

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21540441

研究課題名（和文）小惑星のサイズ分布観測と衝突進化計算による後期重爆撃期仮説の検証

研究課題名（英文）Study of the Late Heavy Bombardment through the asteroid SFD and numerical simulations of collisional evolution

研究代表者

伊藤 孝士 (ITO TAKASHI)

国立天文台・天文データセンター・助教

研究者番号：40280565

研究成果の概要（和文）：小惑星は太陽系の進化に於いて常に中心的な役割を果たして来た天体である。その中でも地球に接近して衝突の可能性すらある天体は地球接近小惑星と呼ばれ、活発なサーベイ観測の対象となっている。本研究での各種の光学観測と数値シミュレーションの結果より後期隕石重爆撃期を引き起こした衝突天体は太陽系の多様な場所から飛来した可能性があり、その起源を知るには更に詳細な観測データや探査ミッションの積み重ねが必要であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Asteroids have been playing a central role in the solar system evolution. Particularly, the near-Earth asteroids (NEAs) that approach the Earth and under active surveillance are the key objects in the collisional history of the solar system. Our study over the past three years indicates that the NEAs could fly into Earth's orbital region from a variety of places in the solar system through complicated dynamical processes, containing many ingredients from rocky asteroids to icy comets. Further accumulation of observational data as well as space mission results are necessary to get clearer pictures of the history of the solar system collisions related to NEAs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：固体惑星、衛星、小惑星、クレーター

## 1. 研究開始当初の背景

小惑星は太陽系の衝突進化に於いて常に中心的な役割を果たして来た天体である。その中でも地球に極めて接近して衝突の可能性すらある天体は地球接近小惑星と呼ばれ、活発なサーベイ観測の対象となっている。地球接近小惑星の力学進化や惑星との具体的な

衝突史については昔から多くの研究者が様々な仮説を立てて様々な推論を述べて来たが、実はその多くは単なる推測や憶測に過ぎず、精密な実証的研究はまだほとんど為されていないというのが現実である。とりわけ、約 40 億年前に太陽系内部で発生したとされる後期隕石重爆撃期はそれが実際に発生し

たかどうかすら確実とは言えず、その発生機構の不確定さとも相俟って、40年近い議論の歴史にも関わらず依然として仮説の範疇を出るものになってはいなかった。また、現代の近地球小惑星と月-地球系の衝突史について重要な示唆を物語るはずの月クレーターの非対称性についても明確な力学モデルは打ち立てられていないという現状がある。

## 2. 研究の目的

一般に地球型惑星は約46-45億年前の太陽系初期の段階で形成したと思われるが、その後数億年を経て再び地球型惑星や月の表面に激しい天体の衝突が発生し、表面状態をリセットしたとする説がある。この突発的な隕石爆撃の時期は約40億年前に始まって約38億年前に終わったとされ、後期重爆撃期と名付けられている。本研究ではこの後期重爆撃期の原因、および、その発生に重要な役割を果たした可能性が高い小惑星の力学過程を明らかにする。また、時代を下って昨今の月-地球系に非対称な衝突パターンを形作る近地球小惑星の力学モデルの構築と数値実験によるその検証も目的のひとつとする。

## 3. 研究の方法

本研究の主要な観点は後期重爆撃期の古いクレーターを作った衝突天体のサイズ分布と小天体のサイズ分布の詳細な比較であり、主要な手法は地上望遠鏡による小天体の光学観測と計算機シミュレーションによる軌道進化の数値実験である。具体的な小天体のグループとしては後期重爆撃期の主要な衝突天体であったと考えられるメインベルト小惑星、地球近傍に存在する近地球小惑星、および超遠方から飛来しその力学的実態が良く分かっていない等方的なオールト雲彗星を考慮する。また私達が現在目にすることが出来るのは後期重爆撃期から40億年を経た「進化した」小天体達なので、この間の小天体の衝突進化がどのようなものであったかを知るための数値シミュレーションも並行して実施する。本来であれば短周期彗星を生み出す超海王星天体も考慮すべきであるが、研究期間内にはそこまでの作業が進まないだろうことを考えて今回は対象外とする。

## 4. 研究成果

### (1) 小天体の光学観測、特に光度曲線取得

地球接近小惑星やクレーターの起源に関する実証的で定量的な研究が少ないのは、議論の根幹となる観測データがそもそも存在しないことがひとつの理由である。例えば小惑星の軌道進化や惑星への衝突の数値実験結果を月や惑星上のクレーターのサイズ分布と比較検証するには、小惑星のサイズ分布のデータが必要である。しかし現時点では比

