2005 11 1	22:11:48	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2505456878	2005 10 31	5:11:06	2516498486	2005 11 4	3:19:40	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2511256873	2005 11 2	3:20:15	2516500108	2005 11 4	3:22:02	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2516486707	2005 11 4	3:22:15	2516592067	2005 11 4	4:09:47	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2516500796	2005 11 4	4:10:24	2516596096	2005 11 4	4:12:01	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2516592998	2005 11 4	4:12:17	2516622105	2005 11 4	4:25:26	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2516623814	2005 11 4	4:26:27	2516626832	2005 11 4	4:28:02	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2516627609	2005 11 4	4:28:24	2516687929	2005 11 4	6:39:49	-15 chop		16.898 OFF	16.898 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2529134272	2005 11 8	17:02:06	2529823094	2005 11 8	23:00:51	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2529824195	2005 11 8	23:01:30	2529827123	2005 11 8	23:03:01	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2529827635	2005 11 8	23:03:13	2530064937	2005 11 9	1:06:48	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2530065766	2005 11 9	1:07:19	2530069056	2005 11 9	1:09:02	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2530069347	2005 11 9	1:09:06	2530172160	2005 11 9	2:02:39	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2530173574	2005 11 9	2:03:28	2530176576	2005 11 9	2:05:02	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2530177030	2005 11 9	2:05:13	2530340873	2005 11 9	3:30:33	-15 chop		16.898 OFF	16.898 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2530341520	2005 11 9	3:30:51	2530456144	2005 11 9	4:30:33	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2530457481	2005 11 9	4:31:20	2530460761	2005 11 9	4:33:02	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2530461267	2005 11 9	4:33:13	2530563545	2005 11 9	5:26:30	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2530564182	2005 11 9	5:26:51	2530595315	2005 11 9	5:43:04	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2530596019	2005 11 9	5:43:24	2530629574	2005 11 9	6:00:53	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2537626652	2005 11 11	18:45:07	2538003545	2005 11 11	22:01:24	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2538004601	2005 11 11	22:02:02	2538007888	2005 11 11	22:03:44	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2538008176	2005 11 11	22:03:49	2538349254	2005 11 12	1:01:27	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2538350236	2005 11 12	1:02:03	2538353478	2005 11 12	1:03:44	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2538353798	2005 11 12	1:03:49	2538694880	2005 11 12	4:01:28	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2538696000	2005 11 12	4:02:08	2538699104	2005 11 12	4:03:45	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2538699398	2005 11 12	4:03:49	2539114307	2005 11 12	7:39:55	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	3 data	OFF	ON	IV			
2548321753	2005 11 16	0:16:10	2553202547	2005 11 18	3:19:01	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	6 data	OFF	ON	IV			
2559238390	2005 11 19	14:21:10	2560178400	2005 11 19	22:30:45	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	5 data	OFF	ON	IV			
2572913462	2005 11 24	13:03:10	2572914537	2005 11 24	13:03:44	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572915788	2005 11 24	13:04:23	2572919011	2005 11 24	13:06:04	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572919974	2005 11 24	13:06:33	2572923196	2005 11 24	13:08:14	-15 chop		51.2 OFF	51.2 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572924272	2005 11 24	13:08:48	2572924806	2005 11 24	13:09:04	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572927305	2005 11 24	13:10:23	2572930528	2005 11 24	13:12:04	-15 chop		25.6 OFF	25.6 OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572931286	2005 11 24	13:12:28	2572932361	2005 11 24	13:13:02	-15 chop		57.344 ON	57.344 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572933337	2005 11 24	13:13:31	2572934412	2005 11 24	13:14:05	-15 chop		51.2 ON	51.2 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572935417	2005 11 24	13:14:36	2572936492	2005 11 24	13:15:10	-15 chop		38.4 ON	38.4 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572942472	2005 11 24	13:15:41	2572943572	2005 11 24	13:16:15	-15 chop		12.8 ON	12.8 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572939596	2005 11 24	13:16:47	2572940668	2005 11 24	13:17:21	-15 chop		6.4 ON	6.4 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572941715	2005 11 24	13:18:02	2572942790	2005 11 24	13:18:36	-15 chop		2.56 ON	2.56 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572943740	2005 11 24	13:19:06	2572944816	2005 11 24	13:19:39	-15 chop		1.28 ON	1.28 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			
2572945817	2005 11 24	13:20:11	2572946355	2005 11 24	13:20:28	-15 chop		0.512 ON	0.512 ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	7 data	OFF	ON	IV			

References

- 安部正真, 石橋之宏, 松浦周二, 近赤外線分光器, *遊・星・人* 6, 145-150, 1997.
- 安部正真, 藤原顕, MUSES-C 近赤外線分光器(NIRS)の現状, *日本惑星科学会 1998 年秋季講演会予稿集*, 57, 1998.
- Abe, M., A. Fujiwara, and Y. Takagi, Near Infrared Spectrometer of MUSES-C, *Asteroids Comets Meteors 1999 Abstract*, 14.34p, 1999.
- 安部正真, 高木靖彦, 尾島隆信, 及川拓也, 神田成治, 津野克彦, 藤原顕, 小惑星探査計画 MUSES-C 搭載近赤外線分光器(NIRS)の開発と製作, *日本惑星科学会 2000 年秋季講演会予稿集*, 220, 2000.
- Abe, M., Y. Takagi, A. Fujiwara, S. Takagi, T. Ojima, and F. Vilas, Orbiter Near Infrared Spectrometer for MUSES-C Mission, *EOS Trans. AGU*, 81(22), *Western Pacific Geophysics Meet. Suppl.*, P42A-08, 2000.
- 安部正真, 阿部新助, 高木靖彦, 藤原顕, MUSES-C 搭載用近赤外線分光器 NIRS の最終性能および観測計画, *日本惑星科学会 2002 年秋季講演会予稿集*, 60, 2002.
- Abe, M., S. Abe, Y. Takagi, and A. Fujiwara, Pre-flight Calibration of NIRS (Near-Infrared Spectrometer) of the MUSES-C Mission, *Asteroids Comets Meteors 2002 Abstracts*, 02-11p, 2002a.
- Abe, M., Y. Ohba, M. Ishiguro, S. Hasegawa, T. Kwiatkowski, and B. Dermawan, Physical Model of Asteroid (25143) 1998 SF36, a Target of the MUSES-C Mission, *Asteroids Comets Meteors 2002 Abstracts*, 18-24p, 2002b.
- Abe, M., Y. Ohba, M. Ishiguro, S. Hasegawa, T. Fuse, K. Aoki, Y. Ohyama, N. Kashikawa, FOCAS team, A. Tokunaga, M. Goto, T. Usuda, H. Terada, N. Kobayashi, IRCS team, and A. Fujiwara, Physical Model and Taxonomic Type of 1998 SF36, the Target Asteroid of Sample Return Mission, MUSES-C, *Lunar and Planetary Science Conference 2002*, #1666, 2002c.
- 安部正真, 高木靖彦, 阿部新助, 北里宏平, 廣井孝弘, 上田裕司, Faith Vilas, Beth E. Clark,