較的大きな小惑星（直径2-3km以上）のサイズ分布しか知られておらず、個数がより多いと思われる直径1km以下の小惑星に関するサイズ分布の情報は殆ど存在しない。また、小惑星破片の自転速度の分布は太陽エネルギーの吸収放散による小惑星の軌道変動過程（Yarkovsky効果と呼ばれる）に於いてとても重要な意味を持つが、これを知るための観測である小惑星の光度曲線の観測もごく限られた小惑星に関してのみしか行われていない。そこで本研究では、メインベルトの微小な小惑星および衝突破壊からさほど時間の経っていない若い小惑星族構成員について光度曲線を取得する計画を実施した。

微小なメインベルト小惑星については米国ハワイ島にあるすばる望遠鏡を用いた広視野撮像を行い、多数の小惑星の光度曲線を一遍に獲得する手法を確立した。その結果、自転周期が二時間未満の超高速自転小惑星が数多く発見され、しかもそれらのサイズ頻度分布は低速自転する小惑星と大きな違いは無いことが分かった。

若い小惑星族構成員の光度曲線については、本グループが十年以上前から共同研究協定を締結して活動を実施しているウズベキスタン・マイダナク観測所にある0.6m望遠鏡など各地の中小望遠鏡を長い時間占有して数多くの天体について観測を行った。とりわけ若い小惑星族として最初に確認されたKarin族に関してはサイズの大きな構成員の大半について光度曲線を取得し、扁平率が大きな小惑星ほど自転速度が小さいことを見出した。これは族を生成した衝突破壊現象が発生した際に何らかの物理量（角運動量など）の等分配が発生した可能性を示唆する。またこうした若い天体のうち特定のもの、とりわけKarin族最大構成員の832 Karinについては詳細な多色測光観測を実施し、結果としてこの天体表面に宇宙風化起源と思われる特異な色変化の存在を確認した。

### (2) 小天体の軌道進化数値実験

太陽系小天体の観測的情報をクレーター記録と照合するためには、小天体と地球型惑星の衝突確率に関する理論的な情報が必要である。このために本研究では太陽系小天体の軌道進化と衝突確率に関する数値シミュレーションも実施した。この数値シミュレーションはメインベルトの共鳴領域からやって来る小惑星もしくは既に地球軌道近辺にいる近地球小惑星と地球型惑星の衝突確率・衝突速度を計算し、それと地球型惑星上のクレーターのサイズ分布を比較するためのものである。近地球小惑星の力学モデルとしては従来のBottkeモデルやそれを改良したMorbidelliモデルを試用した。その結果、近地球小惑星が月面に作るクレーターの前面と後面のクレーター密度の比は1.4ほど

と計算された。この数値と現在月面の光条クレーターの観測から予測されている数値 (~1.67) とおよそ調和的であると言えなくも無いが、更に相対速度の小さな「遅い」天体の存在も予見される。また、メインベルトからやって来る小惑星の惑星との衝突確率は最大でも数%を越えることは無く、月へのそれは最大でも 0.1%程度であった。

また、宇宙機「はやぶさ」のターゲット天体であった小惑星 (25143) Itokawa を起源とする流星が過去に観測されているかどうかを検証すべく、過去の観測データの発掘を進めると共に候補天体の軌道距離計算を複数の方法で実施した。軌道類似性により五個の候補天体が特定されたが、そのうち一個が軌道の類似性から見ても大気中での運動の振る舞いから推測される物質から見ても普通/炭素質コンドライトに分類され Itokawa 表面と適合しそうであり、Itokawa 起源の流星である可能性が高いことが分かった。

本研究では太陽系小天体の端成分のひとつとして、太陽系最外縁部に存在するとされるオールト雲天体の軌道進化についても数値実験を行った。昨今の計算機技術の進展により小惑星と惑星との衝突確率は精度良く計算されるようになった来だが、彗星についてはその力学的実体が余り定かではないために、数値計算についても確定的な研究はまだ多くない。本研究ではオールト雲の力学に関する形成モデルを元にして、オールト雲から落下する天体(新彗星)の力学進化および惑星との遭遇確率に関する計算を実施した。その結果、惑星領域に突入した後のオールト雲起源新彗星の力学的寿命はせいぜい数千万年のオーダーに留まることが分かった。この時間を経過すると大半の新彗星は木星・土星に散乱されて双曲化し、系内には戻らない。