- 藤原顕, はやぶさ MUSES-C 搭載近赤外線分光器 NIRS の初期運用報告, *日本惑星科学会 2003 年秋季講演会予稿集*, 99, 2003.
- 安部正真, 高木靖彦, 阿部新助, 北里宏平, 廣井孝弘, 上田裕司, 藤原顕, 小惑星探査機はやぶさ搭載近赤外線分光器チーム, 小惑星探査機「はやぶさ」搭載近赤外線分光器によるクルージングフェーズ観測, *地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会予稿集*, P041-014, 2004.
- Abe, M., Y. Takagi, S. Abe, K. Kitazato, T. Hiroi, Y. Ueda, F. Vilas, B. E. Clark, and A. Fujiwara, Characteristics and current status of near infrared spectrometer for Hayabusa mission, *Lunar and Planetary Science Conference XXXV*, #1724, 2004a.
- Abe, M., Y. Takagi, K. Kitazato, T. Hiroi, S. Abe, A. Fujiwara, and NIRS-team, Lunar and planetary observation with near-infrared spectrometer on Hayabusa spacecraft, *Proceedings of the 37th Lunar and Planetary Symposium*, 274-277, 2004b.
- Abe, M., Y. Takagi, K. Kitazato, T. Hiroi, S. Abe, F. Vilas, B. E. Clark, and A. Fujiwara, Observations with near infrared spectrometer for Hayabusa mission in the cruising phase, *Lunar and Planetary Science Conference XXXVI*, #1604, 2005.
- Abe, M., Y. Takagi, K. Kitazato, S. Abe, T. Hiroi, F. Vilas, B. E. Clark, P. A. Abell, S. M. Lederer, K. S. Jarvis, T. Nimura, Y. Ueda, and A. Fujiwara, Near-Infrared Spectral Results of Asteroid Itokawa from the Hayabusa Spacecraft, *Science*, 312, 1334-1338, 2006a.
- Abe, M., Y. Takagi, K. Kitazato, T. Hiroi, S. Abe, F. Vilas, B. E. Clark, P. A. Abell, S. M. Lederer, K. S. Jarvis, T. Nimura, Y. Ueda, and A. Fujiwara, Preliminary results from the Hayabusa near infrared spectrometer (NIRS) of asteroid (25143) Itokawa, *Lunar and Planetary Science Conference XXXVII*, #1547, 2006b.
- 安部正真, 高木靖彦, 北里宏平, 阿部新助, 廣井孝弘, 二村徳宏, 上田裕司, 藤原顕, 小惑星探査機はやぶさ搭載近赤外線分光器チーム, 小惑星探査機「はやぶさ」搭載近赤外線分光器による小惑星イトカワの観測, *日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集*, P231-009, 2006.
- Abell, P. A., F. Vilas, K. Jarvis, M. J. Gaffey, and M. S. Kelley, Mineralogical

- Composition of (25143) Itokawa 1998 SF36 from Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy: Evidence for Partial Melting, *submitted to be Meteoritics and Planetary Science*, 2006.
- Adams, J. B., and T. B. McCord, Alteration of Lunar Optical Properties: Age and Composition Effects, *Science*, 171, 567-571, 1971.
- Adams, J. B., Visible and Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra of Pyroxenes as Applied to Remote Sensing Solid Objects in the Solar System, *J. Geophys. Res.*, 79, 4829-4836, 1974.
- Adams, J. B., Interpretation of visible and near infrared diffuse reflectance spectra of pyroxenes and other rock-forming minerals, in *Infrared and Raman Spectroscopy of Lunar and Terrestrial Minerals* (ed. by Karr C. Jr.), 91-116, 1975.
- Al-Bassam, K. S., The Mineralogy and Chemistry of the Alta'ameem Meteorite, *Meteoritics*, 13, 257-265, 1978.
- Bell, J. F., P. D. Owensby, B. R. Hawke, and M. J. Gaffey, The 52-Color Asteroid Survey: Final Results and Interpretation, *Lunar and Planetary Science Conference XIX*, 57-58, 1988.
- Bell, J. F., D. R. Davis, W. K. Hartmann, and M. J. Gaffey, Asteroids: The Big Picture, in *Asteroid II* (Eds. R. P. Binzel, T. Gehrels, and M. S. Matthews), 921-945, 1989.
- Binzel, R. P., An Overview of the Asteroids, in *Asteroid II* (Eds. R. P. Binzel, T. Gehrels, and M. S. Matthews), 3-18, 1989.
- Binzel, R. P., S. J. Bus, T. H. Burbine, and J. M. Sunshine, Spectral Properties of Near-Earth Asteroids: Evidence for Source of Ordinary Chondrite Meteorites, *Science*, 273, 946-948, 1996.
- Binzel, R.P., *IAU Circular*, 7609, 2001.
- Binzel, R. P., A. S. Rivkin, S. J. Bus, J. M. Sunshine, and T. H. Burbine, MUSES-C Target Asteroid 1998 SF36: A Reddened Ordinary Chondrite, *Meteoritics and*

- Planetary Science*, 36, 1167-1172, 2001a.
- Binzel, R. P., and A. S. Rivkin, *IAU Circular*, 7598, 2001b.
- Binzel, R. P., A. R. Rivkin, J. S. Stuart, A. W. Harris, S. J. Bus, and T. H. Burbine, Observed spectral properties of near-Earth objects: results for population distribution, source regions, and space weathering processes, *Icarus*, 170, 259-294, 2004.
- Bobrovnikoff, The spectra of minor planets, *Lick Observatory bulletin*, 407, 18-27, 1929.
- Bowell, E., C. R. Chapman, J. C. Gradie, D. Morrison, and B. Zellner, Taxonomy of Asteroids, *Icarus*, 35, 313-335, 1978.
- Burbine, T. H., P. C. Buchanan, R. P. Binzel, S. J. Bus, T. Hiroi, J. L. Hinrichs, A. Meibom, and T. J. McCoy, Vesta, Vestoids, and the howardite, eucrite, diogenite group: Relationships and the origin of spectral differences, *Meteoritics & Planetary Science*, 36, 761-781, 2001.
- Burbine, T. H., and R. P. Binzel, Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey in the Near-Infrared, *Icarus*, 159, 468-499, 2002.
- Burbine, T. H., T. J. McCoy, E. Jarosewich., and J. M. Sunshine, Deriving asteroid mineralogies from reflectance spectra: Implications for the MUSES-C target asteroid, *Antarct. Meteorite Res.*, 16, 185-195, 2003a.
- Burbine, T. H., T. J. McCoy, A. Meibom, B. Gladman, and K. Keil, Meteoritic Parent Bodies: Their Number and Identification, in *Asteroid III* (Eds. by Bottke Jr. W. F, Cellino A., Paolicchi P., Binzel R. P.), 653-667, 2003b.
- Burns, R. G., *Mineralogical Applications of Crystal Field Theory*, Cambridge University Press, 1970.
- Bus, S. J., R. P. Binzel, Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey. The Observation, *Icarus*, 158, 106-145, 2002a.

- Bus, S. J., and R. P. Binzel, Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey. A Feature-Based Taxonomy, *Icarus*, 158, 146-177, 2002b.
- Cellino, A., F. Yoshida, E. Anderlucci, P. Bendjoya, M. Di Martino, M. Ishiguro, A. M. Nakamura, and J. Saito, A polarimetric study of Asteroid 25143 Itokawa, *Icarus*, 179, 297-303, 2005.
- Chapman, C. R., T. V. Johnson, and T. B. McCord, A Review of Spectrophotometric Studies of Asteroids, in *Physical Studies of Minor Planets* (Ed, T. Gehrels), 51-66, 1971.
- Chapman, C. R., D. Morrison, and B. Zellner, Surface Properties of Asteroids: A Synthesis of Polarimetry, Radiometry, and Spectrophotometry, *Icarus*, 25, 104-130, 1975.
- Chapman, C. R., The Asteroids: Nature, Interrelations, Origin, and Evolution, in *Asteroids* (Ed, T. Gehrels), 25-60, 1979.
- Chapman, C. R., and M. J. Gaffey, Reflectance spectra for 277 asteroids, in *Asteroids* (ed. by Gehrels T.), 655-687, 1979.
- Chapman, C. R., Implications of the Infrared Compositions of Asteroids for their Collisional Evolution, *Mem. Soc. Astron. Italiana* 57, 103-114, 1986.
- Chapman, C. R., S-type asteroids, ordinary chondrites, and space weathering: The evidence from Galileo's fly-bys of Gaspra and Ida, *Meteoritics and Planetary Science*, 31, 699-725, 1996.
- Clark, B. E., Spectral mixing models of S-type asteroids, *J. Geophys. Res.*, 100, 14443-14456, 1995.
- Clark, B. E., J. F. Bell, F. P. Fanale, and D. J. O'Connor, Results of the Seven-Color Asteroid Survey: Infrared Spectral Observations of ~ 50 -km Size S-, K-, and M-Type Asteroids, *Icarus*, 113, 387-402, 1995.
- Clark, B. E., P. Lucey, P. Helfenstein, J. F. Bell III, C. Peterson, J. Veverka, T.