### (3) 太陽系小天体の衝突進化計算 (未実施)

後期重爆撃期のクレーターを作った衝突天体は約 40 億年前の存在であるが、私達が今観測できるのは現在の太陽系小天体のサイズ分布であり、両者を比較するにはその間にある 40 億年という時間の存在を常に念頭に置く必要がある。この目的のため、私達は小惑星の衝突破壊進化を検分する数値実験(重力多体計算)を行う予定であったが、三年間の研究期間内をこれを実施することは出来なかった。但しその予備的な検討は行われ、以下のような知見に至った。一般に太陽系天体の衝突進化計算に関しては天体を流体粒子で近似する方法(SPH 法等)が採用されることが多い。私達の予備的な検討でわかったことは、重力多体計算では実際の太陽系小天体(岩石や氷)のような固体の天体を固体のまま扱えるので、流体粒子を扱い方法に比べて個々の天体の自転等を考慮することが容易であるということである。一方、重力多

体計算の短所としては物質の相転移が簡単には表現できないということも判明した。だが中小の小惑星の多くが不規則な形状をしている事実から推測するに、それらの衝突合体では大規模な溶融や蒸発が発生したわけではなく、天体がぶつかって「壊れる」という日常的な意味での破壊現象が卓越したと考えられる。従ってこの点は重力多体問題を使った将来の研究にとり障害にはならないことも確認された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

(1) Takashi Ito and Kiyotaka Tanikawa, On the error reduction of a simple symplectic integrator, Publ. Astron. Soc. Japan, 64, 35, 2012, 査読有.

<http://pasj.asj.or.jp/v64/n2/640035/64035a.html>

(2) Katsuhito Ohtsuka, Shinsuke Abe, Takashi Ito, Tomoki Nakamura, Masano Abe, Hajime Yano, and Jun-ichi Watanabe, Do meteoroids originated from near-Earth asteroid (25143) Itokawa exist?, Publ. Astron. Soc. Japan, 63, L73-L77, 2011, 査読有.

<http://pasj.asj.or.jp/v63/n6/630604/630604a.html>

(3) J. Hanus, J. Durech, M. Broz, B. D. Warner, F. Pilcher, R. Stephens, J. Oey, L. Bernasconi, S. Casulli, R. Behrend, D. Polishook, T. Henych, M. Lehky, F. Yoshida, and T. Ito, A study of asteroid pole-latitude distribution based on an extended set of shape models derived by the lightcurve inversion method, Astron. Astrophys., 530, A134, 2011, 査読有.

[http://www.aanda.org/index.php?option=com\\_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/abs/2011/06/aa16738-11/aa16738-11.html](http://www.aanda.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/aa/abs/2011/06/aa16738-11/aa16738-11.html)

(4) Budi Derwaman, Tsuko Nakamura Tsuko, and Fumi Yoshida, Subaru lightcurve observations of sub-km-sized main-belt asteroids, Publ. Astron. Soc. Japan, 63, S555-S576, 2011, 査読有.

<http://pasj.asj.or.jp/v63/sp2/63s218/63s218a.html>

(5) Tsuko Nakamura, Budi Dermawan, and Fumi Yoshida, Sphericity preference in shapes of sub-km-sized fast-rotating main-belt asteroids, Publ. Astron. Soc. Japan, 63, S577-S584, 2011, 査読有.

<http://pasj.asj.or.jp/v63/sp2/63s219/63s219a.html>

(6) Takashi Ito, Asymmetric cratering on the Moon: Case of the raw near-Earth asteroid population, in *Advances in Geosciences* (Eds. Anil Bhardwaj et al.), 25, 109-119, 2010, World Scientific, Singapore, 査読有.

[http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789814355377/9789814355377\\_0008.html](http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789814355377/9789814355377_0008.html)

(7) Takashi Ito and Fumi Yoshida, Young asteroid families and their lightcurve observation at Maidanak Observatory, Uzbekistan, in *Advances in Geosciences* (Eds. Anil Bhardwaj et al.), 25, 161-172, 2010, World Scientific, Singapore, 査読有.