- McConnochie, M. S. Robinson, B. Bussey, S. L. Murchie, N. I. Izenberg, and C. R. Chapman, Space weathering on Eros: Constraints from albedo and spectral measurements of Psyche crater, *Meteoritics and Planetary Science*, 36, 1617-1637, 2001.
- Clark, B. E., P. Helfenstein, J. F. Bell III, C. Peterson, and J. Veverka, NEAR Infrared Spectrometer Photometry of Asteroid 433 Eros, *Icarus*, 155, 189-204, 2002.
- Clark, R. N., and T. B. McCord, Jupiter and Saturn: Near-Infrared Spectral Albedos, *Icarus*, 40, 180-188, 1979.
- Clark, R. N., G. A. Swayze, A. J. Gallagher, T. V. V. King, and W. M. Calvin, The U. S. Geological Survey, Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns, *U. S. Geological Survey. Open File Report*, 93-592, 1993.
- Cloutis, E. A., M. J., Gaffey, T. L. Jackowski, and K. L. Reed, Calibrations of Phase Abundance, Composition, and Particle Size Distribution for Olivine-Orthopyroxene Mixtures From Reflectance Spectra, *J. Geophys. Res.*, 91, 1986.
- Dermawan, B., Photometric Observations of MUSES-C Mission Target: Asteroid (25143) 1998 SF36, *Master Thesis of the University of Tokyo*, 2001.
- Dermawan, B., T. Nakamura, H. Fukushima, H. Sato, F. Yoshida, and Y. Sato, CCD photometry of the MUSES-C Mission Target: Asteroid (25143) 1998 SF36, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 54, 635-640, 2002.
- Fischer, H., Farbmessungen an Kleinen Planeten, *Astron. Nachr.*, 272, 127-147, 1941.
- Fujiwara, A., J. Kawaguchi, and K. T. Uesugi, Role of sample return mission MUSES-C in asteroid study, *Advance in Space Res.*, 34, 2267-2269, 2004.
- Fujiwara, A., J. Kawaguchi, D. K. Yeomans, M. Abe, T. Mukai, T. Okada, J. Saito, H. Yano, M. Yoshikawa, D. J. Scheeres, O. Barnouin-Jha, A. F. Cheng, H. Demura, R. W. Gaskell, N. Hirata, H. Ikeda, T. Kominato, H. Miyamoto, A. M. Nakamura, R. Nakamura, S. Sasaki, K. Uesugi, The Rubble-Pile Asteroid Itokawa as Observed by Hayabusa, *Science*, 312, 1330-1334, 2006.

- Gaffey, M. J., Spectral Reflectance Characteristics of the Meteorites Classes, *J. Geophys. Res.*, 81, 905-920, 1976.
- Gaffey, M. J., and T. B. McCord, Mineralogical characterizations from reflectance spectra, *Space Sci. Rev.*, 21, 555-628, 1978.
- Gaffey, M. J., J. F. Bell, and D. P. Cruikshank, Reflectance Spectroscopy and Asteroid Surface Mineralogy, in *Asteroids II* (Eds. R. P. Binzel, T. Gehrels, and M. S. Matthews), 98-127, 1989.
- Gaffey, M. J., J. F. Bell, R. H. Brown, and T. Burbine, Mineralogical variations within the S-asteroid population, *Lunar and Planetary Science XXI*, 399-400, 1990.
- Gaffey, M. J., J. F. Bell, R. H. Brown, T. H. Burbine, J. L. Piatek, K. L. Reed, and D. A. Chaky, Mineralogical Variations within the S-type Asteroid Class, *Icarus*, 106, 573-602, 1993a.
- Gaffey, M. J., T. H. Burbine, and R. P. Binzel, Asteroid spectroscopy: Progress and Perspectives, *Meteoritics*, 28, 161-187, 1993b.
- Gehrels, T., Photometry of asteroids, in *Surfaces and Interiors of Planets and Satellites* (Ed. A. Dollfus), 319-375, 1970.
- Gezari, D. Y., M. Schmits, and J. M. Mead, Catalog of Infrared Observations. *NASA RP*, 1118, 1984.
- Gill, S. L., S. M. Lederer, J. E. Thomas-Osip, D. J. Osip, F. Vilas, and K. S. Jarvis, The Las Campanas/Lowell Observatory 2004 Itokawa Campaign: UBVRI Broadband Photometry Colors, *36th DPS meeting abstract*, 32.14, 2004.
- Gradie, J., and E. Tedesco, Compositional Structure of the Asteroid Belt, *Science*, 216, 1405-1407, 1982.
- Gradie, J. C., C. R. Chapman, and E. F. Tedesco, Distribution of Taxonomic Classes and the Compositional Structure of the Asteroid Belt, in *Asteroid II* (Eds. by Binzel R. P.,

- Gehrels T., Matthews M. S.), 316-335, 1989.
- Green, S. F., N. McBride, M. Müller, J. K. Hillier, J. K. Davies, R. Mann, and H. Yano, Physical Properties of MUSES-C Target Asteroid 1998 SF36, *Asteroids 2001 abstracts*, 238, 2001.
- Groeneveld, I., and G. P. Kuiper, Photometric Studies of Asteroids. I, *Astrophys. J.*, 120, 200-220, 1954.
- Hahn, G., and C.-I. Lagerkvist, Physical studies of asteroids: XVII. JHK photometry of selected main-belt and near-earth asteroids, *Icarus*, 74, 451-471, 1988.
- Hapke, B., Inferences from optical properties concerning the surface texture and composition of asteroids, in *Physical Studies of Minor Planets* (Ed. T. Gehrels), 67-77, 1971.
- Hapke, B., Bidirectional reflectance spectroscopy I. Theory, *J. Geophys. Res.*, 86, 3039-3054, 1981.
- Hapke, B., Bidirectional reflectance spectroscopy III. Correction for macroscopic roughness, *Icarus*, 59, 41-59, 1984.
- Hapke, B., Bidirectional reflectance spectroscopy IV. The extinction coefficient and the opposition effect, *Icarus*, 67, 264-280, 1986.
- Hapke, B., *Theory of Reflectance and Emittance Spectroscopy*, Cambridge University Press, 1993.
- Hapke, B., Space weathering from Mercury to the asteroid belt, *J. Geophys. Res.*, 106, 10039-10073, 2001.
- Hicks, M., P. Weissman, A. Chamberlin, and S. Lowry, *IAU Circular*, 7598, 2001.
- Hiroi, T., and C. M. Pieters, Estimation of grain sizes and mixing ratios of fine powder mixtures of common geologic minerals, *J. Geophys. Res.*, 99, 10867-10879, 1994.