[http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789814355377/9789814355377\\_0012.html](http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789814355377/9789814355377_0012.html)

(8) Takashi Ito and Renu Malhotra, Asymmetric impacts of near-Earth asteroids on the Moon, *Astronomy & Astrophysics*, 519, A63, 2010, 査読有  
[http://www.aanda.org/index.php?option=com\\_article&access=standard&Itemid=129&url=articles/aa/abs/2010/11/aa12901-09/aa12901-09.html](http://www.aanda.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=articles/aa/abs/2010/11/aa12901-09/aa12901-09.html)

(9) Fumi Yoshida, Tsuyoshi Terai, Seitaro Urakawa, Shinsuke Abe, Wing-Huen Ip, Shigeru Takahashi, Takashi Ito and the HSC Solar System Science Group, Solar system science with the Hyper Suprime-Cam survey, in *Advances in Geosciences* (Eds. Anil Bhardwaj et al.), 25, 1-10, 2010, World Scientific, Singapore, 査読有.

[http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789814355377/9789814355377\\_0001.html](http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789814355377/9789814355377_0001.html)

(10) S. Takahashi, S. Deguchi, N. Kuno, T. Shimoikura, and F. Yoshida, A Search for Water Masers in the Saturnian System, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 62, L17-L21, 2010, 査読有.

<http://pasj.asj.or.jp/v62/n4/620408/620408a.html>

(11) Katsuhito Ohtsuka, Aiko Nakato, Tomoki Nakamura, Daisuke Kinoshita, Takashi Ito, Makoto Yoshikawa, and Sunao Hasegawa, Solar radiation heating effects on 3200 Phaethon, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 61, 1375-1387, 2009, 査読有.

<http://pasj.asj.or.jp/v61/n6/610621/610621a.html>

(12) Fumi Yoshida, Takashi Ito, Shigeru Takahashi, Mansur A. Ibrahimov, and Anastasiya L. Marchalkina, Photometric observations of young asteroid families at Maidanak Observatory, in *Advances in Geosciences* (Eds. Anil Bhardwaj et al.),

15, 119-132, 2009, World Scientific, Singapore, 査読有.

[http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789812836229/9789812836229\\_0008.html](http://ebooks.worldscinet.com/ISBN/9789812836229/9789812836229_0008.html)

(13) Toshihiko Kadono, Masahiko Arakawa, Takashi Ito, and Keiji Ohtsuki, Spin rates of fast-rotating asteroids and fragments in impact disruption, *Icarus*, 200, 694-697, 2009, 査読有.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103508004223>

(14) S. Takahashi, F. Yoshida, K. Shinokawa, T. Mukai, and K. Kawabata, Simultaneous photometric and polarimetric of asteroid 3 Juno, *Astron. J.*, 138, 951-955, 2009, 査読有.

<http://iopscience.iop.org/1538-3881/138/3/951/>

(15) Takaaki Takeda, Keiji Ohtsuki, Mass dispersal and angular momentum transfer during collisions between rubble-pile asteroids. II. Effects of Initial Rotation and Spin-Down through Disruptive Collisions, *Icarus*, 202, 514-524, 2009, 査読有.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103509000943>

〔学会発表〕 (計 38 件)

(国際研究集会に於けるもののみを列記した)

(1) Ito, T. "Asymmetric cratering on the Moon from the revised NEA model and its implication", Subaru Users Meeting 2011, National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo, Japan, February 28 - March 1, 2012.

(2) Higuchi, A., Kokubo, E., and Ito, T. "Radial transport of small solar system bodies - from 10<sup>0</sup>AU to 10<sup>5</sup>AU -" Solar System Exploration and New Geosciences - Perspective for the Next Decade (MISASA IV), Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University, Misasa, Tottori, Japan, February 24-26, 2012.

(3) Ito, T. "Asymmetric cratering on the Moon and its implication to a hidden NEA population", Maidanak Observatory Users Meeting 2012, National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo, Japan, January 30 - February 1, 2012.

(4) Fumi Yoshida, Japanese activities on Maidanak Observatory, "Maidanak Observatory Users Meeting 2012", National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo, Japan, January 30 - February 1, 2012.

- (5) F. Yoshida, M. Yagi, Y. Komiyama, F. Nakata, H. Furusawa, T. Ohno, S. Okamura and T. Nakamura, "Slitless Spectroscopy of Small Solar System Bodies on a Dark Cloud Curtain", Subaru Users Meeting 2011, National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo, Japan, February 28 - March 1, 2012.
- (6) Ito, T. and Higuchi, A. "Dynamical evolution of the Oort cloud new comets", Asia-Oceania Geoscience Society 8th Annual Meeting, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan, 8-12 August, 2011.
- (7) Fumi Yoshida, Masafumi Yagi, Yutaka Komiyama, Fumiaki Nakata, Hisanori Furusawa, Tomohiro Ohno, Sadanori Okamura, Tsuko Nakamura, "Slitless Spectroscopy of Small Solar System Bodies on a Dark Cloud Curtain", The 11th Asian-Pacific Regional IAU Meeting, Chiang Mai, Thailand, July 26-29, 2011.
- (8) Fumi Yoshida, Yui Nozawa, Takashi Ito, Shigeru Takahashi, Kiichi Okita, Mansure Ibrahimov, Shuhrat Ehgamberdiev, Anastasiya Marshalkina, Rivkat Karimov, Otabek Bbrhonov, Yusufjon Tillayev, Bahadir Hafizov, Toshifumi Yanagisawa, Hirohisa Kurosaki, Makoto Yoshikawa, Seitaro Urakawa, and Hiroshi Ohtani, "Photometric Observation of Young Asteroid Families at Maidanak Observatory in 2006-2010", Asia-Oceania Geoscience Society 8th Annual Meeting, Taipei International Convention Center, Taipei, Taiwan, 8-12 August, 2011.
- (9) Fumi Yoshida, "History of the solar system derived from the record on the Moon surface - What happened on the Moon 3.8 billion years ago?", You are Galileo! Workshop in Indonesia, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, February 24, 2011.
- (10) Fumi Yoshida, "History of the solar system derived from the record on the Moon surface - What happened on the Moon 3.8 billion years ago?", You are Galileo! Workshop in Indonesia, SMAN 38-FOSCA, Jakarta, Indonesia, February 22, 2011.
- (11) F. Yoshida, M. Yagi, Y. Komiyama, F. Nakata, H. Furusawa, T. Ohno, S. Okamura and T. Nakamura, "Slitless Spectroscopy of Small Solar System Bodies on a Dark Cloud Curtain", Subaru Users Meeting 2010, National Astronomical Observatory of Japan, Mitaka, Tokyo, Japan, January 19-20, 2011
- (12) Ito, T. and Malhotra, R. "Asymmetric impact cratering on the Moon and its dependence on debiased NEA models", AGU Fall Meeting 2010, Moscone Convention Center, San Francisco, California, USA, 13-17 December 2010.
- (13) Ito, T. and Malhotra, R. "Asymmetric cratering due to a steady-state NEA flux on the Moon", Asia-Oceania Geoscience Society 7th Annual Meeting, Hyderabad International Convention Centre, Hyderabad, India, 5-9 July, 2010.
- (14) Ito, T. and Higuchi, A. "Impact probability of the Oort cloud comets on planets", Asia-Oceania Geoscience Society 7th Annual Meeting, Hyderabad International Convention Centre, Hyderabad, India, 5-9 July, 2010.
- (15) Ito, T. "Asteroids in the solar system", Public lecture, Ulugh Beg Astronomical Institute, Tashkent, Uzbekistan, June 22, 2010.
- (16) Ito, T. "Comparison of seeing between Maidanak and Nyukasa", Maidanak Observatory Users Meeting 2010, Ulugh Beg Astronomical Institute, Tashkent, Uzbekistan, June 21, 2010.
- (17) Ito, T. "Asteroids in the solar system", Public lecture, National Central University, Zhongli, Taiwan, April 29, 2010.
- (18) Ito, T. "Asteroids in the solar system", Public lecture, Taipei Astronomical Museum, Taipei, Taiwan, April 28, 2010.
- (19) Ito, T. "Asteroids in the solar system", Public lecture, National Museum for Natural Science, Taichung, Taiwan, April 25, 2010.
- (20) Ito, T. "JSPS Asia-Africa Platform Program: Outline and objectives", Asia Asteroid Workshop, Lijiang, Yunnan, China, 11-12 March, 2010.
- (21) Fumi Yoshida, "Stars of Asia", 11th PCST, New Delhi, India. December 6-10, 2010.
- (22) Fumi Yoshida, "Stars of Asia", EAMA8, Shanghai, China, October 11-14, 2010.
- (23) F. Yoshida, M. Yagi, Y. Komiyama, F. Nakata, H. Furusawa, T. Ohno, S. Okamura and T. Nakamura, "Slitless Spectroscopy of Small Solar System Bodies on a Dark Cloud Curtain", Asia-Oceania Geoscience Society 7th Annual Meeting, Hyderabad International Convention Centre, Hyderabad, India, 5-9 July, 2010.
- (24) Fumi Yoshida, Takashi Ito, Shigeru

Takahashi, Kiichi Okita, Hiroshi Karoji, Shinobu Ozaki, Toshifumi Yanagisawa, Hirohisa Kurosaki, Makoto Yoshikawa, Tomohiro Yamaguchi, Noritsugu Takahashi, Seitaro Urakawa, Hiroshi Ohtani, and Yui Nozawa, "Japanese activities concerning Mairanak", Mairanak Observatory Users Meeting 2010, Ulugh Beg Astronomical Institute, Tashkent, Uzbekistan, June 21, 2010.