- Hiroi, T., M. Abe, K. Kitazato, S. Abe, B. E. Clark, S. Sasaki, M. Ishiguro, and O. S. Barnouin-Jha, Developing space weathering on the asteroid 25143 Itokawa, *Nature*, 443, 56-58, 2006.
- Ishiguro, M., S. Hasegawa, M. Abe, Y. Ohba, T. Fuse, A. Tokunaga, M. Goto, T. Usuda, H. Terada, N. Kobayashi, IRCS.Team, and A. Fujiwara, Near-Infrared Observation and Thermal Model of (25143) 1998 SF36, a Target Asteroid of MUSES-C Mission, *ACM 2002 Abstracts*, 18-12p, 2002.
- Ishiguro, M., M. Abe, Y. Ohba, A. Fujiwara, T. Fuse, H. Terada, M. Goto, N. Kobayashi, A. Tokunaga, and S. Hasegawa, Near-Infrared Observations of MUSES-C Mission Target, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 55, 691-699, 2003.
- Ivezić, Ž., S. Tabachnik, R. Rafikov, R. H. Lupton, T. Quinn, M. Hammergren, L. Eyer, J. Chu, J. C. Armstrong, X. Fan, K. Finlator, T. R. Geballe, J. E. Gunn, G. S. Hennessy, G. R. Knapp, S. K. Leggett, J. A. Munn, J. P. Pier, C. M. Rockosi, D. P. Schneider, M. A. Strauss, B. Yanny, J. Brinkmann, I. Casbai, R. B. Hindsley, S. Kent, D. Q. Lamb, B. Margon, T. A. McKay, J. A. Smith, P. Waddel, and D. G. York, Solar System Objects Observed in the Sloan Digital Sky Survey Commissioning Data, *Astron. J.*, 122, 2749-2784, 2001.
- Ivezić, Ž., R. H. Lupton, M. Jurić, S. Tabachnik, T. Quinn, J. E. Gunn, G. R. Knapp, C. M., Rockosi, and J. Brinkmann, Color Confirmation of Asteroid Families, *Astron. J.*, 124, 2943-2948, 2002.
- Izenberg, N. R., S. L. Murchie, J. F. Bell III, L. A. McFadden, D. D. Wellnitz, B. E. Clark, and M. J. Gaffey, Spectral properties and geologic processes on Eros from combined NEAR NIS and MSI data sets, *Meteoritics and Planetary Science*, 38, 1053-1077, 2003.
- Jarvis, K. S., P. A. Abell, F. Vilas, M. J. Gaffey, and M. S. Kelley, Improved NASA Infrared Telescope Facility (IRTF) Spectral Reduction Procedures and Compositional Results of Asteroid 25143 Itokawa, *36th DPS meeting abstract*, 32.09, 2004a.
- Jarvis, K. S., F. Vilas, M. S. Kelley, and P. A. Abell, Visible/Near-Infrared Spectral

- Properties of MUSES-C Target Asteroid 25143 Itokawa, *Lunar and Planetary Science XXXV*, #2111, 2004b.
- Jedicke, R., D. Nesvorný, R. Whiteley, Ž. Ivezić, and M. Jurić, An age-colour relationship for main-belt S-complex asteroids, *Nature*, 429, 275-277, 2004.
- Johnson, R., and R. Christy, Optical constants of transition metals: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, and Pd, *Phys. Rev.*, B9, 5056-5070, 1974.
- Jurić, M., Ž. Ivezić, R. H. Lupton, T. Quinn, S. Tabachnik, X. Fan, J. E. Gunn, G. S. Hennessy, G. R. Knapp, J. A. Munn, J. R. Pier, C. M. Rockosi, D. P. Schneider, J. Brinkmann, I. Cabai, and M. Fukugita, Comparison of Positions and Magnitudes of Asteroids Observed in the Sloan Digital Sky Survey with those Predicted for known Asteroids, *Astron. J.*, 124, 1776-1787, 2002.
- Kaasalainen, M., T. Kwiatkowski, M. Abe, J. Piironen, T. Nakamura, Y. Ohba, B. Dermawan, T. Farnham, F. Colas, S. Lowry, P. Weissman, R. J. Whitely, D. J. Tholen, S. M. Larson, M. Yoshikawa, I. Toth, and E. P. Velichko, CCD photometry and model of MUSES-C target (25143) 1998 SF36, *Astron. & Astrophys.*, 405, L29-L32, 2003.
- Kaasalainen, M., M. Abe, J. Byron, M. Delbo, M. Di Martino, D. Higgins, K. Kitazato, S. Lowry, G. Masi, M. Müller, J. Naranen, D. Vokrouhlicky, B. D. Warner, P. Weissman, and J. Young, Photometric Observations 2001-2004 and Modeling of Asteroid (25143) Itokawa, *Proceedings of 1st Hayabusa symposium*, in Press, 2006.
- Kawaguchi, J., K. Uesugi, and A. Fujiwara, The MUSES-C mission for the sample return – its technology development status and readiness, *Acta Astronautica*, 52, 117-123, 2003.
- Kelley, M. S., F. Vilas, S. M. Lederer, K. S. Jarvis, S. M. Larson, and P. A. Abell, Analysis of data obtained during the March 2001 observing campaign of the MUSES-C target asteroid 1998 SF36, *Meteoritics and Planetary Science*, 36, A95, 2001.
- Kitamura, M., A Photometric Study of Colors of Asteroids and Meteorites, *Publ. Astron. Soc. Jap.*, 11, 79-89, 1959.

- Kitazato, K., B. E. Clark, M. Abe, S. Abe, Y. Takagi, T. Hiroi, O. S. Barnouin-Jha, P. A. Abell, and F. Vilas, Photometry and surface mapping of asteroid Itokawa from Hayabusa NIRS, *38th DPS meeting abstract*, 59.13, 2006.
- Klassen, D. R., and J. F. Bell III, Radiance factor calibration of near-infrared spectral images of Mars, *Icarus*, 163, 66-77, 2003.
- 王藤恵栄, *分光の基礎と方法*, オーム社, 1985.
- Kurucz, R. L., The solar irradiance by computation, in *Proceedings of the 17th Annual Conference on Transmission Models* (Anderson, G. P. Eds), 333-334, 1995.
- Kwiatkowski, Personal Communication, 2001.
- Lançon, A., and P. R. Wood, A library of 0.5 to 2.5 μm spectra of luminous cool stars, *Astron. and Astrophys.*, 146, 217-249, 2000.
- Lazzaro, D., C. A. Angeli, J. M. Carvano, T. Mothé-Diniz, R. Duffard, and M. Florczak, S³OS²: the visible spectroscopic survey of 820 asteroids, *Icarus*, 172, 179-220, 2004.
- Lederer, S. M., D. Domingue, K. Jarvis, S. Larson, F. Vilas, and L. French, A Phase Angle Study of MUSES-C Target 25143 (1998 SF36), *Lunar and Planetary Science Conference 2002*, #1956, 2002.
- Lederer, S. M., D. L. Domingue, F. Vilas, M. Abe, T. L. Farnham, K. S. Jarvis, S. C. Lowry, Y. Ohba, P. R. Weissman, L. M. French, H. Fukai, S. Hasegawa, M. Ishiguro, S. M. Larson, and Y. Takagi, Physical characteristics of Hayabusa target Asteroid 25143 Itokawa, *Icarus*, 173, 153-165, 2005.
- Lowry, S. C., P. R. Weissman, and M. D. Hicks, CCD Photometry and Spectroscopy of Asteroid 1998 SF36, *Asteroids 2001 Abstracts*, 247, 2001.
- Lowry, S. C., P. Weissman, M. D. Hicks, R. J. Whitely, and S. Larson, Physical Studies of Asteroid 1998 SF36 (25143) - Target of MUSES-C Sample Return Mission, *Asteroids Comets Meteors 2002 Abstracts*, 18-10p, 2002.

- Lowry, S. C., P. R. Weissman, M. D. Hicks, R. J. Whiteley, and S. Larson, Physical properties of Asteroid (25143) Itokawa – Target of the Hayabusa sample return mission, *Icarus*, 176, 408-417, 2005.
- Lu, J. X., and D. C. Jewitt, Charge-Coupled Device Spectra of Asteroids. I. Near-Earth and 3:1 Resonance Asteroids, *Astron. J.*, 99, 1985-2011, 1990.
- Magri, C., G. J. Consolmagno, S. J. Ostro, L. A. M. Benner, and B. R. Beeney, Radar constraints on asteroid regolith properties using 433 Eros as ground truth, *Meteoritics & Planetary Science*, 36, 1697-1709, 2001.
- McCord, T. B., J. B. Adams, and T. V. Johnson, Asteroid Vesta: Spectral Reflectivity and Compositional Implications, *Science*, 168, 1445-1447, 1970.
- McFadden, L. A., M. J. Gaffey, and T. B. McCord, Mineralogical-Petrological Characterization of Near-Earth Asteroids, *Icarus*, 59, 25-40, 1984.
- McFadden, L. A., D. D. Wellnitz, M. Schnaubelt, M. J. Gaffey, J. F. Bell III, N. Izenberg, S. Murchie, and C. R. Chapman, Mineralogical interpretation of reflectance spectra of Eros from NEAR near-infrared spectrometer low phase flyby, *Meteoritics and Planetary Science*, 36, 1711-1726, 2001.
- McSween, H. Y., and M. E. Bennett III, The Mineralogy of Ordinary Chondrites and Implications for Asteroid Spectrophotometry, *Icarus*, 90, 107-116, 1991.
- Michel, P., and M. Yoshikawa, Dynamical origin of the asteroid (25143) Itokawa: the target of the sample-return Hayabusa space mission, *Astron. Astrophys.*, 449, 817-820, 2006.
- Morrison, D., Radiometric diameters and albedos of 40 asteroids, *Astrophys. J.*, 194, 203-212, 1974.
- Moroz, L. V., A. V. Fissenko, L. F. Semjonova, C. M. Pieters, and N. N. Korotaeva, Optical Effects of Regolith Processes on S-Asteroids as Simulated by Laser Shots on Ordinary Chondrite and Other Mafic Materials, *Icarus*, 122, 366-382, 1996.

- Müller, M., M. Di Martion, A. W. Harris, M. Kaasalainen, and S. J. Bus, Indications for Regolith on Itokawa from Thermal-Infrared Observations, *Proceedings of 1st Hayabusa Symposium*, in Press, 2006.
- Müller, T. G., T. Sekiguchi, M. Kaasalainen, M. Abe, and S. Hasegawa, Thermal infrared observations of the Hayabusa spacecraft target asteroid 25143 Itokawa, *Astron. and Astrophys.*, 443, 347-355, 2005.
- Nesvorný, D., R. Jedicke, R. J. Whiteley, and Ž. Ivezić, Evidence for asteroid space weathering from the Sloan Digital Sky Survey, *Icarus*, 173, 132-152, 2005.
- Nishihara, S., M. Abe, S. Hasegawa, M. Ishiguro, K. Kitazato, N. Miura, H. Nonaka, Y. Ohba, M. Okyudo, T. Ozawa, Y. Sarugaku, and M. Ueno, Ground-based lightcurve observation of (25143) Itokawa, 2001-2004, *Lunar and Planetary Sci.*, XXXVI, #1833, 2005.
- Ohba, Y., Physical Model of (25143) 1998 SF36, Target Asteroid of Sample Return Mission, MUSES-C, *Master Thesis of the University of Tokyo*, 2002.
- Ohba, Y. M. Abe, S. Hasegawa, M. Ishiguro, T. Kwiatkowski, F. Colas, B. Dermawan, and A. Fujiwara, Pole orientation and triaxial ellipsoid shape of (25143) 1998 SF36, a target asteroid of the MUSES-C mission, *Earth Planets Space*, 55, 341-347, 2003.
- Ostro, S. J., L. A. M. Benner, M. C. Nolan, J. D. Giorgini, R. F. Jurgens, R. Rose, and D. K. Yeomans, Radar Observations of Asteroid 25143 (1998 SF36), *33th DPS meeting abstract*, 41.13, 2001.
- Ostro, S. J., L. A. M. Benner, M. C. Nolan, C. Magri, J. D. Giorgini, D. J. Sheeres, S. B. Broschart, M. Kaasalainen, D. Vokrouhlicky, S. R. Chesley, J.-L. Margot, R. F. Jurgens, R. Rose, D. K. Yeomans, S. Suzuki, and E. M. De Jong, Radar observations of asteroid 25143 Itokawa (1998 SF36), *Meteoritics and Planetary Science*, 39, 407-424, 2004.
- Ostro, S. J., L. A. M. Benner, C. Magri, J. D. Giorgini, R. Rose, R. F. Jurgens, R. Rose, D. K. Yeomans, A. A. Hine, M. C. Nolan, D. J. Sheeres, S. B. Broschart, M. Kaasalainen, and J.-L. Margot, Radar observations of Itokawa in 2004 and improved shape