(25) F. Yoshida, M. Yagi, Y. Komiyama, F. Nakata, H. Furusawa, T. Ohno, S. Okamura and T. Nakamura, "A possible collaboration with the Slitless Spectroscopic survey of Small Solar System Bodies by Subaru Telescope", Asia Asteroid Workshop, Lijiang, Yunnan, China, 11-12 March, 2010.

(26) F. Yoshida, M. Yagi, Y. Komiyama, F. Nakata, H. Furusawa, T. Ohno, S. Okamura and T. Nakamura, "Slitless Spectroscopy of Small Solar System Bodies on a Dark Cloud Curtain", 41st Lunar and Planetary Science Conference, The Woodlands, Texas, USA, March 2-5, 2010.

(27) Ito, T., Yoshida, F. and Ibrahimov, M. "Photometric observations of young asteroid family at Mairanak Observatory", Asia-Oceania Geoscience Society 6th Annual Meeting, Suntech, Singapore, 11-15 August, 2009.

(28) Ito, T. and Higuchi, A. "Impact probability of the Oort cloud comets on planets", Asia-Oceania Geoscience Society 6th Annual Meeting, Suntech, Singapore, 11-15 August, 2009.

(29) Ito, T. and Malhotra, R. "Asymmetric distribution of cratering impacts on the Moon", Asian Asteroid Observation Network Workshop, Purple Mountain Observatory, Nanjing, China, July 25-26, 2009.

(30) Ito, T. "Asia-wide network of near-Earth asteroid observation", Mairanak Observatory Users Meeting 2009, Seoul National University, Seoul, Korea, 30 June, 2009.

(31) Ito, T. and Malhotra, R. "Asymmetric impacts of NEOs on the Moon", 12th Lunar & Planetary Laboratory Conference, Kuiper Space Sciences Building, Room 308, University of Arizona, Tucson, AZ, USA, June 4-5, 2009.

(32) Fumi Yoshida, "Collaborations between NCU and NAOJ: (1) Improvements of the Mairanak observatory, (2) The HSC survey for small solar system bodies", NCU-CPS Japan-Taiwan Planetary Science Workshop, National Central University,

Zhongli, Taiwan, December, 8-9, 2009.

(33) Fumi Yoshida, "An Insight into the Solar System History through the Size Distribution of Jupiter Trojans", CPS Workshop on Icy Moons and Origin of Jupiter and other Giant Planets, Hokkaido University, Sapporo, Japan, November 9-10, 2009.

(34) Fumi Yoshida and the HSC Solar System Science Group, "Survey Design for the Small Solar System Objects with the Hyper Suprime-Cam (HSC)", Asia-Oceania Geoscience Society 6th Annual Meeting, Suntech, Singapore, 11-15 August, 2009.

(35) Fumi Yoshida, "Asia-wide observational network for NEO observation", Asian Asteroid Observation Network Workshop, Purple Mountain Observatory, Nanjing, China, July 25-26, 2009.

(36) Fumi Yoshida, "Photometric observations of young asteroids families at Mairanak Observatory", Asian Asteroid Observation Network Workshop, Purple Mountain Observatory, Nanjing, China, July 25-26, 2009.

(37) Fumi Yoshida, "Asia-wide observational network for NEO observation", Mairanak Observatory Users Meeting 2009, Seoul National University, Seoul, Korea, June 30, 2009.

(38) Fumi Yoshida, "Photometric observations of young asteroids families at Mairanak Observatory", Mairanak Observatory Users Meeting 2009, Seoul National University, Seoul, Korea, June 30, 2009.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤 孝士 (ITO TAKASHI)

国立天文台・天文データセンター・助教

研究者番号：40280565

### (2) 研究分担者

吉田 二美 (YOSHIDA FUMI)

国立天文台・国際連携室・専門研究職員

研究者番号：20399306

### (3) 連携研究者

武田 隆顕 (TAKEDA TAKAAKI)

国立天文台・天文シミュレーションプロジェクト・専門研究職員

研究者番号：70413961