- estimation, *Meteoritics & Planetary Science*, 40, 1563-1574, 2005.
- Pieters, C. M., Asteroid-Meteorite Connection: Regolith Effects Implied by Lunar Reflectance Spectra, *Meteoritics*, 19, 290-291, 1984.
- Pieters, C. M., The Moon as a Spectral Calibration Standard Enabled by Lunar Sample: The Clementine Example, *Abstract of Workshop on New Views of the Moon II: Understanding the Moon Through the Integration of Diverse Datasets*, 8025, 1999.
- Pieters, C. M., L. A. Taylor, S. K. Noble, L. P. Keller, B. Hapke, R. V. Morris, C. C. Allen, D. S. McKay, and S. Wentworth, Space weathering on airless bodies: Resolving a mystery with lunar samples, *Meteoritics and Planetary Science*, 35, 1101-1107, 2000.
- Pieters, C. M., and T. Hiroi, RELAB (Reflectance Experiment Laboratory): A NASA Multiuser Spectroscopy Facility, *Lunar and Planetary Science XXXV*, #1720, 2004.
- Rivkin, A. S., R. P. Binzel, J. Sunshine, S. J. Bus, and T. H. Burbine, A. Saxenae, Infrared spectroscopic observations of 69230 Hermes (1937 UB): possible unweathered endmember among ordinary chondrite analogs, *Icarus*, 172, 408-414, 2004.
- Salyk, C., and D. J. Tholen, Spectrum of MUSES-C target asteroid 1998 SF36 from TRISPEC observations, *34th DPS meeting abstract*, 14.06, 2002.
- Sasaki, S., K. Nakamura, Y. Hamabe, E. Kurahashi, and T. Hiroi, Production of iron nanoparticles by laser irradiation in a simulation of lunar-like space weathering, *Nature*, 410, 555-557, 2001.
- Saito, J., H. Miyamoto, R. Nakamura, M. Ishiguro, T. Michikami, A. M. Nakamura, H. Demura, S. Sasaki, N. Hirata, C. Honda, A. Yamamoto, Y. Yokota, T. Fuse, F. Yoshida, D. J. Tholen, R. W. Gaskell, T. Hashimoto, T. Kubota, Y. Higuchi, T. Nakamura, P. Smith K. Hirata, T. Honda, S. Kobayashi, M. Furuya, N. Matsumoto, E. Nemoto, A. Yukishita, K. Kitazato, B. Dermawan, A. Sogame, J. Terazono, C. Shinohara, and H. Akiyama, Detailed images of Asteroid 25143 Itokawa from Hayabusa, *Science*, 312, 1341-1344, 2006.

- Sekiguchi, T., M. Sterzik, N. Ageorges, and O. Hainaut, *IAU Circular*, 7598, 2001.
- Sekiguchi, T., M. Abe, H. Boehnhardt, B. Dermawan, O. R. Hainaut, and S. Hasegawa, Thermal observations of MUSES-C mission target (25143) 1998 SF36, *Astron. and Astrophys.*, 397, 325-328, 2003.
- Shepard, M. K., and R. E. Arvidson, The opposition surge and photopolarimetry of fresh and coated basalts, *Icarus*, 141, 172-178, 1999.
- Shkuratov, Y., L. Starukhina, H. Hoffmann, and G. Arnold, A Model of Spectral Albedo of Particulate Surfaces: Implications for Optical Properties of the Moon, *Icarus*, 137, 235-246, 1999.
- Sunshine, J. M., C. M. Pieters, and S. F. Pratt, Deconvolution of Mineral Absorption Bands: An Improved Approach, *J. Geophys. Res.*, 95, 6955-6966, 1990.
- Sunshine, J. M., C. M. Pieters, Determining the composition of olivine from reflectance spectroscopy, *J. Geophys. Res.*, 103, 13675-13688, 1998.
- Sykes, M. V., R. M. Cutri, J. W. Fowler, D. J. Tholen, M. F. Skrutskie, S. Price, and E. Tedesco, The 2MASS Asteroid and Comet Survey, *Icarus*, 146, 161-175, 2000.
- Sykes, M. V., R. M. Cutri, J. M. Fowler, B. Nelson, D. J. Tholen, M. F. Skrutskie, and S. Price, 2MASS Observations of the Solar System, *Proceedings of the Conference "Asteroids, Comets, Meteors" ACM 2002, ESA SP-500*, 481-484, 2002.
- Strazzulla, G., E. Dotto, R. Binzel, R. Brunetto, M. A. Barucci, A. Blanco, and V. Orfino, Spectral alternation of the Meteorite Epinal (H5) induced by heavy ion irradiation: a simulation of space weathering effects on near-Earth asteroids, *Icarus*, 174, 31-35, 2005.
- Tholen, D. J., Asteroid Taxonomy from Cluster Analysis of Photometry, *Doctoral thesis. University of Arizona*, 1984.
- Tholen, D. J., and M. A. Barucci, Asteroid Taxonomy, in *Asteroid II* (Eds. R. P. Binzel, T.

- Gehrels, and M. S. Matthews), 298-315, 1989.
- Tholen, D., J. Bauer, and G. V. Williams, 1998 SF36, *MPEC*, 2000-U40, 2000.
- Tholen, D. J., R. J. Whiteley, S. Larson, P. Weissman, and S. Lowry, Physical Model for MUSES-C Target 1998 SF36, *Asteroids 2001 Abstracts*, 263, 2001.
- Thomas-Osip, J. E., S. M. Lederer, D. J. Osip, F. Vilas, S. L. Gill, and K. Jarvis, The Las Campanas Observatory 2004 Itokawa Campaign: Simultaneous Near-IR and Visible Photometric Light Curve, *36th DPS meeting abstract*, 32.12, 2004.
- Thomas-Osip, J. E., S. M. Lederer, D. Domingue, D. J. Osip, F. Vilas, K. Jarvis, and S. L. Gill, The Las Campanas/Lowell Observatory 2004 Itokawa Campaign, *37th DPS meeting abstract*, 15.25, 2005.
- Tichy, M., Z. Moravec, F. B. Zoltowski, L. Sarounova, D. D. Balam, M. Blythe, F. Shelly, M. Bezpalko, J. Stuart, H. Viggh, R. Sayer, and G.V. Williams, 1998 SF36, *MPEC*, 1998-S45, 1998.
- Veeder, G. J., D. L. Matson, and C. Kowal, Infrared (JHK) photometry of asteroids, *Astron. J.*, 87, 834-839, 1982.
- Veverka, J., M. Robinson, P. Thomas, S. Murchie, J. F. Bell III, N. Izenberg, C. Chapman, A. Harch, M. Bell, B. Carcich, A. Cheng, B. Clark, D. Domingue, D. Dunham, R. Farquhar, M. J. Gaffey, E. Hawkins, J. Joseph, R. Kirk, H. Li, P. Lucey, M. Malin, P. Martin, L. McFadden, W. J. Merline, J. K. Miller, W. M. Owen Jr., C. Peterson, L. Prockter, J. Warren, D. Wellnitz, B. G. Willams, and D. K. Yeomans, NEAR at Eros: Imaging and Spectral Results, *Science*, 289, 2088-2097, 2000.
- Vilas, F., and B. A. Smith, Reflectance Spectrophotometry ($\sim 0.5\text{-}1.0\mu\text{m}$) of Outer-Belt Asteroids: Implications for Primitive, Organic Solar System Material, *Icarus*, 64, 503-516, 1985.
- Vilas, F., M. S. Kelley, S. M. Lederer, S. M. Larson, P. Abell, L. M. French, M. J. Gaffey, and K. S. Jarvis, A Spectral Study of MUSES-C Target 1998 SF36, *Asteroids 2001 Abstracts*, 185, 2001.

- Watson, F. G., Small Bodies and the Origin of the Solar System, *Doctoral Dissertation, Harvard Univ.*, 1938.
- Wetherill, G. W., and C. R. Chapman, Asteroids and Meteorites, in *Meteorites and the early solar system* (Eds. J. F. Kerridge and M. S. Matthews), 35-67, 1988.
- Wood, H. J., and G. P. Kuiper, Photometric studies of asteroids. X, *Astrophys. J.*, 137, 1279-1285, 1963.
- Xu, S., R. P. Binzel, T. H. Burbine, and S. J. Bus, Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey: Initial Results, *Icarus*, 115, 1-35, 1995.
- Yamada, M., S. Sasaki, H. Nagahara, A. Fujiwara, S. Hasegawa, H. Yano, T. Hiroi, H. Ohashi, and H. Ohtake, Simulation of space weathering of planet-forming materials: Nanosecond pulse laser irradiation and proton implantation on olivine and pyroxene samples, *Earth Planets Space*, 51, 1255-1265, 1999.
- Yano, H., T. Kubota, H. Miyamoto, T. Okada, D. Scheeres, Y. Takagi, K. Yoshida, M. Abe, S. Abe, O. Barnouin-Jha, A. Fujiwara, S. Hasegawa, T. Hashimoto, M. Ishiguro, M. Kato, J. Kawaguchi, T. Mukai, J. Saito, S. Sasaki, M. Yoshikawa, Touchdown of the Hayabusa Spacecraft at the Muses Sea on Itokawa, *Science*, 312, 1350-1353, 2006.
- Yoshikawa, M., A. Asami, D. Asher, N. Hashimoto, S. Nakano, K. Nishiyama, Y. Oshima, J. Terazono, H. Umehara, T. Urata, and S. Isobe, Current status of asteroid observations in Bisei Spaceguard Center, *Asteroids 2001 abstracts*, 323, 2001.
- Zellner, B., Polarimetric albedos of asteroids, *Bull. Am. Astron. Soc.*, 5, 388, 1973.
- Zellner, B., T. Gehrels, and J. Gradie, Minor planets and related objects. XVI. Polarimetric diameters, *Astron. J.*, 79, 1100-1110, 1974.
- Zellner, B., Asteroid Taxonomy and the Distribution of the Compositional Types, in *Asteroids* (Ed. Gehrels T.), 783-806, 1979.
- Zellner, B., D. J. Tholen, and E. F. Tedesco, The Eight-Color Asteroid Survey: Results for

589 Minor Planets, *Icarus*, 61, 355-416, 1985.

- [1] <http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/InnerPlot.html>
- [2] <http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/OuterPlot.html>
- [3] <http://www.vs.afrl.af.mil/ProductLines/IR-Clutter/modtran4.aspx>
- [4] <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0/modtran.html>
- [5] <http://naif.jpl.nasa.gov/naif/index.html>
- [6] http://www.planetary.brown.edu/rehab/rehab_pub/